

普通高中教科书

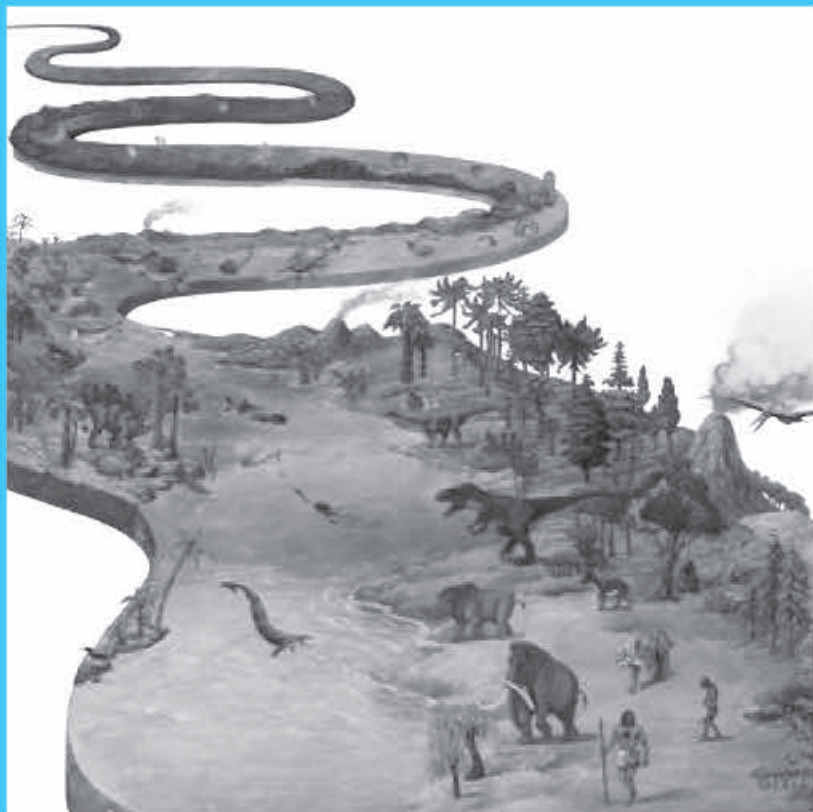
教师教学用书

人民教育出版社 课程教材研究所
生物课程教材研究开发中心 编著

生物学

必修2

遗传与进化



人民教育出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

普通高中教科书教师教学用书. 生物学. 必修 2: 遗传与进化 / 人民教育出版社课程教材研究所生物课程教材研究开发中心编著. — 北京: 人民教育出版社, 2019.11

ISBN 978-7-107-34186-1

I. ①普… II. ①人… III. ①生物课—高中—教学参考资料 IV. ①G633

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 293697 号

普通高中教科书 教师教学用书 生物学 必修 2 遗传与进化

出 版 人民教育出版社
(北京市海淀区中关村南大街 17 号院 1 号楼 邮编: 100081)
网 址 <http://www.pep.com.cn>
经 销 全国新华书店
印 刷 ××× 印刷厂
版 次 年 月第 版
印 次 年 月第 次印刷
开 本 890 毫米 × 1240 毫米 1/16
印 张 24.25
字 数 594 千字
定 价 元

版权所有·未经许可不得采用任何方式擅自复制或本产品任何部分·违者必究
如发现内容质量问题、印装质量问题, 请与本社联系。电话: 400-810-5788

主编：朱正威 赵占良

本册主编：吴成军

编写人员：赵占良 李新花 王伟光 曹保义 王颖 吴成军 王永胜 蔡民华
王天祥 李金龙 翟林 王健 龚雷雨 颜培辉 钟能政 郑兆炯
董仲文 孔春生 卢媛 刘丹 林青 李霞 解凯彬

责任编辑：王颖 卢媛

插图绘制：郭威

人教版®

目 录

致教师·····	1
第 1 章 遗传因子的发现 ·····	16
本章教材分析 ·····	16
第 1 节 孟德尔的豌豆杂交实验（一） ·····	21
第 2 节 孟德尔的豌豆杂交实验（二） ·····	47
“复习与提高” 参考答案 ·····	76
参考文献 ·····	77
第 2 章 基因和染色体的关系 ·····	78
本章教材分析 ·····	78
第 1 节 减数分裂和受精作用 ·····	83
第 2 节 基因在染色体上 ·····	106
第 3 节 伴性遗传 ·····	122
“复习与提高” 参考答案 ·····	134
参考文献 ·····	134
第 3 章 基因的本质 ·····	136
本章教材分析 ·····	136
第 1 节 DNA 是主要的遗传物质 ·····	141
第 2 节 DNA 的结构 ·····	157
第 3 节 DNA 的复制 ·····	174
第 4 节 基因通常是有遗传效应的 DNA 片段·····	188
“复习与提高” 参考答案 ·····	205
参考文献 ·····	206

第4章 基因的表达	208
本章教材分析	208
第1节 基因指导蛋白质的合成	213
第2节 基因表达与性状的关系	230
“复习与提高”参考答案	246
参考文献	247
第5章 基因突变及其他变异	248
本章教材分析	248
第1节 基因突变和基因重组	253
第2节 染色体变异	271
第3节 人类遗传病	287
“复习与提高”参考答案	309
参考文献	310
第6章 生物的进化	312
本章教材分析	312
第1节 生物有共同祖先的证据	317
第2节 自然选择与适应的形成	333
第3节 种群基因组成的变化与物种的形成	339
第4节 协同进化与生物多样性的形成	364
“复习与提高”参考答案	379
参考文献	380

人教版®

致教师

《遗传与进化》是普通高中生物学新课程中第二个必修模块。正如《普通高中生物学课程标准（2017年版）》（以下称“课程标准”）所指出的：“必修课程是现代生物学的核心内容，对于提高全体学生的生物学学科核心素养具有不可或缺的作用。”要搞好本模块的教学，首先应当深入理解本模块的意义和价值。

一、本模块的育人价值

课程标准在“课程内容”部分对本模块的意义和价值作了如下阐述：“本模块选取的减数分裂和受精作用、DNA分子的结构和功能、遗传和变异的基本原理及应用等知识，主要是从细胞水平和分子水平阐述生命的延续性；选取的现代生物进化理论和物种形成等知识，主要是为了阐明生物进化的过程和原因。本模块的内容，对于学生理解生命的延续和发展，认识生物界及生物多样性，形成生物进化的观点，树立正确的自然观有重要意义；同时，对于学生理解有关原理在促进经济与社会发展、增进人类健康等方面的价值，也是十分重要的。”

分析课程标准的上述表述，结合本模块的具体内容可以看出，本模块在生命观念、科学思维、科学探究和社会责任等方面都具有独特的育人价值。

（一）生命观念

纵观本模块的内容，可以看出本模块突出的生命观念包括生命的物质观、生命的信息观、结构与功能观、生物进化观，此外，作为辩证唯物主义观点重要组成部分的对立统一观在本模块也有较为集中的体现。

1. 生命的物质观

虽然《分子与细胞》模块已经引导学生较全面地认识生命的物质基础，但学生对遗传物质还了解甚少，对遗传物质如何起作用的问题更是未曾涉及，而这恰恰是现代生物学中最核心的问题，也是帮助学生真正建立生命的物质观不可或缺的支撑。通过本模块的学习，学生能够深入了解遗传物质的化学组成和结构，了解遗传物质是如何控制蛋白质的合成，进而影响生物体的性状的，还能了解遗传物质的变化与性状变异及进化之间的关系，建立遗传和进化的大概念，强化生命的物质观。

2. 生命的信息观

生命是物质、能量和信息的统一体。生物体从亲代继承的东西，主要是信息——世代相传、通过漫长的进化史形成的遗传信息，生物体的生长、发育、代谢、生殖等都是在这套遗传信息的

控制下进行的。DNA、RNA等物质，只是遗传信息的载体而已。与我们日常接触的声、光、电、热等物理信息不同，遗传信息是一种特殊的信息，即不需要外界指令就能自动地按既定程序对物质材料进行组织，并且能进行自我复制。随着分子生物学、基因组学、蛋白质组学等学科的发展，从信息的角度认识生命的本质，建立生命的信息观，越来越成为生物学研究者的共识。

生命的信息观不仅帮助人们深刻地认识生命的本质，而且为生物科技的发展打开了一片崭新的视野。例如，人工生命的研究、生物芯片的研制、计算机辅助药物设计、DNA计算机的研制等，都离不开对生命信息数据的收集和分析。

本模块的大部分内容都是围绕着遗传信息展开的，从第1章开始，就带领学生踏上了遗传信息的发现之旅。遗传信息的物质载体、复制、转录、翻译直至遗传信息在生物繁衍过程中的变化、在生物进化过程中的演变等内容，都对学生建立生命的信息观大有裨益。

3. 结构与功能观

《分子与细胞》模块中关于细胞的结构与功能的内容，集中体现了生物学中结构与功能相适应的观点，本模块将在遗传物质层面生动地体现这一观点。例如，DNA的双螺旋结构和碱基互补配对与其复制和转录功能相适应，DNA结构的改变导致其编码的蛋白质的变化及性状变异，染色体的结构变异与性状的关系，等等。值得注意的是，本模块有些内容不仅体现了结构与功能观，还诠释了这一重要观念在生物科学研究中的应用。例如，沃森和克里克根据DNA的双螺旋结构，提出了半保留复制假说，就是基于结构与功能相适应的观点。再例如，达尔文发现兰花适于传粉的独特结构后，指出自然界一定存在口器与此相匹配的昆虫，同样也是基于结构与功能相适应的观点。通过这些内容的学习，学生可以认识到，在研究自然现象时，不仅要基于结构认识和推测功能，还要基于功能来推测和研究结构，并且应当将这样的思想方法运用于今后的探究活动中。

4. 生物进化观

本模块对学生进一步形成生物进化观具有重要意义。尽管学生在初中阶段已经学过一些生物进化的知识，但由于遗传学知识基础的限制，不可能对生物进化的原理有深入的理解，生物进化观的建立还处于初级水平，面对进化论领域的不同观点还缺乏鉴别能力。本模块在引导学生深入学习有关遗传学知识的基础上，较深入地介绍了现代生物进化理论，对达尔文生物进化论的巨大贡献和局限性也作了辩证的分析，这就有利于学生进一步确立生物进化的观点，提高对进化论领域的不同观点甚至伪科学论调的鉴别能力。

生物进化观是建立在两个重要概念基础上的：地球上现存的所有物种来自共同祖先（共同由来学说）；生物的多样性和适应性是进化的结果（自然选择学说）。共同由来学说得到了许多证据的支持（教材第6章第1节）；自然选择学说随着遗传学等学科的发展不断丰富和完善，发展为现代综合进化理论（教材第6章第2~4节）。第6章内容看似庞杂，其实主要是阐明这两个重要概念，指向生物进化观。

5. 对立统一观

对立统一的观点是辩证唯物主义观点的重要组成部分。遗传和变异是一对矛盾，前者是指生物在传种接代过程中遗传物质的稳定性，后者是指这一过程中遗传物质和性状的变化。遗传有利

于有利变异的积累，变异则有利于生物适应不断变化的环境。没有遗传就不可能形成稳定的物种，没有变异就不会出现物种的分化。变是绝对的，不变是相对的；从量上比较，遗传的基因是大量的，改变的基因是少量的；少量的变异逐渐积累，量变会引起质变，形成新的物种，因此，可以说遗传和变异在物种形成的过程中得到统一，在对环境的适应中得到统一。生物的遗传和变异与环境的变化是相互作用的，生物所产生的可遗传的变异，能否在繁衍过程中保存下来，取决于该变异对环境的适合度；生物又不是单纯地适应环境，它们所产生的变异，可能会影响环境的变化，导致生物与环境的共同进化，这就是遗传变异与环境变化在进化过程中的对立统一。

上述两个对立统一在本模块中得到了深刻的诠释。此外，本模块还涉及生物的多样性与共同性的统一。从遗传角度看，生物的遗传多样性十分丰富，但所有的生物都共用一套遗传密码；从进化角度看，物种多种多样，但都有着共同的起源；从比较解剖学角度看，不同种类的哺乳动物，有着相同的结构模式。这些内容对于学生形成对立统一的观点，进而建立辩证唯物主义自然观，都是十分重要的。

（二）科学思维

课程标准指出：“‘科学思维’是指尊重事实和证据，崇尚严谨和务实的求知态度，运用科学的思维方法认识事物、解决实际问题的思维习惯和能力。”课程标准还指出，归纳、概括和演绎推理以及建构模型等都是科学思维的重要内容。

就思维过程的方法论而言，归纳和演绎都是重要的思维方法，前者是从一类事物的一个个具体事实中总结出这类事物共性的推理形式和思维方法，后者是从一般到特殊，根据一类事物都有的一般属性、关系和本质来推断该类中个别事物所具有的属性、关系和本质的推理形式和思维方法。二者是互为补充、相辅相成的。从近代科学到现代科学，以观察（实验）—归纳为主的方法逐渐让位给以假说—演绎为主的方法。这是因为现代科学从总体上来说，已经不是处于经验材料的收集阶段，而是处于高度的理论概括和演绎阶段。由于数学、计算机科学等工具学科的发展，人们能够凭借这些工具提出假说，然后演绎出理论体系或具体推论，再通过观察和实验来检验。当然，在运用假说—演绎法时，仍需要以经验归纳法作补充，以一定的实验事实为根据。

与《分子与细胞》模块侧重于观察—归纳法不同的是，本模块侧重于假说—演绎法的应用，特别是在《遗传因子的发现》和《基因和染色体的关系》两章，其他章节也有所涉及。

模型方法也是现代生物科学研究的重要方法。本模块侧重于物理模型和数学模型的建构，如DNA的双螺旋结构模型、减数分裂中染色体数目和行为变化的模型和种群基因频率变化的数学模型。建构模型的过程既需要通过抽象、概括，抓住事物的本质，又需要将抽象的认识具象化地展现，具有很高的思维训练价值。

此外，在训练学生思维的深刻性和严密性方面，本模块比《分子与细胞》模块要求更高。例如，第5章第1节“思维训练 分析相关性”，让学生根据吸烟者与肺癌患者的相关数据，分析吸烟与肺癌患病率的相关性，以及能否据此得出吸烟会导致肺癌患病率升高的结论，认识相关性与因果性的区别与联系。

（三）科学探究

本模块安排的探究活动十分丰富，包括8个“探究·实践”和26个“思考·讨论”。通过这些探究活动，可以全面提高学生的科学探究能力。

与实验本教材相比，本模块安排的探究活动在发挥学生的自主性方面有明显提高。一是材料用具和方法步骤增加了开放性，如“建立减数分裂中染色体变化的模型”等活动；二是活动中的思考讨论题增加了开放性，有些题目并无预设的标准答案，如“调查人群中的遗传病”活动中让学生分析调查结果与权威机构公布的数据不一致的原因，“制作DNA双螺旋结构模型”活动中让学生设想DNA的复制方式，“基因检测的利与弊”活动中的3道思考讨论题。

与《分子与细胞》模块不同的是，本模块动手做的实验类探究活动相对较少，在分析和处理信息的基础上通过深度思考和讨论进行的探究活动较多，这对学生理性思维的要求较高，相应地，培养学生思维能力的力度也更大。

除了让学生亲自参与的探究活动，教材中还介绍了许多科学家的研究过程和方法，如孟德尔的豌豆杂交实验、摩尔根的果蝇杂交实验、艾弗里的肺炎链球菌转化实验、沃森和克里克构建DNA结构模型的过程，等等，这些丰富的科学史内容都可以作为学生思考和讨论的材料。通过分析这些科学研究案例，学生在科学探究的过程和方法方面会获得丰富的启示，还会在科学态度、探索精神、合作精神、创新精神等方面多有感悟，于潜移默化中受到熏陶和感染。

（四）社会责任

课程标准指出：“‘社会责任’是指基于生物学的认识，参与个人与社会事物的讨论，作出理性解释和判断，解决生产生活问题的担当和能力。”高中生物学课程作为一门自然科学课程，培养学生的社会责任，首先要引导学生认识科学、技术与社会的关系，形成正确的科学技术价值观。

1. 科学技术价值观

课程标准指出，本模块“对于学生理解有关原理在促进经济与社会发展、增进人类健康等方面的价值，也是十分重要的。”为体现课程标准的这一要求，教材中介绍了DNA指纹技术在刑侦和亲子鉴定等方面的应用、遗传病的检测和预防、遗传学原理在育种上的应用、基因工程的应用等内容。本模块中有关反映科学技术价值观的内容大致可以归纳为下页图（图1）。

确立正确的科学技术价值观，既能激发学生推广应用科技成果和投身于科技创新的热情，又能培养学生理性而审慎地应用科技成果的意识，提升让科技造福人类的社会责任感。

2. 社会责任感

联系社会实际，创设真实的问题情境，让学生应用所学知识分析与生物学有关的现实问题，是培养学生社会责任感的主要途径。例如，让学生分析我国政府实施苯丙酮尿症患者特殊奶粉补助项目的意义，35岁以上孕妇进行产前诊断的意义，恋人之间借助基因检测了解对方致病基因情况的做法是否合适，乳腺癌突变基因携带者在未发现患乳腺癌时就切除双乳是否合适，个人作为抗生素和耐药菌之间竞赛的参与者应当怎样使用抗生素，如何评价我国在修路时为了保护生物多样性采取的措施，等等。

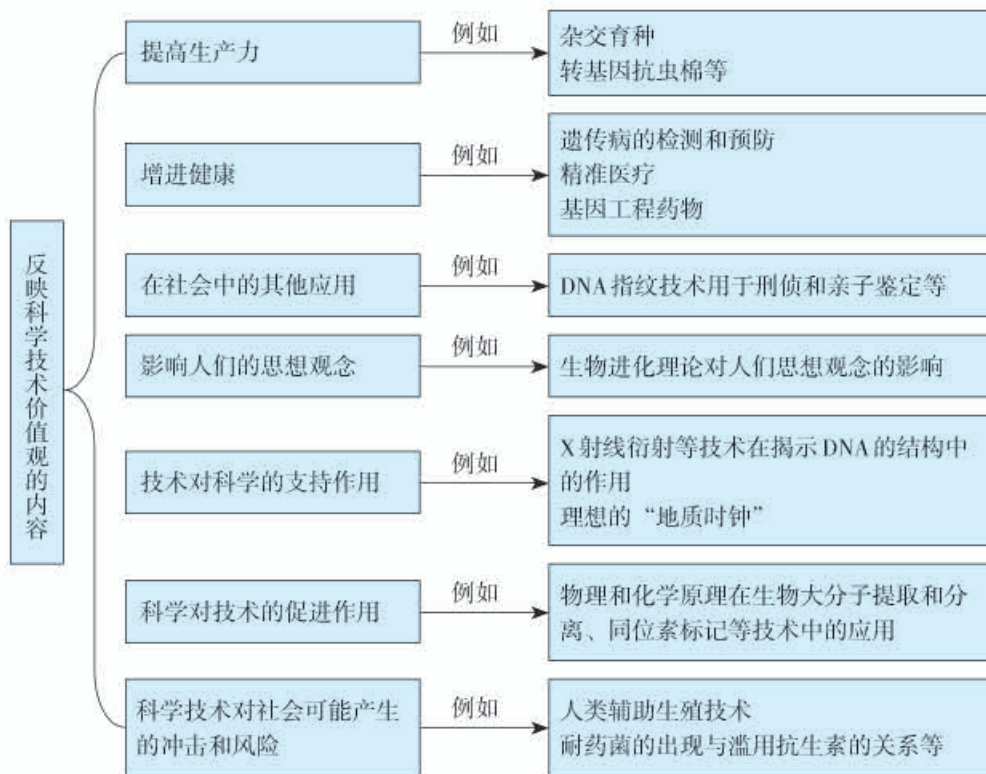


图1 本模块反映科学技术价值观的内容

（五）其他

上面分析的是本模块在提升学生生物学学科核心素养方面的价值，除此之外，本模块还有其他方面的育人价值，对此在教学中也应给予充分关注。

1. 科学态度和科学精神

本模块介绍了许多科学家在研究过程中表现出的科学态度和科学精神，如孟德尔热爱科学、锲而不舍、敢于独立思考的精神，摩尔根尊重科学、勇于自我否定的精神，达尔文既能挑战传统观念、又能正视自己不足的精神，等等。这对于学生养成科学态度和科学精神都有助益。

2. 科学本质观

课程标准指出，高中生物学课程中适合教授的科学本质内容可以涉及“科学知识可能随着研究的深入而改变”“科学工作依赖观察和推论”“科学工作采用基于实证的范式”“科学是创造性的工作”“科学工作中要高度关注主观因素的影响”“科学会受到社会和文化的影响”，等等。这些内容在本模块中都有比较充分的反映。例如，教材中关于遗传物质是蛋白质还是DNA的内容，就说明“科学知识可能随着研究的深入而改变”；教材在第6章“本章小结”中写道：“通过了解生物进化理论发展的历史，认同科学的基本特点是以怀疑作审视的出发点，以实证为判别的尺度，以逻辑作论辩的武器；科学是一个动态的过程，在不断地怀疑和求证、争论和修正中向前发展。”

3. 家国情怀和爱国敬业

本模块介绍了我国科学家取得的许多研究成果，在正文和习题中也编选了不少来自我国的素材，介绍了我国在人类辅助生殖技术的应用、遗传病的预防、生物多样性的保护等方面制定的法

规和采取的对策，这些都助于培育学生的家国情怀和爱国精神。教材中安排的“与生物学有关的职业”，有助于培育学生的职业意识和敬业精神。

二、本模块教学内容的设计思路和呈现方式

（一）设计思路

课程标准（特别是本模块的“内容要求”）是本模块教学内容设计的重要依据。总的设计思路是贯彻落实课程标准提出的基本理念，根据本模块的“内容要求”，结合学生的年龄特征、认知规律和教学实际，本着便于教和学的原则进行设计。主要包括编排体系的设计、知识内容深广度的把握、强化科学方法教育、培养科学探究能力的途径、STS教育思想的渗透等方面。

1. 编排体系的设计

按照课程标准的要求，本模块应当围绕两个大概念来安排教学内容：“遗传信息控制生物性状，并代代相传”“生物的多样性和适应性是进化的结果”。这两个大概念，前一个涉及的概念和原理内容较多，并且是学习后一个大概念不可或缺的基础。这一认识决定了这两个大概念相关内容的分量和顺序。

本模块编排体系的设计有两点基本的考虑：第一，要让学生理解关于遗传和进化的大概念，教学内容应当定位在基因水平。这是由于随着生物科学的发展，人们对遗传和进化的认识已经深入基因水平，遗传从本质上说是基因的代代相传，可遗传的变异从本质上说是生物体基因组成的变化，进化过程中物种的形成从本质上说是种群基因频率在自然选择作用下的定向改变。第二，教学内容的编排顺序基本按照科学发展的历史进程来安排，从孟德尔到摩尔根再到沃森和克里克等，从拉马克到达尔文再到现代生物进化理论。这样既展示科学探究的过程和方法，又体现个体水平、细胞水平、分子水平的遗传学知识的内在逻辑联系（达成对概念的理解）；既能引导学生不断提出问题，分析和解决问题，尝试像科学家那样进行解释和推理，又能从众多科学家表现出的科学精神、科学态度及其他优秀品质中多有感悟（图2）。

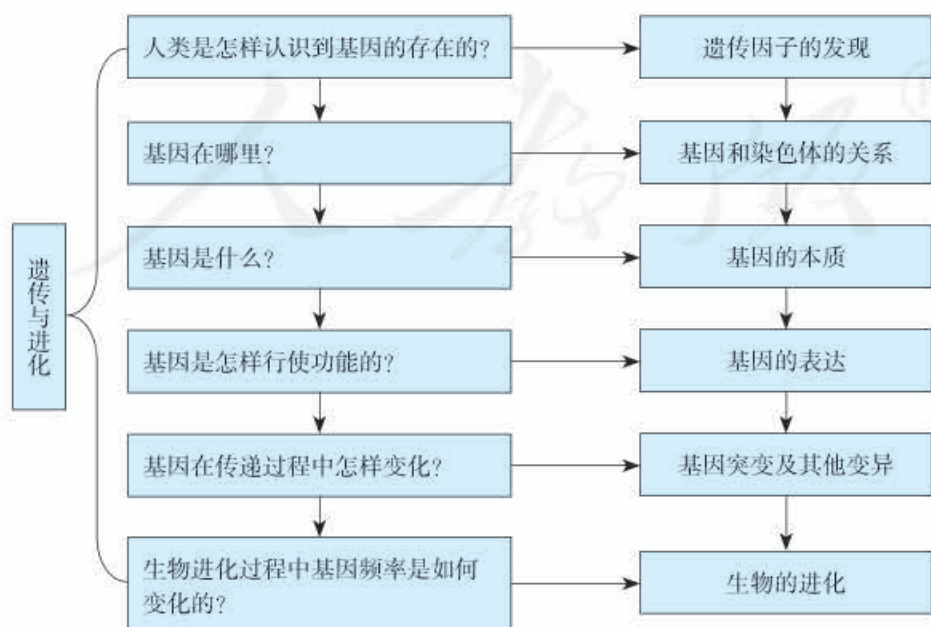


图2 本模块编排体系的设计思路

通过图2可以看出，本模块遗传部分的内容基本上是循着人类认识基因之路展开的。学生学习遗传学知识的过程，犹如亲历了一百多年来科学家孜孜以求的探索过程，会受到科学方法、科学态度和科学精神等多方面的启迪。尤为重要的是，每一章的学习都围绕一个核心问题展开，学习的过程也是解决问题的过程，这对于激发学生的学习兴趣、转变学习方式、提高分析和解决问题的能力，都是非常重要的。

2. 知识内容深广度的把握

教材根据课程标准的要求，知识内容的深广度按照“内容聚焦大概念”的理念来设计，精选对概念建构起支撑作用的内容，精简枝节性或单纯事实性的内容。具体遵循以下原则。

(1) 把握基础性，体现先进性。按照课程标准的要求，精选符合学生发展需求和认知水平的基础知识。知识内容的深广度总体上维持在原教材的水平，避免出现深、难、重。

为体现先进性，一方面对基本概念和原理的阐述力求与现代生物科学保持一致，如中心法则不局限于克里克提出的经典法则等；另一方面以不同形式介绍生物科学的新进展，如表观遗传、DNA指纹技术、生物信息学、基因治疗等。

(2) 突出重点，点面结合，使知识内容层次分明。知识内容以重要概念、原理和规律为重点，适当兼顾一些拓展性内容。例如，教材中关于基因突变，重点讲述了基因突变的原因和意义，关于基因突变的特点，则以小字形式作了简单介绍。为加强弹性，有些较深的或拓宽视野的内容安排为课外阅读材料。

(3) 纵横衔接，促进知识网络的形成。促进学生所学知识的结构化是知识教育的重要目标。教材重视帮助学生梳理概念之间的联系，同时，注意与数学、物理、化学等学科的横向衔接。

3. 强化科学方法教育、培养科学探究能力的途径

(1) 安排丰富多样的科学探究活动，让学生通过活动体验过程，领悟和运用方法。

(2) 较多地介绍生物科学史的内容，特别是生物科学史上的经典案例。例如，通过分析孟德尔的豌豆杂交实验，体会假说—演绎法的研究思路和数学方法的应用等。

(3) 鼓励学生积极思考和讨论。例如，关于孟德尔实验方法的启示，教材正文中并未直接讲述，而是安排了“思考·讨论”活动，让学生围绕孟德尔的研究方法讨论实验材料的选择、实验流程的设计、对结果的统计分析、对推论的验证等一系列问题，从中领悟科学方法。

4. STS 教育思想的渗透

通过教材展示给学生的生物学，是在先进的技术手段支持下不断成长的生物学，是通过技术而不断转化为现实生产力的生物学，是在广阔的社会背景中，对人类文明有着巨大推动作用，同时又可能产生一些冲击和风险的生物学。为此，教材一方面介绍有关生物科学、技术和社会关系的资料，另一方面还引导学生深入探讨生物科学、技术和社会三者之间复杂的互动关系，理解科学的价值和局限性，养成热爱科学、尊重科学、理性地运用科学成果的情感和意识，树立人与自然和谐共生的发展观，形成科学的价值观。

(二) 呈现方式

为体现上述设计思路，教材的呈现方式具有以下特点。

1. 重视与生活经验的联系，创设真实的问题情境，以问题驱动概念的建构

借鉴有意义学习和建构主义学习理论，教材内容的表述不是从概念到概念，而是尽量从生活经验入手，创设真实的问题情境，激发学生的学习兴趣 and 探究欲望，促使学生头脑中产生新知识与原有经验之间的联系，完成概念的建构，同时也理解所学知识的价值。

(1) 每节都从“问题探讨”入手，该栏目问题除出自科学史外，主要是从学生的现实生活中提炼。

(2) 不少章节采用问题串的形式，引导学生步步深入地分析问题，解决问题，建构概念，发展能力。

2. 加强内容的引导性和开放性，促进探究性学习

为促进学生形成主动、探究、合作的学习方式，教材改变传统的注入式写法，也未停留在经典的启发式写法上，而是引导学生提出问题、分析问题，通过各种途径寻求答案，在解决问题的思路和科学方法上加强点拨和引导。

教材的引导性和开放性具体表现在以下几个方面。

(1) 有些问题，不是直接给出答案，而是让学生通过“资料分析”“思考·讨论”“探究·实践”等活动寻求答案。

(2) 有些问题，并未叙述得面面俱到，而是提出要求，让学生自己收集信息。

(3) “探究·实践”的写法重在引导，教材提供背景资料和提示，在材料用具和方法步骤上给学生留有一定开放的空间，引导学生自主设计探究方案，并通过讨论题来引导学生总结和反思。

(4) 介绍生物科学上目前尚未解决的疑难问题或存在的争议，体现科学发展的开放性。

(5) 有些练习题的答案不唯一。

3. 改进教材编写模式，促进学科核心素养的提升

这里所说编写模式是指章和节的版块与栏目的设计和编排方式。每章由章首页、若干节、“本章小结”和“复习与提高”四部分组成。每节一般由“问题探讨”、正文主栏、正文旁栏、“练习与应用”三个版块组成，正文中灵活安排“相关信息”“知识链接”“想象空间”“旁栏思考题”等栏目，有的节后有“思维训练”或课外阅读栏目。

(1) 章首页由标题、引言、题图和配诗组成。前四章引言承上启下，由上一章内容自然过渡到本章要探讨的中心问题，前后章的引言环环相扣，具有浓厚的科学史色彩。后两章的引言注重创设真实的问题情境，由情境生发出本章要探讨的中心问题。题图紧扣主题精选图片，并配以画龙点睛的小诗，烘托氛围，引人入胜，并且启迪学生关于科学本质和科学方法等方面的思考。

(2) 课外阅读栏目包括“科学·技术·社会”“科学家的故事”“生物科学史话”“生物科技进展”“与生物学有关的职业”。五个栏目的数量和功能如下页图（图3）所示。

(3) 节后“练习与应用”包括“概念检测”和“拓展应用”两部分。前者用于巩固对基本概念和原理的理解；后者意在培养知识迁移和发散思维能力。

(4) “本章小结”既对本章重要概念及其内在联系进行归纳和梳理，又对本章在发展学生核心素养方面的价值进行提炼和概括。

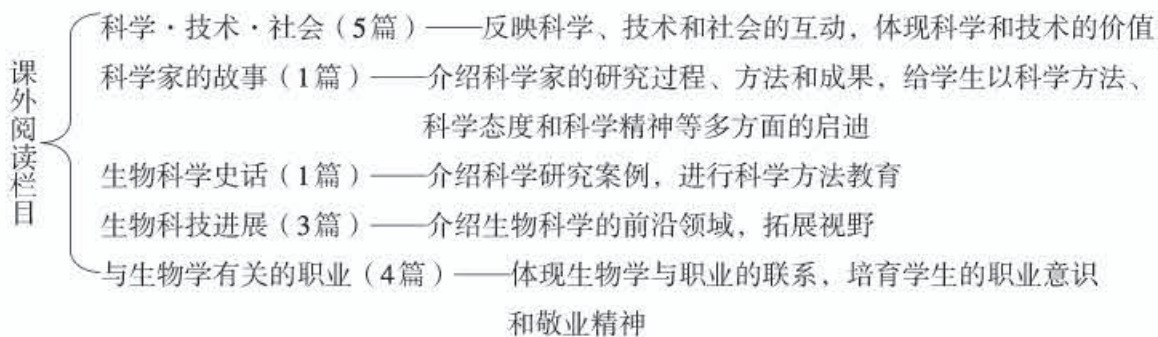


图3 本模块课外阅读栏目

（5）章后“复习与提高”包括“选择题”和“非选择题”两部分。选择题侧重基础知识的检测，非选择题侧重考查学生知识迁移、在新情境中应用所学知识分析和解决问题的能力。章后习题的题量较大，类型丰富，供教师根据学生情况适当取舍。

三、本模块的教学建议

要搞好模块的教学，首先要认真学习课程标准，深入领会其精神实质，理解本课程的四条基本理念——“核心素养为宗旨”“内容聚焦大概念”“教学过程重实践”“学业评价促发展”，全面贯彻落实课程目标——提升学生的生物学学科核心素养。在此基础上，认真钻研教材，理解教材的编写思路，把握好重点和难点；还要了解学生的知识基础、能力水平、兴趣愿望和发展需求，根据本地课程资源的实际情况，创造性地开展教学，并不断总结经验，提高教学效益。

课程标准提出了七条教学建议：“高度关注生物学学科核心素养的达成”；“组织以探究为特点的主动学习是落实生物学学科核心素养的关键”；“通过大概念的学习，帮助学生形成生命观念”；“加强和完善生物学实验教学”；“落实科学、技术和社会相互关系的教育”；“注意学科间的联系”；“注重生物科学史和科学本质的学习”。这七条建议十分重要，适用于高中生物学课程的所有模块，自然也包括本模块。对这七条教学建议的具体内容，这里不再简单重复，老师们可以通过研读课程标准来贯彻落实。下面仅针对本模块的特点以及教学中可能出现的问题提出一些补充建议，供老师们参考。

（一）如何处理本模块与其他模块的关系

对于本模块在整个高中生物学课程中的地位，教师应当有清楚的认识。本模块既有独立的意义和价值（本文第一部分已作介绍），又与其他模块有一定的联系。本模块的教学需要以《分子与细胞》模块为基础，同时又为《生物技术与工程》等选择性必修模块的教学打基础。因此，在本模块的教学中，既要注意利用《分子与细胞》模块的基础，适时提示学生回忆，做到温故而知新，从已有知识提出新问题，又要考虑学习选择性必修模块的需要，在本模块的教学中夯实基础。此外，还应注意“到位而不越位”，有些本应在选择性必修模块中学习的内容，在本模块就不宜过多扩展，如关于基因工程的内容，在《生物技术与工程》模块设有专门章节，在本模块不需要深入讲述。

（二）如何看待和使用教材

这里首先是一个教材观的问题。教学的依据是课程标准。教材是教师实施课程标准所使用的主要课程资源，但不是唯一的资源。对于资源，使用者当然有取舍的权利。教材中的内容（包括知识性内容、活动、讨论题、习题、课外阅读材料等）并不是要求所有学生都必须全部学习的。教师在教学时可以在完成课程标准“内容要求”的基础上，根据实际情况有所取舍，或有所增添，做到因地制宜、因校制宜、因人制宜。

（三）如何确定教学目标

这里所说的教学目标是指学生通过每一节的学习应当达到的具体目标。课程标准阐明了本课程的目标，这是高中生物学课程的总目标。在教学过程中，每一节的教学还应当有更具体的目标。课程目标为制订具体目标指明方向，具体目标为达成课程目标服务。具体目标是否恰当，关乎一节课教学的成败，也影响课程目标的达成。在课程目标的引领下，具体目标的确定首先应当以课程标准为依据，其次要具体分析教材内容。在此基础上，还要根据学生的实际情况，确定教学目标的具体尺度。

以上说的是确定教学目标的一般原则，除此之外，还有一些需要注意的问题。

1. 注意教学目标的生成性

教材中每一节都有“本节聚焦”，教师教学用书中每一节也都列出了教学目标，这些都可以作为教师确定各节教学目标的重要参考，但不等于可以完全照搬。教师可以根据学生情况和教学进程，进行适当的调整和补充。在一定程度上说，教学目标不应该完全是事先预定的，也可以随着教学进程而自然生成。例如，关于伴性遗传，教材的“本节聚焦”是：“什么是伴性遗传？伴性遗传有什么特点？伴性遗传理论在实践中有什么应用？”教材中主要介绍的是人类红绿色盲和抗维生素D佝偻病，如果在教学中发现不少同学想知道除此之外人类还有哪些疾病或其他性状是伴性遗传的，那么，能不能将“列举人类伴性遗传的实例”列入教学目标呢？答案应当是肯定的。

2. 把握教学目标的全面性

同课程目标一样，教学目标原则上也应当指向学科核心素养的全面达成。对每一章节的教学内容，都要从生命观念、科学思维、科学探究和社会责任四个方面去分析其育人价值，进而确定具体教学目标。这里应当注意以下几点。（1）学科核心素养目标的达成是一个逐步发展的过程，不可能靠一两节课一蹴而就，观念的形成、能力的提升要贯穿整个课程的始终，对此教师要做到心中有数，并且进行适当的规划。（2）就一节课而言，在四个学科核心素养目标之间可能会侧重某一个方面，如《生物的进化》一章中，《生物有共同祖先的证据》一节侧重在科学思维的训练，让学生基于证据通过推理得出结论；而《自然选择与适应的形成》一节的知识大多是初中已经学过的，重点应放在观念目标上：强化生物进化观，提升科学价值观和科学本质观。因此，在制订节的教学目标时，要突出重点，不一定面面俱到。（3）有的节很难找出明确的生命观念或社会责任目标，可以当作隐性目标处理，避免牵强附会。（4）在实施过程中，四个方面的学科核心素养应当力求统一在基于真实情境下的问题探究的过程中，实现有机融合。

3. 表述教学目标的具体性

一节课所能达成的教学目标是有限的，因此，教学目标的确定和表述应当明确、具体，切忌过于宽泛。例如，将目标表述为“培养科学思维”或“提升社会责任”，显然过于模糊，这样就会导致教学的盲目性。如果表述为“进行演绎推理”“分析实验数据”或“说出自己如何使用抗生素，以减少耐药菌的产生”等，就比较明确、具体，指向性就较强。

4. 提高教学目标的可检测性

只有将教学目标确定为学生表现出的行为，而不是心理活动，教师才能及时获得教学效果的反馈，进而及时调整教学行为，达成教学目标。因此，教学目标的表述应尽量使用课程标准中列出的行为动词，如“举例说出”“阐明”等，避免使用“理解”“了解”“培养”等词语。有些教学目标还可以将达成目标行为所需要的情境条件一并表述，以提高可检测性。

（四）如何处理探究性学习与有限课时之间的矛盾

同样的概念性内容，教师直接讲授概念与学生通过探究活动来建构概念相比，后者显然需要更多的时间，容易造成课时紧张。怎样看待和处理这一问题呢？首先，应当从以学生发展为本的理念出发，重视探究性学习的重要意义。探究性学习有利于学生概念的建构，会使学生对概念的理解更加深刻；探究性学习的目的不仅是获得知识，而且能更加有效地促进能力的发展和观念、态度的形成。这就是课程标准倡导“以探究为特点的主动学习”的原因。其次，倡导探究性学习并不意味着对其他学习方式一概排斥，对某些教学内容来说，接受式学习仍然是有效的学习方式。例如，关于减数分裂，让学生通过探究活动自主发现减数分裂的过程和特点是非常困难的，先由老师讲清楚这些内容，再让学生观察减数分裂装片，不失为可行的办法。最后，为解决课时紧张的问题，教师应当统筹规划，并且积极应用多媒体课件等现代教学技术，提高单位时间内的教学效益。

（五）如何处理科学史内容与基本概念和原理的关系

本模块的特点是以人类对基因的本质、功能及其现代应用的研究历程为主线展开的，涉及科学史的内容很多。从内容篇幅上看，有时科学史的内容要多于基本概念和原理的表述。是不是科学史的内容比基本概念和原理更重要呢？教学中应该如何把握二者之间的关系？首先，二者不是对立和割裂的，而是统一的。介绍或引导学生分析科学史，主要目的之一就是要促进学生对知识的主动建构，有利于学生更好地掌握基本概念和原理。例如，《DNA是主要的遗传物质》一节，仅通过实验证据和RNA病毒的内容，也能让学生理解DNA是主要的遗传物质，但是学生可能会觉得枯燥，难以得到最佳效果。教材中先介绍“对遗传物质的早期推测”，让学生知道很长一段时间内人们竟认为遗传物质是蛋白质，而不是DNA，这样就会产生强烈的求知欲望，进而乐于分析相关实验证据，得出结论。其次，要将科学史当作供学生分析和讨论的材料，而不要让学生将科学史本身作为基础知识来记忆。这毕竟不是生物科学史课程，不能“为史而史”。最后，应及时对基本概念和原理进行归纳和梳理，不要让它们淹没在科学史的“海洋”中。

以上是在课程标准所作教学建议的基础上，针对教学中还可能遇到的问题和本模块的特点提

出的补充建议，在本书后续内容中还有各章节的具体建议，供老师们参考。老师们在教学中还会遇到许多新问题，需要在实践中探索解决的办法。相信大家会创造出许多新鲜的经验，期待着与大家进行更深入的交流。

表1 本模块主要栏目一览表

栏目类别	标题（或内容）	在教科书中的位置
问题探讨	结合本节内容营造学习情境	每一节
探究·实践	性状分离比的模拟实验	第1章第1节
	观察蝗虫精母细胞减数分裂装片	第2章第1节（一）
	建立减数分裂中染色体变化的模型	第2章第1节（二）
	制作DNA双螺旋结构模型	第3章第2节
	低温诱导植物细胞染色体数目的变化	第5章第2节
	调查人群中的遗传病	第5章第3节
	探究自然选择对种群基因频率变化的影响	第6章第3节（一）
	探究抗生素对细菌的选择作用	第6章第3节（一）
思考·讨论	分析孟德尔获得成功的原因	第1章第2节
	分析减数分裂中基因和染色体的关系	第2章第2节
	摩尔根解释的验证	第2章第2节
	分析人类红绿色盲	第2章第3节
	预测红绿色盲基因的遗传	第2章第3节
	证明DNA是遗传物质的实验	第3章第1节
	DNA结构模型的构建	第3章第2节
	证明DNA半保留复制的实验	第3章第3节
	分析基因与DNA的关系	第3章第4节
	分析脱氧核苷酸序列与遗传信息的多样性	第3章第4节
	遗传信息的转录过程	第4章第1节
分析密码子的特点	第4章第1节	

续表

栏目类别	标题（或内容）	在教科书中的位置
思考·讨论	分析不同类型细胞中DNA和mRNA的检测结果	第4章第2节
	柳穿鱼花的形态结构和小鼠毛色的遗传	第4章第2节
	镰状细胞贫血形成的原因	第5章第1节
	结肠癌发生的原因	第5章第1节
	基因检测的利与弊	第5章第3节
	化石证据对共同由来学说的支持	第6章第1节
	比较三种脊椎动物的前肢和人的上肢骨骼	第6章第1节
	从细胞和分子水平看当今生物的共同特征	第6章第1节
	分析适应的相对性	第6章第2节
	运用自然选择学说解释适应的形成	第6章第2节
	分析生物进化观点对人们思想观念的影响	第6章第2节
	用数学方法讨论基因频率的变化	第6章第3节（一）
	隔离在物种形成中的作用	第6章第3节（二）
	分析生物多样性的形成	第6章第4节
思维训练	设计实验方案	第1章第1节
	综合概括	第2章第1节（二）
	提出假说	第4章第2节
	分析相关性	第5章第1节
科学方法	假说—演绎法	第1章第1节
	自变量控制中的“加法原理”和“减法原理”	第3章第1节
科学·技术·社会	人类辅助生殖技术	第2章第1节（二）
	DNA指纹技术	第3章第2节
	基因工程的应用	第4章第2节

续表

栏目类别	标题（或内容）	在教科书中的位置
科学·技 术·社会	精准医疗	第5章第1节
	理想的“地质时钟”	第6章第1节
科学家的故事	染色体异常理论的奠基人摩尔根	第2章第2节
生物科学史话	遗传密码的破译	第4章第1节
生物科技进展	生物信息学及其应用	第3章第1节
	单细胞基因组测序	第3章第4节
	基因组编辑	第5章第1节
与生物学有 关的 职业	育种工作者	第1章第2节
	测序工程师	第3章第4节
	遗传咨询师	第5章第4节
	化石标本的制作人员	第6章第1节

表2 本模块教学参考课时数（36课时，其中机动课时6）

教学内容	参考课时数
第1章 遗传因子的发现	4
第1节 孟德尔的豌豆杂交实验（一）	2
第2节 孟德尔的豌豆杂交实验（二）	2
第2章 基因和染色体的关系	6
第1节 减数分裂和受精作用	4
一 减数分裂	(3)
二 受精作用	(1)
第2节 基因在染色体上	1
第3节 伴性遗传	1
第3章 基因的本质	5
第1节 DNA是主要的遗传物质	1
第2节 DNA的结构	2

续表

教学内容	参考课时数
第3节 DNA的复制	1
第4节 DNA通常是有遗传效应的DNA片段	1
第4章 基因的表达	4
第1节 基因指导蛋白质的合成	2
第2节 基因表达与性状的关系	2
第5章 基因突变及其他变异	5
第1节 基因突变和基因重组	2
第2节 染色体变异	2
第3节 人类遗传病	1
第6章 生物的进化	6
第1节 生物有共同祖先的证据	1
第2节 自然选择与适应的形成	1
第3节 种群基因组成的变化与物种的形成	3
一 种群基因组成的变化	(2)
二 隔离在物种形成中的作用	(1)
第4节 协同进化与生物多样性的形成	1

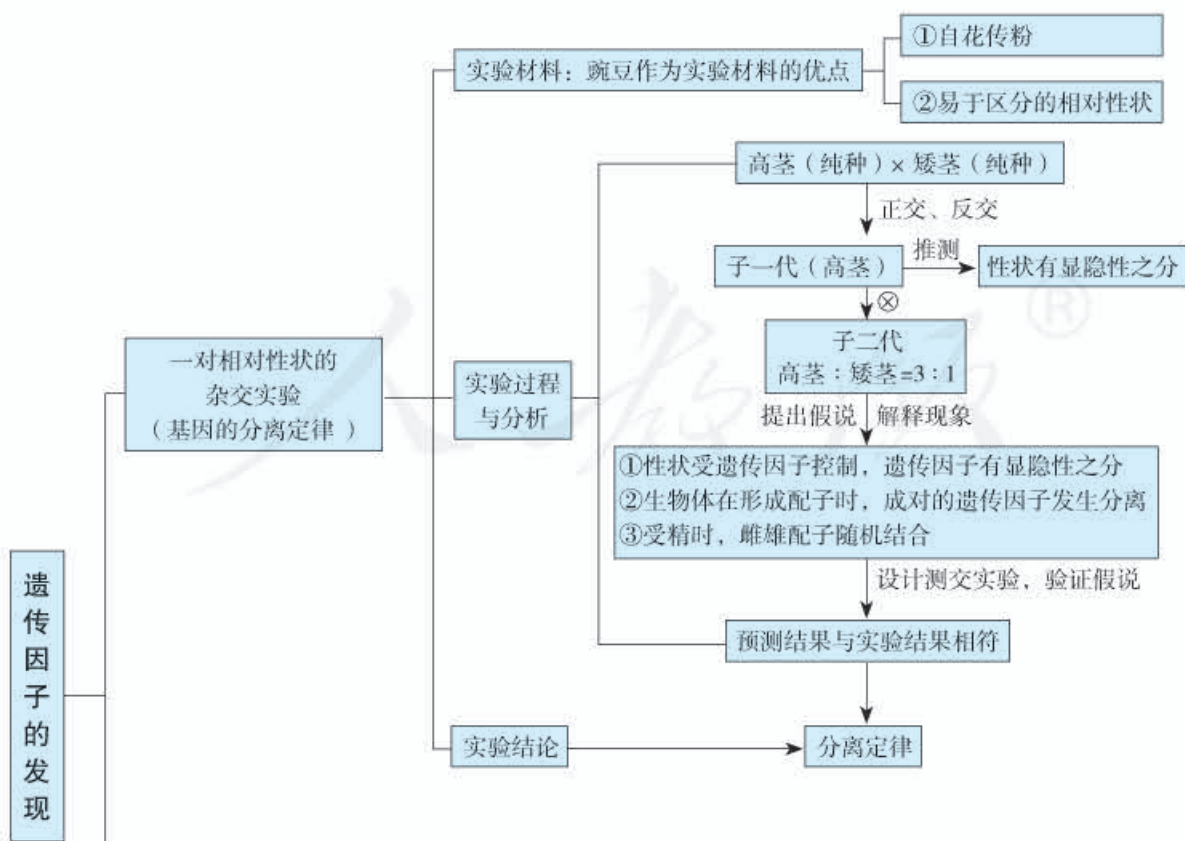
人教版®

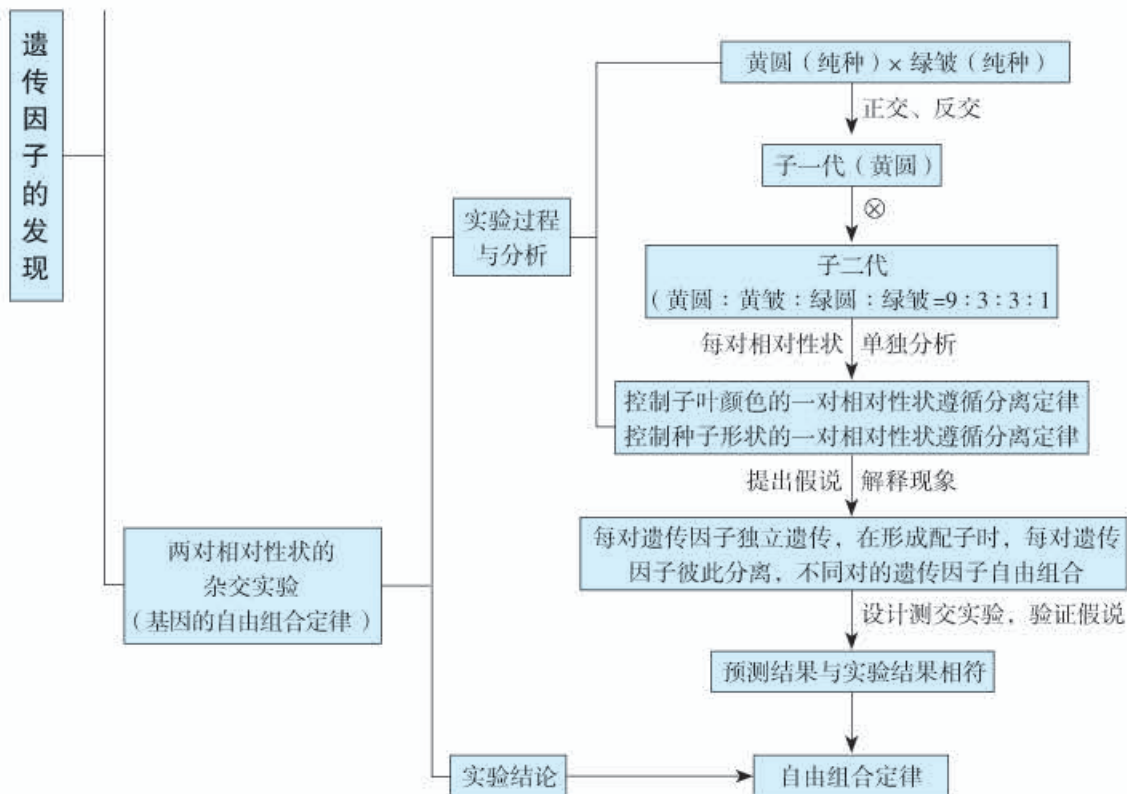
第1章 遗传因子的发现

人类对遗传现象的科学解释，最早是孟德尔从豌豆杂交实验中总结出来的。他对遗传因子的发现和对遗传规律的总结，使自然科学中诞生了一门新的学科——遗传学。本章内容将引导学生沿着人类对遗传物质的认识过程来探索遗传的奥秘。这不仅与“杂交水稻之父”袁隆平院士的科学家访谈相呼应，还是对初中孟德尔的豌豆杂交实验内容的深入，体现了假说—演绎法在揭示遗传规律中的作用，为学生进一步循着科学家的足迹探索遗传的本质打基础。

本章教材分析

一、内容结构





二、编写思路

课程标准的有关要求：

(1) 内容要求

概念3 遗传信息控制生物性状，并代代相传

3.2.3 阐明有性生殖中基因的分离和自由组合使得子代的基因型和表型有多种可能，并可由此预测子代的遗传性状

(2) 教学提示

模拟植物或动物性状分离的杂交实验。

(3) 学业要求

运用统计与概率的相关知识，解释并预测种群内某一遗传性状的分布及变化（科学思维、科学探究）。

本章内容特点：基于孟德尔的豌豆杂交实验结果，通过“假说—演绎”的思维过程，解释生物的遗传现象及规律。

(一) 章首页设计意图

章首页的设计有三点考虑：(1) 图片设计，在孟德尔数学计算手迹的章题图上，叠加着孟德尔年轻时的肖像，古旧的淡黄底色，无形中给画面增添了几分历史的凝重。这样的画面很容易将学生带入一百多年前的意境中。(2) 章首页引言中的问题“遗传因子是什么？”“基因为什么曾

叫遗传因子？”，可以将本章提及的遗传因子与学生已知的基因名词挂钩，激发学生的兴趣，以及探求遗传因子背后故事的心理。（3）简洁的小诗不仅点出了本章的主要内涵，即孟德尔发现遗传规律的科学方法、科学态度、探索精神，还引领学生从孟德尔的豌豆杂交实验开始，循着科学家的足迹，探索遗传的奥秘。

（二）本章内容安排特点

本章内容包括两节：第1节《孟德尔的豌豆杂交实验（一）》、第2节《孟德尔的豌豆杂交实验（二）》。在每一节，教材均以孟德尔发现遗传因子的实验过程为主线，从现象到本质，层层深入地展开。首先讲述孟德尔的杂交实验方法和观察到的实验现象（发现问题），接着介绍孟德尔对实验现象进行的分析（提出假说），然后叙述孟德尔对实验现象解释的验证（验证假说），最后总结出分离定律和自由组合定律（总结规律）。由于第1节介绍一对相对性状的杂交实验及分离定律，第2节介绍两对相对性状的杂交实验及自由组合定律，因此，第1节内容是第2节内容的基础。这样的安排，既反映了孟德尔（也是人类）认识遗传物质的过程，也符合学生认识事物的规律，便于学生重演孟德尔的探索过程，培养科学思维和领悟科学方法。在呈现方式上，本节还具有以下特点。

1. 问题引领，发展学生的科学思维

“问题探讨”意在引发学生的认知冲突，引导学生利用已有的知识，对融合遗传的观点进行判断，由此启动新课的学习；正文中的问题串意在引导学生层层深入地发现和提出问题，在分析和解决问题的过程中建构知识框架；旁栏思考题，能发散学生的思维，帮助学生建立已有知识与新问题的联系，以及生物学与其他学科（如数学）的联系，深入领悟科学方法；“思维训练”可让学生在解决实际问题的过程中，加深对分离定律的理解，培养学生应用生物学知识分析和解决生产生活问题的能力。

2. 图文结合，丰富学生的感知

教材设置了多幅实物照片，如不同花色的豌豆花、不同形状的豌豆种子、山柳菊、患条锈病的小麦等，这有利于学生认识生物的不同性状，激发学习兴趣；豌豆植株和豌豆性状的示意图为绘制图，这些图片不但突出细节，利于学生观察，帮助学生理解教材中关于不同性状的内容，而且使学生从中体会“建立新概念、将文字语言转化成符号语言”在生物学研究中的作用。

3. 栏目多样，提升学生的思维品质

教材中设置了多种栏目，“性状分离比的模拟实验”可以促进学生对孟德尔假说的理解；“科学方法”介绍了假说—演绎法，帮助学生学习本模块最重要的一种科学方法，培养科学思维；“思维训练”让学生根据问题设计方案解决生产问题，训练科学思维。“与生物学有关的职业”使学生了解育种工作者的职业要求和工作内容，增加学习遗传学的兴趣，同时渗透敬业精神。

三、核心素养侧重点

通过本章的学习，应注重发展学生以下素养。

（一）生命观念

本章内容可发展学生的生命的物质观、生物进化观等。例如，基于生物体内的遗传因子（基因）来分析和阐明孟德尔的豌豆杂交实验，体现了生物遗传的物质性，激发学生探究遗传因子是什么物质，它是如何控制生物性状的。再如，在阐明基因的分离定律和自由组合定律的过程中，形成“有性生殖中基因的分离和重组导致双亲后代的基因组合有多种可能”的重要概念，利于学生理解生物的变异及生物的多样性，为形成生物进化观打基础。

（二）科学思维

基于孟德尔的豌豆杂交实验，学生在“观察、分析实验结果→发现问题→作出解释（提出假说）→演绎推理→实验验证→总结规律”的过程中，可以培养归纳与演绎的科学思维，体会假说—演绎法，学习如何运用假说—演绎法进行科学探究。

（三）科学探究

通过了解孟德尔的生平和追溯孟德尔发现遗传规律的过程，体会假说—演绎法的研究思路。学习正确地选用实验材料、运用数学统计方法、提出新概念以及应用符号体系表达概念。培养学生敢于质疑的科学精神、缜密的科学思维、大胆的创新和想象，以及对科学的热爱和锲而不舍的探索精神。基于“思维训练”和“练习与应用”中“拓展应用”的问题，训练学生应用遗传规律设计实验方案、解决遗传学问题的能力。

（四）社会责任

分离定律和自由组合定律在生物的遗传中具有普遍性，学生可以依据遗传规律设计动植物育种过程，预测杂交后代的遗传性状，特别是预测某些遗传病的患病概率。例如，教材中“设计实验方案”的思维训练、“孟德尔遗传规律的应用”“复习与提高”等均设置了真实的问题情境，可训练学生基于遗传规律对遗传现象作出理性解释和判断、解决生产生活问题的能力，有利于关爱生命意识、健康生活方式的养成。

四、与学生经验的联系

亲代与子代之间具有许多相似的特征（性状），同时又不完全相同。这些随处可见的遗传和变异现象，既利于激发学生学习的兴趣，又为学生分析遗传学问题打基础。

学生在初中已经学习了生物的遗传与变异，知道生物的性状有显隐性之分、基因控制生物的性状、基因通过亲代产生的生殖细胞传递给子代等知识，但只是知其然而不知其所以然。学生会质疑“为什么具有相对性状差异的双亲，后代会有复杂的表现？”此外，学生学习必要的数学知识，如有关比和比值的知识、有关二项式乘积的知识，也是学习本章必不可少的基础。

随着科学技术的发展，生物学研究的新成果、新技术屡见报道，通过报刊、广播、电视、网络等多种媒体，学生可以了解许多新知识。例如，从对克隆动物的介绍中，可以知道细胞核中的

遗传物质与动物的性状有密切关系；从转基因耐储藏番茄、转基因抗虫棉、能生产人类蛋白质的转基因动物的实例中，认识到基因与性状的关系，等等。

五、与其他章的联系

本章讲述的是一百多年前孟德尔对遗传现象的推测，以及根据推测总结出的遗传规律。但推测是否正确？遗传规律的细胞学基础是什么？分子基础是什么？这些问题需要后续的研究成果去验证、解释和发展，因此，本章内容与其他章都有密切联系。例如，第2章《基因和染色体的关系》揭示的是遗传规律的细胞学基础；第3章《基因的本质》揭示的是遗传规律的分子生物学基础；第4章《基因的表达》揭示的是基因控制性状的机制；第5章《基因突变及其他变异》是从分子生物学和细胞学的角度解释性状的变异；第6章《生物的进化》是从群体的角度讲述遗传和变异在生物进化中的作用。总之，既然本模块是按照遗传学的发展历程编写的，那么抓住这条主线，就可以像串珠一样找出各章之间的有机联系。

人教版®

第1节 孟德尔的豌豆杂交实验（一）

一、教材分析

（一）教学目标

1. 阐明分离定律，并能运用分离定律解释或预测一些遗传现象。
2. 通过对孟德尔一对相对性状杂交实验的分析，培养归纳与演绎、抽象与概括的科学思维，体会假说—演绎法和孟德尔的创新思维。
3. 认同在科学探究中正确地选用实验材料、运用数学统计方法、提出新概念以及应用符号体系表达概念的重要性。

（二）教学重点和难点

1. 教学重点

- （1）对分离现象的解释及验证，分离定律。
- （2）假说—演绎法。

2. 教学难点

- （1）对分离现象的解释。
- （2）假说—演绎法的研究思路。

（三）编写思路

本节的“问题探讨”通过红、蓝墨水混合的比喻，来说明融合遗传的含义，其意图是引导学生依据日常生活经验类比遗传现象，暴露学生的错误概念，引发学生的认知冲突，以此产生融合遗传是否合理的疑问。在问题中，教材引导学生分析红花豌豆与白花豌豆杂交后，子代的豌豆花会是什么颜色。这是本节将要学习的豌豆的7对相对性状之一，这样就将“问题探讨”情境中创设的问题与本节内容联系在一起，为进一步理解本节所述的孟德尔的颗粒遗传观点埋下伏笔。

教材在节引言中就回应了“问题探讨”中融合遗传的观点，说明融合遗传是错误的，而其中有孟德尔的突出贡献；然后介绍了孟德尔的生平（如进修了自然科学和数学）及孟德尔在多种植物的杂交实验中，成功地通过豌豆杂交实验发现了遗传规律。这使学生初步认识到孟德尔的伟大成就，以及孟德尔发现生物遗传的规律并不是偶然的。

接着，教材介绍了豌豆用作遗传实验材料的优点。例如，豌豆一般是纯种，有易于区分的性状等。这些内容有助于学生认识豌豆的特征，并认同合适的实验材料对科学研究的重要性。

对于孟德尔豌豆杂交实验的分析，教材按照孟德尔的探索过程，从现象到本质，层层深入地展开。这样设计的意图是让学生在重演孟德尔分析豌豆杂交实验的思维过程中，构建分离定律，

培养学生归纳与演绎的科学思维，体会假说—演绎法在遗传学中的应用。

对孟德尔豌豆杂交实验的叙述，教材设计了问题串，引导学生在层层深入地分析和解决问题的过程中构建分离定律。例如，“为什么子一代都是高茎而没有矮茎的呢？”“为什么子一代没有矮茎的，而子二代又出现了矮茎的呢？”“子二代中出现3:1的性状分离比是偶然的吗？”等问题，可引导学生通过大胆想象、严谨推理，初步感知遗传因子在体细胞中成对存在，并在有性生殖的过程中分离等，同时还培养了学生的问题意识。

在讲述孟德尔研究方法的基础上，教材不失时机地提出要求，让学生主动参与对问题的分析。例如，让学生根据孟德尔的假说，以合作的方式讨论高茎豌豆与矮茎豌豆杂交实验的分析图解；在验证实验中，让学生根据孟德尔的假说，自己预测测交实验的结果等。这样编排教材，让学生参与分离定律的形成过程，训练科学思维，体会科学探究的基本思路和方法。

教材中设置了“性状分离比的模拟实验”，其目的是通过可操作、可观察的实验过程和现象，模拟抽象的遗传因子的分离和配子的随机结合，从而体验孟德尔假说的要点及其正确性；“思维训练”“练习与应用”中的部分题目以动植物的杂交实验创设问题情境，使学生在应用分离定律解决问题的过程中进一步理解分离定律，并感受到生物学概念、原理、规律在生产中的应用，利于培养学生的社会责任。

特别提示

教材将豌豆7对相对性状中的种皮颜色改为花的颜色，作出这样的修改是为了与“问题探讨”中的情境相呼应。实际上，在7对相对性状中，其他6对不变，这一对用“花的颜色”或“种皮颜色”都可以。根据孟德尔论文的记载：“种皮或为白色，而白花总是与这个性状相关；或灰色、灰褐色、皮革褐色、有或无堇紫色斑点，在这种情况下，旗瓣的颜色为堇紫色，翼瓣为紫色，而叶腋中的叶梗带红色。”不仅如此，孟德尔在论文中还描述：“试验3 种皮色——929株中有705株产生紫红色花和灰褐色种皮，224株为白花和白色种皮，其比例为3.15:1。”由此可见，这组数据（705:224）用于“花的颜色”或“种皮颜色”都是可以的。

二、教学建议

本节的教学可基于由表及里的原则，从孟德尔豌豆杂交实验的研究方法与数据分析开始，借助教材中的问题串，逐步引领学生进行思考和讨论，通过归纳与演绎，最终构建分离定律。建议第1课时从章首页引入到标题“对分离现象的解释”，第2课时从回顾孟德尔的假说引入“性状分离比的模拟实验”到本节结束。具体教学实施建议按如下流程展开。

（一）基于已有的生物学概念引入本章

教师可带领学生回顾初中已学过的遗传学概念，再结合章引言引入本章。从遗传现象到性状再到遗传因子、基因的概念，引出遗传由遗传物质决定的生命的物质观，继而点明本章探究的主要问题，即性状与遗传因子的关系。

（二）暴露错误概念，引发认知冲突

用红、蓝墨水混合类比融合遗传，由学生的感性认识引发学生的认知冲突，用“问题探讨”中“当红花豌豆与白花豌豆杂交后，子代的豌豆花会是什么颜色？”的问题引发学生讨论，进行理性思考，从而进入本节的学习。

（三）了解孟德尔的生平，铺垫杂交过程与相关概念

引导学生阅读“本节聚焦”，明确学习任务。通过学生阅读并表述孟德尔的生平，以及豌豆用作遗传实验材料的优点，来铺垫实验研究的背景；充分利用教材中的插图，举例说明“相对性状”等遗传学的基本概念。

（四）问题串引领，运用证据突破难点

以教材中“一对相对性状的杂交实验”为学习起点，由对实验结果和数据的分析设计问题串，并结合教材中已有的问题串引导学生分析，由表及里地引发学生的理性思考，在对实验现象和事实的分析中建构遗传学概念。

通过对 F_2 表型的分析，引导学生认识到亲本的矮茎性状在 F_1 中并未融合也未消失，从而合理地提出遗传因子控制性状的颗粒遗传假说；基于 F_2 中出现的性状分离现象，推测 F_1 中必然存在两种分别控制高茎、矮茎性状的遗传因子，继而提出遗传因子在体细胞中成对存在的假说；由教材中“豌豆在自然状态下一一般都是纯种”的表述，使学生明确亲本的高茎与矮茎都为纯合子，可分别用符号DD与dd表示它们的遗传因子，通过回顾亲本杂交产生 F_1 的过程，引导学生推理在形成配子时，成对的遗传因子发生分离的假说；组织学生运用数学方法，分组讨论 F_1 产生配子的种类，以及这些配子如何结合才能得到 F_2 中高茎：矮茎=3：1的结果，建立雌雄配子随机结合形成子代的假说。达到由表及里、由对实验结果和数据进行分析，进而提出合理的假说并作出解释的理性思维过程，突破本节的难点。

（五）模拟实验再现假说内容

建议教师带领学生厘清模拟实验与孟德尔豌豆杂交实验的关系，尤其是在模拟实验中怎样体现 F_1 配子的形成和受精时配子的随机结合等关键过程，使学生明确 F_2 的性状分离比与 F_1 配子的形成和受精时配子的随机结合密切相关。通过小组数据与大组（或班级）数据的统计和对比，使学生认同统计样本数量对实验结果的影响，从而明确实验数据与理论数据的关系。通过模拟实验让学生重温孟德尔的假说，同时提出新问题： F_1 理论上会产生比例相同的两种配子，如何用实验证明？继而引导学生阅读教材“一种正确的假说仅能解释已有的实验结果是不够的，还应该能够预测另外一些实验的结果。如果实验结果与预测相符，这个假说就得到了验证。”从而说明测交实验的意义。

（六）基于测交实验分析、归纳分离定律，提炼假说—演绎法

对于测交实验的分析，建议教师采取以下策略。

1. 策略一 由于配子无法表现出高或矮的性状，而个体可以表现出，因此提出疑问：含有什么遗传因子的配子与 F_1 配子结合后，形成的个体只表现出 F_1 配子所决定的性状？再结合对遗传因子的分析，概括出测交的概念，继而说明遗传因子的分离发生于 F_1 形成配子时，并归纳分离定律的内容。

2. 策略二 提供 F_1 自交、 F_1 与亲本之一杂交的方案，并提出问题：能够证明 F_1 是杂合子的实验方案是哪一个？为什么？学生分组思考和讨论，说明孟德尔设计测交实验的创新之处，最终归纳出分离定律的内容。

完成分离定律概念的教学后，建议教师带领学生回顾“本节聚焦”的问题，实现学习后的反思，从中提炼假说—演绎法各环节的要点，并与归纳法进行对比，总结假说—演绎法的研究思路。

（七）基于小组的“思维训练”，达成学科素养，提升社会责任

建议教师带领学生认真阅读“思维训练”的材料，以开紫花的植株自交后 F_1 的数据分析为切入点，引发学生思考并提出判断紫花与白花显隐性关系的问题，继而提出“怎样才能获得开紫花的纯种植株呢？”的问题，再以小组合作的形式设计实验方案，并进行交流，完成实验设计，同时结合花卉的栽培实践，提升社会责任。

三、“探究·实践”指导

性状分离比的模拟实验

北京市汇文中学 庞 玥

“性状分离比的模拟实验”，可以帮助学生形象地认识到成对的遗传因子在形成配子时发生分离，受精时雌雄配子随机结合，以及性状之间的数量关系，从而体验孟德尔假说的要点。在模拟实验中，要将模型置于与原型相似的条件下进行，才能使从模型上获得的信息可靠而有效地类推到原型上去。孟德尔遗传实验需要满足的条件有：（1）子一代个体形成的配子数量相等且活力相同；（2）雌雄配子结合的机会相等；（3）子二代不同基因型的个体存活率相等；（4）遗传因子D对d为完全显性，且这种显隐性关系始终是一致的；（5）观察的子代样本数量足够大。因此，本模拟实验的条件是要尽量满足上述要求，才能确保模拟实验有意义。

（一）材料准备

教材中的甲、乙两个小桶分别代表雌、雄生殖器官，甲、乙小桶内的彩球分别代表雌、雄配子。针对本实验，既可以使用小桶和彩球，也可以使用其他容易获取、方便储存的材料，如干净的空矿泉水瓶和两种颜色的彩色玻璃球、有盖的塑料盒和黑白两色的围棋棋子，等等。选择时要考虑代表生殖器官的材料和代表配子的材料之间的大小比例关系，代表生殖器官的材料最好采用圆柱形容器以便于充分混合，代表配子D和d的材料要易于区分，避免造成误差。

（二）操作方法

本实验的操作比较简单，重点是体会模拟实验中各个部分、各个步骤模拟的是什么。在操作过程中，首先要让学生理解为什么要随机抓取，并在操作中注意。其次，抓取的次数要足够多，并在每次结束时及时记录。

（三）教学组织

1. 教师先组织学生阅读教材中的方法步骤，思考下列问题。

(1) 甲、乙两个小桶分别代表什么？两种颜色的彩球分别代表什么？

(2) 分别从两个桶内随机抓取一个彩球模拟什么过程？将两个彩球组合在一起模拟什么过程？

(3) 为什么要重复做30次以上？

(4) 要使模拟实验的结果更能反映真实情况，应该怎样做？

2. 教师组织学生分组实验，分组后确定分工。例如，可以3人一组，两位同学分别负责一个小桶，从中随机抓取彩球，第3位同学负责记录并监督。

3. 教师引导学生设计记录实验数据的表格，可参考表1-1。

表 1-1 性状分离比的模拟实验记录表

次数	甲	乙	组合
1			
2			
3			
4			
5			
.....			
29			
30			
合计次数	D_次 d_次	D_次 d_次	DD_次 Dd_次 dd_次
统计数量比	D : d=	D : d=	DD : Dd : dd=

4. 教师要组织学生对数据进行统计分析，先统计每个小组的数据，然后利用预先设计好的Excel表格将全班各组的实验数据汇总，有条件的还可以将各班数据汇总成年级数据。引导学生将每组的实验结果与全班、年级的实验结果比较，思考统计的样本数量与统计结果准确性之间的关系，从而认识到增大统计的样本数量可以减少实验误差。再与理论值比较，与孟德尔的豌豆杂交实验的数据比较，帮助学生认识到只有获得大量的样本，统计大量的杂交后代，获得的性状分离比的实际比值才会更接近理论值，体会运用数学统计方法分析孟德尔杂交实验数据的价值和意义。

(四) 注意事项

1. 抓取彩球时，不要挑选，可以背过脸或眼睛看着别处，保证抓取的随机性。
2. 抓取的彩球一定要放回原来的小桶内，以保证小桶内两种颜色的彩球数量相等。
3. 每次抓取彩球前，一定要摇匀。

(五) 拓展方案

根据学生情况，可对此模拟实验的难度和内容进行适当的调整。例如，进行两对相对性状遗传的“性状分离比的模拟实验”，体会遗传因子分离的过程、配子随机结合的过程以及性状之间的数量关系，从而体验孟德尔假说的要点。

用双格密封罐代表亲本的生殖器官；双格密封罐中贴有不同字母的棋子代表独立的遗传因子；双格罐的每一格中两种数量相等的棋子代表成对的遗传因子；从双格罐的两个格子中分别随机抓取的棋子组合在一起的过程，模拟决定同一性状的成对的遗传因子彼此分离、决定不同性状的遗传因子自由组合形成配子的过程；将取自两个双格罐的棋子组合在一起的过程，模拟雌雄配子随机结合的过程。

1. 材料用具

不同颜色的双格密封罐2只（如下图所示），分别标记♂、♀；分别贴有Y、y、R、r标签的黑色棋子各10个，白色棋子各10个；记录用的纸和笔。



图1-1 密封罐

2. 方法步骤

(1) 在标记“♂”的罐中放入带有4种标签的黑色棋子，将贴有Y、y标签的放在一个格子中，贴有R、r标签的放在另一个格子中；在标记“♀”的罐中放入带有4种标签的白色棋子，将贴有Y、y标签的放在一个格子中，贴有R、r标签的放在另一个格子中。

(2) 摇动双格罐，使每个格子中的棋子充分混合。

(3) 先从标记“♂”的罐的两格中分别随机抓取一个棋子，组合在一起，记录两个棋子上的字母组合，即雄配子的基因组成；再从标记“♀”的罐的两格中分别随机抓取一个棋子，组合在一起，记录两个棋子上的字母组合，即雌配子的基因组成。将取自两个双格罐的黑白棋子组合在一起，记录4个棋子上的字母组合，即子代的基因组成。

(4) 将抓取的黑色棋子放回标记“♂”罐的原格中，将抓取的白色棋子放回标记“♀”罐的原格中，充分摇匀。

(5) 按步骤(3)、(4)重复做30次以上。

3. 结果和结论

(1) 统计各组的实验结果

雌配子和雄配子有几种？每种配子的数量是多少？计算雌配子或雄配子中各类型之间的数量比。设计表格，记录实验结果，可参考表1-2。

表1-2 雌雄配子的基因组成及数量比的模拟实验记录表

F ₁ 的配子	基因组成	次数	数量比
雌配子			
雄配子			

子代的基因型和表型有几种？每种基因型和表型的数量是多少？计算各种基因型之间和表型之间的数量比。设计表格，记录实验结果，可参考表1-3。

表1-3 性状分离比拓展实验记录表

F ₂ 的表型	F ₂ 的基因型	次数	数量比	合计	
				次数	数量比
黄色圆粒					
黄色皱粒					
绿色圆粒					
绿色皱粒					

(2) 统计全班的实验结果

分别计算雌配子、雄配子各类型之间的数量比和各种基因型之间、表型之间的数量比。

可引导学生分析统计的样本数量与统计结果准确性之间的关系。将全班各组的实验数据汇总，也可进一步将各班数据汇总成年级数据，将每组的实验结果与全班、年级的实验结果比较，从而认识到增大统计的样本数量可以减少实验误差。

四、答案和提示

(一) 问题探讨

1. 粉色。按照融合遗传的观点，双亲的遗传物质会在子代体内发生混合，子代表现出介于双亲之间的性状，即红色和白色的混合色——粉色。

2. 不同意。因为自然界的遗传现象并不是融合遗传的结果。例如，红花豌豆与白花豌豆杂交后，其后代仍出现红花或白花；再例如，人的性别遗传说明控制男女性别的遗传物质没有发生混合。

提示：这是一道开放性问题，目的是引导学生观察、分析身边的遗传现象，学生通过对遗传实例的分析，辨析融合遗传的观点是否正确。有些学生可能举出的实例是多个遗传因子控制生物性状的现象（如人的身高等），从而产生疑惑，教师对此不用过多解释，只要引导学生认真思考，积极探讨，带着问题或疑惑投入学习即可。

(二) 探究·实践

1. 与每个小组的实验结果相比，全班总的实验结果更接近预测的结果，即彩球组合类型数量比 $DD:Dd:dd=1:2:1$ ，彩球代表的显性与隐性类型的数量比为 $3:1$ 。因为实验统计的样本数量越大，越接近统计规律。

如果孟德尔当时只对 F_2 中10株豌豆的性状进行统计，那么他很难正确地解释性状分离现象。因为实验统计的样本数量足够大，是孟德尔能够正确分析实验结果的前提条件之一。只对10株豌豆的性状进行统计，会出现较大的误差。

2. 合理。因为甲、乙小桶内的彩球分别代表孟德尔杂交实验中的雌、雄配子，从两个桶内分别随机抓取一个彩球进行组合，实际上是模拟雌雄配子的随机结合，统计的样本数量也足够大，出现了 $3:1$ 的结果。但孟德尔提出的假说是否正确还需要实验来验证。

(三) 思维训练

提示：将获得的紫花植株连续自交几代，即将每次自交后代的紫花植株选育后再进行自交，直至自交后代中不再出现白花植株为止。具体过程可用以下图解表示。



（四）练习与应用

概念检测

1. (1) × (2) ×

2. A

3. (1) 白色 黑色

(2) 性状分离 白毛羊为杂合子，杂合子自交时会出现性状分离。即雌雄白毛羊均可形成含有黑毛遗传因子的配子，雌雄配子随机结合，会产生黑毛羊。

拓展应用

1. (1) 在 F_1 水稻细胞中含有一个控制支链淀粉合成的遗传因子和一个控制直链淀粉合成的遗传因子。在 F_1 形成配子时，两个遗传因子分离，分别进入不同的配子中，含支链淀粉遗传因子的配子合成支链淀粉，遇碘变橙红色；含直链淀粉遗传因子的配子合成直链淀粉，遇碘变蓝黑色，其比例为1:1。

(2) 分离定律。即在 F_1 形成配子时，成对的遗传因子发生分离，分离后的遗传因子分别进入不同的配子中。

(3) 2。

2. (1) 将被鉴定的栗色公马与多匹白色母马配种，这样可在一个季节里产生多匹杂交后代。

(2) 杂交后代可能有两种结果：一是杂交后代全部为栗色马，此结果说明被鉴定的栗色公马很可能是纯合子；二是杂交后代中既有白色马，又有栗色马，此结果说明被鉴定的栗色公马为杂合子。

3. 提示：选择适宜的实验材料是确保实验成功的条件之一。孟德尔在遗传杂交实验中，曾使用多种植物如豌豆、玉米、山柳菊做杂交实验，其中豌豆的杂交实验最为成功，因此，他发现了遗传规律。这是因为豌豆具有适于研究杂交实验的特点。例如，豌豆严格自花传粉，在自然状态下是纯种，这样确保了通过杂交实验可以获得真正的杂种；豌豆花大，易于做人工杂交实验；豌豆具有稳定的易于区分的性状，便于观察和统计实验结果。

4. 提示：凯库勒提出苯分子的环状结构、原子核中含有中子和质子的发现过程等，都是通过假说—演绎法得出结论的。19世纪以前科学家对遗传学的研究，多采用从实验结果出发提出某种理论或学说。而假说—演绎法，是从客观现象或实验结果出发，提出问题，作出假设，然后设计实验验证假说的研究方法，这种方法的运用促进了生物科学的研究，使遗传学由描述性研究进入理性推导和实验验证的研究阶段。

五、背景资料

（一）孟德尔发现遗传规律的背景资料

1. 当时研究生物遗传的状况

18世纪末至19世纪初，美国及欧洲各国的植物育种学家为了提高作物产量，进行了大量的杂交实验。一些国家的科学院甚至公开悬赏征求研究课题。荷兰科学院的题目是：“一种花用另

一种花的花粉进行人工授精而产生新的种和品种，这个经验说明了什么？用这种方法可以产生和繁育什么样的经济作物和观赏植物？”巴黎科学院出题：“从杂种的可育性及其性状的持久性和非持久性的观点出发来研究植物杂种。”一些学者的研究取得了重要的进展，并提出了还未认识到的遗传学理论上的关键问题。例如，奈特选用豌豆做杂交实验，认识到用豌豆作为实验材料有许多优点。豌豆有许多性状区分明显的品种，是严格的自花传粉物种，在子代中性状的表现很容易区分等。特别是奈特第一次发现豌豆种子的灰色对白色是显性，用杂交种子和白色种子回交，子代中有灰色和白色两种籽粒。可惜的是他没有计算两种种子的数量比。

克尔罗伊特（J.G.Köelreuter, 1733—1806）是第一个从事植物系统杂交研究的科学家。他成功地用黄花烟草与另外一种烟草杂交，得到了中间类型的杂种。他还提出用杂种与某一亲本反复回交，杂种可“转化”为该亲本。

盖尔特纳（K.F.Gärtner, 1772—1850）分析了9 000多个实验结果，得出用混合花粉传粉，子代中不会出现性状混合的结论。他认为受精的只有一种花粉，每一个花粉粒都各自独立地起作用。同一个胚珠里不会形成两种不同类型的胚胎。

萨叶里（A.Sageret, 1763—1851）用西葫芦做杂交实验时，第一次把两个亲本的性状排列成一组组相对性状。杂交后得到的杂种，性状既不混合，也不是中间型，表现与亲本之一完全相同。杂种的每一个性状对另一个性状来说是显性的。他认为杂种之所以像它的双亲，并不在于每个亲本各种性状的直接融合，而是这些性状均匀或不均匀地分配；自然界使它的产物具有无限多样性和避免单调的方法很简单，就是以不同方式组合起来的性状的结合和分配，由此就能产生无数个变种。萨叶里的贡献在于进一步明确一个性状对另一个性状的显性关系以及性状的独立分配。遗憾的是他没有用杂交后代做进一步的研究，因此没能说明性状在后代中的分配情况。

上述的科研工作和进展，为孟德尔的研究工作奠定了基础。在这样的历史背景下，孟德尔着手解决植物的形态和花的颜色等是遵循什么规律传给子代的问题。

2. 当时的主要观点

当时对遗传与变异现象本质的认识主要有两种观点：一种是泛生论，另一种是种质论。

泛生论是在科学地阐明遗传变异现象以前盛行了许多世纪的一种学说。这种学说认为，精液是在全身各个部分中形成的，汇集后在血管中流动，通过睾丸而进入阴茎。精液中含有能够传递特性的粒子，可以形成胚胎的各个器官。由于这些粒子的相似性，所以能产生同一物种的个体；父母双方中哪一方的粒子较多，吸引力较大，则多半会产生类似那一方的特性；形成粒子的场所就是个体的每一个器官。这样个体的特性就遗传给下一代。

达尔文（C.R.Darwin, 1809—1882）在1868年提出“暂定的泛生说”认为，每一个能够各自独立变化的性状是由同一种物质载体——芽球联结在一起的。发育中的生物体的每一个细胞都能产生出无数个细小的芽球，它们彼此相同，负责每一种性状和器官的形成。这些芽球能以不同的强度进行繁殖，每当细胞分裂时，它们就进入子细胞并能在身体里自由流动，进入了生殖细胞就保证把它们传递给子代。变异取决于芽球的两个过程。第一个过程是现有芽球的相对百分数的变化，芽球的丢失和数目恢复都能影响到性状的变化。第二个过程是芽球本身性质的变化。

拉马克（J.-B.Lamarck, 1744—1829）在泛生论的基础上进一步提出，“用进废退”使身体各

个部分发生了变化，这些变化可通过形成的精液传给子代；通过许多世代，这种“获得性状”积累的结果就成为生物进化的机制。

种质论是魏斯曼（A. Weismann, 1834—1914）针对泛生论和“用进废退”“获得性遗传”而提出的。

魏斯曼提出的种质学说把“种质”和“体质”加以区别。他认为种质是指性细胞和产生性细胞的那些细胞。体质是保护和帮助种质繁殖自身的一种手段，是指构成除种质以外的身体所有其余部分细胞。种质负责传递保持物种种性所需的全部遗传因子，在世代繁衍过程中，种质自身永世长存，在世代间连续传播。体质则是来自种质的分解，只含有种质的零星残片。种质细胞系完全独立于体质细胞系，体质细胞发生的变化（也就是获得的性状）不影响种质细胞，因而获得的性状不会遗传给下一代。但是，物种生活在其中的环境所产生的种种外界影响，凡在种质中引起的变异，则是持久的、遗传的变异。关于种质位于何处，魏斯曼于1885年时宣称：“只有细胞核物质才是遗传倾向的载体。”种质学说包含了科学合理的内容，对以后遗传学的发展有着相当大的影响。

3. 孟德尔简介

孟德尔（G. J. Mendel, 1822—1884）将他研究的结果整理成实验研究论文“Experiment in plant hybridization”（译为植物的杂交实验）于1865年2月8日和3月8日在布隆博物学会上，分两次做了报告。并于1866年在学会会刊上发表，同时将论文的单印本分送到134个科学机构的图书馆，但都未引起任何反响。

孟德尔出生在奥地利的名叫海因策多夫的小村中。父亲是个农民，擅长嫁接。母亲是个园林工人。由于家庭的影响，孟德尔自小酷爱自然科学。他上过小学和中学，但因家庭经济困难，不得不中途辍学。1843年到布隆的奥古斯汀修道院当修道士，1847年被任命为神父，1849年起在附近的策奈姆中学任代课教师。1850年参加正式教师考试，因生物学和地质学的分数低而失败。1851年去维也纳大学学习自然科学，1853年又回到修道院，1854年应聘到布隆高等技术学校任代课教师，讲授物理学和博物学。1856年再度参加自然科学教师考试，因中途病倒而落选。这样他一直以代课教师身份教学到1868年当选为修道院院长为止。

孟德尔不仅在数学和物理学方面有很好的基础，而且对农业的各个学科有着广泛的兴趣。他既是遗传学家，又是园艺学家和气象学家。他培育的一个倒挂金钟被命名为“孟德尔倒挂金钟”。从1856年起，他还致力于气象学的研究，1863—1869年曾发表过多篇气象学的论文，但孟德尔最卓越的成就是有关植物的杂交实验，这一工作从1856—1872年共持续了17年之久，其中豌豆的杂交实验成绩最为突出。

豌豆的杂交实验从1856—1864年共进行了8年。孟德尔将其研究的结果整理成论文发表，但未引起任何反响。其原因有三个。

第一，在孟德尔论文发表前7年（1859年），达尔文的名著《物种起源》出版了。这部著作引起了科学界的兴趣，几乎全部的生物学家都转向生物进化的讨论。这一点也许对孟德尔论文的命运起了决定性的作用。

第二，当时的科学界缺乏理解孟德尔定律的思想基础。首先那个时代的科学思想还没有包含孟德尔论文所提出的命题：遗传的不是一个个体的全貌，而是一个个性状。其次，孟德尔论文的

表达方式是全新的，他把生物学和统计学、数学结合了起来，使得同时代的博物学家很难理解论文的真正含义。

第三，有的权威出于偏见或不理解，把孟德尔的研究视为一般的杂交实验，和别人做的没有多大差别。

4. 孟德尔的实验过程

孟德尔在实验工作中贯彻了从简单到复杂的原则。他所用的两个亲本（父本和母本）都只相差一个性状，事实上不管这两个亲本有多少种性状差别，他只注意研究一对性状的遗传规律。孟德尔与那些早期研究者相比，他获得成功主要有以下四个原因。

（1）精心选择实验材料

孟德尔从豆科植物中选择了自花传粉而且是闭花传粉的豌豆作为杂交实验的材料。从市场买来的豌豆种子可以说都是纯种。杂交实验从纯种出发，是他实验成功的保证，只有这样才能得到真正的杂种。豌豆花的结构特点，使得人工方法去雄和进行异花传粉很方便。此外，他对豌豆材料进行了品种和性状的选择，挑选的有差异的性状既明显又稳定。

（2）精心设计实验方法

实验设计是科学方法学的重要组成部分。孟德尔的成功还归因于采取单因子分析法，即分别地观察和分析在一个时期内一对性状的差异，最大限度地排除各种复杂因素的干扰。他首先发现了分离定律，然后在这个基础上，再把个别性状综合起来，又发现了自由组合定律。

（3）精确的统计分析

对杂交实验的子代中出现的性状进行分类、计数和数学的归纳。由于孟德尔有数学和统计学家的头脑和训练，他从一个简单的二项式展开式的各项系数中，找到了豌豆杂交实验显示出来的规律性，并深刻地认识到1:1、3:1数字中所隐藏着的深刻意义和规律。

（4）首创了测交方法

孟德尔巧妙地设计了测交方法，令人信服地证明了他的因子分离假设的正确性。实践证明这种以杂交子一代个体再与其隐性纯合亲本进行测交的方法，完美而巧妙地成为遗传学分析的经典方法。

（5）创造性地使用科学符号体系

孟德尔在解释豌豆杂交实验时，巧妙地抽象出科学概念，创造科学符号体系予以表达。与自然语言系统相比，科学符号具有专业性、简洁性和明确性等特征，如科学符号 O_2 与 O 可以明确区分，它们分别代表氧分子和氧元素。同理，孟德尔抽象出了相对性状（显性性状、隐性性状）、性状分离、显性因子（基因）、隐性因子等概念，并用科学符号表示。如控制显性性状的显性因子用大写的英文字母（如 D ）表示，隐性因子用小写的英文字母（如 d ）表示。使用科学符号能更简洁、准确、清晰地表达生物学概念，方便人们的交流和沟通，如运用科学符号通过遗传图解表示生物遗传因子的传递过程和形式。

孟德尔成功地发现了遗传规律也存在“巧合”的因素。现在已知豌豆体细胞中存在不同的7对同源染色体，配子中有7条染色体。孟德尔研究的7对性状的遗传因子并不是分别位于7对不同的同源染色体上，而是分布在4对同源染色体上。其中第1对同源染色体上有2对等位基因（子叶颜色和花的颜色，图距单位为204）。第4对同源染色体上有3对等位基因（茎的高度、花

的位置、豆荚形状)。第5对同源染色体上有1对等位基因(豆荚颜色)。第7对同源染色体上有1对等位基因(种子形状)。

由于交换值具有相对稳定性,所以通常以交换值表示两个基因在同一染色体上的相对距离,或称为遗传学图上的图距。图距小于50出现连锁现象。孟德尔的二因子和三因子杂交实验所涉及的性状不是由非同源染色体上的基因决定,就是由同源染色体上的基因决定,但两对基因的图距非常大,以致这两对基因表现出自由组合。

(二) 正交、反交、杂交、自交的实验方法介绍

孟德尔的杂交实验实际上包含了两种交配方式:一种交配方式称为杂交,另一种交配方式称为自交。

杂交一般指两个具有不同基因型品种或类型的个体间雌雄配子的结合。自交是指同一个体或不同个体但为同一基因型的个体间雌雄配子的结合;此定义比植物学的定义广,植物学自交特指自花传粉。植物学的自花传粉即遗传学上的自交;但植物学的异花传粉包含遗传学上的杂交和自交。

在植物有性杂交中,把接受花粉的植株叫作母本,用符号“♀”表示;供给花粉的植株称为父本,用“♂”表示。父母本统称为亲本,用“P”表示,杂交符号用“×”表示,自交符号用“⊗”表示,杂种一代用“F₁”表示,杂种二代用“F₂”表示,以此类推。

如果在做杂交时,父母本相互交换,这在遗传学上称为互交。例如,现有两个亲本,用P₁和P₂表示。第一个杂交实验♀P₁×P₂♂,第二个杂交实验♂P₁×P₂♀,即第一个杂交实验P₁为母本,而P₂为父本;第二个杂交实验P₁却作为父本,而P₂作为母本,前一个杂交组合称为正交,后一个杂交组合称为反交,两个杂交组合就叫互交。互交实验结果是否一致可以推断控制性状的基因是细胞质基因还是细胞核基因。正反交结果一致说明控制性状的基因是核基因;不一致说明控制性状的基因是细胞质基因。当核基因分为常染色体基因(位于常染色体上的基因)和性染色体基因(位于性染色体上的基因)时,两种基因控制的性状也可以通过互交实验加以区别。互交结果一致说明控制性状的基因是常染色体基因;不一致说明基因为性染色体基因。

杂交亲本一般应选用纯合子,即基因型纯合的个体。玉米属于异花传粉作物,一般情况下都是杂合子。为了获得纯合的个体,让玉米植株通过多次自交,就可得到几乎是基因型纯合的个体,我们称为自交系,它可作为配制杂种的亲本。

自交方法基本同杂交方法。不同的是:杂交是两个不同自交系间个体的交配,而自交是同一自交系内个体(包括同一个体)的交配;杂交的目的是获得杂合的个体,而自交的目的是获得纯合的个体;杂合个体可产生多种不同的配子,后代中出现分离现象,纯合个体只产生一种配子,后代只有一种基因型,后代中不出现分离现象,且表型与基因型都相同。

(三) 孟德尔设计测交实验的目的

孟德尔的一对相对性状的杂交实验中,F₂中显隐性比例接近3:1,在所有的实验中没有中间类型出现。他指出F₂中的显性性状有两种含义:亲本类型的显性和杂种类型的显性。前者指性

状稳定地传给所有后代，后者指在后代中继续表现分离，这从孟德尔在 F_3 中的结果可以得到证实。在全部7对性状的 F_2 中，具有显性性状的类型中， $\frac{2}{3}$ 是具有杂种性状的显性， $\frac{1}{3}$ 则是具有亲本性状的显性。因此，在 F_2 中，显隐性3:1的比例可分解为1:2:1的比例。这种比例对以后各代都适用。即杂种后代中，每一代都以1:2:1的比例分为杂种类型和两种稳定类型。

孟德尔为了确定几对相对性状由于杂交而结合于杂种中时，是否也能应用上述一对相对性状的规律，他做了两对相对性状和三对相对性状的杂交，证明这个规律同样有效。例如：黄色圆粒(AABB)×绿色皱粒(aabb)， F_1 全部为黄色圆粒， F_2 有4种表型：315个黄圆、108个绿圆、101个黄皱、32个绿皱，比例接近9:3:3:1。

将 F_2 的种子全部种下去，得到9类植株，这9类植株的分离情况，按所结种子性状归类得到如下结果。

138株全部黄圆种子和亲本一样保持稳定 AABB

135株全部绿圆种子和亲本一样保持稳定 aaBB

128株全部黄皱种子和亲本一样保持稳定 AAbb

130株全部绿皱种子和亲本一样保持稳定 aabb

265株有黄圆和绿圆分离只有一对性状分离 AaBB

268株有黄皱和绿皱分离只有一对性状分离 Aabb

260株有黄圆和黄皱分离只有一对性状分离 AABb

267株有绿圆和绿皱分离只有一对性状分离 aaBb

4 138株分离出黄圆、绿圆、黄皱、绿皱二对性状都分离 AaBb

孟德尔以其敏锐的数学头脑从上述各类比例中看出：这是组合系列中的各项式比值，把A与a和B与b这两对性状各自的分离比(AA+2Aa+aa)和(BB+2Bb+bb)组合起来就可得到上述比例。孟德尔得到了两对性状的组合规律后，自然地得到三对性状的组合规律。实验结果和他的预测比例完全相符。

孟德尔为了解释上述实验的结果，进一步分析了杂种中卵细胞和花粉细胞的性质。他推论在杂交后代中出现稳定类型，说明受精的卵细胞和花粉细胞中必然具有相同的因子，而且一株杂种植株或一朵花中就能产生稳定的后代，可见杂种的子房和花药中形成不止一种生殖细胞。子房和花药中有多少种生殖细胞，就会有多少种稳定类型。如果杂种产生的各类卵细胞以及各类花粉细胞数目相等，就可解释各个杂种中的后代分离表现。这样孟德尔设计了自己首创的测交实验。例如，黄色圆粒与绿色皱粒杂交， F_1 与绿色皱粒进行正反交，预测结果为：

1. 杂种卵细胞 AB、Ab、aB、ab 与花粉细胞 ab 杂交得到

AaBb : Aabb : aaBb : aabb = 1 : 1 : 1 : 1

2. 杂种花粉细胞 AB、Ab、aB、ab 与卵细胞 ab 杂交得到

AaBb : Aabb : aaBb : aabb = 1 : 1 : 1 : 1

实验结果和他的理论预测结果几乎完全一致。

正交实验结果：31粒黄圆，26粒绿圆，27粒黄皱，26粒绿皱。

反交实验结果：24粒黄圆，25粒绿圆，22粒黄皱，27粒绿皱。

由于隐性亲本性状不能遮盖显性性状，并能显出纯隐性性状，这样的测交结果就能直接反映

F₁所产生的配子的种类和比例，因而从测交子代的表型可以直接判断杂合子的基因组成，这就是测交的作用。

孟德尔在解释上述现象时指出：哪一种花粉细胞和卵细胞结合，全出于偶然。就一对性状而言，杂种Aa产生相等数量的A和a卵细胞以及相等数量的A和a花粉细胞。任一A或a花粉细胞和A或a卵细胞结合的机会相等。受精结果就会得到组合AA+2Aa+aa。进一步得到多对性状的组合。

通过测交实验结果可以引申出以下结论。

1. 成对的遗传因子在杂合状态时互不污染，保持其独立性，在形成配子时发生分离，分别进入不同的配子中（即分离定律）。

2. 控制不同性状的遗传因子在杂合状态时，虽同处一体，但互不混淆，各自保持其独立性。在形成配子时，成对的遗传因子各自独立地分离，不同对的遗传因子则自由组合（即自由组合定律）。

孟德尔发现的两个遗传基本规律，解释了他的实验结果，他所创造的测交实验证实了他发现的两个规律是正确的。

（四）假说—演绎法

假说—演绎法是指在观察、实验和分析的基础上提出问题以后，通过推理和想象提出解释问题的假说，由于假说无法被直接验证，需要根据假说进行演绎推理，推出预测的结果，再通过实验来检验。如果实验结果与预测相符，就证明假说是正确的；反之，则说明假说是错误的。这是现代科学研究中常用的一种方法。

假说—演绎法的雏形可追溯到古希腊亚里士多德的归纳—演绎模式。按照这一模式，科学家应从要解释的现象中归纳出解释性原理，再从包含这些原理的前提中演绎出关于现象的陈述。17世纪中叶，笛卡儿在《哲学原理》一书中提出，理性从天赋观念即第一原理（物质和运动）演绎出关于自然的确实知识，一般认为他是假说—演绎法的倡导者。

假说—演绎法是科学认识从经验水平向理论水平上升所必需的工具，它肯定了理性和演绎在科学发现中的作用，强调了由假说演绎得出的结论必须用实验来检验，这就确保了像所有科学一样，生命科学也具有自我修正的机制。这种科学发现逻辑的确立，反映了经验论与唯理论互相融合的趋势。对假说—演绎法争论最多的问题是假说的提出。归纳主义者强调最好的假说必须满足归纳法的要求，演绎主义和假说主义者则强调假说要靠创造性的猜想、直觉来建立。也有人不管假说最初的产生，只把假说—演绎法理解为一种科学解释的演绎模型。恩格斯曾经说过，只要自然科学在思维着，它的发展形式就是假说，充分说明假说在自然科学发展中的作用。

19世纪中期，孟德尔用豌豆做了大量的杂交实验，在对实验结果进行观察、记录和进行数学统计分析的过程中，发现杂种后代中出现了一定比例的性状分离，两对及两对以上相对性状杂交实验中子二代出现不同性状自由组合现象。他通过严谨的推理和大胆的想法提出假说，并对性状分离现象和不同性状自由组合现象作出尝试性解释，这种解释就是假说。然后他巧妙地设计了杂交实验用以检验假说，杂交实验不可能直接验证假说本身，而是验证由假说演绎出的推论，即如果遗传因子决定生物性状的假说是成立的，那么，根据假说可以对杂交实验结果进行理论推导

和预测；然后，将实验获得的数据与理论推导值进行比较，如果二者一致证明假说是正确的，如果不一致则证明假说是错误的。当然，对假说的实践检验过程是很复杂的，不能单靠一两个实验来说明问题。事实上，孟德尔做的很多实验都得到了相似的结果，后来又有数位科学家做了许多与孟德尔实验相似的观察，大量的实验都验证了孟德尔假说的真实性。之后，孟德尔假说最终发展为遗传学的经典理论。我们知道，演绎推理是科学论证的一种重要推理形式，杂交实验值与理论推导值的一致性为什么就能证明假说是正确的呢？原来，杂交后代的表型及其比例真实地反映出子一代产生的配子种类及其比例，根据子一代的配子类型必然可以推导其遗传组成，揭示这个奥秘为演绎推理的论证过程起到了画龙点睛的作用，不揭示这个奥秘则难以理解假说—演绎法的科学性和严谨性，对演绎推理得出的结论仍停留在知其然的状态。^[1]此外，对基因与染色体的关系的探究历程，DNA复制方式和中心法则的提出与证实，遗传密码的破译都是假说—演绎法的案例。

（五）模拟实验及其在教学实践中的意义

生物学是一门以实验为基础、研究自然科学中的生命现象及活动规律的学科。研究者通过生物实验进行研究，按照研究目的，使用一定的科学方法，处理实验对象或实验过程中的某些因素，得到实验结果。然而在人们想要进行的生物研究中，有许多情况是难以直接进行处理和干预的。例如，被研究的实验对象在时间或空间上难以获取，如要研究地球生命的起源，现在人们不可能回到过去进行直接研究。再例如，被研究的对象在法律伦理上不被允许，如研究人的某些疾病，不可能将活生生的人作为实验对象。正是在这些情况的限制下，模拟实验应运而生。

1. 模拟实验的含义及模型

在科学研究中，由于客观条件的限制，不允许或不能对研究对象直接进行实际实验，为了取得对研究对象的认识，根据已有的事实经验和科学理论，选定研究对象的替代物，模拟研究对象的实际情况，通过对替代物进行实验，进一步认识研究对象，这种实验就是模拟实验。^[2]模拟实验可以弥补由于研究对象不允许、实际实验存在困难等客观原因产生的不足，它是根据相似性原理，构建研究对象的替代物，通过替代物的实验结果类推研究对象的结果，是一种揭示研究对象的本质和规律的研究方法。其中，实际存在的研究对象叫作“原型”，而模拟的替代物叫作“模型”。

根据模拟实验的含义，模拟实验的构成可以用下式表示：^[2]

实验者—实验手段—实验模型—实验原型

模拟实验的过程主要包括四个步骤：第一，选择合适的模拟实验方法；第二，选择和建构研究对象（原型）的模型；第三，将模型置于预定的研究环境中进行实验；第四，将模拟实验的结果类推到原型上。^[3]

模拟实验突破了生物实验的传统思维模式，也给生物实验增加了一种特殊的要素——模型。模型既是研究者的直接研究对象，又是原型的替代物，是研究者认识原型的有效工具，在生物实验中有重要作用。模拟实验的模型大致可以分为理论模型和实物模型两大类。理论模型主要包括逻辑模型、图像模型、数学模型等。它的特点在于将抽象化的知识转化为数字、图像和公式等，

如在讲解生物种群数量变化时，可以用公式和图像的形式表示种群数量变化的规律，使学生更易理解。^[4] 实物模型分为自然模型和人造模型两种，它指可以被直接感知的具体的实物，且结构功能与原型相似。^[2] 自然模型是指用自然界已有的事物替代原型的模型，如用与人类相近的动物作为人的模型进行病理分析。然而，找到与研究对象极相近的自然模型往往存在较大的困难。人造模型恰恰可以弥补自然模型的这一不足，它是指人工制造的替代原型进行模拟的模型。人造模型可以进行人为控制，更加贴近原型，能得到更加准确科学的实验结果。如在“探究细胞膜的通透性”的模拟实验中，以人工合成的无蛋白脂双层膜为材料进行实验探究。^[4]

2. 模拟实验在教学实践中的意义

(1) 模拟实验可以激发学生的学习兴趣，调动学习的积极性

模拟实验教学对于激发学生的学习兴趣有其独特的优势。在实施模拟实验的过程中，用合适的模型代替原型，将不易实现的事物转化为可以实现的事物，更能激发学生的学习兴趣。另外，与原型实验相比，模拟实验更加直观、简单明了、易操作，且贴近学生的日常生活，更能迎合学生的学习心理，从而更易调动学生学习的积极性。^[5]

(2) 模拟实验化抽象为具体，以直观为基础，帮助学生建构知识

建构主义认为知识不是对现实的准确表征，它只是一种暂时的解释，这个表征是不断发展的、由学生主动建构的。它更加强调学习的主动建构性、社会互动性和学习情境性。首先，模拟实验的开展为学生提供了更多的真实情境，将抽象的事物以直观具体的形式表现出来，帮助学生主动建构知识。其次，在模拟实验中，教师与学生、学生与学生之间相互交流，进一步促进了学生对知识的理解，帮助他们进行知识的正确建构。

(3) 模拟实验有助于提高学生的实验探究能力，培养创新精神

模拟实验从开始的选择模拟实验方法、建构模型到之后的实验实施，都需要学生的主动参与和积极探索。在模拟实验过程中，学生不仅要进行细致的观察，也要反复进行实验和他人交流，在实践中理解模型与原型之间的联系，体会模拟实验的意义。这一系列活动都使得学生的观察能力、思维能力和实验探究能力得到了提升，对培养学生的团结合作精神也有较大的帮助。同时，模拟实验的开展也有助于培养学生的创新精神。模拟实验的模型大多都来源于生活，学生在参与，积极结合自身的生活经验和学习经历，不断创新模型和模拟方法，发展创新能力。

(4) 模拟实验可以提升教师的实验素养

长期以来，生物实验的开展通常依赖实验室中的仪器设备，教师在常规实验中具有较好的专业素质，能够熟练操作实验仪器设备，有效进行实验数据和结果的分析，但常规的生物实验也固化了教师的实验思维，这不利于教师的实验基本素质的发展。^[4] 模拟实验的设计和开展需要教师在观念、知识、能力、方法等方面进行革新和转变。它能够促使教师不断发展自身的实验能力，拓宽与实验相关的知识范围，积极改进传统的实验方法，进而提升教师的实验素养，以便于教师更好地指导学生。

六、教学案例与评析

孟德尔的豌豆杂交实验（一）

天津市红桥区教师进修学校 常丽颖

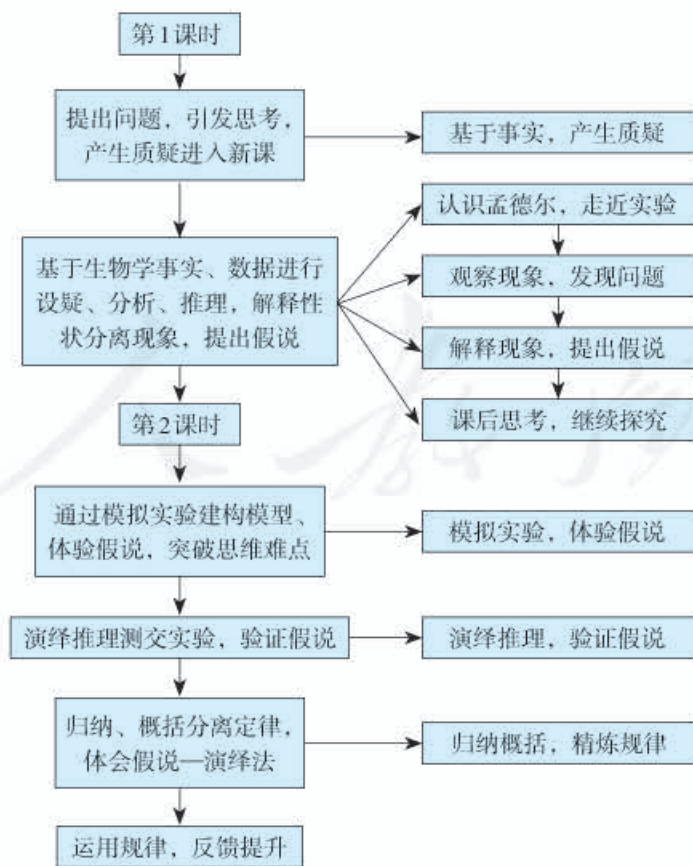
天津市南开区教育中心 赵程

教学目标的确定

课程标准与本节对应的“内容要求”是：“阐明有性生殖中基因的分离和自由组合使得子代的基因型和表型有多种可能，并可由此预测子代的遗传性状”。基于孟德尔豌豆杂交实验的事实和数据，运用归纳、演绎等科学思维方法，进行提出假说、构建模型、模拟实验、建构概念等教学活动；按照从感性认识到理性认识的认知规律分析问题，透过孟德尔豌豆杂交实验的现象来看分离定律的本质，从中体验科学探索过程、科学家的科学态度和科学精神；形成“有性生殖中基因的分离和重组导致双亲后代的基因组合有多种可能”的初步认识。结合教材内容，确定本节的教学目标如下。

1. 基于对孟德尔一对相对性状杂交实验的分析和解释，阐明分离定律。
2. 通过对孟德尔一对相对性状杂交实验的分析，培养归纳与演绎的科学思维，认同勇于创新、探索求真的科学精神。
3. 运用分离定律解释或预测一些遗传现象。

教学设计思路



学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
基于事实产生质疑	<p>讲述：我们在初中学过，亲代与子代之间通过遗传物质的传递保持性状的连续性。请大家阅读教材第2页的“问题探讨”，对于这两个问题，大家怎么看？</p> <p>引领学生预测结果，提出证据。教师根据学生的回答适当补充证据，如单、双眼皮的遗传。</p> <p>那么，遗传物质在亲子代之间的传递究竟遵循什么规律呢？我们今天就来解决这个问题。</p> <p>引导学生阅读“本节聚焦”。</p>	<p>回忆初中所学的遗传学相关概念，明确亲代与子代之间通过遗传物质的传递保持性状的连续性。阅读第2页“问题探讨”，回答讨论题1、2。</p> <p>体会融合遗传的观点，根据生活经验提出正反两方面的证据，进行交流讨论。</p> <p>阅读“本节聚焦”。</p>	<p>引入本章学习，点明本章探究的主要问题，即性状与遗传因子的关系。</p> <p>引发认知冲突，培养逻辑思维。</p> <p>明确本节课学习任务。</p>
认识孟德尔走近实验	<p>简述孟德尔的学习背景及植物杂交实验的经历，指出其中最成功的是豌豆杂交实验。</p> <p>设疑：为什么只有豌豆杂交实验最成功？豌豆用作遗传实验材料的优点是什么？</p> <p>结合图片讲述豌豆花的结构特点。</p> <p>设问：孟德尔如何进行豌豆的杂交？</p> <p>组织学生阅读教材，自主学习人工异花传粉的过程。</p> <p>提示：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 对母本如何进行操作？何时完成？为什么？ 2. 人工异花传粉前后有什么特殊操作？为什么？ 	<p>听教师对孟德尔的简介，聚焦其学习历程和遗传实验材料的选择。</p> <p>认识豌豆自花传粉、闭花传粉的特点。</p> <p>识图、析图，利用教材中的“相关信息”、正文内容和插图，结合对初中所学知识的回忆，明确自交、杂交的概念，并根据教师提示总结人工异花传粉的流程。</p>	<p>渗透科学实证观念和孟德尔勇于冲破传统观念束缚的精神。</p> <p>讲授与自主学习相结合，在师生共同解决问题的过程中，体会豌豆用作遗传实验材料的优点，为介绍一对相对性状杂交实验的过程作铺垫，同时锻炼学生的自主学习能力和概括总结能力。</p>

续表

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
认识孟德尔 走近实验	<p>以豌豆的植株有高茎和矮茎为例，回顾初中所学知识，复习相对性状的概念，展示豌豆7对相对性状的图片。</p> <p>设问：作为遗传实验材料，豌豆的上述特点有哪些优点？</p>	<p>通过实例辨析相对性状的概念。</p> <p>分析、归纳豌豆作为遗传实验材料的优点：自然状态下一般都是纯种，结果可靠且容易分析，具有易于区分的性状等。</p>	
观察现象 发现问题	<p>讲述：为了便于分析，孟德尔首先对一对相对性状的遗传进行了研究。</p> <p>逐步展示一对相对性状杂交实验的过程，并设置如下问题串。</p> <p>1. 子一代的高茎性状是否只由母本决定？如何证明？</p> <p>说明正、反交的概念，展示结果。</p> <p>2. 为什么子一代只表现为高茎？矮茎性状丢失了没有？展示子一代自交实验结果。</p> <p>F_2中又出现了矮茎，说明了什么？</p> <p>3. 3:1的性状分离比是偶然得出的吗？</p> <p>展示教材第4页表1-1。</p> <p>归纳现象：F_2中出现的性状分离是有规律的，分离比接近3:1。</p> <p>设疑：如何解释这种现象呢？</p>	<p>观察分析实验结果，回答问题。</p> <p>提出交换父本、母本的思路。</p> <p>归纳现象：具有相对性状的两个纯种正、反交结果一致。</p> <p>认同矮茎性状隐藏的观点，通过遗传实验过程归纳显性性状、隐性性状及性状分离的概念。</p> <p>通过不完全归纳法，得出3:1的规律。</p>	<p>基于孟德尔实验的事实和数据，培养学生尊重事实和证据、严谨务实的求知态度。</p> <p>体会孟德尔实验方法的创新性，认同数学统计方法在遗传学研究中的价值。</p>
解释现象 提出假说	<p>讲述：孟德尔首先提出生物的性状是由“遗传因子”（后来叫作“基因”）决定的。每个遗传因</p>		<p>通过对现象的推理分析，推测其内隐含的</p>

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
解释现象 提出假说	<p>子决定一种特定的性状。</p> <p>指导学生基于杂交实验的事实，结合教师的提示，通过讨论完成图解，分析遗传因子的传递规律。</p> <p>提示学生并完成以下内容。</p> <p>1. 若决定显性性状的遗传因子用大写字母D来表示，决定隐性性状的遗传因子用小写字母d来表示。请写出每个个体的遗传因子组成，完成图A。</p> <p>2. 根据F₂中出现性状分离的事实，F₁的体细胞中的遗传因子是单个的还是成对存在的？是如何组成的？亲本和F₂的遗传因子组成是什么？完成图B。</p> <p>3. 结合有性生殖过程，F₁产生哪些种类的配子才能使F₂中出现矮茎个体？这说明生殖细胞中的遗传因子是单个的还是成对存在的？完成图C。</p> <p>4. 在产生F₂的过程中，雌雄配子怎样结合才能使F₂中出现性状分离且分离比为3:1？完成图D。</p> <p>组织学生汇报讨论结果，说明纯合子、杂合子的概念。</p>	<p>根据教师的提示进行小组讨论，归纳、概括假说并发表自己的观点。</p> <p>用符号进行描述，填图。</p> <p>P 高茎 (D) × 矮茎 (d)</p> <p>↓</p> <p>F₁ 高茎 (D₋)</p> <p>↓</p> <p>F₂ 高茎 (D) : 矮茎 (d)</p> <p>图A</p> <p>P 高茎 (D) × 矮茎 (d)</p> <p>↓</p> <p>F₁ 高茎 (Dd)</p> <p>↓</p> <p>F₂ 高茎 (D) : 矮茎 (d)</p> <p>图B</p> <p>F₁ 高茎 (Dd) × 高茎 (Dd)</p> <p>配子 D d D d</p> <p>↓ ↓ ↓ ↓</p> <p>F₂ 高茎 (D₋) 矮茎 (dd)</p> <p>图C</p> <p>F₁ 高茎 (Dd) × 高茎 (Dd)</p> <p>配子 D d D d</p> <p>↓ ↓ ↓ ↓</p> <p>F₂ 高茎 (DD Dd Dd) 矮茎 (dd)</p> <p>比例 1 : 2 : 1</p> <p>图D</p> <p>通过对杂交实验的分析，对应提示的问题，认同以下观点。</p> <p>1. 遗传因子具有一定的独立性，既不会相互融合，也不会传递中消失；</p> <p>2. 遗传因子在体细胞中成对存在；</p>	<p>科学实质，由表及里地形成对生命本质规律的初步认识。构建遗传规律决定于遗传物质的规律性变化这一基本的生命观念，形成从现象到本质的科学研究思路。</p> <p>培养学生基于事实和证据进行归纳、概括的能力。</p> <p>在学习过程中逐渐建构相关概念，学习遗传图解，提升用科学符号表述实验结果的能力。</p>

续表

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
解释现象 提出假说	规范遗传图解。	<p>3. F_1 产生含隐性遗传因子的配子, 在形成配子时, 成对的遗传因子发生分离;</p> <p>4. 受精时, 雌雄配子随机结合使后代中出现 3:1 的性状分离比。</p> <p>概括总结孟德尔假说的要点, 理解相关概念, 学习遗传图解的绘制方法。</p> <p>通过建立模型, 解释 3:1 的实验结果。</p>	
课后思考 继续探究	设疑: 遗传因子的分离、配子的随机结合真的能出现 3:1 的结果吗?	<p>阅读教材“相关信息”, 体会孟德尔假说的创新性。</p> <p>课后思考。</p>	渗透孟德尔提出假说的伟大之处。引发思考, 为下一节课的教学作铺垫。

第2课时

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
模拟实验 体验假说	<p>讲述: 上节课我们学习了孟德尔用豌豆做的一对相对性状的杂交实验, 以及孟德尔对一对相对性状的杂交实验结果作出的解释(假说), 本节课我们先通过一个模拟实验来体验孟德尔的假说。</p> <p>指导学生阅读教材中的实验目的和步骤, 并回答下列问题。</p> <p>1. 每个桶中放入数量相等的两种彩球的含义是什么?</p>	<p>回顾上节课内容。</p> <p>厘清模拟关系, 明确实验的模拟意义。</p> <p>1. 两种彩球分别模拟含有显性、隐性两种遗传因子的配子, 且 F_1 产生的两种配子数量相等。</p>	<p>感悟孟德尔提出颗粒遗传这一超越自己所处时代的非凡设想的意义, 渗透敢于质疑的科学精神, 以及大胆的创新和想象。</p> <p>通过阅读, 培养在文本中获取信息的能力。</p> <p>通过模拟实验建构模型, 形成概念, 理解孟德尔的假说。</p>

续表

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
<p>模拟实验 体验假说</p>	<p>2. 每次分别从两个桶内随机抓取一个彩球的含义是什么?</p> <p>3. 分别从两个桶内随机抓取一个彩球组合在一起模拟了什么过程?</p> <p>4. 为什么要将抓取的彩球放回原来的小桶内并摇匀?</p> <p>组织学生设计记录表, 进行实验, 记录实验结果。</p> <p>设问: 各组统计结果与全班统计结果比较说明了什么?</p> <p>组织学生完成讨论题1。</p> <p>设问: 孟德尔的实验数据是否支持样本数量越大越接近理论比值?</p> <p>展示教材第4页表1-1。</p> <p>设问: 这个实验反映了自然界哪些特定的规律?</p> <p>讲述并设问: 模拟实验是依据孟德尔的假说设置的, 其模拟结果与孟德尔杂交实验的结果相比, 你认为孟德尔的假说是否合理?</p>	<p>2. 在形成配子时, 成对的遗传因子彼此分离。</p> <p>3. 模拟雌雄配子形成和随机结合的过程。</p> <p>4. 确保每次实验中雌雄配子形成和结合的机会相等。</p> <p>进行实验, 汇报实验结果。</p> <p>对1组及全班结果进行比较, 明确对10株豌豆的个体作统计时, 会出现较大的误差。得出样本数量越大越接近统计规律的结论。</p> <p>从表1-1中找出F_1自交结果中偏差最大的一组也是子代数量最少的一组, 豆荚颜色(未成熟), 绿:黄=2.82:1; 偏差最小的一组也是子代数量最多的一组, 子叶颜色黄:绿=3.01:1。进一步认同理论计算结果与实际统计结果的差异, 样本数量越大越接近理论比值。</p> <p>模拟实验的科学思维方法、数学统计方法、随机事件等。</p> <p>认同性状分离比3:1的本质是遗传因子1:1分离和配子随机结合的结果。</p> <p>完成讨论题2。</p>	<p>通过对数据的统计、分析, 使学生直观感知并认同样本数量对实验结果的影响, 渗透科学思维方法的训练。</p> <p>通过模拟活动使学生了解模拟实验是科学研究中常用的一种</p>

续表

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
模拟实验 体验假说			方法，培养学生记录实验结果的能力、交流合作的能力，体验用数学统计方法分析实验结果的过程。
演绎推理 验证假说	<p>设问：孟德尔的假说完美地解释了杂交现象，但是，孟德尔并没有看到F_1的遗传因子组成及形成配子时遗传因子的分离现象，他怎样做才能验证自己的假说呢？</p> <p>布置小组任务：在F_1自交、F_1与显性亲本杂交、F_1与隐性亲本杂交中选择最佳实验方案，证明F_1的遗传因子组成及其所产生的配子种类和比例，预测实验结果并用遗传图解表示。</p> <p>组织学生汇报讨论结果，阐明选择方案的理由。</p> <p>展示规范的测交遗传图解，对学生出现的错误及时给予纠正。</p>	<p>根据教师的提示，小组合作，利用遗传图解建立模型，分析讨论3种实验方案的优劣。</p> <p>学生阐述。</p> <p>1. 孟德尔以F_1自交结果为依据提出假说，因此F_1自交不能用于证明假说。</p> <p>2. 显性亲本为纯合子，后代均为显性个体，无法证明F_1的遗传因子组成。</p> <p>3. 隐性纯合子产生的含有隐性遗传因子的配子在与F_1产生的配子结合后，只表现出F_1配子所决定的性状，因此，后代的性状种类和比例即F_1所产生的配子的种类和比例。</p>	<p>训练学生的批判性思维，渗透科学实证的思想。</p> <p>通过对各种实验方案的评价、选择，训练学生缜密的逻辑思维。</p> <p>再次强调遗传图解，提升用</p>

续表

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
<p>演绎推理 验证假说</p>	<p>讲述：一种正确的假说仅能解释已有的实验结果是不够的，还应该能够预测另外一些实验的结果。如果实验结果与预测相符，这个假说就得到了验证。</p> <p>展示孟德尔测交实验的结果，与预测相符。</p> <p>概括总结测交的概念和意义：F_1与隐性纯合子杂交；用于测定F_1所产生的配子的种类和比例，测交实验的结果验证了孟德尔的假说。</p>		<p>科学符号表述实验结果的能力。</p> <p>通过严密的推理形成概念，深化对测交概念的理解。体验孟德尔首创测交实验的创新之处。</p>
<p>归纳概括 精炼规律</p>	<p>引导学生归纳分离定律的内容。</p> <p>进一步讲述假说—演绎法：孟德尔在对实验现象进行观察和分析的基础上，通过严谨的推理和大胆地想象提出合理的假说，然后演绎推理出测交实验的结果，以可见的遗传实验的结果来推出不可见的遗传因子的行为，从而验证了假说，总结出遗传的规律，这种科学研究方法称为假说—演绎法。</p>	<p>归纳分离定律的内容。</p> <p>体会假说—演绎法，体验测交实验的巧妙之处。</p>	<p>基于演绎推理的结果，通过归纳、概括，形成遗传现象建立在遗传因子有规律活动的基础上的认识。</p> <p>通过对概念形成过程中科学思维方法的概括总结，渗透严谨务实的求知态度。</p>
<p>运用规律 反馈提升</p>	<p>讲述：列举教材中符合分离定律的事实。</p> <p>以“思维训练”为背景创设情境，组织学生完成实验设计。</p>	<p>用分离定律解释遗传现象，体会分离定律在现实中的应用。</p>	<p>进一步理解分离定律的内涵，落实教学目标，并感受生物学原理在生产实践中的应用，培养学生的社会责任感。</p>

评析

本节课在承接初中所学遗传学概念与科学方法的基础上，立足于孟德尔的豌豆杂交实验过程，运用假说—演绎法，由表及里地引出高中遗传学的概念。教师在教学设计中能够不断挖掘其中蕴含的科学思维与科学方法，为学生进一步学习《遗传与进化》模块奠定了基础。

1. 教学设计围绕重要概念，体验概念形成的过程

本章需呈现“阐明有性生殖中基因的分离和自由组合使得子代的基因型和表型有多种可能，并可由此推测子代的遗传性状”的重要概念，本节教学设计紧紧围绕这一概念，在解决配子的形成与随机结合的问题上运用模型、归纳、演绎等科学思维，结合数据与图表的呈现形式，依靠模拟实验体验假说—演绎的过程，逐步在学生的头脑中构建出配子形成与遗传因子变化的模型，使学生在探究过程中逐渐形成相关概念，并逐步深入理解孟德尔的实验与理论创新。

2. 问题串引领科学思维

设计本节教学的两位教师结合教材，基于学生已有的知识和经验，重视对实验现象的观察和分析，注重实验数据的分析及其对假说的验证作用。通过问题串引领学生的思维，并使科学思维在 each 问题中得到细化与深入。模型、归纳、演绎等科学思维与科学方法的运用，不仅对学生的思维是一种引领，更是生物学学科核心素养在课堂教学中落地的实践。

3. 巧设问题情境，图表归纳重方法引导

科学探究的第一步是观察，两位教师引导学生对孟德尔实验的现象进行合理观察，并通过问题情境，引导学生在思考中将现象与原理联系起来，再辅以符号、图解进行说明。这样做不仅将抽象的思维和方法符号化、图像化，更利用符号与图解促进学生理解假说—演绎法与遗传学的相关概念。

建议教师进一步挖掘本节“思维训练”的材料，并结合这一材料引导学生运用本节涉及的科学方法，以小组形式设计育种方案，提升学生对概念与方法的应用能力，从而不断发展学生的核心素养。

评析人：王健（天津市中小学教育教学研究室）

人教版®

第2节 孟德尔的豌豆杂交实验（二）

一、教材分析

（一）教学目标

1. 阐明自由组合定律，并能运用自由组合定律解释或预测一些遗传现象。
2. 通过对孟德尔两对相对性状杂交实验的分析，培养归纳与演绎的科学思维，进一步体会假说—演绎法。
3. 通过分析孟德尔发现遗传规律的原因，体会孟德尔的成功经验，认同敢于质疑、勇于创新、探索求真的科学精神。
4. 说出基因型、表型和等位基因的含义。

（二）教学重点和难点

1. 教学重点
 - （1）两对相对性状杂交实验的分析，自由组合定律。
 - （2）孟德尔获得成功的原因。
2. 教学难点
 - （1）对自由组合现象的解释。
 - （2）运用遗传规律解释或预测一些遗传现象。

（三）编写思路

本节的“问题探讨”以黄色圆粒、绿色皱粒两种类型的豌豆照片为背景，引导学生根据孟德尔探索过程的顺序，讨论两对相对性状的遗传现象和遗传规律。问题1引导学生分析一对遗传因子对其他遗传因子的影响，问题2引导学生思考两对相对性状之间的关系，这两个问题都指向本节的主要内容。

在教学内容的安排上，本节与第1节相同，同样按照科学发现过程的顺序来构建框架体系，并按照孟德尔的实验过程，从现象到本质，层层深入地呈现了假说—演绎法的研究思路，再总结自由组合定律。在呈现方式上，教材突出了科学方法的教育，让学生在亲历科学家的探索过程中获取科学知识，领悟科学方法。对此，这里不再赘述，需要指出的是本节教材还有以下特点。

1. 本节十分注重前后内容之间的联系。例如，节引言提出新的疑问：“一对相对性状的分离对其他相对性状有没有影响呢？”，强调了第1节所学分离定律与本节内容的联系；再例如，教材第11~12页旁栏思考题设置了字母作为符号在孟德尔推理过程中的作用、孟德尔在总结遗传规律时是否用到了归纳法等问题，这些问题为“分析孟德尔获得成功的原因”埋下了伏笔。

2. 本节内容注重对科学方法的学习和科学精神的渗透。节引言引出孟德尔对两对相对性状的遗传的研究，渗透了孟德尔敢于质疑、勇于创新、探索求真的科学精神。在分析两对相对性状的遗传时，引导学生从一对相对性状入手，逐步分析每一对相对性状的遗传是否遵循分离定律，为两对相对性状的自由组合现象奠定基础。本节中的旁栏思考题、“思考·讨论”中的问题设计十分重视引导学生思考科学方法，培养学生的科学思维。

3. 分析孟德尔获得成功的原因需基于两节内容进行，整章教材是从“学习—实践—创新”的思路介绍孟德尔的生平和杂交实验的，所以在讲述两大遗传定律后，单设标题，揭示孟德尔实验方法带给我们的启示，并通过“思考·讨论”活动，引导学生总结孟德尔获得成功的原因。这样编写不仅体现了教材内容的开放性，也突出了本章教材的主旨——领悟科学方法，提升科学探究能力。

4. 在两节内容的基础上，引导学生运用遗传规律解释或预测一些遗传现象，会更好地体现生物学知识在生产生活中的应用，因此，第2节设置的“孟德尔遗传规律的应用”就是让学生在真实的问题情境中，灵活运用孟德尔遗传规律分析和解决实际问题，提升能力和社会责任。

二、教学建议

在本节教学中，一方面要基于分离定律，贯穿假说—演绎法，帮助学生构建自由组合定律，另一方面要通过分析孟德尔获得成功的原因，梳理其中蕴含的科学思维，并通过“孟德尔遗传规律的再发现”引领学生建构概念，最后结合育种与遗传病，为形成“有性生殖中基因的分和自由组合使得子代的基因型和表型有多种可能”的重要概念奠定基础。建议教师在第1课时，从回顾分离定律引入直至“自由组合定律”，以教材问题创设学习情境，以合作学习等多种形式突破难点；在第2课时，从回顾假说—演绎法引入直至“孟德尔实验方法的启示”，然后以绘制概念图、资料分析等活动培养学生的科学思维与探究能力，以解决生产生活问题，培养学生的社会责任感。

（一）回顾分离定律，“问题探讨”引入

引导学生回顾分离定律，引入对两对相对性状的遗传的研究。通过“问题探讨”激发学生的兴趣，启发学生思考是否存在黄色皱粒和绿色圆粒的豌豆，从而引入本节的学习。

（二）假说—演绎法贯穿，现象、数据支撑

教师带领学生阅读教材“本节聚焦”，明确学习目标。学生阅读“两对相对性状的杂交实验”的内容，通过了解 F_2 的性状明确真实存在黄色皱粒和绿色圆粒的豌豆，然后引导学生分析这两种性状组合的成因，以任务驱动学生学习。

1. 任务一：由现象分析推测性状的自由组合

教师基于研究一对相对性状的遗传得到分离定律的启示，提出由一对到多对的问题分析思路。让学生先单独分析每一对相对性状，说明每一对相对性状的遗传都遵循分离定律，再设置任

务：通过阅读教材和建立数学模型，解释一对相对性状的数量比3:1与两对相对性状的数量比9:3:3:1的数学关系，从而推测两对相对性状的自由组合。

2. 任务二：由表及里提出遗传因子自由组合的推测

首先回顾孟德尔假说中“生物的性状是由遗传因子决定的”观点，激发学生思考遗传因子的变化，提出问题：性状可以自由组合，那么遗传因子会有怎样的变化？用什么方法可以分析遗传因子的变化？学生讨论提出“控制两对相对性状的遗传因子自由组合”的假设，并选择科学符号进行遗传图解分析，为解释自由组合现象奠定基础。

3. 任务三：由分离到自由组合的小组合作学习

在师生共同确定亲本的遗传组成后，设定活动(1)：写出 F_1 的遗传因子组成，并回答以下问题：哪些字母代表的遗传因子控制子叶颜色，哪些控制种子形状？根据分离定律说明在形成配子时这些遗传因子如何分离，根据遗传因子自由组合的假设分析不同的遗传因子如何组合；活动(2)：回顾“受精时，雌雄配子的结合是随机的”假说，采用棋盘法等方法绘制并分析 F_2 的性状组成及比例，并说明 F_2 的遗传因子组成及比例，从而对自由组合现象作出解释。

对假说进行演绎、验证的过程，建议教师继续采取小组合作的方式，讨论并建立测交实验遗传图解，预测实验结果，并根据测交实验结果，归纳自由组合定律的内容。

(三) 分析孟德尔获得成功的原因，提炼科学思维方法

带领学生阅读教材，基于教材中的“思考·讨论”活动，结合孟德尔的豌豆杂交实验过程及思维过程，分析孟德尔获得成功的原因，从中提炼科学思维方法。

(四) 结合实际、责任担当，深化理解、继续创新

结合小麦育种的实例，引导学生说出选择优良性状纯种的原因，并将育种过程以符号和图解的方式呈现，设疑提出： F_2 中符合育种要求的个体性状是什么？这种性状占 F_2 的比例是多少？能否留种？为什么？怎样得到具有优良性状的纯种个体？通过由表及里地设疑分析，使学生了解应用遗传学规律解决实际问题的思考方法。教师也可将小麦育种的历史、小麦与中华文明发展的关系、我国近年来取得的小麦育种成就等内容适当地融入教学中。

对白化病等遗传病实例的分析，教师可以利用遗传图解和建立数学模型的方式，引导学生说出亲本为什么一定是杂合子，而后代得病的概率为什么是1/4；同时可适当增加关于白化病的介绍，让学生更多地关注并关爱遗传病患者，培养学生的社会责任感。

三、答案和提示

(一) 问题探讨

1. 不影响。提示：决定子叶颜色的遗传因子和决定种子形状的遗传因子具有一定的独立性，二者的分离和组合是互不干扰的，因此它们之间不会相互影响。

2. 不一定。在生活中，也可以看到黄色皱缩的豌豆及绿色饱满的豌豆。

提示：“问题探讨”的目的是创设真实的问题情境，活跃学生的思维，引导学生进入新的学习状态。教师可以通过让学生观察豌豆或其他生物，使学生认识到任何生物都不止表现出一种性状，后代表现的特征是两个亲本性状组合的结果。由此可进一步思考和讨论：双亲的性状是遵循什么规律进行组合、传递给后代的？在育种实践中人们如何获得所需的性状组合？

（二）旁栏思考题

1. 从数学的角度分析， $(3:1)^2$ 的展开式为 $9:3:3:1$ ，即 $9:3:3:1$ 的比例可以表示为两个 $3:1$ 的乘积。对于两对相对性状的遗传结果，如果对每一对相对性状单独进行分析，如分别只考虑圆和皱、黄和绿一对相对性状的遗传时，其性状的数量比是圆粒：皱粒 $= (315+108) : (101+32) \approx 3:1$ ；黄色：绿色 $= (315+101) : (108+32) \approx 3:1$ 。即每一对相对性状的遗传都遵循分离定律，这无疑说明两对相对性状的遗传结果可以表示为它们各自遗传结果的乘积，即 $9:3:3:1$ 来自于 $(3:1)^2$ 。

2. 黄色皱粒（遗传因子组成为YYrr）和绿色圆粒（遗传因子组成为yyRR）杂交，可获得遗传因子组成为YyRr的黄色圆粒豌豆。

3. 用中文或英文的词或句子来代表遗传因子，表述黄色圆粒豌豆与绿色皱粒豌豆杂交实验的分析图解会非常烦琐，而用字母作为符号分析遗传图解就简便多了。用字母作为符号呈现思维过程，也利于不同语言、不同地区的人交流。

4. 归纳法是从一类事物的一个个具体事实中总结出这类事物共性的逻辑思维方法。孟德尔在进行豌豆杂交实验时，研究了7对相对性状各自的遗传结果，发现了 F_2 中显性性状个体与隐性性状个体的数量比约为 $3:1$ ，由此总结出遗传因子的传递规律，这个过程中就运用了归纳法。

（三）思考·讨论

1. 豌豆适于作杂交实验材料的优点有：（1）具有稳定的易于区分的相对性状，如高茎和矮茎，高茎高度为1.5~2.0 m，矮茎高度仅为0.3 m左右，易于观察和区分；（2）豌豆严格自花传粉，在自然状态下可以获得纯种，纯种杂交可获得杂合子；（3）豌豆花比较大，易于做人工杂交实验。孟德尔正是因为选用了豌豆做杂交实验，才能有效地从单一性状到多对性状研究生物遗传的基本规律，才能对遗传实验结果进行量化统计。若孟德尔一味地用山柳菊做实验，就很可能揭示不了生物遗传的规律，所以科学地选择实验材料是科学研究取得成功的重要保障之一。

2. 如果孟德尔没有对实验结果进行统计学分析，他很难对分离现象作出解释。因为通过数学统计，孟德尔发现了生物性状的遗传在数量上呈现一定的数学比例，这引发他揭示其实质的兴趣。同时这也使孟德尔意识到数学概率也适用于生物遗传的研究，从而将数学方法引入对遗传实验结果的处理和分析中。

3. 一种正确的假说，仅能解释已有的实验结果是不够的，还应该能够预测另外一些实验的结果，并通过实验来验证。如果实验结果与预测相符，就可以认为假说是正确的；反之，则认为假说是错误的。孟德尔基于他对豌豆杂交实验作出的假说，设计测交实验，其实验结果与预测相符，由此证明自己提出的假说是正确的。

4. 有关系。数学包含许多符号，数学符号也被普遍应用于概括、表述和研究数学的过程中。

孟德尔创造性地应用符号体系，并用于表达抽象的科学概念，和应用数学符号研究数学有异曲同工之妙，这与他曾在大学进修过数学有关。

数学符号能简洁、准确地反映数学概念的本质。孟德尔用这种方法，也更加简洁、准确地反映抽象的遗传过程，使他的逻辑推理更加顺畅。

5. (1) 扎实的知识基础和对科学的热爱。孟德尔在维也纳大学进修时，通过对自然科学的学习，使他具有生物类型是可变的、可以通过杂交产生新的生物类型等进化思想。同时孟德尔还学习数学，使他受到“数学方法可以应用于各门自然科学之中”的思想影响，产生应用数学方法解决遗传学问题的想法，使孟德尔成为第一个认识到概率原理能用于预测遗传杂交实验结果的科学家。

(2) 严谨的科学态度。孟德尔对杂交实验的研究是从观察遗传现象出发，提出问题、作出假设，然后设计实验验证假设的研究方法。这在当时是一种新的研究思路，光是豌豆的杂交实验，他就没有局限于对实验结果的简单描述和归纳。

(3) 创造性地应用科学符号体系。科学符号体系能够更简洁、准确地反映抽象的遗传过程。

(4) 勤于实践。孟德尔在豌豆杂交实验中，连续进行了8年的研究，并且对每次实验的结果进行统计分析，从中发现了前人没有发现的问题和规律。

(5) 敢于向传统挑战。孟德尔通过实验研究，提出了“颗粒遗传”的思想，这是对传统遗传观念的挑战。

(四) 练习与应用

概念检测

1. (1) × (2) ✓
2. C
3. A

拓展应用

1. 3/16

2. 因为控制非甜玉米性状的是显性基因，控制甜玉米性状的是隐性基因。当甜玉米接受非甜玉米的花粉时，后代为杂合子（既含有显性基因，也含有隐性基因），表现为显性性状，故在甜玉米植株上结出非甜玉米的籽粒；当非甜玉米接受甜玉米的花粉时，后代为杂合子，表现为显性性状，即非甜玉米的性状，故在非甜玉米植株上结出的仍是非甜玉米的籽粒。

3. 单、双眼皮的形成与人眼睑中一条提上睑肌纤维的发育有关。用A和a分别表示控制双眼皮的显性基因和控制单眼皮的隐性基因，如果父母是基因型为Aa的杂合子，其表型虽然为双眼皮，但子女可能会表现为单眼皮（基因型为aa）。

生物的性状主要决定于基因型，但也会受到环境因素、个体发育中的其他条件等影响。基因型为AA或Aa的人，如果因提上睑肌纤维发育不完全，则可能表现为单眼皮；这样的男性和女性婚配所生的子女，如果遗传了来自父母的双眼皮显性基因A，由于提上睑肌纤维发育完全，则表现为双眼皮。在现实生活中，还能见到有人一只眼是单眼皮、另一只眼是双眼皮的现象，这是由两只眼睛的提上睑肌纤维发育程度不同导致的。由此可见，遗传规律虽然通常由基因决定，但

也受到环境等多种因素的影响，因而表现得十分复杂。

四、背景资料

（一）1900年重新发现孟德尔规律的三位科学家的有关工作

荷兰阿姆斯特丹大学的著名教授德弗里斯（H.de Vries，1848—1935）研究了两种月见草的杂交。发现从杂种种子长出的植株（ F_1 ）完全像一个亲本的性状，接着 F_1 自花传粉得到的下一代（ F_2 ）中，又重新出现了具有另一个亲本性状的植株，分离比为3:1。他又进一步做了详细研究，认为这是一个遗传法则。为了弄清楚以前是否有人做过同样的研究，他查阅了文献。结果从拜莱的著作《植物育种》（1895年）中了解到孟德尔的工作。德弗里斯将自己的研究成果分别用法文和德文撰写成论文。用德文写的《杂种的分离定律》（1900年3月26日发表）刊登在《德国植物学会杂志》第18卷第83~90页。在这篇论文中德弗里斯写道：“这项重要的研究（孟德尔：《植物杂交实验》）竟极少被人引用，以致在我总结我的主要实验，并从实验中推导出孟德尔论文早已给出的原理之前，竟然不知道有这项研究。”比德文论文晚12天写成的法文论文《关于杂种的分离定律》刊登在法国科学院的《记事录》上。但在法文论文中，对孟德尔的工作只字未提。德弗里斯推测每一个遗传性状都由一个称为泛子的特殊颗粒所支配，并指出物种的性状可以分成一个个独立的组成成分而用于杂交。他的学术观点对遗传的“突变理论”起了重大作用。

德国土宾根大学研究玉米的教授柯伦斯（C.Correns，1864—1933）在1900年4月21日读到了德弗里斯的法文论文，看到了与自己研究工作相同的结果。尽管他读到的法文论文中未提到孟德尔，但他曾从老师耐格里处得知孟德尔的工作。于是他在自己的论文标题中特别突出地强调了孟德尔。他的论文《杂种后代表现方式中的孟德尔定律》（1900年4月24日收稿）也发表在《德国植物学会杂志》第18卷第158~168页。柯伦斯的论文对孟德尔遗传规律的再发现也起了十分重要的作用。

与此同时，奥地利维也纳农业大学的一位年轻讲师丘歇马克（E.Tschermak，1871—1962）在研究豌豆杂种后代的性状时，也观察到分离现象。他认为这是一个重大发现，着手撰写讲师就职论文《关于豌豆的人工杂交》。可是，当论文校样出来时，他读到了德弗里斯的德文论文和柯伦斯的论文，于是，他赶忙把论文摘要投寄给《德国植物学会杂志》，刊登在该杂志第18卷第232~239页。

三位科学家的论文都刊登在1900年出版的《德国植物学会杂志》第18卷，都证实了孟德尔有关单个性状遗传的法则，从而引起了学术界的重视。

（二）质量性状和数量性状

质量性状是指同一种性状的不同表型之间不存在连续性的数量变化，而呈现质的中断性变化的那些性状。它由少数起决定作用的遗传基因所支配，如角的有无、毛色、血型、遗传缺陷等都属于质量性状。质量性状的基本特征包括：（1）多由一对或少数几对基因所决定，每对基因都在表型上有明显的可见效应；（2）其变异在群体内的分布是间断的，即使出现有不完全显性杂合子

的中间类型也可以区别归类；(3) 性状一般可以描述，而不是度量；(4) 遗传关系较简单，一般都服从遗传定律；(5) 遗传效应稳定，受环境因素影响小。

由于质量性状在杂种后代的分离群体中具有明显的差异，所以可以明确地分组并求出不同组间的比例，来研究它们的遗传动态。然而，在生物界更广泛存在的是数量性状。数量性状是指在一个群体内的不同个体间表现为连续变异的性状，如动植物的高度、毛发的长度等。数量性状较易受环境的影响，在一个群体内不同个体间的差异一般呈连续的正态分布，难以在个体间明确地分组。

美国学者伊斯特 (Edward M. East, 1879—1938) 研究了烟草 (*Nicotiana longiflora*) 花冠的遗传规律。他将花冠的平均长度为 40.5 mm 和 93.3 mm 的品种进行杂交， F_1 呈中间长度，但长度稍有变化，这是由环境的变化所引起的。 F_2 得到 444 个植株，其长度的分布在两个亲本品种的平均长度之间，但比 F_1 有较大范围的变化。 F_2 的花冠长度没有一株像短花冠亲本那样短，也没有像长花冠亲本那样长 (图 1-2)。East 继续将 F_2 中的 3 类植株 (短花冠类型、中间类型、长花冠类型) 分别进行繁殖，分别获得了 3 类 F_3 植株。结果显示，短花冠 F_2 植株的后代具有较其亲本更短的花冠平均长度；同样，花冠长度较大的 F_2 的后代，花冠平均长度也超过了其亲本类型。 F_3 的花冠长度表明， F_2 的变异既受遗传的影响，也受环境的影响。^[6] 由此也说明在一个自然群体或杂交后代群体内，如果不同个体的性状都表现为连续的变异，那么很难对性状进行明确的分组，更难求出不同组之间的比例，所以不能用分析质量性状的方法分析数量性状。

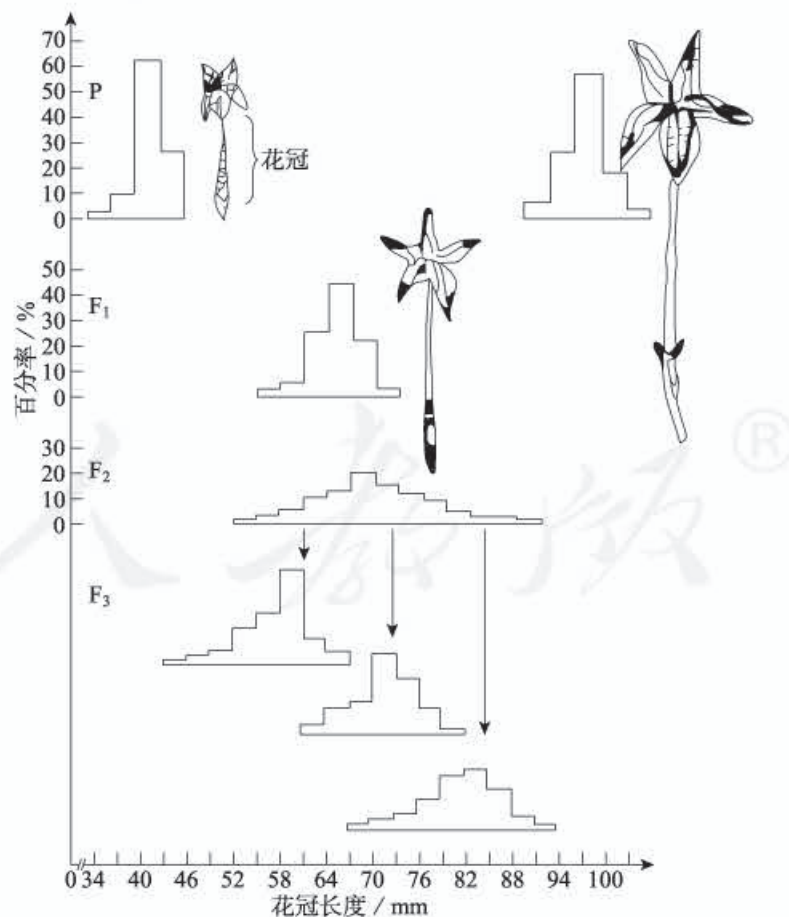


图 1-2 烟草花冠长度的遗传分析

对数量性状遗传机制的解释，逐渐形成了以多基因假说为基础的基因理论。研究预测，烟草花冠长度的差异可能由4对以上的基因共同决定。人的身高也呈现多基因决定的特点，也受到环境的影响。

人的身高是由许多数目不详、作用微小的共显性基因所决定的。假设有三对决定身材高矮的基因： AA' 、 BB' 、 CC' ，频率都是0.5。在这三对基因中， A 、 B 、 C 三个基因各使人的身高在平均身高的基础上增加5 cm， A' 、 B' 、 C' 各使人的身高在平均身高的基础上降低5 cm。假如身高极高的个体（ $AABBCC$ ）和身高极矮的个体（ $A'A'B'B'C'C'$ ）婚配，子一代都将具有杂合基因型（ $A'A'B'B'C'C'$ ），理论上子一代都将具有中等身高。然而，由于环境因素的影响，子一代个体间在身高上仍会有一定差异。子一代的不同个体间如果进行婚配，子二代的大部分个体仍将具有中等身高，但是身高范围更加广泛，将会出现一些极高和极矮的个体。这种变异首先受这三对基因分离和自由组合的影响，子一代可产生8种精子或卵细胞，精卵随机结合，子二代可有27种基因组合，然后再将各基因型按高矮不同基因数归组，可以归并成7组： $6, 0'$ （无上标的数字表示使身材增高基因的个数，有上标的数字表示使身材变矮的等位基因的个数）， $5, 1'$ 、 $4, 2'$ 、 $3, 3'$ 、 $2, 4'$ 、 $1, 5'$ 、 $0, 6'$ ；它们的频数分布是1、6、15、20、15、6、1（图1-3）。

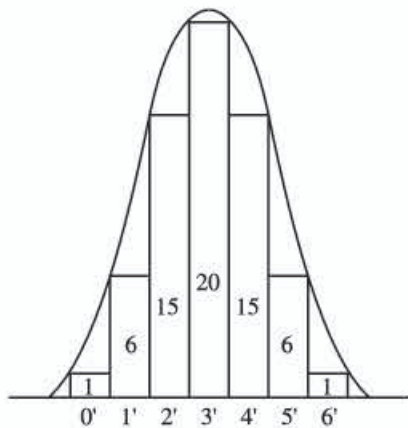


图1-3 子二代身高变异分布图

（三）基因的多效性

基因的多效性是指一个基因可有多种生物学效应。在人类中，很多单个基因可以使一个个体表现出多种性状。其原理涉及基因的初级效应和次级效应。初级效应是指基因通过转录和翻译过程指导一条多肽链的合成，而次级效应则是由肽链所构成的蛋白质或酶所参与或控制的各种生理过程。基因的初级效应是单一的，但次级效应则可以是多方面的。一个基因异常所造成的基因产物的缺乏常常会在不同的组织内及个体不同的发育阶段引起一系列的生化代谢或组织结构的异常，使个体表现出多种性状。

基因的多效性表现为基因间的相互作用，机制是生物的一切表型都是蛋白质活性的表现，具体地说是酶的作用，而这些酶又是在基因控制下合成的。生物体的多数性状是许多酶共同作用的结果，也就是由多基因控制的，是这些基因相互作用的结果。

（四）等位基因间的相互作用

等位基因间的相互作用主要表现为显、隐性和共显性的关系。孟德尔研究过的豌豆7对性状表现为完全显性。但后来发现由一对等位基因决定的相对性状中，显性有的是不完全的，或是出现其他遗传现象。但这并不悖于孟德尔定律，而是其进一步的发展和扩充，现介绍几种。

1. 不完全显性（incomplete dominance）

把紫茉莉开红花（ CC ）的品种与开白花（ cc ）的品种杂交， F_1 杂合子（ Cc ）的花为粉红色，

是双亲的中间型。这似乎违背了孟德尔颗粒遗传原理。事实却不然，当 F_1 杂合子自交时， F_2 中有1/4红花，2/4粉红花，1/4白花。杂合子 F_1 中的白花基因c在 F_2 又按原样分离出来。 F_1 和 F_2 的中间型是C基因对c基因不完全显性所造成的，粉红色是C基因与c基因共同作用的结果。

人的天然卷发也是由一对不完全显性基因决定的，其中卷发基因W对直发基因w是不完全显性。纯合子WW的头发十分卷曲，杂合子Ww的头发卷曲程度中等，ww则是直发。

2. 共显性 (codominance)

一对等位基因的两个成员在杂合子中都表达的遗传现象叫共显性。人类的MN血型是继ABO血型后被检出的第二种血型，首先由兰德施泰纳 (Landsteiner, 1868—1943) 和莱文 (Levine, 1900—1987) 发现。由于MN血型是使用免疫血清检出的，故取M和N两个字母作为MN血型的符号。它的遗传是由一对等位基因决定的，为纪念上述两位科学家，故以 L^M 、 L^N 表示这一对等位基因。MN血型分为M型、MN型和N型3种表型。M型个体的红细胞表面有M抗原，由 L^M 基因决定，N型有N抗原，由 L^N 基因决定，MN型既有M抗原又有N抗原， L^M 和 L^N 基因并存，它们互不遮盖。3种表型的基因型分别为 $L^M L^M$ 、 $L^N L^N$ 和 $L^M L^N$ 。MN血型表明 L^M 和 L^N 这一对等位基因分别控制不同的抗原物质，这两种物质在杂合子中同时表现出来。就这种血型而言，在人类中可能有6种婚配方式。下表表示系谱分析后不同婚配方式和其子女的血型分布 (表1-4)。MN血型遗传同样说明分离定律的普遍性。

表1-4 MN血型遗传

表型	基因型	家庭数	实得子女数			理论比		
			M	MN	N	M	MN	N
M × M	$L^M L^M \times L^M L^M$	24	98	—	—	1	—	—
N × N	$L^N L^N \times L^N L^N$	6	—	—	27	—	—	1
M × N	$L^M L^M \times L^N L^N$	30	—	43	—	—	1	—
M × MN	$L^M L^M \times L^M L^N$	86	183	196	—	1/2	1/2	—
N × MN	$L^N L^N \times L^M L^N$	71	—	156	167	—	1/2	1/2
MN × MN	$L^M L^N \times L^M L^N$	69	71	141	63	1/4	2/4	1/4

镰状细胞贫血也是共显性的一个例子。正常人红细胞呈碟形，镰状细胞贫血患者的红细胞呈镰刀形。正常人与镰状细胞贫血患者结婚所生子女，红细胞既有正常碟形的，又有镰刀形的，平时并不表现严重的病症，只有在缺氧条件下才发病。

3. 镶嵌显性 (mosaic dominance)

在 F_1 个体上，双亲的性状在不同部位镶嵌存在，称为镶嵌显性。这是我国著名遗传学家谈家桢 (1909—2008) 教授于1946年在研究异色瓢虫鞘翅色斑的遗传时发现的。

异色瓢虫有很多鞘翅色斑的变异。鞘翅底色为黄色，不同类型在底色上呈现不同的黑色斑纹。黑缘型鞘翅的前缘呈黑色，均色型的后缘呈黑色。纯种黑缘型与纯种均色型个体杂交， F_1 个体上既不表现黑缘型，也不表现均色型，而出现了一种新的色斑类型，好像双亲的鞘翅叠起来

了，其黑色部分都表现出来，呈镶嵌现象。当把子一代个体再相互交配， F_2 中1/4是黑缘型，2/4新类型即镶嵌型，1/4为均色型（图1-4）。异色瓢虫镶嵌显性的实质是：在个体发育过程中，一对基因的表达时间不同，黑缘型基因只在鞘翅前缘体细胞内合成黑色素，在其他细胞中呈抑制状态；均色型基因只在鞘翅后缘的体细胞中发挥作用，在其他细胞中不表达。

4. 致死基因 (lethal gene)

1904年，法国遗传学家库埃诺（L.Cuénot, 1866—1951）在小鼠中发现黄色的品种不能真实遗传。即黄色小鼠与黄色小鼠交配，其后代总会出黑色小鼠，而且黄色、黑色的比例往往是2:1，而不是通常3:1的分离比。上述后代中黑色小鼠能够真实遗传，证明它是隐性纯合子，而黄色小鼠与黑色小鼠杂交的子代则是黄色:黑色为1:1，则说明黄色小鼠为杂合子，纯合黄色个体可能在胚胎发育过程中死亡。遗传图解见图1-5。

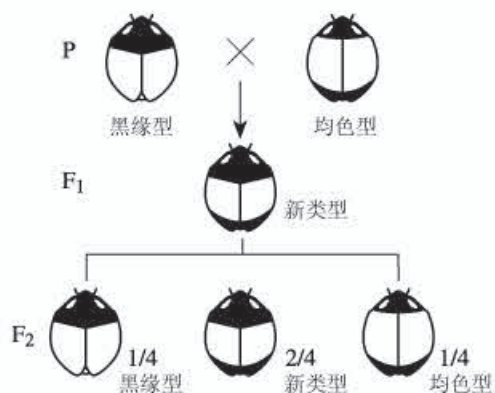


图1-4 异色瓢虫鞘翅色斑的遗传

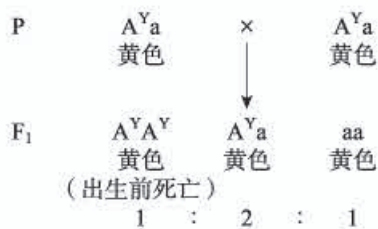


图1-5 小鼠毛色的遗传图解

后来的研究进一步证明：母鼠（ $A^Y a$ ）的子宫中，确实发现有一部分（大约1/4）胚胎死亡在囊胚期。其原因是单个基因 A^Y 产生一种可识别的黄色表型，在杂合状态时无害。当 A^Y 纯合（ $A^Y A^Y$ ）时具有影响胚胎活力致死的作用。

像上述隐（或显）性基因在杂合时不影响个体的活力，但在纯合时有致死效应的叫作隐性致死基因。杂合状态即表现致死作用的基因为显性致死基因，如由显性基因 Rb 引起的视网膜母细胞瘤是一种眼科致死性遗传病，该病常在幼年发病最终导致死亡。所以致死基因的作用可以发生在个体发育的各个时期，且致死效应往往与个体所处的环境有关。

5. 复等位基因 (multiple alleles)

所谓复等位基因是指在种群中，同源染色体的相同位点上，可以存在两个以上的等位基因，遗传学上把这种等位基因称为复等位基因。人类的ABO血型遗传就是复等位基因遗传现象的典型例子。

人类的ABO血型有A、B、AB、O四种类型，这四种表型的基因型相应为 $I^A I^A$ 、 $I^A i$ ； $I^B I^B$ 、 $I^B i$ ； $I^A I^B$ ； ii 。 I^A 、 I^B 对 i 为显性， I^A 与 I^B 为共显性。显然，在上述基因型中涉及三个基因 I^A 、 I^B 和 i ，这就是一组复等位基因。应当指出，在一个正常二倍体的细胞中，在同源染色体的相同位点上，只能存在一组复等位基因中的两个成员，只有在群体中不同个体之间，才有可能在同源染色体的相同位点上出现三个或三个以上的成员。根据父母的血型及分离定律，可以推测出子女中可能出现的血型 and 不可能出现的血型（表1-5）。

表1-5 亲代的血型类型及其后代可能的血型

婚配	父母血型		在后代子女中可能出现的血型	
	表型	可能基因型	基因型	表型
1	O × O	ii × ii	ii	O
2	O × A	ii × I ^A i	I ^A i, ii	A, O
		ii × I ^A I ^A	I ^A i	A
3	O × B	ii × I ^B i	I ^B i, ii	B, O
		ii × I ^B I ^B	I ^B i	B
4	A × A	I ^A i × I ^A i	I ^A I ^A , I ^A i, ii	A, O
		I ^A I ^A × I ^A i	I ^A I ^A , I ^A i	A
		I ^A I ^A × I ^A I ^A	I ^A I ^A	A
5	A × B	I ^A i × I ^B i	I ^A I ^B , I ^A i, I ^B i, ii	AB, A, B, O
		I ^A I ^A × I ^B i	I ^A I ^B , I ^A i	AB, A
		I ^A i × I ^B I ^B	I ^A I ^B , I ^B i	AB, B
		I ^A I ^A × I ^B I ^B	I ^A I ^B	AB
6	B × B	I ^B i × I ^B i	I ^B I ^B , I ^B i, ii	B, O
		I ^B i × I ^B I ^B	I ^B I ^B , I ^B i	B
		I ^B I ^B × I ^B I ^B	I ^B I ^B	B
7	O × AB	ii × I ^A I ^B	I ^A i, I ^B i	A, B
8	A × AB	I ^A i × I ^A I ^B	I ^A I ^A , I ^A I ^B , I ^A i, I ^B i	AB, A, B
		I ^A I ^A × I ^A I ^B	I ^A I ^B , I ^A I ^A	AB, A
9	B × AB	I ^B i × I ^A I ^B	I ^B I ^B , I ^A I ^B , I ^A i, I ^B i	AB, A, B
		I ^B I ^B × I ^A I ^B	I ^A I ^B , I ^B I ^B	AB, B
10	AB × AB	I ^A I ^B × I ^A I ^B	I ^A I ^A , I ^B I ^B , I ^A I ^B	A, B, AB

在高等植物中，烟草是自交不育的，已知至少有15个自交不亲和基因，它们分别是S₁、S₂……S₁₅，构成了一个复等位基因系列，相互间没有显隐性关系。

(五) 非等位基因间的相互作用

当几个处于不同染色体上的非等位基因影响同一性状时，也可能产生基因的相互作用。生物的多数性状都不是单个基因决定的，几乎都是基因相互作用的结果。所谓相互作用，一般是指基因的代谢产物的互作，少数是蛋白质之间的相互作用。非等位基因的相互作用有以下类型。

1. 基因互作 (interacting gene)

指非等位基因的产物相互作用出现新性状的遗传现象。例如，有一种无毒蛇，皮肤由两种酶控制而形成黑色和橘红色斑纹（黑色素在橘红色斑纹两边），将这种表型称为野生型，其基因

型为 $OOBB$ ；另一种全身斑纹为黑色，橘红色的性状基本消失，其基因型为 $ooBB$ ；当基因型为 $OObb$ 时，蛇全身皮肤的表型为桔红色斑纹，第四种表型则是既无黑色又无橘红色斑纹的白色蛇，其基因型为 $oobb$ 。研究发现白色蛇是由于缺乏黑色素酶和橘红色素酶所致。现将纯合的黑蛇和橘红色蛇进行杂交，其 F_1 全为野生型（红、黑相间），当 F_1 自交产生 F_2 时，出现4种表型，其中 $9/16$ 为野生型， $3/16$ 为黑色， $3/16$ 为橘红色， $1/16$ 为白色。显然遗传结果不同于孟德尔所假设的两对等位基因决定两对相对性状的情况，其杂交结果见图1-6。

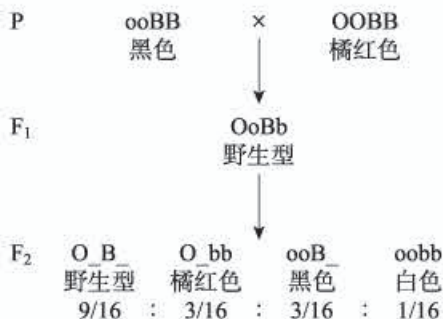


图1-6 蛇皮肤颜色的杂交实验

遗传分析表明：**O**基因决定橘红色素酶的形成，隐性突变基因**o**基因控制橘红色素的功能失活；**B**基因的作用是决定黑色素酶的形成，其基因产物为黑色素。**o**基因与**b**基因的作用出现新性状（白色），**O**基因与**B**基因的作用出现新性状——黑色与橘红色斑纹，缺乏**O**基因（ $ooBB$ ）或缺乏**B**基因（ $OObb$ ）者即为亲本类型。

2. 互补基因 (complementary gene)

若干非等位基因只有同时存在时才出现某一性状，其中任何一个基因发生突变时都会导致同一突变型性状，这些基因称为互补基因。

在牧草中，白花三叶草有两个稳定遗传的品种，叶片内含氰（HCN）的和不含氰的。当两个不含氰的品种进行杂交时，其杂交结果见图1-7。

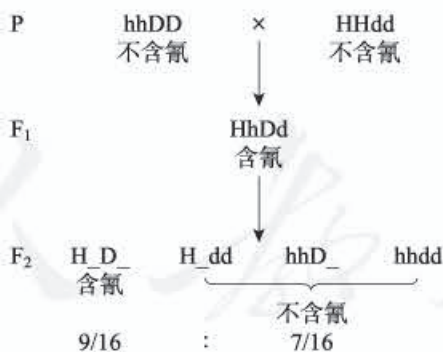


图1-7 含氰三叶草和不含氰三叶草杂交实验

白花三叶草叶片内的氰化物是经下列生化途径产生的。



D基因的作用在于决定产氰糖苷酶的合成，而**H**基因的功能则在于决定氰酸酶的合成，只有当**D**基因和**H**基因同时存在时，才能在叶片中生成氰。

3. 抑制基因 (inhibitor)

有些基因本身并不能独立地表现出任何可见的表型效应，但可以完全抑制其他非等位基因的作用，这种基因为抑制基因。例如，家蚕的茧有黄茧和白茧，其杂交结果见图 1-8。

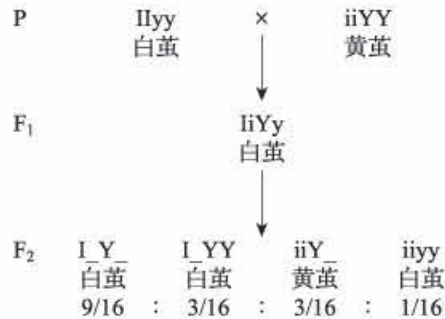


图 1-8 白茧和黄茧家蚕的杂交实验

当 I 基因存在时，抑制了黄茧 Y 基因的作用，只有 I 基因不存在时，Y 基因的作用才能表现出来。家蚕的 I 基因对 Y 基因有抑制作用。

4. 上位效应 (epistatic effect)

是指一对基因影响了另一对非等位显性基因的效应，这种非等位基因间的相互作用方式称为上位性 (epistasis)。上位性与显性相似，因为这两者都是一个基因掩盖了另一个基因的表达。区别就在于显性是一对等位基因中一个基因掩盖另一个基因的作用，而上位效应是非等位基因间的掩盖作用，掩盖者称为上位基因 (epistatic gene) 也称为异位显性，被掩盖者称为下位基因 (hypostatic gene)。上位效应包括隐性上位和显性上位，隐性上位如家兔毛色的遗传，其杂交结果见图 1-9。

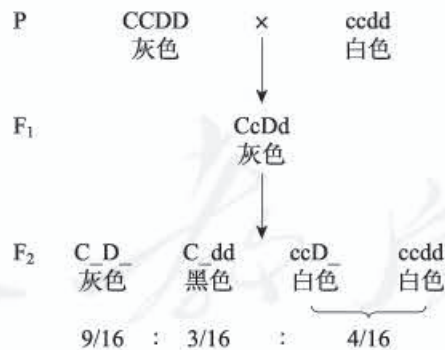


图 1-9 家兔灰色毛和白色毛的杂交实验

在家兔毛色的遗传中，显性基因 C 控制酪氨酸氧化酶的形成，这种酶可使酪氨酸在代谢过程中形成黑色素，使皮毛呈黑色；非等位基因的另一对显性基因 D 决定黑色素在皮毛中的分布；没有黑色素的形成，就谈不上黑色素的分布，所以在纯合的 cc 个体中，D 基因和 d 基因的作用都表现不出来。

显性上位，如燕麦中黑颖品系和黄颖品系的遗传，其杂交结果见图 1-10。

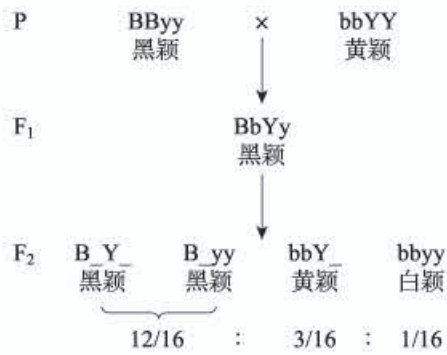


图1-10 黑颖燕麦与黄颖燕麦的杂交实验

遗传结果是B基因掩盖了另一对非等位显性Y基因的表现。其原因是B基因控制黑色素的形成，黑色素的颜色深，所以只要B基因存在，Y基因所控制的黄色素就不能表现出来，只有当B基因不存在时，才能显示Y基因的作用。

5. 叠加效应 (duplicate effect)

由两对等位基因决定同一性状的表达，而且具有叠加效应。例如，荠菜的硕果形状有三角形和卵形两种，其杂交结果见图1-11。

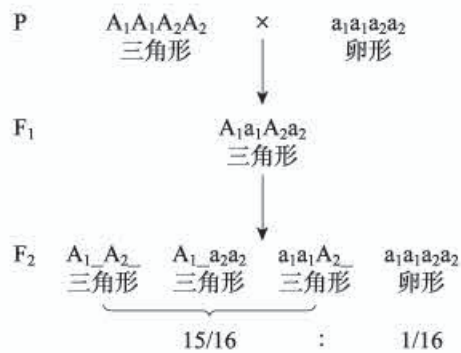


图1-11 三角形果荠菜与卵形果荠菜的杂交实验

(六) 人类性状遗传分析举例

传统的孟德尔遗传分析主要是通过统计不同亲代杂交产生的不同性状子代的数目进行分析。即使在我们不知道造成性状的基因本身的性质或定位的情况下，仍然可以判断基因的显隐性和该性状的遗传方式。对人类遗传性状的研究无法采用杂交实验的方法，只能对具有该性状的家系成员的性状分布进行观察分析，通过对性状在家系后代的分离或传递方式来推断基因的性质和该性状向某些家系成员传递的概率，这种方法称为系谱分析。判断一种性状的遗传方式往往需要分析具有该性状的许多家系并进行统计处理后才能得到准确的结论。较大的家系的遗传分析，价值较高。系谱分析中常用的符号见图1-12。

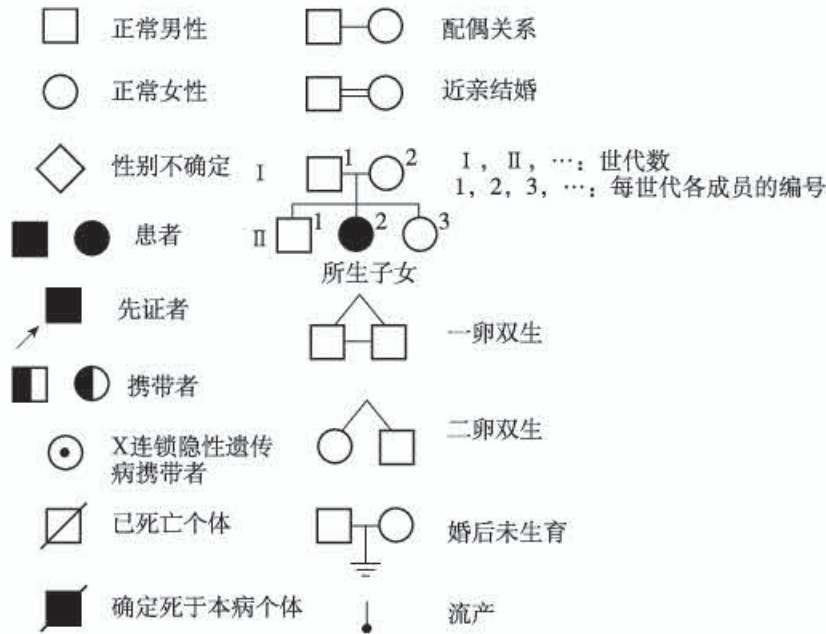


图1-12 系谱中常用符号

在进行系谱分析时，首先从家系中前来就诊或发现的第一个患病（或具有所研究的性状）个体开始，他也叫先证者；然后逐步追溯调查其他成员的发病（或有某性状的）情况。通过对尽可能多的家系成员，包括不具有这一性状的个体的调查结果，根据人类系谱命名法绘制成系谱图。通过系谱分析可以判断某一性状是否由遗传决定，是否有主基因存在，传递方式的显隐性等，从而为寻找有关的基因及其在染色体上的定位、基因所决定的性状在家族中的复发风险估计提供依据。

1. 常染色体显性遗传病

致病基因位于常染色体上，在与正常的等位基因形成杂合子时可导致个体发病，即致病基因决定的是显性性状，所引起的疾病称为常染色体显性遗传（**autosomal dominance inheritance, AD**）病。

A1型短指症是第一例被证实是人类显性遗传的疾病，这是一种表现为骨骼异常的AD病（图1-13）。我国科学家贺林（1953—）已将该病的致病基因克隆。

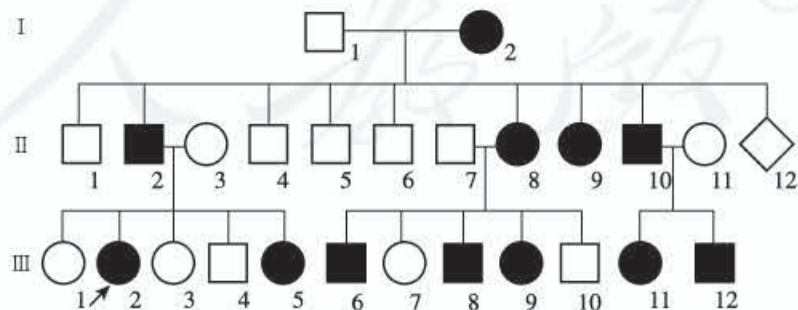


图1-13 一例A1型短指症的系谱

AD病系谱的特点如下。

(1) 患者的双亲之一常常是患者，致病基因是由患病的亲代向后代传递而来。因此，如果双亲无病，子女一般也不会发病。如果出现双亲无病而子女发病的情况，则可能是新的基因突变所引起。

- (2) 患者的子女有 $1/2$ 的发病机会，即患者每生育一次，都有 $1/2$ 生育患者的风险。
- (3) 因为致病基因位于常染色体上，其传递不涉及性别，所以男女有同样的发病可能。
- (4) 由先证者向上连续几代都能看到患者，即这类遗传病有连续遗传的现象。

2. 常染色体隐性遗传病

控制一种遗传性状的基因是隐性基因，位于常染色体上，其遗传方式称为常染色体隐性遗传 (autosomal recessive inheritance, AR)。由常染色体上隐性致病基因引起的疾病称为常染色体隐性遗传病。

白化病是一种常见的常染色体隐性遗传病，由于患者体内编码酪氨酸酶的基因发生突变，导致酪氨酸酶缺乏，使黑色素的合成发生障碍，从而引起白化症状。患者的虹膜、皮肤、毛发缺乏色素。现以 a 表示该病的致病基因，与其等位的正常基因为 A ，当一对夫妇均为携带者时，他们的后代将有 $1/4$ 的概率是白化病患儿，其余 $3/4$ 的概率为表型正常的个体，在表型正常的个体中， $2/3$ 的概率为白化病基因携带者。

AR病系谱见图 1-14。

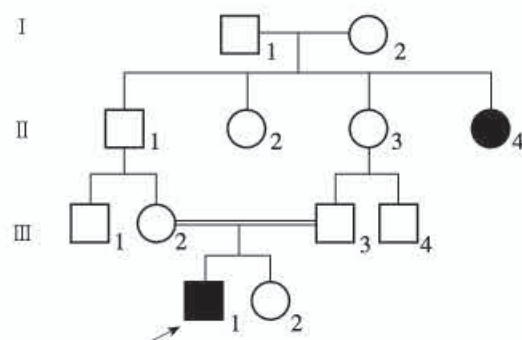


图 1-14 常染色体隐性遗传的典型系谱

AR病系谱的特点如下。

- (1) 由于致病基因位于常染色体上，因而致病基因的遗传与性别无关，男女发病机会均等。
- (2) 系谱中看不到连续遗传现象，常为散发病例，有时系谱中只有先证者一个患者。
- (3) 患者的双亲往往表型正常，但他们都是致病基因携带者。患者的兄弟姐妹中约有 $1/4$ 的概率患病， $3/4$ 的概率为正常，在表型正常的个体中有 $2/3$ 的可能性是携带者。一般在小家系中有时看不到准确的发病比例，如果将相同婚配类型的小家系合并起来分析，就会看到近似的发病比例。
- (4) 近亲婚配后代的发病率比非近亲婚配发病率高。这是由于近亲之间可能从共同的祖先传来某一相同的基因，所以他们基因相同的可能性较一般人要高。

味盲基因的遗传是人类中隐性基因遗传的典型例证。隐性等位基因 t 是一种控制不能品尝出苯硫脲 (简称 PTC) 或者有关化合物的基因。PTC 是一种白色结晶物，由于含有硫酰胺基而具有苦涩味。对于这种化合物，多数人是尝味者 (taster)，研究表明，在他们的舌根部滴入稀释至 $3.3 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-5}$ 的 PTC 溶液时，他们就能够品尝出 PTC 的苦涩味道；少数人是不能品尝者，把浓度很高的 PTC 溶液甚至结晶物放在这类人的舌根部，他们都不能品尝出 PTC 的苦涩味来，通常称这类人为对 PTC 味盲 (nontaster)。味盲者同味盲者婚配，除极少数例外，只能生下味盲子女；尝味者与尝味者，或尝味者与味盲者婚配，可能会生下两种类型的子女。这说明味盲者是隐性纯合子 tt ，尝味者的基因型则无疑是 TT 或 Tt 。下页的系谱图 (图 1-15) 说明对 PTC 尝味能力的遗传。

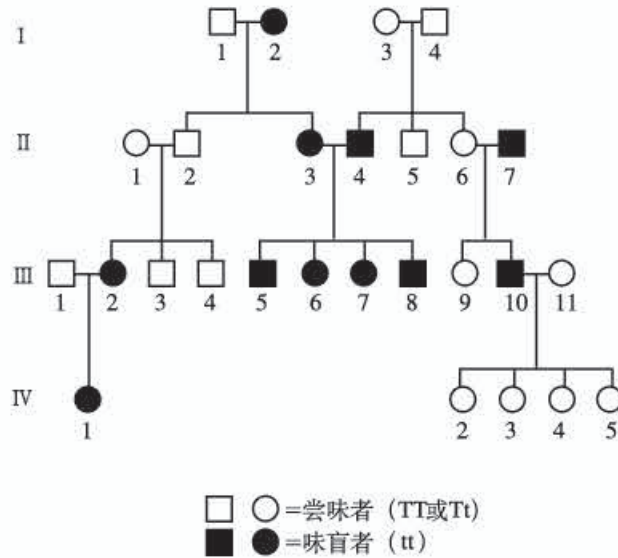


图 1-15 一例PTC尝味能力的系谱图

(七) 概率的基本知识

孟德尔在分析自己的杂交实验结果和作出合理的推理时，都用到了数学分析的方法，实质是数理统计的方法，这里的核心就是概率论中的有关知识，我们现在进行遗传分析时也要用到这些概率知识。例如，一对等位基因的杂合子后代表现的3:1性状分离，实际包括：等位基因的正常分离，并分别进入不同的配子，包含不同等位基因配子的受精能力相同，而且参与受精的配子是一个非常大的配子群体；含有不同等位基因的配子的融合是一个随机过程，结果合子的基因型频率就等于配子类型的频率乘积，因而杂种后代的基因型频率可以直接由杂种产生的配子类型频率相乘得到；不同基因型合子的生活力相同，合子的基因型频率就等于后代个体的基因型频率；显性完全的话，后代性状比在理论上是3:1。两对等位基因的杂合子（位于非同源染色体上），一对等位基因分离趋向细胞的一极是随机的，另一对趋向另一极也是随机的，结果在非等位基因进入配子时，进行了自由组合。此外，杂种后代的基因型和表型的各种比值的求解，推断一个杂交组合后代的表现，在人类中某对夫妇生下患病后代的风险等，所有上述内容都涉及概率论和统计学原理的应用。

概率是指某一事件（A事件）发生的可能性的多少。一定要注意是指事件还没有发生，只是如果发生，其可能性用百分数或分数表示是多少，常用 $P(A)$ 表示。在一定的条件下具有多种可能结果，而究竟出现哪一种结果事先不可预言的现象叫作随机现象。随机现象的每一个结果叫作一个随机事件，简称为事件，用大写的字母A、B、C等表示。事件的关系有很多种，这里只讲有关的几种。我们所涉及的事件之间的关系，一般包括互不相容事件、对立事件、独立事件等。

互不相容事件指事件A和事件B不能同时出现，就称A与B互不相容。例如，一对等位基因杂合子（Dd）自交后代中DD:Dd:dd之比为1:2:1。对任何一个显性个体，它不是DD，就是Dd，DD和Dd不能同为一个个体，它们就为互斥事件。

对立事件指所有不属于A事件的事件，也称为A的逆事件。例如，杂合子（Dd）自交后代

中表现为显性的个体为A事件，隐性个体就为A的对立事件。对立事件是互不相容的特例，它只有A事件和A的逆事件这两种事件。

独立事件指A事件的出现，并不影响B事件的出现，则称A事件与B事件为独立事件。两对等位基因杂合子(DdGg)在形成配子时，d趋向一极与G趋向同一极无关，所以d和G趋向同一极就是两个独立事件。

在讨论事件之间的关系时，需计算它们发生的概率是多少。进行概率计算要用到两个基本定理，即乘法定理和加法定理。

乘法定理： $P(AB)=P(A) \times P(B)$

即两个独立事件共同出现的概率等于它们各自出现的概率之积。例如，两对夫妇同时都生男孩的概率为 $1/2 \times 1/2=1/4$ 。再例如，在豌豆中， F_1 是黄色子叶饱满种子的双杂合子(YyRr)，在 F_2 中的一粒种子既是黄色又是饱满的概率应为 $3/4 \times 3/4=9/16$ 。算法如下： F_2 中黄色（只考虑一对性状）的比例为 $3/4$ ，饱满（也只考虑一对性状）的比例也为 $3/4$ ，两者相互独立，同时出现的概率就为 $3/4 \times 3/4=9/16$ 。

加法定理：可计算互斥事件出现的概率。设有两个事件(A和B)，若A和B事件为互斥事件，则出现事件A或事件B的概率等于它们各自概率之和。例如，在豌豆子叶的颜色遗传中， F_2 应是 $3/4$ 黄色、 $1/4$ 绿色，但对于任一粒种子而言，是黄粒就不能是绿粒，反之亦然，那么子叶的黄和绿则为互斥事件。因此一粒种子其颜色为黄或绿的概率为： $P(\text{黄或绿})=P(\text{黄})+P(\text{绿})=3/4+1/4=1$ 。再例如，在云南丽江，藏族居民血型的分布是：50%的O型，14.5%的A型，31.2%的B型，4.3%的AB型。一般情况下一人仅有一种血型，那么该地区藏民任一人出现A型或B型的概率应为： $P(A \text{ 或 } B)=P(A)+P(B)=14.5\%+31.2\%=45.7\%$ 。

（八）概率在遗传学上的应用

根据概率理论和孟德尔定律，如果已知亲代的表型和基因型，就可以迅速推算出子代的基因型和表型的种类及比例，反之亦然。具体方法有两种。

1. 一对基因的遗传分析

基因型为Aa的杂种，在形成配子时，等位基因分离，将产生A与a两种类型的配子，而且它们的概率各为 $1/2$ 。自交时，即 $Aa \times Aa$ ，如果配子的生活力、受精能力相等，那么雌雄配子各作为独立事件相遇的概率，按照乘法定理将是：

$$1/2A \times 1/2A=1/4AA$$

$$1/2A \times 1/2a=1/4Aa$$

$$1/2a \times 1/2A=1/4Aa$$

$$1/2a \times 1/2a=1/4aa$$

这一结果也可以用棋盘法来表示。将每个亲本的配子分别放在棋盘的一边，并注上各自的概率(P)，如果基因型为Aa的亲本形成两种配子A和a的概率相等，那么它们的概率各为 $1/2$ ；棋盘的每一格中写上形成的合子，它的概率是两个配子概率的乘积，即 $1/2A \times 1/2A=1/4AA$ ， $1/2A \times 1/2a=1/4Aa$ ， $1/2a \times 1/2A=1/4Aa$ ， $1/2a \times 1/2a=1/4aa$ ，如下页图所示。

交配		Aa × Aa	
		↓	
	配子	配子	
		A (P=1/2)	a (P=1/2)
A (P=1/2)		AA1/4	Aa1/4
a (P=1/2)		Aa1/4	aa1/4

在Aa的自交中，所形成的四种合子的概率都是1/4。然而，这些组合之间却都是互斥事件，即对一种特定的合子来说，只能具有上述四种中的一种（这里Aa与aA等效），而不可能同时是Aa、AA或aa，所以杂合子（aA或Aa）出现的概率为1/4+1/4=1/2。AA、Aa和aa的概率是1/4+1/4+1/4=3/4；由于AA和Aa的表型是一致的，所以就出现了3：1的表型比率。如果AA和Aa的表型不一致，就是1：2：1。

2. 两对基因的遗传分析

基因型为RrYy的杂种，Rr为一对等位基因，Yy是另一对等位基因，在形成配子时，R与r、Y与y各自分离，独立进入一个配子中，它们的概率各为1/2，而在形成配子时，R或r与Y或y的组合是随机的，按照概率原理，R与Y、R与y、r与Y、r与y相遇的概率各为1/2 × 1/2=1/4，即F₁(RrYy)产生四种类型配子（RY、Ry、rY和ry）的概率各为1/4，雌雄配子都是如此。如果用棋盘法来计算，将形成4 × 4的棋盘格，每两个配子结合的概率为1/4 × 1/4=1/16，进一步就可以计算出F₂中出现的各种基因型的概率。有了基因型的概率，表型的概率也就很容易判断出了。例如，RR和Rr的表型都是圆形，YY和Yy的表型都是黄色，那么黄色圆粒豌豆的表型概率即：RRYY1/16+RRYy2/16+RrYY2/16+RrYy4/16=9/16。

对于两对或两对以上基因的杂种形成合子或后代的概率，也可以用分支法求得，尤其是在两对以上的基因时，这种方法可能比棋盘法更加简便。以计算一个基因型为BbRr（棕眼右癖）的男性与一个基因型为bbRr（蓝眼右癖）的女性结婚，其后代各类型出现的概率为例。已知B（棕眼）对b（蓝眼）为显性，R（右癖）对r（左癖）。分支法是把两对基因拆开来看。基因Bb × bb交配将产生2种基因型Bb和bb，比例是1：1；2种表型棕眼和蓝眼，比例也是1：1。基因Rr × Rr交配将产生3种基因型RR、Rr和rr，比例是1：2：1；2种表型右癖和左癖，比例是3：1。由于每对基因出现的概率是相互独立的，因此后代的基因型和表型的概率就是它们各自概率的乘积，如图1-16所示。



图 1-16 BbRr男性与bbRr女性婚配图解

（九）人类遗传分析中的概率

对人类遗传中的正常性状的遗传，系谱分析以及近亲婚配的危害性等涉及的一些概率问题进行推算。

1. 正常性状遗传中的概率

上面分析基因型为**BbRr**（棕眼右癖）的男人与基因型为**bbRr**（蓝眼右癖）的女人婚配，产生后代中各类型出现的概率，就是在分析两对正常性状遗传的概率。通过推算，可知后代基因型的概率为：**BbRR**1/8，**BbRr** 2/8，**Bbrr**1/8，**bbRR**1/8，**bbRr**2/8，**bbrr**1/8；表型的概率为：棕眼右癖 3/8，棕眼左癖 1/8，蓝眼右癖 3/8，蓝眼左癖 1/8。

2. 遗传病分析中的概率

一个家系的情况是：父亲并指不聋哑（**SsDd**），母亲正常（**ssDd**），现计算其后代中可能出现各种表型的概率。已知并指是一种显性遗传病，聋哑是一种隐性遗传病，我们同样可以将这两对基因拆开，分别计算每对基因的表型概率，由于两者相互独立，因此它们同时出现的概率为两者概率的乘积，具体推算过程如下。上述婚配方式（**SsDd**×**ssDd**）产生的后代中并指（**Ss**）出现的概率为1/2，正常（**ss**）的概率也为1/2，聋哑（**dd**）出现的概率为1/4，正常（**DD**或**Dd**）的概率为3/4，那么，相乘即得：

正常儿（既无并指也无聋哑）： $1/2 \times 3/4 = 3/8$

只有并指（无聋哑）的患儿： $1/2 \times 3/4 = 3/8$

只有聋哑（无并指）的患儿： $1/2 \times 1/4 = 1/8$

既有并指又有聋哑的患儿： $1/2 \times 1/4 = 1/8$

3. 系谱分析中的概率

（1）随机婚配情况下的发病率家族无患者时发病风险的估计

设在群体中某种常染色体隐性遗传病的患病率为1/10 000。根据Hardy-Weinberg定律（群体遗传平衡定律）的公式：

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1 \text{ 和 } p + q = 1$$

则患病率（**aa**）（即隐性纯合子在群体中出现的频率）= $q^2 = 1/10\ 000$ ，那么隐性致病基因的频率 $q = \sqrt{q^2} = 1/100$ ，显性基因的频率 $p = 1 - q = 1 - 0.01 = 0.99$ ；群体中携带者的频率 $P(\text{Aa}) = 2pq = 2 \times 0.01 \times 0.99 \approx 1/50$ 。

在随机婚配的情况下，夫妇双方同为携带者的概率= $P(\text{Aa}) \times P(\text{Aa}) = (2pq)^2 = (1/50)^2$ ；双亲同为携带者时，其子女发病的可能性为1/4；所以随机婚配时，子女的发病风险（子女发病率）= $(1/50)^2 \times 1/4 = 1/10\ 000$ ，或= $1/50 \times 1/50 \times 1/4 = 1/10\ 000$ 。

（2）家族中无患病个体时，近亲婚配情况下的发病率已知

就一对等位基因来说，一级亲属（父母与子女；子女与子女，如兄妹等）之间基因相同的可能性为1/2；二级亲属（祖孙、外祖孙、叔侄、舅甥等）之间基因相同的可能性为1/4；三级亲属（表兄妹、堂兄妹）之间基因相同的可能性为1/8。

如果表兄妹之间近亲婚配，表兄妹同为携带者的可能性等于 $1/50 \times 1/8$ ，子女的发病风险则为 $1/50 \times 1/8 \times 1/4 = 1/1\ 600$ ，这样表兄妹婚配的子女的发病风险比随机婚配提高了6.25倍。

(3) 家族中有患者时，近亲婚配情况下发病风险的估计

已知遗传性耳聋是常染色体隐性遗传病，图1-17是遗传性耳聋家族的系谱图。

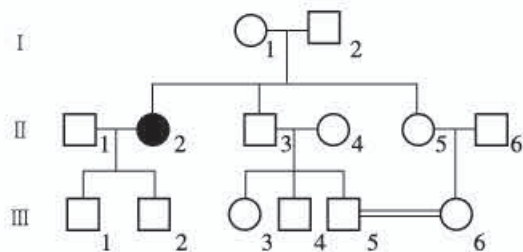


图1-17 遗传性耳聋家族的系谱图

由于 II_2 为患者，因此 I_1 和 I_2 必然都为携带者。根据分离定律， II_3 和 II_5 各有 $2/3$ 的可能性为携带者，那么 III_5 和 III_6 为携带者的可能性各为 $2/3 \times 1/2 = 1/3$ 。另外，假设这种遗传病在群体中的发病率也为 $1/10\,000$ ，根据遗传平衡定律，可知群体中携带者的频率 $\approx 1/50$ 。

III_5 与 III_6 婚配时，他们所生子女的发病风险 $= (1/3)^2 \times 1/4 = 1/36$ 。而 III_5 和 III_6 分别与外人随机婚配，他们各自子女的发病风险 $= 1/3 \times 1/50 \times 1/4 = 1/600$ 。两者相比，前者比随机婚配的发病风险提高了约17倍。

遗传平衡定律指在一个不发生突变、迁移、选择，并进行随机交配的大群体中，基因频率和基因型频率代代相传，保持恒定。

五、教学案例与评析

孟德尔的豌豆杂交实验（二）

天津市滨海新区塘沽紫云中学 梁晓波

天津市实验中学 张万明

教学目标的确定

通过学习分离定律，学生已经初步理解了“遗传信息控制生物性状，并代代相传”这一重要概念，初步体会了假说—演绎法这一科学方法。课程标准与本节对应的“内容要求”是：“阐明有性生殖中基因的分离和自由组合使得子代的基因型和表型有多种可能，并可由此预测子代的遗传性状”。结合教材内容，确定本节的教学目标如下。

1. 分析两对相对性状杂交实验的过程，进一步体会假说—演绎法。
2. 通过对孟德尔两对相对性状杂交实验的解释和验证，培养归纳与演绎的科学思维。
3. 对自由组合现象进行解释，阐明自由组合定律。

教学设计思路

本节课通过层层设疑、环环相扣，在科学思维的引领下学习孟德尔的自由组合定律，并不失时机地渗透社会责任教育，以此充分发挥生物学课程的学科特点和育人价值。第一课时的教学流程如下页图所示。



教学实施的程序

第1课时

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
温故知新 情境引入	<p>引领学生共同回顾孟德尔一对相对性状杂交实验的过程。</p> <p>展示教材中的“问题探讨”。 设疑： 1. 如果黄色圆粒和绿色皱粒豌豆杂交，依据分离定律，后代中可能出现的性状及比例是什么？ 2. 黄色的豌豆一定是饱满的，绿色的豌豆一定是皱缩的吗？自然界是否存在黄色皱粒和绿色圆粒的豌豆？ 3. 决定子叶颜色的遗传因子对决定种子形状的遗传因子会不会有影响呢？</p>	<p>依据一对相对性状杂交实验的过程，运用分离定律，以小组为单位，画出黄色和绿色、圆粒和皱粒杂交的遗传图解。</p> <p>依据分离定律，尝试猜测黄色圆粒和绿色皱粒豌豆的杂交后代可能出现的性状组合。</p>	<p>通过重温这段发现史，体会假说—演绎法的研究思路，搭建本节教学框架。</p> <p>产生认知冲突，引领学生进入新的学习情境。</p>
观察实验 发现问题	<p>展示孟德尔两对相对性状杂交实验的过程及结果。</p> <p>组织学生对比实验和预测结果。</p> <p>设疑： 1. F_2中是否出现了亲本所没有的性状组合？ 2. F_2中新的性状组合与亲本的性状有什么关系？ 3. 对F_2中每一对相对性状单独进行分析，结果是否遵循分离定律？</p>	<p>阅读教材第9页，对比预测结果，初步分析思考两对相对性状杂交实验F_2中出现的性状类型及比例。</p> <p>结合遗传图解和4个问题，小组进行讨论，并进行全班交流。</p>	<p>通过对比实验结果（数据），使学生产生认知冲突，激发学生学习的兴趣。</p> <p>以问题驱动，让学生了解：科学探究的第一步就是要善于观察，勤于思考，并能提出有研究价值的问题。</p>

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
观察实验 发现问题	<p>4. 从数学的角度分析, 两对相对性状实验F_2中$9:3:3:1$的数量比与一对相对性状实验F_2中$3:1$的数量比有什么关系?</p> <p>倾听、指导学生小组讨论、交流, 建构重要概念。</p>	<p>归纳得出结论, 建构重要概念。</p> <p>1. 每一对相对性状的遗传仍遵循分离定律。</p> <p>2. F_2中两对不同性状之间发生了新的组合。</p>	
分析问题 提出假说	<p>设问: F_2中为什么会出现新的性状组合? 是否控制两对相对性状的遗传因子也发生了组合呢?</p> <p>启发学生回顾“生物性状是由遗传因子决定的”, 引导学生作出假设, 即两对相对性状分别受两对遗传因子控制, 控制两对性状的遗传因子自由组合。</p> <p>P 黄色圆粒 × 绿色皱粒</p> <p>↓</p> <p>配子</p> <p>↓受精</p> <p>F_1 黄色圆粒</p> <p>设疑:</p> <p>1. 要得到遗传因子组成为$YyRr$的黄色圆粒豌豆, 亲代除黄色圆粒和绿色皱粒外, 还可以有哪些类型?</p> <p>2. F_1中黄色圆粒($YyRr$)形成哪些类型的配子, F_2中才能出现性状的重组?</p>	<p>思考问题, 对性状与遗传因子的关系作出假设, 以小组为单位, 将先前绘制的图解进行组合, 形成新的图解。</p> <p>P 黄色圆粒 × 绿色皱粒</p> <p>YYRR yyrr</p> <p>↓ ↓</p> <p>配子 YR yr</p> <p>↓受精</p> <p>F_1 黄色圆粒 YyRr</p> <p>结合F_2中出现的性状类型及比例, 推测F_1可能产生的配子类型。</p> <p>师生达成共识: 孟德尔假说的核心内容是F_1在形成配子时, 决定不同性状的遗传因子自由组合, 即</p>	<p>鼓励并引导学生结合孟德尔先前的研究思路和方法, 大胆预测F_1能产生4种等量的配子。</p>

续表

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图																									
分析问题 提出假说	<p>讲述：受精时雌雄配子的结合是随机的。组织学生完成以下表格内容的填写，并思考以下问题。</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>F₁配子</th> <th>YR</th> <th>Yr</th> <th>yR</th> <th>yr</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>YR</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>Yr</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>yR</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>yr</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>将统计结果与之前绘制的图解进行整合分析。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 分析F₂中表型的类型及比例。 2. 明确哪些是重组类型及所占的比例。 3. 统计F₂中基因型的类型及比例。 4. 将推测结果和实验结果进行对比。 <p>结合上述问题，组织学生探讨：提出的假说是否能合理地解释两对相对性状的自由组合现象？</p>	F ₁ 配子	YR	Yr	yR	yr	YR					Yr					yR					yr					<p>F₁能产生4种等量的配子。</p> <p>完成表格填写。</p> <p>结合问题，对表中数据进行整理。</p> <p>小组讨论，建构重要概念：由于控制两对相对性状的遗传因子发生了自由组合，导致这两对性状也发生了自由组合。</p>	<p>在问题引领下，对表中数据进行分析归纳，培养学生严谨务实的求知态度。</p> <p>通过小组活动，学生主动建构重要概念。</p>
F ₁ 配子	YR	Yr	yR	yr																								
YR																												
Yr																												
yR																												
yr																												
演绎推理 实验验证	<p>设疑：F₁是否真的产生了4种等量的配子？这在当时是无法直接看到的。</p> <p>引导学生根据假说对测交实验的结果进行预测。</p> <p>展示学生设计的方案，组织学生修正完善。</p>	<p>借鉴分离定律的验证方法，设计测交实验方案。</p>	<p>培养学生对知识的迁移应用能力。感悟孟德尔探索过程中大胆的创新。</p>																									

续表

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
演绎推理 实验验证	<p>展示孟德尔测交实验结果的统计表格。与学生的预测结果进行对比，从而验证了孟德尔的假说。</p> <p>设问：</p> <p>1. 孟德尔为什么要做正反交的测交实验？是否重复多余？</p> <p>2. 图解中的遗传因子为什么要用字母表示，直接文字叙述可以吗？这种书写形式的优点是什么？</p>	<p>思考分析，得出结论：孟德尔通过严谨的测交实验证明了假说是正确的。</p> <p>无论以F_1作母本还是父本，均能产生4种类型的配子，且数量比为1:1:1:1。只有F_1既能产生4种等量的雌配子，又能产生4种等量的雄配子，F_2中才会出现9:3:3:1的数量比。</p>	<p>启发学生理性思考实验方案设计的严谨和巧妙之处，理解进行科学探究必须要有严谨的态度和缜密的思维。</p> <p>理解简化、便于交流的科学符号在科学研究中的作用。</p>
归纳概括 总结规律	<p>问题：通过以上学习，参照分离定律的表述，大家能否总结出两对相对性状的遗传规律？</p>	<p>共同归纳总结自由组合定律的内容。</p>	<p>归纳总结，明确本节教学核心内容。</p>
拓展延伸	<p>将学生搜集的资料进行整理，作为下节课的学习资源。</p>	<p>搜集有关孟德尔研究成果的文章或视频资料，在学习群中进行分享和交流。</p>	<p>利用多媒体技术将课堂进行拓展延伸。</p>

孟德尔的豌豆杂交实验（二）

教学目标的确定

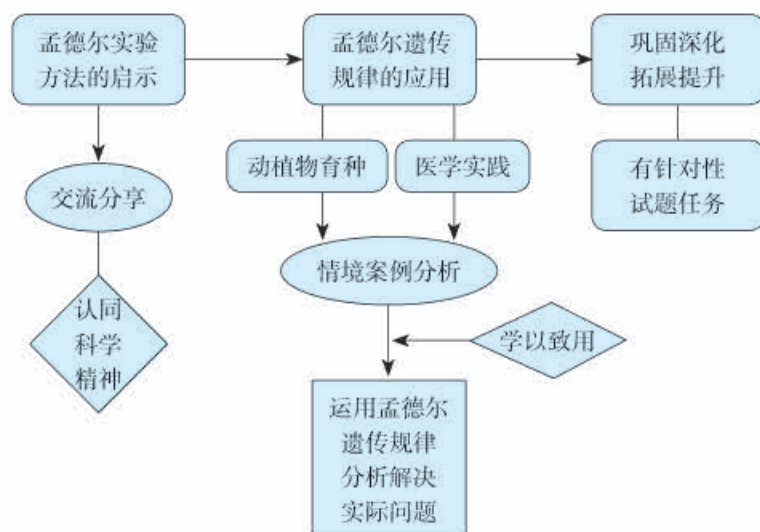
通过上节的教学，学生已经基本形成了“有性生殖中基因的分离和重组导致双亲后代的基因组合有多种可能”这一重要概念。同时，在课程标准的“学业质量水平”中，要求学生能以生命观念为指导，解决生活中的实际问题，更是体现了“社会责任”的核心素养。结合教材内容，确定本节的教学目标如下。

1. 通过分析孟德尔发现遗传规律的原因，进一步体会假说—演绎法在遗传学研究中的应用，认同敢于质疑、勇于创新、探索求真的科学精神。

2. 通过建构概念图，说出基因型、表型和等位基因的含义。
3. 通过模拟案例分析，运用所学知识和科学思维解决生活中的实际问题。

教学设计思路

分析孟德尔获得成功的原因，总结实验材料的选择、科学方法的运用、逻辑思维的应用等在科学研究中的作用；结合遗传规律的再发现回顾孟德尔的实验过程，利用概念图等构建本章概念网络，为解决生产生活问题奠定理论与科学方法的基础；设置动植物育种、遗传咨询等问题情境，使学生在问题情境中，灵活运用孟德尔遗传规律解决实际问题，增强对遗传规律的理解，同时提升社会责任。



教学实施的程序

第2课时

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
孟德尔实验方法的启示	补充资料。 1. 展示孟德尔的相关资料。 2. 山柳菊的背景资料。 回顾孟德尔的实验过程，组织学生阅读，总结孟德尔获得成功的原因。	阅读教材，结合补充资料，小组内讨论交流。 1. 结合教材“思考·讨论”中的相关问题，总结孟德尔获得成功的原因。 2. 科学研究工作者必备的品格和能力有哪些？ 以小组为单位进行分享和交流。	认同科学研究过程中科学思维与科学方法的重要性，认同孟德尔敢于质疑、勇于创新、探索求真的科学精神。

续表

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
孟德尔遗传规律的再发现	<p>孟德尔凭借智慧和坚持，在有限的条件下一粒粒、一株株地“数出”遗传规律，作出了超越自己所处时代的发现。但是这一重要成果却沉寂了30多年，这在当时为什么没有引起人们的重视？</p> <p>补充史实资料：重新发现孟德尔遗传规律的三位科学家的有关工作。</p> <p>举例说明以下概念。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 遗传因子与基因的名词； 2. 等位基因与相对性状的关系； 3. 表型与基因型的区分。 	<p>思考并认同：孟德尔运用假说—演绎的科学研究方法和数学统计方法，这在当时既是超越前人的创新，也是许多科学家所无法理解和接受的。当时，达尔文的生物进化论引起了科学界的重大关注，也是原因之一。</p> <p>倾听、理解、构建知识概念图。</p>	<p>感悟科学家严谨务实的求知态度，认同科学是不断发展的。</p> <p>结合具体实例，引导学生建构有关概念，为后续学习奠定基础。</p>
<p>孟德尔遗传规律的应用</p> <p>(一) 在动植物育种方面的应用</p>	<p>孟德尔的成功源于其对过去的反思，而其成功的意义是对未来的改造，未来来自生活，运用规律自然变成一种责任。我国科学家秉承创新求实的科学精神，在育种方面取得了突出成就。</p> <p>微视频展示我国育种专家的育种工作及成就。</p> <p>讲述：掌握遗传规律有助于人们正确地解释自然界普遍存在的遗传现象，在动植物育种和医学实践等方面都具有重要意义。</p> <p>情境1：教材中小麦育种实例</p> <p>假如你是一位育种工作者，你用什么方法把两个品种的优良性状组合在一起？将你的设想用遗传图解表示出来。</p>	<p>感受育种工作者的艰辛和获得成功的喜悦。</p> <p>以豌豆杂交实验的遗传图解为模板，尝试绘制育种的遗传图解。交流、完善育种方案。</p>	<p>明确任何科学研究最终的目的，都是为了解决人类生产生活问题，为了人类更加美好的生活。</p> <p>对学生进行职业生涯指导，学习育种工作者勇于创新、持之以恒的科学精神。</p> <p>创设学习情境，以生命观念为指导，分析生活中的遗传现象，解决实际问题，</p>

续表

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
<p>(二) 在医学实践方面的应用</p>	<p>引导学生明确育种的目标是将优良性状进行组合，本质上需要对不同的基因进行组合。</p> <p>展示学生绘制的图解，发现问题，共同修正，规范书写过程。</p> <p>问题：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 哪一代个体最早表现出优良性状？ 2. 子二代具有显性优良性状的品种都能稳定遗传吗？为什么？ 3. 如何才能得到稳定遗传的优良品种？ 4. 如果需要选育的优良性状是隐性性状，如何进行选育？ 5. 结合育种过程，分析杂交育种的优缺点。 <p>情境2：医学实践中的应用实例</p> <p>假如你是一位遗传咨询师，一对健康的夫妇前来咨询。这对健康夫妇曾生了一个患有白化病的儿子，白化病是由显性还是隐性基因控制的？他们再生一个孩子一定会患白化病吗？患病概率是多少？</p> <p>拓展：教材第14页“拓展应用”第3题。</p> <p>如果父母都是双眼皮，后代中会出现单眼皮吗？你能直接推算出单眼皮子女的概率吗？</p> <p>父母都是单眼皮，如果孩子是双眼皮而且是亲生的，你能作出合理的解释吗？</p>	<p>独立思考后进行小组讨论，针对小组内不能解决或不能达成一致的问题进行全班交流研讨，最终形成共识，得出正确结论。</p> <p>绘制遗传图解，进行分析推理。</p> <p>思考和讨论，回答。</p>	<p>培养学生的社会责任感。</p> <p>注重实践教学，体验学以致用快乐，提升学生主动向他人宣传关爱生命、健康生活的社会责任感。</p>

续表

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
巩固深化	<ol style="list-style-type: none"> 教材第14页“练习与应用”习题。 假设现有长毛立耳猫(BBEE)和短毛折耳猫(bbce),你能培育出能稳定遗传的长毛折耳猫(BBce)吗?写出育种方案(图解)。 		考查评价学生对知识的迁移应用能力。
拓展提升	<p>展示孟德尔论文原文的部分内容。</p> <p>在科学研究中,理论的提出都有其前提条件与适用范围,孟德尔遗传规律也不例外。孟德尔也发现有些F₁表现出介于双亲之间的性状,这又如何解释呢?</p>	思考和讨论。	进一步激发学生的求知欲,鼓励学生对新知的不断探索。
拓展延伸	<ol style="list-style-type: none"> 根据自身的兴趣,选择并阅读相关书籍。 搜集关于优秀育种工作者或遗传咨询师的工作情况、突出成就,并通过学习群进行分享和交流。 		学习无止境,课堂再延伸。

评析

本节课在—对相对性状遗传规律的基础上,对两对相对性状的遗传规律进行了研究,沿袭了假说—演绎的科学方法,教师在教学设计中很好地体现了“由表及里”和“由一对到两对性状”的研究思路,同时基于教材呈现合理质疑,引发学生理性思考。

1. 在“由表及里”的分析中揭示遗传因子的自由组合

教师根据“问题探讨”从黄色皱粒和绿色圆粒两种重组性状开始质疑,基于实验结果提出性状组合的初步思路,通过单独分析每一对相对性状的分离情况,使学生得出每一对相对性状的遗传都遵循了分离定律的结论,而两对相对性状杂交实验是两对相对性状的自由组合,再回顾孟德尔假说中推测遗传因子的自由组合,将“由表及里”与“由简到繁”的分析方法整合。

2. 理性分析依托已有遗传理论,承前启后引出自由组合

自由组合定律是在分离定律的基础上提出的,尤其是学生已学过的孟德尔假说的内容,教师在本节教学设计的关键环节多次呈现孟德尔假说的内容,如在“遗传因子的自由组合”的推测中涉及“生物的性状是由遗传因子决定的”,在F₂性状分离比的分析中涉及“受精时,雌雄配子的结合是随机的”,这些都有助于学生理解自由组合定律。

3. 假说—演绎法引领小组探究,合作学习中深化概念与方法

在学生已经体会了假说—演绎法的研究思路后,教师在教学设计中安排了小组合作探究学习,如F₁配子的随机结合过程、F₁测交过程,让学生在讨论中学习,在解决问题中实践遗传理论与方法,从而在学生的“做”中实现自主学习。

4. 在成功中总结方法，在概念重现中呈现思维，在应用中形成责任

关于孟德尔获得成功的原因，教师适当增加了阅读内容，同时重点挖掘教材中的科学思维与方法，并从情感角度进行剖析，促进素养的形成；在孟德尔遗传规律的再发现中将新、旧概念统一，引领学生构建概念网络，通过交流形成概念之间的对比与联系；关于孟德尔遗传规律在育种和遗传病中的应用，教师设计了相关问题并补充资料，帮助学生分析育种与人类的发展、遗传病与人类健康之间的关系，从而提升社会责任。

评析人：王健（天津市中小学教育教学研究室）

“复习与提高” 参考答案

一、选择题

1. A 2. B 3. A 4. B 5. C

二、非选择题

1. (1) $YyRr$ $yyRr$ (2) 黄色皱粒 绿色皱粒 1:1 1/4 (3) $YyRR$ 或 $YyRr$ 2种或4种
1:1 或 1:1:1:1

具体解析如下：如果用黄色圆粒豌豆（ $YyRR$ ）与绿色皱粒豌豆（ $yyrr$ ）杂交，则得到的 F_2 的性状类型有两种，黄色圆粒：绿色圆粒=1:1；如果用黄色圆粒豌豆（ $YyRr$ ）与绿色皱粒豌豆（ $yyrr$ ）杂交，则得到的 F_2 的性状类型有4种，黄色圆粒：绿色圆粒：黄色皱粒：绿色皱粒=1:1:1:1。

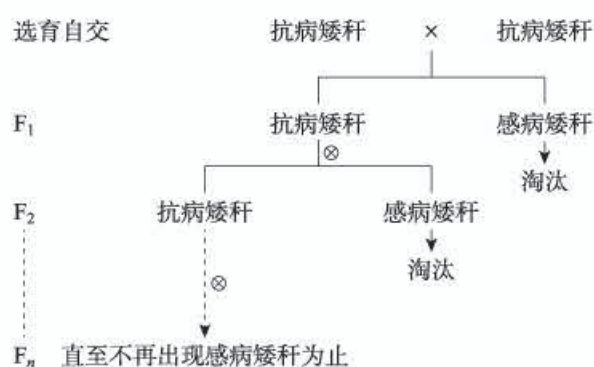
2. (1) 高秆与矮秆这对相对性状受一对等位基因控制，且符合分离定律；控制这两对相对性状的基因独立遗传。

提示：此时学生还未学习减数分裂，答出两对基因独立遗传即可；在学习第2章后，答案可以进一步细化为：控制这两对相对性状的基因位于非同源染色体上。

(2) 将纯合抗病高秆植株与感病矮秆植株杂交，得到 F_1 ，让 F_1 与感病矮秆植株杂交。

(3) 有抗病矮秆品种。但其中有杂合子，需对 F_2 中的抗病矮秆植株进行如下操作以获得纯合子。

提示：将获得的抗病矮秆植株连续自交几代，即将每次自交后代的抗病矮秆植株选育后再进行自交，直至自交后代中不再出现感病矮秆植株为止。具体过程可用下页图解表示。



参考文献

1. 吴重庆. 自然科学与技术研究方法 [M]. 北京: 北京交通大学出版社, 2012: 122, 137-138.
2. 刘毓森. 生物学实验论 [M]. 南宁: 广西教育出版社, 2001: 35.
3. 唐加富. 浅谈生物模拟实验的设计与应用 [J]. 实验教学与仪器, 2005, 22(12): 26-27.
4. 丰丙云. 贵州省实验中学高中生物模拟实验教学研究 [D]. 贵州师范大学, 2015.
5. 贾勇. 认识新课程生物模拟实验的价值 [J]. 中学生物学, 2008, 24(10): 41-42.
6. 戴灼华, 王亚馥. 遗传学 [M]. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 2016: 129.

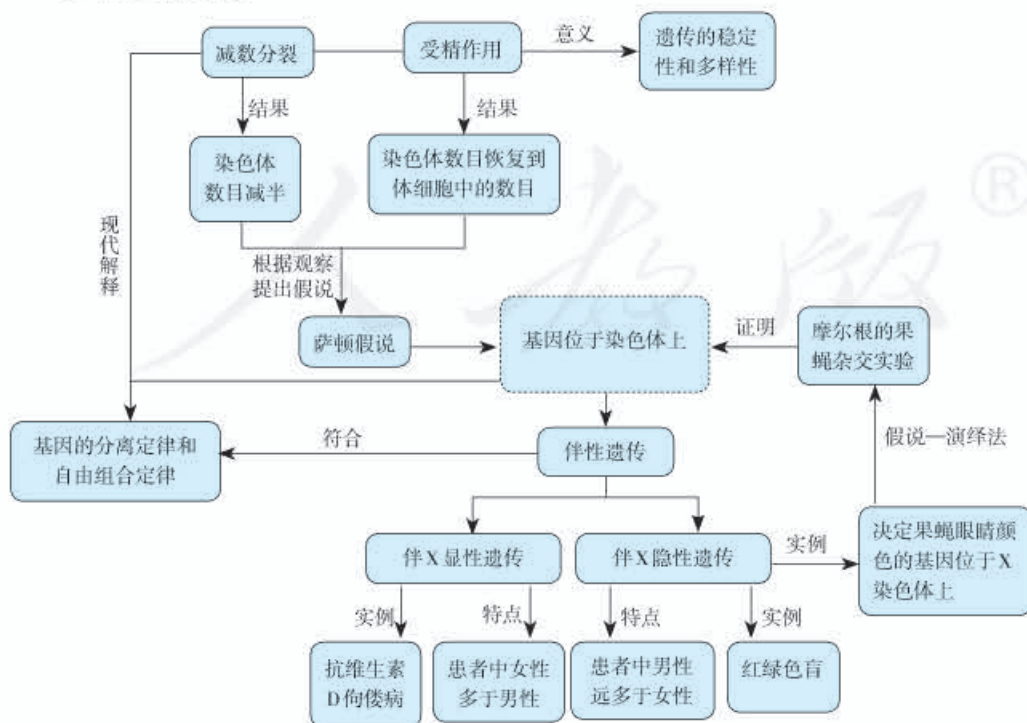
人教版®

第2章 基因和染色体的关系

在孟德尔遗传规律被重新发现之后，科学家开始寻找基因在细胞中的位置。细胞学研究揭示了精子和卵细胞的形成要经过减数分裂，结果使染色体数目减半，精子和卵细胞经过受精作用结合，受精卵中的染色体数目又恢复到体细胞中的数目。在这个过程中，染色体的行为与基因（遗传因子）在亲子代间的传递行为具有惊人的一致性。遗传学和细胞学的这次“相遇”使科学家提出基因位于染色体上的假说，这一融合了大胆想象和科学推理的假说，通过摩尔根的果蝇杂交实验得到了验证。本章按照这样的科学史顺序展开，证实了孟德尔的遗传因子的存在，阐明了孟德尔遗传规律的细胞学基础，并引导学生再次体会“观察—提出假说—实验验证”的科学思维方法，领略科学家严谨务实的求知态度和大胆假设、富于想象的创新思维。

本章教材分析

一、内容结构



二、编写思路

课程标准的有关要求：

(1) 内容要求

概念3 遗传信息控制生物性状，并代代相传

3.2 有性生殖中基因的分离和重组导致双亲后代的基因组合有多种可能

3.2.1 阐明减数分裂产生染色体数量减半的精细胞或卵细胞

3.2.2 说明进行有性生殖的生物体，其遗传信息通过配子传递给子代

3.2.3 阐明有性生殖中基因的分离和自由组合使得子代的基因型和表型有多种可能，并可由此预测子代的遗传性状

3.2.4 概述性染色体上的基因传递和性别相关联

3.3.4 阐明进行有性生殖的生物在减数分裂过程中，染色体所发生的自由组合和交叉互换，会导致控制不同性状的基因重组，从而使子代出现变异

(2) 教学提示

运用模型、装片或视频观察模拟减数分裂过程中染色体的变化。

(3) 学业要求

运用细胞减数分裂的模型，阐明遗传信息在有性生殖中的传递规律（生命观念、科学思维）。

本章内容特点：在讲述减数分裂、受精作用等细胞学现象的基础上，介绍了从提出基因位于染色体上的假说，到用果蝇杂交实验予以验证的过程，阐明了孟德尔遗传规律的细胞学基础，展示了科学家大胆想象、提出假说、演绎推理、实验验证的科学思维和科学探究历程。

(一) 章首页设计意图

章首页由引言、一首小诗和人体细胞染色体显微照片构成。

章引言的第一段提出了3个问题：“基因在细胞中究竟有没有物质基础呢？孟德尔所假设的颗粒状的因子，究竟是不是物质的实体？如果是，又存在于细胞中什么位置？”这也是学生在学完第1章后所产生的疑问。在这里提出，既承上启下，也遵循学生的认知规律，同时引出学生感兴趣、想要继续探究的问题。第二段则概括了本章的主要内容，既简单解释了解决上述问题的研究历程，也回答了“怎样研究”的问题。

对细胞分裂的深入研究和观察是研究的起始，但观察什么呢？章题图的人体细胞染色体显微照片透露出一些信息：图中展现了人体细胞完整的46条染色体。细心的同学还能发现，依据形态和大小可将这些染色体配成23对，这就表明，要观察细胞分裂中染色体数目和形为的变化。本章第1节《减数分裂和受精作用》就是沿着这个思路展开的。

章首页的小诗除了给予学生美的熏陶，还揭示了科学探究的要点和艰辛的历程：科学探究要提出问题——如“基因在哪里？”；要有科学方法——如“观察和实验”；要有探索求真的科学精神——如“怀疑、争论”；要有严谨的科学思维——如“推理”；要付出艰苦的努力——如“悠悠百年，寻寻觅觅”。

章首页恰到好处地激发了学生学习的兴趣，概括了本章学习的内容，提示了科学探究的要点。章首页与本章内容有机融合，是本章学习的起始。

（二）本章内容安排特点

本章的3节内容是在第1章的基础上，继续按照科学史的顺序，围绕寻找孟德尔提出的遗传因子（基因）的物质实体及其在细胞中的位置展开的。

细胞学研究揭示了减数分裂的过程和受精作用的实质，科学家发现进行有性生殖的生物，正是通过减数分裂和受精作用来保持亲子代间遗传组成的相对稳定性的，而这一过程又是通过染色体的数目和行为的变化来实现的。这是第1节《减数分裂和受精作用》编排的逻辑基础。第1小节《减数分裂》介绍了19世纪下半叶以来细胞学研究的进展，包括科学家的预测、观察与实证；归纳了减数分裂的过程和概念；阐明了进行有性生殖的生物经过减数分裂产生染色体数目减半的精细胞或卵细胞。第2小节《受精作用》，概述了通过卵细胞和精子随机结合的受精作用，受精卵又恢复到与亲代一样的染色体数目的过程，说明减数分裂和受精作用，使进行有性生殖的生物既维持了遗传的稳定性，又使同一双亲的后代呈现多样性。

染色体在减数分裂和受精作用中的行为，与孟德尔假设的遗传因子（基因）在亲子代间传递的行为有着惊人的相似性。这种相似性是第2节《基因在染色体上》编排的逻辑基础。在第2节中，首先讲述萨顿根据蝗虫生殖细胞染色体在减数分裂中的分离，与孟德尔假设的遗传因子（基因）的分离相似的现象，提出基因位于染色体上的假说。接着，教材介绍了摩尔根验证假说的过程。摩尔根等人的工作证明了基因位于染色体上，把一个特定的基因和一条特定的染色体——X染色体联系起来，并且发明了测定基因位于染色体上的相对位置的方法，同时也说明了基因在染色体上呈线性排列。至此，遗传因子（基因）的物质实体得以揭示。第3节《伴性遗传》则是根据基因在染色体上的理论，解释了位于性染色体上的基因控制的性状在遗传上总是和性别相关联的现象。

这三节内容以基因在染色体上的理论为核心。减数分裂和受精作用既是孟德尔遗传规律的细胞学基础，也是研究基因在染色体上理论的基础；萨顿假说推测基因位于染色体上，摩尔根的果蝇杂交实验予以验证；伴性遗传则是基因在染色体上理论的应用之一。

此外，本章的编排顺序也符合学生的学习心理。章首页帮助学生梳理学完第1章后的疑问，并提示解决思路；第1节解答了“为什么要关注细胞中染色体的变化？”的疑问；第2节解答了“为什么基因（遗传因子）与染色体的行为存在平行关系？”的问题；第3节对“性染色体上的基因控制的性状遗传有什么特点？”作了解答。

三、核心素养侧重点

通过本章的学习，应注重发展学生以下素养。

（一）生命观念

本章的生命观念主要是生命的物质观。从萨顿的假说到摩尔根的果蝇杂交实验，逐步让学生

认识到基因是有物质实体的，既深入理解孟德尔遗传规律的本质，又进一步理解遗传的物质性。减数分裂和受精作用既保证了每种生物前后代染色体数目的恒定，维持了生物遗传的稳定性，又通过产生染色体组合多样性的配子，以及卵细胞和精子的随机结合，使同一双亲的后代呈现多样性，保证了遗传的稳定性和多样性。本章还介绍了多种伴性遗传现象。根据以上内容，可以帮助学生较好地认识生命物质的独特性、复杂性，为形成科学的自然观打基础。

（二）科学思维

本章的科学思维主要体现在以下方面。（1）引导学生继续学习假说—演绎法。基因位于染色体上这一理论的建立过程，很好地体现了假说—演绎法。教材不仅按照科学史的顺序介绍这一过程，体现假说—演绎法，还安排了“思考·讨论”活动，引导学生设计实验来对摩尔根的解释进行验证。（2）注重模型法的训练。本章安排了“建立减数分裂中染色体变化的模型”活动，用模型模拟减数分裂过程中染色体数目和行为的变化，加深对减数分裂过程及其特点的认识，理解配子中染色体组合的多样性，领悟减数分裂的意义，同时也培养学生建构模型的科学思维。（3）通过“思维训练”栏目培养学生综合概括的思维方法。综合是一种逻辑思维方法，本章设计了“思维训练 综合概括”，培养学生对这一方法的应用。（4）科学史内容本身就包含着科学思维，如魏斯曼关于减数分裂的预测及其他科学家的观察与实证，有利于学生想象力及创造性思维的发展。（5）引导学生基于对伴性遗传的认识，运用演绎推理，对位于性染色体上的显性和隐性基因的遗传特点进行分析，根据双亲的表型对后代的患病概率作出科学的预测，发展科学思维。

（三）科学探究

本章安排了多个探究活动，如“观察蝗虫精母细胞减数分裂装片”“建立减数分裂中染色体变化的模型”的“探究·实践”活动，以及多个“思考·讨论”活动。这些活动从不同侧面培养了学生的动手和动脑能力。教材的写法更加凸显科学探究，强调实践育人。例如，“建立减数分裂中染色体变化的模型”的方法步骤具有开放性；在介绍红绿色盲两种婚配方式的遗传后，引导学生预测另外两种婚配方式的子女基因型和表型的情况；引导感兴趣的学生查阅资料，了解伴性遗传理论在生产实践中的其他应用，等等。

（四）社会责任

减数分裂和受精作用保证了遗传的稳定性和多样性，学生学习后，应对这两个过程的重要性有深入理解。然而，不良环境可能影响这两个过程，因此，教材通过“与社会的联系”介绍了低温对水稻花粉母细胞减数分裂的影响、吸烟对男性精子的影响等，引导学生形成健康的生活方式。本章在课外阅读栏目介绍了“人类辅助生殖技术”，科学技术深深地影响着人类社会，它既有好的一面，但也可能给社会带来冲击，如人类辅助生殖技术就有伦理道德和法律问题。了解这些内容，有助于学生形成正确的科学技术价值观。伴性遗传的内容，既能帮助学生理解伴性遗传规律，分析生活中的遗传现象，也能引导学生关注伴性遗传理论的应用，从而将所学知识应用于生活之中。

此外，本章还体现了丰富的科学精神。萨顿基于科学观察，提出了基因位于染色体上的推论，这个推论无论多么大胆和超前，没有经过验证，就无法得到普遍接受。摩尔根等人通过实验验证，建立了基因位于染色体上的理论，既体现了科学探索的过程，又表现出科学家探索求真的科学精神。教材还介绍了“摩尔根曾经明确表示过不相信孟德尔的遗传理论”，但摩尔根在科学的实验和结论面前，放弃了他的错误观点，并作出了伟大发现，这个过程充分体现了摩尔根等科学家尊重科学事实、敢于质疑他人又勇于自我否定的科学精神。

四、与学生经验的联系

在学习《分子与细胞》模块时，学生对染色体、细胞增殖、细胞周期、细胞分裂、有丝分裂等概念有了比较深入的了解，这些内容是学习本章第1节减数分裂等知识的基础；而且，《分子与细胞》模块安排了多个显微镜操作实验，帮助学生巩固显微镜操作技能，这有助于完成本章“观察蝗虫精母细胞减数分裂装片”的实验。学生在学习《分子与细胞》模块时，完成了“利用废旧物品制作生物膜模型”“尝试制作真核细胞的三维结构模型”，对建构模型有了较好的基础，这些都有助于学生顺利完成“建立减数分裂中染色体变化的模型”活动。

第2节介绍了人类寻找基因的物质实体及其在细胞中的位置的过程。学生比较熟悉染色体、基因等概念，但并不清楚科学家研究的过程，因此，在让学生形成基因在染色体上这一概念的同时，体会和感悟其中蕴含的科学思维、科学方法和科学精神，也是学习的重要内容。

本章第2节是学习第3节《伴性遗传》的基础，学生对伴性遗传现象非常感兴趣，教学时可多举实例引导学生参与讨论和交流。

五、与其他章的联系

本模块是以人类对基因的发现、研究和应用历程，即遗传学发展史为主线编写的。本章承上衔接第1章，启下衔接第3章。本章有关减数分裂的内容，与《分子与细胞》模块中染色体的物质组成、细胞增殖、有丝分裂等内容有密切联系。

第1节 减数分裂和受精作用

一、教材分析

(一) 教学目标

1. 通过观察蝗虫精母细胞减数分裂装片及精子或卵细胞的形成过程示意图，归纳、概括减数分裂的概念及过程。
2. 模拟减数分裂中染色体的变化，阐明减数分裂过程中染色体发生自由组合和互换的重要意义。
3. 举例说明受精作用的过程。
4. 阐明减数分裂和受精作用对生物遗传的重要意义。

(二) 教学重点和难点

1. 教学重点

- (1) 减数分裂的概念及过程。
- (2) 受精作用的过程。
- (3) 减数分裂和受精作用对生物遗传的重要意义。

2. 教学难点

- (1) 观察蝗虫精母细胞减数分裂装片。
- (2) 建立减数分裂中染色体变化的模型。
- (3) 减数分裂和受精作用对生物遗传的重要意义。

(三) 编写思路

本节内容分两小节呈现，选取与减数分裂和受精作用有关的知识，从细胞水平阐述生命的延续性。

第1小节《减数分裂》以减数分裂概念的建构过程为编写主线。

“问题探讨”创设了关于黑腹果蝇的真实情境，设置了两个思考题。联系章首页提供的思路，引导学生关注有性生殖过程中配子和体细胞中染色体数目的差别，并思考这种变化是如何产生的。从而引出对减数分裂的研究，激发学生学习新知识的兴趣。“本节聚焦”明确了本小节的学习目标。

教材正文中没有直接给出减数分裂的定义，而是先介绍魏斯曼的预言，再说明这个天才的预见得到了显微镜观察的证实。魏斯曼的预言不是空穴来风，而是科学家在对大量事实进行观察、分析的基础上，凭借敏锐的洞察力所作的大胆推测，是在事实和经验基础上的真知灼见，这体现了科学研究中建立在观察、经验基础上的创造性思维及实证的作用。

学生渴望了解与自己有关的生理过程。因此，教材以哺乳动物精子的形成过程为例，图文结合地展示了减数分裂的过程，阐明减数分裂过程中染色体数目和行为变化的规律，引导学生思考染色体的一些特殊行为对于生物遗传的重要意义。接下来，教材通过与精子的形成过程的比较并配以图解，介绍卵细胞的形成过程。最后用“减数分裂示意图”进行归纳。至此，完成了对减数分裂概念的建构。

本小节安排了“观察蝗虫精母细胞减数分裂装片”的实验，既可提高学生的显微镜操作技能，又能帮助学生观察到真实的减数分裂象，加深对减数分裂过程的理解。

第2小节《受精作用》，按减数分裂能产生染色体组合多样性的配子、受精作用的过程及减数分裂和受精作用的重要意义的顺序编写。教材首先安排了“建立减数分裂中染色体变化的模型”活动，引导学生体验建构模型的科学思维，并在之后的正文中阐明配子中染色体组合多样性的原因；然后介绍了受精作用是卵细胞和精子随机结合的过程；最后归纳减数分裂和受精作用对生物遗传的重要意义。

上述知识体系的呈现顺序，既环环相扣、层层深入，又符合学生的认知规律。同时，围绕编写主线，本节教材设计了多种活动，目的是引导学生的探究性学习，提高学生的学科核心素养。

本节内容和活动的呈现，注意相关重要概念的建构。第1小节通过阐明同源染色体的概念，描述减数分裂Ⅰ和减数分裂Ⅱ中染色体数目和行为的变化，强调减数分裂中染色体数目减半发生在减数分裂Ⅰ，描述精子和卵细胞的形成过程，阐明减数分裂的概念等，建构“减数分裂产生染色体数量减半的精细胞或卵细胞”的重要概念。第1小节关于减数分裂过程及概念的阐述，第2小节关于受精作用的过程及配子中染色体组合多样性的说明，有助于建构“进行有性生殖的生物体，其遗传信息通过配子传递给子代”的重要概念。

第2小节通过“建立减数分裂中染色体变化的模型”的“探究·实践”活动，为建构重要概念“进行有性生殖的生物在减数分裂过程中，染色体所发生的自由组合和交叉互换，会导致控制不同性状的基因重组，从而使子代出现变异”打基础。

本节教材内容的选取和编写，对学生生物学学科核心素养的发展有重要意义。

“减数分裂和受精作用”相关重要概念的建构及活动安排，对于学生理解生命的延续和发展、认识生物多样性有重要意义，有助于学生形成相应的生命观念。

章首页、“问题探讨”“旁栏思考题”等的设计，减数分裂概念的建构，“建立减数分裂中染色体变化的模型”活动及“思维训练”的安排等，都有助于发展学生的科学思维。

从魏斯曼的预言到科学家的观察与实证，从“观察蝗虫精母细胞减数分裂装片”的实验到“建立减数分裂中染色体变化的模型”的“探究·实践”活动，可引导学生进一步体会科学探究的基本思路和方法。

“与社会的联系”介绍了环境因素影响减数分裂的实例，可引导学生关注社会议题，提升社会责任。

特别提示

1. 教材用黑体字说明减数分裂包括减数分裂Ⅰ和减数分裂Ⅱ两个过程，明确精（卵）原细胞中的染色体复制发生在减数分裂前，并于“图2-6 减数分裂示意图”中，在精（卵）原细胞与初级精（卵）母细胞之间，用虚线隔开。

2. 强调染色体复制后，两条姐妹染色单体由一个着丝粒连接。

3. 在本节的结尾，更加全面地说明减数分裂和受精作用对保证生物遗传的稳定性和多样性的意义，体现有性生殖在进化中的优越性，为学生形成生物进化观打基础。

二、教学建议

教师要充分利用教材中的实例，引导学生提出问题和分析问题。为加强直观教学，突破本节的难点，教师要精心设计并实施“建立减数分裂中染色体变化的模型”的“探究·实践”活动，引导学生学会归纳总结。

（一）以学生发展为本，为学习设计教学

从学生已有的知识出发。教师可以从基础知识入手，引导学生回忆“细胞周期”“有丝分裂”等概念，让学生温故而知新。

以学习目标促进主动学习。教师要用好“本节聚焦”，引导学生关注学习目标，帮助他们理解减数分裂与受精作用之间的联系，促进学生主动参与学习过程，围绕重点进行思考和讨论。

（二）问题驱动，由知识的提问转向思维的追问

培养学生的问题意识。通过“问题探讨”和“本节聚焦”中的问题，引导学生由此及彼、由表及里地提出问题和分析问题，如配子能通过有丝分裂形成吗？倘若不能，配子是如何形成的呢？以此发展学生的科学思维、科学探究等学科核心素养。

注重问题解决的过程和方法。教师应以“读教材、悟原理，常质疑、善析理，能迁移、会应用”的思想统领教学，在教学中更多地为学生提供学习材料，引导学生获取有效信息，鼓励学生自己寻找答案、发现规律、习得方法；用好教材中的实例，并补充一些联系生产生活的实例，丰富课程资源；运用比较的方法，让学生归纳总结减数分裂与有丝分裂、精子与卵细胞的形成、减数分裂与受精作用之间的区别及联系。

（三）巧用“探究·实践”，突出教学重点，突破教学难点

建议将第2小节“建立减数分裂中染色体变化的模型”活动前移，以增加直观印象。

尝试建构模型。教师进行必要的“活动准备”指导，可以先指导学生尝试建构减数分裂中染色体数目和行为变化的模型。再引导学生仔细观察“问题探讨”配图中配子染色体的特点，帮助学生理解“减数”的实质，并为理解有性生殖后代的多样性、有性生殖的优越性等作铺垫。

深化模型建构。第2小节《受精作用》的教学，先重温上节课的“探究·实践”活动流程，引导学生对照自己建构的模型，观察教材图2-2，思考图解的合理性；教师依照图解讲述精原细胞中的染色体复制、初级精母细胞中的同源染色体联会、四分体形成、同源染色体分离、染色体数目减半、着丝粒分裂、姐妹染色单体分开并分别移向细胞的两极等现象和概念。最后请学生依据模型，用上述概念完整阐述哺乳动物精子的形成过程。

概括总结，巩固提升。请学生归纳减数分裂的概念，引导学生观察图2-5，比较精子与卵细胞形成过程的异同点。

（四）观察装片，加深理解

引导学生识别教材图2-6，尝试用自己的语言描述减数分裂的过程，培养学生的识图与表达能力。让学生再次观察图2-2、图2-5，并结合第1小节“拓展应用”第1题的插图，帮助学生从整体上理解减数分裂的现象与本质。通过“观察蝗虫精母细胞减数分裂装片”的实验，用实例增加学生对减数分裂现象的感性认识，加深对减数分裂本质的理解。

（五）对配子多样性的分析

关注现象，研究本质。指导学生阅读教材，依据“减数分裂中染色体变化的模型”活动，引导学生模拟非同源染色体的自由组合、四分体时期非姐妹染色单体间的互换，思考这些行为与配子中染色体组合多样性的关系，归纳配子多样性的原因。

理解减数分裂和受精作用的重要意义。引导学生阅读本节最后一段文字，理解由于减数分裂和受精作用而使同一双亲的后代呈现多样性，这种多样性对于生物生存的重要意义。

整体理解减数分裂与受精作用的关系。可以从“思维训练”入手，引导学生自主学习、分组讨论、重读关键词，对学生不熟悉的概念进行分步解读和分析，达到加强重点知识教学、强化理解能力培养、提升科学思维等目的。

三、“探究·实践”指导

观察蝗虫精母细胞减数分裂装片

北京市第十一中学 桑 希

本实验通过观察动物生殖细胞减数分裂永久装片或现场制作并观察临时装片，帮助学生认识减数分裂过程中典型的细胞分裂象，辨认减数分裂的不同时期，识别不同时期染色体的形态、位置和数目，加深对减数分裂过程的理解，并在头脑中建构减数分裂的动态过程图，从而帮助学生形成减数分裂的概念，并深入理解同源染色体、联会、四分体等相关概念。

（一）材料准备

按照教材安排，准备光学显微镜和蝗虫精母细胞减数分裂永久装片。

（二）操作方法

利用显微镜观察。先在低倍镜下整体观察，找到装片中有典型细胞分裂象的区域作为重点观察对象，再逐级放大，在 10×100 的放大倍数下，能基本看清染色体的形态和位置，在个别细胞中，还能数出染色体的数目。接下来，根据减数分裂不同时期染色体的特征以及细胞形状，大致判断细胞所处的分裂时期。

（三）教学组织

在教学中，可以将本实验与“建立减数分裂中染色体变化的模型”活动结合在一起开展，可以先做实验后结合模型讲解，也可以先讲解后再做实验。本实验的难点是对不同分裂时期的辨认，教师需要事先掌握蝗虫染色体的特点以及不同时期的典型特征。可以将蝗虫细胞减数分裂不同时期的典型图像进行展示，引导学生进行对比观察。

在学生观察时，教师巡视辅导。如果有多媒体互动系统，可要求学生拍照上传共享；教师也可以引导学生观察教材第24页“蝗虫精母细胞减数分裂的显微照片”，以帮助学生对时了解判断减数分裂不同时期的方法，达成实验的最佳效果。

（四）注意事项

1. 细胞是立体的，因此同一时期的细胞因观察角度不同，分裂象会有所不同，要注意引导学生识别。
2. 减数分裂是一个连续的过程，观察的细胞处于不同时期，教学时应重点关注典型的分裂象。

（五）拓展方案

制作和观察细胞减数分裂的临时装片

蝗虫精巢中的精小管是观察减数分裂的经典材料。蝗虫染色体较大且数目较少（雄性 $2n=23$, XO；雌性 $2n=24$, XX），将蝗虫的精小管制成临时装片，能观察到减数分裂不同时期染色体的特点。也可以尝试以蛙类为观察材料。在植物方面，被子植物雄蕊花药中的小孢子母细胞经过减数分裂形成四个小孢子。小孢子经有丝分裂发育成雄配子体，即花粉粒。韭菜的染色体较大，为同源四倍体（ $4n=32$ ），而且材料便宜易得、花药数量大，以韭菜花粉母细胞为材料观察减数分裂能取得良好效果。

1. 材料用具

卡诺氏液（无水乙醇：冰醋酸=3：1），体积分数分别为95%和70%的酒精，醋酸洋红或改良苯酚品红染液，剪刀，镊子，解剖针，密闭玻璃瓶（固定和保存材料用），载玻片，盖玻片，试管夹，酒精灯等。

2. 方法步骤

（1）固定：捕捉雄性四龄蝗虫（雄性成虫较小，其腹部末端如船尾状；雌性成虫较大，其腹部末端分叉），在卡诺氏液中固定24 h，用体积分数为95%的酒精漂洗至无醋酸味，浸入体积分数为70%的酒精中，于4℃保存。

（2）取材：将蝗虫两对翅及附肢从基部剪去，沿腹部背板下缘由后向前剪开（勿伤及内脏），除去背板，即可在背侧见到一块深黄色精巢，轻轻取出，置于蒸馏水中浸泡5~10 min，即可见精小管呈菊花状散开。

（3）染色：挑取一根精小管，置于洁净的载玻片中央，迅速滴一滴醋酸洋红液染色；然后用解剖针尖端切断精小管，从断口处轻轻挤压，缓缓盖上盖玻片。

（4）压片：在盖玻片外加吸水纸，用拇指向下垂直压片，使精小管中的细胞散开，同时用吸

水纸吸取盖玻片周围溢出的染液。

(5) 烤片：用试管夹夹取装片在酒精灯外焰上烤片两次，每次2~3 s，注意避免染液沸腾。烤片能增强染色效果，使染色体颜色加深。

(6) 观察：将制作好的临时装片放在显微镜下观察。

由于蝗虫染色体较大，数目相对较少，因此易于观察和计数。与观察永久装片相比，虽然制作临时装片需要取材和制作，但试剂易得，方法简便，减数分裂不同时期的分裂象明显，易于识别，因此，有条件的学校可开展制作和观察临时装片的活动。如果以韭菜为材料，制作临时装片和观察的方法与蝗虫的类似。

建立减数分裂中染色体变化的模型

北京市第十一中学 桑 希

本实验通过使用其他材料模拟染色体，建立减数分裂中染色体动态变化的模型，帮助学生识别减数分裂不同时期染色体的形态、位置和数目，明确不同时期的典型特征，在头脑中建构减数分裂的动态过程图，形成减数分裂、同源染色体、自由组合、联会等概念；并理解减数分裂形成的配子具有多样性的原因和意义。

(一) 材料准备

1. 模拟染色体的材料：两种颜色差异明显的橡皮泥、扭扭棒（俗称毛根）或其他适合模拟染色体的材料，如弯头吸管、细树枝、彩色木棍、电线、轻质黏土等。橡皮泥操作简便，尤其利于模拟“互换”，但易干裂、不能重复使用；扭扭棒便宜、轻巧、易保存，可多次重复利用。

2. 模拟着丝粒的材料：可以用与染色体同色的橡皮泥，也可用其他材料替代，如垫圈、磁铁、子母扣等。

3. 其他材料：较大的白纸、铅笔或彩笔，与磁铁配套使用的还有磁力贴板，剪刀和透明胶带（用于模拟“互换”），照相机等。

(二) 操作方法

无论采用哪种材料模拟染色体，都要注意区分染色体的大小，两种染色体要相差2倍左右，如两条染色体长3~4 cm，另两条长6~8 cm。先制作染色单体，并让每条染色单体“自带”着丝粒，然后将两条染色单体拼成染色体，这样有利于模拟着丝粒的分裂。模拟细胞的白纸或磁力贴板要足够大，最好能容纳下减数分裂不同时期的细胞。

学生要多次完整地模拟减数分裂的过程，才能充分理解同源染色体分离、非同源染色体自由组合、非姐妹染色单体间的互换，以及自由组合和互换导致的配子多样性的结果，所以应提醒学生，除注重过程以外，务必把每次模拟的结果拍照或画图保存下来，以便比较和总结。

（三）教学组织

1. 前期准备阶段

建议教师提前将问题串做成学案中的任务单，引导学生观察和思考减数分裂过程中染色体自由组合、互换对结果的影响。例如，减数分裂分为哪几个时期？各时期的典型特征是什么？产生的子细胞中的染色体组合有几种？与前一次有何不同？细胞中有2对同源染色体时，子细胞中的染色体有几种组合方式？模拟四分体时期非姐妹染色单体间的互换时，子细胞与前两次模拟实验又有何不同？减数分裂产生多种配子的原因有哪些？等等。

可为各组准备不同的模拟材料，设计小组总结时的评价量表。

2. 模拟操作阶段

这一模拟活动可在教室中进行，根据学生水平，可将活动安排在讲授减数分裂的前、中或后的任意时段。如果学生基础较好、思维能力较强，教师可以将带有猜想性质的建立模型先于讲解进行；也可将讲解与建立模型同步进行。如果教师已经使用过该种方式建构有丝分裂的模型，可以在讲解完减数分裂后让学生两人一组进行此项活动。学生操作时，教师要勤加指导，观察学生有无理解上的错误。例如，将不同颜色的等长染色单体拼成一个复制后的染色体；模拟减数分裂Ⅰ时，将等长的一对同源染色体分到同一侧等。教师应及时弄清学生出错的原因并加以纠正。在建立模型的过程中，最好让学生绘出或拍摄不同时期的典型图像，特别是子细胞中染色体的组合情况，以便后期进行比较和总结。教师也可以拍摄学生建立模型的过程，包括正确的和错误的典型类型，用于归纳总结。

3. 归纳总结阶段

学生上传本组模拟活动过程的照片进行展示，描述染色体数目和行为的变化、减数分裂不同时期的特征，比较每次分裂的不同结果，说明自由组合的类型以及配子多样性的原因等。小组之间可以进行互评。教师也可以上传自己拍摄的照片，特别是有错误的，让学生纠错。

（四）拓展方案

如果学生思维能力较强，可尝试建立3对或3对以上同源染色体自由组合的模型；可以用特殊颜色的橡皮泥或其他材料凸显着丝粒；可以制作端部或近端部着丝粒的染色体，甚至制作X、Y染色体。教师还可以提出纺锤丝连错方向或染色体断裂等问题，为后续章节讲授染色体变异埋下伏笔。

四、答案和提示

问题探讨

1. 配子的染色体与体细胞的染色体的区别在于：（1）配子中的染色体数目是体细胞中的一半；（2）配子的染色体是由体细胞的每对同源染色体中的一条组合而成的。

2. 略。

第1小节

(一) 旁栏思考题

1. 如果配子也是通过有丝分裂形成的，那么配子中的染色体数目和体细胞中的将是一致的。
2. 初级精母细胞两极的这两组染色体，非同源染色体之间是自由组合的。
3. 在减数分裂 I 中出现了同源染色体联会、四分体形成、非姐妹染色单体间的互换、同源染色体分离等行为，使细胞两极各有一整套非同源染色体，从而使形成的次级精母细胞中的染色体数目比初级精母细胞的减少一半。

上述过程可使配子中的染色体数目减半。再通过卵细胞和精子结合成受精卵的受精作用，保证了每种生物后代染色体数目的恒定，维持了生物遗传的稳定性。上述过程还可以使通过减数分裂产生的配子种类多样化，从而增加了生物遗传的多样性，有利于生物适应多变的自然环境，有利于生物的进化。

4. 精细胞的变形是指由精细胞变为精子的过程，其中细胞核变成精子头部的主要部分，高尔基体发育为头部的顶体，中心体演变为精子的尾，线粒体集中在尾的基部形成线粒体鞘。变形后的精子具备了游向卵细胞并进行受精作用的能力。

(二) 练习与应用

概念检测

1. (1) × (2) ✓
2. B
3. C
4. (1) 这个细胞正在进行减数分裂。因为细胞中出现了四分体。
(2) 细胞中有4条染色体，8条染色单体。
(3) 细胞中有2对同源染色体。其中染色体A与C、A与D、B与C、B与D是非同源染色体。
(4) 细胞中a与a'、b与b'、c与c'、d与d'是姐妹染色单体。
(5) 这个细胞在分裂完成后，子细胞中有2条染色体。
(6) 参见教材图2-2。

拓展应用

1. 根据细胞大小，染色体的形态、位置和数目判断细胞处于减数分裂的哪个时期。
2. 提示：不一定。若减数分裂过程中发生异常情况，比如减数分裂 I 时联会的同源染色体，有一对或几对没有分别移向细胞的两极，而是集中到一个次级精（卵）母细胞中，再经过减数分裂 II 形成的精子或卵细胞中的染色体数目，就会比正常的多一条或几条染色体。再例如，在减数分裂过程（无论减数分裂 I 还是减数分裂 II）中，染色体已移向细胞的两极，但因某种原因细胞未分裂成两个子细胞，这样就可能出现精子或卵细胞中染色体数目加倍的现象。

如果出现上述现象，受精卵中的染色体数目就会出现异常，由该受精卵发育成的个体细胞中的染色体数目也不正常。由于染色体是遗传物质的载体，生物体的性状又是由遗传物质控制的，那么当该个体的遗传物质出现异常时，该个体的性状也是异常的。例如，人的唐氏综合征（又称

21三体综合征)患者,就是由含有24条染色体(其中21号染色体是两条)的精子或卵细胞与正常的卵细胞或精子结合后发育成的。

3. 精子和卵细胞结合时,头部先进入卵细胞内,精子的头部几乎只保留了细胞核,这就保证了遗传物质能够先进入卵细胞;部分细胞质变成了精子的颈部和尾部,使精子具备了适于游动的能力;大部分细胞质及多数细胞器被丢弃,避免了受精过程中因为不必要的细胞组分而耗费能量;全部线粒体被保留下来,并主要集中在尾的基部,可以更好地在受精过程中提供能量。精子变形过程中的以上变化都是为受精提供了保证,是进化的结果。

(三) 探究·实践

1. 根据细胞中染色体的形态、位置和数目来判断。例如,在减数分裂Ⅰ中,先后出现同源染色体联会、四分体形成、各对同源染色体排列在细胞中央的赤道板两侧、同源染色体分离、移向细胞两极的染色体分别由两条姐妹染色单体组成等现象。

减数分裂Ⅱ中期,非同源染色体的着丝粒排列在细胞中央的赤道板处,移向细胞两极的染色体不含染色单体。

另外,在蝗虫精母细胞减数分裂的过程中,处于减数分裂Ⅰ的细胞要明显多于处于减数分裂Ⅱ的细胞。

2. 减数分裂Ⅰ中期,两条同源染色体分别排列在细胞中央的赤道板两侧,末期细胞两极的染色体由一整套非同源染色体组成,其数目是体细胞染色体数目的一半,每条染色体均由两条姐妹染色单体构成。

减数分裂Ⅱ中期,非同源染色体的着丝粒排列在细胞中央的赤道板处,末期细胞两极的染色体不含染色单体。

3. 同一生物的细胞,所含遗传物质相同,增殖过程相同,同一时刻不同细胞可能处于细胞周期的不同阶段。因此,可以通过观察多个精母细胞的减数分裂,推测一个精母细胞在减数分裂过程中染色体的连续变化。

第2小节

(一) 探究·实践

活动二

1. 至少需要2对染色体。

2. 有2种组合方式。假设分别用A、A'和B、B'表示2对染色体,则减数分裂Ⅰ时,非同源染色体的组合有两种:(1)A、B和A'、B';(2)A、B'和A'、B。

讨论

1. 在减数分裂Ⅰ中,先后出现同源染色体联会、四分体形成、非姐妹染色单体间的互换、同源染色体分离并移向细胞的两极等行为变化;减数分裂Ⅰ后,细胞中的染色体数目减半。在减数分裂Ⅱ中,每条染色体的着丝粒分裂,两条姐妹染色单体随之分开,并分别移向细胞的两极,最终进入两个子细胞。

减数分裂产生了多种多样的配子，配子中的染色体数目减半。这为之后通过受精作用使同一双亲的后代呈现多样性，并维持每种生物前后代染色体数目的恒定提供了保证。总的来讲，减数分裂和受精作用共同保证了生物遗传的稳定性和多样性。

2. 在减数分裂中，非同源染色体的自由组合、联会时非姐妹染色单体间的互换，都会使减数分裂产生多种配子。

（二）思维训练

	遗传稳定性	遗传多样性
配子形成	减数分裂形成的配子中的染色体数目减半；而且每个配子中的染色体是一整套非同源染色体的组合。	在减数分裂过程中，联会时非姐妹染色单体间的互换，减数分裂Ⅰ时非同源染色体的自由组合，都导致了配子中染色体组合的多样性。
受精作用	卵细胞和精子的结合，使受精卵中的染色体数目又恢复到体细胞中的数目，生物体的性状是由染色体上的遗传物质控制的，因此，染色体数目的恒定维持了遗传的稳定性。	卵细胞和精子的随机结合，进一步增加了受精卵中染色体组合的多样性，因而增加了遗传的多样性。

（三）练习与应用

概念检测

1. (1) ✓ (2) ✓

2. B

3. D

拓展应用

1. 提示：在形成精子或卵细胞的减数分裂过程中，如果由于某种原因，减数分裂Ⅰ时两条13号染色体没有分离而是进入了同一个次级精（卵）母细胞，再经过减数分裂Ⅱ，就会形成含有两条13号染色体的精子或卵细胞；如果减数分裂Ⅰ正常，减数分裂Ⅱ时13号染色体的着丝粒分裂，形成了两条13号染色体，但没有分别移向细胞的两极，而是进入了同一个精子或卵细胞，这样异常的精子或卵细胞就含有24条染色体，其中13号染色体是两条。当一个正常的卵细胞或精子（含23条染色体，其中13号染色体是1条）与上述异常的精子或卵细胞结合成受精卵时，则该受精卵含47条染色体，其中13号染色体是3条。由这样的受精卵发育而成的个体就是13三体综合征患者。

2. 骡的体细胞中含有63条染色体，其中32条来自马，31条来自驴。由于这63条染色体没有同源染色体，导致骡的生殖细胞不能进行正常的减数分裂，无法形成配子，因此骡不能繁殖后代。

五、背景资料

(一) 减数分裂和受精作用的发现历程

19世纪的最后25年，许多生物学家对细胞分裂和受精作用进行了大量的研究。1875年赫特维奇(O. Hertwig, 1849—1922)在观察海胆卵的受精作用时，发现精核和卵核的融合，从而开创了实验细胞学这一领域。弗莱明(W. Flemming, 1843—1905)、贝内登(E. von Beneden, 1846—1910)在动物方面和斯特拉斯伯格(E. A. Strassburger, 1844—1912)在植物方面都对减数分裂和细胞的间接分裂进行了观察和详细的描述。1878年施莱克尔(Schleicher)把细胞的间接分裂称为核分裂，而1882年弗莱明则将雷马克(Remak, 1815—1865)在1841年观察鸡胚血细胞时发现的细胞直接分裂称为无丝分裂，将间接分裂或核分裂称为有丝分裂。1879年弗莱明描述了蝾螈细胞的有丝分裂。1882年他在核分裂和形成子细胞核的过程中观察到细胞核中的染色物质是如何转化为纵向分裂线状体的，他将核内染色部分称为染色质(chromatin)。1888年冯·瓦尔德耶-哈茨(H. W. von Waldeyer-Hartz, 1836—1921)将细胞分裂过程中随着核的消失而出现的染色小体称为染色体(chromosome)。1881年巴尔比亚尼(E. G. Balbiani, 1823—1899)，1884年卡诺努瓦(J. B. Carnoy, 1836—1899)发现了双翅目昆虫的唾腺染色体，并做了观察。

1883年贝内登不仅在有丝分裂过程中观察到染色体的两个子染色体各往一极，以保持子细胞中染色体物质的相等，而且观察到蛔虫配子中的染色体数目只有体细胞中的一半；而在受精过程中，受精卵从卵细胞和精子获得相同数目的染色体，结果，生物在代代相传中保持比较恒定的染色体数目。1884年斯特拉斯伯格观察被子植物的受精作用过程时发现了和赫特维奇在动物细胞中所观察到的同样现象。由于双亲的特征遗传给后代是由参加受精作用的两种生殖细胞(卵细胞和精子)来完成的，因此，需要确定细胞的哪一部分与遗传特性有关。斯特拉斯伯格进行了各种植物的正反交实验，得到了相同的结果。因为卵细胞和精子在大小上和所含细胞质的数量上是不同的，所以他认为细胞质与物种间在遗传上的差异无关，核及其中的染色体则是遗传的物质基础。魏斯曼假设在有性生殖的多细胞生物里遗传单位的数目在卵细胞和精子或花粉，也就是在生殖细胞的形成中是减半的。然后遗传单位原有的数目在受精过程中通过雄性和雌性生殖细胞核的结合得以恢复，于是产生了新的个体，这个个体的遗传物质一半来自父方，另一半来自母方。

细胞学说的建立把生物学家的注意力引向细胞，有力地推动了对细胞的研究。19世纪下半叶是细胞研究的繁荣时期，科学家相继发现了许多重要的细胞器和细胞活动的现象。自从细胞是由原生质组成的概念建立以后，学者们又更明确地把围绕在核周的原生质称为细胞质，把核内的原生质称为核质。弗莱明改进了固定和染色技术，首先精确地描述了细胞的有丝分裂过程，并把细胞分裂命名为有丝分裂。斯特拉斯伯格根据染色体的行为把有丝分裂期分为前期、中期、晚期、末期。1855年鲁贝尔(Rubel)首次提出一个物种中两代细胞染色体数目不变的定律。1890年，瓦尔德耶-哈茨认为，有丝分裂的基本变化是形成核丝——染色体，在纵的方向一分为二。19世纪80年代末，鲍维里(T. Boveri, 1862—1915)报道说，动物体配子在形成过程中染色体数目减少一半，不久斯特拉斯伯格在植物细胞中也发现了这种现象。1905年，法默(J. R. Farmer, 1865—1944)和穆尔(J. E. Moore, 1870—1947)把进行有性生殖的动物的生殖细胞通过分裂使染色体数目减半的分裂方式称为减数分裂。这样就既明确了核在两代个体间保持了连续

性，也明确了染色体在减数分裂过程中减少一半，通过受精在下一代又恢复原来数目的现象。

（二）蝗虫精母细胞减数分裂制片及不同时期的图像特征

减数分裂是配子形成过程中一种特殊形式的有丝分裂，也叫成熟分裂。生物体在繁殖过程中通过减数分裂使得配子中的染色体数目只有体细胞中的一半，这样再通过雌雄配子的结合又可以在后代细胞中恢复正常的染色体数目，从而保持了物种的稳定性，同时同源染色体在染色体配对过程中发生了非姐妹染色单体间的互换，为后代表现的多样性提供了遗传的物质基础。

在高等动物的有性生殖过程中，雄性个体生殖腺（精巢）中的精原细胞（ $2n$ ）生长分化为初级精母细胞（ $2n$ ），初级精母细胞经过减数分裂Ⅰ产生两个次级精母细胞（ n ），再经过减数Ⅱ分裂和一系列的变化最后形成四个精子（ n ）。雌性个体的生殖腺（卵巢）中的卵原细胞（ $2n$ ）经过生长分化形成初级卵母细胞（ $2n$ ），初级卵母细胞经过减数分裂Ⅰ形成大小悬殊的两个细胞，大的叫次级卵母细胞（ n ），小的叫第一极体（ n ），它们各自进行减数分裂Ⅱ分别产生一个大的卵细胞（ n ）和三个第二极体（ n ），因此可以用高等动物的精巢或卵巢作材料进行减数分裂的研究。

在动物材料中，蝗虫是比较好的观察减数分裂的材料。^[1]蝗虫的染色体数目较少，雄蝗虫 $2n=23$ ，雌蝗虫 $2n=24$ ，染色体较大便于观察。在同一装片上可以同时观察到减数分裂的各个时期以及精子的形成过程。在某个时间内，雌性动物卵巢的卵泡内进行减数分裂的细胞有限，观察到减数分裂各期的细胞数目较少，所以不使用雌性蝗虫的卵巢切片。

在前面的“探究·实践”指导中，已经介绍了制作蝗虫精母细胞减数分裂临时制片的方法，这里再介绍另一种方法。取成熟活雄蝗虫并固定，去除翅及肢，用剪刀沿腹部的背侧从末端向前端剪开，用解剖针拨开体壁，在胃肠背后可以找到黄色椭圆形的精巢。取精巢于质量分数为0.7%的生理盐水中，用镊子剔除多余组织，然后转入质量分数为0.4%的KCl溶液中低渗处理30~40 min，3:1的无水酒精和冰醋酸溶液中固定处理2~24 h。在体积分数为45%的醋酸溶液中打开精巢中的精巢细管，用1:5的吉姆萨染液染色约5 min即可观察。如果需制作固定装片，可移入体积分数为95%的酒精溶液中处理5 min，再移入无水酒精中处理5 min，最后移入二甲苯中3~5 min，取出标本后用树胶封片。^[2]

减数分裂各时期染色体的特点如下。

减数分裂Ⅰ前期分为5个阶段：细线期、偶线期、粗线期、双线期、终变期。细线期：染色质浓缩为若干条细长的细线相互缠绕，染色体细长、呈线状。偶线期：染色体略粗，染色略深，同源染色体两两配对。粗线期：同源染色体互成螺旋结构，X染色体呈端棒状。双线期：可见交叉染色体，有交叉端化现象，可见染色体各种构象，如“8”或“X”形。终变期：染色体逐渐紧密凝集。

减数分裂Ⅰ中期：染色体边缘光滑，进一步变粗变短，同源染色体以四分体为单位排列在赤道板上。侧面观可见各二价体成排横列在纺锤体中部，呈一条直线；极面观可见各二价体环状排列在赤道面上。

减数分裂Ⅰ后期：染色体距离较远，由纺锤丝牵引遥遥相对。染色体呈各种构象，如“丁”字形、“V”形或呈棒状等。

减数分裂Ⅰ末期：染色体数目减半，到达两极的染色体开始聚集。

减数分裂Ⅱ前期：染色体逐渐分散缩短，两条姐妹染色单体彼此排斥。

减数分裂Ⅱ中期：染色体着丝粒排列在赤道板上，极面观可得染色体呈辐轮状分布。

减数分裂Ⅱ后期：姐妹染色单体分开，在纺锤丝牵引下移向细胞两极。

减数分裂Ⅱ末期：到达两极的染色体分别进入两个子细胞，两个子细胞的染色体数目与初级精母细胞相比减少了一半，染色体聚集并解螺旋化。

（三）被子植物的减数分裂和受精作用

高等植物的有性生殖过程都是在花里进行的。它包括减数分裂产生大小孢子和大小孢子进一步产生配子，也包括雌雄配子受精结合产生合子和合子经有丝分裂形成种子。与有性生殖过程具有直接联系的是花里的雄蕊和雌蕊。

1. 小孢子发生和雄配子的形成

被子植物的小孢子和雄配子是在雄蕊的花药里产生的。当花药发育到一定阶段后，其内部的孢原组织分化为花粉母细胞或称为小孢子母细胞，它的染色体数为 $2n$ 。每个小孢子母细胞经过减数分裂产生4个染色体数目减半的小孢子，最初由胼胝质壁将它们包围并将其相互分隔。当胼胝质壁溶解后，小孢子被释放出来，刚游离出来的小孢子内部充满浓厚的细胞质，核处于中央。随着体积的增长和液泡的形成，核被挤到边上，并在靠近细胞壁的位置进行第一次孢子有丝分裂，产生2个子细胞。其中靠近细胞壁的核形成生殖细胞，另一个形成营养细胞。此后，生殖细胞进行第二次孢子有丝分裂，形成2个精细胞。这种三细胞的成熟花粉粒称为雄配子体，其中2个精细胞称为雄配子。

2. 大孢子发生和雌配子的形成

在雌蕊子房的胚珠中，珠心细胞发育到一定阶段分化出胚囊母细胞或称大孢子母细胞，它的染色体数目为 $2n$ 。大孢子母细胞经过减数分裂通常产生直线排列的4个大孢子，其染色体数目为 n 。此后，靠近珠孔端的3个大孢子逐渐退化消失，只有远离珠孔端的一个大孢子能继续发育。它经过连续3次孢子有丝分裂，形成具有8个核的胚囊，以后形成8核7细胞的成熟胚囊结构。其中珠孔端的3个细胞中，细胞核远离珠孔端的1个细胞，为卵细胞或称雌配子，细胞核靠近珠孔端的2个细胞是助细胞；远离珠孔端的3个细胞为反足细胞；中间的2个核称为极核。这种成熟的胚囊又称为雌配子体。

3. 双受精是被子植物特有的现象

受精即雌、雄配子的结合。雄配子体（花粉）需先在雌蕊的柱头上萌发长出花粉管，随后花粉管进入柱头、穿过花柱进入胚囊释放出雄配子，最后才进行雌雄配子的结合。因此，被子植物的受精是一个较长的过程。

（1）花粉萌发

通过传粉，花粉被送到雌蕊的柱头上。柱头是花粉萌发的场所，也是进行细胞间识别的主要部位。柱头有两种不同的状态，一种是湿润的，另一种是干燥的。湿柱头在接受花粉时有包含脂质、酚类化合物和糖类的分泌物，布满在柱头表面，便于黏着花粉和为花粉萌发提供必需的基

质，其成分因植物不同而异。在矮牵牛中，分泌层之下束缚着一层很薄的水层，可为花粉萌发提供水分。

干柱头在接受花粉时一般不产生或仅具有很少的分泌物。这种柱头表面有一层亲水的蛋白质薄膜覆盖在柱头细胞壁表面的亲脂的角质层上。蛋白质膜中包含脂酶等物质，它们与角质层一起都是柱头细胞的外分泌物。一般来说，花粉萌发可分为黏着、吸涨、延缓、花粉管伸出和花粉管延伸5个步骤。

有些植物花粉萌发只需很短的时间。例如在水稻、高粱和甘蔗等植物中，花粉几乎在传粉后便立即萌发；玉米、二棱大麦、橡胶草等也只需5 min左右。花粉萌发时大多数仅产生一根花粉管。具多个萌发孔的花粉粒，如锦葵科、十字花科和葫芦科的植物，可以同时长出数根花粉管，但是最终只有一根能到达胚囊，其余的都在中途停止生长。

(2) 花粉管在雌蕊组织中生长，花粉管进入柱头和花柱

花粉管虽有各种进入柱头的方式，但一般都是从柱头组织的细胞壁之间或通过细胞壁向下生长的。花粉管尖端有一长度为5 μm左右的生长点，其中含有高尔基体、核糖体等多种细胞器，丰富的RNA，各种酶类和多糖、油滴等。这些特征与形成新的管壁有关。在花粉管的生长过程中，营养核、生殖细胞或精子随着管内的原生质流也移向管的末端。

花粉管通过花柱进到子房后，通常沿子房的内壁或胎座继续生长，然后经珠孔进入胚珠。也有一些植物的花粉管从胚珠的合点或珠柄处进入。

花粉管穿过珠孔后，径直朝向并进入助细胞丝状器从而进入胚囊中。花粉管穿入两个助细胞中的一个后，于花粉管的顶端形成一个孔，从孔中释放出花粉管的内容物，其中包括两个精子、一个营养核和少量细胞质。被花粉管穿入的助细胞在花粉管进入之前或在花粉管进入之后退化。助细胞的退化可为卵细胞膜和精子膜的接触提供场所。

(3) 双受精

精子被释放出来以后，移向退化了了的助细胞的合点端，而营养核被留在后面。一个精子从卵细胞的合点端缺乏细胞壁的部位进入卵细胞。由于精子和卵细胞没有细胞壁，因此精卵结合可以看做活体状况下的原生质体融合。精子通过与卵细胞的细胞膜相互融合进入卵细胞后，精核与卵核融合，产生二倍体的合子，继而形成胚。另一个精子也通过细胞膜融合的方式进入中央细胞，精核与两个极核融合，产生三倍体的胚乳。这一过程称为双受精。在双受精过程中，核的融合始于雌雄配子核膜的融合，随后双方的核质融为一体。双受精是被子植物受精过程的最后阶段。

(四) 哺乳动物受精作用的具体过程（以人为例）

1. 精子的结构和功能

精子形似蝌蚪，总长约66 μm，分头、尾两部分。头部正面呈椭圆形，侧面呈梨形，内含一个染色质十分致密的细胞核和一个顶体。顶体是一种膜系细胞器，呈帽状罩于细胞核的前方。顶体内含多种水解酶如透明质酸酶、顶体酶和酸性磷酸酶等，相当于巨大溶酶体。尾的中心含一条贯穿全尾的轴丝（类似鞭毛），中段含有螺旋状排列的线粒体。精子的主要功能为前向运动及与卵受精，借此将遗传物质送入卵母细胞内。精液进入阴道后，精子从精浆中游出，穿越子宫颈、

子宫腔、输卵管峡部，最后抵达输卵管壶腹部与卵母细胞相遇。女性生殖道内充满较黏稠的液体，输卵管峡部黏膜形成曲折的皱襞，这对精子的运输构成很大阻力，也起着淘汰筛选精子的作用，只有具有很强运动能力和恰当运动方式的精子才能到达卵母细胞所在位置。排卵期女性生殖道的环境还起着调节精子功能的作用，精子在运输过程中同时也获得受精能力，输卵管峡部皱襞间隐窝可临时储存精子并防止已经获能的精子过早产生顶体反应。精子的受精能力在女性生殖道内约可维持1 d。

精子获能是指精子借以获得受精能力的一系列生理变化过程。精子在穿过子宫颈时就开始了获能进程。当到达输卵管峡部时，获能过程已接近完成。获能后期的精子发生“超激活”，即出现强烈鞭打样运动，头、尾的摆动幅度显著加大，运动方向也变得灵活多变，使精子得以穿越输卵管峡部。同时，精子的细胞膜系的稳定性降低，细胞膜表面某些与受精密切相关的受体暴露，具备了与卵母细胞进行相互作用和产生顶体反应的条件。

顶体反应是精子完成获能后所发生的结构功能变化，类似于体细胞的胞吐现象。精子开始发生顶体反应时，顶体首先膨胀，精子的细胞膜与顶体外膜紧贴，发生多点融合，融合处破裂，顶体通过破裂口与精子外部相通，顶体内容物中的水解酶被激活并通过破口扩散出精子头表面，顶体内膜暴露。顶体反应是精子在受精时的关键变化，只有完成顶体反应的精子才能与卵母细胞融合，实现受精。

2. 卵母细胞的结构和功能

女性排卵时，卵子从破裂的卵泡中随卵泡液一起从卵巢排出(排卵)，被输卵管伞端所拾取并运送至输卵管壶腹部，等待精子受精。这时的卵子其实是卵冠丘复合体(图2-1)。该复合体

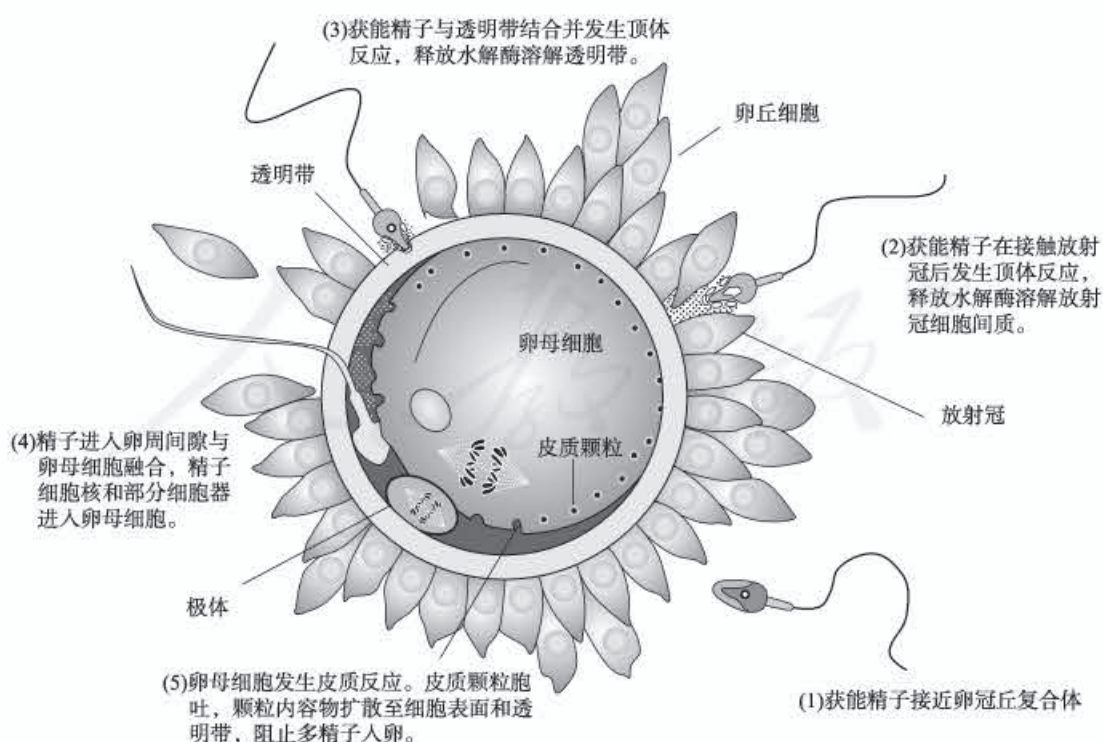


图2-1 卵母细胞受精过程

的中心是卵母细胞以及一个体积相对小得多的极体，其外包裹着一层主要由卵母细胞分泌物形成的细胞外基质，称为透明带（简称ZP），卵母细胞与透明带之间留有一狭窄的空隙即卵周间隙。透明带之外还围绕着若干层卵泡细胞，其最靠近透明带的一层被称为放射冠。透明带在受精中起着至关重要的作用，其结构主要由三种糖蛋白(ZP1、ZP2、ZP3)组成。其中，ZP3能识别同物种精子并与之结合，继而诱导精子发生顶体反应，启动受精过程。若未受精，卵母细胞将在排卵后12~24 h退化。

3. 受精过程

受精过程分为三个阶段，即精子与卵泡细胞相互作用、精子与透明带相互作用和精子与卵母细胞相互作用。

(1) 精子与卵泡细胞相互作用

女性排卵时所释放的卵冠丘复合体和卵泡液，通过输卵管伞端进入壶腹部。先行泳动到输卵管壶腹部的获能精子与卵冠丘复合体发生接触，同时受到卵泡液和卵泡细胞间质的诱导产生顶体反应，释放顶体内所含的水解酶。在水解酶(主要是其中的透明质酸酶)的作用下，卵泡细胞的细胞间质被溶解，使卵泡细胞层和放射冠解体，暴露出透明带，后继精子开始与透明带发生相互作用。

(2) 精子与透明带相互作用

顶体完整的获能精子借助细胞膜上的ZP3互补分子与透明带的ZP3分子互相识别并结合，同时ZP3诱导精子产生顶体反应，使精子释放顶体酶水解局部透明带，形成一个隧道，精子随即进入卵周间隙与卵母细胞相接触。

(3) 精子与卵母细胞相互作用

进入卵周间隙的精子随即与卵母细胞相互识别，精子头部侧面细胞膜与卵母细胞膜融合，从而使精子的细胞核与部分细胞质进入卵母细胞。精卵融合激活卵母细胞，引起其表层细胞质中的“皮质颗粒”与细胞膜融合，发生胞吐，释放颗粒内物质进入卵周间隙，并因此改变了细胞膜和透明带的结构，从而使其他精子再不能与之结合，保证一个卵母细胞只和一个精子受精。精子细胞核进入卵母细胞后随即膨胀，染色质解聚并形成雄性原核，与此同时，卵母细胞迅速完成减数分裂Ⅱ，中期染色体也解聚并形成雌性原核。两原核互相靠拢、融合形成一个新的二倍体细胞核，从而使卵变成合子，即受精卵，受精过程到此完成。

(五) 制作减数分裂中染色体变化模型的方法

减数分裂是高中生物学的核心概念之一，也是基因的分离定律和自由组合定律的细胞学基础，是教学重点。减数分裂中染色体数目和行为的变化既是教学重点也是教学难点，它是一个连续动态的微观变化过程，利用传统的教学方法难以让学生透彻认识其本质特征，因此教材设计了“探究·实践 建立减数分裂中染色体变化的模型”，通过建构物理模型，用直观、简化的形式帮助学生理解和掌握。下面介绍几种制作减数分裂中染色体变化模型的方法和注意事项，为教学提供参考。

1. 橡皮泥模型

橡皮泥模型是常见的染色体制作模型，教材就介绍了如何用橡皮泥制作染色体模型。此种模型利用了橡皮泥颜色的多样性和形态的可塑性，用不同的大小和颜色清晰地表示出不同的染色体以及来自父方和母方的同源染色体。此外，橡皮泥制作的染色体可以进行拆卸和组合，能够动态地表现染色体变化的过程。

2. 手指模型

手指模型是指学生利用自己的手指来模拟染色体的变化过程，此种模型无须其他材料的准备，方便易行，形象直观。在教学中，学生两人一组，协作完成手指模型。用一只手指表示一条染色体，那么一只手就能表示五条各不相同的染色体，两位学生各伸出一只手，就能表示一个细胞内的五对同源染色体。在此基础上，每位学生再将自己双手的十个手指相互交叉，如中指和中指在指关节处贴合，表示完成复制的染色体，此时两位学生的四只手就代表了完成复制的五对同源染色体。两位学生的手分开，就代表了同源染色体的分离；学生各自交叉的手分开，就代表了染色单体的分离。通过此种方法，学生两人配合，变换手和手指的位置就可以形象地展示减数分裂中染色体的变化过程，图2-2展示了手指模型。^[3]

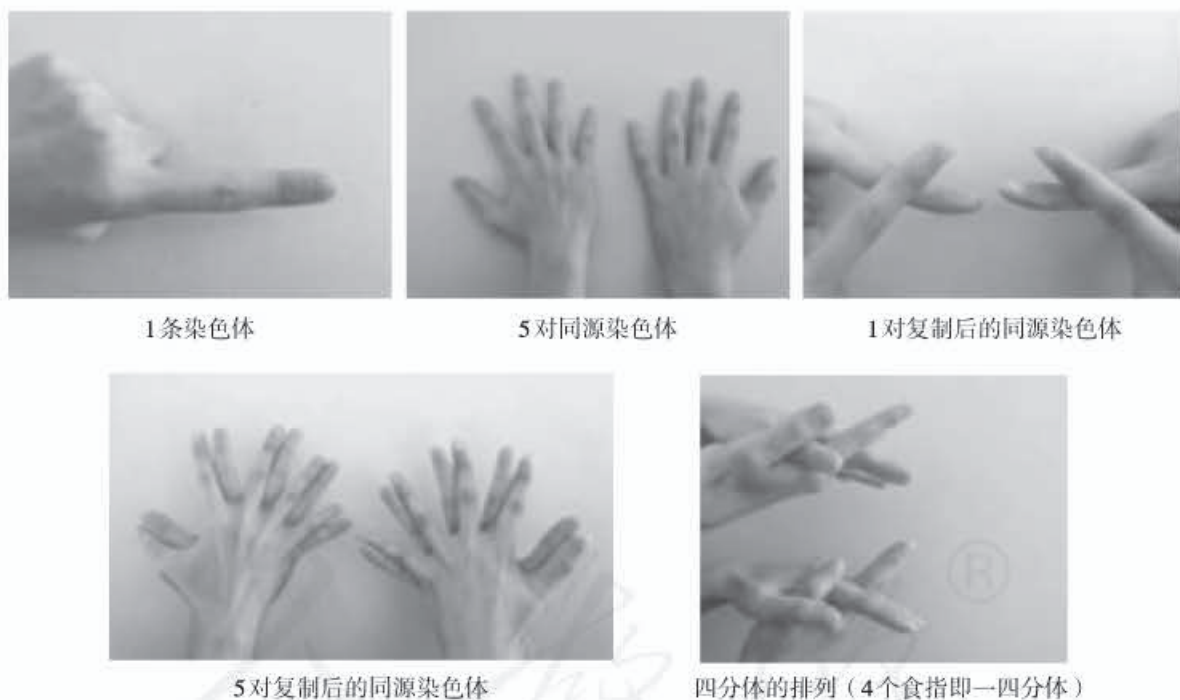


图2-2 减数分裂的手指模型示意图

3. 扭扭棒模型

扭扭棒模型是以扭扭棒为基本材料制作的染色体模型，通过扭扭棒的叠加、缠绕、分离等操作，直观模拟减数分裂中染色体的变化。扭扭棒具有质地软、易塑形的特点，能够生动形象地表现染色体的形态特征，如将扭扭棒旋转缠绕便形成粗短的染色体。^[4]将各个时期的染色体用扭扭棒制作完成后，将其粘贴在相应的细胞硬纸板上，就形成了简单明了的减数分裂中染色体变化模型，如图2-3所示。

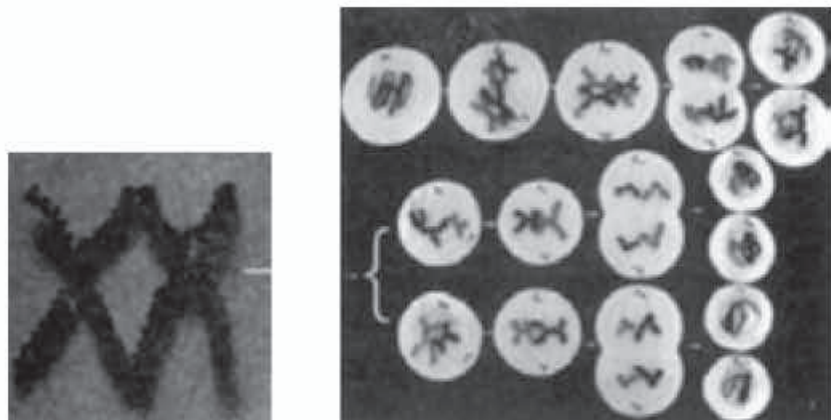


图2-3 用扭扭棒制作的减数分裂染色体模型

4. 卡纸模型

卡纸模型是利用不同颜色的卡纸和小磁铁制作的模型。首先用卡纸剪出已经复制完成的染色体的形状，可用不同大小的卡纸代表不同的染色体，用两种颜色分别代表两条同源染色体。然后，将染色体沿着着丝粒中间部位剪开，形成两条染色单体，在染色单体着丝粒的部位贴上小磁铁，方便固定和移动染色体。将两条染色单体合并又重新形成了完成复制的染色体，如图2-4所示。最后将制作好的染色体模型在黑板或白纸上进行组装、拆卸和移动，就能够展示减数分裂的动态过程，方便学生观察、记忆和理解。^[5]

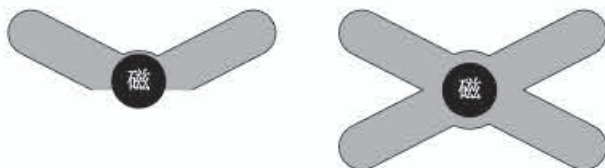


图2-4 用卡纸制作的染色单体和完成复制的染色体示意图

除了上述制作减数分裂中染色体模型的方法外，还有磁铁模型、扑克牌模型等多种模型方法。此外，计算机动态模型也值得关注。计算机动态模型是利用计算机系统，用专门的软件制作出的与原型相似度极高的动态模型。此种模型的建构需要一定的专业技术素养，但一旦完成，便可反复使用，并且生动形象，具有一定的真实性，能够极大地促进学生对微观复杂知识的掌握。

需要注意的是，模型是对原型的抽象、概括，它没有包括原型的所有特征，而是舍弃了原型的一些次要的、非本质的特征，保留的是原型最本质的特征。^[6]也就是说，我们建构的模型是反映原型本质特征的模型。在制作减数分裂中染色体变化模型时，教师应该关注的是建立的模型是否能够清晰地表现出染色体数目和行的变化，有没有体现出能够区分不同染色体、来自父方和母方的同源染色体的差异等这些本质问题，而不是拘泥于染色体形态细节上的形象与否、总的染色体数目相似与否等非本质问题上。教师在建构模型中，要抓住主要矛盾以及主要矛盾的主要方面，让学生真正在建构模型中把握事物的本质规律，形成正确的认识。

（六）分析与综合的科学方法介绍

分析与综合是科学思维的基本方法。所谓分析，就是把研究对象分解成它的组成部分，然后分别加以研究的一种方法；所谓综合，就是把研究对象的各部分联系起来，从而在整体上把握事

物的本质和规律的一种方法。简单地说，分析就是从整体到部分的思维方法；综合则是从部分到整体的思维方法（图2-5）。



图2-5 分析与综合相互关系的示意图

常用的分析方法有：定性分析、定量分析、因果分析、比较分析等。分析大致分为三个步骤：①将整体“解剖”，将部分从整体中“分割”出来；②深入分析各部分的特殊本质（这是分析中最重要的一环）；③进一步分析各部分的相互联系和相互作用。对事物进行分析既可以借助实验的方法，也可以借助抽象思维。例如，科学家在研究某种植物时，往往采用“分析”的手段，将植物分解为根、茎、花、叶等部分，分别加以研究；对细胞的研究中，考察了细胞中的化学反应，需要从细胞的能量转换、物质转换和信息转换三方面去分析。综合是把分析的各部分有机结合起来。例如，把某种植物的根、茎、花、叶等部分分别加以研究后，还需要把这些部分再联系起来，才能研究植物整体的生活；从细胞各个化学反应的不同角度分析后，还需要将各个化学反应联系起来，才能全面认识细胞的功能。因此，分析是为了综合，没有分析就没有综合，分析是综合的基础，综合是分析的归宿。^[7]

六、教学案例与评析

减数分裂和受精作用

江苏省无锡市辅仁高级中学 陈洁

教学目标的确定

课程标准与本节对应的“内容要求”是：“阐明减数分裂产生染色体数量减半的精细胞或卵细胞”“说明进行有性生殖的生物体，其遗传信息通过配子传递给子代”“阐明有性生殖中基因的自由组合使得子代的基因型和表型有多种可能”。“教学提示”是：“运用模型、装片或视频观察模拟减数分裂过程中染色体的变化”。“学业要求”是：“运用细胞减数分裂的模型，阐明遗传信息在有性生殖中的传递规律”。

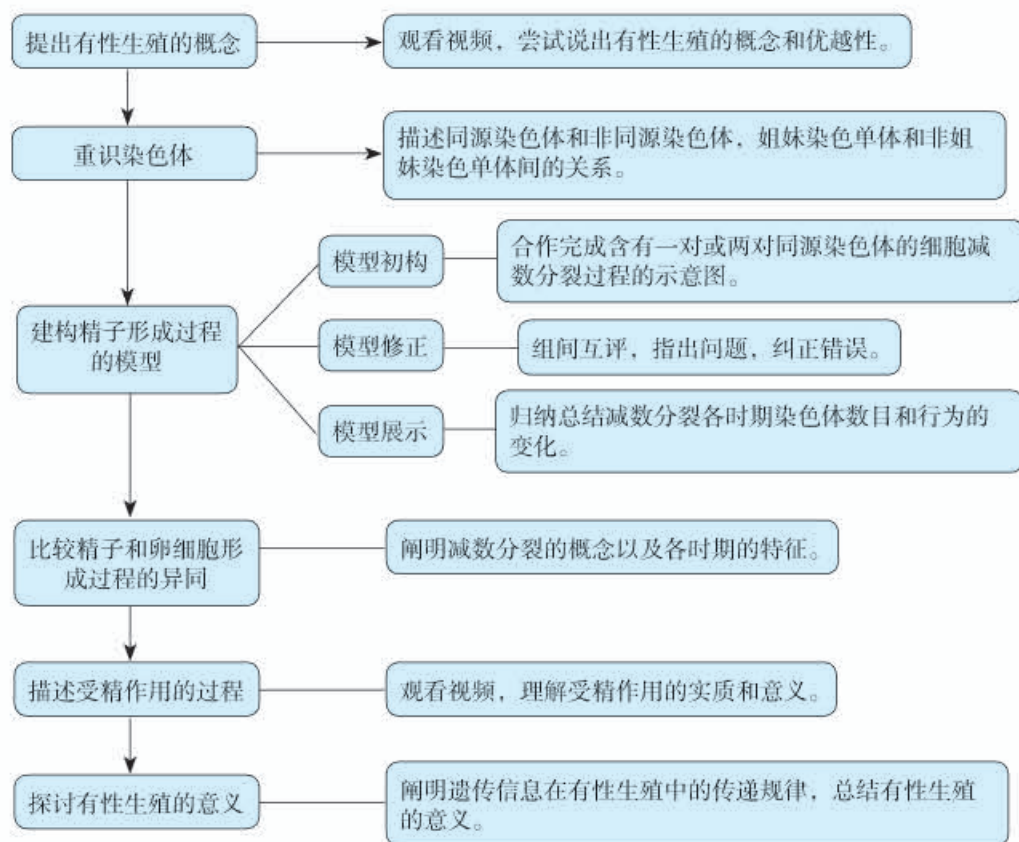
在教学中应从学生已有的有丝分裂等知识出发，通过观看视频和操作学具模型等手段，运用建构模型、合作评价、比较归纳等方式，对有性生殖中染色体的数目和行为变化进行深度解读，将单一的记忆模式变为理解运用模式。结合教材内容，确定本节的教学目标如下。

1. 通过模拟多种形态的染色体，掌握计数染色体数目的方法。
2. 通过建构精子形成过程的模型，描述减数分裂中染色体的动态变化。
3. 通过比较精子和卵细胞形成过程的异同，阐明减数分裂的概念以及各时期的特征。
4. 通过观看视频和操作学具模型，阐明遗传信息在有性生殖中的传递规律，总结有性生殖的后代具有遗传的稳定性和多样性的原因及意义。

教学设计思路

先通过讲述减数分裂和受精作用两个过程，引出有性生殖的概念。再以重识染色体环节，引

引导学生合作建构精子形成过程的模型，并通过互评活动对初步建构的模型进行修正和展示，归纳减数分裂中染色体动态变化的一般规律。进一步比较精子和卵细胞形成过程的异同，阐明减数分裂的概念以及各时期的特征。最后在描述受精作用的过程后，阐明遗传信息在有性生殖中的传递规律，总结可遗传的变异对生物进化的意义。



教学实施的程序

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
提出有性生殖的概念	<p>[创设情境]</p> <p>播放卡通视频《生殖细胞的结合——有性生殖》。</p> <p>[提出问题]</p> <p>什么是性生殖?</p> <p>有性生殖有什么优越性?</p>	<p>[采集信息]</p> <p>观看视频, 寻找问题的答案。</p> <p>[回答问题]</p> <p>说出动植物的有性生殖包括减数分裂和受精作用两个过程。</p> <p>有性生殖的后代具有双亲的特性, 并呈现多样性, 有利于生物适应多变的自然环境, 增加生存的机会。</p>	有性生殖是生物界普遍存在的一种生殖方式。由视频导入, 可激发学生学习的兴趣, 开始新课的学习。

续表

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
活动一： 重识染色体	<p>[概念认知]</p> <p>引导学生结合减数分裂的过程示意图，利用染色体学具形成以下概念：同源染色体、非同源染色体、姐妹染色单体、非姐妹染色单体、联会、四分体等。</p> <p>根据着丝粒的数目，掌握染色体的计数方法。</p>	<p>[温故知新]</p> <p>从各种形态的磁性彩色染色体中，找出不同时期的同源染色体进行展示，如联会的染色体、四分体、纺锤体牵引的染色体等；描述四分体中姐妹染色单体、非姐妹染色单体间的关系。</p>	<p>利用学具展示，变抽象为具体，使学生准确形成和辨析染色体的相关概念，为进一步推导减数分裂过程打基础。</p>
活动二： 构建精子形成过程的模型	<p>[提出问题]</p> <p>什么是减数分裂？</p> <p>[布置任务]</p> <p>以含有一对同源染色体的细胞为例，填充完成精子形成过程的示意图。</p> <p>以含有两对同源染色体的细胞为例，填充完成精子形成过程的示意图。</p> <p>如果有更多对同源染色体呢？</p> <p>[组织指导，组间点评]</p> <p>小组间相互点评，找出不同，分析原因，纠正错误。</p> <p>教师给予适当指导。</p> <p>[阶段小结]</p> <p>对模型初构、修正、展示等几个环节进行小结。</p>	<p>[阐述概念]</p> <p>减数分裂是进行有性生殖的生物，在产生成熟生殖细胞时进行的染色体数目减半的细胞分裂。</p> <p>[模型初构]</p> <p>小组4人分工合作，讨论分析。先确定减数分裂开始和结束时，染色体的数目和行为；然后以含有一对同源染色体、两对同源染色体的细胞为例，逐步完成减数分裂模型的初步建构。</p> <p>[模型修正]</p> <p>通过小组间的交流与补充、讨论与分析，比较不同小组建构的模型中染色体的分布，查找各组模型不同的原因，指出问题。</p> <p>[模型展示]</p> <p>小组代表以投影的方式展示减数分裂过程的示意图，描述在减数分裂前的间期、减数分裂Ⅰ、减数分裂Ⅱ各个时期中，染色体数目和行为的变化的变化。</p>	<p>从减数分裂的定义入手，抓住染色体数目减半的特点，启动模型建构。</p> <p>从简单到复杂，以示意图的方式呈现学生对减数分裂过程的理解。小组合作初步建构模型。此处易出错，需对初构模型进行评价和修正。</p> <p>尝试体验科学研究的一般过程，对模型不断进行修正。通过小组间的互评，突出学生在课堂的主体地位。</p> <p>鼓励学生用科学的术语陈述精子形成过程中染色体数目和行为的变化的变化。</p>

续表

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
活动二： 构建精子形成过程的模型	<p>[提出问题]</p> <p>染色体数目为何减半?</p> <p>减数分裂前的间期以及减数分裂不同时期各有哪些特征?</p>	<p>[阐述概念]</p> <p>在减数分裂前,染色体复制一次,而细胞在减数分裂过程中连续分裂两次,因此成熟生殖细胞中的染色体数目比原始生殖细胞的减少一半。</p> <p>减数分裂前的间期,染色体复制。</p> <p>减数分裂Ⅰ:同源染色体联会,形成四分体,非姐妹染色单体间发生互换,同源染色体分离,非同源染色体自由组合,等等。</p> <p>减数分裂Ⅱ:着丝粒分裂,姐妹染色单体分开,移向细胞的两极。</p>	<p>理解染色体数目减半的根本原因。</p> <p>理解精子中染色体组合不同是由于非同源染色体自由组合和(或)四分体时期非姐妹染色单体间的互换所致。</p>
活动三： 比较精子和卵细胞形成过程的异同点	<p>[布置任务]</p> <p>比较精子和卵细胞形成过程的示意图,找出两者的异同点。</p> <p>学生总结如何判断处于减数分裂不同时期的细胞究竟是雄性的还是雌性的生殖细胞。</p>	<p>[寻找不同]</p> <p>通过比较,学生认识到两者在分裂过程中,细胞中染色体数目和行为的变化是一致的。</p> <p>观察处于分裂后期的细胞中,细胞质是否存在不均等分裂;判断产生成熟生殖细胞的数量是否不同。</p>	<p>学生通过比较和总结,能够根据染色体和细胞质等细节,掌握辨别细胞类型的方法。</p>
描述受精作用的过程	<p>[播放视频,提出问题]</p> <p>受精作用在有性生殖中有什么意义?</p>	<p>[小组讨论]</p> <p>受精作用使得后代获得双亲各一半的染色体,受精卵中的染色体数目又恢复到体细胞中的数目,保证了物种染色体数目的稳定。</p>	<p>受精作用既是有性生殖的终点,也是新生命的起点。引导学生形成物种因繁衍而生生不息、代代相传的生命观念。</p>

续表

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
探讨有性生殖的意义	<p>[提出问题]</p> <p>为什么有性生殖后代的染色体来自同一双亲,却又各不相同?</p>	<p>[追本溯源]</p> <p>有性生殖的后代,虽然染色体数目保持不变,但是非同源染色体的自由组合以及四分体时期非姐妹染色单体间的互换,导致了不同配子遗传物质的差异,加上受精过程中卵细胞和精子结合的随机性,同一双亲的后代必然呈现多样性。</p>	<p>从每种生物前后代染色体数目的恒定和染色体组成变化的角度,阐明遗传信息在有性生殖中的传递规律。</p>
	<p>[提出问题]</p> <p>有性生殖的后代具有多样性,这有什么意义?</p>	<p>[思考意义]</p> <p>遗传信息储存在染色体中,有性生殖的后代具有多样性(可遗传的变异),增加了后代在面对多变的自然环境时生存和繁衍的机会,有利于生物在自然选择中进化,体现了有性生殖的优越性。</p>	<p>帮助学生理解通过有性生殖产生的后代多种多样,有利于生物适应多变的自然环境,从而使逐渐形成进化与适应的观念。</p>

评析

本节课不仅有效地呈现减数分裂这一重点与难点,更把有性生殖作为减数分裂的上位概念贯穿教学始终,有利于学生理解有性生殖的后代具有多样性,更能适应环境这一生物学基本观点,渗透了进化与适应的生命观念。本节课的突出特点主要表现在以下几个方面。

1. 以染色体相关概念的认知为主线,指导学生主动建构减数分裂的模型

抓住关键性的染色体概念,为学生搭建认识减数分裂过程的阶梯。教师作点到即止的引导,留出足够的时间与空间,鼓励和指导学生动手尝试建构并修正减数分裂过程的模型。

2. 通过建构含有一对或两对同源染色体的减数分裂模型,发展科学思维

本节课引导学生对染色体的传递规律进行比较和分析,不仅大大降低了学生对染色体数目和行为变化的理解难度,也为《基因在染色体上》一节的教学作铺垫。

3. 在教学中采用合作学习方式,有利于促进学生的主动参与

本案例创设的合作学习,不仅限于小组内,还包括小组之间的分析与评价,以此加深学生对非同源染色体的自由组合、配子中染色体组合的结果并不唯一等的理解,并以多版本模型呈现结果,最后归纳得出结论。

评析人: 龚雷雨(江苏省无锡市教育科学研究院)

第2节 基因在染色体上

一、教材分析

(一) 教学目标

1. 基于基因和染色体的相关事实，运用归纳、概括、演绎推理等科学思维，阐明基因在染色体上，进一步体会假说—演绎法。
2. 从基因和染色体关系的角度，对孟德尔遗传规律作出现代解释。
3. 认同科学研究需要丰富的想象力，敢于质疑、探索求真的科学精神，以及对科学的热爱。

(二) 教学重点和难点

1. 教学重点

- (1) 基因位于染色体上的假说和实验证据。
- (2) 对孟德尔遗传规律作出现代解释。

2. 教学难点

- (1) 对果蝇杂交实验结果的解释和验证。
- (2) 等位基因与同源染色体、非等位基因与非同源染色体的关系。

(三) 编写思路

在介绍孟德尔遗传规律、减数分裂和受精作用之后，本节内容将深入探讨孟德尔遗传规律与减数分裂中染色体的变化的关系，即基因和染色体的关系问题。

本节的“问题探讨”以人类基因组计划创设情境：“人有46条染色体，但是旨在揭示人类基因组遗传信息的人类基因组计划却只测定人的24条染色体的DNA序列。”“为什么不测定全部46条染色体？”这个情境及问题很容易引起学生的疑惑：基因和染色体到底是什么关系？由此引入本节内容。

本节仍然按照科学史的顺序进行编排。科学家对基因和染色体关系的研究，是从寻找基因的物质实体，发现基因和染色体行为的相似现象开始的。教材首先介绍萨顿基于上述相似现象提出了基因位于染色体上的假说。教材从四个方面归纳了基因和染色体行为的平行关系，这是提出基因位于染色体上假说的理论依据。如果假说成立，它将很好地解释孟德尔的豌豆杂交实验，为此，教材设计了“思考·讨论”活动，让学生在孟德尔一对相对性状的杂交实验图中，在染色体上标注相应的基因。这个活动，一方面引导学生理解基因和染色体在有性生殖过程中所表现出的平行关系，理解控制相对性状的一对遗传因子被称为等位基因的原因，解释基因的分离定律的实质是：“在减数分裂形成配子的过程中，等位基因会随同源染色体的分开而分离，分别进入两个配子中，独立地随配子遗传给后代”；另一方面也促进了学生的探究性学习，培养他们的想

象力。

基因和染色体的行为存在平行关系，从理论上支持基因位于染色体上的假说，但事实是否如此呢？随后，教材介绍了摩尔根的果蝇杂交实验，意在提供验证这一假说的实验证据。本部分内容，是按照实验现象、假设性解释和对解释的验证的逻辑顺序安排的。在对解释的验证环节，新增了设计验证实验的活动，一方面引导学生验证摩尔根的相关解释，另一方面证明相关解释的唯一性，以培养学生的科学思维。在介绍摩尔根的果蝇杂交实验前，教材还特意谈到摩尔根对其他科学家的学说持怀疑态度，但他并没有批评、挖苦，而是认真钻研，设计实验，寻找证据解决疑点。摩尔根这种对待科学的态度和高尚的品格，正是教材所弘扬的科学精神。接下来，教材通过列举果蝇和人的体细胞中染色体和基因的数量，介绍摩尔根及其同事发明了测定基因位于染色体上的相对位置的方法，并展示了“果蝇X染色体上一些基因的示意图”，意在让学生形成一条染色体上有许多个基因，基因在染色体上呈线性排列的认识，以利于理解非等位基因以及非等位基因和染色体的关系。

最后，教材安排了“孟德尔遗传规律的现代解释”，这部分内容是对“基因在染色体上”的结论、孟德尔遗传规律，以及减数分裂中染色体的变化等知识的综合。在明确了等位基因与同源染色体、非等位基因与非同源染色体的关系后，解释孟德尔遗传规律的实质，是本节的又一重点。

二、教学建议

本节教材内容的编排，从萨顿的假说到摩尔根的果蝇杂交实验，再到摩尔根解释的验证等，具有鲜明的逻辑推理路径。无论是实验材料的选择，还是科学研究方法的创新，对学生的学习都有较强的启发性，教师要充分利用好教材，围绕基因在染色体上的探索过程，精心设计体验性实践活动，让学生循着科学家的足迹，开展演绎推理，主动建构概念，发展科学思维。

1. 利用“问题探讨”中的问题情境，引发学生对基因和染色体关系的思考

“对人类基因组进行测序，为什么首先要确定测哪些染色体？”“为什么不测定全部46条染色体？”从事实出发，为学生搭建思维桥梁，有目的地引导学生关注基因和染色体的关系，以激发学生的求知欲。

2. 利用“思考·讨论”1，通过列表比较、画图或操作模型等活动，体验基因位于染色体上的假说

为帮助学生感悟萨顿的推理过程，可以采用下表（表2-1）比较基因和染色体的行为变化，启发学生进行比较和分析，帮助学生体验科学家的思维过程。

表2-1 基因和染色体行为变化的比较

比较项目	基因	染色体
体细胞中的存在形式	成对	成对
配子中的存在形式	成单	成单

续表

比较项目	基因	染色体
体细胞中的来源	一个来自父方，一个来自母方	一条来自父方，一条来自母方
形成配子时的组合方式	自由组合	非同源染色体自由组合
传递中的性质	杂交过程中保持完整性和独立性	在减数分裂和受精作用中保持稳定

结合“思考·讨论”活动，让学生在染色体上标注基因（一对基因），画图表示配子形成的过程，或操作学具模型，在实际操作中直观体会减数分裂中基因和染色体的行为存在明显的平行关系。

3. 利用“思考·讨论”2，设计问题进行追问，引导学生分析摩尔根的果蝇杂交实验，认同基因在染色体上的结论

萨顿提出的假说运用了推理的方法，但推论（即假说）并不具有逻辑的必然性，其正确与否还需要实验来检验。对摩尔根的果蝇杂交实验，可以设计问题串，引导学生的思维。

问题1：摩尔根为什么对萨顿的假说持怀疑态度？

问题2：摩尔根果蝇杂交实验的结果与孟德尔豌豆杂交实验的结果相比，有哪些共同点和不同点？

问题3：摩尔根等人在分析控制眼睛颜色的基因在性染色体上的位置时，可能作出了哪些假设？

再利用“思考·讨论”设计的问题追问，使学生认识到实验验证的重要性，引导学生设计实验方案，进一步体会假说—演绎法。

追问1：在摩尔根等人的设想得到合理的解释后，为什么还要设计进一步的实验进行验证？

追问2：如何设计实验对摩尔根的解释进行验证？有几种可能的测交方式？你能画出遗传图解吗？

追问3：摩尔根等人的实验验证是如何进行演绎推理的？

4. 利用学具资源，设计分组活动，指导学生开展学具模型展演，解释孟德尔遗传规律的实质

以分组的形式让学生操作减数分裂的学具模型，在染色体上标注基因（在两对染色体上分别标注两对基因），以小组为单位进行操作展演和讨论和交流，直观感悟基因的分离定律和自由组合定律的实质，认同遗传学的建立是一个开拓、继承、修正和发展的过程。

三、答案和提示

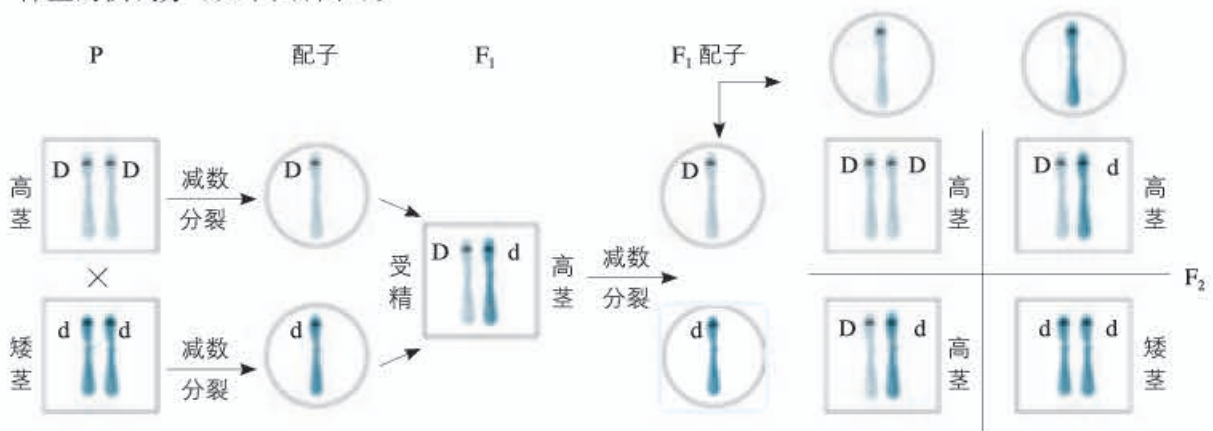
（一）问题探讨

1. 因为基因位于染色体上，要测定某个基因的序列，首先要知道该基因位于哪条染色体上。如果要测定人类基因组的基因序列，就要知道包含人类基因组的全部染色体组由哪些染色体组成。

2. 人有22对常染色体和1对性染色体。在常染色体中，每对同源染色体的形态、大小相同，结构相似，上面分布的基因是相同的或者是等位基因，所以只对其中1条进行测序就可以了；而性染色体X和Y的差别很大，基因也大为不同，所以两条性染色体都需要测序，因此人类基因组计划测定了22条常染色体和两条性染色体X和Y，共24条。如果测定46条染色体，耗资巨大，工作量会增加一倍，但得到的绝大多数基因序列都是重复的。

(二) 思考·讨论1

提示：假定控制高茎的显性基因用D表示，控制矮茎的隐性基因用d表示，分别标注在染色体上的横线旁（如下图所示）。



(三) 思考·讨论2

1. 提示：可用F₁的红眼雌果蝇与白眼雄果蝇进行测交实验，如果后代中出现红眼雌果蝇、白眼雌果蝇、红眼雄果蝇和白眼雄果蝇这4种类型，且数量各占1/4，再选用其中的白眼雌果蝇与红眼雄果蝇交配，如果子代中雌果蝇都是红眼，雄果蝇都是白眼，则可以证明他们的解释是正确的。

2. 如果控制白眼的基因在Y染色体上，红眼基因在X染色体上，因为X染色体上的红眼基因对白眼基因为显性，所以不会出现白眼雄果蝇，这与摩尔根的果蝇杂交实验结果不符；如果控制白眼的基因在Y染色体上，且X染色体上没有显性红眼基因，白眼雄果蝇与红眼雌果蝇的杂交后代中雄果蝇全为白眼，也不能解释摩尔根的果蝇杂交实验结果。

(四) 练习与应用

概念检测

1. (1) √ (2) ×

2. B

3. D

拓展应用

1. 红眼雌果蝇的基因型有X^WX^W和X^WX^w两种类型，白眼雄果蝇的基因型为X^wY。如果基因

型为 X^wX^w 的红眼雌果蝇与基因型为 X^wY 的白眼雄果蝇杂交，则子一代无论雌雄，全部为红眼；如果基因型为 X^wX^w 的红眼雌果蝇与基因型为 X^wY 的白眼雄果蝇杂交，那么子代雌果蝇和子代雄果蝇都是既有红眼，也有白眼，因此无法通过眼睛颜色判断子代果蝇的性别。

果蝇眼睛颜色的杂交实验，共有红眼雌果蝇（ X^wX^w 或 X^wX^w ）与红眼雄果蝇（ X^wY ）、红眼雌果蝇（ X^wX^w 或 X^wX^w ）与白眼雄果蝇（ X^wY ）、白眼雌果蝇（ X^wX^w ）与白眼雄果蝇（ X^wY ）、白眼雌果蝇（ X^wX^w ）与红眼雄果蝇（ X^wY ）杂交等组合。只有白眼雌果蝇（ X^wX^w ）与红眼雄果蝇（ X^wY ）杂交的子代，红眼全为雌性，白眼全为雄性，可以通过眼睛颜色判断子代果蝇的性别。

2. 这些生物的体细胞中的染色体数目虽然减少了一半，但仍具有一整套非同源染色体，这一套染色体携带着控制该种生物所有性状的一整套基因。

3. 提示：人的体细胞中染色体数目的变异，会严重影响生殖、发育等各种生命活动，未发现其他常染色体数目变异的婴儿，很可能是发生这类变异后的受精卵不能发育，或发育至胚胎早期就死亡了的缘故。

四、背景资料

（一）萨顿和鲍维里的工作及贡献

萨顿以蝗虫细胞为研究材料，发现染色体出现在母源染色体和父源染色体的配对中，而且染色体在减数分裂过程中会分离。1902年，萨顿在《生物学报》（*The Biological Bulletin*）发表论文，描述了蝗虫的染色体形态，证实了同源染色体一半来自父本，另一半来自母本。在文章结尾，萨顿提到，在减数分裂时，染色体的行为与孟德尔所设想的“遗传因子”的行为平行，染色体可能就是孟德尔遗传定律的物质基础。1903年，他的论文《遗传中的染色体》发表，详细地阐述了他对染色体与遗传关系的构想。这些构想中包括：在减数分裂过程中，不同对的染色体分配向两极是随机的，这种随机行为构成了孟德尔自由组合定律的基础。更为难能可贵的是，他推论，一个物种性状的数目一定多于染色体数，所以一个染色体上必然有多个基因。遗憾的是，贫困使得萨顿无法继续沿着这个方向深入研究，他甚至没有读完博士便转行学医，39岁时就不幸去世。

鲍维里在一种具有36个染色体的海胆中，通过适当处理（如多重受精等）在头四个子细胞中得到含有各种不同数目染色体的胚胎。然而，在所有这些胚胎中只有子细胞含36个染色体的能够正常发育。鲍维里根据这一事实得出结论：每个染色体具有不同“性质”，只有当所有这些性质恰当组合时才能正常发育。^[8] 鲍维里认识到孟德尔的分离和分类概念可以在细胞水平上解释。1903年鲍维里写道，孟德尔实验中处理的性状确实与特定染色体有关的概率“非常高”。^[9]

1928年，萨顿的老师、细胞生物学家威尔逊（E. B. Wilson, 1856—1939）将他们的学说命名为“萨顿—鲍维里染色体遗传学说”。虽然他们的名字并列在一起，但也有人认为，鲍维里直到1904年才真正阐明这个理论。这个理论的主要内容如下。

1. 在体细胞中有两组相同的染色体，一组来源于父方，一组来源于母方。同源染色体的成对存在和基因的成对存在是平行的。

2. 染色体在细胞分裂的各个时期，保持其形态特点。基因也显示同样的连续性。

3. 减数分裂时，同源染色体配对，然后每对的两个成员分离，进入不同的生殖细胞，每对的分离和其他各对的分离是独立的。配子形成前的某个时期，基因也独立地分离。

4. 每条或每对染色体在生活和发育中都有一定的作用。基因也是这样。

虽然，这个学说只是一种假说，但这个学说无疑促进了遗传学与细胞学“联姻”，使遗传学迅猛发展。

（二）实验室里的明星模式生物——果蝇

人类利用果蝇研究生命奥秘有着悠久的历史。早在一百多年前，果蝇就走进了科学家的实验室。1901年，美国昆虫学家伍德沃思（C. W. Woodworth, 1865—1940）最早把果蝇引进哈佛大学实验室，他的同事美国遗传学家卡斯尔（W. E. Castle, 1867—1962）首次利用黑腹果蝇（*Drosophila melanogaster*）开展遗传学研究，引起了遗传学家摩尔根（T. H. Morgan, 1866—1945）的浓厚兴趣。摩尔根于1907年在哥伦比亚大学建立著名的“蝇室”，并逐渐形成了一个大的果蝇遗传学研究中心。果蝇作为遗传学研究的经典模式生物，其研究历史已超过一个世纪。

果蝇属昆虫纲双翅目果蝇科果蝇属，体型较小，身长3~4 mm，广泛分布于全球温带和热带气候区，现已发现3 000多种。成虫常产卵在腐烂的果实表面，每只雌蝇产卵量为200~700个，卵经1 d即可孵化成幼虫。幼虫多以腐烂果实上的酵母菌、真菌为食，少数以树液或花粉为食。果蝇的生活周期一般较短，完成一个世代所需的时间，视种类和生态环境而异。果蝇由卵发育为成虫大体经过卵、幼虫、蛹和成虫4个阶段，属完全变态发育。^[10]

黑腹果蝇是实验室里最重要的模式生物之一。它具有许多其他模式动物无法比拟的优势：个体小，繁殖快，容易饲养，雌雄易区分；染色体数目少，基因组小，只有4对染色体，且形态、大小等均有明显差异；易于遗传学操作。幼虫的唾腺细胞中含有巨大的多线染色体，比一般细胞染色体大百余倍，其上分布着深浅不同、粗细各异的横纹，可用于研究染色体变异的各种遗传学效应。果蝇基因突变的类型多，如眼色、翅形、体色、刚毛等性状都有多种变异，为遗传学研究提供了丰富的材料。果蝇胚胎发育速度快，易于观察，是研究胚胎发育调控机制的绝佳材料。果蝇的神经系统比人类的简单得多，但同样能完成比较复杂的行为，如觅食、飞行、求偶、交配、学习、记忆以及调节昼夜节律等。因此，研究果蝇神经系统及其对行为的控制机制，为进一步阐明基因—神经（脑）—行为之间的关系提供了理想的动物模型。2000年3月，黑腹果蝇全基因组测序工作基本完成，编码蛋白质的基因有1.3万多个，其中约一半与哺乳动物编码蛋白质的基因具有较高的同源性，大约75%的人类疾病基因在果蝇中都能找到同源基因。因此，利用果蝇作为研究人类疾病的动物模型具有重要意义，可用于肿瘤、神经退行性疾病（如帕金森病、老年痴呆症）和代谢性疾病（如糖尿病）等发病机制的研究。^[11]

迄今为止，果蝇研究在生命科学领域已取得了巨大成就，产生了6个诺贝尔生理学或医学奖。摩尔根以果蝇作为模式生物，发现了基因的连锁互换定律，由于在染色体遗传理论上的杰出贡献，获得了1933年诺贝尔生理学或医学奖。摩尔根的学生，美国遗传学家缪勒（H. J. Muller, 1890—1967）用X射线诱导果蝇突变成功，证明X射线能使果蝇的突变率提高150

倍，被誉为“果蝇的突变大师”，获得了1946年诺贝尔生理学或医学奖。美国生物学家刘易斯（E. B. Lewis, 1918—2004）、遗传学家威绍斯（E. F. Wieschaus, 1947—）和德国遗传学家福尔哈德（C. N. Volhard, 1942—）通过研究果蝇早期胚胎发育的基因调控，揭示了动物早期胚胎发育的遗传调控机制，共同获得了1995年诺贝尔生理学或医学奖。2004年，美国科学家阿克塞尔（R. Axel, 1946—）和巴克（L. B. Buck, 1947—）发现果蝇的脑部有一个特定的嗅觉功能区域，获得了当年的诺贝尔生理学或医学奖。2011年诺贝尔生理学或医学奖由美国科学家博伊特勒（B. A. Beutler, 1957—）、法国科学家霍夫曼（J. A. Hoffmann, 1941—）和加拿大科学家斯坦曼（R. M. Steinman, 1943—2011）分享，其中霍夫曼发现了一种称为*Toll*的基因参与果蝇的胚胎发育，该基因也在果蝇的先天性免疫中起到关键作用。美国科学家霍尔（J. C. Hall, 1945—）、罗斯巴什（M. Rosbash, 1944—）和杨（M. W. Young, 1949—），通过研究果蝇发现了控制生物钟的分子机制，共同获得了2017年诺贝尔生理学或医学奖。

一百多年来，果蝇在生命科学研究中占有重要地位，为科学作出了巨大贡献。从果蝇研究中获取的大量信息，极大地推动了生命科学各领域的快速发展。时至今日，针对果蝇的研究日益拓展深化，广泛应用于遗传学、发育生物学、神经生物学、细胞生物学、行为生物学、免疫学、进化生物学等各个领域。作为一种理想的模式生物，果蝇将在未来继续发挥更大的作用，为生命科学研究再立新功。

（三）性染色体介绍

性别是生物最明显的相对性状，绝大多数生物都有雌性和雄性的个体区别，其中许多生物的性别是由性染色体决定的。在二倍体生物的体细胞中，染色体是成对存在的，绝大部分同源染色体是同形的，即形态、结构和大小等基本相似，称为常染色体；有一对形态、结构、大小和功能不同的染色体，与性别决定有关，这对染色体称为性染色体。

性染色体的发现主要源于对昆虫的研究。1890年德国细胞学家亨金（H. Henkin, 1858—1942）用半翅目的昆虫红蝽（*Pyrrhocoridae*）做实验，发现减数分裂时精母细胞中含有11对染色体和1条不配对的单条染色体，在减数分裂I时，它移向一极，亨金无以为名，就称其为X染色体。后来在其他物种的雄性个体中也发现了X染色体。1902年，美国生物学家麦克朗（C. E. McClung, 1870—1946）在蝗虫和其他直翅目昆虫中发现了一种与性别相关的特殊染色体，称为副染色体。1905年，美国细胞学家威尔逊观察到一种半翅目昆虫（*Proteror*）雌性的体细胞有12条染色体，而产生的卵细胞中有6条染色体；雄性的体细胞中有11条染色体，而产生的精子有两种，一种有6条染色体，另一种只有5条染色体。威尔逊将与性别有关的染色体表示为X，缺少它则表示为O。精子的染色体类型就有两种，一种是X型，另一种为O型，而卵细胞均为X型。受精后产生的后代，XO为雄性，XX为雌性。同年，美国生物学家史蒂文斯（N. M. Stevens, 1861—1912）发现拟步行虫属中黄粉虫（*Tenebrio molitor*）雌雄个体的体细胞染色体数目相同，但雄性的体细胞中有两条染色体大小不同而无法配对，其中一条在雌性的体细胞中也有，但却成对的。史蒂文斯将雄性独有、无法配对的这条染色体称为Y染色体，并推论性别决定的基础在于是否存在Y染色体。1908年，史蒂文斯又发现了果蝇的性染色体为XY型，即精母细胞中除

有一条X染色体之外，还有一条和它同源的Y染色体。史蒂文斯和威尔逊根据异型染色体的存在及其与性别的相关性，分别发现了性染色体，后人众多的实验已证实他们的推论是完全正确的。1914年，塞勒（J. Seiler）证明了在雄蛾中染色体都是同型的，而在雌蛾中有一对异型染色体。这些异型染色体的存在和性别有着相关性，个体的性别是由这些染色体所决定的，科学家将之称为性染色体。^[12]

性染色体的构型不止XY型，还有ZW型、XO型、ZO型三种类型。XY型性别决定较为普遍，很多雌雄异株植物（如杨、柳、大麻等），很多昆虫，某些鱼类、两栖类，所有哺乳类的性别决定都属于XY型。在高等生物中，随着X染色体和Y染色体的进一步分化，Y染色体在性别决定中起主要作用，而X染色体似乎不起作用，受精卵中只要有Y染色体，就发育成男性，若无Y染色体则发育成女性。在哺乳动物和一些雌雄异株的植物中，X与Y染色体在性别决定中的作用与人类相似。但在另一些生物中，X染色体和Y染色体在性别决定中的作用与包括人类在内的哺乳动物相反，即性别取决于X染色体。因此在一般情况下，X染色体的数目就决定了性别发育的方向。例如，果蝇的性别决定机制和哺乳动物不同，果蝇X染色体上有许多雌性基因，而雄性基因则在常染色体上，不在Y染色体上。因此，果蝇的性别不是取决于是否存在Y染色体，而是取决于性指数，性指数是指X性染色体数与常染色体组（A）数的比值。当 $X/A=1$ 时为正常雌性或多倍体雌性，当该比值大于1时为超雌性； $X/A=0.5$ 时为正常雄性或多倍体雄性，小于0.5时为超雄性；当该比值为0.5~1.0时，则表现为中间性（表2-2）。^[13]

表2-2 果蝇的染色体组成与性别类型

卵细胞	精子	受精卵	x/A	性别
A+X	A+X	2A+2X	1.00	二倍体雌性
A+X	A+Y	2A+X+Y	0.50	雄性
A+2X	A+X	2A+3X	1.50	超雌性（死亡）
A+2X	A+Y	2A+2X+Y	1.00	二倍体雌性
2A+X	A+X	3A+2X	0.67	中间性（不育）
2A+X	A+Y	3A+X+Y	0.33	超雄性（死亡）
2A+2X	A+X	3A+3X	1.00	三倍体雌性
2A+2X	A+Y	3A+2X+Y	0.67	中间性（不育）

（四）摩尔根定位果蝇染色体上基因的方法

1910年5月，在摩尔根蝇室的大群野生型红眼果蝇中出现了一只白眼雄果蝇。对于这只后来在科学史上非常出名的昆虫，摩尔根当时是爱护备至，努力使它与野生型红眼雌果蝇交配而留下了后代。摩尔根将实验结果写成《果蝇的限性遗传》的论文，发表在1910年7月的《科学》（*Science*）杂志上。

摩尔根用这只白眼雄蝇与通常的红眼雌蝇交配时，子一代不论雌雄都是红眼，但子二代中雌的全是红眼，雄的半数是红眼，半数是白眼。如果雌雄不论，则子二代中红眼：白眼接近3：1。这似乎是个孟德尔比值，但与一般孟德尔比值不同的是，白眼全是雄蝇。

摩尔根做了回交实验。用最初出现的那只白眼雄蝇和它的后代中的红眼雌蝇交配，结果产生1/4红眼雄蝇、1/4红眼雌蝇、1/4白眼雌蝇、1/4白眼雄蝇，这也完全是孟德尔比值。

摩尔根根据实验结果，提出如下假设：控制白眼性状的基因w位于X染色体上，是隐性的。因为Y染色体上不带有这个基因的显性等位基因，所以最初发现的那只雄蝇的基因型是X^wY，表现为白眼，跟这只雄蝇交配的红眼雌蝇是显性基因的纯合子，基因型是++。白眼基因w是突变基因，红眼基因+是野生型基因，因为这对等位基因都在X染色体上，所以为明确起见，分别记作X^w和X⁺，Y代表Y染色体。

白眼雄蝇与纯种红眼雌蝇交配，白眼雄蝇的基因型是X^wY，产生两种精子，一种精子带有X，上面有w基因，一种精子带有Y，上面没有相应的基因。红眼雌蝇的基因型是X⁺X⁺，产生的卵细胞都带有X，上面都有+野生型基因。两种精子（X^w和Y）与卵细胞（X⁺）结合，子代雌蝇的基因型是X⁺X^w，因为+对w是显性，所以表型是红眼，子代雄蝇的基因型是X⁺Y，所以表型也是红眼。子一代的红眼雌蝇与红眼雄蝇交配时，红眼雌蝇（X⁺X^w）产生两种卵细胞：一种是X⁺，一种是X^w。红眼雄蝇也产生两种精子：一种是X⁺，一种是Y。卵细胞与精子结合，形成4种合子，长大后，雌蝇都是红眼（X⁺X⁺和X⁺X^w），而雄蝇中一半是红眼（X⁺Y），一半是白眼（X^wY），表型比例是2:1:1。

在摩尔根所做的回交实验中，子一代红眼雌蝇与白眼雄蝇交配，子一代红眼雌蝇的基因型是X⁺X^w，产生两种卵细胞，一种是X⁺，一种是X^w。白眼雄蝇的基因型是X^wY，产生两种精子，一种是X^w，一种是Y。雌雄配子结合后，如图2-6所示。

红眼♀ X ⁺ X ^w	× ↑	白眼♂ X ^w Y
配子	X ^w	Y
X ⁺	X ⁺ X ^w	X ⁺ Y
	红眼♀	红眼♂
X ^w	X ^w X ^w	X ^w Y
	白眼♀	白眼♂

白眼雄蝇与子一代红眼雌蝇交配，后代雌蝇和雄蝇中，红眼和白眼各占一半

图2-6 子一代红眼雌蝇与白眼雄蝇交配图解

后代有4种表型：红眼雌蝇（X⁺X^w）、白眼雌蝇（X^wX^w）、红眼雄蝇（X⁺Y）、白眼雄蝇（X^wY），比例是1:1:1:1。摩尔根圆满地说明了他的实验结果。为了验证他的假设，他又设计了三个新的实验。

1. 根据假设，子二代雌蝇虽然都是红眼，但基因型有两种，半数是X⁺X⁺，半数是X⁺X^w，所以子二代雌蝇与白眼雄蝇做单对交配时，应当半数子二代雌蝇所产的后代全部是红眼，半数子二代雌蝇则与子一代雌蝇回交一样，所产的后代是1/4红眼雌蝇、1/4白眼雌蝇、1/4红眼雄蝇、1/4白眼雄蝇。

2. 根据假设，白眼雌蝇与红眼雄蝇交配时，子代中雌蝇都是红眼，雄蝇都是白眼。

3. 根据假设, 白眼雌蝇和白眼雄蝇交配时, 子代雌雄都是白眼, 而且以后也能真实传代, 成为稳定的品系。

这三个实验中, 以第二个实验最为关键, 实验结果与预测完全符合, 假设得到了证实。

这样摩尔根就把决定红眼和白眼的基因定位在X染色体上。

(五) 现代基因定位技术

基因定位 (gene mapping) 是指利用一定的方法将一个基因确定到染色体上的实际位置。基因定位同基因组作图和基因克隆的关系十分密切。将基因定位在染色体的某一位置上之后, 其本身就可作为基因组作图时的一个界标。同时, 当在基因组图谱上确定某一基因所在的位置后, 就可以按图来分离克隆基因。因此, 基因定位是基因组研究的一个重要组成部分。不同生物的基因定位方法不完全相同。

1. 体细胞杂交定位

离体培养的亲缘关系较远的动物体细胞相互融合后, 杂种细胞往往会排除一种亲本细胞的染色体。例如, 人和小鼠的体细胞在细胞质和细胞核均合二为一后, 这种杂种细胞每分裂一次, 就排除人的一些染色体。经过若干次分裂后, 杂种细胞在丢失了人的一部分染色体后达到相对稳定的状态。这时杂种细胞包含了小鼠的全套染色体和人的几条染色体。当一些杂种细胞所含的人的染色体, 加在一起涵盖了人的全部染色体, 即22条常染色体, X和Y染色体时, 这些杂种细胞就构成了整套杂种细胞系, 可用于人的基因定位。常用的有克隆分布板法和利用染色体异常将基因定位在染色体上具体位置的方法。例如, 利用染色体缺失进行定位。此法无须从病人体内获得有关染色体异常的细胞, 而是用人工方法在体外造成杂种细胞内特定染色体的不同位置发生断裂, 形成各种类型的末端缺失, 获得一套特定染色体的缺失杂种细胞, 然后通过检测缺失杂种细胞内基因产物存在与否对许多基因进行区域定位。1986年复旦大学遗传研究所利用此法, 将编码乙醇脱氢酶基因首先定位在染色体的相应位置上。

2. 原位杂交定位

这是分子水平和染色体水平相结合的基因定位方法。将待定位基因的特定DNA序列、该基因转录产生的RNA分子或RNA分子经反转录产生的cDNA作为探针, 在标记了放射性同位素或非放射性化学物质后, 与变性后的染色体DNA杂交, 该探针就会同染色体DNA中与其互补的序列结合成为双链, 通过放射自显影或显色技术, 就可显示标记了放射性同位素或非放射性化学物质的探针在染色体上的位置, 达到基因定位的目的。

3. 辐射杂种细胞基因定位

这是杂种细胞基因定位法的发展。基本原理是人—鼠杂种细胞中的人染色体是经射线处理后残留下来的带有着丝粒的染色体片段, 不同的杂种细胞带有人不同染色体的不同长度的片段。在做基因定位时, 如待测基因出现在残留的一个长片段上, 而在比该长片段更短一些片段上消失不见, 就可把该基因定位在长片段变成短片段时所丢失的那个区域内, 这样的基因定位就更为精细。为此, 需要建立一系列含有不同长度的人的各条染色体的杂种细胞。目前常用的方法是用PCR技术来确定哪条染色体或哪条染色体片段的DNA中, 含有待定位的基因, 然后用电脑软件

分析数据，将待测基因定位在染色体的某一位置上。

4. 克隆基因定位

采用已克隆基因的cDNA探针与保留在杂种细胞内的人染色体DNA进行分子杂交，来确定克隆基因所在的染色体。例如，要定位人体白蛋白基因，需要应用人白蛋白基因cDNA作为探针，分别与经过Hind III酶切后的人体细胞和中国仓鼠卵巢细胞(CHO)杂交。杂交后的人体细胞DNA显示6.8 kb带型，CHO细胞的DNA显示3.5 kb带型。接下来，将含有人染色体的人—CHO杂种细胞的DNA用Hind III酶切后，再与白蛋白基因的cDNA探针杂交。结果显示，含有人4号染色体的杂种细胞的实验组出现6.8 kb和3.5 kb带型者，称为阳性杂种细胞；而不含有人4号染色体的杂种细胞中只显示3.5 kb带型，为阴性细胞。由于人体白蛋白基因的cDNA探针的特异性，Hind III杂交带只出现在含有人4号染色体的杂种细胞中，所以将此基因定位在4号染色体上。

5. 基因组测序

完成基因组测序后，可以在解读整个基因组的基础上，寻找和定位基因。常用的方法有两种。其一，根据已知的序列人工判读或计算机分析寻找与特定基因有关的序列；其二，实验研究，看其能否表达基因产物及其对表型的影响。

五、教学案例与评析

基因在染色体上

江苏省无锡市辅仁高级中学 陈廷华

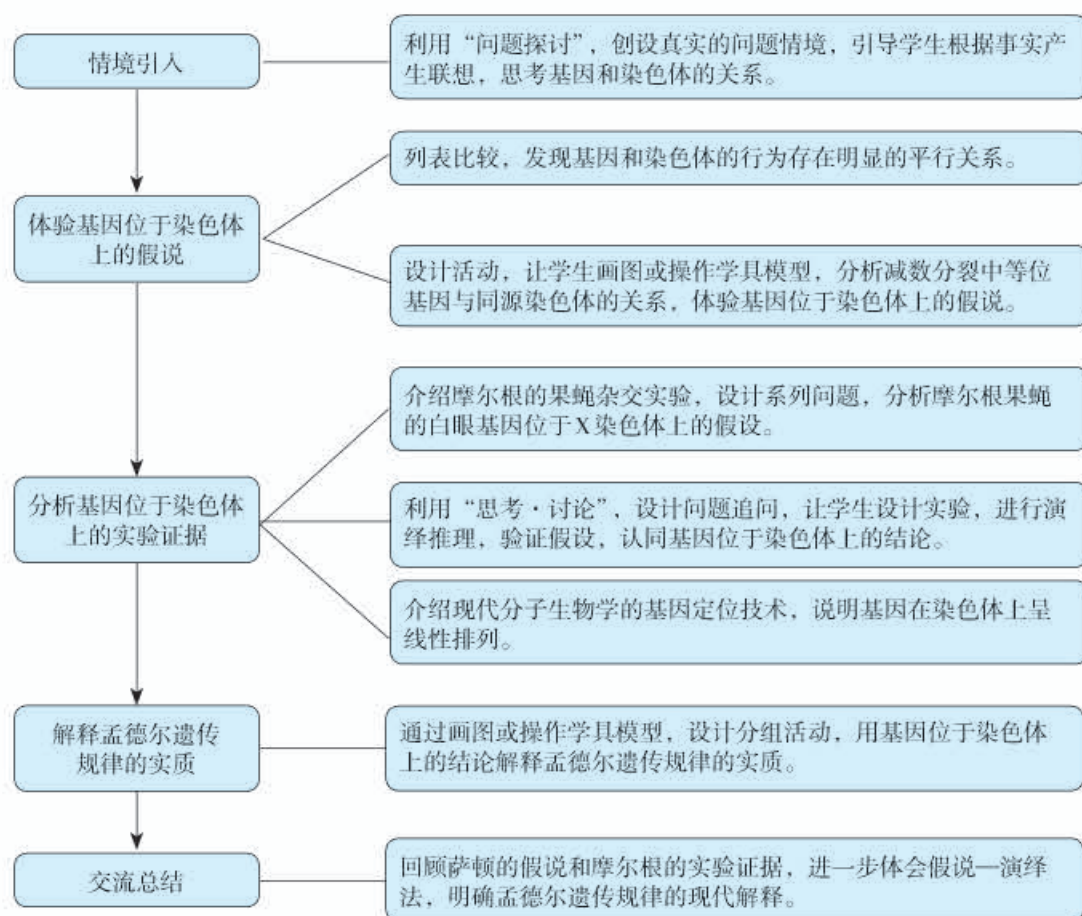
教学目标的确定

本节内容安排在减数分裂和受精作用之后，意在让学生学习生物的有性生殖、孟德尔遗传规律等相关知识之后，进一步解释遗传规律的实质。课程标准与本节对应的“内容要求”是：“概述性染色体上的基因传递和性别相关联”。结合教材内容，确定本节的教学目标如下。

1. 尝试运用假说—演绎法分析萨顿的假说和摩尔根的果蝇杂交实验。
2. 通过画图或操作学具模型，运用基因和染色体关系的知识，解释孟德尔遗传规律的实质。
3. 通过感悟和体验摩尔根等科学家对孟德尔遗传规律的“怀疑—认同”，以至发现新定律的科学探索过程，培养学生尊重科学事实、敢于质疑又勇于自我否定的科学精神。

教学设计思路

对基因位于染色体上的假说和实验证据、孟德尔遗传规律的现代解释等重难点内容，可列表进行比较、分析，通过画图或操作学具模型等体验性实践活动，引导学生思考，得出相应的结论，发展科学思维。



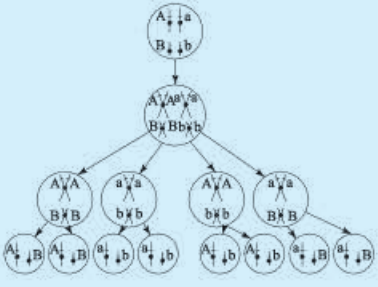
教学实施的程序

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
情境引入 提出问题	[创设情境] 对人类基因组进行测序，为什么首先要确定测哪些染色体？为什么不测定全部46条染色体？人的体细胞中有23对染色体，基因大约有2.6万个，这说明基因和染色体之间存在怎样的关系？	[联想思考] 根据事实，思考和讨论，联想到基因和染色体的行为存在某种关系，推测基因可能在染色体上，一条染色体上有许多个基因。	创设问题情境，有目的地引导学生思考基因和染色体的关系，激发探究的兴趣。
体验基因位于染色体上的假说	[引导比较] 根据科学史，物理学家曾将光和声这两类现象进行比较，提出光可能有波动性的假说。 美国遗传学家萨顿将看不见的基因与看得见的染色体的行为进行比较，提出基因位于	[填表比较] 根据教材提供的资料，从基因和染色体在体细胞及配子中的存在形式、体细胞中的来源、形成配子时的组合方式、遗传物质传递中的特征等几个方面，列表比较其行为。	通过列表比较，让学生领悟比较、分析的科学方法。

续表

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
活动一： 画图或 操作学具 模型	<p>染色体上的假说。请列出萨顿比较和分析的主要内容。</p> <p>[布置任务]</p> <p>根据“思考·讨论”，提供减数分裂和受精作用过程中一对同源染色体上的一对等位基因的行为变化的图片，让学生画图；或提供学具模型，让学生进行模拟操作。</p> <p>[实例激趣]</p> <p>举出反例：某国官员曾在竞选时，由于他幼儿时期吃过中国奶妈的奶水一事，受到政敌的攻击，说他身上一定有中国血统。官员反驳说：“你们是喝牛奶长大的，你们身上一定有牛的血统了。”</p>	<p>[实践体验]</p> <p>画图表示孟德尔一对相对性状高茎（DD）和矮茎（dd）的杂交实验（在染色体上标注基因），或利用学具模型操作，呈现基因和染色体的行为之间的平行关系。</p> <p>[思考认同]</p> <p>根据比较的结果进行推理是科学研究中常用的一种方法，但是这样推理得出的结论并不具有逻辑的必然性，其正确与否还需要实验的验证。</p>	<p>学生亲身体验萨顿提出假说的过程，比较分析、归纳总结，领悟内化思维方法。</p> <p>让学生了解科学推理的逻辑性和严谨性，引出摩尔根的果蝇杂交实验。</p>
分析基因 位于染色 体上的实 验证据	<p>[指导阅读]</p> <p>介绍果蝇作为实验材料的优点：易饲养，繁殖快，有易于区分的性状。指导学生观察教材第31页“图2-9 雌雄果蝇体细胞染色体示意图”。</p> <p>[实验再现]</p> <p>介绍摩尔根的果蝇杂交实验。</p> <p>[提出问题]</p> <p>此实验现象是否符合分离定律？根据哪一个杂交组合判断果蝇的显隐性性状？为什么？摩尔根果蝇杂交实验的结果与孟德尔豌豆杂交实验的结果相比，有哪些共同点和不同点？</p>	<p>[分析领会]</p> <p>阅读、观察、领会：果蝇有3对常染色体和1对性染色体，雌果蝇的性染色体是同型的，用XX表示；雄果蝇的性染色体是异型的，用XY表示。</p> <p>[分析实验]</p> <p>观察分析摩尔根果蝇杂交实验的现象。</p> <p>[回答问题]</p> <p>根据实验现象，思考回答相应的问题。</p>	<p>为帮助学生分析摩尔根的果蝇杂交实验作知识铺垫。</p> <p>提出实验现象，为学生探究作准备。</p>

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
活动二： 实验设计	<p>[组织讨论]</p> <p>摩尔根及其同事根据杂交实验的结果，可能会作出几种假设？哪种假设能解释实验结果？</p> <p>[布置任务]</p> <p>如果用W表示控制红眼的基因，用w表示控制白眼的基因，则雌性和雄性果蝇眼睛颜色的性状分别有哪些类型？白眼的遗传与X染色体的遗传相似，最可能的假设是什么？请画出遗传图解。</p> <p>[回归教材]</p> <p>利用“思考·讨论”，设计问题追问。</p> <p>在摩尔根等人的设想得到合理的解释后，为什么还要设计实验进行验证？</p> <p>[布置任务]</p> <p>如何设计测交实验对摩尔根的解释进行验证？有几种可能的测交方式？画出遗传图解，并阐述摩尔根等人的实验验证是如何进行演绎推理的？</p>	<p>[分析假设]</p> <p>由于白眼的遗传和性别相关联，可能存在以下假设。</p> <p>假设一：控制白眼的基因在Y染色体上，而X染色体上不含有它的等位基因。</p> <p>假设二：控制白眼的基因在X、Y染色体上。</p> <p>假设三：控制白眼的基因在X染色体上，而Y染色体上不含有它的等位基因。</p> <p>[图解分析]</p> <p>假设三能解释上述现象，图解如下。</p> $ \begin{array}{l} \text{P} \quad \text{X}^{\text{W}}\text{X}^{\text{W}}\text{红眼(雌)} \times \text{X}^{\text{W}}\text{Y白眼(雄)} \\ \downarrow \\ \text{F}_1 \quad \text{X}^{\text{W}}\text{X}^{\text{W}}\text{红眼(雌)} \quad \text{X}^{\text{W}}\text{Y红眼(雄)} \\ \quad \quad \quad \text{F}_1 \otimes \\ \downarrow \\ \text{F}_2 \quad \begin{array}{ll} \text{X}^{\text{W}}\text{X}^{\text{W}}\text{红眼(雌)} & \text{X}^{\text{W}}\text{X}^{\text{W}}\text{红眼(雌)} \\ \text{X}^{\text{W}}\text{Y红眼(雄)} & \text{X}^{\text{w}}\text{Y白眼(雄)} \end{array} \end{array} $ <p>[分析讨论]</p> <p>判断一种假设是否正确，仅能解释已有的实验结果是不够的，还应运用假说—演绎法，预测另外一些实验的结果。</p> <p>[实验设计]</p> <p>设计测交实验，画出遗传图解，进行演绎推理。</p> <p>阐述：摩尔根等人正是通过测交的方法，进一步验证了它们的假说。将F₁的红眼雌果蝇与白眼雄果蝇进行测交实验，得出如下数据：红眼雌果蝇：126，红眼雄果蝇：132，白眼雌果蝇：120，白眼雄果</p>	<p>经过分析、推理，培养学生的逻辑推理能力和想象力。</p> <p>认同摩尔根基因位于染色体上的结论，培养设计实验的能力，进一步体会假说—演绎法。</p>

学习任务	教师活动	学生活动	设计意图
活动二： 实验设计	<p>[拓展延伸]</p> <p>介绍摩尔根的后续研究成果，介绍现代分子生物学的基因定位技术。</p>	<p>蝇：115。从而用实验证明了基因位于染色体上。</p> <p>[形成概念]</p> <p>一条染色体上有许多个基因，基因在染色体上呈线性排列。</p>	认同基因在染色体上呈线性排列，了解生物科技的发展。
解释孟德尔遗传规律的实质 活动三： 分组活动，画图或操作学具模型	<p>[分类指导]</p> <p>教材第30页以一对相对性状的杂交实验为例，通过图示说明位于一对同源染色体上的等位基因Dd，在减数分裂形成配子的过程中，D、d会随同源染色体的分开而分离，分别进入两个配子中。</p> <p>请以含有两对同源染色体的细胞为例，画出减数分裂过程的图解，并在染色体上标注基因符号，或提供学具模型材料，设计分组活动，分类指导学生开展模型展示。</p>	<p>[模型建构]</p> <p>分组讨论，画图分析或操作学具模型（如下图），小组合作，相互纠错。</p>  <p>不同小组可能会推出不同的组合，既有A与B、a与b的组合，也有A与b、a与B组合。</p> <p>解释基因的自由组合定律的实质。</p>	在实践中学以致用，动手、动脑，培养归纳、概括的科学思维。
交流总结	<p>[引导总结]</p> <p>引导学生回顾科学家的研究过程，总结课堂活动成果。</p>	<p>[知识建构]</p> <p>认同基因位于染色体上的结论，进一步体会假说—演绎法，明确孟德尔遗传规律的现代解释。</p>	反思学习成果，完成知识建构。

评析

本节课对基因位于染色体上的假说和实验证据、孟德尔遗传规律的现代解释等重点内容，采用了列表比较，借助画图或操作学具模型等体验性实践活动，引导学生思考，得出相应的结

论，发展科学思维，取得了良好的效果。

1. 围绕基因在染色体上的探索过程，设计学生活动

以基因在染色体上的探索过程为主线，通过列表比较、画图、操作学具模型、实验设计等体验性实践活动，帮助学生深入理解基因在染色体上的重要概念。

2. 将问题串变成思维串，培养学生的科学思维

师生共同探讨“孟德尔遗传规律的现代解释”，让学生体会比较、分析的方法，在实践中培养学生的想象力和归纳、概括、逻辑推理等科学思维。在“思考·讨论”环节，由质疑开始，通过问题入手、趣味对话，将师生共同关注的萨顿的假说、摩尔根的果蝇杂交实验等内容不断推进。

3. 注重教学的合“理”，内容科学，结构合理，教法灵活

对萨顿的假说、摩尔根的果蝇杂交实验、孟德尔遗传规律的现代解释等内容的展开，既遵循科学家原本的研究思路，又结合学生的认知特点合理创新，注重学生学科核心素养的发展。

此外，本节课还重视联系学生的现实生活，激发学生学习的动力；确立以学生发展为本的思想，让学生自主探究、相互质疑、共同释疑。

评析人：龚雷雨（江苏省无锡市教育科学研究院）

人教版®

第3节 伴性遗传

一、教材分析

(一) 教学目标

1. 概述性染色体上的基因传递和性别相关联的特点。
2. 基于对伴性遗传的认识,运用演绎推理,对位于性染色体上的显性和隐性基因的遗传特点进行分析,对常见的由一对等位基因决定的伴性遗传病,能够根据双亲的表型对后代的患病概率作出科学的预测。
3. 运用伴性遗传规律,提出相关的优生建议。
4. 关注伴性遗传理论在实践中的应用。

(二) 教学重点和难点

1. 教学重点
伴性遗传的特点。
2. 教学难点
运用伴性遗传理论分析解决实践中的相关问题。

(三) 编写思路

本节“问题探讨”以人类常见的红绿色盲和抗维生素D佝偻病两种遗传病的遗传特点创设情境,引发学生思考和讨论:“为什么上述两种遗传病在遗传上总是和性别相关联?”“为什么两种遗传病与性别关联的表现又不同呢?”在此并不要求学生完整准确地回答问题,而是引发学生思考,带着问题进入新课。

教材从介绍人类的性别决定开始。此部分内容主要使学生认识以下几点:一是人类的性别是由性染色体决定的,男女体细胞的23对染色体中各有一对性染色体,女性为XX,男性为XY,其他22对染色体称为常染色体;二是女性的XX染色体和男性的XY染色体,在减数分裂时与其他同源染色体一样发生分离,分别进入两个配子中;三是X染色体和Y染色体分别携带着决定性别的基因,但同时也携带着一些与性别无关的基因,这些与性别无关的基因随性染色体一起传递,在遗传上总是和性别相关联的现象,就是伴性遗传。另外由于女性的一对X染色体上的等位基因有显性和隐性之分,男性的X染色体和Y染色体的大小差别很大,许多位于X染色体上的基因,在Y染色体上没有相应的等位基因,这正是各种伴性遗传表现出相应特点的原因。

在概述人类的性别决定和伴性遗传概念的基础上,教材安排了“思考·讨论 分析人类红绿色盲”,此项活动的主要意图是让学生了解家族系谱图,运用上述概念及遗传规律等知识分析解决实际问题,并通过该项活动,总结出人的正常色觉与红绿色盲的基因型和表型的种类,以及人

类红绿色盲遗传的4种情况。

在分析人类红绿色盲遗传的4种情况时，教材先用遗传图解的形式，分析了正常女性与男性色盲婚配和女性携带者与正常男性婚配的后代表现，接着安排了“思考·讨论”，独立分析另外两种婚配情况。此种设计的主要目的：一是通过遗传图解的形式呈现分析过程，使学生学会规范地使用遗传图解，分析伴性遗传问题；二是灵活运用相关概念和方法分析相关问题；三是运用归纳与演绎等科学思维，从4种遗传情况中总结出位于X染色体上的隐性基因的遗传特点。接着教材安排了分析抗维生素D佝偻病遗传特点的内容，总结出位于X染色体上的显性基因的遗传特点，也回应了“问题探讨”中的问题。

“伴性遗传理论在实践中的应用”的内容，虽然篇幅不大，但地位十分重要。教材通过两个具体事例，介绍其在实践中的应用。一是在医学上，根据伴性遗传的规律，由亲代的表型和基因型可以推算后代的患病概率，从而指导优生；二是在农业生产实践中，可以通过某些性状的表型推知性别，或通过性别提前预测相关性状，这些在具体实践中具有重要价值。

二、教学建议

伴性遗传的相关知识贴近学生的生活经验，又能解释一些常见的遗传病，教师要充分利用这一特点，通过典型的事例引导学生展开讨论和分析，指导学生绘制遗传图解，分析伴性遗传的特点，进而理解伴性遗传理论的意义和应用。

1. 用好“问题探讨”，激发学生学习的兴趣

精心设计引言，从而自然切入主题。

2. 循着科学家的足迹，初识红绿色盲

教师可采用讲故事的形式，挖掘“色盲”故事的教育价值，引导学生养成善于观察、从中发现问题并寻求答案的品质，以及尊重科学规律的态度等。

3. 充分利用教材插图，分析红绿色盲的遗传规律

教师要引导学生揣摩插图的含意，将不同的插图与教学流程有机地结合起来，辅以深入浅出的讲解，使教材的文字信息与图形信息相得益彰，让学生感知红绿色盲“形在图中，理在图外”。

教师先展示教材中色盲遗传的家族系谱图，然后逐步提问：系谱图中的患者是什么性别？你认为色盲的遗传与性别相关联吗？红绿色盲基因位于X染色体上还是位于Y染色体上？红绿色盲基因是显性基因还是隐性基因？为什么有人携带色盲基因却没有表现出色盲症状？再展示人的正常色觉与红绿色盲的基因型和表型的表格（表2-3），供学生填写。

表2-3 人的正常色觉与红绿色盲的基因型和表型

	女性		男性	
基因型				
表型				

并追问：为什么红绿色盲患者中男性远多于女性？为什么色盲基因只位于X染色体上？接着教师再展示男性和女性的染色体组型图，引导学生分析X染色体和Y染色体在形态上的差别，进而说明色盲基因只位于X染色体上，在Y染色体上没有相应的等位基因。从而将诸多概念总揽其中，使问题层层递进、思维步步推进，通过对事实的抽象、概括，帮助学生建构重要概念。

4. 尝试绘制遗传图解，理解伴性遗传的特点

利用教材的插图，结合基因的分离定律，分析和归纳伴性遗传的规律和特点。关于“思考·讨论”中“预测红绿色盲基因的遗传”，教师可根据教材的要求让学生自己填图、分析，并引导学生归纳总结其遗传特点。

关于抗维生素D佝偻病，教师可以先介绍其症状，再让学生画出遗传图解进行分析，得出其与红绿色盲不同的遗传特点。

5. 例举实践应用，做到学以致用

以鸡为例介绍鸟类的性别决定和伴性遗传，让学生画出相应的遗传图解。

教师及时、适当地补充遗传病与优生的相关知识，引导学生关爱生命，提升社会责任，努力成为健康中国的促进者和实践者。

三、答案和提示

（一）问题探讨

提示：对两道讨论题，在学完本节内容后，学生才能比较全面地回答，因此，问题具有开放性，只要求学生简单回答即可。

1. 红绿色盲和抗维生素D佝偻病的基因很可能位于性染色体上，因此这两种遗传病在遗传上总是和性别相关联。

2. 红绿色盲和抗维生素D佝偻病的基因虽然都位于X染色体上，但红绿色盲基因为隐性，抗维生素D佝偻病基因为显性，因此，这两种遗传病与性别关联的表现不同。

（二）思考·讨论1

1. 红绿色盲基因位于X染色体上。

2. 红绿色盲基因是隐性基因。

3. $I_1: X^bY$ ； $I_2: X^B X^B$ 或 $X^B X^b$ ；

$II_1: X^B X^b$ ； $II_2: X^B Y$ ； $II_3: X^B X^b$ ； $II_4: X^B Y$ ； $II_5: X^B X^b$ ； $II_6: X^B Y$ ；

$III_5: X^B Y$ ； $III_6: X^b Y$ ； $III_7: X^b Y$ ； $III_9: X^B X^B$ 或 $X^B X^b$ 。

（三）思考·讨论2

1. 子女的基因型和表型共有4种，即 $X^B X^b$ （女性携带者）、 $X^b X^b$ （女性色盲）、 $X^B Y$ （男性正常）、 $X^b Y$ （男性色盲），且概率都是1/4。

2. 子女中所有的男性均为色盲，女性均为携带者。

（四）练习与应用

概念检测

1. (1) × (2) ×

2. C

3. A

拓展应用

1. (1) $AaX^B X^b$ (妇), $AaX^B Y$ (夫)

(2) $AA X^B X^B$, $AA X^B X^b$, $AA X^B Y$, $Aa X^B X^B$, $Aa X^B X^b$, $Aa X^B Y$

2. 如果这对等位基因位于常染色体上, 依据子一代的表型, 可以推知亲代的基因型为 Bb 和 Bb , 子一代灰身: 黑身为 $3:1$; 如果这对等位基因位于 X 染色体上, 依据子一代的表型, 可推知亲代的基因型为 $X^B X^b$ 和 $X^B Y$, 子一代灰身: 黑身也为 $3:1$, 但黑身果蝇全为雄性。因此, 要确定等位基因是否位于 X 染色体上, 还应统计黑身果蝇是否全为雄性。

四、背景资料

（一）血友病

血友病为一组先天性凝血障碍性疾病, 因缺乏的凝血因子不同而分为血友病 A 、血友病 B 和血友病 C 。本组疾病的共同特点是出血。发病率以血友病 A 最高, 发病率为 $4 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-4}$, 重症患者占存活男婴的 $1/7\ 000$ 。血友病 B 次之, 血友病 C 罕见。

血友病 A 为 X 连锁隐性遗传病, 致病基因位于 X 染色体上。其遗传特点有:

1. X 连锁隐性遗传, 男性患病, 女性传递;
2. 女性携带者与正常男性所生子女中, 男性 $1/2$ 患病, $1/2$ 正常; 女性 $1/2$ 为携带者, $1/2$ 正常;
3. 男性患者与正常女性所生子女中, 男性均正常, 女性均为携带者;
4. 男性患者与女性携带者所生子女中, 男性 $1/2$ 正常, $1/2$ 患病; 女性 $1/2$ 为患者, $1/2$ 为携带者。

有 $20\% \sim 40\%$ 的患者无家族史, 这是基因突变所引起的, 可以遗传, 遗传规律同前。

（二）人类 Y 染色体连锁遗传

人类的 Y 染色体包含约六千万个碱基对, 约占人类男性体细胞中 DNA 的 2% 。目前鉴定出 Y 染色体含有几十个基因, 编码 20 多种蛋白质。其中, 有一个被称作 SRY 的基因能触发睾丸的生长, 并由此决定雄性性状。

Y 染色体除了在端粒上的拟常染色体区的少部分片段 (只占染色体的长度约 5%) 能与 X 染色体的相应区域配对, Y 染色体的其他区域都不能发生互换。因此, Y 染色体上的基因只能由亲代的雄性传递给子代的雄性 (即由父亲传递给儿子), 因此在 Y 染色体上留下了基因的族谱。^[14]

例如, 在某个家族中, 曾祖父 Y 染色体有一特定序列, 则其儿子、孙子、曾孙的 Y 染色体都会带有这种特定的标记, 这种标记可以视为进化标记, 也可以在鉴定亲子关系等方面起到独特的

作用。Y染色体上基因遗传的特点是全雄性遗传(图2-7),因而Y染色体上的基因也叫全雄性基因。

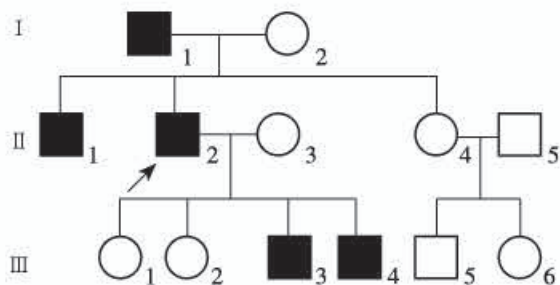


图2-7 外耳道多毛症的家系图

2003年6月19日出版的《自然》杂志重点报道了Y染色体上男性特有区段的来源,它们有的来自X染色体,有的是进化过程中X染色体序列退化的遗迹,还有的是扩增的产物。同时,发现了在Y染色体上这些区段中有8个回文序列,在8个回文序列中有6个带有编码蛋白质的基因,而且这些基因差不多都专一地在睾丸中表达,表现为限性遗传。

(三) 性别决定的几种方式

1. 染色体决定性别

在二倍体动物以及人的体细胞中,都有一对与性别决定有明显而直接关系的染色体叫作性染色体,其他的染色体通称为常染色体。有些生物的雄体和雌体在性染色体的数目上是不同的,例如,蝗虫的性染色体,即X染色体,在雌虫的体细胞里是一对形态、结构相同的染色体(可用XX表示),但雄虫的体细胞里却只有一条性染色体(可用XO表示)。另一些生物的雌体和雄体的每个体细胞里都有一对性染色体,但它们在大小、形态和结构上随性别而不同。例如,猪雄性体细胞中是一对大小、形态、结构不同的性染色体,大的一条叫X染色体,小的一条叫Y染色体,雌性的体细胞中是一对X染色体。

X、Y性染色体在形态和内容上都不相同,它们有同源部分也有非同源部分。同源部分和非同源部分都含有基因,但因Y染色体上的基因数目很少,所以,一般位于X染色体上的基因在Y染色体上没有相应的等位基因。

从进化角度看,性染色体是由常染色体分化来的,随着分化程度的逐步加深,同源部分则逐渐缩小,或Y染色体逐渐缩短,最后消失。例如,雄蝗虫的性染色体可能最初是XY型,在进化过程中,Y染色体逐渐消失而成为XO型。因此X与Y染色体愈原始,它们的同源区段就愈长,非同源区段就愈短。由于Y染色体基因数目逐渐减少,最后变成不含基因的空体,或只含有一些与性别决定无关的基因,所以它在性别决定中失去了作用(如果蝇)。但是,高等动物和人类中随着X和Y染色体的进一步分化,Y染色体在性别决定中却起主要作用。

多数雌雄异体或异株的动植物,雌、雄个体的性染色体组成不同,它们的性别是由性染色体差异决定的。动物的性染色体类型分为两大类型。

(1) XY型

这一类型的动物雌性个体具有一对形态大小相同的性染色体,用XX表示;雄性个体则具有

一对不同的性染色体，其中一条是X染色体，另一条是Y染色体，雄性个体的性染色体构型为XY，称为雄异配型。属这类性染色体的动物有大多数昆虫、圆虫、海胆、软体动物、环节动物、多足动物、蜘蛛、若干甲壳动物、硬骨鱼、部分两栖动物、哺乳动物等。

此外，在一部分昆虫（如蝗虫）中，雌性个体的性染色体为XX，雄性个体只有一条X染色体，没有Y染色体，这类雄异配型动物的性染色体用XO表示。

(2) ZW型

这类动物与上述情况相反，雄性个体中有两条相同的性染色体，雌性个体中有两条不同的性染色体。因此，这类动物又称为雌异配型动物。为了与雄异配型动物相区别，这类动物的性染色体记为ZW型，雌性ZW，雄性ZZ。属于这一类型的动物有鸟类、鳞翅目昆虫、部分两栖类、爬行类及某些鱼类。在这类动物中，也有和雄异配型动物中类似的情况，雌性个体中不存在W染色体，这类雌异配型个体的性染色体记为ZO型。

无论属于哪种性染色体类型的动物，凡是异配性别个体（包括XY和ZW个体）均产生两种等比例的性染色体的配子，对于XY雄性而言，产生带X和Y染色体的两类精子，对于ZW雌性而言，产生带Z和W染色体的两类卵细胞；凡是同配性别的个体（包括XX和ZZ）只产生一种性染色体的配子。当精子和卵细胞随机结合时，形成异配性别和同配性别子代的机会相等，因而，动物群体中两性比例总是趋于1:1。

2. 染色体组倍数与性别

在膜翅目昆虫中的蚂蚁、蜜蜂、黄蜂和小蜂等中，其性别与染色体组的倍数有关，雄性为单倍体，雌性为二倍体。如蜜蜂的雄蜂是由未受精的卵发育而成的，因而具有单倍体的染色体数（ $n=16$ ）。蜂王和工蜂是由受精卵发育成的，具有二倍体的染色体数（ $2n=32$ ）。在蜂类的性别决定中必定有某种与单倍体/二倍体的染色体安排有关联的机制存在。在寄生蜂的一个小茧蜂属中，也存在孤雌生殖的现象。这个属的雌蜂都是有20条染色体的二倍体，雄蜂都是有10条染色体的单倍体。雌蜂源于受精卵，但雄蜂通常出自未受精的卵。

3. 环境因子与性别决定

(1) 爬行类的温度性别决定

大部分蛇类和蜥蜴类的性别是在受精时由性染色体决定的，但有一些龟鳖类和所有的鳄鱼的性别是由受精后的环境因子决定的。这些爬行类在某个发育时期内卵的温度是性别的决定因子。稍稍改变温度，就会使性比发生急剧变化。当卵在22~27℃孵化时，只产生一种性别；当卵在30℃以上的温度中孵化时，则产生另一种性别。只在很小的温度范围内同一批卵才会孵化出雌性和雄性两种个体。

(2) 后螯的位置性别决定

海生蠕虫后螯雌虫体大，体形像一颗豆子，宽10 cm，口吻很长，可达1 m，远端分叉。雄虫很小，只有1~3 mm长，生活在雌虫的子宫中，像一种寄生虫。这种蠕虫的性别完全是由机遇决定的。自由游泳的幼虫是中性的，如果落在海底就成为雌虫；如果由于机遇，也可能由于一种吸力，幼虫落在长长的口吻上，就会进入雌虫的口，游向子宫，发育成为一个共生的雄虫。雄虫生活在雌虫体内，使卵受精。把已经落在雌虫口吻上的幼虫移去，让它在离开雌性的情况下继续

发育，则发育为间性。间性偏向雌性或雄性的程度取决于幼虫待在雌虫口吻上的时间的长短。

4. 动物激素与性别决定

“牝鸡司晨”现象是性反转的一个典型例子。一只母鸡原本能产蛋，后来突然停止产蛋，出现打鸣、羽毛艳丽等雄鸡的表征，甚至能和正常母鸡交配使后者产蛋并孵出小鸡。刘祖洞先生的研究表明，鸡的性染色体没有改变而只是性器官发生了改变，其实实验证据如图2-8所示。

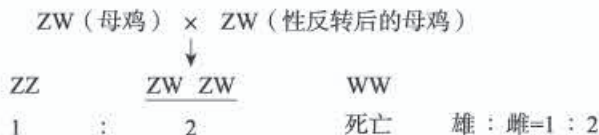


图2-8 正常母鸡与性反转后的母鸡杂交的遗传图解

据分析，“牝鸡司晨”的原因是母鸡的卵巢因病退化，本来已经退化为痕迹状态的精巢又发育起来，产生了精子。实际上许多动物在胚胎时期都形成雌雄两种生殖腺，如果性染色体决定将来发育成雌性，它的雌性生殖腺就继续发育起来，并且产生雌性激素，促进雌性性征的发育，同时抑制雄性生殖腺的发育；如果性染色体决定将来发育成雄性，则结果相反。这就是说，在大部分脊椎动物里，虽然性别最初是由性染色体决定的，但是在性别发育的过程中还受到性激素的控制。^[15]

(四) 高等植物的伴性遗传

植物性连锁遗传实例较少，其主要原因是雌雄异株植物不多。但是，在一些雌雄异株的植物如枣椰树和石竹科女娄菜属的一些种中也发现了性连锁遗传的性状。在这类植物中，雄株为XY，雌株为XX，即均为雄性异质型。

女娄菜有宽叶（也称披针形叶）和窄叶（也称狭披针形叶）两种类型，而且叶的宽窄与性别有关。这是因为控制这一相对性状的基因位于X染色体上，Y染色体上没有对应的基因。宽叶由显性基因B控制，窄叶由隐性基因b控制，而且基因b使花粉致死。如纯合宽叶雌株（ $X^B X^B$ ）与窄叶雄株（ $X^b Y$ ）杂交，子代全为宽叶雄株。杂合宽叶雌株（ $X^B X^b$ ）与窄叶雄株杂交，子代亦全为雄株，但宽叶与窄叶各占一半。杂合宽叶雌株与宽叶雄株（ $X^B Y$ ）杂交，子代雌株全为宽叶，雄株中宽叶与窄叶为1:1。由于 X^b 的花粉不能参与受精，因而 $X^b X^b$ 基因型不存在，故雌性个体没有窄叶类型。异株女娄菜叶宽的遗传如图2-9所示。

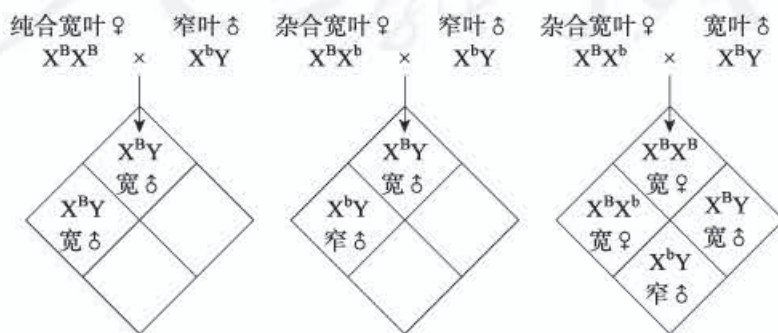


图2-9 异株女娄菜宽叶与窄叶的性连锁遗传

女娄菜中还存在着一种金黄色植株突变体，但这种突变体只存在于雄株之中，雌株中没有或极少。研究发现，这一突变由隐性基因 a 控制，该基因位于 X 染色体上。 X^aY 雄性个体金黄色，雌性不出现金黄色个体乃因 X^a 使花粉致死。 X^AX^A 和 X^AX^a 为正常绿色。 X^AX^a （绿色）与 X^aY （金黄色）杂交， X^a 花粉无授精能力， Y 花粉与 X^A 和 X^a 卵细胞结合，故后代全为雄性，没有雌性个体或雌性个体极少。在雄性个体中，正常绿色与金黄色的比例为 $1:1$ 。该性状的遗传与女娄菜叶宽的遗传同属性连锁致死遗传。

五、教学案例与评析

伴性遗传

江苏省无锡市辅仁高级中学 曹燕波

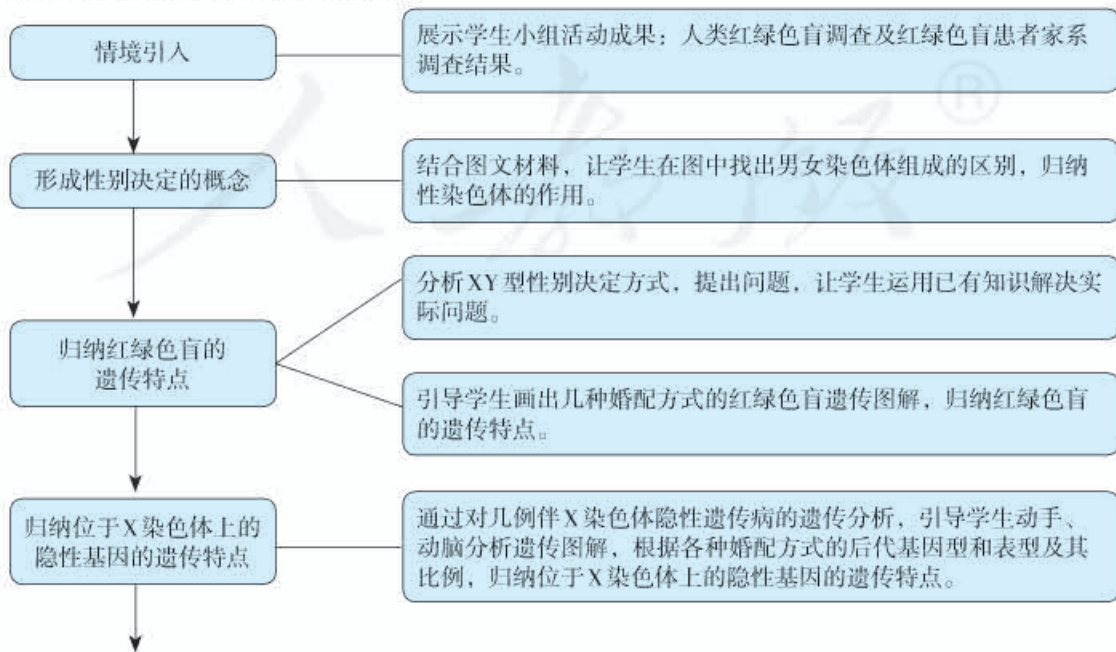
教学目标的确定

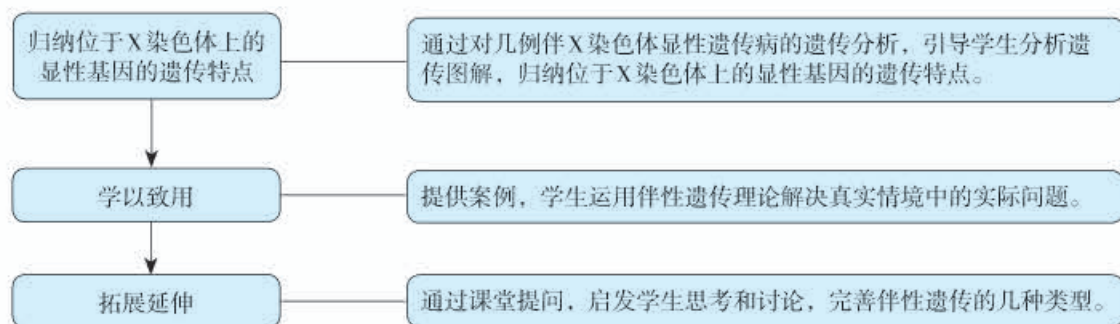
课程标准与本节对应的“内容要求”是：“概述性染色体上的基因传递和性别相关联”。“学业要求”是：“运用统计与概率的相关知识，解释并预测种群内某一遗传性状的分布及变化”“运用遗传与变异的观点，解释常规遗传学技术在现实生产生活中的应用”。结合教材内容，确定本节的教学目标如下。

1. 组织学生课外开展人类红绿色盲的调查活动，归纳红绿色盲的遗传特点。
2. 比较多种伴性遗传的图解，归纳伴性遗传的特点。
3. 培养学生在真实情境中运用伴性遗传理论解决实际问题的能力。

教学设计思路

本节课的教学从调查人类红绿色盲入手，引导学生分析红绿色盲的遗传特点，理解伴性遗传的概念与特点。结合学生的调查活动和遗传图解进行分析，进一步归纳伴性遗传的特点，在真实情境中尝试让学生解决问题。





教学实施的程序

学习阶段	教师活动	学生活动	设计意图
情境引入	<p>[创设情境]</p> <p>展示红绿色盲检查图, 描述人类红绿色盲是一种常见的单基因遗传病, 患者不能分辨红色和绿色。</p> <p>课前课外活动小组的同学对红绿色盲进行了调查, 调查内容包括红绿色盲患者家庭中的患病成员。请学生代表汇报调查结果。</p>	<p>[小组汇报]</p> <p>小组合作对调查数据进行汇总和分析; 对几个家族的患病情况作出分析, 在教师的指导下画出红绿色盲家族系谱图。</p>	<p>学生通过调查活动, 对红绿色盲的遗传有了初步了解, 为后续进行逻辑推理、归纳遗传特点等作准备。</p>
形成性别决定的概念	<p>[提出问题]</p> <p>在屏幕上显示男性和女性染色体组型图。</p> <p>人类男性和女性的染色体组成有什么区别?</p> <p>[动画模拟]</p> <p>用计算机动画模拟人类的XY型性别决定方式。</p> <p>展示XY染色体图解。</p>	<p>[形成概念]</p> <p>通过男性和女性染色体组成的差异, 知道性染色体、常染色体、性别决定等概念。</p> <p>[温故知新]</p> <p>说出男性和女性的性染色体存在差异, 女性的一对性染色体是同型的, 用XX表示; 男性的一对性染色体是异型的, 用XY表示, Y染色体很短小。认同这对不同的染色体与性别决定有明显而直接的关系, 形成性别决定的概念。根据前面绘制的家族系谱图, 分析得出红绿色盲是一种伴性遗传病。</p>	<p>通过识图、比较、分析, 让学生在图中找出男性和女性染色体组成的区别, 归纳性染色体的作用; 同时形成性别决定的概念, 知道生男生女的原因, 初步形成对生男生女的原因进行科普的社会责任。</p>

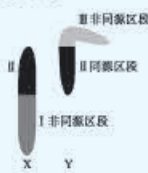
续表

学习阶段	教师活动	学生活动	设计意图
形成性别决定的概念	<p>[课外链接]</p> <p>人类性别畸形的种类：图示克兰费尔特综合征 (XXY)、特纳综合征 (XO)、XYY 综合征、XXX 综合征。</p>	<p>[分析讨论]</p> <p>知道男女比例约为 1 : 1 的原因；了解人类后代的性别主要取决于雄配子的类型和雌雄配子结合的随机性；了解人类性别畸形的原因。</p>	
<p>活动一： 归纳红绿色盲的遗传特点</p>	<p>[布置任务]</p> <p>结合典型的红绿色盲家族系谱图，进行遗传分析。</p> <p>红绿色盲基因是显性基因，还是隐性基因？它位于 X 染色体上还是 Y 染色体上？</p> <p>[布置任务]</p> <p>小组讨论、分析后，写出几个被调查的红绿色盲家族中每个个体的基因型（假设红绿色盲是由 B、b 这对等位基因控制的）。</p> <p>画出下列几种婚配方式的遗传图解：$X^B X^b$ 与 $X^B Y$、$X^B X^b$ 与 $X^b Y$、$X^B X^B$ 与 $X^b Y$、$X^b X^b$ 与 $X^B Y$（强调遗传图解的规范要求）。</p> <p>[引导归纳]</p> <p>通过比较以上遗传图解，引导学生归纳红绿色盲的遗传特点。</p> <p>[提供资料]</p> <p>资料 1：人的血友病的相关遗传信息；资料 2：果蝇红眼和白眼的相关遗传信息。</p>	<p>[独立分析]</p> <p>根据家族系谱图，演绎推理得出红绿色盲基因是隐性基因，位于 X 染色体上。</p> <p>[分析讨论]</p> <p>小组合作，分析、讨论画出 4 种婚配方式的遗传图解，通过投影仪现场展示。学生互评、纠错、修正。</p> <p>[归纳特点]</p> <p>小组合作，观察、比较几种遗传图解后，归纳红绿色盲的遗传特点。</p> <p>[分析讨论]</p> <p>通过分析、推理，画出相关遗传图解，得出人的血友病和果蝇的白眼都是由位于 X 染色体上的隐性基因控制的。</p>	<p>基于事实，通过演绎、比较、分析等科学思维，得出红绿色盲是伴 X 染色体隐性遗传病。</p> <p>引导学生观察、讨论、展示、纠错，学会画遗传图解。</p> <p>分析红绿色盲的遗传特点。</p> <p>能理解所学知识的要点，把握知识间的内在联系。</p>
<p>活动二： 归纳位于 X 染色体上的隐性基因的遗传特点</p>			

续表

学习阶段	教师活动	学生活动	设计意图
活动二： 归纳位于X染色体上的隐性基因的遗传特点 活动三： 归纳位于X染色体上的显性基因的遗传特点	<p>[布置任务]</p> <p>通过资料分析，结合自己画出的遗传图解，归纳总结位于X染色体上的隐性基因的遗传特点。</p> <p>[提供资料]</p> <p>资料3：人的抗维生素D佝偻病的相关遗传信息； 资料4：雌雄异株植物女娄菜叶形的相关遗传信息，控制宽叶（也称披针形叶）的基因为X^B，控制窄叶（也称狭披针形叶）的基因为X^b。</p> <p>[布置任务]</p> <p>通过资料分析，归纳总结位于X染色体上的显性基因的遗传特点。</p>	<p>[归纳特点]</p> <p>归纳总结位于X染色体上的隐性基因的遗传特点。</p> <p>[分析讨论]</p> <p>通过分析、推理，画出相关遗传图解，得出人的抗维生素D佝偻病和女娄菜的叶形都是由位于X染色体上的显性基因控制的。</p> <p>[归纳特点]</p> <p>归纳总结位于X染色体上的显性基因的遗传特点。</p>	<p>通过比较、分析遗传图解，归纳总结位于X染色体上的隐性基因的遗传特点。</p> <p>通过比较、分析，对遗传图解进行解释、推理，归纳总结位于X染色体上的显性基因的遗传特点。</p>
学以致用	<p>[案例1]</p> <p>现有一位已妊娠5个月、色觉正常的孕妇，其丈夫色觉正常，但孕妇的弟弟是红绿色盲，此外，孕妇的父母表型均正常。</p> <p>请推算该孕妇后代的患病风险。</p> <p>[案例2]</p> <p>鸡的性别决定为ZW型，ZW型的性别决定特点与XY型的正好相反。请画出芦花雌鸡（$Z^B W$）与非芦花雄鸡（$Z^b Z^b$）交配后的遗传图解。这在生产实践中有何应用？</p>	<p>[解决问题]</p> <p>根据信息提示先画出家族系谱图。根据系谱图分析，孕妇是携带者的概率是1/2，因丈夫色觉正常，因此，后代如果是女孩，色觉一定正常；如果是男孩，则有1/4的概率患色盲。</p> <p>[分析讨论]</p> <p>画出相关遗传图解，发现在F_1中，雄鸡都是芦花鸡（$Z^B Z^b$），雌鸡都是非芦花鸡（$Z^b W$）。这样对早期的雏鸡就可以根据羽毛的特征把雌性和雄性区分开，从而做到多养母鸡，多得鸡蛋。</p>	<p>培养学生获取相关生物学信息的能力，并能运用这些信息，结合所学知识解决真实情境中的实际问题。让学生有成功的体验，学会承担相应的社会责任。</p>

续表

学习阶段	教师活动	学生活动	设计意图
拓展延伸	<p>前面所讲的伴性遗传的实例，都是位于X染色体非同源区段（如下图）的基因的遗传规律。</p>  <p>请同学们思考以下问题。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 如果一对等位基因位于XY染色体的同源区段，其遗传规律还可能体现性别差异，请设计一组实验说明。 2. 若致病基因位于Y染色体的非同源区段，又有怎样的遗传规律呢？ 	<p>[小组合作]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 基因型为X^bX^b与X^BY^b的两人婚配后，后代中女性都表现为显性性状，男性都表现为隐性性状。 2. 若致病基因位于Y染色体的非同源区段，那就只遗传给男性，不遗传给女性。 	<p>通过学生的小组合作，提升学生比较、分析的科学思维。</p>

评析

在教学中，教师充分运用归纳和演绎的科学思维方法，以图解的形式阐述伴性遗传的概念与特点，较好地调动了学生参与课堂学习活动的主动性，凸显了学生的主体地位。这种设计的好处有以下几个方面。

1. 组织学生开展课外调查活动，培养学生从实践活动中直接获取资料和数据的能力

本节课以学生课外活动小组汇报的形式引入，激发了学生积极主动的学习行为；由学生整理、陈述自己的调查结果，更能培养学生的调查能力和严谨务实的求知态度。

2. 通过归纳伴性遗传的特点，并作适度延伸，发展学生的科学思维

教师利用色盲家族系谱图，引导学生绘制4种婚配方式的红绿色盲遗传图解。学生运用比较、分析、演绎、归纳等科学思维方法，总结红绿色盲（伴X染色体隐性遗传病）的遗传特点；再通过比较、分析，进而推出伴X染色体显性遗传病的遗传特点，培养学生图与文、图与图转换的能力。适度的拓展延伸，有助于培养学生的高阶思维。

3. 学以致用，解决真实情境中的实际问题，发展科学思维

最后两个案例的展示，试图培养学生从提供的材料中获取相关生物学信息的能力，尝试在真实的情境中利用所学知识分析和解决实际问题，达到学以致用、学用结合的目的，促进学生科学思维的发展。

评析人：龚雷雨（江苏省无锡市教育科学研究院）

“复习与提高” 参考答案

一、选择题

1. A 2. B 3. D 4. C 5. B

二、非选择题

1. (1) 表型正常的夫妇, 后代均正常; 夫妇一方是患者, 子代患病的概率是 $1/2$ 。(或者: 已知抗维生素D佝偻病基因位于X染色体上, 如果致病基因为隐性基因, 则 I_1 的X染色体应携带正常的显性基因, I_2 的一对X染色体上均有致病基因, 那么不会出现 II_3 的患者, 也不会出现 II_7 的正常男性。)

(2) 不携带。一对等位基因中, 只要有一个是显性致病基因, 就会表现为患者。

(3) 选择生男孩。

2. 是父方, 可能是在减数分裂II中复制的Y染色体未分开, 进入了同一个配子, 形成了含有两条Y染色体的精子所引起的。在孕妇的产前诊断中, 通过对胎儿的染色体进行分析检查, 来预防患儿的出生。

3. 性别与其他性状一样, 也是受遗传物质和环境共同影响的, 性反转现象出现的可能原因是某种环境因素使性腺发生了反转。子代雌雄之比是 $2:1$ 。

4. 否。孟德尔遗传规律的细胞学基础是减数分裂中染色体的变化, 因此, 该规律只适用于真核生物。

参考文献

1. 刘梦豪, 赵凯强, 王雅栋等. 蝗虫精母细胞减数分裂各时期的识别 [J]. 遗传, 2012, 34 (12): 1628-1637.
2. 徐连城, 杨保谦. 蝗虫精母细胞染色体制片法 [J]. 遗传, 1988, 2: 8.
3. 玛依拉木拉提. 减数分裂中染色体变化的手指模型及各模型比较 [J]. 中学生物学, 2012, 28(6): 10-11.
4. 丁梅, 王源. 减数分裂染色体行为变化的模型制作新方法 [J]. 中学生物教学, 2016, 12: 4-5.
5. 杨术芹. 利用卡纸建立减数分裂中染色体变化的模型 [J]. 新课程导学, 2016, 12: 64.
6. 姚元群. 高中生物模型建构教学的初探 [D]. 上海师范大学, 2012.

7. 王溢然, 束炳如主编, 岳燕宁编著. 分析与综合 [M]. 郑州: 大象出版社, 1999 : 1-7.
8. 恩斯特·迈尔著, 涂长晟等译. 生物学思想发展的历史 [M]. 成都: 四川教育出版社, 2010 : 539, 541.
9. F. Baltzer, Theodor Boveri. *Science*, 1964, 144(3620) : 809-815.
10. 《中国大百科全书》总编委会. 中国大百科全书 [M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 2009 : 8-500.
11. 刘素宁. 果蝇基因组与功能基因研究进展 [J]. 应用昆虫学报, 2011, 48(6): 1564.
12. 徐晋麟等. 现代遗传学原理 [M]. 北京: 科学出版社, 2001 : 40.
13. 宗宪春, 施树良. 遗传学 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2015 : 62.
14. 李辉. Y染色体与基因家谱 [J]. 世界科学, 2013, 2 : 24-27.
15. 郭玉华. 遗传学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2014 : 93-94.

人教版®