



北京师范大学国家基础教育
课程标准实验教材总编委会组编

经全国中小学教材审定委员会 2004 年初审通过

普通高中课程标准实验教科书

生物学

SHENG WU XUE

(必修2) 遗传与进化

主编 吴相钰 刘恩山



浙江科学技术出版社



生物学

必修1 分子与细胞

10-12岁 适合程度

100 1000 10000



普通高中课程标准实验教科书

生物学

(必修2) 遗传与进化

主编 吴相钰 刘恩山



浙江科学技术出版社

主 编 吴相钰 刘恩山
本册编者 黄远樟 梁前进 葛明德
 朱立祥 李晓辉

普通高中课程标准实验教科书
生物学

(必修2) 遗传与进化

出 版 浙江科学技术出版社
制 作 杭州兴邦电子印务有限公司
印 刷 杭州下城教育印刷有限公司
开 本 787 × 1092 1/16
印 张 8.75
字 数 143 000
版 次 2005 年 8 月第 1 版
印 次 2005 年 8 月第 1 次

书 号 ISBN 7-5341-2745-9
定 价 9.10 元

目 录

第一章	孟德尔定律	1
第一节	分离定律	2
第二节	自由组合定律	13
本章小结		22
第二章	染色体与遗传	24
第一节	减数分裂中的染色体行为	25
第二节	遗传的染色体学说	34
第三节	性染色体与伴性遗传	38
本章小结		45
第三章	遗传的分子基础	47
第一节	遗传的物质基础	48
第二节	DNA 的分子结构和特点	54
第三节	遗传信息的传递——DNA 复制	61
第四节	遗传信息的表达——RNA 和蛋白质的合成	65
本章小结		71
第四章	生物的变异	72
第一节	生物变异的来源	74
第二节	生物变异在生产上的应用	81
本章小结		87

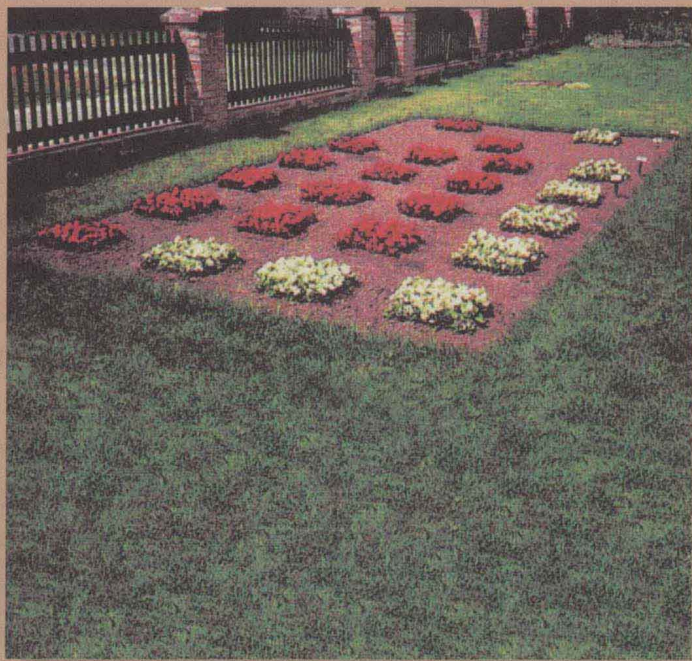


第五章	生物的进化	88
第一节	生物的多样性、统一性和进化	89
第二节	进化性变化是怎样发生的	94
第三节	探索生物进化的历史	105
本章小结		114
第六章	遗传与人类健康	115
第一节	人类遗传病的主要类型	116
第二节	遗传咨询与优生	123
第三节	基因治疗和人类基因组计划	129
第四节	遗传病与人类未来	133
本章小结		136

第一章

孟德尔定律

生物亲子代间的相似现象称为遗传(heredity),而亲代与子代间或子代间存在差异的现象称为变异(variation),遗传与变异普遍存在于生物界,是生物的基本特征。那么,生物为什么会表现出遗传与变异呢?遗传与变异是否有规律可循?奥地利遗传学家孟德尔(G.J.Mendel, 1822 - 1884)根据多年的豌豆杂交实验结果,终于在1865年揭示了两条遗传的基本规律,即分离定律和自由组合定律。



● 本章学习要点

1. 简述孟德尔的单因子和双因子的杂交实验过程,以及对实验结果的解释和验证。
2. 解释孟德尔分离定律和自由组合定律的实质。
3. 举例说明有关的遗传学术语。
4. 应用孟德尔定律,解决在实践中遇到的遗传学问题。

第一节 分离定律



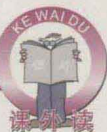
本节要点

分离定律

单因子测交

孟德尔用豌豆做了大量的杂交实验,并对7个性状的杂交结果进行了详细的观察和记录,通过统计分析的方法解决了前人没有解决的问题。下面以孟德尔的豌豆杂交实验为例,说明单因子杂交实验的过程和结果,以及孟德尔对结果的解释和验证。

孟德尔生平简介



孟德尔出生于奥地利的一个贫苦农民家庭,他在父亲的熏陶和影响下,自幼爱好园艺。1840年中学毕业后,考入大学继续学习,后因家境贫寒被迫中途辍学,于1843年到布吕恩的一所修道院当修道士,1847年任神父。1851~1853年,孟德尔在维也纳大学系统进修自然科学和数学,受到良好的训练,这为他后来从事科学研究奠定了坚实的基础。回到布吕恩修道院后,孟德尔被聘为布吕恩技校的代理教员。在此期间,他一面从事教学工作,一面利用修道院内的园地做了许多植物和动物的杂交实验。实验材料有豌豆、菜豆、玉米、紫茉莉、金鱼草、家鼠、蜜蜂等,其中以豌豆杂交实验(1856~1863)的成果最为突出。他仔细观察了豌豆的7对相对性状在各个世代的表现,记载了数以万计的数据,应用数理统计方法对这些数据进行归纳、比较和分析,终于在1865年将他的科研成果写成了题为《植物杂交试验》的论文,并在布吕恩自然科学协会会议上宣读了这篇在遗传学上有重要意义的科学论文。这篇论文于1866年发表在该会会刊上。论文揭示了“遗传因子”(即基因)的分离规律和自由组合规律(后人称之为孟德尔的分离定律和自由组合定律)。这两条重要规律的发现,为遗传学的诞生和发展奠定了基础。当时孟德尔的论文并未引起科学界的重视,直到1900年,有3位植物

学家分别通过各自的研究得出与孟德尔相似的结论后，人们才在文献中找到《植物杂交试验》这篇被遗忘的论文，孟德尔的贡献终于被重新发现。从此，这个埋没了35年之久的伟大成果得到了肯定和推广，孟德尔也被公认为科学遗传学的奠基人。

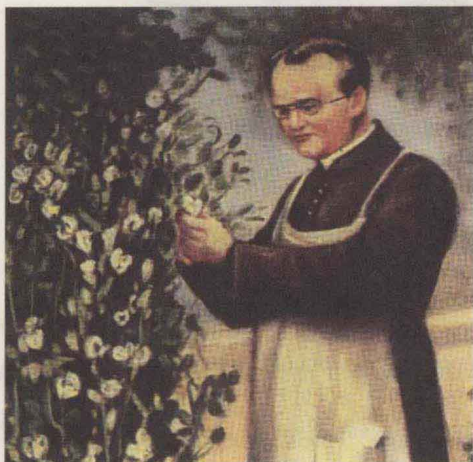


图 1-1 孟德尔像

孟德尔的一对相对性状的杂交实验

杂交实验的材料——豌豆 孟德尔通过严格的筛选，选择豌豆 (*Pisum sativum*) 作为杂交实验的材料。这样做的原因是：首先，豌豆是一种严格的自花授粉植物，而且是闭花授粉，授粉时无外来花粉的干扰，便于形成纯种，能确保杂交实验结果的可靠性，而且花冠的形状又非常便于人工去雄(剪掉雄蕊)和授粉，见豌豆花的结构(图 1-2)；第二，豌豆的豆荚成熟后籽粒都留在豆荚中，便于观察和计数；第三，豌豆具有多个稳定的、可区分的性状。所谓性状(character)是指生物的形态、结构和生理生化等特征的总称，例如豌豆的花色、种子的形状等都是性状。每种性状又具有不同的表现形式，即称为相对性状(relative character)，如豌豆的花色有紫花与白花，这就是一对相对性状。孟德尔选择了相对性状差异明显的豌豆进行杂交实验，然后根据各代间性状的表现进行分析和研究，从而揭示其中的遗传规律。

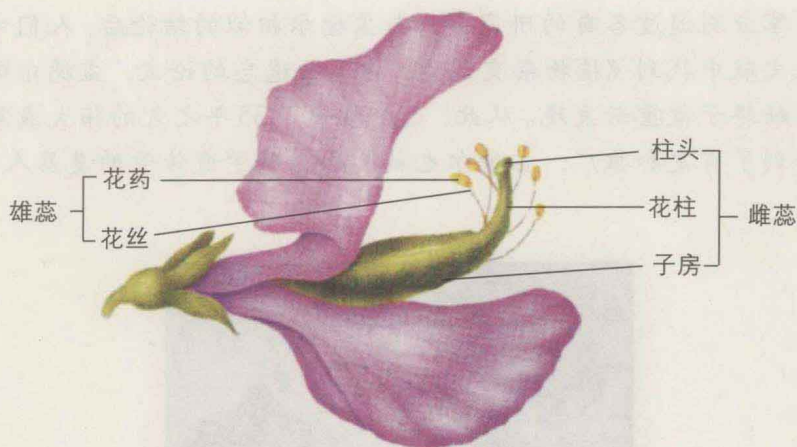


图 1-2 豌豆花的结构

单因子杂交实验 孟德尔在做豌豆杂交实验时，在豌豆的多个性状中，首先着眼于一对相对性状，分析它在后代中的表现，进而揭示了一条重要的遗传规律——分离定律 (law of segregation)。现以花色为例来说明紫花豌豆与白花豌豆杂交的实验过程。

孟德尔选用纯种紫花豌豆和纯种白花豌豆分别作为杂交的母本 (♀) 和父本 (♂)，母本和父本统称为亲本 (用 P 表示)。实验时，在紫花母本上选取一

朵或几朵花，在花粉尚未成熟时将花瓣掰开，用镊子除去全部雄蕊 (即人工去雄)，然后在花朵外套纸袋，以防外来花粉授粉。1~2 天后，从白花父本的花朵上取下成熟的花粉，放到母本花朵的柱头上进行人工授粉，授粉完毕仍套上纸袋，并挂上标签以便识别 (图 1-3)。

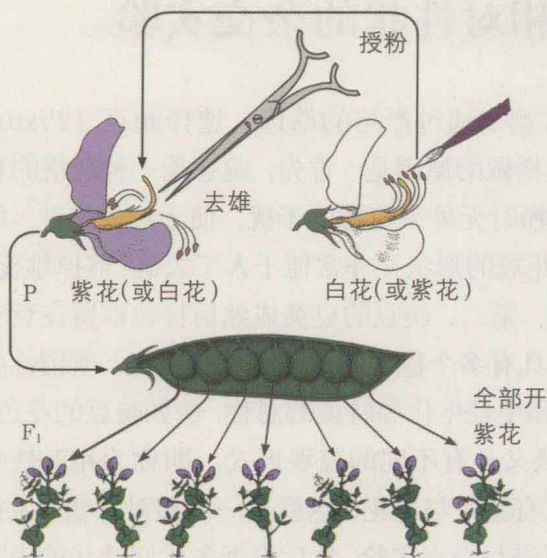


图 1-3 豌豆杂交过程示意图

实验植株的豆荚长大后所结的种子就是子一代 (用 F_1 表示)，该种子长成的植株就是 F_1 植株。孟德尔发现，无论用紫花作母本 (正交)，还是用白花作

母本(反交),子一代全部开紫花。于是他将 F_1 能表现出来的亲本性状——紫花,称为显性性状(dominant character),而将在 F_1 未能表现的另一亲本的性状——白花,称之为隐性性状(recessive character)。若让 F_1 植株自交,所结的种子子二代(F_2),它的花色又将怎样呢?

孟德尔发现,在 F_2 中,705株开紫花,224株开白花,两者的比例大致为3:1。这种在后代中显性性状和隐性性状同时出现的现象称为性状分离。上述过程如图1-4所示。

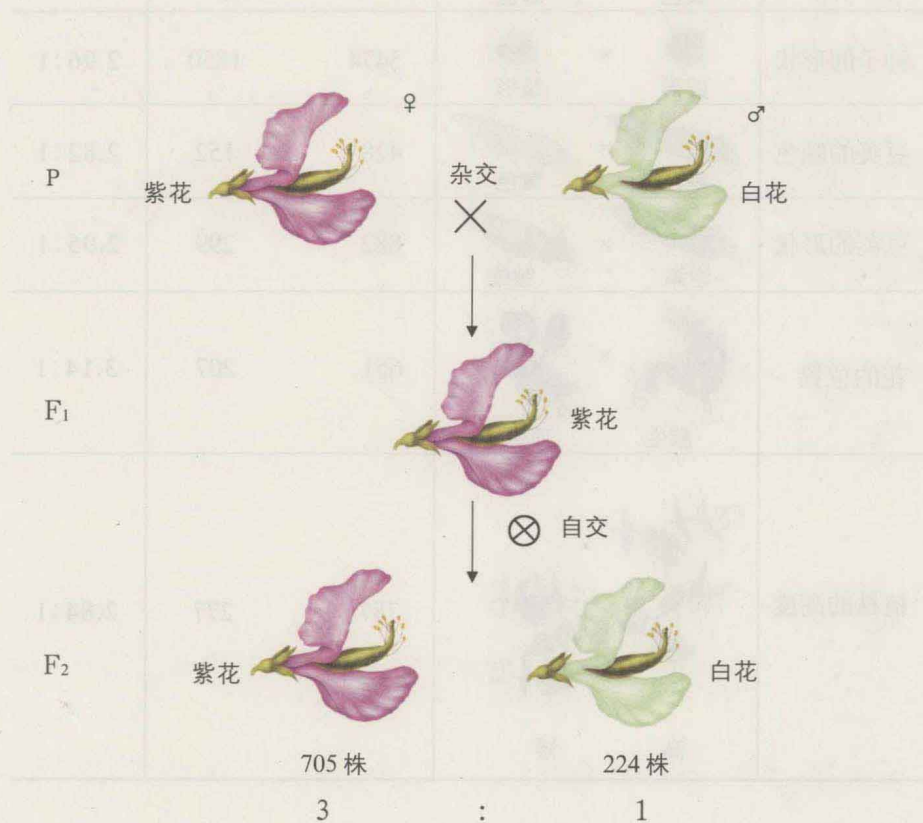


图 1-4 紫花豌豆与白花豌豆的杂交实验

孟德尔还发现,在反交时即白花豌豆(♀)和紫花豌豆(♂)的杂交,所得的结果与上述正交结果相似。那么,豌豆其他性状的杂交结果又如何呢?对此,孟德尔对其他6对相对性状也做了杂交实验,都得到类似结果:正、反交的结果总是相同的; F_1 只表现显性性状; F_2 出现性状分离现象,并且显性性状与隐性性状的数目比例大致为3:1,见表1-1。

表 1-1 豌豆 7 对相对性状的杂交实验结果

性状	杂交亲本		F ₂ 代观察数		比例
	显性	隐性	显性	隐性	
花色	 紫色	×  白色	705	224	3.15 : 1
子叶的颜色	 黄色	×  绿色	6022	2001	3.01 : 1
种子的形状	 圆形	×  皱形	5474	1850	2.96 : 1
豆荚的颜色	 绿色	×  黄色	428	152	2.82 : 1
豆荚的形状	 饱满	×  皱缩	882	299	2.95 : 1
花的位置	 腋生	×  顶生	651	207	3.14 : 1
植株的高度	 高	×  矮	787	277	2.84 : 1

对分离现象的解释

在一对相对性状的杂交实验中，F₂ 为何出现性状分离现象呢？为此，孟德尔提出遗传因子相互分离的假设。依据孟德尔的假设，首先，性状是由遗传因子（后称为基因，gene）控制的，即豌豆的花色是由一对基因控制，大写字母 C 代表控制紫花的显性基因，小写字母 c 代表控制白花的隐性基因。控制一对相对性状的两种不同形式的基因称为等位基因（allele），这里 C 和 c 互为等位基因。

第二, 基因在体细胞内是成对的, 其中一个来自母本, 另一个来自父本。两个亲本的基因组合类型不同, 控制性状的基因组合类型称为基因型 (genotype), 紫花亲本的基因型是 CC , 白花亲本为 cc 。第三, 在形成配子时, 成对的基因彼此分离, 分别进入到不同的配子中, 所以每个配子只含有成对基因中的一个, 例如, 紫花亲本产生的配子只含有一个显性基因 C , 白花亲本的配子只含有一个隐性基因 c 。受精时, 雌、雄配子结合后产生的 F_1 (Cc) 中, 基因又恢复为一对, 但 C 基因相对 c 基因是显性的, 所以 F_1 表现为紫花。第四, 在 F_1 的体细胞内有两个不同的基因, 但各自独立、互不混杂。第五, F_1 可产生两种不同类型的配子, 一种带有基因 C , 另一种带有基因 c , 并且数目相等, 其比例为 $1:1$ 。受精时雌、雄配子的结合是随机的, 所以 F_2 出现 3 种基因型, 即 CC 、 Cc 、 cc , 其比例为 $1:2:1$ 。其中基因型为 CC 或 cc 的植株, 是由两个基因型相同的配子结合而成的个体, 即称为纯合子 (homozygote)。而 Cc 植株是由两个基因型不同的配子结合而成的个体, 称为杂合子 (heterozygote)。因 C 对 c 是显性的, CC 、 Cc 均表现为紫花, 而 cc 表现为白花。所以, 紫花与白花的数量比是 $3:1$ 。这里将具有特定基因型的个体所能表现出来的性状称为表现型 (phenotype)。 CC 和 Cc 的表现型就是紫花, 而 cc 的表现型是白花。现将紫花豌豆与白花豌豆的杂交实验分析, 用图 1-5 和图 1-6 表示。

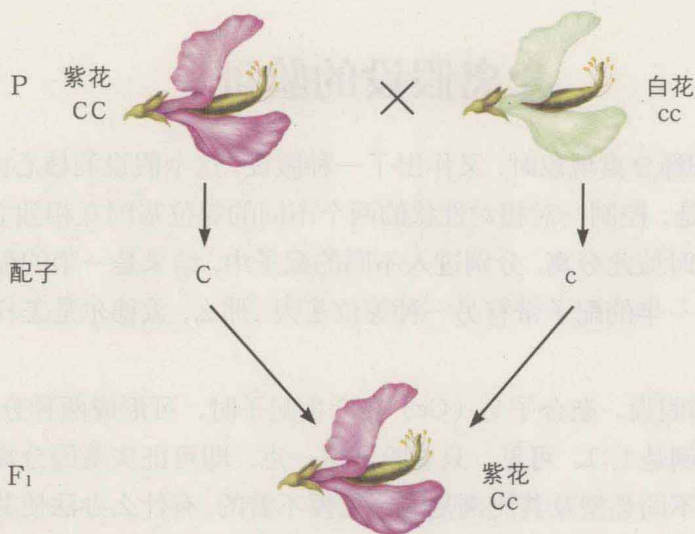


图 1-5 单因子杂交实验的分析 (1)

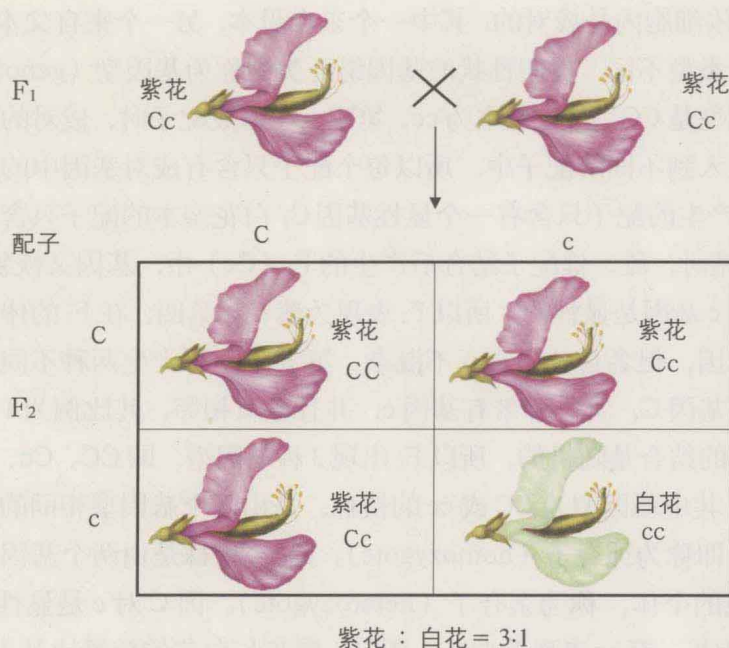


图 1-6 单因子杂交实验的分析 (2)

根据上述假设, 所得的 7 对相对性状的杂交实验结果均有了圆满的解释。

分离假设的验证

孟德尔在解释分离现象时, 又作出了一种假设。这个假设的核心内容 (即分离定律的实质) 是: 控制一对相对性状的两个不同的等位基因互相独立、互不沾染, 在形成配子时彼此分离, 分别进入不同的配子中, 结果是一半的配子带有一种等位基因, 另一半的配子带有另一种等位基因。那么, 孟德尔是怎样验证他的解释呢?

按孟德尔的假设, 杂合子 F_1 (Cc) 在产生配子时, 可形成两种分别含有 C 、 c 的配子, 其比例是 $1:1$ 。可见, 只要验证这一点, 即可证实基因分离假设的正确性。但配子的不同类型及其比例是看不见摸不着的, 有什么办法使其成为一个可见的结果呢? 为此, 孟德尔巧妙地设计了测交法, 即将 F_1 (Cc) 与隐性纯合子 (白花亲本 cc) 进行杂交。 F_1 可形成两种配子, 即 C 型和 c 型配子, 并且数目相等; 隐性亲本只产生 c 型配子, 这种配子不会遮盖 F_1 产生的配子的基因, 反

而能使 F_1 的配子中含有的隐性基因在测交后代中表现出来。所以，测交后代的表现类型及其比例，可反映 F_1 所产生的配子类型及其比例。测交后代中应有一半数目的基因型是 Cc ，即开紫花，另一半数目的基因型是 cc ，即开白花（图1-7）。孟德尔的测交实验共得166株测交后代，其中85株开紫花，81株开白花，两者接近1:1的预期比例。这一结果与孟德尔的理论假设完全相符。孟德尔对7对相对性状分别做了7个测交实验，结果无一例外地得到接近1:1的分离。这一事实有力地证明了孟德尔遗传因子分离的假设是正确的，从而肯定了分离定律。

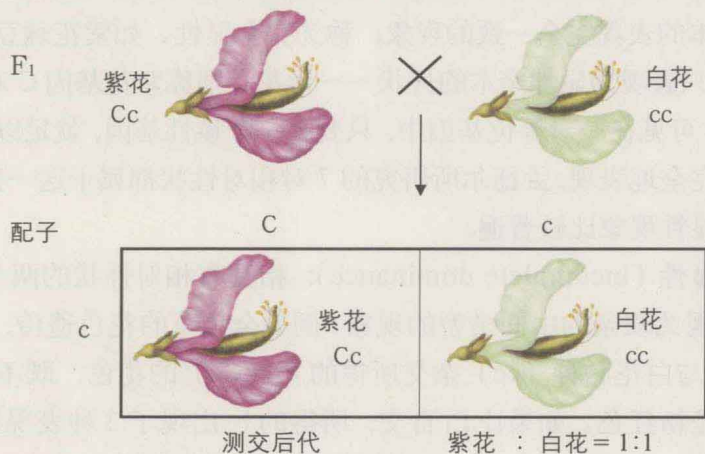


图1-7 单因子测交分析图



配子形成时发生基因分离的直观证据

水稻分糯性品系和非糯性品系。糯性品系的米粒中含有支链淀粉，用稀碘液处理后，米粒呈现红褐色，这是碘液原有的颜色。非糯性品系的米粒含有直链淀粉，用稀碘液处理后，米粒呈蓝褐色，这是直链淀粉和碘发生化学反应的结果。

杂交实验表明，非糯性和糯性是由一对等位基因控制的，非糯性为显性，糯性为隐性。如果把非糯性品系的花粉放在载玻片上，加一滴碘液后在显微镜下观察，发现所有的花粉都被染成蓝黑色；将糯性品系的花粉加上碘液，所有的花粉都被染成红褐色；将非糯性品系与糯性品系进行杂交后得到的子一代的花粉，加碘液染色后用显微镜检查，发现大约一半为蓝褐色，一半为红褐色。这个实验直观地证明了子一代在产生配子时，等位基因发生了分离，分离比接近于1:1。

显隐性关系的相对性

除了孟德尔在豌豆 7 对相对性状杂交实验中所观察过的显性表现外,科学家还发现了几种其他形式的显性表现。

根据显性现象的表现形式,可将显性分为以下几种类型。

完全显性 (complete dominance): 具有相对性状的两个亲本杂交,所得的 F_1 与显性亲本的表现完全一致的现象,称为完全显性。如紫花豌豆与白花豌豆杂交后的 F_1 只表现为显性亲本的性状——紫花,则称紫花基因 C 对白花基因 c 为完全显性。可见在一对等位基因中,只要有一个显性基因,就足以使它所控制的性状得以完全地表现。孟德尔所研究的 7 对相对性状都属于这一类型。在生物界中,完全显性现象比较普遍。

不完全显性 (incomplete dominance): 指具有相对性状的两个亲本杂交,所得的 F_1 表现为双亲的中间类型的现象。例如金鱼草的花色遗传,纯合的红花品种 (CC) 与白花品种 (cc) 杂交所得的 F_1 (Cc) 的花色,既不是红色也不是白色,而是粉红色。如果让 F_1 自交,所得的 F_2 出现了 3 种表现型,即红花、粉红色花和白色,其比例为 $1:2:1$ 。可见控制金鱼草花色的一对等位基因中,红花对白花的显性作用是不完全的,所以 F_1 的性状表现就介于双亲之间。这样 F_2 的表现型比例与其基因型比例就完全一致,都是 $1:2:1$,即 F_2 的表现型可直接反映它的基因型 (图 1-8)。

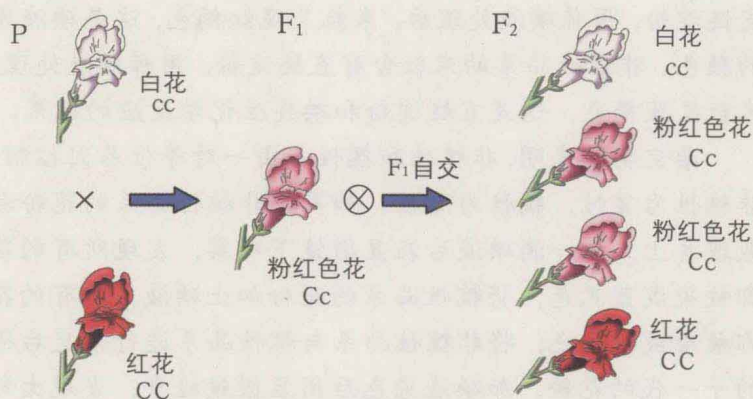


图 1-8 金鱼草花色的不完全显性遗传

共显性 (codominance): 具有相对性状的两个亲本杂交, 所得的 F_1 个体同时表现出双亲的性状, 即为共显性。例如人群的 ABO 血型, 是由三个基因即 I^A 、 I^B 和 i 控制, I^A 、 I^B 基因分别决定红细胞上 A 抗原、B 抗原的存在。AB 血型的基因型为 $I^A I^B$, 其红细胞上既有 A 抗原又有 B 抗原。这说明 I^A 与 I^B 这两个基因间不存在显隐性关系, 两者互不遮盖, 各自发挥作用, 表现为共显性。ABO 血型与基因型和抗原的关系, 见表 1-2。

表 1-2 ABO 血型与基因型和抗原的关系

血型	基因型	红细胞上的抗原	显隐性关系
A	$I^A I^A$ 、 $I^A i$	A	I^A 对 i 为完全显性
B	$I^B I^B$ 、 $I^B i$	B	I^B 对 i 为完全显性
AB	$I^A I^B$	A, B	I^A 与 I^B 为共显性
O	ii	无	隐性

表现型是基因型与环境条件相互作用的结果



生物体的内在环境, 如年龄、性别、生理与营养状况等, 都会影响显性性状的表现。例如, 中年人秃顶是由一对基因 (B 、 b) 控制的, 秃顶基因的纯合子 (BB), 无论男女, 都表现为秃顶; 如果基因型为 bb 的, 无论男女, 均表现正常; 但对于杂合子 (Bb), 如果是男性, 则表现为秃顶, 如果是女性, 则表现正常。这就是中年人群中, 男性秃顶的人数远远多于女性的原因。造成这种差异的原因是由于两性体内性激素的不同。

外界环境, 如温度、光照、水分、营养条件等, 也会影响显性性状的表现。例如, 观赏植物——藏报春 (*Primula sinensis*), 让基因型为 AA 的植株在 $20 \sim 25^\circ\text{C}$ 的环境条件下生长, 植株开红花。如果让它在 30°C 的环境条件下生长, 则开白花。再如曼陀罗 (*Datura stramonium*) 茎的颜色, 即紫色与绿色, 是由一对等位基因控制的, 在夏季温度较高时, F_1 的茎为紫色, 即紫茎对绿茎为完全显性; 但在温度较低、光照较弱时, F_1 的茎呈浅紫色, 紫茎对绿茎就不再是完全显性了。可见外