国家精品课程配套立体化教材

普通高等教育"十二五"规划教材

Integrated Genetics Experimental Course

遗传学综合实验教程

王金发　戚康标　何炎明　主编

科学出版社

Integrated Genetics Experimental Course

遗传学综合实验教程

国家精品课程配套立体化教材
普通高等教育“十二五”规划教材

遗传学综合实验教程

王金发　戚康标　何炎明　主编

科学出版社
北京

内 容 简 介

本书根据近年来遗传学科的迅速发展和实验教学改革的需要，将原《遗传学实验教程》（2008年出版）重新修订，改版为《遗传学综合实验教程》。本书在实验内容的取舍方面，注重对遗传学规律的分析与体验、基本操作技能的训练、学生实验设计能力及科学研究应用能力的培养；同时也更加注重学生对现代遗传学实验的适应性和遗传学实验综合质量水平的提高。

全书共有44个实验，内容丰富，涵盖面广。主要特色是：基础与经典实验精炼，综合性、研究性实验紧跟学科发展前沿，方法先进，内容新颖，实用性强。对每个实验的目的、原理、实验步骤等介绍清楚明晰，实验知识重点突出，技术方法成熟，图文丰富，操作简便，效果明显。每个实验后面附有具体的作业或思考题；书的最后有附录部分，介绍常用的试剂配制方法、培养基配制配方、统计检测表等，方便查找和使用。

本书所选实验精练，易读实用，可供综合性大学、农林、医学、师范院校本科生和研究生的遗传学实验课教学使用，也可作为相关科研技术人员的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

遗传学综合实验教程/王金发，戚康标，何炎明主编. —北京：科学出版社，2012

国家精品课程配套立体化教材．普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-035788-5

Ⅰ.①遗… Ⅱ.①王…②戚…③何… Ⅲ.①遗传学-实验-高等学校-教材 Ⅳ.①Q3-3

中国版本图书馆CIP数据核字（2012）第243648号

责任编辑：席 慧 刘 畅 刘 丹 / 责任校对：宋玲玲
责任印制：阎 磊 / 封面设计：迷底书装

科学出版社 出版
北京东黄城根北街16号
邮政编码：100717
http://www.sciencep.com

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年10月第 一 版 开本：787×1092 1/16
2012年10月第一次印刷 印张：13 3/4 插页：2
字数：343 000

定价：28.00元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

编者名单

王金发

戚康标

何炎明

王宏斌

刘　兵

冯冬茹

苏建斌

敖　英

段　珊

李张群

王　鹏

舒胜英

张　洋

前　言

遗传学是一门历史悠久而又发展迅猛的新兴前沿学科，在生命科学领域中占有十分重要的位置。遗传学的实践性很强，很多基本理论和基础知识必须通过对实验结果的观察与分析才得以理解。因此要学好遗传学，实验教学起着十分重要的作用。我们在多年的实验教学中体会到，要使老师教得好，学生学得好，就必须要有一本好教材，因此，编写一本好的遗传学实验教材一直是我们的心愿。

我们已于 2008 年编写了《遗传学实验教程》，这本教材出版几年以来，受到了广大师生的欢迎，各地高校也在不同程度上推进开放式研究性实验教学。随着遗传学科的迅速发展和实验教学的不断改革，我们发现原教材存在不足的地方，尤其是在实验方法和内容上需要进行补充，一些综合性、研究性和实用性好的内容较少，学生在进行开放式研究性实验时，教材在指导和启发上未能发挥最大的作用。因此我们将原《遗传学实验教程》重新修订，改版为《遗传学综合实验教程》。新书除保留原有经典教程和实用性强的内容外，对部分内容进行了删减，同时新增了十多个综合创新性实验，这些实验是由中山大学生命科学学院细胞与遗传综合实验室的研究生和本科生，在科研与能力训练中自主设计，并经反复实践证明具有明显效果的实验项目。我们期望，修订改版后的《遗传学综合实验教程》，能更加适应现代遗传学实验的需要，提高遗传学实验的综合质量水平。

本书高度凝聚了以国家级教学名师王金发教授为带头人的国家级教学团队（中山大学细胞生物学与遗传学研究性教学团队）多年来的教学经验与成果。全书共有 44 个实验，内容精练，涵盖面广，实用性强。在编写过程中，我们尽量做到每个实验的技术方法成熟、操作简便、效果明显。在实验内容的安排上，既注重对遗传学规律的体验与基本技能的训练，又注重对学生实验设计能力和科学研究应用能力的培养。

参加本书编写的编者有：敖英、段珊、冯冬茹、何炎明、李张群、刘兵、戚康标、王金发、王宏斌、王鹏、舒胜英、苏建斌、张洋，最后由王金发、戚康标统稿，并对书稿作整理和修改。本书的出版得到“中山大学生命科学学院教材改革项目”的大力支持，在此表示衷心感谢！对于本书可能存在的问题和错误，恳请广大读者批评指正。

编　者

2012 年 6 月于康乐园

目　　录

前言
实验 1　概率原理 …… 1
实验 2　卡平方测验 …… 7
实验 3　果蝇的生活史及遗传性状观察 …… 14
实验 4　果蝇的单因子杂交 …… 19
实验 5　果蝇两对基因的自由组合 …… 23
实验 6　果蝇的伴性遗传 …… 26
实验 7　果蝇的三点测交与遗传作图 …… 30
实验 8　粗糙链孢霉的分离和交换 …… 35
实验 9　果蝇数量性状遗传实验 …… 40
实验 10　多基因遗传的人类指纹嵴分析 …… 45
实验 11　基因型与环境的互作分析——环境因素对果蝇发生量的影响 …… 50
实验 12　人群中苯硫脲尝味能力的遗传分析 …… 55
实验 13　摇蚊多线染色体的斑带和疏松区 …… 58
实验 14　果蝇唾腺染色体标本制备和染色体特征观察 …… 63
实验 15　细胞减数分裂 …… 69
实验 16　植物染色体分带技术 …… 73
实验 17　人体外周血淋巴细胞培养与染色体标本制备 …… 76
实验 18　人类染色体分带技术 …… 80
实验 19　人类染色体组型分析 …… 86
实验 20　姐妹染色单体色差分析 …… 89
实验 21　人体细胞性染色质的检测 …… 93
实验 22　水稻花药培养诱导单倍体植株 …… 98
实验 23　原生质体的分离和培养 …… 102
实验 24　水稻绿色原生质体的制备与瞬时基因表达 …… 106
实验 25　拟南芥叶肉细胞原生质体分离与瞬时表达 …… 111
实验 26　植物多倍体的诱发与鉴定 …… 116
实验 27　微核检测技术 …… 120
实验 28　细菌诱变 …… 123
实验 29　质粒 DNA 的提取与电泳检测 …… 128
实验 30　DNA 的限制性内切核酸酶酶切 …… 132
实验 31　PCR 扩增基因片段 …… 135
实验 32　动物基因组总 DNA 的分离 …… 139
实验 33　CTAB 法分离植物细胞总 DNA …… 142
实验 34　植物细胞线粒体 DNA 的提取 …… 145
实验 35　植物细胞叶绿体 DNA 的分离纯化 …… 147
实验 36　植物总 RNA 的提取 …… 150

实验 37　酵母双杂交分析蛋白质之间的相互作用 …… 152
实验 38　绿色荧光蛋白（GFP）基因的定点突变 …… 156
实验 39　绿色荧光蛋白（GFP）基因的定点突变片段的亚克隆 …… 160
实验 40　绿色荧光蛋白（GFP）突变基因在大肠杆菌表达与检测 …… 165
实验 41　叶绿体分裂环的免疫荧光显示 …… 168
实验 42　*Pseudomonas syringae tomato* DC3000 侵染拟南芥 …… 173
实验 43　根癌农杆菌 EHA105 介导的水稻转化 …… 177
实验 44　拟南芥叶片总蛋白的提取及 Western bolt 检测分析 …… 183

附录 1　实验室常用溶液的配制 …… 188
附录 2　细菌培养基的配制 …… 191
附录 3　粗糙链孢霉菌培养基的配制 …… 193
附录 4　几种常用的植物组织培养基配方 …… 195
附录 5　常用染色液和试剂的配制 …… 199
附录 6　常用缓冲溶液的配制方法 …… 206
附录 7　检测表 …… 213
彩版

实验1

概率原理

实验目的

1. 能以一个实例说明随机概念的含义。

2. 用概率原理解决相关问题。

(1) 相容独立事件。

(2) 二项式展开式。

(3) 多项不相容事件。

3. 应用概率原理分析人类系谱，预测系谱中某些近亲结婚产生遗传缺陷后代的概率。

4. 加深对孟德尔遗传基本定律的理解。

实验原理

本实验将介绍概率的基本数学概念，并围绕基于孟德尔遗传基本定律而建立的概率原理展开工作。工作中的大部分问题将由概率解决。实验将观察研究同时发生的、相容的独立事件及两个或两个以上互斥事件出现的概率。学习二项式（$a+b$）^{n} 及其展开式计算某些交互事件的概率。然后，可以用概率原理劝说可能生育异常孩子的双亲，并进一步制订有理论依据的生育方案。最后，研究一个系谱，从中测定某些配对的后代出现遗传缺陷的概率。

方法与步骤

（一）概率的概念

首先，以掷钱币为例说明概率。一枚钱币掷起、翻滚、回落、静止全过程涉及很多因素，通常不可能预测和控制。钱币静止时是正面还是反面向上，最终出现结果是出于概率。当把一枚钱币抛掷多次，可以期望大约一半次数正面向上，一半次数反面向上。

1. 把一枚钱币抛掷 24 次，记录结果如表 1-1 所示，计算正、反面出现的期望值（E）并测定观察值（O）与期望值之差（$O-E$）。标明每个偏差的正负值。那么，偏差的总和是多少？

表 1-1 抛掷钱币 24 次的结果

结果	观察值（O）	期望值（E）	偏差（$O-E$）
正面向上			
反面向上			
合计	24		0

2. 如果偏差值（$O-E$）小，你可以认为是偶然概率。如果偏差值大，必定认为出于某些其他原因，而不是概率。当你掌握卡平方测验之后，再回过头检验表 1-1 的数据资料，看看它们的偏差是否过大，不能只认为是偶然概率。

3. 抛掷一枚钱币有 50∶50 的预期值，而相当数量的生物学现象都和抛掷钱币的情况是一样的，概率与生物学、遗传学的现象有什么关系？可以用概率来表明以下的问题：在一个家系中，期望生男孩的概率是多少？生女孩的概率是多少？如果随机选择 100 个只有一个孩子的家庭，其中有多少家庭有男孩？多少家庭有女孩？如果两个亲本 Aa×aa 交配，子代基因型 Aa 的概率是多少？基因型 aa 的概率是多少？

（二）同时发生的独立事件

现在，两枚钱币一起抛掷 36 次，把结果记录在表 1-2。计算每一类型的期望值，前提是无论两枚或多枚钱币一起抛掷，每一枚钱币是独立的，并且，正面向上（H）或反面向上（T）的机会是相等的。以一系列数目的钱币一起抛掷，最后可以概括为这样的假设：两个或多个独立事件同时发生的概率为各个独立事件概率的乘积。

表 1-2　两枚钱币抛掷 36 次的结果

结果	组合	观察值（O）	期望值（E）	偏差（$O-E$）
两枚均为正面	HH			
一正一反	HT			
两枚均为反面	TT			
合计	4	36		

1. 如果两枚钱币一起抛掷，每一钱币正面向上的概率是 1/2，反面向上的概率也是1/2，那么：

两枚钱币都是正面向上的概率是______；

第一枚钱币正面向上，第二枚钱币正面向下的概率是______；

另一种形式是第一枚钱币正面向下，第二枚钱币正面向上的概率是______；

两枚钱币均反面向上的概率与两枚钱币正面向上的概率是______。

总之，把两枚钱币一起抛掷很多次，期望正、正向上的大约次数是______；

正、反（或反、正）向上的次数是______；

反、反向上的大约次数是______。

以比率代替频数，期望的结果是______。

2. 这种状况与单杂合杂种相似，当 Aa 产生配子时，含 A 配子的概率是 1/2，其余 1/2 含 a。当 Aa 雌性和 Aa 雄性交配，有 1/4 概率由 A 卵子和 A 精子结合产生 AA 后代。同样产生 1/2Aa 和 aa 后代。在研究单杂合杂交时，你可以认为是同时发生的独立事件（不同配子的结合）。于是，就建立一个基于孟德尔第一定律的概率原理。

3. 以两枚钱币抛掷实验计算期望比率的概率原理也适用于 3 枚、4 枚或多枚钱币一起抛掷的实验。

（1）例如，计算 3 枚钱币一起抛掷的期望结果，以 H 代表一枚钱币的正面，T 代表同一钱币的反面，以 3 枚钱币一起抛掷 64 次的结果完成于表 1-3。

表 1-3　同时抛掷 3 枚钱币的期望结果

分类	组合	各类型发生概率	观察值（O）	期望值（E）	偏差（$O-E$）
$3H$	HHH	$1/2\times1/2\times1/2=1/8$		8	
$2H$；$1T$	HHT、HTH，THH				
$1H$；$2T$					
$3T$					
合计			64		

实验显示各种可能组合和出现的概率，第一个组合（$3H$）只能以一种形式出现，也就是 3 枚钱币均以正面向上。以此为例，把 3 枚钱币抛掷 64 次，并记录每一类型出现的频数。计算期望值和偏差。

（2）当你研究有 3 个孩子的家庭时可观察到与之平行的现象。在有 3 个孩子的家庭中，随机选择 160 个家庭，可以预期其中有多少家庭 3 个全是男孩？多少家庭 2 个男孩和 1 个女孩？多少家庭 1 个男孩和 2 个女孩？多少家庭 3 个全是女孩？

4. 计算同时抛掷 4 枚钱币的预期结果，完成表 1-4，展示不同组合的出现概率。

以字母 H 和 T 代表钱币的正、反面组合，计算同时抛掷 4 枚钱币时，每一类型的概率。

表 1-4　同时抛掷 4 枚钱币的概率结果

类型	组合	每一类型出现概率
$4H$	$HHHH$	$1/2\times1/2\times1/2\times1/2=1/16$
$3H:1T$		
$2H:2T$		
$1H:3T$		
$4T$		

5. 假定生男孩的概率是 1/2，生女孩的概率同样是 1/2，回答以下问题。

（1）如果 4 个婴儿同一天在指定的医院出生，4 个全是男孩的概率是多少？

（2）3 个男孩 1 个女孩的概率是多少？

（3）2 个男孩 2 个女孩的概率是多少？

（4）4 个婴儿组合中，多少男孩和多少女孩的组合出现最多？为什么？

（5）如果第 5 个婴儿出生，是男孩的概率是多少？是女孩的概率是多少？

（三）二项式展开式

在一指定大小（n）的群体中各种组合的期望值可以通过计算获得。孟德尔的以及其他一些已知的组合都可以由二项式的展开式 $(a+b)^n$ 计算出来。这里，n 是群体的大小，a 是第一事件的概率，b 是互斥事件的概率，并且 $a+b=1$。以上述婴儿为例，a＝生女孩的概率＝1/2 和 b＝生男孩的概率＝1/2。现在，如果你要解答在指定医院同一天出生 4 个婴儿的问题，请展开 $(a+b)^n$：于是，$(a+b)^4=a^4+4a^3b+6a^2b^2+4ab^3+b^4$。

生 4 个女孩的期望值$=a^4=(1/2)^4=1/16$

3 个女孩 1 个男孩的期望值$=4a^3b=4(1/2)^3(1/2)=4/16=1/4$

2 个女孩 2 个男孩的期望值$=6a^2b^2=6\ (1/2)^2\ (1/2)^2=6/16=3/8$

1 个女孩 3 个男孩的期望值$=4ab^3=4\ (1/2)\ (1/2)^3=4/16=1/4$

生 4 个男孩的期望值$=b^4=\ (1/2)^4=1/16$

1. 如果 5 个婴儿同一天在指定医院出生，那么：

(1) 5 个全是男孩的概率是多少？

(2) 4 男 1 女的概率是多少？

(3) 3 男 2 女的概率是多少？

(4) 2 男 3 女的概率是多少？

(5) 1 男 4 女的概率是多少？

(6) 5 个全是女孩的概率是多少？

要回答这个问题，展开二项式 $(a+b)^5=a^5+5a^4b+10a^3b^2+10a^2b^3+5ab^4+b^5$，并设定 $a=1/2$，$b=1/2$。然后，依次回答下列问题。

(1) ________ (2) ________ (3) ________

(4) ________ (5) ________ (6) ________

以下的公式可以满足计算任意指定群体某一组合的概率的需要：

$$P=\frac{n!}{x!(n-x)!}p^xq^{n-x}$$

这里 P 是需要计算的概率；$n!$ 是样本中变数总数目的阶乘，$n!=[n\times(n-1)\times(n-2)\times(n-3)\times\cdots\times1$，即如果一个样本由 5 个变数组成（如本节第 1 题中提到的 5 个婴儿），$n!=5\times4\times3\times2\times1=120]$；$x!$ 是一种类型 (p) 中变数数目的阶乘；$(n-x)!$ 是其余类型 (q) 变数数目的阶乘；p 是一种类型出现的概率（如上述的男孩）；q 是其余类型出现的概率（如上述的女孩）。注意，0 的阶乘 $(0!)=1$ 以及任意数的 0 次方$=1$。

2. 如果某医院同一天有 6 个婴儿出生，其中 2 个是男孩，4 个是女孩的概率是多少？代入公式：

$$P=\frac{n!}{x!(n-x)!}p^xq^{n-x}=\frac{6\times5\times4\times3\times2\times1}{(2\times1)(4\times3\times2\times1)}\left(\frac{1}{2}\right)^2\left(\frac{1}{2}\right)^4=15\times\frac{1}{4}\times\frac{1}{16}=\frac{15}{64}$$

现在，以同样计算方法，计算某一天某一医院出生 6 个婴儿当中：

(1) 1 男孩 5 女孩的概率；

(2) 3 男孩 3 女孩的概率；

(3) 6 个全是女孩的概率。

3. 人类的白化病是由隐性基因 (c) 控制的，两个色素表现正常的携带者 (Cc) 结婚，假定这样的婚姻 (Cc×Cc) 生下 4 个孩子，请计算出以下情况出现的概率：

(1) 4 个孩子全都正常的概率是多少？

(2) 3 个正常，1 个白化的概率是多少？

(3) 2 个正常，2 个白化的概率是多少？

(4) 1 个正常，3 个白化的概率是多少？

(5) 4 个全都白化的概率是多少？

(四) 两者选择其一（互斥事件）

另一个概率原理应用于解决某些问题：一个或另外两个互斥事件出现的概率是各独立事

件的概率的总和。

以下两个例子显示这一原理与遗传学研究关系密切。

1. 基因型Cc的个体产生C或者c配子的概率是多少?

显然，答案必定是1（也就是100%）；那是因为，Cc只能产生包含C或包含c的两种配子。基于现有原理，包含C的配子的概率=1/2，包含c的配子的概率=1/2。进而，包含C或者c的配子的概率是1/2+1/2=1。

2. 如果Aa与Aa交配，子代中包含基因型AA或基因型Aa的概率是多少?

AA的概率=1/4，Aa的概率=1/2，因而，1/4+1/2=3/4=AA或Aa的总概率。以下的例子显示两个（相容事件和互斥事件的）概率原理可以结合起来解决遗传学问题。

概率原理是预测双杂合杂交及三杂合杂交结果的有用工具。例如，在组合AaBb×AaBb可期望子代有1/4AA、2/4Aa和1/4aa，或者从3/4A_到1/4aa；同样，可期望1/4BB、2/4Bb和1/4bb，或者从3/4B_到1/4bb。现在，如果A（a）和B（b）基因独立分配，可以期望3/4×3/4=9/16的子代是A_B_，1/4×1/4=1/16的子代是AAbb，如此类推。以此途径解答以下问题。如果AaBb和AaBb交配，子代会出现什么样的概率?

（1）表现型aaB_或基因型AAbb的概率是多少?

（2）基因型aabb或基因型AaBb的概率是多少?

（3）表现型A_Bb或基因型AABB的概率是多少?

（4）表现型A_B_或基因型aabb的概率是多少?

（五）概率与遗传学劝喻

多数情况咨询师会为家庭或家族制备系谱，依据族谱上存在的特性（如白化）预测每个人的表现型和基因型。然后，咨询师应用概率原理预测某些婚配后代中产生白化个体的概率。

为说明如何应用这些原理，请看图1-1所示白化遗传的系谱。图1-1中假定有4个成员是白化的：第一代的女性是白化的，她的第三个女儿（个体9、10、和11的母亲），以及第三代中个体6和12。现在，由你当遗传学咨询师，以这家族中第三代的第1号个体和第10号个体的身份来问你：“如果我们结婚生下一个白化小孩的概率是多少?”

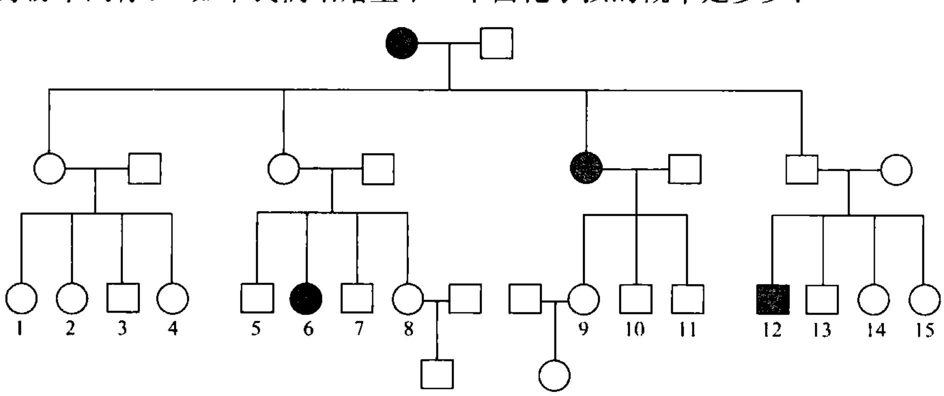

图1-1 人类白化遗传四代系谱

圆形代表女性，方形代表男性

首先，咨询师要估算 1 号和 10 号个体携带白化隐性基因的概率，再估算两个杂合体婚配产生纯合隐性小孩的概率。1 号的母亲必定是杂合体（Cc），因为她的外婆是一个白化体。1、2、3、4 号的表现型正常，可以推测 1 号个体的父亲是纯合正常（CC）的。于是，1 号个体是杂合体的概率是 1/2。10 号个体是杂合体的概率是 1（也就是 100%），因为 10 号个体的母亲是白化体（cc）。两个杂合体结婚生下白化（cc）孩子的概率是 1/4。

最后，遗传学咨询师可以劝说 1 号和 10 号个体，如果他们结婚生下一个白化孩子的概率是 1/2×1×1/4＝1/8，这是三个独立事件同时发生的概率。

图 1-1 中，12 号个体的双亲必定是杂合体。现在问，“他们的表现型正常子女中，是杂合体的概率是多少?”我们知道，Cc×Cc 的交配后代的期望概率是 1CC：2Cc：1cc，期望中 3 份（1CC＋2Cc）表现型正常的后代中有 2 份是杂合体。于是，杂合体双亲产下杂合体的概率是表现型正常子女中的 2/3。

利用该图，仍然是原来那 4 个白化体，计算以下婚配组合出现白化后代的概率（展示计算过程）。

(1) 4×5；(2) 6×10；(3) 7×14；(4) 2×10；(5) 16×15；(6) 16×17；(7) 2×12。

参考文献

杜荣骞. 1999. 生物统计学 [M]. 北京：高等教育出版社

Thomas R M, Robert L H. 2001. Genetics Laboratory Investigations [M]. 12th ed. New Jersey: A Division of Pearson Education Opper Saddle River

（戚康标）

实验2

卡平方测验

实验目的

1. 以提供的数据练习计算 χ^2 值，并测定其是否近似理论假设的期望比值。
2. 依据相应自由度，检验计算所得 χ^2 值。
3. 熟练掌握 χ^2 值的计算和利用 χ^2 值评估实验结果。

实验原理

卡平方（χ^2）测验的目的是以吻合度断定所获得的资料与理论上期望的比值是否满足或近似；也就是 χ^2 测验可以测定所得数据是否偏离吻合概率。显然，如果偏差小是因为偶然机会，偏差大则不是出于偶然机会。卡平方 χ^2 测验试图为我们解决这个问题："偏差小到何种程度才可以认为只是出于偶然机会。"卡平方 χ^2 的公式如下：

$$\chi^2 = \sum (O-E)^2/E$$

这里 O 是特定表现型个体的观察数目；E 是这一表现型在理论上期望的数目；$\sum$ 是各种表现型 $(O-E)^2/E$ 的累加值。

例如，高茎番茄和矮茎番茄杂交，F_1 全部高茎，F_2 有 102 株高茎和 44 株矮茎。这些资料是否符合 3∶1 比率？回答这个问题必须计算 χ^2 值，把计算过程综合整理于表 2-1。

表 2-1　番茄杂交实验的 χ^2 值的计算

表现型	基因型	O	E	$(O-E)$	$(O-E)^2$	$(O-E)^2/E$
高茎	T^-	102	109.5	−7.5	56.25	0.5137
矮茎	T^+	44	36.5	7.5	56.25	1.5411
合计		146	146.0			$\chi^2=2.0548$

计算所得 χ^2 值为 2.0548，χ^2 值意味着什么呢？如果实际观察值（O）精确相等于理论期望值（E），χ^2 值为 0，是一个完满的好适度。于是 χ^2 值小，表明观察结果接近期望比率；χ^2 值大，表明观察结果与期望比率存在明显差异。一般统计学家把 $P=1/20$ 或 $P=0.05$ 定为显著水平。

当两组变数自由度为 1 时，卡平方值 $\chi^2=3.841$ 的概率为 1/20 或 0.05。如果假定成立，由偶然机会同样获得卡平方 χ^2 值为 3.841 的概率是 0.05。当 χ^2 值超过 3.841 可以认为偏差是由于偶然机会引起的概率小于 0.05，观察值与期望值相抵触。在刚才的实例中，$\chi^2=$

2.0548，它小于允许最大值 $\chi^2=3.841$，$P>0.05$。因而可以认为偏差只是偶然机会，实验数据符合 3∶1 比率的假设。

表 2-2 是一个由统计学家列出的 χ^2 值表，表头的（P）值是概率值，df 是自由度（degrees of freedom）。

表 2-2 χ^2 值表

df	P=0.99	0.95	0.80	0.50	0.20	0.05	0.01
1	0.000 157	0.003 93	0.0642	0.455	1.642	3.841	6.635
2	0.0201	0.103	0.446	1.386	3.219	5.991	9.210
3	0.115	0.352	1.005	2.366	4.642	7.815	11.345
4	0.297	0.711	1.649	3.357	5.989	9.488	13.277
5	0.554	1.145	2.343	4.351	7.289	11.070	15.086
6	0.872	1.635	3.070	5.348	8.558	12.592	16.812
7	1.239	2.167	3.822	6.346	9.803	14.067	18.475
8	1.646	2.733	4.594	7.344	11.030	15.507	20.090
9	2.088	3.325	5.380	8.343	12.242	16.919	21.666
10	2.558	3.940	6.179	9.342	13.442	18.370	23.209
15	5.229	7.261	10.307	14.339	19.311	24.996	30.578
20	8.260	10.851	14.587	19.337	25.038	31.410	37.566
25	11.524	14.611	18.940	24.337	30.675	37.652	44.341
30	14.953	18.493	23.364	29.336	36.250	43.773	50.892

方法与步骤

（一）实例 1　对一批有颜色的菜豆种子进行卡平方测验

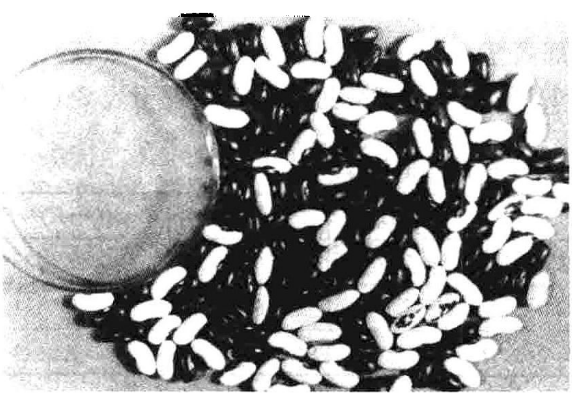

图 2-1　从有色品种和白色品种等量混合物大容器中抽样

现对一批有颜色和白色的菜豆进行精选，使它们具有相同的大小及统一的形状。实验菜豆每种颜色的数量相等，经充分混合后，放入同一容器中。

从混合的菜豆中随机抽样（从中抽取满满一塑料杯）。抽样状况见图 2-1。

分离和计数不同颜色的菜豆，把数据记录在表 2-3，然后依样本大小计算期望值，完成表 2-3 并计算 χ^2 值。

表 2-3　从有色和白色菜豆等量混合物大群体中抽样计算 χ^2 值

表现型	观察值（O）	期望值（E）	偏差（$O-E$）	$(O-E)^2$	$(O-E)^2/E$
有色的					
白色的					
合计					χ^2=

1. 检测 χ^2 值的自由度是多少?
2. 根据表 2-3 数据计算 χ^2 值，用表 2-2 检测，依次把使用的自由度值列于表 2-4。
3. 根据表 2-4 所列，该 χ^2 值的概率是多少?
4. 简单描述你计算的 χ^2 值。
5. 把你计算的 χ^2 值填写在表 2-4 中（填在相应 P 值之下）。

表 2-4　各组从含有白色、有色菜豆大群体中抽样计算的 χ^2 值

df	P=0.99	0.95	0.80	0.50	0.20	0.05	0.01

表 2-4 和表 2-2 是一样的，但是表 2-4 是提供全班所有成员记录各人所计算的 χ^2 值的。完成该表可以看到全班的整个实验计算的 χ^2 值分布。于是，尽管已知受试群体是等量的白色菜豆和有色菜豆混合物，随机抽样的总体结果大体接近1∶1 的期望比值。然而，仍然期望有大约 5%样本等于或接近 3.841。

（二） 实例 2　对实验 1 抛掷钱币进行卡平方测验

把实验 1 的表 1-1 抛掷钱币的数据资料抄录到表 2-5，并计算 χ^2 值。接下来依次列出与你计算的 χ^2 值相关的自由度（df）及相应 P 值，讨论你的资料是否接近或满足期望比率。

表 2-5　以实验 1 的数据计算χ^2值（数据来源于表 1-1）

结果	O	E	$O-E$	$(O-E)^2$	$(O-E)^2/E$
正面向上					
反面向上					
合计	24				$\chi^2=$
df					
P 值					

请判定，（接受/否定）该数据资料接近期望的 1∶1 比值。

把实验 1 中的表 1-2 的数据资料抄录到表 2-6，计算χ^2值，并作简要说明。

表 2-6　以实验 1 的数据计算χ^2值（数据来源于表 1-2）

结果	O	E	$O-E$	$(O-E)^2$	$(O-E)^2/E$
两枚正面向上					
一正面向上					
一反面向上					
两枚反面向上					
合计	36				$\chi^2=$
df					P 值