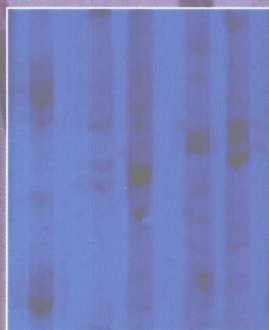
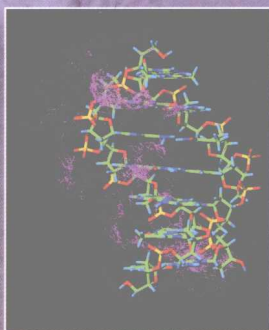
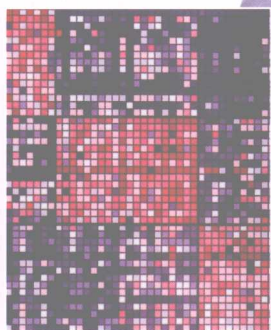


遗传学实验教程

主编 王金发 戚康标 何炎明

Experimental Course of Genetics



高等教育出版社
Higher Education Press



遗传学实验教程

主 编 王金发 戚康标 何炎明

编写人员 (按姓氏拼音排序)

冯冬茹 何炎明 黎 茵 刘 兵

戚康标 王宏斌 王金发

Experimental Course of Genetics



高等教育出版社
Higher Education Press

内容提要

本书是一本指导遗传学实验操作技能的教材,以面向 21 世纪遗传学的发展趋势、实际教学与研究工作的需要为原则编写。全书共有 52 个实验,在这些实验中,既有通过精心选择的经典实验,又有紧靠学科发展前沿的综合性实验,实验内容包括细胞遗传、数量遗传、微生物遗传、分子遗传等领域,内容丰富,涵盖面较广,基本适应了不同层次教学与科研的需要。

本书的主要特点是在编写上结合实际的教学经验和体会,对每个实验的目的、原理、操作技术要点做了比较详细的介绍,实验后面附有具体的作业或思考题,书的最后有附录,介绍常用的试剂配制方法,以方便查找与使用。全书所选实验内容精练,重点突出,图文翔实,易读实用,可作为综合性大学、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,也可以作为相关的科研技术人员的参考书。在选用本书时,由于各学校所开实验的课时有限,而本书实验内容较多,因此在使用时,可根据各自所需,对书中的实验内容作自行选择。

图书在版编目(CIP)数据

遗传学实验教程/王金发,戚康标,何炎明主编. —北京:高等教育出版社,2008. 2

ISBN 978 - 7 - 04 - 023128 - 1

I. 遗… II. ①王…②戚…③何… III. 遗传学 - 实验 - 高等学校 - 教材 IV. Q3 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 003717 号

策划编辑 王 莉 责任编辑 张晓晶 封面设计 张 楠 责任绘图 朱 静
版式设计 范晓红 责任校对 张 颖 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京新丰印刷厂

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 16.25
字 数 390 000

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008 年 2 月第 1 版
印 次 2008 年 2 月第 1 次印刷
定 价 19.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 23128-00

前 言

1866年,孟德尔发表了《植物杂交的试验》的论文,1900年,德·弗里斯、科伦斯和切尔马克3位科学家证明了孟德尔的遗传学基本定律,为遗传学的确立与发展奠定了基础,从此遗传学得到了公认和广泛应用,并极大地推动了遗传学和育种学的发展。20世纪初,由于分子生物学、物理学、化学等学科的发展与渗透,遗传学利用了这些交叉学科进行实验与研究,促进了遗传学的又一次大飞跃,至1953年,沃森和克里克发现了DNA双螺旋结构,此后以分子遗传学为中心的现代遗传学得到了空前发展,同时带动了整个生物学的迅猛发展。1997年2月,由英国科学家伊恩·威尔穆特培育成功的世界第一只克隆羊“多利”诞生。进入21世纪,由美、英、日、德、法、中等6国科学家共同完成了当代生命科学一项伟大的科学工程——人类基因组计划,这些划时代的科研成果,标志着遗传学进入了又一个崭新的发展时期。

我们在回顾遗传学的整个发展史中可以看到,遗传学既是一门历史悠久的学科,又是一门发展迅猛的前沿学科,遗传学的高速发展离不开大量的实验设计与研究。遗传学实验是遗传学教学的重要组成部分,但目前我们大多使用的遗传学实验教材,都是20世纪80年代出版的教材,我们觉得已经远远不能满足开放式、研究性实验教学的需要。为了使遗传学实验教学这一古老而又飞速发展的基础学科,在实验内容上做到更加丰富多彩,与时俱进,更加适应广大教师和学生的需求,我们根据多年来在遗传学实验教学中积累的经验和实验素材,参考国内外的有关文献资料,编写成《遗传学实验教程》一书,目的是让学生能更方便地掌握更多遗传学研究的最基本方法,为生命科学研究打下坚实和广泛的基础。

本实验教材共有52个实验,除了精选的遗传学经典实验外,还增加了较大篇幅的细胞遗传学、微生物遗传学和分子遗传学等综合性的遗传学实验,在编写过程中我们尽量做到内容精练、方法成熟、知识丰富、涵盖面广,使实验的操作更加便捷,更适应教师和学生实验内容的选择。

本实验教材在编写过程中得到“国家理科基础科学研究与教学人才培养基地建设基金”、“2005年国家教育部教学改革研究项目”、“中山大学实验教学改革与研究项目”、“中山大学生命科学学院教材改革项目”和“中山大学博学工程二期教改项目”的资助,在此表示感谢!

在编写本教材中,由于编者水平有限,书中可能存在不少问题和错误,我们真诚地欢迎广大读者给予批评指正。

编 者
2007年7月

目 录

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	果蝇的三点测交与遗传作图	27
实验 7	粗糙链孢霉的分离和交换	32
实验 8	果蝇的伴性遗传	38
实验 9	果蝇数量性状实验	42
实验 10	多基因遗传的人类指纹峰分析	47
实验 11	基因型与环境的互作分析	53
实验 12	数量性状遗传的统计分析与估算	58
实验 13	摇蚊多线染色体的斑带和疏松区	64
实验 14	果蝇唾腺染色体标本制备和染色体特征观察	70
实验 15	细胞减数分裂	76
实验 16	植物多倍体的诱发与鉴定	81
实验 17	植物染色体分带技术	85
实验 18	人体外周血淋巴细胞培养与染色体标本制备	89
实验 19	人类染色体分带技术	93
实验 20	人类染色体组型分析	99
实验 21	姐妹染色单体色差分析	102
实验 22	人体细胞性染色质的检测	107
实验 23	水稻花药培养诱导单倍体植株	112
实验 24	原生质体的分离和培养	117
实验 25	植物体细胞杂交	121
实验 26	微核检测技术	124
实验 27	染色体隐性突变的检测	127
实验 28	细菌诱变	130
实验 29	绿色荧光蛋白(GFP)基因的定点突变	136
实验 30	绿色荧光蛋白(GFP)基因的定点突变片段的亚克隆	140
实验 31	绿色荧光蛋白(GFP)突变基因在大肠杆菌中的表达与检测	145
实验 32	细菌转导	148
实验 33	植物基因转化	152
实验 34	显微注射法制备转基因小鼠	155

实验 35	大肠杆菌质粒 DNA 的转化	160
实验 36	质粒 DNA 的提取与电泳检测	163
实验 37	DNA 的限制性内切酶酶切	168
实验 38	PCR 扩增基因片段	171
实验 39	动物基因组总 DNA 的分离	175
实验 40	CTAB 法分离植物细胞总 DNA	179
实验 41	CTAB 法分离微量植物细胞总 DNA	182
实验 42	SDS 法分离植物细胞总 DNA	185
实验 43	植物细胞线粒体 DNA 的提取	188
实验 44	植物细胞叶绿体 DNA 的分离纯化	191
实验 45	植物细胞总 RNA 的提取	195
实验 46	DNA 探针的非同位素标记	198
实验 47	DNA 的 Southern 印迹技术	202
实验 48	探针与尼龙膜上 DNA 的 Southern 杂交	205
实验 49	人类染色体荧光原位杂交技术	208
实验 50	随机扩增多态性 DNA 分析	213
实验 51	植物叶片 PCR	217
实验 52	cDNA 文库的构建	219
附录 1	实验室常用溶液的配制	222
	I 常用酸溶液的简便配制	222
	II 常用碱溶液的简便配制	223
	III 常用盐溶液的配制方法	224
	IV 常用蛋白质相对分子质量标准参照物	224
	V 化学试剂的级别与用途	225
附录 2	细菌培养基的配制	226
附录 3	粗糙链孢霉培养基的配制	228
附录 4	几种常用的植物组织培养基配方	230
附录 5	常用染色液和试剂的配制	232
	I 常用染色液的配制	232
	II 实验室常用试剂的配制	234
	III 组织和细胞培养常用溶液的配制	236
附录 6	常用缓冲溶液的配制方法	239
附录 7	χ^2 分布的上侧临界值表	247

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字概念, 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, 可以以概率原理劝说可能生育异常孩子的双亲, 并进一步制定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, 一个钱币掷起、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, 最终出现的结果是出于概率。当把一枚钱币抛掷多次, 可以期望大约一半正面向上, 一半反面向上。

1. 把一枚钱币抛掷 24 次, 记录结果如表 1-1, 计算正、反面出现的期望值和测定观察

值与期望值之差($O-E$)。标明每个偏差值的正负值。那么,偏差的总和是什么?

表 1-1 抛掷钱币 24 次的结果

结果	观察数目(O)	期望数目(E)	偏差($O-E$)
正面			
反面			
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 $Aa \times aa$ 交配,后代基因型 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,2 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 2 枚或多枚钱币一起抛掷,每一个钱币是独立的,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 2 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	—	36		

1. 如果 2 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 $1/2$,2 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_____;

2 枚钱币均反面向上的概率与 2 枚钱币正面向上的概率是_____。

总之,把 2 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 $1/4 aa$ 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 2 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 代表一个钱币的正面, 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	$1/2 \times 1/2 \times 1/2 = 1/8$		8	
2H,1T	HHT,HTH,THH				
1H,2T					
3T					
合计			64		

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,以字母 H 和 T 代表钱币的正、反面组合,完成表 1-4,展示不同组合的出现概率。

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	$1/2 \times 1/2 \times 1/2 \times 1/2 = 1/16$
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,问题有:

(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概率的需要:

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

这里 P 是需要计算的概率, $n!$ 是样本中变数总数目的阶乘积, $n! = [n \times (n-1) \times (n-2) \times (n-3) \times \dots \times 1]$; 也就是, 如果一个样本由 5 个变数组成(如前述提到的 5 个婴儿), $n! = 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1 = 120$, $x!$ 是一种类型(p)中变数数目的阶乘积, $(n-x)!$ 是其余类型(q)变数数目的阶乘积, p 是一种类型出现的概率(例如上述的男孩), q 是其余类型出现的概率(例如上述的女孩)。注意, 0 的阶乘积($0!$)=1 以及任意数的 0 次方等于 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:

$$\begin{aligned} P &= \frac{n!}{x!(n-x)!} p^x q^{n-x} \\ &= \frac{6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1}{(2 \times 1)(4 \times 3 \times 2 \times 1)} \left(\frac{1}{2}\right)^2 \left(\frac{1}{2}\right)^4 \end{aligned}$$

$$= 15 \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{16}$$

$$= \frac{15}{64}$$

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 个男孩,5 个女孩的概率。

(2) 3 个男孩,3 个女孩的概率。

(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($Cc \times Cc$)生下 4 个孩子,

(1) 4 个孩子全都正常的概率是多少?

(2) 3 个孩子正常,1 个孩子白化的概率是多少?

(3) 2 个孩子正常,2 个孩子白化的概率是多少?

(4) 1 个孩子正常,3 个孩子白化的概率是多少?

(5) 4 个孩子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 2 种配子。基于现有原理, $1/2 =$ 包含 C 的配子的概率, $1/2 =$ 包含 c 的配子的概率。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 $AaBb \times AaBb$ 中可期望子代有 $1/4AA$, $2/4Aa$ 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 $3/4 \times 3/4 = 9/16$ 的子代是 $A_B_$, $1/4 \times 1/4 = 1/16$ 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) 表型 $aaB_$ 或基因型 $AAbb$ 的概率?

(2) 表型 $aabb$ 或基因型 $AaBb$ 的概率?

(3) 表型 A_Bb 或基因型 $AABB$ 的概率?

(4) 表型 $A_B_$ 或基因型 $aabb$ 的概率?

(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 3 个女儿(个体 9、10 和 11 的母亲),以及第 3 代中个体 6 和 12。现在,由你当遗传学咨询师,这家族中第 3 代的第 1 号个体和第 10 号个体来问你:“如果我们结婚生下一个白化小孩的概率是多少?”

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 $1/2 \times 1 \times 1/4 = 1/8$,这是 3 个独立事件同时发生的概率。

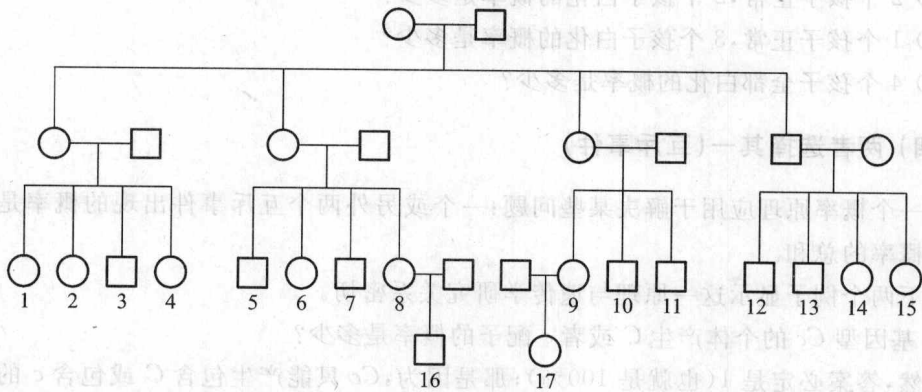


图 1-1 人类白化遗传四代系谱

圆形代表女性,方形代表男性

图中,12 号个体的双亲必定是杂合体。现在问“他们的表型正常子女中,是杂合体的概率是多少?”我们知道, $Cc \times Cc$ 的交配后代的期望比率是 $1CC : 2Cc : 1cc$,期望 3 份($1CC + 2Cc$)表型正常的后代中有 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】

THOMAS R M, ROBERT L H. Genetics-laboratory Investigations[M]. 12th ed, New Jersey: A Division of Pearson Education Upper Saddle River, 2001.

杜荣骞. 生物统计学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.

(戚康标)

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率。
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)测验的目的是以好适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好适概率。显然,如果偏差小是因为偶然机会,偏差大则不是出于机会。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 代表特定表型个体的观察数目, E 代表这一表型在理论上期望的数目, \sum 代表各种表型 $(O-E)^2/E$ 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, 是一个完美的好适度。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 $P=0.05$ 定为显著标准。

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 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少于 0.05,观察值与期望值相抵触。在刚才的实例中, $\chi^2 = 2.0548$,它少于允许最大值 $\chi^2 = 3.841$, $P > 0.05$ 。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	0.064 2	0.455	1.642	3.841	6.635
2	0.020 1	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) 对一批有颜色的菜豆种子进行卡平方测验

现对一批有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。



图 2-1 从有色和白色菜豆等量混合物大容器中抽样

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					$\chi^2 =$

- (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(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

自由度	P=0.99	0.95	0.80	0.50	0.20	0.05	0.01

该表和表 2-2 是一样的, 但是这个表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 的期望比率。然而, 仍然期望有大约 5% 样本等于或接近 3.841。

(二) 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				$\chi^2 =$
自由度					
P 值					

(接受/否定)该数据资料接近期望的 1:1 比率。

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, 作一简要说明。

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					
一枚正面向上					
一枚反面向上					
两枚反面向上					
合计	36				$\chi^2 =$
自由度					P 值

(接受/否定)该数据资料接近期望的 1:1 比率。

(三) 使用计算器计算 χ^2 值并回答问题

手持计算器,实际操作问题略。

练习题:

1. 表 2-7 是双杂合杂种 F_2 的数据资料,这些资料支持独立分配的假说吗? 完成该表,计算 χ^2 值,依据计算结果回答问题。

表 2-7 双杂合杂种 F_2 的数据 χ^2 测验

表型	O	E	O-E	(O-E) ²	(O-E) ² /E
A_B_	406				
A_bb	149				
aaB_	162				
aabb	51				
合计					$\chi^2 =$

(1) 简要说明这一 χ^2 值,这组数据的自由度是_____。

(2) 依据测定结果(接受/否定)这些双杂合杂种分离比率资料接近或符合独立分配假说。

(3) 什么只是由机遇引起的偏差?

(4) 用提供的资料完成下表,测定每对基因的行为是否符合孟德尔第一定律 3:1 比率。

假设	χ^2 值	P 值	接受/否定假设
3A_ : 1aa	_____	_____	_____
3B_ : 1bb	_____	_____	_____

2. 表 2-8 是双杂合杂种的测交资料,这些资料符合独立分配的期望比率吗? 完成该表,计算 χ^2 值,并回答与计算相关的问题。

表 2-8 双杂合杂种的测交数据 χ^2 测验

表型	O	E	O-E	(O-E) ²	(O-E) ² /E
A_B_	132				
A_bb	86				
aaB_	90				
aabb	126				
合计					$\chi^2 =$

- (1) 简要说明这一 χ^2 值, 这组数据的自由度是_____。
- (2) 依据测定结果(接受/否定)这些双杂合杂种分离比率资料接近或符合独立分配假说。
- (3) 什么只是由机遇引起的偏差?
- (4) 用提供的资料完成下表, 测定每对基因的行为是否符合孟德尔第一定律 1:1 比率。

假设	χ^2 值	P 值	接受/否定假设
1Aa : 1aa			
1Bb : 1bb			

3. 一些研究资料显示, 美国白人群体 ABO 血型的大致频率是: 41%A, 9%B, 3%AB 和 47%O。完成表 2-9, 计算 χ^2 值, 依据你的计算结果回答问题。

表 2-9 美国白人群体 ABO 血型出现频率 χ^2 测验

表型	O	E	O-E	(O-E) ²	(O-E) ² /E
A	326				
B	82				
AB	27				
O	404				
合计					$\chi^2 =$

- (1) 简要说明这一 χ^2 值, 这组数据的自由度是_____。
- (2) 依据测定结果(接受/否定)美国白人群体血型分布频率的假设。
- (3) 什么只是由机遇引起的偏差?

4. 依据概率理论和二项式展开式, 由 4 个孩子组成的家庭, 其中的 1/16 会有 4 个男孩; 4/16 会有 3 个男孩, 1 个女孩; 6/16 会有 2 个男孩, 2 个女孩; 4/16 会有 1 个男孩, 3 个女孩; 1/16 会有 4 个女孩。以这些资料完成表 2-10, 计算 χ^2 值, 依据计算结果回答问题。