

# 心理学实验的数据分析

—— 基本原理和基本内容

The Fundamental Principles and Aspects in the  
Analyzing of the Data of Psychological Experiment

仲晓波 著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

教育部人文社会科学研究规划基金项目

(项目批准号:12YJA190026)

# 心理学实验的数据分析

——基本原理和基本内容

仲晓波 著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

心理学实验的数据分析：基本原理和基本内容 / 仲晓波著. —杭州：浙江大学出版社，2013. 5

ISBN 978-7-308-11541-4

I. ①心… II. ①仲… III. ①心理学—实验数据—分析 IV. ①B84—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 107073 号

## 心理学实验的数据分析

——基本原理和基本内容

仲晓波 著

- 
- 策划编辑 徐 婵  
责任编辑 何 瑜  
封面设计 续设计  
出版发行 浙江大学出版社  
(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)  
(网址: <http://www.zjupress.com>)  
排 版 杭州中大图文设计有限公司  
印 刷 浙江省良渚印刷厂  
开 本 880mm×1230mm 1/32  
印 张 5.625  
字 数 116 千  
版 印 次 2013 年 5 月第 1 版 2013 年 5 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-308-11541-4  
定 价 29.00 元
- 

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571)88925591

# 目 录

<b>第一章 前言</b> .....	1
第一节 心理学实验的基本特征 .....	1
第二节 本书的内容和结构 .....	3
<b>第二章 概率论基础</b> .....	6
第一节 概率空间 .....	6
第二节 随机变量及其分布 .....	11
第三节 随机变量的数字特征 .....	17
第四节 统计量及其分布 .....	20
<b>第三章 心理学实验数据分析的基本内容</b> .....	26
第一节 假设检验 .....	27
第二节 效应值估计 .....	35
第三节 回应针对假设检验的批评 .....	40

## 2 心理学实验的数据分析

第四节	关于 Killeen 提出的报告实验结果的方法 .....	47
第五节	应该怎样报告心理学实验的结果? .....	53
第六节	预测的线性回归方法 .....	56
<b>第四章</b>	<b>方差分析</b> .....	<b>67</b>
第一节	单自变量的方差分析 .....	68
第二节	两自变量的方差分析 .....	77
<b>第五章</b>	<b>提高实验数据分析精度的一些方法</b> .....	<b>89</b>
第一节	样本容量的扩大 .....	90
第二节	统计量的选取 .....	97
第三节	组内设计相比于组间设计的价值 .....	100
第四节	被试抽样方法对检验效力和效应估计精度的影响 .....	109
<b>第六章</b>	<b>协变量的测量和使用</b> .....	<b>116</b>
第一节	数据分析方法 .....	117
第二节	协方差分析相比于组间设计的价值 .....	123
第三节	ATI 问题 .....	131
第四节	多因变量实验的数据分析方法 .....	132

第七章 元分析方法中的一些理论问题 .....	136
第一节 元分析中的取样片面性问题 .....	137
第二节 元分析价值的置信区间表示 .....	144
第三节 单项研究不同质时的元分析方法 .....	153
参考文献 .....	157
附录一 大数定理和中心极限定理 .....	161
附录二 一些常用的参数估计方法 .....	165
索 引 .....	168
后 记 .....	173

# 第一章 前 言

## 第一节 心理学实验的基本特征

### 1. 心理学实验的基本概念

一般地说,任何科学实验所探究的都是自变量对因变量的影响。心理学实验区别于其他经验科学实验的特点是其因变量是人的行为。比如,如果一个实验探究的是室内光线对室内花草的影响,这样的实验属于植物学研究;而如果一个实验探究的是室内光线对人的阅读效果的影响,这样的实验就属于心理学研究。

一直以来心理学研究人员为心理学实验设置的目的是探明两个基本问题:某个自变量对某个因变量是否有影响?如果有影响的话,这种影响的强度怎么样?表现在数据分析上,前者由假设检验完成,后者由效应值估计来完成。

为了达成这样的目的,研究人员首先设置自变量取一些不同

## 2 心理学实验的数据分析

的值(取值的数目称为自变量的水平),然后从研究总体中抽取出一一些被试,分别安排在这些自变量不同取值的情境中,然后测量这些不同情境中被试的因变量数值,通过比较这些不同组(情境)被试的因变量数值,推断自变量是否对因变量有影响,并估计这种影响的强度。

可以按照自变量和因变量的个数将心理学实验分为下面的四类:

- (1)单自变量单因变量实验;
- (2)多自变量单因变量实验;
- (3)单自变量多因变量实验;
- (4)多自变量多因变量实验。

在多自变量的情况下,有时一个自变量是否对因变量有影响或者这种影响的大小受到另一个自变量取值的影响,这种情况称之为两个自变量的交互效应。

### 2. 心理学实验中的额外变量

影响因变量的除了实验者操纵的自变量外,其他的所有的因素称为额外变量,它分为两种情况:一种是随自变量变化而发生定向变化的非随机变量;另一种是源于被试个体差异的随机变量。前一种情况属于自变量混淆,在心理学实验中应该避免,自变量混淆关乎实验的内部效度。自变量混淆会导致作出错误的统计推断的可能性增加,并会导致效应值估计发生系统误差。后一种情况



会导致统计推断的检验效力降低和效应估计值的偶然误差,这方面的影响无法消除,但能通过一些技术手段尽量降低。

分别对应于上面的两种情况,心理学中的实验设计也有着两种不同的含义。第一种含义的实验设计实现自变量控制防止自变量混淆,这方面的技术手段与具体的研究问题有关。由于人的心理和行为对外界刺激的敏感性,使得心理学实验极易产生自变量混淆,而由于心理学实验受到较多的伦理学方面限制,使得在一些情况下自变量控制很困难。心理学实验与其他经验科学的实验相比,一个显著特征是心理学研究人员在实验的自变量控制方面所表现出来的技巧和智慧。第二种含义的实验设计指的是利用统计学上一些技术手段降低随机因素对因变量的影响,本书所涉及心理学实验设计是第二种含义下的实验设计。

## 第二节 本书的内容和结构

### 1. 写作本书的动因

由于心理学研究中所涉及变量的随机性,使得统计学成为心理学研究必不可少的数学工具。但是现在流行的各种各样的心理统计学专著和教科书都明显存在这样的问题:在广度方面能满足要求,而在深度方面却不能满足心理学研究及其发展的需求。与此相关,在心理学研究人员中一个流行的观念是:对于这些统计学

工具我们只要会用就行了,它们所依据的数学原理我们不需要了解。计算机统计软件的使用和普及也强化了这种观念,这些软件屏蔽了心理学研究数据统计分析中的数学原理。

心理统计学的这种状况和一些非数学专业的理工科统计学专著或者教科书相比形成鲜明的反差。在这些专著中,除了介绍统计分析的基本过程外,对这些过程所依据的数学原理也给出了清晰的说明(虽然没有数学类专著那么繁琐详细),从而使得读者不但知其然,而且知其所以然。我们认为心理统计学也应该取这样的方向,因为只有了解相关的数学原理的前提下,对统计工具的使用才会准确,对相应的数据分析结果的解释也才会合理。我们希望这本书成为现在所流行的心理统计学著作在这个方向上的一个补充。

另一方面,一直以来,假设检验是心理学研究处理数据最基本的方法。但是近年来在心理统计学研究中出现了许多针对性的批评,这些批评也引起了人们对一些相关问题的争议和讨论。有学者认为,这些批评和争议将会引发心理学研究方法论的一场革命。介绍这些热点问题并提出看法是我们写作此书的第二个动因。

## 2. 本书的内容安排

在以下的章节中,我们将这样安排本书的内容:

第二章介绍相关的概率论知识,这一部分是后面几章的基础。第三章介绍心理学实验中基本的数据分析过程及其原理。在这一

章中,我们将重点介绍心理统计学关于假设检验的争议,并且也将提出解决这些争议的方法,我们将说明以效应值置信区间报告心理学实验结果的优点,我们还将说明因变量预测区间也应该成为报告心理学实验结果的一个必不可少的内容。第四章介绍方差分析方法及其所依据的原理,这一章是第三章的扩展和延伸。第五章介绍提高心理学实验数据分析精度的一些基本方法并说明其原理。第六章对协方差分析这种提高实验数据分析精度的方法专门予以介绍。第七章介绍在心理学中目前流行的元分析方法所涉及的一些理论问题。

我们将以数学原理解释和计算机仿真数据的分析相结合的方式实现对一些统计学原理的说明。计算机仿真绕过了一些繁琐的数学证明,对统计学规律的说明直观且易于理解,因而是心理统计学中目前常用的研究方法。我们选用的统计仿真以及相应的数据分析工具是 MATLAB 7.0。

## 第二章 概率论基础

### 第一节 概率空间

#### 1. 随机事件与样本空间

##### 1.1 随机试验与随机事件

对客观现象作一次观察或者测量,称为一个试验。如果这个试验在相同条件下可以重复进行,并且每次试验的结果在试验前不可预测,那么它就是一个随机试验。

在一个试验下,不管事件有多少个,总可以从其中找出这样一组事件,它具有如下性质:

(1) 每进行一次试验,必须发生且只能发生这一组中的一个事件;

(2) 任何事件,都是由这一组中的部分事件组成的。

这样一组事件中的每一个事件称为基本事件,或称为样本点,记为 $\omega$ 。随机试验的全体样本点组成的集合称为这个试验的样本空间,记为 $\Omega$ 。一般意义下的随机事件(简称事件)是样本空间中样本点的某个集合 $A$ 。所谓事件 $A$ 发生,是指在一次试验中当且仅当包含在 $A$ 中的某个样本点出现。这样事件就和样本空间中的集合一一对应。

如果一个事件作为一个集合包含样本空间的所有点,它称为必然事件,它在每次试验中必然发生;如果一个事件作为一个集合不包含样本空间的任何点,称为不可能事件,它在每次试验中必然不发生。需要说明的是:这里的必然和不可能在概念上属于逻辑上的必然或者不可能,而不属于经验上的必然或者不可能。

如果事件 $A$ 的组成部分也是事件 $B$ 的组成部分,则称 $B$ 包含 $A$ ,记为 $A \subset B$ 。

如果同时有 $A \subset B, B \subset A$ ,则称事件 $A$ 与事件 $B$ 等价,或称 $A$ 等于 $B$ ,记为 $A = B$ 。

## 1.2 事件的运算

事件的和:如果 $C$ 表示“事件 $A$ 和事件 $B$ 中至少有一个发生”这个事件,称它为 $A$ 与 $B$ 的并(有时也称和),记为 $C = A \cup B$ 或者 $C = A + B$ 。

事件的交:如果 $C$ 表示“事件 $A$ 和事件 $B$ 同时发生”这个事件,称它为 $A$ 与 $B$ 的交(有时也称积),记为 $C = A \cap B$ ,简记为

$$C = AB。$$

显然,正如事件对应着集合,事件的并和交分别对应于事件相应的集合的并和交。

易于证明:必然事件和任何事件的和是必然事件,必然事件和任何事件的交是这个事件本身;不可能事件和任何事件的和是这个事件本身,不可能事件和任何事件的交都是不可能事件。

如果两个事件的交是不可能事件(即这两个事件不可能同时发生),则称这两个事件互不相容。显然,基本事件是互不相容的。

属于 $A$ 而不属于 $B$ 的部分所构成的事件,称为 $A$ 与 $B$ 的差,记为 $A - B$ 。显然,基本事件之间的差是不可能事件。

## 2. 事件的概率

### 2.1 概率的定义

设随机试验 $E$ 的样本空间为 $\Omega$ 。若按照某种方法,对 $E$ 的每一事件 $A$ 赋予一个实数 $P(A)$ ,且 $P(A)$ 满足以下条件:

$$(1) P(A) \geq 0;$$

$$(2) P(\Omega) = 1;$$

(3) 对于任意两个互不相容的事件 $A$ 和 $B$ 有: $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$ 。

则称 $P(A)$ 为事件 $A$ 的概率。

需要说明的是,在确定了试验和样本空间之后,满足上述概率

定义三个条件的  $P(A)$  不是唯一的。如果按照公式

$$P(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\text{事件 } A \text{ 呈现的次数 } m}{\text{试验的次数 } n} \quad (\text{公式 2.1})$$

定义事件  $A$  的概率,显然这种定义符合上述三个条件。这种概率定义的直观意义是:事件的概率是这个事件出现的可能性的。大小。在统计学中使用的就是这种概率的定义。

## 2.2 概率的一些性质

从上述关于概率的定义可以得到下面的结论:

(1) 不可能事件的概率为 0;

(2) 加法公式:  $P(A + B) = P(A) + P(B) - P(AB)$ , 当  $P(AB) = 0$  时,  $P(A + B) = P(A) + P(B)$ ;

(3) 减法公式:  $P(A - B) = P(A) - P(AB)$ , 当  $B \subset A$  时,  $P(A - B) = P(A) - P(B)$ 。

由加法公式可得:任何一个事件的概率是这个事件所包含的基本事件的概率之和。因此,一个样本空间的基本事件的概率确立之后,那么所有事件的概率都能得以确立。

## 3. 条件概率与事件的独立性

### 3.1 条件概率的定义

设  $A$  和  $B$  为对应于同一试验的两个事件,且  $P(B) > 0$ , 定义

$$P(A | B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (\text{公式 2.2})$$

### 3.2 条件概率的直观意义

显然,对于任何一个事件  $A$  都有

$$P(A) = P(A | \Omega) \quad (\text{公式 2.3})$$

考虑到  $P(A)$  是定义在  $\Omega$  上的,并且  $\Omega$  是必然事件,那么  $P(A)$  实际上应该理解成:在  $\Omega$  发生的情况下,事件  $A$  的概率。

所以,由公式 2.3 可得: $P(A | \Omega)$  也应该理解成,在  $\Omega$  发生的情况下事件  $A$  的概率。把这种理解泛化,就得到: $P(A | B)$  的含义就是,事件  $B$  发生的条件下事件  $A$  发生的条件概率。

### 3.3 乘法公式

设有事件  $A$  和  $B$ ,若  $P(A) > 0$ ,或  $P(B) > 0$ ,则由公式 2.2 得

$$P(A \cap B) = P(A)P(B | A),$$

或

$$P(A \cap B) = P(B)P(A | B)。$$

### 3.4 全概率公式

设  $\Omega$  为实验  $E$  的样本空间, $B_1 B_2 \cdots B_n$  为  $\Omega$  的一组事件,若它们两两互不相容并且它们的和为  $\Omega$ (这样的一组事件称为  $\Omega$  的一个划分),则如果  $A$  为样本空间  $\Omega$  的事件,且  $P(B_i) > 0 (i = 1, 2, \dots, n)$ , 则

$$P(A) = P(B_1)P(A | B_1) + P(B_2)P(A | B_2) + \cdots + P(B_n)P(A | B_n)。$$

这一公式称为全概率公式。



### 3.5 贝叶斯公式

设  $A$  为样本空间  $\Omega$  的事件,  $B_1, B_2, \dots, B_n$  为  $\Omega$  的一个划分, 且  $P(A) > 0, P(B_i) > 0$ , 则

$$P(B_i | A) = \frac{P(B_i)P(A | B_i)}{\sum_{i=1}^n P(B_i)P(A | B_i)}, i = 1, 2, \dots, n,$$

(公式 2.4)

这一公式称为贝叶斯公式。

### 3.6 事件的相互独立性

设事件  $A$  和  $B$  满足  $P(AB) = P(A)P(B)$ , 则称事件  $A$  和  $B$  是相互独立的。若事件  $A$  和  $B$  相互独立, 且  $P(A) > 0$ , 则可以证得:

$$P(B | A) = P(B),$$

$$P(A | B) = P(A).$$

## 第二节 随机变量及其分布

### 1. 随机变量及其函数

设  $\Omega$  是某随机试验的样本空间, 若对  $\Omega$  中每个基本事件  $\omega$  都有唯一的实数  $X(\omega)$  与之对应, 则称  $X(\omega)$  为随机变量。

设  $X, Y$  为定义在同一个样本空间  $\Omega$  上的两个随机变量, 则  $(X, Y)$  称为二维随机变量。显然, 随机变量的函数也是随机变量。