



科学实验设计一百例评注

楊紀珂

科学普及出版社

內 容 提 要

实验設計是整个科学实验过程中的一个不可缺少的环节。实验設計以数理統計为基础，是数理統計的一个分支。本书介紹的内容所側重的是实验設計的方面。

本书介紹了一百个具有一定示范性特点的例子，并加以简单的評注。虽然，每个例子并不是一个从头到尾的完整的例子，有些只是个别片段，有些还不太具体，但借每个例子可以說明一个論点或窍门。如把它們貫穿起来，也許能給大家以一种影象和概念，知道实验設計究竟是怎么一回事。讀者如能从这些例子中举一反三，也許能够得到更大的帮助和启发。

总号：125

科学实验設計一百例評注

編 著 者： 楊 紀 珂

出 版 者： 科 学 普 及 出 版 社

(北京市西便門外郝家灣)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 112 号

发 行 者： 新 华 书 店

印 刷 者： 北 京 市 印 刷 一 厂

开 本： 787 × 1092 $\frac{1}{32}$ 印张： 5 $\frac{1}{32}$

1965年8月第 1 版 字数： 96,000

1965年8月第 1 次印刷 印数： 40,100

統一书号： 17051 · 006

定价： (2) 0.45 元

51.72
682

科学实验设计 一百例评注

楊紀珂編著

科学普及出版社
一九六五年·北京

目 次

前言	8
----------	---

1 科学实验中的比较

例 1 在农业中的比较实验	11
例 2 在工业中的比较实验	12
例 3 在氮肥实验中的对照组	14
例 4 在药物的生物鉴定法中的比较实验	14
例 5 临床比较实验	15
例 6 有关判据的一些例子	16
例 7 在作物实验中的系统误差	18
例 8 在高炉实验中的系统误差	19
例 9 在家畜饲养实验中的系统误差	19
例 10 在大家鼠实验中的系统误差	20
例 11 大麦实验的推广问题	21
总结	22

2 基本的假定

例 12 适用可加性假定的例子——施肥实验比较	23
例 13 药物的生物鉴定实验中药力的度量问题	24
例 14 在除莠剂实验中的除莠率问题	27
例 15 怎样使计数数据满足方差齐性的假定	28
例 16 在稀有金属提取过程实验中的原料问题	31
例 17 在一项头痛药实验中的病型问题	32
例 18 在工业实验中的前后牵连问题	33
例 19 在乳牛饲养实验中的前后影响问题	33

总结	34
----------	----

3 为减低误差而作的实验设计

例 20 污水处理的成对比较实验	35
例 21 棉花施肥的随机化区组实验	37
例 22 实验室家鼠的随机化区组实验	40
例 23 改进工业过程的随机化区组实验	41
例 24 改进工业过程的拉丁方实验	43
例 25 田间作物的拉丁方实验	45
例 26 乳牛饲料的拉丁方实验	46
例 27 公共汽车燃料消耗的拉丁方实验	48
例 28 乳牛饲料的混合拉丁方实验	49
例 29 改进工业过程的希腊拉丁方实验	50
总结	51

4 依靠协变量缩小误差

例 30 在采桑实验中添加协变量	53
例 31 在纺纱实验中添加协变量	56
例 32 在苹果产量的随机化区组实验中添加协变量	56
例 33 在玉米品种的随机化区组实验中以密度为协变量	59
例 34 在强心剂生物鉴定的拉丁方实验中添加协变量	60
例 35 在大豆品种的拉丁方实验中以茎瘤病率作为协变量	61
总结	62

5 随机化

例 36 在随机化区组中小区间的随机化配置法	63
例 37 完全随机实验设计的随机配置法	64
例 38 拉丁方的随机化方法	66
例 39 希腊拉丁方的随机化方法	67
例 40 拉丁方的正交划分法	68
例 41 在作物实验中用系统化配置法的缺点	69
例 42 一种化学分析实验的系统化配置	70

例 43	在小学生营养实验中的主观配置问题	71
例 44	在临床实验中随机化的作用	72
例 45	在含氟化物牙膏实验中随机化的作用	72
例 46	耐磨合金钢热处理实验的设计问题	73
例 47	在随机化配置中遇到系统化的问题	75
总结		76

6 析因实验

例 48	在肥料析因实验中的不同处理	77
例 49	在牛精稀释剂实验中的因素	78
例 50	在炼铁过程实验中的因素	78
例 51	电炉熔钢析因实验的完全随机配置	79
例 52	在汽油合成催化过程中的催化剂浓度实验里的响应曲线	81
例 53	在球磨机磨碎实验中的响应面	83
例 54	化学分析的析因实验	84
总结		86

7 简单的析因实验设计

例 55	在小家鼠寄生虫实验中因素的选择	87
例 56	在青霉素生产实验中因素的选择	88
例 57	在作物品种比较实验中地点和时间的因素	89
例 58	在防治桃蛀螟的实验中各因素的水准	90
例 59	在度量因素中选定极端水准的例子	91
例 60	用两阶段实验来选定极端水准	92
例 61	度量水准的区间间距的例子	92
例 62	在度量因素中水准的数目	94
例 63	高炉炼铁实验的五点设计和九点设计	96
例 64	在肥料析因实验中的随机化区组配置	97
例 65	续例64的田间实验设计	98
例 66	小家鼠的生化实验	99
例 67	牧场实验中的裂区实验设计	101

例 68 氧气炼鋼鋼錠质量的实验.....	103
总结	104

8 該取多少观测数据

例 69 两个家畜飼料比較的实验.....	105
例 70 为探索誤差項均方作的兩阶段实验法.....	107
例 71 两种計数数据均方的估計.....	108
例 72 两种鋼筋混凝土預制构件的应力实验的单元数.....	109
例 73 在沉降式粒度测定仪的比較实验中所需数据数目.....	111
例 74 在两种紅血球檢驗法的比較实验中的单元数.....	112
例 75 在大豆品种的随机化区組田間实验中的区組数.....	113
例 76 完全随机实验与随机化区組实验設計的比較.....	114
例 77 拉丁方田間实验的处理数.....	115
例 78 在牧草行間距实验中各水准的实验单元数目.....	116
例 79 土壤分析实验的設計.....	117
例 80 支气管癌癥症疗法的序貫实验法.....	119
总结	121

9 几种特殊的拉丁方設計

例 81 检查紡錠缺陷的多因素拉丁方实验設計.....	122
例 82 为选择均勻的实验单元用的拉丁方.....	123
例 83 錯用拉丁方实验設計的例子一.....	124
例 84 錯用拉丁方实验設計的例子二.....	125
总结	125

10 不完全設計

例 85 比較犁头式样的平衡不完全区組实验的設計.....	127
例 86 比較几种去污粉的 BIB 实验設計	129
例 87 比較检查牛結核病用的試剂的 BIB 实验設計	130
例 88 比較核桃树品种的 BIB 实验設計及其結果数据分析	131
例 89 研究烟草鑲嵌病毒用的尤登方实验設計.....	133
例 90 研究不同世系紅苜蓿的抗銹病性能的平衡格子方实验設計.....	134

例 91 成对实验的不完全区组设计.....	136
总结	138

11 其它实验设计

例 92 在豌豆肥料实验中把高次交互影响混杂的析因实验设计.....	139
例 93 在一项气体合成实验中使用混杂设计.....	142
例 94 土壤对豆箕效应的部分混杂实验设计.....	142
例 95 在乳牛饲养法研究中的时序实验设计.....	144
例 96 打纸浆过程的时序拉丁方实验设计.....	145
例 97 在六个不同地区作的土豆施肥实验.....	146
例 98 计数微粒的最优单元体积.....	148
例 99 小家鼠对某种细菌起反应的概率.....	149
例 100 在过程工程中探索最优条件的实验设计.....	151
总结	153
附表 I 数字 1 到 9 的随机排列表	154
附表 II 2000 个随机数字表	156
附表 III 几种常用的平衡不完全区组实验(BIB)设计	158
附表 IV 处理数(a)在 10 以内的可能的 BIB 设计	160
附表 V 几种尤登方实验设计	161

前 言

階級鬥爭、生產鬥爭和科學實驗，是我們建設社會主義強大國家的三項偉大的革命運動。在這本書里，作者想就其中第三項革命運動——科學實驗——為讀者提供一些粗淺的然而基本的，在怎樣多快好省地去安排一項科學實驗方面的知識。

毛主席教導我們，“……不懂得注意事物的數量方面，不懂得注意基本的統計、主要的百分比，不懂得注意決定事物質量的數量界限，一切都是胸中無‘數’，結果就不能不犯錯誤。”（《毛澤東選集》第4卷，第1443頁。）這些指示在向自然作鬥爭的過程中同樣地適用。

初作實驗工作的同志，往往以為數理統計這項工具只用在實驗既作之後。但實際上，有許多問題在未作實驗之前就應先予考慮和安排，這就是實驗設計。習慣了，實驗設計就成為整個科學實驗過程中的一個不可缺少的環節。實驗設計是以數理統計為基礎的，是數理統計的一個分支。本書所側重的是實驗設計的方面，除去介紹一些關於平均差數的標準誤差的計算法外，對於其它用數理統計方法來進行數據分析的方面概予略去。

實驗數據不用數理統計的方法予以分析，固然不科學；但

迷信数理統計，甚至錯用数理統計，也同樣地有害。因為数理統計只能在實驗數據能滿足一定的條件和假設時才是有效，作出的推斷也只能在一定的範圍內以一定的概率說對。實驗如未經審慎的設計，雖然最終也可以得出數據，也可以機械地使用数理統計方法去分析，但在不少的例子中會得出錯誤的推斷和結論。所以在這一點上，良好的實驗設計還起一種使数理統計方法不致被錯用的作用。

實驗設計決不是一件死板的工作。隨著實驗目的不同，可資利用的材料和環境的不同，以及人力、物力、經費、地點和時間的不同，就有難以數計的各種不同形式的實驗。在本書中，只挑選了一百個具有一定示范性的特點的例子，外加評注，介紹給大家。每個例子並不是一個從頭到尾的完整的例子，有些只是個片段，有些還不太具體，但借每個例子可以說明一個論點或竅門。如把它們貫穿起來，也許能給大家以一種影象和概念，知道實驗設計究竟是怎么一回事。如更能舉一反三，則可能有益于讀者所要作的某項特殊的科學實驗，這種實驗在本書中雖無一模一樣的實例可援，但在設計的方法上，說不定就能從書中所舉的其它例子裡找到一些可循的道路。

為便於一般讀者閱讀，本書把數學的推導、定理和公式都尽可能地刪掉。好在從數學推導出來的東西，有不少是可以與一般的常識相通的，因此在書中只把實在不可少的結論寫出。這當然不排除任何對數學有興趣的讀者，再深入去找其它的书來尋根究底。

書中的材料大半來自前人的著作，小部分是作者的經驗和體會。因為這是一本科普性的書，所以也就不去一一列出

各例的来源了。

中国科学院生物物理研究所数学生物組和北京市科学技术协会的同志們,为这本小册子的出版付出了辛勤的劳动,作者謹致以感謝。并希望讀者批評、指正。

楊 紀 珂

中国科学院生物物理研究所

一九六四年七月·北京

1 科学实验中的比较

例 1 在农业中的比较实验

大多数农业上的田间试验是比较。比较几个品种的优劣,比较几种施肥法的优劣,比较几种田间管理方法的优劣等。实验方法是先把试验田划分为若干小区田,然后如要比较几种施肥法的优劣,则把各种施肥法配置在各小区田上种植,到收获期量它们的产量,用数理统计方法比较之。我们把小区田认作为**实验单元**。把不同的施肥法认作为不同的**处理**。

评注 从过去大量的田间试验结果告诉我们以下一些一般性的客观情况:

1. 如只用一种施肥法,在产量上,相邻小区田的要比距离远的小区田的较近似。
2. 用同一施肥法,不同地区或不同年份做相同的实验,在产量上的变差可能很大。
3. 试验田的肥沃度,往往或者会有系统地从头较肥沃变到另一头较贫瘠,或者会局部一块较肥沃,周围较瘦。
4. 各施肥法在同一年份、地区和环境下的差异,比起各法本身在不同年份、地区和环境下的差异来,还是有一定程度的稳定性。

因此,实验的目的如果是为了决定采用那一种施肥法最好,我们就不必去估计各种施肥法的作物产量,因为这不容易估得很准。只需对各种施肥法作相对的比较,这样可以使实验设计简单得多。

此外,由于偶然性变差不可避免地存在,它混淆了由于施肥法的不同而引起的差异,因此实验数据必须使用数理统计方法加以分析,同时还要安排好实验,以便从偶然性变差的覆盖下找出因处理的不同所导致的差异来^①。

例 2 在工业中的比较实验

在工业过程中的大多数实验也具有与上例同样的性质。或者是比较几种过程(新过程与原过程,一种新过程与另一种新过程)间的优劣;或者是在过程中某一设备或条件或操作方法上作了改革,要比较改革前后的优劣;或者是比较几种不同设备在性能和效率上的优劣。如以比较几种不同的过程为例,譬如说对从一种含铜的铁矿中提铜研究出了两种不同的提铜过程,现在为了比较这两种过程的优劣,要进行一个比较

① 这里所谓差异,是指在不同的可以辨别的情况和条件下所出现事物间的规律性的差异。譬如两个不同品种的甘薯在产量上的差异,品种是可以辨别的条件。所谓变差,是指由于许多不可辨认的大小不同的内外因的交互作用,所引起的在表现上属于同一总体的事物间的偶然性的变差。譬如同一品种的甘薯在同一栽培条件下种出来,各株甘薯薯块间的重量是参差不齐的,是有变差的,其原因是由许多目前不可辨认的有影响的内外因素所偶然凑合而致。

规律性的差异是定量实验所求的目的,但不可避免地被那些偶然性的变差所混淆或覆盖,使人难以辨别。运用科学的方法,在一定的假设下,去辨别出在偶然性变差的覆盖下的规律性的差异,于是成为不可少。这种方法就是数理统计方法中的主要内容。

實驗。我們把矿石分成若干批，每批矿石用一种过程方法提取其中所含的銅。提出了銅，求出有关銅的回收率、銅的质量，以及处理一吨矿石所費的成本等各方面的数据。再用数理統計方法予以分析比較，以决定这两种过程孰优孰劣。这里把每批矿石认作为**實驗单元**，把不同的过程认作为**处理**。与上例一样，也是在各實驗单元上配置以不同处理，来进行實驗。这里所謂“处理”是广义的，如比較的是不同型的設備，則設備就是处理；如比較的是不同来源的矿石，則矿石就是处理。“处理”这个術語已成为實驗設計和数理統計中的通用術語了。

如果处理間的差异并不存在，或者用同一种处理，實驗結果还是有变差的；非但如此，随着設備的逐渐变旧，矿石成分的逐渐变化，即使用同一种处理过程，也会使結果有在长期中发生变化的傾向。

評注 跟上例一样，我們当然不能把过程内部偶然性的变差以及长期递变的傾向誤认为是不同过程間的差异。在进行比較實驗时，除出了过程上的不同外，其它条件如矿石原料的成分、操作技术的水平、車間管理的措施等应尽可能地保持一致。得出的数据当然須用数理統計方法处理。

我們可以利用数理統計方法中的标准离差和标准誤差的計算，作为在比較實驗中精确度的度量。标准离差度量各組實驗单元間的內在的偶然性变差，标准誤差則度量各平均數間的偶然性的誤差。但当有两組数据进行比較时，对两組平均數的差数而論，也由于随机抽样之故，存在着一个标准誤差，称为两平均數間差数的标准誤差，它当然是这个差数的偶

然性变差的度量。在計算上，如果比較是在兩組数据的处理平均数間所进行的比較，它等于：

$$\text{标准离差} \times \sqrt{2 \div (\text{配于各处理的单元的数目})}$$

如果兩組的数目各不相同，它等于：

$$\text{标准离差} \times \sqrt{\frac{1}{(\text{一組內的单元数目})} + \frac{1}{(\text{另一組內的单元数目})}}$$

这里是重叙一下数理統計中的計算方法，讀者查一下数理統計的书就可了然。

例 3 在氮肥实验中的对照組

某公社土地很是肥沃，怀疑再施氮肥也許不起什么作用。为此，以小区田作为实验单元，以施氮肥和不施氮肥作为两种处理，来进行实验。这种不施氮肥的“处理”是个空白的处理，称为对照。

假如已知施加氮肥是有效的，实验的目的仅在于比較两种或几种含氮量相同的氮肥的功效，則对照就不一定需要。但如果有效与否不能十分肯定，最好加个对照。

評注 在对照組內重复实验单元的数目，最好与其它处理組內的重复实验单元的数目相等或大致相等。如果对照組只有一个或少数几个实验单元，在处理組內即使有較多的实验单元，也不一定能增加实验的辨别能力。

例 4 在药物的生物鑑定法中的比較实验

有一种在动物身上做比較实验来鑑定药物药力的方法，那就是药物的生物鑑定法。方法是把在遗传上和環境上差別

都很小的同胎同性、体重差不多的小家鼠作为实验单元,把要鑑定的药物和一个药力属已知的标准药物作为处理,分别配置在好些实验单元上进行实验。度量出在某种症状出现时的剂量(阈剂量),或者有半数小家鼠死亡的剂量(半致死剂量),或者任何其它可度量的现象达于一定程度时的药物剂量。然后对实验数据的对数的平均数,用数理统计方法加以比较,来判断该药物的药力超过标准还是不达标准。

評注 有人想省去标准药物,只用受试药物作实验,此时得出的阈剂量或半致死剂量,会因不同的动物或者不同的时间,或者不同的其它环境条件而大有变差。因此不用标准药物作成对的对照比较,药物的鉴定就不可能是正确的。不仅如此,只用一对小家鼠作比较实验也不可靠。究竟应该用多少对实验单元,可以参用在第八章中举的办法。至于数据在平均之前为什么要取对数,留在第二章中例 13 中去讲。

例 5 临床比较实验

在临床实验中,最常见的比较是:比较一种新药的或效。这跟上面例 3 相象,如果已知治疗某病的新药旧药都有效,只比较两者之间的差异——例如疗效程度上的和速度上的差异,副作用上的差异,成本上的差异等——则没有必要使用对照组;但如该药的疗效尚属未知,则必须同时使用对照组。这仍旧是因为在不同环境条件下,偶然性的变差足以使药物的疗效受到混淆之故。在临床实验中的实验单元就是病人,处理则是不同的疗法或者对照。

評注 有两点值得在这里提一下。首先是不能为了实