

应用于农学和生物学实验的
数理统计方法

G. W. 斯奈迪格等著

科学出版社

51.72
616

应用于农学和生物学实验的
数理统计方法

G. W. 斯奈迪格 著

楊紀珂 汪安琦 譯

科学出版社

G. W. SNEDECOR
STATISTICAL METHODS
(Applied to experiments in agriculture and Biology)
The Iowa State College Press, 1959

內 容 簡 介

本书为生物数理統計方面的基础著作。原书第一版出版于1937年，以后經過多次修訂与重印。本书根据第五版1959年第二次重印本譯出。

书中叙述数理統計方面的最基本原理，如对属性抽样、測量数据、組羣比較、迴归、相关、方差分析，都作了深入浅出的叙述；同时也收集了一些很有实用价值的統計方法，涉及数理統計中一些較专深的问题。

本书可供有关生物、农业、医学的研究人員、技術人員、大专学校师生学习与参考。

应用于农学和生物学实验的
数理統計方法

G. W. 斯奈迪格 著

楊紀珂 汪安琦 譯

*

科学出版社出版 (北京朝陽門大街117号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第061号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

*

1963年8月第一版

书号：2779 字数：512,000

1964年2月第二次印刷

开本：850×1168 1/32

(京) 2,801—7,200

印张：19 3/8 插頁：3

定价：(7) 3.70元

序 言

近年来在数理統計学中有了惊人的进展。新的理論和新的实践連續出現。对新的实验設計的要求也是与日俱增。为了满足在生物学中数理統計学的应用者的需要，我在这第五版中选添了一些对实验者來說是最有用的較新的統計方法。

和以往几版的用意相同，本书讀者对象有两类：生物学方面的初学者和研究工作者。为了第一类的讀者，把所有各章的开头一些部分說得比較簡單明了，加上一些多少是經過細心推敲的解释。书中保留的小标题指导讀者去了解該題的較基本的部分。此外在目录的后面还列出了一个短期課程的提綱。为了满足第二类讀者的需要，我还搜集了在我作为在实验数理統計中的顧問的实践經驗里認為是最有实用价值的統計方法。对这些設計的含义和局限程度都着重予以指出。对計算方法都解释得使普通的办事員也可以应用。所提出的参考文献則可以作为深入学习的导引。在各章中較后部分所提出的一些材料有必要写得簡洁些。

在这一版中最主要的增訂部分乃是在第十二章中析因实验的提出。在該章中我把以前零乱散布在书中的适宜的方法加以汇聚和添补。我相信这將有助于好些把他們的实验处理条件用析因的排列法进行实验研究的工作人員，他們在这样的实验里可能还没有着重使用全部的資料。

由于繁冗的計算有把人們的注意力从数理統計的目的性轉移出来的傾向，我試圖把計算的負担加以減輕，尤其在各章的前部分中如此，而把注意力集中在生物学的目的性上。

另一个外加的进展是学术上的重点正在从显著性的檢驗逐漸向点和区間估計量轉移。还看不出这种趋势將持續多久。估計量往往要比显著性的檢驗能提供更多的資料，这一点在目前已很清

楚。

作为資料介紹給讀者的还有各式各样非参量性的檢驗法。对它們的各种用途进行了討論并对它們的結果和那些較为常見的方法的結果作了比較。

为了使學生們可以更容易地进而閱讀目前的期刊，似乎有必要把某些符号和名詞加以更改。这些更改大多数是用来強調在总体参量和样品統計量之間的差异的。但我总是以減輕不熟悉数学的讀者們必須依賴于代数符号的負担为原則。許多計算方面的解释和指导不必根据公式就可以理解。

我很高兴在本书中提出了 William G. Cochran 教授新写的第十七章“抽样的設計和分析”，他是一位在这个迅速发展的学科中的权威。他并且选择了适合于本书的生物学方向的說明用的材料。

G. W. 斯奈迪格

于 Iowa 州立大学数理統計實驗室

• • • • •

目 录

第一章 属性抽样 二項分布	1
1.1 抽样	1
1.2 抽样的两个問題	1
1.3 一个农业事例的样品 点估計量和区間估計量	2
1.4 定义和討論 样品的含量	7
1.5 一个抽样的练习	10
1.6 頻数分布和它的作图表示法	11
1.7 置信区間; 理論的証明	16
1.8 关于总体的假設	19
1.9 χ^2 , 一个离散的指数	20
1.10 χ^2 的符号陈述	21
1.11 χ^2 的一个抽样实验; 抽样分布	21
1.12 具不等組区間的頻数分布	24
1.13 解消假設的檢驗或显著性的檢驗	26
1.14 在同一总体內有多于两类的个体	28
1.15 χ^2 与样品的含量	32
1.16 另一个 χ^2 的公式	34
1.17 比值、比率和百分率	35
第二章 从一个正态分布总体抽样	38
2.1 正态分布的总体	38
2.2 μ 和 σ 的估計量	40
2.3 陣列及其图解表示	42
2.4 符号表示法	43
2.5 距样品平均数的离差	44
2.6 另一个 σ 的估計量; 样品标准离差	46
2.7 "Student" t 分布	49
2.8 μ 的区間估計量; 置信区間	52

2.9	差数的估計量和檢驗	53
2.10	配成对的比較法的理由和条件	57
2.11	不用計算机計算 s	59
2.12	用計算机計算 s	61
2.13	其它一些关于 μ 的解消假設的檢驗	63
2.14	σ^2 的区間估計量和檢驗	66
2.15	样品的含量	67
2.16	相对变差 变差系数	70
第三章	从一个正态分布总体抽样 抽样分布	74
3.1	引言	74
3.2	一个模拟正态的有限总体	75
3.3	从一个正态分布得来的随机样品	77
3.4	样品平均数的分布	78
3.5	s^2 和 s 的抽样分布	80
3.6	标准誤差 $\sigma/\sqrt{n}$ 的估計量	82
3.7	t 的分布	83
3.8	μ 的区間估計 置信区間	85
3.9	差数 解消假設的檢驗	86
3.10	减少在抽样中所涉及的誤差	91
第四章	两个随机化組羣的比較	95
4.1	引言	95
4.2	一个具有随机化組羣或小組的實驗的結構	95
4.3	兩組羣等含量样品的比較实验	97
4.4	在分組实验中遇到的困难	99
4.5	具有不同个体数目的組羣	100
4.6	个体間的比較对組羣間的比較	102
4.7	样品的含量	105
4.8	方差的齐性的檢驗	107
4.9	在 $\sigma_1 \neq \sigma_2$ 时的檢驗程序	108
4.10	数理統計学和实验	111
第五章	簡易法和近似法 次于完全有效的和非参量性的方法	113

5.1	引言	113
5.2	綫性变换或編碼	114
5.3	約数和編碼	115
5.4	关于碼子数的規則和应注意之点	116
5.5	有效数字	117
5.6	以从正态分布抽得的样品的范围为依据的推断	119
5.7	非参量性方法: 中位数和四分位数	123
5.8	非参量性方法: 两个处理的秩評定	127
5.9	非参量性方法: 在測量数据間差数的秩評定	129
5.10	非参量性方法: 不成对量測数据的秩評定	131
5.11	在正态样品中以非参量性方法作为簡捷法	134
第六章	直綫迴归	136
6.1	引言	136
✓6.2	血压在年龄上的迴归	137
6.3	抽了样的总体的模型 I: 固定的 X	141
✓6.4	α 和 β 的点估計量	143
✓6.5	$\hat{Y}$ 作为 $\mu = \alpha + \beta X$ 的估計量 調整的 Y	144
✓6.6	σ^2 的估計量	146
6.7	抽了样品的总体的模型 II: 双变数正态总体	146
6.8	区間估計量和解消假設的檢驗	150
✓6.9	迴归的簡捷計算法	156
6.10	在实验設計中迴归的应用 数理統計控制	161
6.11	因变数的平方之和的划分	163
6.12	Galton 对“迴归”这一名詞的創用	169
6.13	迴归模型 IA: σ 正比于 X , $\alpha = 0$	171
6.14	关于比率和比值常見的錯用	175
✓6.15	总结	176
第七章	相关	179
7.1	引言	179
7.2	样品相关系数 r	181
7.3	双变数正态总体: 在迴归中的模型 II	183
7.4	在样品相关和迴归系数間的关系	186
7.5	相关系数的抽样变差 公共单元	189

7.6	相关系数的估计:置信区间和假设的检验	193
7.7	相关与回归	201
7.8	相关与 ΣY^2 的划分	203
7.9	相关、公共单元和回归	204
7.10	相关和差数	205
7.11	跟总数及比值的相关 由公共原因引起的相关	209
7.12	非参量性的方法 秩次相关	212
第八章	大样品的统计方法	216
8.1	引言	216
8.2	频数分布的平均数和标准离差的计算	216
8.3	频数分布的平均数和标准离差的计算——续前	220
8.4	关于频数分布的其它论点	221
8.5	对称性的检验	222
8.6	在大样品中检验其正态性	224
8.7	正态分布图的构成	226
8.8	累计的正态频数分布	229
8.9	在从双变数正态总体抽得的随机样品中的 r 的计算	234
第九章	具多个自由度的枚举数据的属性计算	237
9.1	引言	237
9.2	一个多于一样品的实验	237
9.3	有多于两类个体的实验	240
9.4	概率的混合	242
9.5	为连续性而作的调整	243
9.6	无关联性的检验 四格列联表	244
9.7	四格列联表;基于无关联性的假设的频数	248
9.8	在 $R \times C$ 列联表内无关联性的检验	251
9.9	在一个 $R \times 2$ 列联表中计算 X^2 的一种特殊方法	253
9.10	三组属性;三向列联表	257
9.11	需作技术检验的实验	257
9.12	一种属性的存在被定量地记录下来的实验	259
第十章	两个以上测量数据的随机样品 方差分析	263
10.1	从两个样品扩展到很多样品	263

10.2	从共同总体来的多个样品	方差分析	263
10.3	常用的计算方法		266
10.4	从两个或更多总体来的随机样品		268
10.5	μ 的相等性的检验	方差比 F	270
10.6	在平均数間作全部比較的检验		273
10.7	用范围值作簡易的計算		283
10.8	設計好的平均数間的比較的检验		284
10.9	只有两小組时的方差分析		285
10.10	模型 I. 固定的处理效应		286
10.11	分量	模型 I	288
10.12	模型 II.	随机效应	289
10.13	用抽样法說明模型 II 的构造		292
10.14	样品內部的样品	模型 II	293
10.15	样品內部的样品	混合模型	296
10.16	含量不等的样品		298
10.17	样品內部的样品, 含量不等		302
10.18	样品的含量		306
10.19	同类相关		315
10.20	方差的齐性的检验		319
第十一章	两向实验	方差分析	325
11.1	关于成果的知識的利用		325
11.2	具有两种分类判据的实验		325
11.3	多个平均数間的比較		328
11.4	在两向表中的符号化		330
11.5	两向实验的构造		331
11.6	在田間試驗中的随机化区組		335
11.7	拉丁方		339
11.8	实验的含量		344
11.9	漏失数据		346
11.10	与模型的不符性, 变换		351
11.11	为枚举数据用的平方根变换		352
11.12	比例数的反正弦变换		357
11.13	对数变换		358

11.14 Tukey 的可加性檢驗法	360
第十二章 比較 处理的析因排列	368
12.1 比較	368
12.2 作比較的規律;重复数的常数	369
12.3 作比較的規律,重复的数目不同	372
12.4 处理組的析因排列 2×2 或 2^2	372
12.5 两因素实验	378
12.6 具有小区的抽样的随机化区組实验	385
12.7 在单因素实验中的迴归	388
12.8 在两因素实验中的迴归	392
12.9 三因素实验; 2^3	398
12.10 三因素实验; $2 \times 3 \times 4$	402
12.11 裂区設計	410
12.12 系列的实验	418
12.13 成比例的次級組数	421
12.14 不成比例的次級組数 2×2 表	426
12.15 不成比例的次級組数 $R \times 2$ 表	429
12.16 在 $R \times C$ 表中不成比例的次級組数 近似計算法	432
12.17 在两因素表中安配常数	435
第十三章 协方差	442
13.1 引言	442
13.2 在一个有两种处理的完全随机化实验中的协方差	442
13.3 在有多于两处理的完全随机化实验中的协方差	448
13.4 在完全随机化实验中的协方差;另一种方法	453
13.5 在随机化区組中的协方差	454
13.6 在协方差中的比較;析因实验	456
13.7 一个关于設計的問題	461
13.8 在拉丁方中的协方差	462
第十四章 多重迴归和协方差	465
14.1 引言	465
14.2 在一单个样品中的两种自变数	465
14.3 区間估計量和显著性的檢驗	469

14.4	在一个完全随机化实验中的多重协方差	475
14.5	在两向表中的多重协方差	480
14.6	偏相关	484
14.7	解正规方程	487
14.8	在一个单个组群中有四个以上的变数 計算法	490
14.9	四个以上的变数 推断	493
14.10	四个以上的变数 反矩阵的单元, Gauss 乘数	495
14.11	一个自变数的取消	502
14.12	公式的总结	503
✓第十五章	曲线回归	505
15.1	引言	505
15.2	指数生长曲线	505
15.3	二次多项式	510
15.4	脱离直线回归的检验	514
15.5	在协方差分析中脱离直线回归的检验	518
15.6	正交多项式的配线	521
15.7	生物分析	532
第十六章	二项分布与 Poisson 分布	534
16.1	引言	534
16.2	二项分布	534
16.3	一个样品分布与二项分布的比较	540
16.4	在二项式分布中齐性的检验	541
16.5	Poisson 分布	545
16.6	来自 Poisson 分布的样品中平均数的比较	550
第十七章	抽样的设计和分析 (W. G. Cochran 著)	552
17.1	总体	552
17.2	一个简单的例	553
17.3	概率抽样	557
17.4	总体的编号抽选	558
17.5	简单随机抽样	560
17.6	样品的含量	565
17.7	系统抽样	569

17.8 分层抽样	569
17.9 在个别层次中样品含量的选择	573
17.10 为属性作的分层抽样法	576
17.11 两阶段抽样	578
17.12 在两阶段抽样中經費的配置	582
17.13 比值和迴归估計量	586
17.14 在生物学中的抽样方法	588
英汉名詞对照	592
数学表索引	600
名詞索引	601

数理統計方法基础短期教程

章 数	頁 数
1. 属性統計	1—32
2. 測量数据	38—63
3. 抽样分布	74—94
4. 組羣比較	95—105
5. 簡易統計法	113—119
6. 迴归	136—158
7. 相关	179—195
10. 組羣的方差分析	263—283
11. 两向的方差分析	325—351

第 一 章

属性抽样 二項分布

1.1 抽样 每一个人现在都受到抽样的影响。在报纸上报导并讨论群众意见的测验。质量控制方法被广泛地用来保证产品规格的統一。消費者的需用和要求的調查有助于指导生产和銷售。即使人口調查局也有一套很妥善的抽样规划,也許在将来可以用来代替在每十年一次的人口普查工作中的大部分工作。

还有好些其它实际的抽样,在公众眼里虽不大常見然而具有不小的意义。例如从一打老鼠有可能显示出能代表多到几百万头老鼠的总体的有用事实。一卡車煤的接受与否取决于从几磅样品試驗所得的結果。医生根据病人一小滴血液的檢驗来診斷他的全部血液。抽样的实践既是如此广泛和重要,不应等閑視之。

抽样可能散布得很远,例如为了研究一次选举怎样进行而作的抽样,但也可能局限于少数的实验設計或者局限于显微鏡視野以內。在本书內除了最后一章外,大部分是以实验类型的抽样为对象,它們的范围不很大,而且多少是在控制的环境条件下得到的。

1.2 抽样的两个問題 一个样品乃是从某种我們要知道其究竟的較大羣体中抽来的一羣少数的个体。样品經過检查并且研究了有关它的一些真相。問題就在于根据这些真相来对这个羣体或总体进行准确的推测。我們所观察的是样品,然而我們所要了解的却是总体。

如果没有那些經常存在的变差的話,問題也就沒有了。如果所有的个体都是相同的,那么只取含一个个体的样品就可以从而得出有关总体的全部情况。然而实际上在个体与个体之間,如同

在它們的各种环境中一样,有数不清的变异。結果是相繼各次抽取的样品往往是不相同的。很明显,我們就不能把一个样品观察到的事实当作有关总体的事实。我們的任务因此是要在即使有样品变差的情况下获得关于总体的合宜結論。

可是并不是每个样品都含有那抽了样的总体的資料。假定某一实验抽样的目的是要測定在一羣幼鼠的总体內喂以一种新飼料所产生的成长速度。在实验中把10只这种幼鼠放在籠內。可是这个籠子也許放在一个冷而吹风的地方或者放在一个暗的角落里。甚或在籠內的小鼠間传播着一种尚未被觉察出的传染病。如果这样,那么这些样品的生长率并不能为正常幼鼠的总体提供有价值的資料。再如一个調查員在一个羣众意見調查中只挑拣去,在他的友人中他所乐意进行訪問的家庭,他的样品也許根本就不能代表总体羣众的意見。这为我們带来了第二个問題:用什么方法使在所搜集的样品內包含有我們所要了解的資料呢?

因此我們面临着研究工作者的两个問題:怎样去設計并进行他的抽样工作,使所抽得的样品能够作为总体的代表。其次是在研究了这些样品之后,怎样对那个抽了样的总体作出准确的推断。

1.3 一个农业事例的样品 点估計量和区間估計量 1950年美国农业部谷物飼料虫害調查局和Iowa州农业实验站合作,在Iowa州的Boone郡进行了全面的抽样,研究对欧洲玉米蛀虫的控制具有效应的各种因素間的交互关系^{[16]1)}。这个研究項目的一个目标是要測定为控制該虫害所作的葯剂噴洒范围。为了达此目的,对一个包括100个农庄的随机样品进行了訪問。其中有23个农庄声称曾在他們的玉米田中噴洒了葯剂。这就是样品的事实。

这样对Boone郡2300个农庄的总体來說可以作出什么推断呢?有两个推断可作:第一个被称为点估計量,第二个則被称为区間估計量。

1) 参考文献資料附于章末。

1. 那些作了噴洒的农庄的百分数的点估計量是 23%，这与样品的比率相同；也就是說，估計 1950 年在 Boone 郡有 23% 的农庄在它們的玉米田中噴洒了葯剂。这可以看作为在每 100 个农庄中作了噴洒的农庄的平均数。从包括 100 个农庄的单个样品的实际計数推断了在所有含有 100 农庄的样品內噴洒者的平均数为 23。

这个从样品到总体的推断一般認為是理所当然的。多数人在从样品事实作出这个关于总体的推断时不加任何思索。在邏輯上，这两个概念是有区别的。实际这个推断可能并不准确，除非样品的抽取是合乎規矩的。在把样品中所报导的百分数归属到总体上去之前最好先检查一下抽样的方法。

2. 一个点的区間估計量可以使用表 1.3.1 来定。在該表上面标明了 95% 的第一部分內，从样品数为 100 之处往下看到調查得噴洒农庄数即观察到的頻数为 23 的地方。在这两个行列的交点上你們看到 15 和 32 两个数字。这意味着我們可以相信在这抽了样的总体中，真正的噴洒百分率介于 15% 和 32% 之間。这个区間估計量被称为置信区間。关于我們置信的性質将于下面解释之。

总结地說：基于一个随机样品，我們首先說我們对 Boone 郡的农庄中噴洒者的百分率的估計量是 23%，可是我們沒有說出在这个估計量中可能存在的誤差的数量。然后，我們置信地断言，真正的百分率不低于点估計量 23% 以下 8%，不高过它以上 9%。

由于这些概念是从样品理論的基础得来，讓我們通过另一个方式来加以闡明。想象在一个仓庫內貯滿了豆子，有一部分豆子是白色的，另外一部分是带色的，两者完全混和在一起。如随机取出一瓢，分別数一下两种不同顏色豆子的数目，然后計算白豆的百分率，設为 40%。这样这个数字不仅是在样品內白豆的百分率計数，而且也是一个在仓庫內白豆百分率的估計量。現在要問，究竟一个估計量的精密程度怎样？这里就引进来了第二个推断。如果瓢中的豆子有 250 顆，我們查了表就可以置信地說在仓庫內白豆

表 1.3.1 二項分布的 95% 置信區間(百分率)

觀察 頻數 f	樣 品 的 含 量, n						觀察 分數 f/n	樣品的含量	
	10	15	20	30	50	100		250	1000
0	0 31	0 22	0 17	0 12	0 07	0 4	.00	0 1	0 0
1	0 45	0 32	0 25	0 17	0 11	0 5	.01	0 4	0 2
2	3 56	2 40	1 31	1 22	0 14	0 7	.02	1 5	1 3
3	7 65	4 48	3 38	2 27	1 17	1 8	.03	1 6	2 4
4	12 74	8 55	6 44	4 31	2 19	1 10	.04	2 7	3 5
5	19 81	12 62	9 49	6 35	3 22	2 11	.05	3 9	4 7
6	26 88	16 68	12 54	8 39	5 24	2 12	.06	3 10	5 8
7	35 93	21 73	15 59	10 43	6 27	3 14	.07	4 11	6 9
8	44 97	27 79	19 64	12 46	7 29	4 15	.08	5 12	6 10
9	55 100	32 84	23 68	15 50	9 31	4 16	.09	6 13	7 11
10	69 100	38 88	27 73	17 53	10 34	5 18	.10	7 14	8 12
11		45 92	32 77	20 56	12 36	5 19	.11	7 16	9 13
12		52 96	36 81	23 60	13 38	6 20	.12	8 17	10 14
13		60 98	41 85	25 63	15 41	7 21	.13	9 18	11 15
14		68 100	46 88	28 66	16 43	8 22	.14	10 19	12 16
15		78 100	51 91	31 69	18 44	9 24	.15	10 20	13 17
16			56 94	34 72	20 46	9 25	.16	11 21	14 18
17			62 97	37 75	21 48	10 26	.17	12 22	15 19
18			69 99	40 77	23 50	11 27	.18	13 23	16 21
19			75 100	44 80	25 53	12 28	.19	14 24	17 22
20			83 100	47 83	27 55	13 29	.20	15 26	18 23
21				50 85	28 57	14 30	.21	16 27	19 24
22				54 88	30 59	14 31	.22	17 28	19 25
23				57 90	32 61	15 32	.23	18 29	20 26
24				61 92	34 63	16 33	.24	19 30	21 27
25				65 94	36 64	17 35	.25	20 31	22 28
26				69 96	37 66	18 36	.26	20 32	23 29
27				73 98	39 68	19 37	.27	21 33	24 30
28				78 99	41 70	19 38	.28	22 34	25 31
29				83 100	43 72	20 39	.29	23 35	26 32
30				88 100	45 73	21 40	.30	24 36	27 33
31					47 75	22 41	.31	25 37	28 34
32					50 77	23 42	.32	26 38	29 35
33					52 79	24 43	.33	27 39	30 36
34					54 80	25 44	.34	28 40	31 37
35					56 82	26 45	.35	29 41	32 38
36					57 84	27 46	.36	30 42	33 39
37					59 85	28 47	.37	31 43	34 40
38					62 87	28 48	.38	32 44	35 41
39					64 88	29 49	.39	33 45	36 42
40					66 90	30 50	.40	34 46	37 43
41					69 91	31 51	.41	35 47	38 44
42					71 93	32 52	.42	36 48	39 45
43					73 94	33 53	.43	37 49	40 46
44					76 95	34 54	.44	38 50	41 47
45					78 97	35 55	.45	39 51	42 48
46					81 98	36 56	.46	40 52	43 49
47					83 99	37 57	.47	41 53	44 50
48					86 100	38 58	.48	42 54	45 51
49					89 100	39 59	.49	43 55	46 52
50					93 100	40 60	.50	44 56	47 53

1) 如果 f 超过 50, 則以 $100-f$ 讀作觀察頻數, 然後從 100 減去各置信區間。2) 如果 f/n 超过 0.50, 則以 $1.00-f/n$ 讀作觀察分數, 然後從 100 減去各置信區間。