

試驗設計學

EXPERIMENTAL DESIGNS

第五版

沈明來 編著



九州圖書文物有限公司

試驗設計學

EXPERIMENTAL DESIGNS

第五版

沈明來 編著



九州圖書文物有限公司

國家圖書館出版品預行編目資料

試驗設計學= Experimental Designs / 沈明來 編著—

第五版，——臺北市；九州圖書，2014 年 8 月

面；公分

參考書目：面

含索引

ISBN：978-986-6929-32-8（平裝）

1. 實驗計劃法 2. 統計方法 3. 生物統計學

511.2

103006845

本書之文字或圖片，如未獲得本公司書面同意，不得以任何
方式抄襲、節錄或翻印

行政院新聞局出版事業登記證局版北市業字第 1223 號

試驗設計學 第五版

（平裝）定價新台幣 850 元

編著者：沈明來

封面設計：沈怡君

圖題：鳶尾與睡蓮

發行所：九州圖書文物有限公司

發行人：詹九州

總經銷：九州圖書文物有限公司

地址：106 台北市大安區新生南路三段 88 號五樓

（台灣大學側門麥當勞樓上）

電話：(02)2365-2183，2365-7917

傳真：(02)2364-9642，2364-9654

郵撥：0166042-9

e-mail：jcpub@ms19.hinet.net

網址：www.jcbooks.com.tw

印刷所：瑞明彩色印刷有限公司

第一版：1993 年 8 月

第五版：2014 年 8 月

ISBN：978-986-6929-32-8

本公司出版及總經銷之圖書，凡有跳頁、缺損等故障情形，無論
何時均可退換，退換郵資由本公司負擔。

第五版序

在農作物雜交育種後代品系產量比較試驗中，由於品系眾多(約有50~100種)，一般田間試驗隨機完全區集設計(Randomized Complete Block Design)對於土壤差異不易控制，因此其初級及中級試驗常採用不完全區集設計(Incomplete Block Design)，其中最受歡迎者即為格子設計(Lattice Design)。在養豬飼料配方試驗中，若飼料配方種類頗多時，由於每頭母豬所生產之小豬不多，必須選用數頭母豬所生的小豬進行試驗，因不同母豬所生小豬均為異質，故也常採用格子設計。在日常生活中，人人都喜歡的冰淇淋，因口味有很多種，試驗品評時，由於男、女、年齡層不同，要比較哪些口味較受喜愛，也大都採用此設計法。因此此設計法即為單因子(single factor)多處理(multiple treatment)較受歡迎之試驗法。

在本書中各種統計分析都附有 SAS 電腦程式及分析結果，惟獨第十六章的簡方設計(今改為格子設計)闕如，為了配合 SAS 系統之統計分析及介紹多種格子設計法，筆者根據 Cochran and Cox(1957)所著之試驗設計(Experimental Designs)一書及其他參考文獻，重新編排整理，詳細說明其計算過程，並附上各種格子設計統計分析之 SAS 電腦程式，讓繁瑣複雜的計算工作交給電腦來分析，然後解釋分析結果。格子設計法有多種，除本書介紹常用的幾種方法之外，若讀者有需要，可參考 Cochran and Cox 所著試驗設計一書，書中有更多的格子設計法。學無止境，本書要改進的地方還很多，敬請讀者不吝賜教。

沈明來 謹識

2014年8月

台灣大學農藝學研究所 生物統計學組 名譽教授

第四版序

資料分析要學好，試驗設計不可少。一般良好研究資料應採用何種統計分析法，才能獲得合理正確的結論，是依據試驗設計的法則來判斷。本書竭盡所能以圖像方式解說試驗的方法與原則，簡潔易懂。筆者感謝讀者的支持與建議，有幾位讀者希望能編輯習題解答，以便對照自己研判的分析法是否正確。其實各章後之習題都以該章之試驗設計法所編輯，其統計分析法也都依據該章設計法進行資料分析，比較擔心的是新資料(不是例題或習題中的資料)該如何研判採用何種統計分析法，這就需要讀者多留意學習各章節中試驗設計的原則。

本版中調整一些章節的內容，尤其第九章交叉設計增列數個標準設計法及分析法，第十七章綜合變方分析中增加穩定性分析 (Analysis of Stability)，穩定性分析是用於優良作物品種推廣前最後一道把關的統計分析法，並附有 SAS 電腦分析程序，以利資料分析。在本版書後設有網址，讀者可以上網下載 (download) 書中所有 SAS 電腦程序進行操作練習，或更換資料後即可進行資料分析。

在修訂本版時台大漁業科學研究所李英周教授幫忙很多，他不但更正書中一些錯誤，同時提供不少精彩內容，在此感謝他的用心與辛勞。學無止境，書中要改進地方還很多，企盼讀者不吝繼續指教。

沈明來 謹識

2010年8月

台灣大學農藝學研究所 生物統計學組 名譽教授

第三版序

試驗設計學包含試驗前嚴謹的設計 (design) 及試驗後合理的資料分析 (data analysis)，前者對於試驗資料的取得是否正確，試驗誤差是否合理 (較小)，扮演著關鍵的角色。為使讀者對於各種試驗設計法能夠一目瞭然及正確使用，本版增添各種設計法之圖解及說明，讓讀者一看就能體會各種設計法之原理，輕鬆學習，以提高對試驗統計的興趣。而試驗後之資料分析本版也加強分析結果說明，並增加及修正 SAS 程序及分析結果的解說。由於本書內容包羅各種設計及分析法，故頁數較多，書本有點厚重，有些老師及同學建議將字體縮小，減少頁數以方便攜帶。經與出版社商量結果，認為字體不宜縮小，但在不影響閱讀舒適度的前提下，可縮小一點行距，因此本版雖增加不少插圖、SAS 電腦程序及解說，但總頁數卻僅增加幾頁，仍維持原來書本的大小。筆者衷心感謝讀者的寶貴意見，也企盼讀者繼續賜教，使本書更臻完善。

沈明來 謹識

2004 年 2 月

第二版序

本書為一本很實用之試驗研究工具書，自出書以來受到廣泛讀者使用，也接到許多老師及同學之意見與建議，這些建議均在每次重印時修正改進了。由於本書淺顯易懂，頗受讀者肯定，讓筆者感到莫大的鼓舞。雖然本書收集的試驗統計法已不算少，但尚有些很實用的分析法未編入本書，因此筆者就根據近年來讀者認為較迫切需要的收入書中，其中較主要的有：效應曲面法 (response surface method, RSM) 及失衡資料分析法 (unbalanced data analysis)，同時第二版之每一統計分析法均附加 SAS 電腦程序，可讓資料分析工作輕鬆順利完成，這些電腦程序有些是本系劉清教授協助完成的，在此特致謝忱。也竭誠希望學者專家繼續指教。

沈明來 謹識

1999年2月

序 言

試驗設計學是繼生物統計學之後研究統計方法及資料處理很實用的一門學科。從事試驗研究的人都應知道，試驗資料若沒有經過統計測驗是不易引出合理正確的結論。然而，對於錯綜複雜且來源或環境不同的資料如何處置試驗誤差及採用適當的統計分析法，對於僅學過生物統計學的人來說，常感不知所措。蓋生物統計學僅介紹統計學之基本概念及簡單的測驗法而已，尚不足應付形形色色的試驗資料，更遑論試驗誤差之控制了。由於同樣的試驗，每次結果皆不盡相同，這是試驗誤差的根源，也就是統計研究的對象。若沒有試驗誤差，也就沒有試驗統計學的存在了。既然試驗誤差之成份不可避免，則應讓它愈小愈好，而試驗設計法就是控制試驗誤差很有效的方法，且隨著各種設計法，伴有適當合理的統計分析法，足以應付各種形態及性質的資料。

試驗設計學在國際間出版之專書並不多，國內中文版更如鳳毛麟角，而且大部分的試驗設計學只注重統計分析法的介紹，常忽略了試驗的規劃法。蓋試驗設計法是因時因地而異的，沒有像統計分析有一定的步驟及規則可尋，因此試驗設計者應留意試驗規則才好。

筆者曾經在農業試驗機關工作，得有機會接觸試驗設計之實際規劃，體會設計的要領，又在美國明尼蘇達大學公共衛生學校生物統計組進修之際，實際參與醫學資料分析工作，瞭解醫學資料之特性及試驗規則，並依教學多年的經驗，有系統地釐出試驗規劃的準則，對試驗設計提供一點淺見，供讀者參考。至於資料分析法在試驗統計學上來說是比較容易的部分，所有的計算工作僅有一個變方分析，只不過依資料之來源及性質不同略作變化而已，而每種分析法之計算步驟均一成不變，只要計算過一次就能瞭解其計算過程，更何況今日電腦發達，統計方法之套裝軟體普遍，資料分析工作就不是問題了，本書每章之後也都附有SAS(Statistical Analysis System)電腦程式，讀者只要有SAS系統，按本書所列步驟進行分析，很快就能獲得解答，只不過什麼來源及性質的資料該用何種分析法，對初學者來說是比較困擾的問題，但只要讀者能瞭解本書中設計的規則及認清資料的性質，是很容易獲得合理正確的分析結果，這也是本書編輯的目的。

本書共分21章。第一章介紹試驗統計的演進及準則。第二章為複習生物統計學上簡單的比較法。第三章說明變方分析的原理。第四、五章

序 言

為處理均值複合比較及資料轉換。第六至第八章為本書中三種控制試驗誤差之主要設計法。第九、十章為不完全區集設計及交叉設計，主要用於試驗材料較缺乏的試驗。第十一章介紹複因子試驗的概念及方法。第十二章為摺疊設計，用於有前後或層次之分的試驗資料。第十三至第十五章都是複因子試驗之推廣應用。第十六章為簡方設計，用於處理數很多之單因子試驗。第十七章為綜合變方分析，用於合併數次在不同時間或地點所獲得相同試驗資料之分析法。第十八章為迴歸分析，雖不是本書的主要目的，但第十九章的變積分析必須應用迴歸分析的觀念及原理，故也納入本書中，並作解析。第十九章的變積分析是試驗觀測值受到其他因素的影響時經校正後再作比較的分析法。第二十章為效應曲面法，用於複因子試驗最佳反應值條件下因子組合之決定。第二十一章為無母數統計分析法，主要用於沒有一定分布的資料分析。通常計數資料大都採用本分析法，或不符前提之計量資料也改用此法。其試驗設計法與前述各章相同，但分析法迥異，故本章可自成一單元。

本書為試驗統計實務工具書，以試驗過程中的設計 (design) 及資料分析 (data analysis) 為主，沒有太多的數理公式。若採用為教科書，可供一學年教學之用。若僅有一學期的課程，建議採用第一至第九章及第十一章作為教材，或選擇需要的章節也妥，不過每章前後都有連貫性，要留意銜接才好。本書不僅提供教學之用，也是從事試驗研究不可或缺的參考書。本書部份內容筆者曾用為試驗設計學教材，由於內容淺顯易懂，同學曾促筆者整理成書，且九州圖書文物有限公司老闆詹九州先生慨然同意幫筆者出書，故筆者趁休假之便，赴美國哥倫比亞大學教師學院進修之際，廣為蒐集資料，整理得成此書，希望此書能對讀者有所助益。只是筆者才疏學淺，書中內容涉獵範圍又廣，考慮不周及謬誤之處定無可避免，還祈學者專家不吝賜教指正，以便隨時修正為禱。

沈明來 謹識

國立台灣大學農藝學研究所
生物統計學組

目 錄

Chapter 1	導 論	1
1.1	試驗設計的演進	2
1.2	試驗研究上重要三原則	4
1.3	如何利用統計分析技術進行試驗研究	10
1.4	試驗資料 SAS 套裝軟體之應用	11
1.5	基本統計值描述	16
	習題一	22
Chapter 2	簡單的比較試驗	23
2.1	緒 言	24
2.2	常態分布——高斯分布	24
2.3	常態分布之應用	25
2.4	一個樣品均值的比較測驗	26
2.5	兩樣品均值比較測驗	29
2.6	非成對 t 與成對 t 值測驗 SAS 電腦程序及分析結果 ...	37
	習題二	40
Chapter 3	變方分析	41
3.1	變方分析之原理	42
3.2	觀測值之組成份	44
3.3	觀測值平方和之劃分	45
3.4	單向變方分析數學模式及假設檢定程序	49
3.5	數學模式中未知母數之估算	54
3.6	單向變方分析 SAS 電腦程序	56
	習題三	58
Chapter 4	處理均值比較測驗	61
4.1	比較之意義	62
4.2	最小顯著差異測驗法	63
4.3	鄧氏新多變域測驗法	65

目錄

4.4	紐曼—柯爾測驗法	66
4.5	特奇公正顯著差異法	68
4.6	丹內特測驗法	69
4.7	達安複合比較法	70
4.8	雪菲 S 法	71
4.9	正交比較	73
4.10	如何選擇適當的比較方法	74
4.11	複合比較 SAS 電腦程序	75
	習題四	79
Chapter 5	資料轉換	81
5.1	緒言	82
5.2	變方分析前提之檢定法	82
5.3	資料轉換法	99
5.4	資料轉換後變方分析 SAS 電腦程序	102
	習題五	104
Chapter 6	完全隨機設計	105
6.1	完全隨機設計的原理	106
6.2	統計分析	108
6.3	各處理重複不等變方分析法	111
6.4	試驗處理重複次數的決定	112
6.5	完全隨機設計變方分析法 SAS 電腦程序及分析結果	116
	習題六	119
Chapter 7	隨機完全區集設計	121
7.1	隨機完全區集設計的原理	122
7.2	統計分析	124
7.3	缺值估算法	131
7.4	區集效率	133

目 錄

7.5	相對效率	134
7.6	分段抽樣法	135
7.7	隨機完全區集設計 SAS 電腦程序及分析結果	142
7.8	二段抽樣變方分析 SAS 電腦程序及分析結果	146
	習題七	150
Chapter 8	拉丁方設計	153
8.1	拉丁方設計的原理	154
8.2	統計分析	157
8.3	資料缺值估算法	162
8.4	區集效率	163
8.5	重複拉丁方設計	165
8.6	拉丁方設計 SAS 電腦程序與分析結果	167
8.7	重複拉丁方設計 SAS 電腦程序及分析結果	169
	習題八	171
Chapter 9	交叉設計（輪換設計）	173
9.1	緒言	174
9.2	兩處理比較之交叉設計	174
9.2.1	標準型 2×2 交叉設計	178
9.2.2	兩處理高階設計	192
9.3	三及四處理交叉設計	200
	習題九	208
Chapter 10	均衡不完全區集設計	213
10.1	緒言	214
10.2	統計模式與變方分析	214
10.3	均衡不完全區集各效應之估算	220
10.4	數學模式與 θ_i 值之關係	221
10.5	矯正處理均值及變方	222

目錄

10.6	相對效率	223
10.7	均衡設計	223
10.8	不完全區集設計 SAS 電腦程序及分析結果	224
	習題十	226
Chapter 11	複因子試驗	227
11.1	緒言	228
11.2	簡單效應，主效應及交感效應	228
11.3	兩因子複因子設計	231
11.4	複因子試驗各因子效應線性檢定	244
11.5	複因子試驗處理僅一次重複統計分析法	246
11.6	均方期望值求法	249
11.7	2^3 複因子試驗	257
11.8	3^3 複因子試驗	263
11.9	複因子試驗失衡資料變方分析法	269
11.10	均值模式分析法	281
11.11	SAS 電腦分析四型變方分析表之形態	306
11.12	複因子試驗 SAS 電腦程序	308
	習題十一	312
Chapter 12	摺疊設計（巢式設計）	317
12.1	緒言	318
12.2	兩因子摺疊設計統計分析法	318
12.3	M 層摺疊設計統計分析法	327
12.4	摺疊複因子試驗	330
	習題十二	333
Chapter 13	混雜設計	337
13.1	緒言	338
13.2	混雜設計之意義	338

目 錄

13.3	混雜設計之分組法 — 2^k 複因子試驗	342
13.4	3^k 複因子設計區集分組法	345
13.5	2^3 複因子混雜試驗統計分析法	350
13.6	3^3 複因子混雜試驗統計分析法	357
13.7	$2 \times 2 \times 2$ 完全混雜設計 SAS 電腦程序	361
	習題十三	364
Chapter 14	裂區設計	365
14.1	裂區設計的原理	366
14.2	統計分析	367
14.3	裂區設計各種試驗法變方分析	374
14.4	缺值估算法	376
14.5	二重裂區設計	377
14.6	裂區設計 SAS 電腦程序	383
	習題十四	387
Chapter 15	複因子試驗直交表之應用	391
15.1	緒言	392
15.2	直交表之構成	392
15.3	直交表之配置 (應用)	397
15.4	試驗資料統計分析	400
15.5	直交表應用 SAS 電腦程序	406
	習題十五	409
Chapter 16	格子設計	411
16.1	平衡格子設計	412
16.2	部分平衡格子設計	423
16.3	三重格子設計 SAS 電腦程式及分析結果	437
16.4	矩形格子設計	441
	習題十六	454

目錄

Chapter 17	綜合變方分析	457
17.1	緒言	458
17.2	合併一次之綜合變方分析	459
17.3	各年期(地區)之試區位置不經改變者	463
17.4	合併二次之綜合變方分析法	468
17.5	綜合變方分析 SAS 電腦程序	477
17.6	穩定性分析	480
	習題十七	507
Chapter 18	迴歸分析	509
18.1	簡單直線迴歸	510
18.2	複迴歸分析	565
18.3	迴歸分析之推測及解析	584
18.4	異常值偵測及補救法	590
18.5	最佳模式配合法	591
18.6	邏輯迴歸模式	599
18.7	複邏輯迴歸模式	608
18.8	試驗設計配合迴歸模式	613
18.9	欠合性檢定	615
18.10	複迴歸、複相關及偏(淨)相關 SAS 電腦程序	618
	習題十八	624
Chapter 19	變積分析	627
19.1	緒言	628
19.2	單向分類一個共變數之變積分析法	628
19.3	處理均值矯正及處理差異顯著性測驗	635
19.4	雙向分類一個共變數之變積分析法	640
19.5	變積分析 SAS 電腦程序	645
	習題十九	649

目錄

Chapter 20	效應曲面法	651
20.1	緒言	652
20.2	陡升法	654
20.3	二階效應曲面分析	662
20.4	配合效應曲面之試驗設計	665
20.5	效應曲面區集設置法	677
20.6	效應曲面脊形分析法	689
	習題二十	699
Chapter 21	無母數統計法	705
21.1	單一樣品測驗	707
21.2	兩獨立樣品比較	713
21.3	成對兩樣品比較	724
21.4	K 個獨立樣品比較	727
21.5	K 個有關連樣品的比較	731
21.6	複因子試驗無母數變方分析法	736
21.7	相關性測驗	744
21.8	幾個變數一致性檢定	752
21.9	SAS 電腦程序及分析結果	755
	習題二十一	762
	參考文獻	765
	附表	769
附表 1	隨機數字	769
附表 2	標準常態分布累計機率	774
附表 3	學生氏 t 分布	776
附表 4	卡方分布 (右單尾)	777
附表 5	費氏 F 分布 (F_{α}, ν_1, ν_2)	778
附表 6	鄧氏新多變域測驗值	784
附表 7	學生化變域統計值	786

目 錄

附表 8	Dunnett 測驗值	788
附表 9	Dunn 複合比較測驗值	792
附表 10	Bliss 百分比轉換為角度值	793
附表 11	二項分布機率	796
附表 12	Kolmogorov-Smirnov D 臨界值 (單一樣品)	806
附表 13	Mann-Whitney U 測驗值	809
附表 14	Wilcoxon 配對訊號等級測驗法 T 臨界值	812
附表 15	Spearman 等級相關 r 臨界值	813
附表 16	直交多項式係數	814
附表 17	等級相關係數 T 臨界值	815
附表 18	不同顯著水準相關係數 (r)	816
附表 19	最大 F 比值表	817
附表 20	直交表、交感效應配行表與線點圖	818
附表 21	輪數檢定 (r)	823
附表 22	平衡格子設計表	824
索引		835