

用田間技術

包敦樸 編著

徐天錫 校訂

福建省立農學院叢書

中華民國三十六年十一月印行

實用田間技術

包敦樸 編著

徐天錫 校訂

福建省立農學院叢書

民國三十六年十一月初版

福建省立農學院院長周楨序：

時至今日，農業科學化已成急不容緩之要求，然所謂農業科學化，即從試驗研究，進而改良推廣其間有關技術問題，非經驗有素者，自難得心應手；田間技術為農藝部必修學科，旨在灌輸田間試驗工作之技術知識，貴能推陳出新，切合實用，乃具價值；包君敦樸本多年執教與從事試驗工作之心得，編著「實用田間技術」一書，舉凡各種田間試驗新法，無不條析目分，匠心獨運詢堪充作教材，與農業技術人員之應用，其裨益農教，輔助經建誠非淺鮮，書成爰綴數言，以介當世。

周楨謹序

國立浙江大學農藝系主任蕭輔序：

田間試驗方法之研究肇始於一九一一年，新法之釐訂，起源於一九二四年費雪氏公佈變量分析法及隨機區組及拉丁方排列法，至一九二九年費雪氏與顏刺氏始有實因了設計及間什設計之報導，故田間技術之成為專門學課為近二十年事，因其為新興科學，內容日新月異，學者須隨時收集文獻，採用新法，庶能達到試驗最高之效能；但文獻散見各種雜誌，蒐集不易，而又乏專著，故常有無從參考之苦。包君敦樸有鑒於斯，以其十餘年教學及實地試驗之經驗，編著「實用田間技術」一書，本書示例豐富，使讀者易於領悟，於讀後從事試驗，不再遭遇困難；且所舉之例多為實地試驗之結果，依實際情形作正確之斷語，一可以引起讀者之興趣，二可以供讀者將來解釋試驗結果之模楷，實為難得，又著者對於試驗設計之原理詳加說明，使讀者不僅善於模仿，且可依據原理加以推演，尤為可貴。本書問世，其于試驗新法之推行，于研究技術之增進，必大有裨益，是為之序。

蕭輔序於浙江大學

自序：

自1923年R. A. Fisher氏創變量分析法，繼經J. Wishart與F. Yates兩氏悉心研究，田間技術科學之進展，乃有長足之進步；我國斯學之介紹，除范福仁氏譯著之「生物統計與試驗設計」及「田間試驗之設計與分析」兩書堪充農業技術人員參考外，其他多散見於各種農業雜誌中；作者不敏，敢將十年來從事試驗與教學收集所得，編著成冊，定名曰「實用田間技術」聊充教學用材。

全書凡十章，所有田間試驗上各種法則，莫不悉行編入無遺，每章所引各例，大部係作者實地試驗資料，另再參酌實情，申引中外著名例子，均經詳為解釋，藉可發人深省者也，所編因子試驗，分別詳列數章，如因子均衡性試驗，因子混什試驗，擬複因子試驗等，以示其設計與分析上之不同，引人易解，是為本書之旨意。

本書承上海園場管理處處長兼聖約翰大學農藝系主任徐天錫氏之校訂；福建省立農學院院長周楨氏及浙江大學農藝系主任蕭輔氏為之序；復蒙王兆泰，牛瑞延，李森惠，徐崇民諸先生予以協助與便利之心之感，特此一並申謝。

本書雖幾經校閱，謬誤之處仍所難免，如荷 憚煩勞，賜以高見，尤所至幸。

包敦樸序於榕城農學院。 三十六年八月

目 次

第一章 總論 (Introduction)

第一節	田間技術學科之演進	1
第二節	設計試驗之先決條件	2
第三節	田間試驗之基本原理	5
第四節	複因子試驗概述	6

第二章 隨機區組及拉丁方格 (Randomized Blocks and Latin Square)

第一節	隨機區組	8
第二節	簡單隨機區組分析示例	11
第三節	複式隨機區組分析示例	13
第四節	拉丁方格	17
第五節	一個拉丁方格分析示例	19
第六節	二個拉丁方格分析示例	22

第三章 組羣設計及分裂區試驗 (Grouping method and split Plot Experiment)

第一節	組羣設計之原理	25
第二節	組羣設計分析示例	26
第三節	分裂區試驗	29
第四節	簡單分裂區試驗分析示例	33
第五節	複式分裂區試驗分析示例	37

第四章 取樣技術及缺區補救法 (Sample Technic and Missing Plot)

第一節	取樣	47
第二節	取樣機誤計算示例	48
第三節	重複次數・樣本大小對於機誤之影響	49
第四節	缺區之補救	51
第五節	隨機區組一個缺區產量分析示例	53
第六節	隨機區組二個缺區產量分析示例	54
第七節	拉丁方缺區產量分析示例	55

第五章 因子試驗 (Factorial Experiment)

第一節	因子均衡性設計概論	59
第二節	$2 \times 2 \times 2$ 因子試驗分析示例	60
第三節	6×2 因子試驗分析示例	63
第四節	3×3 因子試驗分析示例	65
第五節	$3 \times 2 \times 2$ 因子試驗分析示例	67

第六章 因子混什試驗 (The Experiment of Factorial Confounding)

第一節	均衡性與非均衡性	73
-----	----------	----

第二節	混什設計及其自由度之分派	74
第三節	簡單混什試驗之混什法	75
第四節	部分混什設計	76
第五節	重複式混什試驗設計	77
第六節	3 混什設計之法則	84
第七節	$3 \times 2 \times 2$ 部分混什法則	87
第八節	$3 \times 2 \times 2 \times 2$ 部分混什法則	88

第七章 因子混什試驗分析示例 (Example of Illustrative Factorial Confounding)

第一節	$2 \times 2 \times 2$ 混什排列試驗	99
第二節	$2 \times 2 \times 2$ 部分混什排列試驗	93
第三節	$2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$ 分混什排列試驗	96
第四節	$2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$ 無重複混什試驗	107
第五節	$3 \times 3 \times 3$ 普通混什試驗	109
第六節	$3 \times 3 \times 3$ 一個重複區組之混什試驗	113
第七節	$3 \times 3 \times 3$ 二個重複區組之部分混什試驗	115
第八節	$3 \times 2 \times 2$ 部分混什試驗	122
第九節	$3 \times 2 \times 2 \times 2$ 部分混什試驗	126

第八章 擬複因子試驗 (Quasi-Factorial Experiment)

第一節	概論	133
第二節	二向二組羣等組擬複因子試驗	134
第三節	二向三組羣等組擬複因子試驗	139
第四節	三向三組羣等組擬複因子試驗	141
第五節	二向二組羣不等組擬複因子試驗	143
第六節	二向三組羣不等組擬複因子設計	154
第七節	三向三組羣不等組擬複因子設計	156

第九章 平衡不完全隨機區組及擬拉丁方格法 (Balanced Incomplete Randomized Block and Quasi-Latin Square)

第一節	平衡不完全區組 $V = P^2$ 之設計	160
第二節	平衡不完全區組 $V = P^2 - P + 1$ 之設計	163
第三節	$V = P^2$ 之分析示例	165
第四節	$V = P^2 - P + 1$ 之分析示例	167
第五節	擬拉丁方格 P 為質數之設計	169
第六節	擬拉丁方格 P 為非質數設計	172
第七章	5×5 擬拉丁方格分析示例	175

第十章 複式試驗之綜合變量分析法 (Analysis of Variance—Complex Experiment)

第一節	隨機區組排列之綜合變量分析	179
第二節	拉丁方格排列之綜合變量分析	185
第三節	二向二組羣擬複因子試驗之綜合變量分析	188

實用田間技術

第一章 總論(Introduction)

田間技術係近年來新興之學科，應用在田間試驗上，不外有兩種意義：

(一) 試驗設計：設計試驗，規劃田間排列時，常能影響試驗之各種變因，用來設法控制，以謀估計試驗誤差之數量減小，而得正確之估計數值。

(二) 結果統計分析：應用合理統計分析，把各種變因所致的變量，詳加分析，求出各變因單獨所致之變量，以及餘剩微小而未知之變因所致之變量，當作誤差變量，以作各種變量及差異點之查驗標準，則試驗結論，可以明白求出。

第一節 田間技術學科之演進

田間試驗技術之由來，創始於英國 Rothamsted 試驗場，最初所用方法，極為簡陋，無重複區設置之試驗；對品種間，處理間之優劣，多憑試驗觀察結果為依據，幾不能稱為試驗，至二十世紀初，始有 Wood 與 Stratton 從事試驗方法之探討，實開其先河，於此風大開，從事研究者日益增多，而試驗之方法，亦為之日新月異，其進步之速，實有日千里之勢。

(一) 重複區設置：有重複之比較試驗，最早之方法，在美國當為 Norton 之桿行試驗，此即吾國十餘年前各場所引用之方法也；在英國則有 Leaven 之棋盤方格法，其法將各品種種於四碼方之小區，排成方塊，每處理普通重複四次；此後 Beaven 又創用成對條區試驗法，此法由英人所常用之 1/40 英畝小區比較法，與 Student 創用之對比法合併而成。以上數種方法俱為順序排列，前者適用小區之試驗，後者用於大區試驗也。

(二) 變量分析法：1923，R.A. Fisher 氏利用空白試驗 (Blank test)，發表變量分析法 (analysis of Variance) 應用數學方法，測定各種試驗上所生之變量，藉以規劃各種試驗設計，而作相互比較，以期在試驗上獲得一最精確之方法，1925年，氏復創隨機區組 (Randomized Block) 及拉丁方 (Latin

Square) 設計排列，其目的在消除區塊間之土壤差異，因而可以增加試驗之效能，法至善也，於是試驗方法又劇然大變矣。

(三) 不完全區組排列法：1930年左有，美國 Minnesota 大學同人，見於在品種較多之場合，區塊面積廣大，區塊間能消除土壤差異減少，影響增加之效能亦隨之降低，故乃用分組比較法，減小區組之面積，至1936年，Yates氏創擬復因子試驗 (Quasi-Factorial Experiment) 及不完全隨機區組法 (Incomplete Randomized Block)；1937年氏復創擬拉丁方 (Quasi-Latin Square) 對於多品種比較試驗上，功效頗大。

(四) 因子昆什排列法：在復因子試驗，包括組合處理數目較多時，利用隨機區組試驗或拉丁方試驗，則在區組內，或橫行 (Row)，直行 (Column) 內，土壤差異即有過大之嫌；故Yates氏在1933年發表昆什試驗之原理及方法，犧牲不重要之項目與區組混計，增加其他主要項目之準確性，因此對栽培試驗上之困難，遂行解決。

第二節 設計試驗之先決條件

(一) 試驗地之選擇：試驗地雖似均勻一律，然仍不免引起試驗結果之差誤 (變異)，吾人目前所應用試驗新法之優點，不過使試驗者，對於由土壤參差而起之差異，不致有錯誤之結論而已，而處理項目間之真正差異，每為土壤差異所蒙蔽，試驗之地位與設計，並不能影響處理項目間之真正差異，但可使試驗差誤盡量減少，如不幸土壤存有極大之差異，則任何設計，均不能使試驗機誤低下，是以土壤選擇愈為平均，則試驗之功效愈大，有如試驗處理項目間雖顯示有極大之差別，但結果每因土壤參差甚甚，使試驗機誤過大，以致無顯著之差異。

綜上理論所及，吾人選擇試驗地時，應為廣闊之平均，不僅表上已也，即下層亦須加以查究，故在一不熟悉之田，應掘數次以資考究其下層土壤之異同，茲將簡要選擇標準錄於后：

1. 試驗地之排列及地勢
2. 試驗地前作物之栽培，耕種，及施肥等俱能完全一致
3. 普通栽培作物之田地，已有數年觀察結果而無大差異者
4. 以上生長作物之情形為新，藉可顯示土壤差異情形

(二) 試驗品種數量：試驗小區形狀之決定，係根據供試品種或品系之多少而轉移，通常設計，將品種或品系分割成許多組羣，適應於各種不同形狀之小區試驗，故一般精密之試驗，均分設組羣，以包括品種數目之多少為至要的條件，據一般試驗觀察者之研究結果，在育種上採用下表所示品種數多少對試驗小區設置之形狀標準如下：

表一 試驗上設置小區形狀之標準

試驗種類	品種或品系	小區大小	重複次數
品系試驗 (Strain test)	50—200	16.5呎	4—3
初級品種試驗 (Preliminary var. test)	20—40	1/250—1/100 畝	3—4
標準品種試驗 (Standard var. test)	10—40	1/10—1/40 畝	3—4

上表試驗小區面積大小之標準，係根據品種或品系數之多少而規定之，是項小區面積之變異，對於整個試驗結果之準確性無任影響也。

(三) 試區形狀，大小及面積：決定試驗小區形狀，大小，及面積，常常依下列三點為依據。

1. 供試品種數目之多少。
2. 供試品種重複次數之多少。
3. 可供試驗利用平整有用地之多少。

在表一，顯示品種數，重複次數及小區大小均有相互關係存在，當試驗小區面積增加時，則對於土壤差異之影響，將逐漸減少，及至增大面積至 1/40 畝時，銳減程度最大（以後則小），而試驗區間之變異，亦因之而減小，由此據諸學者研究規定，小區面積以 1/40 畝大小時，為試驗小區最適宜之面積，若再行增大面積，變異所減無幾，或若減小面積，則常易發生較大之試驗謬誤。

試驗小區之形狀，通常以長方形及正方形二種為選擇對象，正方形者，在任何固定面積下，常佔有最小之周圍，但受不同處理項目間之邊界影響，或極為嚴重，而長方形者，耕作管理，收穫方便，且其試驗謬誤較正方形者小，同時試驗區彼此間之變異亦較少。

如試驗地為一斜坡，則試驗區之形狀，以狹長為有利，並使其邊跨過斜坡，則每區均可包括坡底與坡頂之面積，於是可使試驗機誤減低。

(四) 試驗重複次數：試驗小區重複次數之多少，不外依據下列各種情形而定奪之。

1. 試驗地土壤差異之程度若何
2. 試驗需要之精確程度
3. 作物有用之種子

在品種試驗中，重複次數之多少，對土壤差異之情形，非加詳為考慮不可，若土壤情況均表一律，是屬理想之試地，可不必設置重複，若土壤差異很大，不設置重複，則試驗結果，將受土壤差異影響，而結果不可靠，故一般利用

單區試驗 (Single plot test) 結果，是沒有價值；重複次數之增減，視土壤差異大小而增減之。

在每一設計試驗中，對重複次數需要多少之問題，可取決於平均標準機誤，據一般試驗測定結果，一區之單次標準差 (S_x) 可達於平均數 10%，倘欲維持此種精確度時，則如有 n 個重複，二個平均數間之差異之標準差，相當於平均數百分數之差異之標準差為 $\sqrt{\frac{S_x^2}{n}} \times 2 = \frac{S}{\sqrt{n}} \times \sqrt{2} = 10 \times \sqrt{2/n}$ 以此數

乘 t ，即為差異顯著標準差，此項 t 值隨機誤項之自由度而轉移，通常略大於 2，(以 $P=0.05$ 言) 可達顯著，蓋標準差之減小，與 $\sqrt{n}$ (重複數) 成反比，普通測定每品種，或每處理重複四至五次，標準差受重複次數減少之銳減率為最快 (即最大)，若再多增重複次數，其標準差減少之程度，反不及起初一二次為大，最多重複次數不得超過 10 次為限。

(五) 試驗處理或品種排列：試驗處理或品種之排列法，不外循下列兩法則排列之。

1. 在每一重複中，各處理循一定次序而排列之是謂順序排列。

2. 在每一重複中，各處理完全依靠隨機方法排列之，是謂隨機排列
在試驗上為避免偏袒發生之可能性，致使機誤增大，而品種或處理之變量為過小，某項顯著效果，將因此無由觀出，故將品種或處理隨機排列，可將所需之地位，完全隨機得以克服此項困難。

(六) 對照區之設立及應用：在試驗區中，設置對照區 (check plots) 之主要目的，有下列三點：

1. 校正接近對照區試驗小區之土壤差異影響。

2. 利用其計算數學常數如標準差 (Standard deviation) 與或差 (Probable error) 指出全試驗之變異程度。

3. 藉以利用作為田間試驗觀察時比較之標準區：

對照區設立之多少，以品種或供試處理而決定之。若全試驗田設之過多，則對土壤利用上，似較浪費，如 H. H. Love 試驗設計之順序排列 (Systematic arrangement) 即有此弊，今則改用隨機排列 (Randomized arrangement) 可減少對照區，因此全試驗區之土壤面積可以減少。

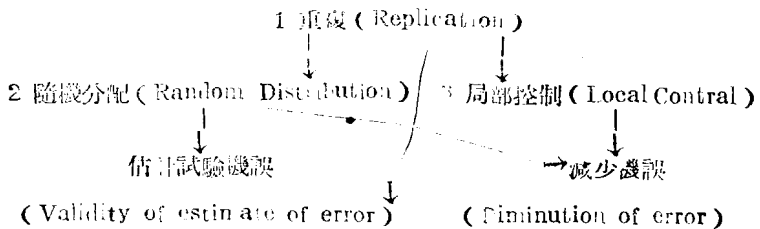
(七) 邊際影響及生長競爭：試驗小區間邊行影響，常成為試驗上極難解決之問題，致使試驗情形變異靡定，有時某種處理項目之作物，蔽蔽其鄰近區，有時中耕，施肥，播種等之不勻，多可影響其生長不齊，如是則對試驗計劃，應加考慮，故在收穫時，割除邊行，僅留中間一行，差誤似可減少，並設置邊行與保護行於試驗田之四週與兩端，同時試驗小區形狀，儘可能範圍內利用狹長形之設計為優良。

(八)試驗季節性與地域性：吾人從事之每一試驗不過係某年某月之結果，此實為試驗上之一極大限制也。因各年氣候之不同，影響各年試驗結果亦不相同，試驗之結果，必須求其能廣大應用，故單獨一次之試驗結果，在農業上無甚意義；當着手推論時，必需根據多次試驗之結果，吾人有一定則，試驗至少繼續三年，然後方可下一結論，恕可代表試驗之真實價值。

試驗除季節外，常包括各地土壤種類之不同，而生差異，欲避免此種試驗上之差誤，各地舉行數年區域試驗，如此方可參酌周詳，結果可靠，亦因之而精確。

第二節 田間試驗之基本原理

田間試驗設計，不論簡單與複雜，其所依據之原理不外有下列三種因素，茲就下表說明其關係如下：



(一)重複 (Replication)：重複應用在試驗上之原理，不外有下列幾點：

1. 增加試驗之精確度：增加重複次數，可以增加試驗之精確程度，其理由可分下列數點說明之。

⊖ 平均數之標準差設： $S_m = \frac{s}{\sqrt{n}}$ ，此公式中， S_x 為單次定奪標準差誤，而 n 為平均數之定奪次數，故增加試驗區之重複數，一品種或處理之平均數之標準差為之減小，此乃因重複次數之平方根為反比例，（即次數增加，誤差可以減小）故重複次數之設置，可增進試驗之精確度。

⊖ 不同自由度下t值分配之關係：（由Fisher's t-table查得）

當自由度數 $= 12$ 時， $P=1\%$ 時，則t之分配為 $t=2.1706$

當自由度數 $n=11$ 達到 $P=0.05$ 時，則t之分配為 $t=2.000$

此處所指自由度，即等於一處理之重複次數減一，故重複次數愈多，則自由度愈大，影響試驗項目之比較愈易到達顯著之境地，（因到達 $P=0.05$ 時所需之t值愈小也。）

2. 擴大試驗範圍：當試驗地土壤類型不一之時，試驗若不設置重複，因此失去試驗田之代表性，於此唯一方法，則將各處理增加重複次數，隨機排列于全試驗田，恕可代表各類型之土壤性質，由此可知增加重複，即可增加試

驗範圍，而其試驗之代表性亦愈大。

3. 測定機誤之大小：利用重複，可估計試驗機誤，試驗機誤之由來，顯然由同一品種或同一處理之試驗區間之差異而起，由於重複用之平均差異，若各處理不設置重複，僅各種一區，即無去土壤上壤之差異，（此土壤變異，在進行顯著性測定時，即可用作機誤）倘有 A, B, C, D, E, 五種處理，每處理僅設一區，則 A 與 B 之差數（或 A 與 C 等）既包含有該兩種處理本身之差異，又包括有土壤之差異，故是項差數，究竟由於何者，則無法判斷，假如每處理設有一重複區，或兩區以上時，藉之即可求得誤差之大小，得以測定機誤之大小，如 A 處理有三區，其產量為 78, 77, 70 及 72，此四個數字之變異并非由於處理之不同，而起於試驗上不易控制之因素（土壤差異，病蟲害等）（彼此不能完全相同所致，故由以上三個數字之變異，可測定其機誤之大小，此種變異由於機會，不能用人力控制，故名曰機誤。

（二）隨機排列（Random Arrangement）：如前所述，在試驗中，土壤差異，往往無法避免，欲保持試驗上不發生偏誤（Bias）可應用隨機排列之方法消除之，若試驗上用順序排列如下圖

圖1. 順序排列圖

A, E, C, D……第一重複	此種順序排列去，因 A 與 B 接近，
A, B, C, D……第二重複	A 與 D 接近，因此 A 與 B 之產量實際上並
A, B, C, D……第三重複	無高下乃是 A, D 相對於 B, C，土壤差異全
A, B, C, D……第四重複	然不同，致 A 與 B 有顯一差異。

以上各對品種產量比較時，試驗上精確程度并不很相等，A 與 B 常接近，而 A 與 D 常遠離，此為設計上之大意。因全試驗僅用一個區間，如用那兩品種比較時，實際上是有差異，可因機誤過大，蒙蔽，如常連鄰之兩品種比較時，實際上無差異，但因土壤差異特殊而反為差異顯著，此種偏袒稱曰品種內偏袒（Intravarietal bias）

（二）局部控制（Local Control）：試驗上之所謂局部控制法者，是在試驗區加設區組，以控制土異，而使機誤估計值，不致過小，而增加試驗之精確度；在田間試驗上譬如試驗 10 品種，而用五畦規定之，每畦上分為 10 小區，每品種各種一小區，此種局部控制之辦法，非特每品種皆分得之五小區，彼此均不相上下，且可除去畦間（區組＝重複＝10 品種佔一區）之土壤差異，因此可以減小機誤。

第四節 複因子試驗概述

所謂複因子試驗（Factorial Experiment）者，乃包括二個或二個以上因子之試驗是也，倘一試驗包括四個因子，而每一因子又有三水準（Level）且

須研究所有可能組合時，有81種組合，故在複因子試驗，其連應之研究，亦極爲重要，而在以往未有適當田間技術時，完全不顧也。

(一)連應之意義：在試驗中，欲同時顧及各種因子，則最好將各因子組合包於一試驗中，如是可觀出一因子對於其他因子之不同反應，是爲連應，換言之，乃指一因子是否因其他因子之變換而有不同之反應也，如1939年范福仁氏在廣西所栽之玉米栽培試驗，每穴一株與每穴二株處理之產量，常隨播種期而大有出入。

(二)複因子試驗之優點：複因子試驗之優點有三。

證據廣大：一因子之效應，係在其他各因子之各種組合下測定之，如品種與行距之複因子之試驗，則二品種之差異，系在各種不同行距之總差異，故證據較單獨在一種行距下者較爲廣大。

效率大：隨着重複，在複因子試驗，每一試驗區，可反覆應用，以估計各因子反應，例如四因子試驗，各共二平準共16種處理組合，重複五次共80區，當估計全試驗區中任何一因子效應時，則每一因子之高平準與低平準各佔40區，換言之，自每因子一平準而言，祇得見重複5次，但實際以單個因子本身而言，則重複1次，此種重複隱而不見，故稱隱性重複，(Hidden replication)可增加試驗精確度。

3.連應關係之存在與否：連應之意義在上已所述及，惟連應關係之探究，非在複因試驗中不可，若各因子分別舉行，單獨試驗，則無以探究，此種連應知識，頗爲珍貴，此爲析式試驗上極大之優點。

主要參攷書

1. Fisher, R.A.: The Design of Experiments, 1937, chapter I, II, and III,
2. Coud, H.: Statistical methods in agronomic Research, 1929, Chapter I and II
3. Fall, A.D.; K.C.B.; F.R.S.: the Technique of field Experiments 1931, P.P.5—8 and 11—13.
4. 范福仁著：田間試驗之設計與分析•第一，十二章
5. 范福仁譯註：生物統計與試驗設計，第五章

第二章 隨機區組，拉丁方

(Randomized Block, Latin square)

自費歇氏 (Fisher) 提倡應用變量分析法於田間試驗後，田間技術，乃有長足之進步，而田間試驗之佈置排列，亦因而有精密之研究，最初英國畢芬教授 (prof. Beaven) 提倡棋盤法，於田間佈置，後為費歇教授及韋適 (Wishart) 博士提倡，演變隨機區組及拉丁方法之排列，此兩法則之熟優熟劣，農學者意見頗不一致，Yates 謂隨機區組不及拉丁方格之優良，然拉丁方格，又不為絕對佳良之田間佈置法則，但須要加以改良，故氏近年來創有複因子及混什試驗之新類法則，韋適氏謂拉丁方格法，理論故佳，但在實用上，不及隨機區組法之方便，據汪賦明教授意見，隨機區組法在理論上或不及拉丁方格之精確，但在實用上，則拉丁方格不及隨機區組之方便。

第一節 隨機區組 (Randomized Block)

(一) 隨機區組之意義，及小區之劃分：隨機區組者，乃將試驗地，按所欲重複之區數劃分為若干小區，將其所欲試驗之品系或處理各按一小區，隨機排成一組之謂也，唯隨機小區排列時，須有一種地域之限制，而每品種或每處理於一區組內，祇得發現一次，此外則純用隨機方法排列之，并無任何限制，至於區組之排列與形狀悉依試驗者自己觀測情形而決定之。

區組及小區之劃分，最好區組形狀，須近方形為妥，而小區形狀須近長方形為優；每區組作成一片，小區排列在區組內，不使分開，但若受土地面積之限制，亦須設法緊靠排列為善，如遇地為斜坡，則區組須橫佈于坡上，而使小區之縱向與坡平行為有利。

(二) 隨機區組之供試品種數及重複次數 (區組) 之商討：關於品種及試區之重複次數 (區組數)，以試驗機誤之自由度不在 10 以下為準，例如品種數為 m 個，其自由度為 $(m-1)$ ；區組數為 n 個，其自由度為 $(n-1)$ ，則試驗機誤之自由度為 $(m-1)(n-1)$ 此 $(m-1)(n-1) \geq 10$ 時，方為合理，若品種數 $m=2$ ，則機誤自由度為 $(2-1)(n-1) = (n-1)$ ，反之，當 $n=2$ ，機誤自由度為 $(m-1)(2-1) = (m-1)$ ；即品種數 $(m-1)(2-1) \geq 10$ ， $(m-1) \geq 10$ ，即 $m \geq 11$ 時，則機誤自由度便可大於 10，Yates 即充分利用此點，使品種數增多，而重複次數可較減少，作出最近擬因子設計 Wishart 氏則謂重複次數太少時，機誤估計不正確，Neyman 氏，亦頗贊同此說，Yates 之主張，雖有人應用，而正式為文贊同者，尚無其人。

普通成對法試驗之重複到次數為10時，則機誤自由度為9，若品種數增到10以上，則重複次數 n ，是否可減至2，而使機誤自由度為 $(n-1) > 10$ ，是為統計學上之爭點，據 Yates 主張，此種方法可以增加品種數而減少重複到2次，其認為品種數增加，可不必須廣大之面積，同時土壤差異可減少，而又合經濟之原則，但 Wishart 以重複太少，機誤在一品種試區內，往往按隨機發生原理而發生，蓋當自由度僅為一個，而其機率為0.05或0.01時機誤值表示甚大，方可顯著，結果乃致試驗之精確性甚小，試驗之效能甚低，因兩品種平均產量之機誤必需甚大時，方能判斷出其顯著與否，故氏反對增加品種數，減少重複次數之試驗設計，Neyman 氏亦甚反對此種理論。

(三) 隨機區組之排列方法：隨機區組法之排列，須先依品種數（或處理數）之多少，製成一定形狀之區組，每區組所含試區數須與品種數相同，然後更依重複次數之多少，製定若干區組，乃將品種編號，隨機排列於區組內，每品種必佔一區，且僅佔一區，將所有區組排成後，再隨機將各區組排列於試地，即作田間種植圖，然後須視試地之性質，作物之種類，土壤之情形等，規定出試區及區組之形狀大小等，作出完善之種植計劃書；隨機排列法甚多，茲舉方便而通用者如次。

1. 隨機數字表：其法取該表內任何一頁，採其直讀或橫讀之各二位數，先以供試處理總數除之，所得之餘數，即可決定該號代表品種應設之位置，第二次以 $n-1$ 供試處理數除之，得餘數，代表 $n-1$ 號代品種應有之位置，餘類推，例如有六個供試品種，給以1, 2, 3, 4, 5, 6, 六種不同代號，設排第6號品種時，則以表中二位數（44）除6，餘2，則第六號品種應設在第二個位置，第二次排列時以品種代號5，除另一二位數（19+5）餘1，則該第5號品種應排第一位置，在排列第四號品種時，因祇剩下四個位置，故除數設為（4+4）餘2，則該第四號品種應排在餘下位置之第二個，在第三號品種設為（6+3）餘數為零，是即第三號品種應排於剩下地位之第三個地位，餘類推，如

5	6	1	4	2	3
---	---	---	---	---	---

2. 費歇氏卡片法：費歇氏主張用大小相同之卡片100張，順次書出號碼，由1至100為止，先隨機抽卡片一張，視其數碼之值，用餘數定位法，規定品種之位置，如有品種20個，第一次抽得之卡片為33，其餘數為13，即品種13當排在第一位置，第二次抽得之卡片之數為40，餘數為零，與最末之品種為0，應在第二位置，如有餘數相同者，即棄去另抽，若品種數為21個，似可用此卡片，但自85至100之16張卡片，應除外不用，每一區組排列完後，再將卡片充分隨機混合，方可開始第二次抽樣。

3. 抽籤對號法：其法預備細長光滑之竹籤兩種，每種約五十枝，長

約六七寸，粗細勻一，分裝於兩個竹筒內，一種紅色字碼，順次由1至50，他種則綠色字碼，順次由1至10，隨機作種植圖時，以品種數多少，各取出同數之竹籤分裝於兩筒中，充分搖動之，同時以左右手自兩筒各抽一籤，以紅字表品種，為「3」時，則綠字表試區，為「5」時，即品種「3」應位於試區「5」，其他類推，如有重號發生，應棄另抽，直至全數品種排完為止（附排列圖）。

圖2 隨機排列圖

區 組	I	D	E	C	A	B
	II	B	A	D	E	C
	III	E	D	A	C	B
	IV	A	C	E	B	D
	V	C	B	D	A	E

以上每區組內五小區處理，係根據上項法則，完全各自隨機分配於區組內。

（四）隨機區組之分析公式：由上表所示「k」代表區組數目「n」代表品種或處理項目，其平方和，自由度折出之公式於下：—

$$1. \text{總平方和} = \sum_1^{nk} (X - \bar{x})^2 = \sum_1^{nk} (x^2) - T^2/nk$$

$$2. \text{區組平方和} = n \sum_b^k (\bar{x}_b - \bar{x})^2 = \sum_b^k (T_b)^2/n - T^2/nk$$

$$3. \text{處理平方和} = k \sum_v^n (\bar{x}_v - \bar{x})^2 = \sum_v^n (T_v)^2/k - T^2/nk$$

$$4. \text{機誤平方和} = \sum_1^{nk} (d^2) = \text{總平方和} - \text{區組平方和} - \text{處理平方和}$$

$$5. \text{顯著所需之差數} = S/\sqrt{k} \times \sqrt{2} \times t(5\%)$$

$$\sum_1^{nk} (x - \bar{x})^2 = n \sum_1^k (\bar{x} - \bar{x})^2 + k \sum_1^n (\bar{x}_v - \bar{x})^2 + \sum_1^{nd} (d^2)$$

總數

區組

處理

機誤

$$(nk - 1) = (k - 1) + (n - 1) + (n - 1)(k - 1) \dots \text{自由度}$$

註：（ $\bar{x}_b$ 代表一區組之平均數；T代表各區組之總和； T_v 代表一處理之

之總和； $\bar{x}_v$ 代表一處理之平均數；T 代表一區組之總和）

第二節 簡單隨機區組分析示例

茲舉作青民28年在廣西三區場會舉行之大麥肥料試驗結果分析為例，供試處理為A,B,C,D,E五種，重複六次，即組成六個區組，其試區收量（為1/40英畝之 $\frac{1}{4}$ 磅）歸類於下：—

表二 產量表

	A	B	C	D	E	總計
I	214	273	303	372	350	1512
II	235	278	320	304	277	1514
III	222	255	345	347	370	1539
IV	317	389	387	398	417	1908
V	328	372	389	426	376	1891
VI	234	353	362	393	428	1775
總計	1550	1920	2106	2245	2318	10139

（一）各種平方和之計算：—

$$1. \text{總平方和} : (214^2 + 235^2 + \dots + 428^2) - \frac{(10139)^2}{30} = 107680.97$$

$$2. \text{區組平方和} : (1512^2 + 1514^2 + \dots + 1775^2) - \frac{(10139)^2}{30} = 31634.19$$

$$3. \text{處理平方和} : (1550^2 + 1920^2 + \dots + 2318^2) - \frac{(10139)^2}{30} = 32903.47$$

$$4. \text{機誤平方和} : \text{總平方和} - \text{區組平方和} - \text{處理平方和} = 107680.97 - (31634.19 + 32903.47) = 13143.33$$

（二）變量分析結果：

表三 變量分析表

變異原因	自由度	平方和	變量	z 值
區組	5	31674.17	6326.83	1.13176*
處理	4	62903.47	15725.87	1.5907 *
機誤	20	13143.53	657.15	
總數	29	107681.97		

* 顯著超出5%標點

處理變量意義(顯著性)查驗: 區組變量意義(顯著性)查驗:

$$z = \frac{1}{2} \log \frac{1572.87/657.17}{1} = 1.5907 \quad z = \frac{1}{2} \log \frac{6326.83/657.17}{1} = 1.13176$$

上表3, 求出之兩種 z 值均表顯著, 區組間差異顯著者, 即表示試驗地之土壤有差異也, 處理間差異顯著者, 即示各處理在收量上有顯著之差異也。

(三) 各處理收量比較: 本試驗處理間, 既有顯著之差異, 即須進行處理收量比較, 以定出各處理之優劣, 其比較法則以費歇氏 t 法為便利, 用各處理之 n 區平均收量, 或 n 區之總收量均可, 僅就其標準差估計略有不同耳, 以上例之機誤變量為 657.17, 故其標準差為 25.6352, 此數係各單獨區之標準差, 本試驗重複六次, 每處理各包含六小區故其平均標準差如下式求得之:

$$S_d = S \sqrt{n} = 25.6352 / \sqrt{6} = 10.4592$$

今欲明瞭二品種或處理之差異顯著性, 故須求平均數之差異標準差如下式求得之,

$$S_d = s \sqrt{n} \times \sqrt{2} = 10.4592 \sqrt{2} = 14.8384$$

又因機誤變量 657.17, 自由度為 20, 查 Snedecor 氏 F 表之末行 t 值, 上行為 2.086 示差異顯著在 5% 標點, 下行為 2.845, 示差異顯著在 1% 標點, 是故凡各處理之平均產量相差在 $2.086 \times 14.868 = 31.0155$ 或 $2.845 \times 14.8684 = 42.3006$ 者, 示差異顯著, 小於此項數字者, 表示相差並不顯著, 茲將各處理平均產量比較於下表: