中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）44(3)：229～241（1995）

利用稻作均度試驗資料估計最適試區大小及重複次數[1]

呂椿棠　呂秀英　曾東海[2]

摘要：適當地決定田間試驗設計之試區大小及重複次數，可提高試驗處理比較之準確度。試區太小及重複次數太少，試驗結果將不可靠；但倘試區太大及重複次數太多，則會浪費時間及資源。本研究目的在以臺灣省農業試驗所進行之稻作均度試驗，估計最適的試區大小及重複次數。利用摺疊分類之規劃，將均度試驗田區模擬成各種可能的試區大小，並估算不同試區大小的變方估值，根據變方比較法及最大曲度法，依試驗面積及可用資源之限制與否，估計出最適的試區大小在20及100叢之間；並在假設一逢機完全區集設計試驗下，設定不同試區大小、重複次數與處理數之各種組合，利用 Hatheway 法估算各組合的處理平均值間之眞差值，估計出在最適試區大小時的最適重複次數爲 4 次。

關鍵詞：水稻、均度試驗、試區大小、重複次數、土壤異質性指標。

試驗之準確與否，決定於試驗機差（experimental error）之大小，機差愈小，則愈準確，加以費用最少，則效率最高。適當地決定田間試驗設計之試區大小（plot size）及重複次數（replicates number），可減少試驗機差，提高試驗處理比較之準確度（precision）。試區及重複太小，試驗結果將不可靠；但倘試區及重複太多，則會浪費時間及資源。而在固定試驗材料數量及有限試驗面積之場合下，試區大小及重複次數之增減有相互消長之直接關係[3]。要決定試區大小及重複次數，必須事先瞭解該試驗用地的土壤肥力差異狀況。在國際稻米研究中心（IRRI），研究人員進行試驗前都會根據田區之土壤肥力分布型態來決定試區之大小，並依所要求之準確度來決定重複次數，以確保試驗之準確度及節省試驗資源[5]。

Smith[13]最早利用均度試驗（uniformity trial）求算各種田區之土壤異質性指標（soil heterogeneity index, b）：低 b 值，表示存在有因土壤、病害等造成之強烈的收量變異傾向；倘 b 值高，大約是逢機的土壤變異型態，但是從極端均質（b＝1）到極端異質（b＞1，即鄰近小區高度負相關）的區域均有可能[4]。均度試驗係在某一試驗地點栽植單一作物品種並儘可能施以一致之栽培管理的試驗，其除了原有土壤異質性外，所有變因均保持固定。因此均度試驗，又名空白試驗（blank test）。利用不同的生產測量值，如粒重，可將均度試驗的栽植區劃分成尺寸大小相同的小單位（基本單位，basic unit），以這些基本單位間收量之差異來作爲地區土壤異質性的測度，如此不僅該田區內各處之肥瘠變異及傾向均可瞭然，且最適當之行長、試區大小及形狀、重複次數都可按收穫之小段任意合併來決定。雖然此法則缺乏理論基礎，且理論上甚難模式化，必須預先研究又耗時費力，但

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1795 號。
2. 本所農藝系助理、副研究員與助理研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

其適用性仍可獲肯定，故一直被延用著[2,7,8,10,11,14,15]。呂[2]指出，該法在使用上應該以產量作爲測量性狀，則所估得之 b 值將不致因爲期作及小區形狀效應不同而異，同時用以分析的基本單位宜選擇儘可能面積最小的小區，但要避免小區內植株個體間本身差異太大或可能缺區之影響。另外，均度試驗田區大小形狀不同，對 b 值之估計亦有影響，小區太小，容易受到鄰近植株邊際效應之影響，而呈高度負相關之 b>1 的極端異質狀態；隨著試驗田區面積增大至邊際效應已顯得不重要時，b 值始可趨於穩定；但田區過大，均度試驗所需成本也愈高，故均度試驗之田區大小至少應含有100個以上的基本單位，且田區形狀應儘可能接近於正方形[1]。

本研究於1991～1994年在臺灣省農業試驗所田區進行各兩年四期作之粳、籼稻均度試驗，以稻穀產量爲分析性狀，採用 Smith 之分析方法，估計該地點試驗田區之土壤異質性指標（b），並利用摺疊分類（hierarchical classification）之規劃，將均度試驗田區模擬成各種試區大小，根據所估得之 b 值，估算所模擬出之不同試區大小的變方估值，以決定最適的試區大小，然後在假設一逢機完全區集設計（randomized complete block design，RCBD）試驗下，設定不同處理數與重複次數之各種組合，並且在第一型錯誤率及第二型錯誤率固定下，計算各組合的處理平均眞差值之最小可能性，以決定出最適的重複次數。如此，在兼顧試驗材料變異性、土壤異質性及試驗準確度下，可探明稻作試驗田區之試區大小及重複次數的選擇問題。

材料與方法

一、試驗材料

以臺農67號及臺中籼10號爲粳、籼稻之參試品種，分別於1991～1994年假臺灣省農業試驗所同一試驗田區進行各兩年四期作的均度試驗，劃定邊長約 6.4m×5.6m 大區，全區共植20行，每行40叢，每叢 4～5 支苗（多本植），按一般產量試驗採行株距 28cm×16cm 栽培，四周再植適當數量之保護行以免受邊際效應影響，本試區土質屬坋質壤土，pH 值約 4.7～5.5；基肥施用39號複合肥料40 kg/0.1ha，追肥每次施用硫酸銨20kg/0.1ha，第一次追肥在插秧後10～14天施用，第二次在第一次後約二週，第三次約在第二次後二週，最後一次則在幼穗分化期（幼穗長約 2 mm）施用，第二期作因初期生育較快故少施一次；病蟲害防治於分蘗中期行葉害蟲防治，分蘗盛期則進行螟蟲防治，以免因生長不正常或缺株影響試驗結果，倘有此現象，則予以標記。本試驗進行前及進行中試區周圍皆爲 F2 集團之試驗，未曾進行產量或肥效試驗。針對全部材料，全區以單叢爲單位，並依序編成號碼，分別調查稻穀產量（稔實粒重，以 g 單位記載）。

二、統計方法

㈠以 Smith 公式估算均度試驗的土壤異質性指標（b）

呂[2]指出，均度試驗以最小之1×1（單叢）爲基本單位，可偵測出最細微的土壤差異，理論上可獲最準確之結果，但要避免小區內植株個體間本身差異太大或可能缺區之影響，可選擇二叢以上的基本單位，而如果面積相等但方向不同之單位小區間存在有行差異，則以形狀較狹窄者爲佳。故本研究將全區20行×40叢之試驗田，各以1×1叢及2×1叢爲基本單位，由縱橫相連之基本單位，合併模擬成各種不同大小及形狀之試驗小區。對所建立的每一種不同大小及形狀的小區，各計算其 x 個基本單位的單位面積平均變方（V_x），而利用 Smith[13]之計算公式估計均度試驗的土壤異質性指標（b）如下：

$$V_x = V_1 / x^b \quad \cdots\cdots [1]$$

式中 V_1：基本單位小區的收量變方；

V_x：小區大小爲 x 單位之單位面積的收量變方；

b ：土壤異質性指標，可視爲小區間的相似程度，一般 $0 \leqq b \leqq 1$，鄰近小區高度正相關，b 近於0，反之無相關，$b=1$。

b 值低，表示存在有因土壤、病害等造成之強烈的收量變異傾向，倘 b 值高，大約是逢機的土壤變異型態，但從極端均質（$b=1$）到極端異質（$b>1$，即鄰近小區高度負相關）的區域均有可能[4]。

利用均度試驗估計土壤異質性指標的分析步驟及各項數值的計算方法，呂[2]曾以1992年第一期作之粳稻均度試驗的稻穀產量分析爲例，有很詳細之說明，可提供參考。

㈡均度試驗以摺疊分類規劃之模擬設計

將全區20行×40叢（6.4m×5.6m）之均度試驗田區，根據摺疊分類法進行規劃如圖1，以模擬成類似於裂區（split-plot）之設計，共劃分爲六層，設計方式有兩種，圖1中設計-Ⅰ產生叢數各爲200、100、20、10、5、1之六種不同試區大小，圖1中設計-Ⅱ產生叢數各爲200、100、50、25、5、1之六種不同試區大小，其中兩種設計之試區大小雖同爲100叢，但其形狀則不相同。

㈢最適試區大小之估計

估計上述所模擬出之各種試區大小的平均變方，而可藉由下列兩種不同途徑求得：

1. 利用所模擬的裂區設計之變方分析中求算[15]，假設變方分析之各項變因由主區到最下層副區的自由度及均方依次爲（df_b，MS_b）、（df_p，MS_p）、（df_{sp}，MS_{sp}）、（df_{ssp}，MS_{ssp}）、（df_{sssp}，MS_{sssp}）、（df_{ssssp}，MS_{ssssp}），當各層試區縮小爲下一層之大小時，其所減少的變方等於

$$\begin{cases} V_b = MS_b \\ V_p = (df_b MS_b + df_p MS_p) / (df_b + df_p) \\ V_{sp} = (df_p MS_p + df_{sp} MS_{sp}) / (df_p + df_{sp}) \\ V_{ssp} = (df_{sp} MS_{sp} + df_{ssp} MS_{ssp}) / (df_{sp} + df_{ssp}) \\ V_{sssp} = (df_{ssp} MS_{ssp} + df_{sssp} MS_{sssp}) / (df_{ssp} + df_{sssp}) \\ V_{ssssp} = (df_{sssp} MS_{sssp} + df_{ssssp} MS_{ssssp}) / (df_{sssp} + df_{ssssp}) \end{cases} \quad \cdots\cdots [2]$$

每一層因試區縮小所減少的變方估值即爲該層所產生之試區大小（x）的平均變方（V_x）。

2. 各種不同大小的試區，其平均變方也可直接在估計土壤異質性指標（b）之計算過程中獲得，即相當於在公式〔1〕中計算 x 個基本單位的單位面積變方（V_x），因此本研究對於此兩種變方均採以相同的數學符號來表示。

進而利用 Bartlett 變方均質性測驗（homogeneity of variance），以逐步方式檢定不同試區大小之 V_x 是否顯著差異，即首先將所有 V_x 值視爲一組資料進行顯著性測驗，然後每次剔除一個較小試區之 V_x，再重新進行測驗，直到僅剩下單一個最大試區之 V_x 則停止測驗，最後由每一次循環的各組測驗結果，判斷不同變方值間的差異顯著性[15]。

另外，並計算不同試區大小的變異係數（coefficient of variation，CV），建立 CV 值隨著試區大小變化的曲線，根據最大曲度法（maximum curvature method）[12.15.16]，找出曲線之最大反曲點（maximum inflection）以決定最適的試區大小，此時即使試區擴大，其變方估值也不再顯著減少。CV 值之計算公式如下：

$$CV = \sqrt{V_x} / \bar{y}_x \times 100 \quad \cdots\cdots [3]$$

Scheme- I

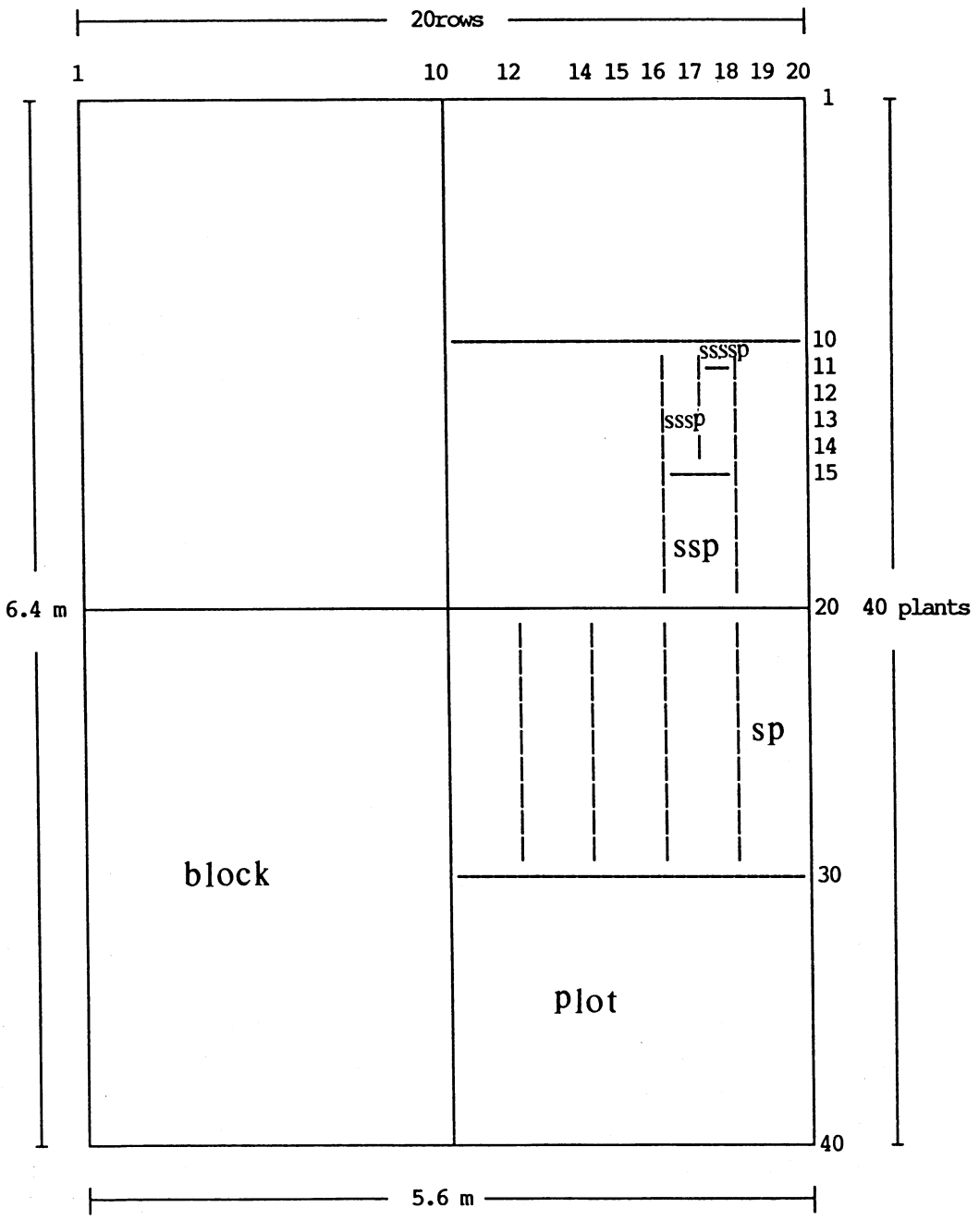


圖 1. 根據摺疊分類所規劃的兩種稻作均度試驗田間設計。

Fig. 1. Two schemes for rice uniformity trials, subdivided following a hierarchical classifications. (sp : subplot, ssp : sub-subplot, sssp : sub-sub-subplot, ssssp : sub-sub-sub-subplot)

Scheme-Ⅱ

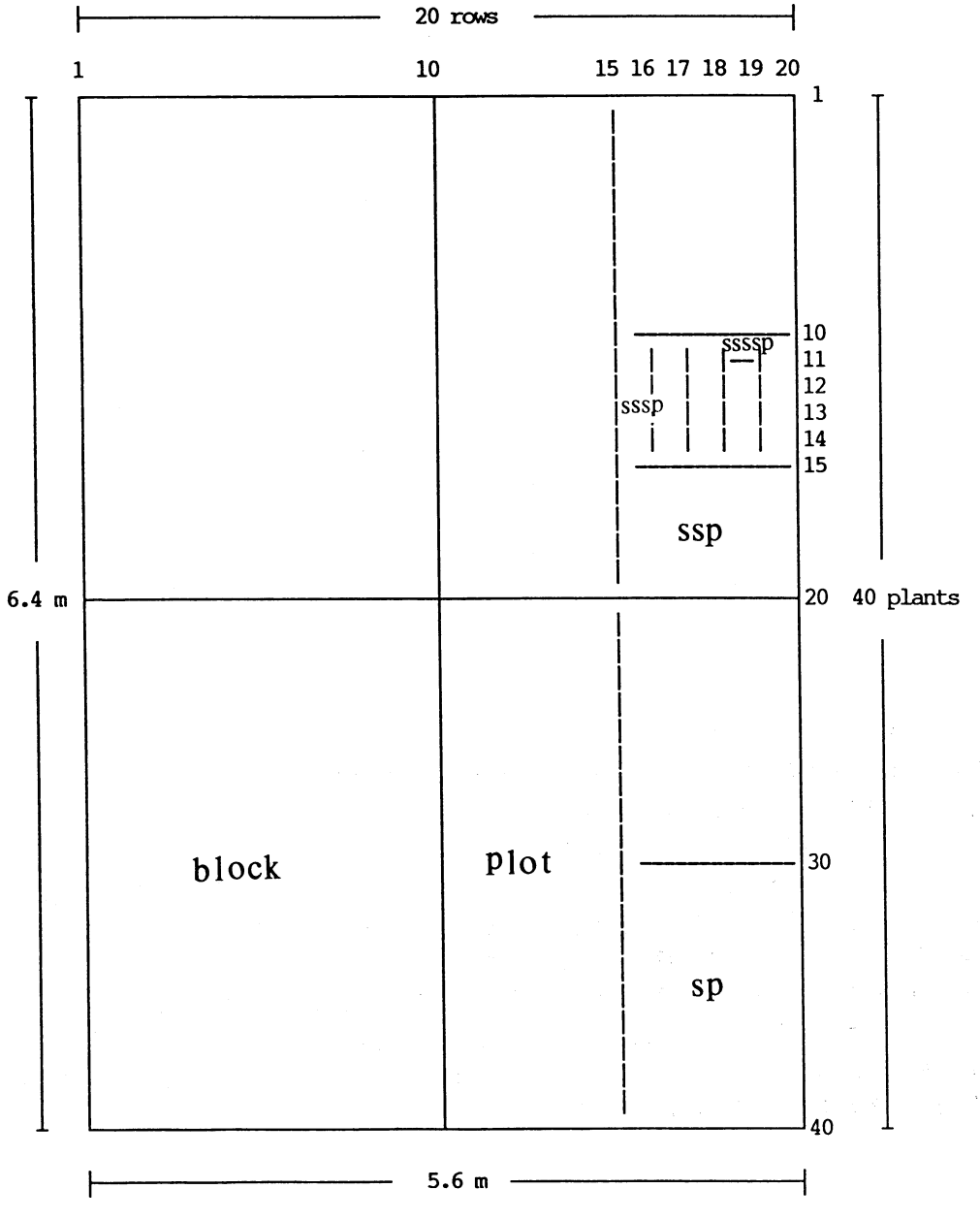


圖 1. 根據摺疊分類所規劃的兩種稻作均度試驗田間設計（續）

Fig. 1. Two schemes for rice uniformity trials, subdivided following a hierarchical classifications. (sp : subplot, ssp : sub-subplot, sssp : sub-sub-subplot, ssssp : sub-sub-sub-subplot) (Cont.)

式中 V_x 及 $\bar{y}_x$ 分別爲不同大小的試區之收量的平均變方及平均值。

㈣利用 Hatheway 法決定重複次數

由於 RCBD 是應用最爲普遍的田間設計方法，於是在假設一 RCBD 試驗下，設定不同試區大小（20、25、50、100叢）、重複次數（2、3、4、5、6、7、8）與處理數（2、5、10、20、30、40）之各種組合，在第一型錯誤率及第二型錯誤率固定下，利用 Hatheway[9]法計算各組合的處理平均眞差值（d），其計算公式如下：

$$d=\sqrt{2\ (t_1+t_2)^2CV^2/rx^b} \quad (4)$$

式中 d：平均值間之眞差值（以平均值之%表示）；

b：土壤異質性指標；

x：試區大小；

r：重複次數；

CV：試區之變異係數（以平均值之%表示）；

t_1，t_2：各爲測驗平均差值在自由度爲(n-1)(r-1)下之顯著水準（α）及 2(1-P)的學生氏 t 分布值；而P爲試驗達顯著結果之眞正機率值；n爲處理數。

例如某一均度試驗所估得之 b=0.8，且試區大小爲20叢的 CV=10%，則在假設顯著水準α=5%且處理間差異能達到顯著結果的機率值 P=0.8之情形下，欲利用 Hatheway 法計算出處理數n=2與重複次數r=4之各種組合的平均眞差值(d)，應該首先由學生氏t分布表中查出自由度 df=(2−1)(4−1)=3 而顯著水準各爲0.05及0.4的t分布值（t_1，t_2），結果爲 t_1=3.812 及 t_2=0.978，因此 $d=\sqrt{2\ (3.812+0.978)^2\ (10)^2/4\ (20)^{0.8}}=10.22$。

利用上述計算方法即可求得不同試區大小、處理數與重複次數之各種組合下的平均值間之眞差值（d）。倘試區大小及處理數不變時，當重複次數增加到其 d 值不再有明顯變化時，表示此爲最適的重複次數。

結　果

本研究之稉、秈稻均度試驗各進行兩年四期作，全區長×寬約6.4m×5.6m，共植20行，每行40叢，針對全部材料編號調查，均無缺株，故各以1×1叢及2×1叢爲基本單位，將全區合併模擬成各種不同大小及形狀之試驗小區，利用 Smith[13]法所估得的土壤異質性指標（b）列於表1。以1×1叢爲基本單位時，稉稻兩年四期作所得之 b 值分別爲0.84、0.76、0.76、0.92，平均值爲0.82，秈稻兩年四期作所得之 b 值分別爲0.85、0.60、0.77、0.67，平均值爲0.72，均接近於1，顯示該稻作試驗田區之土壤變異大致是呈點狀分布之逢機型態，並未有明顯區分的肥力傾向。無論稉、秈稻試驗，不同年度及期作所估得之 b 值均極爲接近，表示稻作均度試驗之土壤差異評估不會因品種、年度及期作不同而異。倘以2×1叢爲基本單位，則與1×1叢之基本單位所得者一致，表示本研究稻植株個體間本身之差異不致太大而影響 b 值之估計。由於本研究稉、秈稻試驗都是在同一塊田區進行，故應該僅用單一個 b 值來表示即可，因爲此處無缺株，且稻植株個體間之差異不大，故採以1×1叢爲基本單位所得之估算結果，合併所有試驗之平均 b 值爲0.77。

表 1. 稻作均度試驗之產量性狀利用1×1及2×1叢之基本單位所估計的土壤異質性指標 (b) 及其標準差 (SE_b)
Table 1. Soil heterogeneity index (b) and its standard error (SE_b) for yield by using 1×1 and 2×1 basic unit in the rice uniformity trials

Trial	Year-crop	1×1		2×1	
		$b \pm SE_b$	R^2	$b \pm SE_b$	R^2
Japonica rice	1991—II	0.84±0.01	0.999	0.85±0.01	0.997
	1992— I	0.76±0.01	0.997	0.76±0.02	0.991
	1992—II	0.76±0.01	0.998	0.73±0.01	0.997
	1993— I	0.92±0.01	0.999	0.92±0.01	0.999
	Mean	0.82		0.82	
	CV (%)	9.34		10.63	
Indica rice	1992—II	0.85±0.02	0.993	0.82±0.02	0.985
	1993— I	0.60±0.01	0.996	0.57±0.01	0.999
	1993—II	0.77±0.01	0.999	0.77±0.01	0.997
	1994— I	0.67±0.01	0.997	0.63±0.01	0.995
	Mean	0.72		0.70	
	CV (%)	15.22		16.78	
	Grand mean	0.77		0.76	
	CV (%)	13.23		15.01	

爲利用均度試驗模擬成各種不同試區大小的情形，將全區20行×40叢 (6.4m×5.6m) 之稻作均度試驗田區，根據摺疊分類法以圖 1 之兩種方式進行規劃設計，估得六層裂區設計的變方分析結果於表 2。表中均方爲八組均度試驗各進行裂區設計之變方分析的平均結果。由表 2 所列各項變因之自由度及均方值，可使用關係式〔2〕求得各種試區大小的平均變方 (V_x)，如表 3 所列。表 3 之 V_x 也可直接由 Smith[13]之計算式 (公式〔1〕) 估得。由於兩種不同設計會產生大小均爲100叢但形狀不同的兩種試區，10×10及 5 ×20，故表 3 中試區大小爲100叢的變方估值則取該兩種試區形狀的平均值。而不同試區大小的變異係數 (CV) 可經由公式〔3〕計算而得，亦列於表 3。由 V_x 及 CV 之數值來看，試區大小由100叢擴大至200叢時，其減少之變方估值極爲微小，表示稻作試驗之最適試區大小最多爲100叢。進而，根據 Bartlett 變方均質測驗檢定 V_x 之結果，顯示試區大小由20叢增至200叢之間的變方都沒有顯著差異，表示稻作試驗之最適試區大小最少要在20叢以上。倘就 CV 值隨其試區大小 (x) 的變化曲線來看，如圖 2 所示，根據最大曲度法，找出曲線之最大反曲點在 x=20 處，即 x 大於20以後，其變方估值已不再明顯減少，此亦表示稻作試驗之最適試區大小最少要在20叢以上。目前本省稻作產量試驗之試區大小大多設計爲100叢，由此可知應該是屬於在資源沒有限制之情形下的最適試區大小，倘資源極爲有限，可考慮再縮小試區，但不得少於20叢，則所獲致的試驗準確度才不致於明顯降低。至於試區形狀，一般本省稻作試驗採用100叢之試區大小時，多選擇 5 × 20或 4 ×25，雖然試區形狀並非本研究之探討重點，但此亦可由表 2 之10×10與 5 ×20之均方值比較得知 (因本研究20行×40叢之均度試驗田區無法劃分成 4 ×25之可能試區，故僅列出10×10及 5 ×20 兩種)，各爲2.07及2.18，其差異甚小，因此就水稻試驗而言，在設定100叢之試區大小下，欲選擇何種試區形狀，端視試驗者進行調查取樣時在田間實際操作上之方便。

表 2. 根據六層摺疊分類之稻作均度試驗的變方分析

Table 2. Analysis of variance of rice uniformity trials following a hierarchical classification with six subdivisions

Source	DF	Plot no.	Plot size (plants)	Plot shape	MS
Scheme- I					
Blocks	3	4	200	10×20	1.51
Plots/blocks	4	8	100	10×10	2.07
Subplots/plots	32	40	20	2×10	6.73
Sub-subplots/subplots	40	80	10	2×5	13.06
Sub-sub-subplots/plots	80	160	5	1×5	21.05
Sub-sub-sub-subplots/plots	640	800	1	1×1	66.47
Scheme-II					
Blocks	3	4	200	10×20	1.51
Plots/blocks	4	8	100	5×20	2.18
Subplots/plots	8	16	50	5×10	3.78
Sub-subplots/subplots	16	32	25	5×5	6.64
Sub-sub-subplots/plots	128	160	5	1×5	17.85
Sub-sub-sub-subplots/plots	640	800	1	1×1	66.47

表 3. 稻作試驗不同試區大小的變方估值

Table 3. Estimated variance of various plot sizes in rice experiments

Plot size (plants)	V_x	CV (%)
1	56.29 a[z]	26.25
5	15.31 b	13.40
10	9.50 c	10.41
20	5.85 d	8.11
25	4.83 d	7.28
50	2.90 d	5.63
100	1.86 d	4.41
200	1.51 d	4.06

[z] Variances with the same letter of a column are not significantly different at 5% level by Bartlett's test of homogeneity of variances.

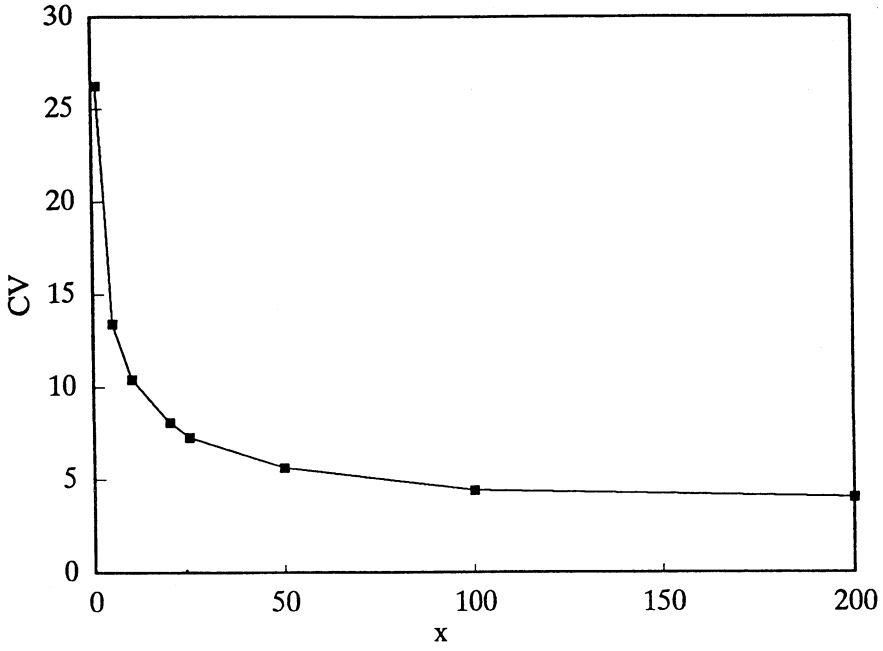


圖 2. 稻作試驗變異係數（CV）估值隨不同試區大小（x）的變化。

Fig. 2. Changes of estimated coefficient of variation (CV) with different plot sizes (x) in rice experiments.

繼之，模擬一 RCBD 試驗，根據上述所得之 b 值（=0.77），假設在α=5%顯著水準且處理間差異能達到顯著結果的機率值 P=0.8之情形下，利用 Hatheway[9]法估算不同試區大小、重複次數與處理數之各種組合的平均眞差值（%）於表 4。一般而言，重複次數增加，可提高試驗準確度。表 4 顯示，當處理數很少時（t=2），無論試區大小多少，重複不得少於 3 次，否則準確度甚低；一旦處理數增多，則重複增至 4 次以上的處理平均眞差值皆頗爲接近，表示在資源沒有限制之情形下，最適重複應爲 4 次；倘資源有限，在犧牲些微的準確度下，則也可退其次使用 3 次重複。在處理數與準確度（d）固定下，試區大小及重複次數有相互消長的作用，例如在處理數 t=5 時，當試區大小由50叢擴大至100叢，其重複只要由 7 次減少至 3 次，即可維持相同的處理差異比較之效率。

表 4. 稻作 RCBD 試驗不同試區大小、重複次數及處理數各種組合下之處理平均眞差值（%）的估計[z]

Table 4. Estimates of true differences of treatment means (%) for various combinations of plot size, treatments number and replicates number in a rice RCBD experiment[z]

Plot size (plants, x)	Replicates no. (r)	Treatments no. (n)					
		2	5	10	20	30	40
20	2	36.04	9.51	8.05	7.56	7.42	7.35
	3	11.21	6.68	6.19	6.00	5.95	5.93
	4	7.53	5.52	5.26	5.15	5.13	5.11
	5	6.02	4.83	4.68	4.59	4.57	4.57
	6	5.16	4.35	4.24	4.17	4.17	4.17
	7	4.59	4.00	3.90	3.86	3.86	3.86
	8	4.17	3.71	3.64	3.62	3.62	3.62
25	2	29.69	7.84	6.63	6.23	6.11	6.05
	3	9.23	5.50	5.10	4.94	4.90	4.88
	4	6.20	4.55	4.33	4.25	4.23	4.21
	5	4.96	3.98	3.85	3.78	3.77	3.77
	6	4.25	3.59	3.49	3.44	3.44	3.44
	7	3.78	3.29	3.21	3.18	3.18	3.18
	8	3.44	3.06	3.00	2.98	2.98	2.98
50	2	17.58	4.64	3.93	3.69	3.62	3.59
	3	5.47	3.26	3.02	2.93	2.90	2.89
	4	3.67	2.69	2.57	2.51	2.50	2.49
	5	2.94	2.36	2.28	2.24	2.23	2.23
	6	2.52	2.12	2.07	2.04	2.04	2.04
	7	2.24	1.95	1.90	1.89	1.89	1.89
	8	2.04	1.81	1.78	1.76	1.76	1.76
100	2	10.55	2.78	2.36	2.21	2.17	2.15
	3	3.28	1.95	1.81	1.75	1.74	1.73
	4	2.20	1.62	1.54	1.51	1.50	1.50
	5	1.76	1.41	1.37	1.34	1.34	1.34
	6	1.51	1.27	1.24	1.22	1.22	1.22
	7	1.34	1.17	1.14	1.13	1.13	1.13
	8	1.22	1.09	1.07	1.06	1.06	1.06

[z] Estimates made using $b=0.77$, $\alpha=0.05$ and $2(1-P)=0.40$.

討 論

上述利用稻作均度試驗資料所估計的最適試區大小及重複次數，係以本研究試驗地點之土壤差異型態爲基礎所推導出來的結果，未必可以適用於其他地區或不同作物之試驗，除非其所估得之土壤異質性指標（b）與本研究所得者相近。不過，倘其他試驗欲探知最適試區大小及重複次數的問題，則可以參照本文所提的程序及分析方法，即能決定最適試區大小及重複次數。其分析之步驟，整理如下：(1)首先就試驗田區進行均度試驗，以 Smith 法估計出該田區之土壤異質性指標(b)；(2)將田區劃分成各種可能的不同大小之試區，計算各種試區大小的收量平均變方（V_x）及變異係數(CV)；(3)根據 Bartlett 變方均質測驗結果，以逐步方式檢定不同試區大小之 V_x 的差異顯著性，或者利用最大曲度法，找出 CV 值隨其試區大小（x）之變化曲線的最大反曲點，來決定出最適試區大小（兩者在應用上各有利弊，隨後將作討論說明）；(4)利用 Hatheway 法，計算不同試區大小、處理數及重複次數各組合的處理平均眞差值（d），以決定出最適的重複次數。

由上述分析步驟中可知，欲利用均度試驗決定最適試區大小及重複次數，土壤異質性指標（b）之估計是否準確，是首要的影響因素。利用均度試驗估計 b 值，在實際應用上最大的限制是必須負

擔太多成本，故無法涵蓋更多的土地面積和栽培季節，且耗時費力，對此呂[1]探討田區大小及形狀對均度試驗土壤差異評估之影響，結果指出均度試驗之田區大小至少要含有100個以上的基本單位，且田區形狀應儘可能接近於正方形。本研究係以單叢爲基本單位，各均度試驗全區爲800叢，面積爲6.4 m×5.6m，近於正方形，故所估得之 b 值應值得信賴。雖然本試驗粳、秈稻兩年四期作均度試驗的面積各僅爲6.4m×5.6m，但爲使所獲結果能有效地作爲本所往後規劃水稻試驗的根據，在田間設計上，各均度試驗其實是逢機散佈在約40m×40m之本所稻作田區的不同樣本，而由表1之結果得知，無論粳、秈稻試驗，不同年度及期作所估得之 b 值均極爲接近，平均值爲0.77，接近於1，藉此可推知本所稻作試驗田區之土壤變異型態，並未有明顯區分的肥力傾向。因此，利用這些均度試驗所估計的最適試區大小及重複次數，應可作爲本所往後規劃水稻試驗的根據。由於均度試驗必須預先進行，且費時耗力，倘試驗者無法就整個大田區進行均度試驗，當可仿照本試驗之方式，在大田區內逢機擇取數塊小區供作均度試驗，再由各小區之均度試驗結果推測出大田區的土壤異質型態；但均度試驗田區的大小，不得少於100個基本單位。如果希望均度試驗面積不致太小，建議可將基本單位由單叢擴大爲多叢，例如採以10叢爲基本單位，如此均度試驗的面積可增大爲10倍，但因爲所需之均度試驗數減少，而且產量調查時係以每10叢爲單位，整體而言，所花費之時間及人力當可節省很多。

本研究使用兩種統計量，V_x 及 CV，以探討各種試區大小下變方的差異性。V_x 在 b 值之求算過程中即可直接獲得，利用 Bartlett 變方均質性測驗，以逐步方式檢定不同試區大小之 V_x 是否顯著差異，可決定該等樣本由同一族群（試驗田區）中取出，則該等均方皆爲族群變方的估值，表示該等樣本皆具有族群代表性，倘測驗結果並非均質，表示其中至少有一樣本不能作爲族群變方的最好估值，而爲了找出何者爲異質樣本，故利用逐步方式進行測驗。CV 與 V_x 之關係如公式〔3〕所示，爲 V_x 之開方值除以該試區大小之收量平均值（$\bar{y}_x$），在計算上雖較 V_x 多了一個步驟，不過可直接就 CV 值隨其試區大小之變化曲線，根據最大曲度法找出最適試區大小範圍，應用上顯然較 V_x 之變方均質測驗爲直接且簡單，因此多數學者也都是採以 CV 值作爲判斷之依據。不過，一旦 CV 曲線的反曲點不是很明確時，則利用 V_x 之均質性測驗是唯一的方法。由於平均值較大的樣本，其變異性也大，因此倘各種試區大小之收量平均值（$\bar{y}_x$）的差異很大，利用 V_x 隨 x 之曲線變化來決定最適試區大小，即直接比較 V_x 數值之大小，是不妥當的。

要決定試區大小及重複次數，必須事先瞭解該試驗用地的土壤肥力差異狀況。不同地區因爲土壤差異型態不同，所獲之結果也不盡相同。Gomez and Alicbusan[6]及 Gomez[5]利用 18m×36m～18m×64m 不等面積的各種稻作均度試驗，以評估 IRRI 稻作試驗用地的土壤肥力差異狀況，得知所估得之 b 值都很低，約在0.24～0.32之間，表示存在有強烈的收量變異傾向，在此土壤差異型態下，比較 2～36㎡（每1m×1m 有25叢）之各種不同試區大小的 CV 值，結果發現在 IRRI 的最適稻作試區大小應爲 8～25㎡（200～625叢），而最小不得低於 5㎡（125叢），此與本試驗所獲結果並不一致，係因爲土壤異質田區比土壤均質田區需要較大的試區。另外一般而言，肥料試驗會比品種試驗所需的試區爲大，而灌溉試驗則甚至要求更大，至於病蟲害試驗，則試區寬度必須在藥劑控制範圍內[5]。Gomez[5]並利用 IRRI 之均度試驗決定出稻作試驗的最適重複次數，其結果指出在$\alpha=5\%$顯著水準且處理間差異能達到顯著結果的機率值 P=0.925之情形下，當 CV=10%時，RCBD 的最適重複次數爲 4 次，此與本試驗所獲結果一致，但其未考慮到不同試區大小及處理數之組合對重複次數的影響。

誌　謝

本研究承行政院農業委員會經費補助（計畫編號：81農建—12.2—糧—08—14、82科技—12.2—糧—09—2及83科技—12.2—糧—06—2），謹此致謝。

引用文獻

1. 呂椿棠、呂秀英。1994。田區大小及形狀對均度試驗土壤異質性評估之影響。中華農業研究 43：165—172。
2. 呂秀英、呂椿棠。1995。均度試驗土壤異質性指標之估計。中華農學會報 169：107—121。
3. 張魯智。1976。試驗技術講義。2—5頁。國立臺灣大學。
4. Crew, W. C., G. L. Jones, and D. D. Mason. 1963. Field plot technique studies with flue-cured tobacco. I. Optimum plot size and shape. Agron. J. 55：197—199.
5. Gomez, K. A. 1972. Techniques for Field Experiments with Rice. IRRI. pp.2—6.
6. Gomez, K. A. and R. C. Alicbusan. 1969. Estimation of optimum plot size from rice uniformity data. Philippine Agr. 25：586—601.
7. Gomez, K. A. and A. A. Gomez. 1984. Statistical Procedures for Agricultural Research. 2nd. John Wiley & Sons, New York. pp.478—504.
8. Gupton, C. L. 1972. Estimates of optimum plot size and shape from uniformity data in barley tobacco. (*Nicotiana tabacum* L.) . Agron. J. 64：678—682.
9. Hatheway, W. H. 1961. Convenient plot size. Agron. J. 53：279—280.
10. Pearce, S. C. 1976. An examination of Fairfield Smith's law of environmental variation. J. Agric. Sci. Camb. 87：21—24.
11. Rampton, H. H. and R. G. Petersen. 1962. Relative efficient of plot size and numbers of replications as indicated by yields or orchard grass seed in a uniformity test. Agron. J. 54：247—249.
12. MacDonald, D., W. L. Fielding, and D. F. Ruston. 1939. Experimental methods with cotton. I. The design of plots for variety trials. J. Agric. Sci. Camb. 29：35—47.
13. Smith, H. F. 1938. An empirical law describing heteogeneity in the yields of agricultural crops. J. Agric. Sci. Camb. 28：1—23.
14. Thomas, H. L. and H. A. Abou-El Fittouh. 1968. Optimum plot size and number of replications for estimating forage yield and moisture percentage. Agron. J. 60：549—550.
15. Vallejo, R. L. and H. A. Mendoza. 1992. Plot technique studies on sweetpotato yield trials. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117：508—511.
16. Zuber, M. S. 1942. Relative efficiency of incomplete block designs using corn uniformity trial data. J. Amer. Soc. Agron. 34：30—47.

Estimation of Optimum Plot Size and Replicates Number Using Data from Rice Uniformity Trials[1]

Chun-Tang Lu, Hsiu-Ying Lu and Tung-Hai Tseng[2]

Summary

Efficient testing of treatment differences in field experiments depends on experimental precision. Agronomists constantly have to face the decision of the optimum choice of plot size and replicates number to achieve the best efficiency for their experiments. Too samll plots and replicates may give unreliable results ; unnecessarily large plots and replicates waste time and resources. The objective of this research was to determine optimum plot size and replicates number by using data from rice uniformity trials in Taiwan Agricultural Research Institute. The trials were subdivided following a criterion of hierarchical classification, simulating various plot sizes. Variances for different plot sizes were estimated. Using the methods of comparison of variances and maximum curvature, the optimum plot size was estimated within a range of 20 to 100 plants that depended on the limit of experimental areas and available resources. Using the Hatheway's method, the true differences of treatments for various combinations of plot size, treatments number and replicates number were used to estimate the optimum replicates number in a randomized complete block design. The optimum replicates number with a adequate plot size was four.

Key words : Rice, Uniformity trial, Plot size, Replicates number, Soil heterogeneity index.

1. Contribution No. 1795 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Respectively, Research Assistant, Statistician and Assistant Agronomist, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.