中華農業研究 (Jour. Agric. Res. China) 43(2)：165～172 (1994)

田區大小及形狀對均度試驗土壤異質性評估之影響[1]

呂 椿 棠[2]　　呂 秀 英[2]

摘要：本研究之目的在利用1991-1993年共兩年四期作的水稻均度試驗產量資料，探討田區大小及形狀對均度試驗土壤異質性評估之影響。同一試驗所估得之土壤異質性指標(b)不會因爲年度期作之不同而有差異。田區大小形狀不同，對 b 值之估計有影響，小區太小，容易受到鄰近植株邊際效應之影響，而呈高度負相關之土壤異質性指標 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 值將可趨於穩定。但田區過大，均度試驗所需成本也愈高，因此在兼顧準確度及成本下，應探求一最小面積及最適形狀的田區。最小田區之決定，尙須考慮基本單位小區之選擇。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。

關鍵詞：均度試驗、土壤異質性、田區大小、田區形狀、水稻。

均度試驗 (uniformity trial) 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。利用不同的生產測量值，可將均度試驗的栽植區劃分成大小相同的小單位 (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決定[3,4]，因此對檢視不同分析方法之統計研究上特別有效，可選出估計背景變異最有用的方法[9]。

以均度試驗爲基礎，估計土壤異質性的分析型式，以土壤異質性指標 (index of soil heterogeneity)[7]的適用性最廣。由於均度試驗是以基本單位間收量之差異來作爲地區土壤異質性的測度，因此在應用上必須考慮基本單位的設定以及測量性狀的選擇是否適當，使得以有效地評估土壤肥力的變異及傾向，對此，呂[1]利用水稻均度試驗資料爲分析材料，指出產量爲最適合的測量性狀。其所估得之土壤異質性指標(b)值不會因爲期作及小區形狀效應之不同而有差異，至於基本單位，則應選擇儘可能面積最小的小區，例如１×１，但爲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１×２或２×１之兩叢的基本單位，在有明顯「行差異」之情形下，２行單叢（２×１）優於單行２叢（１×２）。

產量 b 值估計上的變異主要歸因於土壤變異，但由於植物本身即存有差異，鄰近植株距離愈近，彼此之間的競爭作用也愈大，因此在有限面積區域內，倘試驗田區面積太小，b 值之估計便容易受到此邊際效應的影響[5,8]。利用均度試驗估算土壤異質性指標，必須預先研究且耗時費力，如田區愈大，所需成本也愈高；如何在有限的土地面積和成本限制下，以最小的田區面積及最適合的田區形狀進行均度試驗之土壤異質性評估，當是研究的重要課題。基此，本研究利用1991-1993年共兩年四期作的水稻均度試驗爲應用分析材料，探討田區大小及形狀對均度試驗土壤異質性評估之影響，藉此找

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1717 號。
2. 本所農藝系助理及副研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

出均度試驗最小面積及最適形狀的田區，期使均度試驗應用於土壤異質性估計上可更爲準確且成本最低。

材料與方法

一、試驗材料

以臺農67號爲粳稻之供試品種，於1991-1993年假臺灣省農業試驗所同一試驗田區進行共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40kg／0.1ha，追肥施用硫酸鉀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，最後一次則在孕穗期施用，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栽植F2集團試驗，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

爲探討田區大小及形狀對均度試驗土壤異質性評估之影響，將全區20行40叢之試驗田，以 5 行10叢之小區爲單位，由縱橫相連之單位，合併模擬成各種不同大小及形狀之試驗小區，如表 1 所示，於是可模擬成含50、100、200、300、400、500、600、700、800叢等各種不同面積大小的試驗田區，而相同面積之田區的形狀又可能有所不同，例如全區可被劃分成16塊尺寸大小爲50叢之田區，但有 5 × 10（5 行10叢）及10× 5 （10行 5 叢）兩種可能的不同形狀或方位（由於本研究稻作材料之行距與株距不等，故相同大小之田區，方位不同其形狀可能有差異）。利用所模擬成的各種大小及形狀之試驗田區，分別以 1 × 1 、 1 × 2 、 2 × 1 叢三種不同的基本單位進行土壤異質性指標之估計。

表1. 粳稻1991-1993年均度試驗之產量性狀在不同田區大小及形狀下利用1×1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. Index of soil heterogeneity (b) and its standard error (SE_b) for yield by using 1×1 basic unit under different field sizes and shapes in the rice uniformity trials in 1991-1993

Field size (plant)	Field No.	Field shape			b±SE_b			
		Row×Column	L×W	L／W	1991-II	1992-I	1992-II	1993-I
50	16	5×10	1.4×1.6	1.14	1.19±0.09	1.07±0.07	1.01±0.07	1.12±0.13
		10× 5	2.8×0.8	3.50	1.32±0.09	1.01±0.05	1.11±0.09	1.17±0.11
100	8	5×20	1.4×3.2	2.29	1.02±0.06	1.08±0.09	0.98±0.06	1.08±0.10
		10×10	2.8×1.6	1.75	0.99±0.05	0.92±0.06	0.97±0.06	0.92±0.06
		20× 5	5.6×0.8	7.00	0.99±0.05	1.10±0.08	0.90±0.08	1.02±0.07
200	4	5×40	1.4×6.4	4.57	1.13±0.06	0.90±0.11	0.87±0.03	0.98±0.08
		10×20	2.8×3.2	1.14	0.96±0.04	0.91±0.05	0.95±0.03	0.95±0.08
		20×10	5.6×1.6	3.50	0.88±0.05	0.92±0.11	0.86±0.07	0.92±0.02
300	2	10×30	2.8×4.8	1.71	1.03±0.10	0.79±0.02	0.83±0.03	0.89±0.13
		15×20	4.2×3.2	1.31	0.93±0.03	0.90±0.04	0.89±0.01	0.93±0.14
		20×15	5.6×2.4	2.33	0.85±0.03	0.83±0.01	0.76±0.05	0.89±0.04
400	2	10×40	2.8×6.4	2.29	0.96±0.02	0.77±0.01	0.90±0.07	0.90±0.08
		20×20	5.6×3.2	1.75	0.87±0.02	0.91±0.00	0.82±0.08	0.96±0.03
500	1	20×25	5.6×4.0	1.40	0.83±0.01	0.82±0.03	0.73±0.02	0.87±0.02
600	2	15×40	4.2×6.4	1.52	0.92±0.01	0.70±0.03	0.86±0.02	0.83±0.01
		20×30	5.6×4.8	1.17	0.86±0.01	0.76±0.02	0.71±0.01	0.93±0.01
700	1	20×35	5.6×5.6	1.00	0.77±0.01	0.80±0.02	0.74±0.01	0.93±0.01
800	1	20×40	5.6×6.4	1.14	0.84±0.01	0.76±0.01	0.76±0.01	0.92±0.01

L : Field plot length (m)
W : Field plot width (m)

以均度試驗建立土壤異質性指標，係採用 Smith[7]之計算公式如下：

$$V_x = V_1 / X^b$$

式中V_1：基本單位小區變方；

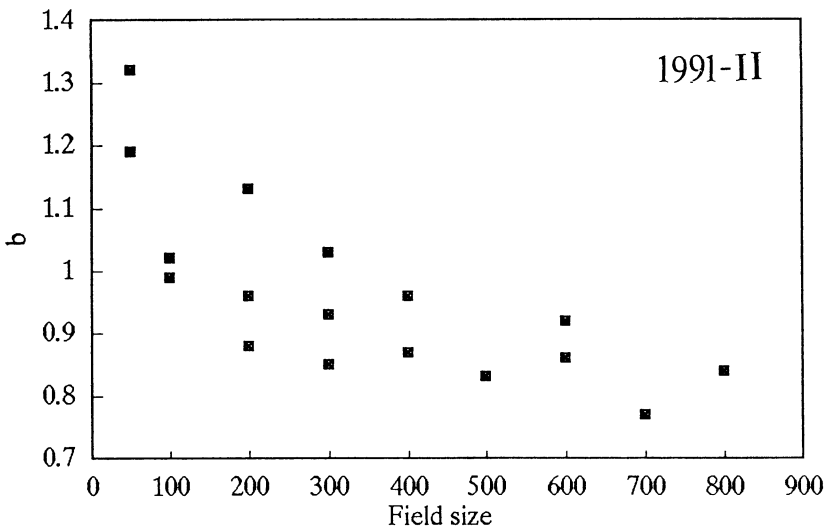
V_x：小區大小爲 x 單位之單位面積變方；

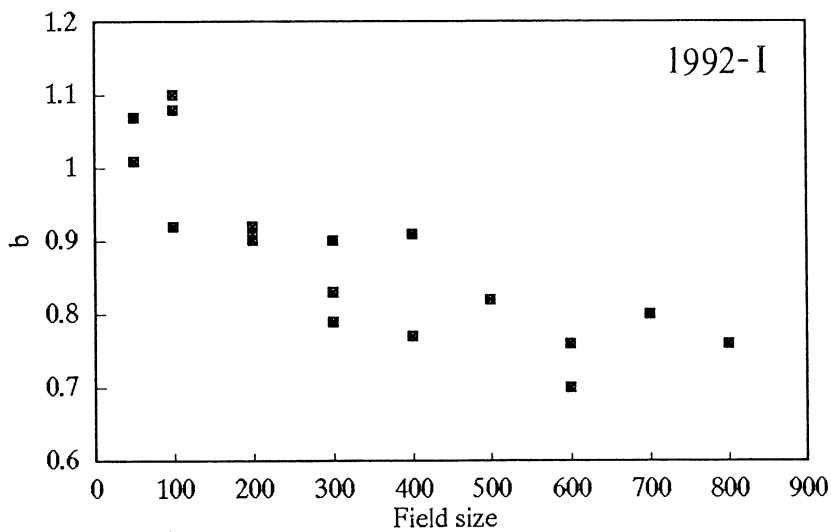
b ：土壤異質性指標，可視爲小區間的相似程度，一般$0 \leqq b \leqq 1$，鄰近小區高度正相關，b 近於 0，反之無相關，$b=1$。

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[2]。

結果與討論

本研究之粳稻均度試驗共進行兩年四期，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，因此可以單叢爲基本單位進行土壤異質性指標之估計。不同田區大





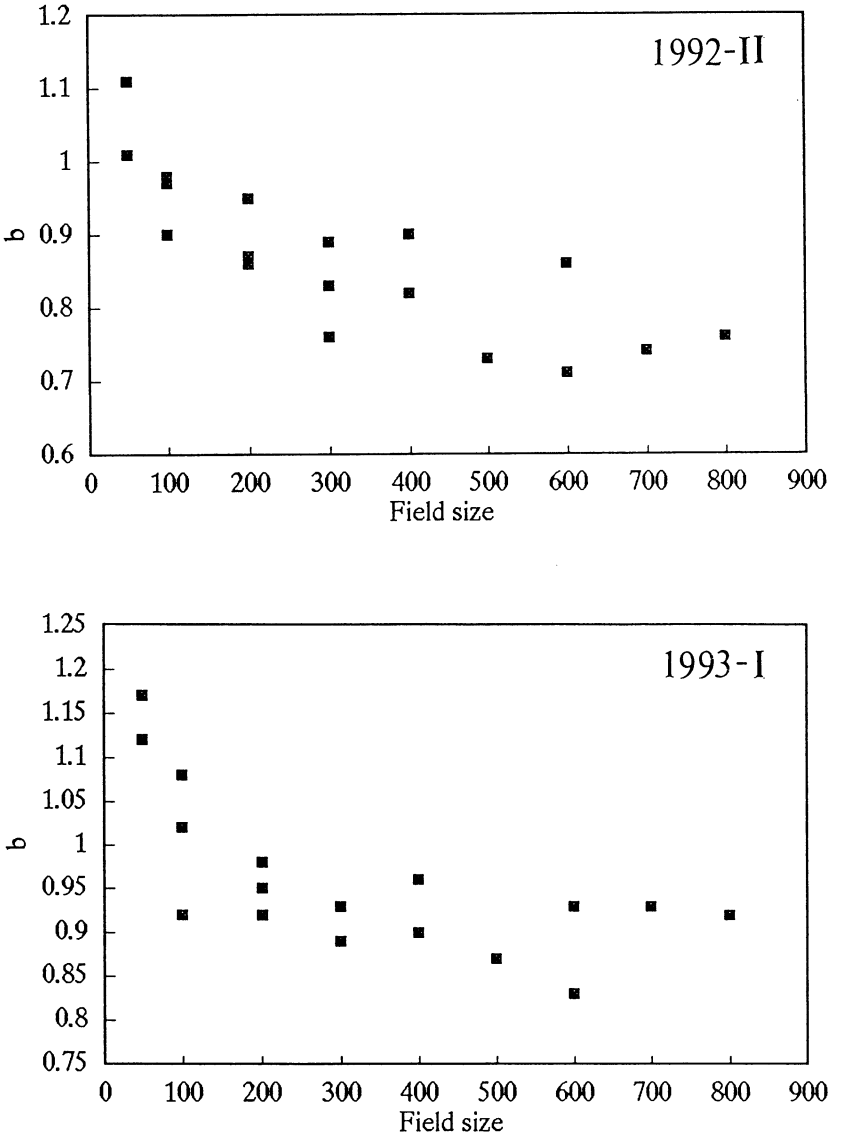


圖1. 粳稻均度試驗之土壤異質性指標(b)與田區大小間的關係。

Fig. 1. Relationships between index of soil heterogeneity (b) and field size in the rice uniformity trials.

小及形狀下利用 1 × 1 之基本單位所估計的土壤異質性指標估值(b)，列於表 1 。兩年四期作以20×40之全區所得之 b 值分別爲0.84、0.76、0.76、0.92，均約接近於 1 ，顯示該粳稻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。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異質性評估不會因年度及期作之不同而有影響。相同大小不同形狀或方位的田區，所估得之 b 值多少有差異，田區愈是狹長（田區之長寬比愈大），b值偏離的程度也

愈大。b 值與田區大小形狀間的關係，如圖 1 所示，隨著試驗田區面積增大，b 值則明顯趨於穩定。

進而爲降低植株個體間之變異對土壤異質性評估的影響，以提高 b 值之可信度，本研究再以兩叢之基本單位進行土壤異質性指標之估計。由於本研究稻作材料之行距與株距不等，相同面積之基本單位，因形狀或方位不同，其估算效率可能在存有「行差異」[1]，因此本研究同時考慮以 1 × 2 及 2 × 1 作爲兩叢之基本單位。對此，因爲必須將田區劃分成等份的基本單位所模擬之小區，故僅能考慮含100、200、400、600、800叢等五種不同面積大小的試驗田區。粳稻兩年四期之均度試驗在不同田區大小及形狀下利用 1 × 2 及 2 × 1 之基本單位所估計的土壤異質性指標，各列於表 2 及表 3 ，無論是採用 1 × 2 或 2 × 1 ，與 1 × 1 所估得之 b 值均甚爲接近，且所獲結果相當一致，即 b 值仍不受年度及期作之影響，且隨著試驗田區面積增大而趨於穩定，至於相同大小不同形狀或方位的田區，所估得之 b 值仍略有差異，但是狹長田區之 b 值偏離的程度似乎較爲和緩。

表2. 粳稻1991-1993年均度試驗之產量性狀在不同田區大小及形狀下利用1×2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 2. Index of soil heterogeneity (b) and its standard error (SE_b) for yield by using 1×2 basic unit under different field sizes and shapes in the rice uniformity trials in 1991-1993

Field size (plant)	Field No.	Field shape			b±SE_b			
		Row×Column	L×W	L/W	1991-II	1992-I	1992-II	1993-I
100	8	5×20	1.4×3.2	2.29	1.04±0.07	1.14±0.16	1.06±0.11	1.17±0.12
		10×10	2.8×1.6	1.75	1.22±0.18	0.91±0.07	1.05±0.08	1.06±0.14
200	4	5×40	1.4×6.4	4.57	1.21±0.07	0.87±0.16	0.87±0.05	1.00±0.09
		10×20	2.8×3.2	1.14	0.97±0.05	0.89±0.09	0.99±0.04	0.97±0.09
		20×10	5.6×1.6	3.50	0.88±0.09	0.93±0.09	0.84±0.11	1.01±0.09
400	2	10×40	2.8×6.4	2.29	0.95±0.02	0.71±0.02	0.92±0.10	0.89±0.05
		20×20	5.6×3.2	1.75	0.83±0.02	0.90±0.07	0.80±0.11	0.99±0.00
600	1	15×40	4.2×6.4	1.52	0.89±0.03	0.63±0.02	0.78±0.01	0.81±0.01
		20×30	5.6×4.8	1.17	0.80±0.02	0.76±0.02	0.66±0.02	1.00±0.02
800	1	20×40	5.6×6.4	1.14	0.81±0.01	0.70±0.01	0.72±0.01	0.92±0.01

L : Field plot length (m)
W : Field plot width (m)

表3. 粳稻1991-1993年均度試驗之產量性狀在不同田區大小及形狀下利用2×1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 3. Index of soil heterogeneity (b) and its standard error (SE_b) for yield by using 2×1 basic unit under different field sizes and shapes in the rice uniformity trials in 1991-1993

Field size (plant)	Field No.	Field shape			b±SE_b			
		Row×Column	L×W	L/W	1991-II	1992-I	1992-II	1993-I
100	8	10×10	2.8×1.6	1.75	0.99±0.06	1.08±0.12	1.04±0.10	0.95±0.13
		20× 5	5.6×0.8	7.00	1.07±0.07	1.26±0.14	0.92±0.12	1.02±0.09
200	4	10×20	2.8×3.2	1.14	1.01±0.08	0.99±0.05	1.04±0.08	1.00±0.11
		20×10	5.6×1.6	3.50	0.89±0.06	0.98±0.15	0.85±0.08	0.88±0.04
400	2	10×40	2.8×6.4	2.29	1.12±0.11	0.79±0.06	0.90±0.15	0.96±0.03
		20×20	5.6×3.2	1.75	0.87±0.02	0.97±0.05	0.81±0.08	0.96±0.03
600	1	20×30	5.6×4.8	1.17	0.88±0.01	0.78±0.03	0.68±0.01	0.91±0.02
800	1	20×40	5.6×6.4	1.14	0.86±0.01	0.76±0.02	0.73±0.01	0.93±0.01

L : Field plot length (m)
W : Field plot width (m)

由上述結果得知，同一試驗所估得之 b 值不會因爲年度期作之不同而有差異，此與 Crew *et al.*[2]之結果一致。試驗田區大小形狀不同，對 b 值之估計有影響，不過隨著試驗田區面積增大，b 值將趨於穩定，這是因爲小區太小時，鄰近植株間之競爭作用所造成的植株個體間之差異，會明顯大於實際之土壤差異，當小區極端小時，各點彼此之間實際上爲完全相關，於是導致鄰近小區呈高度負相關（b>1）的極端異質狀態[6]，因此如本研究之稻作均度試驗以50叢之田區所估得之 b 值結果，多在1.0以上，且 b 值之變異性（SE_b）較大；一旦小區大小變大到邊際效應已顯得不重要時，b 值即能維持一個固定的值。另外 Valencia-Rullan[8]也指出，雖然利用Smith[7]法則所估得之土壤異質性指標，僅爲土壤肥瘠型態或背景變異的某種概算，其在有限面積區域內，容易受到植株個體之間本來即存在之變異而影響其估算準確度[5]，但當小區大小變大時，V_x與 b 間的關係即能恢復正常，其分析結果之可信度可更爲提高[6]。唯田區愈大，利用均度試驗估計土壤異質性指標所需的成本也愈高，故在有限的土地面積和成本限制下，應該探求一最小面積的試驗田區。由表 4 得知，在以 1 × 1 爲基本單位之基礎下，50叢之田區所估得之 b 值結果，與100叢（含）以上之田區所獲得者之間有顯著之差異，表示估計粳稻均度試驗之土壤異質性，所需要的試驗田區至少應在100叢以上，而且最好該田區儘可能爲正方形（表 1），其 b 值始可在1.0以內；倘以 1 × 2 或 2 × 1 作爲基本單位，由表 4 可知，100叢（含以上之各種田區間之 b 值均不顯著，表示當田區面積小至100叢時，所評估之土壤異質性型態尚不致於有所偏離，但是因爲無論該100叢之田區的形狀爲 5 ×20，10×10或20× 5，其 b 值之估計受到植株邊際效應之影響仍然很大，以致 b>1，因此建議以兩叢作爲基本單位時最理想的田區面積應在200叢以上。顯然，最小田區之決定，尚須考慮基本單位小區之選擇。綜言之，基本單位之取捨，在避免小區內植株個體間本身差異太大或可能缺區之影響下，應掌握儘可能面積最小的原則[1]，而均度試驗之田區大小則至少要含有100個以上的基本單位，且田區形狀應儘可能接近於正方形。

表4. 粳稻均度試驗不同田區大小及基本單位對土壤異質性指標(b)之影響

Table 4. Effects of field size and basic unit on index of soil heterogeneity in the rice uniformity trials

Basic unit	Field size	1991-II	1992-I	1992-II	1993-I
1×1	50	1.25a	1.04a	1.06a	1.15a
	100	1.00b	1.03a	0.95ab	1.01b
	200	0.99b	0.91ab	0.89bc	0.95b
	300	0.94b	0.84b	0.83bc	0.90b
	400	0.92b	0.84b	0.86bc	0.93b
	500	0.83b	0.82b	0.73c	0.87b
	600	0.89b	0.73b	0.79bc	0.88b
	700	0.77b	0.80b	0.74c	0.93b
	800	0.84b	0.76b	0.76c	0.92b
1×2	100	1.13a	1.03a	1.06a	1.12a
	200	1.02a	0.90ab	0.90ab	0.99a
	400	0.89a	0.81ab	0.86ab	0.94a
	600	0.85a	0.70b	0.72b	0.92a
	800	0.81a	0.70b	0.72b	0.91a
2×1	100	1.03a	1.17a	0.98a	0.99a
	200	1.00a	0.99ab	0.95a	0.94a
	400	0.95a	0.88ab	0.86a	0.96a
	600	0.88a	0.78ab	0.68a	0.91a
	800	0.86a	0.76b	0.73a	0.93a

Values followed by a common letter are not significantly different at 5% level, based on Duncan's Multiple Range Test.

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及82科技-12.2-糧-09-7），謹此致謝。

引用文獻

1. 呂秀英、呂椿棠。1994。均度試驗土壤異質性指標之估計。中華農學會報（刊印中）。
2. 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.
3. Gomez, K. A. and A. A. Gomez. 1984. Statistical Procedures for Agricultural Research. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York. pp.478-504.
4. Lin, C. S. and M. R. Binns. 1986. Relative efficiency of two randomized block designs having different plot sizes and numbers of replications and of plots per block. Agron. J. 78:531-534.
5. Pearce, S. C. 1955. Some consideration in deciding plot size in field trials with trees and bushes. J. India. Sci. Agric. Stat. 7:23-26.
6. Pearce, S. C. 1976. An examination of Fairfield Smith's law of environmental variaton. J. Agric. Sci. Camb. 87:21-24.
7. Smith, H. F. 1938. An empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops. J. Agric. Sci. Camb. 28:1-23.
8. Valencia-Rullan, M. A. 1952. A study of the relationship between the size of a cluster and the variance between clusters. M. Sc. Thesis. Carolina State College.
9. Warren, J. A. and I. Mendez. 1982. Methods for estimating background variation in field experiments. Agron. J. 74:1004-1009.

Effects of Field Size and Shape on the Measurement of Soil Heterogeneity in Uniformity Trials[1]

Chun-Tang Lu[2] and Hsiu-Ying Lu[2]

Summary

The purpose of this study was to investigate the effects of field size and shape on the measurements of soil heterogeneity. The yield data from the rice uniformity trials were obtained from four crop seasons in 1991-1993. The estimates of index of soil heterogeneity (b) at the same area did not vary with years and seasons. Change in field size and shape exhibited effects on the estimates of b. A b value greater than 1, which indicated negative correlation between contiguous plots, was obtained when the field size was too small. The value of b tended to be converged to a constant value as the field size was large enough so that the edge effects became insignificant. As the cost of operation increased with increasing field size in an uniformity trial, the minimum size and optimum shape of the field should be estimated to balance precision and cost. Minimum size was governed by the plots of basic unit chosen. It was estimated the size should be at least 100 times the size of basic units and the shape should be as nearly square as possible in an uniformity trial.

Key words: Uniformity trial, Soil heterogeneity, Field size, Field shape, Rice.

1. Contribution No. 1717 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Respectively, Research assistant and Statistician, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.