

穀物收穫量測定器的推估值應用於水稻產量比較試驗之可行性探討¹

羅正宗 陳一心²

摘要：本試驗於 1998 年二期作及 1999 年一期作，於本分所溪口試驗農場，以水稻高級世代產量比較試驗的參試品系為材料，共調查 134 個小區樣品，每小區 97 株。每小區稻穀以手割方式收穫及脫粒後，先調查穀物收穫量測定器之測定值(Y)。而後這些稻穀經乾燥及風選後調查其重量、含水率及碾糙率，以計算各小區之稻穀產量(g/97 株) (X₃)及單位面積糙米產量(kg/10 公畝) (X₆)。將此 134 組數據之 3/5 劃分作為模式開發數據，用來估算模式之參數；另 2/5 數據則作為模式驗證之用。由模式開發數據所估算的參數估值經反覆估算，結果顯示參數估值之穩定性甚高。繼而以模式驗證數據測試其估計能力，結果顯示開發出令人滿意之小區產量及單位面積糙米產量的估測模式：

$$\hat{X}_3 = (Y + 54.5) / 0.1973 \text{ (小區產量)}$$

$$\hat{X}_6 = (Y + 52.3) / 1.0586 \text{ (糙米產量)}$$

試驗結果顯示利用穀物收穫量測定器可作為水稻雜交後代產量比較時之應用，以減輕育種工作之負擔，增加水稻育種工作之效率。

關鍵詞：水稻、穀物收穫量測定器、產量、糙米產量。

前 言

水稻新品系選育過程中，花費心血人力及時間相當可觀，尤其是產量比較試驗，需花費甚多人力及時間，因為產量比較試驗各品系由田間收割取回，需經乾燥、風選、稱重等步驟方可測定其小區產量，若成熟時期遇上雨季（一期作尤甚），則產量評估工作更為困難，常常因此而增加工作之不便與負擔，而且近年來對米質之要求提高，就新品系整體評估工作而言，米質性狀之分析亦佔重要項目，相對增加新品系選育工作量。因此，若能應用一更快速、簡便及正確的方法來評估，則對水稻新品系選育工作量降低及效率提升當有莫大幫助。日本曾為因應稻穀產量評估工作之需要而研發穀物收穫量測定器(cropton)，其應用原理乃以容積重來表達穀粒充實狀況，配合小區溼穀重、取樣株數及行株距等之數據以估算產量。吳等⁽¹⁾曾利用這組 cropton 分別進行台灣地區稻作生產區之稻穀產量的估測，及水稻產量比較試驗之小區產量的推估，其認為因田區及取樣方式之差異，造成此機器似無法直接應用於台灣稻作生產之稻穀產量的估測，但就小區產量之推估上則相關性甚高。依此，cropton 若能準確應用於水稻雜交後代小區產量的推估，則可減免產量調查過程之稻穀乾燥、風選、稱重及含水率的測定等

1.行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2032 號。

2.本所嘉義農業試驗分所助理、研究員兼系主任。台灣省 嘉義市。

工作，節省相當多的人力及時間。因此，本試驗即利用穀物收穫量測定器作為工具，探討其應用於水稻雜交後代產量比較試驗之小區產量推估的可行性。

材料與方法

一、試驗材料調查

本試驗自 1998 年第二期作起連續調查兩期作，以本分所溪口試驗農場之水稻高級世代產量比較試驗的參試品系為調查樣品，總計調查 134 個不同雜交後代品系之小區樣品，每小區面積為 4.5 平方公尺，行株距為 30 × 15 公分。因為此材料為高級世代品系，依其產量調查程序，需事先取三株調查產量構成因素，其餘 97 株方供作產量調查之用。以手工收割脫粒，利用濕穀即可得到 cropton 之測定值，測定過程為先將濕穀稱重，再稱取 250 克的濕穀置入該測定器專用之容積測定筒，待 cropton 完成容積重之測定後，其即要求輸入小區濕穀重、取樣株數及行株距等數據，經其內建公式以計算出糙米產量 (kg/10a) 之估測值。由於此測定器之產量以每 10 公畝之糙米量表示，因此在我們的試驗過程中亦以此單位進行分析。而後再將稻穀經乾燥、風選及稱重等程序後，測計每一樣品風選後之重量與含水率，而據此換算含水率為 13.5% 之小區稻穀產量(97 株)，每一樣品並取 125g 稻穀碾製成糙米，以測定其碾糙率，每一樣品測得數據如下：

Y：穀物收穫量測定器之測定值

X₁：乾燥、風選後之稻穀含水率(%)

X₂：乾燥、風選後之小區稻穀的重量(g)

X₃：調整為 13.5% 含水率之稻穀淨重(g)

$$X_3 = X_2 \times (100 - X_1) / 86.5$$

X₄：125g 稻穀碾製成糙米之重量(g)

X₅：碾糙率

$$X_5 = X_4 / 125$$

X₆：單位面積糙米產量(kg/10acre)

$$X_6 = [(X_3) \times (X_5) / (97 \times 1000)] \times [1000 / (0.3 \times 0.15)]$$

二、調查數據劃分

本試驗即以 cropton 針對水稻雜種後代高級產量比較試驗之小區產量進行估測工作，以探討小區產量快速測定之可行性，並釐定 cropton 之測定值分別與小區產量 (g/97 plants) 及單位面積糙米產量 (kg/10a) 之關係式。

為使利用 cropton 所建立之稻穀小區產量及單位面積糙米產量的估測回歸模式能更趨完善，將全部 134 組數據劃分為下列兩部分：

(一) 模式建立數據(estimation data)：含原來全部數據之 3/5，共 80 組，用來估算模式中之參數(parameter)。

(二) 模式驗證數據(validation data)：含原來數據之 2/5，共 54 組，用來測驗所開發之模式的估計能力。

這些數據中的 cropton 估測值(Y)與小區稻穀產量(X₃)及單位面積糙米產量(X₆)之基本統計性質列如表 1。

三、模式之建立與驗證

在進行回歸模式開發之前，就試驗目的及調查項目而言，針對稻穀小區產量(X₃)及單位面積糙米產量(X₆)分別與 cropton 測定值(Y)建立關係式，此三變數間均呈高度之直線關係(表 2)。因此，我們將其彼此間的關係式定為 $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$ (式中之 ε 為殘差，為一平均為 0，標準差為 σ 的常態隨機變數)，而後再循回歸法(inverse regression)推求一個可將 cropton 測定值(Y)作為小區產量(X₃)及單位

表 1. 試驗調查所得之數據的基本統計量

Table 1. Basic statistics of the surveyed data

Variable	Mean	Minimum	Maximum	SD	CV(%)
The complete data set (134 observations)					
Cropton value(Y)	460.3	273.0	601.0	75.7	16.46
Plot-yield(X_3)	2608.7	1510.0	3304.0	373.5	14.32
Milling yield of brown rice (X_6)	484.1	280.0	610.0	69.0	14.25
The estimation data set (80 observations)					
Cropton value(Y)	459.9	273.0	596.0	75.8	16.48
Plot-yield(X_3)	2605.8	1510.0	3304.0	381.1	14.62
Milling yield of brown rice(X_6)	483.8	280.0	610.0	70.4	14.55
The validation data set (54 observations)					
Cropton value(Y)	460.8	291.0	601.0	76.4	16.57
Plot-yield(X_3)	2612.9	1772.0	3225.0	365.4	13.98
Milling yield of brown rice (X_6)	484.6	333.0	599.0	67.6	13.94

表 2. 穀物收穫量測定器測定值(Y)、小區產量(X_3)及糙米產量(X_6)之相關係數Table 2. Correlation coefficients among cropton value(Y), plot-yield(X_3), and milling yield of brown rice (X_6).

Variable 1	Variable 2	The complete data set	The estimation data set	The validation data set
Y	X_3	0.9728 (0.0001) ^z	0.9718 (0.0001)	0.9750 (0.0001)
Y	X_6	0.9647 (0.0001)	0.9647 (0.0001)	0.9653 (0.0001)
X_3	X_6	0.9972 (0.0001)	0.9970 (0.0001)	0.9975 (0.0001)

^z The P-value of correlation coefficients among cropton value, plot-yield, and milling yield of brown rice.

面積糙米產量(X_6)進行估測之模式。

為評量這些模式中的參數（即剩餘機差之標準偏差及回歸係數 β_0 , β_1 等）估值之穩定性，我們利用一次摺刀法(first-order jackknife)分別將兩套 80 組「模式建立數據」以每次剔除一組數據之方式，進行 $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$ 之求配，由此獲得各個參數之 80 次重複估值，藉以評量模式中之各參數估值的穩定性，以作為模式良否判斷依據之一。而後利用模式驗證數據（54 組）以評量其估測能力，若驗證結果令人滿意，則以原來全部 134 組數據為基礎重新建立新模式，以提高模式中參數估值的精密度，並建立稻穀小區產量及單位面積糙米產量之預測值及其信賴上界與下界。

本試驗所有數據處理及統計分析工作，均藉 S A S 統計分析軟體完成⁽⁶⁾。

結果與討論

水稻新品系選育的過程中因工作項目繁多，且工作量花費甚多的人力及時間，因此，尋求一快速、簡便及正確的方法以評估雜交後代之產量，實有其必要性。本分所引進日本所研發之 cropton，原做為稻穀產量評估之用，但因吳等⁽¹⁾調查結果顯示此測定器在台灣應用於稻穀產量評估上，準確性尚不足，但應用於小區產量推估上則相關性甚高，因此我們認為進行水稻雜交育種分離後代產量比較試驗之小區產量的評估應屬可行。由於日本稻穀產量是以單位面積糙米產量(kg/10acre)作為表達的方式，因此 cropton 測定值亦以此為單位。故當我們進行估測模式之開發時，亦以此單位及小區產量分別進行。

因此，我們進行相關數據之調查，期開發出可應用於產量估測模式。在可用的數據中，相關的變數是否具備夠大之變異範圍，將是能否開發出可資利用的估計模式之先決條件⁽⁴⁾。由我們已有的數據中可觀測出其變異範圍應已足夠，變異係數達13-16%(表1)。且由表1及表2的結果顯示，無論小區產量或糙米產量，劃分後的兩組數據之間，在變異範圍與相關結構上都極為相似，此表示藉由這一套模式驗證數據將可對根據模式建立數據所開發出來的模式進行可靠的測試⁽⁷⁾。以兩個模式建立數據為基礎而求配出的模式分別為：

$$\text{小區產量模式： } Y = -43.7 + 0.1933X_3 \quad R^2 = 0.9443$$

$$\text{糙米產量模式： } Y = -42.5 + 1.0385X_6 \quad R^2 = 0.9307$$

由分析結果顯示：二模式之決定係數均高達93%以上，且各模式之回歸係數均達極顯著(P-value均低於0.01)。而由此，可循反回歸法獲得一個可以將cropton測定值(Y)進行估測小區產量(X₃)及單位面積糙米產量(X₆)之估測模式：

$$\hat{X}_3 = (Y + 43.7) / 0.1933 \quad (\text{小區產量})$$

$$\hat{X}_6 = (Y + 42.5) / 1.0385 \quad (\text{糙米產量})$$

林和何⁽²⁾認為在一個模式中之參數的估值，如果數據依存性(data dependence)太高，即顯示該模式並不適於作為一個可靠的估計模式。換言之，一個具有可靠的估計能力之模式，其參數之估值應具有一定程度的穩定性。因此，我們從模式建立數據中，以每次剔除一組數據的方式，逐一求配前述兩個模式，據以評量各模式之參數估值的取樣變異(表3)，由結果顯示兩個產量估測模式的參數估值之穩定性均甚高，而無數據依存性的問題存在。基此，配合前述模式之求配結果，兩個模式應能成為可資利用的估計模式，唯需待模式評估結果才能確認。

表3. 小區產量與糙米產量估測模式之參數估值的穩定性

Table 3. Stability measures of the parameters of estimation models for plot-yield and milling yield of brown rice

Parameters ^z	Minimum	Maximum	Mean	Std Dev	CV(%)
Plot-yield					
σ	398.1	449.9	447.0	6.61	1.48
β_0	-52.2	-42.4	-45.9	1.48	-3.22
β_1	0.1926	0.1964	0.1941	0.00058	0.30
Milling yield of brown rice					
σ	452.6	500.9	497.6	6.87	1.38
β_0	-50.4	-40.6	-44.4	1.56	-6.53
β_1	1.0339	1.0543	1.0421	0.00329	0.32

^z σ : the standard deviation of the residual; β_0, β_1 : the regression coefficient of estimation models.

評量一個模式的估計能力，最好的方法就是以新收集的數據進行測試，但以一套未曾用於求配該模式的獨立數據進行測試亦可達到相同的目的⁽³⁾。因此，我們以兩種產量之個別的模式驗證數據為基礎，針對前述之模式的估計能力進行測試，結果示如圖1及表4。由表4中可知，兩模式在估計時的相對誤差低於5%的比例均為0.85，所佔比例或有稍低，但其平均相對誤差分別為2.67%及3.03%。並由圖1中可知兩模式估計值與真值間的相關係數均達0.96以上，綜而言之，兩個模式對水稻小區產量及糙米產量之估測能力尚令人接受。

以模式建立數據及模式驗證數據合併的新數據重新估算模式參數，雖有學者認為此方式所得到的

表 4. 兩種產量之估測模式在估計時的誤差統計性質

Table 4. Statistics of the errors in predicting the true yield by estimation models.

Model	Pr(RE<1)	Pr(RE<2)	Pr(RE<3)	Pr(RE<4)	Pr(RE<5)	Pr(RE<6)	Mean RE
Plot-yield	0.2125	0.4625	0.6375	0.7750	0.8500	0.9375	2.67
Milling yield of brown rice	0.2250	0.3750	0.5875	0.7375	0.8500	0.9125	3.03

²RE: Relative prediction error, i.e.,

$$RE (\%) = 100 \times \frac{|\hat{X} - X|}{X}$$

where X is the true value and \hat{X} is its predicted value.

Pr(RE<1), Pr(RE<2), etc.: the probability of a relative error being less than 1%; 2%, etc.

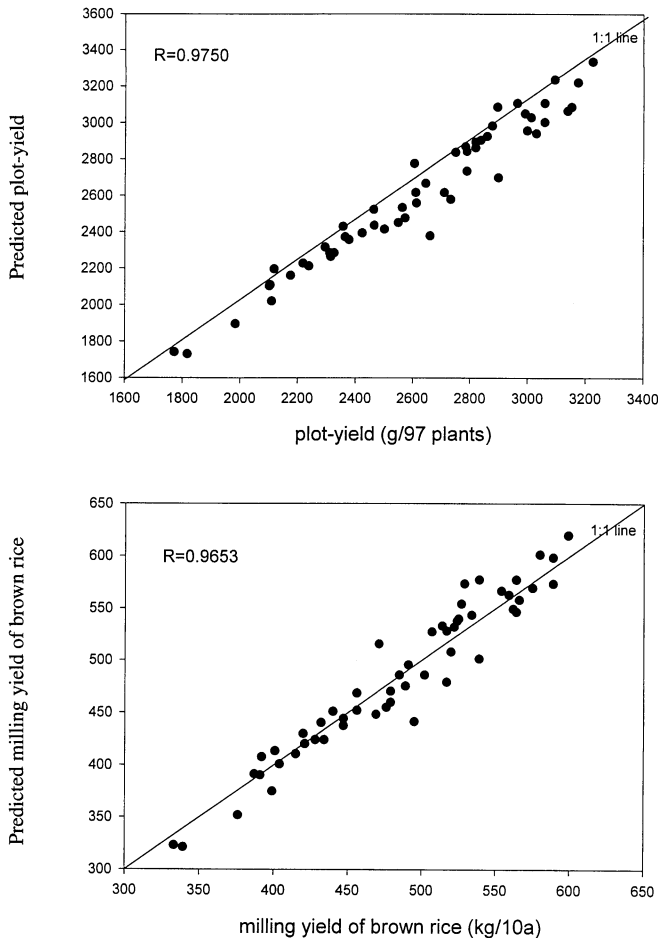


圖 1. 兩種產量估測模式於驗證時之估計能力的表現。

Fig 1. Performance of models in predicting the true value.

是一個未經驗證的模式⁽⁷⁾。然則，林和何⁽²⁾認為如果模式建立數據是一套經由妥善設計的試驗過程所得到的，則求配所得之估計模式的可靠應用範圍及其參數估值的精密度，都可在試驗設計之初即賦予一

定程度的要求；因此，這種模式一旦通過獨立的驗證程序，自然無需再以合併的數據重新估算其參數估值。但若模式建立數據係由取樣調查而來，則求配所得的估計模式之可靠應用範圍與參數估值之精密度都受制於數據中之推定變數的變異範圍及取樣的規模。因此，如模式驗證數據是重新調查而來的新數據，自然應予回併入模式建立數據，重新估計模式之參數，以擴大估計模式之可靠應用範圍及提升參數估值之精密度⁽²⁾。本研究中之模式驗證數據是由全套數據劃分而來，其推定變數的變異範圍，雖與模式建立數據相似，卻不可能完全相同(表1)；故基於林和何⁽²⁾之立論，以此合併的全套數據所更新估計之模式參數估值，可擴大該模式之可靠應用範圍與提升參數估值的精密度。以全套數據求配兩產量之模式如下：

$$\hat{X}_3 = (Y + 54.5) / 0.1973 \quad (\text{小區產量})$$

$$\hat{X}_6 = (Y + 52.3) / 1.0586 \quad (\text{糙米產量})$$

此二模式中之所有參數估值都達極顯著的水準(P-value 皆小於 0.01)。且由更新後的參數估值與原來的參數估值間，並無具體的差異，此更進一步證明兩個模式之參數估值很穩定。再就其剩餘殘差的散佈圖(圖2)進行檢視，並不能找到明顯的特定型式，顯示穀物收穫量測定器應可作為水稻雜種後代小區產量之估測工具，因應繁雜的育種工作，可減少工作量，增加產量比較試驗工作之效率。

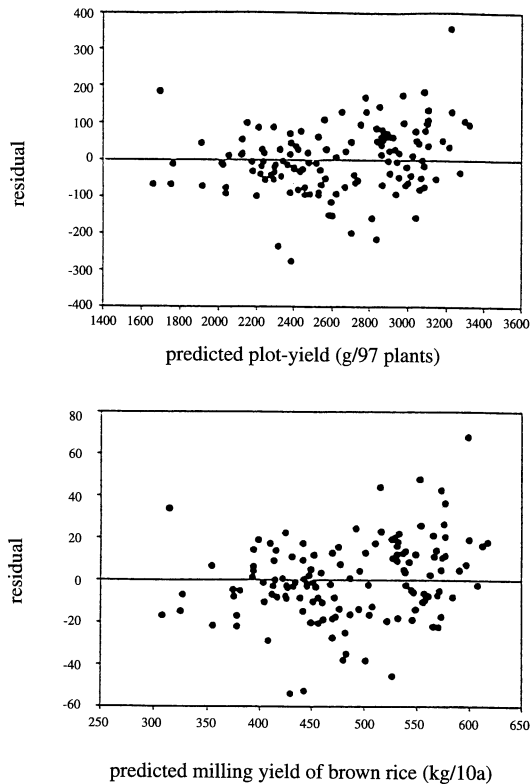


圖2. 更新數據建立之模式在估計兩種產量時之殘差分佈

Fig 2. Residual plotted against predicted values from the updated models

就前述求配所得之估測模式而言，在經過驗證後已能確認模式並無置疑之處，可將此估式視為一標準線，藉此利用 cropton 之測定值估計水稻產量。換言之，將來水稻濕穀之 cropton 測定值(Y_{new})，藉此標準線可估測稻穀之產量(X_{new})。並且，依此可描繪出 X_{new} 離此平均值愈遠其區間愈寬的可信範圍(fiducial interval)(圖3)。就實際數據而言，可信區間於觀測變數之平均時最窄⁽⁵⁾，但因差異甚小，故由圖3中不易發現。至此，為了日後水稻產量測度上之便利，利用上述的標準線，在給定一新的 cropton 測定值後可估計出其相對應的水稻小區產量及單位面積糙米產量，與其95%可信範圍之數據，列如表5，作為日後水稻雜種後代產量比較試驗時之應用。

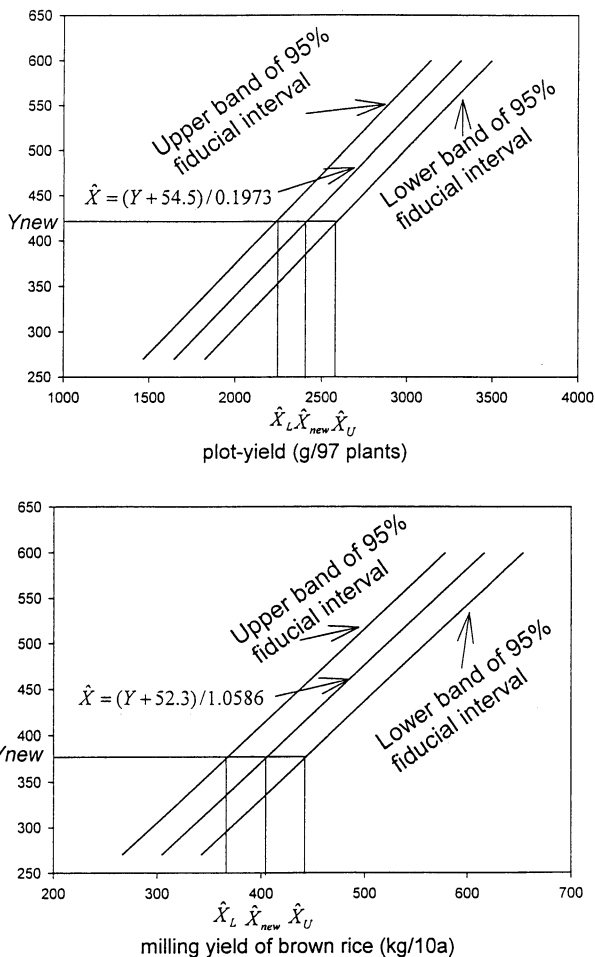


圖3. 更新後模式之穀物收穫量測定器之測定值(Y_{new})所相對之產量預測值(X_{new})及其95%可信區間。

Fig 3. Plotted the predicted value and 95% fiducial intervals by give cropton value from the updated models.

誌 謝

本研究之數據統計分析蒙中興大學農藝學系林俊隆教授賜教卓見，產量調查承溪口農場同仁何木榮、張宏謀、張慶榮、莊志慶、許錦城及賴敏裕之協助，謹誌謝忱。

表 5. 更新後模式以穀物收穫量測定器之測定值(Y)估計產量(X)及其 95% 之信賴上界(X_U)與下界(X_L)**Table 5.** Cropton value(Y) against estimation yield(X) and its 95% fiducial limits (X_U :upper limit; X_L :lower limit) from the updated models.

Cropton value		Plot-yield (g/97 plants)		Milling yield of brown rice (kg/10a)		
Y	X	X_U	X_L	X	X_U	X_L
270	1644	1826	1462	304	343	266
280	1695	1876	1513	314	352	275
290	1745	1926	1565	323	362	285
300	1796	1977	1616	333	371	295
310	1847	2027	1667	342	380	304
320	1897	2077	1718	352	390	314
330	1948	2128	1769	361	399	323
340	1999	2178	1820	371	408	333
350	2050	2228	1871	380	419	342
360	2100	2279	1922	389	427	352
370	2151	2329	1973	399	437	361
380	2202	2380	2023	408	446	371
390	2252	2430	2074	418	455	380
400	2303	2481	2125	427	465	390
410	2354	2531	2176	437	474	399
420	2404	2582	2227	446	484	409
430	2455	2633	2277	456	493	418
440	2506	2683	2328	465	503	427
450	2556	2734	2379	474	512	437
460	2607	2784	2430	484	521	446
470	2658	2835	2480	493	531	456
480	2708	2886	2531	503	540	465
490	2759	2937	2582	512	550	475
500	2810	2987	2632	522	559	484
510	2860	3038	2683	531	569	494
520	2911	3089	2733	541	578	503
530	2962	3140	2784	550	588	512
540	3013	3191	2834	559	597	522
550	3063	3242	2885	569	607	531
560	3114	3293	2935	578	616	541
570	3165	3343	2986	588	626	550
580	3215	3394	3036	597	635	559
590	3266	3445	3087	607	645	569
600	3317	3496	3137	616	654	578

引用文獻

1. 吳永培、羅正宗、陳一心。1994。穀物收穫量測定器應用於水稻產量推估可行性之研究。中華農業研究 43:275-282
2. 林俊隆、何榮祥。1999。由濕穀重量折算為乾穀淨重之轉換比率的估計。中華農學會報 185:120-138。
3. Berk, K. N. 1984. Validating regression procedures with new data. *Technometrics* 26:331-338.
4. Draper, N., and Smith, H. 1981. *Applied Regression Analysis*. 2nd ed. pp.709. Wiley, New York.
5. Neter, J., M. H. Kutner, C. J. Nachtsheim, and W. Wasserman. 1996. *Applied Linear Statistical Models*. 4th ed. pp.152-175. Richard D. IRWIN, INC.
6. SAS institute Inc. 1988. *SAS/STAT user's Guide*. Release 6.03 ed. Cary, NC.
7. Snee, R. D. 1977. Validation of regression models: method and example. *Technometrics* 19:415-428.

Studies on the Application Possibility of Cropton Value for Yield Trial of Rice¹

Jeng-Chung Lo and Yi-Shin Chen²

Summary

This research was conducted from the second crop season of 1998 to the first crop season of 1999, a total of 134 samples for advanced yield trial were concluded. First, we evaluated the cropton value(Y) of the 134 advanced lines. Then, samples were investigated of their weight, moisture content and milling ratio of brown rice for estimating the plot-yield (g/97 plants)(X₃) and milling yield of brown rice (kg/10acre)(X₆). The whole data was split into two portions. One of which contained 3/5 of the 134 samples (as the estimation data) was used to estimate the model parameters. The other (as the validation data) was reserved to check the prediction accuracy of the developed model. The sampling variation of the estimated parameter was examined empirically by a first-order jackknifing from the estimation data. It shows that the estimates of the parameters of a prediction model were quite stable. This model was then tested and updated by the validation data, with a satisfactory result for each yield by cropton value:

$$\hat{X}_3 = (Y + 54.5) / 0.1973 \quad (\text{for plot-yield})$$

$$\hat{X}_6 = (Y + 52.3) / 1.0586 \quad (\text{for milling yield of brown rice})$$

Results show that the cropton value can be applied for rice yield trial to promote the efficiency of rice breeding procedure.

Key words : Rice, Cropton, Yield, Milling yield of brown rice.

1. Contribution No.2032 from Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture.

2. Respectively, Assistant and Senior Agronomist, Chiayi Agricultural Experiment Station, TARI, Chiayi, Taiwan, ROC.