稻米中礦物元素含量的世代平均數分析[1]

楊嘉凌[2]、胡澤寬[3]

摘　要

為探討影響稻米鐵(Fe)、鋅(Zn)、銅(Cu)、錳(Mn)、鈣(Ca)、鎂(Mg)、鉀(K)及磷(P)等礦物元素含量的遺傳效應，本試驗以水稻兩個雜交組合的4個世代為材料，進行世代平均數的分析。結果顯示Fe元素含量可符合簡單累加性模式或累加性-加性x加性交感效應模式；Mg及P元素含量可符合簡單的累加性-顯性遺傳模式；Zn及K元素含量符合累加性-加性x加性交感效應模式；Cu、Mn及Ca等3個元素含量的遺傳效應不易解釋。此外，Zn、Mn及Ca等3個元素含量之廣義遺傳率較另5個元素含量高，顯示此3個性狀較不易受到環境的影響。

關鍵字：稻米、礦物元素含量、世代平均數、遺傳效應。

前　言

稻米是全球重要的主要糧食之一，綠色革命以來，全球稻米產業多著重產量增進，高產品種雖然減緩糧食危機，然而全球仍有數十億人口受苦於營養不良，尤其非洲、南亞及東南亞等地族群多以稻米為主食過活，一般飲食較缺乏有效的營養來源，造成這些地區普遍罹患微量營養缺乏症的隱藏性飢餓[6,10]，其中以缺乏鐵、鋅礦物元素以及維生素A等問題最引人注目[18,19]。因此有認為要解決米食礦物營養缺乏危機的最有效方法，就是育成具有豐富礦物元素含量的水稻品種[2,9,11]。

有關稻米礦物元素含量的遺傳變異，研究指出稻米中Fe、Zn等礦物元素含量具有顯著的累加性及非累加性效應，有些元素含量以累加性遺傳效應為主，另有些元素含量則以非累加性效應為主[8,9]，亦有研究認為Fe、Zn、Mn及P含量同時受到累加性、母體及細胞質等效應的作用[21]。此外，楊與胡[4]發現F_2族群的元素含量性狀呈連續分布且具有超親分離個體，顯示礦物元素含量屬於數量性狀。對於改進數量性狀而言，選擇適當的育種方法，絕大部分決定於基因作用[16]。探討影響數量性狀遺傳的基因作用，一般可以用世代平均數分析以了解性狀之遺傳表現是否僅為簡單的累加性-顯性模式，或是另有非等位基因的上位性效應[1,12]。試驗材料大多是利用兩個親本及其若干雜交後代之世代平均數的組成部分，以尺度測驗或聯合尺度測驗(Joint scaling test)兩種方式檢測性狀的遺傳模式，據以估計影響性狀的基因效應[3,13,14,17,20]。

[1]行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第0755號。
[2]行政院農業委員會臺中區農業改良場副研究員。
[3]國立中興大學農藝學系教授。

因此，本研究為探討影響米粒礦物元素含量的基因型式，利用兩個稻雜交組合的親本、F_1及F_2等世代族群材料，以其世代平均數估計遺傳效應，作為稻米礦物元素含量育種的參考。

材料與方法

一、材料與方法

本試驗以Hoshiyutaka × FKR19 (HF組合)與Aromatic Lemont × TCS10 (AT組合)兩個雜交組合的親本(P_1、P_2)、F_1及F_2世代族群材料，於2006年第一期作(3月10日)種植於農委會臺中區農業改良場水稻試驗農場。親本及F_1各種植2行，F_2族群HF組合種15行，AT組合種20行。田間試驗材料皆以單本種植，行株距24 cm×24 cm，管理按水稻一般生育需要進行，肥料三要素用量N：P_2O_5：K_2O＝100：50：60 $kgha^{-1}$，不施穗肥。成熟時收穫各世代單株分別放於考種紙袋，經烘乾機乾燥後，逐袋脫粒留下稻穀。各單株稻穀經脫殼機(Thu35B; Satake Corp., Japan)脫殼後的糙米經磨粉機(Model 3010-014; Udy cyclone mill, USA)研磨的米粉末分別封袋於15℃冷藏以備用。

二、礦物質分析

將0.5 g的糙米粉末樣品置於100 mL的玻璃分解管中，加入5 mL的二酸混合液[($HClO_4$ (69.72%; Trace Metal, J. T. Baker)：HNO_3 (69%; Tracepur, Merck)＝1：5)]，混合均勻靜置隔夜。第二天將分解管置於高溫分解爐，加熱過程的溫度不可立即調高，因米粒含有機質高，須先低溫緩慢加熱分解，至反應平緩再提高消化溫度，最高至180℃加熱至米粉末完全消化。消化分解液待冷却後，加入2.5 mL的3N HCl (36%; Tracepur, Merck)，混合均勻後，再置於爐上加熱至180℃至少30 min。完成消化分解後取出置冷，加入純水以Whatman No. 42濾紙過濾雜質後，再以純水定量至50 mL，所得濾液以ICP-AES (Inductively coupled plasma-atomic emission spectroscopy，感應耦合電漿原子發射光譜儀)(Ultima 2000, Horiba JY, France)儀器測定包括Fe、Zn、Cu、Mn、Ca、P、Mg及K等8個元素的含量，以ICP光譜儀連線的電腦進行操作程式，設定元素偵測波長(nm)分別為Fe (259.94)、Zn (213.856)、Cu (324.754)、Mn (259.373)、Ca (317.933)、P (214.914)、Mg (279.806)及K (766.49)，並建立上述各元素含量的標準檢量線後，進行各樣品材料的礦物元素含量測定[4]。

三、世代平均值分析

本試驗以P_1、P_2、F_1及F_2等4個世代平均值資料進行聯合尺度測驗[5]，由於各世代平均值的變方不等，以各世代平均值變方的倒數進行加權，根據加權最小平方法(weighted least squares)計算m、[d]及[h]等3個介量之期望估值[15]。m為世代族群均值，[d]表示累加性基因效應的總和，[h]為顯性基因效應的總和。3個遺傳介量之期望估值($\hat{\beta}$)以$(X^T \Lambda X)^{-1}(X^T \Lambda Y)$求出[1]：X表示世代組成係數矩陣，Λ表示以世代平均值變方倒數為主對角線之矩陣，Y表示世代平均數向量。

$$\hat{\beta}=\begin{bmatrix} m \\ [d] \\ [h] \end{bmatrix}, \quad X=\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & \frac{1}{2} \end{bmatrix}, \quad \Lambda=\begin{bmatrix} \frac{1}{V_{\overline{P_1}}} & & & \\ & \frac{1}{V_{\overline{P_2}}} & & 0 \\ & & \frac{1}{V_{\overline{F_1}}} & \\ & 0 & & \frac{1}{V_{\overline{F_2}}} \end{bmatrix}, \quad Y=\begin{bmatrix} \overline{P_1} \\ \overline{P_2} \\ \overline{F_1} \\ \overline{F_2} \end{bmatrix} 。$$

各世代均值的組成分別為：$\overline{P_1}=m+[d]$，$\overline{P_2}=m-[d]$，$\overline{F_1}=m+[h]$，$\overline{F_2}=m+\frac{1}{2}[h]$以3介量之期望估值，分別計算各世代的卡方($\chi^2$ =(期望值-實測值)^2 × 各世代加權數)值，將各世代χ^2值加總，以自由度為1 (df：4-3)進行測驗，總χ^2值若達顯著，表示「簡單的累加性-顯性模式」不足以解釋礦物元素含量於世代族群內的變異，則另須加入基因交感效應進行遺傳介量的估計。本試驗則另以「累加性-加性×加性交感效應」模式進行聯合尺度測驗，再次以上述之加權最小平方法計算m、$[d]$及$[i]$等3個介量之期望估值，$[i]$表示加性×加性交感效應的總和。各世代均值的組成分別為：$\overline{P_1}=m+[d]+[i]$，$\overline{P_2}=m-[d]+[i]$，$\overline{F_1}=m$，$\overline{F_2}=m$，假設$[h]$不存在，仍以3介量之期望估值分別計算各世代的卡方值，仍有1個自由度(df：4-3)可進行測驗，總χ^2值若顯著，表示「累加性-累加性×累加性交感效應模式」仍不足以解釋元素含量於世代族群內的變異。

$$\hat{\beta}=\begin{bmatrix} m \\ [d] \\ [i] \end{bmatrix}, \quad X=\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \Lambda=\begin{bmatrix} \frac{1}{V_{\overline{P_1}}} & & & \\ & \frac{1}{V_{\overline{P_2}}} & & 0 \\ & & \frac{1}{V_{\overline{F_1}}} & \\ & 0 & & \frac{1}{V_{\overline{F_2}}} \end{bmatrix}, \quad Y=\begin{bmatrix} \overline{P_1} \\ \overline{P_2} \\ \overline{F_1} \\ \overline{F_2} \end{bmatrix} 。$$

此外，本試驗利用4個世代族群的變方估算各元素含量性狀之廣義遺傳率(Broad-sense heritability, $h_B^2=\frac{V_{F_2}-\frac{1}{3}(V_{P_1}+V_{P_2}+V_{F_1})}{V_{F_2}}$)[(1)]。本試驗上述各遺傳介量資料使用Microsoft office Excel 2003統計軟體進行運算。

結　果

Ca、Mg、K及P等主要元素含量的遺傳

兩雜交組合的P_1、P_2、F_1及F_2等世代平均數及遺傳率列如表一。由表可知，4個主要元素含量於各組合的親本之間均分別具有顯著差異。HF組合F_1族群的Ca含量均值近於中親值，Mg、K及P含量則明顯低於中親值；AT組合F_1世代的Ca含量平均值亦近於中親值，K含量低於中親值，Mg及P含量則高於中親值。兩組合的F_2世代發現具有超親分離的個體，且各元素含量於雜種世代平均值的表現趨勢不盡相同，就HF組合而言，Ca含量在F_2世代平均值顯著高於F_1世代而近於高親本；Mg、K及P含量在F_2世代的平均值皆顯著高於F_1世代而近於高親本。

就AT組合而言，Ca含量之F_2世代平均值的表現顯著高於F_1族群平均而近於高親本；Mg含量之F_1世代的平均值高於F_2族群平均而近於高親本；K含量於F_1與F_2世代之間的平均值差異不明顯，且皆低於中親值；P含量在F_2世代平均值顯著低於F_1世代均值而近於中親值。此外，利用P_1、P_2、F_1及F_2等4個世代族群資料估算廣義遺傳率結果，顯示Ca含量於兩組合的遺傳率(0.915及0.676)較高，而Mg、K及P含量之遺傳率於兩個組合的表現並不一致。

表一、兩雜交組合米粒礦物主要元素含量的世代平均值及遺傳率

Table 1. Means with standard deviations and heritability of two cross combinations for the major mineral contents (mg kg^{-1}) of rice

Generation	Hoshiyutaka (P_1)× FKR 19(P_2)[1]				Aro. Lemont (P_1)× TCS10(P_2)[2]			
	Ca	Mg	K	P	Ca	Mg	K	P
P_1	134± 9	932±27	2,200±86	2,865±108	129±17	982±63	2,461±194	2,972±209
P_2	105±10	1,070±54	2,351±122	2,973±169	110± 9	1,111±94	3,063±224	3,432±226
F_1	119± 8	896±43	1,973± 89	2,599± 75	114± 7	1,146±87	2,620±207	3,362±218
F_2	144±30	1,029±121	2,421±303	2,934±418	132±21	1,077±112	2,608±260	3,224±342
h_B^2	0.915	0.875	0.891	0.913	0.676	0.461	0.355	0.594

[1] There were 10, 10, 7 and 195 plants within P_1, P_2, F_1 and F_2 generations in HF combination, respectively.

[2] There were 10, 10, 15 and 241 plants within P_1, P_2, F_1 and F_2 generations in AT combination, respectively.

以兩個雜交組合的4個世代平均值，進行簡單的累加性-顯性模式之3介量聯合尺度測驗的結果列如表二。就HF組合而言，4個主要元素含量測驗的χ^2值皆達顯著，表示簡單加性-顯性模式不足以解釋Ca、Mg、K及P等含量於世代族群內的變異。就AT組合而言，Ca及K含量的遺傳介量分析亦顯示不符合加性-顯性模式；但Mg及P含量經測驗的χ^2值不顯著，表示簡單加性-顯性模式可足以解釋Mg及P含量於4個世代族群的變異，且這2個元素含量的累加性(d)基因及顯性(h)基因效應達顯著。

表二、兩雜交組合米粒主要元素含量的加性-顯性模式 3 介量聯合尺度測驗估值

Table 2. Estimates with three parameters model by joint scaling test for major mineral contents of rice in two cross combinations

Parameter	Hoshiyutaka (P_1)×FKR 19 (P_2)				Aro. Lemont (P_1)×TCS10 (P_2)			
	Ca	Mg	K	P	Ca	Mg	K	P
m	126±2	1,023±9	2,369±22	2,984±29	134±2	1,035**±15	2,703±38	3,165**±40
[d]	14±3	-82±9	-106±23	-81 ±31	18±3	-60**±17	-292±47	-227**±48
[h]	7±4	-61±17	-209±40	-334 ±42	-16±3	93**±28	-159±71	148* ±73
$\chi^2_{(1)}$	69	39	99	22	47	1.4	4.5	1.8
P-value	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.24	0.03	0.18

*,**Significantly at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

利用兩雜交組合4個世代之米粒礦物主要元素含量，進一步以「加性-加性×加性交感效應」模式進行聯合尺度測驗的結果列如表三。就HF組合而言，4個主要元素含量測驗的χ^2值皆達顯著，表示加性-加性×加性交感效應之模式仍不足以解釋Ca、Mg、K及P等含量於世代族群內的變異。就AT組合而言，Ca含量的遺傳介量分析顯示不符合加性-加性×加性交感效應模式；K含量經測驗的χ^2值不顯著，表示加性-加性×加性交感效應模式可解釋K含量於4個世代族群的變異，且K含量的累加性(*d*)基因及加性×加性交感(*i*)效應達顯著。

表三、兩雜交組合米粒主要元素含量具交感效應的 3 介量聯合尺度測驗估值

Table 3. Estimates of three parameters with additive × additive interaction component by joint scaling test for major mineral contents of rice in two cross combinations

Parameter	Hoshiyutaka (P_1)×FKR 19 (P_2)				Aro. Lemont (P_1)×TCS10 (P_2)	
	Ca	Mg	K	P	Ca	K
m	135±2	1,000 ± 8	2,289±18	2,757±21	125±1	2,609**±16
[*d*]	15±2	-69 ± 9	-75±24	-54 ±32	9±3	-301**±47
[*i*]	-16±3	0.9±12	-13±30	162 ±38	-6±3	153**±50
$\chi^2_{(1)}$	42	51	126	89	68	0.05
P-value	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.83

**Significantly at 0.01 level.

Fe、Zn、Cu及Mn等微量元素含量的表現

兩組合的P_1、P_2、F_1及F_2等世代平均值及遺傳率列如表四。由表可知，微量元素含量性狀於各組合親本之間均具有顯著差異。兩組合P_1親的Fe及Mn含量皆高於P_2親；HF組合P_1親的Zn與Cu含量低於P_2親，而AT組合P_1親的Zn與Cu含量高於P_2親。兩組合F_1世代的Zn與Cu含量均顯著高於中親值；HF組合F_1世代Mn含量低於中親值，AT組合Mn含量則大於中親值。兩組合F_2世代具有超親分離的個體，兩組合Fe及Mn含量之F_2世代平均值皆介於兩親範圍；Zn含量於兩組合之F_2世代平均值皆大於高親；Cu含量於HF組合之F_2世代平均值大於高親，於AT組合則近於高親。另一方面，以P_1、P_2、F_1及F_2等4個世代資料估算廣義遺傳率結果，顯示Zn與Mn含量於兩組合皆表現較高的遺傳率(0.778~0.914)，而Fe與Cu含量之遺傳率於兩個組合的表現並不一致(0.421~0.830)。

以Fe、Zn、Cu及Mn等微量元素含量的世代平均值，進行簡單的累加性-顯性模式之3介量聯合尺度測驗的結果列如表五。就HF組合而言，僅Fe元素含量測驗的χ^2值未顯著，表示簡單累加性-顯性模式可解釋Fe含量於4個世代族群內的變異，但其累加性(*d*)基因效應達顯著而顯性(*h*)基因效應未達顯著；Zn、Cu及Mn等含量之遺傳介量測驗的χ^2值皆達顯著，表示此3個元素含量之世代族群變異並不符簡單的累加性-顯性模式。就AT組合而言，Fe、Zn、Cu及Mn等含量的遺傳介量經測驗的χ^2值皆達顯著，表示簡單加性-顯性模式不足以解釋此4個含量於世代族群的變異。

表四、兩雜交組合米粒礦物微量元素含量的世代平均值及遺傳率

Table 4. Means with standard deviations and heritability of two cross combinations for the minor mineral contents (mg kg^{-1}) of rice

Generation	Hoshiyutaka (P_1)×FKR 19 (P_2)[1]				Aro. Lemont (P_1)×TCS10 (P_2)[2]			
	Fe	Zn	Cu	Mn	Fe	Zn	Cu	Mn
P_1	17.3±3.3	23.1±1.5	2.5±0.3	22.5±1.2	20.0±2.3	27.4±2.4	3.9±0.7	24.0±2.3
P_2	12.9±3.2	25.5±1.4	3.1±1.4	13.1±1.0	9.6±1.5	24.4±1.3	2.6±0.4	18.4±1.9
F_1	18.6±4.9	29.4±2.0	3.1±0.4	15.5±0.6	19.4±2.5	29.5±1.8	3.5±0.5	23.2±1.2
F_2	15.8±6.0	30.4±4.7	4.5±0.7	15.8±3.4	19.6±5.2	30.1±4.0	4.0±0.7	20.1±4.2
h_B^2	0.585	0.874	0.760	0.914	0.830	0.778	0.421	0.805

[1] There were 10, 10, 7 and 195 plants within P_1, P_2, F_1 and F_2 generations in HF combination, respectively.

[2] There were 10, 10, 15 and 241 plants within P_1, P_2, F_1 and F_2 generations in AT combination, respectively.

表五、兩雜交組合米粒微量元素含量的加性-顯性模式 3 介量聯合尺度測驗估值

Table 5. Estimates with three parameters model by joint scaling test for minor mineral contents of rice in two cross combinations

Parameter	Hoshiyutaka (P_1)×FKR 19 (P_2)				Aro. Lemont (P_1)×TCS10 (P_2)			
	Fe	Zn	Cu	Mn	Fe	Zn	Cu	Mn
m	14.9**±0.7	24.9±0.3	3.18±0.07	17.5±0.2	15.7±0.4	27.2±0.4	3.73±0.10	19.7±0.4
[d]	2.2**±0.7	-1.2±0.3	-0.31±0.07	4.7±0.3	5.6±0.4	2.2±0.4	0.92±0.12	2.5±0.5
[h]	2.2 ±1.5	8.1±0.7	1.79±0.14	-2.3±0.3	5.7±0.7	3.8±0.6	0.30±0.19	2.9±0.5
$\chi^2_{(1)}$	0.97	45	238	8	23	34	38	28
P-value	0.32	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

**Significantly at 0.01 level.

利用兩雜交組合4個世代之米粒礦物主要元素含量，進一步以「累加性-加性×加性交感效應」模式進行聯合尺度測驗的結果列如表六。就HF組合而言，Fe含量經測驗之χ^2值未顯著，但其累加性(d)基因效應達顯著而加性×加性(i)基因效應未達顯著（資料未顯示），再重新配適「累加性效應」模式進行自由度為2的χ^2檢定結果，顯示簡單的累加性模式即可解釋Fe含量於此4個世代族群的變異，且其累加性(d)效應達顯著；Zn含量經測驗的χ^2值不顯著，表示加性-加性×加性交感效應模式可解釋Zn含量於4個世代族群的變異，其累加性(d)基因及加性×加性交感(i)效應達顯著；Cu與Mn元素含量經測驗的χ^2值皆達顯著，表示加性-加性×加性交感效應之模式仍不足以解釋Cu與Mn含量於世代族群內的變異。就AT組合而言，Fe與Zn含量經測驗的χ^2值不顯著，表示加性-加性×加性交感效應模式可解釋Fe與Zn含量於4個世代族群的變異，且Fe與Zn含量的累加性(d)基因及加性×加性交感(i)效應皆達顯著；Cu與Mn含量的遺傳介量經測驗χ^2值達顯著，表示不符合加性-加性×加性交感效應模式。

表六、兩雜交組合米粒微量元素含量具交感效應的 3 介量聯合尺度測驗估值

Table 6. Estimates of three parameters with additive × additive interaction component by joint scaling test for minor mineral contents of rice in two cross combinations

Parameter	Hoshiyutaka (P_1)×FKR 19 (P_2)				Aro. Lemont (P_1)×TCS10 (P_2)			
	Fe[1]	Zn	Cu	Mn	Fe	Zn	Cu	Mn
m	15.8**±0.4	30.2**±0.3	4.4±0.1	14.7±0.2	19.6**±0.3	29.2**±0.2	4.0±0.1	21.5±0.2
[*d*]	2.2**±0.7	-1.2**±0.3	-0.3±0.1	4.7±0.3	5.2**±0.4	1.5**±0.4	0.6±0.1	2.8 ±0.5
[*i*]		-6.0**±0.4	-1.6±0.1	3.1±0.4	-4.8**±0.5	-4.0**±0.5	-0.7±0.1	-0.3 ±0.5
$\chi^2_{(1)}$	3.2	1.4	73	33	0.05	1.25	13	57
P-value	0.21	0.23	<0.01	<0.01	0.82	0.26	<0.01	<0.01

[1] The shown model using (m+[d]) and tested by $\chi^2_{(2)}$.

**Significantly at 0.01 level.

討　論

對於不同目標性狀的育種計畫而言，一般利用基因作用性質及遺傳效應大小，以決定用來改良性狀的育種策略(7)。如果自交作物的累加性基因作用占優勢，早期世代進行選拔便具有成效。然而，假若存在非累加性基因作用，選拔強度不宜過大或是直到這些效應被固定在同質結合品系階段才進行(8)。

本試驗利用兩個雜交組合的4個世代族群平均數，以聯合尺度測驗進行8個礦物元素含量的遺傳效應研究。就Ca、Mg、K及P等主要元素含量表現而言，顯示此4個元素含量之遺傳效應因組合不同而有不同的表現。於HF的雜交組合，此4個元素含量經測驗結果皆不符合「累加性-顯性效應」模式，亦未通過「累加性-加性x加性交感效應」模式的顯著性測驗，可能還有其它的上位交感作用。於AT雜交組合，僅Ca含量皆未通過「累加性-顯性效應」及「累加性-加性x加性交感效應」的顯著性測驗；Mg與P含量之遺傳表現可符合簡單累加性-顯性基因效應的模式，且累加性的[*d*]及顯性的[*h*]效應皆達顯著，即具有累加性及顯性的效果；K含量亦通過累加性及加性x加性交感效應模式的顯著性測驗，且累加性的[*d*]及加性x加性交感的[*i*]效應皆達顯著，表示K含量之遺傳具有累加性及加性x加性交感效果。此外，Ca、Mg、K及P等含量之廣義遺傳率於兩個雜交組合的表現並不一致，4個元素在HF雜交組合的遺傳率表現皆較高，顯示本雜交組合之環境變異較小，可由其後裔世代系統平均值進行主要元素含量之育種選拔較單株選種有利。

另一方面，就Fe、Zn、Cu及Mn等微量元素含量表現而言，顯示Cu及Mn含量經χ^2檢定皆不符合「累加性-顯性效應」模式，亦未通過「累加性-加性x加性交感效應」模式的檢定分析，可能還受到其它上位交感效應的影響。Fe含量的世代族群表現於HF組合可配適簡單「累加性效應」模式，於AT組合則可符合「累加性-加性x加性交感效應」模式。Zn含量於本試驗兩個雜交組合的遺傳效應皆符合「累加性-加性x加性交感效應」模式，顯式Fe及Zn含量之遺傳多具有累加性反應的效果。此外，Zn及Mn含量於兩個組合皆表現較高之遺傳率，顯示此二元素

含量受到環境之變異較小，可由其後裔世代系統平均值進行主要元素含量之育種選拔較單株選種有利。

一般研究數量性狀的遺傳效應，大多以數個世代族群平均值資料進行聯合尺度分析，再利用卡方（χ^2）檢定及遺傳介量顯著性測驗判斷遺傳效應模型是否合適。有些研究者進行世代平均值之聯合尺度測驗，雖然其目標性狀估計的遺傳介量達顯著，但其卡方檢定已無自由度[14]，因此其推斷的遺傳效應模式可能並不充分。本試驗建立之雜交組合僅有4個世代族群數，聯合尺度分析不論是簡單的三介量(m, d, h)或是具交感效應(m, d, i)的模式，至少還保留一個自由度可供卡方檢定模式是否合適。因此，若建立較多個世代族群進行聯合尺度分析，應可得到更多的遺傳效應訊息，尤其在簡單的加性-顯性模式不足以解釋時，上位基因交感效應便具有相當的作用，譬如：顯性基因交感作用具有重複(duplicate)以及互補(complementary)的型式，重複型的交感作用通常降低雜種優勢[16]，互補型則出現雜種優勢，即世代平均值容易受到基因效應的內在解除(internal cancellation)作用，由本試驗的4個世代族群資料似乎亦有如此的趨勢。

誌　　謝

本試驗承蒙本場稻作與米質研究室鼎力協助，黃富美及朱桂芬小姐協助田間試驗、收穫、磨粉及ICP上機分析等，謹致謝忱。

參考文獻

1. 孔繁玲　2006　植物數量遺傳學　p.86-112　中國農業大學出版社　北京。
2. 李晨、涂從勇、潘大建、周漢欽、范芝蘭　2003　富鐵稻米遺傳育種研究現況與展望　植物遺傳資源學報 4: 355-359。
3. 郭益全、謝順景　1982　稻穀粒性狀之遺傳研究　中華農業研究 31: 177-186。
4. 楊嘉凌、胡澤竇　2010　水稻F_2族群米粒礦物元素含量的遺傳變異　作物、環境與生物資訊 7(2): 125-136。
5. Cavalli, L. L. 1952. An analysis of linkage in quantitative inheritance. p.135-144. In: Reeve, E. C. R. and C. H. Waddington (eds.). Quantitative Inheritance. HMSO. London.
6. Fitzgerald, M. A., S. R. McCouch and R. D. Hall. 2009. Not just a grain of rice: the quest for quality. Trends Plant Sci. 14: 133-139.
7. Gravois, K. A. 1992. Genetic effects determining rice grain weight and grain density. Euphytica 64: 161-165.
8. Gregorio, G. B., D. Senadhira, H. Htut and R. D. Graham. 2000. Breeding for trace mineral density in rice. Food Nutr. Bull. 21: 382-386.

9. Gregorio, G. B. and T. Htut. 2003. Micronutrient-dense rice: developing breeding tools at IRRI. p.371-378. In: Mew, T. W., D. S. Brar, S. Peng, D. Dawe and B. Hardy (eds.). Rice science: innovations and impact for livelihood. International Rice Research Institute. Philippines.
10. Hunt, J. M. 2002. Reversing productivity losses from iron deficiency: the economic case. J. Nutr. 132: 794S-801S.
11. Lucca, P., R. Hurrell and I. Potrykus. 2001. Approaches to improving the bioavailability and level of iron in rice seeds. J. Sci. Food Agric. 81: 828-834.
12. Mather, K. and J. L. Jinks. 1982. Biometrical Genetics. p.65-133. Chapman and Hall Ltd. London.
13. Mgonja, M. A., T. A. O. Ladeinde and M. E. Aken´Ova. 1994. Genetic analysis of mesocotyl length and its relationship with other agronomic characters in rice (*Oryza sativa* L.). Euphytica 72:189-195.
14. Price, A. H., A. D. Tomos and D. S. Virk. 1997. Genetic dissection of root growth in rice (*Oryza sativa* L.) I：a hydroponic screen. Theor. Appl. Genet. 95: 132-142.
15. Rowe, K. E. and W. L. Alexander. 1980. Computations for estimating the genetic parameters in joint-scaling tests. Crop Sci. 20: 109-110.
16. Shashikumar, K. T., M. Pitchaimuthu and R. D. Rawal. 2010. Generation mean analysis of resistance to downy mildew in adult muskmelon plants. Euphytica 173: 121-127.
17. van Ginkel, M. and A. L. Scharen. 1987. Generation mean analysis and heritabilities of resistance to *Septoria tritici* in durum wheat. Phytopathology 77: 1629-1633.
18. Virk, P., G. Barry and H. Bouis. 2007. Genetic enhancement for the nutritional quality of rice. p.279-285. In: Aggarwal, P. K., J. K. Ladha, R. K. Singh, C. Devakumar and C. Hardy (eds.). Science, technology, and trade for peace and prosperity. Proc. of 26th International Rice Research Conference. International Rice Research Institute. Philippines.
19. Welch, R. M. and R. D. Graham. 2004. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. J. Exp. Bot. 55: 353-364.
20. Zewdie, Y. and P. W. Bosland. 2003. Inheritance of seed color in *Capsicum*. J. Hered. 94: 355-357.
21. Zhang, M. W., B. J. Guo and Z. M. Peng. 2004. Genetic effects on Fe, Zn, Mn and P contents in *indica* black pericarp rice and their genetic correlations with grain characteristics. Euphytica 135: 315-323.

Generation Mean Analysis of the Mineral Element Contents in Rice[1]

Jia-Ling Yang[2] and Tzer-Kuan Hu[3]

ABSTRACT

Human's body requires various mineral elements, but more than 10 billion people of the world suffer from malnutrition and mostly lacking the trace elements. Aiming at the contents of iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu), manganese (Mn), calcium (Ca), potassium (K), magnesium (Mg) and phosphorus (P) in brown rice, the objective of the present study was to evaluate their genetic effects. Generation mean analysis, using P_1, P_2, F_1 and F_2 populations of two crosses, revealed that Fe content had significant additive and additive × additive effects. The genetic effects of Mg and P contents could correspond with the simple additive-dominant model and their additive and dominant effects were significant. The results of Zn and K contents were shown to fit the additive-additive × additive model and their effects were also significant. In addition, the genetic effects of Cu, Mn and Ca contents could be demonstrated difficultly. Moreover, the higher broad-sense heritability of Mn, Zn and Ca contents than those of the other 5 contents indicated that the three characters had lower environmental effects.

Key words: rice, mineral element content, generation mean, genetic effect.

---

[1] Contribution No. 0755 from Taichung DARES, COA.

[2] Associate Agronomist of Taichung DARES, Chunghua, Taiwan.

[3] Professor, Department of Agronomy, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan.