

稻米礦物元素含量的全互交分析¹

楊嘉凌²、胡澤寬³

摘 要

稻米供養全球一半以上的人口，是相當重要的糧食作物。礦物元素對人體的生理功能非常重要，缺乏微量元素所造成營養不良問題之人口達數十億。瞭解米粒礦物元素含量的遺傳特性，有助於訂定最佳的育種策略，以達增進人類營養健康的成功之道。本研究以8個水稻品種為親本建立之全互交族群，進行鐵(Fe)、鋅(Zn)、鈣(Ca)、鎂(Mg)、鉀(K)及磷(P)等礦物元素含量的遺傳效應分析結果顯示，礦物元素含量受到累加性及非累加性基因效應的影響，其中Fe及K含量的顯性效應大於累加性效應。估算各性狀之狹義遺傳率並不高，顯示各性狀具有明顯的非累加性基因作用。

關鍵字：稻米、礦物元素含量、全互交、遺傳效應。

前 言

礦物質中的大量元素P、K、Mg及Ca，或微量元素Fe、Zn及Mn等，不僅對人體具有重要性，同時也是植物基因-酶的重要成分及植物生理生化反應的關鍵因子⁽³⁾。米粒中分布較多的礦物元素是P及K，然而較引人注目的是Fe及Zn，而有關礦物元素攝取不足或吸收不良而產生的營養問題，不僅發生在貧窮的發展中國家，例如缺Fe或缺Zn而致病或死亡；即使已開發富裕國家，亦有普遍好發在老年族群缺鈣的骨質疏鬆等問題^(5,11)。

Gregorio等⁽⁶⁾指出米粒Fe含量之遺傳受到累加性及非累加性基因作用，狹義遺傳率為廣義遺傳率的一半左右，顯示非累加性基因作用的重要。Htut等⁽¹⁰⁾發現Zn含量於全互交雜種族群之變異係數最大，Fe與Zn含量之遺傳效應以累加性為主，一般高產品種無增加Fe含量的效果。Gregorio與Htut⁽⁷⁾認為高Fe含量品種如香米及有色米可當作雜交計畫中的母本，以獲得具有較高Fe含量的後代。另一方面，張等⁽¹⁾指出Fe含量以非累加性效應為主，亦具有細胞質作用，Zn及Mn含量以累加性效應為主。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，Fe、Zn及Mn含量的累加性效應大於母體效應，P含量則受累加性、顯性及母體效應共同作用⁽¹³⁾。

有關稻米礦物元素含量遺傳特性的研究，國內少有報導可供參考。本試驗利用8×8的全互交雜種為材料，探討米粒礦物元素含量的基因作用型式，作為臺灣水稻育種方法的參考。

¹行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第0767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。

材料與方法

一、材料與方法

本試驗以Hoshiyutaka (p1)、Basmati 370 (p2)、Taro (p3)、TN1 (臺中在來1號, p4)、Tngsy 2414 (p5)、Asd 16 (p6)、FKR 19 (p7)及Annada (p8)等品種為全互交親本,於2005年進行雜交。2006年第1期作(3月10日)種植於農委會臺中區農業改良場水稻試驗田,以包括正反交之56個雜交F₁組合及8個自交親本共計64個基因型為材料,進行田間試驗。田間規劃採用逢機完全區集設計,4重複,行株距24 cm × 24 cm,每小區種植10株,單本植。田間管理按水稻一般生育需要進行,肥料三要素用量N:P₂O₅:K₂O = 100:50:60 kg ha⁻¹,不施穗肥。成熟時收穫單株各放於考種紙袋,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)脫殼成糙米,脫殼後的糙米經磨粉機(Model 3010-014; Udy cyclone mill, USA)研磨成米粉末,研磨後的米粉末分別封袋於15°C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[(HClO₄ (69.72%; Trace Metal, J. T. Baker): HNO₃ (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°C加熱至米粉末完全消化。消化分解液待冷卻後,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°C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、Ca、Mg、K及P等6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)、Ca (317.933)、Mg (279.806)、K (766.49)及P (214.914),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。

三、統計分析

調查以上各組合材料的數據資料,以Hayman的變方分析方法^(8,9)進行礦物元素含量遺傳介量之估算。各遺傳介量的代表意義如下:a(累加性作用)顯著,表示親本間有極大之遺傳變異。b(顯性效果)顯著,表示各雜交組合間有明顯之顯性效果;b₁(平均顯性效果)顯著,表示平均顯性效果對上述顯性效果有明顯影響,亦即遺傳因子為單向之作用;b₂顯著,表示顯性效果是由基因頻度(gene frequency)不相等所造成的;b₃顯著,表示顯性效果係由特殊組合力(specific combining ability)所造成。D為基因之累加性作用(additive effect of gene),H₁為基因之顯性作用,H₂為雜交組合造成的顯性作用,h₂為所有雜交組合之顯性效應。D-H₁,正值表示性狀之因子作用為累加性效果大於顯性效果;負值表示顯性效果大於累加性效果。F值顯著正值表示顯性基因多於隱性基因。E(環境作用)顯著,表示性狀易受環境之影響。(H₁/D)^{1/2}(平均顯性程度),當大於1.3表示超顯性;介於0.76~1.3是為顯性;介於0.26~0.75為不完全顯性;

小於0.25，無顯性。 $H_2/4H_1$ ，表示親本正負效應基因之比值，當偏離0.25即表示其顯性作用大部分是正負效應基因頻度分布不均所造成； Kd/Kr (顯隱性基因之比值)，等於1，表示顯隱性基因數目大約相等；大於1，表示顯性基因數目多於隱性基因數目；小於1，表示隱性基因較多。 h_2/H_2 值，表示控制各性狀之顯性基因群數。 Y 與 W_r+V_r 之相關係數(r)，顯著負值表示顯性基因為增量基因；顯著正值表示顯性基因為減量基因；不顯著表示其顯性無一定作用方向。 W_r/V_r 之迴歸線交於 W_r 軸原點以上，表示控制性狀之基因為不完全顯性；交於 W_r 軸原點上，表示為完全顯性基因控制；交於 W_r 軸原點下方，表示有超顯性之作用。此外，狹義遺傳率的計算依據Mather與Jinks⁽¹²⁾的公式估計。

結 果

本試驗分析全互交親本品種的米粒礦物元素含量平均值結果列如表一，各元素含量於品種之間具有顯著差異，顯示本全互交親本材料具有足夠變異進行遺傳分析。Fe含量以Basmati 370 (p2)的26.9 mg最高，FKR 19 (p7)的12.5 mg最低；Zn含量亦以Basmati 370 (p2)的35.6 mg最高，FKR 19 (p7)的23.4 mg最低；Ca含量仍以Basmati 370 (p2)的243 mg最高，FKR 19 (p7)的117 mg最低；Mg含量以Asd 16 (p6)的1,234 mg最高，Taro (p3)的941 mg最低；K含量以Annada (p8)的3,018 mg最高，Basmati 370 (p2)的2,377 mg最低；P含量亦以Annada (p8)的3,452 mg最高，Basmati 370 (p2)的2,657 mg最低。

表一、全互交親本礦物元素含量的平均值

Table 1. Means of the 6 mineral element contents of 8 parents

Parent	Fe	Zn	Ca	Mg	K	P
			----- mg kg ⁻¹ -----			
Hoshiyutaka (p1)	15.9	23.7	151	958	2,506	2,688
Basmati 370 (p2)	26.9	35.6	243	1,007	2,377	2,657
Taro (p3)	15.1	26.3	126	941	2,589	2,832
TN1 (p4)	14.0	23.5	128	1,135	2,549	3,107
Tngsy 2414 (p5)	16.6	27.9	168	1,122	2,584	2,814
Asd 16 (p6)	14.6	27.8	148	1,234	2,553	3,284
FKR 19 (p7)	12.5	23.4	117	1,105	2,449	2,958
Annada (p8)	16.1	28.6	167	1,232	3,018	3,452
LSD _{0.05}	0.6	0.7	9	27	84	106

以8×8全互交後裔分析包括Fe、Zn等6個元素含量的資料，進行變方分析結果列如表二。由表可知，64個參試材料之6個元素含量性狀的a(累加性作用)、b(顯性效果)、b₁(平均顯性效果對顯性效果的影響)、b₂(基因頻度分布不均對顯性效果的影響)及b₃(特殊組合力對顯性效果的影響)等變因皆達顯著。各元素含量的a變因顯著，表示親本間具有相當大的遺傳變異；b變因顯著，表示親本間顯性基因效應是相當重要角色；b₁變因顯著，表示元素含量的顯性方向

是單方向； b_2 變因顯著，表示支配這些元素含量的顯性基因在親本間分布並不均勻； b_3 變因達顯著，表示這些元素含量具有不屬於 b_1 及 b_2 變因的顯性效應，亦即存在累加性與顯性基因相互間的交通作用。且各性狀a均方值大於b均方值(介於2.9~10.7倍)，表示元素含量性狀受到累加性基因作用遠較顯性效應強。Ca、Mg及K等3個元素含量的均方趨勢呈 $b_1 > b_2 > b_3$ 順序，Fe、Zn及P元素含量則呈現 $b_1 > b_3 > b_2$ 的大小順序，性狀一般存在顯性效果。此外，c變因係來自親本的母性(體)效應(maternal effect)、d變因是剔除c變因後的反交剩餘效應。因此，除Mg含量性狀的c與d變因未顯著外，其餘5個元素含量性狀的c或d變因皆達顯著水準，顯示母性效應亦明顯影響這5個元素含量的表現。

表二、8×8 全互交組合礦物元素含量的變方分析

Table 2. Hayman analysis for the 8×8 diallel crosses for the mineral element contents

Source of Variation	Df	Mean squares					
		Zn	Ca	Mg	K	P	Fe
Block	3(3) ¹	1.9**	40	5,725*	14,456*	32,767**	0.7
Treatment ²	63(35)	34.3**	1,741**	29,468**	104,391**	203,495**	32.5**
a	7(5)	192.6**	7,182**	189,845**	465,492**	1,105,724**	66.5**
b	28(15)	27.3**	1,675**	17,786**	95,168**	165,760**	22.6**
b ₁	1(1)	67.6**	6,462**	45,917**	326,160**	353,476**	92.8**
b ₂	7(5)	8.8**	2,168**	19,095**	92,502**	151,485**	13.3**
b ₃	20(9)	31.7**	1,262**	15,921**	84,552**	161,370**	19.9**
c	7(5)	0.8	224**	869	42,876**	12,365	5.1**
d	21(10)	2.3**	521**	1,118	16,827**	167,776**	44.2**
Number of parents		8	8	8	8	8	6
Removed parent ³		-	-	-	-	-	p2, p8

¹: Df of Fe content shown in the parenthesis.

²: a= genetic difference between parents.

b = dominant effect between parents.

b₁= mean dominant effect.

b₂= gene frequency.

b₃= special dominant effect=specific combining ability.

c= maternal effects.

d= reciprocal differences.

³: Codes of parents had been canceled.

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

親本間(W_r - V_r)純質性測驗(homogeneous test)可測定試驗資料是否符合Hayman⁽⁹⁾遺傳假說，而作目標性狀遺傳成分的進一步估計。當(W_r - V_r)純質時，則親本間(W_r - V_r)的差異不大，即各親本的(V_r , W_r)點對序列變積依序列方向而變異的回歸直線離差不大。本試驗各元素含量性狀資料經純質性測驗，除Fe含量達顯著須刪除2個親本以符合純質外，其餘5個元素含量則符合純質測驗(數據未列出)。進一步估算6個礦物元素含量的遺傳成分(表三)及遺傳

系統(表四)，並繪製各元素含量性狀每親本與F₁組合間的序列變積(Wr)對親本序列變方(Vr)之回歸圖(圖一)，以及每序列親本計量(Yr)與顯性次序(Wr + Vr)間的標準偏差圖(圖二)。

表三、全互交組合礦物元素含量的遺傳變異成分估值

Table 3. Estimates of genetic parameters for mineral contents from diallel cross analysis

Genetic Parameter ¹	Fe content	Zn content	Ca content	Mg content	K content	P content
D	1.95**	16.05**	1,568**	12,731**	35,434**	79,467**
H ₁	5.03**	14.99**	1,232**	11,987**	61,372**	105,979**
H ₂	4.23**	13.42**	829**	8,539**	44,998**	79,022**
h ₂	4.99**	7.35**	705**	4,944**	35,108**	37,817*
F	0.83	5.62*	1,524**	4,358	23,038*	37,799
E	0.85	0.10	4	176	1,292	1,928
D-H ₁	-4.53**	1.06	336	744	-25,938**	-26,512

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

¹: D = variance due to additive effect.

H₁ = component of variation due to the dominant effect of the genes.

H₂ = proportion of positive and negative genes in the parents.

h₂ = dominant effect over all loci in heterozygous phrase in all crosses.

F = mean of covariance of additive and dominant effects over the array.

E = expected environmental component of variation.

表四、全互交組合礦物元素含量的遺傳系統

Table 4. Estimates of the genetic systems for mineral contents from diallel cross analysis

Genetic parameter ^a	Fe content	Zn content	Ca content	Mg content	K content	P content
(H ₁ /D) ^{1/2}	1.61	0.97	0.89	0.97	1.32	1.15
H ₂ /4H ₁	0.21	0.22	0.17	0.18	0.18	0.19
Kd/Kr	1.22	1.44	3.43	1.43	1.66	1.52
h ₂ /H ₂	1.18	0.55	0.85	0.58	0.78	0.48
r of (Wr+Vr)/Yr	0.055	0.344	0.928**	-0.941**	0.936**	-0.502
Heritability (narrow)	0.48	0.63	0.51	0.72	0.53	0.61

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

^a: (H₁/D)^{1/2} = mean degree of dominance.

H₂/4H₁ = proportion of genes with positive and negative effects in the parents.

Kd/Kr = proportion of dominant and recessive genes in the parents.

h₂/H₂ = No. of genes exhibiting dominance.

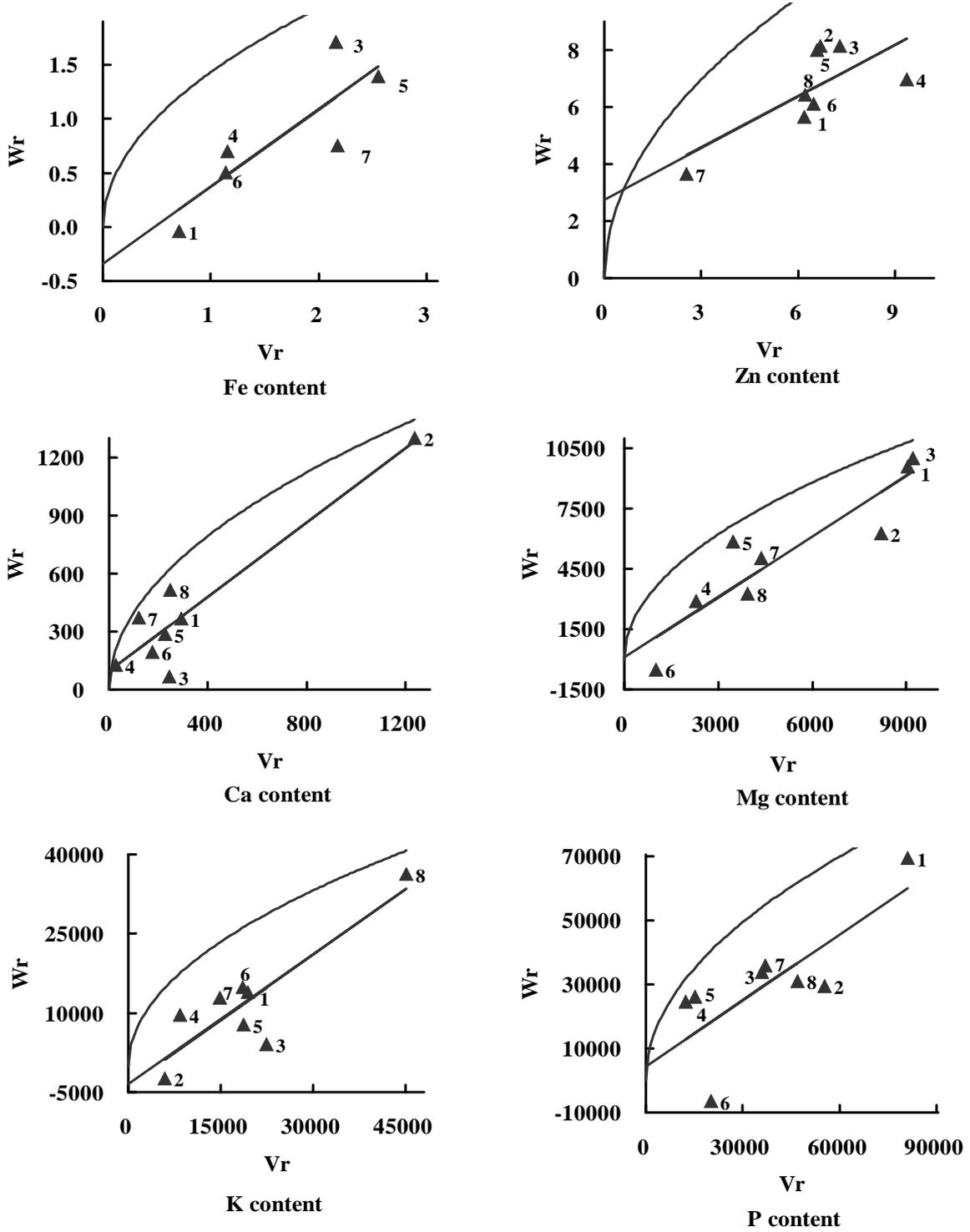
r of (Wr + Vr)/Yr = correlation coefficient between the parents.

由估計元素含量的遺傳成分(表三)結果，顯示Fe含量的累加性效應(D)與顯性效應(H_1 、 H_2 及 h_2)均達顯著水準，表示累加性及顯性效應對雜交後代(F_1)Fe含量的表現具有重要性。 $D-H_1$ 成分為顯著負值，表示影響雜交後代(F_1)Fe含量表現的顯性效應顯著大於累加性效應，可推知Fe含量的狹義遺傳率($h_N^2=0.48$)並不高(表四)。Fe含量的平均顯性程度(H_1/D)^{1/2}值約1.61，遠大於1， W_r 依據 V_r 的回歸直線切 W_r 軸於原點下方(圖一)，表示控制Fe含量有關基因的顯性程度為超顯性。 $H_2/4H_1$ 比值偏離0.25，與變方分析結果的顯著 b_2 值(表二)相應，可知控制雜交後代(F_1)Fe含量有關正負效應基因的分布不均。顯隱性基因總數比值(Kd/Kr)為1.22，表示顯性基因數目略多於隱性基因數。顯性基因群估值(h_2/H_2)約1.18，表示呈超顯性的主效基因有1對。Fe含量的親本平均值(Y_r)對應 W_r+V_r 的相關並不顯著，暗示供試材料有關Fe含量的遺傳體系中，顯性作用方向可能不為單方面，似乎不易判定哪個親本之相對顯性，但由 W_r 依 V_r 的回歸圖(圖一)所示，Fe含量的親本顯性次序為1-6-4-7-3-5，親本表現次序為5-1-3-6-4-7，含量高者為顯性。

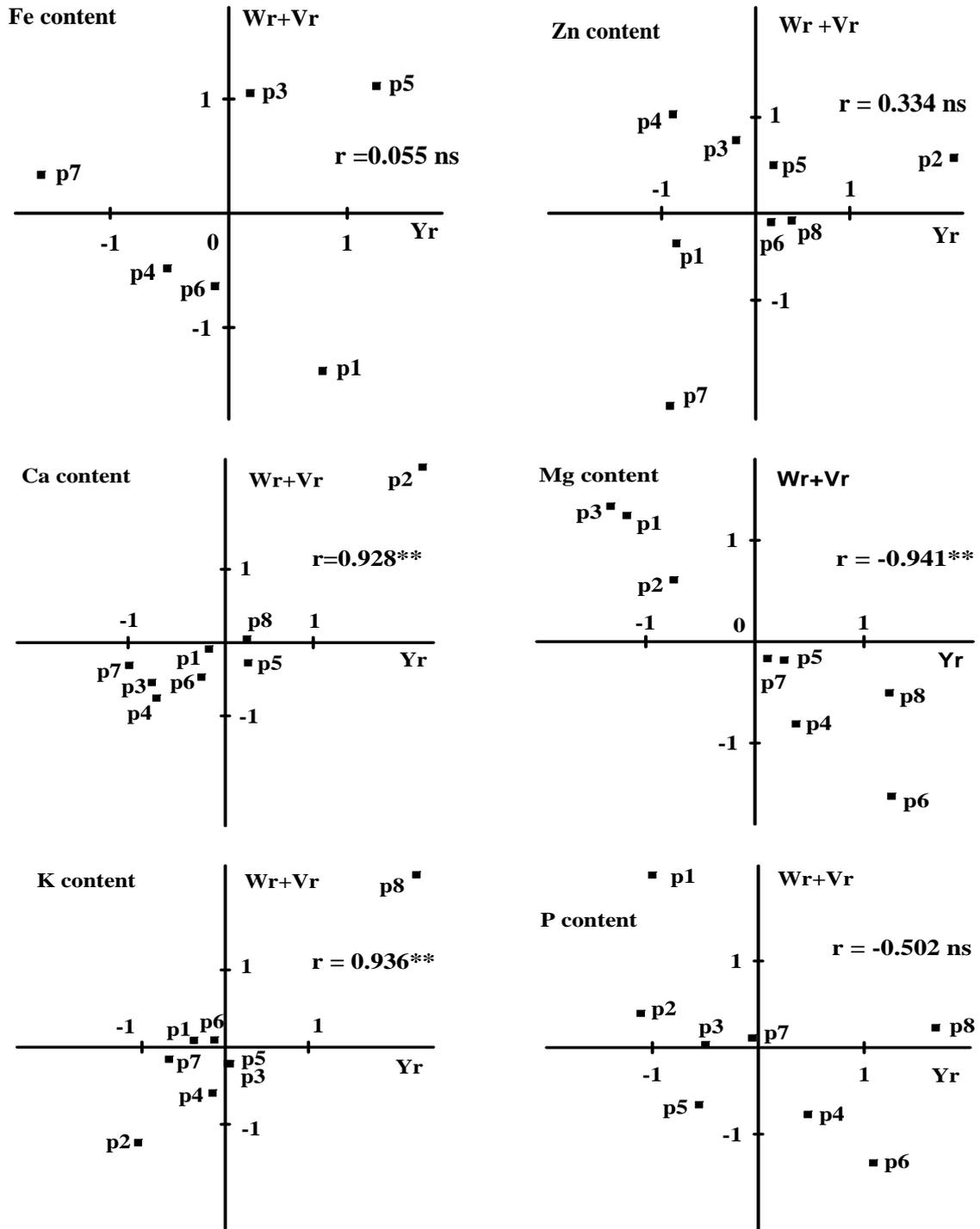
Zn含量的累加性效應(D)與顯性效應(H_1 、 H_2 及 h_2)均達顯著水準，表示累加性及顯性效應對Zn含量具重要性。 $D-H_1$ 成分為不顯著的正值，暗示累加性效應對Zn含量的表現可能略大於顯性效應，因此Zn含量的狹義遺傳率(0.63)稍高(表四)。親本間顯隱性等位基因相對頻度的F值為顯著正值(表三)，表示顯性基因多於隱性基因，與估計親本總顯隱性基因數比值(Kd/Kr=1.44)表示親本顯性基因數佔多數的結果相符。其平均顯性程度(H_1/D)^{1/2}估值近於1，表示有關Zn含量的基因表現接近完全顯性。 $H_2/4H_1$ 比值偏離0.25，與變方分析結果的顯著 b_2 值(表二)相應，可知控制Zn含量有關正負效應基因的分布不均。顯性基因數的估值(h_2/H_2)約0.55，顯示無主效顯性基因存在。Zn含量的親本平均值(Y_r)對應 W_r+V_r 的相關並不顯著，暗示供試材料有關遺傳體系中，顯性作用方向可能不為單方面，難以判定哪個親本之相對顯性，但由 W_r 依 V_r 的回歸圖所示，Zn含量的親本顯性次序為7-1-8-6-5-2-3-4，親本表現次序為2-8-5-6-3-1-4-7，含量低者為顯性(圖一)。

Ca含量的累加性效應(D)與顯性效應(H_1 、 H_2 及 h_2)均達顯著水準，表示累加性及顯性效應共同影響Ca含量。親本間顯隱性等位基因相對頻度的F值為顯著正值(表三)，表示顯性基因多於隱性基因，且與估計親本總顯隱性基因數比值(Kd/Kr=3.43)表示親本顯性基因數目佔多數的結果相符。 $D-H_1$ 成分為不顯著的正值，暗示累加性效應對Ca含量的表現可能略大於顯性效應，因此Ca含量的狹義遺傳率(0.51)屬於中等(表四)。其平均顯性程度(H_1/D)^{1/2}估值近於1， W_r 依據 V_r 的回歸直線切 W_r 軸於原點附近(圖一)，表示有關Ca含量的基因表現接近完全顯性。 $H_2/4H_1$ 比值偏離0.25，與變方分析結果的顯著 b_2 值(表二)相應，可知控制Ca含量有關正負效應基因的分布不均。顯性基因數的估值(h_2/H_2)約0.85，顯示無主效顯性基因存在。Ca含量的親本平均值(Y_r)對應 W_r+V_r 為顯著的正相關(圖二)，表示當 W_r+V_r 增加時，隱性基因數相對增加，Ca含量低者為顯性，親本顯性次序為4-3-6-7-5-1-8-2，親本表現次序為2-5-8-1-6-4-3-7。

Mg含量的累加性效應(D)與顯性效應(H_1 、 H_2 及 h_2)均達顯著水準，表示累加性及顯性效應共同影響Mg含量。 $D-H_1$ 為不顯著的正值，雖顯示累加性效應對Mg含量表現可能略大於顯



圖一、八個親本稻米粒礦物元素含量的 W_r/V_r 圖。
 Fig. 1. W_r/V_r graphs for rice mineral element contents of 8 parents.



圖二、八個親本稻米粒礦物元素含量的 Yr 與 Wr+Vr 之標準偏差圖。

Fig. 2. Standardized deviation graphs between Yr (parental performance) and Wr+Vr (order of dominance) for rice mineral element contents of 8 parents.

性效應，但其狹義遺傳率(0.72)並不至太低(表四)。其平均顯性程度(H_1/D)^{1/2}估值近於1， W_r 依據 V_r 的回歸直線切 W_r 軸於原點附近(圖一)，表示有關Mg含量的基因表現接近完全顯性。 $H_2/4H_1$ 比值偏離0.25，與變方分析結果的顯著 b_2 值(表二)相應，可知控制Mg含量有關正負效應基因的分布不均。顯隱性基因總數比值(K_d/K_r)為1.43，表示顯性基因數目多於隱性基因數。顯性基因數的估值(h_2/H_2)約0.58，顯示無主效顯性基因存在。Mg含量的親本平均值(Y_r)對應 $W_r + V_r$ 為顯著的負相關(圖二)，表示Mg含量高者為顯性，親本顯性次序為6-4-8-5-7-2-1-3，親本表現次序為6-8-4-5-7-2-1-3。

K含量的累加性效應(D)與顯性效應(H_1 、 H_2 及 h_2)均達顯著水準，表示累加性及顯性效應具重要性。親本間顯隱性等位基因相對頻度的F值為顯著正值(表三)，表示顯性基因頻度多於隱性基因，且與估計親本總顯隱性基因數比值($K_d/K_r = 1.66$)表示親本具有多數的顯性基因數結果相符。D- H_1 為顯著的負值，表示累加性效應對K含量的表現顯著小於顯性效應，因此K含量的狹義遺傳率(0.53)並不高(表四)。其平均顯性程度(H_1/D)^{1/2}估值遠大於1， W_r 依據 V_r 的回歸直線切 W_r 軸於原點下方(圖一)，表示控制K含量有關基因的顯性程度為超顯性。 $H_2/4H_1$ 比值偏離0.25，與變方分析結果的顯著 b_2 值(表二)相應，可知控制K含量有關正負效應基因的分布不均。顯性基因數的估值(h_2/H_2)為0.78，表示無主效顯性基因存在。K含量的親本平均值(Y_r)對應 $W_r + V_r$ 為顯著的正相關(圖二)，表示當 $W_r + V_r$ 增加時，隱性基因數相對增加，K含量低者為顯性，親本顯性次序為2-4-3-5-7-1-6-8，親本表現次序為8-3-5-6-4-1-7-2。

P含量的累加性效應(D)與顯性效應(H_1 、 H_2 及 h_2)均達顯著水準，表示累加性及顯性效應共同影響P含量。D- H_1 為不顯著的負值，暗示累加性效應可能略小於顯性效應，可見P含量的狹義遺傳率(0.61)僅為中等(表四)。其平均顯性程度(H_1/D)^{1/2}估值為1.15，表示有關P含量的基因表現接近完全顯性。 $H_2/4H_1$ 比值偏離0.25，與變方分析結果的顯著 b_2 值(表二)相應，可知控制P含量有關正負效應基因的分布不均。估計親本總顯隱性基因數比值(K_d/K_r)為1.52，表示顯性基因數多於隱性基因數。顯性基因數的估值(h_2/H_2)約0.48，表示無主效顯性基因的存在。P含量的親本平均值(Y_r)對應 $W_r + V_r$ 的相關並不顯著，暗示供試材料有關遺傳體系中，顯性作用方向可能不為單方面，由 W_r 依 V_r 的回歸圖(圖一)所示，P含量的親本顯性次序為6-4-5-3-7-8-2-1，親本表現次序為8-6-4-7-3-5-1-2。

為描述8個親本與雜交後代(F_1)間的遺傳機制，由 W_r 依 V_r 而變的回歸圖(圖一)看出，對Zn含量而言，FKR 19 (p7)帶有較多的顯性基因，而TN 1 (p4)則帶有較多的隱性基因；對Ca含量而言，Basmati 370 (p2)帶有增加Ca含量的隱性基因較多，其餘7親本帶有降低含量的顯性基因較多；對Mg含量而言，Asd 16 (p6)帶有增加Mg含量的顯性基因較多，而Taro (p3)帶有降低含量的隱性基因較多；對K含量而言，Annada (p8)帶有增加K含量的隱性基因較多，Basmati 370 (p2)則帶有降低K含量的顯性基因較多；對P含量而言，Hoshiyutaka (p1)則帶有較多的隱性基因，而TN 1 (p4)帶有較多顯性基因。此外，對Fe含量而言，全互交組合須剔除Basmati 370及Annada等2個親本組合資料，顯示p1帶有較多顯性基因，p5帶有較多隱性基因。

討 論

有關米粒礦物元素含量的遺傳效應，一般研究多以全互交雜種族群進行分析^(2,4,6,10,13)。本試驗結果顯示，累加性及非累加性基因效應對米粒礦物元素含量的表現，均具有重要性，與上述研究者之結果相似。由本試驗的變方分析結果顯示，6個元素含量除Mg含量不具母體效應外，其它5個元素含量雖存在母體效應，但相對遠小於累加性及顯性效應。

有研究指出，米粒Fe及Zn含量表現呈現超顯性，其狹義遺傳率較低，育種宜在較晚世代進行選拔⁽⁴⁾；但也有研究認為Fe及Zn含量於早世代選拔有效，P含量則可於較晚世代進行選拔⁽¹³⁾。Gregorio等⁽⁶⁾則認為Fe含量的育種選拔應在較晚世代(譬如F₅)當顯性效應比例降低時才宜進行。本試驗由變方分析及遺傳成分估算，發現Fe及K含量的顯性效應(H₁)顯著大於累加性效應(D)，另估算Zn、Ca、Mg及P等元素含量的狹義遺傳率結果，Fe、Ca及K等3個元素含量的遺傳率均低於0.6，Zn、Mg及P等3個含量之遺傳率皆大於0.6，顯示針對礦物元素含量的早晚世代選拔策略，因不同元素而異。

本試驗由遺傳變異介量估得6個礦物元素含量的顯性程度，Fe及K含量呈超顯性；Zn、Ca、Mg及P含量的表現呈完全顯性。估算正負等位基因頻度在親本間的分布，6個礦物元素含量性狀皆顯示不相等。此6個元素含量性狀估計的顯性基因數皆多於隱性基因數，其中Ca含量甚至超過2倍。6個性狀以回歸圖及親本顯性次序估算，顯示Ca、Mg及K含量等性狀的顯性方向呈現單方向(unidirection)，以Ca及K含量而言，顯性基因多的親本具減量作用，即低含量對高含量為顯性；Mg含量性狀則為顯性基因多的親本具增量作用，暗示高含量對低含量為顯性。另一方面，Fe、Zn及P等含量的顯性方向則呈現雙方向(ambidirection)，即有關這3個元素含量的顯性基因並無明顯的顯性方向。此外，本研究以全互交方法進行遺傳分析，有關銅(Cu)及錳(Mn)含量性狀資料方面，經Hayman變方分析⁽⁹⁾結果均無法通過純質性測驗，因而這2個含量性狀無法由全互交獲得較充分之遺傳訊息。

綜合本研究結果顯示，進行米粒重要的礦物元素含量育種時，由分析這些元素含量性狀之基因效應的表現，在早期龐大的分離族群針對不同元素遺傳特性進行選拔之策略為：以Zn、Mg及P含量而言，狹義遺傳率頗高，因此早期世代可行譜系法輔以選擇農藝特性較優者而逐代進行元素含量篩選；反之，Fe、Ca及K含量的狹義遺傳率略低，早期世代可行混合(Bulk)法輔以選拔農藝特性優良者，直到晚期固定世代再進行元素含量分析選拔，或是以單籽粒後裔法(single-seed descent)繁殖至F₅世代，對具有高礦物元素含量的性狀進行選拔。

誌 謝

本試驗承農業試驗所曹文隆先生(已退休)全力幫忙分析全互交族群資料，本場稻作與米質研究室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. 張名位、彭仲明、杜應瓊 1996 特種稻米中微量元素鐵、鋅、錳含量的配合力和穩定性分析 中國水稻科學 10: 201-206。
2. 張名位、杜應瓊、彭仲明、何慈信 2000 黑米中礦質元素鐵、鋅、錳、磷含量的遺傳效應研究 遺傳學報 27: 792-799。
3. 曾亞文、劉家富、汪祿祥、申時全、李自超、王象坤、文國松、楊忠義 2003 雲南稻核心種質礦質元素含量及其變種類型 中國水稻科學 17: 25-30。
4. 賴來展、張名位、彭仲明、陳春洪 1994 黑米稻種質資源的評價與利用研究 作物品種資源(增刊): 58-64。
5. Frossard, E., M. Bucher, F. Machler, A. Mozafar and R. Hurrell. 2000. Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn and Ca in plants for human nutrition. J. Sci. Food Agric. 80: 861-879.
6. 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.
7. 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.
8. Hayman, B. I. 1954a. The analysis of variance of diallel table. Biometrics 10: 235-244.
9. Hayman, B. I. 1954b. The theory and analysis of diallel crosses. Genetics 39: 789-809.
10. Htut, T., G. B. Gregorio, D. Senadhira, R. D. Graham, G. S. Khush, R. O. Mendoza and A. N. R. Monroy. 2000. Genetic analysis of rice grain mineral density. p.66-69. In: W. Rockwood (ed.). Program Report for 1999. International Rice Research Institute, Philippines.
11. Larson, S. R., J. N. Rutger, K. A. Young and V. Raboy. 2000. Isolation and genetic mapping of a non-lethal rice(*Oryza sativa* L.)*low phytic acid 1* mutation. Crop Sci. 40: 1397-1405.
12. Mather, K. and J. L. Jinks. 1982. Biometrical Genetics. 3rd ed. London: Chapman and Hall Ltd. pp. 65-133.
13. 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.

Diallel Analysis of the Mineral Element Contents in Rice¹

Jia-Ling Yang² and Tzer-Kuan Hu³

ABSTRACT

Rice is the most important cereal crop and a staple food for more than half of the world's population. Human's body requires various mineral elements. Aiming at the contents of iron (Fe), zinc (Zn), calcium (Ca), magnesium (Mg), potassium (K) and phosphorus (P) in brown rice, the objective of the present study was to evaluate their behaviors of genetics and breeding. The analysis of 8×8 diallel crosses for mineral contents demonstrated the presence of significant additive and non-additive effects, while the dominance effect was greater than additive effect for Fe and K contents. By the way, the narrow-sense heritability estimates for mineral contents were low from the populations of diallel crosses. It indicated that these characters had larger non-additive gene effects.

Key words: rice, mineral element content, diallel crosses, genetic effects.

¹Contribution No. 0767 from Taichung DARES, COA.

²Associate Agronomist of Taichung DARES, COA.

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