

水稻米粒品質之遺傳研究¹

謝順景 王聯輝

臺中區農業改良場 國立中興大學

摘 要

水稻米粒品質決定於米粒之外貌（長、寬、厚度、形狀、重量、色素）、碾米特性、胚乳之化學組成及硬度、氣味及營養值等之理化性。理化性中以膠化溫度、膠體軟硬度、直鏈性澱粉含量、蛋白質含量及香味對白米之烹調及食用品質影響最大。

米粒長度之遺傳受數量基因所控制，或受三個等位基因 $G_l_1 > G_l_2 > g_l$ 所控制。細長型與粗短型則受 $G_s_1 > G_s_2 > g_s$ 三等位基因所控制。

膠化溫度之遺傳研究結果頗為不一致，中膠化溫度與高膠化溫度品種間之雜交後代僅產生中膠化溫度及高膠化溫度之系，在高膠化溫度與低膠化溫度之雜交後代則產生高、中及低膠化溫度之系統，高膠化溫度受顯性或累加性基因所控制。

直鏈性澱粉之含量由一對顯性基因所控制，另一研究則表示由二對具有相互作用的基因所控制。膠體軟硬度之遺傳受一顯性基因控制，高硬度為顯性而低硬度則為隱性。蛋白質含量之遺傳因所用材料不同結果亦不同；低蛋白含量由顯性基因所控制，由全互交分析結果表示蛋白質含量受顯性基因或互補基因所控制。在另一研究很示蛋白質含量則由顯性及有累加性基因所控制。

香味之遺傳則認為由 sk_1 及 sk_2 二顯性互補基因所控制，若兩者中之一基因存在時只產生微香味。另一研究結果表示香受單一隱性基因所支配。

前 言

水稻米粒品質決定於米粒之外觀、休眠性(dormancy)、色素(pigmentation)、碾米特性(milling quality)、胚乳之化學組成分及硬度、氣味(aroma)以及營養值(nutritional value)等之理化化學性質的綜合表現^(8,13)。這些性質的所有可能組合，幾乎皆可在現存水稻的種質中發現⁽¹¹⁾。這些理化學的性質中尤其以膠化溫度(gelatinization temperature)、膠體軟硬度(gel consistency)、直鏈性澱粉含量(amylose content)、蛋白質含量(protein content)以及香味(scent)對白米之烹調及食用品質影響最大^(1,3,4,9,11,19,20,21)。

一般而言，直鏈性澱粉含量低（介於10~20%）之米飯濕粘而具光澤，絕大多數之粳稻(Japonica rice)屬之，這類稻米較受臺灣、日本及韓國消費者的歡迎。而直鏈性澱粉含量中等（介於20~25%）或高（25%以上）之米飯則乾鬆而質地粗硬，大部分之秈稻(Indica rice)屬之，此類稻米較受印度及菲律賓地區之居民所偏愛^(1,23)。雖然各區域人民消費嗜性不同，育種的目標也略有差異，然而對各種理化學性質的遺傳行為有所了解，將有助於育種模式的建立以及育種工作的進行⁽¹⁵⁾。因此本文乃針對這些有關之理化學性質之遺傳行為加以探討整理，供育種改良時參考。另外對雜交後代米飯之物理性如粘性、彈性等之變異情形亦進行檢討。

¹ 臺中區農業改良場研究報告第 0165 號

表一 臺灣主要水稻品種之米質分析

Table 1. Grain quality analysis for some of major rice varieties in Taiwan

Variety	Hulls (%)	Brans (%)	Milled rice (%)	Head rice (%)	Grain appearance				Gel Temp.	Amylose (%)	Gel consistency	Protein (%)
					Length	Shape	Trans.	White center				
Keng rice												
Tainung 67	19.00	8.80	72.20	67.20	S	B	3	1	1	L	18.93	5.77
Kaohsiung Sel. 1	17.12	8.40	74.48	72.84	S	B	2	0	0	L	20.02	7.00
Kaohsiung 139	17.36	9.84	72.80	63.04	S	B	3	1	1	L	18.88	6.33
Hsinchu 56	19.20	7.52	73.28	72.56	S	B	2	0	0	L	21.90	6.81
Sen rice												
Taichungsen 10	20.96	8.72	70.32	57.52	ML	I	2	1	0	L	17.75	6.77
Chianungsen 11	20.24	8.00	69.76	56.20	ML	I	2	0	1	I	28.60	7.49
Taichung N. 1	21.40	9.44	69.16	50.36	MS	I	3	0	2	L	28.80	9.06
Chutze	21.15	10.82	68.02	52.98	S	I	4	0	4	H	27.47	8.95

表二 兩個什交組合之親本 F₂ 及 F₃ 世代粒長之平均值、變方與頻度分佈Table 2. The means, variances and frequency distributions for grain length of parents and F₂, F₃ population at two crosses segregation.

Populaton	Upper limit of class, mm										Total	\bar{X}	S ²				
	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	8.2	8.4				8.6	8.8	9.0	
P ₂	-	3	23	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	32	7.0375	0.0218	0.1476
F ₂ (P ₁ ×P ₂)	-	-	-	11	30	56	87	79	51	30	4	1	-	349	7.8819	0.0987	0.3142
F ₃ (P ₁ ×P ₂)	3	8	15	51	71	81	71	52	33	14	5	1	-	405	7.6474	0.1536	0.3919
P ₁	-	-	-	-	-	-	-	6	15	10	1	-	-	32	8.2375	0.0244	0.1562
F ₂ (P ₁ ×P ₃)	-	-	2	2	39	63	75	65	34	21	4	1	1	307	7.8443	0.1005	0.3170
F ₂ (P ₁ ×P ₃)	3	5	15	25	41	66	40	45	21	12	5	-	-	278	7.6683	0.1624	0.4032
P ₃	-	4	7	16	5	-	-	-	-	-	-	-	-	32	7.1375	0.0321	0.1792

(Chang 1974)

一、米粒大小、形狀之遺傳

米粒的大小(size)、形狀(shape)及外觀(appearance)，對其市場品質影響很大。宋⁽¹⁾將米粒大小分為很長(very long)、長(long)、中長(medium long)、中(medium)、中短(medium short)及短(short)等6個等級。形狀則以長度／寬度表示之，比率大於3.0者為細長形(slender)，小於2.0者為寬粒形(bold)。至於米粒之外觀，依其透明度(translucency)、心白(white center)、腹白(white belly)、背白(white back)的程度分為0~5等級(表1)。一般長粒米常伴細長形，而寬粒形的米粒常伴有心白或腹白或背白之白堊質(chalkiness)⁽¹¹⁾。

有關米粒長度(grain length)之遺傳根據張⁽⁵⁾之研究，在長×短之什交F₂及F₃粒長呈連續變異並認為係受數量基因(quantitative genes)所控制(表2)。Tomar⁽³¹⁾在其長×短粒什交F₂代中分離為3長：1短之比率，同時在長×中之F₂代中得3長：1中之分離比(表3)因此認為米粒之大小是受單一基因座(SINGLE LOCUS)稱為G₁基因所控制，此基因座包含三個等位基因(allele)：G₁、G₂及g₁，其作用大小為G₁>G₂>g₁⁽³¹⁾。米粒寬度之遺傳，根據McKenzie and Rutger⁽²⁵⁾，在寬×窄、寬×中之後代(F₂、F₃、F₄)均表示連續性變異，表示亦受數量基因所控制，與米粒長度的遺傳有相似的趨勢(圖1a、1b)。

Tomar and Nanda⁽³³⁾利用不同形狀之六個雜交組合研究米粒性狀(長度×寬度)之遺傳，其結果示於表4。由表4中可知，細長型(slendar)與粗短型(bold)之F₂分離為3細長型：1粗短型之比例，而細長型×中型之F₂亦分離成為3細長型×1中型之比例，故認為受單一基因G_s所控制，而此基因座亦包含三個等位基因G_{s1}、G_{s2}、g_s其作用大小為G_{s1}>G_{s2}>g_s。細長米粒品種之基因型為G_{s1}G_{s1}，粗短粒的品種則為g_sg_s，而中間型品種則為G_{s2}G_{s2}⁽³⁰⁾。由於米粒大小及形狀之遺傳率皆很高，因此在早期世代選拔即有效。

表三 穀粒大小遺傳之卡方測驗

Table 3. Chi-square test for the inheritance of kernel size

Cross	F ₁	Observed No. in F ₂			X ² (3:1)	Observed No. in B ₂			X ² (1:1)	Observed No. in B ₁
		Long	Med.	Short		Long	Med.	Short		
T-3L×T(N)1(S)	Long	150		60	1.42	12	-	18	1.23	All long
Hanskaj(L)×T(N)1(S)	Long	162		48	0.51	16	-	14	0.16	All long
Govind(L)×Tilakchandani(s)	Long	148		62	2.29	14	-	16	0.16	All long
IR 24(L)×Thapachini(M)	Long	161	49	-	0.31	13	17	-	0.56	All long
Govind(L)×Thapachini(M)	Long	165	45	-	1.42	12	18	-	1.23	All long
Thapachini(M)×T(N)1(S)	Med.		152	58	0.76	-	13	17	0.56	All medium

L=Long, M=Medium, S=Short

(Tomar 1985)

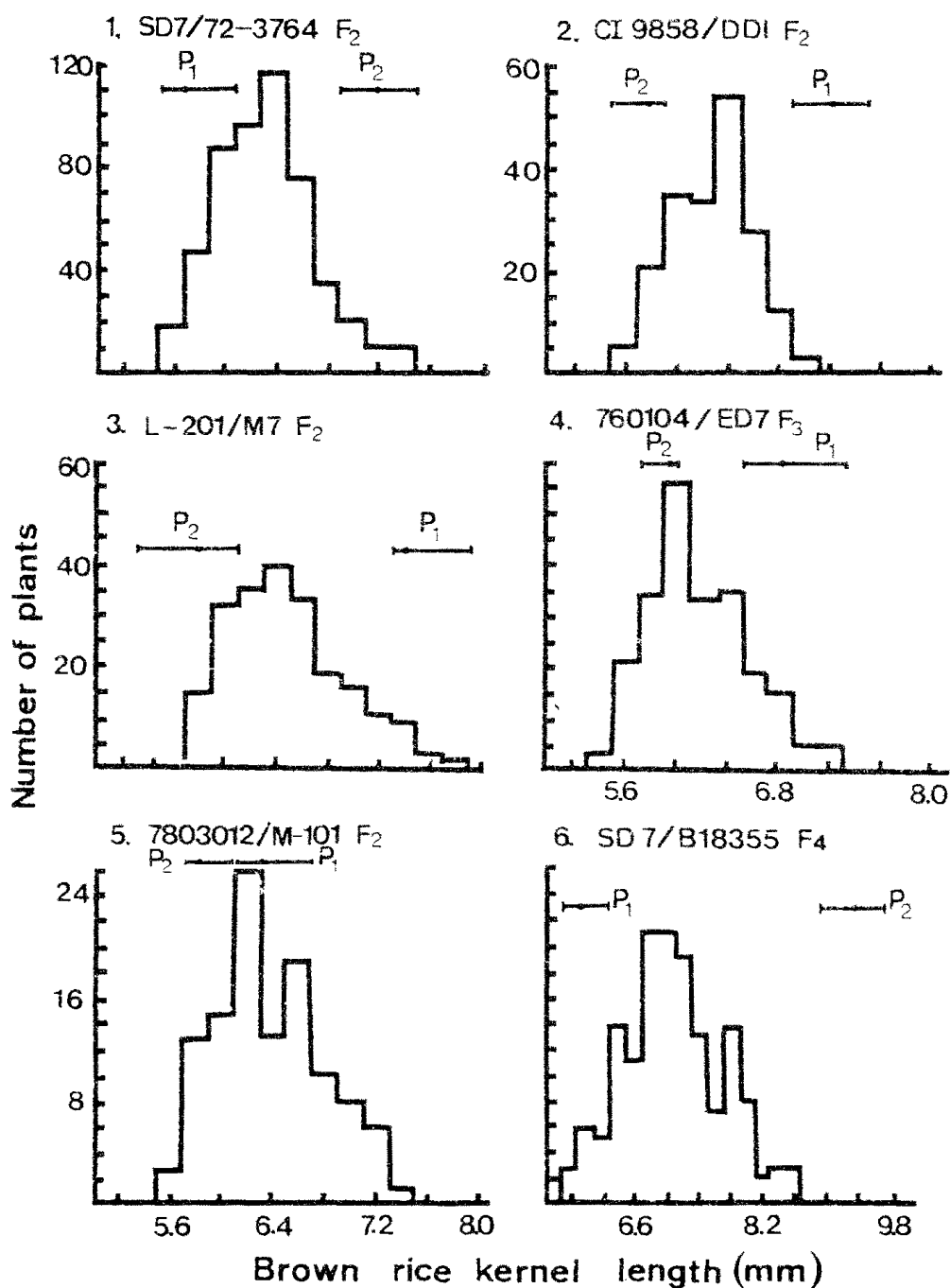


圖 1a 六個什交組合糙米粒長之頻度分布與母本(P₁)、父本(P₂)之平均值及變異範圍

Fig 1a. Frequency distribution of brown rice kernel length for six crosses. The mean and range of values observed for female (P₁) and male (P₂) parents are indicated. (Mackenzie and Rutger 1983)

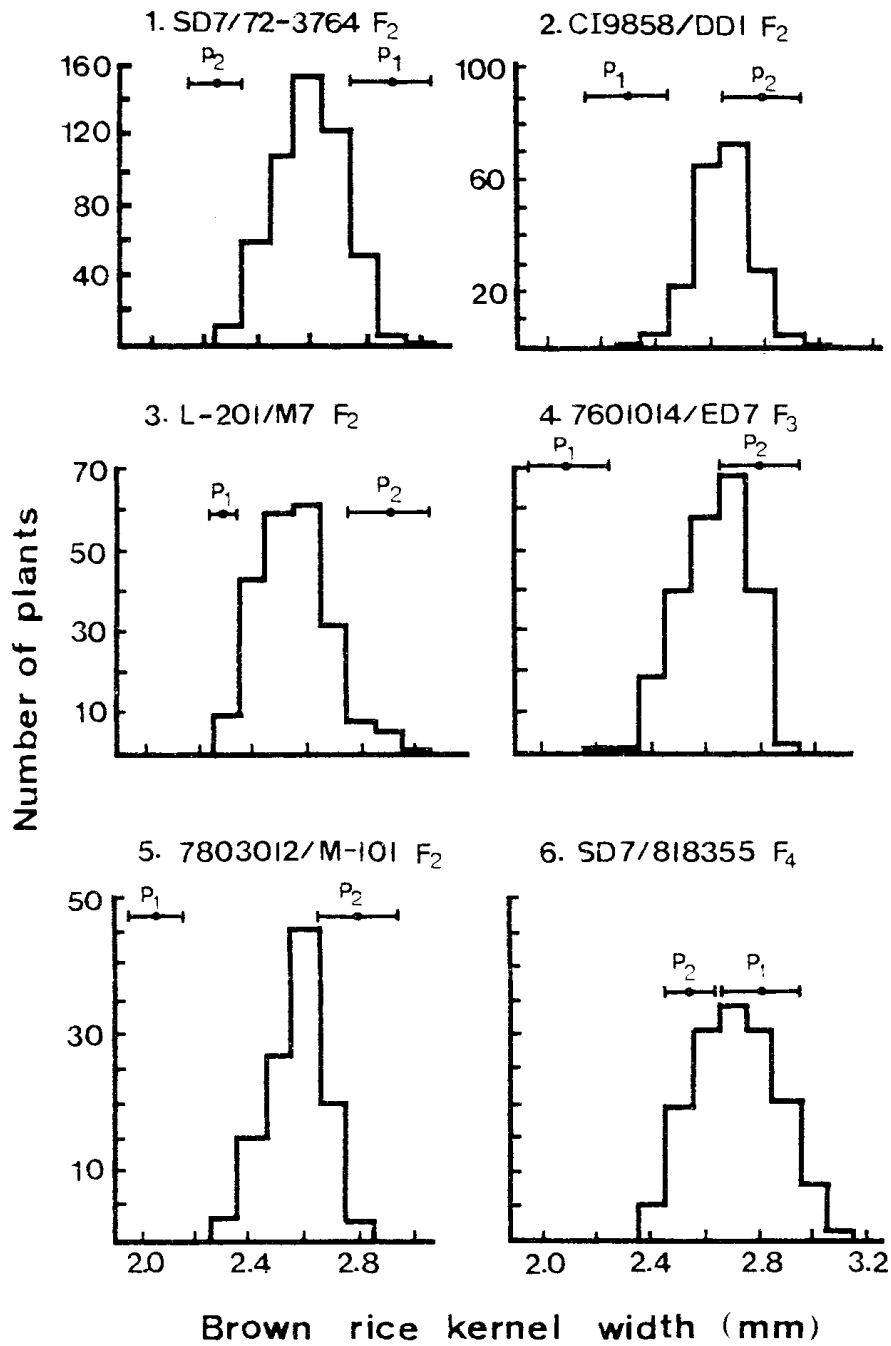


圖 1a 六個什交組合糙米粒長之頻度分布與母本(P₁)、父本(P₂)之平均值及變異範圍
 Fig 1a. Frequency distribution of brown rice kernel length for six crosses. The mean and range of values observed for female (P₁) and male (P₂) parents are indicated. (Mackenzie and Rutger 1983)

表四 粒形之方卡測驗

Table 4. Chi-square test for the kernel shape

Cross		F ₁ Observed No. in F ₂ X ²				Observed No. in B ₂ X ²				Observed No. in B ₁
		Slender	Medium	Bold	(3:1)	Slender	Medium	Bold	(1:1)	
T-3×T(N1)	S	148	6	62	2.29	13	—	17	0.56	All slender
Hansraj×T(N)1	S	152	—	58	0.76	12	—	18	1.23	—do—
Govind×Tilakchandani		165	—	45	1.44	13	—	17	0.59	—do—
IR24×Thapachini	S	150	60	—	1.42	14	17	—	0.16	—do—
Govind×Thapachine	S	161	49	—	0.31	16	14	—	0.16	—do—
Thapachini×T(N)1	M	—	148	62	2.29	—	12	18	1.23	All medium

L=Long, M=Medium, S=Short

(Tomar and Nanda 1985)

二、膠化溫度之遺傳

膠化溫度(gelatinization temperature or birefringence end-point temperature)是澱粉之一種物理特性，乃當澱粉顆粒在熱水中開始成不可逆之膨脹，並失去其曲折性(birefringence)及結晶構形(crystallinity)之臨界溫度⁽³²⁾。通常米粒之膠化溫度介於50至77°C之間，習慣上稱55~69°C者為低膠化溫度(鹼性擴散值為6及7級者屬之)；70~74°C者為中膠化溫度(鹼性擴散值為3~4級者)；75~79°C者為高膠化溫度(鹼性擴散值為1~2級者)⁽²³⁾。膠化溫度直接影響到煮飯時米粒之吸水率(water uptake)、膨脹容積(expand volume)及米粒伸長(kernel elongation)⁽³²⁾。高膠化溫度之白米應用在罐製食品或點心類加工方面較適宜，而一般飯食白米以中至低膠化溫度者為宜。前人之研究中，在中膠化溫度與低膠化溫度雜交中選到具高膠化溫度的後代，又在中膠化溫度系統×高膠化溫度系統雜交後代中選到中膠化溫度及高膠化溫度系統之後代。又在高膠化溫度系統×低膠化溫度之後代中出現具高、中、低三種膠化溫度之後代。陳⁽⁴⁾認為膠化溫度之遺傳行為，可能受1~2對主效基因所控制，而以高膠化溫度為顯性⁽⁴⁾。亦有人主張係受單基因(monogenic)1對不完全顯性基因支配^(7,20)(表5)。Mckenzie and Rutger⁽²⁵⁾、Mckenzie⁽²⁴⁾則指出若干F₂組合無法歸納出其遺傳模式；有的組合可能有1對主效基因，有的可能有具累加性效應之主效基因若干對，並發現若干對之修飾因子存在。Tomar and Nanada⁽³²⁾則指出高膠化溫度為顯性而低膠化溫度則為隱性，雜交F₂分為高：中：低三種膠化溫度，其三種分離比為9：6：1故認為膠化溫度是由2對具累加性效應之重複基因(duplicated genes)所支配(表6)而且與蛋白質含量呈顯著的負相關(表7)。

表五 IR810-13-3×IR841-55-1 什交組合膠化溫度之遺傳

Table 5. inheritance of gelatinization temperature in the cross IR810-13-3/IR841-55-1. IRRI, 1975

Generation		Gelatinization temperature				
Plant	Seeds	Observed frequency of plants'			Expected ratio	X ₂ (5%)
		High	Segregating	Low		
F ₁	F ₂	0	27	0	0:1:0	
F ₂	F ₂	46	115	47	1:2:1	2.34
B ₁ F ₁ to high	B ₁ F ₂	0	33	31	0:1:1	0.06
B ₁ F ₁ to low	B ₁ F ₂	15	17	0	1:1:0	0.13

From analysis of 36 grains/plant.

表六 膠化溫度遺傳模式之卡方測驗

Table 6. Chi-square for the inheritance pattern of gelatinization temperature

Cross*	Observed number in F ₂			X ² (9:6:1)	Observed number in B ₁			X ² (1:2:1)
	High	Inter-mediate	Low		High	Inter-mediate	Low	
Govind(L) ×Tailachandan(H)	130	70	10	2.91	8	12	10	1.35
Govind(L)×Basmati 370(H)	110	80	20	4.17	7	14	9	0.41
IR 24(L)× Hansraj(H)	110	83	17	1.93	5	18	7	1.75
IR 24(L)×Basmati 370(H)	105	90	15	3.34	6	20	4	4.01
Govind(L)×T-3(H)	120	75	15	0.48	8	13	9	0.55
IR 24(L)×T-3(H)	125	73	12	0.93	6	17	7	0.81

* L=Low gelatinization temp. “Govind” originated from IR 20×IR 24;
H=High gelatinization temp. “IR 24” from IR 8×IR 27-2-2.

(Tomar and Nanda 1984)

表七 膠化溫度與蛋白質間之相關

Table 7. Correlation between gelatinization temperature and protein content

Trait	Gelatinization temperature					
	Govind × Tilakchandan	Govind × Basmati 370	IR 24 × Hansraj	IR 24 × Basmati 370	Govind × T-3	IR 24 × T-3
Protein content						
r _p	.433**	-.410**	-.390**	-.385**	-.451**	-.444**
r _g	.450	-.421	-.401	-.375	-.462	-.451

** Significant at 1% probability level

(Tomar and Nanda 1984)

Heada and Reddy⁽¹⁶⁾利用不同親本之組合，包括有低膠化溫度×中膠化溫度；中膠化溫度×中膠化溫度及高膠化溫度×高膠化溫度研究發現後代分離的情形因不同組合而有差異（圖2）。在低膠化溫度×中膠化溫度及中膠化溫度×中膠化溫度之組合中，後代出現頻率呈雙峰分布，但在高膠化溫度×高膠化溫度之組合則呈單峰之連續分布。Puri and Siddiq⁽²⁶⁾亦得到相同的結果。郭等⁽²⁾則認為高膠化溫度為部分顯性且累加性效應遠大於顯性效應。

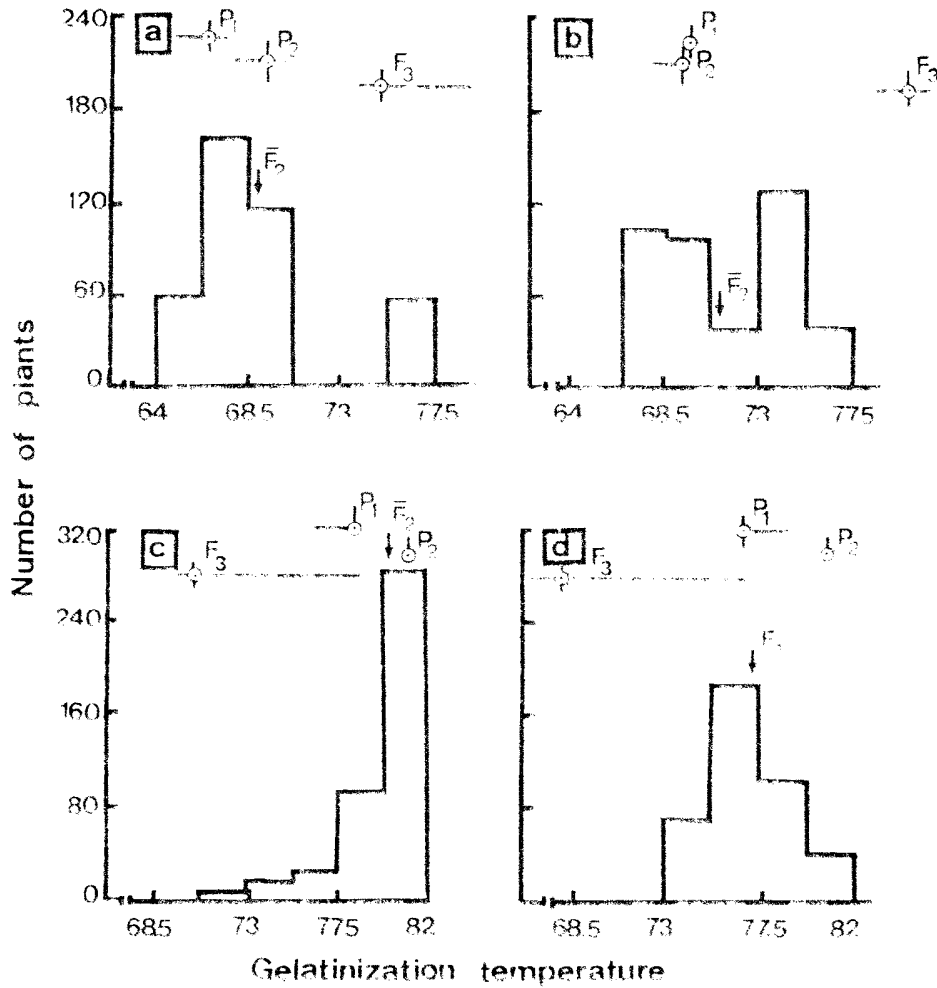


圖 2 不同什交組合 F_2 世代膠化溫度之分離模式及其親本與 F_3 世代之變異範圍

Fig. 2 Segregation pattern of gelatinization temperature in F_2 generation and range of parents and F_3 's in different crosses: (a) "TH-6" × "TH-50", (b) "TH-25" × "TH-41", (c) "C-12-708" × "HR-5-3" and (d) "Nallavadlu" × "AC-1306".

由以上結果可知膠化溫度之遺傳行為，因材料及雜交組合而有異同，唯異中有同的是其遺傳率均很高^(2,16,25)，故育種選拔效果之保持似無問題。

三、膠體軟硬度之遺傳

在直鏈性澱粉含量相同之不同水稻品種中，食用品質(eating quality)仍有差異存在。Cagampang *et al.*⁽⁸⁾發現其差異主要受膠體軟硬度之影響，因此認為可做為篩選特定食用品質之另一種指標。主要根據米粉膠體在一定時間內展流的長度來決定。一般而言較軟之膠體(如粳稻)，展流的長度較長而較硬的膠體(如秈稻)展流的長度則較短。Chang and Li⁽¹²⁾利用

秈稻同型間雜交後代來闡明膠體軟硬度之遺傳行爲。結果在F₂族群中分離爲3硬：1軟及BCF分離爲1硬：1軟之比例。此即表示硬膠體係受單一顯性基因所控制且正反交效果一致，顯示亦無母性效應(maternal effect)⁽¹²⁾ (表8)，且膠體軟硬度與直鏈性澱粉含量之間呈顯著負相關(表9)。

表八 CNS 8×CNS 19 組合之 P₁、P₂、F₁、F₂、BCF₁ 及 BCF₂ 世代膠體軟硬度之分類

Table 8. Classification of P₁, F₁, BCF₁ and BCF₂ populations from the cross of CNS 8/CNS 19 for gel consistency⁴

Population	Number of plants of families				Expected ratio	X ²	P value
	Hard	Segregating	Soft	Total			
CNS 8(P ₁)			30	30			
CNS 19(P ₂)	30			30			
F ₁ (P ₁ /P ₂)	10		1	11			
F ₁ (P ₂ /P ₁)	10			10			
F ₂ (P ₁ /P ₂)	239		68	307	3:1	1.18	0.50–0.25
F ₂ (P ₂ /P ₁)	232		78	310	3:1	0.02	0.90–0.75
BC ₁ F ₁ (P ₁ /P ₁ /P ₂)	8		6	14	1:1	0.07	0.90–0.75
BC ₂ F ₁ (P ₂ /P ₁ /P ₂)	5			5			
BC ₁ F ₂ (P ₂ /P ₁ /P ₂)		8	6	14			
BC ₂ F ₂ (P ₂ /P ₁ /P ₂)	11	7		18	1:1	0.50	0.50–0.25

(Chang and Li 1981)

表九 CNS 8×CNS 19 與 CNS 19×CNS 8 之 F₂ 世代之直鏈澱粉含量與膠體軟硬度之表現型與遺傳型相關係數

Table 9. Phenotypic and genotypic correlation coefficients between amylose content and gel consistency in F₂ populatons of CNS 8/CNS 19 and CNS 19/CNS 8¹

Cross	Correlation coefficient	
	Phenotypic	Genotypic
CNS 8/CNs 19	-0.889**	-0.894
CNS 19/CNS 8	-0.858**	-0.863

** Significant at 1% level.

郭及謝⁽³⁾利用秈梗異型稻間雜交，結果亦與上述雷同，符合孟德爾氏單性雜種分離之遺傳理論(表10)。此外Zaman *et al.*⁽³⁵⁾則認爲此性狀是由具累加性之顯性(predominance)因子所支配，並強調在改良此性狀時要謹慎地選擇親本。因爲在特定直鏈澱粉含量範圍內，太軟或太硬皆可能使食用品質降低。

表十 秈稈稻什交組合 F₂ 世代膠體軟硬度之變異Table 10. Variation in gel consistency in the F₂ of Indica×Japonica crosses

Parents and crosses	Gel consistency (mm)														Total	Mean cv.	Segr. Ratio	X ²	
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80						
Chianung-sen 11(P ₁)	22	8													30	23.4	.07		
F ₂ (P ₁ ×P ₂)	91	29	12	18	25	17		29	16	9	6	11	2		265	37.7	.42	3:1	.916 ^{ns}
	192						73												
Tainung 67(P ₂)				1	5	7	7	6	2	1	1				30	50.5	.14		
Tainan 5(P ₁)					6	7	12	3	2						30	49.4	.11		
F ₂ (P ₁ ×P ₂)	111	32	12	17	17	13		21	13	11	7	7	2		263	35.7	.44	3:1	.475 ^{ns}
	202						61												
Taichung-native 1 (P ₂)	20	10													30	23.9	.09		

(Hsieh and Kuo 1982)

郭等⁽²⁾指出，膠體軟硬度累加性與顯性效應均顯著，基因之顯性程度完全，高硬度對低硬度為顯性，且遺傳率亦高，由此似可意味本性狀在早期世代行單株選拔應屬有效。

四、直鏈性澱粉含量之遺傳

米粒直鏈性澱粉含量被認為是影響烹調品質(cooking quality)及食用品質之重要因素。性米(waxy rice)之含量介於1~2%之間，而非性米(non-waxy rice)之含量又可分為很低(very low; 2~9%)；低(low; 9~20%)；中(intermediate; 20~15%)及高(high; 25~33%)。

許多研究指出高直鏈性澱粉含量對低含量者為不完全顯性，含量之高低除受1~2對主效基因控制(表11、12)外，尚受若干修飾基因左右^(3,4,6,7,11,12,16,20)；雜交後代頻度分佈為雙峰分佈(圖3、4，表13)。然而4×4全互交分析證實累加性效應遠大於顯性效應，親本間正負等位基因不等顯隱性基因數目亦不等，低含量對高含量為不完全顯性(表13)或高含量對低含量為不完全顯性。或親本間正負等位基因相等，顯隱性基因亦相等，高含量對低含量為不完全顯性。

表十一 嘉農秈 11 號×臺南 5 號什交組合之親本及 F₂ 世代直鏈澱粉含量之變異Table 11. Variation of amylose content in the F₂ of Chianungsen 11×Tainan 5 and its parental varieties

Parents and F ₂	Amylose content in percent														Total	Mean						
	1	1	12	1	14	1	1	17	1	19	2	2	22	2			24	2	26			
Chianung-sen 11(P ₁)	0	1		3		5	6		8		0	1		3		5		26				
															2	1	10	4	30	23.4		
															4							

F ₂ (P ₁ ×P ₂)	1	3	6	9	21	1	1	13	2	40	3	2	18	1	8	4	2	247	18.3
Tainan 5(P ₂)						1	1	6	1	2								29	17.0
							0	0	0										

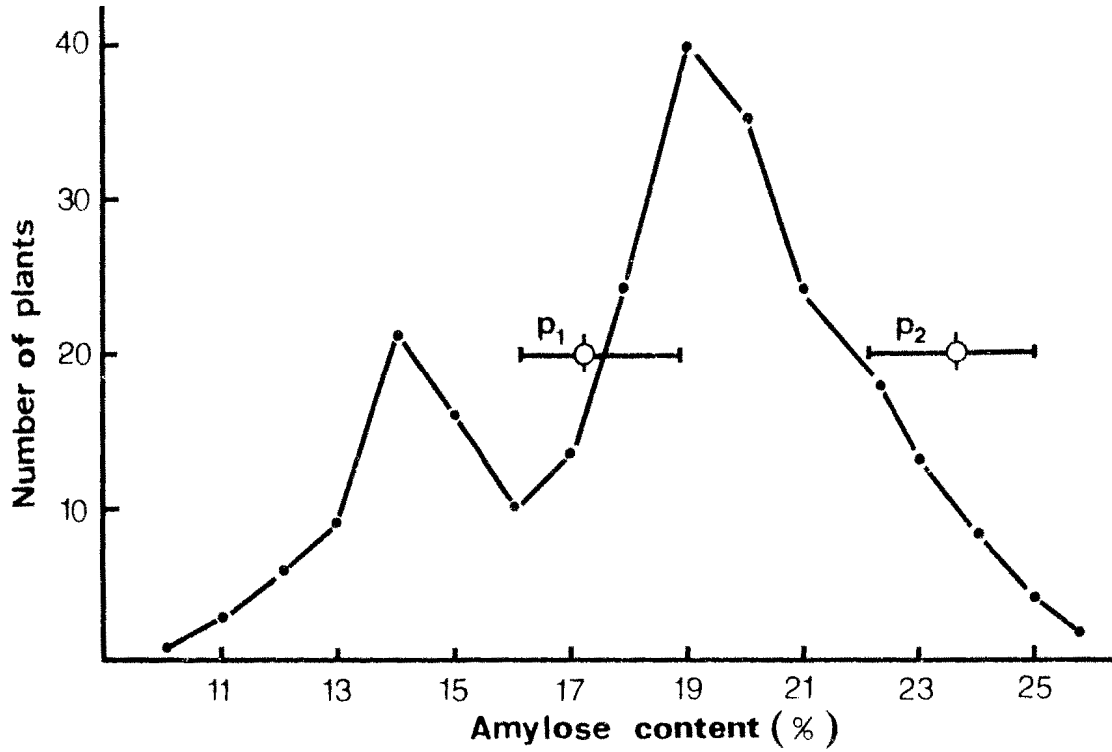


圖 3 臺南 5 號×嘉農秈 11 號什交組合 F₂ 世代直鏈澱粉含量之頻度分佈

Fig. 3 Frequency distribution of amylose content in the F₂ of Tainan 5×Chianung-sen 11

P₁: Tainan 5

P₂: Chianung-sen 11

表十二 CI 9444×PI 215936 什交組合之親本及 F₂ 世代直鏈澱粉含量之頻度分佈

Table 12. Frequency distribution of amylose (in percent of milled rice) for the parents and F₂ plants of the cross CI 9444×PI 215936

Population	Percent amylose classes																Mean	C.V.%
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28		
C.I. 9444											2	17	17	3	1		24.485	3.10
P.I. 215936		1		2	18	12	6		1								17.525	7.84

F₂

1 4 4 9 14 20 15 12 31 40 32 50 19 11 3 2 21.525 14.35

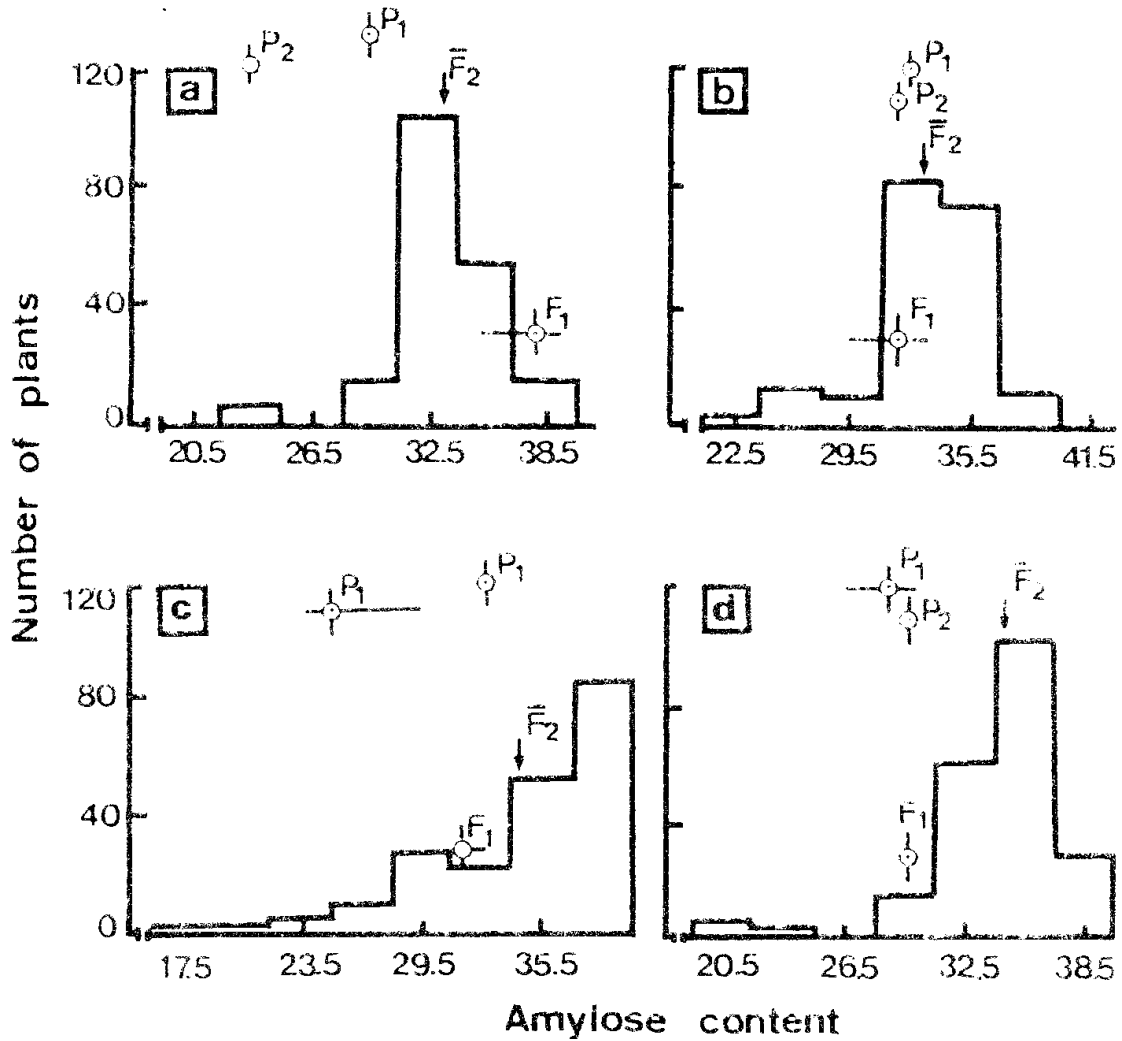


圖 4 不同什交組合之親本及 F₁ 直鏈澱粉含量之變異範圍及其 F₂ 世代之分離模式

Fig. 4 Segregation pattern of amylose content in F₂ generation and range of parents and F₁'s in different crosses: (a) "TH-6" × "TH-50", (b) "TH-25" × "TH-41", (c) "C-12-708" × "HR-5-3" and (d) "Nallavadlu" × "AC-1300".

由以上綜論如下：若以質的性狀為前題來探討直鏈性澱粉含量之遺傳行為，其結果較簡單且一致，而若以量的性狀為前提之研究，其結果較複雜且較不一致，概因Hayman之全互交

分析法，其前提不易完全符合之故，致使全互交分析結果較不一致。然而由其遺傳率高，可知在早期世代選拔有效。

表十三 三種米質成份之遺傳介量估值

Table 13. Estimates of genetic components of variation and important ratios of genetic parameters for 3 quality components in rice

Component/ratio	Estimate		
	Protein	Amylose content	Alkali-spreading value
D	2.37** ±0.395	48.231**±3.054	1.912**±0.217
F	2.567**±0.934	17.803 *±7.217	1.231**±0.512
H ₁	2.927**±0.908	26.299 *±7.021	0.864 ±0.498
H ₂	2.121 **±0.790	23.302**±6.109	0.487 ±0.434
h ²	0.300 ±0.530	6.390 ±4.097	-0.146 ±0.291
E	0.184**±0.132	2.661 ±1.018	0.341* ±0.072
(H ₁ /D) ^{0.1}	1.12	0.76	0.67
(Degree of dominance)			
(H ₂ /4H ₁)	0.18	0.20	0.14
(Proportion of positive and negative alleles among the parents)			
(4 DH ₁) ^{0.5} +F/(4 DH ₁) ^{0.5} -F	2.93	1.63	2.83
(proportion of dominant and recessive genes in the parents)			
(h ² /H ₂)	0.14	0.27	-0.30
(No. of alleles or allele groups showing dominance)			
h ²	0.68	0.65	0.69
(Heritability %)			
r	-0.01	-0.38	-0.06
(Correlation)			

* P=0.05, **P=0.01.

(Dhulappanavar 1976)

五、蛋白質含量之遺傳

蛋白質含量雖與烹調品質有關，但常被視為營養品質(nutritional quality)的性狀。一般而言秈稻蛋白質含量較粳稻為高。蛋白質含量高低除了會影響營養品質外，對於米飯烹調所需時間及用水量多寡，還有與煮成米飯之色澤有關。通常高蛋白質含量之米飯呈稍黃褐色。關於蛋白質含量之遺傳，最近研究指出低含量對高含量為顯性，有細胞質效應。亦有學者指出含量較高之親本係受1對主效基因所控制(圖5、表14)⁽¹⁹⁾。經由全互交之分析結果可知，累加性與顯性效應均顯著，且顯性效應較累加性效應重要⁽²⁹⁾，或累加性效應較重要⁽²⁾，顯性主效基因可能為1對，控制米粒蛋白質含量之基因呈部分或不完全顯性⁽²⁾超顯性⁽²⁹⁾。由於蛋白質

含量易受環境氣候及施用氮肥多寡的影響，故遺傳率不高。

就營養品質、烹調及食用品質而言，兩者對蛋白質含量高低的要求不大相同；因為蛋白質含量愈高，營養價值愈好，品質愈高。但相反地，愈使得烹調及食用品質降低，因此兩者之間，蛋白質含量如何取捨，其最佳臨界蛋白質含量究竟為何？將是另一個新的研究課題。

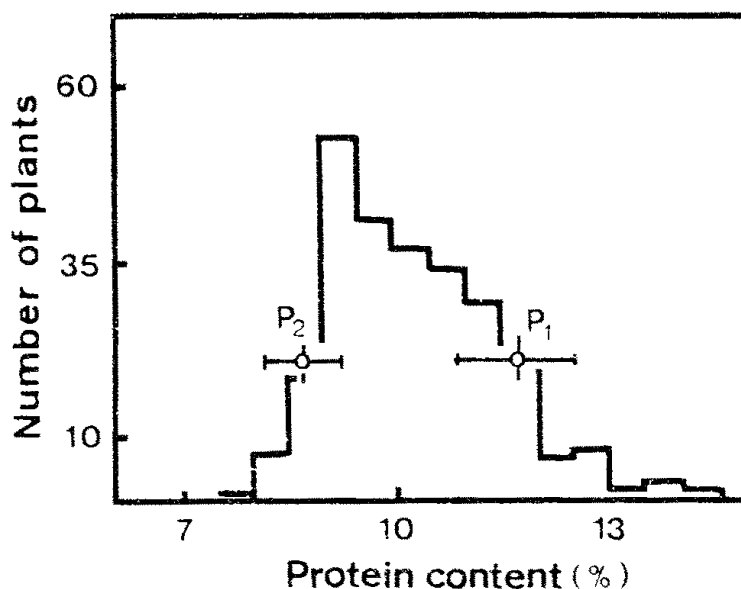


圖 5 嘉農秈 11 號×臺南 5 號什交組合 F₂ 世代蛋白質含量之頻度分佈

Fig. 5 Frequency distribution of protein content in the F₂ of Chianung-sen 11×Tainan 5

P₁: Chianung-sen 11

P₂: Tainan 5

表十四 嘉農秈 11 號×臺南 5 號什交組合 F₂ 族群之遺傳變異、遺傳率與有效因子數

Table 14. Genetic variance (V_G), heritability (h²) and number of effective genes (R) estimated from F₂ populations of Chianung-sen 11×Tainan 5

Characters	V _G	h ²	R
protein content	0.90	0.68**	1.250
plant height	87.80	0.78**	0.870
Panicle unumber	32.06	0.80**	0.090
Panicle length	5.86	0.81**	0.040
Panicle weight	0.02	0.05	2.620
Percent seed set	152.07	0.65**	0.007
1,000 kernel weight	4.01	0.72**	0.030

** Significant at 1% level.

六、香味之遺傳

具有香味的稻米，經烹煮後具有宜人的氣味(aroma)及米粒伸長適度，而較不具香味(non-

scented)的稻米受印度及巴基斯坦等地區人們的喜愛^(22,27)。在印度約有200個以上具有香味之水稻品種，且將這些品種依氣味的等級，粗略地分成強、適中及弱三型，這些品種通常是短細長形（以Badsahbhog品種為代表）或長細長形（以Basmat品種為代表）⁽³⁴⁾。這類水稻因氣味、碾米及烹調品質較佳，故市場價格較高且需求量較無香味之品種大。

關於香味之遺傳行為，Tripathi and Rao⁽³⁴⁾由無香味品種Pankaj及有香味品種Kalabhat之研究結果認為由 Sk_1 及 Sk_2 這二個顯性互補基因所控制，若兩者中之單一基因存在時只產生微香味(mild scent)，當此二基因同時出現才會產生親本型香味。而且香氣基因與葉鞘顏色(leaf sheath colour)、成熟稻殼顏色(rpining hull colour)及表皮色素(apiculus pig mentation)之基因無連鎖關係。

Dhulappanavar⁽¹⁴⁾利用無香味無色品種T-141及有香味及植物體有色的品系Kagisali-44-1 (K-44-1)為材料並用口嚼法研究指出香味是受四個互補基因所控制(表15)，其中之一基因(Sk)並與Misoetal分類之第V (prp)連鎖群中之穎色(p)表皮色素(Pg)連鎖，交換率各為30.41%、13.45%及43.95% (圖6)。

表十五 水稻不同什交組合香味表現型之分離情形

Table 15. Segregation of phenotypic classes for scent in different rcie crosses (On the basis of leaf and stem portions)

Cross	Number of plants in F ₂		P (3:1)
	Non-scented	Scented	
Ratna×Improved Sabarmati (Sc)	157	57	0.6 – 0.7
IR-22×Improved Sabarmati (Sc)	151	55	0.5 – 0.6
IR-22×93146 (Sc)	157	47	0.5 – 0.6
Ratna×93156 (Sc)	157	45	0.4 – 0.5
Ratna×Karnal Local (Sc)	168	54	0.8 – 0.9
Bindli (Sc) × IR 8	145	50	0.8 – 0.9
Karnal Local (Sc) × Bindli (Sc)		150	0.8 – 0.9
HR 97 (Sc) × 93146 (Sc)			

(Sc).....Scented

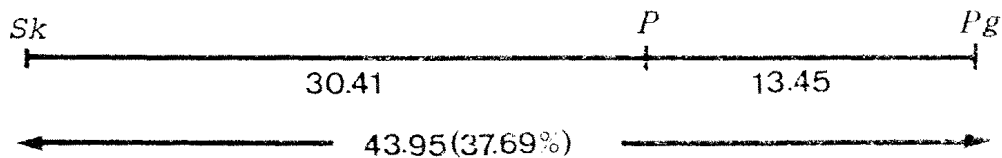


圖 6 Sk 、 P 與 Pg 基因之相對位置圖 (交換率是以百分率表示)

Fig. 6 Showing the relative positions of the genes Sk, P and Pg. Crossover values are given in percentages. The crossover value modified by applying Kosambi formula is given in paranthesis.

(Dhulappanaver 1976)

而最近研究卻指出，由“Pokura”水稻具香味與不具香味之同遺傳背景品系雜交結果，得知 F_1 皆不具香味，而 F_2 分離呈3（不具香味）：1（具香味），由此推論此性狀係受單一隱性基因所支配。若進一步探討香味之生化基礎，由劍葉(boot leaf)取出蛋白質，經特殊酯類同功酶(esterase isozymes)電泳之Zymogram及Gel scans (400nm)分析得知，具有香味之親本及 F_2 在Rf0.9處缺失紋帶（圖7），由此認為此酯類同功酶的消失與稻米之香味可能有關連。

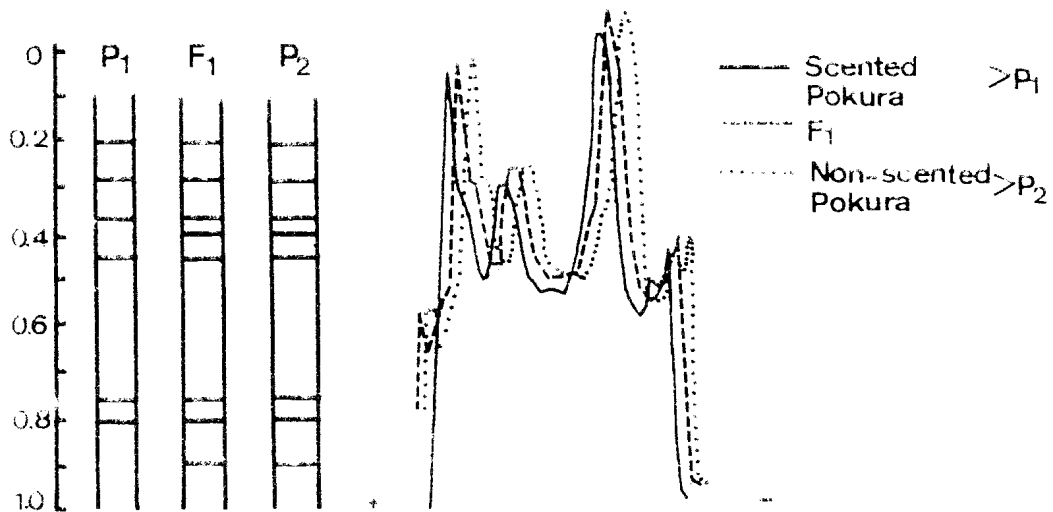


圖7 具香味與不具香味之水稻什交，其親本與 F_1 之酯類同功酶電泳之酶譜及膠體掃描圖譜

Fig. 7 Zymograms and gel scans of esterase isozymes of parents and F_1 of the cross sected “Pokura” (P_1) \times non-scented “Pokura” (P_2)

(Dhulappanavar 1976)

七、結 論

隨著工商業的進步，人們生活水準提高後，對於食米的要求，由原先重視產量的『吃得飽』轉變為重視品質的『吃得好』，因此提高食米的品質，以因應市場的需求，滿足國民的口慾，且為了抒解稻米過剩的壓力，育成適合國民食味的良質米品種，已為當前水稻育種家當務之急。米質一般受米之外觀與各種理化性如直鏈性澱粉之含量，膠體軟硬度，蛋白質之含量及香氣之影響。米飯之食味又受膠化溫度、粘性、彈性及附著性等物理性之影響。直鏈澱粉含量高的品種如秈稻(27~29%)所煮成的米飯較為鬆軟而直鏈澱粉含量低的品種如粳稻(18~20%)所煮成的米飯較粘濕。由於上述的理化性影響米質很大，故在稻之育種過程中應將此等性狀導入。在育種之前應先明瞭各該性狀之遺傳行為才能獲有效的選拔結果。

本文中曾就米粒之大小及性狀之遺傳做一探討。粒長之遺傳受數量基因所控制⁽⁵⁾，或多數基因（3到5對）所控制，而細長粒對寬短粒為顯性粒寬則受數量基因所控制⁽²⁵⁾。粒型一般

由長／寬比來表示，粒型由 Gs_1Gs_2 及 gs 等的基因所控制，而細長型為 Gs_1Gs_1 、中間型為 Gs_2Gs_2 而粗短型則為 gs_1gs_2 ⁽³³⁾。稻米澱粉之膠化溫度之遺傳情形因研究者不同而不同。

在中膠化溫度與低膠化溫度雜交中，選到具高膠化溫度的後代，同時在中膠化溫度×高膠化溫度之後代中出現中及高膠化溫度之後代；又在高×低膠化溫度之雜交後代中出現高、中、低之三種膠化溫度之後代。Hou and chao⁽¹⁷⁾在IRRI之研究認為在高×中膠化溫度之 F_2 中，高膠化溫度為顯性，且膠化溫度受累加性基因之影響。

膠體軟硬度在秈梗稻雜交之 F_2 表示單基因之分離而高硬度為顯性^(12,18)。郭等⁽³⁾由在其統計遺傳之研究結果，認為膠體軟硬度有累加性與顯性效應，高硬度為顯性，遺傳率亦很高，故育種選拔之效率亦很高。

就直鏈性澱粉含量而言高含量對低含量為不完全顯性同時由主效基因及數種修飾基因所控制，另一個試驗表示由兩對具有互補基因(Complementary genes)所控制，亦有由單一基因所控制之試驗結果^(3,12)。一般而言，若以直鏈澱粉含量差異明顯的兩親本進行研究則其後代高：低之分離至為明瞭，可為主效基因遺傳處理，但若用高低差異不明顯之雙親為材料進行全互交分析的所得結果較不一致。直鏈澱粉含量之遺傳率亦甚高故選拔效應亦高。

米粒蛋白質含量之遺傳研究亦有些結果，低蛋白質含量為顯性⁽¹⁰⁾，由全互交分析結果表示在某些基因為顯性，超顯性(over dominance)或互補基因時，遺傳率較低，可能因為受基因×環境效應之影響，但在環境控制良好之情形下所試驗者之遺傳率較高(0.68**)⁽¹⁸⁾。

香米經煮熟後釋放出一種香氣，故可增加米之嗜好性，香米在印度及中東(伊朗等地)地區栽培較多，臺灣最近亦由嘉義農試分所及花蓮農改場進行香米之育種並已育出香米新品種，並受到普遍的注意。香米受1對隱性基因所控制⁽²⁹⁾或受四個互補基因所控制⁽¹⁴⁾。最近的研究表示香米與酯類同功酶為有關，值得進一步探討。

與米食味有關的物理性如粘性、彈性、附著性等之遺傳研究進行不多，作者等正以秈梗稻之雜交後代為材料並利用Texturometer進行此項研究中，希望不久就有結果發表。

參考文獻

1. 宋勳 1979 稻米品質劃分之可行性 臺中區農業改良場研究彙報新 2:26-31。
2. 郭益全、劉清、張德梅、謝順景 1985 秈稻烹調與食用品質及穀粒性狀之遺傳 中華農業研究 34(3):243-257。
3. 郭益全、謝順景 1983 稻米粒品質之改良 II.米粒膠體硬度及顆粒澱粉含量之遺傳 中華農業研究 32(1):14-22。
4. 陳紹鉉 1979 水稻米粒澱粉含量及膠化溫度之遺傳研究 國立興大糧作所碩士論文。
5. 張德梅 1974 水稻粒型之遺傳研究 中華農業研究 23(1): 9-15。
6. 菊地治己、木下俊郎 1987 胚乳澱粉 含量 遺傳學的研究——稻交雜 關 研究 第XCVI報 北海道大學農學部邦交紀要 15(3): 299-319。
7. Bollish, C. N. and B. D. Webb. 1973. Inheritance of amylase in two hybrid population of rice. Cereal Chemistry. 50(6): 631-636.
8. Cagampang, G. B., C. M. Perez and B. O. Juliano. 1973. A gel consistency test for eating quality of rice. J. Sci. Food. Agric. 24: 1589-1594.
9. Chang, T. T. and C. C. Li. 1979. Genetics and breeding. In B. S. Luh, ed. Rice: production and utilization. Avi Pub. Co., Westport, Conn.
10. Chang, T. T. and S. T. Yen. 1969. Inheritance of grain dormancy in four rice crosses. Botanical Bull.

- of Academia Sinica 10(Jan):1-9.
11. Chang, T. T. and B. Somrith. 1979. Genetic studies on the grain quality of rice. In: Proceedings of the workshop on chemical aspects of rice grain quality P49-53. IRRI
 12. Chang, W. L. and W. Y. Li. 1981. Inheritance of amylase content and gel consistency in rice. Bot. Bull. Academia Sinica. 22: 35-47.
 13. Chauhan, J. S. and J. S. Nanda. 1982. Note on the correlation and pathcoefficient analysis of some physico-chemical characters in rice. Indian J. Agric. Sci. 52(3): 186-187.
 14. Dhulappanavar, C. V. 1976. Inheritance of scent in rice. Euphytica 25: 659-662.
 15. Govindaswami, S. and A. K. Ghosh. 1972. Breeding high-yielding varieties of rice with better grain quality. Indian J. Agric. Sci. 42(11): 993-998.
 16. Heda, G. D. and G. M. Reddy. 1986. Studies on the inheritance of amylose content and gelatinisation temperature in rice (*Oryza Sativa* L.) Genet. Agr. 40: 1-8.
 17. Hou, M. H., and Z. R. Chao. 1973. Inheritance of alkali digestibility of rice grains in the Indica x Japonica crosses Korean J. Breeding 5:32.
 18. Hsieh S. C. and Y. C. Kuo. 1979. Genetical studies on protein content and other agronomic characters in the cross between indica and japonica rices. Breeding for high protein content in rice IV. Proceed Natl. Sci. Council 3(4) 397-403.
 19. Hsieh, S. C. and Y. C. Kuo. 1982. Evaluation and genetical studies on grain quality characters in rice. In S. C. Hsieh and D. J. Liu, ed. Plant Breeding. Agri. Association of China and Regional Society of SABRAO (R. O. C.)
 20. IRRI 1976. Annual report for 1975. P83-90.
 21. IRRI 1979. Annual report for 1978. P23-32.
 22. Juliano, B. O. 1979. The chemical basis of rice grain quality. In proceedings of the workshop on chemical aspects of rice grain quality. P69-90. IRRI
 23. Juliano, B. O. 1972. Physicochemical properties of starch and protein in relation to grain quality and nutritional value of rice. In Rice Breeding. P389-405 IRRI. Los Banos Philippines.
 24. McKenzie, K. S. 1982. Genetic analysis of three quality character of rice. Rice Abstract 5(3):52.
 25. McKenzie, K. S. and J. N. Rutger. 1983. Genetic analysis of amylose content, alkali spreading score, and grain dimensions in rice. Crop Sci. 23: 306-313.
 26. Puri, R. P. and E. A. Siddiq. 1980. Inheritance of gelatinization temperature in rice. Indian J. Genetics. and Plant Breeding 40(2): 450-455.
 27. Reddy, V. D. and G. M. Reddy. 1987. Genetic and biochemical basis of scent in rice. Theor. Appl. Genet. 73: 699-700.
 28. Sarathe, M. L., S. P. Singh and P. Perraju, 1986. Heterosis and combining ability for quality characters in rice. Indian. J. Agri. Sci 56(11): 749-753.
 29. Singh, N. B. and E. A. Siddiq, 1978. A rapid technique for scent determination in rice. Indian J. Genet. 38(2): 268-271.
 30. Sood, B. C., E. A. Siddiq and F. U. Zaman, 1983. Genetic analysis of kernel elongation in rice. Indian

- J. Genet. 43: 40-43.
31. Tomar, J. B. 1985. Studies on the inheritance of kernel size and its association with physical and chemical quality character in rice. *Z. Pflanzenuchtg* 95: 361-366.
 32. Tomar, J. B. and J. S. Nanda. 1984. Genetics of gelatinization temperature and its association with protein content in rice. *Z. Pflanzenuchtg* 92: 84-87.
 33. Tomar, J. B. and J. S. Nanda. 1985. Genetics and association studies of kernel shape in rice. *Indian J. Genet.* 45(2): 278-283.
 34. Tripathi, R. S. and M. J. B. K. Rao. 1979. Inheritance and linkage relationship of scent in rice. *Euphytica* 28: 319-323.
 35. Zaman, F. U., E. A. Siddiq and A. B. Prasad. 1985. Genetical analysis of gel consistency in rice. *Indian J. Genet.* 45(1): 111-118.

Genetical studies on grain quality in rice

S.C. Hsieh and L. H. Wang

Taichung District Agricultural Improvement Station
and National Chung Hsing University

ABSTRACT

The grain quality of rice is determined by grain appearance (length, width, thickness, shape and coloration etc.), milling quality, physico-chemical properties, gelatinization temperature, gel consistency, amylose content, protein content and aroma influence the most on cooking and eating qualities of rice. Studies on genetic behaviour of these properties are reviewed in this paper.

It was reported that the grain length is controlled by polygenes or by 3 alleles in the order of dominance $Gl_1 > Gl_2 > gl$. Slender grain shape is dominant over hold grain shape and the concerned 3 alleles are in the order of $Gs_1 > Gs_2 > gs$.

Inheritance of gelatinization temperature is quite different from different cross combinations. In the cross of high x low gelatinization temperatures, high, intermediate and low classes were segregated. The high gelatinization temperature is controlled by dominant and additive genes.

It was reported that amylose content is controlled by one dominant gene or two complementary genes. Gel consistency is controlled by one dominant gene and hard gel consistency is dominant over soft gel consistency. Different results had been reported on the inheritance of protein content; low protein content is controlled by the dominant genes, or by the complementary genes.

Another experiment showed that protein content is controlled by dominant and additive genes. Regarding the scented rice, two complementary genes Sk_1 and Sk_2 were reported. When only one gene either Sk_1 or Sk_2 is presented, it will give a mild scented grain. Another report indicated that scented rice is controlled by a single recessive gene.