

水稻의 葯長, 雌藥長の 變異

崔 龍 渙*·許 文 會*

Variation of Anther and Pistil Length in Rice

Yong Hwan Choi* and Mun Hue Heu*

ABSTRACT

The variations of the anther and pistil length of some rice cultivars at the different planting density and fertility levels were tested and their inheritance mode was studied.

The anther length of a spikelet on a secondary panicle branch was longer than the one of a spikelet on a primary panicle branch.

In the cultivar Z97B, both the anther and the pistil length were increased slightly along the increased planting spacings, But, in the cultivar IR43 no general tendency was observed.

The fertilizer levels applied in the field did not affect both the anther and pistil length of a given cultivar.

In a cross of IR56/IR8, the anther length showed continuous variation with longer anther being recessive in the F2 population. While, the pistil length showed a continuous variation with longer pistil being over-dominance.

In all of the crosses which IR56 involved, the general and specific combining abilities were high for both the anther and pistil length.

The broad sense heritability for anther length was 0.46, and for pistil length was 0.88.

The correlation coefficients of anther length and pistil length were 0.33 for phenotypic and 0.44 for genotypic.

緒 言

1代雜種을 利用하는 育種法에서 自然交雜에 依한 雜種種子의 生産性 提高는 經濟的인 側面에서 볼 때 매우 緊要하며 特히 벼와 같은 自殖性作物에서는 雜種 品種의 實用性을 左右하는 要訣이 된다.

벼에서의 細胞質的-遺傳子的 雄性不稔性을 利用하여 雜種種子를 生産할 때 自然交雜率은 中共⁷⁾에서는 15~45%, IRR1¹¹⁾에서는 19~32% 程度이고 國內³⁾에서는 11~30% 程度로 報告되어 있다. 最近 中共에서는 벼의 雜種品種을 實用化하여 20~

30%⁷⁾의 增收을 올리고 있고 IRR1¹²⁾ 및 國內³⁾에서도 그 增收效果가 認定되고 있는데 현 시점에서 自然交雜率 向上을 爲한 積極的인 努力이 있어야 하겠다. 그 方法은 주로 栽培의 또는 技術的인 側面⁷⁾에서 檢討가 되어 왔으나 花器構造 改良을 통한 育種의 側面에서의 研究는 미흡한 실정이다.

本 實驗은 1代雜種品種의 種子生産에 有利한 花器構造의 改良을 위하여 葯長 雌藥長の 栽種密度와 施肥水準에 의한 變異와 遺傳樣相을 조사하여 育種의 基礎資料를 얻고자 遂行하였다.

* 서울大學校 農科大學 (Dept. of Agronomy, Seoul National University, Suwon 170, Korea) <87. 12. 4 接受>

材料 및 方法

이 報告에는 네가지 試驗結果가 보고되어 있는데 試驗別로 目的에 따라 供試品種과 栽培法을 달리 하였다. 試驗別 供試材料와 方法은 다음과 같다.

1. 穎花着生位置別 葯長의 變異 : 벼品種 Z97B의 主稈 한 이삭만을 對象으로 上位部 첫번째 枝梗에서 下位部 다섯번째 枝梗까지 45個의 穎花를 開花하는 즉시 40%의 알콜이 담긴 병에 採取 固定하였고 顯微鏡下에서 micrometer 로 測定하였다.

2. 栽植密度別 變異 : Z97B, IR43 두 品種을 277/m², 123/m², 69/m² 株의 栽植密度로 3反復 直播栽培하여 開花當時 1株當 10個의 穎花를 中間部位의 2次枝梗에서 採取 固定후 測定하였다.

3. 施肥水準別 變異 : 태백벼(S287), 남풍벼(S294) 두 品種을 普肥條件(N-P₂O₅-K₂O=15-10-15kg/10a)과 多肥條件(N-P₂O₅-K₂O=20-15-20kg/10a)에서 亂塊法 3反復으로 栽培하여 1林當 10個의 穎花를 中間部位 2次枝梗에서 採取 固定후 測定하였다.

4. 葯長, 雌蕊長의 遺傳 : Z97B, IR8, IR43, IR56等 4品種을 二面交雜한 F₁ 12組合에 대하여 組合能力檢定을 하였고 이중 IR56/IR8 組合은 BC₁ F₁, F₂ 世代에서 1株當 5個의 穎花를 採取 固定후 測定하였다. 本 實驗에 使用된 供試品種의 主要 花器特性은 表 1과 같다.

Table 1. Floral characteristics of tested cultivars.

Cultivar	Head date	Anther (mm)	Fila (mm)	Lemma (mm)	Palea (mm)	Pist (mm)
Z97B	7.21	2.11	5.34	7.32	7.08	2.78
IR8	9.1	1.80	4.10	7.73	7.57	3.09
IR43	8.24	2.10	4.89	7.90	7.62	3.00
IR56	8.8	2.60	5.29	9.12	8.95	3.56
S287	8.5	2.03	4.39	8.15	7.91	-
S294	8.7	1.93	3.61	7.56	7.38	-

結果 및 考察

1. 穎花着生位置別 葯長의 變異

同一 이삭內에서 穎花着生位置에 따른 葯長의 變異를 나타낸 것이 그림 1이다. 上位部나 下位部에서 보다는 中間部位 枝梗에서 다소 길어지는 傾向을

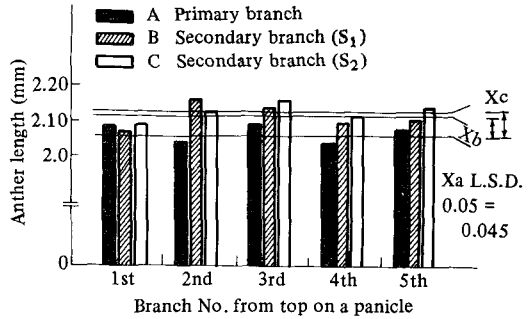


Fig. 1. Anther length of spikelets at different location on the panicle in Z97B.

보이고 있으며 同一部位라 할지라도 2次枝梗의 葯長이 2.12~2.13 mm로 1次枝梗의 葯長 2.06 mm와 비교할 때 길어지는 傾向이었다. 이에 대해 Nishiyama⁸⁾는 上位部에서 下位部로 내려갈수록 길어지며 같은 部位에서도 2次枝梗이 그리고 先端에서 下端으로 갈수록 길어진다고 하여 本 報告와 일부는 一致하고 일부는 相異함을 보였다. 이와 같은 結果가 品種의 特性인지 또는 地域에 따른 環境條件의 影響인지에 대해서는 추후 여러 品種으로 再檢討해야 할 것이다.

2. 栽植密度別 花器形質의 變異

表 2는 Z97B와 IR43 두 品種의 栽植 密度에

Table 2. Floral characters according to planting density.

Varieties	Plant densi (p/m ²)	Anth. (mm)	Pist (mm)	Lemma (mm)	Palea (mm)
Z97B	277 a)	2.00	2.58	7.19	6.73
	123 b)	2.05	2.69	7.08	6.79
	69 c)	2.09	2.70	7.32	7.00
	L.S.D	0.07	0.06	0.47	0.58
	0.05				
IR43	277 a)	2.04	2.82	7.86	7.50
	123 b)	2.06	2.71	7.42	7.07
	69 c)	1.95	2.95	7.51	7.28
	L.S.D	0.04	0.16	0.52	0.49
	0.05				
	L.S.D	0.06	0.24	0.79	0.75
	0.01				

a) Spacing : 6 X 6 cm

b) Spacing : 9 X 9 cm

c) Spacing : 12 X 12 cm

다른 葯長, 雌藥長을 나타낸 것이다. Z97B의 경우는 栽植密度가 낮아질수록 葯長, 雌藥長이 길어지는 傾向을 보였다.

반면에 IR 43은 栽植密度에 따라 一定한 傾向을 보이지 않았으며 다만 葯長에서 栽植密度가 減少됨에 따라 적은 수치를 보여 品種間에 差異를 나타냈다. Z97B의 경우에 栽植密度가 낮아질수록 葯長과 雌藥長이 길어지는 傾向은 栽植密度가 낮아지면 그만큼 生育條件이 良好해지며 養分吸收 競爭이 줄어들기 때문인 것으로 추측이 되나 이에 대해서는 추후에 栽培, 生理的인 側面에서 檢討됨이 바람직 할 것으로 여겨진다. 또한 栽植密度 減少에 따른 品種間 差異와 花器形質에 影響하는 最大의 栽植距離가 얼마인 지에 대해서도 檢討 되어져야 할 것이다.

3. 施肥水準別 葯長の 變異

普肥水準과 多肥水準으로 葯長을 比較한 結果가 그림 2이다. 태백벼, 남풍벼 모두 多肥水準에서 보다 普肥水準에서 葯長이 길어지는 傾向이었으나 有意差는 없었다.

4. 葯長 雌藥長の 遺傳

1) 二面交雜에 의한 F₁의 組合能力檢定

表 3은 葯長, 雌藥長에 差異가 있는 4品種을 二面交雜한 F₁ 12組合의 成績이다. 葯長, 雌藥長이 가장 짧은 組合은 IR8/Z97B 組合이며 가장 긴 組合

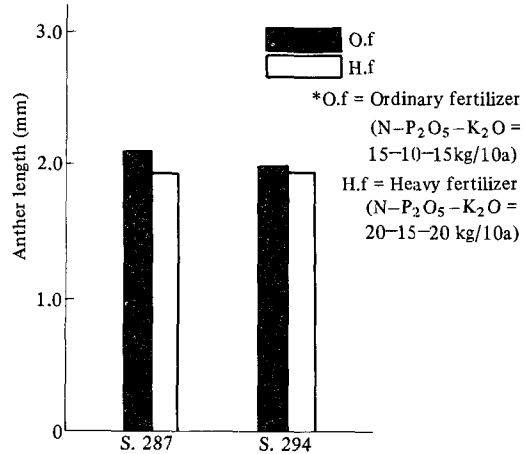


Fig. 2. Anther length at two fertilizer levels.

은 葯長에서 Z97B/IR 56, 雌藥長에서는 IR 43/IR 56 이었는데 IR 56이 관여된 組合에서 모든 花器形質이 길게 나타나는 것을 알 수 있다.

이들 F₁ 12組合을 Jinks & Hayman⁵⁾에 의해 제안된 二面交雜分析을 위하여 形質別로 組合間 比較 및 組合能力에 대해 分散分析한 것이 表 4이다. 一般組合能力, 特定組合能力이 組合內에 有意성이 인정되지만 母本效果(Reciprocal effects)에서도 有意성이 나타나므로 일반 二面交雜分析法을 適用시키지 않고 形質別로, 交配方向別 組合能力⁴⁾을 알아 보았다.

表 5는 母本들의 形質別 一般組合能力을 나타낸

Table 3. Floral characteristics in the F₁ from full diallelcrosses of four parents.

Parents & cross com.	Anther length (mm)	Pistil length (mm)	Lemma length (mm)	Palea length (mm)
Z97B	2.11 ± 0.02	2.78 ± 0.04	7.32 ± 0.20	7.08 ± 0.15
IR8	1.81 ± 0.03	3.09 ± 0.08	7.73 ± 0.13	7.57 ± 0.11
IR43	2.10 ± 0.05	3.00 ± 0.11	7.90 ± 0.29	7.62 ± 0.22
IR56	2.60 ± 0.08	3.56 ± 0.04	9.12 ± 0.25	8.95 ± 0.20
Z97B/IR8	2.11 ± 0.01	2.86 ± 0.11	7.71 ± 0.13	7.51 ± 0.10
IR8/Z97B	2.01 ± 0.03	2.86 ± 0.03	7.59 ± 0.04	7.28 ± 0.07
Z97B/IR43	2.19 ± 0.01	2.92 ± 0.04	7.60 ± 0.13	7.35 ± 0.16
IR43/Z97B	2.07 ± 0.02	2.95 ± 0.06	7.77 ± 0.06	7.49 ± 0.06
Z97B/IR56	2.41 ± 0.09	3.23 ± 0.06	8.14 ± 0.01	7.94 ± 0.06
IR56/Z97B	2.40 ± 0.02	3.30 ± 0.02	7.90 ± 0.10	7.73 ± 0.09
IR8/IR43	2.06 ± 0.05	3.10 ± 0.02	7.88 ± 0.10	7.51 ± 0.08
IR43/IR8	2.08 ± 0.01	3.09 ± 0.02	7.97 ± 0.15	7.61 ± 0.20
IR8/IR56	2.32 ± 0.07	3.53 ± 0.04	8.82 ± 0.07	8.53 ± 0.07
IR56/IR8	2.31 ± 0.04	3.51 ± 0.07	8.61 ± 0.09	8.43 ± 0.06
IR43/IR56	2.25 ± 0.10	3.58 ± 0.03	8.45 ± 0.11	8.21 ± 0.12
IR56/IR43	2.33 ± 0.05	3.28 ± 0.22	8.32 ± 0.80	8.15 ± 0.88

Table 4. F-values in the ANOVA for floral characters of F₁ from full-diallel crosses of four parents.

Source ov var.	Anther length	Pistil length	Lemma length	Palea length
Reps.	0.49280	0.54758	2.08142	1.93733
Cultivar	48.53434**	34.93469**	13.31275**	13.31955**
G C A	219.93745**	155.73308**	60.85664**	62.63451**
S C A	7.92874**	5.48691**	2.03731	1.39685
R C A	3.43839*	3.98328**	0.81626	0.58477

*, ** : Significant at 0.05, 0.01 respectively.

Table 5. Relative magnitude of general and relative combining ability of parents for floral characters.

Floral character	Parents	gca		rsca		rca		rca + x..	
		F	M	F	M	F	M	F	M
Anther	Z97B	-0.01	-0.05	0.07	0.09	0.06	0.04	2.26	2.24
	IR8	-0.15	-0.12	0.10	0.10	-0.05	-0.02	2.15	2.18
	IR43	-0.07	-0.03	0.04	0.06	-0.03	0.03	2.17	2.23
	IR56	0.21	0.20	0.07	0.08	0.28	0.28	2.48	2.48
Pistil	Z97B	-0.21	-0.19	0.01	0.11	-0.2	-0.08	2.96	3.08
	IR8	-0.01	-0.02	0.14	0.14	0.13	0.12	3.29	3.28
	IR43	0	-0.08	0.14	0.08	0.14	0	3.30	3.16
	IR56	0.24	0.30	0.06	0.08	0.30	0.38	3.46	3.54
Lemma	Z97B	-0.36	-0.40	0.17	0.13	-0.19	-0.27	7.86	7.78
	IR8	-0.04	-0.04	0.28	0.21	0.24	0.17	8.29	8.22
	IR43	-0.03	-0.12	0.15	0.15	0.12	0.03	8.17	8.08
	IR56	0.44	0.58	0.26	0.21	0.70	0.79	8.75	8.84
Palea	Z97B	-0.34	-0.41	0.18	0.14	-0.16	-0.27	7.65	7.65
	IR8	-0.09	-0.03	0.28	0.22	0.19	0.18	8.00	8.00
	IR43	-0.08	-0.15	0.16	0.17	0.08	0.02	7.89	7.83
	IR56	0.51	0.60	0.26	0.21	0.77	0.82	8.58	8.63

*F: Female M: Male

gca : general combining ability

rca : relative combining ability

rsca : relative specific combining ability

것인데 藥長과 雌藥長에서 IR56 이 父本으로 使用되었을 때 가장 높고 IR8 과 Z97B 가 各各 母本으로 쓰였을 때 가장 낮았다.

表 6 은 어떤 特定組合의 性能이 그 兩親의 平均性能으로 推定할 수 있는 程度에서 얼마나 偏倚되어 있는가를 나타내는 特定組合能力⁴⁾의 成績을 나타낸 것이다. 表 6 에서 알 수 있듯이 藥長에서는 Z97B/IR56 組合에서 0.21 로 가장 높고 IR8/Z97B 組合에서 -0.19 로 가장 낮았다. 또한 雌藥長에서는 IR43/IR56 組合에서 가장 높았고 IR8/Z97B 組合에서 가장 낮았다. 以上の 結果로 볼 때 自然交雜

率에 크게 影響할 것으로 기대되는 品種은 金⁶⁾의 지적과 같이 IR56 이 가장 유망시 될 것으로 생각된다.

2) F₂ 및 戻交雜 世代에서의 分離

花器形質의 遺傳分離樣相을 알고자 IR56 과 IR8 을 正逆交配하여 F₂ 및 戻交雜世代에서 檢討하였다(photo 1·2).

① 藥長

表 7 과 그림 3 은 F₁ 과 F₂ 및 戻交雜世代에서 藥長の 分離를 나타낸 것이다. 長藥인 IR56 이 平均 2.38mm 이고 短藥인 IR8 이 平均 1.94mm 이었

Table 6. Specific combining ability for floral characters.

Parents	Anther length	Pistil length	Lemma length	Palear length
Z97B	-0.09	-0.39	-0.74	-0.73
IR8	-0.39	-0.08	-0.33	-0.24
IR43	-0.10	-0.17	-0.16	-0.19
IR56	0.40	0.33	1.06	1.14
Z97B/IR8	-0.09	-0.31	-0.35	-0.30
IR8/Z97B	-0.19	-0.31	-0.47	-0.53
Z97B/IR43	-0.01	-0.25	-0.46	-0.46
IR43/Z97B	-0.13	-0.22	-0.29	-0.32
Z97B/IR56	0.21	0.06	0.08	0.13
IR56/Z97B	0.20	0.13	-0.16	-0.08
IR8/IR43	-0.14	-0.07	-0.18	-0.30
IR43/IR8	-0.12	-0.08	-0.09	-0.20
IR8/IR56	0.12	0.36	0.76	0.72
IR56/IR8	0.11	0.34	0.55	0.62
IR43/IR56	0.05	0.41	0.39	0.40
IR56/IR43	0.13	0.11	0.26	0.34

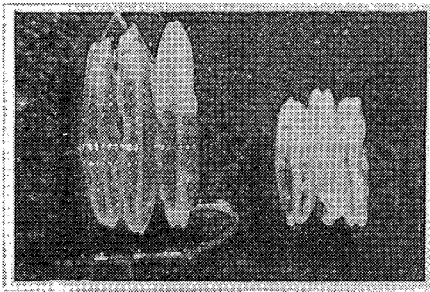


Photo 1. Different size of anther.

을 때 이들의 F₁에서는 평균 2.0mm로 短葯으로 치우치는 傾向을 보이고 있으며 F₂ 世代에서는 1.61~2.50mm 사이에 長葯이 劣性인 連續變異를 나타내고 있다. 그리고 이들의 F₁인 IR56/IR8에 長



Photo 2. Different size of pistil.

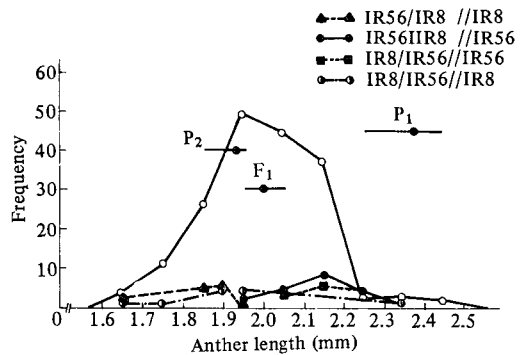


Fig. 3. Frequency distribution of anther length for F₁, BC₁₋₁ F₁, BC₁₋₂ F₁, F₂ populations in the cross of IR56 X IR8.

葯인 IR56을 戻交雜 하였을 때는 2.13mm로 다소 길어지는 傾向이었으며 短葯인 IR8을 戻交雜 하였을 때는 1.86mm로 F₁의 2.0mm 보다 작아지는 傾向을 보인다. 이러한 傾向은 逆交配에서도 나타나고 있다.

② 雌葯長

表 8은 IR56/IR8組合의 F₁과 戻交雜世代에서 雌葯長の 分離를 나타낸 것이고 그림 4는 이 組合의 F₂ 世代에서의 分離를 나타낸 것이다. 長雌葯인 IR56이 平均 3.56mm이고 IR8이 平均 3.09mm

Table 7. Frequency distribution for anther length in the P₁, P₂, F₁, F₂ and BC₁F₁ in IR56 and IR8 cross. (mm)

Parents & combination	1.61-1.70	1.71-1.80	1.81-1.90	1.91-2.00	2.01-2.10	2.11-2.20	2.21-2.30	2.31-2.40	2.41-2.50	- X + Sd
IR56							2	2	4	2.38 ± 0.08
IR8			2	3						1.94 ± 0.04
IR56/IR8 (F ₁)				5	5					2.00 ± 0.05
IR56/IR8 (F ₂)	3	10	26	49	44	37	2	2	1	2.00 ± 0.14
IR56/IR8//IR56				2	4	8	3	1		2.13 ± 0.11
IR56/IR8//IR8	2		4	5	1					1.86 ± 0.12
IR8/IR56				2	8					2.03 ± 0.05
IR8/IR56//IR56					2	5	3			2.16 ± 0.09
IR8/IR56//IR8	1	1	4	4	3			1		1.93 ± 0.18

Table 8. Frequency distribution for pistil length in F₁, back crosses of IR56 and IR8 cross.

Parents & combination	(mm)									
	2.91-3.00	3.01-3.10	3.11-3.20	3.21-3.30	3.31-3.40	3.41-3.50	3.51-3.60	3.61-3.70	3.71-3.80	- X + Sd
IR56							5	1		3.56 ± 0.04
IR8	1	3	2							3.09 ± 0.08
IR56/IR8					1	3	3	2	1	3.54 ± 0.13
IR56/IR8//IR56				2	3	7	3	3		3.48 ± 0.12
IR56/IR8/IR8		4	1	1	2	3	1			3.28 ± 0.20
IR8/IR56						4	5	1		3.53 ± 0.06
IR8/IR56//IR8	3	3	3	2	3					3.25 ± 0.14
IR8/IR56//IR56				1	8	1				3.44 ± 0.06

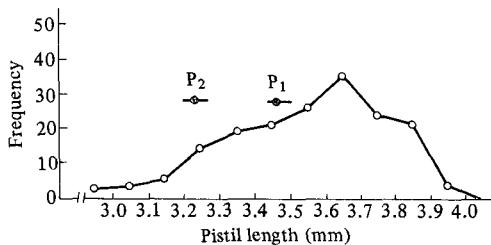


Fig. 4. Frequency distribution of pistil length in the F₂ of IR56 X IR8 cross.

일때 이들의 F₁에서는 평균 3.54 mm인 長雌藥로 치우치는 傾向이며, F₂에서는 그림 4에서 보는바와 같이 2.95 mm에서부터 4.0 mm 사이에 長雌藥이 超優性인 連續變異를 나타내고 있다. 그리고 이들의 F₁에 長雌藥인 IR 56을 戻交雜하면 길어지는 傾向이고 中雌藥인 IR 8을 戻交雜하면 짧아지는 傾向을 보이고 있다. 이러한 결과는 短藥이 部分優性으로 作用한다는 Virmani 等¹⁰⁾의 報告와 一致하였던 반면에 短雌藥가 部分優性이라는 同報告와는 相異하였다.

Table 9. Genotypic and phenotypic correlation coefficients and heritabilities for floral characters in the F₂ generation of IR56 X IR8 cross.

Character	Anther	Pistil	Lemma
Anther	0.46	0.44**	0.63**
Pistil	0.33**	0.88	0.41**
Lemma	0.48**	0.20*	0.65

*, **: Significant at 0.05, 0.01 respectively.
Upper diagonal: genotypic correlation coefficients.
Lower diagonal: phenotypic correlation coefficients.
Between the diagonals: broad-sense heritabilities.

3) 形質間的 相異

藥長, 雌藥長の 廣義의 遺傳力 그리고 相互 遺傳相關과 表現型相關을 나타낸 것이 表 9이다. 雌藥長の 遺傳力은 0.88로 높았으며 藥長은 0.46으로 中程度를 나타냈다. 雌藥長の 遺傳力은 Virmani 等⁹⁾이 報告한 0.85와 類似한 값을 보였으나 藥長은 이들의 報告와 相異 하였다.

摘 要

水稻의 花器構造改良을 통한 1代雜種 品種의 種子 生産性向上을 目的으로 藥長, 雌藥長の 栽植密度, 施肥水準에 따른 環境變異와 遺傳樣相을 檢討하였다.

그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 同-이삭內에서 藥長은 1次枝梗에 비해 2次枝梗에서 길었다.
2. Z97 B에서는 栽植密度가 낮을수록 藥長, 雌藥長이 길어졌으나 IR 43에서는 一定한 傾向이 없었다.
3. 施肥水準을 달리했을때 藥長에는 差異가 없었다.
4. IR 56이 關여된 모든 交配組合 F₁에서 藥長, 雌藥長의 一般組合能力, 特定 組合能力이 높았다.
5. IR 56/IR 8의 F₂世代에서 藥長의 遺傳分離樣相은 長藥이 劣性인 連續變異를 보였고 雌藥長은 長雌藥가 超優性인 連續變異를 보였다.
6. 花器形質의 廣義의 遺傳力은 藥長 0.46, 雌藥長 0.88이었다.

7. 藥長과 雌藥長の 表現型相關과 遺傳相關은 各 各 0.33, 0.44 程度였다.

引用文獻

1. Athwal, D. S. and S. S. Virmani. 1972. Cytoplasmic male sterility and hybrid breeding in rice p.615-620. In Rice breeding. Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Philippines.
2. Carnahan, H. L., J. R. Erickson, S. T. Tseng and J.N. Rutger. 1972. Outlook for hybrid rice in the U.S.A. p.603-607. Int. Rice. Res. Inst., Rice breeding. Los Banos., Philippines.
3. 許文會, S. S. Virmani, 徐學洙. 1984. 雄性不稔을 利用한 雜種品種開發 - I. 中共의 CGMS 를 利用하는 雜種品種. 서울大學校 農學研究 9 (1): 129 - 134.
4. _____. 1985. 水稻細胞質的, 遺傳的 雄性不稔系統 育成에 있어서의 組合能力 檢定. 韓育誌 17 (2): 99-104.
5. Jinks. 1956. The F_2 and backcross generations from a set of diallel crosses. Heridity Vol. 10 (1):1-30.
6. Kim, H. K. 1984. Varietal difference of anther and filament length of rice Korean J. Crop. Sci. 29(1):31-38.
7. Lin, S. C. and P. Yuan. 1980. Hybrid rice breeding in China. In Innovative approaches to rice breeding. IRRI. Los Banos Philippines: 35-48.
8. Nishiyama, I. 1982. Male Sterility caused by cooling treatment at young microspore stage in rice plant XXIII. Anther length, pollen number and the difference in susceptibility to coolness among spikelets on the panicle. Japan. J. Crop. Sci. 51(4):462-469. Swaminatan, M.S., E.A. Sidding and S. D. Sharma. 1972. Outlook for hybrid rice in India. In Rice. Breeding, p.609-613. IRRI. Los Banos, Philippines.
9. Virmani, S. S. and D. S. Athwal. 1973. Genetic variability in floral characteristics influencing outcrossing in *Oryza Sativa*. L. Crop Sci. 13: 66-67.
10. _____ and _____. 1974. Inheritance of floral characteristics influencing outcrossing in rice. Crop. Sci. 14:350-353.
11. _____, R.C. Chaundhary and G.S. Khush. 1981. Current outlook on hybrid rice oryza. 18:67-84.
12. _____ and I. B. Edwards. 1983. Hybrid rice and wheat. Adv. Agronomy 36:146-214.