

## 벼 유전자적 웅성불임-심백 돌연변이체의 특성과 그를 이용한 일대잡종 육성 체계\*

高熙宗\*\* · 許文會\*\*

### Agronomic Characteristics of A Mutant for Genic Male Sterility-Chalky Endosperm and Its Utilization on F<sub>1</sub> Hybrid Breeding System in Rice\*

Hee Jong Koh\*\* and Mun Hue Heu\*\*

**ABSTRACT** : A mutant for chalky endosperm and genetic male sterility (GMS) was newly developed in rice. The two characters were found to be controlled by single recessive gene which has pleiotropic effect, indicating that chalky seeds should be GMS seeds in segregating populations. Chalky seeds showed the same shape and size as normal seeds. However, starch composition of central part of endosperm was looser and shape of starch granules was rounder compared with normal endosperm, resulting in significantly lower grain weight, absolute density and grain hardness in chalky grains than in normal ones. Amylose content and gel consistency of chalky grains were much lower and harder, respectively.

Male sterile plants showed much shorter plant height, poorer panicle exertion and lesser panicle number compared with normal plants. Microspore abortion stage in pollen developmental process was observed as before meiosis. Male sterility of the mutant was stable regardless of temperature and day length.

A system breeding hybrid rice using this mutant was discussed, comparing with other systems utilizing cytoplasmic-genic male sterility(CGMS) and environment sensitive GMS(EGMS)<sup>12)</sup>. Separation of GMS seeds in mixed seed bulks by specific gravity(1.14~1.16g/cm<sup>3</sup>) was successful about 85~90%. But some mixed normal plants were seemed to be easily removed by the apparent difference in growth characters at seedling stage. The highest natural outcrossing rate of this GMS line was as 17.3 % in a plot treated with 2-row pollinator, 1-row GMS, and GA3 + cutting of flag leaf + pollen-scattering by rope.

**Key words** : Rice F<sub>1</sub> hybrid, Male sterility, Chalky endosperm mutant

遺傳子的 雄性不稔性(genic male sterility ; 웅이한 감별이 관건이다. <sup>6)</sup> 웅성불임개체의 웅이 GMS)을 작물의 一代雜種育成體系에 이용하는 한 감별을 위하여 雄性不稔 遺傳子和 가깝게 聯關 데에는 분리 집단에서 웅성불임개체의 정확하고도 되어 있으면서 생육초기에 뚜렷하게 발현되는 表

\* 이 연구는 1993년 한국과학재단의 목적기초연구사업(핵심전문과제) 지원에 의해 이루어진 것임.

\*\* 서울대학교 농업생명과학대학(Coll. of Agric. & Life Sci., Seoul Nat'l Univ., Suwon 441-744, Korea)

〈95. 7. 18 接受〉

現型 遺傳子를 탐색하거나<sup>6,14,15)</sup> 또는 化學劑 感應 遺傳子를 음성불임유전자와 가깝게 연관되도록 형질전환시켜 이용하고자<sup>4)</sup> 노력하고 있으나 이들을 일대잡종 종자 생산에 실용한 보고는 없는 실정이다. 유전자적 음성불임성을 일대잡종품종 육성에 이용하게 되면 기존의 CGMS를 이용하는 체계에 비해 종자생산 경비를 절감할 수 있을 뿐만 아니라, 일대잡종 모본에서 특정 유전자형(不稔維持親, 稔性回復親)이 필요없기 때문에 모본 선정이 자유로워 잡종강세의 제고, 고품질 및 저항성유전자 이용 등이 용이하므로 일대잡종품종 육성의 효율을 크게 향상시킬 수 있을 것이다<sup>9)</sup>.

근래에는 日長感應 遺傳子的 雄性不稔性(Photoperiod-sensitive GMS; PGMS)<sup>10)</sup> 및 溫度感應 遺傳子的 雄性不稔性(Thermo-sensitive GMS; TGMS)<sup>12)</sup>을 이용하여 일대잡종종자 생산 체계를 단순화함으로써(2-line system) 종자생산 비용을 절감하고자 노력하고 있으나, PGMS 및 TGMS의 불안정성으로 인한 잡종종자의 순도 저하와 잡종종자 생산포의 지리적인 제약으로 인하여 실용화에 어려움을 겪고 있다<sup>9,18)</sup>. 또한 殺精劑가 개발되어 일부 이용되고 있으나 그 효율성과 처리방법상의 문제점으로 인하여 보급이 확대되지 못하고 있다<sup>13)</sup>.

본인들은 벼에서 일대잡종 관련 연구를 진행해 오던 중 분리세대의 종자상태에서 외관에 의해 유전자적 음성불임성을 식별할 수 있는 突然變異體를 개발하였다. 그 과정을 개괄하면, Japonica벼 장려품종인 '화청벼'의 수정란에 N-methyl-N-nitrosourea를 처리하여 M2종자에서 心白을 분리시켰는데, 그 심백종자로부터 유래된 M2 식물체를 재배한 결과 모두 음성불임이었다. 그 개체들을 온실로 들여와 주보존하면서 화청벼 등과 교잡하고 F<sub>1</sub>을 재배한 결과 種實稔性이 모두 정상이어서 탐색된 음성불임은 유전자적 음성불임(GMS)임을 알 수 있었다. F<sub>2</sub>종자는 정상:심백 종자수가 3:1로 분리하였는데 그들을 구분하여 개체별로 재배한 결과 정상종자에서 유래된 식물체의 종실임성은 모두 정상이었고, 심백종자에서 유래된 식물체는 모두 음성불임의 특성을 보였다. 즉 탐색된 심백돌연변이체는 동시에 음성불임 특성을 나

타내는 것으로 추론할 수 있었다.

이 보고는 이 돌연변이체의 유전적, 작물학적 및 이화학적 특성 등을 구명하고 그를 이용하여 일대잡종 육성체계를 구상한 것이다.

## 材料 및 方法

본 연구에 사용한 돌연변이체 즉 종실의 심백특성과 음성불임특성을 동시에 보유하는 계통은 47350ms이다.

심백과 음성불임의 유전분리 및 상호관련성을 검토하기 위하여 47350ms와 정상품종들을 교잡하였고, 그 F<sub>2</sub> 종자들을 '정상종자'와 '심백종자'로 구분한 후 각각의 분리비를 조사하였으며, 포장과 온실에 1주 1본식 재배하였다. '정상종자' 및 '심백종자' 각각에서 유래된 식물체 개체별로 음성불임 여부를 種實稔性으로 판정하여 음성불임유전자의 유전분리를 조사하였다. 심백과 음성불임특성의 각각에 대해 별도로 조사된 유전분리비를 조합하여 그들 간의 관련성을 검토하였다.

돌연변이체 종자는 외관상으로 쉽게 식별이 가능한 심백특성을 보이는데 이것이 이화학적으로 어떤 변화에 의해 유발되는 것인지를 구명하고 몇 가지 이화학적 특성을 정상종자와 대비하여 검정하였다. 현미의 외형은 Vernier calipers를 사용하여 길이, 폭, 두께를 측정하였고, 충실립의 1,000粒重을 평량하였다. 胚乳의 澱粉結晶構造는 현미를 1mm정도의 두께로 박편을 만들어 SEM을 이용 검정하였다. 현미의 絕對密度(g/cm<sup>3</sup>)는 {종자무게 - (종자무게 × 수분함량)} / {종자부피 - (종자무게 × 수분함량)}식<sup>8)</sup>에 준하여 구하였는데 종자의 부피는 5ml pipette과 xylene을 사용하여 측정하였다. 현미의 硬度는 수분함량 10%의 현미에 대해 경도계(Kiya產)로 측정하였다. 아밀로스 및 단백질함량, 알칼리붕괴도, 호응집성 등은 국제미작연구소의 방법<sup>5)</sup>에 의해 분석하였다.

음성불임계통의 생육형질과, 화분 발육단계 중 음성불임화 되는 시기, 음성불임의 안정성 등을 검토하였다. 포장에 정상개체들과 불임개체들을 재배하여 出穗期, 稈長, 穗長, 稔實率, 穎花數 등

의 작물학적 형질들을 개체별로 조사하였다. 감수 분열기부터 출수개화기까지의 화분을 채취하고 acetocarmine 및 I<sub>2</sub>-KI 용액으로 염색 후 현미경 검정으로 화분발육단계 중 응성불임화 시기를 추정하였다. 한편 불임계통에 대해서는 온실조건(고온)과 포장조건에서 과종기를 여러 차례 달리 하여 생육기의 온도 및 일장의 환경조건이 달라지게 한 다음 각 조건에서의 종실임성을 조사하여 응성불임의 안정성을 평가하였다.

상기의 실험에서 얻어진 결과를 토대로 이 GMS를 일대잡종종자 생산체계에 실용화하기 위하여 응성불임종자의 확보체계와 그에 따른 일대잡종품종의 육성체계를 CGMS, EGMS(PGMS, TGMS) 이용체계와 비교 논의하였다. 실제 분리세대의 종자에서 비중선에 의해 응성불임종자를 가려낼 때 적정 비중과 그에 따른 심백종자의 순도를 조사함으로써 비중선의 효율을 검토하였다. 또한 응성불임계통의 자연교잡율을 조사하였다. 자연교잡의 재배는 동서어랑 방향에 재식거리는 30×15cm로 하였고, 수분조작처리는 대조구와 복합처리구(수잉기 GA<sub>3</sub>처리+지엽절단+출수개화기 rope를 이용한 화분털기)의 2구를 두었으며, 재식줄수는 화분친 2처리(1, 2줄), 자방친 3처리(1, 2, 3줄)로 하여 세세구 6반복으로 재배하였다. 수확 후에 종실임성을 조사하여 자연교잡율을 나타내었고 각 구별 교잡종자의 정조수량을 조사하였다.

## 結果 및 考察

### 1. 심백과 응성불임의 유전분리 및 상호관련성 검토

응성불임계통(47,350ms)을 원 품종(화청벼)와 4개 품종과 교잡하고 F<sub>1</sub> 식물체의 종실임성과 F<sub>2</sub> 종자에서 심백의 유전분리를 조사한 것이 표 1이다. 표에서 보듯이 모든 조합에서 F<sub>1</sub> 식물체의 종실임성이 완전한 것으로 보아 이 응성불임성은 GMS이고, F<sub>2</sub> 종자에서 정상:심백종자 비율이 3:1로 분리되는 것으로 보아 심백 특성은 單純劣性 突然變異임을 알 수 있었다. 그 중 원품종과 교잡된 F<sub>2</sub>종자 및 F<sub>2</sub> 재배후 hetero개체로부터 수확한 F<sub>3</sub>종자들을 정상종자와 심백 종자로 구분하여 포장과 온실에 재배하고 각 종자에서 유래된 개체별로 응성불임 및 정상 여부를 조사한 것이 표 2이다. 표에 나타났듯이 정상종자에서 유래된 식물체들은 포장재배된 1,621개체 및 온실재배된 1,456개체 모두 정상임성을 보였다. 반면 심백종자에서 유래된 식물체들은 포장에 재배시 522개체 중 5개체가, 온실재배시 467개체 중 3개체가 정상임성을 나타내어 분제였다.

그러나 결과적으로 이들 8개체를 “심백종자-정상임성식물체”의 조환형으로 보기는 어려웠다. 그 이유로 첫째, 상대편의 「정상종자-응성불임식물체」의 조환형이 출현하지 않았고, 둘째, 화청벼와 같이 유전적으로 심복백이 거의 없는 품종에서도 간혹 등숙불량에 의해 심복백 미립이 발생할 수가 있는데 이는 유전적인 응성불임과는 무관한 것이고 그러한 종자가 심겨졌을 가능성이 있으며, 셋째, 결정적으로 심백종자에서 유래된 정상임성 식물체 8개체에서 종자를 수확하여 확인 결과 모

Table 1. Grain fertility of F<sub>1</sub> plants and segregation of F<sub>2</sub> seeds in the crosses between 47350ms and some varieties

Cross No.	Cross combination	Fertility of F <sub>1</sub> plant (%)	Segregation of F <sub>2</sub> seeds			χ <sup>2</sup> (3:1)	P
			Normal	Chalky	Total		
MS2508	47350ms /Gwanakbyeo	92	723	225	948	0.81	0.50-0.25
MS2509	" /Chucheongbyeo	96	270	103	373	1.36	0.25-0.10
MS2510	" /Hwacheongbyeo	95	4,269	1,405	5,674	0.17	0.75-0.50
MS2512	" /TP 835	92	661	215	876	0.10	0.75
MS2513	" /TP 664	94	588	180	768	1.00	0.50-0.25

Table 2. Normal and male-sterile(MS) plants originated from normal and chalky seeds, respectively, in segregating populations (F<sub>2</sub> & F<sub>3</sub>) of 47, 350ms /Hwacheongbyeo

	No. of plants								
	Field			Greenhouse			Pooled		
	Total	Nor <sup>a)</sup>	MS	Total	Nor	MS	Total	Nor	MS
Plants from									
Normal seeds	1,621	1,621	0	1,456	1,456	0	3,077	3,077	0
Chalky seeds	522	5	517	467	3	464	989	8	981

a) Nor: plants with normal fertility  
MS: male-sterile plants

Table 3. Grain dimension of brown rice of chalky and normal seeds in segregating populations

	Grain dimension			
	Length	Width	Thickness	L/W
	.....(mm).....			
Normal seeds	4.85	2.86	1.93	1.70
Chalky seeds	4.84	2.85	1.94	1.70
Difference	ns	ns	ns	ns

두 정상종자이거나 또는 정상과 심백이 분리되는 것으로 나타나서 진정한 조환형이 아니었기 때문이다. 즉 이들 8개체 중 조환형이 있었다면 homo 심백종자만 보유하는 개체(심백종자-정상임성식물체의 조환형)가 있었어야 되는 것이다. 따라서 이들 8개체는 두번째 이유에 의해 잘못 재배된 것으로 판단되며 결론적으로 볼 때 47,350ms계통이 가지는 심백배유특성과 웅성불임성은 1개의 열성유전자에 의한 다면발현 효과임이 분명하다.

## 2. 심백변이체의 이화학적 특성

그림 1은 심백-웅성불임 변이체 종자(현미)의 외관인데 정상종자와는 쉽게 구별이 되었다. 그 크기 및 모양을 측정하여 보면 (표 3) 길이, 폭, 두께, 장/폭비 모두에서 정상종자와 심백종자간 외형상의 차이는 없었다. 현미를 횡단하여 SEM으로 배유조직을 본 것이 그림 2인데 횡단면 전체(정상종자:1, 심백종자:3)를 보면 양자간에 세포배열 양상에 차이가 없었다. 그런데 배유의 중앙근접부위(정상종자:2, 심백종자:4)를 보면 정상종자에서는 다각형의 澱粉單粒과 複合澱粉

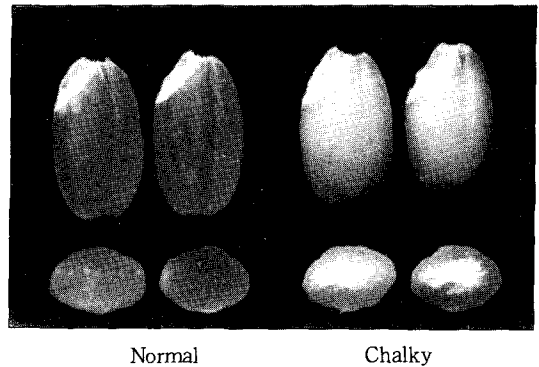


Fig. 1. Grain appearance of normal and chalky seeds.

粒이 뚜렷이 나타났는데 반해 심백종자에서는 전분단립 자체가 원형~타원형이고 복합전분립이 매우 드물게 관찰되었다. 이 심백배유의 전분결정조직은 외관상으로 볼 때 기존품종 중 쌀의 심백백 부분에서 보고된 전분결정조직<sup>8,16)</sup>과 동일하다.

표 4는 현미 1,000립중 및 몇가지 이화학적 특성을 조사한 것이다. 심백변이체의 현미 1,000립중, 절대밀도 및 경도는 정상종자에 비해 유의하게 낮아졌는데, 이는 그림 2에 나타났듯이 심백종자 배유의 등숙이 중심부(心白部分)에서 상대적으로 충실치 못하였기 때문에 절대밀도가 정상종자에 비해 낮아졌고 따라서 무게도 가벼워진 것이며, 마찬가지로 현미의 경도도 월등히 낮아진 것으로 생각된다. 알칼리붕괴도(ADV)와 단백질함량은 정상종자와 심백종자간에 차이가 없었던 반면, 아밀로스 함량은 심백종자에서 유의하게 낮아졌고, 호응집성에서는 심백종자가 매우 짧

Table 4. Some physicochemical properties of chalky and normal seeds

	1000 <sup>a)</sup> grs. wt. at 10% MC <sup>b)</sup> (g)	Absolute <sup>a)</sup> grain dens. (g/cm <sup>3</sup> )	Hardness <sup>a)</sup> at 10% MC (g/grain)	Amylose content (%)	ADV at 1.2% KOH (1~7)	Protein <sup>a)</sup> content (%)	Gel consistency (mm)
Normal seeds	18.9	1.486	6.27	20.3	5.5	9.80	100
Chalky seeds	17.7	1.430	3.07	17.9	5.5	9.52	26
Difference	**	**	**	**	ns	ns	**

a) brown rice

b) MC : moisture content

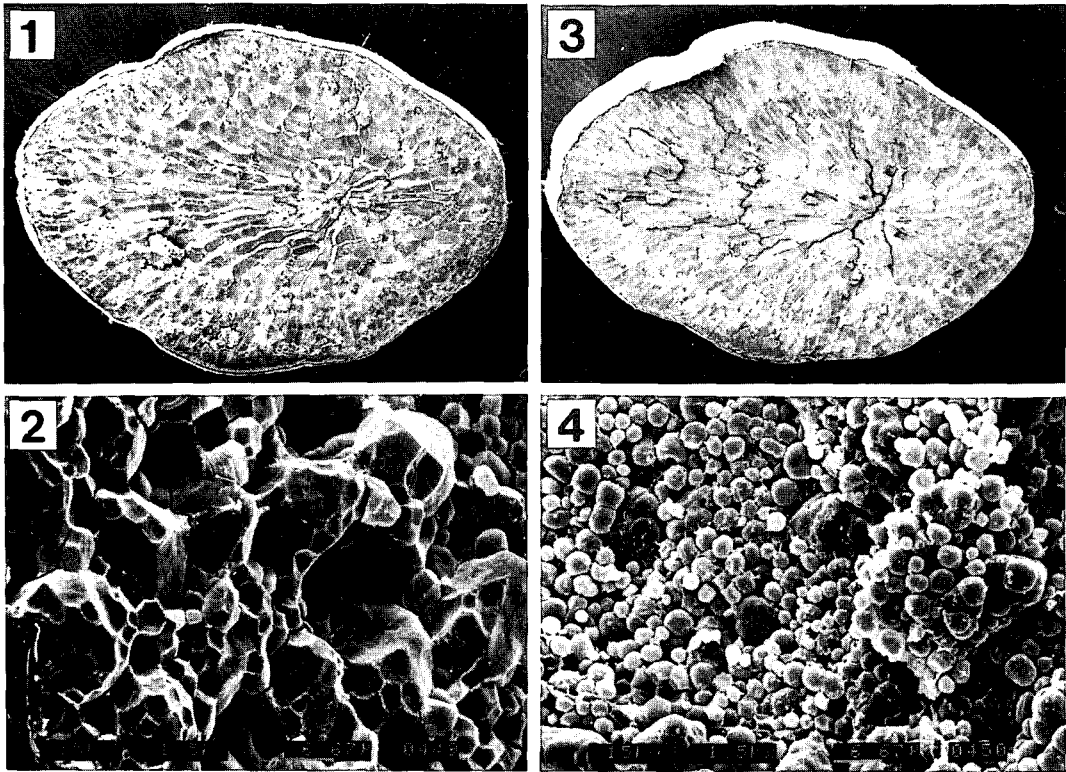


Fig. 2. Normal and chalky endosperm exposed by SEM (1&2: normal seed, 3&4: chalky seed, and 2&4: central part of endosperm).

Table 5. Some agronomic characters of GMS line

Line	Heading date	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	Panicle exsertion (cm)	Panicles /plant (No.)	Spikelets /panicle (No.)
Normal	Aug.22	92.8	18.4	3.9	14.0	84.0
GMS	Aug.20	64.7	18.2	-0.9	8.1	80.9
Difference	*	**	ns	**	**	ns

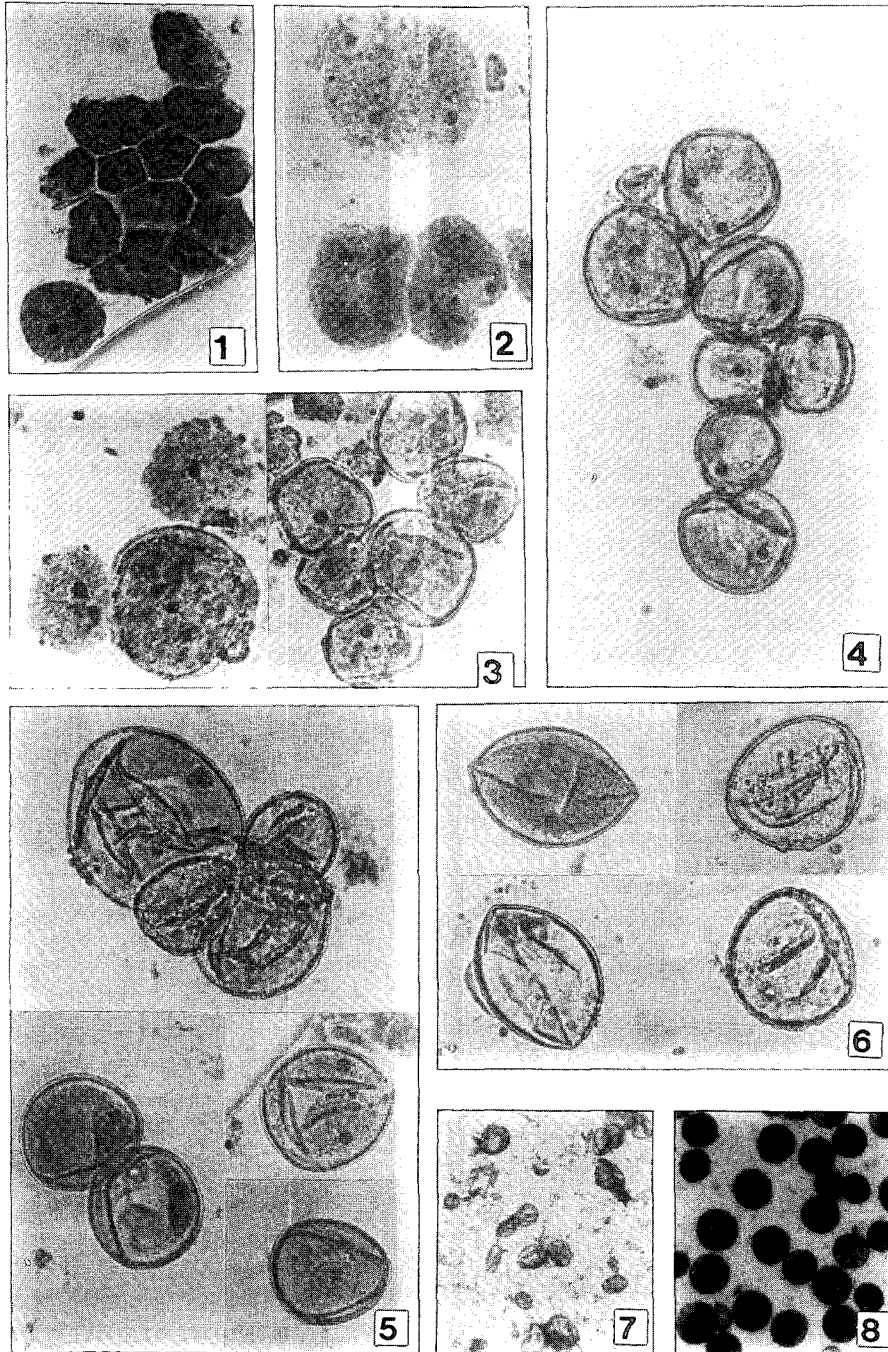


Fig. 3. Pollen development of GMS mutant line.

1: Microsporocytes, 2: Division of microsporocytes (unlike meiosis), 3: Young microspores (early uninucleate stage), 4~6: Development of microspores (4&5: middle and late uninucleate stage, 6: binucleate stage), 7&8: Pollen grains of GMS line and Hwacheongbyeo, respectively, stained with  $I_2$ -KI solution at flowering stage.

은 gel 길이 (hard gel consistency)를 나타내었다. 화청벼의 경우 아밀로스 함량은 맑은 종자에서 20.0% 이고, 심백이 들어있는 종자에서 19.7% 이었는데, 이것으로 보면 심백의 유무 그 자체는 아밀로스 함량과 무관함을 알 수 있었다. 한편 본 실험실에서 돌연변이에 의해 유기시킨 심백변이체들에서는 모두 원품종과 같거나 또는 그보다 높은 아밀로스 함량을 보인 바 있는데(미발표), 단지 본 연구에 이용된 심백변이체 만이 원품종에 비해 유의하게 낮은 아밀로스 함량을 보인 것이다. 이에 관해서는 웅성불임-심백배우 특성과 관련하여 추후 검토가 요망된다. 심백종자에서는 백미가루의 호응집성이 매우 강한 것으로 나타났는데, 이는 金 등<sup>7)</sup>이 분상질 및 심백변이체들과 원품종의 호응집성을 비교한 결과 변이체들은 모두 harder gel consistency 특성을 보였다고 보고한 것과 동일한 결과이다.

### 3. 웅성불임계통의 작물학적 특성, 웅성불임화 시기 및 안정성

정상계통과 심백종자로부터 유래된 웅성불임계통의 작물학적 특성을 조사한 것이 표 5이다. 표에서 볼 수 있듯이 웅성불임계통은 정상계통에 비해 간장이 상당히 짧아졌고, 이삭의 추출이 불량한 등 웅성불임계통이 되면 나타나는 일반적인 생육특성<sup>1,9,17)</sup>을 보였다. 그러나 주당수수가 현저하게 줄어든 것은 특이한 현상이었다. 웅성불임계통의 수장과 수당립수는 정상계통과 동일하였고, 출수기는 2일 정도 빨랐다.

화분 발육단계 중 웅성불임화되는 시기를 추정하기 위하여 웅성불임계통의 감수분열기부터 출수개화기의 성숙화분까지 소포자 또는 화분을 관찰한 것이 그림 3이다. 그림에 나타났듯이 웅성불임계통에서는 감수분열 중기의 화분세포가 관찰되지 않았다. 대신에 화분모세포들 자체가 1핵 또는 다핵성이었고, 이들이 세포분열시에는 정상적인 감수분열을 하는 것이 아니고 무작위로 핵과 세포질이 분열되어서 여러개의 소포자로 발달하는데 1개의 소포자 내에 0~3개의 핵이 관찰되었다. 이렇듯 비정상적인 경로로 생긴 소포자는 결국 정상적인 화분으로 발육하지 못하고 그림에서

보듯이 대부분 2핵기 정도에 이르게 되면 퇴화해서 (그림 3의 6) 결국 출수개화기에 불임화분이 되는 것으로 나타났다. 성숙화분을  $I_2$ -KI 용액으로 염색시 화청벼(그림 3의 8)는 염색이 잘 되었지만 웅성불임계통(그림 3의 7)은 염색되지 않았고 화분의 형태도 작고 찌그러져 있었다. 이로 보아 웅성불임계통 47,350ms의 웅성불임화시기(정상 화분발육경로 이탈시기)는 감수분열기 이전일 것으로 추정된다. Lu & Lutger<sup>11)</sup>도 벼에서 감수분열기 이전에 화분모세포가 기형화되는 변이체를 보고한 바 있다.

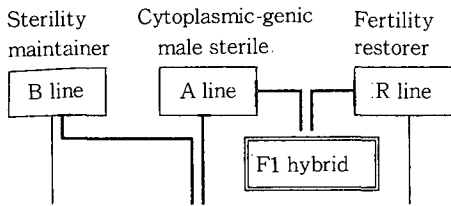
환경변화에 대한 웅성불임의 안정성을 평가하기 위하여 포장(적온) 및 온실(고온)에서 심백변이체(웅성불임)를 여러차례 파종하였다. 출수기별로 종실임성을 보면 (표 6) 모두 완전불임이었다. 표로 제시하지는 않았지만 온실에서 극단일(일장 8시간/일) 및 극장일(일장 18시간/일)조건에서 재배한 결과도 모두 완전불임이었다. 즉, 47,350ms의 웅성불임성은 온도와 일장의 영향에 무관하게 안정적이었다.

Table 6. Grain fertility of genic male-sterile plants by different cultural conditions

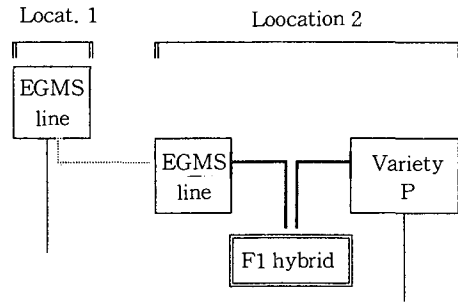
Heading date	Grain fertility (%)	
	Field	Greenhouse
Jan. 14	-	0
May 30	-	0
Jul. 14	-	0
Aug. 20	0	0
Sep. 30	0	0
Nov. 25	-	0

### 4. 새로운 일대잡종 육성체계 개발

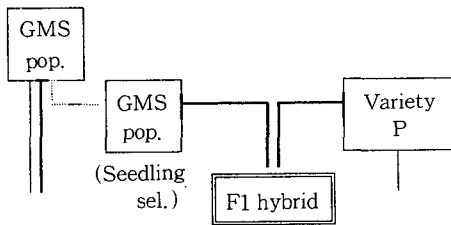
그림 4 및 표 7은 살정제(殺精劑) 등의 약제처리 없이 CGMS 및 GMS를 이용하여 일대잡종 종자를 생산하는 모식도와 그 효율을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 GMS를 이용하는 경우에는 웅성불임계통 이외에 불임유지친이나 임성회복친과 같은 특정 유전자형이 필요없기 때문에 CGMS보다는 잡종조합 선택에 있어서 절대적으로 유리하다<sup>18)</sup>.



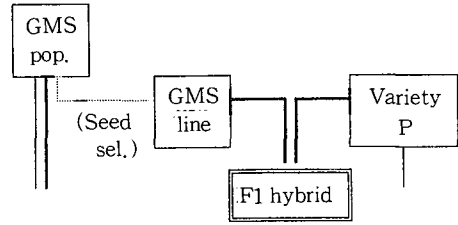
A. Cytoplasmic-genic male sterility



B. Environment-sensitive GMS



C. GMS having young-plant maker



D. GMS having seed marker

— : Selfing      == : Natural outcrossing

Fig. 4. Diagrams of F<sub>1</sub> seed production system utilizing different male sterility.

Table 7. Comparison of hybrid seed production systems

	CGMS	EGMS	GMS (YM) <sup>a)</sup>	GMS (SM)
Required No. of parents	3	2	2	2
No. of natural outcrossing plots	2	1	1.5 <sup>b)</sup>	1.5
No. of selfing plots	2	2	1.5	1.5
Locational limitation in hybrid seed prod.	No	Yes	No	No

a) YM: utilization of young-plant marker  
SM: utilization of seed marker

b) The number 0.5 denotes the case that GMS seeds can be produced both by selfing and outcrossing.

EGMS<sup>12)</sup>를 이용하는 경우의 특징은 웅성불임 종자를 얻기는 가장 용이한 반면 자연교잡에 의해 잡종종자를 생산할 수 있는 지역이 제한적이라는 것이다. 지금까지 알려진 PGMS<sup>6)</sup>는 장일조건에서 TGMS<sup>12)</sup>는 고온조건에서 웅성불임화되는 것인데 특정지역의 일장이나 온도는 자연상태에서 상당한 정도의 변이가 있을 수 있고, 또한 양자 모두 고온장일의 영향을 받기 때문에 자연조건에서 100% 웅성불임화가 어려워 一代雜種種子의 純度가 낮아져서 문제이다<sup>18)</sup>. 분리집단에서 GMS개체를 식별할 수 있도록 GMS 유전자와 밀접하게 연관되어 있는 표지형질을 이용하여 생육초기 또는 유효상태에서 웅성불임개체를 가려냄으로써 GMS를 일대잡종품종 육성에 이용하고자 노력하



여 왔으나 아직 실용화에는 이르지 못하고 있다.<sup>4</sup>  
<sup>6)</sup> 한편 본 연구의 돌연변이체는 종자상태에서 응성불임종자(심백종자)를 가려낼 수 있어서 응성불임개체의 선별 육묘가 가능하기 때문에 육묘초기에서 표지형질을 이용하는 체계보다 더 효율적일 것으로 보인다. Msms:msms=1:1의 집단에서 msms개체에 자연교잡된 종자를 수확하는 경우 응성불임종자의 비율은 이론적으로 50%가 될 것이고, msms종자는 일대잡종종자 생산에 모두 소모한 후 나머지를 가지고 자식시켜서 응성불임종자를 얻고자 할 경우에는 표 8에서와 같이 Fn 세대의 종자에서  $1/(2^{n-1}+2)$ 의 비율로 응성불임종자가 분리하게 된다. 실제 잡종종자 생산을 위해 응성불임개체들을 얻고자 할 때에는 응성불임종자 소요량과 자연교잡율을 동시에 고려하여 적정세대와 방법을 결정해야 할 것이다.

47350ms의 종자는 심백특성을 보이는데 그림 1과 그림 2에서 나타났듯이 배유 중심부분의 전분 결정구조가 느슨했고, 따라서 현미상태에서 절대 밀도는(표 4) 정상종자가 1.486 g/cm<sup>3</sup>인 반면 심백종자는 1.430 g/cm<sup>3</sup>으로 꽤 차이가 있다. 이 점에 착안하여 소금물을 이용한 비중선으로 정상종자와 심백종자(응성불임종자)를 정조상태에서 선별할 수 있는 가능성을 본 것이 표 9이다. 비중을 1.11~1.18 g/cm<sup>3</sup> 까지 놓고 분리집단을 비중선하여 뜨는 종자와 가라앉은 종자를 별도로 채취하여 현미를 만든 후 정상종자와 심백종자로 각각 구분하여 종자 갯수를 나타내었다. 표에서 비중 1.11 g/cm<sup>3</sup>에서 정상종자는 등숙불량립(25립)을 제외하고는 모두 침몰하였고, 심백종자는 총 393립 중에서 등숙불량립(30립)을 포함하여 89립이 부유한 것을 볼 수 있다. 비중 1.18 g

Table 8. Proportion of GMS seeds in segregating populations when bulk seeds of normal appearance were grown and selfed for GMS seed production

Seed generation	Segregation of genotypes	Proportion of GMS(mm) seeds
F2 seed	<div style="text-align: center;">           b)            1 MM<sup>a)</sup> 2 Mm <span style="border: 1px dotted black; padding: 2px;">1 mm</span> </div>	1/4
F3 seed	<div style="text-align: center;">           1 MM 1/2 MM 1 Mm <span style="border: 1px dotted black; padding: 2px;">1/2 mm</span> </div>	1/6
F4 seed	<div style="text-align: center;">           3/2 MM 1/4 MM 1/2 Mm <span style="border: 1px dotted black; padding: 2px;">1/4 mm</span> </div>	1/10
Fn seed		$1/(2^{n-1}+2)$

a) m: male-sterile gene, M: Normal

b) All GMS seeds in dotted rectangle are consumed for hybrid seed production.

Table 9. Effect of selection by specific gravity in dividing the seeds into normal and chalky ones in segregating population

Specific gravity(g/cm <sup>3</sup> )	No. of normal seeds			No. of chalky seeds		
	Submerged	Floating	Total	Submerged	Floating	Total
1.11	1,192	25( 25) <sup>a)</sup>	1217	304	89( 30)	393
1.12	1,248	36( 33)	1284	269	131( 60)	399
1.13	1,243	96( 86)	1339	256	145(108)	401
1.14	1,398	136( 90)	1534	72	426( 89)	498
1.15	1,322	140( 84)	1452	59	412( 66)	471
1.16	1,151	147(101)	1298	45	438(123)	483
1.17	1,254	260(102)	1514	17	595( 89)	612
1.18	678	703(143)	1381	0	502( 72)	502

a) Number in parentheses are the number of poorly-ripened grains out of each class total.

Table 10. Plant height of GMS line

	Days after seeding		Days after transplanting		
	15	30	15	30	45
Hwacheong	14.2±2.1	25.4±2.1	27.7±2.9	46.8±2.9	76.7±2.5
Hwacheong GMS (47350ms)	9.2±1.9	18.9±2.7	22.6±2.8	37.5±3.2	64.0±3.5
Difference	**	**	**	**	**

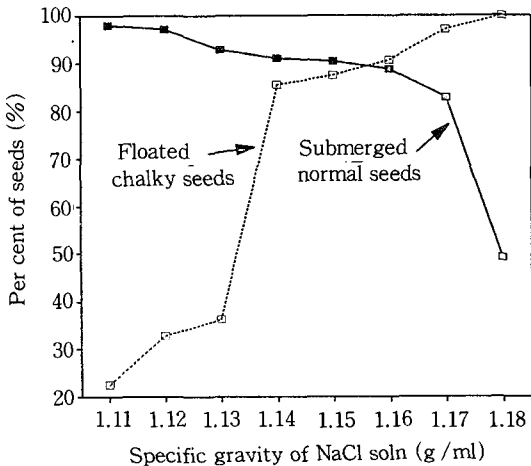


Fig. 5. Percent of submerged and floated seeds in NaCl solution of different specific gravity.

/cm<sup>3</sup> 에서는 정상종자도 등숙불량립을 포함하여 약 절반 이상이 부유하였고, 심백종자는 모두 부유하였다. 그러나 표에서 볼 수 있듯이 정상상태에서 비중선으로 정상 및 심백종자를 예외없이 확연히 구분하기는 어려울 것 같았다. 이는 현미와 달리 정조는 현미와 왕겨 사이에 빈 공간이 존재하고 그것도 종자간에 차이가 있어서 兩種子群의 비중 차이가 불분명하였기 때문인 것으로 생각되었다. 그림 5는 이 결과를 각 종자의 비율로 환산한 것이다. 그림에 나타났듯이 정상종자와 심백종자를 비중선에 의해 구분할 경우 실용적인 비중은 1.14~1.16 g/cm<sup>3</sup> 정도가 적당할 것으로 보였다. 이 비중으로 비중선한 웅성불임종자 집단내에는 85~90%의 웅성불임종자와 10~15%의 정상종자가 섞이게 된다. 그러나 표 10에서 볼 수 있듯이 정상식물체는 웅성불임식물체에 비해 생육초기부터 월등히 초장이 크므로 유도에서 초장으로 판별하면 섞인 10~15%의

정상식물체를 쉽게 제거할 수 있을 것으로 생각된다. 한편 비중선으로 선별된 심백종자중에도 표 2에서 볼 수 있듯이 웅성불임종자 이외에 환경변이에 의한 심백종자가 극히 일부 섞일 수가 있는데(989개의 심백종자중 8개, 약 1%) 이들 역시 동일 방법으로 쉽게 판별이 가능하리라 생각된다.

47,350ms의 자연교잡율을 검토한 결과가 표 11과 표 12이다. 표 11은 각 처리별,반복별로 자연교잡율을 평균한 것인데 수분조작처리를 하였을 때, 화분친 1열보다는 2열이, 웅성불임계통 열수가 적을수록 평균 자연교잡율은 높아졌고, 최고는 수분조작처리구의 화분친 2열+웅성불임계통1열 구의 17.3%이었다. 이 자연교잡율은 통일계의 CGMS를 사용하여 자연교잡율을 검토한 許 등<sup>3)</sup>의 결과와 유사하나, Japonica CGMS로 실험한 許와 高<sup>2)</sup>의 자연교잡율 5.7~36.1%에 비하면 낮은 수준인데 아마도 재식거리의 차이에 기인된 것 같다. 각 처리구별로 자연교잡종자의 수량을 보면(표 12) 12.5~31.7 kg/10a 정도이었다. 웅성불임계통의 재식열수가 적은 구에서는 자연교잡율은 높았지만 단위재배면적당 재식개체수가 적기 때문에 오히려 수량은 낮아졌다. 자연교잡종자 생산포에서는 교잡종자의 수량이 가장 중요하지만 동시에 화분친의 수량도 고려하여 적정 재식방법을 택해야 할 것이다.

한편 이 웅성불임계통(47,350ms)을 이용하여 일대잡종품종을 재배할 경우 수확되는 곡실은 정상:심백이 3:1로 분리하게 되어서 문제이다. 품질 측면에서는 용도의 다양화를 통해<sup>4)</sup> 극복할 수도 있을 것이나 실제 심백 미립의 절대밀도가 약간 낮기 때문에(표 4) 수량성이 정상인 것에 비해 낮아질 우려가 있게 된다. 그러나 그림 6에서 볼 수 있듯이 47,350ms와 화청벼를 교잡후 homo 정

Table 11. Natural outcrossing rate of GMS line by some treatments<sup>a)</sup>

Treatment (A)	No. of pollinator rows(B)	No. of GMS rows(C)			Mean
		1	2	3	
..... (%) .....					
Natural condition	1	7.7	9.3	9.6	8.9
	2	13.1	8.3	7.2	9.5
	Mean	10.4	8.8	8.4	9.2
GA <sub>3</sub> + leaf cutting + rope	1	13.0	11.6	11.8	12.1
	2	17.3	16.6	12.1	15.3
	Mean	15.1	14.1	12.0	13.7
Grand mean		12.8	11.5	10.2	11.5

a) Planting distance: 30×15 cm

\* LSD .05 → A1-A2 : 1.54 %      A1C1-A1C2 : 1.93 %  
 B1-B2 : 0.98                      B1C1-B1C2 : 1.93  
 C1-C2 : 1.37                      A1B1C1-A1B1C2: 2.73  
 A1B1-A1B2 : 1.39

Table 12. Outcrossed seed yield of GMS line by some treatments

Treatment (A)	No. of pollinator rows(B)	No. of GMS rows(C)			Mean
		1	2	3	
..... (kg /10a).....					
Natural	1	12.5	23.0	31.3	22.3
	2	14.4	14.9	19.9	16.4
	Mean	13.5	19.0	25.6	19.4
GA <sub>3</sub> + leaf cutting + rope	1	18.7	26.9	31.7	25.8
	2	17.5	31.3	31.0	26.6
	Mean	18.1	29.1	31.4	26.2
Grand mean		15.8	24.1	28.5	22.8

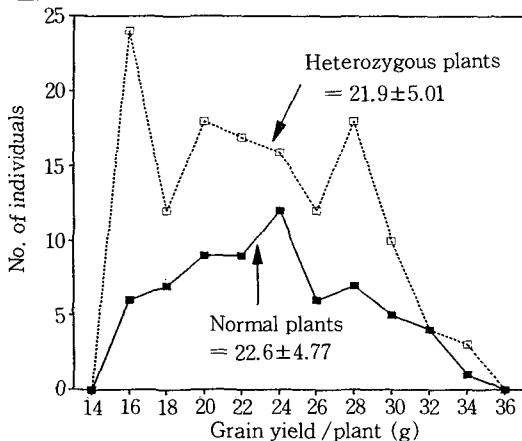


Fig. 6. Grain yield per plant of homozygous normal and heterozygous plants in segregating populations from the cross of 47320ms /Hwacheongbyeo.

상개체와 hetero개체가 분리하는 F<sub>2</sub>집단에서 그들을 구분하여 개체별 수량을 구해보면 homo 정상개체는 22.6±4.77g, hetero개체는 21.9±5.01g이었다. 즉 양자간에는 약 3%정도의 차이밖에 없었기 때문에 이 응성불임을 잡종품종에 이용하는 경우 15~20% 이상의 잡종강세를 감안할 때<sup>9)</sup> 수량감소는 우려할 정도는 아니었다. 그러나 이 응성불임계통(47,320ms)이 실제로 잡종종자 채종에 이용될 수 있기 위해서는 이 계통 자체의 잡종조합능력 뿐만 아니라 타 품종의 높은 교배조합능력을 이 계통으로 이전하는 노력이 우선되어야 하겠고, 잡종종자생산과 관련하여 실용적 측면에서의 보다 광범위한 검토가 수반되어야 할 것이다.

## 摘 要

화청벼에서 유기시킨 心白胚乳 및 遺傳子의 雄性不稔 突然變異系統에 있어서 두 특성간의 상호 관련성을 검토하였고, 종실의 몇가지 이화학적 특성을 밝혔다. 돌연변이계통의 생육형질과 불임의 안정성을 조사하였고 웅성불임화시기를 추정하였다. 이들을 토대로 웅성불임종자의 조기 외관 식별에 의한 새로운 일대잡종품종 육성체계를 구상하였고 자연교잡율도 검토하였다. 그 결과는 다음과 같이 요약된다.

1. 심백 및 유전자적 웅성불임 돌연변이는 다면발현 효과를 가진 單純劣性遺傳子에 의해 지배되었다. 즉 이 돌연변이계통이 교잡된 분리집단에서 심백종자는 곧 웅성불임종자임을 확인하였다.
2. 심백종자는 외형과 크기는 정상종자와 동일하였으나 배유 중앙부위의 전분결정조직이 성기고 전분입자 모양도 원형~타원형이었다. 따라서 1,000립중, 절대밀도, 경도 등이 정상종자에 비해 유의하게 낮아졌다.
3. 심백종자의 단백질함량과 알칼리 붕괴도는 정상종자와 동일하였으나 아밀로스함량이 유의하게 낮아졌고, 호응집성에서는 상당히 harder gel 특성을 보였다.
4. 웅성불임식물체는 정상식물체에 비해 草長 및 稈長이 현저히 단축되었고 이삭추출이 불량하였으며 株當穗數가 유의하게 적었다.
5. 화분발육단계 중 웅성불임화시기는 감수분열기 이전인 것으로 추정되었고, 이 웅성불임은 온도나 일장에 관계없이 항상 안정적이었다.
6. 이 돌연변이체를 이용하여 일대잡종을 육성하는 체계를 구상하였고, 그 효율을 세포질적-유전자적 웅성불임(CGMS)이나 환경감응 유전적 웅성불임(EGMS) 등을 이용하는 체계와 비교하였다.
7. 분리집단에서 正粗상태로 웅성불임종자를 선별시 比重選 단독으로는 비중 1.14~1.16 g/cm<sup>3</sup>에서 순도 85~90% 웅성불임종자의 순도

로 웅성불임종자를 선별할 수 있었는데, 10~15%의 혼입된 정상종자는 파종 후 유묘 또는 일대잡종생산포에서 생육상태 관정으로 용이하게 제거할 수 있을 것으로 판단되었다.

8. 웅성불임계통의 자연교잡율은 수분조작처리구 (GA<sub>3</sub> 처리+지엽절단+rope 사용 화분털기)에서 화분친 2열, 웅성불임 1열 재식시 17.3%로 가장 높았다.

## 引用文獻

1. 허문회, 고희중. 1990. 웅성불임을 이용한 수도 잡종품종 개발. VI. Japonica형 수도에서 세포질적-유전자적 웅성불임 및 임성회복계통 육성. 한국육종학회지 22(2): 10-19.
2. 허문회, 고희중. 1990. Japonica벼에서 CMS 및 유지친의 재식방법에 따른 교잡종자 생산량. 한국육종학회 추계학술발표회 초록집 pp. 25.
3. 허문회, 박순직, 김홍렬, 고희중. 1988. 벼 웅성불임계통 및 유지친의 재식방법이 교잡종자 생산량에 미치는 영향. 한국작물학회지 33(2):138-145.
4. Jorgensen, R. A. 1987. A hybrid seed production method based on synthesis of novel linkage between marker and male-sterile genes. Crop Sci. 27:806-810.
5. Juliano, B. O. 1974. Cereal Chemistry Procedure. IRR, 165p.
6. Kaul, M. L. H. 1988. Male sterility in higher plant. Springer-Verlag. pp. 15-96.
7. 김광호, 고희중, 이장훈, 박순직, 허문회. 1993. 특수 가공용 미질 개발 : 분상질배유 돌연변이계통의 이화학적 특성과 유전. 한국작물학회지 38(3):264-274.
8. 고희중, 허문회, 강성모. 1992. 미립 절대밀도의 품종간 변이 및 미립형질과의 관계. 한국작물학회지 37(3):244-248
9. 고희중, 김홍렬, 허문회. 1991. 벼 잡종품종의 개발연구 현황과 전망. 서울대 농학연구지

- 16(1):11-23.
10. Lu, X., J. Zhou, J. Wang, G. Fang, W. Zhou, and S. Yang. 1987. Application of photoperiod-sensitive genic male sterility (PGMS) in hybrid rice breeding. A Paper Presented at the Intern. Rice Res. Conf., Sept. 21-25, 1987 Hangzhou, China, 8p.
  11. Lu, Y. G. and J. N. Rutger. 1984. Cytological observations on induced genetic male sterile mutants in rice (*Oryza sativa* L.). *Sci. Sin.* 27:483-493. Kaul, M. L. H. ed. 1988, 'Male Sterility in Higher Plants', Springer-Verlag, pp. 53에서 재인용.
  12. Maruyama, K., H. Araki and H. Kato. 1991. Thermosensitive genetic male sterility induced by irradiation. In *Rice Genetics II*, IRRI, pp. 227-232.
  13. Shao, K. and D. Hu. 1988. Chemical emasculators for hybrid rice. In *Hybrid Rice*, IRRI, pp. 139-146.
  14. 서학수, 조영찬. 1987. 세포질적 유전자적 응성불임을 이용한 벼 1대잡종 육성 연구. II. 유전자적 응성불임계통을 이용한 1대잡종 벼의 수량과 미질. *한국작물학회지* 32(2):151-156.
  15. Suh, H. S., J. D. Kim, M. H. Heu and G. S. Chung. 1991. Linkage relationships between genetic male sterile and marker genes in rice. In *Rice Genetics II*, IRRI, pp. 121-126.
  16. 田代 亨, 江幡守衛. 1975. 腹白米に関する研究. 第4報. 白色不透明部の胚乳細胞の形態的特徴. *日本作物學紀事* 44(2):205-214.
  17. Wan, B., D. Li and Q. Xuan. 1988. Classifications of male sterile cytoplasm in rice by their nuclear-cytoplasm interactions. In *Hybrid Rice*, IRRI, pp. 262-263.
  18. Yuan, L. P. 1992. Development and prospects of hybrid rice breeding in China. In *Agricultural Biotechnology, Proceed. of Asia-Pacific Conf. on Agric. Biotech.*, Aug. 20-24, 1992, Beijing, China, pp. 97-105.