

## 가뭄저항성 GM벼(CaMsrB2-8)의 농업적 특성의 퇴화 가능성 검정

김보라<sup>1</sup> · 손진환<sup>1</sup> · 김혜련<sup>1</sup> · 함정관<sup>1</sup> · Sanjeev Kumar Dhungana<sup>1</sup> · 박순기<sup>1</sup> · 신동현<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 농업생명과학대학 응용생명과학부 식물생명과학전공

### Deterioration of Agronomic Characteristics of Drought-Resistant GM Rice (CaMsrB2-8)

Bo-Ra Kim<sup>1</sup>, Jin-Hwan Son<sup>1</sup>, Hye-Ryun Kim<sup>1</sup>, Jung-Kwan Ham<sup>1</sup>, Sanjeev Kumar Dhungana<sup>1</sup>, Soon-Ki Park<sup>1</sup>, and Dong-Hyun Shin<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Daegu 702-701, Korea. Division of Plant Biosciences, School of Plant Biosciences, Kyungpook National University  
(Received on April 2, 2013; Revised on May 14, 2013; Accepted on May 27, 2013)

**ABSTRACT.** The purpose of this study is to observe the growth habit and investigate a possibility of cultivating the GM rice (CaMsrB2-8) as a rice cultivar having drought resistance. Germination viability test showed that there was no significant difference between the drought-resistant GM(CaMsrB2-8) and non-GM (Ilmi) rice which was the parent variety at the GM rice. All the seeds of CaMsrB2-8 and Ilmi germinated after 6 days. Viviparous germination was not found in CaMsrB2-8 and Ilmi that was grown in greenhouse at 23±2°C with water spraying for 40 days. Ratooning of CaMsrB2-8 and Ilmi was observed in 7-14 days and found uniform in field condition. CaMsrB2-8 seemed to grow faster than Ilmi. But CaMsrB2-8 and Ilmi were similar in 14-21 days. Both CaMsrB2-8 and Ilmi showed low seed shattering and more than 90% grains were ripened. All the seeds scattered in the paddy soil surface were not germinated after passing the winter. This study suggests that the drought-resistant GM rice was not significantly different with the parent variety of Ilmi in many agronomic characteristics such as wildness traits.

**Key words:** Agronomic characteristics, Drought-resistant, GM rice

## 서 언

기후변화로 인한 강수량의 양극화가 심화되고 있는 가운데 가뭄에 따른 건조한 아열대성 지역의 확산으로 사막화의 우려가 커지고 있다. 특히, 가뭄의 피해는 대부분 논 농사를 하는 지역에서 나타나고 있다. 세계 각국은 가뭄으로 인한 환경적, 경제적, 개인 등 전반적인 사회 문제에 영향을 미치는 것에 주목을 하고 있다(Kim et al., 2011).

우리나라는 지구온난화의 영향으로 작물재배에 적합한 일수가 증가하고 강수량이 큰 폭으로 늘어나고 있지만 일정 기간에 집중되는 강수량과 평균 기온의 상승으로 인해 수분의 증발량이 많아지고 있다. 그로 인해 충분한 강수량임에도 불구하고 가뭄 피해를 입는 작물이 증가하고 있으며 고온에 약한 작물들의 생산성에 영향을 미칠 것으로

예측되고 있다(Kim, 2011). 이와 같은 기후변화로 인해 야기되는 다양한 문제를 해결하기 위한 방안으로 생명공학 기술의 도입과 적용이 제시되고 있다. 그 중 분자생물학의 급속한 발전으로 농업적 생산성 증대를 위한 환경저항성 GM (Genetically modified) 작물들이 개발되고 있다(Park et al., 2007).

이들은 향후 상용화를 위하여 국가별로 심사 중 이거나, 위해성평가를 진행하기 위한 재배실험을 실시하고 있으며, GM작물은 주로 기후변화에 따른 환경에 적응할 수 있는 작물들로 우리나라 역시 농촌진흥청 등에서 진행하고 있는 것으로 알려져 있다(Lee, 2010). 하지만, GM작물에 대한 연구와 재배가 시작 된지 약 20년 가까이 되고 있지만 GM작물의 안전성에 대한 논란은 계속되고 있다. 시간이 지나면서 대체적으로 우려할 만한 수준의 위해성은 내포하고 있지 않다는 견해가 많아지고는 있지만 잠재위험성에 대한 우려는 여전히 남아있는 실정이다(Lee, 2008). 이런 이유로 GM작물의 개발과 차후 농가 보급을 위해서 GM작물의 안전성 및 위해성에 대한 검증이 요구되고 있다.

\*Corresponding author:

(Phone) +82-53-950-5707, (Fax) +82-53-958-6880  
E-mail) dhshin@knu.ac.kr

GM작물의 환경위해성은 특성상 단기간에 평가할 수 없으며 객관적인 평가를 위해 과학적인 접근이 필요하다(Ryu, 2000). GM작물의 개발 및 보급은 농업생산성을 향상시킨다는 면에서 공감하고 있다. 따라서 GM작물들에 대한 환경 위해성 평가가 함께 이루어진다면 이 분야에 대해서 경쟁력이 확보될 수 있다고 본다(Lee et al., 2012).

본 연구에서는 급변하는 기후변화에 대비한 가뭄저항성을 지닌 GM벼(CaMsrB2-8)와 그 모품종인 일미를 대상으로 자연환경에서 생존, 생식, 번식 능력을 비교조사하여 가뭄저항성을 지닌 GM벼(CaMsrB2-8)의 재배 가능성에 대하여 알아보려고 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 생육특성

가뭄저항성 GM벼(CaMsrB2-8)와 non-GM벼(일미)의 생육 및 형질특성 조사를 위해 2012년 경북대학교 농업생명과학대학 부속실험실습장의 생물안전성 격리포장에서 파종하고, 재식거리를 20×40 cm로 6월1일 기계이앙 하였다. 생육특성은 GM벼(CaMsrB2-8)와 모품종(일미) 각각 20개 체씩 선발하여 출수기, 간장, 수장, 수수, 등숙률, 천립중을 조사하였다.

### 발아특성과 저온발아성

공시재료 모두에서 휴면성이 없는 것으로 나타나 종자의 발아특성을 조사하였다. 종자 생존력의 중요한 특성 중 하나인 발아특성을 조사하기 위하여 가뭄저항성 GM벼(CaMsrB2-8)와 모품종인 일미를 출수 50일째에 수확하여 충실한 종자를 정선하고 여과지(Whatman No. 2) 2매를 깔 페트리디쉬에 100립씩 3반복으로 치상하고 50°C 항온기에 5일간 방치하여 휴면을 타파하였다. 발아율 조사를 위해 각 페트리디쉬에 10 ml의 증류수를 첨가하여 30°C의 항온기에서 발아시켰으며, 발아율은 치상 후 2일 간격으로 조사하였다. 저온발아성은 13°C에서 수행하였고(Jeong et al., 2004) 발아유무는 유근이 2 mm 이상 신장된 것을 발아된 것으로 판정하였다.

### 수발아성

벼를 수확하기 전에 고온 다습한 환경에서 벼이삭의 종자가 발아하는 수발아를 조사하기 위하여 가뭄저항성 GM벼(CaMsrB2-8)와 모품종인 일미의 출수 후 45일째부터 약 23±2°C인 온실에서 스프레이를 이용하여 15이삭에 물을 충분히 분무하여 흘러내리도록 하루에 2회씩 분무하였다. 수발아율은 이삭에 물 분무 시작 후 10일 간격으로 총 4회 조사하였다(Park and Kim, 2009).

### Ratooning(예아) 후 성장속도

벼 뿌리 도복의 간접적인 측정방법으로 라튜닝 후 지상부 생장을 조사하였다(Lee et al., 2011). 가뭄저항성 GM벼(CaMsrB2-8)와 모품종인 일미의 간접적 뿌리 도복 조사를 위하여 출수 후 45일 된 식물체 5개체를 온실에 옮겨 표토로부터 10 cm 위를 자른 후 7일 간격으로 초장을 측정하였다.

### 탈립성

GM벼 종자확산에 중요한 영향을 미치는 탈립 정도를 조사하기 위하여, 가뭄저항성 GM벼(CaMsrB2-8)와 모품종 일미를 출수 후 50일째에 5이삭씩 5반복으로 채취한 다음, Force gauge (Simpoo Ind. Co. Ut, 200 g)를 이용하여 소지경이 부착된 상태의 벼 낱알 25개를 각각 잘라낸 후 측정부위에 수평방향으로 고정시킨 다음 직각으로 꺾어서 낱알이 탈립될 때까지의 최대 하중을 항곡강도로 측정하였다(Lee et al., 2011).

### 등숙률

GM벼 종자확산에 영향을 미치는 등숙률을 조사하기 위하여, 가뭄저항성 GM벼(CaMsrB2-8)와 모품종인 일미를 출수 후 50일째에 5이삭씩 5반복으로 채취한 다음, 손으로 탈립 시킨 후 임성립과 불임립을 구분하여 측정하였다.

### 종자월동성

토양수분에 따른 종자의 월동성을 알아보려고, 가뭄저항성 GM벼(CaMsrB2-8)와 모품종인 일미를 건조구와 습윤구로 나누어 실시하였다. 종자 월동시험은 실외온도가 평균 약 10°C 이하였던 시점으로 2011년 12월 7일부터 2012년 6월 3일까지 180일 동안 경북대학교 농업생명과학대학 교내 실험실습장의 야외 포트시험장에서 진행하였다. 육묘상자(411×244×114 mm)에 인공상토를 채우고 출수 후 50일째의 충실한 종자 1,000립씩 각각의 시험구에 파종한 후 가볍게 복토하였다. 5 cm 크기로 자른 벧짚을 복토한 상토가 약간 보일 정도로 피복하여 실제 포장의 낙립과 유사한 환경을 만들었으며, 발아율은 30일 간격으로 조사하였고 부패하거나 발아 후 마른 식물체는 발아율에서 제외하였다. 습윤구는 휴대용 토양수분측정기(3 in 1 Moisture Light & PH Meter)를 사용하여 포화수분상태를 유지할 수 있도록 수시로 확인하며 관수하였고, 대조구로 자연방임구는 관수는 전혀 하지 않았으며 강우는 허용하였다.

### 통계처리

실험결과는 SPSS 통계분석 프로그램을 사용하여 통계처리 하였고, ANOVA를 이용하여 분산분석을 실시하였으

**Table 1.** Growth characteristics of GM (CaMsrb2-8) and non-GM (Ilmi) rice.

Cultivar or line	Days to heading (days)	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	No. of panicle (ea)	1,000 grain weight (g)
CaMsrb2-8	117	94.4±2.25	17.0±1.98	14.4±1.86	25.1±1.61
Ilmi	118	93.9±2.08	15.6±2.01	16.7±1.97	27.1±1.29

\* Values are the mean±SE

며 5% 수준에서 Duncan의 다중범위 검정을 실시하였다.

### 결과 및 고찰

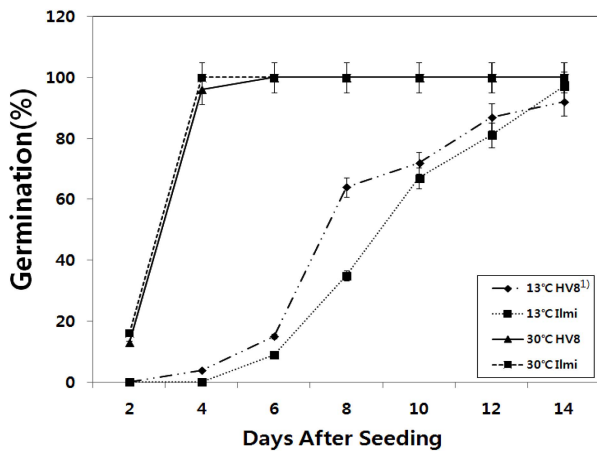
가뭄저항성 GM벼(CaMsrb2-8)와 모품종 일미에 대한 생육특성을 조사한 결과를 Table 1과 같다. 파종에서 출수까지의 일수는 GM벼(CaMsrb2-8)와 일미의 출수일이 각각 117일과 118일로 비슷한 시기에 출수하는 것을 확인하였다. 간장의 길이는 평균 약 94 cm 정도이며, GM벼(CaMsrb2-8)와 모품종 일미 모두 유사한 평균길이를 보였다. 수장은 GM벼(CaMsrb2-8)가 약 17 cm로 일미보다 약 1.4 cm 정도 길었으며, 수수는 GM벼(CaMsrb2-8)에서 모품종인 일미보다 평균 약 2.3개 정도 적은 것으로 나타났다. 친립중은 GM벼(CaMsrb2-8)가 일미보다 약 2 g 정도 낮은 경향을 보였다. 따라서 GM벼(CaMsrb2-8)와 모품종 일미 간의 생육에 관한 형질 변화가 형태학적으로는 큰 차이를 보이지 않아 도입된 가뭄저항성 유전자가 가뭄저항성 이외의 농업적 형질에는 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다.

Fig. 1에서 치상 4일째 GM벼(CaMsrb2-8)와 일미 모두 100%에 가까운 발아율을 보였으며, 치상 6일째 모두 발아하였다. 따라서 GM벼(CaMsrb2-8)의 발아는 모품종과

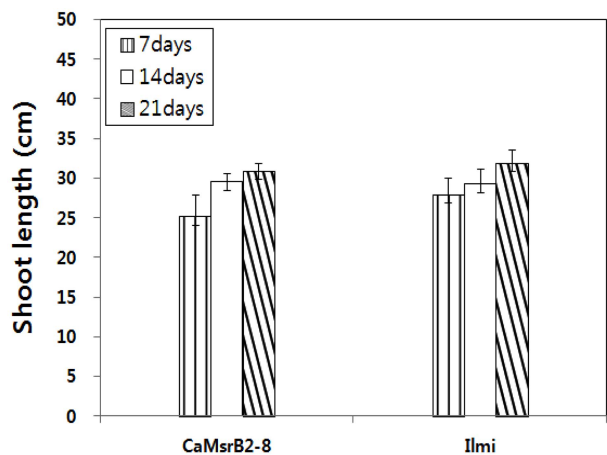
**Table 2.** Viviparous germination of GM (CaMsrb2-8) and non-GM (Ilmi) rice.

Cultivar or line	Total no. of seeds	Germination rate (%)			
		10 day	20 day	30 day	40 day
CaMsrb2-8	1,500	0	0	0	0
Ilmi	1,150	0	0	0	0

거의 차이가 없음을 확인하였다. 균일한 발아율은 GM벼(CaMsrb2-8)가 모본과 같이 재배 품종이 될 수 있는 발아 특성을 모품종에서 받은 재배작물로서의 유지하고 있음을 나타내는 결과로 볼 수 있다. 형질전환에 의한 농업적 특성의 퇴화가 일어나면 가뭄저항성과 같은 목표 형질이 우수하더라도 재배 품종으로서의 가치가 없게 된다. 저온발아성 실험에서는 GM벼(CaMsrb2-8)의 발아율은 모품종 일미보다 치상 후 6-8일째에 급격히 증가하였다. 특히, 치상 후 12일째 발아율이 일미보다 높은 것을 확인할 수 있었고, 14일째 GM벼(CaMsrb2-8)와 일미 모두 90% 이상의 발아율을 보였다(Fig. 1). 일미의 경우 치상 후 12일째에 80% 이상의 발아율을 보였다. 이는 Yang and Yeو (1997)가 보고한 우리나라 육성품종 32품종 및 계통의 평균발아 일수와 비슷한 수준이었다.



**Fig. 1.** Germination research of GM (CaMsrb2-8) and non-GM (Ilmi) rice by temperature. Drought-resistant GM rice: CaMsrb2-8. The vertical lines represent the standard error of the mean.



**Fig. 2.** After ratooning aerial part growth of GM (CaMsrb2-8) and non-GM (Ilmi) rice. The vertical lines represent the standard error of the mean.

**Table 3.** Shattering of GM (CaMsrB2-8) and non-GM (Ilmi) rice.

Cultivar or line	No. of spikelets	Bending strength (gf)	
		Year 2011	Year 2012
CaMsrB2-8	25	1.83±0.33	1.27±1.66
Ilmi	25	2.61±0.36	2.67±0.95

\* Values are the mean±SE

등숙이 완료된 가뭄저항성 GM벼(CaMsrB2-8)와 모품종인 일미의 수발아성을 조사해 본 바, 충분한 수분을 공급하였음에도 불구하고 수발아 되는 이삭은 발견되지 않았다. Kang et al. (2011)의 보고에 의하면 기후변화로 인하여 등숙기에 갖게 발생하는 집중호우 및 태풍 등의 고온 다습한 환경이 길어짐에 따라 수발아 피해가 늘어나는 시점에서 가뭄저항성 GM벼(CaMsrB2-8)는 내도복성 품종인 모품종 일미와 같이 수발아가 발생하지 않아 수발아에 의한 미질 저하와 수량의 피해는 없을 것으로 생각된다(Table 2).

가뭄저항성 GM벼(CaMsrB2-8)와 모품종인 일미의 라튡닝 후 지상부의 생장을 보면 초기인 7일째에 급격한 증가를 보였고, 일미의 성장 속도가 GM벼(CaMsrB2-8) 보다 더 빨랐으나 라튡 후 14일과 21일 경과 후 조사에서는 차이가 비슷하였다(Fig. 2). 뿌리도복은 뿌리가 지탱하는 힘이 약해질 경우 발생하는데 이는 라튡닝 후 지상부의 생육을 통해 가능할 수 있다(Lee et al., 2011). 벼의 뿌리가 약해질 경우 주변에서 발생하는 잡초와의 경쟁력이 낮아져 수량 등에 영향을 미칠 것으로 보인다. 본 실험의 가뭄저항성 GM벼(CaMsrB2-8)는 모품종과 유사한 지상부 생육을 보임으로 유전자 조작에 의한 뿌리도복이 일어나지는 않는 것으로 나타났다.

종자의 확산에 중요한 영향을 미치는 탈립의 정도를 비교하기 위해 항곡강도를 조사한 결과는 Table 3과 같다. 2011년도 조사한 GM벼(CaMsrB2-8)가 모품종인 일미에 비해 탈립의 수치가 약 0.78(gf)로 낮은 경향을 보였고, 2012년도 조사에서 약 1.3(gf)로 2011년도 GM벼(CaMsrB2-8) 보다 탈립 정도는 더 양호했다. 일미는 두 해 모두 2.6(gf) 이상으로 비슷한 탈립 정도를 보였다. GM벼(CaMsrB2-8)의 임성율과 불임율을 통한 등숙율의 조사에서도 모품종인 일미와 비교했을 때 90% 이상으로 큰 차이가 없다(Table 4). 따라서 본 결과를 통하여 모품종 일미 보다 GM벼(CaMsrB2-8)의 탈립율이 두 해 모두 낮은 경향을 보였으며 등숙율 역시 큰 차이를 보이지 않았다. Im et al. (2004)에 의하면 탈립은 잡초성 벼를 유발할 가능성이 있는 요인으로 보고하였다.

가뭄저항성 GM벼(CaMsrB2-8)와 모품종인 일미의 수확 후 떨어진 낱알들이 겨울을 지나서 봄철에 발아를 하는지에 대한 여부를 살펴보기 위하여 종자월동성 실험을 실시한 바 Table 5와 같은 결과를 보였다. 총 180일 동안 실시한 결과 월동 후 종자의 발아율은 자연방임구와 습윤구 모두 성장한 식물체는 관찰되지 않았다. 특히, 습윤구에서 종자를 부패시키는 원인 중 하나로 곰팡이로 보이는 미생물이 벧짚아래에서 다량 관찰되었다. 이는 충분한 습도와 벧짚의 일종의 보온효과로 인한 결과로 미생물이 발생하기 좋은 환경이 이루어진 것으로 판단된다. 이는 기온이 오르는 봄에 토양의 수분 함량과 미생물에 의한 부패로 종자의 활성이 떨어진다는 Park et al. (2007)과 Lee et al. (2011)의 보고와 유사한 경향을 보였다. 또한 자연상태 그대로 방치해둔 자연방임구에서도 약간의 미생물로 인한 종자의 부패현상이 일부 관찰되었으며 일부에서는 발아했지만 성장하지 못하고 마른 식물체가 다수 발견되었다. 따

**Table 4.** Ripened grain of GM (CaMsrB2-8) and non-GM (Ilmi) rice.

Cultivar or line	Year	Total No. of grains	No. of fertile grains	No. of sterile grains	Percent ripened grain
CaMsrB2-8	2011	134.0±16.4	125.8±12.7	8.3±4.0	94.0±2.1
	2012	136.7±7.2	126.3±5.5	10.3±3.1	92.5±2.0
Ilmi	2011	131.3±15.9	120.3±14.5	11.0±2.6	91.6±1.5
	2012	140.3±7.6	129.7±3.8	10.7±3.8	92.5±2.2

\* Values are the mean±SE

**Table 5.** Emergence ratio after wintering of GM (CaMsrB2-8) and non-GM (Ilmi) rice.

Cultivar or line	Total no. of seeds	Emergence rate (%)				
		30 day	60 day	120 day	150 day	180 day
CaMsrB2-8	1,000	0	0	0	0	0
Ilmi	1,000	0	0	0	0	0

라서 본 결과에서는 토양 표면에 탈립된 GM벼(CaMsrb2-8) 종자가 월동한 후 발아할 확률은 거의 없을 것으로 판단되나 계절 및 지역에 따른 기후(기온, 강수량 등) 영향을 받을 수 있을 것으로 보임으로 이에 대한 연구가 더 필요할 것으로 생각된다.

## 요 약

본 논문은 가뭄저항성 유전자를 도입한 GM벼(CaMsrb2-8)를 모품종 일미와 비교하여 잡초화 가능성의 여부를 판단하고자 실시하였다. GM벼(CaMsrb2-8)의 생육특성과 발아율 실험 결과 모품종 일미와 큰 차이를 보이지 않았고, 모든 종자는 6일 후 발아하였다. GM벼(CaMsrb2-8)와 일미의 수발아성 실험을 23±2°C 온실에서 충분한 물을 분무하여 40일간 진행한 결과 수발아는 발생하지 않았다. 라튜닝 후 GM벼(CaMsrb2-8)와 일미의 지상부 성장을 비교한 결과 7-14일 동안 일미보다 GM벼(CaMsrb2-8)의 성장이 빠른 것처럼 보였으나 그 이후 14-21일 동안에는 두 개체가 비슷한 성장세를 보였다. GM벼(CaMsrb2-8)와 일미의 탈립율은 두 개체가 비슷하였으며 등숙율 또한 90% 이상으로 비슷한 수준을 보였다. 종자의 월동성을 조사한 결과 발아율 0%로 자연상태에서 월동 후 발아 가능성은 없을 것으로 보인다. 따라서 본 연구를 토대로 GM벼(CaMsrb2-8)에 도입된 내건성유전자는 벼의 농업적 특성을 변화시키지 않는 것으로 판단되며 따라서 GM벼(CaMsrb2-8) 재배 시 잡초화 되지는 않을 것으로 생각된다.

**주요어:** 농업적특성, 가뭄저항성, GM벼

## Acknowledgments

This work was supported by a grant from the Next-Generation BioGreen 21 Program (GM Crops Center, No. PJ 008082042012), Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

Im, I.B., Kang, J.G. and Kim, S. 2004. Physio-Ecological

- characteristics and control of weedy rice in the rice paddy. Korean J. Weed Sci. 24(1) : 56-63. (In Korean)
- Jeong, E.G., Ahn, S.N., Kwon, S.J., Suh, J.P., Jeong, O.Y., Kang, K.H., et al. 2004. Quantitative trait loci for low-temperature germinability in rice. Korean J. Breed. 36(5):365-370. (In Korean)
- Kang, K.K., Lee, D.B., Na, Y.E., Shim, K.M., Choi, I.M., Lee, C.K., et al. 2011. Climate change and the agricultural of Korea. RDA Interobang No.33. Rural Development Administration, Suwon, Korea. p. 12.
- Kim, B.S., Kwon, H.H. and Kim, H.S. 2011. Impact assessment of climate change on drought risk. Journal of Korean Wetlands Society. 13(1):1-11. (In Korean)
- Kim, Y.S. 2011. Climate change and the agricultural countermeasures. NHERI report No.162. Nonghyup economic research institute, Seoul, Korea. p. 9.
- Lee, H.S., Yi, G.H. and Kim, K.M. 2012. Comparison of weed characteristics and possibility of gene flow in GM rice. Korean J. Weed Sci. 32(1):10-16. (In Korean)
- Lee, H.S., Yi, G.H., Park, J.S., Seo, S.C., Sohn, J.K. and Kim, K.M. 2011. Analysis of the weediness potential in vitamin A enforced rice. Korean J. Weed Sci. 31(2):160-166. (In Korean)
- Lee, S.W. 2008. Consideration on coexistence strategy of GM with non-GM environmentally friend crops in South Korea. J. Plant Biotechnol. 35(4):245-256. (In Korean)
- Lee, S.W. 2010. Current status on the development and commercialization of GM plants. J. Plant Biotechnol. 37:305-312. (In Korean)
- Park, J.S. and Kim, H.D. 2009. Viviparous germination characteristics of rice varieties adaptable to central region of Korea. Korean J. Crop Sci. 54(3):241-248. (In Korean)
- Park, K.W., Kim, C.G., Kim, D.I., Yi, H.B., Lee, B.K. and Kim, H.M. 2007. Competitive ability and possibility of increased weediness of transgenic rice tolerant to abiotic stresses. Korean J. Weed Sci. 27(4):359-365. (In Korean)
- Ryu, K.H. 2000. Virus recombination and environmental risk assessment of genetically modified plant. BioWave. 2(1) (Sub.4):1-15. (In Korean)
- Yang, J.S. and Yeo, U.S. 1997. Varietal difference of low temperature germinability and seeding establishment in rice. Korean J. Breed. 29(2):216-222. (In Korean)