

## GM 벼의 유전자이동 가능성 및 잡초 특성비교

이현숙<sup>1</sup>, 이기환<sup>2</sup>, 김경민<sup>1\*</sup>

## Comparison of Weed Characteristics and Possibility of Gene Flow in GM Rice

Hyun-Suk Lee<sup>1</sup>, Gi-Hwan Yi<sup>2</sup> and Kyung-Min Kim<sup>1\*</sup>

**ABSTRACT** This study was carried out to investigate the agronomic traits, comparison of weed characteristics and possibility of gene flow in ‘vitamin A enforced GM rice’ and the donor plant, ‘Nagdong’. The GM rice was not significantly different agronomic traits compared to the donor plant, Nagdong. Weed population changes were investigated in the cultivation of the GM rice and the donor plant, Nagdong. Dominant weed species and their dry matter did not show the difference between GM rice and the donor plant, Nagdong in macro-GM crop field. Dominant weed species with the GM rice and the donor plant, Nagdong were *Monochoria vaginalis*, followed by *Eleocharis kuroguwai*, *Echinochloa crus-galli* and *Lindernia procumbens*. The detection of gene from the GM rice was done using PCR, gene flow can’t be detected by weed species. Results of this study on the agronomic traits, weed characteristics and possibility of gene flow has elucidated that GM rice might not be different from the donor plant, Nagdong.

**Key words:** agronomic trait; gene flow; GM rice; weed-mediated.

### 서 언

우리나라는 OECD 34개 회원국 중에서 식품물가 상승률 1위로 에그플레이션으로 대체될 품목으로 생명공학기술에 의한 GMO(Genetically modified organism, 유전자변형생물체) 작물이 재부상 될 것으로 예견된다 (James 2009). GMO의 재배면적은 1996년 처음 실용

화된 지 매년 2자리 수 이상의 증가율을 보여 15년 만에 경작면적이 87배나 급증했으며 2011년 기준에서 전 세계 29개국 1억 4,800만 ha에서 1,540만명이 경작하고 있는 시점이며 현대농업에서 가장 빠른 속도로 도입되고 있다(<http://www.isaaa.org>). GMO의 긍정적 측면 즉, 생산량 증가, 농약사용 절감, 탄소배출 감소, 특히 영세 농민을 포함한 농가소득 증대 등 여러 잇점

<sup>1</sup> 경북대학교 농업생명과학대학 응용생명과학부 식물생명과학전공(Division of Plant Biosciences, School of Plant Biosciences, College of Agriculture & Life Science, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea)

<sup>2</sup> 농촌진흥청 국립식량과학원 기능성작물부 신소재개발과(Department of Functional Crop, National Institute of Crop Science, Milyang 627-803, Korea)

\* 연락저자(Corresponding author) : Phone) +82-53-950-5710, Fax) +82-53-958-6880, E-mail) kkm@knu.ac.kr

(Received January 31, 2012; Examined March 13, 2012; Accepted March 20, 2012)

으로 GMO의 개발과 재배는 기하급수적으로 늘어날 것이며, 특히 아시아와 중남미 지역에서 빠르게 증가될 전망이다(Graham과 Barfoot 2009).

GMO 재배면적이 늘어나면서 생태학적 안전성에 대한 관심도 증가하고 있다. 그 중 한 예가 유전자의 수평이동성에 관한 것이다. 유전자 수평이동성이란 유연관계가 먼 생물들 간의 유전자이동(전이현상)을 일컫는다. 유전자의 수평이동에 대해 사회적 우려와 관심이 높은 이유는 많은 GM 작물을 개발할 때 선발을 위해 항생제 저항성 유전자를 이용하기 때문이다. 만약 GM 작물을 재배할 때 형질전환 유전자가 다른 작물 등으로 전달되어지면 목적유전자에 저항성을 갖는 슈퍼잡초 또는 생태계 혼입으로 인한 유전자 교란이 일어날 수 있는 가능성이 존재한다. 또한 미국, 아르헨티나, 캐나다, 중국 등 주요 농산물 생산국에서 GM 작물을 대면적으로 재배하고 있으므로, 한국에 수입되는 농산물에 혼입될 가능성이 매우 높아 주요 GM 작물의 환경 및 식품안전성 평가 기술 및 프로토콜 개발 필요성이 대두되고 있다. 특히 재배 환경에 미치는 환경은 격리된 시험포장에 GM 작물을 재배하면서 농업적 특성을 연구자료 및 환경 위해성 평가 자료를 만들어 GM 작물 심사에 이용할 필요가 있다(Biosafety White Paper 2007).

중국, 인도는 자국의 식량부족을 해결하기 위하여, GM 작물의 재배 및 수입에 대한 규제를 완화하고 있으며, 독일 정부도 최근 GM 작물 재배 허용법안을 승인하고 의회의 인준만을 남겨놓는 등 최근 각국 정부는 소비자들의 반대에도 불구하고 GM 작물 재배를 허용하는 방향으로 선회하고 있는 상황이다(<http://www.isaaa.org>). 우리나라는 2008년 1월 1일부터 LMO법률의 시행으로 GM 작물에 대한 환경위해성 평가기술이 시급하게 요구되고 있다. 농촌진흥청에서 개발 중인 19작목 118종을 포함해서 국내 전체로는 약 49작목 171종이 개발되고 있으며 이중 안전성 평가를 받은 GM 작물은 제초제 저항성벼 2종(익산 483호, 밀양 204호), 제초제 저항성 고추, 감자 4종이며, 해충저항성 벼, 배추 및 제초제 저항성 잔디 등 안전성 평가 중이며 안전성 심사를 받은 GM작물은 없는 실정이다.

GM 작물의 실용화를 위해선 포장검정과 GM 작물 실용화를 위한 검정시스템의 체계 확립이 시급한 실정이다. 국내에서 GM 작물개발은 초기 세대(T<sub>1</sub>-T<sub>3</sub>)의 표

현형 선발이 어느 정도 진행되어야 안정성 평가를 실시하므로 인력과 시간을 소비할 수 있고, 국내 GM 작물의 포장검정은 소면적에서 소수의 이벤트를 대상으로 진행되고 있어 실용화 품종 개발에 미흡한 실정이다(Lee 등 2011). 이런 차원에서 GM 작물과 재배품종 간의 생육 특성, 농생태계 환경과의 유기적 관련성 및 유전자 전이 정도 등 체계적인 연구가 필요하다. 제2의 녹색혁명이라 불리는 GM 작물의 안전성 재배기술 개발과 함께 상업화 및 식생활의 풍요로움에 앞서 철저한 다단계 검증이 이루어져야 한다.

본 실험은 현행 진행되고 있는 GM 벼 및 재배품종과 관련된 작물 생육양상 비교 및 포장 환경 내 발생하는 일년생 및 다년생잡초의 발생빈도와 유전자 전이 정도를 조사, 분석하여 이들 간의 경합, 유전자 전이 이동성을 분석하여 형질전환체를 재배할 경우 수량, 미질 및 잡초 방제체계에 효율적인 관리정보를 수립하는 기초자료로 활용하고자 한다.

## 재료 및 방법

본 연구를 위해 2011년 국립농업과학원로부터 GM 작물인 '비타민 A 강화벼(GM 벼)'와 모품종인 '낙동'을 분양받아 대규모 GM 포장(70×45m)에서 실험을 실시하고 자포니카형 품종인 일품, 주남, 백진주를 비교 품종으로 이용하였다. 포장시험은 2011년에 경북대학교 농업생명과학대학 부속실험실습장의 포장에서 실시하였다. 5월 3일에 어린모를 위해 상자파종하고 30일 육묘를 주당 3~5본씩 6월 2일에 기계이앙하였으며, 시비량은 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=90-45-57kg ha<sup>-1</sup>로 하였다. 잡초 발생량 조사는 난괴법 3반복으로 배치된 포장에서 조사하였다. GM 벼의 생육조사는 출수 후 60일째 실시하였으며, 잡초 우점종과 건물중은 출수 후 30일째 채취하여 50℃ 항온기에서 5일간 건조하여 건물중으로 조사하였다. GM벼의 유전자 이동성 조사를 위한 GM 벼와 낙동, 우점 잡초종의 잎을 각각 100mg씩 액체질소를 가하여 분말화한 후, CTAB 방법에 준하여 DNA를 추출하였다(Maniatis 등 1982). 추출된 DNA는 튜브당 10μl의 poly RNaseA(Sigma)를 첨가하여 RNA를 제거 후 사용하였다. PCR(polymerase chain reaction) 반응은 10ng template DNA, 2μl 10X buffer,

0.5 $\mu$ l 5mM dNTP, 0.5 $\mu$ l forward primer, 0.5 $\mu$ l reverse primer, 0.2 $\mu$ l Tag DNA polymerase(2 unit)의 조성으로 총 반응액을 20 $\mu$ l로, PCR 증폭시간은 94 $^{\circ}$ C에 5분간 예열(pre-denaturation) 하였고, 94 $^{\circ}$ C에 30초간(denaturation), 55 $^{\circ}$ C에 30초(annealing), 72 $^{\circ}$ C에서 30초(polymerization) 간을 1 cycle로 하여 총 30 cycle을 하였으며 최종 DNA 합성은 72 $^{\circ}$ C 7분간하여, Biometra PCR(T-1 Thermoblock, USA) 기기를 이용하여 수행하였다. PCR 산물은 1.2% agarose gel(Promega, USA)에서 전기영동(100 volts, 1시간)하고 EtBr(Ethidium Bromide, Sigma)로 염색하여 UV lamp(Fotodyne, MP-ST)하에서 증폭여부를 확인하였다. 유전자의 판별을 위하여 PCR 반응은 Psy5'-ATTACTCCGTTTgCACCT(forward)와 5'-TgTCATCCCAACCAACCATg(reverse)를 primer로 하였다.

### 결과 및 고찰

GM 벼와 모품종인 낙동, 일품, 주남, 백진주를 비교

품종으로 이용하여 포장에서 생육특성과 GM 벼 종자 확산에 의한 유전자 전이 가능성을 비교, 분석하기 위하여 주요 농업적인 특성을 조사하였다(표 1). GM 벼와 모품종인 낙동의 출수일은 각각 103일과 105일이며, 주남, 백진주, 및 일품도 유사한 경향을 보였다.

대규모 GM 포장에서 재배된 GM 벼는 낙동과 유사한 경향으로 Bashir 등(2004)은 형질전환체 출수기는 모품종보다 10~22일까지 늦은 출수 경향을 보고하였으나 Park 등(2007)과 Park 등(2008)은 형질전환체와 모품종인 낙동과 출수기가 유사하다고 보고하였다. 형질전환체의 정조한 수량에서 GM 벼와 낙동의 수장은 1.5cm, 수수는 0.2개로 GM 벼의 5.3MT ha<sup>-1</sup>에 비하여 34% 차이를 보였으며, 다른 비교 품종에서는 49~31%의 수량차이를 보였다. 그러나 통계적인 유의성은 보이지 않았다. 형질전환체인 GM 벼와 모품종인 낙동의 현미와 백미를 가지고 각각 미립 특성 차이를 보았다(표 2). GM 벼와 낙동 장폭, 두께 등 미립계통 간에 차이가 나타나지 않아 후대에 안정적인이라는 것이 확인되었다. 수량 구성 요소 중인 천립중도 GM 벼와 모

Table 1. Comparison of agronomic traits of GM Rice and another varieties.

Variety	HD <sup>1)</sup>	PH	PL	P	Y	Yield index
GM rice	13/8	81.4 $\pm$ 4.2 <sup>2)</sup>	17.8 $\pm$ 1.6	15.0 $\pm$ 2.5	529	100
Nagdong	15/8	83.0 $\pm$ 3.5	19.3 $\pm$ 2.2	15.2 $\pm$ 2.6	713	134
Junam	15/8	73.2 $\pm$ 5.8	18.6 $\pm$ 1.7	17.6 $\pm$ 3.2	786	148
Baekjinju	14/8	84.0 $\pm$ 2.9	17.7 $\pm$ 1.3	15.2 $\pm$ 1.8	693	131
Ilpum	13/8	70.4 $\pm$ 2.6	20.4 $\pm$ 1.4	15.6 $\pm$ 2.9	792	149

<sup>1)</sup>HD : Heading date(day/month), PH : Plant height(cm), PL : Panicle length(cm), P : No. of panicles/hill, Y : Yield(g ha<sup>-1</sup>).

<sup>2)</sup>Mean $\pm$ SD.

Table 2. Grain size and shape of brown rice of GM rice and another varieties.

Variety	Brown rice(mm)			Length/Width	1000(g)
	Length	Width	Thickness		
GM rice	5.08 $\pm$ 0.18 <sup>1)</sup>	2.90 $\pm$ 0.13	1.97 $\pm$ 0.07	1.75	22.8
Nagdong	5.01 $\pm$ 0.14	2.95 $\pm$ 0.08	2.03 $\pm$ 0.05	1.70	22.0
Junam	4.86 $\pm$ 0.22	2.93 $\pm$ 0.16	2.05 $\pm$ 0.11	1.66	22.2
Baekjinju	4.85 $\pm$ 0.16	2.95 $\pm$ 0.08	2.09 $\pm$ 0.07	1.48	22.2
Ilpum	4.67 $\pm$ 0.24	3.00 $\pm$ 0.09	2.04 $\pm$ 0.09	1.56	23.8

<sup>1)</sup>Mean $\pm$ SD.

품종인 낙동간 0.8g 차이를 보였으며, 또한 비교품종에서도 0.6~1.0g 차이로 나타났다.

벼의 형질전환 과정을 통해서 발생하는 유전적 구조변화로 작물학적 변이가 유발된다고 하는데(Bennet 1993), GM 벼의 작물학적 형질은 소수주동유전자에 지배되는 질적 형질보다는 폴리진과 환경에 영향을 받는 양적 형질의 차이가 크다고 하였다(Jeong 등 2003). 수량 요소에서 GM 벼의 등숙율 차이로 낙동보다 수량 감소를 보였지만, GM 벼와 낙동 및 비교품종에서 생육상황과 미립특성의 생육차이는 보이지 않았다.

대규모 GM 포장에서 GM 벼와 낙동 재배구간 우점 잡초는 물달개비, 올방개, 좁개구리밥, 물피, 여뀌바늘, 한련초, 발뚝외풀, 바람하늘지기, 자귀풀, 알방동사니 등의 10여 종이 발생하였다. GM 벼와 낙동의 전 생육 시기별로 보면 이앙 직후에는 좁개구리밥이 우점하였

으며, 출수기(8월 12일, 8월 15일)에 근접할수록 물달개비 및 올방개, 물피 등 잡초 종이 다양화되었다. 이 중 물달개비 및 올방개가 가장 많이 발생하였다. 벼의 생육시기 중 무효분얼기 때 물떼기가 시작되면서 건답 잡초인 여뀌바늘, 한련초, 발뚝외풀, 바람하늘지기, 자귀풀, 알방동사니로 종류가 다양하게 나타났으나, 각 시험구별 반복간의 우점 잡초간에는 차이가 나지 않았다(표 3).

잡초 건물중은 1m<sup>2</sup>당 3 반복간 평균에서 GM 벼 시험구의 잡초 건물중은 낙동 시험구의 잡초 건물중보다 10.1g이 감소되었다(표 4, 그림 1).

Jeong 등(2005)도 제초제 저항성 벼의 잡초군락 변화를 조사한 결과 제초제 저항성 벼와 일품 재배지의 년차별 잡초 군락 유사계수를 보면 94% 정도로 공시 재료간 잡초군락은 유사하다고 한 것과 같이, GM 벼

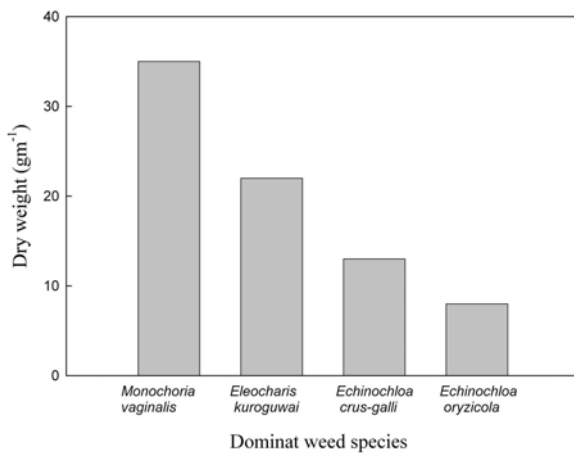
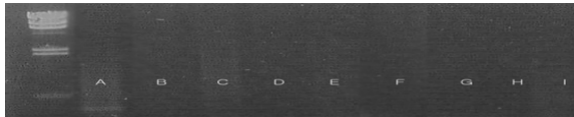
**Table 3.** Dominant weed species and development stage of rice growth stage in GM rice and Nagdong.

Rice growth stage	Dominant weed species	
	Scientific name	English name
Effective tillering	<i>Lemna aequinoctialis</i> Welw.	duckweed
	<i>Monochoria vaginalis</i> L.	sheathed monochoria
	<i>Cyperus difformis</i> L.	diffomed galingale
Maximum tillering	<i>Lemna aequinoctialis</i> Welw.	duckweed
	<i>Monochoria vaginalis</i> L.	sheathed monochoria
	<i>Eleocharis kuroguwai</i> L.	hair grass
	<i>Cyperus difformis</i> L.	diffomed galingale
	<i>Echinochloa crus-galli</i> L.	barnyardgrass
	<i>Echinochloa oryzicola</i> L.	barnyardgrass
	<i>Eclipta prostrata</i> L.	ecliptae herba
	<i>Aeschynomene indica</i> L.	indian jointvetch
Booting	<i>Monochoria vaginalis</i> L.	sheathed monochoria
	<i>Eleocharis kuroguwai</i> L.	hair grass
	<i>Ludwigia prostarata</i> Roxb.	false loosestrife
	<i>Echinochloa crus-galli</i> L.	barnyard millet
	<i>Echinochloa oryzicola</i> L.	barnyard millet
	<i>Aeschynomene indica</i> L.	indian jointvetch
	<i>Eclipta prostrata</i> L.	ecliptae herba
	<i>Lindernia procumbens</i> L.	false pimpernel
	<i>Fimbristylis miliacea</i> L.	autumn rush
	<i>Cyperus difformis</i> L.	diffomed galingale
Ripening	<i>Ludwigia prostarata</i> Roxb.	false loosestrife
	<i>Eclipta prostrata</i> L.	ecliptae herba
	<i>Lindernia procumbens</i> L.	false pimpernel
	<i>Fimbristylis miliacea</i> L.	autumn rush

**Table 4.** Dry weight in dominant weed species of GM rice and the donor plant, Nagdong.

Variety	Dry weight of weed species(g/m <sup>2</sup> )			
	1 <sup>1)</sup>	2	3	mean
GM rice	81.3±1.3 <sup>2)</sup>	118.0±14	53.2±3.4	83.8±6.2
Nagdong	6.93±2.8	37.3±4.5	32.3±9.2	25.5±5.5

<sup>1)</sup>replication; <sup>2)</sup>Mean±SD : 60 days after heading date.

**Fig. 1.** Comparison on trend of dominant weed species in the GM rice and Nagdong.**Fig. 2.** The detection of gene flow of weed species in the GM rice and Nagdong. A : GM rice, B : Nagdong, C : *Monochoria vaginalis*, D : *Eleocharis kuroguwai*, E : *Echinochloa crus-galli*, F : *Lindernia procumbens*, G : *Cyperus difformis*, H : *Persicaria hydropiper*, I : *Eclipta procumbens*.

와 모품종인 낙동 재배포장에서의 잡초 발생 양상 차이가 없었다. 벼 재배에 있어서 수량감소에 의한 가장 큰 요인은 잡초에 의한 것이며, 벼와 잡초간의 경합에 따른 생육저해 및 수량감소는 잡초종과 발생량에 따라 현저히 다르며, 작물과 잡초와의 경합력은 여러 요인 가운데 발생밀도가 가장 크게 영향을 미치는 것이다 (Kim과 Moody 1980). GM 벼와 모품종인 낙동 재배 구간 잡초 우점종과 전체 발생상황에서 차이가 없어

미립특성에 미치는 영향이 미비한 것으로 보이나 수량 감소에 따른 잡초 경합력은 재배지역, 재배시기, 품종, 잡초 경합밀도, 작기에 따라 차이가 있는 것으로 보고 되기도 하였다(Lee 등 1976). GM 벼 재배 포장에서 피, 물달개비, 너도방동사니, 올방개, 벼풀, 가래의 발생이 벼 수량에 미치는 영향을 정량하고, 잡초경합에 따른 쌀 수량에 미치는 피해 예측(Lee 등 2005; Lee 등 2006), 재배양식에 따라 잡초 경합에 관한 연구 (Kwon 등 2006; Gealy 등 2003)가 상당히 진행되고 있지만 형질전환체와 모품종, 일반 품종과의 잡초 경합에 관한 체계적인 연구 등은 미진한 상태이다.

GM 벼의 비표적 유전자 이동성 검정은 잡초우점종의 DNA를 추출하여 Psy 프라이머로 PCR 분석으로 검정한 결과 Psy 특이적 밴드는 관찰되지 않았다(그림 2).

Crawley 등(2001)은 자연서식지에서 형질전환 작물이 환경에 미치는 영향을 조사하기 위하여 유채, 감자, 옥수수, 사탕수수의 4종류 작물을 12지역에서 재배하여 새로운 잡초 출현, 월동성 및 생존력 등을 10년간 조사한 결과, 유전자변형작물이 일반 작물보다 짧은 재배기간의 환경에서는 더 잘 적응하는 것 같았으나 세대가 진전되는 장기간 생존하는 경우는 발견되지 않았고, 주변의 야생 다년생 식물과의 생존 경쟁력도 매우 약해서 4년 후에는 완전히 사라져 버렸다고 보고하였다. 이 실험의 결과는 유전자 변형작물의 특성이 자연생태계에서 살아남을 수 있는 확률이 낮음을 의미한다. 자연생태계에는 일반적인 생물군락이 분포하고 있기 때문에, 유전자변형작물 뿐 아니라 일반적으로 육종된 작물도 일반 생태계에서의 경합력이 낮아 살아남을 수 없다고 한 연구(Lee 등 2006)와 본 시험결과와 비슷하여 앞으로 다양한 재배 조건에서의 연구검토가 필요하다. 그러므로 비타민 A가 강화된 벼의 유전자

는 대사변형기술을 이용하여 영양성분이 강화된 특성으로 외래유전자가 잡초에 출현하는 경우는 거의 없는 것이다. 이는 다른 종간의 화분비산 시기, 화분적합도가 다르기 때문이며 이로 인하여 다른 종과의 교배가 능성은 희박한 것으로 사료된다.

## 요 약

이 연구는 비타민 A 강화벼(GM 벼)와 모품종인 낙동 및 일반품종을 대조로 농업적인 생육특성과 잡초를 대상으로 유전자 전이 정도를 조사하였다. GM 벼의 농업적인 특성에서 모품종인 낙동과 차이를 보이지 않았으며, 우점 잡초군과 건물중에서 유의성이 보이지 않았다. GM 벼와 모품종인 낙동 재배구의 우점 잡초는 물달개비, 올방개, 좁개구리밥, 물피 등의 10여 종이였다. 잡초의 유전자 전이 정도를 PCR 분석 결과, GM 벼와 낙동 그리고 우점잡초 8종에서 유전자 전이가 나타나지 않았다. 그러므로 비타민 A 강화벼의 화분이 비래하여 지표적 다른 품종의 벼 또는 주변 잡초에 유전자 이동이 일어나 외래유전자가 함유된 잡초가 출현하는 경우는 거의 없을 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 차세대 바이오그린21사업(GM 실용화 사업단 : PJ0080822011)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## 인 용 문 헌

- Bashir, K., T. Husnain, T. Fatima, Z. Latif, S. A. Mhdi and S. Riazuddin. 2004. Field evaluation and risk assessment of transgenic indica basmati rice. *Molecular Breeding* 13:301-312.
- Bennet, J. 1993. In Setlow J. K.(ed), *Genetic engineering : Genes for crop improvement* Vol.15, Plenum Press, New York, pp.165-189.
- Biosafety White Paper. 2007. Ministry of Commerce, Industry and Energy, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology. I. Will. pp. 206-216.
- Crawley M. J., S. L. Brown, R. S. Hails, D. D. Kohn and M. Rees. 2001. *Biotechnology : Transgenic crops in natural habitats*. *Nature* 409:682-683.
- Gealy D. R., D. H. Mitten and J. N. Rutger. 2003. Gene flow between red rice(*Oryza sativa*) and herbicide-resistant rice(*O. sativa*) : implications for weed management. *Weed Technology* 17:627-645.
- Graham, B. and P. Barfoot. 2009. Global impact of biotech crops : income and production effects, 1996-2007. *AgBioForum* 12:184-208.
- [http : //www.isaaa.org](http://www.isaaa.org)
- James, C. 2009. Global status of commercialized biotech/GM crops in 2007. ISAAA Briefs No.41.
- Jeong, E. G., K. H. Kang, O. Y. Jeong, Y. P. Jeong, Y. S. Cho, H. Y. Ryu, H. C. Choi and H. G. Hwang. 2003. Investigation of agronomic characters with herbicide resistance in rice. *Treat. of Crop Res.* 4:30-36.
- Jeong, E. G., Y. C. Ku, G. H. Yi, H. M. Park and M. H. Nam. 2005. The change of weed occurrence with cultivation of genetically modified rice for glufosinate-ammonium resistance. *Korean J. Weed Sci.* 25:127-133.
- Kim, S. C. and K. Moody. 1980. Effect of plant spacing on the competitive ability of rice growing in association with various weed communities at different nitrogen levels. *J. Korean Soc. Crop Sci.* 25:17-27.
- Kwon, O. D., B. C. Moon, Y. I. Kuk, J. K. Kim and H. Y. Kim. 2006. Effect of densities of *Echinochloa crus-galli* and *Monochoria vaginalis* in wet seeding and transplanting rice cultivation on rice yield and rice quality, and economic threshold levels of the weeds. *Korean J. Weed Sci.* 26: 155-167.
- Lee, H. K., H. C. Park and D. K. Lee. 1976. Studies on the ecology and control of bog pondweed (*Potamogeton distinctus* A. BENN) in paddy field.

- J. Korean Soc. Crop Sci. 21:258-268.
- Lee, H. S., G. H. Yi, J. S. Park, S. C. Seo, J. K. Sohn and K. M. Kim. 2011. Analysis of the weediness potential in vitamin A enforced rice. Korean J. Weed Sci. 31:119-125.
- Lee, S. G., I. B. Im, D. S. Kim and J. Y. Pyon. 2006. Competition effects of *Echinochloa crus-galli* and *Monochoria vaginalis* on rice growth and yield. Korean J. Weed Sci. 26:262-269.
- Lee, S. G., D. S. Kim, I. B. Im and J. Y. Pyon. 2005. Growth and yield of rice as affected by different densities of perennial weeds and prediction of rice yield loss in paddy fields. Korean J. Weed Sci. 25:295-303.
- Maniatis, T., E. F. Fritsch and J. Sambrook. 1982. Molecular cloning : a laboratory manual. Cold Spring Harbor Laboratory, Cold Spring Harbor. 9.14-9.23.
- Park, J. E., I. Y. Lee, S. J. Kweon, S. R. Ghimire and D. H. Shin. 2008. Comparison of pollen characteristics of Nakdongbyeon and leaf folder(*Cnaphalocrocis medinalis*) resistant rice of its transgenic line. Korean J. Weed Sci. 28:420-426.
- Park, K. W., C. G. Kim, D. I. Kim, H. B. Yi, B. K. Lee and H. M. Kim. 2007. Competitive ability and possibility of increased weediness of transgenic rice tolerant to abiotic stresses. Korean J. Weed Sci. 27:359-365.