

HPPD 억제 제초제에 대한 벼 생태형간 약해 차이 및 수량 영향

김상열*[†] · 오성환* · 이지윤* · 여운상** · 이종희* · 조준현* · 송유천* · 오명규* · 한상익* ·
서우덕* · 장기창* · 나지은* · 박성태*** · 남민희*

*농촌진흥청 국립식량과학원 기능성작물부, **농촌진흥청 국립식량과학원 영덕출장소,

***농촌진흥청 국립식량과학원 상주출장소

Differential Sensitivity of Rice Cultivars to HPPD-Inhibiting Herbicides and their Influences on Rice Yield

Sang-Yeol Kim*[†], Seong-Hwan Oh*, Ji-Yoon Lee*, Un-Sang Yeo**, Jong-Hee Lee*, Jun-Hyeon Cho*,
You-Chun Song*, Myung-Kyu Oh*, Sang-Ik Han*, Woo-Duck Seo*, Ki-Chang Jang*, Ji-Eun Na*,
Sung Tae Park***, and Min-Hee Nam*

*Department of Functional Crop, National Institute of Crop Science, RDA, Miryang 627-803, Korea

**Yeongdeog Substation, National Institute of Crop Science, RDA, Yeongdeok 766-851, Korea

***Sangju Substation, National Institute of Crop Science, RDA, Sangju 742-862, Korea

ABSTRACT A field study was conducted at Miryang in 2011 to evaluate differential sensitivity of six rice cultivars, three Indica×Japonica rice (long grain, cv. Hanareumbyeo, Hanareum2, Dasanbyeo) and three Japonica rice (short grain, Nampyung, Ilpumbyeo and Junamjosaeng) cultivars, to benzobicyclon, mesotrione+pretilachlor (MP) and butachlor (control) in transplanting rice and their treatment influences on rice yield. All Indica×Japonica rice cultivars exhibited susceptible to both benzobicyclon and MP as reflected by higher visual injury and carotenoid biosynthesis inhibition when compared with Japonica rice cultivars. The percentage of foliar chlorosis of Indica×Japonica rice was only 0.9~4.7% for benzobicyclon at 13 days after treatment (DAT) and 30.3~64.4% for MP at 5DAT but it increased rapidly to 88.4~91.2% at 12~20DAT. However, most of the Japonica cultivars are tolerant to benzobicyclon and MP. There was no visible leaf chlorosis but carotenoid biosynthesis was slightly inhibited. Based on relative carotenoid content reduction of benzobicyclon and MP to butachlor, the Indica×Japonica rice showed 4.6~15.6 fold higher compared with the Japonica rice. The heading date of the injured rice plant was delayed by 3 days and panicle number per square meter and ripened grain ratio were reduced as compared with the control treatment of butachlor. Rice yield of the Indica×Japonica rice cultivars treated with benzobicyclon and MP was reduced by 7~10%, 3~5%, respectively. The

result indicates that rice cultivars vary in tolerance to HPPD-Inhibiting herbicides and Indica×Japonica rices were more susceptible than the Japonica rices to MP and benzobicyclon. Rice yield of the Indica×Japonica rices was also significantly reduced by the those herbicide treatments.

Keywords : benzobicyclon, crop injury, mesotrione, rice yield, tolerance

1970년대 초에 재배된 통일형 벼 품종은 Indica와 Japonica 간 원연교잡에 의하여 육성된 품종으로 수량성을 획기적으로 높임으로써 주곡의 자급을 달성에 크게 기여하였다. 하지만 1980년 극심한 냉해와 국민소득 증가에 따른 일반벼 위주의 고품질 쌀 생산 및 보급 정책에 따라 그 재배면적이 급감하여 현재는 대부분이 일반형 벼 품종이 재배되고 있다.

하지만 미래의 식량위기와 남북통일 등을 대비 안정적인 식량 공급을 위하여 통일형 다수성 벼 품종을 지속적으로 육성한 결과, 다산벼, 한아름벼, 세계진미 등과 같은 품종을 보급 해오고 있다(Choi *et al.*, 1997; Ha *et al.*, 2002; Cho *et al.*, 2009). 2011년 현재 통일형 벼 재배면적은 244 ha로 많지는 않지만 앞으로 세계 식량사정, 남북교류, 쌀 가공식품의 원료곡 수요 등에 따라 점차 늘어날 것으로 전망된다.

국내 벼 재배농가에서는 잡초방제를 대부분 제초제에 의

[†]Corresponding author: (Phone) +82-55-350-1174 (E-mail) kimsy3@korea.kr

<Received 21 March, 2012; Revised 8 June, 2012; Accepted 14 June, 2012>

재료 및 방법

존하고 있는데 새로운 제조제에 대한 약해 및 약효 시험은 일반벼 품종을 중심으로 이루어지고 있고, 재배 면적이 상대적으로 적은 통일형 벼는 제외되고 있다. 따라서 최근 통일형 벼 재배면적이 늘어남에 따라 약해 시험없이 판매되는 제조제에 대한 약해발생 문제가 대두되고 있다. 특히 최근에 등록된 mesotrione을 함유하고 있는 MP(mesotrione+pretilachlor 등 2종 혼합제) 및 BMPP(bensulfuron-methyl, mesotrione, pretilachlor, pyrifalid의 4종 혼합제)와 benzobicyclon 함유 제조제의 통일형 벼에 대한 약해 발생이 풋트시험결과 보고되었다(Im *et al.*, 2007; 2008; Han *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2010).

Mesotrione과 benzobicyclon 제조제는 미국, 유럽, 라틴 아메리카, 일본 등에서 옥수수과 수수 재배시 발아전·후 처리 제조제로서 널리 사용되고 있는 제조제이나(O'Sullivan *et al.*, 2002; Abit and Al-Khatib, 2009; Abit *et al.*, 2009), 우리나라에서는 논에 발생하는 설포닐우레아계 저항성잡초인 물달개비, 알방동사니, 마디꽃 등을 방제하기 위해 최근에 등록된 제조제로서 MP는 벼 이앙후 5~7일에 잡초출아전 처리제로, benzobicyclon는 씨레질 직후~이앙 2일전, 이앙후 5~7일(초기), 이앙후 10~12일(초중기), 이앙후 15일(중기)까지 토양수면 처리제로 등록되었다(KCPA, 2010). Mesotrione 및 benzobicyclon은 모두 carotenoid 생합성에 관여하는 p-hydroxyphenyl pyruvate dehydrogenase(HPPD) 효소를 억제하여 plastoquinone의 생합성을 저해하여 최종적으로는 carotenoid의 생합성을 억제하여 신엽의 백화(whitening) 현상을 일으켜 수일내에 식물체를 고사시킨다(Barta and Boger, 1996; Pallett *et al.*, 1997; Garcia *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 1997; McCurdy *et al.*, 2009). Benzobicyclon 및 mesotrione 함유 제조제에 대한 벼 품종 및 생태형간 약해발생 보고에 의하면 통일형 및 특수미 벼 품종이 일반형 벼 품종보다 훨씬 약해가 심하였는데 통일형 품종은 표준량에서 백화 또는 고사하였으나 일반형 품종은 같은 농도에서도 약해발생이 없거나 적었다(Im *et al.*, 2007; Im *et al.*, 2008; Han *et al.*, 2009). 또 잡초성벼의 benzobicyclon에 대한 내성도 단립종이 장립종보다 41~54배가 높았다고 보고하였다(Im *et al.*, 2007; Im *et al.*, 2008). 이러한 벼의 생태형간 약해발생 차이에 대한 정확한 원인은 밝혀지지 않았으나 수수와 비슷한 제조제의 분해 능력에 따른 차이일 것으로 추정된다. 지금까지 이들 제조제에 대한 약해발생 연구결과는 주로 풋트시험 결과이고 아직 포장시험 연구결과에 대한 보고는 없는 실정이다. 따라서 이들 제조제에 대한 통일형벼의 포장 약해 발생에 따른 생육 및 수량 영향을 구명하여 농가 현지도 기초자료로 제공하고자 시험을 수행하였다.

본시험은 2011년 국립식량과학원 기능성작물부 시험포장(덕평통)에서 실시하였다. 통일형(인도형×일본형) 벼 인한아름벼 한아름2호, 다산벼와 일반벼 품종인 주남벼, 일미벼, 주남조생을 전년도 풋트시험결과에 따라 선택하여 4월 25일에 파종한 다음, 30일 모를 5월 25일에 재식거리 25×12 cm로 기계이앙하였다. 제조제는 benzobicyclon는 3.5% SC, MP는 mesotrione+pretilachlor 0.6+4% GR, Butachlor(대조)는 5% GR를 사용하였다. 약제는 ha당 benzobicyclon은 이앙전 3일에 4 L(SC), MP는 이앙후 5일에 15 kg(GR), Butachlor는 이앙후 5일에 30 kg(GR)를 수면처리 하였으며 제조제의 농도는 각각 350 g a.i. ha⁻¹, 90 g, 1,500 g a.i. ha⁻¹ 이었다.

약해조사는 처리 후 7일과 14일에 달관으로 반복당 20포기씩 3반복으로 백화된 개체수를 조사하여 총재식 개체수 비율로 나누어 나타내었다. 백화정도는 카로티노이드 함량을 조사하였다(Hartmut Lichtenthaller, 1987). 제조제를 처리한 후 7일과 14일에 벼 잎을 4 cm² 크기로 잘라 95%에탄올 8 ml를 담은 펠콘튜브에 넣은 후 4°C에서 48시간 추출한 다음 상등액을 spectrophotometer(VERSA MAX, Molecu Devices)를 이용하여 470 nm, 648 nm, 664 nm에서 흡광도를 측정하여 Lichtenthaller(1987)의 등식을 이용하여 카로티노이드 함량을 계산하였다. 카로티노이드 색소 합성 억제 정도는 100-(benzobicyclon, MP처리시 카로티노이드 함량 /butachlor처리시 카로티노이드 함량)×100으로 계산하여 나타내었다.

시비량은 질소, 인산, 칼리를 성분량으로 10a당 통일형벼는 18, 4.5, 5.7 kg, 일반벼는 9, 4.5, 5.7 kg을 질소는 요소로서 기비 50%, 분얼비 20%, 수비 30%로, 인산은 용성인비로서 전량 기비로, 칼리는 염화칼리를 기비 70%, 수비 30%로 시비하였다. 물관리, 잡초방제 등 기타 재배관리는 기능성작물부 기계이앙 표준재배법에 준하였으며 시험은 단구제로 실시하였다. 수량은 4.5 m² 면적을 수확하여 건조 후 무게를 측정하였으며 수량구성요소 등 주요 생육특성은 농촌진흥청 농사시험 조사기준에 준하였다.

결과 및 고찰

제조제에 대한 벼 생태형간 약해 차이

제조제 처리에 따른 벼 생태형간 및 제조제 종류에 따른 약해발생 정도는 표 1과 같다. Benzobicyclon 및 MP 처리시 통일형벼에만 약해가 발생하였고 약해발생시기 및 정도

Table 1. Leaf chlorosis of Indica×Japonica and Japonica rice cultivars after preemergence application of benzobicyclon and mesotrione+pretilachlor.

Herbicide treatment	Indicax Japonica rice	Leaf chlorosis (%)		Japonica rice	Leaf chlorosis (%)	
		June 4	June 11		June 4	June 11
Benzobicyclon	Hanareumbyeo	4.7d ¹⁾	84.6d	Junamjosaeng	0	0
	Hanareum2	0.9d	91.5bc	Ilmibyeo	0	0
	Dasanbyeo	2.5d	89.0dc	Junambyeo	0	0
Mesotrione+pretilachlor	Hanareumbyeo	64.4a	93.9ab	Junamjosaeng	0	0
	Hanareum2	53.8b	81.4e	Ilmibyeo	0	0
	Dasanbyeo	30.3c	98.4a	Junambyeo	0	0
Butachlor	Hanareumbyeo	0d	0f	Junamjosaeng	0	0
	Hanareum2	0d	0f	Ilmibyeo	0	0
	Dasanbyeo	0d	0f	Junambyeo	0	0

¹⁾Means with the same letters in a column did not significantly differ at 5% by DMRT.

는 제초제에 따라 달랐다. Benzobicyclon 및 MP 처리에 따른 약해는 백화증상이 신엽에서 나타났는데 MP의 경우 처리 후 5일부터 약해가 나타나기 시작하여 10일경에 가장 뚜렷하였으며 처리후 15일에는 84.6~91.5%의 벼가 약해를 입었다. Benzobicyclon 처리는 MP와 달리 처리후 13일에는 약해정도가 5% 이하로 낮았으나 처리후 20일에는 급격히 증가하여 MP와 비슷한 81.4~98.4% 약해를 나타내었다. 하지만 통일형벼는 처리후 40일 후에는 약해가 점차 회복되어 백화증상이 사라졌다. Benzobicyclon 및 MP 처리시 백화증상을 나타내는 것은 제초제 성분인 mesotrione 및 benzobicyclon이 카로티노이드 생합성에 관여하는 HPPD 효소를 억제하기 때문에 백화현상이 일어나는 것으로 보고하였다(Armel *et al.*, 2007; McCurdy *et al.*, 2009; Han *et al.*, 2009; Im *et al.*, 2007). 또한 mesotrione을 수수에 처리했을 때 처리 후 14일이 지나자 회복된다는 보고와 비슷한 경향이였다(Abit *et al.*, 2009). 반면 butachlor를 통일형벼에 처리시 약해 증상을 보이지 않아 MP 및 benzobicyclon 대체용으로 사용 가능할 것으로 사료된다.

한편 일반형 벼 품종의 경우 3품종 모두 백화현상은 보이지 않아 MP 및 benzobicyclon에 대한 약해 반응은 벼 생태형에 따라 다르고, 통일형 벼가 일반형 벼 보다 감수성이 크다는 것을 의미한다. 이는 MP 및 benzobicyclon에 대한 카로티노이드 생합성은 다수계가 일반형 벼 품종보다 5.5배나 억제되었고, 약해발생도 심하였다고 보고한 Han *et al.*(2009) 및 Kim *et al.*(2010)의 결과와 같은 경향이었고, 잡초성벼에서도 단립종이 장립종보다 내성이 41~54배가 높았다는 결

과와 같은 경향이였다(Im *et al.*, 2007; Im *et al.*, 2008). 벼 생태형간 내성 차이에 대한 원인은 명확하지 않으나 잡종 수수의 mesotrione에 대한 내성차이는 mesotrione 성분을 분해시키는 정도에 따라 달랐다는 보고가 있어(Abit and Al-Katib, 2009) 벼도 수수와 같은 작용기작을 가질 것으로 추정되나 추후 이에 대한 구명시험이 필요 할 것으로 판단 된다.

Benzobicyclon 및 MP 처리시 카로티노이드 합성억제를 조사 한 결과 표 1의 백화약해 발생 정도와 마찬가지로 6월 4일에는 benzobicyclon 처리가 MP 처리보다 카로티노이드 합성억제율이 훨씬 낮았고 약해가 심했던 6월 11일에서는 억제 정도가 비슷하였다(표 2). 일반벼에서 카로티노이드 합성 억제가 있었으나 benzobicyclon에서는 5~12%, MP 처리에서는 27~33%로 낮았다.

벼 생육 및 수량영향

제초제 benzobicyclon, MP 및 butachlor 처리 시 약해발생에 따른 통일형 및 일반벼의 유수형성기기의 벼 생육특성은 표 3과 같다. 통일형벼인 한아름벼, 한아름2호 및 다산벼는 benzobicyclon 및 MP 처리시 약해 발생에 따른 초장은 대조 제초제인 butachlor과 비슷하여 초장감소는 없었으나 m²당 경수는 butachlor의 처리보다 58~93개가 적었다. 한편 benzobicyclon, MP 및 butachlor 처리 시 성숙기 통일형 벼의 생육은 butachlor 처리보다 출수가 3일가량 늦었고 m²당 수수도 386개~436개로 분얼기와 같이 butachlor 처리보다 11~50개가 적었다. 또한 등숙비율도 0.9~7.5% 낮았으

Table 2. Effect of benzobicyclon and mesotrione+pretilachlor treatments on carotenoid content and relative inhibition of carotenoid biosynthesis of Indica×Japonica and Japonica rice cultivars versus the control treatment of butachlor.

Herbicide	Rice cultivar	Total carotenoid (Absorbance)		Relative inhibition of carotenoid content(%)	
		June 4	June 11	June 4	June 11
Benzobicyclon	Hanareumbyeo	1.33	0.54	42ab ¹⁾	78a
	Hanareum2	1.19	0.80	55a	63a
	Dasanbyeo	1.10	0.50	37b	77a
	Junamjosaeng	2.48	2.28	12c	8b
	Ilmibyeo	2.12	1.75	12c	0b
	Junambyeo	2.20	2.02	5c	6b
Mesotrione+pretilachlor	Hanareumbyeo	0.00	0.19	100a	92a
	Hanareum2	0.10	0.43	96a	81a
	Dasanbyeo	0.06	0.39	97a	82a
	Junamjosaeng	1.90	2.21	33b	11b
	Ilmibyeo	1.52	1.53	37b	0c
	Junambyeo	1.68	2.10	27b	0c
Butachlor	Hanareumbyeo	2.29	2.46	0	0
	Hanareum2	2.65	2.19	0	0
	Dasanbyeo	1.74	2.20	0	0
	Junamjosaeng	2.83	2.49	0	0
	Ilmibyeo	2.40	2.02	0	0
	Junambyeo	2.31	2.14	0	0

¹⁾Means with the same letters in a column did not significantly differ at 5% by DMRT.

²⁾Data are percentage of butachlor treatment

Table 3. Effect of benzobicyclon and mesotrione+pretilachlor treatment on the plant growth of Indica×Japonica and Japonica rice cultivars at July 29.

Herbicide treatment	Indicax Japonica rice	Plant height (cm)	Tiller (no/m ²)	Japonica rice	Plant height (cm)	Tiller (no/m ²)
Benzobicyclon MP ²⁾	Hanareumbyeo	82bc ¹⁾	368de	Junamjosaeng	72d	400ab
		86 a	402cd		75c	424a
		84ab	460ab		72d	417a
Benzobicyclon MP	Hanareum2	79dc	421bcd	Ilmibyeo	80b	393ab
		76d	416bcd		79b	393ab
		79dc	496a		84a	407ab
Benzobicyclon MP	Dasanbyeo	78d	334e	Junambyeo	75c	398ab
		79dc	341e		78b	405ab
		77d	427bc		77b	405ab

¹⁾Means with the same letters in a column did not significantly diff at 5% by DMRT.

²⁾MP : Mesotrione+pretilachlor

Table 4. Effect of benzobicyclon and mesotrione+pretilachlor treatment on heading date, agronomic characteristics and rice yield of Indica×Japonica and Japonica rice cultivars.

Cultivar	Herbicide treatment	Heading date	Panicle (no/m ²)	Ripened grain (%)	Spikelet (no/panicle)	1,000-brown rice weight (g)	Milled rice (kg/10a)	Yield index
Hanareumbyeo	Benzobi ²⁾	Aug.21	425abcd ¹⁾	74.2a	123a	22.4b	657bc	91
	MP ³⁾	Aug.21	400dc	76.7a	118a	23.3ab	688abc	96
	Butachlor	Aug.18	455a	81.7a	116a	23.9ab	719a	100
Hanareum2	Benzobi	Aug.21	436abc	73.1a	115a	22.7ab	651bc	90
	MP	Aug.21	411bcd	77.3a	121a	25.5ab	686abc	95
	Butachlor	Aug.18	450ab	78.2a	115a	25.8a	722a	100
Dasanbyeo	Benzobi	Aug.20	408cd	78.3a	103	22.8ab	644c	93
	MP	Aug.20	386d	82.1a	110a	23.4ab	669bc	97
	Butachlor	Aug.17	419abcd	84.0a	104a	24.5ab	692ab	100
Junamjosaeng	Benzobi	Jul.25	364ab	87.6ab	80bc	23.8a	532b	99
	MP	Jul.25	362ab	91.5a	74c	23.5a	528b	98
	Butachlor	Jul.25	361ab	84.5abc	79bc	23.2a	537b	100
Ilmibyeyo	Benzobi	Aug.2	370a	84.8abc	88ab	22.0b	598a	103
	MP	Aug.2	374a	79.1bc	94a	21.9b	594a	101
	Butachlor	Aug.2	373a	78.8c	92a	21.8b	588a	100
Junambyeyo	Benzobi	Aug.21	333b	82.4bc	96a	23.6a	611a	103
	MP	Aug.21	329b	78.3c	96a	23.3a	621a	104
	Butachlor	Aug.21	349ab	82.6bc	97a	23.2a	592a	100

¹⁾Means with the same letters in a column did not significantly differ at 5% by DMRT

²⁾Benzobi : Benzobicyclon, MP³⁾ : Mesotrione+pretilachlor

며 현미 천립중도 가벼웠다(표 4). 그 결과 쌀 수량은 657~688 kg/10a으로 butachlor 처리에 비해 benzobicyclon 처리가 7~10%, MP 처리는 3~5% 감소하였다. 반면, 일반형 벼 품종은 통일형 품종과 달리 benzobicyclon 및 MP, butachlor 처리에서 출수기, 벼 생육특성 및 쌀 수량은 차이가 없었다.

이러한 통일형벼의 제초제에 대한 약해 발생은 현재 우리나라 제초제 등록 시험이 대부분 일반형 벼에 만 이루어지고 있고, 재배 면적이 상대적으로 적은 통일형 벼에는 실시하지 않았기 때문이다. 그러나, 최근 가공용 쌀 원료곡의 생산비 절감을 위해 통일형 벼 품종인 한아름벼, 안다벼 등 재배면적이 점차 증가하고 있어 제초제 반응이 일반벼와 다른 통일형 벼의 안전농사를 위해 농가에서는 제초제 사용시 위의 제초제는 적합하지 않고, 대신 약해가 없는 제초제를 사용해야 할 것으로 사료된다. 또한, 장기적으로는 제초제 등록시험시 재배면적이 점차 늘어나는 특수미 및 통일형 벼 품종에 대해서 약해 및 약효시험을 포함하여 약해발생문제를 사전에 방지하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

적 요

HPPD 효소를 저해하여 카로티노이드 생합성을 억제하는 최근에 등록된 제초제 benzobicyclon 및 mesotrione+pretilachlor에 대한 통일형(장립종) 및 일반벼(단립종)간 약해 발생 차이 및 수량영향을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 제초제 MP 및 benzobicyclon에 대한 약해 반응은 벼 생태형에 따라 달랐는데 통일형 벼인 한아름벼, 한아름2호, 다산벼는 대부분 약해인 백화증상이 나타났으나 일반형인 주남조생, 일미벼, 주남벼는 약해증상을 거의 보이지 않았다. 제초제 별로는 MP가 benzobicyclon보다 초기에 약해발생이 심하였으나 후기에는 차이가 없었다. 통일형 벼는 제초제 처리 후 5일부터 백화증상을 보였고 10일에 약해증상이 뚜렷하였으며 처리 후 20일에는 약해증상이 처리 후 10일 보다 약해지는 경향이였다.

2. 제조제 처리에 따른 카로티노이드 합성은 백화현상과 비슷하게 butachlor 대비 MP 처리가 benzobicyclon 처리보다 초기에 더 억제가 되었으나 후기에는 차이가 없었다.
3. Benzobicyclon 및 MP 처리에 대한 약해로 통일형벼의 출수기가 butachlor 처리보다 3일가량 지연되었고, m²당 수수가 11~50개가 적고 등숙비율이 0.9~7.5% 낮아져 쌀 수량은 benzobicyclon 처리가 7~10%, MP 처리는 3~5% 감소하였다.
4. 하지만 일반형 품종은 benzobicyclon 및 MP를 처리해도 출수기, 벼 생육특성 및 쌀 수량은 butachlor 처리와 차이가 없었다.

인용문헌

- Abit, M. J. M., and K. Al-Khatib. 2009. Absorption, translocation and metabolism of mesotrione in grain sorghum. *Weed Sci.* 57 : 563-566.
- Abit, M. J. M., K. Al-Khatib, D. L. Regehr, M. R. Tuinstra, M. M. Claassen, P. W. Geier, P. W. Stahlman, B. W. Gordon, and R. S. Currie. 2009. Differential response of grain sorghum hybrids to foliar-applied mesotrione. *Weed Tech.* 23 : 28-33.
- Armel, G. R., P. L. Rardon, M. C. McComrick, and N. M. Ferry. 2007. Differential response of several carotenoid biosynthesis inhibitors in mixtures with atrazine. *Weed Tech.* 21 : 947-953.
- Barta, I. C. and P. Boger. 1996. Purification and characterization of 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase from maize. *Pestic. Sci.* 48 : 109-116.
- Cho, J. H., N. B. Park, U. S. Yeo, U. G. Ha, K. H. Jung, J. Y. Lee, J. H. Lee, C. S. Kim, D. Y. Kwak, S. Y. Kim, J. I. Jeong, G. H. Lee, J. I. Kim, S. H. Oh, M. G. Jeon, H. S. Ryu, H. G. Hwang, B. G. Oh, H. W. Kang, and J. K. Ahn. 2009. Saegyeminmi: high-yielding and mid-late tongil type rice cultivar with good eating and grain quality. *Proceeding on the Crop Breeding Pedigree*. Department of Functional Crop. pp. 40-48.
- Choi, Y. G., M. K. Kim, H. P. Moon, S. Y. Cho, B. T. Jun, K. H. Jeong, J. H. Lee, H. C. Choi, N. K. Park, H. W. Park, K. H. Hwang, J. I. Kim, R. K. Park, Y. S. Kim, and J. Y. Cho. 1997. A new high yielding, disease resistant and lodging tolerant rice cultivar "Dasanbyeo". *RDA J. Korea Crop Sci.* 39(2) : 68-75.
- Garcia, I., M. Rodgers, R. Pepin, T. F. Hsich, and M. Matringe. 1999. Characterization and subcellular compartmentation of recombinant 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase from Arabidopsis in transgenic tobacco. *Plant Physiol.* 119 : 1507-1516.
- Ha, W. G., Y. C. Song, S. J. Yang, B. G. Oh, N. B. Park, D. Y. Kwak, J. S. Lee, S. J. Im, Y. S. Yeo, J. R. Kang, J. K. Jang, M. H. Nam, J. H. Lee, H. Y. Kim, M. K. Kim, D. S. Park, Y. J. Won, H. C. Choi, and S. C. Kim. 2002. A new rice variety with multi-disease resistance and super yield, Hanarumbyeo. *Annual Report of Yeongnam Agricultural Research Institute*. pp. 46-55.
- Han S. S., K. Y. Yoo, M. S. Park, and D. W. Kang. 2009. Reactivity of herbicide benzobicyclon in rice and weedy rice. *Kor. J. Weed Sci.* 29(S) : 105.
- Im, I. B., S. Kim and S. H. Ahn. 2007. Damage response of benzobicyclon for rice varieties. *J. Kor. Weed Sci.* 27(S) : 46.
- Im, I. B., S. Kim, S. H. Ahn, X. H. An, and S. H. Cho. 2008. Control characteristics of weed (Red) rice (*Oryza sativa* L.) by benzobicyclon application. *J. Kor. Weed Sci.* 28(2) : 181-188.
- Kim, S. Y. J. Y. Lee, U. S. Yeo, S. H. Oh, S. T. Park, J. H. Lee, K. H. Jeong, J. H. Cho, Y. C. Song, and H. W. Kang. 2010. Differential tolerance of rice cultivars to mesotrione-contained herbicides. *Kor. J. Weed Sci.* 30(3) : 183-190.
- Korea Crop Protection Association (KCPA). 2010. 2010 Guide book of using the agrochemicals. Sam Jeong Press Co. Seoul. 1199 p.
- Lee, D. L., M. P. Prisbylla, T. H. Cromatie, D. P. Dagarin, S. W. Howard, W. M. Provan, M. K. Ellis, T. Fraser, and L. C. Mutter, 1997. The discovery of p-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase. *Weed Sci.* 45 : 601-609.
- Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids : pigments of photosynthetic membranes. *Methods in Enzymology* 142 : 350-382.
- McCurdy, J. D., J. S. McElroy, D. A. Kopsell, and C. E. Sams. 2009. Mesotrione control and pigment concentration of large carabgrass (*Digitaria sanguinalis*) under varying environmental conditions. *Pest Manag. Sci.* 65 : 640-644.
- O'Sullivan, J., J. Zandstra, and P. Sillem. 2002. Sweet corn (*Zea mays*) cultivar sensitivity to mesotrione. *Weed Tech.* 16 : 421-425.
- Pallett, K. E., J. P. Little, P. Veerasekaran, and F. Viviani. 1997. Inhibition of 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase : the mode of action of the herbicide RPA 201772 (Isoxaflutole). *Pestic. Sci.* 50 : 83-84.