Mesotrione 함유 제초제에 대한 벼 생태형간 약해반응 차이

김상열[1*], 이지윤, 여운상, 오성환, 박성태, 이종희, 정국현, 조준현, 송유천, 강항원

Differential Tolerance of Rice Cultivars to Mesotrione-Contained Herbicides

Sang-Yeol Kim[1*], Ji-Yoon Lee, Un-Sang Yeo, Seong-Hwan Oh, Sung-Tae Park Jong-Hee Lee, Kuk-Hyun Jeong, Jun-Hyeon Cho, You-Chun Song and Hang-Won Kang

ABSTRACT Greenhouse experiment was conducted to evaluate tolerance of six rice cultivars, three Indica×Japonica rice (long grain, cv. Dasanbyeo, Segejinmi and Hanareumbyeo) and three Japonica rice (short grain, Nampyung, Ilpumbyeo and Junamjosaeng) cultivars, to mesotrione+pretilachlor (MP) and bensulfuron-methyl+mesotrione+pretilachlor+pyriftalid (BMPP) in transplanting rice. Two herbicides were applied at 90 g and 180 g a.i. ha^{-1} to three to four leaf stage rice at 5 and 15 days after transplanting, respectively. Related study was also conducted to compare GR_{50} for Indica× Japonica and Japonica rice cultivars at different MP rates. Response to two herbicides varied with respect to rice cultivars and herbicide rates. All Indica×Japonica rice cultivars exhibited susceptible to both MP and BMPP as reflected by increased visual injury, shorter plant height and higher plant dry matter reduction when compared with nontreated rice cutlivars. The degree of foliar chlorosis by MP at 90 g a.i. ha^{-1} was 5～6 at 7 days after treatment(DAT) but it was decreased to 3～6 at 14DAT. The degree of leaf chlorosis treated with 180 g a.i. ha^{-1} MP was 6～7 at 7DAT and it was also decreased to 3～8 at 14 DAT. The plant hight of Indica×Japonica rices was inhibited by 18～43% at application of 90 g a.i. ha^{-1} MP and 30～50% at 180 g a.i. ha^{-1} MP. The dry matter reduction was greater than that of plant height inhibition, showing 46～73% at 90 g a.i. ha^{-1} MP and 65～82% at 180 g a.i. ha^{-1} MP. Similar leaf chlorosis injury and growth inhibition of rice cultivars was observed in the BMPP treatment. The injury and growth inhibition by MP and BMPP increased with increase in herbicide rate from 90 g a.i. ha^{-1} to 180 g a.i. ha^{-1}. However, most of the Japonica cultivars are tolerant to MP and BMPP at both rates. There was no visible leaf chlorosis but plant

[1] 농촌진흥청 국립식량과학원 기능성작물부, 627-803 경남 밀양시 내이동 1085번지(Department of Functional Crop, National Institute of Crop Science, RDA, Milyang 627-803, Korea).

* 연락저자(Corresponding author) : Phone) +82-55-350-1174, Fax) +82+55-352-3059, Email) kimsy3@korea.kr

(Received September 1, 2010; Examined September 7, 2010; Accepted September 14, 2010)

height and dry matter production were slightly reduced at 180 g a.i. ha^{-1}. Based on GR_{50} value determined in reduction of shoot dry weight for MP, the Indica×Japonica rice showed 12.9 fold lower compared with the Japonica rice. The result indicates that rice cultivars vary in tolerance to herbicides of MP and BMPP and Indica×Japonica rices were more susceptible than the Japonica rices to the MP and BMPP.

Key words: crop injury; mesotrione; rice; tolerance.

서 언

우리나라는 1970년대 초에 Indica×Japonica와 Japonica간의 원연교잡에 의하여 통일형 벼 품종을 육성하여 수량을 획기적으로 높임으로써 1970년대 후반에 주곡의 자급을 달성하였다. 녹색혁명을 주도했던 통일형 품종은 1980년 극심한 냉해와 이후 일반 벼 위주 보급 정책에 따라 그 재배면적이 급감하여 현재는 대부분이 일본형 품종이 재배되고 있다.

하지만 미래의 식량위기 시 안정적인 식량 공급과 통일 등을 대비하여 초다수성 벼 품종 육성을 계속하여 다산벼, 한아름벼, 세계진미 등과 같은 품종을 육성 보급 하였다(최 등 1997; 양 등 2003; 조 등 2010). 최근에는 우리 쌀의 소비촉진과 소득 증대를 위한 가공식품개발의 원료비용 절감 등을 목적으로 가공용 초다수성 벼 품종 개발 및 보급을 하고 있다. 그리하여 통일형 벼 품종 재배면적은 2009년 현재 102㏊로 많지는 않지만 앞으로 세계 식량사정, 남북교류, 쌀 가공식품의 수요 등에 따라 점차 늘어날 것으로 전망된다.

우리나라에서는 1980년대 중반 이후 일본형 벼가 주로 재배되면서 제초제 반응 관련 시험도 일본형 벼 품종을 중심으로 이루어지고, 재배 면적이 적은 통일형 벼에 대해서는 소홀히 해왔는데, 최근 통일형 벼에서 제초제 약해가 자주 발생되고 있어 문제가 되고 있다. 특히 최근에 등록된 mesotrione을 함유하고 있는 MP(mesotrione과 pretilachlor 등 2종 혼합제) 및 BMPP(bensulfuron-methyl, mesotrione, pretilachlor 및 pyriftalid의 4종 혼합제) 제초제를 초다수성 벼에 사용시 심한 약해가 발생하였다.

Mesotrione 제초제는 미국, 유럽 및 라틴아메리카에서 옥수수와 수수 재배시 발아전・후 처리 제초제로서 널리 사용되고 있는 제초제이나(O'Sullivan 등 2002; Abit와 Al-Khatib 2009; Abit 등 2009), 우리나라에서는 설포닐우레아계 저항성잡초인 물달개비, 알방동사니, 마디꽃 등을 방제하기 위해 2007년에 등록된 약제로서 MP는 벼 이앙후 5～7일에 잡초출아전 처리제로, BMPP는 이앙 후 15일에 처리하는 제초제로 시판 되고 있다. Mesotrione의 작용기작은 benzobicyclon과 마찬가지로 carotenoid 생합성에 관여하는 p-hydroxyphenyl pyruvate dioxygenase(HPPD) 효소를 억제하여 백화 현상을 보이고 심하면 괴사하게 된다(Barta와 Boger 1996; Pallett 등 1997; Garcia 등 1999; Lee 등 1997; McCurdy 등 2009). 제초제 benzobicyclon에 대한 벼 품종 및 생태형간 약해발생 보고에 의하면 통일형 및 특수미 벼 품종이 일본형 벼 품종보다 훨씬 약해가 심하였는데 통일형 품종은 표준량에서 백화 또눈 고사하였으나 일본형 품종은 같은 농도에서도 약해발생이 없거나 적었다(임 등 2007; 임 등 2008; 한 등 2008; 양 등 2010). 또 잡초성벼의 benzobicyclon에 대한 내성도 단립종이 장립종보다 41～54배가 높았다고 보고하였다(임 등 2007; 임 등 2008).

최근 통일형 벼 품종의 재배면적이 증가하는 상황에서 안전재배기술을 확립하기 위해서는 이들 MP 및 BMPP 제초제에 대한 벼 품종간 약해 발생 관련 정보가 필요하다. 따라서 이들 제초제에 대한 벼 생태형별 약해 발생 기초자료를 얻기 위해 제반 시험을 실시하였다.

재료 및 방법

제초제 MP 및 BMPP에 대한 벼 생육억제 조사

본시험은 2010년 6월부터 8월까지 국립식량과학원 기능성작물부 유리온실에서 통일형(인도형×일본형) 초다수 품종인 다산벼, 한아름벼 세계진미와 일본형 품종인 남평벼, 일품벼, 주남조생을 사용하여 포트시험으로 실시하였다. 플라스틱사각포트(가로 36×세로 55×높이 14cm)에 논흙(덕평통)을 10cm 높이로 충진하고 물을 넣어 교반한 다음 40일모를 6월 15일에 재식거리 10×7cm에 1본씩 5반복으로 이앙하였다. MP 및 BMPP 제초제는 이앙 후 5일과 15일에 각각 90g(표준량), 180g(2배량) a.i. ha^{-1}를 처리하였다.

MP 및 BMPP의 약해는 처리 후 7일과 14일에 달관조사하여 0(정상)~9(100% 황백화, 고사)로 나타내었다. 벼 생육억제율은 MP의 경우 처리 후 14, BMPP의 경우 처리 후 20일에 식물체를 채취하여 초장 및 건물중을 조사하여 무처리 대비로 나타내었다.

벼 생육을 위해 이앙 후 10일에 포트당 요소 3g을 처리하였고, 기타 벼 재배관리 및 생육조사는 농촌진흥청 벼 표준재배법에 준하여 실시하였다.

MP에 대한 약량별 건물중 조사

통일형 및 일본형 벼 품종의 50% 생장억제율(GR_{50})을 비교하기 위하여 MP 처리농도를 11.2, 22.5, 45, 90(표준량), 180, 360, 720g a.i. ha^{-1}로 처리하여 위와 같은 방법으로 실시하였다. 약제처리 후 14일에 식물체를 채취하여 건물중은 위와 같이 조사하여 통일형과 일본형 벼 각 3품종의 약량별 그래프를 구하고, 이 회귀식을 이용하여 GR_{50}을 계산하였다. 기타 벼 재배관리 및 생육조사는 위의 시험과 같은 방법으로 실시하였다.

시험기간 동안 온실내의 온도 조사는 2시간 마다 기록하는 자동온도 기록장치(Thermo recorder TR-72U, T and D Corporation, Japan)를 이용하였다.

결과 및 고찰

시험기간 동안 온도변화

시험 기간동안 온실내의 최고, 평균 및 최저온도는 그림 1과 같다. 평균온도는 31.1℃, 최고온도는 42.9℃, 최저온도는 25.0℃로 외부온도보다 평균기온은 4.7℃, 최고기온은 11.7℃, 최저온도는 2.1℃ 높았다.

제초제 MP 및 BMPP에 대한 벼 생태형간 생육억제 차이

제초제 MP 및 BMPP에 대한 벼 품종간 약해는 생태형에 따라 달랐는데 통일형 벼가 일본형 벼보다 약해가 더 심하였다(표 1, 표 2). 통일형 벼는 처리 후 5일부터 신엽에서 백화현상이 나타나기 시작하여 7일에 가장 뚜렷하였고 약해는 5~6정도로 신엽의 70%

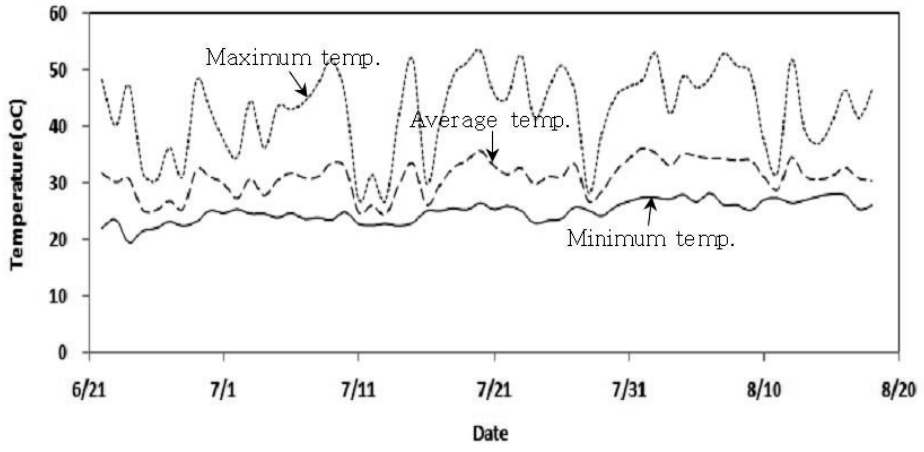


Fig. 1. Maximum, average and minimum temperatures of inside greenhouse during experimental period.

Table 1. Chlorosis of six rice cultivars at 7 and 14 days after application of mesotrione+pretilachlor.

Rice type	Cultivar	Pytotoxicity (0～9)			
		7DAT[1)]		14DAT	
		90 g[2)]	180 g	90 g	180 g
Indica×Japonica	Dasanbyeo	5	6	3	7
	Segejinmi	6	7	6	8
	Hanareumbyeo	5	6	4	5
Japonica	Nampyung	0	0	0	0
	Ilpumbyeo	0	0	0	0
	Junamjosaeng	0	0	0	0

[1)]DAT : day after treatment.
[2)]g : a.i. ha^{-1}.

이상 백화현상을 나타내었고 처리 후 14일에는 백화현상이 약해지고 회복 되기 시작하여 처리 후 7일보다 적은 3～6정도로 조사되었다. BMPP도 MP와 비슷한 약해 정도를 나타내었는데 표준량 처리 7일 후에는 6, 14일 후에는 3～5 정도 이었으며 배량에서는 8, 14일에는 7정도의 백화를 나타내었고, 약해 정도는 표준량보다 배량에서 처리약량이 증가할수록 더 심하였다. 이 결과는 mesotrione을 수수에 처리했을 때 처리 후 14일이 지나자 회복된다는 보고와 비슷한 경향이었다(Abit 등 2009). MP 및 BMPP 처리시 백화현상을 나타내는 것은 제초제 성분인 mesotrione이 카로티노이드 생합성을 억제하기 때문으로 여겨진다. 많은 연구자들이 mesotrione에 감수성인 작물의 피해증상으로 카로티노이드 생합성이 억제되어 백화현상을 보인다고 보고하였다(Armel 등 2007; McCurdy 등 2009).

제초제 MP 및 BMPP에 대한 벼 생태형별 초장 및 건물중 억제정도는 표 3, 4, 5, 6과 같다. MP 처리 후 14일에 다산벼, 한아름벼, 세계진미의 생육은 무처리 대비 초장은 표준량에서는 18～43%, 배량에서는 30～50% 억제되었고, 건물중은 표준량에서는 46～72%, 배량에서는 64～83%로 초장보다 더 크게 억제되었다(표 3, 표 5).

BMPP 처리시 초장의 억제는 표준량에서 5～13%,

Table 2. Chlorosis of six rice cultivars at 7 and 14 days after application of bensulfuron-methyl+mesotrione+pretilachlor+pyriftalid.

Rice type	Cultivar	Pytotoxicity (0～9)			
		7DAT[1)]		14DAT	
		90 g[2)]	180 g	90 g	180 g
Indica×Japonica	Dasanbyeo	6	8	3	7
	Segejinmi	6	8	5	7
	Hanareumbyeo	6	8	5	7
Japonica	Nampyung	0	0	0	0
	Ilpumbyeo	0	0	0	0
	Junamjosaeng	0	0	0	0

[1)]DAT : day after treatment.
[2)]g : a.i. ha^{-1}.

Table 3. Plant height inhibition of Indica×Japonica and Japonica rice cultivars at 14 days after pre-emergence application of mesotrione+pretilachlor.

Rice type	Cultivar	Plant height (cm)			Inhibition rate (%)	
		Untreated	90 g[2)]	180 g	90 g	180 g
Indica×Japonica	Dasanbyeo	51a[1)]	42b	31c	18	39
	Segejinmi	54a	31b	27b	43	50
	Hanareumbyeo	47a	38b	33b	19	30
Japonica	Nampyungbyeo	53a	48b	47b	9	11
	Ilpumbyeo	49a	47a	45b	4	8
	Junamjosaeng	50a	49a	42b	1	16

[1)]Means with the same letters in a row did not significantly differ at 5% by DMRT.
[2)]g : a.i. ha^{-1}.

Table 4. Plant height inhibition of Indica×Japonica and Japonica rice cultivars at 20 days after application of bensulfuron-methyl+mesotrione+pretilachlor+pyriftalid.

Rice type	Cultivar	Plant height (cm)			Inhibition rate (%)	
		Untreated	90 g[2)]	180 g	90 g	180 g
Indica×Japonica	Dasanbyeo	59a[1)]	56a	53b	5	10
	Segejinmi	58a	54a	51b	7	12
	Hanareumbyeo	64a	56a	50b	13	22
Japonica	Nampyungbyeo	61a	64a	60a	0	2
	Ilpumbyeo	57a	59a	61a	0	0
	Junamjosaeng	58a	61a	59a	0	0

[1)]Means with the same letters in a row did not significantly differ at 5% by DMRT.
[2)]g : a.i. ha^{-1}.

Table 5. Dry weight inhibition of Indica×Japonica and Japonica rice cultivars at 14 days after pre-emergence application of mesotrione+pretilachlor.

Rice type	Cultivar	Dry weight (g/plant)			Inhibition rate (%)	
		Untreated	90 g[2)]	180 g	90 g	180 g
Indica×Japonica	Dasanbyeo	0.57a[1)]	0.26b	0.14b	54	75
	Segejinmi	0.51a	0.14b	0.09b	73	82
	Hanareumbyeo	0.48a	0.26b	0.17b	46	65
Japonica	Nampyungbyeo	0.51a	0.50a	0.40a	2	22
	Ilpumbyeo	0.59a	0.58a	0.48a	2	19
	Junamjosaeng	0.38a	0.38a	0.34a	0	11

[1)]Means with the same letters in a row did not significantly differ at 5% by DMRT.
[2)]g : a.i. ha^{-1}.

배량에서는 10～22%이었고, 건물중은 표준량에서 33～47%, 배량에서 56～62%가 억제가 되었으나, MP에 비해서는 생육 억제 정도가 낮았다(표 4, 표 6). 이러한 경향은 BMPP의 경우는 이앙 후 14일에 처리로

Table 6. Dry weight inhibition of Indica×Japonica and Japonica rice cultivars at 20 days after application of bensulfuron-methyl+mesotrione+pretilachlor+pyriftalid.

Rice type	Cultivar	Dry weight (g/plant)			Inhibition rate (%)	
		Untreated	90 g[2)]	180 g	90 g	180 g
Indica×Japonica	Dasanbyeo	1.86a[1)]	1.19b	0.71c	36	62
	Segejinmi	1.46a	0.78b	0.59b	47	60
	Hanareumbyeo	1.34a	0.90b	0.59c	33	56
Japonica	Nampyungbyeo	1.70a	1.80a	1.62a	0	5
	Ilpumbyeo	1.57a	1.63a	1.52a	0	3
	Junamjosaeng	1.43a	1.47a	1.40a	0	2

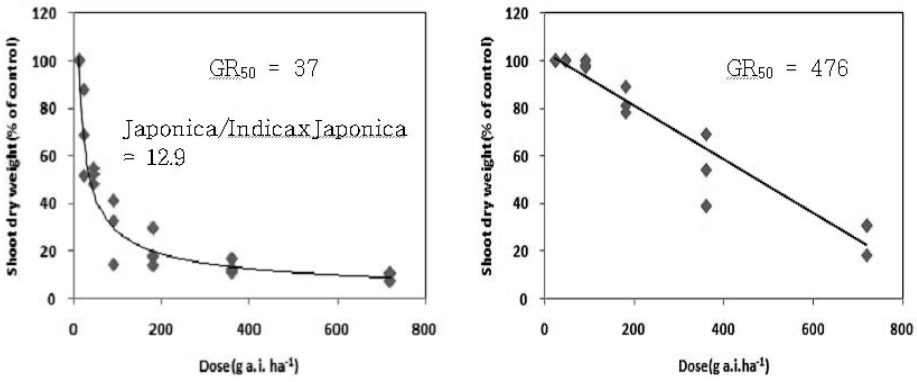
[1)]Means with the same letters in a row did not significantly differ at 5% by DMRT.
[2)]g : a.i. ha^{-1}.

이앙 후 4일후 처리한 벼 보다 생육이 진전된 후 제초제를 처리하였기 때문으로 사료된다.

그러나 일본형 벼 품종은 2배량에서도 백화현상은 보이지 않았고 초장 및 건물중만 약간 억제가 되는 경향이었으나 무처리에 비해 유의성이 없었다. 이러한 결과는 MP 및 BMPP에 대한 약해 반응은 벼 생태형 및 품종에 따라 다르고, 통일형 벼가 일본형 벼 보다 감수성이 크다는 것을 의미한다. 이는 MP 및 BMPP와 작용기작이 같은 benzobicyclon에 대한 카로티노이드 생합성은 다수계가 일본형 벼 품종보다 5.5배나 억제되었고, 약해발생도 심하였다고 보고한 한 등(2009)과 양 등(2010)의 결과와 같은 경향이었다. 벼 생태형간 내성 차이에 대한 원인은 명확하지 않으나 잡종 수수의 mesotrione에 대한 내성차이는 mesotrione 성분을 분해시키는 정도에 따라 달랐다는 보고가 있어(Abit와 Al-Katib 2009) 벼도 수수와 같은 작용기작을 가질 것으로 추정되나 추후 이에 대한 구명시험이 필요 할 것으로 판단된다.

MP에 대한 벼 생태형간 G_{50} 차이

통일형 및 일본형 벼 품종간 제초제 MP에 대한 처리 약량별 벼 건물생산 억제정도는 그림 2와 같다. 장립종인 통일형 벼가 단립종인 일본형 벼 보다 훨씬 적은 약량에서 약해증상을 보였다. 통일형 벼는 표준량의 1/4량 처리에서도 건물중이 12～48%가 억제되었고 억제정도는 처리 약량이 증가할수록 급격히



Indica×Japonica type Japonica type

Fig. 2. Difference of shoot biomass reduction for Indica×Japonica and Japonica rice cultivars applied with different dose of mesotrione+pretilachlor at 5 days after transplanting.

증가되어 2배량에서는 71～87%가 억제되었다. 반면 일본형 벼는 통일형과 달리 2배량에서도 건물생산이 크게 억제되지 않았고, 4배량에서 생육이 크게 억제가 되었으며 억제정도는 직선형으로 나타났다. 건물중의 50% 억제되는 농도인 GR_{50}을 회귀식을 이용하여 구한 결과, 일본형 벼 품종은 476g a.i. ha^{-1}로 통일형 벼 품종의 37g a.i. ha^{-1}보다 12.9배 정도 강하였다. 이러한 경향은 MP와 같이 HPPD를 억제하는 benzobicyclon에 대한 초다수성 및 특수미 품종도 일본형 품종보다 약해발생이 심하였다는 양 등(2010) 및 한 등(2008)의 보고와 비슷하였고, 잡초성벼에서도 단립종이 장립종보다 내성이 41～54배가 높았다는 결과와 같은 경향이었다(임 등 2007; 임 등 2008).

요 약

최근에 등록된 mesotrione+pretilachlor(MP) 및 bensulfuron-methyl+mesotrione+pretilachlor+pyriftalid(BMPP)에 대한 벼 생태형간 약해 반응을 조사하기 위해 통일형(장립종) 및 일본형(단립종) 각 3 품종을 표준량과 2배량을 처리하여 온실에서 포트시험한 결과는 다음과 같다. 제초제 MP 및 BMPP에 대한 약해반응은 벼 생태형에 따라 달랐는데 통일형 품종은 모두 감수성을 보였으나 일본형 벼는 약해가 발생하지 않았다. 통일형 벼는 제초제 처리 후 5일부터 백화증상을 보였고 7일에 약해증상이 뚜렷하였으며 처리 후 14일에는 약해증상이 처리 후 7일 보다 약해지는 경향이었다. 약해정도는 처리농도가 증가할 수록 약해발생이 심하였다. MP 및 BMPP에 대한 통일형 벼 품종의 초장 억제율은 90g a.i. ha^{-1}(표준량)에서 18～43%, 배량에서 30～50% 억제되었고 건물중은 초장보다 억제가 더 커 표준량에서는 46～73%, 배량에서는 65～82%가 억제되었고 억제정도는 농도가 증가할수록 컸다. 하지만 대부분의 일본형 벼는 제초제 2배에서도 약해증상을 보이지 않았으나 초장 및 건물중이 약간 억제 되었다. 벼 생태형별 MP에 대한 50% 생육억제 농도를 조사한 결과, 통일형 벼는 37g a.i. ha^{-1}로 일본형 벼의 476g a.i. ha^{-1}보다 12.9배나 낮았다. 이상의 결과에서 mesotrione을 함유하고 있는 MP 및 BMPP에 대한 벼 생태형간 반응에 차이가 있고, 초다수형 벼 재배시 초기 잡초 발아전 제초제로서 MP 및 BMPP의 사용을 자제하는 것이 바람직하다.

인 용 문 헌

양세준, 서득용, 김회태, 강정훈, 백인열. 2003. 중생 초다수 복합 내병충성 “한아름벼”(밀양 181호). 영남을 빛낸 종자. 농촌진흥청 영남농업시험장. pp. 191-193.

양원하, 한희석, 안종웅, 곽창길, 이충근, 손지영, 김준환, 이미현, 이은형, 안치중. 2010. 제초제 벤조비사이클론(Benzobicyclon)에 대한 초다수성벼와 특수미의 반응. 한국작물학회지 55(S1):40.

임일빈, 김선, 안승현. 2007. 벼 품종간 Benzobicyclon의 약해반응 차이. 한국잡초학회지 27(S):46.

임일빈, 김선, 안승현, 안설화, 조승현. 2008. Benzobicyclon의 잡초벼 방제 특성. 한국잡초학회지 28(2):181-188.

조준현, 박노봉, 송유천, 여운상, 하운구, 정국현, 이지윤, 이종희, 김춘송, 곽도연, 김상열, 정진일, 이기환, 김정일, 오성환, 전명기, 류현수, 황흥구, 오병근, 강항원, 안진곤. 2010. 식미가 우수한 통일형 초다수 품종 “세계진미” 육성. 한국작물학회지 55(S1):112.

최영근, 김명기, 문헌팔, 조수연, 김정일, 전병태, 정국현, 이점호, 최해춘, 박남규, 황기호, 박래경, 김윤선, 조수현. 1997. 벼 초다수 복합내병성 신품종 “다산벼”. 식량논문집 39(2):68-75.

한성수, 유기용, 박민수, 강대원. 2009. 일반벼와 잡초벼 생태종의 제초제 Benzobicyclon에 대한 반응성. 한국잡초학회지 29(S):105.

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 carotinoid 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.

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.

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.

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. Sillema. 2002. Sweet corn(*Zea mays*) cultivar sensitivity to mesotrione. Weed Sci. 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.