

Weed & Turfgrass Science was renamed from both formerly Korean Journal of Weed Science from Volume 32 (3), 2012, and formerly Korean Journal of Turfgrass Science from Volume 25 (1), 2011 and Asian Journal of Turfgrass Science from Volume 26 (2), 2012 which were launched by The Korean Society of Weed Science and The Turfgrass Society of Korea founded in 1981 and 1987, respectively.

호남지역에서 제초제 저항성 강피의 발생과 방제

임일빈^{1*} · 임보혁¹ · 박재현¹ · 임민혁¹ · 김대현¹ · 장정한¹ · 최경진²

¹(주)바이오식물환경연구소, ²국립식량과학원

Control and Occurrence of Herbicide Resistance *Echinochloa oryzicola* in Rice Paddy Field of Honam Area

Il-Bin Im^{1*}, Bo-Hyeok Im¹, Jea-Hyeon Park¹, Min-Hyeok Im¹, Dae-Hyeon Kim¹, Jeong-Han Jang¹, and Kyeong-Jin Choi²

¹Bio-Plant Environment Research Center, 272-9, Mujin-daero, Gwangsan-gu, Gwangju 62364, Korea

²National Institute of Crop Science, 181, Hyeoksin-ro, Iseo-myeon, Wanju_Gun, Jeollabuk-do 55365 Korea

ABSTRACT. This study was carried out to investigate the ACCase inhibiting herbicide resistant *Echinochloa oryzicola* collected in a Honam rice field and to investigate the control of *E. oryzicola* in directly seeded paddy rice field. The study result showed that about 44% of the 67 biotypes collected in the rice field in Honam region were resistant to ACCase-inhibiting herbicides. The efficacy of several chemical herbicides on these resistant *E. oryzicola* biotypes was evaluated according to their application timings. Among herbicides applied 4 days before seeding, pretilachlor, butachlor, oxadiazon, oxadiargyl, oxadiazon+pretilachlor, and fentrazamide+oxadiargyl, provided 95% or higher control of the resistant *E. oryzicola* biotypes. Among the herbicides applied 10 days after seeding, bromobutide+fentrazamide+imazosulfuron, benzobicyclon+fentrazamide+imazosulfuron, pyrazosulfuron-ethyl+thiobencarb, fentrazamide+imazosulfuron, bromobutide+imazosulfuron+mefenacet and bromobutide+imazosulfuron+pyraclonil provided $\geq 95\%$ control of the weeds. Bromobutide+imazosulfuron+mefenacet and bromobutide+pyrazosulfuron-ethyl+pyriminobac-methyl, applied 15 days after seeding, provided ≥ 95 and 90% control of the weeds. Foliar application of cyhalofop-butyl+propanil at 30 days after seeding provided $\geq 90\%$ control of the weeds. In addition, oxaziclomefone provided $\geq 90\%$ control for 40 days after soil application. These results show that *E. oryzicola* biotypes resistant to ACCase-inhibiting herbicides could be effectively controlled in directly seeded rice in submerged paddy fields using single or tank-mixed chemical herbicides currently available on the market.

Key words: *Echinochloa oryzicola*, Herbicide, Resistance weed, Rice, Weed control

Received on February 1, 2017; Revised on March 15, 2017; Accepted on March 17, 2017

*Corresponding author: Phone) +82-62-945-5031, Fax) +82-62-945-5032; E-mail) imweed@hanmail.net

© 2017 The Korean Society of Weed Science and The Turfgrass Society of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

논에서 쌀 생산을 위한 벼 재배 과정 중에 잡초방제는 필수적인 것이다. 특수한 벼 재배 농법을 제외하고는 대부분 벼 재배 농가에서의 잡초관리는 제초제를 사용한 화학적 방제에 의존하고 있으며, 이로 인하여 용이하게 제초 노력을 절감하고 있는 경향이다. 그러나 제초제를 사용하여도 잡초가 잘 방제 되지 않은 저항성 형질을 가진 잡초들의 생태형이 최근 들어 많이 발생하고 있다(Lee et al., 2012). 제초제에 대한 저항성잡초는 미국 워싱턴주

에서 triazine계 제초제에 대한 저항성 생태형인 *Senecio vulgaris*(개쑥갓)의 출현에 대한 보고가 처음이었다(Ryan 1970). 그 이후 여러 종류의 제초제들에 대한 많은 저항성 잡초들이 보고되고 있으며, 최근까지 제초제 저항성잡초는 세계적으로 67개국에서 91작물에 252종 478생태형이 보고되고 있다. 주로 제초제를 많이 사용하고 농업선진국인 미국, 유럽, 호주 등지의 밭에서 발생하는 잡초들이 많다. 그러나 우리와 농업 형태가 유사하고 특히 쌀을 주식으로 하고 있는 일본의 벼 재배 논에서 최근 30여 년 이상 사용량이 가장 많은 sulfonylurea(이하 SU)계 제초제에 대한 저항

성잡초의 출현이 많이 보고되었다(Heap, 2017). 이들은 물옥잠(*Monochoria kosakowii*)(Kohara et al., 1996; Wang et al., 1997), 논뚝외풀(*Lindernia micrantha*) (Itoh et al., 1997a), 밭뚝외풀(*Lindernia procumbens*) (Itoh et al., 1997b), 미국외풀(*Lindernia dubia*) (Aoki et al., 1998), 마디꽃(*Rotala indica*) (Itoh et al., 1998), 물별(*Elatine triandra*) (Hata et al., 1998), 올챙이고랭이(*Scirpus juncooides*) (Kohara et al., 1998), 구와말(*Limnophila sessiliflora*) (Wang et al., 1998) 및 물달개비(*Monochoria vaginalis*) (Hamamura et al., 2001) 등이며, 우리나라에서도 발생 보고는 좀 늦었지만 물옥잠(Park et al., 1999)이 보고된 이후 전남지역에서는 물달개비(Kwon et al., 2000), 미국외풀(Park et al., 2001), 전북지역에서 올챙이고랭이(Kuk et al., 2002; Im et al., 2003a) 등의 일년생잡초와 올미(Im et al., 2005), 새섬매자기(Park et al., 2006) 등의 다년생잡초에 대한 보고가 있다. 이들 제초제 저항성 잡초는 잡초를 방제하기 위하여 기존에 효과적이었던 제초제를 살포하여도 방제되지 않고 생존하여 종자를 맺어 후대까지도 유전되는 것이라고 하였는데(Prather et al., 2000), SU계 저항성 잡초도 수년간 동일계통의 제초제가 연용 되어짐에 따라 저항성화 된 것으로 보고하고 있다(Itoh et al., 1997a; Kwon et al., 2000; Park et al., 2014). 벼 재배 논에서 SU계 저항성 물달개비의 경합시 직파재배 벼는 70%, 이앙재배 벼는 44% 정도 수량감소가 되어, SU계 저항성 물달개비의 발생시 직파재배에서는 파종 후 31일, 이앙재배에서는 이앙 후 45일 이내에 방제되어야 한다고 하였다(kuk et al., 2004). 이에 따라 우리나라에서도 저항성 잡초에 대한 방제연구가 진행되었다. SU계 제초제 저항성 알방동사니(Im et al., 2003b), 물달개비(Im et al., 2004b), 미국외풀(Im et al., 2004a) 등 일년생 저항성잡초와 올챙이고랭이(Im et al., 2003a), 올미(Im et al., 2005), 새섬매자기(Park et al., 2006), 쇠털골(Kwon et al., 2009) 등 다년생 저항성잡초의 생육시기 등에 따라 방제 가능 제초제를 제시한 바 있다. Kuk et al. (2004)은 직파재배와 이앙재배시 SU계 저항성 물달개비, 미국외풀, 마디꽃의 효과적인 방제시기를 제시한 바 있다. 최근에는 ACCase 저해 제초제에 대한 저항성인 피의 발생이 급격하게 늘어나고 있는 추세이다. ACCase 저해 제초제에 대한 저항성 피는 2006년에 김제시 죽산면 지역의 벼 재배 논에서 강피가 발견(Im, 2009)된 이래 충남 서산에서 물피에 대한 보고도 있다(Im et al., 2009). 또한 Lee et al. (2012)이 전국적으로 조사한 바에 의하면 5.1%의 논에서 저항성 피가 발생하고 있다고 한다. 따라서 본 연구는 농가에서 발생되고 있는 강피가 ACCase 저해 제초제에 어느 정도 저항성을 지니고 있는지 검토하고, 벼 무논직파 재배시 효과적으로 방제할 수 있는 적절한 제초제의 선발과 방제방법을 구명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

수집 강피의 ACCase 저해 제초제에 대한 저항성 검정

실험에 사용된 강피는 2011년 10월에 전남 광주 지역은 강진군 성전면 등 42지역, 전북지역은 군산시 개정면 등 25 지역 등 전남북 벼 재배지 67지역에서 수집하였다(Table 1).

Table 1. Resistance test for ACCase inhibitory herbicide (cyhalohop-butyl) of *Echinochloa oryzicola* species collected on Honam area in 2011.

Occuring area	Elongation rate (%)		Untreated Re-growth	SE ^x	Resistance	
	1X ^u	2X ^v			R ^y or S ^z	R or S
Kwangsan deasan	88.9	97.3	21.9	0.4	R	R
Kwangsan jisan	95.9	93.2	22.0	0.4	R	R
Kwangsan myeonghwa	0	0	23.0	0.6	S	S
Kwangsan samdo	0	0	20.1	2.5	S	S
Kwangsan sansu	94.7	92.4	22.5	0.4	R	R
Kwangsan Yogid	0	0	22.8	1.3	S	S
Kwangsan Yonggok	33.0	1.5	22.9	1.6	R	S
Kwangsan Yonggok	29.4	0.0	21.3	1.7	R	S
Seogu seha	0	0	22.4	1.0	S	S
Seogu seha	65.1	71.6	21.7	0.5	R	R
Boseong miryeok	0	0	21.3	0.9	S	S
Boseongup	0	0	21.5	1.4	S	S
Damyang pyeongchang	0	0	23.0	1.6	S	S
Damyang subuk	39.3	57.8	23.1	0.6	R	R
Damyangup	0	0	21.5	0.6	S	S
Gangjin seongjeon	0	0	22.4	0.3	S	S
Haenam okcheon	3.1	4.6	21.6	0.1	S	S
Haenam sani	0	0	21.0	1.3	S	S
Haenamup	20.0	38.9	23.3	0.6	R	R
Hampyeong daedong	35.0	35.4	22.4	0.4	R	R
Hampyeong haebo	0	0	22.2	0.9	S	S
Hampyeong hakkyo	0	0	20.5	0.7	S	S
Hampyeong ueolyea	0	0	22.9	1.1	S	S
Hwasun chunyang	0	0	20.0	1.1	S	S
Hwasun iyang	0	0	21.5	0.3	S	S
Hwasunup	1.5	0	21.6	0.1	S	S
Jangseong hwangr	0	0	22.7	2.6	S	S
Jangseong hwangryong	0	0	22.3	0.4	S	S
Jangseong hwangryong	0	0	22.3	0.4	S	S
Jangseong nam	49.0	35.4	24.5	1.9	R	R
Jangseongup	0	0	23.5	0.6	S	S

Table 1. Resistance test for ACCase inhibitory herbicide (cyhalohop-butyl) of *Echinochloa oryzicola* species collected on Honam area in 2011 (continued).

Occuring area	Elongation rate (%)		Untreated Re-growth	Resistance SE ^x	R ^y or S ^z	R or S
	1X ^u	2X ^v				
kokseong okkwa	0	0	20.3	0.8	S	S
Muan cheonggyeo	0	0	21.8	1.1	S	S
Muanup	0	0	20.6	1.9	S	S
Naju bannam	0	0	23.8	1.4	S	S
Naju moonpyeong	0	0	21.5	1.4	S	S
Naju seji	0	0	22.3	1.5	S	S
Naju seokhyeon	0	0	22.1	0.8	S	S
Naju wanggok	0	0	23.6	1.0	S	S
Yeongam jong	41.4	30.3	20.8	2.5	R	R
Yeongkwang bulgab	0.0	0.0	21.3	2.3	S	S
Yeongkwangup	0	0	22.4	0.7	S	S
Buan baeksan	82.6	64.0	22.4	1.2	R	R
Buan baeskan	80.6	86.4	19.1	1.9	R	R
Buan dongin	66.2	57.4	21.8	0.7	R	R
Buan julpo	47.3	25.5	22.8	1.5	R	R
Buan sangseo	43.7	28.5	21.3	1.1	R	R
Iksan osan	29.3	80.4	22.1	0.6	R	R
Jeongup goykyodong	0	0	23.6	0.1	S	S
Jeongup nongsodong	62.5	75.8	21.8	1.6	R	R
Jeongup gobu	69.5	81.2	21.5	0.3	R	R
Jeongup imam	0	0	24.0	0.7	S	S
Jeongup taein	81.9	76.7	21.5	1.6	R	R
Kimjae hwangsandong	0	0	22.2	1.6	S	S
Kimjae mankyeongup	56.4	49.7	21.8	2.8	R	R
Kimjae seongduk	90.1	96.6	19.6	1.7	R	R
Kimjae seongduk	54.0	69.3	22.6	1.4	R	R
Kimjae seongduk	72.4	74.3	21.2	2.0	R	R
Kimjae baeksan	25.6	61.7	22.2	0.9	R	R
Kimjae bongnam	27.8	44.6	23.8	0.7	R	R
Kimjae bongnam	29.3	47.1	22.5	0.7	R	R
Kimjae bongnam	15.2	0	20.9	0.4	S	S
Kimjae juksan	92.3	88.1	19.1	1.8	R	R
Kunsan daeya	53.3	82.9	22.4	0.9	R	R
Kunsan gaejung	62.6	66.9	21.6	1.4	R	R
Kunsan oksan	47.8	81.5	21.8	0.7	R	R
Namweon daegang	0	0	20.8	1.6	S	S

^u1X: 250 g a.i. ha⁻¹, ^v2X: 500 g a.i. ha⁻¹, ^xSE: Standard error, ^yR: Resistance, ^zS: Sensitivity.

이들 수집 강피의 ACCase 저해 제초제에 대한 저항성을 검정하기 위하여 종자는 5월 16일에 파종하였으며, 검정에 사용한 제초제는 cyhalohop-butyl의 기준량(250 g a.i ha⁻¹) 및 배량(500 g a.i ha⁻¹)을 6월 6일에 처리하였다. 검정방법은 Moon et al. (2009)의 ACCase계 저해제 저항성 피의 신속 간이 검정법을 응용하여 강피가 4~5엽기까지 성장한 개체를 지제부에서 1 cm 정도 남기고 절단한 후 수심 3 cm 정도의 상태에서 시험 제초제를 처리하였으며, 처리 후 12 일에 경엽이 20% 이상 신장률로 재생한 종을 저항성으로, 완전 고사한 종을 감수성으로 판단하였다. 저항성 종의 비율은 무처리 대비 20% 이상 초장 신장한 종의 수 / 전체 수집종의 수 * 100으로 계산하였다. 전체 실험은 비닐 하우스에서 수행되었으며, 토양처리 실험을 위하여 제초제 처리 후 수심은 3 cm로 유지시켰다. 실험은 완전임의배치 3반복으로 수행하였다.

제초제 저항성 강피의 방제 특성

벼 무논직파 재배시 ACCase 저해 제초제 저항성 강피의 방제 특성을 구명하기 위하여 실험에 사용된 강피는 광주광역시 광산구에서 2015년에 채종한 종자를 5-7°C에서 시험 전까지 보관하였으며, 파종전 2일 전에 상온 상태의 물에 침종한 후 실험 종자로 사용하였다. 벼 파종 전 초기 방제 특성을 구명하기 위하여 파종 전 4일에 토양 정지와 동시에 pretilachlor (560 g a.i. ha⁻¹), butachlor (1320 g a.i. ha⁻¹), oxadiazon (480 g a.i. ha⁻¹), oxadiargyl (68 g a.i. ha⁻¹), oxadiazon+pretilachlor (240+480 g a.i. ha⁻¹), fentrazamide+oxadiargyl (80+52 g a.i. ha⁻¹) 및 benzobicyclon (140 g a.i. ha⁻¹)의 표준량을 처리하였다. 벼에 대한 약해를 검토하기 위하여 제초제 처리 후 4일에 무논 상태에서 1 mm 정도 최아된 벼(새누리) 종자를 포트당 10립씩 파종하였다. 약해조사는 파종 후 15일에 0(약해 없음)에서 9(완전고사) 정도로 달관조사하였다. 파종 후 초중기 방제 특성을 구명하기 위하여 benzobicyclon+imazosulfuron+pyriminobac-methyl (250+75+30 g a.i. ha⁻¹), bromobutide+fentrazamide+imazosulfuron (900+300+75 g a.i. ha⁻¹), benzobicyclon+fentrazamide+imazosulfuron (210+300+75 g a.i. ha⁻¹), pyrazosulfuron-ethyl+thiobencarb (210+2,100 g a.i. ha⁻¹), fentrazamide+imazosulfuron (300+75 g a.i. ha⁻¹), bromobutide+pyrazosulfuron-ethyl+pyriminobac-methyl (900+210+30 g a.i. ha⁻¹), bromobutide+imazosulfuron+mefenacet (750+75+1050 g a.i. ha⁻¹) 및 bromobutide+imazosulfuron+pyraclonil (900+75+180 g a.i. ha⁻¹)을 파종 후 10일에 담수 후 처리하였다. 또한 담수 후 중기에 저항성 강피의 방제특성을 구명하기 위하여 fentrazamide+imazosulfuron (300+75 g a.i. ha⁻¹), bromobutide+pyrazosulfuron-ethyl+pyriminobac-methyl (900+210+30 g a.i. ha⁻¹), bromobutide+imazosulfuron+mefenacet

(750+75+1050 g a.i. ha⁻¹), bromobutide+imazosulfuron+pyraclostrobin (900+75+180 g a.i. ha⁻¹), triafamone+tefuryltrione (49+196 g a.i. ha⁻¹) 및 florypyrauxifen-benzyl (37.5 g a.i. ha⁻¹)을 파종 후 15일에 처리하였다. 후기에 방제효과를 검토하기 위하여 파종 후 30일에 cyhalofop-butyl (250 g a.i. ha⁻¹), cyhalofop-butyl+propanil (225+2,000 g a.i. ha⁻¹) 및 florypyrauxifen-benzyl (37.5 g a.i. ha⁻¹)을 처리하였다. 토양처리 실험을 위하여 제초제 처리 후 수심은 3 cm로 유지하였다. 방제효과는 무방제 0에서 완전고사 9로 조사하여 9를 방제가 100으로 환산하여 계산하였다. 전체 실험은 비닐 하우스 내에서 수행되었으며, 토양처리 실험을 위하여 제초제 처리 후 수심은 3 cm로 유지시켰다. 실험은 완전임의배치 3반복으로 수행하였다.

제초제 저항성 강피의 방제 지속 효과

ACCCase 저해 제초제 저항성 강피에 대한 방제효과 지속성을 검토하기 위하여 2016년 6월 5일에 oxaziclonofone (60 g a.i. ha⁻¹), fentrazamide (300 g a.i. ha⁻¹) 및 mefenacet (1,050 g a.i. ha⁻¹)을 처리하였으며, 처리시 담수심은 5 cm 정도이었고, 처리 이후에는 3-5 cm 정도로 유지하였다. 저항성 강피는 제초제 처리 직후부터 10일 간격으로 60일까지 파종하였다. 실험에 사용된 강피의 종자는 2015년에 광주광역시 광산구에서 채종한 것을 5°C에서 건조 냉장 보관하면서 파종 2일 전에 5°C에서 침지한 후 파종하였다. 파종량은 24×18 cm 포트당 40-80립 정도이었다. 전체 실험은 비닐 하우스 내에서 완전 임의 배치 3반복으로 수행하였으며, 방제 효과는 파종 후 10일 및 20일에 조사하였다.

결과 및 고찰

강피의 제초제 저항성 검정과 저항성 강피의 발생지역

전남, 전북 벼 재배 논에서 수집한 67종의 강피에 대하여 ACCCase 저해 제초제 cyhalofop-butyl에 대한 저항성을 검정한 결과(Table 1), 기준량(250 g a.i. ha⁻¹)에서 31종이 생존하여 약 46%, 배량(500 g a.i. ha⁻¹)에서는 29종이 생존하여 약 43%로 전체적으로는 약 44% 정도가 저항성 종으로 판단되었다. 종자 수집 시기가 벼 수확 10-30여일 전이었으며, 논 전체로 보아 강피가 우점한 상태로 저항성종으로 예상하고 채취 하였으나, 검정 결과는 약 43% 정도가 저항성으로 판단되었다. Lee et al. (2012)이 전국 논에 5% 정도 발생하고 있다는 보고 보다는 훨씬 높은 정도로 발생하고 있는 경향이다. ACCCase 저해 제초제 저항성 강피가 발생한 지역은 전북에서는 김제, 정읍, 부안, 군산, 익산으로 5개 시군이었으며, 광주 전남에는 담양, 영광, 함평, 나주, 해남, 장성, 광주 서구, 광산구 등으로 8개 시군 구이었다. 배량에서도 80% 이상 재생률을 보인 저항성 정도가 매우 강한 강

피가 발생한 지역은 전북에서는 김제, 정읍, 부안, 군산, 광주 전남에서는 담양, 광주 서구, 광주 광산구 등이었다. 수집 지역 중 감수성 강피만 발생한 시군은 전북은 남원, 전남은 보성, 강진, 무안, 곡성, 영암이었다. 하지만 감수성만 발생한 시군도 보다 폭 넓게 조사하면 저항성 종이 발생할 것으로 예측된다. 따라서 제초제 저항성 잡초는 매년 주기적으로 조사하여 발생지역을 파악하여 효과적인 방제기술을 개발하고, 바로 농가에 기술이 보급되어야 할 것으로 사료된다. 특히 ACCCase 저해 제초제에 대한 저항성인 강피는 ALS 저해 제초제 저항성과 살초 작용기작이 다르기 때문에 또 다른 방제체계가 요구된다. Lee et al. (2011)은 저항성 강피의 엽기별로 방제효과가 있는 제초제를 검토한 결과 2.5엽기에도 mefenacet+pyrazosulfuron-ethyl 등은 5약제는 100% 방제효과가 있다고 보고 한바 있다. 그러나 이들 제초제는 모두 무논직파 재배에 등록되지 않은 것으로서 농가에서 안전하게 사용할 수 있도록 품목 등록하는 것이 시급한 실정이다.

ACCCase 저해 제초제 저항성 강피의 방제 특성

초기처리 제초제의 강피에 대한 방제효과

벼 무논직파 시 파종 전 초기토양처리 제초제의 ACCCase 저해 제초제의 저항성 강피에 대한 방제효과를 검토한 결과(Fig. 1), 발생 전 pretilachlor, butachlor, oxadiazon, oxadiargyl, oxadiazon+pretilachlor, fentrazamide+oxadiargyl의 기준량처리에서 100% 방제효과를 보였다. 약해를 고려하여 1/2량 처리에서는 pretilachlor, butachlor, oxadiazon, oxadiargyl의 단계 처리에서는 거의 100% 방제효과를 보였으나, oxadiazon+pretilachlor, fentrazamide+oxadiargyl의 혼합제 처리에서는 80-90% 정도의 방제효과를 보였다. Benzobicyclon

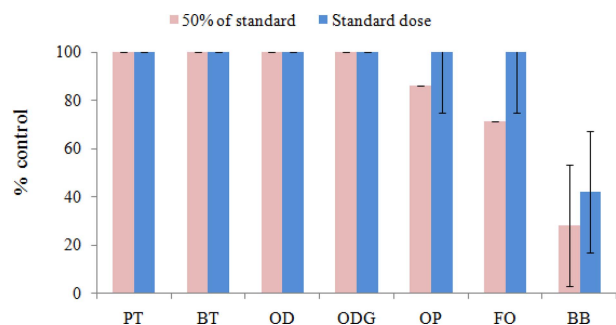


Fig. 1. Weed control effect of herbicides applied four days before direct seeding on cyhalofop-butyl resistant *Echinochloa oryzicola*. Standard dose: PT; pretilachlor (560 g a.i. ha⁻¹), BT; butachlor (1,320 g a.i. ha⁻¹), OD; oxadiazon (480 g a.i. ha⁻¹), ODG; oxadiargyl (68 g a.i. ha⁻¹), OP; oxadiazon+pretilachlor (240+480 g a.i. ha⁻¹), FO; fentrazamide+oxadiargyl (80+52 g a.i. ha⁻¹), BB; benzobicyclon (140 g a.i. ha⁻¹). Error bars represent the standard deviation of three replicates.

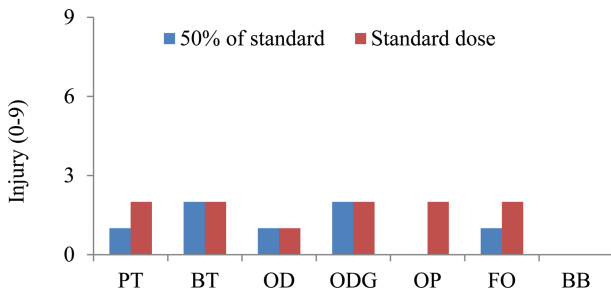


Fig. 2. Damage to rice by the application of herbicides applied before to soil four days of rice seeding. Standard dose: PT; pretilachlor (560 g a.i. ha⁻¹), BT; butachlor (1,320 g a.i. ha⁻¹), OD; oxadiazon (480 g a.i. ha⁻¹), ODG; oxadiargyl (68 g a.i. ha⁻¹), OP; oxadiazon+pretilachlor (240+480 g a.i. ha⁻¹), FO; fentrazamide+oxadiargyl (80+52 g a.i. ha⁻¹), BB; benzobicyclon (140 g a.i. ha⁻¹).

의 처리는 방제효과가 낮은 경향이였다. 이는 Lee et al. (2011)등의 시험결과와 대부분 유사한 결과를 보였으나, pretilachlor 처리의 방제효과가 다소 차이가 있었는데 이는 시험환경의 차이라고 판단되나 더욱 검토가 필요하다고 생각된다. 또한 방제효과가 높은 대부분의 처리에서 벼에 대하여 경미한 약해가 있는 경향이였다(Fig. 2). 그러나 초기의 경미한 약해는 벼의 생육과 수량에 거의 영향을 미치지 않기 때문에 직파 재배시는 어느 정도의 초기 약해는 감수해야 할 것으로 사료된다.

초중기처리 제초제의 저항성 강피에 대한 방제효과

초중기(파종 후 10일)처리 제초제의 제초제 저항성 강피에 대한 방제효과를 검토한 결과(Fig. 3), benzobicyclon+imazosulfuron+pyriminobac-methyl 처리를 제외한 시험 제초제 bromobutide+fentrazamide+imazosulfuron, benzobicyclon+fentrazamide+imazosulfuron, pyrazosulfuron-ethyl+thiobencarb, fentrazamide+imazosulfuron, bromobutide+imazosulfuron+mefenacet 및 bromobutide+imazosulfuron+pyraclonil의 처리에서 95% 이상으로 매우 높은 방제효과를 보였다. 따라서 벼 무논직파 재배 시 답수 후 파종 후 10일경에 이들 제초제의 처리로 ACCase 저해 제초제 저항성 강피를 충분히 방제할 수 있을 것으로 판단된다.

중기처리 제초제의 저항성 강피에 대한 방제효과 방제효과

중기(파종 후 15일)처리 제초제의 제초제 저항성 강피에 대한 방제효과를 검토한 결과(Fig. 4), bromobutide+imazosulfuron+mefenacet의 처리에서 거의 100%로 높은 방제효과를 보였으며, bromobutide+pyrazosulfuron-ethyl+pyriminobac-methyl의 처리는 90% 정도, bromobutide+

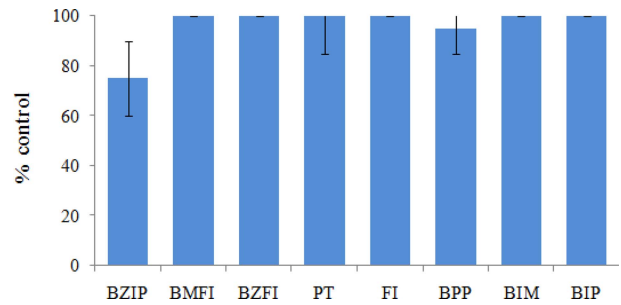


Fig. 3. Weed control effect of herbicides applied 10 days after direct seeding on cyhalofop-butyl resistant *Echinochloa oryzicola*. BZIP: benzobicyclon+imazosulfuron+pyriminobac-methyl (250+75+30 g a.i. ha⁻¹), BMFI: bromobutide+fentrazamide+imazosulfuron (900+300+75 g a.i. ha⁻¹), BZFI: benzobicyclon+fentrazamide+imazosulfuron (210+300+75 g a.i. ha⁻¹), PT: pyrazosulfuron-ethyl+thiobencarb (210+2,100 g a.i. ha⁻¹), FI: fentrazamide+imazosulfuron (300+75 g a.i. haa⁻¹), BPP: bromobutide+pyrazosulfuron-ethyl+pyriminobac-methyl (900+210+30 g a.i. haa⁻¹), BIM: bromobutide+imazosulfuron+mefenacet (750+75+1050 g a.i. haa⁻¹), BIP: bromobutide+imazosulfuron+pyraclonil (900+75+180 g a.i. haa⁻¹). Error bars represent the standard deviation of three replicates. Weed control effect of treated herbicides at 5 days before direct seeding on cyhalofop-butyl resistant *Echinochloa oryzicola*.

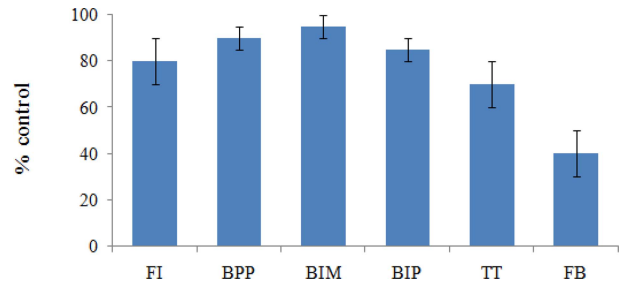


Fig. 4. Weed control effect of herbicides applied 15 days after direct seeding on cyhalofop-butyl resistant *Echinochloa oryzicola*. FI: fentrazamide+imazosulfuron (300+75 g a.i. ha⁻¹), BPP: bromobutide+pyrazosulfuron-ethyl+pyriminobac-methyl (900+210+30 g a.i. ha⁻¹), BIM: bromobutide+imazosulfuron+mefenacet (750+75+1,050 g a.i. ha⁻¹), BIP: bromobutide+imazosulfuron+pyraclonil (900+75+180 g a.i. ha⁻¹), TT: triafamone+tefuryltrione (49+196 g a.i. ha⁻¹), FB: florpyrauxifen-benzyl (37.5 g a.i. ha⁻¹). Error bars represent the standard deviation of three replicates.

imazosulfuron+pyraclonil 및 fentrazamide+imazosulfuron의 처리는 80% 이상의 방제효과를 보였으며, florpyrauxifen-benzyl의 처리는 강피에 대한 방제효과가 낮은 경향이였다. 따라서 무논직파 재배시 파종 후 15일경 중기에도 답수 직파에 등록되어 있는 bromobutide+pyrazosulfuron-ethyl+pyriminobac-methyl, bromobutide+imazosulfuron+pyraclonil 등은 사용이 가능할 것으로 사료된다.

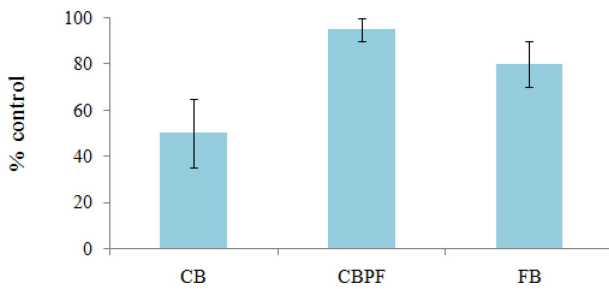


Fig. 5. Weed control effect of herbicides applied 30 days after direct seeding on cyhalofop-butyl resistant *Echinochloa oryzicola*. CB: cyhalofop-butyl (250 g a.i. ha⁻¹), CBPF: cyhalofop-butyl+propanil (225+2,000 g a.i. ha⁻¹), FB: florpyrauxifen-benzyl (37.5 g a.i. ha⁻¹). Error bars represent the standard deviation of three replicates.

후기처리 제초제의 저항성 강피에 대한 방제효과

후기처리 제초제의 제초제 저항성 강피에 대한 방제효과를 검토한 결과(Fig. 5), cyhalofop-butyl+propanil의 처리는 방제효과가 90% 이상으로 높은 경향이였다. 이는 초기에 방제하지 못한 저항성 강피는 후기에도 충분히 방제가 가능한 결과이다. 광엽 SU계 저항성잡초 방제에 효과가 있는 신 개발 제초제 florpyrauxifen-benzyl의 처리는 70-80% 정도의 방제효과가 있었다.

이상의 ACCase 저해 제초제 저항성 강피의 방제 연구결과로 보아 벼 무논직파 재배 시에도 제초제를 잘 선택하면 재배 중 어느 시기에도 제초제 저항성 강피를 효과적으로 방제할 수 있을 것으로 판단 되었다.

제초제 저항성 강피의 잔류 방제효과

몇 가지 토양처리 제초제를 처리한 후 ACCase 저해 제초제 저항성 강피에 대한 방제효과 지속성을 검토한 결과는 다음과 같다(Fig. 6, 7). Oxaziclomefone SC의 처리는 저항성 강피에 대하여 처리 후 40일까지 98% 방제, 50일에 66% 정도의 방제효과가 있었으며, 처리 후 60일 이후에는 방제효과가 낮았다. Fentrazamide SC의 처리는 처리 후 30일까지 90% 이상의 높은 방제효과를 보였으나, 40일 이후에는 50% 이하로 방제효과가 급격히 낮아지는 경향을 보였다. Mefenacet SC의 처리는 처리 후 20일까지 90% 이상, 30일 이후에는 80% 대로 점차 낮아졌다. 40일에는 50% 이상의 방제효과를 보였으나, 50일 이후에는 방제효과가 거의 없었다. 결과적으로 제초제 저항성 강피에 대한 실용적인 방제효과는 mefenacet는 처리 후 20-30일간 및 fentrazamide SC는 처리 후 30일간, oxaziclomefone SC는 처리 후 40일간 정도로 이들 제초제 처리 후 강피에 대한 방제효과 지속성은 oxaziclomefone > fentrazamide ≥ mefenacet의 순으로 긴 경향이였다. 이런 결과는 저항성 강피 방제를 위하여 초기에

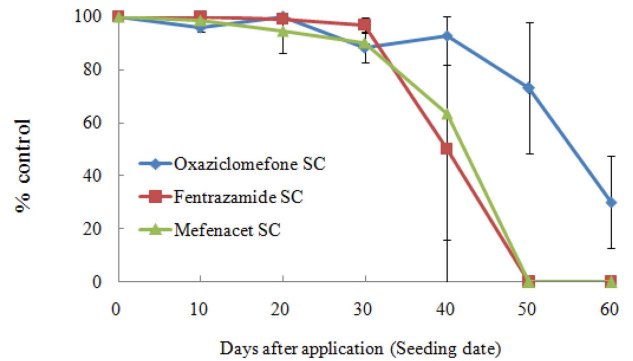


Fig. 6. Difference of weeding continuance effects for ACCase inhibitory herbicide resistance *Echinochloa oryzicola* by some herbicides applied in soil before seeding. % control: 10 days after seeding. Oxaziclomefone SC (60 g a.i ha⁻¹), Fentrazamide SC (300 g a.i ha⁻¹), Mefenacet SC (1,050 g a.i ha⁻¹). Error bars represent the standard deviation of three replicates.

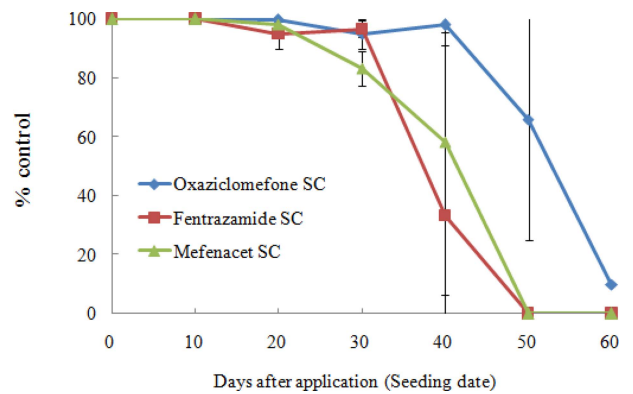


Fig. 7. Difference of weeding continuance effects for ACCase inhibitory herbicide resistance *Echinochloa oryzicola* by some herbicides applied in soil before seeding. % control: 20 days after seeding. Oxaziclomefone SC (60 g a.i ha⁻¹), Fentrazamide SC (300 g a.i ha⁻¹), Mefenacet SC (1,050 g a.i ha⁻¹). Error bars represent the standard deviation of three replicates.

oxaziclomefone을 처리할 경우 본답 후기까지 방제효과가 충분할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 벼 재배 논에서 발생하고 있는 강피의 ACCase 저해 제초제에 대한 저항성을 검정하여 발생 지역을 파악하고, 벼 무논직파 재배시 저항성 강피에 대한 방제특성을 구명하고자 실시하였다. 그 결과, 전남, 전북 벼 재배 논에서 수집한 72종의 중에서 ACCase 저해 제초제 cyhalofop-butyl에 대하여 약 44% 정도가 저항성으로 판단되었다. 저항성 강피에 대하여 토양처리 제초제의 처리시기별로 방제효과를 보면 파종 전에 pretilachlor, butachlor, oxadiazon, oxadiargyl, oxadiazon+pretilachlor, fentrazamide+oxadiargyl의 처

리 및 파종 후 10일에 bromobutide+fentrazamide+imazosulfuron, benzobicyclon+fentrazamide+imazosulfuron, pyrazosulfuron-ethyl+thiobencarb, fentrazamide+imazosulfuron, bromobutide+imazosulfuron+mefenacet, bromobutide+imazosulfuron+pyraclostrobin의 처리는 95% 이상, 파종 후 15일에 bromobutide+imazosulfuron+mefenacet의 처리는 95%, bromobutide+pyrazosulfuron-ethyl+pyriminobac-methyl의 처리는 90% 정도 방제효과를 보였다. 파종 후 30일에 cyhalofop-butyl+propanil의 경엽처리도 90% 이상의 방제효과를 보였다. 또한 저항성 강피에 대하여 토양 잔류에 의한 방제효과를 보면 oxaziclomefone는 처리 후 40일까지 90% 이상 방제효과가 있었다. 따라서 벼 무논직파 재배 논에서도 ACCase 저해 제초제 저항성 강피를 효과적으로 방제할 수 있었다.

주요어: 강피, 벼, 잡초, 저항성, 제초제

Acknowledgements

This work was carried out with support of “Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ01157704)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Aoki, M., Hata, K., Otsuka, K. and Kuramochi, H. 1998. Effect of several herbicides in *Lindernia dubia* resistant biotype to sulfonyleurea herbicides and control of it in paddy fields. *J. Weed Sci., Tech.* 43(Suppl.):32-33. (In Japanese)
- Hamamura, K., Takahashi, H. and Muraoka, T. 2001. Occurrence of sulfonyleurea-resistant biotypes of *Monochoria vaginalis* Presl. in paddy fields in Ushiku, Japan and a bioassay of sulfonyleurea-resistance by root diagnosis treated with sulfonyleurea herbicides. *J. Weed Sci., Tech.* 46(Suppl.):16-17. (In Japanese)
- Hata, K., Otsuka, K., Aoki, M. and Kuramochi, H. 1998. Occurrence of *Elatine triandra* Sckk., resistant to sulfonyleurea herbicides. *J. Weed Sci., Tech.* 43(Suppl.):28-29. (In Japanese)
- Heap, I. 2017. The international survey of herbicide resistant weeds. Online. www.weedscience.org (Accessed January 24, 2017).
- Im, I.B., Kang, J.K., Kim, S., Na, S.Y. and Kuk, Y.I. 2003a. Weed control of sulfonyleurea resistant Japanese bulrush (*Scirpus juncooides*) in Korea. *Kor. J. Weed Sci.* 23(2):92-99. (In Korean)
- Im, I.B., Kim, S., Kang, J.K. and Na, S.Y. 2003b. Weed control of small flatsedge (*Cyperus difformis* L.) with resistant response to sulfonyleurea herbicides in Korea. *Korean J. Weed Sci.* 23(1):63-70. (In Korean)
- Im, I.B., Kang, J.G., Kim, S. and Kuk, Y.I. 2004a. Weed control of sulfonyleurea resistant *Lindernia dubia* (L.) pennell in the rice paddy field. *Kor. J. Weed Sci.* 24(3):7-13. (In Korean)
- Im, I.B., Kang, J.K. and Kim, S. 2004b. Control strategy of sulfonyleurea resistant *Monochoria vaginalis* according to the growth stage in rice paddy fields. *Kor. J. Weed Sci.* 24(2):87-92. (In Korean)
- Im, I.B., Kuk, Y.I., Kang, J.G., Kim, S. and Hwang, J. B. 2005. Resistance to sulfonyleurea herbicide of *Sagittaria pigmaea* Miq. collected in paddy field of Korea and its control. *Kor. J. Weed Sci.* 25(1):25-35. (In Korean)
- Im, I.B. 2009. Control and emergence of herbicides resistant *Echinochloa oryzicola* in paddy field of Korea. *Kor. J. Weed Sci.* 29(Suppl. 2):103-104. (In Korean)
- Im, S.H., Park, M.W., Yook, M.J. and Kim, D.S. 2009. Resistance ACCase inhibitor cyhalofop-butyl in *Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli* collected in Seosan, Korea. *Kor. J. Weed Sci.* 29(2):178-184.
- Itoh, K., Uchino, A. and Watanabe, H. 1998. A resistant biotype to sulfonyleurea in *Rotala indica* Koehn in Omagari, Akita prefecture. *J. Weed Sci., Tech.* 43(Suppl.) 40-41. (In Japanese)
- Itoh, K. and Wang, G.X. 1997a. Occurrence of sulfonyleurea resistant *Lindernia micrantha* D. Don. in Japan. *J. Weed Sci., Tech.* 42(Suppl.):16-17. (In Japanese)
- Itoh, K., Uchino, A., Wang, G.X. and Yamakawa, S. 1997b. Distribution of *Lindernia* spp. resistant biotype to sulfonyleurea herbicides in Yuza town, Yamagata prefecture. *J. Weed Sci., Tech.* 42(Suppl.) 22-23. (In Japanese)
- Kohara, H., Yamashida, H. and Yamazaki, N. 1996. Resistance to sulfonyleurea herbicides in *Monochoria korsakowii* Regel et Maack in Hokkaido. *J. Weed Sci., Tech.* 41(Suppl.):236-237. (In Japanese)
- Kohara, H., Konno, K. and Takekawa, M. 1998. Occurrence of sulfonyleurea resistant *Scirpus juncooides* ssp. *juncooides* in Iwamizawa city, Hokkaido prefecture. *J. Weed Sci Technol* 43(Suppl.):36-37. (In Japanese)
- Kuk, Y.I., Kwon, O.D. and Im, I.B. 2002. Sulfonyleurea herbicide resistant *Scirpus Juncooides* Roxb. in Korean rice culture. *Kor. J. Weed Sci.* 22(3):296-305.
- Kuk, Y.I., Kwon, O.D. and Im, I.B. 2004. Effective herbicides by application timing for control of sulfonyleurea resistant *Monochoria vaginalis*, *Lindernia dubia*, and *Rotala indica* in wet-seeding and machine transplanting rice culture. *Kor. J. Weed Sci.* 24(1):30-42. (In Korean)
- Kwon, O.D., Koo, S.J., Kim, J.S., Lee, D.J., Lee, H.J., et al. 2000. Herbicide response and control of sulfonyleurea-resistant

- biotype of *Monochoria vaginalis* in paddy fields in Chonnam province, Korea. Kor. J. Weed Sci. 20(1):46-52. (In Korean)
- Kwon, O.D., Kuk, Y.I., Cho, S.H. and Shin, H.R. 2009. Alternative herbicides for *Eleocharis acicularis* resistant to sulfonylurea in Jeonnam, Korea. Kor. J. Weed Sci. 29(3):251-26. (In Korean)
- Lee, I.Y., Kwon, O.D., Kim, C.S., Lee, J.R., Shin, H.R., et al. 2011. Weeding effect of *Echinochloa oryzoides* resistant to ACCase and ALS inhibitors by the leaf stages. Weed Sci. 31(2):183-191. (In Korean)
- Lee, I.Y., Park, J.S., Seo, Y.H., Kim, E.J., Lee, S.G., et al. 2012. Occurrence trends of herbicide resistant weeds in paddy fields in Korea. Kor. J. Weed Sci. 32(2):121-126. (In Korean)
- Moon, B.C., Park, J.U., Lee, I.Y., Park, T.S., Park, J.M., et al. 2009. Herbicidal Response and Rapid Diagnosis of ACCase-resistant *Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli* to Cyhalofop-butyl. Kor. J. Weed Sci. 29(4):353-358. (In Korean)
- Park, T.S., Kim, C.S., Park, J.E., Oh, Y.K. and Kim, K.U. 1999. Sulfonylurea-resistant biotype of *Monochoria korsakowii* in reclaimed paddy fields in Seosan, Korea. Kor. J. Weed Sci. 19(4):340-344.
- Park, T.S., Kim, C.S., Moon, B.C., Lee, I.Y., Lim, S.T., et al. 2001. Occurrence and Control of *Lindernia dubia* (L) Pennell var. *dubia*, Sulfonylurea Resistant Biotype in Paddy Fields in Southern Areas of Korea. Kor. J. Weed Sci. 21:33-41. (In Korean)
- Park, T.S., Moon, B.C., Kang, C.K. and Park, J.E. 2006. Characteristic and management of sulfonylurea-resistant *Scirpus planiculmis* confirmed in reclaimed paddy Fields, Korea. Kor. J. Weed Sci. 26(4):375-381. (In Korean)
- Park, T.S., Seong, K.Y., Cho, H.S., Seo, M.C., Kang, H.W., et al. 2014. Current status, mechanism and control of herbicide resistant weeds in rice fields of Korea. CNU J. Agric. Sci. 41(2):85-99. (In Korean)
- Prather, T.S., Ditomaso, J.M. and Holt, J.S. 2000. Herbicide resistance: Definition and management strategies. <http://anrcatalog.udavis.edu>.
- Rayn, G.F. 1970. Resistance of common groundsel to simazine and atrazine. Weed Sci. 18:614.
- Wang, G.X., Watanabe, H., Uchino, A. and Itoh, K. 1998. A biotype of *Limnophila sessiliflora* resistant to sulfonylurea herbicides. J. Weed Sci. and Tech. 43(Suppl.):38-39.
- Wang, G.X., Itoh, K., Tachibana, M., Uchino, A. and Kohara, H. 1997. Response of *Monochoria korsakowii* Regel et Maack to several sulfonylurea herbicides. J. Weed Sci., Tech. 42(Suppl.):14-15.