ACCase 및 ALS 저해 제초제들에 대한 저항성 강피의 반응과 대체약제들의 효과

박태선^{1*}, 구본일, 강신구, 최민규, 박흥규, 이경보, 고재권

Response of the Resistant Biotype of *Echinochloa oryzoides* to ACCase and ALS inhibitors, and Effect of Alternative Herbicides

Tae-Seon Park^{1*}, Bon-Il Ku, Sin-Koo Kang, Min-Kyu Choi
Hong-Kyu Park, Kyong-Bo Lee and Jae-Kwon Ko

ABSTRACT Cyhalofop-butyl and penoxsulam, known for respective acetyl CoA carboxylase (ACCase) and acetolactate synthase (ALS) inhibitor, have been widely using as a post-emergence foliar application for many years in wet-seeded rice field in Korea. Since 2009, control of *Echinochloa oryzoides* with cyhalofop-butyl and penoxsulam was no longer satisfactory. Greenhouse and experiment in rice field were conducted to confirm *E. oryzoides* resistance to ACCase and ALS inhibitors and to compare herbicide treatments for control of the resistant *E. oryzoides* to ACCase and ALS inhibitors. Three resistant *E. oryzoides* to ACCase and ALS inhibitors accessions were tested for levels of resistance to cyhalofop-butyl and penoxsulam, base on survival rate. Iksan and Kimje accessions were not any affected to the survival by treatment with recommended doses of two herbicides tested. Buan accession displayed an intermediate response of 62 and 72% survival at recommended doses of cyhalofop-butyl and penoxsulam, respectively. Survival rates to herbicides mixed with ACCase and ALS inhibitors at 3.5 leaf stage of *E. oryzoides* was over 80%. Benzobicyclon+fentrazamide+bensulfuron SC, benzobicyclon+mefenacet+bensulfuron SC, benzobicyclon+cafenstrole+pyrazosulfuron-ethyl GR controlled effectively by 2 leaf stage of resistant *E. oryzoides* to ACCase and ALS inhibitors. In the field experiment, single treatment of benzobicyclon+fentrazamide+bensulfuron SC and benzobicyclon+mefenacet+bensulfuron SC failed to control *E. oryzoides*, but sequential treatment of benzobicyclon+thiobencarb SE and benzobicyclon+ mefenacet+

¹ 국립식량과학원 벼맥류부, 570-080 전북 익산시 송학동 381(Department of Rice and Winter Cereal, NICS, RDA, Iksan 570-080, Korea).

* 연락저자(Corresponding author) : Phone) +82-63-840-2160, Fax) +82-63-840-2119, E-mail) jlpark@korea.kr

(Received August 24, 2010; Examined August 27, 2010; Accepted September 10, 2010)

bensulfuron SC controlled effectively it in rice infant seedling culture with machine. Our results suggest that resistant *E. oryzoides* to ACCase and ALS inhibitors had not developed multiple resistance to herbicides with different modes of action. In particular, cafenstrole, fentrazamide, mefenacet were effective control measures.

Key words: ACCase; ALS; cyhalofop-butyl; *Echinochloa oryzoides*; penoxsulam; resistant.

서 언

제초제 저항성 잡초란 잡초를 방제하기 위하여 제초제를 잡초 군락 내에 정상적으로 살포하였으나 그동안 방제가 잘 되었던 잡초가 방제가 되지 않고 생존하여 종자를 맺음으로서 후대까지도 계속 이러한 능력이 유전되어지는 것을 말한다. 현재 제초제 저항성 잡초는 전 세계적으로 194초종에 346 저항성 생태형이 약 340,000필지 경작지에서 발생하였다고 보고되었다(Heap 2010). 이들 제초제 저항성 잡초들 중에서 우리나라 논에서 많이 사용되어지고 있는 sulfonylurea(SU)계 제초제들에 대한 저항성 잡초들이 1990년대 중반부터 가장 빠르게 확산하고 있다(Adkins 등 1997; Heap 2010; Itoh 등 2005; Park 등 2007). 우리나라의 경우 1999년 서산간척지에서 물옥잠이 저항성으로 확인 이후 2006년에 쇠털골까지 10초종이 SU계 제초제들에 대한 저항성 잡초로 확인되었다(Park 등 2007). 그러나 최근 다년생 잡초인 벼풀에 대한 민원이 급증하고 있을 뿐만 아니라 잡초연구에 대한 조직과 인력 등의 부족으로 추가확인이 어려운 실정이다. 그러나 지금까지 발생하고 있는 SU계 제초제들에 대한 저항성 물달개비, 올챙이고랭이, 알방동사니 등은 대체 약제들인 benzobicyclone, carfentrazone, pyrazolate 등으로 방제가 가능하다. 그러나 국내 논에서 가장 우점하고 있을 뿐만 아니라 경합력이 가장 우세한 피가 ACCase 및 ALS 저해제들에 대하여 저항성화 될 경우 벼 직파재배에서는 대체 약제가 없을 뿐만 아니라 이앙재배에서도 제초제 사용시기가 10일 이내로 제한적일 수밖에 없다.

피에 대한 제초제 저항성은 주로 aryl acylamidase 저해 제초제인 propanil에 대하여 주로 보고되어 졌

다(Daou 등 1999; Norsworthy 등 2002). 그러나 최근에는 acetyl CoA carboxylase(ACCase) 저해 제초제들뿐만 아니라 acetolactate synthase(ALS) 저해제들에 대한 저항성 피의 출현에 대한 보고도 증가하고 있다(Bjellk 등 1991; Valverd 1998; Fischer 등 2000; Im 등 2009). 즉 Valverd(1998)은 열대지방에서 발생하고 있는 화본과 *Echinochloa colona*가 코스타리카에서 ACCase 저해제인 fenoxaprop-P-ethyl에 대한 저항성으로 보고되었다. 그리고 Fischer 등(2000)은 *E. oryzoides*와 *E. phyllopogon*도 ACCase 저해제초제에 대한 저항성 잡초로 보고하였다. 우리나라에서는 ACCase 저해 제초제인 fenoxaprop-P-ethyl를 다년간 살포한 충남 서산 간척지 논에서 수집한 물피가 cyhalofop-butyl에 대한 저항성으로 보고되었다(Im 등 2009). 최근에는 전북 김제, 익산, 부안과 전남 일부 지역에서 ACCase 및 ALS 저해 제초제들에 대한 강피의 민원이 급증하고 있는 실정을 뿐만 아니라 일부 농가에서는 매우 높은 밀도로 강피가 발생하였기 때문에 수확을 포기하는 사례도 발생하였다. 이들 지역에서 저항성 강피가 우점하는 지역의 농가들은 1990년도 초반부터 무논골뿌림 직파로 벼를 재배하여 오던 농가들이다. 이들 농가는 직파재배를 위하여 로터리 후 논을 굳히고 파종한 다음 입모를 위하여 10~15일간 배수한 상태를 유지하기 때문에 피와 광엽잡초들이 높은 밀도로 발생하게 된다. 이들 지역은 잡초를 방제하기 위하여 담수전 bentazone+cyhalofop-butyl 미탁제를 초·중기 수면처리제를 살포전에 처리하고 생존한 피에 대한 방제를 위해서 다시 ACCase 저해 제초제인 cyhalofop-butyl나 ALS 저해 경엽처리제인 penoxsulam을 다시 살포하는 체계로 잡초를 방제하였다. Lebaron(1992)은 ACCase 저해

제초제인 diclofop는 1977년에 처음 등록되어 사용되어 1983년에 처음 저항성 화본과가 발생하였다고 보고하였다. 또한 이들 지역에서는 다른 지역에 비해 일찍 벼 직파재배가 광범위하게 재배되어 오고 있기 때문에 상대적으로 피에 효과가 높은 pyrazosulfuron-ethyl이나 imazosulfuron같은 SU계 제초제들을 광범위하게 다년간 사용되어 같은 ALS 저해제인 penoxsulam에 대하여 저항성을 나타낼 수도 있다.

따라서 본 연구는 최근 전북 익산, 김제, 부안의 직파재배 논에서 벼 생육후기에 높은 밀도로 우점하고 있는 논에서 강피를 채종하여 저항성 여부와 이들 저항성 강피의 효율적인 관리를 위하여 방제시험을 온실과 포장에서 실시하였다.

재료 및 방법

식물재료

본 실험은 온실 및 강피가 다발생하고 있는 김제시 포장에서 실시하였다. 강피 저항성 여부를 검정하기 위하여 다년간 연속적으로 무논골 직파재배를 실시되어진 논에서 2009년 10월 상순에 강피의 종자를 채종한 다음 휴면타파를 위하여 2℃ 저온냉장고에 5개월간 저장한 다음 시험재료로 사용하였다. 저항성 검증을 위한 강피의 채종은 m²당 30주 이상 생존한 포장을 대상으로 하였으며, 채집한 포장은 전북 익산, 김제 및 부안의 각각 1농가포장에서 채종하였다. 감수성 강피는 제초제 노출이 없을 것으로 추정되는 전남 곡성의 저수지의 수로에서 채종하여 같은 조건의

저온냉장고에서 저장한 다음 시료로 사용하였다. 휴면타파된 종자는 약 30±2℃ 조건의 온실에서 약 2mm 정도로 발아시킨 다음 식양토로 채워진 플라스틱 사각 pot(20×20×15cm)에 30개씩 파종 후 생육이 불균일한 식물체를 제거한 다음 pot내 최종적으로 20개의 식물체를 시험 재료로 사용하였다.

온실조건에서 제초제들에 대한 반응

ACCase 및 ALS 저해 제초제들에 대한 강피의 저항성 정도를 검정하기 위해서 평균온도가 30±2℃ 유리온실에서 실시하였으며, 광조건은 주·야간 각각 12시간으로 하고 야간의 광은 약 80,000Lux 이상으로 보완 유지하였다. 제초제는 ACCase 및 ALS 저해 제초제인 cyhalofop-butyl와 penoxsulam을 각각 표 1과 같은 농도로 경엽처리 하였다. 파종 후 15일인 강피 4~5엽기에 처리하였으며, 처리 후 20일에 생존한 식물체의 생존수를 조사하였다. 또한 ACCase 및 ALS 저해 제초제들이 혼합된 중기 수면처리제에 대한 강피의 반응을 조사하기 위하여 표 2의 제초제들을 파종 후 12일인 3.5엽기에 추천량으로 처리 후 20일에 생존한 개체 수를 조사하였다. 강피의 효율적인

Table 1. Dosages of cyhalofop-butyl and penoxsulam used in greenhouse study.

Herbicide	Dosage (g a.i. ha ⁻¹)
Cyhalofop-butyl	0, 50, 100, 250 ¹⁾ , 500, 1,000
Penoxsulam	0, 6, 12, 30 , 60, 120

¹⁾Recommended use rates are shown in boldface.

Table 2. Herbicides mixed with ACCase and ALS inhibitors treated at 3.5 leaf stage of *Echinochloa oryzides* in greenhouse study.

Herbicide	Dosage (g a.i. ha ⁻¹)
Benzobicyclon+metamifop+azimsulfuron(0.7+0.3+0.05)% GR ¹⁾	210+90+15
Benzobicyclon+pyriminobac-methyl+imazosulfuron(4+0.6+1.5)% SC ²⁾	200+30+75
Benzobicyclon+penoxsulam+imazosulfuron(3.5+0.42+1.5)% SC	175+21+75
Flucetosulfuron+imazosulfuron(0.05+0.25)% GR	15+75

¹⁾GR : Granule.

²⁾SC : Suspension concentrate.

Table 3. Herbicides with modes of action different from in greenhouse study.

Herbicide	Dosage (g a. i. ha ⁻¹)	Application timing (Leaf stage)
Oxadiazon 12% EC	480	0.5
Pyrazolate 36% SC	1,800	0.5
Pretilachlor 14% EC	560	0.5
Benzobicyclon+thiobencarb(2.5+30)% SE	100+1,200	0.5
Benzobicyclon+fentrazamide+bensulfuron(4+6+1.02)% SC	200+300+51	1, 2, 3
Benzobicyclon+mefenacet+bensulfuron(4+20+1.02)% SC	200+1,000+51	1, 2, 3
Benzobicyclone+cafenstrole+pyrazosulfuron-ethyl(0.6+0.8+0.07)% GR	180+240+21	1, 2, 3

¹⁾EC : Emulsifiable concentrate.²⁾SC : Suspension concentrate.³⁾SE : Suspension emulsion.⁴⁾GR : Granule.

방제를 위하여 표 3과 같이 화분과 전용 제초제들 중에서 ACCase 및 ALS 저해제들과 작용기작이 다른 피 전용 약제들이 혼합된 제초제들을 방제 특성에 따라 0.5엽기부터 3엽기까지 각각 처리하여 처리 후 20 일에 생존한 식물체를 하였다.

포장조건에서 방제체계 시험

논에서 저항성 피를 방제하기 위하여 전북 김제시에 위치한 논에서 실시하였다. 수행된 포장은 전년도

ACCase 및 ALS 저해 제초제들에 대해 저항성 강피가 매우 높은 밀도로 발생하였을 뿐만 아니라 SU계 제초제 저항성 올챙이고랭이와 물달개비도 발생한 농가 포장에서 실시하였다. 벼 재배양식은 무논골뿌림과 10일 육묘된 어린모기케이양재배로 하였으며, 시험구 면적은 단구제로 각각 660m²로 하였다. 파종 및 이앙은 2010년 6월 7일에 하였으며, 제초제 처리 체계는 표 4와 같이 온실실험에서 저항성 강피에 효과적인 성분이 포함된 제초제로 체계 처리하였다. 방

Table 4. Herbicides and application timings used in rice field experiment.

Treatment	Application timing		Cultivation style
	4 day ¹⁾	10 day ²⁾	
Single treatment		Benzobicyclon+fentrazamide+bensulfuron(4+6+1.02)% SC	ISCM ³⁾
Single treatment		Benzobicyclon+mefenacet+bensulfuron(4+20+1.02)% SC	ISCM
Sequential treatment	Benzobicyclon+thiobencarb (2.5+30)% SE	Benzobicyclon+mefenacet+bensulfuron(4+20+1.02)% SC	ISCM
Sequential treatment	Pyrazolate 36% SC	Benzobicyclon+thiobencarb (2.5+30)% SE	RPSDS ⁴⁾

¹⁾4 day : 4days before rice seeding or transplanting.²⁾10 day : 10days after rice seeding or transplanting.³⁾ISCM : Infant seedling culture with machine.⁴⁾RPSDS : Rice puddled soil direct seeding.

제효과는 m^2 당 생존한 식물체 수를 5반복으로 조사하였다.

결과 및 고찰

온실조건에서 제초제들에 대한 반응

다년간 벼 무논골뿌림 재배를 실시하고 경엽처리제인 ACCase 및 ALS 저해 제초제를 다년간 살포하여 저항성으로 추정되는 전북 익산, 김제, 부안의 농가 포장에서 수집한 강피와 제초제 접촉 가능성이 없어 감수성으로 추정되는 전남 곡성에서 수집한 강피에 대한 ACCase 저해제 cyhalofop-butyl과 ALS 저해제 penoxsulam의 서로 다른 농도별 생존율은 표 5와 같다. 익산, 김제에서 수집한 강피는 cyhalofop-butyl과 penoxsulam에 대하여 높은 저항성을 보였다. Cyhalofop-butyl과 penoxsulam의 추천량에서 익산, 김제 수집종은 제초제 무처리구와 같은 100% 생존을 보였으나, 부안 수집종은 약 60% 생존하였다. Cyhalofop-butyl은 추천량의 4배량에서도 수집지역별로 차이가 나지만 익산 및 김제 수집종은 각각 77%와

83% 생존하였다. 반면에 감수성 계통인 곡성 수집종은 두 제초제의 추천량에서 모두 고사하였다. 따라서 저항성 강피로 추정되는 익산, 김제, 부안의 수집종은 수집지역에 따라서 다소의 차이는 있으나 ACCase 및 ALS 저해제인 cyhalofop-butyl과 penoxsulam에 대하여 저항성을 보였다. Valverde(1998)와 Fisher 등(2000)은 ACCase 저해제들에 대한 저항성 피가 작용기작이 다른 제초제들에 대하여 다중저항성(multiple-resistance)을 보였다고 보고하였다. 국내에서도 Im 등(2009)은 충남 서산간척지에서 수집한 물피(*Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli*)가 ACCase 저해제인 cyhalofop-butyl, fenoxaprop-P-ethyl, metamifop에 교차저항성(cross-resistance)이 있는 것으로 보고하였다. 지금까지 국내에서도 cyhalofop-butyl과 penoxsulam에 대한 강피의 반응에 대한 보고들이 있었다. 이 등(1999)은 국내 수집 46종의 피에 대하여 cyhalofop-butyl이 90% 이상의 높은 효과를 보였다고 보고하였으며, 오 등(2003)은 cyhalofop-butyl 추천량의 약 1/4배량인 ha당 60g a.i 강피의 생육이 완전억제 되었다고 보고하였다. 한편 민과 Mann 등(2004)은 ALS 저해제인 penoxsulam의 추천량에서 피가 완전고사하였다고

Table 5. Survival rates of resistant and susceptible biotypes of *Echinochloa oryzides* to different dosages of cyhalofop-butyl and penoxsulam at 4~5 leaf stage.

Herbicide	Dosage (g a. i. ha ⁻¹)	Resistant			Susceptible
		Iksan	Kimje	Buan	Gokseong
----- % of control -----					
Cyhalofop-butyl	0	100	100	100	100
	50	100	100	100	100
	100	100	100	100	30
	250¹⁾	100	100	60	0
	500	92	95	32	0
	1,000	77	83	20	0
Penoxsulam	0	100	100	100	100
	6	100	100	100	100
	12	100	100	100	10
	30	100	100	62	0
	60	75	68	45	0
	120	30	15	7	0

¹⁾Recommended use rates are shown in boldface.

보고하였다.

익산, 김제, 부안의 수집종들이 서로 작용기작이 다른 cyhalofop-butyl과 penoxsulam에 대하여 저항성을 보인 것은 어느 하나의 제초제 먼저 저항성을 나타난 피가 다른 제초제에 대하여서도 저항성을 보이는 다중저항성(multiple-resistance)과는 많은 차이가 있는 것으로 추정된다. 강피가 ACCase 저해제에 저항성을 보인 것은 1990년 중반부터 cyhalofop-butyl이 국내에 등록되어 장기간 연용되었기 때문이다. 특히 저항성 강피가 고밀도로 발생하고 있는 익산, 김제, 부안 등은 1990년대부터 벼 직파재배가 광범위하게 실행되어 cyhalofop-butyl이 중·후기 경엽처리로 광범위하게 사용되어 지고 있다. 또한, ALS 저해제인 penoxsulam에 대하여 강피가 저항성을 보인 것은 같은 ALS 저해제인 SU계 제초제들이 직파재배가 20년 이상 실행되어지고 있는 광범위하게 사용되어 지고 있기 때문이다. 일반적으로 SU계 제초제들은 화분과에 효과가 저조한 것으로 보고되고 있으나 특히 SU계 제초제들 중에서 pyrazosulfuron-ethyl과 imazosulfuron은 화분과인 피에 효과가 탁월한 효과를 보인다. 표 6은 온실조건에서 화분과 방제를 위한 ACCase 및 ALS 저해 제초제들이 혼합된 제초제 품목들을 강피 3.5엽기에 처리한 결과 무처리 대비 생존율은 매우 높게 나타났다. 처리된 4종류의 제초제에 대하여 강피의 생존율이 80% 이상되었다. 따라서 제초제 저항성 강피가 발생하고 있는 논에서는 ACCase 및 ALS 저해제들이 혼합된 중기 수면처리용 제초제들로 방제가 불가능하다. 특히 현재 국내 벼 직파재배 논에서

중기 수면처리제로 등록된 제초제들은 모두 이들 ACCase 및 ALS 저해제들이 혼합된 제초제들이기 때문에 이들 제초제에 대한 저항성 강피가 발생하고 있는 논은 기계이앙재배 논으로 전환하고 화분과에 효과가 좋은 carfenstrole, fentrazamide, mefenacet 등이 혼합된 약제를 선택하여 2엽기이내 살포해야 저항성 강피를 효율적으로 방제할 수 있는 것으로 사료된다.

표 7은 온실 조건에서 국내 등록된 화분 전용 주요 제초제들에 대한 강피의 엽기별 생존율을 나타낸 것이다. 파종 및 이앙전 처리제들인 oxadiazon 12% EC, pyrazolate 36% SC, pretilachlor 14% EC, benzobicyclon+thiobencarb(2.5+30)% SE들은 제초제 처리시기가 피 엽기를 기준으로 하였을 때 0.5엽기 이하에 해당된다. 따라서 이들을 강피 0.5엽기에 처리하였을 때 모두 완전한 효과를 보였다. 현재 국내에 등록된 화분과 전용 논 제초제들 중에서 강피가 저항성을 나타낸 ACCase 및 ALS 저해제들 외에 이앙 후 10~15일에 처리시기가 설정된 제초제들은 carfenstrole, fentrazamide, mefenacet이다. 이들 제초제들이 혼합된 혼합된 제초제들을 강피 엽기별로 처리한 결과 표 7과 같이 2엽기까지는 생존율이 90% 이상 억제되었으나 3엽기에 처리할 경우 생존율이 65% 이상이나 되었다. 따라서 ACCase 및 ALS 저해제들에 대한 저항성 강피가 발생한 논은 기계이앙재배로 전환 후 carfenstrole, fentrazamide, mefenacet를 강피 2엽기 이내 처리하여야 효과적으로 방제할 수 있다. 특히 저항성 강피가 다발생하고 있는 남부지역

Table 6. Survival rates to herbicides mixed with ACCase and ALS inhibitors at 3.5 leaf stage of *Echinochloa oryzides* in greenhouse study.

Herbicide	Survival (% of control)
Benzobicyclon+metamifop+azimsulfuron(0.7+0.3+0.05)% GR ¹⁾	87
Benzobicyclon+pyriminobac-methyl+imazosulfuron(4+0.6+1.5)% SC ²⁾	90
Benzobicyclon+penoxsulam+imazosulfuron(3.5+0.42+1.5)% SC	88
Flucetosulfuron+imazosulfuron(0.05+0.25)% GR	80

¹⁾GR : Granule.

²⁾SC : Suspension concentrate.

Table 7. Survival rates by leaf stage of *Echinochloa oryzicola* to herbicides with modes of action different from in greenhouse study.

Herbicide	Leaf stage			
	0.5	1	2	3
Oxadiazon 12% EC	0	-	-	-
Pyrazolate 36% SC	0	-	-	-
Pretilachlor 14% EC	0	-	-	-
Benzobicyclon+thiobencarb(2.5+30)% SE	0	-	-	-
Benzobicyclon+fentrazamide+bensulfuron(4+6+1.02)% SC	0	0	8	69
Benzobicyclon+mefenacet+bensulfuron(4+20+1.02)% SC	0	0	7	65
Benzobicyclone+cafenstrole+pyrazosulfuron-ethyl(0.6+0.8+0.07)% GR	0	0	9	67

¹⁾EC : Emulsifiable concentrate.²⁾SC : Suspension concentrate.³⁾SE : Suspension emulsion.⁴⁾GR : Granule.

의 경우 맥류 수확 후 6월 중순 이후에 기계이앙하는 논은 이앙 후 10일 경과시 강피의 엽기가 3엽기를 경과하기 때문에 제초제 처리시기에 유의하여야 할 것으로 생각된다.

온실 조건에서 ACCase 및 ALS 저해제들에 대한 저항성 강피에 효과적인 제초제 성분이 포함된 약제들을 직파재배인 무논골뿌림과 어린모기계이앙재배

논에 결과는 표 8과 같다. 어린모기계이앙 재배에서 benzobicyclon+fentrazamide+bensulfuron(4+6+1.02)%SC와 benzobicyclon+mefenacet+bensulfuron(4+20+1.02)% SC를 이앙 후 10일에 한번 처리할 경우는 생존한 강피가 각각 m²당 19개와 26개 생존하여 비 효과적이었다. 이는 남부지역에서 6월 7일에 파종과 이앙 후 10일에 강피에 효과적인 mefenacet이나

Table 8. Herbicides and application timings used in rice field experiment.

Treatment	Application timing		Cultivation style	Survival (plants/m ²)
	4 day ¹⁾	10 day ²⁾		
Single		Benzobicyclon+fentrazamide+bensulfuron(4+6+1.02)% SC	ISCM ³⁾	26
Single		Benzobicyclon+mefenacet+bensulfuron(4+20+1.02)% SC	ISCM	19
Sequential	Benzobicyclon+thiobencarb(2.5+30)% SE	Benzobicyclon+mefenacet+bensulfuron(4+20+1.02)% SC	ISCM	0
Sequential	Pyrazolate 36% SC	Benzobicyclon+thiobencarb(2.5+30)% SE	RPSDS ⁴⁾	85
Control				238

¹⁾4 day : 4days before rice seeding or transplanting.²⁾10 day : 10days after rice seeding or transplanting.³⁾ISCM : Infant seedling culture with machine.⁴⁾RPSDS : Rice puddled soil direct seeding.

fentrazamide 제초제를 처리하여도 고온으로 강피 3엽기 이상에 도달한 식물체는 효과적인 방제가 어렵기 때문이다. 그러나 이양전 4일에 benzobicyclon+thiobencarb(2.5+30)% SE와 이양 후 10일에 benzobicyclon+mefenacet+bensulfuron(4+20+1.02)% SC를 체계 처리할 경우 완전한 방제효과를 보였다. 그러나 무논골뿌림 직파재배에서 직파재배에 파종전 처리제로 등록된 pyrazolate 36% SC와 benzobicyclon+thiobencarb(2.5+30)% SE를 체계 처리할 경우 m^2 당 강피의 생존 식물체가 85본이 생존하였다. 이는 전복 김제 익산, 김제, 부안 등의 토성이 점질토로서 무논골뿌림재배시 일정기간 이상 배수를 하여 주어야하기 때문에 후 발생되었거나 저항성 강피가 매우 높은 밀도로 발생하기 때문에 0.5엽기이내 방제가 가능한 초기 제초제 체계 처리로는 방제가 어려운 것으로 생각된다. 따라서 현재 전북 일원의 벼 직파재배 논에서 발생하여 확산하고 있는 ACCase 및 ALS 저해제들에 대한 저항성 강피를 효과적으로 방제하기 위해서는 기계이양재배로 전환 후 이양 전 및 후에 효과적인 제초제를 선택하여 체계적으로 2엽기이내 방제하여야 될 것으로 생각된다.

요 약

ACCase 저해제인 cyhalofop-butyl과 ALS 저해제인 penoxsulam은 한국의 직파재배 논에서 수년 동안 경엽 처리용으로 사용되어지고 있다. 그러나 2009년 이후 익산, 김제, 부안에서 이들 제초제를 사용한 벼 직파재배 논에서 강피 약효에 대한 민원이 증가하고 있다. ACCase 및 ALS 저해제 저항성으로 추정되는 강피를 3개 지역에서 수집하여 온실조건에서 cyhalofop-butyl과 penoxsulam에 대한 저항성 정도를 검증하였다. 익산과 김제의 수집종은 cyhalofop-butyl과 penoxsulam의 추천량에서 완전 생존하였으며, 부안 수집종은 약 60% 생존하였다. 온실조건에서 화본과 잡초인 피를 방제를 위한 ACCase 및 ALS 저해제들이 혼합된 제초제들을 강피 3.5엽기에 처리한 결과 무처리 대비 생존율은 80% 이상으로 나타났다. 파종 및

이양전 처리제들인 oxadiazon EC, pyrazolate SC, pretilachlor EC, benzobicyclon+thiobencarb SE들은 강피 0.5엽기에서 효과적이었으며, benzobicyclon+fentrazamide+bensulfuron SC, benzobicyclon+mefenacet+bensulfuron SC 그리고 benzobicyclon+cafenstrole+pyrazosulfuron-ethyl GR은 강피 2엽기까지 효과적으로 방제하였다. 포장실험에서 benzobicyclon+fentrazamide+bensulfuron SC와 benzobicyclon+mefenacet+bensulfuron SC의 단일처리에서는 저항성 강피의 방제에 실패하였으나, benzobicyclon+thiobencarb SE와 benzobicyclon+mefenacet+bensulfuron SC의 체계처리는 강피를 효과적으로 방제하였다. 따라서 강피의 익산, 김제 수집종은 cyhalofop-butyl과 penoxsulam에 대하여 강한 저항성을 보였으나, 작용기작이 다른 cafenstrole, fentrazamide, mefenacet에 의해 2엽기 이내에는 효과적으로 방제되었다.

인 용 문 헌

- 민이기, R. Mann. 2004. 새로운 수도용 제초제 penoxsulam 액상수화제의 이양답 경엽처리에 의한 제초효과 및 작물기작. 한국잡초학회지 24(3): 192-198.
- 이인용, 박재읍, 박태선, 김길웅. 1999. 국내 피 수집종에 대한 cyhalofop-butyl과 pyribenzoxim의 약제반응 및 흡수이행. 한국농약과학회지 3(2): 19-29.
- 오정임, 김진석, 변종영, 조광연. 2003. Fenoxaprop-ethyl과 cyhalofop-butyl의 제초증상 및 발현특성 차이. 한국잡초학회지 23(3):257-266.
- Adkins, S. W., D. Wills, M. Boersma, S. R. Walker, G. Robinson, R. J. MacLeod, and J. P. Einam. 1997. Weeds resistant to chlorsulfuron and atrazine from the north-east grain region of Australia. Weed Res. 3:343-349.
- Bjelk. L. A. T. J. Monaco and P. S. Zorner. 1991. Effect of fenoxaprop, haloxyfop and sethoxydim on acetyl coenzyme A carboxylase from, barnyardgrass

- and sprangletop. Plant Science. 73:129-135.
- Daou, H., and R. Talbert E. 1999. Control of propanil-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in rice(*Oryza sativa*) with carbaryl/propanil mixtures. Weed Tech. 13:65-67.
- Fischer, A. J., C. M. At도, D. E. Bayer and J. E. Hill. 2000. Herbicide-resistant *Echinochloa oryzoides* and *E. phyllopogon* in California *Oryza sativa* fields. Weed Sci. 48:225-230.
- Heap, I. 2010. International survey of herbicide resistant weeds. [http : //www.weedscience.org/in.asp](http://www.weedscience.org/in.asp).
- Im, S. H, M. W. Park, M. J. Yook and D. S. Kim. 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., and K. Ito. 2005. Weed ecology and its control in south-east tropical countries. Japanese J. of Tropical Agriculture. 38:369-373.
- Lebaron, H. M., J. Gressel, B. B. Smale and D. M. Horne. 1992. International organization for resistant pest management (IOROM)-a step toward rational resistance management recommendations. Weed Tech. 6:765-770.
- Norsworthy, J. K., J. Rutledge S., R. Talbert E., and R. Hoagland E. 2002. Agrichemical interactions with propanil on propanil-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). Weed Tech. 13:296-302.
- Park, T. S., Y. S. Kang and S. K. Heu. 2007. DNA sequence characterization of the acetolactate synthase (ALS) of sulfonylurea-resistant and susceptible *Monochoria vaginalis*. Kor. J. Weed Sci. 27(1):41-48.
- Valverde, B. B. 1998. Multiple resistant junglerice (*Echinochloa colona*) resistance to herbicides in groups A/1, B/2, and C2/7 in Costa Rica. [http : //www.weedscience.org/Case](http://www.weedscience.org/Case).