한국잡초학회지
Korean J. Weed Sci. 32(1) : 57～69(2012)

DOI:dx.doi.org/10.5660/KJWS.2012.32.1.57
ISSN 0253-7468
www.kwss.or.kr

남부지역 무논직파 재배 논에서 잡초 방제

박태선[1*], 박홍규, 강신구, 구본일, 최민규, 이경보, 고재권

Effective Weed Control in Direct Seeded Rice on Puddled Paddy Surface of Southern Region

Tae-Seon Park[1*], Hong-Kyu Park, Sin-Koo Kang, Bon-Il Ku, Min-Kyu Choi, Keong-Bo Lee and Jae-Kwon Ko

ABSTRACT This study was conducted to find the effective management of main weeds including herbicide-resistant *Echinochloa oryzicola*, *Scirpus juncoides* and *Monochoria vaginalis* in direct seeded rice on puddled paddy surface. The dominant dominances in direct seeded rice on puddled paddy surface were increased for three years between 2009-2011. In weed distribution in 2011, the occurrence density of *S. juncoides* decreased greatly, but it of *E. oryzicola* increased especially as compared with it of 2009. Benzobicyclon, mesotrione and pyrimisulfan were effective to sulfonylurea(SU)-resistant *S. juncoides* and *M. vaginalis* at 5 and 12 days after seeding, however, the efficacy of bromobutide to sulfonylurea-resistant *M. vaginalis* was decreased slightly at 12 days after seeding. And carfentrazon and pyrazolate were ineffective to *S. juncoides*. In direct seeded rice on puddled paddy surface which ACCase and ALS inhibitor-resistant *E. oryzicola* was not occurred, benzobicyclon+penoxsulam+pyrazosulfuron-ethyl ET, bromobutide+imazosulfuron+metamifop GR, and flucetosulfuron+mesotrione+pretilachlor GR showed the control effect over 94% to main weeds included sulfonylurea-resistant *S. juncoides* and *M. vaginalis*. The *E. oryzicola* dominating in direct seeded rice on puddled paddy surface were not any affected to the survival by treatment with recommended doses of cyhalofop-butyl and penoxsulam tested. The ACCase and ALS inhibitor-resistant *E. oryzicola* was effectively controlled by mefenacet and fentrazamide up to the 2nd leaf stage. In direct seeded rice on puddled paddy surface domiating coincidentally by herbicide-resistant *E. oryzicola, S. juncoides* and *M. vaginalis*, “one-shot herbicide” included with mefenacet, fentrazamide, penoxsulam and metamifop could’t be used because of low control effect or rice injury. The sequential treatment of benzobicyclon+thiobencarb SE and bensulfuron+mefenacet+thiobencarb GR controlled effectively the herbicide-resistant *E. oryzicola, S. juncoides* and *M. vaginalis* in direct seeded rice on

[1] 국립식량과학원, 441-857 경기도 수원시 권선구 수인로 125(National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857. Korea).
* 연락저자(corresponding author) : Phone) +82-31-290-6776, Fax) +82-31-290-6773, E-mail) jlpark@korea.kr

(Received March 4, 2012; Examined March 13, 2012; Accepted March 19, 2012)

Ⓒ 2012 Korean Society of Weed Science

puddled paddy surface. The days required by the 3rd leaf stage of herbicide-resistant *E. oryzicola, S. juncoides* and *M. vaginalis* in direct seeded rice on puddled paddy surface seeded in May 20 shortened by 4 days as compared with it of June 10.

Key words: direct seeded rice on puddled paddy surface; herbicide; resistant; weed.

서 언

우리의 주식인 쌀은 2011년을 기준으로 농업생산액의 1/4, 농업소득의 38%, 농가소득의 11.5%를 차지하여 시간이 지남에 따라 원예작물과 축산에 비하여 비중이 점점 축소되고 있다. 또한 생산비는 점점 상승하여 농가의 쌀 소득율이 2000년도 73.1%였으나 2011년에는 47.5%로 감소되었다(MFAFF 2011). 이와 같은 쌀 생산비의 지속적인 증가에 의한 농가 소득율이 낮아지는 추세가 고착화되는 것을 탈피하기 위하여 정부는 현행대비 2014년까지 쌀 생산비 10%, 노동시간 40%를 절감하기위한 "고품질 쌀 생산 최적들녁별 경영체" 육성과 직파재배 면적 확대 등 다양한 방법을 시도하고 있다. 그러나 현재까지도 쌀 생산비는 미국에 비해 3배, 중국에 비해서는 6배나 높은 실정이다. 이러한 상황에서 2014년 이후 관세화로 쌀이 완전개방 된다면 수입쌀에 비하여 가격 경쟁력이 매우 불리한 상황에 처할 것이다. 따라서 노동력 절감으로 국제경쟁력을 향상시킬 뿐만 아니라 현재 쌀 재배 농업인 중 60세 이상 농업수가 약 65%나 되는 현실을 감안한 생력재배법이 1990 본격적으로 연구 보급되기 시작하였다.

연도별 벼 직파재배 면적을 보면 1991년 915ha(전체면적의 0.1%), 1994년에는 72,805ha(6.0%), 1995년에는 117,494ha(10.6%)까지 확대되었다(Lim 등 2006). 그러나 그 이후부터 급격히 감소되기 시작하여 2008년도에는 약 37,000ha(전체면적의 4.1%), 2010년도에는 27,700(3.1%), 2011년도에는 16,700ha(1.6%)까지 감소되었다(MFAFF 2011). 이와 같이 벼 직파면적이 급격하게 감소하는 원인은 정부의 고품질 쌀 생산 정책방향과 공동육묘장의 확대 등도 하나의 원인이 될 수가 있으나 가장 큰 원인 제초제 저항성 잡초의 확산이라고 생각한다. 1990년부터 벼 직파재배 면적이 빠르게 증가할 수 있었던 원인은 1989년부터 약효지속성과 선택성이 탁월한 sulfonylurea(SU)계 제초제들이 국내에 등록되기 시작하였기 때문이다.

그러나 이들 SU계 제초제들을 광범위하게 연속적으로 사용되면서 논에 발생하고 있는 대부분의 잡초들이 이들 제초들에 대하여 저항성으로 변화하여 빠르게 확산되어 지고 있다. 특히 벼 직파 재배면적의 약 90%나 차지하고 있는 전남, 전북지역에서 발생정도가 높았다(Lim 등 2006). 일단 논에서 제초제 저항성 잡초들이 발생하기 시작하면 매우 높은 밀도로 발생하기 때문에 제초제를 2번 이상 체계 처리하여야할 뿐만 아니라 경엽처리의 경우는 분무기로 논 속에서 직접 살포하여야 하기 때문에 기계이앙재배 보다 노동력이 많이 투입되는 경우도 있다. 특히 최근에는 ACCase 및 ALS 저해제들에 대한 저항성 피까지 확산되기 시작하여 벼 담수직파 재배에서 피 대체 제초제들이 등록되어 있지 않기 때문에 직파재배가 빠르게 감소하고 있다.

우리나라에서 제초제 저항성잡초 발생은 1999년 서산간척지에서 물옥잠이 저항성으로 확인 이후 2009년에 피까지 11초종이 저항성잡초로 확인되었다(Park 등 2007). 그러나 최근 다년생잡초인 벗풀과 일년생잡초인 여뀌바늘에 대한 민원이 급증하고 있으나 잡초연구에 대한 조직과 인력 등의 부족으로 추가확인이 어려운 실정이다. 국내에서 주로 많이 확대되어지고 있는 SU계 제초제 저항성잡초들인 물달개비, 올챙이고랭이, 알방동사니 등은 대체약제인 bezobicyclon, carfentrazone, pyrazolate 등으로 방제가 가능하다(Park 등 2011). 그러나 국내 논에서 가장 많이 우점하고 있을 뿐만 아니라 경합력이 가장 우세한 ACCase 및 ALS 저해제들에 대한 저항성 피가 빠른 속도로 확산될 경우 벼 직파재배에서 파종 후 10~15일에 사용할 수 있는 대체약제가 거의 없을 뿐만 아니라 이앙재배에서도 mefenacet, fentrazamide 같은 대체 제초제들은 사용시기가 10일 이내로 제한적일 수밖에 없다.

그러나 이러한 어려운 상황에도 불구하고 벼 재배

Ⓒ 2012 Korean Society of Weed Science

면적이 넓은 일부 농가에서는 여전히 직파재배를 계속하여 저항성 피로 인하여 제초제 살포와 손제초로 인한 노동력 투입이 증가하고 수량도 감소하고 있는 실정이다. 특히 최근에는 전북, 충남지역에서 벼 담수표면산파에 의한 도복 및 미질 등을 보완한 무논직파 재배 면적이 담수표면산파나 건답직파 보다 상대적으로 증가하고 있는 추세다. 그러나 무논직파는 입모확보를 위해 파종 후 일정기간 물이 없는 상태를 유지하여야 하기 때문에 잡초들이 저항성화하기 매우 쉽다.

따라서 본 논문에서 최근 남부지역에서 주로 시행되고 있는 벼 무논직파재배에서 저항성잡초 발생과 방제방법을 설명하고자 시험결과를 보고하는 바이다.

재료 및 방법

본 연구는 2009년부터 2011년까지 3년까지 전북 익산시에 위한 국립식량과학원 벼육종재배과 실험 포장에서 수행하였다. 벼 무논직파 파종은 소독된 호품벼를 2mm 정도 발아시켜 8조씩 무논점파기로 조간 24cm로 ha당 60kg로 매년 5월 20일에 파종하였다. 시비는 질소, 인산, 가리를 ha당 각각 90, 45, 57kg씩 살포하였다. 질소는 기비, 분얼비, 수비를 각각 45, 18, 27kg씩 분비하였으며, 가리는 기비와 수비를 각각 40, 17kg씩 분비하였다. 논 토양의 토성은 미사질양토로서 배수가 중정도의 보통답이다. 시험포장에서 잡초 발생 상황은 계속 직파재배에 따른 SU계 혼용 제초제들의 연용으로 SU계 저항성 물달개비와 올챙이고랭이가 매우 높은 밀도로 발생하고 있다. 또 2010년도에는 ACCase 및 ALS 저해제들에 대한 저항성 강피는 낮은 밀도로 증가하였으나 2011년도에는 매우 높은 밀도로 증가하였다.

잡초분포 및 우점도 조사

잡초조사는 2009년부터 2011년까지 3년간 제초제가 처리되지 않은 무처리구에서 파종 후 30일에 실시하였으며, 가로와 세로의 길이가 각각 50㎝씩 조사하여 ㎡로 환산하였다. 잡초발생 우점도는 Simpson 지수($\sum n(n-1)/N(N-1)$로, 다양도는 〔$1-n(n-1)/N(N-1)$〕의 식으로 계산하였으며, n은 초종별 개체수로 N은 각 군집의 전체 개체수로 하였다.

온실에서 우수약제 선발

무논직파 재배 논에서 잡초 방제 연구는 저항성 강피가 발생하지 않고 SU계 저항성 물달개비와 올챙이고랭이만 발생하고 있었던 2009년도 포장과 ACCase 및 ALS 저해제들에 대한 저항성 강피뿐만 아니라 SU계 저항성 물달개비와 올챙이고랭이가 동시에 우점하고 있었던 포장에서 실시하였다.

SU계 제초제들에 대한 저항성 물달개비 및 올챙이고랭이에 대한 우수약제를 선발하기 위하여 국내에 등록된 주요 대체약제들인 benzobicyclon, carfentrazone 등 6약제들에 대한 반응을 조사하였다. 온실 내의 사각 폿트에 출아된 올챙이고랭이 및 물달개비를 각각의 폿트에 25개씩 파종하였다. 파종 후 12일인 2～3엽기에 benzobicyclone, carfentrazone 등 약제들을 기준량으로 살포한 다음 약제 처리 후 20일에 생존된 개체수로 방제효과를 조사하였다.

그리고 실제 무논직파 재배 논에서는 올챙이고랭이와 물달개비에 효과적인 이들 제초제 성분들이 혼합되고 담수직파 재배 논에 등록된 제초제 benzobicyclon+penoxsulam+pyrazosulfuron-ethyl 정제, bromobutide+imazosulfuron+metamifop 입제, flucetosulfuron+mesotrione+pretilachlor 입제를 파종 후 12일에 살포한 다음 7일에 약해, 20일에 약효조사를 하였다. 저항성 강피 우점하고 있는 시험포장에서 저항성 강피의 저항성 여부를 검증하기 위하여 ACCase 및 ALS 저해 제초제인 cyhalofop-butyl 유제와 penoxsulam 액상수화제를 각각 표 1과 같은 농도로 파종 후 15일인 강피 4～5엽기에 경엽처리 하였다. 처리 후 20일에 생존한 식물체의 생존수를 조사하였으며, 이때 감수성 생태형은 제초제 접촉이 없었을 것으로 추정되는 전남 고성의 저수지에서 채종한 강피 종자를 사용하였다. 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. 저항성 강피의 효율적인 방제를 위하여 표 3과 같이 화본과 전용 제초제들 중에서 ACCase 및 ALS 저해제들과 작용기작이 다른 피 전용 약제들이 혼합된 제초제들을 방제 특성에 따라 0.5엽기부터 3엽기까지 각각 처리하여 처리 후 20일에 생존한 식물체로 방제가를 계산하였다.

Ⓒ 2012 Korean Society of Weed Science

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 oryzicola* 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

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

Herbicide[1)]	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; SC : Suspension concentrate; SE : Suspension emulsion, GR : Granule.

포장에서 우수약제 선발

2009년 SU계 제초제들에 대한 저항성 물달개비와 올챙이고랭이가 우점하고 있는 무논직파 논에서 우수약제를 선발하기 위하여 온실 조건에서 파종 후 12일에 저항성 물달개비 및 올챙이고랭이에 효과적인 대체약제들이 혼합된 benzobicyclon+ penoxsulam+pyrazosulfuron-ethyl 정제, bromobutide+imazosulfuron+metamifop 입제 그리고 flucetosulfuron+mesotrione+pretilachlor 입제를 처리한 다음 처리 후 20일에 발생한 초종들에 대한 약효를 생체중으로 조사하였다. 또한 2011년 저항성 강피와 물달개비, 올챙이고랭이가 동시에 우점하고 있는 무논직파논에서 국내에서 담수직파 재배 논에 등록된 주요 제초제들에 대한 반응을 구명하기 위하여 표 11과 같이 파종 후 12일에 benzobicyclon+cafenstrole+pyrazosulfuron 입제 등 12약제를 처리한 다음 처리 후 10일에 약해, 20일에 약효를 각각 조사하였다. 포장의 시험구획은 난괴법 3반복으로 하였다.

포장에서 방제체계 시험

저항성 강피, 물달개비, 올챙이고랭이가 동시에 우점하고 있는 무논직파 재배 논에서 효과적인 방제 체계를 위해서 파종전 3일에 benzobicyclon+thiobencarb 유현탁제를 처리한 다음 파종 후 12일에 다시 benzobicyclon+imazosulfuron+penoxsulam 액상수화제, benzobicyclon+metamifop+azimsulfuron 입제, bensulfueon-methyl+mefenacet+thiobencarb 입제를 처리하였다. 초종별 생체중에 의한 방제가는 대조 약제인 benzobicyclon+imazosulfuron+penoxsulam 액상수화제

Ⓒ 2012 Korean Society of Weed Science

의 1회 처리구와 비교하였다.

파종시기에 따른 주요 잡초들의 3엽기 소요일수 및 방제적기

남부지역에서 무논직파 파종시기별 저항성 강피, 물달개비, 올챙이고랭이의 효율적인 방제를 위해서 파종시기별 이들 잡초들의 3엽기까지 소요일수와 파종시기별 제초제의 적정 처리시기를 구명하기 위하여 파종시기를 5월 20일, 5월 30일, 그리고 6월 10일로 하여 제초제 무처리구에서 조사하였다. 조사방법은 각각의 잡초 초종의 평균적인 생육을 보인 각각 초종 30개체를 선택 후 평균 계산하였다. 또한 파종시기별 발생한 잡초들의 최적 방제적기를 구명하기 위하여 5월 20일, 5월 30일, 그리고 6월 10일에 파종한 처리구에 benzobicyclone+penoxsulam+bensulfuron-methyl 정제를 각각 파종 후 10, 15, 20일에 처리한 다음 처리 후 20일에 처리구별 약효를 잔존 생체중으로 계산하였다.

결과 및 고찰

무논직파 재배 논에서 발생하고 있는 주요 논 잡초들의 발생 분포 및 우점도 정도를 조사한 결과, 표 4와 같이 2009년도에는 발생초종이 물달개비, 올챙이고랭이, 올방개, 강피, 여뀌바늘, 알방동사니가 발생하였으며 Simpson 우점도는 0.319로 나타났다. 특히 물달개비와 올챙이고랭이가 발생밀도가 비슷하게 나타났으며, 다년생잡초인 올방개가 강피 보다 밀도가 높게 나타났다. 2010년도에는 우점도가 0.407로 전년도에 비하여 높게 나타나 잡초 발생 다양성은 감소하였다. 즉 물달개비 발생 밀도가 높게 증가하였으나 올챙이고랭이와 다년생잡초인 올방개는 전년도에 비해 발생밀도가 많이 줄었고, 강피의 밀도가 m^2가 37개체로 전년도에 비해 4배 이상 증가하였다. 따라서 본 연구 전 다년간 벼 직파재배 연구를 실시한 논에서 같은 ALS 저해제인 SU계 제초제들에 대하여 강피가 저항성화 된 것으로 추정된다.

2011년도에는 ALS 및 ACCase 저해제들에 대한 저항성화한 강피가 ㎡당 214본으로 매우 높은 밀도로 발생하였으나 상대적으로 경합력이 약한 올챙이고랭이와 올방개 등 다른 잡초들은 발생밀도가 낮거나 발생하지 않아 우점도는 0.537로 나타났다. Lim 등(2006)은 담수직파논에서 잡초발생 분포 및 우점도를 조사한 결과 일년생 및 다년생 잡초 15초종이 발생하였을 뿐만 아니라 우점도 역시 0.207로 나타나 본 연구에서 조사된 것에 비해 잡초가 훨씬 다양하게 발생한 것으로 보고되었다. 이런 잡초 발생 초종 및 우점도의 차이는 그동안 사용하여온 제초제의 특성과 매우 관련이 깊다. 본 시험포장은 1990년대 초반 이후 벼 직파재배 시험을 계속하여 실시한 포장으로 SU계 제초제들에 대한 저항성 물달개비와 올챙이가 매우 높은 밀도로 증가하여 다른 잡초 초종들은 경합으로 발생하지 않았거나 발생하였더라도 상대적으로 밀도가 낮아 우점도가 높게 나타났다.

표 5는 SU계 저항성 올챙이고랭이 및 물달개비가 우점하고 있는 벼 무논직파 재배 논에서 이들 잡초들

Table 4. Change of main weeds per m^2 in direct seeded rice on puddled paddy surface during three years since 2009.

Year	Weed species[1)]							Simpson dominance	Simpson diversity
	M.v[2)]	*S.j*	*E.k*	*E.o*	*L.p*	*C.d*	Total		
	----------Number per m^2----------								
2009	160	132	26	8	11	5	342	0.319	0.681
2010	374	86	17	37	7	2	523	0.407	0.593
2011	342	42	7	214	-	-	612	0.537	0.463

[1)]Number was measured 30 days after seeding.
[2)]*M.v* : *Monochoria vaginalis*, *S.j* : *Scirpus juncoides*, *E.k* : *Eleocharis kuroguwai*, *E.o* : *Echinochloa oryzicola*, *L.p.* : *Ludwigia prostrata*. *C.d* : *Cyperus difformis*.

Ⓒ 2012 Korean Society of Weed Science

을 효과적으로 방제할 수 제초제를 선발하기 위하여 국내에서 이들 제초제 저항성 잡초 전문약제들로 등록되어 사용되어 지고 있는 benzobicyclone, bromobutide, carfentrazone, mesotrione, pyrazolate 그리고 pyrimisulfan 6약제를 파종 후 5일과 10일에 각각 기준량으로 처리한 다음 처리 후 20일에 방제효과를 조사한 것이다.

Benzobicyclone, mesotrione 그리고 pyrimisulfan은 처리시기 및 초종에 관계 없이 완전한 방제 효과를 보였으나 bromobutide는 파종 후 12일에 물달개비에 방제효과가 다소 떨어졌고, carfentrazon과 pyrazolate는 사초과인 올챙이고랭이 대하여 비효과적이었다. Park 등(2011)도 benzobicyclone, mesotrione은 사초과 및 광엽잡초들에 모두 효과적이었으나 bromobutide는 광엽잡초, carfentrazone과 pyrazolate는 사초과인 올챙이고랭이에 비효과적이라고 보고하였다. 특히 이들 제초제들이 국내에서 SU계 저항성잡초 전문약제들로 등록되어 매우 광범위하게 사용하고 있기 때문에 약제별 잔효성 등의 생물적 특성 평가가 매우 중요할 것으로 생각되어 진다.

표 6은 2009년 저항성강피가 발생하지 않았으나 SU계 제초제들에 대한 저항성 올챙이고랭이와 물달개비가 우점하고 있는 무논직파재배 논의 온실조건에서 방제효과가 우수한 성분이 혼합된 제초제를 파종 후 12일에 처리한 다음 약효를 조사한 것이다. Benzobicyclon+penoxsulam+pyrazosulfuron-ethyl 정제, bromobutide+imazosulfuron+metamifop 입제, 그리고 flucetosulfuron+mesotrione+pretilachlor 입제 모두 발생하고 있는 잡초들에 대하여 90% 이상의 높은 방제효과를 나타내었다. 그러나 대조약제인 bensulfuron-methyl+pyriminobac-methyl 입제는 SU계 제초제 저항성 물달개비와 올챙이고랭이에 대하여 17~25%의 낮은 방제 효과를 나타내어 전체적으로 방제가는 낮았다. Park(2009) 등도

Table 5. Efficacy of alternative herbicides to sulfonylurea-resistant *Scirpus juncoides* and *Monochoria vaginalis* under greenhouse.

Herbicide	Rate (g ai ha^{-1})	Efficacy(%)			
		S. juncoides		*M. vaginalis*	
		5DAS[1)]	12DAS	5DAS	12DAS
Benzobicyclone	3.5	100	100	100	100
Bromobutide	3.0	100	100	97	83
Carfentrazone	0.25	87	46	100	100
Mesotrione	38	100	100	100	100
Pyrazolate	36	100	53	100	100
Pyrimisulfan	0.67	100	100	100	100

DAS[1)] : days after seeding.

Table 6. Efficacy of main "one-shot herbicides" included with effective herbicides for control of sulfonylurea-resistant *Monochoria vaginalis* and *Scirpus juncoides* in direct seeded rice on puddled paddy surface.

Herbicide	*E.o*[1)]	*S.j*	*M.v*	*P.h*	*A.i*	Total	Rice injury[2)] (0-9)
Benzobicyclon+penoxsulam+pyrazosulfuron-ethyl ET[3)]	98	98	96	95	100	98	1
Bromobutide+imazosulfuron+metamifop GR	95	98	91	92	100	94	1
Flucetosulfuron+mesotrione+pretilachlor GR	96	100	97	100	100	98	2
Bensulfuron-methyl+pyriminobac-methyl GR(contrast)	95	25	17	100	100	39	1

[1)]*E.o* : *Echinochloa oryzicola*, *S.j* : *Scirpus juncoides*, *M.v* : *Monochoria vaginalis*, *P.h* : *Polygonum hydropiper*. *A.i* : *Aeschynomene indica.*

[2)]Rice injury : 0(no injury0, 9(completely dead); [3)]ET : Effervesent tablet, GR : Granule.

Ⓒ 2012 Korean Society of Weed Science

서로 다른 지역에서 수집된 SU계 제초제 저항성 올챙이고랭이에 대한 조사된 약제들의 반응을 조사한 결과 benzobicyclon과 bromobutide가 올챙이고랭이에 매우 효과적이었다는 보고와 같다.

표 7은 시험 포장인 무논직파 논에서 해마다 증가하고 있는 강피에 대하여 저항성 여부를 검증하기 위하여 ACCase 저해제 cyhalofop-butyl과 ALS 저해제 penoxsulam의 서로 다른 농도별 생존율을 나타낸 것이다. 시험 중인 무논직파 재배 논에서 발생하고 있는 강피는 cyhalofop-butyl와 penoxsulam에 대하여 높은 저항성을 보였다. Cyhalofop-butyl과 penoxsulam의 추천량에서는 제초제 무처리구와 같은 100% 생존을 보였으나, 감수성 계통인 곡성 수집종은 두 제초제의 추천량에서 모두 고사하였다. 따라서 시험 포장에서 발생하고 있는 강피는 ACCase 저해제인 cyhalofop-butyl과 ALS 저해제인 penoxsulam에 대하여 높은 저항성을 보였다. Valverde(1998)와 Fisher 등(2000)은 ACCase 저해제들에 대한 저항성 피가 작용기작이 다른 제초제들에 대하여 다중저항성(multiple-resistance)을 보였다고 보고한 바 있다.

국내에서도 Lim 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 피의 반응에 대한 보고들이 있었다. Lee 등(1999)은 국내 수집 46종의 피에 대하여 cyhalofop-butyl이 90% 이상의 높은 효과를 보였다고 보고하였으며, Oh 등(2003)은 cyhalofop-butyl 추천량의 약 1/4배량인 ha당 60g a.i에서 강피의 생육이 완전 억제 되었다고 보고하였다.

한편 Min과 Mann(2004)은 ALS 저해제인 penoxsulam의 추천량에서 피가 완전고사하였다고 보고하였다. 따라서 서로 작용기작이 다른 cyhalofop-butyl과 penoxsulam에 대하여 저항성을 보인 것은 어느 하나의 제초제에 대하여 먼저 저항성을 나타난 강피가 다른 제초제에 대하여서도 저항성을 보이는 다중저항성(multiple-resistance)인 것으로 추정된다. 즉 강피가 ACCase 저해제에 저항성을 보인 것은 1990년 중반부터 cyhalofop-butyl가 국내에 등록되어 장기간 연용되었을 뿐만 아니라 ALS 저해제인 SU계 제초제들에 대하여 저항성을 보인 다음 교차저항성이 나타난 것으로 생각된다.

Table 7. Survival rates of resistant and susceptible *Echinochloa oryzicola* to different dosages of cyhalofop-butyl and penoxsulam under greenhouse.

Herbicide	Dosage (g a.i. ha^{-1})	Resistant	Susceptible
Cyhalofop-butyl	0	100	100
	50	100	100
	100	100	30
	250[1)]	100	0
	500	92	0
	1,000	77	0
Penoxsulam	0	100	100
	6	100	100
	12	100	10
	30	100	0
	60	75	0
	120	30	0

[1)]Recommended use rates are shown in boldface.

특히 저항성 강피가 극우점하고 있는 전북 익산의 시험포장은 1990년대부터 벼 직파재배 연구로 ALS 저해제인 SU계 제초제들과 priminobac-methyl을 장기간 사용되어 같은 ALS 저해제인 penoxsulam에 대하여 저항성을 보였고, 이후 ACCase에 대하여 다중저항성을 나타내는 것으로 추정되어 진다. 일반적으로 SU계 제초제들은 화본과 잡초에 효과가 저조한 것으로 보고되고 있으나 SU계 제초제들 중에서 pyrazosulfuron-ethyl과 imazosulfuron은 화본과인 피에 효과가 탁월하기 때문에 강피가 쉽게 저항성화할 수 있다고 생각된다.

표 8은 온실조건에서 피 방제를 위한 ACCase 및 ALS 저해 제초제들이 혼합된 제초제 품목들을 강피 3.5엽기에 처리한 결과를 무처리 대비 생존율로 나타내었다. 처리된 4종류의 제초제들에 대하여 강피의 생존율이 80%이상으로 방제효과는 모두 20%이하로 나타났다. 따라서 제초제 저항성 강피가 발생하고 있는 무논직파 재배 논에서는 ACCase 및 ALS 저해제들이 혼합된 중기 수면처리용 제초제들로 방제가 불가능한 것으로 나타났다.

표 9는 온실 조건에서 국내 등록된 화본과잡초 전용

Ⓒ 2012 Korean Society of Weed Science

Table 8. Survival rates to ACCase and ALS inhibitor-included at 3.5 leaf stage of *Echinochloa oryzicola* under greenhouse.

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

[1)]GR : Granule; SC : Suspension concentrate.

방제 약제들로 사용 중인 주요 제초제들에 대한 강피의 엽기별 생존율을 나타낸 것이다. 파종 및 이앙전 처리제들인 oxadiazon 12% EC, pyrazolate 36% SC, pretilachlor 14% EC, benzobicyclon+thiobencarb 32.5% SE들은 제초제 처리시기가 피 엽기를 기준으로 하였을 때 0.5엽기 이하에 해당된다. 따라서 이들 제초제들을 강피 0.5엽기에 처리하였을 때 모두 완전한 방제효과를 보였다. 현재 국내에 등록된 화본과 잡초 전용 방제 논 제초제들 중에서 강피가 저항성을 나타낸 ACCase 및 ALS 저해제들 외에 이앙 후 10～15일에 처리시기가 등록된 제초제들은 cafenstrole, fentrazamide, mefenacet이다. 이들 제초제들이 혼합된 제초제들을 강피 엽기별로 처리한 결과 표 9와 같이 2엽기까지는 생존율이 7～9%이었으나. 3엽기에 처리할 경우 생존율이 65% 이상으로 늘어났다.

따라서 ACCase 및 ALS 저해제들에 대한 저항성 강피가 발생한 논은 기계이앙재배로 전환 후 cafenstrole, fentrazamide, mefenacet를 강피 2엽기 이내 처리하여야 효과적으로 방제할 수 있다. 특히 저항성 강피가 다발생하고 있는 남부지역의 경우 맥류 수확 후 6월 중순 이후에 기계이앙하는 논은 이앙 후 10일 경과시 강피의 엽기가 3엽기를 경과하기 때문에 제초제 처리시기에 유의하여야 할 것으로 생각된다. Lee 등(2011)은 ACCase 및 ALS 저해제들에 대한 저항성 강피의 대체 약제별 방제 효과시험에서 fentrazamide 및 mefenacet 혼합제들이 강피 3엽기까지 방제 효과가 우수한 것으로 나타나 본 시험과 다소 차이가 있었다. 이것은 온실의 온도 등 환경 조건과 본 연구는 단일 제초제들 대상으로 하였으나 Lee 등(2011)은 혼합제를 대상으로 한 결과로 인한 차이로 추정된다.

표 10은 ACCae 및 ALS 저해제들에 대한 저항성 강피에 효과적인 것으로 나타난 fentrazamide와 mefenacet들이 혼합된 액상수화제와 입제에 대한 제형별로 저항성 강피의 방제효과를 나타낸 것이다. 일반적으로 액

Table 9. Survival rates by leaf stage of *Echinochloa oryzicola* to herbicides with modes of action different from in greenhouse study.

Herbicide[1)]	Dose (g a.i. ha^{-1})	Leaf stage			
		0.5	1	2	3
		---------survival(%)----------			
Oxadiazon EC	48	0	-	-	-
Pyrazolate SC	1,800	0	-	-	-
Pretilachlor EC	560	0	-	-	-
Thiobencarb SE	1,200	0	-	-	-
Fentrazamide SC	300	0	0	8	69
Mefenacet SC	1,000	0	0	7	65
Cafenstrole GR	240	0	0	9	67

[1)]EC : Emulsifiable concentrate, SC : Suspension concentrate, SE : Suspension emulsion, GR : Granule.

Ⓒ 2012 Korean Society of Weed Science

상수화제들이 입제보다 방제 효과가 다소 높게 나타났으며, benzobicyclon+fentrazamide+bensulfuron 입제의 경우는 0.5엽기에서도 87%의 방제효과가 나타나 제품에 문제가 있는 것으로 추정되어진다. 이와 같이 액상수화제가 입제에 비하여 방제 효과가 높은 것은 입제의 경우 용해되어 식물체에 흡수되기까지 2～3일 소요되어 지나 액상수화제는 처리 즉시 식물체가 흡수할 수 있는 조건이기 때문이다. 따라서 저항성잡초들이 우점한 논이나 맥류를 수확한 다음 6월 중순 이후에 벼를 기계이앙이나 직파재배로 할 경우 가능한 액상수화제를 처리하면 입제에 비하여 높은 방제효과를 기대할 수가 있을 것이다.

표 11은 국내에서 ALS 및 ACCase 저해제들에 대한 저항성 잡초들을 방제하기 위하여 저항성 강피, 물달개비 그리고 올챙이고랭이가 극우점하고 있는 무논직파재배 논에서 사용가능성을 구명하기 위하여 성적을 나타낸 것이다. 포장조건에서 벼 파종 후 12일에 이들 제초제들을 처리한 다음 처리 후 20일에 생체중에 의한 방제 효과와 처리 후 10일에 벼에 약해를 조사한 결과 처리된 모든 제초제들은 방제가 혹은 약해에 대하여 문제점이 있는 것으로 확인되었다. SU계 저항성 물달개비와 올챙이고랭이에 효과적인 benzobicyclon,

Table 10. Control effect by type fentrazamide and mefenacet-included herbicides.

Herbicide[1)]	Leaf stage			
	0.5	1	2	3
	-----survival(%)----			
Benzobicyclon+fentrazamide+bensulfuron SC	0	0	15	40
Benzobicyclon+fentrazamide+bensulfuron GR	87	93	93	97
Benzobicyclon+mefenacet+bensulfuron SC	0	0	7	65
Benzobicyclon+mefenacet+bensulfuron GR	0	0	9	67

[1)]SC : Suspension concentrate, GR : Granule.

Table 11. Control effect of main herbicides to herbicide-resistant *Echinochloa oryzicola*, *Scirpus juncoides* and *Monochoria vaginalis* in direct seeded rice on puddled paddy surface.

Herbicide[1)]	Efficacy(%)				Rice injury (0~9)[3)]
	E.o[2)]	*S.j*	*M.v*	Total	
Benzobicyclon+cafenstrole+pyrazosulfuron GR	84	91	100	86	3
Benzobicyclon+cyclosulfamuron+mefenacet SC	91	100	95	94	4
Benzobicyclon+fentrazamide+bensulfuron SC	90	100	91	93	4
Azimsulfuron+benzobicyclon+fentrazamide GR	54	75	82	69	3
Benzobicyclon+mefenacet+bensulfuron SC	92	100	94	96	4
Benzobicyclon+fentrazamide+imazosulfuron SC	89	95	98	92	4
Benzobicyclon+imazosulfuron+penoxsulam SC	25	93	100	67	1
Mefenacet+primisulfan SC	98	95	100	97	4
Flucetosulfuron+mesotrione+pretilachlor GR	32	90	93	71	2
Bromobutide+imazosulfuron+metamifop GR	15	93	95	62	1
Mefenacet+bensulfuron+oxadiargyl SC	95	45	87	76	2
Benzobicyclon+imazosulfuron+priminobac SC	20	100	97	68	1
Benzobicyclon+penoxsulam+imazosulfuron SC(contrast)	23	97	93	51	1

[1)]SC : Suspension concentrate, GR : Granule.
[2)]*E.o* : *Echinochloa oryzicola*, *S.j* : *Scirpus juncoides*, *M.v* : *Monochoria vaginalis.*
[3)]Rice injury : 0(no injury0, 9(completely dead).

Ⓒ 2012 Korean Society of Weed Science

mesotrione 그리고 bromobutide들과 저항성강피에 효과적인 fentrazamide, cafenstrole, mefenacet이 혼합된 제초제들은 방제효과는 매우 높았으나 약해정도가 심하게 나타나 사용이 불가능한 것으로 나타났다.

Benzobicyclon, mesotrione 그리고 bromobutide들과 화본과잡초 전용방제용 약제들인 ACCase 및 ALS 저해제들인 metamifop나 penoxsulam이 혼합된 제초제들은 저항성 강피에 매우 낮은 방제효과를 나타내어 비효과적인 것으로 나타났다. 따라서 국내의 쌀 국제경쟁력을 제고하기 위한 생력재배법인 직파재배 면적을 확대하기 위해서는 저항성 피에 효과적인 약제 선발이 매우 시급한 것으로 나타났다. 또한 mefenacet+primisulfan 액상수화제는 발생하고 있는 저항성잡초들에 매우 효과적이었으나 벼의 초기생육을 많이 억제시킨 것으로 나타났다.

벼 생력재배법인 직파재배에 제초제 저항성잡초 발생 등으로 재배면적이 감소하고 있지만 2014년 관세화에 의한 쌀 완전 개방화에 이후 국제 경쟁력 향상을 위하여 계속 보완 후 면적을 확대하는 방향으로 가야할 것이다. 그러나 ACCase 및 ALS 저해제들에 대한 저항성 피와 SU계 제초제들에 대한 저항성잡초들이 복합적으로 발생한 무논직파재배 논에서 제초제를 올바르게 선택하지 않으면 후기 경엽처리 혹은 손제초로 노동력이 기계이앙재배 보다 많이 투입될 뿐만 아니라 수량도 감소될 것이다. 따라서 표 12는 저항성강피와 다른 광엽 및 사초과잡초들이 복합적으로 발생하고 있는 무논직파 재배 논에서 효율적인 잡초 방제법을 구명하기 위하여 현재 국내에서 담수직파 논에 등록된 제초제를 기준으로 하여 방제체계 시험한 결과를 나타낸 것이다.

파종 3일전 benzobicyclon+thiobencarb 32.5% 유현탁제 처리한 다음 파종 후 12일에 저항성강피에 효과적인 mefenacet이 혼합된 제초제 중에서 담수직파 재배에 유일하게 등록된 bensulfuron+mefenacet+thiobencarb 6.67% 입제를 사용할 경우 벼에 약해 없이 96%의 방제효과가 나타났다. 그러나 비록 무논직파 재배 논에서 파종 전에 저항성 피와 다른 광엽 및 사초과잡초에 효과적인 benzobicyclon+thiobencarb 유현탁제 같은 제초제를 사용하였을 지라도 벼 담수직파 재배논에 등록된 화본과 전용약제인 metamifop나 penoxsulam 같은 ACCase 및 ALS 제해제들이 혼합된 제초제들을 사용할 경우 저항성 강피에 대한 약효 저조로 수량이 감소하게 될 뿐만 아니라 저항성 잡초들이 더욱 확산될 소지가 높다.

따라서 SU계 제초제들에 대한 저항성 물달개비와 올챙이고랭이가 우점하고 있을 뿐만 아니라 ACCase

Table 12. Effect of the weed control according to systematic application of herbicides in direct seeded rice on puddled paddy surface dominated by herbicide-resistant weeds.

Systematic application of herbicides		Efficacy by weed(%)					Yield (kg/10a)
3 DAS[1)]	12 DAS	*E.o*[2)]	*M.v*	*S.j*	*L.p*	Total	
Benzobicyclon+ thiobencarb SE[3)]	-	51	75	62	35	54	317c
Benzobicyclon+ thiobencarb SE	Benzobicyclon+imazosulfuron+penoxsulam SC[4)]	65	97	93	95	79	441b
Benzobicyclon+ thiobencarb SE	Azimsulfuron+benzobicyclon+metamifop GR[5)]	72	100	95	86	84	456b
Benzobicyclon+ thiobencarb SE	Bensulfuron+mefenacet+ thiobencarb GR	96	100	91	97	96	530a
-	Benzobicyclon+imazosulfuron+penoxsulam SC(contrast)	27	83	90	88	52	335c

[1)]DAS : days after rice seeding.
[2)]*E.o* : *Echinochloa oryzicola*, *S.j* : *Scirpus juncoides*, *M.v*: *Monochoria vaginalis*, *L.p* : *Ludwigia prostrata*; [3)]SE : Suspension emulsion; SC[4)] : Suspension concentrate, GR[5)] : Granule.

Ⓒ 2012 Korean Society of Weed Science

및 ALS 저해제들에 대한 저항성 강피까지 확산하고 있는 대부분의 남부지역 논에서 벼 직파재배를 할 경우에는 올바른 제초제 선택과 체계처리가 필수적이다.

잡초방제는 올바른 제초제 선택뿐만 아니라 선택된 제초제들을 적기에 살포하여야 효과적인 잡초방제를 기대할 수 있다. 농약사용지침서에 의한 제초제 처리시기 구분을 이앙 혹은 파종시기를 기준으로 분류하고 있으나 지역이나 이앙 및 파종시기에 따라서 잡초 생육정도가 상이하기 때문에 잡초 특히 피 엽기에 따라서 처리시기를 결정하는 것이 올바른 방법일 것이다.

특히 이모작 재배가 일반화된 호남 등 남부지역에서는 제초제 처리시기를 기존의 방법대로 적용할 경우 처리시기를 일실할 가능성이 높다. 따라서 표 13은 5월 20일, 5월 30일, 그리고 6월 10일에 각각 벼를 무논직파 재배로 파종한 후 주요 저항성 잡초들의 3엽기까지 소요되는 일수를 조사하여 나타낸 것이다. 파종시기가 늦어질수록 제초제 저항성 강피, 물달개비, 올챙이고랭이의 3엽기까지 소요일수는 짧게 나타났다. 강피의 경우 5월 20일에 파종하였을 때는 3엽기까지 소요일수가 15일로 나타났으나 6월 10일 파종하였을 때는 11일로 나타났다. 저항성 물달개비와 올챙이고랭이 역시 저항성 강피와 유사한 경향을 보였다. Kwon 등(2004)은 무경운 담수직파 논에서 벼 파종시기를 달리하였을 때 잡초발생량과 생육시기가 달리 나타났다고 보고하였다.

그림 1은 5월 20일, 5월 30일, 그리고 6월 10일에 각각 벼를 무논직파 재배로 파종한 후 benzobicyclone+penoxsulam+bensulfuron-methyl 10.2% 정제를 파종 후 10, 15, 20일에 처리한 결과 방제효과를 나타낸 것이다. 전체적으로 제초제 처리시기가 늦어질수록 방제효과는 감소하였으며, 그 정도는 파종시기가 늦어질수록 심하게 나타났다. 6월 10일 파종일까지는 파종 후 10일에 제초제를 처리하면 90% 이상의 높은 방제효과를 보였으나 파종 후 15일 이후에 제초제를 처리하면 방제효과가 80% 이하로 저조하게 나타났다. 파종시기에 상관없이 제초제를 파종 후 20일에 처리를 하면 70~75%로 나타나 방제효과가 저조하게 나타났다.

따라서 벼 무논직파재배 논에서 5월 20~30일에 파종하였을 경우는 제초제를 파종 후 15일 이내에 처리하여야 하고, 6월 10일에 파종하였을 때는 파종 후 10일인 피 2~3엽기에 제초제를 처리하여야 효과적인 잡초방제 효과를 볼 수가 있다. Cho 등(2006)은 벼 건답직파 재배에서 파종시기가 늦어질수록 잡초생육시기가 훨씬 빨랐을 뿐만 아니라 3엽기 도달 유효적산온도도 훨씬 낮게 나타났다고 보고하였다.

Table 13. Days required by the third leaf stage of major herbicide-resistant weeds as affected by different seeding date in direct seeded rice on puddled paddy surface.

Seeding date	*E. oryzicola*	*M. vaginalis*	*S. juncoides*
May 20	15.0 days	14.0 days	14.5 days
May 30	13.3	12.5	13.0
June 10	11.0	10.5	11.7

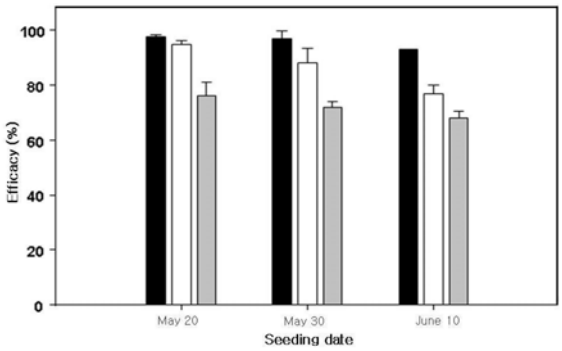

Fig. 1. Efficacy of weed control by benzobicyclone+penoxsulam+bensulfuron-methyl ET at 10(■), 15(□) and 20day(▒) after seeding in direct seeded rice on puddled paddy surface seeded at different date.

요 약

본 시험은 남부지역 무논직파재배 논에서 발생하고 있는 제초제 저항성 잡초를 효과적으로 방제할 수 있는 방법을 구명하기 위하여 실시되었다. 2009년도부터 2011년도까지 3년간 벼 무논직파 재배논의 무처리구에서 Simpson 우점도는 각각 0.319, 0.407, 0.537로 나타났다. 2009년도에 비하여 2011년도에는 올챙이고랭이 발생밀도가 감소하고 강피의 밀도가 크게 증가하였다. Benzobicyclone, mesotrione 그리고 pyrimisulfan은 파종 후 5일과 12일에 SU계 저항성 물달개비와 올

Ⓒ 2012 Korean Society of Weed Science

챙이고랭이에 대하여 매우 효과적이었으나 bromobutide는 파종 후 12일에 물달개비에 방제효과가 다소 떨어졌다. 그리고 carfentrazon과 pyrazolate는 올챙이고랭이 대하여 비효과적이었다. ACCase 및 ALS 저해제들에 대한 저항성 강피가 발생하지 않은 무논직파 재배 논에서 benzobicyclon+penoxsulam+pyrazosulfuron-ethyl정제, bromobutide+imazosulfuron+metamifop입제, 그리고 flucetosulfuron+ mesotrione+pretilachlor 입제들은 90% 이상의 높은 방제효과를 나타내었다. 벼 무논직파 재배 논에서 발생하고 있는 강피는 cyhalofop-butyl와 penoxsulam에 대하여 높은 저항성을 보였으며, mefenacet 그리고 fentrazamide에 의하여 2엽기까지 효과적으로 방제되었다. 제초제 저항성 강피, 물달개비 그리고 올챙이고랭이 등이 매우 높은 밀도로 발생하고 무논직파재배 논에서 mefenacet, fentrazamide, penoxsulam 그리고 metamifop들이 혼합된 제초제들은 벼에 대한 약해나 약효 때문에 적용이 불가능하였다. 파종 3일전 benzobicyclon+thiobencarb 32.5% 유현탁제 처리한 다음 파종 후 12일에 bensulfuron+mefenacet+thiobencarb 6.67% 입제를 사용할 경우 벼에 약해 없이 96%의 방제효과가 나타났다. 파종시기가 늦어질수록 제초제 저항성 강피, 물달개비, 올챙이고랭이의 3엽기까지 소요일수는 짧게 나타났다.

인 용 문 헌

Cho S. H, B. C. Moon and J. C. Chun. 2006. Growth prediction of major weeds as affected by seeding dates in dry direct seeding culture on rice paddy. Korean. J. Weed Sci. 26(3):287-294.

Fischer, A. J., C. M. Ateh, 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.

Kwon O. D., B. C. Moon and Y. I. Kuk. 2004. herbicide application timing for control of major annual weeds based on leaf development by different seeding date under wet seeding. Korean J. Weed Sci. 24(4):308-318.

Lee I. Y., J. E Park, T. S. Park and K. K. Kim. 1999. Genetic analysis of different plant types of *Echinochloa* species by randmly amplified polymorphic DNA(RADP). Korean. J. Weed Sci. 19(3):197-205.

Lee I. Y., O. D. Kwon, C. S. Kim, J. R Lee, H. R. Shin, B. C. Moon, Y. I. Kuk. 2011. weeding effect of *Echinochloa oryzoides* resistant to ACCase and ALS inhibitors by the leaf stages. Korean. J. Weed Sci. 31(2):183-192.

Lim I. B., J. G. Kang and S. Kim. 2006. Control of weed rice in the wet direct seeded rice paddy. Korean. J. Weed Sci. 26(2):129-135.

Lim, 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. Korean J. Weed Sci. 29(2):178-184.

Ministry for food, agriculture, forestry and fisheries (MFAFF). 2011. Agricultural statistics. p. 726.

Min Y. K. and R. Mann. 2004. Weed control efficacy and phytotoxicity of penoxsulam SC by foliar application in transplanted rice paddy in Korea. Korean J. Weed Sci. 24(3):192-198.

Oh J. I., J. S. Kim, J. Y. Pyon and K. Y. Cho. 2003. Differences of herbicidal symptoms between fenoxaprop-ethyl and cyhalofop-butyl. Korean J. Weed Sci. 23(3):257-266.

Park, T. S., S. Y and S. K. Heu (2007) DNA sequence characterization of the acetolactate synthase(ALS) of sulfonylurea-resistant and susceptible *Monochoria vaginalis*. Korean J. Weed Sci. 27(1):44-48.

Park T. S., H. K. Park, I. Y. Lee, B. C. Moon, B. I. Ku, C. K. Kang, Y. D. Kim and J. K. Ko. 2009. Difference herbicide response of sulfonylurea-resistant *Sucirpus juncoides* accessions to sulfonylurea herbicides. Korean J. Weed Sci. 29(3):243-259.

Park T. S., B. I. Ku, S. K. Kang, M. K. Choi, H. K. Park, K. B. Lee and J. K. Ko. 2009. Response of the resistant biotype of *Echinochloa oryzicola* to ACCase and ALS inhibitors, and effect of

Ⓒ 2012 Korean Society of Weed Science

alternative herbicides. Korean J. Weed Sci. 29(4): 308-318.

Park T. S., I. Y. Lee, K. Y. Seong, H. S. Cho, H. K. Park and U. G. Kang. 2011. Status and prospect of herbicide resistant weeds in rice of Korea as of 2010. Korean J. Weed Sci. 31(2):119-133.

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.

Ⓒ 2012 Korean Society of Weed Science