

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.

제초제 저항성 잡초 강피, 물달개비, 올챙이고랭이 동시 우점한 논에서 효과적인 제초관리

박태선* · 조현숙 · 황재복 · 구본일 · 김학신 · 서명철 · 박홍규 · 이건휘
농촌진흥청 국립식량과학원 작물재배생리과

Effective Weed Control in Paddy Field Simultaneously Dominated by Herbicide-Resistant Weeds, *Echinochloa oryzoicola*, *Monochoria vaginalis* and *Scirpus juncooides*

Tae Seon Park*, Hyeoun Suk Cho, Jae Bok Hwang, Bon il Ku, Hag Sin Kim,
Myung Chul Seo, Hong Kyu Park, and Keon Hui Lee
National Institute of Crop Science, RDA, Wanju-gun, Jeollabuk-do 565-851, Korea

ABSTRACT. This study was conducted to establish the effective weed management methods in rice field simultaneously dominated by the herbicide resistant *Echinochloa oryzoicola*, *Monochoria vaginalis* and *Scirpus juncooides*. Herbicides registered for use before transplanting, oxadiazon 12% EC, pyrazolate 36% SC, pretilachlor 14% EC and thiobencarb 50% EC were effective until 0.5 leaf stage of herbicide resistant *Echinochloa oryzooides*. Herbicides registered for use after transplanting, fentrazamide 1% GR and mefenacet 18% SC were effective until 2 leaf stage of herbicide resistant *Echinochloa oryzoicola* and triafamone 0.98% SC was possible to control up to 4 leaf stage. HPPD inhibitors, benzobicyclon, mesotrione and tefuryltrione SC, were simultaneously effective to SU herbicide-resistant *Monochoria vaginalis* and *Scirpus juncooides*. Herbicides registered for use before transplanting, benzobicyclon + oxadiargyl EC out of the tested herbicide was most effective in rice field simultaneously dominated by the herbicide resistant *Echinochloa oryzoicola*, *Monochoria vaginalis* and *Scirpus juncooides*. Its effectiveness rises in proportion to flooding duration. Mazosulfuron GR, a herbicides registered for use after transplanting was most effective without phytotoxicity until 60 days after transplanting in rice field simultaneously dominated by the herbicide resistant *Echinochloa oryzoicola*.

Key words: *Echinochloa oryzooides*, Herbicide, *Monochoria vaginalis*, Resistance, *Scirpus juncooides*, Weed control

Received on August 11, 2015; Revised on August 20, 2015; Accepted on September 2, 2015

*Corresponding author: Phone) +82-63-238-5271, Fax) +82-63-238-5255; E-mail) jlpark@korea.kr

© 2015 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

한국 논에서 제초제 저항성 잡초 발생면적은 2011년까 지 약 167,000 ha로 보고되었지만(Lee et al., 2012), 제초제 저항성 잡초들의 종자의 생태적 특성과 ALS 및 ACCase 저해제들의 광범위한 사용으로 훨씬 더 넓은 면적으로 확산 되어지고 있을 가능성이 매우 높다. 이러한 추측은 국내 논 에서 제초제 사용 방법과 횟수를 보면 쉽게 짐작이 간다.

국내 논 면적 대비 제초제 판매량은 빠르게 증가하고 있는 데, 1995년에 1.16배 이었던 것이 2013년에는 2.13배로 증 가하였다(KCPR, 1995, 2014). 특히 oxadiazon과 oxadiargyl 등 과 같은 이양 전 처리제의 면적은 급격히 증가하고 있다. 2014년도 이양 전 처리제의 처리면적은 약 748,000 ha에 달 하여 대부분 논에 이양 전 제초제를 사용하고 있는 것으로 나타났다(KCPR, 2014). 이와 같이 제초제 사용횟수가 증가 하는 직접적인 원인은 저항성 잡초 발생 및 확산과 무관하 지 않다 현재 국내 논에서는 1999년 설포닐우레아(SU)계

제초제들에 대한 저항성 물옥잠(*Monochoria korsakowi*)의 발생이 확인되어 진 이후 물달개비(*Monochoria vaginalis*) 및 올챙이고랭이(*Scirpus juncooides*)등과 ACCase 및 ALS 저해제들에 대한 저항성 강피 등 12초종의 저항성 잡초들이 확인되어 공식적으로 발표되었다(Kuk et al., 2002; Kwon et al., 2000; Lim et al., 2009; Park et al., 1999; Park et al., 2002; Park et al., 2006; Park et al., 2009a, 2009b). 그리고 공식적으로 논문으로 발표 되어진 저항성 잡초 초종 외에 다년생 잡초 벧풀(*Sagittaria sagittifolia*)과 일년생 잡초 여뀌바늘(*Ludwigia prostrata*)도 민원이 증가하고 있다. 특히 최근에는 제초제 저항성 잡초들 중에서 논에서 가장 문제 잡초인 저항성 강피(*Echinochloa oryzicola*)가 ALS 및 ACCase 저해제들에 대하여 저항성으로 변하여 빠른 속도로 전남, 전북과 충남으로부터 확산하고 있다. 만일 ALS 및 ACCase 저해제들에 대한 저항성 강피가 SU계 제초제들에 대한 저항성 물달개비와 올챙이고랭이 같이 전국적으로 확산하여 발생할 경우 지금보다 심각한 문제가 발생할 수가 있다. 작년 국내 논에서 등록된 제초제들 중에서 ALS 및 ACCase 저해제들이 혼합된 제초제 품목들의 비율은 약 75%나 차지하고 농가 사용비율도 95%에 달하고 있다(KCPR, 2014). 그러므로 이들 제초제들에 대한 저항성 강피도 물달개비 및 올챙이고랭이 등과 같이 매우 빠른 속도로 확산될 가능성이 높다. 현재까지 벼 이앙 후 10~15일 사이에 사용이 가능하도록 등록된 초종기 수면 처리제들 중에서 ALS 및 ACCase 저해제들에 대한 저항성 강피를 방제할 수 있는 제초제들은 mefenacet과 fentrazamide 등 몇몇 제초제들에 국한 되어진다. 그러나 mefenacet과 fentrazamide는 피에 대한 방제 가능 엽기가 ALS 및 ACCase 저해제들 보다 훨씬 적은 2엽기로 제한적이다. 최근 기후변화에 따른 벼 이앙기 온도 상승뿐만 아니라 가구당 경지면적 증가로 mefenacet과 fentrazamide의 혼합제들을 피 2엽기 이내에 처리하는 것은 사실 매우 어렵다. 또한 제초제 저항성 강피가 발생하고 있는 논은 대부분 SU계 제초제들에 대한 저항성 물달개비와 올챙이고랭이들이 이미 복합적으로 발생하고 있기 때문에 이앙 후 10~15일에 초종기 제초제 처리제 1회 처리로 방제가 어려운 실정이다. 따라서 본 연구는 ALS 및 ACCase 저해제들에 대한 저항성 강피와 SU계 제초제들에 대한 저항성 물달개비와 올챙이고랭이들이 복합적으로 발생하고 있는 논에서 효과적으로 잡초를 방제하기 위하여 최근 사용이 급증하고 있는 이앙 전 처리 제초제 및 신규 저항성 전문 제초제들이 혼합된 제초제들에 대한 잡초 효과를 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

본 시험은 경기도 수원시에 위치한 국립식량과학원 인공

기상실 및 시험포장에서 수행하였다. 인공기상실은 주간 및 야간 온도가 각각 12시간씩 26.5°C 및 18.5°C로 유지되었다. 시험포장은 2010년에 전북 익산에서 발생한 ACCase 저해제들에 대한 저항성 강피, SU계 제초제들에 대한 물달개비와 올챙이고랭이를 매우 높은 밀도로 파종하여 4년간 ACCase 및 ALS 혼합제 사용으로 이들 저항성 잡초들이 매우 높은 밀도로 발생하고 있었다.

ACCase 및 ALS 저해제 저항성 강피의 대체가능 제초제들에 대한 엽기별 살초반응

본 실험은 수원 국립식량과학원 인공기상실에서 실시하였다. 실험에 사용된 저항성 강피 종자는 2013년 10월 중순에 수원 국립식량과학원 시험포장에서 채취한 다음 2°C 저온에서 3개월 동안 저장한 종자를 사용하였다. 저항성 강피의 2 mm 정도 발아된 종자를 20 cm × 20 cm × 20 cm (가로 × 세로 × 높이) 플라스틱 사각 포트에 30개씩 파종한 다음 0.5엽기에 균일하지 못한 것들을 제거하여 최종적으로 포트 당 20개체씩 실험에 사용하였다. 저항성 강피에 효과적인 제초제를 선별하기 위하여 Table 1과 같이 화본과 방제 가능 제초제들 중에서 ALS 저해제인 matazosufuron과 triafamone 외 ACCase 및 ALS 저해제들과 작용기작이 다른 제초제들을 방제 특성에 따라 0.5엽기부터 4엽기까지 각각 처리한 다음 제초 여부를 조사하였다. 방제효과는 처리 후 20일에 생존한 식물체로 방제 효과를 계산하였다.

SU계 제초제 저항성 물달개비 및 올챙이고랭이의 대체 가능 제초제들에 대한 엽기별 살초반응

국립식량과학원 인공기상실에서 SU계 제초제들에 대한 저항성 물달개비와 올챙이고랭이에 대한 대체 가능약제들

Table 1. Dose and application timing of several herbicides for the control of ALS and ACCase inhibitor -resistant *Echinochloa oryzicola* to in greenhouse.

Herbicide	Dose (g a.i. ha ⁻¹)	Application timing (Leaf stage ²)
Oxadiazon EC ^z	480	0.5
Pyrazolate SC	1,800	0.5
Pretilachlor EC	560	0.5
Thiobencarb EC	2,000	0.5
Fentrazamide GR	300	1, 2, 3, 4
Mefenacet SC	900	1, 2, 3, 4
Cafenstrole GR	210	1, 2, 3, 4
Matazosufuron GR	99	1, 2, 3, 4
Triafamone SC	49	1, 2, 3, 4

^zEC: Emulsifiable concentrate; SC: Suspension concentrate; GR:Granule.
²Leaf stage: The number of weed leaves when treating with herbicide.

Table 2. Dose and application time of several herbicides for the control of sulfonylurea-resistant *Monochoria vaginalis* and *Scirpus juncoides* in greenhouse.

Herbicide	Dose (g a.i. ha ⁻¹)	Application time (Leaf stage ^v)
Oxadiazon EC ^z	480	1, 2, 3
Oxadiargyl EC	68	1, 2, 3
Benzobicyclon SC	175	1, 2, 3, 4, 5
Bromobutide SC	900	1, 2, 3, 4, 5
Carfentrazone SC	60	1, 2, 3, 4, 5
Mesotrione SC	90	1, 2, 3, 4, 5
Pyrazolate SC	1,800	1, 2, 3, 4, 5
Tefuryltrione SC	196	1, 2, 3, 4, 5

^zEC: Emulsifiable concentrate; SC: Suspension concentrate.
^vLeaf stage: The number of weed leaves when treating with herbicide.

Table 3. Dose and application time of herbicides treated before transplanting in rice field simultaneously dominated by the herbicide resistant *Echinochloa oryzicola*, *Monochoria vaginalis* and *Scirpus juncoides*.

Herbicide	Dose (g a.i. ha ⁻¹)	Application time
Benzobicyclon + thibencarb SC ^z	100+1,200	5 DBT ^y
Bromobutide + oxadiazon EC	400+400	5 DBT
Oxadiazon EC	68	5 DBT
Butachlor EC	2,352	5 DBT
Fentrazamide + oxadiargyl SC	80+52	5 DBT

^zEC: Emulsifiable concentrate; SC: Suspension concentrate.
^yDBT: days before transplanting.

의 반응은 Table 2와 같이 oxadiazon유제 등 8약제들을 기준량으로 처리하였고, 각각 약제특성에 따라 1엽기부터 5엽기까지 처리하여 처리 후 20일에 생존한 식물체로 방제 효과를 계산하였다. 실험에 사용된 저항성 물달개비 및 올챙이고랭이 종자는 2013년 10월 중순에 수원 국립식량과학원 시험포장에서 채취한 다음 2°C 저온에서 3개월 동안 저장한 후 사용하였다. 저항성 물달개비 및 올챙이고랭이의 2 mm 정도 발아된 종자를 20 cm × 20 cm × 20 cm (가로 × 세로 × 높이) 플라스틱 사각 포트에 30개씩 파종한 다음 1엽기에 불균일한 것을 제거하여 최종적으로 포트당 20개체씩 실험에 사용하였다.

제초제 저항성 강피, 물달개비, 올챙이고랭이 동시 우점한 논에서 이앙 전 처리 제초제들의 효과

이앙 전 사용 제초제들의 올바른 사용방법을 확립하기 위하여 제초제 종류 및 담수기간 별, 그리고 처리 후 수문

Table 4. Dose and application time of herbicides treated after transplanting in rice field simultaneously dominated by the herbicide resistant *Echinochloa oryzicola*, *Monochoria vaginalis* and *Scirpus juncoides*.

Herbicide	Dose (g a.i. ha ⁻¹)	Application time
Benzobicyclon + mefenacet + phenoxsulam SC ^z	150+900+25	12 DAT ^y
Tefuryltrion + mefenacet SC	210+1,000	12 DAT
Metazosulfuron GR	600	12 DAT
Primisulfan + mefenacet SC	50+750	12 DAT
Propyrisulfuron + bromobutide GR	12.5+900	12 DAT
Benzobicyclon + metazosulfuron JB	175+100	12 DAT
Matazosulfuron + oxaziclonofone SC	80+60	12 DAT
Tefuryltrion + triafamone SC	196+49	12 DAT
Oxaziclonofone + tefuryltrion SC	60+300	12 DAT

^zSC: suspension concentrate; GR: granule; JB: jumbo.
^yDAT: days after transplanting.

으로부터 거리 별로 방제효과를 조사하였다. 벼는 25일 육묘된 묘를 사용하여 2014년 6월 4일에 이앙하였으며, 시험에 사용된 처리제들은 Table 3과 같이 oxadiazon 유제 등 5약제를 이앙 5일 전인 씨레질 직후에 처리한 다음 5 cm 깊이로 담수를 5일간 유지하였다. 이앙 전에 제초제 처리 후 담수기간별 잡초방제 효과시험은 bromobutide + oxadiazon 유제를 이앙 5일전에 처리하였으며 담수기간은 담수심을 5 cm 깊이로 1, 3, 5, 7일간 각각 유지하였다. 이앙 전 제초제 처리 후 수문으로부터 제형별 방제효과를 보기 위하여 이동성이 서로 다를 것으로 생각되는 액상수화제 및 유제 중에서 benzobicyclon + thibencarb 액상수화제와 bromobutide + oxadiazon 유제를 처리한 다음 수문으로부터 7, 14, 21, 28, 35 m 지점에서 m²당 방제효과를 조사하였다. 물 관수는 제초제 처리 후 2일과 4일에 수문으로부터 물을 관수하였으며, 방제효과는 이앙 후 30일에 조사하였다.

제초제 저항성 강피, 물달개비, 올챙이고랭이 동시 우점한 논에서 이앙 후 처리 제초제들의 효과

최근 제초제 저항성 잡초방제를 위하여 개발된 전문약제들이 혼합된 제초제들을 대상으로 Table 4와 같이 처리한 다음 약제 처리 후 30일과 60일에 초종별 생체중을 조사하여 방제가를 계산하였다. 그리고 약해는 약제 처리 후 10 일째에 조사하였다.

결과 및 고찰

ACCCase 및 ALS 저해제 저항성 강피의 대체가능 제초제

Table 5. Efficacy of several herbicides for the control of the ACCase- and ALS-inhibitors- resistant *Echinochloa oryzicola*.

Herbicide	Dose (g a.i. ha ⁻¹)	Efficacy (%) by leaf stage				
		0.5	1	2	3	4
Oxadiazon EC ^z	480	100 a ^y	53 b	-	-	-
Pyrazolate SC	1,800	100 a	43 bc	-	-	-
Pretilachlor EC	560	100 a	50 b	-	-	-
Thiobencarb EC	2,000	100 a	23 d	-	-	-
Fentrazamide SC	300	100 a	100 a	95 a	55 b	7 c
Mefenacet SC	900	100 a	100 a	98 a	60 b	3 c
Cafenstrole GR	210	100 a	100 a	93 a	63 bc	7 c
Matazosufuron GR	99	100 a	100 a	100 a	71 b	18 b
Triafamone SC	49	100 a	100 a	100 a	100 a	93 a

^zEC: Emulsifiable concentrate; SC: Suspension concentrate; GR: Granule.

^yMeans with the same letters in a row did not significantly differ at 5% by DMRT.

*Temperature condition: 26.5/18.5°C (day/night) under greenhouse.

Table 6. Efficacy of several herbicides for the control of the sulfonylurea-resistant *Monochoria vaginalis* and *Scirpus juncooides*.

Herbicide	Dose (g a.i. ha ⁻¹)	Efficacy (%)							
		Monochoria vaginalis				Scirpus juncooides			
		Leaf stage ^y				Leaf stage			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Oxadiazon EC ^z	480	100	83 b ^x	33 d	-	32 d	17 d	-	-
Oxadiargyl EC	68	100	87 b	32 d	-	25 e	23 c	-	-
Benzobicyclon SC	175	100	100 a	100 a	63 c	100 a	100 a	100 a	100 a
Bromobutide SC	900	100	100 a	72 c	25 e	100 a	100 a	100 a	100 a
Carfentrazone SC	60	100	100 a	100 a	85 a	85 c	33 b	0 b	0 b
Mesotrione SC	90	100	100 a	100 a	43 d	100 a	100 a	100 a	100 a
Pyrazolate SC	900	100	100 a	93 ab	63 c	93 ab	27 c	0 b	0 b
Tefuryltrione SC	196	100	100 a	100 a	73 b	100 a	100 a	100 a	

^zEC: Emulsifiable concentrate; SC: Suspension concentrate.

^yLeaf stage: The number of weed leaves when treating with herbicide.

^xMeans with the same letters in a row did not significantly differ at 5% by DMRT.

*Temperature condition: 26.5/18.5°C (day/night) under greenhouse.

들에 대한 엽기별 살초반응

작용기작이 ACCase 및 ALS 저해제들과 작용기작이 서로 다른 제초제들에 대한 저항성 강피의 엽기별 방제효과를 조사한 결과는 Table 5와 같다. 벼 파종 및 이앙 전에 사용하기 위하여 등록된 oxadiazon 12% 유제, pyrazolate 36% 액상수화제, pretilachlor 14% 유제, thiobencarb 50% 유제들은 저항성 강피 0.5엽기까지는 완전하게 방제를 하였으나 1엽기부터는 방제효과가 현저하게 떨어졌다. 이앙 후 10~15일 사용하도록 등록된 fentrazamide 1% 입제, mefenacet 18% 액상수화제, cafenstrol 0.07% 입제, ALS 저해제인 matazosufuron 0.33% 입제 그리고 triafamone 0.98% 입제들

은 모두 저항성 강피 2엽기까지는 90% 이상의 높은 방제효과를 보였다. 그러나 triafamone 0.98% 액상수화제를 제외하고 다른 모든 공시약제들은 3엽기부터는 방제효과가 63~70%를 나타내어 2엽기에 비해 현저하게 떨어졌다. 최근 전남북 등 일부 지역에서부터 저항성 강피가 빠르게 확산하고 가구당 경지면적이 빠르게 증가하고 있어 강피 2엽기 이내 적기에 제초제를 처리하기가 어려운 실정이다. 그러므로 전년도에 저항성 강피가 매우 높은 밀도로 발생하였던 논은 이앙 5일 전에 oxadiazon 12% 유제 등 초기 제초제들을 사용하여 강피를 방제 혹은 억제할 한 다음 이앙 후 수면처리제들을 사용하는 것이 바람직하다. Triafamone

0.98% 액상수화제는 저항성 강피 4엽기까지 93%의 높은 방제효과를 보였으나 matazosufuron 0.33% 입제와 함께 ALS 저해제로 다년간 연속 사용하면 교차저항성(cross-resistance)이 발생할 가능성이 매우 높기 때문에 추후 세밀히 관찰할 필요가 있다. 최근 ACCase 및 ALS 저해제들에 대한 저항성 강피가 확산되고 있으나 SU계 제초제들과 함께 화본과 전용 제초제들이 광범위하게 혼합되어 사용되고 있다. ALS 저해제인 penoxsulam, pyriminobac-methyl 그리고 flucetosulfuron 등과 ACCase 저해제인 metamifop 등이 혼합된 제초제들이 농업인들에게 매우 선호되고 있는 실정이다. 따라서 제초제 저항성 강피 방제뿐만 아니라 발생 예방을 위해서 이들 ACCase 및 ALS 저해제들이 혼합된 제초제들을 사용한 논에는 매년 mefenacet이나 fentrazamide 등과 같은 작용기작이 서로 다른 제초제들을 교호적으로 처리하여 주어야 한다.

SU계 제초제 저항성 물달개비 및 올챙이고랭이의 대체 가능 제초제들에 대한 엽기별 살초반응

현재까지 국내 논에서 발생하고 있는 SU계 저항성 일년

생 잡초들은 물달개비, 올챙이고랭이, 알방동사니, 물옥잠 등 6초종이 발생하고 있으나 이들 제초제 저항성 잡초들 중에서 물달개비와 올챙이고랭이가 가장 광범위하게 확산되고 있다. 저항성 강피가 발생하고 있는 논들은 대부분 이들 저항성 잡초들이 동시에 발생하고 있다. 따라서 저항성 강피가 우점하고 있는 논에 저항성 강피에 효과적인 mefenacet 등과 저항성 물달개비와 올챙이고랭이에 효과적인 제초제들이 복합적으로 혼합 되어진 제초제를 선택하여 사용하여야 효과적인 잡초방제를 기대할 수가 있을 것이다. 따라서 본 연구는 SU계 저항성 물달개비와 올챙이고랭이가 동시에 발생하였을 때 이들 잡초들을 동시에 방제하기 위하여 SU계 제초제들과 작용기작이 서로 다를 뿐만 아니라 최근 저항성 잡초방제 전문약제들로 등록된 약제들을 중심으로 이들 잡초들의 엽기별 방제효과를 구명하였다. Table 6과 같이 HPPD 저해제들인 benzobicyclon, mesotrione 그리고 tefuryltrione 액상수화제들은 SU계 저항성 물달개비와 올챙이고랭이를 3엽기까지 완전하게 방제하였다. 특히 방동사니과인 올챙이고랭이에 대하여서는 4엽기까지도 완전하게 방제하였다. 이양 전 처리제로 국내에서 광범위하

Table 7. Herbicidal efficacy of herbicides treated before transplanting in rice field simultaneously dominated by the herbicide-resistant *Echinochloa oryzicola*, *Monochoria vaginalis* and *Scirpus juncooides*.

Herbicide	Application time	Efficacy (%)			
		E. o ^x	M. v	S. j	Total
Benzobicyclon + oxadiargyl SC ^z	5 DBT ^y	75 c ^w	83 b	89 b	84 b
Bromobutide + oxdiazon EC	"	97 a	100 a	100 a	98 a
Oxdiazon EC	"	95 a	95 a	35 cd	65 cd
Butachlor EC	"	90 ab	92 ab	26 d	61 d
Fentrazamide + oxadiargyl SC	"	88 b	87 b	42 c	71 c

^zSC: Suspension concentrate; EC: Emulsifiable concentrate.

^yDBT: days before transplanting.

^xE. o: *Echinochloa oryzicola*; M. v: *Monochoria vaginalis*; S. j: *Scirpus juncooides*.

^wMeans with the same letters in a row did not significantly differ at 5% by DMRT.

Table 8. Herbicidal efficacy according to the flooding period of herbicides treated before transplanting in rice field simultaneously dominated by the herbicide-resistant *Echinochloa oryzicola*, *Monochoria vaginalis* and *Scirpus juncooides*.

Herbicide	Flooding period	Efficacy (%)			
		E. o ^x	M. v	S. j	Total
Bromobutide + oxdiazon EC ^z	1 DAT ^y	39	45	33	21 cw
	3 DAT	54	75	76	55 b
	5 DAT	97	100	100	95 a
	7 DAT	98	100	100	99 a

^zEC: Emulsifiable concentrate.

^yDAT: days after treatment of herbicide.

^xE. o: *Echinochloa oryzicola*; M. v: *Monochoria vaginalis*; S. j: *Scirpus juncooides*.

^wMeans with the same letters in a row did not significantly differ at 5% by DMRT.

계 사용 중인 oxadiazon 및 oxadiargyl 유제는 물달개비 2엽기까지는 83% 이상의 높은 방제효과를 보였으나 3엽기부터는 현저하게 낮아져 방제가 불가능하였다. 또한 이들 제초제들은 저항성 올챙이고랭이에 대하여는 1엽기인 초기에도 방제가 불가능한 것으로 나타나 올챙이고랭이가 우점한 논은 사용하면 방제에 비효과적일 것이다. Bromobutide는 올챙이고랭이 4엽기까지도 완전하게 방제하였으나 물달개비 3엽기부터는 비효과적으로 나타났다. 그리고 광엽 잡초에 효과적인 carfentrazone과 pyrazolate는 물달개비에 대하여서는 매우 높은 방제효과를 보였으나 올챙이고랭이에 대하여서는 상대적으로 매우 낮은 방제효과를 나타내었다. Park et al. (2009a)도 서로 다른 지역에서 채집된 SU계 제초제 저항성 올챙이고랭이에 대한 대체약제들의 효과를 검토한 결과 benzobicyclon과 bromobutide 그리고 mesotrione은 효과가 탁월하였으나 carfentrazone과 pyrazolate는 방제효과가 저조하였다고 보고하였다. Kwon et al. (2009)도 전남지역에서 발생하고 있는 SU계 제초제들에 대한 방동사니과 저항성 쇠털골에는 benzobicyclon과 bromobutide가 효과적이라고 보고하여 본 연구와 일치하였다.

제초제 저항성 강피, 물달개비, 올챙이고랭이 동시 우점한 논에서 이양 전 처리 제초제들의 효과

제초제 저항성 잡초들이 발생하기 전의 경우 논에서 잡초방제는 주로 이양 후 5~15일 사이 초중기 수면처리제를 1차로 처리한 후 이양 후 25~35일 사이 다시 2차로 경엽처리제를 처리하는 보고들이 많았다(Kim et al., 1983; Park et al., 1995; Moon et al., 1999; Park and Park, 2002). 그러나 ACCase 저항성 강피가 출현하여 우점한 논에서는 이양 후 경엽처리제는 별 의미가 없을 것이다. 국내에서 이양 후 25~30일 사이 후기 경엽처리제로 등록된 화분과 전용 제초제들은 chylalofop 등과 같이 모두 ACCase 저해제들이다. 최근에는 저항성 강피와 저항성 물달개비 등이 확산되어짐에 따라 이양 전 처리제들에 대한 사용량이 매우 많이 증가되고 있다. 최근 제초제 저항성 잡초들이 확산되어짐에 따라 대체가능 약제들의 방제가 가능엽기가 짧아 oxadiazon 유제 등 이양 전 제초제들의 사용량이 급격하게 증가하고 있다. 그러나 이양 전 처리 제초제들의 사용량 증가는 체계처리를 의미하는 것으로 처리횟수의 증가와 이양 전 배수로 인한 농업생태계에도 결코 바람직하지 않다. 본 실험에서는 제초제 저항성 강피, 물달개비, 올챙이고랭이들이 동시적으로 우점한 논에서 국내에서 널리 사용되고 있는 이양 전 제초제들에 대한 방제효과를 조사하였으며, 그 결과를 Table 7에서 나타내었다. 공식된 제초제들은 초종에 따라서 서로 다른 방제효과를 보였다. Oxadiazon 유제, butachlor 유제 그리고 fentrazamide + oxadiargyl 액상수

화제들은 강피와 물달개비에 비하여 올챙이고랭이에 상대적으로 비효과적으로 나타나 방제효과가 61~71%로 나타났다. 그리고 benzobicyclon + oxadiargyl 액상수화제는 물을 관수하는 수문 쪽에서 방제효과가 다소 저조하게 나타났다. 그러나 bromobutide + oxadiazon 유제는 저항성 강피와 물달개비, 올챙이고랭이 모두 이양 후 30일까지 거의 완전하게 방제하였다. 이러한 원인은 oxadiazon이 강피와 물달개비를, bromobutide는 올챙이고랭이를 매우 효과적으로 방제하였기 때문이다. 그리고 제형이 액상수화제 보다는 유제가 처리층이 빨리 형성되고 물이 부족할 때 관수를 하여도 수문으로부터 이동성이 적기 때문이라고 생각한다.

우리나라 대부분 농가에는 이양 전 제초제를 처리한 다음 이양 전 물을 배수하여 잡초방제에 비효과적일 뿐만 아니라 제초제 처리 횟수도 증가하고 있다. 논에서 제초제를 처리할 경우 제형에 따라 다소 차이가 있으나 토양표면에 처리층을 형성한 다음 잡초들이 발아하여 흡수하여 고사한다. 그러나 잡초발아 전에 배수를 할 경우 처리층이 지하로 내려가 표토에 있는 잡초들은 생존하게 된다. 따라서 본 실험은 이양 전 제초제 처리 후 담수기간의 중요성을 구명하기 위하여 제초제 처리 후 1, 3, 5, 7일 동안 담수를 유지한 결과 담수기간이 길수록 잡초방제 효과가 우수하게 나타났다(Table 8). 이양 전 제초제 처리 후 5일 및 7일간 담수 후 이양할 경우 잡초방제 효과가 각각 95% 및 99%로 매우 높게 나타났다. 제초제 저항성 강피, 물달개비 그리고 올챙이고랭이들이 많이 발생한 논에서 이양 전 제초제 처리 후 5일 이상 담수기간을 유지할 경우 이양 후 30일까지도 잡초가 95% 이상 방제되었다. 올방개 등 다년생 잡초들이 발생하지 않은 논에서 효과적인 bromobutide + oxadiazon 유제 등과 같은 이양 전 제초제를 처리한 다음 물관리를 적절하게 할 경우 제초제 처리횟수를 줄일 수가 있을 것으로 생각한다.

이양 전 제초제의 안전한 사용을 위하여 저항성 저항성 강피, 물달개비 그리고 올챙이고랭이가 동시적으로 우점한 논에서 benzobicyclon + oxadiargyl 액상수화제와 bromobutide + oxadiazon 유제, 즉 잡초방제 유형은 비슷하나 제형이 서로 다른 두 종류의 제초제를 처리한 다음 수문으로부터 잡초방제효과를 조사해 보았다(Table 9). Benzobicyclon + oxadiargyl 액상수화제를 처리한 다음 2일과 4일에 두 번 관수했을 때 수문으로부터 멀어질수록 방제효과가 높게 나타나 이동성이 심하였다. 그러나 bromobutide + oxadiazon유제는 수문으로부터 거리와 상관없이 저항성 3초종 모두에 대하여 완전하게 방제되었다. 따라서 액상수화제의 이양 전 제초제를 처리할 경우 가능한 초기부터 물을 충분히 담수하여 이양 전에 물을 보충하는 일이 없어야 할 것이다.

Table 9. Herbicidal efficacy by distance from floodgate of herbicides treated before transplanting in rice field simultaneously dominated by the herbicide-resistant *Echinochloa oryzicola*, *Monochoria vaginalis* and *Scirpus juncooides*.

Herbicide	Efficacy (%) by distance from floodgate								
	7 m ^y			14 m			28 m		
	E. o ^x	M. v	S. j	E. o	M. v	S. j	E. o	M. v	S. j
Benzobicyclon + oxadiargyl SC ^z	37	43	65	45	78	100	100	100	100
Bromobutide + oxdiazon EC	100	100	100	100	100	100	100	100	100

^zSC: Suspension concentrate; EC: Emulsifiable concentrate.

^ym: distance from floodgate.

^xE. o: *Echinochloa oryzicola*; M. v: *Monochoria vaginalis*; S. j: *Scirpus juncooides*.

Table 10. Herbicidal efficacy according to the dose and application time of herbicides treated after transplanting in rice field simultaneously dominated by the herbicide-resistant *Echinochloa oryzicola*, *Monochoria vaginalis* and *Scirpus juncooides*.

Herbicide	30 DAT ^y			60 DAT			Yield (kg 10a ⁻¹)	Phytotoxicity (0~9)
	E.o ^x	M.v	S.j	E.o	M.v	S.j		
Benzobicyclon + mefenacet + Phenoxsulam SC ^z	87	97	100	33	93	100	505 b ^w	1
Tefurytrion + mefenacet SC	91	98	100	41	93	100	494 bc	2
Metazosulfuron GR	91	100	100	87	90	100	535 a	1
Primisulfan + mefenacet SC	93	83	97	91	75	100	518 ab	1
Propyrisulfuron + bromobutide GR	97	35	98	91	15	97	478 c	1
Benzobicyclon + metazosulfuron JB	97	100	100	91	100	100	530 a	1
Matazosulfuron + oxaziclomefone SC	85	85	100	782	65	100	511 ab	1
Tefuryltrion + triafamone SC	100	100	97	95	100	95	535 a	3
Oxaziclomefone + tefuryltrion SC	23	97	97	12	90	87	482 c	1
No herbicide (plants m ⁻²)	517	413	128	472	389	142	210 d	-

^zSC: suspension concentrate; GR: granule; JB: jumbo.

^yDAT: days after transplanting.

^xE. o: *Echinochloa oryzicola*; M. v: *Monochoria vaginalis*; S. j: *Scirpus juncooides*.

^wMeans with the same letters in a row did not significantly differ at 5% by DMRT.

제초제 강피, 물달개비, 올챙이고랭이 동시 우점한 논에서 이앙 후 처리 제초제들의 효과

논에서 ACCase 및 ALS 저해제들에 대한 저항성 강피가 발생하기 전에는 물달개비, 올챙이고랭이 등 하나의 초종만 주로 발생하였으나 저항성 강피가 발생한 논은 대부분 물달개비와 올챙이고랭이가 동시에 발생하고 있다. 그러므로 이들 저항성 잡초들을 동시에 효과적으로 방제하기 위해서는 무엇보다 제초제 선택이 매우 중요하다. 따라서 본 연구는 저항성 강피, 물달개비, 올챙이고랭이가 동시적으로 높은 밀도로 발생한 논에서 신규 저항성 잡초방제 전문 약제들이 포함된 제초제들에 대하여 초종별 방제효과 및 약해 정도를 나타낸 것이다. Benzobicycl과 tefurytrion 혼합제들은 저항성 물달개비와 올챙이고랭이 두 초종 모두에 대하여 효과적으로 방제되었다. 그러나 primisulfan은 이

양 후 60일에 물달개비에 대하여 방제효과가 다소 떨어지는 경향을 보였다. 또한 SU계 제초제인 propyrisulfuron은 이미 SU계 저항성 물달개비에 매우 비효과적이어서 교차 저항성(cross-resistance)을 검토할 필요가 있을 것으로 생각되어진다. ACCase 및 ALS저해제들에 대한 저항성 강피 대체약제인 mefenacet 혼합제들은 초기에 저항성 강피를 효과적으로 방제하였으나 이앙 후 60일에는 다시 발생된 강피로 방제 지속성이 문제가 있는 것으로 나타나 이앙 전 처리제를 추가 살포할 필요가 있을 것으로 생각된다. 또한 화분과 전용 제초제로 개발된 oxaziclomefone은 저항성 강피에 매우 낮은 방제효과를 보여 약량 등에 대한 재검토가 필요할 것 같다. Metazosulfuron혼합제들은 저항성 강피, 물달개비, 올챙이고랭이 3초종에 대하여 비교적 효과적이었다. 그러나 SU계 제초제이기 때문에 교차저항성에 대해

여 항상 주의할 필요가 있을 것이다. Tefuryltrion + triafamone 액상수화제는 저항성 강피, 물달개비 그리고 올챙이고랭이에 매우 효과적이었으나 벼에 대한 약해가 다소 심하게 발생하여 개발 및 보급할 때 주의가 요망되어진다.

요 약

본 실험은 ACCase 및 ALS 저해제들에 대한 저항성 강피와 sulfonylurea (SU)계 제초제들에 대한 저항성 물달개비 및 올챙이고랭이가 동시에 우점한 논에서 이들 잡초들을 효과적으로 방제하는 방법을 구명하기 위하여 실시하였다. 인공기상실 실험에서 저항성 강피 0.5엽기까지는 이양 전에 사용하는 oxadiazon 12% 유제, pyrazolate 36% 액상수화제, pretilachlor 14% 유제 그리고 thiobencar 50% 유제들이 완전하게 방제하였다. Fentrazamide 1% 입제와 mefenacet 18% 액상수화제는 저항성 강피 2엽기까지, 그리고 triafamone 0.98% 액상수화제는 4엽기까지 효과적으로 방제되었다. SU계 제초제들에 대한 저항성 물달개비와 올챙이고랭이는 HPPD 저해제들인 benzobicyclon, mesotrione 그리고 tefuryltrione 액상수화제들이 효과적이었다. 한편 . 제초제 저항성 강피, 물달개비 그리고 올챙이고랭이가 동시적으로 우점한 논에서 이양 전 처리제들 중에서 benzobicyclon + oxadiargyl 유제가 가장 효과가 좋았다. 그리고 올챙이고랭이가 동시적으로 우점한 논에서 이양 후 12일에 처리한 제초제들 중에서 matazosulfuron입제가 이양 후 60일까지 가장 효과적이었다.

주요어 : 제초제, 저항성 잡초방제, 강피, 물달개비, 올챙이고랭이

Acknowledgement

This research was supported by a project from the Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology development (Project number: PJ 010526) of the RDA.

References

- KCPR (Korea Crop Protection Association). 1995. Agrochemical year book. Seoul, Korea. p. 418.
- KCPR (Korea Crop Protection Association). 2014. Agrochemical year book. Seoul, Korea. p. 475.
- Kim, S.C., Choi, C.D. and Lee, S.K. 1983. Study on the mixtures of herbicides in transplanted lowland rice field. Kor. J. Weed Sci. 3(1):69-74. (In Korean)
- Kuk, Y.I., Kwon, O.D. and Im, I.B. 2002. Sulfonylurea herbicide-resistant *Scirpus Juncooides* Roxb. Korean rice culture. Kor. J. Weed Sci. 22(3):296-305. (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 sulfonylurea-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., Park, J.S., Park, Y.H. and Cho, S.H. 2012. Occurrence trends of herbicide resistant weeds in paddy fields in Korea. Kor. J. Weed Sci. 32(2):121-126. (In Korean)
- Lim, 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. (In Korean)
- Moon, B.C., Park, S.T., Son, S., Hwang, D.Y. and Kim, S.C. 1999. Establishment of an effective weed control in corrugated furrow direct seeded rice. Kor. J. Weed Sci. 19(3):236-243. (In Korean)
- Park, J.S., Han, S.W., Cho, Y.C. and Rho, Y.D. 2002. Weed control effect by systematic application of herbicide on *Eleocharis kuroguwai* Ohwi and *Sagittaria trifolia* L. in rice field. Kor. J. Weed Sci. 22(2):108-115. (In Korean)
- Park, T.S., Park, J.E., Ryu, G.H., Lee, L.Y., Lee, H.K., et al. 1995. Effective weed control in direct-seeded rice under dry fields. Kor. J. Weed Sci. 15(2):99-104. (In Korean)
- Park, T.S., Park, J.E., Lee, L.Y., Lee, H.K. and Lee, J.O. 1999. Sulfonylurea-resistant biotype of *Monochoria korsakowii* in reclaimed paddy fields in Seosan, Korea. Kor. J. Weed Sci. 15(2):99-104. (In Korean)
- Park, T.S. and Park, J.E. 2002. Resistance in Korea: Where are we now? and where are we going? Kor. J. Weed Sci. 22(2):18-25. (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., Park, H.K., Lee, I.Y., Moon, B.C., Ku, B.I., et al. 2009a. Differential herbicide response of sulfonylurea-resistant *Scirpus juncooides* Roxb, accessions to sulfonylurea herbicides. Kor. J. Weed Sci. 29(3):243-253. (In Korean)
- Park, T.S., Ku, B.I., Kang, S.K., Choi, M.K., Park, H.K., et al. 2009b. Response of the resistant biotype of *Echinochloa oryzicola* to ACCase and ALS inhibitors, and effect of alternative herbicides. Kor. J. Weed Sci. 29(4):308-318. (In Korean)