

RESEARCH ARTICLE

충남지역에서의 제초제 저항성 논 잡초 발생 및 분포

원옥재^{1†} · 가유강^{1†} · 이증주² · 김진원³ · 이정란^{3*} · 박기웅^{1*}

¹충남대학교 농업생명과학대학 식물자원학과, ²경상대학교 식물의학과, 농업생명과학연구원, ³국립농업과학원 농산물안전성부 작물보호과

Occurrence and Distribution of Herbicide Resistant Weeds in the Paddy Field of Chungnam Province

Ok Jae Won^{1†}, Wei Qiang Jia^{1†}, Jeung Joo Lee², Jin-Won Kim³, Jeongran Lee^{3*} and Kee Woong Park^{1*}

¹Department of Crop Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

²Department of Plant Medicine, IALS, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

³Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

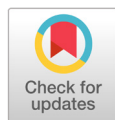
Abstract

This study was conducted to investigate the occurrence and distribution of herbicide resistant weeds at rice fields in Chungnam province of Korea in 2017. Herbicide-resistant weeds occurred in 64,782 ha, which comprise 47.0% of the total paddy field area of Chungnam province. The infested area of herbicide resistant weeds was estimated in Seosan-si (11.9%), Nonsan-si (11.1%), Dangjin-si (10.9%), Boryeong-si (9.2%) and Asan-si (7.8%). The most dominant herbicide resistant weeds in rice fields were *Monochoria vaginalis*, followed by *Lindernia dubia*, *Schoenoplectus juncooides*, *Echinochloa oryzicola*, *Cyperus difformis* and *Sagittaria trifolia*. Herbicide resistant *M. vaginalis*, *L. dubia*, and *S. juncooides* occurred throughout Chungnam province, and herbicide resistant *S. trifolia* was only found in Dangjin-si. Compared with the 2011 survey, the infested area of herbicide-resistant weeds decreased, but the incidence rates were similar. The herbicide rotation with different modes of actions across growing seasons is recommended to control herbicide-resistant weeds in the infested fields. It is necessary to monitor herbicide resistance regularly and conduct integrated herbicide resistance management in this area.

Key words: Acetolactate synthase, Chungnam province, Herbicide resistance

서론

제초제 저항성이란 권장량의 제초제를 처리한 후에도 잡초가 생존하여 종자를 맺으며, 그 특성이 후대에서 발현되는 것을 말한다(Prather et al., 2000). 이러한 저항성을 보유한 잡초는 동일한 포장에서 같은 계열의 제초제를 연속적으로 처리함으로써 발생하게 된다(Maxwell and Mortimer, 1994; Aung et al., 2017). 벼의 경우 제초제 저항성 잡초로 인하여 수확량과 품질이 떨어지게 되며,



OPEN ACCESS

***Corresponding Author:**

Kee Woong Park

Phone. +82-42-821-5726

Fax. +82-42-822-2631

E-mail. parkkw@cnu.ac.kr

Jeongran Lee

Phone. +82-63-238-3322

Fax. +82-63-238-3838

E-mail. kongsarang@korea.kr

[†]These authors contributed equally to this work.

Received: September 10, 2018

Revised: September 21, 2018

Accepted: September 27, 2018

© 2018 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/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

저항성 잡초를 제거하기 위한 추가적인 비용이 발생하게 되어 농가의 소득감소를 초래한다.

국내의 경우 1998년도에 9년 연속 동일 sulfonylurea계 제초제를 처리한 서산 간척지에서 acetolactate synthase (ALS) 저해 제초제 저항성 물옥잠(*Monochoria korsakowii*)이 처음으로 보고되었다(Park et al., 1999). 이후 ALS 저해 제초제 저항성 물달개비(*Monochoria vaginalis*), 미국외풀(*Lindernia dubia*), 올챙이고랭이(*Schoenoplectus juncooides*), 마디꽃(*Rotala indica*), 알방동사니(*Cyperus difformis*), 올미(*Sagittaria pygmaea*), 새섬매자기(*Scirpus planiculmis*), 강피(*Echinochloa oryzicola*), 쇠털골(*Eleocharis acicularis*), 올챙이자리(*Blyxa aubertii*), 물피(*Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli*), 벧풀(*Sagittaria trifolia*)과 여뀌바늘(*Ludwigia prostrata*)이 보고되었으며(Im, 2009; Im et al., 2009; Park et al., 2014), ACCase 저해 제초제 저항성은 강피, 물피와 드렁새(*Leptochloa chinensis*)에서 보고되었다(Im, 2009; Im et al., 2009; Park et al., 2013).

2010년도 논 제초제 사용 실태 조사에서 논 잡초 방제를 위해 전체 논 포장의 95.8%에서 ALS 저해 제초제가 사용되고 보고하였다(KCPA, 2010). ALS 저해 제초제의 경우 우수한 잡초방제효과와 넓은 스펙트럼으로 인하여 폭 넓게 사용되고 있지만, 제초제 저항성 잡초의 출현을 빨리 유도한다는 단점이 있다. 국내 제초제 저항성 논 잡초 발생은 ALS 저해 제초제에 대한 의존도가 높아 다른 국가에 비해 빠른 속도로 제초제 저항성 잡초가 출현하고 있다.

국내 제초제 저항성 잡초의 도별 분포 조사는 2011년도에 최초로 수행되었다. 당시 조사결과에서 제초제 저항성 논 잡초 발생은 충청남도, 전라남도, 전라북도에서 전체의 77.0%가 발생하였으며, 이중 충청남도에서 전체 제초제 저항성 논 잡초의 43.5%가 발생하였다. 전국적인 제초제 저항성 논 잡초의 발생은 물달개비가 39.1%로 가장 많았고, 다음으로 올챙이고랭이, 알방동사니, 미국외풀, 강피 순이었다. 당시 충청남도의 제초제 저항성 잡초 발생은 물달개비가 가장 많았고, 다음으로 알방동사니, 미국외풀, 올챙이고랭이, 올미, 강피, 여뀌바늘 순이었다(Lee et al., 2012).

본 연구는 충청남도 지역에서 ALS 저해 제초제 저항성 논 잡초 발생양상과 면적의 변화를 예측하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

토양수집

충청남도 15개 시·군 및 대전광역시와 세종특별시를 포함한 17개 시·군에서 토양을 채취하였다. 지점수는 통계청의 '2015년도 전국(도별) 논밭별 경지면적' 자료를 바탕으로 시·군의 재배면적 비율을 고려하여 총 264지점으로 정하였다(Fig. 1) (Statistics Korea, 2017). 토양은 2017년 4월에 채취하였으며, 한 필지에서 W형태로 5곳의 토양을 채취하여 혼합하였고, 이를 1개의 지점으로 정하였다. 지점에 대한 주소와 GPS (ICEGPS 100C) 정보를 기록하였으며, GPS 정보는 QGIS (v 2.18.13, <https://www.qgis.org>)를 이용하여 충청남도 제초제 저항성 잡초 수집 지점의 분포도를 작성하였다(QGIS, 2012).

토양검정법

수집한 264지점의 토양을 지점별로 2개의 제초제 처리구와 1개의 무처리구로 3등분하였다. 포트(12×18×10 cm)의 담수는 5 cm 깊이로 하였으며, 이후 담수심을 유지하였다. 제초제 처리는 담수 15일 후에 imazosulfuron+pyriminobac-methyl (75+30 g a.i. ha⁻¹) 액상수화제를 5 L ha⁻¹로 수면처리 하였다. 조사는 약제처리 30일 후에 생존한 잡초종 및 개체수를 조사하여 지점별 제초제 저항성 여부를 판단하였다. 이후 QGIS를 이용하여 충청남도 시·군별 제초제 저항성 잡초 발생률의 분포도를 작성하였다.

제초제 저항성 잡초 발생 면적 예측

제초제 저항성 잡초 발생면적 예측은 토양검정법의 데이터와 통계청의 '2017년 농업면적통계'의 자료를 바탕으로 계산을 하였다(Statistics Korea, 2018). 토양검정법에서 2개의 제초제 처리구 중에 한 개체 이상의 잡초가 생존한 경우에 제초제 저항성 잡초 발생 지점으로 정하였다. 시·군별 저항성 잡초 발생률과 저항성 잡초 발생 면적은 아래의 수식을 통해 계산하여 제초제 저항성 잡초 발생을 추정하였다.

$$\text{시·군의 저항성 잡초 발생률(\%)} = \frac{\text{저항성 잡초 발생 지점수}}{\text{시·군의 전체 지점수}} \times 100$$

$$\text{시·군의 저항성 잡초 발생 면적(ha)} = \text{시·군의 논면적(ha)} \times \text{시·군의 저항성 잡초 발생률(\%)}$$

결과 및 고찰

시·군별 제초제 저항성 논 잡초 발생현황

토양검정법을 이용하여 충청남도(대전광역시와 세종특별자치시 포함)의 ALS제초제 저항성 논 잡초 분포를 조사하였다. 충청남도의 벼 재배면적은 2011년도에는 152,861 ha였으나, 2017년도에는 139,110 ha로 9.0%가 감소하였다(Lee et al., 2012; Statistics Korea, 2018). 제초제 저항성 논 잡초 발생면적은 2011년도에 72,763 ha였으나, 2017년도 조사에서는 64,783 ha로 11.0%가 감소하였다. 그러나 제초제 저항성 논 잡초 발생률은 2011년도와 2017년도에 각 47.6%와 47.0%로 유사하였다(Lee et al., 2012). 충청남도 상위 5개 시·군의 제초제 저항성 잡초 발생면적은 서산시 11.9%, 논산시 11.1%, 당진시 10.9%, 보령군 9.2%와 아산시 7.8%로 조사되었다(Table 1). 시·군에 따른 제초제 저항성 논 잡초 발생률은 청양군, 보령군, 논산시, 세종시와 계룡시의 경우 60% 이상으로 평균 보다 많은 저항성 잡초가 발생하였다. 이중 논산시와 보령시는 다른 지역 보다 벼 재배가 많이 이루어져 제초제 저항성 잡초 발생으로 인한 벼의 피해가 다른 지역보다 클 것으로 예상된다(Fig. 2).

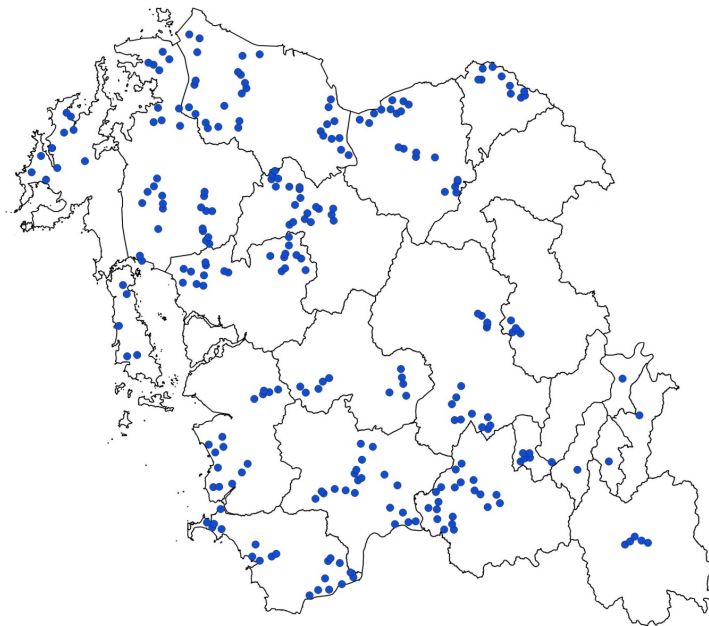


Fig. 1. Soil sampling sites in Chungnam province.

제초제 저항성 논 잡초 초종별 발생현황

토양검정법을 통한 ALS제초제 저항성 잡초 조사에서 강피, 물달개비, 미국외풀, 벼풀, 알방동사니와 올챙이고랭이 6개 초종이 발생하였다(Table 2). 충청남도의 제초제 저항성 잡초종별 발생은 물달개비(28.1%), 미국외풀(16.0%), 올챙이고랭이(10.8%), 강피(5.2%), 알방동사니(1.2%), 벼풀(0.5%) 순이었다(Table 2, 3, 4). 물달개비, 미국외풀, 올챙이고랭이

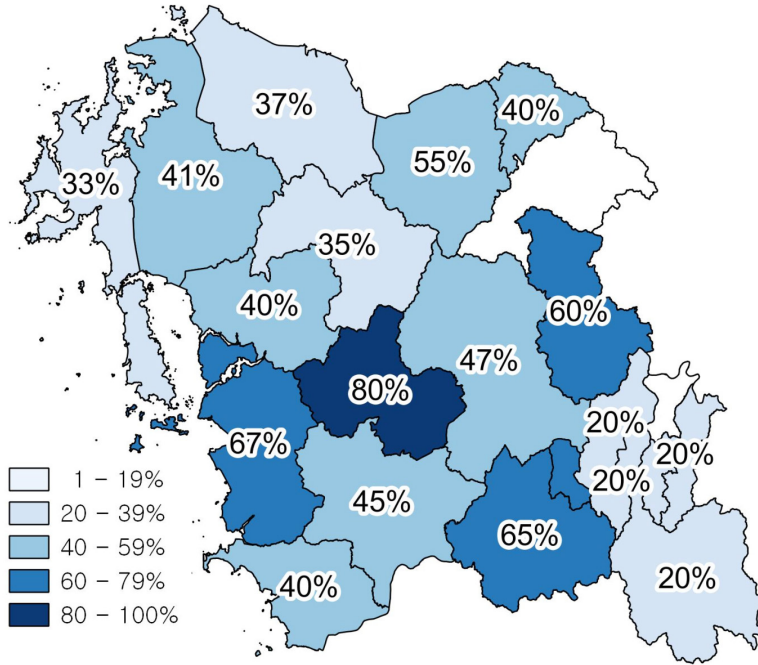


Fig. 2. Choropleth map for occurrence rates of herbicide resistant weeds in Chungnam province.

Table 1. Estimated areas of herbicide resistant weeds in rice fields of Chungnam province.

Gun/City	Total site (No.)	Resistance site (No.)	Resistance rate (%)	Rice cultivation area (ha)	Estimated area for herbicide resistant weed (ha)
Asan-si	20	11	55.0	9,243	5,084
Boryeong-si	15	10	66.7	8,914	5,943
Buyeo-gun	20	9	45.0	10,297	4,634
Cheonan-si	10	4	40.0	5,279	2,112
Cheongyang-gun	10	8	80.0	5,448	4,358
Daejeon-si	5	4	80.0	1,109	887
Dangjin-si	30	11	37.7	19,206	7,042
Geumsan-gun	5	1	20.0	1,333	267
Gongju-si	15	7	46.7	5,804	2,709
Gyeryong-si	5	3	60.0	223	134
Hongseong-gun	20	8	40.0	9,151	3,660
Nonsan-si	20	13	65.0	11,029	7,169
Sejong-si	5	3	60.0	3,970	2,382
Seocheon-gun	20	8	40.0	10,192	4,077
Seosan-si	29	12	41.4	18,620	7,705
Taeon-gun	15	5	33.3	7,891	2,630
Yesan-gun	20	7	35.0	11,401	3,990
Total	264	124	47.0	139,110	64,782

의 경우 충청남도 대다수의 시·군에서 발생을 하였다. 2011년도 충청남도 제초제 저항성 논 잡초 분포조사와 비교할 경우 2017년도 조사에서는 올미와 여뀌바늘이 발생하지 않았으며, 다년생잡초인 벼풀이 새롭게 발생하였다(Lee et al., 2012). 벼풀의 경우 당진에서만 발생을 하였다. 충청남도 상위 5개 시·군에서 제초제 저항성 잡초 발생은 당진시(12.7%), 논산시(12.2%), 서산시(10.5%), 보령군(9.0%)과 아산시(8.1%) 순이었다(Table 2, 3, 4).

본 연구는 1998년 처음으로 논에서 제초제 저항성 물옥잠이 발생한 이후 국내 논에서 제초제 저항성 잡초의 발생양상을 전국단위의 주기적인 조사를 통하여 제초제 저항성 잡초를 효율적으로 관리하기 위한 목적으로 수행되었다. 전국을 도 단위로 나누어 모니터링을 수행할 경우 벼 생육기간동안 방제 되지 않은 잡초종을 논에서 조사하여 저항성 여부를 판단하는 데는 한계가 있고 막대한 인력과 시간이 소요된다. 따라서 본 연구에서는 본답 이양전 또는 파종전에 토양을 채취하여 토양 내에 존재하는 종자를 발아시켜 제초제 저항성 유무를 판단하였다. 또한 본 연구에서 사용한 제초제는 시중에서 판매되고 있는 혼합제인 imazosulfuron+pyriminobac-methyl (75+30 g a.i. ha⁻¹) 액상수화제로 본 연구에서 도출된 결과는 imazosulfuron+pyriminobac-methyl에 국한된 저항성으로 해석해야 옳을 것이다. 6년전인 2011년도에 수행한 전국 제초제 저항성 논 잡초 발생 연구결과와 비교해 보면 충청남도에서는 제초제 저항성 논 잡초의 발생률이 47.0%로 비슷하였다. 2011년도 조사와 비교하여 본 연구에서는 저항성 올미와 여뀌바늘이 발견되지 않았으며, 반면에 다년생 잡초인 벼풀이 새로운 초종으로 발견되었다. 벼풀은 다년생 초종으로 주로 괴경으로 번식하지만 종자로도 확산될 수 있는 특징을 갖고 있다. 우리나라에서는 김해와 포항지역 논에서 제초제 저항성 벼풀 군락이 보고된 바 있다(Park et al., 2013; Won et al., 2015). 2017년도에 충청남도에서 수행한 제초제 저항성 논 잡초 조사는 2011년도와 비교하여 발생면적에서는 거의 비슷한 수준이었지만 여전히 높은 수준의 발생률을 보여주고 있다. 1998년 이후 현재까지 전국적으로 14개 초종에서 저항성이 발견된 것과 비교해 볼 때 이번 충청남도 조사에서는 6개 초종으로 많은 저항성 초종이 발견되지는 않았지만 전국적으로 발생 빈도가 적었던 벼풀이 새롭게 이 지역에서 발견되어 앞으로의 꾸준한 모니터링을 통하여 제초제 저항성 잡초의 발생과 분포양상을 관찰할 필요가 있다.

Table 2. Resistance rate of herbicide resistant weeds in Chungnam province.

Gun/City	Weed species (No.)					
	CD*	EO	LD	MV	SJ	ST
Asan-si	-	5.0	15.0	45.0	10.0	-
Boryeong-si	-	6.7	26.7	40.0	20.0	-
Buyeo-gun	-	-	10.0	40.0	-	-
Cheonan-si	-	-	20.0	10.0	20.0	-
Cheongyang-gun	10.0	10.0	50.0	40.0	-	-
Daejeon-si	-	-	40.0	40.0	-	-
Dangjin-si	-	3.3	10.0	26.7	13.3	3.3
Geumsan-gun	-	-	20.0	20.0	20.0	-
Gongju-si	-	-	33.3	13.3	6.7	-
Gyeryong-si	-	40.0	20.0	-	-	-
Hongseong-gun	-	-	25.0	20.0	-	-
Nonsan-si	5.0	20.0	10.0	40.0	20.0	-
Sejong-si	-	-	40.0	40.0	-	-
Seocheon-gun	-	20.0	-	30.0	10.0	-
Seosan-si	3.4	-	10.3	20.7	13.8	-
Taeon-gun	-	-	6.7	26.7	13.3	-
Yesan-gun	-	10.0	15.0	10.0	10.0	-

CD, *Cyperus difformis*; EO, *Echinochloa oryzicola*; LD, *Lindernia dubia*; MV, *Monochoria vaginalis*; SJ, *Schoenoplectiella juncooides*; ST, *Sagittaria trifolia*.

Table 3. Estimated rice cultivation area infested by herbicide resistant weeds in Chungnam province.

Gun/City	Weed species (ha)						Total
	CD*	EO	LD	MV	SJ	ST	
Asan-si	0	462	1,386	4,159	924	0	6,931
Boryeong-si	0	0	2,377	3,566	1,783	0	7,726
Buyeo-gun	0	594	1,030	4,119	0	0	5,743
Cheonan-si	0	0	1,056	528	1,056	0	2,640
Cheongyang-gun	545	0	2,724	2,179	0	0	5,448
Daejeon-si	0	0	444	444	0	0	888
Dangjin-si	0	640	1,921	5,122	2,561	640	10,884
Geumsan-gun	0	0	267	267	267	0	801
Gongju-si	0	0	1,935	774	387	0	3,096
Gyeryong-si	0	89	45	0	0	0	140
Hongseong-gun	0	0	2,288	1,830	0	0	4,118
Nonsan-si	551	2,206	1,103	4,412	2,206	0	10,478
Sejong-si	0	0	1,588	1,588	0	0	3,176
Seocheon-gun	0	2,038	0	3,058	1,019	0	6,115
Seosan-si	642	0	1,926	3,852	2,568	0	8,988
Taeon-gun	0	0	526	2,104	1,052	0	3,682
Yesan-gun	0	1,140	1,710	1,140	1,140	0	5,130
Total	1,738	7,169	22,326	39,142	14,963	640	85,978

CD, *Cyperus difformis*; EO, *Echinochloa oryzicola*; LD, *Lindernia dubia*; MV, *Monochoria vaginalis*; SJ, *Schoenoplectiella juncooides*; ST, *Sagittaria trifolia*.

Table 4. Effects of imazosulfuron + pyriminobac-methyl on weed species reported as herbicide resistant weeds in Chungnam province.

Gun/City	Weed species																	
	CD			EO			LD			MV			SJ			ST		
	No.		%	No.		%	No.		%	No.		%	No.		%	No.		%
	T	C		T	C		T	C		T	C		T	C		T	C	
Asan-si	0.0	14.0	100	0.5	11.0	95	82.0	182.0	55	44.0	60.0	27	1.0	13.0	92	0.0	3.0	100
Boryeong-si	0.0	14.0	100	0.5	21.0	98	11.5	52.0	78	11.5	24.0	52	22.5	19.0	0	0.0	0.0	-
Buyeo-gun	0.0	24.0	100	0.0	16.0	100	23.0	103.0	78	13.0	33.0	61	0.0	28.0	100	0.0	1.0	100
Cheonan-si	0.0	6.0	100	0.0	3.0	100	1.5	22.0	93	2.0	14.0	86	5.5	20.0	73	0.0	0.0	-
Cheongyang-gun	0.5	7.0	93	1.0	23.0	96	61.5	34.0	0	6.5	21.0	69	0.0	11.0	100	0.0	0.0	-
Daejeon-si	0.0	1.0	100	0.0	0.0	-	11.5	43.0	73	1.0	6.0	83	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
Dangjin-si	0.0	45.0	100	0.5	26.0	98	33.0	138.0	76	30.5	75.0	59	4.5	22.0	80	6.0	18.0	67
Geumsan-gun	0.0	3.0	100	0.0	2.0	100	0.5	10.0	95	3.5	4.0	13	7.0	34.0	79	0.0	1.0	100
Gongju-si	0.0	27.0	100	0.0	23.0	100	39.5	73.0	46	8.5	18.0	53	0.5	9.0	94	0.0	0.0	-
Gyeryong-si	0.0	3.0	100	9.0	21.0	57	9.0	93.0	90	0.0	1.0	100	0.0	1.0	100	0.0	0.0	-
Hongseong-gun	0.0	32.0	100	0.0	43.0	100	58.0	150.0	61	11.0	24.0	54	0.0	5.0	100	0.0	2.0	100
Nonsan-si	0.5	20.0	98	2.5	30.0	92	1.0	62.0	98	60.5	74.0	18	12.5	35.0	64	0.0	2.0	100
Sejong-si	0.0	6.0	100	0.0	12.0	100	7.0	30.0	77	13.0	31.0	58	0.0	16.0	100	0.0	0.0	-
Seocheon-gun	0.0	8.0	100	2.0	26.0	92	0.0	37.0	100	31.0	65.0	52	15.5	26.0	40	0.0	3.0	100
Seosan-si	1.0	17.0	94	0.0	74.0	100	3.0	58.0	95	15.5	58.0	73	12.5	69.0	82	0.0	3.0	100
Taeon-gun	0.0	5.0	100	0.0	14.0	100	7.5	19.0	61	5.5	24.0	77	1.0	25.0	96	0.0	0.0	-
Yesan-gun	0.0	16.0	100	1.5	23.0	93	2.0	84.0	98	10.5	59.0	82	3.5	26.0	87	0.0	1.0	100

CD, *Cyperus difformis*; EO, *Echinochloa oryzicola*; LD, *Lindernia dubia*; MV, *Monochoria vaginalis*; SJ, *Schoenoplectiella juncooides*; ST, *Sagittaria trifolia*.

요약

본 연구는 충청남도에서 ALS 제초제 저항성 논 잡초의 발생과 분포를 조사하기 위해 2017년도에 수행되었다. 충청남도 전체 논 재배면적의 47.0%인 64,782 ha에서 제초제 저항성 논 잡초가 발생하였다. 상위 5개 시·군별 제초제 저항성 잡초 발생면적은 서산시 11.9%, 논산시 11.1%, 당진시 10.9%, 보령시 9.2%, 아산시 7.8% 순이었다. 제초제 저항성 잡초종별 발생을 보면 물달개비가 가장 많았고, 다음으로 미국외풀, 올챙이고랭이, 강피, 알방동사니, 벼풀 순이었다. 제초제 저항성 물달개비, 미국외풀, 올챙이고랭이는 충청남도 전역에 분포하였으며, 벼풀은 당진시에서만 발생하였다. 2011년도 제초제 저항성 잡초 조사와 비교하여 제초제 저항성 잡초 발생면적은 감소하였으나, 제초제 저항성 잡초 발생률은 2011년도의 47.6%와 유사하였다. 제초제 저항성 잡초를 방제하기 위해서는 흔히 다른 작용기작을 지닌 제초제들과 병용하거나 교호로 처리하여야 하며 제초제 저항성 잡초의 주기적인 모니터링과 종합적인 제초제 저항성 관리체계가 필요하다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of the “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ01245701)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Aung, B.B., Won, O.J., Sin, H.T., Lee, J.J. and Park, K.W. 2017. Mechanisms of herbicide resistance in weeds. *Korean J. Agric. Sci.* 44(1):1-15.
- Im, I.B. 2009. Control and emergence of herbicides resistant *Echinochloa oryzicola* in paddy field of Korea. *Korean J. Weed. Sci.* 29(2):103-104. [In Korean]
- Im, S.H., Park, M.W., Yook, M.J. and Kim, D.S. 2009. Resistance to ACCase inhibitor cyhalofop-butyl in *Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli* collected in Seosan, Korea. *Korean J. Weed. Sci.* 29(2):178-184.
- KCPA (Korea Crop Protection Association). 2010. 2010 Guide book of using the agrochemicals. p. 1199. Sam Jeong Press Conference, Seoul, Korea.
- 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. *Korean J. Weed. Sci.* 32(2):121-126. [In Korean]
- Maxwell, B.D. and Mortimer, A.M. 1994. Selection for herbicide resistance. In: *Herbicide Resistance in Plants: Biology and Biochemistry* (eds SB Powles & JAM Holtum), 1-26. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA
- Park, T.S., Kim, C.S., Park, J.E., Oh, Y.K. and Kim, K.U. 1999. Sulfonylurea-resistant biotype of *Monochloria korsakowii* in reclaimed paddy fields in Seosan, Korea. *Korean J. Weed. Sci.* 19(4): 340-344. [In Korean]
- Park, T.S., Lee, I.Y., Sung, K.Y., Cho, H.S., Kim, M.H., et al. 2013. Alternative herbicides to control herbicide-resistant and troublesome weeds in paddy fields. *Weed. Turf. Sci.* 2(3):248-253. [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. Publication 8012, California, USA.

QGIS. 2012. <https://www.qgis.org> (Accessed Sep. 19. 2018)

Statistics Korea, 2017. <http://kostat.go.kr> (Accessed March 3, 2017)

Statistics Korea, 2018. <http://kostat.go.kr> (Accessed August 17, 2018)

Won, J.C., HA, J., Kang, K.S., Pyon, J.Y., Park, K.W., et al. 2015. Resistance mechanism to ALS inhibitors in the *Sagittaria trifolia* collected in paddy fields of Kimhae, Korea. Korean Journal of Weed Science. 35(2): 24-25. [In Korean]