

RESEARCH ARTICLE

토양검정법을 활용한 충북지역 ALS 저해제 제초제 저항성 논잡초 발생 현황

이채영^{1*} · 최예슬¹ · 이희두¹ · 김영호¹ · 홍성택¹ · 우선희² · 이정란³

¹충청북도농업기술원, ²충북대학교 식물자원학과, ³국립농업과학원

Occurrence and Distribution of ALS Inhibiting Herbicide Resistant Paddy Weeds by Using Soil Test in Chungcheongbuk-Do of Republic of Korea

Chae Young Lee^{1*}, Ye Seul Choi¹, Hee Doo Lee¹, Young Ho Kim¹, Seong Taek Hong¹, Sun Hee Woo², Jeongran Lee³

¹Chungbuk Agricultural Research and Extension Services, Cheongju 28130, Korea

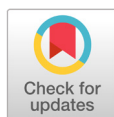
²Department of Crop Science, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

³National Institute of Agriculture Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

Abstract

This study was conducted to investigate the occurrence of an acetolactate synthase (ALS) inhibiting herbicide resistant weed on paddy at 289 sites by soil sampling in Chungcheongbuk-Do of Republic of Korea from February to April in 2017. The most dominant weed was *Monochoria vaginalis* and *Echinochloa oryzicola* on each city and county. ALS inhibiting herbicide resistant ratio and occurrence area were 80.6% and 28,272 ha, respectively, in Chungcheongbuk-Do which was 3 times than in 5 years ago. The herbicide resistant ratio, Okcheon-Gun was the highest at 93.8%, Chungju-Si, Boeun-Gun, Yeongdong-Gun, Jincheon-Gun and Geosan-Gun were over 80%, Cheongju-Si, Eumseong-Gun and Jeungpyeong-Gun were over 70%. The herbicide resistant area, Cheongju-Si had the largest at 6,957 ha, Chungju-Si was 4,277 ha, Jincheon-Gun and Boeun-Gun was 3,536 ha and 3,282 ha, respectively. By weed, ALS inhibiting herbicide resistant ratio and occurrence area, *Monochoria vaginalis* was 49%, 17,646 ha, *Echinochloa oryzicola* 44%, 15,617 ha, *Schoenoplectiella juncooides* 29%, 10,377 ha, respectively. In all cities and counties of Chungcheongbuk-Do, *Monochoria vaginalis* and *Echinochloa oryzicola* are more than 40% resistant to ALS inhibiting herbicides, intensive management is required. The use of sulfonyleurea herbicides is increasing, most farmers use herbicides 10 days after transplanting, so management after transplanting is necessary and the occurrence of herbicide resistant weeds should be reduced by alternating herbicide application every year.

Key words: Chungcheongbuk-Do, Herbicide resistance, Weed, Occurrence



OPEN ACCESS

***Corresponding Author:**

Phone. +82-43-220-5552
FAX. +82-43-220-5549
E-mail. metmega@korea.kr

Received: August 29, 2018

Revised: September 25, 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.

서론

쌀은 전통적인 우리의 주식으로 현재 우리나라에서는 75만 ha 정도 재배되고 있다(Statistics Korea, 2017). 충청북도 는 벼 재배면적이 35,069 ha (Statistics Korea, 2017)로 전국에서 7번째이며, 청주에서 가장 많이 재배되고 있다.

제초제 저항성 잡초는 전세계적으로 255종(쌍자엽 148종, 단자엽 107종)이 발생되었고(Heap, 2018), 1960년대 후반부 터 본격적으로 발생이 시작되어 현재까지 지속적으로 발생되고 있다(Heap, 2014). 재배 작목별 제초제 저항성 잡초 발생 초종은 밀 75종, 옥수수 61종, 벼 51종, 콩 48종, 과수원 27종의 순이었으며, 국가별로는 미국에서 161종, 호주에서 90종, 캐나다에서 68종 순으로 많이 발생되었고, 아시아권 국가에서는 중국이 44종, 일본이 36종, 말레이시아에서 22종이 발생 되었다(Heap, 2018). 일본에서는 1950년부터 제초제를 이용하여 잡초방제를 실시하였는데, 1993년에 sulfonylurea (SU)계 제초제 저항성 잡초 물옥잠이 처음 보고되었고, 이후 물달개비, 올챙이고랭이, 외풀류 등이 발생되었다(Miyahara et al., 1998). 중국은 세계 최대 제초제 판매시장으로 부각되어 등록 제초제 중 논 제초제가 40%를 점유하고 있어 2002년 부터 물옥잠과 벼풀에서 SU계 제초제 저항성이 보고되기 시작하였다(Wu et al., 2012).

SU계 제초제는 우리나라에서 bensulfuron-methyl이 1988년도에 처음 사용되기 시작하였고, 2007년도 이후에는 사 용량이 감소되었다가 2011년에 metazosulfuron이 판매되기 시작하면서부터 다시 급격하게 증가되었다(Ha et al., 2016b).

우리나라에서도 제초제 저항성 잡초에 대해서 인식을 한 이후(Kim et al., 1984), 1999년 서산 간척지에서 물옥잠이 최 초로 SU계 제초제에 저항성이 보고되었다(Park et al., 1999). 현재까지 국내에서 보고된 제초제 저항성 잡초는 14종으 로, 논에서 발생하는 물달개비, 알방동사니, 올챙이고랭이, 물피, 강피 등이 보고되었다(Im et al., 2003; Kwon et al., 2002; Kwon et al., 2009; Park and Park, 2002; Park et al., 2001, 2009). acetyl-coenzyme A carboxylase (ACCase) 저 해제와 acetolactate synthase (ALS) 저해제 제초제에도 물달개비, 강피, 물피 등에 저항성이 확인되어(Park et al., 2007; Im, 2009; Im et al., 2009; Iwakami et al., 2015), 앞으로도 지속적으로 발생되고, 발생양상이 다양해질 것으로 예측된 다.

제초제 저항성 논잡초 발생 추정 면적 변화 추이는 2003년 47,170 ha, 2008년 106,951 ha (Park et al., 2011), 2012년 176,870 ha (전체 면적의 22%)로 급격하게 증가되었다(Lee et al., 2013). 충북지역에서는 지난 2011년과 2012년에 제초 제 저항성 논잡초 실태를 조사하여, 13,167 ha (충북도내 논면적의 27%)에서 발생되었을 것으로 예측하였다.

농경지 내에 잡초가 발생하면 작물과의 경합으로 쌀수량을 잡초 발생 밀도에 따라 최대 40-53%까지 감소시키는데 (Moon et al., 2011; Song et al., 2006; Won et al., 2010), 특히 제초제 저항성 피가 발생하면 평균 이익 감소는 연간 ha 당 US\$100에 이를 것으로 예측하였으며, 순이익은 작기마다 17% 감소시킬 것으로 예상하였다(Beltran et al., 2012).

국내에서도 제초제 저항성이 보고된 이래 초종과 발생 면적이 증가되고 있고, SU계 제초제 외에 밭에서 주로 사용하 는 glufosinate, glyphosate 등과 같은 제초제에서도 저항성 잡초가 발견되고 있으므로(Green, 2007; Heap and Duke, 2018), 향후 제초제 저항성 잡초에 대한 연구가 필요한 실정이다. 앞으로도 제초제의 사용이 지속되는 한 저항성 잡초의 발생도 증가될 것으로 예상되기 때문에, 제초제 저항성의 변화 추이를 살펴보기 위하여 5년 전과 동일한 방법으로, 충북 도내 11개 시·군에서 제초제 저항성 잡초 현황을 조사하여 효과적인 방제 방법을 제시하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

충북 지역 제초제 저항성 잡초의 분포를 조사하기 위해 도내 11개 시·군의 주요 벼 재배지를 고려하여 2017년 통계청 에서 조사한 충북지역 논 재배면적(Statistics Korea, 2017)에 비례하여 각 지역별 비율로 나누어 조사지점 수를 정하였다 (Table 1). 증평군을 제외한 모든 지역에서 3개 읍·면 이상을 포함하여 각 지역별 대규모 벼 재배지역 289지점에서 2017

년 2월 하순부터 4월 초순까지 토양을 채취하였다(Fig. 1). 각 지점 당 3개 이상의 포장에서 필지별 W자 형태로 0-20 cm 깊이의 토양 3-5 kg을 채취하여 지점 단위로 고르게 혼합하였다. 채취한 토양은 양건시킨 후 잘게 부수어 시험하기 전까지 상온상태로 보관하였다.

토양검정법

각 지점의 저항성 잡초 발생 여부를 판단하기 위해 토양 시료채취 (Lee et al., 2012)의 방법을 사용하였다. 2017년 5월 1일에 196 cm² 사각포트(12×18×10 cm)에 토양을 채우고 물을 부어 손으로 섞어주었다. 토양의 담수심은 2 cm 내외로 유지하였다. 피 2엽기를 기준으로 하여 imazosulfuron (1.5%)+pyriminobac-methyl (0.6%) 합제를 표준처리량인 75+30 g a.i. ha⁻¹로 담수 표면에 살포하였다. 약제 처리 전에 발생초종을 동정하였고, 처리 후 30일에 생존한 잡초의 종류와 개체수를 조사하였으며, 모든 처리는 3반복으로 하였다. 저항성 판정기준으로 제초제를 처리한 시험구에서 국내에서 제초제 저항성으로 보고된 14종(Lim et al., 2010; Park et al., 2014)이 한 개체 이상 생존했으면 저항성 잡초 발생 지점으로 처리하였으며, 하나도 생존하지 않은 지점은 감수성 지점으로 처리하였다.

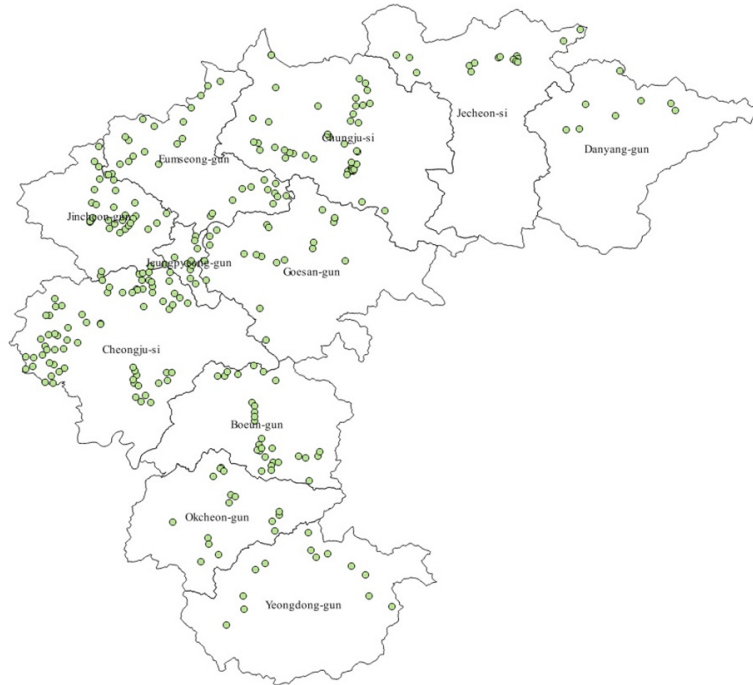


Fig. 1. Map of 289 soil sampling sites in Chungcheongbuk-Do

Table 1. Rice cultivation area and ratio of region in Chungcheongbuk-Do.

Division	Total	CEJ	CUJ	JEC	BE	OC	YD	JIC	GS	ES	DY	JP
CA(ha)	35,069	9,019	4,840	1,886	3,661	1,905	1,186	4,126	2,750	4,321	291	1,085
Ratio(%)	100	25.7	13.8	5.4	10.4	5.4	3.4	11.8	7.8	12.3	0.8	3.1
NSS	289(80) [†]	70(12)	43(14)	15(6)	29(6)	16(7)	13(6)	35(6)	21(10)	29(8)	8(3)	11(2)

CEJ, Cheongju; CUJ, Chungju; JEC, Jecheon; BE, Boeun; OC, Okcheon; YD, Yeongdong; JIC, Jincheon; GS, Goesan; ES, Eumseong; DY, Danyang; JP, Jeungpyeong; CA, Cultivation area; NSS, Number of soil sampling site.

[†] Parenthesis is the number of administrative districts of soil sampling site in the region

제초제 저항성 잡초 발생 면적 예측

제초제 저항성 잡초발생 면적은 다음과 같은 방식으로 예측하였다. 먼저 각 시·군의 논면적은 2017년 농업면적통계 (Statistics Korea, 2017)의 자료를 사용하였다. 시·군의 저항성 잡초 발생률과 저항성 잡초 발생 면적, 그리고 충북의 저항성 잡초 발생면적과 저항성 잡초 발생률은 다음과 같이 계산 혹은 추정하였다.

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

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

$$\text{충청북도의 저항성 잡초 발생면적(ha)} = \sum \text{시·군의 저항성 잡초 발생 면적(ha)}$$

$$\text{충청북도의 저항성 잡초 발생률(\%)} = \frac{(\text{저항성 잡초 발생 면적(ha)})}{\sum \text{각 시·군의 논면적(ha)}} \times 100$$

결과 및 고찰

토양검정법으로 채집한 토양은 담수상태로 잡초를 발생시켰고, 충북 지역에서 많이 발생한 잡초 초종을 살펴보면 중부 내륙 평야지인 청주시는 물달개비, 충주시, 진천군과 음성군은 강피, 괴산군은 강피와 물달개비, 북부 중산간지인 제천시와 단양군은 물달개비, 남부 중간지인 보은군은 강피, 옥천군과 영동군은 물달개비의 발생이 많았다(Fig. 2). 지난 2013년 Braun-Blanquet (1964)의 방법으로 달관조사 한 충북 지역의 논잡초 분포조사에서 우점초종은 청주시, 충주시, 보은군, 옥천군, 영동군과 진천군은 물달개비, 제천시와 단양군은 물피와 강피, 음성군, 괴산군과 증평군은 올챙이고랭이로 중요도가 가장 높다고 하였다(Kim et al., 2014). 주로 발생하는 초종은 물달개비, 올챙이고랭이, 강피와 물피로 토양검정법으로 수행한 본 시험과 비슷한 결과였다. 이는 상기 주요 발생 초종은 제초제 연용에 따른 저항성이 발생할 수 있

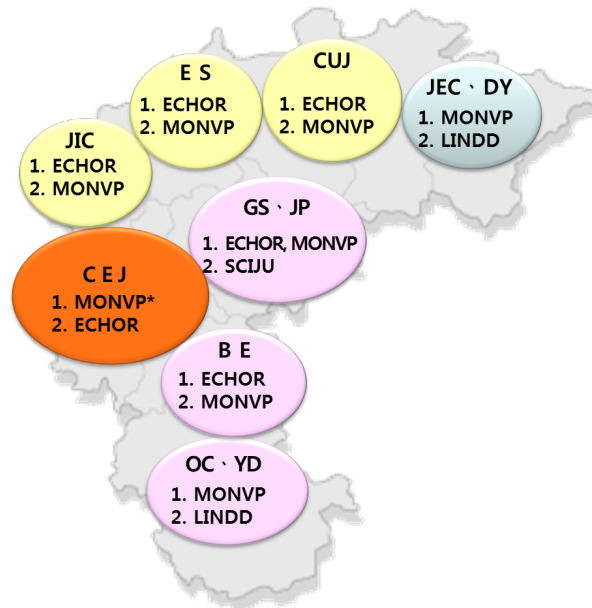


Fig. 2. Distribution of dominant weed by soil sampling in Chungcheongbuk-Do. CEJ, Cheongju; CUJ, Chungju; JEC, Jecheon; BE, Boeun; OC, Okcheon; YD, Yeongdong; JIC, Jincheon; GS, Goesan; ES, Eumseong; DY, Danyang; JP, Jeungpyeong. MONVP, *Monochoria vaginalis*; ECHOR, *Echinochloa oryzicola*; LINDD, *Lindernia dubia*; SCIJU, *Schoenoplectiella juncoides*.

을 것으로 판단되었고, 충북지역에서 제초제를 사용한 농가들은 1-2회 정도 사용하지만 이양 후 10일 이내 사용 비율이 73%에 달하기 때문에 이양 후 별도의 잡초 방제에 소홀하므로 지속적으로 발생된 것으로 추측되었다(Kim et al., 2014).

충북도내 11개 시·군의 ALS 저해제 제초제 저항성 발생 비율은 옥천군 93.75%, 보은군 89.66%, 충주시 88.37%, 진천군과 괴산군 85.71%, 영동군이 84.62%의 순이었다. 청주시, 음성군, 증평군과 제천시도 60-80%의 범위로 높은 수준이었고, 단양군은 25%로 낮았다(Fig. 3). 이를 바탕으로 한 제초제 저항성 발생 면적은 청주시 6,957 ha, 충주시 4,277 ha, 진천군 3,536 ha, 보은군 3,282 ha, 음성군 3,129 ha의 순으로 예측되었고, 각 지역을 합산한 충북도내 제초제 저항성 면적

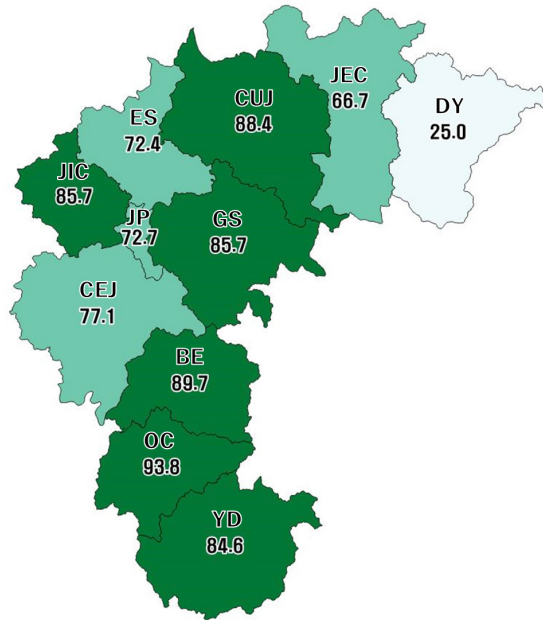


Fig. 3. Choropleth map of occurrence rate of herbicide resistant weeds in Chungcheongbuk-Do. CEJ, Cheongju; CUJ, Chungju; JEC, Jecheon; BE, Boeun; OC, Okcheon; YD, Yeongdong; JIC, Jincheon; GS, Goesan; ES, Eumseong; DY, Danyang; JP, Jeungpyeong.

Table 2. Estimated rice cultivation area occurring acetolactate synthase (ALS) inhibiting herbicide resistant weeds in Chungcheongbuk-Do.

City / County	Total site	Resistant site	Susceptible site	Resistant rate (%)	Rice cultivation area (ha)	Estimated area occurring herbicide resistant weed (ha)
CEJ	70	54	16	77.14	9,019	6,957
CUJ	43	38	5	88.37	4,840	4,277
JEC	15	10	5	66.67	1,886	1,257
BE	29	26	3	89.66	3,661	3,282
OC	16	15	1	93.75	1,905	1,786
YD	13	11	2	84.62	1,186	1,004
JIC	35	30	5	85.71	4,126	3,536
GS	21	18	3	85.71	2,750	2,357
ES	29	21	8	72.41	4,321	3,129
DY	8	2	6	25.00	291	73
JP	11	8	3	72.73	1,085	789
Total				80.62	35,069	28,272

CEJ, Cheongju; CUJ, Chungju; JEC, Jecheon; BE, Boeun; OC, Okcheon; YD, Yeongdong; JIC, Jincheon; GS, Goesan; ES, Eumseong; DY, Danyang; JP, Jeungpyeong.

은 28,272 ha로 추정되었다(Table 2). 지난 2011년과 2012년에 같은 방법으로 수행한 제초제 저항성 논잡초의 발생 비율 및 면적은 충청도내 26.8%인 13,167 ha에서 발생하여 5년 사이에 3배 정도 증가된 것을 알 수 있었다(Kim et al., 2013). 2011년과 2012년 평균 제초제 저항성 논잡초 발생 비율은 전남에서 44.3%로 가장 높았고, 충남, 충북 순으로 높았는데 전국 평균은 22.1%로 본 시험에서 급격하게 증가된 것을 알 수 있었다(Lee et al., 2013). 지난 2012년에 사용된 제초제는 pyrazosulfuron-ethyl (0.07%)+pryminobac-methyl (0.1%)로 본 시험에 적용한 제초제와 차이가 있으나 과거보다 강 피와 물피 등의 제초제 저항성 잡초의 종류가 증가하였으며, 물달개비, 피, 미국외풀은 제초제 저항성율이 증가하였고, ha 당 제초제 사용량은 2015년에 1.27 kg으로 2011년의 0.87 kg보다 46%가 증가하였으며(Ha et al., 2016a), 사용량이 줄어들던 SU계 제초제 사용이 2011년부터 증가하였기 때문에 급격하게 높아진 것으로 생각된다(Ha et al., 2016b). 아울러 ALS 저해제는 제초제 저항성 잡초의 ALS 유전자에서 염기치환에 의한 아미노산 변화가 보고되므로(Park et al., 2003; Park et al., 2007) 변이에 의한 저항성 잡초 또한 증가할 것으로 사료된다.

충북 지역에서는 기존에 보고된 14종의 제초제 저항성 잡초 중 8종이 발생하였다. 발생 초종의 제초제 저항성 비율은 물달개비가 단양을 제외한 지역별 37.9-69.2%로 저항성이 가장 높은 초종이었다. 지역별로 강피는 25.0-62.9%의 범위로 그 뒤를 이었으며, 올챙이고랭이 12.5-42.9%, 미국외풀 12.5-27.6%, 물피 3.5-20.0%의 순으로 조사되었다. 알방동사니는 옥천과 영동에서 각각 12.5%와 15.4%로 다소 높았으나, 다른 지역에서는 2-4%로 제초제 저항성이 낮은 수준이었다. 새 섬매자기와 올챙이자리는 거의 발생되지 않았으며, 쇠털골, 벼풀, 마디꽃, 여뀌바늘, 물옥잠, 올미는 충청지역에서 발생 하지 않았다. 2011년과 2012년에도 물달개비의 제초제 저항성 비율이 가장 높았으나 그 당시 각각 36%와 30%로 현재와 비교하여 많이 증가되었다. 올챙이고랭이는 과거에 평균 31% 정도로 저항성 비율이 현재와 비슷하였으며, 물피도 평균 11.3%로 비슷한 수준이었다. 강피는 과거 조사되지 않아 비교가 어려웠다(Kim et al., 2013). 우리나라는 SU계 제초제와 molinate가 혼합된 ‘일발처리제’가 선호되어, 종자 생산량이 상대적으로 월등한 물달개비가 우점한다는 연구결과와 같은 경향이었다(Park et al., 2011).

충북도내 초종별 ALS 저해제 제초제 저항성의 발생 면적이 가장 높은 초종은 물달개비로 17,646 ha가 발생되었다 (Table 4). 다음으로 강피 15,617 ha, 올챙이고랭이 10,377 ha, 미국외풀 6,417 ha, 물피 3,020 ha의 순으로 발생되었다.

Table 3. Resistance rate of an acetolactate synthase (ALS) inhibiting herbicide resistant weeds in Chungcheongbuk-Do.

Species	Maen	City / County										
		CEJ	CUJ	JEC	BE	OC	YD	JIC	GS	ES	DY	JP
<i>Monochoria vaginalis</i>	49.8	54.3	48.8	40.0	44.8	62.5	69.2	65.7	38.1	37.9	-	45.5
<i>Schoenoplectiella juncooides</i>	29.4	18.6	27.9	13.3	34.5	37.5	38.5	34.3	42.9	37.9	12.5	36.4
<i>Echinochloa oryzicola</i>	44.3	30.0	46.5	46.7	55.2	50.0	30.8	62.9	52.4	44.8	25.0	36.4
<i>Echinochloa crus-galli</i>	8.7	11.4	7.0	-	3.5	6.3	-	20.0	14.3	3.5	12.5	-
<i>Lindernia dubia</i>	17.7	20.0	23.3	-	20.7	12.5	-	17.1	14.3	27.6	-	18.2
<i>Cyperus difformis</i>	3.1	4.3	2.3	-	-	12.5	15.4	2.9	-	-	-	-
<i>Scirpus planiculmis</i>	0.7	1.4	-	-	3.5	-	-	-	-	-	-	-
<i>Blyxa aubertii</i>	0.4	-	-	-	-	-	-	2.9	-	-	-	-
<i>Monochoria korsakowii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rotala indica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sagittaria pygmaea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eleocharis acicularis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ludwigia prostrata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sagittaria trifolia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CEJ, Cheongju; CUJ, Chungju; JEC, Jecheon; BE, Boeun; OC, Okcheon; YD, Yeongdong; JIC, Jincheon; GS, Goesan; ES, Eumseong; DY, Danyang; JP, Jeungpyeong.

Table 4. Estimated area of rice cultivation area infested by an acetolactate synthase (ALS) inhibiting herbicide resistant weeds in Chungcheongbuk-Do.

Species	Area (ha)											
	City / County											Total
	CEJ	CUJ	JEC	BE	OC	YD	JIC	GS	ES	DY	JP	
<i>Monochoria vaginalis</i>	4,987	2,362	754	1,640	1,191	821	2,711	1,048	1,638	-	494	17,646
<i>Schoenoplectiella juncooides</i>	1,678	1,350	251	1,263	714	457	1,415	1,180	1,638	36	395	10,377
<i>Echinochloa oryzicola</i>	2,706	2,251	881	2,021	953	365	2,595	1,441	1,936	73	395	15,617
<i>Echinochloa crus-galli</i>	1,028	339	-	128	120	-	825	393	151	36	-	3,020
<i>Lindernia dubia</i>	1,804	1,128	-	758	238	-	706	393	1,193	-	197	6,417
<i>Cyperus difformis</i>	388	111	-	-	238	183	120	-	-	-	-	1,040
<i>Scirpus planiculmis</i>	126	-	-	128	-	-	-	-	-	-	-	254
<i>Blyxa aubertii</i>	-	-	-	-	-	-	120	-	-	-	-	120
<i>Monochoria korsakowii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rotala indica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sagittaria pygmaea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eleocharis acicularis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ludwigia prostrata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sagittaria trifolia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	-	7,541	1,886	5,938	3,454	1,826	8,492	4,455	6,556	145	1,481	54,491

CEJ, Cheongju; CUJ, Chungju; JEC, Jecheon; BE, Boeun; OC, Okcheon; YD, Yeongdong; JIC, Jincheon; GS, Goesan; ES, Eumseong; DY, Danyang; JP, Jeungpyeong.

2012년에 조사한 충북도내 제초제 저항성 잡초 발생면적은 올챙이고랭이 4,392 ha, 물달개비 4,173 ha, 피(강피, 물피 포함) 1,833 ha, 미국외풀 1,217 ha로 과거 5년 전보다 2-5배 증가되었다(Kim et al., 2013). 물달개비, 올챙이고랭이, 알방동사니 등은 benzobicyclone, carfentrazone, pyrazolate 등의 약제로 방제가 가능하다고 하였는데(Park et al., 2011), 제초제를 사용하는 농가들은 씨래질 시 60%, 이앙 후 10일 내 28% 정도로 초기에 집중되어 있고(Kim et al., 2012), sulfonylurea 계 제초제 사용이 증가하는 추세이기 때문에 제초제 저항성 잡초 발생 면적이 증가된 것으로 판단되었다(Ha et al., 2016b).

지난 2012년과 비교하여 충북도내 제초제 저항성이 발생된 올챙이고랭이는 다른 초종에 비해 증가율이 적었는데, 이는 적용 제초제의 지속적인 사용과 올챙이고랭이와 올방개와 같은 초종 제거에 효과적인 왕우렁이의 사용 등으로 판단되었고(Kwon et al., 2010), 미국외풀의 저항성 발생은 5.2배 증가되었는데, 향후 적용 제초제 등의 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

충북지역에서 물달개비와 강피는 ALS 저해제 제초제 저항성이 40% 이상으로 높게 나타나기 때문에 모든 지역에서 집중적인 관리가 요구되며, 올챙이고랭이, 미국외풀과 물피도 관리의 대상으로 효과적인 방제를 위한 체계를 구축할 필요가 있다. 지역별로 제초제 저항성이 나타나지 않은 시·군·도 향후 발생할 가능성이 있기 때문에 예의주시할 필요가 있다.

제초제 저항성 잡초는 꽃가루 또는 종자형태로 확산될 것이며(Jhala and Knezevic, 2017), 제초제 저항성 잡초의 출현이 앞으로도 지속될 것으로 예상된다. 따라서, 농가들의 제초제 선택과 사용시기 등을 종합적으로 연구해야 하고, 농업관련 기관에서는 농가들의 제초제 선택 시 해마다 적용 제초제를 달리하여 저항성을 줄일 수 있도록 지도해야 할 것으로 생각된다.

Acknowledgements

This study was supported joint research project from Rural Development Administration, Republic of Korea (Project number: PJ012457)

요약

본 연구는 2017년 2월부터 4월까지 충청지역 제초제 저항성 논잡초 발생현황을 조사하기 위하여 11개 시·군 289지점에서 토양시료를 채취하였다. 충청지역의 제초제 저항성 논잡초의 발생을 조사한 결과, 시·군별 최우점 잡초는 물달개비 이었고, 그 다음은 강피였다. 충청지역의 제초제 저항성 잡초 발생비율과 면적은 각각 80.6%, 28,272 ha로 지난 2012년 보다 3배 증가하였다. 옥천군의 저항성 발생율이 93.8%로 가장 높았고, 충주시, 보은군, 영동군, 진천군과 괴산군이 80% 이상, 청주시, 음성군, 증평군이 70% 이상으로 높은 수준이었다. 발생면적은 청주시가 6,957 ha로 가장 많았고, 충주시, 진천군, 보은군, 음성군의 순으로 높았다. 초종별 제초제 저항성 비율과 면적은 물달개비 49%, 17,646 ha, 강피 44%, 15,617 ha, 올챙이고랭이 29%, 10,377 ha의 순으로 발생하였다. 충청지역 모든 지역에서 물달개비와 강피는 acetolactate synthase (ALS) 저해제 제초제에 저항성이 40% 이상이므로 집중적인 관리가 필요하며, 현재 설폰닐우레아계 제초제 사용이 증가하고 있고, 대부분의 농가가 이앙 후 10일 이전에 제초제를 사용하기 때문에 이앙 후에도 관리가 필요하며, 매년 적용 제초제를 교호 살포하는 방법으로 제초제 저항성 잡초의 발생을 줄여야 하겠다.

주요어: 충북, 제초제 저항성, 잡초, 발생

References

- Beltran, J.C., Pannell, D.J. and Doole, G.J. 2012. Economic implications of herbicide resistance and high labour costs for management of annual barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in Philippine rice farming systems. *Crop protection* 31:31-39.
- Braun-Blanquet, J. 1964. Pflanzensoziologie, grundzfige der vegetationskunde. 2. umgearbeitete u. vermehrte Auflage. p. 865. Springer-Verlag, Wien. Austria.
- Green, J.M. 2007. Review of glyphosate and ALS-inhibiting herbicide crop resistance and resistant weed management. *Weed Tech.* 21:547-558.
- Ha, H.Y., Jin, J.H., Park, S.E., Park, J.E. and Lim, Y.B. 2016a. Survey of pesticide and herbicide use on rice cultivation. *Korean J. Weed Sci.* 36(1):73-73. (suppl.) (In Korean)
- Ha, H.Y., Park, S.E., You, A.S., Gil, G.H., Park, J.E., et al. 2016b. Survey of pesticide use in leaf and fruit vegetables, fruits and rice cultivation areas in Korea. *Weed Turf. Sci.* 5(4):203-212. (In Korean)
- Heap, I. 2014. Global perspective of herbicide-resistant weeds. *Pest Manag. Sci.* 70:1306-1315.
- Heap, I. 2018. International survey of herbicide resistant weeds. <http://www.weedscience.org>. (Accessed Aug. 20, 2018)
- Heap, I. and Duke, S.O. 2018. Overview of glyphosate resistant weeds worldwide. *Pest Manag. Sci.* 74:1040-1049.

- Im, I.B., Kim, S., Kang, J.G. and Na, S.Y. 2003. Weed control of small flatsedge (*Cyperus difformis* L.) with resistant response to sulfonylurea herbicides in the paddy of Korea. Korean J. Weed Sci. 23(1):63-70. (In Korean)
- 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.
- Iwakami, S., Hashimoto, M., Matsushima, K., Watanabe, H., Mamamura, K., et al. 2015. Multiple-herbicide resistance in *Echinochloa crus-galli* var. *formosensis* an allohexaploid weed species in dry-seeded rice. Pesticide Biochemical and Physiology. 119:1-8.
- Jhala, A.J. and Knezevic, S.Z. 2017. Gene flow and herbicide resistance. Encyclopedia of Applied Plant Sci. 3:447-449.
- Kim, C.S., Lee, J.R., Won, T.J., Seo, Y.H., Kim, E.J., et al. 2012. Fact-finding survey on occurrence of paddy field weeds and the use of paddy field herbicides at farmer's level in Korea. Weed Turf. Sci. 1(4):6-12. (In Korean)
- Kim, E.J., Park, J.S., Lee, C.Y., Lim, S.C. and Song, B.H. 2013. A survey on farm management and occurrence area of herbicide resistant paddy weeds in Chungbuk Province. Weed Turf. Sci. 2(1):1-7. (In Korean)
- Kim, E.J., Park, J.S., Lee, C.Y., Lim, S.C., Park, I.S., et al. 2014. Survey of weed flora on paddy fields in Chungbuk province in Korea. Weed Turf. Sci. 3(2):78-85. (In Korean)
- Kim, K.U. 1984. Resistance of plants to herbicide. Korean J. Weed Sci. 4(1):96-106. (In Korean)
- Kwon, O.D., Kuk, Y.I., Lee, D.J., Shin, H.R., Park, I.J., et al. 2002. Growth and yield of rice as affected by competitive period of resistant *Monochoria vaginalis* biotype to Sulfonylurea herbicide. Korean J. Weed Sci. 22(2):147-153. (In Korean)
- Kwon, O.D., Moon, B.C., An, K.N., Park, H.G., Shin, H.R., et al. 2009. Prediction of rice yield loss and economic threshold level by densities of *Cyperus difformis* in wet-seeded rice. Korean J. Weed Sci. 29(2):167-177. (In Korean)
- Kwon, O.D., Park, H.G., An, K.N., Lee, Y., Shin, S.H., et al. 2010. Weedy control efficacy and injury of rice plant by golden apple snail (*Pomacea canaliculata*) in environment-friendly rice paddy fields. Korean J. Weed Sci. 30(3):282-290. (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. Korean J. Weed Sci. 32(2):121-126.
- Lee, I.Y., Won, T.J., Seo, Y.H., Kim, E.J., Yun, Y.T., et al. 2013. Occurrence trends of SU-herbicide resistant weeds in paddy fields in Korea. Weed Turf. Sci. 2(3):318-321. (In Korean)
- Lim, S.H., Song, J.S., Zhang, C. and Kim, D.S. 2010. ACCase inhibitor cyhalofop-butyl resistance in *Echinochloa oryzicola* collected in Chungnam and Jeonbuk province, Korea. Korean J. Weed Sci. 30(Supp. 1):45-46. (In Korean)

- Miyahara, M., Guh, J.O. and Lee, D.J. 1998. Occurrence of resistant weeds to sulfonylurea herbicides in Japan. *Korean J. Weed Sci.* 18(3):268-279. (In Korean)
- Moon, B.C., Won, J.G., Kim, Y.L., Kim, S.W., Lee I.Y., et al. 2011. Prediction of rice yield and economic thresholds by some weeds rice competition in transplanted rice cultivation. *Korean J. Weed Sci.* 31(3):289-293.
- Park, K.W., Park, T.S., Seong, K.Y., Cho, H.S., Seo, M.C., 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)
- Park, T.S., Kang, S.Y., Heu, S.K. and Kim, T.W. 2007. DNA sequence characterization of the acetolactate synthase (ALS) of sulfonylurea (SU) resistant and susceptible *Monochoria vaginalis*. *Korean J. Weed Sci.* 27(1):41-48. (In Korean)
- 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. *Korean J. Weed Sci.* 21(1):33-41. (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. *Korean J. Weed Sci.* 19(4):340-344. (In Korean)
- Park, T.S., Lee, I.Y., Seong, K.Y., Cho, H.S., Park, H.K., et al. 2011. Status and prospect of herbicide resistant weeds in rice field of Korea. *Korean J. Weed Sci.* 31(2):119-133. (In Korean)
- Park, T.S., Lim, Y.B., Kyung, K.S., Lee, S.H., Park, J.E., et al. 2003. Mechanism of sulfonylurea herbicide resistance in broadleaf weed *Monochoria korsakowii*. *Korean J. Pesticide Sci.* 7(4):239-247.
- Park, T.S. and Park, J.E. 2002. Resistance in Korea: Where are we now? And where are we going?. *Korean J. Weed Sci.* 22(2):18-25. (In Korean)
- Park, T.S., Park, H.K., Lee, I.Y., Moon, B.C., Ku, B.I., et al. 2009. Differential herbicide response of sulfonylurea-resistant *Scirpus juncooides* Roxb, accessions to sulfonylurea herbicides. *Korean J. Weed Sci.* 29(3):243-253. (In Korean)
- Song, S.B., Hwang, J.B., Hong, Y.K., Park, S.T. and Kim, H.Y. 2006. Loss of rice growth and yield affected by weed competition in machine transplanted rice cultivation. *Korean J. Weed Sci.* 26(4):407-412. (In Korean)
- Statistics Korea. 2017. 2017 Statistics of agricultural area. Statistics Korea, Daejeon, Korea.
- Won, J.G., Ahn, D.J., Kim, S.J., Kwon, O.D., Moon, B.C., et al. 2010. Competitiveness and yield loss prediction of water-seeded rice by densities of *Scirpus juncooides* Roxb. *Korean J. Weed Sci.* 30(1):43-49. (In Korean)
- Wu, M., Xu, F., Yang, D.L. and Yang, J. 2012. Herbicide resistance challenge in paddy field of China. *Korean J. Weed Sci.* 32(3):170-173. (In Korean)