

Research Note

국내 Cyhalofop-butyl과 Penoxsulam 저항성 피의 지역별 분포

이정란*, 김진원, 이인용

국립농업과학원

Distribution of Cyhalofop-butyl and Penoxsulam Resistant *Echinochloa* spp. in Korean Paddy Fields

Jeongran Lee*, Jin-Won Kim, and In-Yong Lee

National Institute of Agricultural Sciences, Iseo 55365, Korea

Abstract

Herbicides are important weed control tools for increasing crop yields and the efficiency of crop production. As the use of herbicides increases, the occurrence of herbicide-resistant weeds has been an increasing problem. In Korea, since the first occurrence of acetolactate synthase (ALS) inhibitor resistant *Monochoria korsakowii* was reported in the Seosan reclaimed paddy field in 1998, resistance has been reported in 14 weed species, including *Echinochloa* spp. and their populations are gradually increasing. The objective of this study is to investigate the nationwide occurrence of ALS and Acetyl-CoA Carboxylase inhibitor resistant *Echinochloa* spp. in Korea. In 2013, 2014, and 2015, we collected 594 accessions of *Echinochloa* spp. in Korean rice fields except for Jeonnam and Chungbuk provinces. They were then treated with the recommended rates of penoxsulam and cyhalofop-butyl. We harvested seeds from 45 accessions of *E. oryzicola* in the case of cyhalofop-butyl treatment. Also, 44 and 46 accessions of *E. oryzicola* and *E. crus-galli* survived and their seeds were harvested after penoxsulam treatment. Twenty accessions of *E. oryzicola* survived from both herbicides inferring possible multiple resistance. Two accessions out of 20 inferred from possible multiple resistance survived after cyhalofop-butyl treatment at a dose of 500 g a.i. ha⁻¹. Seeds of herbicide resistant populations will be provided and utilized for further research.

Keywords: Acetolactate synthetase, Acetyl-coA carboxylase, *Echinochloa crus-galli*, *Echinochloa oryzicola*, Herbicide resistance



 OPEN ACCESS

*Corresponding author:

Phone. +82-63-238-3322

Fax. +82-63-238-3838

E-mail. kongsarang@korea.kr

Received: November 24, 2017

Revised: December 9, 2017

Accepted: December 12, 2017

© 2017 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

세계적으로 제초제 사용량이 증가함에 따라 제초제 저항성잡초의 출현이 확대되고 있다. 현재까지 전 세계적으로 총 69개국의 91개 작물경작지에서 251종(단자엽 105종, 쌍자엽 146종)의 제초제 저항성이 보고되어 있다(Heap, 2017). 우리나라에서는 1998년에 처음 서산 간척지 논에서 acetolactate synthase (ALS) 저해 제초제 저항성 물옥잠 (*Monochoria korsakowii* Regel & Maack)이 발생하였고(Park et al., 1999) 그 후 돌피(물피, *Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv.)와 논피(강피, *E. oryzicola* Vasing.)를 포함한 14개 초종에서 저항성이 보고되고 있으며 점점 그 군락 및 개체수가 확대되고 있는 실정이다(Park et al., 2011; Park et al., 2013). 예를 들어 제초제 저항성 논잡초 발생면적 추정치를 살펴보면, 2008년에는 전국 벼 재배면적의 약 60,130 ha에서 sulfonylurea (SU)계 제초제 저항성 논 잡초가 발생한 것으로 추정되었는데(Park et al., 2011) 2012년에는 약 22.1%인 176,870 ha에서 발생한 것으로 추정되어 4년 만에 3배정도의 증가추세를 보였다(Lee et al., 2012; Lee et al., 2013).

기계이앙 재배시 30일묘의 경우 피는 10 m²당 단지 7본으로 벼 생산량의 50% 이상을 감소시켜 농가에 심각한 경제적 손실을 유발하므로(Moon et al., 2004) 논농사에 미치는 피해가 매우 심각한 잡초이다. 국내에서는 충남 서산 간척지(Im et al., 2008)와 전북 김제(Im, 2009)에서 Acetyl-CoA carboxylase (ACCCase) 저해 제초제 저항성 물피와 논피가 심각한 수준으로 증가한 후 전국에서 발생하고 있다(Lee et al., 2012; Lee et al., 2013). 본 연구는 전국에서 발생하는 ALS와 ACCCase 저해 제초제 저항성 피의 전국적 발생 현황을 파악하기 위하여 수행되었으며, 생물검정한 결과를 보고하고자 한다.

2013-2015년 9월에 전남과 충북지역을 제외한 전국의 피 방제가 되지 않은 논에서 채집한 논피 128점과 돌피 431점을 2014년과 2015년에 국립농업과학원 비닐하우스에서 저항성을 추정하기 위하여 cyhalofop-butyl (ACCCase inhibitor)과 penoxsulam 추천사용량을 이용하여 생물검정을 하였다. 30/25°C(주/야, 16/8 h) 조건에서 약 3-5일간 치상하여 50공 육묘 포트에 이식한 후 4-5엽기에 cyhalofop-butyl과 penoxsulam을 각각 250 g 과 30 g a.i. ha⁻¹ 약량으로 경엽 처리하였다. 제초제 처리 후(days after treatment, DAT) 21일에 무처리 대조구와 함께 생존 개체를 조사하였으며, 생존개체를 와그너포트(1/5000 a)에 이식한 후 최종적으로 종자를 수확하였다. 시험은 5반복으로 2회 수행되었다. 또한, 추천사용량 처리 후 21일에 저항성이 있는 것으로 판단된 채집종을 추천 약량 처리와 같은 방법으로 치상, 이식한 후 표준 추천량의 2배, 4배, 8배, 16배, 32배를 각각 5개체에 처리 한 후 21일에 생존여부를 조사하였다.

Cyhalofop-butyl 처리 후 21일 조사에서 논피 45 (35.1%)점과 돌피 19 (4.3%)점이 생존하였으며, 이중 논피는 초기에 생존한 채집종의 56.8%인 25점에서 즉, 전체 제초제저항성 검정에 사용된 채집종의 19.5%에서 종자를 수확하였다. 수확된 종자는 강원도 철원 채집종 8점, 경기도 여주 채집종 1점, 경남 고성 채집종 3점, 경북 합천과 상주 채집종 각각 1점, 전북 김제 채집종 11점으로 이는 2009년 전북 김제에서 cyhalofop-butyl 저항성 논피가 보고(Lim et al., 2010)된 이후 단 기간에 충청지역을 제외한 거의 전국에서 발생하는 것으로 추정되는 결과이다. 특히 김제에서 채집한 논피는 제초제 처리한 개체의 약 79%에서 종자수확이 가능하여 높은 cyhalofop-butyl 저항성 가능성을 시사하였다(Table 1). 이러한 결과는 호남지역에서 제초제 저항성 논피의 발생이 약 46%에 달한다는 보고와 일치한다(Im et al., 2017). 그러나 추천량의 cyhalofop-butyl 처리 후 21일에 생존한 돌피 35점은 서서히 고사하였으며 최종적으로 종자수확이 가능하지 않았다.

추천량의 penoxsulam 처리 후 21일 달관조사에서 논피는 88 (68.8%)점, 돌피는 105 (24.4%)점이 생존하였다. 이중 논피 44점과 돌피 63점은 서서히 고사하여 최종적으로 논피 44 (34.4%)점과 돌피 46 (10.7%)점에서 종자 수확이 가능하였다. 종자수확이 가능하였던 논피는 강원도 철원 채집종 16점, 가평, 여주, 이천 등 경기도 채집종 9점, 합천, 구미, 상주, 문경 등 경북지역 채집종 5점, 경남 고성 채집종 4점과 전북 김제 채집종 10점이었다. 우리나라 쌀

Table 1. Collection site, the number of accessions treated with herbicides, the number and percentage of survived accessions after each herbicide treatment and the number and percentage of seeds harvested after the herbicide treatment.

<i>E. oryzicola</i>						
Collection site	No. accessions treated	Penoxsulam 30 g a.i. ha ⁻¹		Cyhalofop-butyl 250 g a.i. ha ⁻¹		No. accessions showing multiple resistance
		No. survived individuals 21 DAT (%)	Seeds harvested (%)	No. survived individuals 21 DAT (%)	Seeds harvested (%)	
Seosan, CN	19	16 (84.2)	0 (0.0)	15 (78.9)	0 (0.0)	0
Cheolwon, GW	18	18 (100)	16 (88.9)	8 (44.4)	8 (44.8)	6
Icheon etc, GG	41	22 (53.7)	9 (22.0)	3 (7.3)	1 (2.4)	0
Goseong, GN	8	7 (87.5)	5 (62.5)	5 (62.5)	4 (50.0)	4
Sangjoo etc, GB	28	12 (42.9)	4 (14.3)	2 (7.1)	1 (3.6)	0
Gimje etc, JB	14	13 (92.9)	10 (71.4)	12 (85.7)	11 (78.6)	10
Total	128	88 (68.8)	44 (34.4)	45 (35.2)	25 (19.5)	20

<i>E. crus-galli</i>						
Collection site	No. accessions treated	Penoxsulam 30 g a.i. ha ⁻¹		Cyhalofop-butyl 250 g a.i. ha ⁻¹		No. accessions showing multiple resistance
		No. survived individuals 21 DAT (%)	Seeds harvested (%)	No. survived individuals 21 DAT (%)	Seeds harvested (%)	
Seosan, CN	346	40 (11.6)	0 (0.0)	17 (4.9)	0	0
Cheolwon, GW	1	1 (100)	1 (100)	0 (0.0)	0	0
Icheon etc, GG	38	32 (84.2)	20 (52.6)	9 (23.9)	0	0
Goseong, GN	9	8 (88.9)	5 (55.6)	2 (22.2)	0	0
Sangjoo etc, GB	24	24 (100)	20 (83.3)	5 (20.1)	0	0
Gimje etc, JB	13	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (15.4)	0	0
Total	431	105 (23.4)	46 (10.7)	35 (7.4)	0	0

주 생산지인 강원도 철원지역과 전라북도 김제지역에서 채집한 논피는 추천량의 penoxsulam 처리 후 88.9%와 71.4%의 높은 생존율을 보였다. 이와 같은 결과로부터 추천량의 penoxsulam 처리에서 익산과 김제에서 채집한 논피가 생존했다는 Park et al. (2010)의 보고 이후 매우 짧은 기간 내에 충청도지역을 제외한 거의 전국에서 penoxsulam 저항성으로 추정되는 논피가 발생되고 있는 것으로 사료된다. 표준량의 penoxsulam 처리 후 생존한 돌피는 강원도 철원채집 1점, 경기도 가평과 이천, 여주채집 20점, 문경, 구미, 상주의 경상북도 채집종 20점, 경상남도 고성과 합천의 5점이었다. Penoxsulam 저항성으로 추정되는 돌피와 논피의 발생지역에는 큰 차이가 없었다.

추천량의 penoxsulam 처리에 생존한 논피 개체들 중 강원도 철원, 경상남도 고성, 전라북도 김제에서 채집한 20 점은 표준량의 cyhalofop-butyl 처리에서도 생존하여 ACCase와 ALS 저해제에 다중저항성이 있을 것으로 생각된다. 피의 다중저항성 또한 전북 김제와 익산에서 처음 ALS 저해제와 ACCase 저해제에 대한 다중저항성을 갖는 논피가 보고된 이후(Park et al., 2010), 단기간내에 강원도와 경상남도에서까지 발견되는 등 다중저항성 가능성이 있는 논피가 급속히 확산되거나 동시다발적으로 발생하고 있음을 알 수 있었다.

강원도 철원과 전라북도 김제시 죽산면에서 채집한 논피(O78과 O171)는 추천량의 두 배 농도인 cyhalofop-

butyl (500 g a.i. ha⁻¹) 처리에도 생존하여 종자수확이 가능하였다. 또한, 강원도 철원 및 경기도 가평 등에서 채집한 돌피 15점은 penoxsulam 표준처리량의 두 배인 60 g a.i. ha⁻¹에 생존하였다. 특히, 경상북도 상주에서 채집한 돌피 (C492)는 penoxsulam 960 g a.i. ha⁻¹ (32X)를 처리한 후에도 생존하여 55-84일 사이에 서서히 고사하였으며, 120 g a.i. ha⁻¹ (4X)를 처리한 개체는 종자수확까지 가능한 매우 강한 저항성을 갖는 것으로 추정된다. 그러나 같은 논에서 채집한 네 개체 중 두 개체는 표준량 처리 후 완전히 고사하여 같은 논에서도 저항성개체와 감수성개체가 혼재하고 있음을 알 수 있었다. 이러한 현상은 저항성으로 추정되는 개체가 나온 22개의 논 중 12개의 논에서 나타났다. 한 채집종이 같은 약제에 대해 다른 반응을 보이거나 같은 논에서 저항성과 감수성으로 추정되는 개체가 혼재하는 이유는 저항성 표적유전자의 copy수가 많을 경우 저항성 유전자좌의 희석효과(dilution effect)나 저항성-감수성 유전자좌의 heterocomplex가 제초제 저항성에 영향을 주기 때문에 아마도 논피와 돌피의 ACCase와 ALS 유전자좌 copy수의 차이에 의한 것으로 생각된다(Iwakami et al., 2012; Iwakami et al., 2015; Yu et al., 2013). 그러나 같은 논에서 단순히 저항성개체와 감수성개체의 혼재에 의한 것일 수도 있으므로 이와 같이 저항성과 감수성 개체가 혼재하는 논의 저항성 개체는 꾸준한 관찰과 관리가 필요할 것으로 생각된다. 이러한 논에서 빠른 시일 내에 저항성개체가 확산되는 것을 방지하기 위해서는 작용 기작이 완전히 다른 제초제를 사용하거나 물리적, 기계적 방제를 함께 활용하는 등 효율적인 제초제저항성잡초의 관리가 조속히 이루어져야 할 것이다.

국내 ALS 제초제저항성 논피는 비표적 저항성이라는 보고가 있다(Kim and Kim 2016). 그러나 비표적 저항성은 다양한 작용 기작을 갖는 다양한 제초제에 저항성을 가질 수 있기 때문에 저항성을 예측하기 어렵고 더불어 방제가 어렵다(Delye, 2013). 그러므로 제초제 저항성 잡초의 효율적인 관리를 위해서는 저항성을 나타내는 원인과 기작을 파악하는 것이 매우 중요할 것으로 사료된다. 또한, 제초제 처리 후 생존한 개체에서 수확한 종자는 다양한 저항성 관련 연구재료로 활용될 수 있을 것으로 본 재료를 필요로 하는 저항성관련 연구자에게 제공할 계획이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the project from the Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development of the Rural Development Administration, Korea under Grant number PJ012457.

REFERENCES

- Delye, C. 2013. Unravelling the genetic bases of non-target-site based resistance (NTSR) to herbicides: a major challenge for weed science in the forthcoming decade. *Pest Manag. Sci.* 69:176-187.
- Heap, I. The international survey of herbicide resistant weeds. <http://www.weedscience.org> (Accessed Jul. 10, 2017)
- Im, I.B. 2009. Control and emergence of herbicide resistant *Echinochloa oryzicola* in paddy field of Korea. *Proc. Kor. Weed Sci. Soc. Conf.* 29(2):103-104. (In Korean)
- Im, I.B., Im, B.H., Park, J.H., Im, M.H., Kim, D.H., et al. 2017. Control and occurrence of herbicide resistance *Echinochloa oryzicola* in rice paddy field of Honam area. *Weed Turf. Sci.* 6(1):32-39. (In Korean)
- Im, S.H., Park, M.W., Park, K.N., Yook, M.J., Song, J.S., et al., 2008. Resistance to ACCase inhibitor cyhalofop-butyl in *Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli* collected in Seosan, Korea. *Proc. Kor. Weed Sci. Soc. Conf.* 28(1):36-38. (In Korean)
- Iwakami, S., Hashimoto, M., Matsushima, K.-I., Watanabe, H., Hamamura, K., et al., 2015. Multiple-herbicide

- resistance in *Echinochloa crus-galli* var. *formosensis*, an allohexaploid weed species, in dry-seeded rice. Pestic. Biochem. Phys. 119(1):1-8.
- Iwakami, S., Uchino, A., Watanabe, H., Yamasue, Y. and Inamura, T. 2012. Isolation and expression of genes for acetolactate synthase and acetyl-CoA carboxylase in *Echinochloa phyllopogon*, a polyploid weed species. Pest Manag. Sci. 68(7):1098-1106.
- Kim, J.W. and Kim, D.S. 2016. Geographical distribution and molecular mechanism of herbicide resistant *Echinochloa* species in paddy fields, Korea. Proc. Kor. Weed Sci. Soc. Conf. 36(1):5-6. (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. Kor. J. Weed Sci. 32(2):121-126. (In Korean)
- 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. Proc. Kor. Weed Sci. Soc. Conf. 30(1):45-46. (In Korean)
- Moon, B.C., Kwon, O.D., Cho, S.H., Lee, S.G., Won, J.G., et al. 2004. Prediction of rice yield loss as a result of rice-weed competition in different rice cultivation methods. Proc. Kor. Weed Sci. Soc. Conf. 24(1):92-94. (In Korean)
- Park, S.T., Kim, C.S., Park, J.E., Oh, Y.K. and Kim, K.Y. 1999. Sulfonylurea-resistant biotype of *Monochloria korsakowii* in reclaimed paddy fields in Seosan, Korea. Kor. J. Weed Sci. 19(4):340-344. (In Korean)
- Park, T.S., Ku, B.I., Kang, S.K., Choi, M.K., Park, H.K. et al. 2010. Response of the resistant biotype of *Echinochloa oryzoides* to ACCase and ALS inhibitors, and effect of alternative herbicides. Kor. J. Weed Sci. 30(3):291-299. (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. Kor. J. Weed Sci. 31(2):119-133. (In Korean)
- Park, T.S., Lee, I.Y., Seong, 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)
- Yu, Q., Ahmad-Hamdani, M.S., Han, H., Christoffers, M.J. and Powles, S.B. 2013. Herbicide resistance-endowing ACCase gene mutations in hexaploid wild oat (*Avena fatua*): insights into resistance evolution in a hexaploid species. Heredity 110(3):220-231.