

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.

담수직파에서 형질전환 CPPO06이벤트 벼의 안전성 및 잡초방제효과

원옥재¹ · 박수혁¹ · 엄민용¹ · 김창기^{2*} · 이범규³ · 강홍규⁴ · 이증주⁵ · 박기웅^{1*}

¹충남대학교 식물자원학과, ²한국생명공학연구원 바이오평가센터, ³국립농업과학연구원 생물안전성과

⁴제주대학교 아열대원예산업연구소, ⁵경상대학교 식물의학과

Weed Control and Safety of Transgenic Rice Event, CPPO06 in Direct-Seeding Flooded Rice Field

Ok Jae Won¹, Su Hyuk Park¹, Min Yong Eom¹, Chang-Gi Kim^{2*}, Bum Kyu Lee³,
Hong-Gyu Kang⁴, Jeung Ju Lee⁵, and Kee Woong Park^{1*}

¹Department of Crop Science, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Bio-Evaluation Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, Cheongju 363-883, Korea

³Biosafety Division, National Academy of Agricultural Science, Jeonju 560-500, Korea

⁴Subtropical Horticulture Research Institute, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

⁵Department of Plant Medicine, IALS, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

ABSTRACT. This study was conducted to evaluate the efficacy of weed control and phytotoxicity of oxyfluorfen using a transgenic rice line (CPPO06 event) resistant to protoporphyrinogen oxidase (Protox) inhibiting herbicides in the direct-seeding flooded rice. Five annual weeds including *Echinochloa oryzoides* and two perennial weeds were occurred in the test field. Oxyfluorfen at 120 g a.i. ha⁻¹ in the application timing of two days before sowing and 0 and five days after sowing showed more than 90% weed control value except for *Juglans mandshurica*. Total weed control value was more than 95% in any application timing indicating a highly effective herbicide in the direct-seeding flooded rice. When compared with untreated control, no visual injuries were detected at single and double dosage of oxyfluorfen. The agronomic characteristics and yield components of CPPO06 event was reasonable in any time of application in this study. Based on these data, oxyfluorfen application before and after sowing can be applied to provide effective weed management in the direct-seeding flooded field.

Key words: Direct-seeding flooded rice, Oxyfluorfen, Transgenic rice, Weed control

Received on December 1, 2014; Revised on February 16, 2015; Accepted on February 27, 2015

*Corresponding author: ¹Phone) +82-42-821-5726, Fax) +82-42-822-2631 ; E-mail) parkkw@cnu.ac.kr

²Phone) +82-43-240-6543, Fax) +82-43-240-6549 ; E-mail) cgkim@kribb.re.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

최근 우리나라는 FTA의 영향으로 관세가 개방되어 낮은 가격의 수입 농산물이 국내로 유입 되어 농산물 가격에 대한 경쟁부담이 커지고 있다(KCS, 2014). 또한 농업인구의 감소로 1인당 재배면적이 증가함에 따라 농업의 생력화에 따른 비용절감 및 노동력절감이 절실히 필요한 때이다.

벼농사에서 담수직파는 항공직파와 같은 대규모 영농을 가능하게 한다. 또한 담수직파는 중묘 기계이앙에 비해 노동투입시간이 36% 절감되며, 생산비가 13.3% 절감되는 효과가 있어 벼 가격 경쟁성 확보를 가능하게 한다(Cho, 2002). 국내에서 직파재배는 1993년도부터 본격적으로 보급되기 시작하였다. 당시 직파재배 면적은 7,573 ha로 전체 벼 재배면적의 0.7%에 불과하였으나, 2년 후인 1995년에는 전체

벼 재배면적의 10.6%인 117,494 ha로 직파재배 면적이 확대되었다(NCES, 1995). 하지만 1998년 이후 직파재배는 점차 감소되어 2009년에는 전체 벼 재배면적 중 3,100 ha에서만 직파재배가 이루어졌다(Kim and Park, 2010). 이러한 직파재배면적의 감소는 직파재배가 갖고 있는 여러 문제점 중 잡초방제의 실패가 가장 큰 원인으로 알려져 있다. 직파재배의 경우 출아와 입모의 확보가 불안정하며, 파반무, 도복, 새피해, 잡초발생 등의 피해가 발생하는데, 특히 제초작업을 하지 않을 경우 어린모 기계이앙의 경우 40% 수확량이 감소하는데 비해 담수직파의 경우는 61% 수확량이 감소하여, 벼 직파재배에 있어 잡초관리의 중요성을 보여주고 있다(Kim and Pyon, 1998).

Diphenyl-ether (DPE)계 제초제인 oxyfluorfen은 주로 사과, 배, 감귤, 포도와 같은 과수원 및 비농경지에서 토양처리제로 이용되고 있다(KCPA, 2011). Oxyfluorfen은 처리 후 proto IX가 세포질에 축적되며, 광조건에서 세포막이 과산화되면서 세포가 파괴되는 작용을 지닌다(Duke et al., 1991, Matringe, 1993). 이러한 DPE계 제초제인 oxyfluorfen을 벼 재배에 활용하려는 연구는 한때 진행된 적이 있었으나 성공을 거두지 못하였다. 대표적으로 Chon et al. (1997)의 실험에서 포트에 벼를 파종 후 oxyfluorfen을 처리 후 벼의 초장과 지상부 생체중을 측정한 결과 건답조건에서는 16-33%, 담수조건에서는 53-63% 생육억제를 보였으며, 벼의 엽육 세포의 부분적 파괴 및 엽신의 두께 감소가 관찰되었다고 한다.

최근 토양미생물인 *Myxococcus xanthus*로부터 유래한 protox 유전자를 벼에 도입한 형질전환 벼인 CPPO06 이벤트가 개발되었다. CPPO06 이벤트벼는 protox저해 제초제에 대한 저항성을 지니고 있어 oxyfluorfen 사용에도 벼가 안전하며 잡초방제효과도 뛰어날 것으로 판단된다. 따라서 본 실험에서는 형질전환 CPPO06 이벤트 벼를 이용하여 담수직파 재배에서 oxyfluorfen의 처리시기 및 처리량에 따른 벼의 안전성과 잡초방제효과에 대한 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

Oxyfluorfen에 대한 CPPO06 이벤트 벼의 저항성

본 실험은 제초제 저항성 CPPO06 이벤트 벼(*Oryza sativa* L.)의 저항성 정도를 알아보기 위해 한국생명공학연구원 격리유리온실에서 수행되었다. 온실은 20/30±5°C로 유지되었으며 14 시간 보조 생장등을 사용하여 벼를 재배하였다. 모본인 동진벼와 CPPO06 이벤트 벼 종자를 3일간 28°C에서 최아시킨 후 수도용 상토(부농)를 넣은 포트(지름 8 cm, 높이 8 cm)에 파종하였다. 파종 후 14일(3엽기)에 oxyfluorfen(경농, 고을)을 0.01-10,000 g a.i. ha⁻¹의 7개 농도로 경엽처

리 하였다. Oxyfluorfen 처리 14일 후 지상부를 수확하여 2일간 60°C에서 건조한 후 건물중을 측정하였다. 실험은 완전 임의배치 4반복으로 수행하였다. 동진벼와 CPPO06 이벤트 벼에서 oxyfluorfen에 대한 GR₅₀(생장의 50%를 저해하는 농도) 값은 log-logistic 모델을 이용한 비선형회귀분석을 사용하여 구하였다(Seefeldt et al., 1995).

CPPO06 이벤트 벼의 담수직파재배

본 실험은 형질전환 CPPO06 이벤트 벼의 담수직파 재배에서 적절한 잡초방제 체계를 세우기 위하여 2014년 충남대학교 부속농장 격리포장(미래창조과학부 지정번호 LML13-111)에서 수행되었다. 시험포장은 이앙 15일전 로터리 하였으며, 이앙 2일전 썬레질 한 후 protox 저해 제초제 저항성 형질전환 벼(CPPO06 이벤트, T9 세대) 종자를 5 kg ha⁻¹ 양으로 담수직파 하였다. 시비는 N-P-K를 각각 210-70-110 kg ha⁻¹ 처리하였다. 시험구 크기는 2 m × 3 m로 3반복 완전 임의 배치하였다.

약효시험은 썬레질 직후, 파종 직후, 파종 5일후에 oxyfluorfen을 기준량(120 g a.i. ha⁻¹)으로 처리하였으며, 파종 20일과 40일에 손제초 하였다. 약효조사는 파종 30일과 60일 후 25 cm × 25 cm의 방형틀을 이용하여 발생한 잡초초종을 동정하였고, 본수 및 건물중을 조사한 후 1 m²로 환산하여 무처리 건물중에 대한 시험구 건물중의 비율로 방제가를 계산하여 약효를 평가하였다.

약해시험은 썬레질 직후, 파종 직후, 파종 5일후에 oxyfluorfen을 기준량(120 g a.i. ha⁻¹)과 배량(240 g a.i. ha⁻¹)으로 처리하였다. 약해조사는 파종 후 40일에 CPPO06 벼의 초장과 분얼수를 측정하였으며, 파종 114일 후에 초장, 간장, 수장, 수수 및 수확량을 측정하였다.

결과 및 고찰

Oxyfluorfen에 대한 CPPO06 이벤트 벼의 저항성

Oxyfluorfen 농도에 대한 동진 및 CPPO06 이벤트 벼의 반응을 살펴본 결과, 동진벼는 10 g a.i. ha⁻¹의 농도에서 생육이 억제되기 시작하여 203 g a.i. ha⁻¹에서는 생육의 50%가 저해되었으며 1,000 g a.i. ha⁻¹에서는 완전히 고사하였다(Fig. 1). 반면에 CPPO06이벤트 벼는 10,000 g a.i. ha⁻¹에서도 생육억제를 보이지 않아 oxyfluorfen에 대해 높은 저항성을 보이는 것으로 나타났다. 따라서 CPPO06 이벤트 벼의 담수직파 재배 시 oxyfluorfen 처리에 따른 약해는 없을 것으로 판단하여 포장에서의 담수직파 실험을 수행하였다.

CPPO06 이벤트 벼의 담수직파재배

약효시험

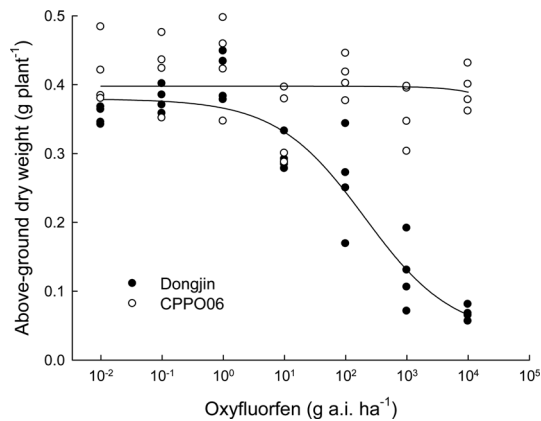


Fig. 1. The effect of oxyfluorfen on the shoot dry weight of Dongjin and CPPO06 event.

담수작과재배를 위한 실험포장에서 일년생잡초 6개 초종, 가막사리(*Bidens tripartita*), 물달개비(*Monochoria vaginalis*), 방동사니(*Cyperus amuricus*), 사마귀풀(*Aneilema keisak*), 여뀌바늘(*Ludwigia prostrata*), 강피(*Echinochloa oryzoides*)와 다년생잡초 2개 초종, 가래(*Juglans mandshurica*), 올방개(*Scirpus juncooides*)가 발생하였다(Table 1, 3). 파종 30일 조사의 경우 oxyfluorfen 처리시기에 따른 잡초방제효과에는 차이가 없었으며 가래를 제외한 모든 초종에서 90%이상의 방제효과를 나타냈다. 파종 60일 조사에서도 oxyfluorfen의 잡초방제효과가 지속되어 처리시기에 관계없이 99% 이상의 높은 방제가를 나타냈다(Table 2, 4).

Table 1. Number of annual and perennial weed species 30 days after sowing.

Application timing	Annual weeds (no. of plants m ⁻²)						Perennial weeds (no. of plants m ⁻²)		Total
	AK ^z	BT	CA	EO	LP	MV	JM	SJ	
2 DBS ^y	0.0	0.0	0.0	0.0	26.7	5.3	10.7	0.0	42.7
0 DAS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0	5.3	21.3
5 DAS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.7	0.0	10.7
HW	0.0	0.0	10.7	5.3	58.7	21.3	0.0	0.0	96.0
UC	5.3	10.7	48.0	21.3	218.7	26.7	53.3	32.0	416.0

^zAK: *Aneilema keisak*; BT: *Bidens tripartite*; CA: *Cyperus amuricus*; EO: *Echinochloa oryzoides*; LP: *Ludwigia prostrata*; MV: *Monochoria vaginalis*; JM: *Juglans mandshurica*; SJ: *Scirpus juncooides*.

^yDBS: Days before sowing; DAS: Days after sowing; HW: Hand weeding; UC: Untreated control.

Table 2. Effects of oxyfluorfen application timing on the annual and perennial weed species 30 days after sowing.

Application timing	Annual weeds (Control value, %)						Perennial weeds (Control value, %)		Total
	AK ^z	BT	CA	EO	LP	MV	JM	SJ	
2 DBS ^y	100	100	100	100	91.4	99.0	88.3	100	97.4
0 DAS	100	100	100	100	100	100	66.5	96.0	95.6
5 DAS	100	100	100	100	100	100	69.1	100	96.3
HW	100	100	68.1	94.7	89.5	42.7	100	100	86.9

^zAK: *Aneilema keisak*; BT: *Bidens tripartite*; CA: *Cyperus amuricus*; EO: *Echinochloa oryzoides*; LP: *Ludwigia prostrata*; MV: *Monochoria vaginalis*; JM: *Juglans mandshurica*; SJ: *Scirpus juncooides*.

^yDBS: Days before sowing; DAS: Days after sowing; HW: Hand weeding.

Table 3. Number of annual and perennial weed species 60 days after sowing.

Application timing	Annual weeds (no. of plants m ⁻²)						Perennial weeds (no. of plants m ⁻²)		Total
	AK ^z	BT	CA	EO	LP	MV	JM	SJ	
2 DBS ^y	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.7	0.0	26.7
0 DAS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.7	0.0	26.7
5 DAS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HW	0.0	0.0	10.7	5.3	10.7	26.7	0.0	21.3	74.7
UC	5.3	5.3	42.7	16.0	256.0	101.3	64.0	42.7	533.3

^zAK: *Aneilema keisak*; BT: *Bidens tripartite*; CA: *Cyperus amuricus*; EO: *Echinochloa oryzoides*; LP: *Ludwigia prostrata*; MV: *Monochoria vaginalis*; JM: *Juglans mandshurica*; SJ: *Scirpus juncooides*.

^yDBS: Days before sowing; DAS: Days after sowing; HW: Hand weeding; UC: Untreated control.

Table 4. Effects of oxyfluorfen application timing on the annual and perennial weed species 60 days after sowing.

Application timing	Annual weeds (Control value, %)						Perennial weeds (Control value, %)		Total
	AK ^z	BT	CA	EO	LP	MV	JM	SJ	
2 DBS ^y	100	100	100	100	100	100	77.4	100	99.2
0 DAS	100	100	100	100	100	100	86.4	100	99.5
5 DAS	100	100	100	100	100	100	100	100	100
HW	100	100	51.3	81.4	98.8	88.2	100	67.5	83.5

^zAK: *Aneilema keisak*; BT: *Bidens tripartite*; CA: *Cyperus amuricus*; EO: *Echinochloa oryzoides*; LP: *Ludwigia prostrate*; MV: *Monochoria vaginalis*; JM: *Juglans mandshurica*; SJ: *Scirpus juncooides*.

^yDBS: Days before sowing; DAS: Days after sowing; HW: Hand weeding.

Table 5. Phytotoxicity of oxyfluorfen on the CPPO06 rice event 40 days after sowing.

Treatment	Rate (g a.i. ha ⁻¹)	Plant hight (cm)	Tiller (no. plant ⁻¹)
2 DBS ^z	120	42.0±1.2	6.4±0.4
	240	39.6±0.6	6.9±0.5
0 DAS	120	41.2±0.5	7.1±0.5
	240	39.8±0.5	7.0±0.5
5 DAS	120	41.2±0.6	6.5±0.5
	240	41.6±0.7	6.8±0.4
HW	-	41.9±0.8	5.1±0.4
UC	-	35.1±0.7	4.6±0.3

^zDBS: Days before sowing; DAS: Days after sowing; HW: Hand weeding; UC: Untreated control.

약해시험

씨레질 직후, 파종직후, 파종 5일후 초장과 분얼수 조사에서 oxyfluorfen 처리시기에 따른 CPPO06 이벤트 벼의 약해는 나타나지 않았으며, oxyfluorfen 배량 처리에서도 초장과 분얼수에 차이를 보이지 않았다. 후기생육 및 수확량 조사에서 oxyfluorfen 처리시기와 처리량에 따른 차이는 나

타나지 않았다(Table 5, 6). 이는 Jung et al. (2010)의 protox 이벤트벼를 이앙 및 담수작파 재배를 할 경우 oxyfluorfen의 배량에서도 높은 저항성을 보이고 있다는 결과와 일치하였다.

본 실험은 형질전환 CPPO06 이벤트 벼를 이용하여 담수작파 재배에서 oxyfluorfen의 이용가능성을 알아보기 위하여 수행되었다. Oxyfluorfen은 토양처리제로 이용되며, 비선택성 제초제로 우수한 방제효과를 지니고 있으나, 벼에 대한 약해가 크기 때문에 벼 재배에서 사용이 불가능하였다. 최근 개발된 형질전환 CPPO06 이벤트 벼는 protox 저해 제초제에 대한 저항성을 갖고 있으며 oxyfluorfen 10,000 g a.i. ha⁻¹의 농도에서도 생육억제가 나타나지 않았다. 담수작파재배에서 oxyfluorfen 처리시기 및 처리량에 따른 CPPO06 이벤트 벼의 안전성 및 잡초방제 효과로 볼 때 앞으로 담수작파재배면적의 확대를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

형질전환 CPPO06 이벤트 벼를 이용하여 담수작파 재배에서 oxyfluorfen의 적정 처리시기 및 처리량에 대한 연구를 수행하였다. 모본인 동진벼는 10 g a.i. ha⁻¹의 농도에서

Table 6. Phytotoxicity of oxyfluorfen on the yield and yield components of a CPPO06 rice event.

Treatment	Rate (g a.i. ha ⁻¹)	Plant hight (cm)	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	No. of panicle (no. m ⁻²)	Yield (kg ha ⁻¹)
2 DBS ^z	120	95.1±1.3	72.8±0.9	14.3±0.5	448±19	6533±240
	240	92.9±0.9	71.5±0.7	14.5±0.5	484±22	6733±240
0 DAS	120	94.1±0.9	73.4±0.7	14.1±0.5	420±28	6733±176
	240	94.2±1.1	73.2±0.8	14.8±0.5	456±24	6800±306
5 DAS	120	94.5±0.9	72.4±0.9	14.0±0.5	496±22	6600±231
	240	96.4±1.0	76.1±1.0	13.1±0.5	465±37	6533±240
HW	-	90.1±1.3	71.3±1.4	12.2±0.3	487±25	5467±133
UC	-	89.5±1.0	72.7±0.8	12.2±0.5	291±10	3533±371

^zDBS: Days before sowing; DAS: Days after sowing; HW: Hand weeding.

생육이 억제되었으나, CPPO06 이벤트 벼는 oxyfluorfen 10,000 g a.i. ha⁻¹의 농도에서도 생육억제를 보이지 않아 높은 oxyfluorfen 저항성을 보이는 것으로 나타났다. Oxyfluorfen을 씨레질 직후와 파종 직후 처리한 결과 가래를 제외한 모든 발생 초종의 방제효과가 뛰어났으며, 파종 5일 후의 경우는 가래를 포함하여 모든 발생 초종이 95% 이상 방제되었다. Oxyfluorfen의 처리시기와 처리량에 따른 생육저해 현상은 없었으며, 안정적인 수확량을 확보할 수 있었다. 담수직파재배에서 oxyfluorfen 처리시기 및 처리량에 따른 CPPO06 이벤트 벼의 안전성 및 잡초방제 효과로 볼 때 담수직파재배면적의 확대가 기대된다.

주요어: 담수직파, Oxyfluorfen, 형질전환벼, 잡초방제

Acknowledgement

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project title: Safety assessment of genetically modified herbicide resistant rice event CPPO06, Project No. 009513012014)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Cho, C.H. 2002. Review on the mechanization for rice direct seeding cultivation. Master Diss., Hankyong national univ., Korea. (In Korean)
- Chon, S.U., Guh, S.U., Han, S.U., Lee, E.K. and Shin, C.S. 1997. Morphological and anatomical response of rice and barnyard - grass to oxyfluorfen under various growing conditions. Kor. J. Weed Sci. 17(3):281-287. (In Korean)
- Duke, S.O., Lydon, J., Becerril, J.M., Sherman, T.D., Lehnen, L.P., et al. 1991. Protoporphyrinogen oxidase-inhibiting herbicide. Weed sci. 39:465-473.
- Jung, H.I., Kuk, Y.I., Kim, H.Y., Back, K., Lee, D.J., et al. 2010. Resistance levels and fitness of protoporphyrinogen oxidase (PROTOX) inhibitor-resistant transgenic rice in paddy fields. Field crops research. 115(2):125-131.
- Kim, S.Y. and Park, S.T. 2010. Core direct seeding rice cultivation technology. National Crop Experiment Station, Suwon, Korea. (In Korean)
- Kim, H.H. and Pyon, J.Y. 1998. Weed occurrence and yield loss due to weeds in different direct-seeded rice paddy fields. Kor. J. Weed Sci. 18(1):12-19.
- KCPA (Korea Crop Protection Association). 2011. 2011 Guide book of using the agrochemicals. Sam Jeong Press Co., Seoul, Korea. (In Korean)
- KCS (Korea Customs Service). 2014. <http://www.customs.go.kr> (Accessed May 10, 2014).
- Matringe, M. 1993. Protoporphyrinogen oxidase the molecular target site of peroxidizing herbicides. Br. Crop protex. Conf. Weeds 703-712.
- NCES (National Crop Experiment Station). 1995. South Korea and Japan rice direct sowing seminars. National Crop Experiment Station, Suwon, Korea. (In Korean)
- Seefeldt, S.S., Jensen, J.E. and Feurst, E.P. 1995. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. Weed Tech. 9:218-227.