

Research Article

## 온도상승에 따른 논 제초제의 약효 및 약해 변동

박태선\*, 황재복, 배희수, 박홍규, 이건휘

농촌진흥청 국립식량과학원

## Change of Efficacy and Phytotoxicity of Paddy Herbicide under Temperature Rise

Park Tae-Sun\*, Jae-Bok Hwang, Hee-Soo Bae, Hong-Kyu Park and Lee Gun-Hwi

Crop Production and Physiology Division, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea

### Abstract

This study was conducted to investigate the phytotoxicity of main rice varieties and control efficacy of HPPD inhibitor to major paddy weeds at the time of temperature rise due to climate change. Phytotoxicity of herbicide to rice was increased as temperature was increased, and more severe in root than shoot. The phytotoxicity of japonica rice cultivars for the rice were mild enough to recover. However, glutinous rice, super high yield rice, and Tongil rice varieties were damaged enough to decrease the yield. Shindongjinbyeo transplanted by June 15, showed phytotoxicity enough to recover. However, in the rice field on June 30 and on July 15, the rice showed a remarkable inhibition. The control effect of *Monochoria vaginalis* and *Scirpus juncooides* was more than 90% under the temperature condition controlled artificially. However, *Echinochloa oryzicola* was controlled 40% at 27.5°C, which is a high temperature condition. In rice fields with different transplanting times, annual weeds except for *E. oryzicola* were highly controlled by 90% or more regardless of the time of transplanting.

**Keywords:** Climate change, Control efficacy, Herbicide, Phytotoxicity, Temperature rise, Weed

### 서론

산업혁명 이후 인간들의 경제활동 증가로 인한 대기 중 온실가스의 농도의 급격한 증가로 기후 온난화가 가속되어지고 있다. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)는 4차 보고서에서 지구 온난화로 인해서 1906년부터 2005년까지 기온이 전 지구적으로 약 0.74°C 상승하였다고 보고한 바 있다(IPCC, 2007; KMA, 2008).

기후온난화로 온도가 상승하면 작물보다도 대부분 C<sub>4</sub> 식물인 잡초들이 더욱 민감하게 반응을 하기 때문에 기존 농경지에서 발생 초종 및 우점 정도가 변화할 것으로 예상된다(Allena et



OPEN ACCESS

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

Received: June 2, 2017  
Revised: August 16, 2017  
Accepted: August 31, 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.

al., 2016; Aruna et al., 2016; Ziska, 2016). 또한 국내에서 쌀값 하락과 고령화로 벼농사를 포기하고 있는 농가들이 증가하여 가구당 경지면적이 증가하기 때문에 벼 이앙시기가 상대적으로 늦을 가능성이 있으며, 또한 남부지역의 맥류 이모작 재배로 6월 중순 이후 온도가 높은 시기에 이양하게 된다. 그리고 최근에는, 비록 선택성이 약하여 약해발생 가능성이 높지만, ALS (acetolactate synthase) 및 ACCase (acetyl-CoA carboxylase)저해제 저항성 잡초방제 효과적인 HPPD (4-hydroxy phenylpyruvate dioxygenase)저해 제초제가 광범위하게 사용되어 지고 있다. 이와 같이 기후변화 및 이양시기 지연에 따른 온도상승은 제초제들에 의한 작물의 약해와 잡초들에 대한 약효에도 많은 영향을 미칠 것으로 예상된다.

대부분 제초제들은 온도가 상승할수록 제초제 흡수가 높아지고, 이행과 대사가 빨라진다(Kim et al., 1989; Park et al., 1991; Pyon et al., 1994). 또한 온도가 상승하면 잡초의 발아 및 생육이 빠르기 때문에 제초제 흡수량이 증가하여 약효도 조기에 나타나고, 대체적으로 약효도 증가한다(Kim et al., 2005). 그러나 제초제에 의한 잡초의 약효 증가는 작물에 약해를 발생시킬 가능성이 매우 높다.

최근 제초제 저항성 잡초 증가로 국내 논에서 주로 사용되고 있는 benzobicyclon 등 HPPD 저해제들에 대한 약해 민원이 증가하고 있는데, 이는 온도가 상승함에 따라 약해가 더 심하게 나타나기 때문이다(Kwon et al., 2012; Yang et al., 2014). 따라서 본 연구는 기후변화 및 국내 농업환경 변화에 따라 지금보다 온도가 상승하는 조건에서 벼 이양 및 제초제를 처리할 경우 국내 주요 벼 품종들에 대한 약해 및 주요 잡초들에 대한 약효 변화를 구명하고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 온도조건에 따른 주요 벼 품종별 약해 변동 연구

서로 다른 온도조건에서 제초제들에 대한 국내 벼 주요 품종들의 약해 변동 연구는 경기도 수원에 위치한 국립식량과학원 내의 비닐하우스 및 인공기상실에서 각각 실시하였다. 논 포장 내에 설치한 비닐하우스(가로 3 m, 세로 20 m, 높이 2.5 m)는 비 가림 식으로 하였으며, 통풍을 최대한 고려하였다. 시험기간은 2014년 6월 1일부터 7월 12일까지 약 40일간 실시하였으며, 시험기간 중 비닐하우스 내의 평균온도는 매일 아침 10시에 측정된 온도로 하였다. 시험기간 중 하우스 내의 평균온도는 Fig. 1과 같이, 하우스 내의 평균온도는 대기온도 보다 약 3°C 높았던 것으로 나타났다. 인공기상실에서 국내 주요 벼 품종별 약해 실험은 경기도 수원 국립식량과학원에서 실시하였으며, 온도는 지하로부터 가열 및 냉각되는 통로를 통하여 이동된 공기로 조절되었다.

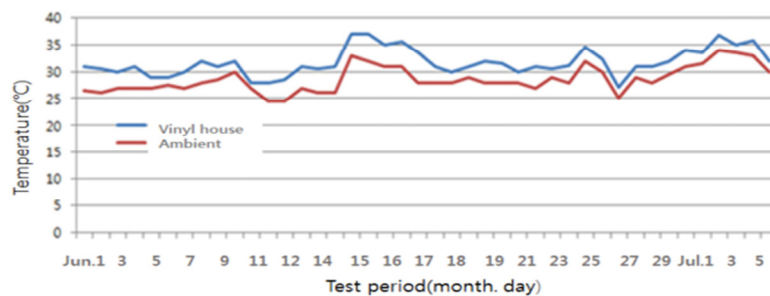


Fig. 1. Changes in the vinyl house and atmospheric temperatures measured at 10 am daily from June 1, 2014 to July 12, 2014.

온도조건은 20°C (24/16-주/야), 22.5°C (26.6/18.5), 25°C (29/21) 그리고 27.5°C (31.5/23.5)로 낮과 밤의 시간을 각각 13시간 및 11시간으로 유지하였으며, 광조건은 자연광을 이용하였다. 야외 비닐하우스 시험에 사용된 국내 주요 벼 품종들인 황금누리, 신동진, 호품, 추청, 삼광, 일품, 오대, 조평, 운광 일반계 밥쌀용 9품종과 상주찰, 보석찰, 신선찰, 백설찰, 흑향 특수미 5품종, 통일계 품종인 남천 및 다산, 그리고 초다수성 품종인 드래찬과 보람찬 2품종을 각각 공시하였다. 인공기상실에서는 일반계 밥쌀용 추청, 황금누리, 호품, 삼광, 운광 일반계 밥쌀용 5품종, 상주찰, 백석찰, 신선찰, 보석찰, 동진찰 찰벼 4품종과 통일계인 남천을 대상으로 하였다. 시험에 사용된 pot는 45×35×25 cm (가로×세로×높이)를 사용하였으며, 세밀하게 마쇄되어진 식양토에 벼를 pot 당 각각 3주씩 이식하여 3반복으로 하였다. 시험에 사용된 제초제들은 최근 국내 논에서 제초제 저항성 잡초들이 확산되어 짐에 따라 저항성 물달개비 및 올챙이고랭이 등을 방제하기 위하여 국내 논에서 광범위하게 사용 중인 HPPD 저해제가 포함된 혼합제 benzobicyclon+mefenacet+phenoxsulam (3+18+0.5)% 액상수화제를 사용하였다. 파종 후 12일 육묘된 어린 모 포기 당 3주씩 이양한 포트에 제초제를 처리한 후 20일에 약해정도를 지상부인 줄기와 지하부인 뿌리의 생육 정도를 달관으로 조사하였다.

### 온도조건별 주요 논 잡초 초종들의 약효 변동 연구

본 실험은 경기도 수원에 위치한 작물과학원 인공기상실 내에서 실시하였다. 실험에 공시된 잡초 초종들은 논에서 문제 일년생 잡초들인 강피, 물달개비, 올챙이고랭이 3 초종의 종자 및 다년생 잡초인 올방개 괴경을 받아 시킨 후 pot (45×35×25 cm : 가로×세로×높이)에 각각 약 2 mm 정도 발아된 개체를 각각 30개씩 3반복으로 파종하였다. 파종 후 10일에 HPPD 저해 제초제 혼합제인 benzobicyclon+mefenacet+phenoxsulam (3+18+0.5)% 액상수화제를 처리하였다. 방제효과는 약제 처리 후 20일에 잡초 초종별 생체중으로 무처리구 대비 방제가를 계산하였다.

### 논에서 온도상승(이양시기)에 따른 제초제의 약효 및 약해 변동

본 실험은 실질적으로 논에서 온도상승에 따른 잡초 약효 및 벼에 대한 약해 변동 정도를 보기 위하여 전북 익산에 위치한 국립식량과학원 연구 포장에서 실시하였다. 이양 시기는 2015년 6월 5일, 6월 15일, 6월 30일, 7월 15일로 달리하여 신동진 벼를 이양하였다. 시험기간 동안 평균온도, 최고온도, 최저온도는 Fig. 2와 같으며, 평균 및 최고온도는 이양시기가 늦어질수록 높아졌다. Table 1에서 보는 바와 같이 제초제 처리 시기는 이양 후 12일에 하였으며, 제초제 처리 일에 평균온도 및 최고온도는 제초제 처리시기가 늦어질수록 온도상승 폭은 높았다. 제초제 처리 후 10, 20, 30, 40일에 약해 조사를 달관으로 하였으며, 약효조사는 약제처리 후 15일과 25일에 m<sup>2</sup>당 초종별 무처리구 대비 생체중으로 계산하였다.

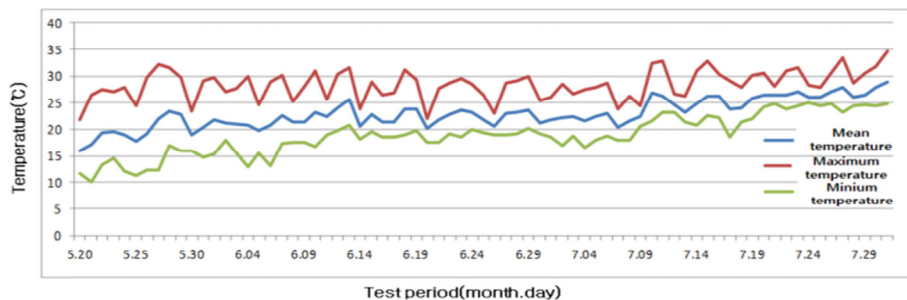


Fig. 2. The comparing of the temperature during the experiment to investigate the effects and phytotoxicity of the herbicides on the temperature rise (transition time) in rice paddy.

**Table 1.** Mean temperature and maximum temperature change by herbicide treatment time in rice paddy.

Transplanting time	Time of herbicide treatment	Mean temperature (°C)	Maximum temperature (°C)
June 5	June 17	22.1	27.3
June 15	June 27	22.5	27.9
June 30	July 12	25.2	29.3
July 5	July 27	27.9	31.8

## 결과 및 고찰

### 온도조건별 주요 벼 품종들의 약해 변동 연구

대기온도 보다도 시험기간 중에서 평균온도가 약 3°C 높은 야외비닐하우스 조건에서 일반계, 특수미, 초다수성, 통일계 열아홉 벼 품종들에 대한 약해를 기준량 및 배량에 대하여 조사한 결과는 Table 2와 같다. 황금누리 등 일반계 9 품종들은 기준량에서 약제별 다소 차이가 있으나 약해가 2정도 발생하여 시간이 경과함에 회복할 정도였다. 그러나 배량에서 일반계 모든 품종들은 3-4 정도의 수량이 감소될 정도의 약해가 발생하였다. 그리고 특수벼인 찰벼 품종들은 기준량부터 약해가 3으로 나타났으며, 그 중에서도 백설찰은 다른 품종들 보다 약해 발생정도가 상대

**Table 2.** The phytotoxicity degree of main rice variety to benzobicyclon+mefenacet+phenoxsulam SC<sup>x</sup> in vinyl house being 3°C higher than the atmospheric temperature.

Rice type	Rice cultivar	Phytotoxicity <sup>y</sup> after herbicide treatment (0-9)	
		1X <sup>z</sup>	2X
Japonica (general rice for the rice)	Hwanggeumnuli	2	4
	Sindongjin	2	3
	Hopum	2	3
	Chucheong	2	3
	Samgwang	2	3
	Ilpum	2	4
	Odae	2	4
	Jopyeong	2	3
	Ungwang	2	3
Japonica (glutinous rice)	Sangiuchal	3	3
	Sinseonchal	3	4
	Baekseolchal	3	4
	Bosukchal	3	4
	Heughyang	3	3
Japonica (super high yield rice)	Deulaechan	4	5
	Bolamchan	5	6
Tongil	Namcheon	4	6
	Dasan	4	7

<sup>x</sup>SC: suspension concentrate, <sup>y</sup>phytotoxicity degree: 0 no injury, 9 complete killed, <sup>z</sup>1X: recommended dose.

적으로 낮았다. 그리고 초다수성 및 통일계 품종들은 약해정도는 기준량에서도 수량이 10% 이상 감소될 것으로 추정되는 4 이상으로 다소 심하게 생육이 억제되었다. 따라서 기후변화로 인하여 온도가 3°C 높을 경우 현재 광범위하게 사용하고 있는 benzobicyclon 같은 HPPD 저해제 혼합제들은 시험에 사용된 국내 주요 벼 품종들에 대하여 약해가 발생하였다. 특히 찰벼, 초다수성과 통일계 품종들에 대하여서는 약해정도가 심하게 나타났다. 기후변화에 따른 온도상승뿐만 아니라 최근 벼농사 경영주의 고령화 및 쌀값하락에 따른 논 농업포기 농가가 증가되어 최근에 가구당 경지면적이 증가하고 있는 실정이다. 또한 최근에 벼농사는 이앙과 농약처리는 대부분 위탁하는 실정으로 물관리가 부실로 HPPD 저해제들에 대한 약해 민원이 증가하고 있다. 그리고 남부지역 맥류재배 후 벼 2모작 재배지는 이앙시기가 주로 6월 하순에 실시되어 지고 있어 고온기에 벼에 대한 약해발생이 우려된다.

온도조건을 달리하고 자연광을 이용한 인공기상실 조건에서 현재 국내 논에서 광범위하게 사용되어 지고 있는 제초제 benzobicyclon+mefenacet+phenoxsulam 액상수화제에 대한 벼 일반 밥쌀용 자포니카 품종 추청 등 5품종, 찰벼 품종들인 상주찰 등 6품종에 대한 지상부인 줄기와 지하부인 뿌리의 약해정도는 Table 3 및 4와 같다. Table 3에서와 같이 추청 등 밥쌀용 자포니카 품종들의 약해는 온도가 증가 할수록 증가하였으며, 지상부인 줄기보다 지하부 뿌리에서 약해가 심하게 나타났다. 현재 농가에서 주로 많이 이앙하는 시기인 5월 하순부터 6월 상순까지의 평균온도인 20-22.5°C까지는 지상부에서 약해가 2정도로 경미하였다. 그러나 25°C 이상 고온조건에서는 약해가 품종에 따라서 다소 차이가 있으나 뿌리에서 3 이상의 다소 심한 약해가 발생하였고, 지상부인 줄기는 2정도로 시간이 경과함에 따라 회복되었다. 그러나 고온인 27.5°C에서 뿌리의 약해는 거의 생육이 되지 않을 정도로 억제되었고, 지상부인 줄기에서도 4-5정도의 다소 심하게 생육억제 되었다. Benzobicyclon+mefenacet+phenoxsulam (3+18+0.5)% 액상수화제에 대한 상주찰 등 찰벼 및 통일계통 남천 대한 온도조건별 약해정도는 Table 4와 같다. 공시된 모든 품종은 온도조건에 관계없이 지상부 보다 지하부에서 상대적으로 약해정도가 심하게 나타났다. 품종별

**Table 3.** The phytotoxicity degree of main general rice variety to benzobicyclon+ mefenacet+phenoxsulam SC under different mean temperature.

Temperature (°C)	Chucheong		Hwanggeumnuli		Hopum		Samgwang		Ungwang	
	Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root
20.0	0 <sup>z</sup>	2	1	3	0	1	0	2	0	1
22.5	1	2	1	3	1	2	1	2	0	1
25.0	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
27.5	5	8	5	7	5	6	5	6	5	7

<sup>z</sup>Phytotoxicity degree: 0 no injury, 9 complete killed.

**Table 4.** The phytotoxicity degree of Chalbyeo and Tongil rice varieties to benzobicyclon+mefenacet+phenoxsulam SC under different mean temperature.

Temperature (°C)	Sangjuchal		Bosukchal		Sinseonchal		Baekseolchal		Dongchal		Namcheon	
	Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root
20.0	1 <sup>z</sup>	2	1	2	1	2	1	2	1	2	3	4
22.5	2	3	3	4	1	2	1	2	1	2	4	5
25.0	3	4	4	4	5	6	5	6	5	6	6	7
27.5	5	6	5	5	6	7	6	7	6	7	9	9

<sup>z</sup>Phytotoxicity degree: 0 no injury, 9 complete killed.

약해정도를 보면 통일벼인 남천은 상대적으로 저온인 20°C에서 약해가 지상부 및 지하부에서 각각 3과 4를 보였고, 고온인 27.5°C에서는 줄기와 뿌리가 모두 고사하였다. 찰벼 품종들의 약해정도는 온도조건 및 품종 별 차이가 있었으며, 신선찰, 백설찰 및 동진찰 품종들은 22.5°C 이하 온도에서는 약해정도가 상대적으로 낮게 나타났다. 그러나 25°C 이상에서는 상주찰벼 및 보석찰벼 보다 오히려 높은 약해가 높았으며, 특히 뿌리의 약해정도가 7 이상으로 거의 생육이 억제되었다.

### 논에서 온도상승(이앙시기)에 따른 제초제의 약효 및 약해 변동

이앙시기를 6월 5일, 6월 15일, 6월 30일 그리고 7월 15일로 하여 논 포장조건에서 온도상승에 따른 약해정도를 제초제 처리 후 경과일수별로 조사하였다. Table 5에서와 같이 벼에 대한 약해정도는 이앙시기가 늦어질수록, 즉 온도가 상승할수록 약해가 증가하였다. 6월 5일 및 6월 15일 이앙일의 약해정도는 처리 후 20일까지 2정도로 경미하게 발생하였으나 시간이 경과할수록 완전히 회복하였다. 그러나 6월 30일 이앙(평균온도 25.2°C)에서는 처리 후 20일에 약해가 3이상으로 다소 심하게 나타났고, 7월 15일 이앙 논에서는 벼의 억제현상이 처리 후 40일까지 생육 억제가 뚜렷하게 지속되었다. 6월 30일 이후 이앙부터는 최고기온이 30°C 이상 높게 나타나는데, 실제적으로 논에 제초제를 처리 후 담수되어진 논의 수온은 대기온도 보다 훨씬 높게 나타남으로 약해 발생할 가능성이 높다.

**Table 5.** The phytotoxicity degree of rice to benzobicyclon+mefenacet+phenoxsulam SC by rice transplanting time in rice paddy.

Transplanting time	<sup>1</sup> Phytotoxicity by elapsed days after herbicide treatment			
	10 DAT <sup>2</sup>	20 DAT	30 DAT	40 DAT
June 5	1	1	0	0
June 15	2	2	1	0
June 30	3	3	2	1
July 15	4	4	4	3

<sup>1</sup>Phytotoxicity degree: 0 no injury, 9 complete killed.

<sup>2</sup>DAT: days after treatment.

### 온도조건별 주요 논 잡초 초종들의 약효변동 연구

Table 6은 온도가 서로 다르게 설정된 인공기상실 조건에서 일년생 잡초들인 강피, 물달개비, 올챙이고랭이와 다년생 잡초인 올방개에 대한 제초제 benzobicyclon+mefenacet+phenoxsulam (3+18+0.5)% 액상수화제에 대한 방제효과를 나타낸 것이다. 제초제 처리 후 25일에 일년생 잡초들의 방제효과는 평균온도가 20°C 및 22.5°C에서는 모두 95% 이상의 매우 높은 방제효과를 보였다. 특히 물달개비와 올챙이고랭이는 조사된 모든 온도에서 100%의 방제효과를 보였다. 그러나 강피는 평균온도 27.5°C에서 40%의 낮은 방제효과를 보였다. 이와 같이 고온인 27.5°C에서는 40%의 낮은 방제효과를 보인 것은 고온에서 제초제 흡수량은 높으나 강피 내에서 제초제 성분이 활성화되지 못하고 불활성화 되어 배출되었을 가능성이 높을 것으로 생각되나 추가 실험이 필요할 것으로 생각된다. 다년생 잡초 올방개는 처리 후 15일에는 조사된 모든 평균온도에서 방제효과가 40-80%를 보였으나 약제처리 후 25일에는 90% 이상의 방제효과를 보였다.

이앙시기를 달리하여 온도상승에 따른 잡초 초종별 발생량은 Table 7에서와 같이 주로 물달개비, 강피, 올챙이고랭이가 90% 이상 우점하였다. 잡초발생량은 6월 30일 이앙 이후부터 급속하게 감소하기 시작하였는데, 이는 제초제 처리 후 약 10일 이상 동안 무처구에서도 조사를 위하여 논물을 담수하여 두기 때문에 수온이 40°C 이상 고온

**Table 6.** The control of main paddy weeds to benzobicyclon+mefenacet+phenoxsulam SC under different temperature.

Temperature (°C)	<i>Echinochloa oryzicola</i>		<i>Monochoria vaginalis</i>		<i>Scirpus juncooides</i>		<i>Eleocharis kuroguwai</i>	
	Control value (%)							
	15 DAT <sup>z</sup>	25 DAT	15 DAT	25 DAT	15 DAT	25 DAT	15 DAT	25 DAT
20.0	65	95	100	100	75	95	40	90
22.5	100	100	100	100	90	100	55	90
25.0	85	95	100	100	95	100	70	95
27.5	60	40	100	100	100	100	80	95

<sup>z</sup>DAT: days after treatment**Table 7.** The weed number occurred by rice transplanting time in rice paddy.

Transplanting time	Weed number (plant/m <sup>2</sup> )				
	<i>Echinochloa oryzicola</i>	<i>Monochoria vaginalis</i>	<i>Scirpus juncooides</i>	<i>Ludwigia prostrata</i>	<i>Eleocharis kuroguwai</i>
June 5	81	135	96	19	13
June 15	113	157	88	21	9
June 30	27	31	23	0	4
July 15	15	14	18	0	3

**Table 8.** The control of main paddy weeds to benzobicyclon+mefenacet+phenoxsulam SC by rice transplanting time in rice paddy.

Transplanting time	Control value (%)					
	<i>Echinochloa oryzicola</i>	<i>Monochoria vaginalis</i>	<i>Scirpus juncooides</i>	<i>Ludwigia prostrata</i>	<i>Eleocharis kuroguwai</i>	Total
June 5	94	100	97	100	93	95
June 15	93	97	100	100	85	87
June 30	91	95	97	97	70	92
July 15	73	97	93	100	65	95

(조사한 일별 수중 온도 생략)으로 상승하여 대부분의 잡초들이 고온으로 유묘기에 고사하는 것을 관찰하였다. 따라서 기후변화로 인하여 온도 상승시 논 잡초 초종별 수온에서 생존 적응정도에 따라 잡초 초종별 우점도 등의 변화가 예상된다. 이양시기별 benzobicyclon+mefenacet+phenoxsulam (3+18+0.5)% 액상수화제에 대한 잡초 초종별 방제효과는 Table 8과 같다. 잡초방제효과는 6월 30일 이양까지는 다년생 잡초인 올방개를 제외한 모든 초종은 90% 이상의 방제효과를 보였다. 물달개비, 올챙이고랭이는 이양시기 즉 온도조건에 관계없이 95% 이상의 매우 높은 방제효과를 보였다. 그러나 7월 15일 이양한 다음 12일 후에 제초제 처리하였을 경우 강피의 방제효과가 73%로 다른 온도조건에 비해 상대적으로 낮은 방제효과를 보였다. 이는 인공기상실에서 실시한 온도조건별 강피 방제 효과에서 평균온도가 27.5°C에서 방제효과가 60%로 상대적으로 낮게 나타난 것과 유사하여 이들 온도에서는 공시된 제초제가 강피에 흡수되어 활성화되지 못하고 불활성화되어 방제효과가 낮게 나타날 가능성이 있으나 추후 세밀한 검토가 요구 된다.

## 요약

본 연구는 기후변화로 인한 온도가 상승할 경우 현재 국내에서 널리 사용되어 지고 있는 되어 지고 있는 HPPD 저해 제초제에 대한 주요 벼 품종들의 약해와 논 잡초들의 약효 변동정도를 구명하기 위하여 실시하였다. 온도가 높을수록 벼의 약해정도는 높게 나타났으며, 줄기보다 뿌리에서 약해정도가 더 심하게 나타났다. 대기온도 보다 약 3°C 높은 비닐하우스 조건에서 일반계 밥쌀용 자포니카 벼 품종들은 회복할 정도로 약해 경미하게 발생하였다. 그러나 찰벼, 초다수성벼, 통일벼 품종들은 수량이 감소될 정도로 약해가 발생하였다. 인공기상실 조건에서 일반계 밥쌀용 자포니카 벼 품종의 약해는 품종에 따라 차이가 있으나 고온조건인 27.5°C에서 4-8로 생육이 심하게 억제되었거나 고사하였다. 그러나 찰벼와 통일벼 품종들은 25°C 이상에서 약해가 심각하게 발생하였으며, 통일계 품종인 남천은 27.5°C에서 완전히 고사하였다. 논에서 이앙시기별 벼 약해실험에서 밥쌀용 자포니카 품종인 신동진벼는 6월5일(평균온도 22.1°C) 및 6월15일(평균온도 22.5°C)에 이앙한 논에서 약해는 경미하게 발생하였다. 그러나 6월30일 이앙(평균온도 25.2°C)한 논에서는 약해가 3이상이었고, 고온인 7월15일에 이앙(평균온도 27.9°C)한 논에서는 벼가 뚜렷한 억제현상을 보였다. 온도조건을 달리한 인공기상실에서 benzobicyclon+mefenacet+phenoxsulam액상수화제에 대한 물달개비, 올챙이고랭이, 올방개의 방제효과는 약제 처리 후 25일에 90% 이상의 높은 효과를 보였다. 그러나 강피의 방제효과는 25°C까지는 95% 이상의 방제효과를 보였으나 고온조건인 27.5°C에서는 40%의 낮은 방제효과를 보였다. 이앙시기가 서로 다른 논에서는 잡초발생량은 6월 30일 이후 이앙 논에서는 현저히 감소하였다. 일년생 잡초들인 물달개비, 올챙이고랭이, 여뀌비늘은 이앙시기에 관계없이 90% 이상의 높은 방제효과를 보였다. 그러나 강피는 7월15일 이앙(평균온도 27.9°C)한 논에서 방제효과가 다른 이앙시기에 비하여 상대적으로 낮은 73% 방제효과를 보였다. 다년생 잡초 올방개는 온도가 상승함에 따라 약효가 감소하는 것으로 나타나 인공기상실에서 조사된 결과와는 차이가 있었다. 따라서 기후변화로 인한 대기의 온도가 상승할 경우 제초제에 대한 벼의 약해가 발생할 가능성이 높다. 논에서는 우점잡초 변화가 예상되고, 일년생 잡초들 중에서 물달개비 및 올챙이고랭이는 온도상승으로 제초제 약효에 크게 영향을 받지 않으나 강피는 약 27°C에서 방제효과가 저조하게 나타났다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by a project grant from the cooperative research program for Agricultural Science and Technology Development (Project No. PJ0115772017) of the RDA.

## REFERENCES

- Allena, J.M. and Brucey, B.A. 2016. Out of the weeds? Reduced plant invasion risk with climate change in the continental United States. *Biological Conservation*. 203:306-312.
- Aruna, V. and Jugulam, M. 2016. Impact of climate change factors on weeds and herbicide efficacy. *Advances in Agronomy* 135 :107-146
- IPCC spelling. 2007. Special report on emissions scenarios. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Kang, T.G. and Pyon, J.Y. 1995. Absorption, translocation and metabolism of bensulfuron in rice and weeds at different temperatures. *Kor. J. weed Sci.* 15(4):321-328. (In Korean)



- Kim, J.S., Na, J.Y. and Cho, K.Y. 1989. Influences of temperature and light on the herbicidal activity of bleaching herbicides. *Kor. J. weed Sci.* 9(3):87-194. (In Korean)
- Kim, S.E., Park, Y.S. and Ahn, A.H. 2005. Absorption and translocation behavior of glyphosate as affected by contact herbicide carfentrazone-ethyl. *Kor. J. weed Sci.* 25(1):62-69. (In Korean)
- KMA. 2008. Understanding of climate change and application of climate change scenario (1). Korea Meteorological Administration. (In Korean)
- Kwon, O.D., Shin, H.K., Ahn, Lee, N.Y. and Kuk, Y.I. 2012. Response of phytotoxicity on rice varieties to HPPD-inhibiting herbicides in paddy rice fields. *Kor. J. weed Sci.* 32(3):240-255. (In Korean)
- Lee, T.S. and Hyun, L.S. 2012. Analyzing consumptive use of water and yields of paddy rice by climate change. *Jurnal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(1):47-54. (In Korean)
- Park, C.W., Pyon, J.Y. and Kim, Y.W. 1991. Absorption, translocation and metabolism of naproanilide in rice and paddy weeds under different temperature conditions. *Kor. J. weed Sci.* 11(3):87-194. (In Korean)
- Pyon, J.Y., Kang, K.S. and Ryang, H.S. 1994. Absorption and translocation of dithiopyr and its mechanism of selectivity in rice and barnyardgrass. *Kor. J. weed Sci.* 14(1):23-27. (In Korean)
- Yang, W.H., Son, J.Y., Kim, J.H., Park T.S. and Yoon, Y.H. 2014. Phytotoxicity of whole crop forage rice to benzobicyclon. *Weed & Turf.* 3(3):225-231. (In Korean)
- Ziska, L.H. 2016. The role of climate change and increasing atmospheric carbon dioxide on weed management: Herbicide efficacy. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 231(1):304-309.