

Prochloraz와 fludioxonil 혼용침지소독에 의한 벼 키다리병 방제

박우식 · 최효원 · 한성숙 · 신동범¹ · 심형권² · 정은선³ · 이세원 · 임춘근⁴ · 이용환*

농촌진흥청 국립농업과학원 농업미생물과, ¹국립식량과학원 작물환경과, ²국립식량과학원 바이오에너지작물센터, ³국립종자원 재배시험과, ⁴강원대학교 농업생명과학대학 응용생물공학과

Control of Bakanae Disease of Rice by Seed Soaking into the Mixed Solution of Prochloraz and Fludioxonil

Woo-Sik Park, Hyo-Won Choi, Seong-Suk Han, Dong-Beum Shin¹, Hyeong-Kwon Shim², En-Seon Jung³, Se-Weon Lee, Chun-Keun Lim⁴ and Yong Hwan Lee*

Agricultural Microbiology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

¹Crop Environment Research Division, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

²Bioenergy Crop Research Center, National Institute of Crop Science, RDA, Muan 534-833, Korea

³Variety Testing Division, Korea Seed & Variety Service, Anyang 430-061, Korea

⁴Division of Bio-Resources Technology, College of Agriculture and Life Science, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

(Received on July 13, 2009)

These experiments were conducted to improve the effect of seed disinfection on rice seed severely infected Bakanae disease by seed soaking into mixed solution of prochloraz EC and fludioxonil FS. We investigated the effects of various concentrations of two fungicides mixed solution on spore germination and mycelial growth of *Fusarium fujikuroi*. Mycelial growth was inhibited 100% at 10 µg/ml of prochloraz and 33.3% at 80 µg/ml of fludioxonil. Spore germination was inhibited 81.4% at 40 µg/ml of prochloraz. Interestingly, mixed solution of 5 µg/ml or 10 µg/ml of each fungicide inhibited 100% of mycelial growth and 99.2% of spore germination, respectively. Severely infected rice seeds soaked into mixed solution composed of 125 µl/ml of prochloraz and 50 µl/ml of fludioxonil showed 2.1% of disease symptoms compared to 20.4% of prochloraz 125 µl/ml, but higher concentrations of prochloraz decreased the seedling stand rate. When the seed soaking time was longer and temperature was higher, control effect on Bakanae disease was improved, but seedling stand was lower about 80% over 35°C.

Keywords : Bakanae disease, Fludioxonil, Mixing solution, Prochloraz, Rice

벼 키다리병(병원균 *Fusarium fujikuroi*)은 1898년 일본에서 Hori에 의해서 처음 보고되었고(김, 1981), 우리나라의 경우 1960년대 이후에 일부농가에서 심하게 발생하였지만, prochloraz 등의 키다리병에 효과가 우수한 종자소독제가 도입되면서 농가에서는 크게 문제시 되지 않았다(박 등, 2003). 그러나 최근 전국 못자리에서의 키다리병 발생이 증가하여 2003년 2.9%, 2004년에는 4.3%의 발생률을 보였으며(명 등, 2005), 2006년에는 전국적으로

28.8%가 발생한 것으로 보고되었다(Han, 2007). 벼 키다리병은 종자전염을 하기 때문에 종자소독을 소홀히 할 경우 못자리 뿐만 아니라 본답 후기까지 생육에 영향을 미쳐 수량 감소와 쌀의 품질 저하를 일으키는데(김, 1981), 유수형성기 이후에 키다리 증상을 나타낸 벼 줄기에 밀생한 병원균은 개화시기에 강우 후 새벽에 분생포자가 비산, 낙하하여 자신의 논뿐만 아니라 인근의 건전한 벼에 까지 병을 옮기게 되므로 종자소독을 철저히 해야 하는 병이다(Furuta, 1970).

국내에서 시판 중인 농약 가운데 prochloraz를 포함한 17종의 살균제의 포자발아 검정, 균사생장 검정, Komada 배지에서의 병원균 검출 검정, 온실 검정 등의 종합적인

*Corresponding author

Phone) +82-31-290-0419, Fax) +82-31-290-0406

Email) leeyhlee@korea.kr

효과 검증에서 prochloraz가 가장 효과가 좋은 것으로 보고되었다(신 등, 2008). 박 등(2003)은 prochloraz 유제로 침지소독 시 30~35°C 정도의 온도를 유지하는 것이 키다리병 방제에 효과적이라고 보고하였다. 그러나 최근 연구에서 키다리병균이 종자의 배나 배유 안에 포자와 균사의 형태로 심하게 감염되어 있고 이렇게 종자 내부에 감염된 병원균 포자의 경우 prochloraz에 의해 완전히 소독되지 않는다고 보고되었다(박 등, 2008). 따라서 본 연구에서는 키다리병균에 심하게 감염된 벼 종자를 대상으로 prochloraz와는 작용 기작이 다르면서 포자 발아 억제력이 탁월한 것으로 알려진 fludioxonil(Tomlin, 2006)과의 혼합을 통해 키다리병균의 포자발아와 균사생장 억제 효과를 높여 종자소독 효과를 증진시키고자 약제 혼용 방법, 혼용 농도, 혼용 시 침지온도의 차이에 따른 키다리병 방제효과를 검증하였다.

재료 및 방법

공시재료 및 공시균주. 실험에 사용한 키다리병 감염 종자는 2007년 경기도 이천 포장에서 발병주율이 40% 이상인 포장에서 수확한 주남벼와 오대벼 종자를 온실 검정과 Komada 배지를 이용하여 종자별로 병원균 분리를 통해 종자의 100% 감염률을 확인한 후 실험에 사용하였다. 병원균은 이병 식물체에서 분리·동정한 *F. fujikuroi* cf106 균주를 PDA 배지를 이용하여 28°C 배양기에서 7일간 배양하여 사용하였다(박 등, 2008). 키다리병 종자소독 효과검정에 사용한 살균제는 프로클로라즈 유제(prochloraz 25% EC)와 플루디옥소닐 종자처리역상수화제(fludioxonil 10% FS)를 사용하였다.

균사생장 억제 검증. Prochloraz EC와 fludioxonil FS 혼용 시 균사생장 억제 상승효과를 검토하기 위해서 prochloraz는 10.0, 5.0, 1.0, 0.0 µg/ml, fludioxonil은 80.0, 40.0, 20.0, 10.0, 5.0, 1.0, 0.5, 0.0 µg/ml의 농도로 각각 혼합하여 각 혼합 조합을 첨가한 potato dextrous agar(PDA) 배지의 중앙에 배양한 병원균을 직경 5 mm의 균사 조각으로 떼어내어 접종하고 10일간 배양 후 균총의 직경을 조사하였다. 균사생장 억제율은 약제를 첨가하지 않은 배지의 균총의 직경과 비교하여 다음의 계산식으로 구하였다.

균사 생장 억제율(%) = $\{1 - (\text{살균제 배지에서의 균총의 직경} / \text{무처리 배지에서의 균총의 직경})\} \times 100$

포자발아 억제 검증. Prochloraz EC와 fludioxonil FS 혼용 시 포자발아 억제 상승효과를 검토하기 위해서 prochloraz는 40.0, 20.0, 10.0, 5.0, 1.0, 0.0 µg/ml, fludioxonil

은 10.0, 5.0, 1.0, 0.5, 0.0 µg/ml 농도별로 혼합 희석한 각각의 약액에 병원균의 포자현탁액을 접종하였다. 포자현탁액이 포함된 약액을 플라스틱 상자에 보관하여 28°C에서 18시간 동안 배양한 후 처리 당 3반복씩, 반복 당 300개의 포자를 대상으로 광학현미경을 이용하여 포자 발아율을 조사하였다.

포자현탁액은 potato dextrose broth(PDB)에서 28°C, 150 rpm 조건으로 5일간 진탕 배양하여 배양액에 형성된 소형포자를 수확 후 멸균수로 세척한 포자를 농도 1×10⁶/ml로 조정하였으며, 영양분으로서 PDB 0.12% 첨가하였다(신 등, 2008).

Prochloraz와 fludioxonil 혼용침지 처리(이하 ‘혼용침지소독’)에 의한 키다리병 방제효과 검증. 식물체에 영향을 주지 않으며 방제효과가 우수한 혼용침지소독 농도 조합을 찾고자 prochloraz는 500 µg/ml, 250 µg/ml, 125 µg/ml, 0 µg/ml 농도로, fludioxonil은 100 µg/ml, 50 µg/ml, 25 µg/ml, 0 µg/ml 농도별로 각각 혼합하여 혼합된 약액에 주남벼 종자를 30°C, 48시간 침지 처리하였다. 혼용침지소독 시 온도에 따른 키다리병 방제효과를 조사하기 위하여 prochloraz 125 µg/ml, fludioxonil 50 µg/ml 농도로 혼용한 약액에 오대벼 종자를 침지하고 침지온도를 15°C, 20°C, 25°C, 30°C, 35°C로 조절하여 침지시간을 24시간과 48시간 처리하였다. 대조구로 prochloraz EC를 125 µg/ml 농도로 30°C, 48시간 침지 처리하였다. 파종량은 모판당 130 g을 기준으로 하여 직경 10 cm, 높이 4 cm의 포트에 처리별로 4반복씩 파종하여 완전임의배치법으로 온실에서 재배하였고 28일 후 포트 당 발병 개체수와 입모수를 조사하였다. 키다리병 발병조사는 도장묘 뿐만 아니라 도장 후 고사묘, 연녹색을 띠면서 1본엽과 2본엽의 사이가 45° 이상 벌어지거나 파종 후 3주 후에도 3본엽이 출현하지 않는 묘를 키다리병 발병묘로 조사하였다. 처리간의 유의성 검정과 prochloraz와 fludioxonil 혼용 처리 시 요인 사이의 상호작용효과를 분석하기 위해서 SAS 통계 프로그램의 ANOVA procedure(SAS 9.1.3 Service Pack 4)를 이용하여 균사생장 억제율과 포자발아 억제율에 대한 2요인 분산분석을 실시하였다.

온도에 따른 종자 내부로의 수분 흡수 비교. 약제 침지 온도에 따른 약제의 종자 내부로의 흡수정도를 간접적으로 확인하기 위해 종자 내 수분 함량이 높을수록 toluidine blue 염색이 잘 이루어진다고 보고한 Lourdes 등(2009)의 실험방법을 변형하여 키다리병 감염종자를 0.03% toluidine blue 용액에 침지 후 20°C, 30°C 항온기에서 24시간 치상하고 각각의 시료를 종단면으로 절단하여 실체현미경을 이용하여 호분층과 배 부분에 염색 여부를 관찰하였다.

결 과

Prochloraz와 fludioxonil 혼용 처리에 의한 균사 및 포자발아 억제 농도 규명. 균사생장 억제 검정에서는 prochloraz의 단독 사용 시 10 µg/ml 처리에서 100% 억제 한 반면 fludioxonil은 80 µg/ml 처리에서 33.3%의 낮은 억제율을 나타냈다. 두 가지 살균제의 혼용 시 prochloraz 5 µg/ml와 fludioxonil 5 µg/ml 혼용처리에서부터 100% 억제율을 보였다(Table 1). 포자발아 억제 검정의 경우 단계 처리 비교 시 prochloraz 10 µg/ml 처리에서 77.9%의 억제율을 보인 반면 동일한 농도의 fludioxonil 사용시 94.4%의 억제율을 나타내었다. Prochloraz 40 µg/ml 처리에서 81.4%의 억제율을 보였지만 prochloraz 10 µg/ml와 fludioxonil 10 µg/ml 혼용처리에서는 99.2%의 포자 발아 억제율을 보였다(Table 2).

균사생장 억제에 미치는 두 약제의 효과를 요인 분석한 결과 각 요인별 F값이 prochloraz는 674.63**, fludioxonil은 59.61**으로 prochloraz가 균사생장억제효과가 탁월하

Table 1. Inhibition ratio of mycelial growth of *Fusarium fujikuroi* by mixed solution of prochloraz and fludioxonil^a

Fludioxonil (µg/ml)	Inhibition ratio of mycelial growth (%)			
	Prochloraz (µg/ml)			
	0.0	1.0	5.0	10.0
0.0	0.0	89.0	94.8	100.0
1.0	29.1	92.4	97.7	100.0
5.0	48.1	91.5	100.0	100.0
10.0	29.7	95.7	100.0	100.0
20.0	71.9	94.0	100.0	100.0
40.0	36.2	91.9	100.0	100.0
80.0	33.3	92.8	100.0	100.0

^aMycelial diameter of *F. fujikuroi* cf 106 was measured after incubation for 10 days at 28°C on PDA with or without fungicide.

Table 2. Inhibition ratio of spore germination of *Fusarium fujikuroi* by mixed solution of prochloraz and fludioxonil^a

Fludioxonil (µg/ml)	Inhibition ratio of spore germination (%)					
	Prochloraz (µg/ml)					
	0.0	1.0	5.0	10.0	20.0	40.0
0.0	0.0	77.5	80.1	77.9	86.4	81.4
0.5	81.6	90.7	94.7	92.6	97.0	94.8
1.0	85.7	95.5	95.7	94.4	97.8	96.0
5.0	96.3	97.6	98.2	98.3	99.3	98.6
10.0	94.4	97.1	98.3	99.2	97.9	98.5

^aSpore germination of *F. fujikuroi* cf106 was investigated after incubation for 18 hrs at 28°C.

다는 것을 알 수 있었고, 상호작용 효과도 F값이 28.66**으로 높아 두 약제의 혼용에 의한 상승효과를 확인할 수 있었다(Table 3). 포자발아 억제에 미치는 효과의 경우는 각 요인별 F값이 prochloraz는 514.31**, fludioxonil은 940.05**으로 fludioxonil의 포자발아 억제효과가 탁월하고, 상호작용 효과도 F값이 230.34**으로 상승효과도 크다는 것을 알 수 있었다(Table 3).

Prochloraz와 fludioxonil 혼용침지 농도에 따른 키다리병 방제효과 검정. Prochloraz와 fludioxonil 혼용침지 처리 시 약제 요인 사이의 상호작용효과를 분석하기 위해 키다리병 발병율과 입모율에 대한 2요인 분산분석을 실시하였다. 키다리병 발생은 fludioxonil을 단독으로 사용할 경우 25 µg/ml 사용 시 발병율은 100%를 보였으며, 기준 사용량 50 µg/ml, 기준사용 약량의 2배 사용 시 발병율 37.4%, 20.3%로 그 효과가 낮았다. Prochloraz를 단독으로 사용할 경우 기준사용량 125 µg/ml으로 처리했을 경우 20.4% 그 효과가 낮았지만, 기준사용 약량의 2배, 4배 처리에서는 모두 6%의 발병율을 나타냈다. 두 약제의 혼용 시 prochloraz 125 µg/ml과 fludioxonil 25 µg/ml의 처리에서부터 3.9% 발병율 보이며 prochloraz 500 µg/ml 단

Table 3. Analyses of variance (ANOVA) of inhibition ratio of spore germination and mycelial growth of *Fusarium fujikuroi* by mixed solution of prochloraz and fludioxonil

Source	Spore germination (%)		Mycelial growth (%)	
	df	F-value ^a	df	F-value
	Prochloraz	5	514.31**	6
Fludioxonil	4	940.05**	6	59.61**
Prochloraz × fludioxonil	20	230.34**	36	28.66**
Error	60		98	

** and ** represent significant effects at the P=0.05 and P=0.01 level of probability, respectively, and ns represent not significant at the P=0.05.

Table 4. Effects of the seed soaking by mixed solution of prochloraz and fludioxonil on rice seed disinfection for controlling *Bakanae* disease

Fludioxonil (µg/ml)	Diseased nursery plants (%)			
	Prochloraz (µg/ml)			
	0	125	250	500
0	100.0 a p ^a	20.4 a q	6.0 a r	6.0 a r
25	100.0 a p	3.9 b q	3.8 ab q	3.2 ab q
50	37.4 b p	2.1 b q	2.9 ab q	3.1 ab q
100	20.3 c p	2.4 b q	1.5 b q	0.8 b q

^aMeans followed by the same letter within column (a) and row (p) are not significantly different by Duncan's test at 5% level.

독사용 보다 발병율이 확연히 낮아지는 것을 확인하였다. Prochloraz 500 µg/ml과 fludioxonil 100 µg/ml 혼용 시 발병율이 0.8%로서 키다리병 억제효과가 매우 높았다(Table 4). 그러나 입모율의 경우에는 무처리는 85.6%로 가장 낮은 입모율로 다른 처리와 통계적으로 차이가 있었고 fludioxonil 25 µg/ml에서 92.1%로 가장 높았다. Prochloraz는 125 µg/ml와 250 µg/ml에서 각각 89.4%와 90.4%인 반면 무처리와 500 µg/ml에서는 각각 85.6%와 86.8%로 두 그룹 간에 통계적으로 유의성을 나타냈다(Table 5).

키다리병 발병에 미치는 각 요인별 F값은 prochloraz는 876.04**, fludioxonil은 161.10**으로 두 약제 모두 고도의 유의성이 있었지만 prochloraz의 농도가 높아질수록 방제효과 증가 정도가 매우 높았다. 두 약제의 상호작용도 F값도 94.2**로 상승작용 효과도 크다는 것을 알 수 있었다(Table 6). 그러나 입모율의 경우 단제 사용 시 약제농도가 높아질수록 prochloraz의 F값이 4.16**으로 입모율에 영향을 준 반면 fludioxonil은 F값이 1.58^{ns}로 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었지만 상호작용효과는 F값이 3.17**로 크다는 것을 보여 주었는데(Table

Table 5. Comparison of the seedling stand rate by mixed solution of prochloraz and fludioxonil on rice seed disinfection for controlling *Bakanae* disease

Fludioxonil (µg/ml)	Seedling stand rate (%)			
	Prochloraz (µg/ml)			
	0	125	250	500
0	85.6 b q ^a	89.4 ab pq	90.4 a p	86.8 a q
25	92.1 a p	87.9 b q	88.8 a pq	88.5 a pq
50	89.4 ab p	89.0 ab pq	87.1 ab pq	85.0 a q
100	87.4 ab pq	92.5 a p	84.2 b q	85.3 a q

^aMeans followed by the same letter within column (a) and row (p) are not significantly different by Duncan's test at 5% level.

Table 6. Analyses of variance (ANOVA) of *F. fujikuroi* infected nursery plants and seedling stand rate in the nursery boxes as the concentration of mixed solution of prochloraz and fludioxonil

Source	df	F-value ^a	
		Diseased nursery plants (%)	Seedling stand (%)
Prochloraz	3	876.04**	4.16**
Fludioxonil	3	161.10**	1.58 ^{ns}
Prochloraz × fludioxonil	9	94.92**	3.17**
Error	32		

** and ** represent significant effects at the $P=0.05$ and $P=0.01$ level of probability, respectively, and ns represent not significant at the $P=0.05$.

6), prochloraz와 fludioxonil의 250+100 µg/ml 조합은 84.2%, 500+50 µg/ml과 500+100 µg/ml 조합은 각각 85.0%와 85.3%로 입모율이 낮아졌다(Table 5). 이상의 결과를 토대로 키다리병 억제효과를 높이고 입모율에 영향을 주지 않으면서 fludioxonil의 약량을 최소화할 수 있는 적정농도를 발병율 2.1%(방제가 97.9%), 입모율 89.0%인 prochloraz 125 µg/ml과 fludioxonil 50 µg/ml로 결정할 수 있었다.

Prochloraz와 fludioxonil 혼용 침지시간 및 온도에 따른 키다리병 방제 효과 검정. 벼 종자 침지소독 시 온도가 높아질수록 키다리병 발생이 적어졌는데 30°C에서 48시간 침지 시 96.7%로 방제가 가장 높았다(Table 7). 대조구인 prochloraz 단제 처리의 경우 30°C 48시간 침지에서도 57.6%의 방제가를 보인 반면 혼용침지소독의 경우 15°C에서 24시간, 48시간 침지에서 73.4%와 84.6%로 대조구보다 통계적으로 높은 방제효과를 나타내었고 침지시간이 길수록 그 효과가 높았다. 침지시간과 온도별로 요인분석 한 결과 침지온도와 시간의 F값이 각각 5.98**과 12.22**로 고도의 유의성을 나타내어 침지온도가 높고 시간이 길어질수록 키다리병 발생이 감소한 반면 두 요인의 상호작용효과는 없었다(Table 8). 입모율은 침지시간에 관계없이 온도가 35°C에서 급격히 떨어져 48시간 침지 시 78.9%로 무처리 86.8%에 비해서도 낮았고(Table

Table 7. Effects of seed soaking hours and temperatures of the mixed solution of 3% fludioxonil and 25% prochloraz on rice seed disinfection for controlling *Bakanae* disease^a

Soaking treatments	Diseased nursery plants ^b	Control value (%)	Seedling stand rate (%)	
				Hours
24	15	21.2 c ^c	73.4	94.8 a
	20	12.6 d	84.2	90.9 ab
	25	6.1 de	92.3	87.7 bc
	30	6.8 de	91.5	88.2 bc
	35	9.2 de	88.5	81.7 ed
48	15	12.3 d	84.6	89.8 abc
	20	10.5 de	86.8	90.0 abc
	25	9.2 de	88.5	92.6 ab
	30	2.6 e	96.7	88.0 bc
	35	6.8 de	91.5	78.9 e
Prochloraz (30°C, 48 hrs)	33.8 b	57.6	84.1 cde	
Control	79.8 a	-	86.8 bcd	

^aSeed disinfection was conducted by soaking rice seed in the mixed solution of prochloraz 125 µg/ml and fludioxonil 50 µg/ml.

^bDisease incidence was investigated 28 days after sowing.

^cMeans followed by the same letter within column are not significantly different by Duncan's test at 5% level.

Table 8. Analyses of variance (ANOVA) of *F. fujikuroi* infected nursery plants and seedling stand in the nursery boxes as the concentration of mixed solution of prochloraz and fludioxonil

Source	df	F-value ^a	
		Diseased nursery plant (%)	Seedling stand (%)
Hour	1	5.98*	0.53 ^{ns}
Temperature	4	12.22**	14.35**
Hour × Temperature	4	2.76 ^{ns}	2.19 ^{ns}
Error	20		

^a** and ** represent significant effects at the $P=0.05$ and $P=0.01$ level of probability, respectively, and ns represent not significant at the $P=0.05$.

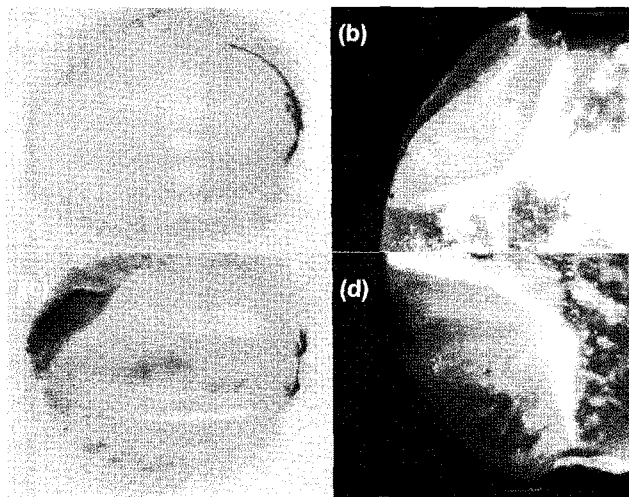


Fig. 1. Exterior (a, c) and embryo longitudinal section (b, d) of hulled rice after soaking in toluidine blue solution. Hulled rice were soaked in 0.03 % toluidine blue solution for 24 hrs at 20°C (a, b) and 30°C (c, d), respectively. Blue dyeing of toluidine blue in the seed showed the absorbed water into the seed.

7), 요인분석 결과도 F값이 14.35**로 온도에서만 고도의 유의성을 보였고 두 요인의 상호작용은 나타나지 않았다 (Table 8).

온도에 따른 종자 내부로의 수분 흡수 비교. 침지 온도에 따라 종자 내부의 염색 정도를 비교한 결과 20°C에서는 배 뿐만 아니라 호분층에서도 염색여부를 확인할 수 없었다. 30°C의 경우에는 배 안쪽의 일부분과 호분층에서 푸른색으로 염색된 것을 확인할 수 있었다(Fig. 1).

고찰

박 등(2003)은 30°C 이상의 온도에서 침지 소독 시 95% 이상의 방제가 가능하다고 보고하였다. 그러나 키다리병

균에 의해 심하게 감염된 종자의 경우 prochloraz에 의해 종피에 감염된 균사는 사멸하지만 포자는 완전히 소독되지 않는다고 보고되었고(박 등, 2008), 본 실험에서는 관행적인 30°C에서 48시간 prochloraz의 단독 침지에 의한 방제효과는 57.6%로서 매우 낮았다(Table 7). 이러한 차이는 우선 시험에 사용된 종자감염 정도가 다른데, 박 등(2003)의 실험은 무처리 발병율이 5% 미만인 종자를 사용했던 반면 본 실험에서는 무처리 발병율이 80% 이상 발생하였다. 키다리병 발병 조사의 경우에도 본 실험에서는 파종 4주 후에 도장묘 뿐만 아니라 도장 후 고사묘, 연녹색을 띠면서 1본엽과 2본엽의 사이가 45° 이상인 별 어지거나 파종 후 3주 후에도 3본엽이 출현하지 않는 묘 등을 개체별로 구별하여 조사한 반면 박 등은 도장묘만을 키다리병으로 판단하여 평가가 이루어진 것으로 사료되었다. 본 실험에서도 무처리를 제외한 모든 처리에서 도장묘가 많지 않아 방제효과가 높은 것으로 판단되었으나 시간이 흐름에 따라 앞에서 언급했던 묘들이 키다리병으로 진전되는 것을 확인할 수 있었다(자료 미 제시). 특히 파종 1주 이내에 도장한 묘는 3주 이전에 고사하기 때문에 묘 개체별로 고사묘를 조사하기 전에는 정확한 평가가 불가능했다. 이와 같이 도장묘만을 키다리병으로 판단할 경우에는 방제 효과가 있는 것처럼 보이지만 종자 내부의 소독되지 않은 포자에 의해 못자리 후기에 병 발생이 급증할 수 있기 때문에 키다리병 방제용 종자소독제 개발 시 못자리 후기까지 방제효과를 검증할 필요가 있을 것으로 생각되었다.

균사생장억제 검정의 경우에는 prochloraz의 단독 처리 시 균사생장 억제효과가 우수했던 반면 fludioxonil의 단독 사용은 그 효과가 매우 저조하였다. 그러나 혼용처리 시 각각 5 µg/ml의 낮은 농도에서도 100% 균사생장 억제하는 높은 상승효과를 확인하였다(Table 1). 포자발아 억제효과의 경우에는 단계 처리 시 prochloraz에 비해 fludioxonil의 효과가 더 우수하였고 혼용처리 시 각각 5 µg/ml의 낮은 농도에서도 그 억제효과가 98% 이상으로 상승한다는 것을 알 수 있었다(Table 2).

벼 종자의 수분 흡수는 온도와 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있으며(오 등, 1983), 종자소독 시 prochloraz의 경우 수온에 따른 벼 키다리병 방제효과는 수온이 상승됨에 따라 방제 효과가 증가 한다고 알려져 있다(박 등, 2003). 본 실험 결과에서 종자로의 수분흡수가 낮은 온도에서는 원활히 이루어지지 않음을 알 수 있었고(Fig. 1), 침지온도가 상승함에 따라 키다리병 발병이 감소하는 것을 확인하였다. 그런데 prochloraz와 fludioxonil의 혼용 시 20°C 이하의 저온에서도 고온의 prochloraz 단계 보다

도 방제효과가 높게 나타났다(Table 7). 이것은 두 약제의 혼용 시 저 농도에서도 효과적으로 포자와 균사를 억제할 수 있기 때문에 종자내부로 적은 양의 약제만 침투하여도 효과적으로 포자를 살균할 수 있고 이에 따라 키다리병 발병이 감소하였다고 판단되었다.

혼용침지소독 시 고농도(Table 5)와 고온(Table 7)에 의해 입모율이 낮아지는 경향을 보였는데, prochloraz와 같은 imidazole 살균제의 부작용으로 거베라의 분얼억제효과 등이 보고(Werbrouck 등, 2001)되어 있기 때문에 prochloraz의 경우 농도를 주의하여 사용해야 할 것으로 사료되었다.

이상의 결과에서 키다리병균에 심하게 감염된 종자의 경우에는 단계로는 방제효과가 낮고 상호보완적으로 기작이 서로 다른 약제의 혼용처리 시 방제효과가 높아진다는 것을 알 수 있었다. 혼용에 관한 연구는 benzimidazole계 살균제에 속하는 thiophanate-methyl과 triflumizole 혼용하여 벼 종자에 처리 시 komada 배지상에서의 병원균 검출 억제효과가 증가하였으나(Suzuki, 1994), benomyl과 thiram 혼용 시 균사생장 억제효과는 증가하지만 komada 배지에서는 병원균의 검출에서는 억제효과가 낮았다고 보고하였다(신 등, 2008). 이처럼 약제 혼용 시 그 효과는 모두 증가하는 것이 아니므로 각 약제의 특성을 정확하게 파악하며 다양한 검정을 통하여 그 효과를 확인하고 최종적으로 농사 현장에서 사용하기 편리한 혼합제의 개발을 제안한다.

요 약

본 연구에서는 키다리병에 심하게 감염된 종자를 prochloraz EC와 fludioxonil FS을 혼용하여 종자소독 효과를 증진시키기 위해 혼용처리 시 병원균 균사 및 포자 억제효과를 분석하고 혼용조건을 설정하였다. 균사생장 억제 검정에서는 단계 사용 시 prochloraz는 10 µg/ml 처리에서 100% 억제한 반면 fludioxonil은 80 µg/ml 처리에서 33.3%의 억제율을 나타내었고, 두 가지 살균제의 혼용 시 각각 5 µg/ml씩 혼용처리에서 100% 억제하였다. 포자발아 억제 검정의 경우 prochloraz 40 µg/ml 단독 처리에서 81.4% 발아를 억제하였지만 prochloraz와 fludioxonil 각각 10 µg/ml 혼용처리에서는 99.2%의 억제율을 보였다. 감염종자를 대상으로 혼용침지소독 시 prochloraz 125 µl/ml와 fludioxonil 50 µl/ml 혼용 침지할 경우 발병율이 2.1%로 높은 방제 효과를 보이고 입모율에는 영향을 미치지 않았지만 prochloraz 농도가 높아질수록 입모율이 낮아지는 경향이 있었다. 침지시간이 길고 온도가 높을수록 키다리병 방제효과가 증진된 반면 35°C 이상

에서는 입모율이 80% 내외로 낮아지는 경향을 보였는데 관행방법인 prochloraz 125 µl/ml 단독으로 30°C에서 48 시간침지 시 57.6%의 방제가를 나타낸 반면 prochloraz 125 µl/ml와 fludioxonil 50 µl/ml를 혼용하여 30°C에서 48 시간 침지할 경우 방제가 96.7%, 입모율 88.0%로 키다리병 방제에 효과적이면서 식물체에 안정적인 방제효과를 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 2009년 농촌진흥청 연구개발과제(과제번호:200901OFT072251296)의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Furuta, T. 1970. Problems on the infection and control of rice bakanae disease. *Plant Prot. Japan*. 24: 141-144.
- Han, S. 2007. Review of disease occurrence of major crops in Korea in 2007. *Proceedings of Annual Falling Meeting & Symposium of KSPP*. 19-20.
- Hayasaka, T., Ueno, K. and Ishguro, K. 2002. Seed disinfection using hot water immersion to control several seed-borne diseases of rice plants. *Bulletin of the Yamagata Prefectural Exp. Stn*. 36: 67-78.
- Ito, S. and Kimura, J. 1931. Studies on Bakanae disease of the rice plant. *Hokkaido. Agri. Exp. Stn*. 27: 1-95.
- 김장규. 1981. 벼 키다리병의 발생생태에 관한 연구. *한국식물보호학회지* 20: 146-150.
- Lourdes I. V. Amaral, Ângelo L. Cortelazzo, Marcos S. Buckeridge, Luiz A. R. Pereira and Maria F. D. A. Pereira 2009. Anatomical and biochemical changes in the composition of developing seed coats of annatto (*Bixa orellana* L.). *Trees* 23: 287-293.
- 명인식, 박경석, 홍성기, 박진우, 심홍식, 이영기, 이상엽, 이승돈, 이수현, 최홍수, 최효원, 허성기, 신동범, 나동수, 예완해, 조원대. 2005. 2004년 주요 농작물 병해 발생개황. *식물병연구* 11: 89-92.
- 오용비, 김상수, 심이성. 1983. 상자유묘 시 키다리병효과 구명 시험. *작물시험장 시험연구보고서(수도편)*. pp. 299-303.
- 박홍규, 신해룡, 이인, 김석언, 권오도, 박인진, 국용인. 2003. 벼 종자소독 시 수온, 처리시간 및 약량이 벼 키다리병 발병에 미치는 영향. *한국농약학회지* 7: 216-222.
- 박우식, 예완해, 이세원, 한성수, 이준성, 임준근, 이용환. 2008. 온탕소독과 prochloraz 침지소독이 벼 종자에 감염된 *Fusarium fujikuroi*의 포자와 균사의 형태에 미치는 영향에 대한 전자현미경적 연구. *식물병연구* 14: 176-181
- 신명옥, 이수민, 이용환, 강효중, 김홍태. 2008. 몇 가지 살균제의 벼 키다리병과 병원균에 대한 효과 검정. *농약과학회지*

- 12: 168-176.
- Suzuki, M., Hamamura, H. and Iwamori, M. 1994. Relationship between formulations of triflumizole and their efficacy to Bakanae disease in rice seed treatment. *J. Pesticide Sci.* 19: 251-256.
- Tomlin, C. D. S. 2006. A world compendium the pesticide manual. BCPC, Hampshire. 1349 pp.
- Umehara, Y. 1975. Infection of "Bakanae" disease of rice plant. *Proc. Assoc. Pl. Prot. Hokuriku* 23: 11-13.
- Werbrouck, S. P. O., Dhuyvetter, H., Pérez, R. M., Topoonyanont N. and Debergh, P. C. 2000. Plant Propagation In vitro: Hormonal Interactions. *Acta Hort. (ISHS)* 560: 377-381.