

몇 가지 살균제의 벼 키다리병과 병원균에 대한 효과 검정

신명욱 · 이수민 · 이용환¹ · 강효중² · 김흥태*

충북대학교 농업생명환경대학 응용생명환경학부 식물의학전공, ¹농업과학기술원 농업생물부, ²충북농업기술원 시험연구부 농업환경과
(2008년 5월 6일 접수, 2008년 5월 31일 수리)

The Controlling Activity of Several Fungicides against Rice Bakanae Disease Caused by *Fusarium fujikuroi* in Five Assay Methods

Myeong Uk Shin, Su Min Lee, Yong-Hwan Lee¹, Hyo Jung Kang² and Heung Tae Kim*

Laboratory of Plant Fungal Pathogen, College of Agriculture, Life Science and Environment, Chungbuk National University, ¹Plant Pathology Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, ²Chungbuk Agricultural Research and Extension Services

Abstract

Recently damage of rice bakanae disease disseminated by infected seeds increased in paddy field in Korea. For controlling rice bakanae disease, the efficacy of 17 fungicides was assessed by 5 kinds of bioassay, spore germination test (SGT), mycelial growth test, detection test on Komada's medium (KDT), pouch test (PT) and greenhouse test (GT). Among ergosterol biosynthesis inhibiting fungicides, prochloraz showed a high controlling activity in all the assay systems while the others showed very low activity except for 500 $\mu\text{g/ml}$ of hexaconazole in GT and 500 $\mu\text{g/ml}$ of triflumizole in KDT. Although benomyl and the mixture of benomyl and thiram showed a good activity at 100 and 500 $\mu\text{g/ml}$ in SGT and PT, respectively, in GT they did a middle activity. Trifloxystrobin and kresoxim-methyl included in strobilurins showed a good activity even at 20 $\mu\text{g/ml}$ in KDT as well as a middle activity in SGT. Also a high activity not only at 10 $\mu\text{g/ml}$ in SGT but also at 100 $\mu\text{g/ml}$ KDT was detected in thiram. The activity of fludioxonil was confirmed in SGT, KDT and PT. Based on these results, it is very important to determine a bioassay system, because the fungicidal activity against rice bakanae disease was fluctuated depending on a assay systems as well as the mechanism of fungicide.

Key words rice bakanae disease, fungicidal activity, prochloraz

서 론

벼(*Oryza sativa*)는 외떡잎식물 벼목 화본과의 한해살이식물로, 우리나라의 대부분의 지역에서 재배되며, 연간 쌀 생산량은 약 4,590톤 정도로 가장 중요한 재배 작물이다. 벼에 발생하는 병해로는 37종 정도가 보고되어있는데, 대표적인 진균 병으로는 *Magnaporthe grisea*에 의한 도열병, *Rhizoctonia solani*에 의한 잎집무늬마름병, *Cochliobolus miyabeanus*에

의한 깨씨무늬병, *Gibberella fujikuroi*에 의한 키다리병 등이 있다(한국식물병리학회, 2004). 그 중에서 키다리병은 *G. fujikuroi*(무성세대: *Fusarium moniliforme*)에 의해 발생하는 대표적인 종자전염성 병해로서, 이 병원균은 완전세대와 불완전세대로 구분할 수 있으며, 보통 피해를 주는 것은 불완전세대의 병원균에 의해서 나타난다. 불완전세대인 *Fusarium*은 경제적으로 중요한 농작물에 피해를 줄뿐만 아니라 사람, 동물에 까지도 독성을 가지고 있으며, 식물 성장 호르몬인 gibberellin을 생산하는 병원균으로 알려져 있다(Kuhlman, 1982). *Fusarium*속의 분류는 아직까지도 어려움이 있는데,

*연락처 : Tel. +82-43-261-2556, Fax. +82-43-271-4414
E-mail: htkim@cbnu.ac.kr

Synder와 Tousson(1965)은 *F. moniliforme* Sheldon 하나만을 section *Liseola*에 속하는 병원균으로 인정하였다. 그러나 Nelson 등(1983)은 *F. moniliforme*, *F. anthophilum*, *F. proliferatum*, *F. subglutinans*, *F. succisae*로 다시 구분하였고, Nirenberg(1989)는 *F. anthophilum*, *F. fujikuroi*, *F. proliferatum*, *F. sacchari*, *F. succisae*와 *F. verticillioides*로 구분하였으나, 아직도 그 분류 체계에 대해서는 많은 논란이 되고 있다.

키다리병균은 논의 벼꽃이 필 때에 감염된 종자를 파종하면 못자리에서부터 발병이 시작되며, 감염이 심한 종자는 병원균이 종자 내부까지 침입하여 종자 소독으로도 방제가 어려운 실정이다. 이병 종자의 경우, 배아와 배젓까지 감염된 경우는 각각 16%와 28%, 그리고 52%의 종자는 왕겨에 감염되어 있다고 보고되어 있다. 병원균에 감염된 묘는 출수가 어렵고 출수해도 잘 여물지 못하며, 성장한 묘는 분얼이 적고 마디는 담갈색으로 변하며 흔히 위쪽의 마디에서 가근이 나온다. 이러한 증상 중에서 유묘가 비정상적으로 도장하는 병징 때문에 키다리병이라는 이름이 붙여졌다. 우리나라에서는 1960년에 일부 농가에서 크게 발생한 적이 있는데, 살균제를 이용하여 종자 소독을 철저히 수행한 결과, 병발생을 억제할 수 있어서 크게 문제시 되지 않는 병으로 인식되어졌다. 그러나 최근 기온이 상승하고, 친환경 재배를 위하여 종자소독제를 사용하지 않는 등의 여러 가지 원인에 의하여 키다리병의 발생이 증가하고 있는데, 2006년에는 전국적으로 28.8%가 발생한 것으로 보고되었다(Han, 2007).

우리나라에서의 키다리병에 관한 연구는 1980년대 초반에 이루어져, 병원균 발생과 피해 해석(성 등, 1984), 벼 키다리병의 발생 생태(김, 1981), 벼 종자소독시 수온, 처리시간 및 약량이 벼 키다리병 발병에 미치는 영향(박 등, 2003), 키다리병 방제를 위한 종자소독 방법(황 등, 2005) 등에 대한 연구가 진행되었다. 하지만 다양한 살균제를 종자 처리하였을 때 어떤 효과가 나타나는 지를, 살균제 특성에 관점을 맞추며 살균제를 선발하고자 하는 실험은 수행되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 다양한 검정법을 이용하여 서로 다른 그룹에 속하는 살균제의 효과와 그 살균제가 갖는 작용특성 등을 조사하고자 하였다. 이러한 결과는 앞으로 다양한 살균제를 가지고서 키다리병처럼 종자 전염을 하는 식물병의 방제제를 선발하는데 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 생각한다.

재료 및 방법

사용한 병원균

벼 키다리병 증상이 보이는 벼의 종자를 수확하여 증류수로 세척한 후, 1% NaOCl을 가지고 표면 소독하였다. 소독한 종자는 Komada 배지(Water, 1 L; L-asparagine, 2 g; D-galactose, 20 g; MgSO₄·7H₂O, 0.5 g; K₂HPO₄, 1 g; KCl, 0.5 g; Fe(EDTA), 5 mg; Agar, 20 g; quintonzene, 1 g; oxgall, 0.5 g; Na₂B₄O₇·10H₂O, 1 g; streptomycin sulfate, 300 mg)에 올려 28°C에서 배양하였다. Komada 배지에서 형성된 균총에서 체인상으로 형성된 소형 분생포자를 확인한 후, 단포자 분리를 수행하였다. 단포자 분리한 병원균은 형태적인 특징과 elongation factor EF-1α의 핵산 분석 및 벼 유묘에서의 병원성 검정을 통하여 *F. fujikuroi* FMJ1으로 동정하고, 실험에 사용하였다. 병원균은 28°C의 감자한천 (PDA) 사면 배지에서 배양하여 4°C에 보관하면서 실험에 사용하였으며, 장기 보관을 위하여 멸균수에 접종하여 상온에서 보관하였다.

실험에 사용한 살균제

살균제의 작용기작에 따라서 총 17종의 살균제를 선발하여 실험에 사용하였다. 식물 병원 진균의 ergosterol 생합성을 저해하는 살균제로서 prochloraz(a.i. 25%, EC), tebuconazole(a.i. 25%, WP), hexaconazole(a.i. 2%, SC), difenoconazole(a.i. 10%, WP), triflumizole(a.i. 30%, WP)을 선발하였고, β-tubulin 단백질의 중합을 억제하는 것으로 보고되어 있는 benzimidazole계 살균제로서 benomyl(a.i. 50%, WP)과 thiophanate-methyl(a.i. 70%, WP)을 선발하였고, benomyl과 thiram의 혼합제(a.i. 20과 20%, WP)와 thiophanate-methyl과 triflumizole과의 혼합제(a.i. 15와 45 %, WP)도 동시에 선발하여 효과를 검정하였다. Strobilurin계 살균제로서는 trifloxystrobin(a.i. 22%, SC)과 kresoxim-methyl(a.i. 42%, SC), azoxystrobin(a.i. 20%, SC)을 실험에 사용하였으며, 보호용 살균제로는 mancozeb(a.i. 75%, WP), propineb(a.i. 70%, WP), thiram(a.i. 26.5%, SC)을 그리고 fludioxonil(a.i. 10%, SC)과 iprodione(a.i. 50%, WP)을 선발하여 효과를 검정하였다.

감염 종자의 준비와 살균제를 이용한 종자 소독

키다리병의 발생이 심하였던 포장의 주남벼 종자를 실험에 사용하였다. 자연 감염되어 있는 주남벼 종자는 실험에 사용하기 전에 병원균인 *F. fujikuroi* FMJ1을 접종하여 실험에 사용하였다. 포자농도를 1×10^6 개/mL로 조정된 FMJ1의

포자 현탁액에 주남비의 종자를 25°C에서 2일간 침종하고 상온에서 1일간 건조시킨 후 실험에 사용하였다. 준비한 감염 종자는 30°C의 살균제 용액에서 1일간 침지하여 소독하였으며, 이 때 살균제 용액의 농도는 500, 100, 20, 4 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 로 맞추어 사용하였다.

포자 발아 검정(SGT, spore germination test)

PDA 배지에 접종하여 28°C에서 7일간 배양한 *F. fujikuroi* FMJ1의 균사 조각을 감자즙액 배지(PDB)에 접종하고, 28°C에서 150 rpm으로 5일간 진탕배양하였다. 형성된 소형분생포자는 수확하여 살균증류수로 세척한 후, 실험에 사용하였다. 선발한 살균제는 최종농도가 100, 10, 1.0, 0.1 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 가 되도록 처리하였으며, 이 때 포자의 최종농도는 1×10^5 개/mL로 조정하였다. 정해진 농도로 살균제를 처리한 FMJ1은 습실처리한 플라스틱 상자에 보관하여 28°C에서 6시간 동안 배양하였다. 반복당 300개의 포자를 조사하여 포자 발아율을 조사하였으며, 모든 처리는 3반복씩 조사하였다.

균사생장 검정(MGT, mycelial growth test)

실험에 사용한 각각의 살균제를 100, 20, 4, 0.8, 0.16 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 가 되도록 PDA배지에 첨가하여 살균제 첨가 PDA배지를 준비하였다. 실험에 사용한 베키다리병균인 *F. fujikuroi* FMJ1을 PDA배지에 접종하여 28°C에서 7일간 배양한 후 접종원으로 사용하였다. FMJ1의 균사선단에서 직경 5 mm의 균사 조각을 떼어내어 살균제가 첨가된 PDA배지의 중앙에 접종한 후, 28°C에서 7일간 배양하고 병원균 균총의 직경을 조사하였다. 병원균에 대한 살균제의 균사 생장 억제 효과는 아래 식을 통하여 계산하였다.

균사생장 억제 효과 (%)

$$= (1 - \text{살균제 첨가 PDA배지상에서의 균총의 직경} / \text{살균제 무첨가 PDA배지상에서의 균총의 직경}) \times 100$$

Komada 배지에서의 병원균 검출 검정(KDT, *Fusarium* detection test on Komada medium)

각각의 살균제 용액에서 소독한 종자를 Komada 배지에 25립씩 치상하여 28°C에서 7일간 배양하였다(Dhingra, 등, 1994). 종자 주변에 형성된 *Fusarium*의 균총과 포자를 확인하여 치상한 총 종자 수에 대한 병원균이 검출된 종자의 비율을 조사하였다.

Pouch 검정(PT, pouch test)

종자 소독한 감염 종자를 pouch 팩에 10립씩 치상하고, 살균 증류수를 10 mL씩 부어, 28°C(18 hrs/6 hrs, 광/암)에서 보관하였다. 종자를 치상하고 15일 후에 초장을 조사하여 발병주율을 계산하였다.

벼 유묘를 이용한 온실 검정(GT, greenhouse test)

위에서와 동일한 방법으로 *F. fujikuroi* FMJ1을 접종한 종자를 준비한 살균제 용액에 각각 1일간 처리한 후, 직경 5 cm의 포트에 파종하고 온실에서 재배하였다. 온실에서 40일간 재배한 후에 포트 당 발병주율을 조사하여 살균제의 방제 효과를 구하였다.

결 과

살균제의 효과는 ergosterol 생합성 저해 살균제 그룹, benzimidazole계 살균제 그룹과 그 혼합제, strobilurin계 살균제 그룹, 그리고 보호용 살균제와 기타 살균제 그룹으로 나누어 5가지의 검정법에서 그 효과를 비교하였다.

Ergosterol 생합성 저해 살균제의 효과

실험에 사용한 5종의 살균제는 모두 MGT에서 우수한 억제 효과를 보였다(Table 1). 하지만 prochloraz를 제외한 다른 살균제는 SGT, KDT, PT 모두에서 효과가 매우 낮았지만, GT에서는 triflumizole, tebuconazole, hexaconazole, difenoconazole의 500 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리구에서 23.3, 46.7, 80.0, 49.6%의 방제 효과를 보였다. Prochloraz는 모든 검정법에서 우수한 효과를 나타내고 있는데, SGT의 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리구에서 95.5%, MGT의 20 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 에서 100%, KDT, PT, GT의 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리에서는 각각 100, 90, 81.2%의 효과를 보였다.

Benzimidazole계 살균제의 효과

Benzimidazole계 살균제로서는 benomyl과 thiophanate-methyl을 사용하였으며, 각각을 thiram과 triflumizole과 혼합한 혼합제의 효과도 검정하였다. Table 2에서 보는 것과 같이 benomyl과 thiophanate-methyl은 균사 생장 억제 효과가 우수하였는데, benomyl의 경우에는 4 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 처리구에서 병원균의 균사생장을 100% 억제하였다. Thiophanate-methyl은 benomyl보다는 효과가 낮았는데, 20 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 에서 82.0%의 효과를 보였다. Thiophanate-methyl은 MGT를 제외하고 SGT,

Table 1. Control activity of several fungicides included into ergosterol biosynthesis inhibitors against *Fusarium fujikuroi* FMJ1 causing rice bakanae disease

Bioassay ^{a)}	Concentration ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Fungicides				
		Prochloraz	Triflumizole	Tebuconazole	Hexaconazole	Difenoconazole
SGT ^{c)}	100.0	95.5 ± 0.93 ^{b)}	0.0	0.0	4.3 ± 3.81	0.0
	10.0	50.7 ± 0.93	0.0	8.2 ± 14.21	0.0	0.0
	1.0	20.7 ± 4.46	0.0	0.0	1.2 ± 8.04	0.0
	0.1	6.3 ± 6.19	2.5 ± 6.78	0.0	15.6 ± 26.08	0.0
MGT ^{d)}	100.0	100.0	94.3 ± 0.58	100.0	100.0	88.5 ± 0.38
	20.0	100.0	90.5 ± 1.23	100.0	100.0	79.1 ± 1.60
	4.0	96.8 ± 1.46	68.0 ± 0.20	100.0	97.1 ± 0.23	65.6 ± 1.63
	0.8	83.6 ± 0.98	23.7 ± 0.38	89.7 ± 0.23	95.5 ± 0.88	40.3 ± 2.07
	0.16	67.7 ± 1.06	0.0	84.9 ± 1.45	94.6 ± 0.35	22.6 ± 3.18
KDT ^{e)f)}	500.0	100.0	60.0 ± 10.95	0.0	12.0 ± 10.95	0.0
	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	20.0 ± 14.14
	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PT ^{g)}	500.0	100.0 ± 0.93	40.0 ± 2.79	0.0	30.0 ± 3.73	0.0
	100.0	90.0 ± 3.57	0.0	0.0	30.0 ± 5.68	0.0
	20.0	20.0 ± 3.15	20.0 ± 1.73	0.0	0.0	0.0
	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
GT ^{h)}	500.0	85.0 ± 13.23	23.3 ± 15.28	46.7 ± 20.21	80.0 ± 8.66	49.6 ± 4.44
	100.0	81.2 ± 14.75	16.7 ± 10.41	53.3 ± 7.64	38.3 ± 23.63	41.7 ± 16.07
	20.0	41.0 ± 6.87	3.3 ± 2.89	14.4 ± 10.05	32.4 ± 22.02	11.7 ± 7.64
	4.0	23.7 ± 14.80	13.3 ± 2.89	11.3 ± 6.84	20.0 ± 17.32	13.8 ± 9.92

^{a)} SGT; spore germination test, MGT; mycelial growth test, KDT; *Fusarium* detection test on Komada medium, PT; pouch test, GT; greenhouse test.

^{b)} Figures indicated control value (%) calculated by comparing the results of treatment with fungicides with that of treatment without fungicide.

^{c)} For investigating spore germination of *Fusarium fujikuroi* FMJ1 6 hrs after the application of each fungicide, spores of *F. fujikuroi* FMJ1 were incubated on slide glass at 28°C.

^{d)} Colony diameter of *F. fujikuroi* FMJ1 was measured after incubation for 7 day at 28°C on PDA with or without fungicides.

^{e)} For KDT, PT and GT, rice seeds infected with *F. fujikuroi* FMJ1 were treated by soaking them in each fungicidal suspension adjusted to the indicated concentrations for 2 days at 30°C.

^{f)} With KDT, 25 seeds of rice treated with fungicides were kept on Komada's medium and incubated for 7 days at 28°C.

^{g)} Ten seeds treated with fungicides were kept in pouch at 28°C and the shoot length of seeds was measured after keeping for 15 days.

^{h)} In a greenhouse, seeds with fungicides were cultivated for 40 days and percentage of infected seedling of rice was investigated.

KDT, PT 등에서는 억제 효과가 전혀 나타나지 않았고, GT에서 500 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 처리구에서 28.3%의 저조한 효과를 보였을 뿐이었다. Benomyl의 경우에는 KDT에서의 균 검출 억제 효과는 전혀 인정되지 않았지만, 나머지의 검정법에서는 고농도의 처리구에서 억제효과를 보였는데, SGT의 경우 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 처리구에서 73.8%, PT의 500 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리구에

서 100%, GT의 500 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리에서는 51.7%의 억제효과를 보였다. Benomyl에 thiram을 혼합한 혼합제의 경우에는 SGT, KDT, PT, GT에서는 억제 효과가 전혀 변화하지 않은 데 비해서, MGT의 경우에는 그 효과가 크게 증가하였다. MGT에서 0.8과 0.16 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 처리구에서 benomyl의 효과는 21.0과 19.9%이었지만, thiram을 혼합한 경우에는 두

Table 2. Control activity of several fungicides included into benzimidazoles and their mixtures against *Fusarium fujikuroi* FMJ1 causing rice bakanae disease

Bioassay ^{a)}	Concentration ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Fungicides			
		Benomyl	Benomyl/Thiram	Thiophanate-methyl	Thiophanate-methyl/Triflumizole
SGT	100.0	73.8 \pm 4.46 ^{b)}	81.6 \pm 0.83	0.0	0.0
	10.0	35.7 \pm 10.08	42.5 \pm 2.25	0.0	0.0
	1.0	23.8 \pm 14.71	14.5 \pm 6.28	0.0	0.0
	0.1	1.3 \pm 5.49	7.1 \pm 13.11	0.0	0.0
MGT	100.0	100.0	100.0	86.6 \pm 1.78	94.8 \pm 0.06
	20.0	100.0	100.0	82.0 \pm 0.51	92.8 \pm 0.21
	4.0	100.0	100.0	10.1 \pm 1.14	91.0 \pm 0.10
	0.8	21.0 \pm 1.19	100.0	41.2 \pm 3.50	81.5 \pm 0.59
	0.16	19.9 \pm 0.65	100.0	30.6 \pm 5.79	73.5 \pm 2.05
KDT	500.0	4.0 \pm 8.94	8.0 \pm 10.95	0.0	0.0
	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PT	500.0	100.0 \pm 2.93	90.0 \pm 2.13	0.0	10.0 \pm 5.02
	100.0	60.0 \pm 2.13	60.0 \pm 1.86	0.0	0.0
	20.0	0.0	0.0	0.0	10.0 \pm 3.60
	4.0	0.0	0.0	0.0	20.0 \pm 4.22
GT	500.0	51.7 \pm 20.82	56.7 \pm 5.77	28.3 \pm 7.64	46.7 \pm 7.64
	100.0	41.7 \pm 7.64	41.7 \pm 12.58	13.9 \pm 6.74	11.7 \pm 2.89
	20.0	39.0 \pm 7.96	38.3 \pm 2.89	21.7 \pm 5.77	25.0 \pm 18.03
	4.0	21.4 \pm 7.95	15.0 \pm 5.00	7.9 \pm 8.36	11.7 \pm 11.55

^{a)} SGT; spore germination test, MGT; mycelial growth test, KDT; *Fusarium* detection test on Komada medium, PT; pouch test, GT; greenhouse test.

^{b)} Figures indicated control value (%) calculated by comparing the results of treatment with fungicides with that of treatment without fungicide.

농도 모두에서 100%의 효과를 보였다. Thiophanate-methyl에 triflumizole을 혼합한 경우에는 MGT와 KDT에서 효과가 상승하였는데, 특히 KDT의 500 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리에서 thiophanate-methyl은 전혀 억제 효과가 나타나지 않았지만, 혼합제에서는 병원균의 검출이 100% 억제되었다.

Strobilurin계 살균제의 효과

Strobilurin계에 속하는 3종의 살균제는 검정법에 따라서 약간의 차이는 있지만, 전반적으로 억제 효과가 인정되었다. SGT에서 kresoxim-methyl, azoxystrobin, trifloxystrobin을 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 으로 처리하였을 때, 각각은 74.7, 48.9, 82.9%의 억제 효과를 보였고, MGT의 4 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리구에서는 각

각 63.1, 66.0, 60.8%의 효과를 보였다(Table 3). KDT에서는 kresoxim-methyl과 trifloxystrobin의 20 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리구에서 종자 소독한 경우 검출되는 병원균의 비율이 84.0%씩 감소하였다. PT의 경우에는 kresoxim-methyl과 azoxystrobin의 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 에서 각각 60% 효과가 있었으며, GT에서는 500 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 로 종자 소독을 하였을 경우, 세 가지 살균제의 효과가 53.8, 41.7, 41.7%로 나타났다.

보호용 살균제 및 기타 살균제의 효과

보호용 살균제인 thiram과 mancozeb는 모든 검정법 중 SGT에서 가장 우수한 효과를 나타내었다(Table 4). Thiram은 1 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리구에서 92.7%, mancozeb는 10 $\mu\text{g mL}^{-1}$

Table 3. Control activity of three fungicides included into strobilurins against *Fusarium fujikuroi* FMJ1 causing rice bakanae disease

Bioassay ^{a)}	Concentration ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Fungicides		
		Kresoxim-methyl	Azoxystrobin	Trifloxystrobin
SGT	100.0	74.7 \pm 9.45 ^{b)}	48.9 \pm 30.50	82.9 \pm 7.93
	10.0	51.5 \pm 6.88	35.6 \pm 21.14	61.2 \pm 8.07
	1.0	39.3 \pm 6.77	32.3 \pm 6.51	69.0 \pm 8.86
	0.1	0.0	0.0	9.3 \pm 1.40
MGT	100.0	68.9 \pm 2.03	63.7 \pm 1.38	58.0 \pm 1.03
	20.0	63.8 \pm 0.80	70.7 \pm 0.58	62.6 \pm 0.39
	4.0	63.1 \pm 0.58	66.0 \pm 0.44	60.8 \pm 1.55
	0.8	49.5 \pm 0.40	52.4 \pm 2.07	58.1 \pm 1.03
	0.16	32.5 \pm 0.26	43.7 \pm 0.81	58.9 \pm 0.68
KDT	500.0	76.0 \pm 10.95	76.0 \pm 16.73	92.0 \pm 10.95
	100.0	88.0 \pm 10.95	0.0	88.0 \pm 10.95
	20.0	84.0 \pm 8.94	0.0	84.0 \pm 16.73
	4.0	0.0	4.0 \pm 8.94	0.0
PT	500.0	60.0 \pm 4.57	40.0 \pm 4.31	40.0 \pm 2.06
	100.0	60.0 \pm 4.68	60.0 \pm 5.18	10.0 \pm 2.25
	20.0	0.0	50.0 \pm 5.36	0.0
	4.0	0.0	40.0 \pm 6.12	30.0 \pm 4.80
GT	500.0	53.8 \pm 21.90	41.7 \pm 7.64	41.7 \pm 20.82
	100.0	41.1 \pm 8.39	21.7 \pm 10.41	35.0 \pm 8.66
	20.0	36.7 \pm 20.82	28.3 \pm 7.64	33.3 \pm 16.07
	4.0	20.7 \pm 5.30	5.0 \pm 5.00	25.0 \pm 22.91

^{a)} SGT; spore germination test, MGT; mycelial growth test, KDT; *Fusarium* detection test on Komada medium, PT; pouch test, GT; greenhouse test.

^{b)} Figures indicated control value (%) calculated by comparing the results of treatment with fungicides with that of treatment without fungicide.

처리구에서 91.7%의 포자가 발아하지 못하였다. 하지만 동일한 보호용 살균제인 propineb의 경우에는 전혀 FMJ1의 포자 발아를 억제하지 못하였다. MGT에서는 세 가지의 살균제 모두 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리구에서 58.1, 42.6, 51.4%의 균사 성장 억제 효과를 보였다. KDT의 thiram 처리를 제외한 나머지 모든 검정법에서 세 가지의 보호용 살균제는 병원균에 대한 억제 효과가 매우 저조하였다. Thiram은 KDT의 20과 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리에서 64.0과 92.0%의 효과를 나타내었다. Fludioxonil은 KDT와 PT의 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리구에서 100과 80%의 효과를 보였으며, 동일한 농도의 SGT에서는 61.8%의 효과를 보였다. Iprodione은 모든 검정법 중에서 MGT에서 중간의 효과를 보였는데, 처리하는 농도와 관계없이 모든 처리구에서 58.2에서 50.4% 사이의 효과를 보이고 있었다.

Iprodione은 MGT를 제외한 다른 검정법에서는 그 효과가 매우 저조하였다.

고 찰

Prochloraz는 실험에 사용한 5가지의 검정법 모두에서 우수한 효과를 얻을 수 있었다. 특히 진균의 ergosterol 생합성을 저해하는 나머지 4종의 살균제, triflumizole, tebuconazole, hexaconazole, difenoconazole뿐만 아니라 다른 저해제에서도 진균류의 포자 발아 억제효과는 낮은 것으로 보고되어 있다(Buchenauer, 1987; Kato 등, 1974; Sherald 등, 1973; 김, 2002; 홍 등, 1989). 하지만 prochloraz의 10과 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 처리구에서는 50.7과 95.5%의 포자 발아 억제 효과를 보이고

Table 4. Control activity of several fungicides against *Fusarium fujikuroi* FMJ1 causing rice bakanae disease

Bioassay ^{a)}	Concentration ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Fungicides				
		Thiram	Mancozeb	Propineb	Iprodione	Fludioxonil
SGT	100.0	100.0 ^{b)}	95.9 \pm 1.01	0.0	3.6 1 \pm 0.23	61.8 \pm 6.73
	10.0	100.0	91.7 \pm 2.66	0.0	0.0	38.6 \pm 7.00
	1.0	92.7 \pm 3.95	66.5 \pm 8.36	0.6 \pm 1.72	0.0	8.1 \pm 4.28
	0.1	70.0 \pm 1.47	0.0	0.0	17.1 \pm 23.13	0.0
MGT	100.0	58.1 \pm 0.38	42.6 \pm 0.53	51.4 \pm 1.80	55.3 \pm 2.14	48.8 \pm 0.21
	20.0	49.7 \pm 0.60	36.1 \pm 1.86	49.4 \pm 0.43	58.2 \pm 4.53	41.3 \pm 0.70
	4.0	2.0 \pm 1.11	18.1 \pm 1.82	45.2 \pm 2.19	57.0 \pm 3.04	46.5 \pm 0.79
	0.8	0.0	5.4 \pm 0.61	38.0 \pm 2.01	53.6 \pm 4.83	45.6 \pm 1.70
	0.16	0.0	3.7 \pm 0.61	22.7 \pm 1.81	50.4 \pm 1.26	49.3 \pm 2.34
KDT	500.0	60.0 \pm 14.14	8.0 \pm 10.95	4.0 \pm 8.94	4.0 \pm 8.94	100.0
	100.0	0.0	0.0	4.0 \pm 8.94	0.0	100.0
	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PT	500.0	40.0 \pm 4.84	0.0	0.0	0.0	80.0 \pm 2.39
	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.0 \pm 3.65
	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	70.0 \pm 2.24
	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
GT	500.0	40.0 \pm 2.89	33.3 \pm 15.28	43.3 \pm 10.41	15.0 \pm 10.00	35.0 \pm 18.03
	100.0	1.7 \pm 13.23	13.3 \pm 5.77	26.7 \pm 7.64	26.2 \pm 9.70	33.3 \pm 14.43
	20.0	3.3 \pm 2.89	6.4 \pm 7.25	18.3 \pm 5.77	20.0 \pm 10.00	13.5 \pm 7.34
	4.0	5.7 \pm 5.15	11.7 \pm 7.64	18.3 \pm 11.55	8.3 \pm 2.89	10.0 \pm 8.66

^{a)} SGT; spore germination test, MGT; mycelial growth test, KDT; *Fusarium* detection test on Komada medium, PT; pouch test, GT; greenhouse test.

^{b)} Figures indicated control value (%) calculated by comparing the results of treatment with fungicides with that of treatment without fungicide.

있는데, 이는 prochloraz가 ergosterol 생합성 저해 살균제의 그룹에 속하지만 그 그룹에 속하는 다른 살균제들과는 다른 특성을 가지고 있음을 보여주는 결과라고 생각한다(Siegel과 Ragsdale, 1978; Johan 등, 1994; Kim 등, 2003). 또한 감염 종자를 prochloraz로 소독한 후에 Komada 배지에 치상한 종자에서의 병원균 검출율을 조사한 결과, 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 용액에서 소독한 종자에서는 전혀 키다리병원균이 검출되지 않았다. 그런데 본 실험에서는 병원균에 자연 감염된 비율이 높은 주남벼를 실험실에서 준비한 병원균을 가지고 접종한 다음 실험에 사용하였기 때문에, prochloraz가 종자의 종피뿐만 아니라 종자 내부에까지 감염된 병원균을 소독할 수 있다는 가능성을 보여주고 있다. 현재 prochloraz는 종자소독제로 사용되고 있는데, 본 실험에서도 그 효과가 우수하다는 것이 규명되었다고 생각한다.

Thiram 단독으로 처리하면 병원균에 대한 군사생장 억제 효과가 저조하였음에도 불구하고, benzimidazole계에 속하는 benomyl과 혼합하여 처리하였을 때에는 군사생장 억제 효과가 크게 증가하였다. 하지만 thiram을 20과 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 에서 단독으로 처리하였을 때, Komada 배지상에서 병원균의 검출율은 64.0과 92.0%씩 억제되었지만, benomyl과 혼합하여 처리하면 그 효과가 상실되는 것을 볼 수 있다. 결국 benomyl과 thiram을 혼합하였을 때에는 혼합제가 병원균의 균체를 단독으로 사용하였을 때보다는 용이하게 통과하여 작용점에 도달하거나, 병원균의 군사 생장 억제에 대한 시너지 효과가 나타나는 것으로 생각되지만, 혼합하여 사용할 경우 Komada 배지에서 병원균의 검출율 억제효과가 감소하는 것은, 혼합제가 벼 종자에 처리되면서 두 살균제의 효과가 상쇄되는 다른 요인이 있을 것으로 생각한다. 혼합제를 식물체나

종자에 처리하였을 때 나타나는 효과의 감소 원인은 더 많은 연구를 통해서 규명되어야 하며, 감소의 원인을 규명할 수 있다면, 포장에서의 혼합제의 효과를 상승시킬 수 있는 다양한 방법을 개발할 수 있을 것으로 생각한다. Benzimidazole계 살균제에 속하는 thiophanate-methyl에, 벼 종자 처리를 통해서 키다리병 방제 효과가 있다고 알려진 triflumizole을 혼합하여 사용할 경우에도 군사생장과 Komada 배지상에서의 병원균 검출 억제효과가 증가하였다(Suzuki, 1994). 이처럼 서로 다른 살균제를 혼합하여 사용하고자 할 때는 두 살균제의 특성을 정확하게 파악하고 사용하는 것이 매우 중요하다고 생각되어진다.

Strobilurin계 살균제는 모든 검정법에서 어느 정도의 효과가 인정되었는데, 특히 Komada 배지에서 병원균 검출율을 억제하는 효과가 우수하였다. 일반적으로 strobilurin계 살균제는 병원균의 미토콘드리아의 전자전달계에서 cytochrome bc₁ 효소의 활성을 저해하는 기작을 가지고 있으며, 식물체에서 translaminar 효과를 가지고 있다(Bartlett 등, 2002; Creemers 등, 1996; Gold 등, 1996; Slaweki, 2002). 따라서 strobilurin계 살균제를 종자에 처리하면 종피의 표면으로 흡수되어 표면에서 이동하기 때문에 종피 내외부에 있던 병원균의 생육을 억제하여, Komada 배지상에서 병원균의 검출율을 저하시킨 것으로 생각된다. Strobilurin계 살균제의 이러한 성질은 다른 적정한 살균제와 혼합할 경우, 키다리병에 대한 방제 효과를 상승시킬 수 있을 것으로 생각한다.

보호용 살균제는 병원균의 포자 발아 억제 효과를 제외하고는 특별한 효과를 보이고 있지 않았다. 다만 thiram은 종자 소독 후에 병원균의 검출율을 억제하는 효과가 있다는 것이 다른 보호용 살균제와 다른 점이다. 특성이 다른 fludioxonil은 종자소독 후에 병원균의 검출율을 억제할 뿐만 아니라, pouch 검정에서도 우수한 효과를 보였다. 하지만 온실 검정에서 그 효과가 감소하는 것을 보아 포장에서 사용하기 위해서는 fludioxonil의 효과를 감소시키는 요인들을 조사하고, 그 요인에 의한 효과 감소를 방지할 수 있는 제형과 사용 방법의 개발이 필요할 것으로 생각한다.

본 실험에서 사용한 5가지의 검정법은 검정법에 따라서 살균제의 특성을 알 수 있었다. SGT와 MGT를 통해서 병원균의 포자 발아와 군사 생장에 대한 억제 효과를 조사할 수 있으며, KDT를 통해서 처리한 살균제가 종자 내외부에 존재하는 병원균을 어느 정도 소독할 수 있는지를 직접 조사할 수 있었다. PT와 GT는 모두 종자 소독을 통해서 직접적으로 키다리 증상을 어느 정도 억제할 수 있는지를 조사할 수 있기 때문에 포장 시험과 가장 근접한 결과를 얻을 수 있을 것으로

생각한다. Pouch 팩을 이용하는 PT는 온실에서 키다리병 방제 효과를 검정하는 GT보다 빠른 시간에 그 결과를 알 수 있다는 장점이 있지만, 포장이나 온실 검정에서 나타날 수 있는 살균제의 효과를 저하시키는 요인들이 제거된 실험실 내에서 pouch 팩을 이용하여 검정하는 방법이다 보니, 실제의 살균제 효과보다 더 높은 효과가 나타날 수 있는 단점도 있다. 종자전염병은 건전한 종자를 사용하는 것이 가장 중요하기 때문에 종자소독제의 개발이 중요하다. 따라서 살균제의 효과를 검정하기 위해서는 검정법의 특성을 생각하여 선택하여야 적합한 특성을 지닌 살균제를 선발할 수 있을 것으로 생각한다.

따라서 다양한 살균제를 적합한 검정법으로 그 효과를 검정한다면, 종자 전염하는 식물병을 효과적으로 방제할 수 있는 살균제와 혼합제의 개발이 가능할 것으로 생각한다. 또한 살균제의 특성을 정확하게 파악하여 건전한 종자 채종을 위하여 포장에서도 키다리병에 대한 방제를 병행하여 건전한 종자를 수확하기 위한 포장 방제 체계의 개발도 중요하다고 생각한다.

감사의 글

이 논문은 농촌진흥청 바이오그린연구사업의 연구비에 의해서 수행된 것으로 연구비의 지원에 감사드립니다.

>> 인 / 용 / 문 / 헌

- Bartlett, D. W., J. M. Clough, J. R. Godwin, A. A. Hall, M. Hamer and B. Parr-Dobrzanski (2002) The strobilurin fungicides. *Pest Manage. Sci.* 58:649~662.
- Buchenaer, H. (1987) Mechanism of action of triazolyl fungicides and related compounds. pp. 205~231, *In Modern selective fungicides : properties, applications, mechanisms of action* (ed. H. Lyr), Longman Scientific and Technical, Harlow, United Kingdom.
- Creemers, P., J. De Vleeschauwer, D. Mappes and K. Defloor (1996) BAS 490 02 F, a new fungicide to control scab and mildew in apple and pear. *Med. Fac. Landb. Gent.* 61(2A). pp. 431~441.
- Dhingra, O. D. and K. B. Sinclair, (1994) *Basic plant pathology methods*, 2nd ed. Lewis Publishers. pp. 369.
- Gold, R. E., E. Ammerman, H. Koehle, G. M. E. Leinhos, G. Lorenz, J. B. Speakman, M. Stark-Umau and H. sauter (1996) The synthetic strobilurin BAS 490F: Profile of a modern fungicide. pp. 79~92. *In: Modern fungicide and antifungal compounds.* ed by H. Lyr, P. E. Russell and H.

- D. Sisler. Intercept, Andover, Hants, UK.
- Han S. 2007. Review of disease occurrence of major crops in Korea in 2007. The KSPP Annual Meeting & Symposium, pp. 19~20.
- Johan, C. K., J. M. Richard, J. S. Donald and A. D. Maarten (1994) Inhibition of sterol biosynthesis in cell-free extracts of *Botrytis cinerea* by prochloraz and prochloraz analogues. Pestic. Sci. 40:313~319.
- Kim, H. T., S. J. Kyung, G. J. Choi, S. W. Lee and K. Y. Cho (2003) Effect of prochloraz on electrolytic leakage and spore germination of *Puccinia recondita* causing wheat leaf rust. 19:189~194.
- Kato, T., S. Tanaka, S. Yamamoto, M. Ueda and Y. Kawase (1974) Effects of the fungicide, S-1358, on general metabolism and lipid biosynthesis in *Monilinia fructigena*. Agr. Biol. Chem. 38:2377~2384.
- Kuhlman, E. G. 1982. Varieties of *Gibberella fujikuroi* with anamorphs in *Fusarium* section *Liseola*. Mycologia 74, 759~768
- Nelson, P. E., T. A. Toussoum, and W. F. O. Marasas. (1983) *Fusarium* species: An illustrated manual for identification. Penn. State. Univ. Press. p. 193.
- Nirenberg, H. I. (1989) Identification of *Fusaria* occurring in Europe on cereals and potatoes. pp. 179~193. In *fusarium* mycotoxins, taxonomy and pathogenicity. J. Chelkowski(ed.). Elisvier. New York.
- Sherald, J. L., N. N. Ragsdale and H. D. Sisler (1973) Similarities between the systemic fungicides triforine and triarimol. Pestic. Sci. 4:719~728.
- Siegel, M. R. and N. N. Ragsdale (1978) Antifungal mode of action of imazalil. Pest. Biochem. Physiol. 9:48~56.
- Slaweki, R. A., E. P. Ryan and D. H. Young (2002) Novel fungitoxicity assays for inhibition of germination-associated adhesion of *Botrytis cinerea* and *Puccinia recondita* spores. Appl. Environ. Microbiol. 68:597~601.
- Suzuki, M., H. Hamamura and M. Iwamori (1994) Relationship between formulations of triflumizole and their efficacy to Bakanae disease in rice seed treatment. J. Pesticide Sci. 19:251~256.
- Synder, W. C. and Y. A. Toussoum. (1965) Current status of taxonomy in *Fusarium* species and their perfect stages. Phytopathol. 55, 833~837.
- 김장규 (1981) 벼 키다리병의 발생생태에 관한 연구, 한국식물보호학회지 20(3):146~150.
- 김흥태 (2002) *Saccharomyces cerevisiae* Y-139에서의 hexaconazole의 작용 기작. 농업과학연구 19:111~120.
- 박홍규, 신해룡, 이인, 김석연, 권오도, 박인진, 국용인 (2003) 벼 종자소독시 수온, 처리 시간 및 약량이 벼키다리병 발병에 미치는 영향. 한국농약과학회지 7(3):216~222.
- 성재모, 양성석, 이은중 (1984) *Fusarium moniliforme*의 Strain별 육묘상과 본답에서의 병 발생과 피해해석에 관한 시험. 한국균학회지 12(2):65~73.
- 한국식물병리학회 (2004) 한국식물병명명목록. 제 14판 pp. 779.
- 황동용, 김덕수, 김상열 (2005) 키다리병 방제를 위한 종자소독 방법 연구. 한국작물학회 2005년 춘계학술발표회 요지, pp. 126~127.
- 홍종욱, 이동진, 김장억 (1989) Prochloraz와 triadimefon의 사과나무 부란병에 대한 작용기작. 한국농화학회지 32:270~277.

몇 가지 살균제의 벼 키다리병과 병원균에 대한 효과 검정

신명욱 · 이수민 · 이용환¹ · 강효중² · 김흥태*

충북대학교 농업생명환경대학 응용생명환경학부 식물의학전공, ¹농업과학기술원 농업생물부, ²충북농업기술원 시험연구부 농업환경과

요 약 최근 국내의 벼 포장에서는 키다리병의 발생률이 크게 증가하고 있다. 본 실험에서는 키다리병 방제에 효과적으로 사용할 수 있는 살균제를 검정하고자, 5가지의 검정법을 이용하여 17종 살균제의 효과를 조사하였다. Prochloraz는 5가지의 검정법 모두에서 가장 우수한 효과를 나타내었지만, 동일한 ergosterol 생합성을 저해하는 다른 살균제 중에서 온실 검정과 Komada 배지상에서의 균검출율을 조사한 500 µg mL⁻¹의 hexaconazole과 triflumizole을 제외하고 나머지의 효과는 매우 저조하였다. Benomyl과 benomyl/thiram의 혼합제는 100과 500 µg mL⁻¹를 처리한 포자발아와 pouch 검정법에서 우수한 효과를 나타내었다. Trifloxystrobin과 kresoxim-methyl의 20 µg mL⁻¹에서 소독한 종자는 균검출율이 크게 낮아졌으며, thiram 역시 100 µg mL⁻¹의 소독 처리에서 병원균이 검출되는 종자의 비율이 감소하였다. Fludioxonil 역시 포자발아, Komada 배지에서의 균검출율, pouch 검정 등에서 우수한 효과를 보였다. 이상의 결과는 살균제의 작용기작과 특성에 맞추어 검정 방법을 결정하는 것이 중요하다는 사실을 보여주고 있다고 생각한다.

색인어 벼 키다리병, 살균활성, prochloraz