

벼키다리병균(*Gibberella fujikuroi*) 균주 및 교배 후대균주의 살균제에 대한 저항성

김정미¹ · 홍성기² · 김완규² · 이영기² · 유승헌³ · 최효원^{2*}

¹한국농수산대학, ²농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과, ³충남대학교 농생물학과

Fungicide Resistance of *Gibberella fujikuroi* Isolates Causing Rice Bakanae Disease and Their Progeny Isolates

Jung-Mi Kim¹, Sung Kee Hong², Wan Gyu Kim², Young Kee Lee², Seung-Hun Yu³ and Hyo-Won Choi^{2*}

¹Korea National College of Agriculture and Fisheries, Hwasung, 445-893, Korea

²Crop Protection Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

³Department of Agricultural Biology, Chungnam National University, Daejeon, Korea

(Received June 22, 2010. Accepted June 23, 2010)

ABSTRACT: A total of 25 isolates of *Fusarium fujikuroi* were obtained from diseased rice plants in Korea from 2006 to 2007 to assess their resistance against fungicides prochloraz and benomyl + thiram. Minimal inhibitory concentration (MIC) values of *F. fujikuroi* isolates were examined by agar dilution method. Most of the isolates were sensitive to the fungicides. Out of 25 isolates, six were resistant to prochloraz and three to benomyl + thiram. In addition, the isolates CF245, CF249 and CF337 showed resistant to both fungicides. The progenies (F₁ isolates) obtained through two different crosses between sensitive parental isolates (CF202, CF232 and CF179) and resistant parental isolate (CF337) were evaluated for their mycelial growth at different temperatures and resistance against fungicides. Mycelial growth rate of F₁ isolates originated from CF202 × CF232 was similar to the parental isolates. However mycelial growth rate of F₁ isolates originated from CF179 × CF337 was faster than their parent isolates. In case of prochloraz, distribution ratio of sensitivity (S) to resistance (R) against to the fungicide of F₁ isolates originated from CF202 × CF232 and CF179 × CF337 was 86 : 14 and 78 : 22, respectively. In case of benomyl + thiram, all the F₁ isolates originated from CF202 × CF232 were sensitive to the fungicide, however ratio of sensitivity (S) to resistance (R) against to the fungicide of F₁ isolates originated from CF179 × CF337 was 35 : 65.

KEYWORDS : Bakanae disease, Benomyl + thiram, Fungicide resistance, *Fusarium fujikuroi*, Prochloraz

벼키다리병은 *Gibberella fujikuroi* (Sawada) Ito in Ito & K. Kimura (무성세대 : *Fusarium fujikuroi* Nirenberg)에 의해 발생하는 대표적인 종자전염성 병해로 못자리부터 분담 후기까지 발생한다. 1960년대 한국에서는 유기수은제의 사용으로 벼키다리병은 문제되지 않았고, 유기수은제 사용이 금지된 이후에도 효과적인 종자소독제가 도입되어 농가에서 크게 문제되지 않았던 병이다 (박 등, 2003). 그러나 최근 벼키다리병 발생이 증가하여 2003년과 2004년에 각각 2.9%, 4.3%의 발병율을 나타냈고 (명 등, 2005), 2006년에는 발병이 급격히 증가하여 28.8%가 발생하였다 (Han, 2007).

국내에서 키다리병에 관한 연구는 1980년대 초반에 집중적으로 이루어졌는데, 병원균 계통별 병 발생과 피해해석에 관한 연구 (성 등, 1984), 벼키다리병의 발생생태 (김, 1981) 등의 연구가 수행되었다. 2000년 이후에는 벼 종자소독시 수온, 처리시간 및 약량이 키다리병 발생에 미치는 영향 (박 등, 2003), 벼키다리병과 병원균에 대한 몇 가지 살균제의 효과 검증

(신 등, 2008b), prochloraz와 fludioxonil 혼용침지소독에 의한 방제 (박 등, 2009) 등 주로 종자소독과 관련된 연구가 진행되었으며, 벼 종자에서 분리한 *Fusarium*균의 prochloraz 약제에 대한 저항성과 교차저항성을 조사하여 약제저항성 균을 보고한 바 있다 (신 등 2008a). 약제저항성 키다리병균은 1980년대 일본에서 benzimidazole계 살균제인 benomyl 저항성 균주가 출현하여 큰 피해를 주었다 (Ishii and Takeda, 1989; Ogawa and Takeda, 1990).

약제저항성 균주의 출현에 있어서 특정 살균제의 위험요소를 결정하는 가장 중요한 요인은 약제에 대한 저항성의 유전이다. 여러 가지 benzimidazole계 살균제 저항성 식물병원균과 같이 약제 효과가 갑자기 감소하는 것은 단일 주동 유전자 (single major gene)의 돌연변이에 의해 나타나거나 혹은 두 개의 저항성 유전자의 동반 상승효과에 의해 나타날 수 있다. 반면, 병원균 집단에서 감수성의 점진적인 이동은 다원유전자 (polygene)가 관여하는 것으로 알려져 있다 (Dyer et al., 2000).

국내에서 벼키다리병 방제를 위한 종자소독제로 prochloraz

*Corresponding author <E-mail : hyon338@korea.kr>

가 오랫동안 사용되어 왔으나 최근 키다리병의 발생이 증가하고 일부 지역의 경우, 방제효과가 감소하고 있어 약제저항성 균주에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다(신 등a, 2008).

따라서 본 연구에서는 전국에서 벼키다리병균을 수집, 분리한 후 이들 균주의 prochloraz와 benomyl+thiram 살균제에 대한 약제저항성을 조사하였다. 또한 약제저항성의 유전적 기초연구를 위하여 저항성 균주와 감수성 균주를 유성적 재조합하였으며, 이를 통하여 병원균의 저항성 발생을 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

병원균 분리 및 교배형 검정

2006년에서 2007년까지 병원균을 분리하기 위하여 전국에서 이병시료와 벼 종자를 수집하였다. 이병식물체의 경우, 지체부를 약 5 mm의 크기로 절단하여 1% 차아염소산나트륨으로 표면소독한 후, 살균수로 3회 세척하고 물기를 제거하여 물한천배지(water agar)에 치상하였다. 종자의 경우는, 표면소독을 하지 않고, 살균수로만 2회 세척하고 물기를 제거하여 물한천배지 plate당 10개씩 치상하였다. 5~7일 후, 균총으로부터 *Fusarium*균을 단포자 분리하여 PDA(potato dextrose agar)와 SNA(synthetic low nutrient agar) 사면배지에 옮겨 배양하고, 이들 균주를 10°C에서 냉장보관하면서 실험에 사용하였다. 총 25개 균주를 공시하였고, 이들의 교배형 검정을 위해 genomic DNA를 추출하고 교배형 진단용 특이 프라이머로 PCR을 수행하였다(Steenkamp *et al.*, 2000).

약제저항성 검정

균주의 약제저항성 특성을 조사하기 위하여 약제에 대한 최소억제농도(MIC)를 한천희석법을 사용하여 조사하였다. 시험약제는 prochloraz(a.i. 25%, EC)와 benomyl + thiram (a.i. 20 + 20%, WP)을 사용하였다. 공시약제는 멸균수를 이용하여 희석하고 PDA 배지에서 최종농도가 각각 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 1.75, 2 $\mu\text{g/ml}$ 가 되도록 첨가하였다. 분리균주를 PDA 배지에 배양하고 25°C에서 5일간 배양한 후, cork borer로(직경 3 mm) 균사 절편을 떼어내어 살균제를 농도별로 첨가한 PDA 배지에 접종하였다. 25°C의 항온기에 5일간 배양한 후, 균사의 직경을 측정하고 MIC값을 조사하여 저항성 균주와 감수성 균주를 선별하였다(Table 1).

Table 1. List of *Fusarium fujikuroi* isolates from rice plants used in this study

Isolate	Isolated part	Location	Mating type
CF202	Seedling	Cheonan, Chungnam	MAT-2 (male)
CF232	Seedling	Sangju, Gyeongbuk	MAT-1 (female)
CF179	Seedling	Chuncheon, Gangwon	MAT-2 (male)
CF337	Stem	Sangju, Gyeongbuk	MAT-1 (female)

선발 균주의 유성적 재조합 및 교배 후대균주 분리

선발한 균주의 유성적 재조합을 위하여 Choi *et al.*(2009)의 방법으로 교배하여 완전세대를 형성시켰다. Prochloraz와 benomyl + thiram 약제에 대해 모두 감수성인 CF202와 CF232 균주를 교배하였고, 감수성 균주인 CF179와 저항성 균주인 CF337 균주를 각각 교배하였다. 후대균주의 분리를 위하여 형성된 자낭각을 회수하고, 이를 마쇄하여 자낭포자를 단포자 분리하였다.

후대균주의 특성 검정

후대균주와 모균주의 차이를 조사하기 위하여 후대균주의 일부를 임의로 선별하여 온도별 생장율을 조사하였다. PDA 배지에 접종하여 17°C, 20°C, 23°C, 26°C, 32°C에 4일간 배양한 후, 균사의 직경을 조사하였다. 또한 후대균주의 약제저항성을 조사하기 위하여 앞에서 설명한 방법으로 MIC를 조사하였다.

결과 및 고찰

병원균 분리 및 약제저항성 검정

2006년부터 2007년까지 전국의 벼 재배 지역에서 수집한 시료로부터 *Fusarium*균을 분리하였다. 공시한 25개 균주에 대해 prochloraz와 benomyl + thiram 약제를 대상으로 약제저항성을 검정한 결과, 대부분의 균주가 약제에 대해 감수성을 나타냈다. Prochloraz의 경우, MIC 1.5 $\mu\text{g/ml}$ 이상을 저항성 기준으로 하여, CF231, CF234, CF238, CF245, CF249, CF337 균주가 저항성을 나타냈고, benomyl + thiram의 경우 MIC 250 $\mu\text{g/ml}$ 이상을 기준으로 CF245, CF249, CF337 균주가 저항성을 보였다(Table 2). Prochloraz에 대한 평균 MIC값은 약 0.8 $\mu\text{g/ml}$ 이었으나, 저항성 균주의 경우 2 $\mu\text{g/ml}$ 의 농도에서도 균사가 자라는 것으로 관찰되었다. 또한 benomyl + thiram의 경우, 대부분의 균주가 2 $\mu\text{g/ml}$ 의 MIC값을 나타냈으나 저항성 균주는 250 $\mu\text{g/ml}$ 의 농도에서도 균사가 생장하는 것으로 조사되었다. 특히, CF245, CF249, CF337 균주는 prochloraz와 benomyl+thiram 모두에 대해 저항성을 나타내었다.

Prochloraz는 DMI계(sterol 14 α -demethylase inhibitor) 살균제로 1977년 처음 사용되어 세계적으로 약 50개국에서 30종 이상의 작물에 사용되고 있다(Dyer *et al.*, 2000). 그러나 맥류 eyespot을 일으키는 *Oculimacula acufiformis* (Leroux and Gredt, 1997)와 목화의 verticillium 시들음병을 일으키는 *Verticillium dahliae* 등에서 저항성 균주가 보고되었다(Kurt *et al.*, 2003). 벼키다리병의 경우, 신 등(2008a)이 충북지역에서 prochloraz 저항성 균주가 13.8%로 분리되었다고 보고한 바 있다. 또한 1970년대 초반부터 식물 병원균의 benzimidazole 계열 살균제에 대한 저항성 획득이 보고되었으며(Staub, 1991), 1980년대 일본의 여러 지역에서 종자소독을 실시하였음에도 벼키다리병이 대발생한 원인으로 benomyl 저항성 균의 출현을 보고한 바 있다(Ishii and Takeda, 1989; Ogawa and Takeda, 1990).

Table 2. Minimal inhibitory concentration (MIC) of *Fusarium fujikuroi* isolates tested for resistance to prochloraz and benomyl + thiram

Isolate	MIC ($\mu\text{g/ml}$) ^{a)}		Phenotype ^{b)}	
	Prochloraz (a.i. 25%, EC)	Benomyl + thiram (a.i. 20+20%, WP)	Prochloraz (a.i. 25%, EC)	Benomyl + thiram (a.i. 20+20%, WP)
CF202	0.5	2	Prc-S	Ben-S
CF232	0.5	2	Prc-S	Ben-S
CF179	0.5	2	Prc-S	Ben-S
CF337	2<	250<	Prc-R	Ben-R
CF095	0.75	2	Prc-S	Ben-S
CF100	0.5	2	Prc-S	Ben-S
CF174	0.25	2	Prc-S	Ben-S
CF177	0.5	2	Prc-S	Ben-S
CF196	0.5	2	Prc-S	Ben-S
CF203	0.75	2	Prc-S	Ben-S
CF210	0.75	2	Prc-S	Ben-S
CF231	2<	2	Prc-R	Ben-S
CF234	2<	2	Prc-R	Ben-S
CF238	2<	2	Prc-R	Ben-S
CF245	2<	250<	Prc-R	Ben-R
CF247	0.75	2	Prc-S	Ben-S
CF249	2<	250<	Prc-R	Ben-R
CF255	0.25	2	Prc-S	Ben-S
CF280	0.25	2	Prc-S	Ben-S
CF288	0.75	2	Prc-S	Ben-S
CF300	0.5	2	Prc-S	Ben-S
CF301	0.5	2	Prc-S	Ben-S
CF158	0.5	2	Prc-S	Ben-S
CF258	0.25	2	Prc-S	Ben-S
CF235	0.75	2	Prc-S	Ben-S

^{a)}The MIC was determined 5 days after inoculation. EC, emulsifiable concentrate; WP, wettable powder.

^{b)}Fungicide sensitivity(S) or resistance(R). Prc-S, prochloraz sensitivity (MIC < 1.5 $\mu\text{g/ml}$); Prc-R, prochloraz resistance (MIC > 1.5 $\mu\text{g/ml}$); Ben-S, benomyl + thiram sensitivity (MIC < 2.0 $\mu\text{g/ml}$); Ben-R, benomyl + thiram resistance (MIC > 250 $\mu\text{g/ml}$).

본 연구에서는 전국에서 수집한 25개 균주를 조사하여 prochloraz와 benomyl+thiram 저항성 균이 각각 24%, 12%로 조사되었기 때문에 다양한 균주를 대상으로 약제저항성을 조사하고, 이에 대한 계속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다. 또한 약제저항성의 판단에 MIC값만을 이용하였기 때문에 균사 생육 50% 억제 농도인 EC₅₀값의 조사가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

교배 후대균주 분리 및 특성 검증

감수성 균주 간 교배를 통해 얻은 후대균주, 감수성과 저항

Table 3. Comparison in mycelial growth of *Fusarium fujikuroi* isolates CF202, CF232 and their progeny at different temperatures

Isolate	Temperatures				
	17°C	20°C	23°C	26°C	32°C
Parents					
CF202	1.5 ± 0.2 ^{a)}	1.9 ± 0.1	2.1 ± 0.3	2.4 ± 0.2	2.0 ± 0.1
CF232	1.6 ± 0.1	1.7 ± 0.1	2.0 ± 0.1	2.4 ± 0.2	1.9 ± 0.1
F ₁ isolates					
1	1.7 ± 0.1	2.2 ± 0.1	2.4 ± .3	2.5 ± 0.0	2.1 ± 0.0
2	1.6 ± 0.1	2.0 ± 0.1	2.2 ± 0.1	2.3 ± 0.1	1.8 ± 0.1
3	1.5 ± 0.1	1.8 ± 0.1	2.3 ± 0.3	2.5 ± 0.1	1.7 ± 0.1
4	1.5 ± 0.1	1.8 ± 0.1	2.3 ± 0.3	2.5 ± 0.1	1.8 ± 0.1
5	2.0 ± 0.1	2.4 ± 0.1	2.9 ± 0.3	3.3 ± 0.3	2.4 ± 0.0
10	2.1 ± 0.0	2.5 ± 0.1	2.9 ± 0.4	3.3 ± 0.3	2.3 ± 0.0
14	1.7 ± 0.0	2.0 ± 0.1	2.2 ± 0.1	2.5 ± 0.2	1.9 ± 0.0
48	1.7 ± 0.1	1.9 ± 0.0	2.4 ± 0.2	2.4 ± 0.0	1.9 ± 0.1

^{a)}Colony diameter(cm) of isolates was measured after incubation for 4 days at different temperatures on PDA.

Table 4. Comparison in mycelial growth of *Fusarium fujikuroi* isolates CF179, CF337 and their progeny at different temperatures

Isolate	Temperatures				
	17°C	20°C	23°C	26°C	32°C
Parents					
CF179	1.6 ± 0.2 ^{a)}	2.0 ± 0.2	2.4 ± 0.4	2.9 ± 0.4	2.0 ± 0.1
CF337	1.7 ± 0.1	2.2 ± 0.1	2.4 ± 0.2	2.4 ± 0.1	2.0 ± 0.1
F ₁ isolates					
1	2.3 ± 0.1	3.0 ± 0.0	3.9 ± 0.3	4.0 ± 0.3	2.6 ± 0.0
4	1.9 ± 0.0	2.2 ± 0.2	3.0 ± 0.5	3.3 ± 0.2	2.4 ± 0.0
8	2.3 ± 0.1	2.9 ± 0.0	3.4 ± 0.3	3.7 ± 0.1	2.4 ± 0.0
9	2.1 ± 0.1	2.7 ± 0.1	3.4 ± 0.4	3.5 ± 0.1	2.4 ± 0.1
20	1.9 ± 0.1	2.1 ± 0.0	2.5 ± 0.2	3.0 ± 0.2	2.0 ± 0.0
28	2.3 ± 0.0	3.1 ± 0.1	3.6 ± 0.2	3.9 ± 0.1	2.7 ± 0.0

^{a)}Colony diameter(cm) of isolates was measured after incubation for 4 days at different temperatures on PDA.

성 균주 간 교배를 통해 얻어진 후대균주를 분리하여 온도별 균사 생장과 약제에 대한 반응을 조사하여 모균주와 비교하였다. 온도별 균사 생장을 조사한 결과, 감수성 균주 간 교배 (CF202 × CF232)에서는 모균주와 유사하였으나, 감수성과 저항성 균주 간 교배(CF179 × CF337)에서는 모균주에 비해 후대균주의 균사생장이 빠른 것으로 나타났다(Table 3, 4).

공시약제에 대한 후대균주의 약제반응을 조사한 결과, 약제에 따라 모균주와 다른 양상을 나타내었다(Fig. 1). Prochloraz의 경우, 감수성균주인 CF202 × CF232의 후대균주에서는 감수성과 저항성의 분포비율이 86 : 14로 나타났고, 감수성과 저항

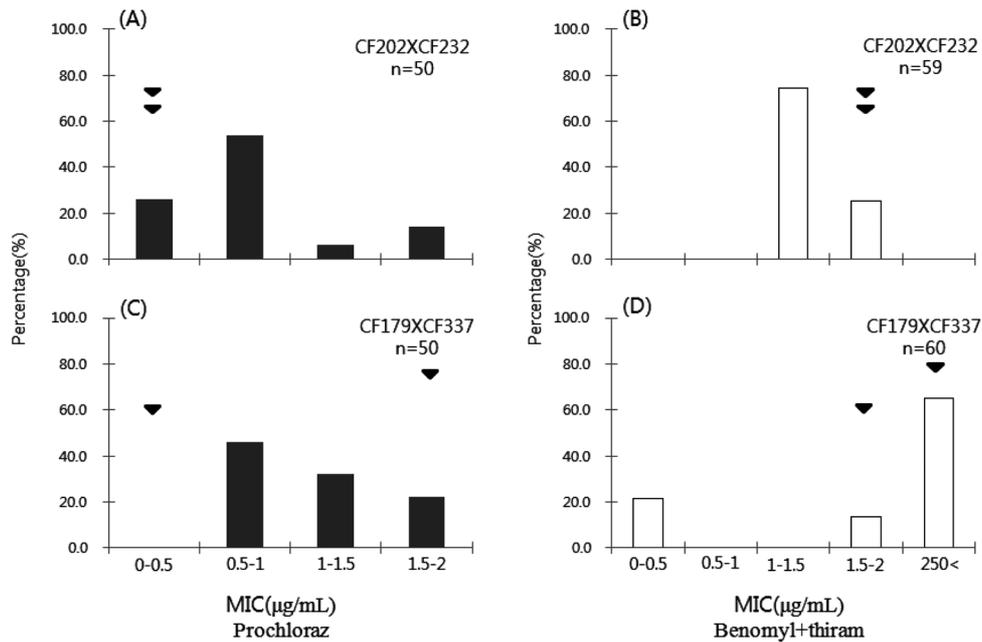


Fig. 1. Distribution of minimal inhibitory concentration(MIC) for progeny from two crosses between fungicide sensitive isolates (CF202, CF232 and CF179) and fungicide resistant isolate(CF337) of *F. fujikuroi*. Mating partner are shown on upper right of graph, with arrowheads indicating MIC for respective parents, and *n* is the total number of progeny analyzed from each cross. (A) and (C), prochloraz; (B) and (D), benomyl + thiram.

성 균주인 CF179 × CF337의 후대균주에서는 78 : 22로 나타났다. Benomyl + thiram의 경우, CF202 × CF232의 후대균주는 모두 감수성인 것으로 나타났으며, CF179 × CF337의 후대균주에서는 35 : 65로 조사되었다. 특히 prochloraz의 경우, 감수성 균주의 후대에서도 저항성 균주가 14%로 나타나 이에 대한 유전 양상에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 살균제 저항성의 유전에 있어서 benomyl과 metalaxyl은 질적 유전, prochloraz와 같은 DMI계 살균제는 양적 유전을 한다고 알려져 있다(Peever and Milgroom, 1992). 따라서 약제별로 저항성 유전에 차이가 나는 것은 두 약제의 작용기작과 유전 양상이 다르기 때문인 것으로 생각된다.

DMI계 살균제에 대한 저항성 유전에서 얼마나 많은 유전자에 관여하는가에 대해서는 논란이 되고 있으며, 연구 초기에는 저항성이 polygene에 의해 제어된다고 하였으나 최근에는 단일의 주동유전자가 관여하는 것으로 알려져 있다(Blatter *et al.*, 1998). 곡류의 eyespot병을 일으키는 *Tapesia yallundae*를 대상으로 prochloraz 저항성에 대한 유전 분석 연구에서 감수성 균주와 저항성 정도가 상이한 균주를 교배하여 얻어진 후대균주의 EC₅₀값 분포가 bimodal로 나타났고, 이것은 prochloraz 약제저항성에는 단일의 주동 유전자가 관여함을 보여준다고 하였다(Dyer *et al.*, 2000). 이러한 유전 분석 연구 결과를 뒷받침하기 위해서는 F₁ 균주의 EC₅₀값 분포를 조사해야 하며, 모균주의 감수성 균주간의 여교배가 필요하므로 앞으로 이에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

국내에서는 벼키다리병의 방제를 위해 prochloraz를 오랫동안 사용해 왔고, 아직까지는 우수한 방제효과를 보이고 있

으나 일부 지역에서 약제저항성 균주가 출현하여 문제가 되고 있다. 따라서 벼키다리병균의 prochloraz 저항성에 대한 유전 분석 연구를 통해 저항성 발현 기작이 규명되면 포장에 나타나는 약제저항성 균의 관리와 새로운 살균제의 개발이 가능할 것으로 생각된다. 또한 약제저항성의 유전 연구에 있어서 본 연구에 사용된 *F. fujikuroi*의 경우, 균주간 교배가 용이하고, 작용 기작이 서로 다른 약제에 대한 저항성 균주가 확보되어 있으며, 유전자 수준의 연구도 가능하므로 모델 생물체로서의 가능성이 확인되었다.

적요

2006년부터 2007년까지 벼키다리병균을 수집하여 25개 균주의 prochloraz와 benomyl + thiram에 대한 약제저항성을 검정하였다. 공시한 균주 중, 대부분의 균주가 감수성이었으나 prochloraz에 대한 약제저항성 균주는 6개로 조사되었고, benomyl + thiram에 대해서는 3개 균주가 저항성을 나타내었다. 이 중 CF245, CF249, CF337은 공시약제 모두에 대해 저항성이었다. 감수성 균주간 교배 및 감수성, 저항성 균주간 교배를 통해 얻어진 후대균주를 분리하여 온도별 균사 생장율과 약제에 대한 반응을 조사하였다. 온도별 균사 생장은 감수성 균주간 교배(CF202 × CF232)에서는 모균주와 비슷하였으나, 감수성과 저항성 균주간 교배(CF179 × CF337)에서는 모균주에 비해 후대균주의 균사생장이 빠른 것으로 나타났다. 공시약제에 대한 반응은 약제에 따라 모균주와 다른 양상을 나타내었다. Prochloraz의 경우, 감수성균주인 CF202 × CF232

의 후대균주에서 감수성과 저항성의 분포비율이 86:14로 나타났고, 감수성과 저항성 균주인 CF179×CF337의 후대균주에서는 78:22로 나타났다. Benomyl+thiram의 경우, CF202×CF232의 후대균주는 모두 감수성인 것으로 나타났으며, CF179×CF337의 후대균주에서는 35:65로 조사되었다.

참고문헌

- 김장규. 1981. 벼키다리병의 발생생태에 관한 연구. 한국식물보호학회지 20:146-150.
- 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.
- 박우식, 최효원, 한성숙, 신동범, 심형권, 정은선, 이세원, 임춘근, 이용환. 2009. Prochloraz와 fludioxonil 혼용침지소독에 의한 벼키다리병 방제. 식물병연구 15:94-100.
- 박홍규, 신해룡, 이인, 김석연, 권오도, 박인진, 국용인. 2003. 벼 종자소독 시 수온, 처리시간 및 약량이 벼키다리병 발병에 미치는 영향. 한국농약과학회지 7:216-222.
- 성재모, 양성석, 이은중. 1984. *Fusarium moniliforme*의 strainquf 육묘상과 본답에서의 병 발생과 피해해석에 관한 시험. 한국균학회지 12:65-73.
- 신명옥, 강효중, 이용환, 김홍태. 2008a. 벼 종자에서 분리한 *Fusarium*속 균주들의 prochloraz에 대한 저항성 검정 및 교차 저항성 조사. 농약과학회지 12:277-282.
- 신명옥, 이수민, 이용환, 강효중, 김홍태. 2008b. 몇 가지 살균제의 벼키다리병과 병균에 대한 효과 검정. 농약과학회지 12:168-176.
- Blatter, R. H. E., Brown, J. K. and Wolfe, M. S. 1998. Genetic control of the resistance of *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* to five triazole fungicides. Plant Pathol. 47:570-579.
- Choi, H.-W., Kim, J.-M, Hong, S. K., Kim, W. G. Chun, S.-C. and Yu, S.-H. 2009. Mating types and optimum culture conditions for sexual state formation of *Fusarium fujikuroi* isolates. Mycobiology 37:247-250.
- Dyer, P. S., Hansen, J., Delaney, A. and Lucas, J. A. 2000. Genetic control of resistance to the sterol 14 α -Demethylase inhibitor fungicide prochloraz in the cereal eyespot pathogen *Tapesia yallundae*. Appl. Environ. Microbiol. 66:4599-4604.
- Han, S. 2007. Review of disease occurrence of major crops in Korea in 2007. Proceedings of Annual Felling Meeting & Symposium of KSPP. pp. 19-20.
- Ishii, H. and Takeda, H. 1989. Differential binding of a N-phenyl formamidoxime compound in cell-free extract of benzimidazole resistant and sensitive isolate of *Venturia naticole*, *Botrytis cinerea* and *Gibberella fujikuroi*. Neth. J. Pl. Pathol. 95:99-108.
- Kurt, S., Dervis, S. and Sahinler, S. 2003. Sensitivity of *Verticillium dahliae* to prochloraz and prochloraz-manganese complex and control of Verticillium wilt of cotton in the field. Crop Protection 22:51-55.
- Leroux, P. and Gredt, M. 1997. Evolution of fungicide resistance in the cereal eyespot fungi *Tapesia yallundae* and *Tapesia acufiformis* in France. Pestic. Sci. 51:321-327.
- Ogawa, K. and Takeda, S. 1990. Population of benomyl-resistant rice bakanae fungus in paddy field. Soc. Ann. Phytopathol. J. 56:247-249.
- Peever, T. L. and Milgroom, M. G. 1992. Inheritance of triadimenol resistance in *Pyrenophora teres*. Phytopathol. 82:821-828.
- Staub, T. 1991. Fungicide resistance: practical experience with anti-resistance strategies and the role of integrated use. Ann. Rev. Phytopathol. 29:42-442.
- Steenkamp, E. T., Wingfield, B. D., Coutinho, T. A., Zeller, K. A., Wingfield, M. J., Marasas, W. F. O. and Leslie, J. F. 2000. PCR-based identification of MAT-1 and MAT-2 in the *Gibberella fujikuroi* species complex. Appl. Environ. Microbiol. 66:4378-4382.