

벼 종자에서 분리한 *Fusarium*속 균주들의 prochloraz에 대한 저항성 검정 및 교차 저항성 조사

신명욱 · 강효중¹ · 이용환² · 김흥태*

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

(2008년 8월 23일 접수, 2008년 9월 3일 수리)

Detection for the Resistance of *Fusarium* spp. Isolated from Rice Seeds to Prochloraz and Cross-resistance to Other Fungicides Inhibiting Sterol Biosynthesis

Myeong Uk Shin, Hyo Jung Kang¹, Yong-Hwan Lee² and Heung Tae Kim*

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

Abstract

To assess the resistance to prochloraz, EC₅₀ values of *Fusarium* isolates obtained from rice seed were investigated through the agar dilution method. EC₅₀ value of 36 isolates of *Fusarium* spp. to prochloraz ranged from 0.020 to 1.78 $\mu\text{g mL}^{-1}$ with an average of 0.25 $\mu\text{g mL}^{-1}$. According to the species of *Fusarium*, the average EC₅₀ value was fluctuated; 0.091 $\mu\text{g mL}^{-1}$ for *F. moniliformis*, 0.11 $\mu\text{g mL}^{-1}$ for *F. proliferatum* and 0.31 $\mu\text{g mL}^{-1}$ for *F. fujikuroi*. The resistant baseline was decided at 0.5 $\mu\text{g mL}^{-1}$ to determine if the isolate was resistant to prochloraz or not. Based on the resistant baseline, the ratio of resistant isolates was 14%. There was no correlation between the resistance to prochloraz and the pathogenicity of *Fusarium* spp. on rice seedlings. The resistant isolates of *F. fujikuroi* did not show the cross-resistance to other sterol biosynthesis inhibiting fungicides, triflumizole, hexaconazole, difenoconazole and tebuconazole.

Key words Rice bakanae disease, *Fusarium* spp., resistance, prochloraz, cross-resistance

서 론

벼 키다리병은 1960년에 일부 농가에서 크게 발생한 적이 있었으나, 살균제를 이용한 종자 소독을 철저히 수행한 결과 병이 효과적으로 방제되어 농가에서는 크게 문제시 되지 않는 병으로 인식되어졌었다. 그러나 1970년대부터 기계이앙과 더불어 상자육묘가 보급되었고, 상자육묘가 키다리병 발

생에 좋은 조건이 되어 키다리병 발생이 증가하는 경향을 보이고 있다(명 등, 2005). 또한 최근에 기온의 상승 등의 여러 가지 요인에 의해서 키다리병의 발생율이 증가하여, 2006년도에는 본답에서 28.8%가 발생한 것으로 보고되었다(Han, 2007).

벼 키다리병에 대해서는 지금까지 키다리병의 발생생태, 병원균 strain의 분류 및 발생과 피해해석, 벼 종자 소독시 수온, 처리시간 및 약량이 키다리병 발병에 미치는 영향, 키다리병 방제를 위한 종자소독 방법, 약제 검정 방법 등에 관한 연구가 진행되었다(김, 1981; 성 등, 1984; 박 등, 2003; 황

*연락처 : Tel. 043-261-2556, Fax. 043-271-4414
E-mail: htkim@cbnu.ac.kr

등, 2005; 신 등, 2008).

벼 키다리병을 방제하기 위해서는 기본적으로 건진 종자를 사용해야 하며, 저항성 품종을 재배하거나, 살균제를 사용하여 병을 방제하여야 한다. 그러나 키다리병균에 대해서 저항성인 벼 품종이 육종되어 있지도 못하고, 포장에서 병원균의 병원성 변이가 심하기 때문에 저항성인 벼 품종이 있다고 하더라도 저항성 자체가 쉽게 무너질 가능성이 높다(Sunder와 Satyvir, 1998). 국내에서도 1980년대에 재배하던 43개 벼 품종을 대상으로 키다리병균에 대한 저항성 정도를 조사하여 태백벼 등 7 품종을 저항성으로, 추청벼 등 17 품종을 중저항성으로, 그리고 한강찰벼 등 19 품종을 감수성으로 구분하였다(양 등, 1985). 실제 포장에서의 실용성이 떨어졌기 때문에 저항성 품종을 사용하기에는 한계가 있었지만, prochloraz와 같이 우수한 효과를 보이는 종자처리제가 개발되어 사용되면서 포장에서 키다리병의 방제는 큰 문제가 없었다. 그러나 최근 키다리병이 다시 문제화되면서 병 발생에 영향을 미치는 다양한 요인에 대한 연구뿐만 아니라, 포장에 있는 병원균의 prochloraz에 대한 저항성 검정이 필요하게 되었다.

Prochloraz는 1977년에 처음 사용되기 시작하였는데, 일반적인 스테롤 생합성 저해제(sterol biosynthesis inhibitor, EBI)와는 다르게, 녹병에 대한 방제 효과는 적으면서 *Septoria* spp., *Rhynchosporium secalis*, *Pseudocercospora herpotrichoides*, *Pyrenophora teres*와 같은 다양한 식물병원균에 대한 활성이 높게 나타나면서 작물, 과수, 잔디, 채소 등의 식물병 방제를 위해서 사용되고 있다(Coping 등, 1984). 또한 prochloraz는 benzimidazole계 살균제에 대해서 저항성인 식물병원균에 대해서 특별히 우수한 효과를 보이기 때문에, benomyl에 저항성을 보이는 양송이의 주요 병원균인 *Verticillium fungicola* var. *fungicola*와 복숭아 잣빛무늬병의 병원균인 *Monilinia fructicola*, 아미의 종자 병원균으로 알려져 있는 *Phoma exigua* var. *linicola* 등의 방제에 사용되기도 하였다(Van Zaayen과 Van Adrichem, 1982; Dijkhuizen 등, 1983; Decognet 등, 1994). Prochloraz의 종자 처리효과와 넓은 적용 범위 때문에 씨감자에서 문제가 되는 *Helminthosporium solani*와 *Colletotrichum coccodes*의 방제를 위해서 저장과 파종 전에 씨감자 처리하여 우수한 방제 효과를 보기도 하였다(Denner 등, 1997). *Fusarium*에 의한 맥류의 붉은곰팡이병을 방제하기 위해서 tebuconazole과 조합으로 또는 단독으로 사용하여 병 발생과 수확한 곡류에 잔류하는 독소의 양 등을 억제하고 생산량을 증대시키는 효과를 보이기도 하였다(Matthies와 Buchenauer, 2000).

하지만 몇몇의 식물병원균에서 prochloraz에 대한 저항성이 보고되어 있다. 맥류에서 eyespot을 일으키는 것으로 알려

져 있는 *Oculimacula acufiformis*는 1992년 프랑스에서 prochloraz에 대한 저항성균이 발생된 것이 보고되어 있다(Leroux와 Gredt, 1997). 또한 Kurt 등(2003)은 목화에서 *Verticillium* 시들음병을 일으키는 *V. dahliae*는 지역에 따라 prochloraz에 대한 병원균의 반응이 크게 다르다고 보고하였다. 양송이에 병을 일으키는 *V. fungicola* var. *fungicola*의 prochloraz에 대한 감수성을 1992년부터 1999년까지 8년간에 걸쳐서 조사한 결과, 1992년에 평균 EC₅₀값이 1.5 µg mL⁻¹에서 1999년에는 3.0 µg mL⁻¹로 증가하면서 저항성 반응을 보이는 균주들이 포장에 나타나기 시작했음을 알 수 있었다(Gea 등, 2005).

Prochloraz는 국내에서 벼 키다리병 방제를 위한 종자소독제로 오랫동안 사용되어오고 있으며, 지금도 우수한 방제 효과를 보이고 있다. 하지만 최근 전국적으로 키다리병의 발병율이 증가하고, 또 일부 지역의 포장에서 효과가 감소하고 있기 때문에 포장에서 prochloraz에 대한 저항성 발현을 모니터링해야 할 필요성이 높아졌다.

본 연구에서는 2007년 충북의 벼 포장에서 분리한 *Fusarium* 균주에 대해서 실험실 내에서 한척희석법을 이용하여 prochloraz에 대한 감수성 정도를 조사하였으며, 저항성 반응을 보이는 균주들이 병원균의 ergosterol 생합성을 저해하는 다른 계통의 속하는 살균제와 교차 저항성 반응을 보이는 지를 조사하였다.

재료 및 방법

Fusarium 균주의 분리 및 보관

2007년 10월에 충청북도 5개 지역에서 벼 키다리병의 전형적인 증상이 보이는 포장과 건전한 포장에서 종자를 채집하였다. 채집한 종자는 2% sodium hypochloride 용액에서 1분간 표면 살균한 뒤, 멸균수로 다시 세척하여 Komada배지 (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, quintozene 1 g, oxgall 0.5 g, Na₂B₄O₇·10H₂O 1 g, streptomycin sulfate 300 mg. pH 3.8~4.0)에 치상하고 28°C 항온기에서 7일간 배양하였다. 종자 표면에 형성된 *Fusarium* spp.의 분생포자를 현미경으로 확인한 후, 멸균수에 넣고 진탕하여, 분생포자를 현탁시켰다. 분생포자의 농도를 1 × 10⁵ 개 mL⁻¹로 조정하여 300 µg mL⁻¹의 streptomycin을 첨가한 PDA (potato dextrose agar; Becton, Dickinson and Company)에 50 µL를 도말하고, 28°C 항온기에서 배양하였다. 2~3일 뒤 형성된 단일 균총의 끝에서 균사 조각을 떼어 내어 새로운 PDA로 옮겨 28°C에서 배양하였다. 분리한 키

다리병균의 균주들은 28°C의 PDA 배지에서 4일간 배양한 후, 균총의 선단부에서 직경 5 mm의 균사 조각을 떼어내어 28°C의 PDA 사면배지에서 배양하여, 4°C에서 보관하며 실험에 사용하였다.

Prochloraz에 대한 저항성 및 EBI제와의 교차 저항성 검정

채집된 종자로부터 분리한 36개 *Fusarium* 균주들의 prochloraz (a.i. 25%, EC)에 대한 저항성은 한천희석법을 사용하여 조사하였다. 분리균을 PDA 배지에 접종하고 28°C의 항온기에서 7일간 배양한 후 균사 선단 부위에서 직경 5 mm의 균사 조각을 떼어내어 살균제를 농도별로 첨가한 PDA 배지에 접종하였다. Prochloraz는 멸균수를 이용해서 희석해서 PDA 배지에서의 최종농도가 100, 20, 4, 0.8, 0.16, 0.032, 0.0064 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 가 되도록 첨가하였다. 이 때 PDA배지에는 세균의 오염을 방지하기 위해서 300 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 streptomycin을 첨가하였다. 분리균을 접종한 배지는 28°C에서 10일간 배양한 후, 균총의 직경을 측정하였으며, 약제를 첨가하지 않은 PDA 배지 상에서의 균총의 직경과 비교하여 균사 생장 억제율(%)을 계산하였다. 균사생장을 50% 억제하는 농도인 EC₅₀값을 가지고 벼 카다리병균을 prochloraz에 대한 저항성과 감수성으로 구분하였으며, prochloraz에 대해서 저항성과 감수성 반응을 보이는 균주를 2 균주씩(저항성 균주; FMCD8과 FMCD9, 감수성 균주; FMJ1과 FMJ2) 선발하여 위와 같은 방법으로 triflumizole, tebuconazole, hexaconazole, difenoconazole에 대한 균사 생장억제율(%)을 조사하여 교차저항성 여부를 조사하였다.

결 과

Prochloraz에 대한 저항성 기준

Prochloraz의 36개 *Fusarium* spp. 균주들에 대한 저항성 여부를 비교하기 위하여 한천희석법을 사용하여 각 균주에 대한 prochloraz의 EC₅₀값을 구하였다. 전체 균주에 대한 평균 EC₅₀값은 0.25 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 이었으며, 최저값과 최고값은 0.02와 1.78 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 이었다. *Fusarium*의 종별로 조사한 평균 EC₅₀값을 보면 *F. fujikuroi*의 경우가 0.31 $\mu\text{g mL}^{-1}$, *F. verticilloides*와 *F. proliferatum*의 경우는 0.09와 0.11 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 이었다(Fig. 1). *F. fujikuroi* FMBG3, FMCOD1, FMCOD3, FMCD9, FMCD8의 EC₅₀값은 0.58, 0.73, 0.96, 1.40, 1.78 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 로 다른 균주들과 비교하여 높았으며, prochloraz의 각각의 농도에 대한 반응도 다른 균주들과 다르다는 것을 알 수 있었다

(Fig. 2). EC₅₀값이 높았던 *F. fujikuroi* FMBG3, FMCOD1, FMCOD3의 세 균주는 4.0 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 prochloraz를 첨가한 배지에서 균사생장을 65% 이하로 억제하는 반면, 낮은 EC₅₀값을 보인 *F. fujikuroi* FMJ1, FMCD2, FMJ3 등의 균주는 모두 90% 이상의 억제율을 보였다. 분리한 36개의 균주 중에서 병원성을 보이는 균주는 22개, 비병원성인 균주는 14개로 나타났으며, *Fusarium* 균주의 병원성과 종자처리제인 prochloraz에 대한 저항성 반응 간에는 전혀 상관관계가 없었다(Fig. 1). 병원성과 관계없이 실험에 사용한 36개 균주의

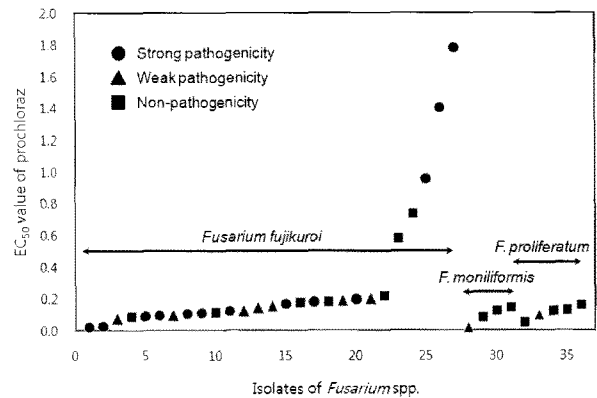


Fig. 1. Distribution of EC₅₀ value against prochloraz and pathogenicity of *Fusarium* spp. isolated from rice seeds in Chungbuk province used in this experiment.

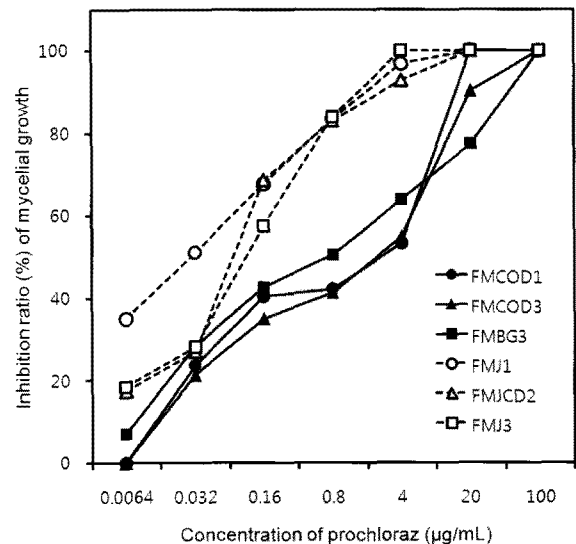


Fig. 2. Effect of prochloraz on the mycelial growth of *Fusarium* spp. isolated from infected rice seed of bakanae disease. Three isolates of FKJ1, FMJCD2 and FMJ3 were selected as a sensitive group, and the three isolates of FMCOD1, FMCOD3 and FMBG3, as a resistant group. To assess the effect of prochloraz on mycelial growth of each isolates, colony diameter were measured on PDA with or without prochloraz after incubation at 28°C for 10 days.

Table 1. EC₅₀ value of several fungicides inhibiting ergosterol biosynthesis against *Fusarium fujikuroi* causing rice bakanae disease

Isolates	Prochloraz	Hexaconazole	Difenoconazole	Tebuconazole	Triflumizole
<i>F. fujikuroi</i> FMCD8	1.779768 ^a	0.000003	0.000449	0.000106	0.002473
<i>F. fujikuroi</i> FMCD9	1.402242	0.000001	0.000035	0.000059	0.001311
<i>F. fujikuroi</i> FMJ1	0.020027	0.000007	0.000856	0.000183	0.006025
<i>F. fujikuroi</i> FMJC2	0.024170	0.000055	0.000085	0.001197	0.000034

^a; Figure indicates the concentration ($\mu\text{g mL}^{-1}$) inhibiting mycelial growth of *Fusarium fujikuroi* on PDA amended with prochloraz by 50% compared with that on PDA without the fungicide.

^b; EC₅₀ values were calculated for each isolate by interpolation from log-probit plots of fungicide concentration and control value. Control value indicated the relative inhibition value: $(1 - \text{colony diameter on amended medium} / \text{colony diameter on untreated control medium}) \times 100$. Colony diameter of isolate was measured after incubation at 28°C during 10 days.

결과를 바탕으로 prochloraz에 대한 *F. fujikuroi*, *F. verticillioides* 그리고 *F. proliferatum*의 감수성과 저항성을 판단할 수 있는 기준 농도는 Fig. 1에서 보는 것과 같이 $0.5 \mu\text{g mL}^{-1}$ 로 정하는 것이 타당할 것으로 생각한다. 이 기준으로 분석하면 2007년에 충북지역에서 채집한 저항성 *Fusarium* 균주의 분리 비율은 13.8%이었다.

Ergosterol 생합성 저해 살균제에 대한 교차 저항성

Prochloraz와 같이 병원균의 ergosterol 생합성을 저해하는 살균제로 알려진 hexaconazole, difenoconazole, tebuconazole, triflumizole을 실험에 사용하였다. Prochloraz에 대해서 강한 병원성을 나타낸 *F. fujikuroi* 중에서 저항성 균주로 FMJCD8과 FMJCD9를, 감수성 균주로는 FMJ1과 FMJC2를 선발하여 사용하였다. FMJCD8, FMJCD9, FMJ1, FMJC2에 대한 prochloraz의 EC₅₀값은 1.780, 1.402, 0.020, 0.024 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 로, 감수성인 FMJ1을 기준으로 저항성 요인을 구하면, FMJCD8이 89를, FMJCD9는 70.1을 보여주고 있다. 하지만 동일한 기작을 갖는 것으로 알려진 hexaconazole, difenoconazole, tebuconazole, triflumizole와는 전혀 교차저항성을 보이고 있지 않았다(Table 1).

고 찰

충북 지역의 벼 포장에서 분리한 *Fusarium* 균주의 prochloraz에 대한 반응은 다양하게 나타났다. 각 균주의 EC₅₀값의 범위는 0.0200에서 $1.7798 \mu\text{g mL}^{-1}$ 이며, 전체 평균은 $0.2544 \mu\text{g mL}^{-1}$ 이었다. 전체 36 균주를 각 균주의 EC₅₀값을 가지고 나누어 볼 때, 5 균주의 EC₅₀값이 $0.5 \mu\text{g mL}^{-1}$ 보다 높았으며, 대부분 균주의 EC₅₀값은 그 미만으로 나타났다. 감수성이 떨어지는 5 균주는 EC₅₀값이 $0.5 \mu\text{g mL}^{-1}$ 이상이었을 뿐만 아니라, 0.16과 $20.0 \mu\text{g mL}^{-1}$ 사이의 prochloraz 처리구에서 감수성

균주에 비하여 prochloraz의 균사생장 억제율이 큰 폭으로 감소하기 때문에 본 실험에서는 저항성 균주로 확정하였고, 그 저항성을 결정하는 기준이 되는 prochloraz의 EC₅₀값을 $0.5 \mu\text{g mL}^{-1}$ 로 결정하였다.

Leroux와 Gredt(1997)는 맥류에 병원균인 *Tapesia yallundae*와 *T. acuformis*의 균사생장과 발아관 신장에 대한 prochloraz 효과에는 차이가 없었지만, *T. acuformis*에서만 저항성이 발견되어, 동일한 속의 병원균이라도 살균제에 대한 저항성과 저항성 발현 가능성이 다를 수 시사하였다. 본 실험에 사용한 *Fusarium* 균주의 TEF 영역 DNA 염기서열을 분석한 결과, 27개의 균주가 *Fusarium fujikuroi*로, 4개와 5개의 균주는 *F. moniliformis*와 *F. proliferatum*으로 동정되었는데(논문 투고 중), prochloraz에 대해서 *F. fujikuroi*, *F. verticillioides*, *F. proliferatum*의 평균 EC₅₀값은 *F. fujikuroi*의 경우가 $0.3052 \mu\text{g mL}^{-1}$ 로, 0.091과 $0.110 \mu\text{g mL}^{-1}$ 인 *F. verticillioides*와 *F. proliferatum*보다 높았으며, 저항성 요인을 보아도 *F. verticillioides*와 *F. proliferatum*은 7.2와 7.8인데 비하여 *F. fujikuroi*는 89.0으로 높아, *Fusarium* 종간에 prochloraz에 대한 저항성 발현이 다를 수 보여주었다. 하지만 본 실험에서 사용한 균주가 2007년에 채집한 36 균주에 국한되어 있기 때문에 앞으로도 계속적으로 다양한 균주를 수집하여 조사해야 할 것으로 생각한다.

일반적으로 식물병원진균은 동일한 작용기작을 지닌 살균제에 대해서 교차저항성을 보인다고 알려져 있다. 스테롤 생합성을 저해하는 살균제로 알려져 있는 triadimenol에 대해서 저항성인 보리 흰가루병균은, 동일한 작용기작을 가지고 있는 cyproconazole, epoxuconazole, propiconazole, tebuconazole 등에 대해서 교차 저항성을 보인다는 것이 알려져 있다(Blatter 등, 1998). 본 실험에 사용한 prochloraz도 식물병원진균의 스테롤 생합성을 저해하는 살균제로 알려져 있다(Siegel, 1981). Akallal 등(1998)은 *Nectria haematococca*의 tebuconazole

에 대한 저항성 유전과 기작을 연구하기 위해서 UV 처리를 통하여 다양한 돌연변이를 획득하고, 그 각각을 분석한 결과, 야생균주인 *N. haematococca* S2에서 획득한 TEB2-1, 2-2, 2-3 균주는 동일한 triazole계인 flusilazole뿐만 아니라, imidazole계인 imazalil과 prochloraz, 그리고 pyrimidine계인 fenarimol과 nuarimol에 대해서도 교차 저항성을 보였다. 하지만 Table 1을 보면 *F. fujikuroi* FMCD8과 FMCD9는 prochloraz에 대해서 저항성으로, EC₅₀값이 1.780과 1.402 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 로 나타난 반면, FMJ1과 FMJC2는 0.020과 0.024 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 로 감수성으로 나타났는데, 실험에 사용한 triazole계인 hexaconazole, difenoconazole, tebuconazole뿐만 아니라, imidazole계인 triflumizole과도 전혀 교차 저항성을 보이지 않았다. Leroux와 Gredt(1997)는 맥류의 주요 병원균인 *Tapesia yallundae*를 분리하여 스테롤 생합성을 저해하는 triazole계와 imidazole계에 대한 저항성 검정을 실시하고, 그 표현형을 가지고서 병원균을 Tri1⁺와 Tri2⁺의 두 그룹으로 구분하였다. Tri1⁺는 실험한 6종의 triazole계와 imidazole계에 속하는 triflumizole에 대해서 교차저항성을 보이는 그룹이며, Tri2⁺는 Tri1⁺ 그룹의 표현형과 더불어, 저항성을 보이지 않았던 prochloraz에 까지도 저항성 반응을 보이는 그룹으로 구분하였는데, Tri2⁺는 포장에서 10% 미만으로만 분리되고, 대부분은 Tri1⁺에 속한다고 보고하였다. 결국 포장에서 분리한 대부분의 *T. yallundae* 균주에서는 스테롤 생합성을 저해하는 triazole계 살균제와 prochloraz 사이에 교차저항성을 찾아 볼 수 없었다. Triazole계에 속하는 살균제의 생화학적인 작용점은 ergosterol 생합성 과정에서 가장 중요한 효소인 14 α -demethylase(CYP51)로 알려져 있으며, 저항성 기작으로는 세포 외부로의 살균제 배출, CYP51 유전자의 과다 발현, CYP51 유전자 상에서의 아미노산 치환 등이 보고되었다(Joseph-Horne과 Hollomon, 1997). 실제로 *Erysiphe graminis*, *Uncinula necator*, *Candida albicans* 등에서는 CYP51 유전자의 381번째 아미노산이 isoleucine에서 valine으로 치환되면서 살균제에 대한 저항성이 크게 증가하였다(Delye 등, 1998; Delye 등, 1997; Loffler 등, 1997). *Mycosphaerella graminicola*의 경우에는 CYP51 유전자의 381번째의 아미노산이 isoleucine에서 valine으로 치환되면서 살균제에 대한 저항성이 증가하였지만, prochloraz에 대한 저항성 발현과는 전혀 관계가 없었다(Leroux 등, 2007). Wood 등(2001)도 prochloraz에 대한 저항성 발현 기작이 CYP51 유전자에서의 아미노산 치환과는 관련이 없고, 다른 작용 기작에 의해서 발현될 것이라고 보고하였다. 이처럼 여러 가지 식물병원균에서 prochloraz에 대한 저항성 발현 기작은 다른 스테롤 생합성을 억제하는 살균제 그룹과 다르기

때문에, 동일한 작용점을 가진 살균제라고 하더라도 교차 저항성이 나타나지 않을 수 있음을 보여주고 있다. 결국 벼 키다리병의 주요 병원균인 *F. fujikuroi*의 경우도 prochloraz에 대한 저항성 발현 기작이 달라, 동일한 imidazole계의 triflumizole, triazole계인 hexaconazole, dipenoconazole, tebuconazole 등과 교차 저항성을 나타내지 않은 것으로 생각한다.

특정 식물병원균의 살균제에 대한 저항성 발현 기작이 다르다면 동일한 작용점을 갖는 다른 살균제를 사용해서도 그 병원균을 방제할 수 있기 때문에, 벼 포장에서 prochloraz에 대한 저항성균이 발현된다고 하더라도 스테롤 생합성을 저해하는 동일한 작용점을 갖는 여러 종류의 살균제를 계속적으로 사용할 수 있을 것으로 생각한다. 또한 포장에서 발생한 prochloraz에 대한 저항성 균주 또는 인위적인 만든 돌연변이 등을 이용하여 prochloraz에 대한 정확한 저항성 발현 기작을 규명한다면, 포장에서 prochloraz에 대한 저항성 발현을 관리할 수 있을 뿐만 아니라 새로운 방제용 살균제의 선발이 가능할 것으로 생각한다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비에 의하여 수행된 것으로 연구비의 지원에 감사드립니다.

>> 인 / 용 / 문 / 헌

- Akallal, R., D. Debieu, C. Lanen, M. Daboussi, R. Fritz, C. Malosse, J. Bach and P. Leroux (1998) Inheritance and mechanism of resistance to tebuconazole, a sterol C14-demethylation inhibitor, in *Nectria haematococca*. *Pest. Biochem. Physiol.* 60:147~166.
- Blatter, R. H. E., J. K. M. Brown and M. S. Wolfe (1998) Genetic control of resistance of *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* to five triazole fungicides. *Plant Pathology* 47:570~579.
- Coping, L. G., R. J. Birchmore, K. Wright and D. H. Godson (1984) Structure-activity relationships in a group of imidazole-1-carboxamide. *Pestic. Sci.* 15:280~284.
- Decognet, V., V. Cerceau and B. Jouan (1994) Control of *Phoma exigua* var. *limicola* on flax by seed and foliar spray treatments with fungicides. *Crop Protection* 13:105~108.
- Delye, C., L. Bousset and M. F. Corio-Costet (1998) PCR cloning and detection of point mutations in eburicol 14 α -demethylase (CYP51) gene from *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*, a 'recalcitrant' fungus. *Curr. Genet.* 34:399~403.
- Delye, C., F. Laigret and M. F. Corio-Costet (1997) A mutation

- in the 14 α -demethylase gene of *Uncinula necator* that correlates with resistance to a sterol biosynthesis inhibitor. Appl. Environ. Microbiol. 63:2966~2970.
- Denner, F. D. N., C. Millard, A. Geldenhuys and F. C. Wehner (1997) Treatment of seed potatoes with prochloraz for simultaneous control of silver scurf and black dot on progeny tubers. Potato Res. 40:221~227.
- Dijkhuizen, J. P., J. M. Ogawa and B. T. Manji (1983) Activity of captan and prochloraz on benomyl-sensitive and benomyl-resistant isolates of *Monilinia fructicola*. Plant Dis. 67:407~409.
- Gea, F. J., M. J. Navarro and J. C. Tello (2005) Reduced sensitivity of the mushroom pathogen *Verticillium fungicola* to prochloraz-manganese *in vitro*. Mycol. Res. 109:741~745.
- Han, S. (2007) Review of disease occurrence of major crops in Korea in 2006. The KSPP Annual Meeting & Symposium. pp. 19~20.
- Joseph-Horne, T. and D. W. Hollomon (1997) Molecular mechanism of azole resistance in fungi. FEMS Microbiol. Lett. 49: 141~149.
- Kurt, S., S. Dervis and S. Sahinler (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., C. Albertini, A. Gautier, M. Gredt and A. Walker (2007) Mutations in the *CYP51* gene correlated with changes in sensitivity to sterol 14 α -demethylation inhibitors in field isolates of *Mycosphaerella graminicola*. Pest Manag. Sci. 63:688~698.
- Leroux, P. and M. Gredt (1997) Evolution of fungicide resistance in the cereal eyespot fungi *Tapesia yellundae* and *Tapesia acufiformis* in France. Pestic. Sci. 51:321~327.
- Loffler, J., S. L. Kelly, H. Hebart, U. Schumacher, C. Lass-Flörl and H. Einsele (1997) Molecular analysis of *cyp51* from fluconazole resistant *Candida albicans* strains. FEMS Microbiol. Lett. 151:263~268.
- Matthies, A. and H. Buchenauer (2000) Effect of tebuconazole (Folicur (R)) and prochloraz (Sportak (R)) treatments on *Fusarium* head scab development.
- Siegel, M. R. (1981) Sterol-inhibiting fungicides: Effects on sterol biosynthesis and sites of action. Plant Dis. 65:986~989.
- Sunder, S. and S. Satyavir (1998) Vegetative compatibility, biosynthesis of GA₃ and virulence of *Fusarium moniliforme* isolates from bakanae disease of rice. Plant Pathology 47: 767~772.
- Van Zaayen, A. and J. C. J. Van Adrichem (1982) Prochloraz for control of fungal pathogens of cultivated mushroom. Nethl. J. Pl. Path. 88:203~213.
- 김장규, 벼 키다리병의 발생생태에 관한 연구 (1981) 한국 식물보호학회지 20(3):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(2): 89~92.
- 박홍규, 신해룡, 이인, 김석연, 권오도, 박인진, 국용인 (2003) 벼 종자소독시 수온, 처리 시간 및 약량이 벼키다리병 발병에 미치는 영향. 농약과학회지 7(3):216~222.
- 성재모, 양성석, 이은중 (1984) *Fusarium moniliforme* 의 Strain별 육묘상과 본답에서의 병 발생과 피해해석에 관한 시험. 한국균학회지 12(2):65~73.
- 신명옥, 이수민, 이용환, 강효중, 김흥태 (2008) 몇 가지 살균제의 벼 키다리병과 병원균에 대한 효과 검증. 농약과학회지 12:168~176.
- 양성석, 조의규, 김완규, 이은중, 성재모 (1985) 벼 키다리병 저항성 검증 및 모입고병 발생원인에 관한 연구. 농업기술연구소 시험연구보고서 pp. 221~266.
- 황동용, 김덕수, 김상열 (2005) 키다리병 방제를 위한 종자소독 방법 연구. 한국작물학회 2005년 춘계학술발표회 요지. pp. 126~127.

벼 종자에서 분리한 *Fusarium*속 균주들의 prochloraz에 대한 저항성 검증 및 교차 저항성 조사

신명옥¹ · 강효중¹ · 이용환² · 김흥태*

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

요 약 *Fusarium* spp. 균주들에 대한 Prochloraz의 살균효과를 비교하기 위하여 한천희석법을 사용하여 각 균주에 대한 prochloraz의 EC₅₀값을 구하였다. 전체 균주에 대한 평균 EC₅₀값은 0.25 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 이었으며, 최저값과 최고값은 0.02과 1.78 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 이었다. *Fusarium*의 종별로 조사한 평균 EC₅₀값을 보면 *F. fujikuroi*의 경우가 0.31 $\mu\text{g mL}^{-1}$, *F. moniliformis*와 *F. proliferatum*의 경우는 0.09과 0.11 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 이었다. 실험에 사용한 36개 *Fusarium*속 균주의 prochloraz에 대한 감수성과 저항성을 판단할 수 있는 기준 EC₅₀ 값은 0.5 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 가 타당하며, 이 기준에 의한 저항성 균주의 분리 비율은 13.8%이었다. Prochloraz에 대한 저항성과 *Fusarium* 균주의 병원성 간에는 전혀 상관관계가 없었다. 또한 prochloraz에 대해서 저항성인 균주들은 triflumizole, hexaconazole, difenoconazole, tebuconazole과 교차 저항성을 보이지 않았다.

색인어 벼 키다리병, *Fusarium* spp., prochloraz 저항성, 교차 저항성