

우리나라에서 분리한 벼 키다리병균(*Fusarium fujikuroi*)의 살균제 저항성

이용환 · 김소연 · 최효원 · 이명지 · 나동수¹ · 김인선² · 박진우 · 이세원*

국립농업과학원 농업생물부, ¹국립농업과학원 농산물안전성부, ²전남대학교 응용생물공학부

(2010년 11월 26일 접수, 2010년 12월 16일 수리)

Fungicide Resistance of *Fusarium fujikuroi* Isolates Isolated in Korea

Yong Hwan Lee, Soyeon Kim, Hyo-Won Choi, Myeong-Ji Lee, Dong Soo Ra¹, In Seon Kim², Jin Woo Park and Se-Weon Lee*

Agricultural microbiology Team, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea, ¹Department of agro-food safety, National Academy of Agricultural Science, RDA, ²Department of applied bioscience and biotechnology, Jeonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

Abstract

Rice bakanae disease caused by *Fusarium fujikuroi* is one of the most serious rice diseases in Korea. From 2006 to 2009, 118 *F. fujikuroi* isolates were collected from various regions of rice fields in Korea. Resistance assay of 118 *F. fujikuroi* isolates to prochloraz, tebuconazole, and benomyl, were performed using agar dilution method. To investigate inhibitory effects of the fungicides, minimum inhibitory concentration of mycelial growth (MIC) and effective concentration inhibiting mycelial growth by 50% (EC₅₀) for 118 isolates were calculated using Sigmaplot 8.02 (Antro, SPSS UK, Ltd). Based on the means of EC₅₀ values, baseline resistance values were determined as 0.5 µg·mL⁻¹ for prochloraz, 5.0 µg·mL⁻¹ for tebuconazole and 2.5 µg·mL⁻¹ for benomyl. Number of resistant isolates to each fungicide was 17, 19 and 43 for prochloraz, tebuconazole and benomyl, respectively. Furthermore, 4 isolates showed the double resistance to both prochloraz and tebuconazole, 6 isolates to prochloraz and benomyl, and 11 isolates to tebuconazole and benomyl. Isolates CF366 and LF335 isolated from Gyeongbuk province were resistant to the three fungicides tested, prochloraz, tebuconazole and benomyl.

Key words *Fusarium fujikuroi*, Fungicides resistance, Cross resistance

서 론

벼 키다리병은 대표적인 종자 전염균인 *Giberella fujikuroi* (무성세대: *Fusarium fujikuroi*)에 의해 발생하며, 전국 못자리에서의 키다리병 발생이 늘어남에 따라 2006년에는 28.8%까지 증가하였고(Han, 2007), 친환경 농법으로 미흡해진 종자 소독으로 발생 면적이 증가하는 추세에 있다(김, 2008).

벼 키다리병을 방제하기 위해서는 기본적으로 건전 종자를 사용해야 하며, 저항성 품종을 재배하고 살균제를 사용하여 종자소독을 실시해야 한다. 그러나 키다리병균에 대해서 저항성인 벼 품종이 육종되어 있지 못하고, 키다리병균은 포장에서 병원성 변이가 심하기 때문에 저항성인 벼 품종이 있다고 하더라도 저항성 체계가 쉽게 무너질 가능성이 높다(Sunder and Satyavir, 1998). 키다리병 방제를 위해서는 주로 종자소독을 하고 있는데, 우리나라에서는 침종 전 살균제로 prochloraz 액제가 1983년 등록되어 주로 사용되고 있다. Prochloraz 약

*연락처 : Tel. +82-31-290-0488, Fax. +82-31-290-0406

E-mail: leeseveon@korea.kr

제는 항균 범위가 넓으며 침투 이행성이 강하여 종자 전염성 병해 및 저장 병해의 예방과 치료효과가 있고 진균의 ergosterol 생합성을 저해함으로써 살균 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다(정과 박, 1990). 하지만 박 등(2008)은 벼 종자 내부에 종자감염이 심한 경우 prochloraz를 이용한 침지소독 효과가 떨어지게 되는 것이 키다리병이 격발한 한가지 원인으로 제시하였다. 한편 신 등(2008)은 충북지역에서 키다리병균에 대한 prochloraz의 저항성균 출현을 보고 하였고, 또한 일본에서는 90년대에 이미 benomyl에 대한 저항성 키다리병균이 보고되었다(Omatsu et al, 1990; Yamashita et al, 1995). 따라서 본 연구에서는 우리나라에서 키다리병 방제 약제로 선호되어온 prochloraz, benomyl과 최근 키다리병 방제약제로 등록된 tebuconazole에 대해 전국에서 분리한 키다리병균(*Fusarium fujikuroi*)의 저항성을 조사하고 이들의 다중저항성 여부를 분석하여 키다리병을 효과적으로 방제하기 위한 약제 선택 방법 등을 모색하고자 하였다.

재료 및 방법

벼 키다리병균의 분리·동정 및 보관

2006년도부터 2009년도까지 우리나라 벼 재배 지역에서 키다리병 증상을 보이는 벼 줄기와 키다리병이 발생한 포장에서 종자를 채집하여 키다리병균(*Fusarium fujikuroi*)을 분리하였다. 채집한 줄기(지제부위를 약 5 mm의 크기로 절단한 부위)와 종자를 1% 차아염소산나트륨과 70% Ethanol을 이용하여 표면 소독을 한 뒤, 살균수로 2회 세척한 후 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 치상하여 28°C 배양기에서 배양하였다. 7일 후 자라난 균총으로부터 단포자를 분리하여 PDA(potato dextrose agar)에 옮겨 배양하였고, 15% glycerol에 포자 현탁액을 보관하여 -70°C에 보관하며 실험에 사용하였다. 분리한 단포자는 PDA 배지상에서 색소를 확인하였고 CLA(carnation leaf agar) 배지에서 7-10일간

배양한 후 분생포자, 후막포자 형성 등 형태적 특성에 따라 동정하여 118개의 *F. fujikuroi* 균주를 분리하였다(Nirenberg and O'Donnell, 1998; Leslie and Summerell, 2006).

약제저항성 검정

각 지역에서 분리된 *Fusarium* 균 중 한천희석법을 사용한 살균제별 저항성을 검정하기 위하여 118 균주를 공시하였다. 공시약제는 우리나라에서 벼 키다리병 방제를 위하여 흔히 사용되어온 살균제인 benzimidazole계 benomyl 및 스테롤 생합성 저해제(C₁₄-Demethylation Inhibitors of Sterol Biosynthesis; DMIs)중 prochloraz와 tebuconazole 등의 3가지 약제로 이에 대한 저항성 검정을 하였다. 각 약제는 멸균수를 이용하여 희석하고 각 약제별로 선행결과를 바탕으로 시험 농도별로 PDA 배지에 첨가하였다(Table 1). 저항성 검정을 위한 접종원은 보관 중인 포자 현탁액을 PDA 배지에 배양하여 28°C에서 7일간 배양한 후, cork borer(직경 5 mm)로 균사절편을 떼어 내어 살균제를 농도별로 첨가한 PDA 배지에 접종하였다. 28°C 배양기에서 7일간 배양된 균총의 직경을 측정하여 아래와 같은 계산법으로 균사 성장 억제율을 조사하였다.

균사 성장 억제율(%)

$$= \left(1 - \frac{\text{약제처리구균총길이(mm)}}{\text{약제무처리구균총길이(mm)}}\right) \times 100$$

병원균의 균사 성장을 50% 억제하는 농도인 EC₅₀ (effective concentration inhibiting mycelial growth by 50%)값은 Sigmaplot 8.02(Anpro, SPSS UK, Ltd) 프로그램을 이용하여 분석하였고 이를 이용하여 각 살균제 별 저항성 균주와 감수성 균주를 구분하고, 공시 살균제 사이의 다중저항성 여부를 조사하였다.

결과 및 고찰

공시 살균제에 대한 저항성 기준 설정

키다리 증상을 보이는 시료로부터 분리한 균 중 공시한 118

Table 1. General information of the fungicides used for resistance assay to Korean isolates of *F. fujikuroi*

Fungicide	Chemical class	Active Ingredient (%), Formulation	Concentration tested ($\mu\text{g a.i./ml}$)
Prochloraz	Imidazole	25, EC	0.1~100.0
Tebuconazole	Triazole	25, WP	0.1~100.0
Benomyl	Benzimidazole	50, WP	0.1~500.0

Table 2. EC₅₀ value of prochloraz, tebuconazole and benomyl to the isolates of *F. fujikuroi* collected from Korea

Fungicide	EC ₅₀ (µg a.i./mℓ)		
	average	range	resistance baseline
Prochloraz	0.207	0.002-1.548	0.500
Tebuconazole	2.508	0.001-37.248	5.000
Benomyl	2.752	1.051-9.261	2.500

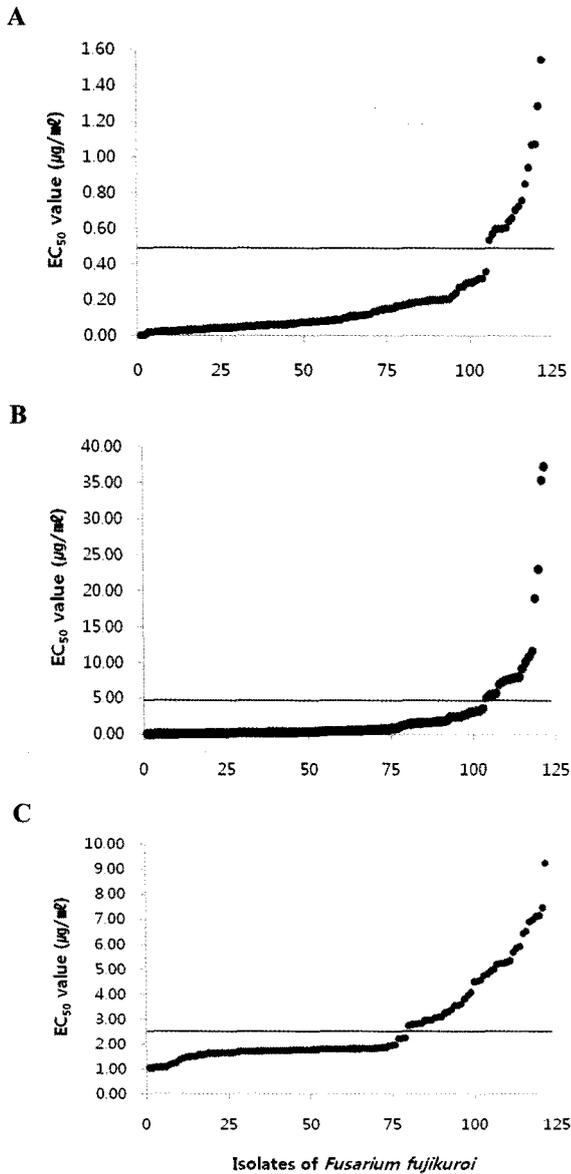


Fig. 1. Distribution of EC₅₀ values of prochloraz (A), tebuconazole (B) and benomyl (C) to Korean isolates of *F. fujikuroi* collected from 2006-2009.

균주를 대상으로 한천희석법을 사용하여 prochloraz, tebuconazole, benomyl 약제에 대한 저항성 여부를 검정하여 각 균주의 EC₅₀값을 구하였다. Prochloraz에 대한 균주들의 평균 EC₅₀값은 0.207 µg·mL⁻¹이었으며, 최고값과 최저값은 각

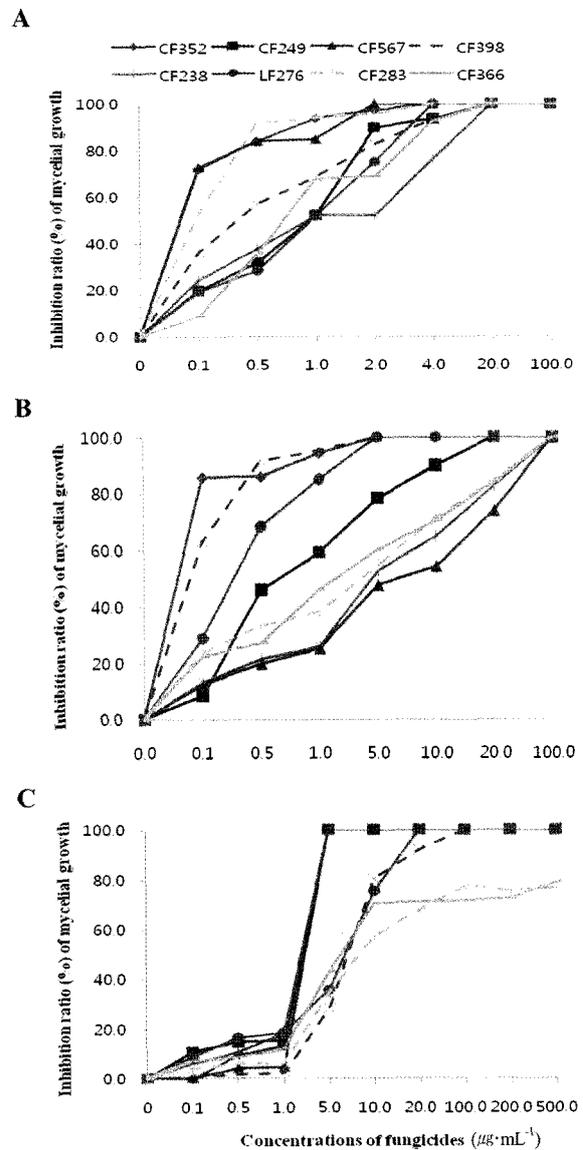


Fig. 2. Effect of prochloraz (A), tebuconazole (B) and benomyl (C) on the mycelial growth of *F. fujikuroi* isolated from infected rice stems and seeds. CF352 isolate was sensitive to prochloraz, tebuconazole and benomyl. CF249, CF567 and CF398 isolate were resistant to prochloraz, tebuconazole and benomyl, respectively. CF238 isolate showed double resistance to both prochloraz and tebuconazole, LF276 isolate to prochloraz and benomyl, and CF283 isolate to tebuconazole and benomyl. CF366 isolate was resistant to prochloraz, tebuconazole and benomyl.

각 1.548과 0.002 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 이었고, 저항성을 판단할 수 있는 기준 농도는 감수성 균주들과 차이가 확연히 차이를 보이는 0.5 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 로 결정하였다(Table 2, Fig. 1-A). Prochloraz 감수성 균주는 2 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 이상에서 거의 100% 균사생장을 억제하였지만 저항성 균주의 경우에는 2 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 에서 균사생장억제가 급격히 감소하였고(Fig 2-A), 신 등(2008) 보고와 일치하기 때문에 저항성 기준 EC_{50} 값을 0.5 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 정하는 것이 타당할 것으로 판단된다. Tebuconazole에 대한 균주들의 평균 EC_{50} 값은 2.508 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 이었으며, 최고값과 최저값은 각각 37.248과 0.001 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 이었고 저항성 기준농도는 EC_{50} 값 5.0 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 로 결정하였다(Table 2, Fig. 1-B). Tebuconazole 감수성 균주는 5.0 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 이상에서 균사생장이 완전히 억제된 반면에 저항성 균주는 10 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 이상에서도 균사생장이 거의 억제되지 않았다(Fig. 2-B). Akallel 등(1998)은 Tebuconazole의 감수성 기준 EC_{50} 값을 1.2 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 로 정하였는데 본 연구에서는 5.0 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 에서 감수성 균주와 저항성 균주의 차이를 보였기 때문에 이 농도를 저항성 기준 농도로 정하는 것이 바람직할 것으로 생각된다(Fig. 1-B). Benomyl의 경우 평균 EC_{50} 값은 2.752 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 이었으며, 최고값과 최저값은 각각 9.261과 1.051 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 이었고 저항성 기준농도는 2.5 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 로 결정하였다(Table 2, Fig. 1-C). Benomyl 감수성 균주는 5.0 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 에서 균사생장이 100% 억제되었고 저항성 균주의 경우에는 10 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 이상에서 균사생장이 거의 억제되지 않았다(Fig. 2-C). 강과 서(1986)는 최소억제농도 10 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 이상을 저항성으로 구분하였는데 본 시험에서도 EC_{50} 값 2.5 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 이상인 균주들의 경우 10 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 이상에서 균사생장이 100% 억제되는 것을 볼 수 있었기 때문에 저항성 기준 EC_{50} 값을 2.5 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 로 정하는 것이 타당할 것으로 생각된다.

공시 살균제에 대한 지역별 저항성 균주 비교

공시한 *F. fujikuroi* 118 균주를 분리한 지역별로 나누어 3가지 살균제에 대해 감수성과 저항성을 나타내는 균주를 구분하여 비교하였다. Prochloraz의 경우 저항성균은 16균주(13.6%)로 이 가운데 전남 9균주, 경북 3균주 그 외 지역에서는 1균주씩 분리되었으나 충북과 전북에서는 분리되지 않았다. 신 등(2008)은 충북지역에서 분리한 *Fusarium* 속 균주에 13.8%가 저항성균주로 보고하였는데 본 연구에서는 충북지역에서 저항성 균주가 분리되지 않았다. 이는 분리 균주수가 9개 밖에 되지 않기 때문인 것으로 생각되고 전체 균주 중에서의 저항성 비율은 13.6%로 앞의 보고와 유사한 결과를 나타냈다. 특히 전남지역에서 prochloraz에 대한 감수성 균주는 6개인 반면에 저항성균주는 9개로 가장 높은 비율을 나타내었는데 이는 주로 진도에서 분리한 균주들이 저항성을 보였다. 진도의 경우 흑미를 자가 채종하여 사용하는 비율이 매우 높고 키다리병이 매우 심하게 발생한 지역으로(Han, 2007), 이처럼 동일한 종자를 연속적으로 사용하면서 prochloraz에 노출이 지속된 것이 저항성균 출현과 이로 인한 키다리병 다발생의 주원인으로 생각된다. Tebuconazole에 저항성을 나타내는 균주는 18개로 전체 가운데 15.6%를 차지하였다. 이 가운데 충남에 7균주, 경북에 5균주가 속해 있었고 충북, 전북, 전남에서는 저항성 균주가 없었다. Benomyl의 경우에는 저항성을 나타낸 균주는 43개(36.4%) 중 60% 이상이 경북(14균주)과 전남(12균주)에 속하였고 충북지역에서는 발견되지 않았다(Table 3). Delp(1988)와, Schuepp and Kueng (1981)의 연구에 따르면, benzimidazole계 살균제에 저항성인 균은 포장에서 적응력이 높은 것으로 간주되었고, benomyl은 오랜 기간 동안 키다리병 방제약제로 사용되어졌기 때문에 타 약제에 비해 높은 비율의 저항성 균주가 분리된 것으로 생각된다.

Table 3. Number of *F. fujikuroi* isolates sensitive and resistant to prochloraz, tebuconazole and benomyl from each Korean province

Province	No. of isolates of <i>F. fujikuroi</i>					
	Prochloraz		Tebuconazole		Benomyl	
	Sensitive	Resistance	Sensitive	Resistance	Sensitive	Resistance
Gyeonggi	10	1	9	2	7	4
Gangwon	13	1	12	2	13	1
Chungbuk	9	0	9	0	9	0
Chungnam	23	1	17	7	16	8
Jeonbuk	6	0	6	0	5	1
Jeonnam	6	9	15	0	3	12
Gyeongbuk	19	3	17	5	8	14
Gyeongnam	16	1	15	2	14	3
Total (%)	102 (86.4)	16 (13.6)	100 (84.7)	18 (15.3)	75 (63.6)	43 (36.4)

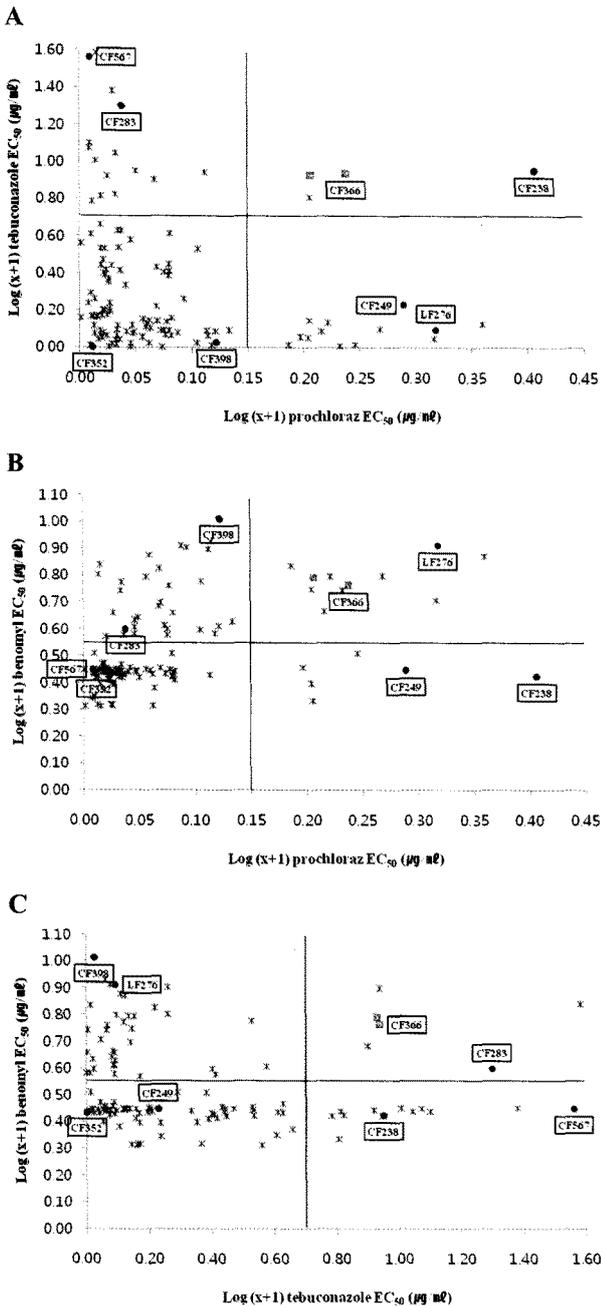


Fig. 3. Cross-resistance patterns of different fungicides in *F. fujikuroi* isolates collected from Korea. EC₅₀ values were determined by agar dilution assay. Isolate CF366 and LF335 (Blue green dots) showed resistance to the three tested fungicides. (A) prochloraz vs. tebuconazole, (B) prochloraz vs. benomyl, and (C) tebuconazole vs. benomyl.

공시 살균제의 다중저항성

로그값으로 치환한 EC₅₀값을 가지고 공시한 살균제 사이의 다중저항성 여부를 분석하였다. Prochloraz와 tebuconazole 사이에는 4균주가, tebuconazole과 benomyl에선 6균주가 각각의 두 가지 약제에 대해 이중저항성을 보였고, Prochloraz와

benomyl의 경우엔 11균주가 이중저항성을 나타냈다(Fig. 3). 이 중 세 가지 약제에서 모두 저항성을 보인 균주는 CF366와 LF335로 모두 경북 지역에서 분리된 균주였다. Prochloraz와 tebuconazole의 경우 같은 DMIs 약제이지만 교차저항성이 없는 것으로 보고되었다(Robbertse et al., 2001). 그러나 본 연구에서는 위 두 가지 약제에 저항성을 보이는 균주들이 발견되었는데 기존 연구를 고려해볼 때 교차저항성이 아닌 이중저항성 균주로 판단된다. 하지만 tebuconazole의 경우 2010년에 처음 벼에 등록된 약제임을 고려해볼 때 이들 저항성에 대한 깊은 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 benzimidazole계와 DMI계 약제 사이에도 교차저항성이 없는 것으로 보고되었는데(Griffin and Fisher, 1985; Katan, 1982), 본 조사에서는 prochloraz와 tebuconazole, benomyl 모두에서 저항성을 나타내는 다중저항성 균주가 발견되었다. 이는 언제든지 저항성 균주에 의해 종자소독 효과가 낮아지고 이로 인해 키다리병 발생이 증가할 수 있는 요인이 잠재하고 있다는 것을 의미한다. 따라서 이를 예방하기 위해서는 이러한 다중저항성균의 각 약제에 대한 저항성 기작을 구명하는 것이 선행되어야 하고 작용기작이 다른 새로운 종자소독제의 개발이 요구된다. 박 등(2009)은 작용기작이 다른 약제의 혼용처리를 제안하였는데 이런 방법도 키다리병 방제를 위한 한 가지 대안이 될 것이다. 또한 농업 현장에서는 벼 종자의 자가 채종을 줄이고 동일 종자소독제를 연용하지 않도록 하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 농촌진흥청 연구개발과제(과제번호: PJ0066302010-05)의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

>> 인 / 용 / 문 / 헌

Akallel, R., D. Debieu, C. Lanen, M. Daboussi, R. Fritz, C. Malosse, J. Bach, and P. Leroux (1998) Inheritance and mechanisms of resistance to tebuconazole, a sterol C14-demethylation inhibitor, in *Nectria haematococca*. Pesticide Biochemistry and Physiology 60:147~166.
 Delp, C. J. (1988) Fungicides resistance in North America. The American Phytopathological Society. St. Paul Minn. 133p.
 Griffin, M. J. and N. Fisher (1985) Laboratory studies on benzimidazole resistance in *Septoria tritici*. EPPO Bulletin 15:505~511.

- 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.
- Katan, T. (1982) Resistance to 3,5-dichlorophenyl-N-cyclic imide ('dicarboximide') fungicides in the grey mould pathogen *Botrytis cinerea* on protected crops. Plant Pathol. 31:133~141.
- Leslie, J. F., and B. A. Summerell. (2006) The Fusarium Laboratory Manual. UK. Blackwell Publishing Ltd.
- Nirenberg, H. I., and K. O'Donnell. (1998) New *Fusarium* species and combinations within the *Gibberella fujikuroi* species complex. Mycologia 90:434~458.
- Omatsu, N., S. Izumi, and I. Shinyashiki (1990) Occurrence of benomyl resistant strains of *Gibberella fujikuroi* in Kagoshima Prefecture and control of Bakanae disease of rice seed by seed disinfection. Proceedings of the Association for Plant Protection of Kyushu 36:5~7.
- Robbertse, B., M. van der Rijst, I. M. R. van Aarde, C. Lennox, P. W. Crous. (2001) DMI sensitivity and cross-resistance patterns of *Rhynchosporium secalis* isolates from South Africa. Crop protection 20:97~102.
- Schuepp, H. and M. Kueng. (1981) Stability of tolerance to MBC in populations of *Botrytis cinerea* in vineyards of northern and eastern Switzerland. Can. J. Plant Pathol. 3: 180~181.
- Sunder, S. and S. Satyavir (1998) Vegetative compatibility, bio-synthesis of GA₃ and virulence of *Fusarium moniliforme* isolates from bakanae disease of rice. Plant Pathol. 47:767~772.
- Yamashita, T., N. Eguchi, and Y. Saito (1995) Straightforward methods for monitoring benomyl resistant strains of *Fusarium moniliforme*, the causal fungus of "Bakanae" disease. Proceedings of the Kanto-Tosan Plant Protection Society 42:23~25.
- 강광륜, 서전규 (1986) 약제내성 잣빛곰팡이병균의 발생 조사. 원예 시험장 시험연구보고서(채소분야) pp. 388~390.
- 김세중, 원종건, 안덕중, 박소득, 최충돈 (2008) 소독 방법에 따른 벼 키다리병 발생 및 생육 특성. 한국작물학회지 53(4):417~420.
- 박우식, 예완해, 이세원, 한성숙, 이준성, 임춘근, 이용환 (2008) 온탕소독과 prochloraz 침지소독이 벼 종자에 감염된 *Fusarium fujikuroi*의 포자와 균사의 형태에 미치는 영향에 대한 전자현미경적 연구. 식물병연구. 14:176~181.
- 박우식, 최효원, 한성숙, 신동범, 심형권, 정은선, 이세원, 임춘근, 이용환 (2009) Prochloraz와 Fludioxonil 혼용침지소독에 의한 벼키다리병 방제. 식물병연구 15:94~100.
- 신명욱, 강효중, 이용환, 김홍태 (2008) 벼 종자에서 분리한 *Fusarium* 속 균주들의 prochloraz에 대한 저항성 검정 및 교차 저항성 조사. 농약과학회지 12(3):227~282.
- 정영호, 박영선 (1990) 농약학. 전국농업기술자협회 pp. 214~215.

우리나라에서 분리한 벼 키다리병균(*Fusarium fujikuroi*)의 살균제 저항성

이용환 · 김소연 · 최효원 · 이명지 · 나동수¹ · 김인선² · 박진우 · 이세원*

국립농업과학원 농업생물부, ¹국립농업과학원 농산물안전성부, ²전남대학교 응용생물공학부

요 약 2006년부터 2009년 까지 우리나라의 벼 재배지역에서 키다리 증상을 보이는 시료를 채집하여 벼 키다리병균 118 균주를 분리하였다. 분리 후 공시된 균주는 한천희석법을 이용하여 prochloraz, tebuconazole, 및 benomyl의 세 약제에 대한 저항성 정도를 검정 하였고, 각 균주의 균사 생장율을 조사하여 살균제별 EC₅₀ 값을 구한 결과, prochloraz 에서 0.207, tebuconazole에서 2.508, 그리고 benomyl에서 2.752 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 으로 조사되었다. 이들을 토대로 각 약제에 대한 *F. fujikuroi* 분리균의 저항성 판단 기준 농도는 prochloraz와 benomyl의 경우 각각 0.5 와 2.5 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 의 낮은 농도 값이 지정된 반면, tebuconazole에 대한 저항성 기준 농도는 5.0 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 으로 다소 높은 값이 지정되었다. 설정한 저항성 기준농도를 적용하여 저항성 균주를 조사한 결과 prochloraz와 tebuconazole 약제에 대해 17개와 19개 균주로 조사되었고, 오랜 기간 사용되어온 benomyl에 대해 저항성을 보이는 균주는 43개로 더 많이 나타났다. Prochloraz와 tebuconazole, prochloraz와 benomyl, 및 tebuconazole과 benomyl 별로 접종원의 EC₅₀ 값을 비교해 본 결과, 이중저항성을 보이는 균주는 각각 4, 11, 6균주였으며, 이 3가지 약제에 모두 저항성을 보이는 균주는 CF366 와 LF335 2균주로 이들은 모두 경북 지역에서 분리된 균주였다. 각각의 약제에 저항성인 균주들과 이중저항성을 보인 균주, 그리고 세 가지 약제에 대해 모두 저항성인 균주와 감수성인 균주를 선발하여 균사 생장 억제율을 비교해본 결과 해당 약제에 저항성을 보이는 균주는 다른 균주에 비해 약제의 농도가 증가됨에 따라 억제 곡선이 완만하게 나타남을 알 수 있었다.

색인어 키다리병, 약제저항성, 이중저항성