

국내 벼 키다리병균의 Benomyl 약제에 대한 감수성 기준 및 저항성 변화

최효원^{1*} · 이용환² · 홍성기³ · 이영기¹ · 이재금¹ · 김효원¹

¹국립농업과학원 작물보호과, ²농촌진흥청 재해대응과, ³국립농업과학원 유해생물팀

Baseline Sensitivity and Monitoring for the Resistance to Benomyl of *Fusarium* Species Causing Bakanae Disease in Korea

Hyo-Won Choi^{1*}, Yong Hwan Lee², Sung Kee Hong³, Young Kee Lee¹, Jae Guem Lee¹ and Hyo Won Kim¹

¹Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

²Disaster Management Division, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea

³Microbial Safety Team, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

ABSTRACT : To examine the changes in resistance to benomyl of *Fusarium* species causing bakanae disease, *Fusarium* isolates were collected in Korea, and pathogenicity tests were performed using rice seeds *in vitro*. Minimum inhibitory concentration (MIC) and effective concentration of 50% (EC₅₀) values of isolates were examined using the agar dilution method. High frequency distribution of MIC values to benomyl against isolates collected in 2006~2007 and 2013~2014 years were 1.5625~3.125 µg/mL and more than 25 µg/mL, respectively. The mean EC₅₀ value of isolates to benomyl increased from 1.6397 µg/mL in 2006~2007 to 2.4892 µg/mL in 2013~2014. Based on MIC and EC₅₀ values of isolates, the moderate resistance of benomyl were determined as more than 25 µg/mL of MIC and less 2.4 µg/mL of EC₅₀ value, and resistant isolates to benomyl were determined as more than 2.4 µg/mL of EC₅₀ value. Compared with the ratio of resistant isolates in 2006~2007, the ratio of resistance isolates in 2013~2014 increased from 12.5% to 36.4%. In addition, multiple resistant isolates to prochloraz as well as benomyl increased to 20.3% in 2013~2014.

KEYWORDS : Bakanae disease, Benomyl resistance, *Fusarium fujikuroi*

서론

최근 국내에는 벼 출수기의 기온상승과 친환경 벼 재배 면적의 확대, 기계 이앙에 따른 상자 육묘 등 다양한 원인

에 의해 키다리병의 발생이 증가하고 있다[1]. 벼 키다리병은 종자전염성 병해로 *Fusarium fujikuroi* Nirenberg에 의해 발생하며, 주로 못자리에서 비정상적으로 키가 크는 병징을 나타내지만, 국내의 경우 본답 시기에도 계속해서 발병이 되어 문제가 되고 있다. 특히 벼 키다리병의 방제를 위해서는 등록된 종자소독 약제를 이용하여 벼 종자를 소독하는 것이 가장 효과적인 것으로 알려져 있으나, 최근에는 약제소독을 실시한 종자에서도 키다리병이 발생하고 있어 약제저항성에 대한 문제가 제기되고 있고, 이에 대한 연구가 필요한 실정이다[2].

1970년대까지 우리나라를 비롯한 일본, 중국에서는 벼 키다리병의 방제를 위해서 benomyl이나 thiophanate-methyl과 같은 benzimidazole계 살균제를 사용하였으나, 약제저항성에 의해 방제효과가 감소하는 현상이 나타났다[3]. 특히 일본의 경우, 1980년대 종자소독을 실시한 여러 지역에서 벼 키다리병이 심하게 발생하였는데, benomyl 저항성

Kor. J. Mycol. 2015 December, 43(4): 260-266
<http://dx.doi.org/10.4489/KJM.2015.43.4.260>
 pISSN 0253-651X • eISSN 2383-5249
 © The Korean Society of Mycology

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

Received November 2, 2015
 Revised November 22, 2015
 Accepted November 29, 2015

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

키다리병균의 증가를 그 원인으로 분석한 바 있다[4]. 또한 국내에서도 대표적인 종자소독약제인 prochloraz 저항성 키다리병균의 분포가 보고되었으며, 2006년부터 2007년에 6.5%였던 prochloraz 저항성균의 분포 비율이 2013년부터 2014년에는 41.6%로 크게 증가한 것으로 조사되었다[2, 5, 6]. 비록 현재 벼 키다리병의 방제를 위한 종자소독 약제로 benzimidazole계 약제를 사용하는 빈도는 낮은 경향이지만, 키다리병이 상습적으로 발생하는 지역에는 이미 이 약제를 몇 년간 사용해왔다. 특히 국내에서 키다리병의 발생이 계속해서 증가하고 있고, 특히 prochloraz 등 주로 사용되는 약제에 대한 저항성이 증가하는 추세이기 때문에 국내에 종자소독제로 등록되어 있는 약제에 대해 저항성 기준의 설정이나 저항성 변화 등을 조사할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 benomyl에 대한 약제저항성 기준을 확립하기 위하여 2006년부터 2007년에 분리한 키다리병균을 대상으로 병원성이 확인된 균주에 대해 한천희석법을 이용하여 군사생장을 50% 억제하는 농도인 effective concentration of 50%(EC₅₀)값과 균사를 완전히 억제하는 최소억제농도(minimum inhibitory concentration, MIC)값을 조사하여 감수성 기준을 설정하였다. 또한 2013년부터 2014년에 분리한 병원균에서도 한천희석법을 이용하여 연도별 저항성 변화 및 지역별 저항성 분포 비율을 분석하였다. 그리고 prochloraz에 대한 저항성 정도를 조사한 이전의 연구결과와 비교하여 두 가지 약제의 다중저항성 발현 정도를 분석하였다.

재료 및 방법

시험균주 및 병원성 검정

이전에 prochloraz 약제에 대한 저항성 변화 연구에 사용되었던 2006년부터 2007년, 그리고 2013년부터 2014년에 분리한 590개 균주를 대상으로 시험을 수행하였다[2]. 전국에서 수집한 벼 키다리병균을 단포자 분리하고, 감자한천사면배지(potato dextrose agar, PDA)에 배양하여, 10°C에 보관하면서 실험에 사용하였다. 분리한 균주는 균학적 특

성조사와 TEF (translation elongation factor 1 alpha) 유전자의 염기서열 분석을 통해 종을 동정하였다. 또한 포자현탁액에 벼 종자를 침지하여 시험관에 파종하는 실내 검정 방법으로 병원성 검정을 수행하였다[2]. 이 중 2006년부터 2007년에 분리한 120개 균주와 2013년부터 2014년에 분리한 365개 균주를 선발하여 benomyl에 대한 약제반응시험을 수행하였다.

벼 키다리병균의 benomyl에 대한 약제반응 조사

Benomyl (a.i. 50%, EC)에 대한 키다리병균의 감수성 정도를 조사하기 위하여 한천희석법을 이용하여 군사생장 억제 정도를 조사하여 비교하였다. 병원성이 확인된 485개 균주를 PDA배지에 접종하여 25°C에 7일간 배양하였고, cork borer (직경 5 mm)를 이용하여 균총을 절단하였다. 약제는 멸균수에 용해시켜 PDA배지에서의 최종농도가 각각 25, 12.5, 6.25, 3.125, 1.5625, 0.78125, 0.390625 µg/mL이 되도록 첨가하였고, 약제를 혼합하여 만든 PDA배지 중앙에 균총을 접종하였다. 병원균을 접종한 배지는 25°C에서 7일간 배양한 후, 자란 균총의 직경을 측정하였다. 이 결과를 바탕으로 군사생육을 완전히 억제하는 최소농도인 최소억제농도(minimum inhibitory concentration, MIC) 값을 구하여 연도별 저항성 변화 양상을 분석하였다. 또한, 측정된 균총의 직경과 약제를 첨가하지 않은 PDA 배지에서의 균총 직경을 비교하여 군사생장 억제율(%)을 계산하였다. SigmaPlot version 12.3 (Systat Software Inc., San Jose, CA, USA) 프로그램을 이용하여 군사생장을 50% 억제하는 농도인 effective concentration of 50% (EC₅₀)값을 계산하였다.

$$\text{군사생장 억제율(\%)} = [1 - (\text{약제 배지에서의 균총직경} / \text{무처리 배지에서의 균총직경})] \times 100$$

결과 및 고찰

Benomyl에 대한 최소억제농도(MIC) 및 EC₅₀값의 변화

실내검정에 의해 병원성이 확인된 485개 균주에 대해 한

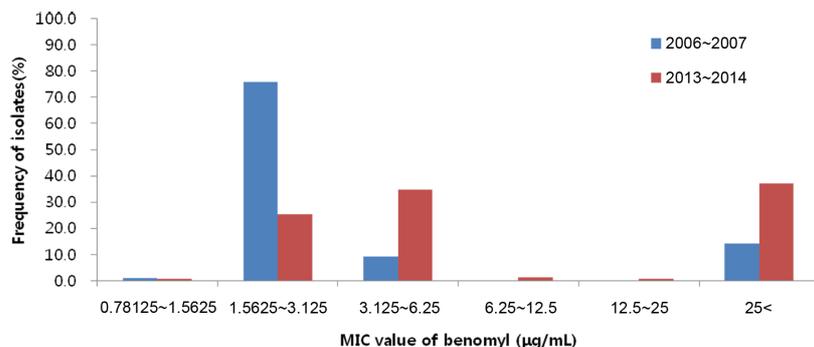


Fig. 1. Minimum inhibition concentration (MIC) of benomyl against the mycelia growth of *Fusarium* species isolated from infected rice plants in 2006~2007 and 2013~2014.

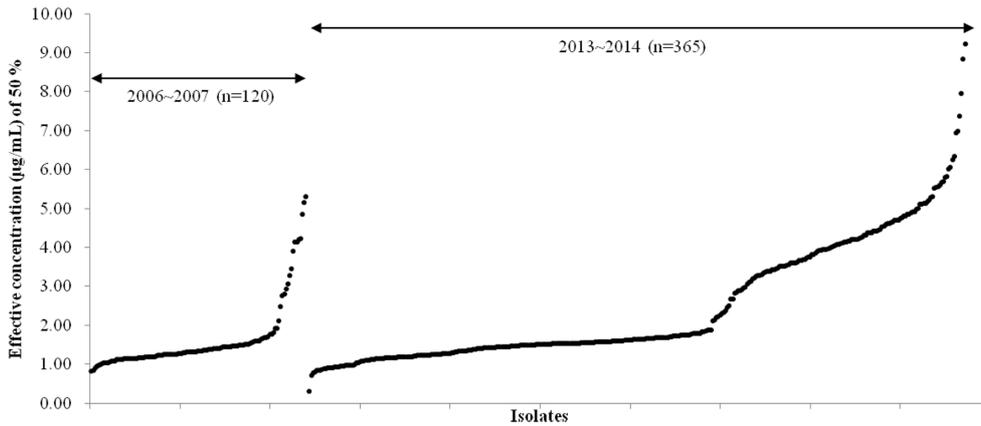


Fig. 2. Variation of effective concentration of 50% (EC₅₀) value of *Fusarium* isolates collected from infected rice plants in 2006~2007 and 2013~2014.

천희석법을 이용하여 약제반응을 조사하였다. MIC값의 분포비율을 조사한 결과, 2006년부터 2007년에 분리한 120개 균주 중 91개 균주 (75.8%)의 MIC값이 1.5625~3.125 µg/mL였고, 25 µg/mL 이상인 균주는 17개 (14.2%)로 나타났다. 반면, 2013년부터 2014년에 분리한 365개 균주는 MIC값이 25 µg/mL 이상인 균주가 135개 (37.0%)로 가장 많았고, 3.125~6.25 µg/mL인 균주가 127개 (34.8%)로 나타났다(Fig. 1). MIC값의 분포를 전체적으로 살펴보면, 국내 키다리병균주는 분리 연도에 상관없이 1.5625~3.125 µg/mL, 3.125~6.25 µg/mL와 25 µg/mL 이상의 MIC값에 주로 분포하는 것으로 나타났다. 이전의 연구에서 이들 균주는 prochloraz 약제에 대해서는 MIC값의 분포가 정규분포 형태로 나타나 benomyl과는 차이를 나타냈다[2]. 이것은 두 약제의 계통 차이에 의한 특성과 살균제 저항성 기작의 유전 방식 등과 관련된 것으로 추정된다.

2006년부터 2007년 분리균의 EC₅₀값 범위는 0.825~5.3015 µg/mL이었고, 평균값은 1.6397 µg/mL이었으며, 2013년부터 2014년 분리균은 0.3131~9.2385 µg/mL이었고, 평균값은 2.4892 µg/mL로 2006년부터 2007년에 비해 EC₅₀값의 범위와 평균치가 증가한 것으로 조사되었다(Fig. 2). 또한 분리 연도별 EC₅₀값의 분포를 살펴보면, 2006년부터 2007년 분리균에서는 존재하지 않았던 EC₅₀값 6.0 µg/mL 이상인 균주가 2013년부터 2014년 분리균에서 확인되었다(Fig. 3). 이것은 국내 벼 키다리병균이 benomyl에 대한 저항성이 증가하고 있음을 의미한다. Lee 등[5]은 2006년부터 2009년까지 국내에서 분리한 키다리병균의 benomyl에 대한 저항성 분석 결과, 평균 EC₅₀값이 2.752 µg/mL였고 범위는 1.051~9.261 µg/mL로 나타났다고 하였고, 이는 오히려 본 연구의 2013년부터 2014년 분리균의 결과와 비슷한 수준이었다. 이것은 시험에 사용한 균주의 분리 연도, 균주

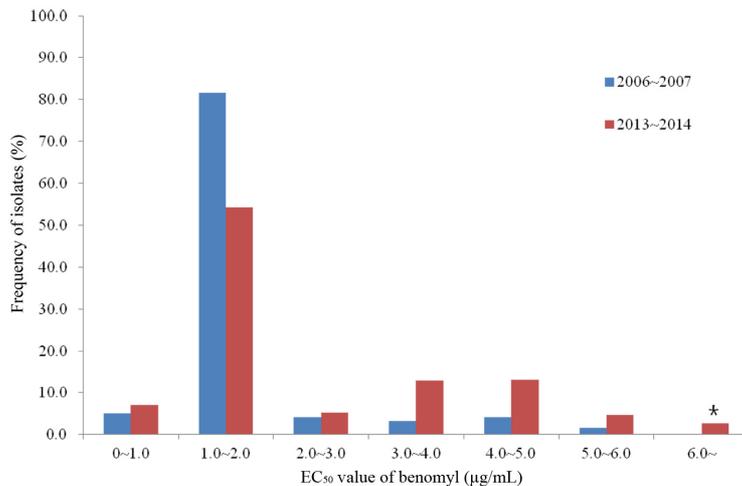


Fig. 3. Frequency histogram of effective concentration of 50% (EC₅₀) values of isolates from infected rice plants in 2006~2007 and 2013~2014. Asterisk means significantly high EC₅₀ values of isolates collected in 2013~2014.

개수 및 병원성 등의 차이 때문인 것으로 생각된다.

이와 같이 분리 연도별로 MIC값과 EC₅₀값을 조사한 결과, 25 µg/mL 이상의 MIC값을 나타내는 균주가 증가하고, EC₅₀값의 분포범위와 평균값이 증가하였으며, EC₅₀값이 6.0 µg/mL 이상인 균주가 2013년부터 2014년 분리균주에서 확인된 것으로 볼 때, 국내 키다리병균의 benomyl에 대한 저항성이 증가한 것으로 판단된다.

벼 키다리병균의 benomyl에 대한 저항성 기준

위에서 조사한 2006년부터 2007년 분리균의 MIC값과 EC₅₀값을 분석하여 국내 벼 키다리병균의 benomyl에 대한 저항성 기준을 설정하였다. 2006년부터 2007년에 분리한 총 120개 균주에 대한 분석 결과, Fig. 4에서 보는 바와 같이 3개의 그룹으로 나뉘어졌으며, 감수성 그룹(S)은 EC₅₀값이 2.4 µg/mL 이하이고, MIC값이 12.5 µg/mL 이하로 기준을 설정하였다. 저항성 그룹은 다시 중도저항성(MR)과 저항성(R) 그룹으로 구분하였는데, 중도저항성 그룹은 EC₅₀값은 2.4 µg/mL 이하이지만 MIC값이 25 µg/mL 이상일 때, 그리고 저항성 그룹은 EC₅₀값이 2.4 µg/mL 이상인 경우로 구분하였다. 감수성과 저항성 균주를 판단할 때, EC₅₀값과 MIC값의 크고 작음이 항상 일치하는 것은 아니다. 다시 말해 EC₅₀값이 높다고 반드시 MIC값이 높은 것은 아니기 때문에 저항성 기준을 설정할 때에는 EC₅₀값과 MIC값을 함께 고려하는 것이 필요하다. 2006년부터 2009년까지 국내에서 분리한 118개 균주에 대해 benomyl 저항성 기준을 판단한 기존 연구에서는 저항성 기준을 EC₅₀값 2.5 µg/mL 이상으로 설정하였다[5]. 이는 본 연구의 EC₅₀값과 유사한 결

과이지만, 앞에서 언급한 바와 같이 MIC값에 의해 확연히 구분되는 그룹이 존재하기 때문에 여기서는 MIC값과 EC₅₀값을 함께 고려하여 그 기준을 설정하였다. 또한, 중국에서 분리한 benomyl 저항성 벼 키다리병 균주의 tubulin 유전자 염기서열 분석에 대한 연구에서는 감수성 균주의 EC₅₀값을 1.08 µg/mL, MIC값을 5 µg/mL 이하로, 중도저항성 균주는 EC₅₀값과 MIC값을 각각 2.41 µg/mL과 50~100 µg/mL로, 저항성 균주의 EC₅₀값을 3.32 µg/mL, MIC값을 100 µg/mL 이상으로 표현하며 MIC값과 EC₅₀값을 함께 나타낸 바 있다[3]. 따라서 국내 벼 키다리병균의 benomyl에 대한 저항성 기준은 MIC값이 25 µg/mL 이상이고, EC₅₀값이 2.4 µg/mL 이하일 때는 중도저항성으로, EC₅₀값이 2.4 µg/mL 이상일 때는 저항성으로 하는 것이 타당할 것으로 생각된다. 이와 같은 저항성 기준으로 국내 벼 키다리병균의 저항성 변화를 분석한 결과, 2006년부터 2007년 분리 균주에서 감수성 균주는 85.8%였으나 2013년부터 2014년에는 62.5%로 감소하였고, 저항성 균주는 12.5%에서 36.4%로 증가하였다(Fig. 5). 이는 2006년부터 2009년까지 분리한 키다리병 균주의 benomyl 저항성 분포율이 36.4%였다는 이전 연구 결과와는 큰 차이를 보였다[5]. 이것은 이전 연구와 본 연구의 저항성 기준의 차이, 균주의 분리 연도와 지역의 차이 때문인 것으로 추정된다. 본 연구에서 사용된 동일한 균주의 prochloraz 저항성균 분포 비율이 2006년부터 2007년에 6.5%에서 2013년부터 2014년에는 41.6%로 약 6.4배 증가한 것에 비하면 benomyl 저항성은 약 2.9배 정도의 증가율을 보였다[2]. 이것은 국내 종자소독 약제로 prochloraz 약제를 가장 많이 사용하기 때문에 병원균이 약제에 노출

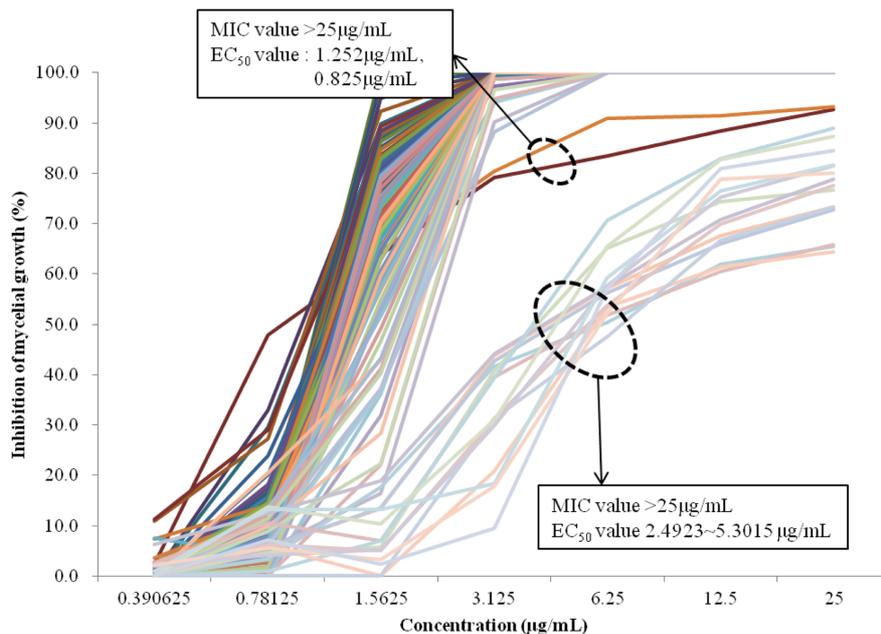


Fig. 4. Baseline of fungicide response resistant to benomyl on isolates of *Fusarium* species isolated during 2006~2007 in Korea. MIC, minimum inhibition concentration.

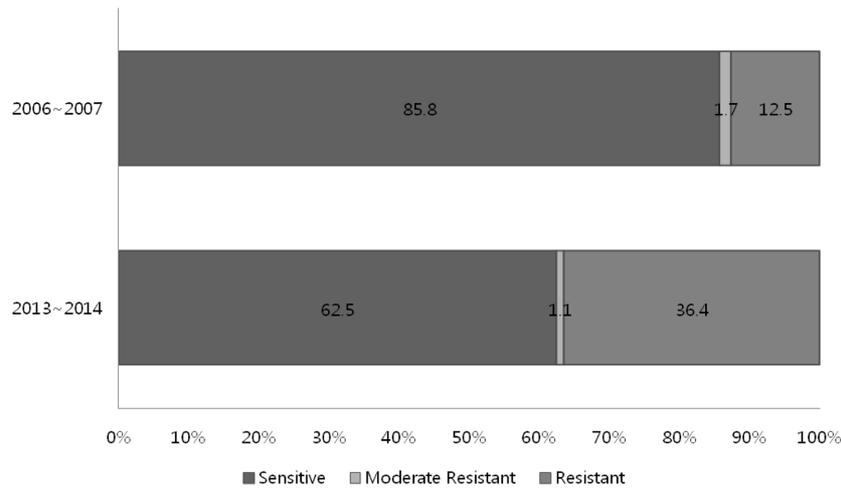


Fig. 5. Percentage of isolates to sensitive, moderate resistant and resistant to benomyl collected in 2006~2007 (120 isolates) and 2013~2014 (365 isolates). Fungicide response was decided with a baseline level of resistance.

Table 1. Frequency of sensitive, moderate resistant, and resistant isolates to benomyl from each province in Korea

Province	Percentage of isolates to benomyl (%)					
	Sensitive		Moderate resistant		Resistant	
	2006~2007	2013~2014	2006~2007	2013~2014	2006~2007	2013~2014
Gangwon	94.1	80.0	5.9	2.2	0.0	17.8
Gyeonggi	80.0	39.4	0.0	0.0	20.0	60.6
Chungbuk	100.0	56.7	0.0	0.0	0.0	43.3
Chungnam	90.9	22.8	3.0	5.3	6.1	71.9
Jeonbuk	83.3	76.1	0.0	0.0	16.7	23.9
Jeonnam	60.0	77.8	0.0	0.0	40.0	22.2
Gyeongbuk	69.6	60.0	0.0	0.0	30.4	40.0
Gyeongnam	100.0	72.7	0.0	0.0	0.0	27.3

된 빈도가 높기 때문인 것으로 생각된다.

본 연구의 저항성 기준으로 지역별 benomyl 저항성 분포 변화를 분석한 결과, 전남을 제외한 모든 지역에서 2006년부터 2007년에 비해 2013년부터 2014년 분리 균주의 benomyl 저항성 분포 비율이 증가하였다(Table 1). 또한 중도 저항성은 강원과 충남 지역에서만 분포하고 있음이 확인되었다. 특히 경기와 충남 지역의 경우, 2013년부터 2014년의 저항성균 분포 비율이 60% 이상으로 크게 증가하였으며, 충남 지역은 2006년부터 2007년에 6.1%였던 저항성균 분포 비율이 71.9%로 심각하게 증가한 것으로 나타나 향후 이에 대한 대책이 필요할 것으로 생각된다. 특히 충남 일부 지역의 경우, 2000년대 초반부터 키다리병이 심각하게 발생하였기 때문에 benomyl을 비롯한 다양한 종자소독 약제를 사용해 왔고, 이로 인해 benomyl 저항성 균의 분포가 크게 증가한 것으로 판단되며, 이에 대한 면밀한 조사가 필요할 것으로 생각된다. 충북과 경남 지역은 2006년부터

2007년에는 benomyl 저항성 균의 분포가 확인되지 않았으나 2013년부터 2014년 분리균에서 저항성 균주의 분포율이 각각 43.3%, 27.3%로 조사되었다. 한편, 전남 지역의 경우, benomyl 저항성 균의 분포가 2006년부터 2007년 40.0%에서 2013년부터 2014년 22.2%로 감소한 것으로 조사되었다. Benomyl과 같은 benzimidazole계 약제 저항성균은 생체 적응력이 감수성균에 비해 떨어지지 않기 때문에 약제 사용을 중단하여도 저항성 균의 밀도는 줄어들지 않는 것으로 알려져 있으나[7], 20년 이상 benomyl의 사용이 중단된 이후 저항성 균의 출현빈도가 급격히 감소되었다는 보고도 있어[8] 전남 지역의 저항성 균의 감소 원인에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 국내의 벼 키다리병 균 약제저항성 관리 측면에서 향후 지역별 농가의 benomyl 사용 빈도별 저항성 균의 분포 비율, 병원균의 benomyl 저항성 발현 기작 등이 구명되어야 할 것으로 생각된다.

Benomyl과 prochloraz 약제에 대한 다중저항성 분석

이전 연구에서 수행한 prochloraz 살균제에 대한 약제반응과 benomyl에 대한 약제반응 결과를 조합하여 두 가지 살균제의 다중저항성 여부를 분석하였다. 2006년부터 2007년에 분리한 120개 균주 중 4개 균주(3.3%)가 두 가지 약제에 대해 다중저항성을 나타냈다. 반면, 2013년부터 2014년에 분리한 균주의 경우, 365개 균주 중 74개 균주(20.3%)가 두 가지 약제에 대해 모두 저항성이 있는 것으로 조사되

었다(Fig. 6). Lee 등[5]은 2006년부터 2009년에 분리한 118개 균주를 대상으로 prochloraz와 benomyl에 대한 다중저항성을 조사한 결과, 118개 균주 중 11개 균주가 다중저항성을 나타내었으며, 이 중 2개 균주는 tebuconazole에도 저항성을 나타내어 3종의 약제에 대해 다중저항성임을 보고하였다. 일반적으로 benomyl과 같은 benzimidazole계 약제와 prochloraz와 같은 DMI계 약제 사이에는 교차저항성이 없는 것으로 보고되어 있다[9]. 그러나 본 연구에서는 두

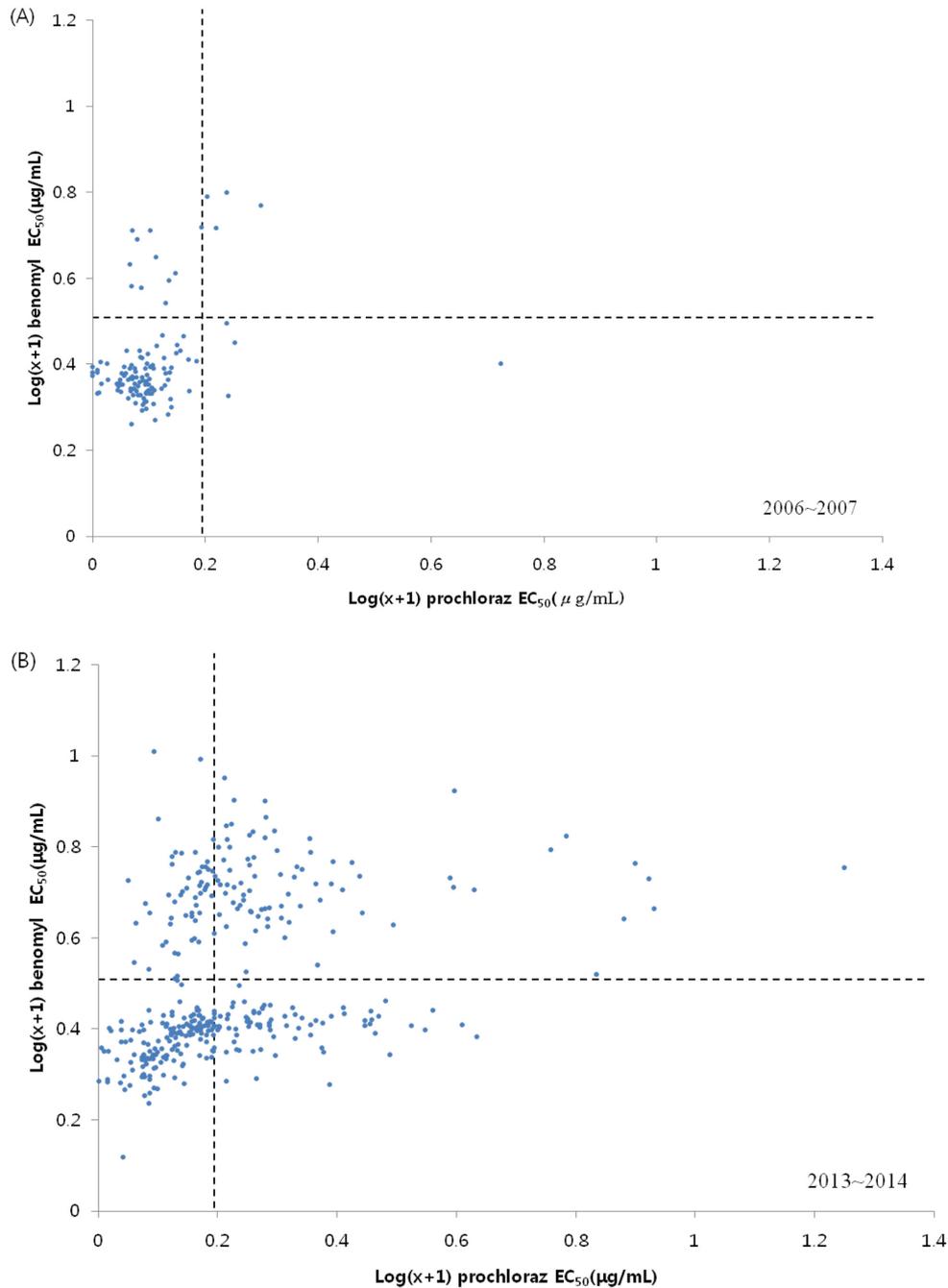


Fig. 6. Cross resistance patterns of prochloraz and benomyl fungicides in *Fusarium* isolates collected from infected rice plants in 2006~2007(A) and 2013~2014(B).

약제에 대한 다중저항성 균주가 크게 증가한 것으로 나타났다. 이것은 여러 약제에 대해 저항성을 가진 병원균의 집단이 늘어난 결과이거나 한 가지 약제에 대한 저항성의 증가가 또 다른 유전적 변이에 의해 다른 약제에 대한 저항성을 증가시킨 것으로 추정해 볼 수 있으나 이에 대한 정확한 원인분석이 필요할 것으로 생각된다. 또한 benzimidazole 계 살균제 저항성 균의 방제를 위하여 N-phenylcarbamate 계 살균제의 역상관 교차저항성을 이용하였는데 [10], 두 계통의 합제 사용 이후에도 두 살균제에 모두 저항성을 나타내는 다중저항성 병원균의 출현이 보고되어 다중저항성의 위험성이 제기된 바 있다 [11]. 특히 벼 키다리병의 경우, 다중저항성에 의해 종자소독 효과가 저하되고, 이로 인해 병 발생이 증가할 가능성이 있으므로 각 약제에 대한 저항성 기작을 구명하는 것이 필요하다고 하였다 [5]. 한편 benomyl은 병원균의 β -tubulin 단백질의 중합 반응을 억제하고 미세소관의 생성을 방해하는 기작으로 병을 방제하는 것으로 알려져 있다 [12]. Chen 등 [3]은 중국에서 분리한 benomyl 저항성 키다리병균의 tubulin 유전자 중 돌연변이 (point mutation)가 일어난 부위는 β_2 -tubulin의 198번, 200번, 235번 codon임을 보고하였으나 국내 벼 키다리병균의 경우에는 이외는 다른 부위에서 돌연변이가 일어난 것으로 조사되었다 (데이터 미제시). 따라서 국내 벼 키다리병균의 저항성 특성이나 다중저항성 증가와의 관련성 등을 유전자 변이와 함께 연구할 필요가 있다.

이와 같은 결과를 종합해 보면, 국내에 분포하는 벼 키다리병균의 benomyl 저항성 균주 분포가 증가하였으며, 특히 지역적으로 저항성 균의 분포 비율이 증가하는 추세이고, 경기와 충남 지역의 경우 저항성 균의 분포가 크게 증가한 것으로 조사되었다. 또한 최근에 분리한 균주의 경우에는 prochloraz와 benomyl에 모두 저항성을 보이는 균주가 20.3%의 비율로 나타나 다중저항성의 증가 역시 우려된다. 따라서 벼 키다리병에 대해서는 다양한 종자소독제에 대해 지속적인 저항성 모니터링이 수행되어야 하고, 약제저항성에 대한 효과적인 관리 방안이 마련을 위한 저항성 기작 구명 등의 추가적인 연구가 반드시 필요할 것으로 생각된다.

적 요

국내에 분포하는 벼 키다리병균의 benomyl에 대한 저항성 정도를 조사하기 위하여 연도별로 균주를 수집하고, 병원성을 검정하였으며, 한천희석법을 사용하여 각 균주의 benomyl에 대한 MIC값과 EC_{50} 값을 조사하였다. 그 결과, 2006년부터 2007년에 분리한 균주의 MIC값은 1.5625~3.125 ug/mL인 균주가 가장 높은 빈도로 분포하였고, 2013년부터 2014년 분리균의 MIC값은 25 ug/mL 이상의 농도에서 분포비율이 가장 높았다. 또한 2006년부터 2007년 분리균의 평균 EC_{50} 값은 1.6397 ug/mL이었으며, 2013년부터 2014년 분리균은 2.4892 ug/mL로 조사되었다. 국내 벼 키

다리병균의 benomyl에 대한 저항성 기준은 MIC값이 25 ug/mL 이상이고, EC_{50} 값이 2.4 ug/mL 이하일 때는 중도저항성으로, EC_{50} 값이 2.4 ug/mL 이상일 때는 저항성으로 하는 것이 타당할 것으로 생각된다. 이 기준에 의한 저항성 균주의 비율은 2006년부터 2007년에 12.5%에서 2013년부터 2014년에는 36.4%로 증가하였다. 한편, prochloraz와 benomyl에 모두 저항성을 보이는 균주가 20.3%인 것으로 나타나 벼 키다리병균의 다중저항성이 증가하는 것으로 조사되었다.

Acknowledgements

This study was supported by a grant (Project No. PJ09891) from Rural Development Administration, Republic of Korea.

REFERENCES

1. Shin DB, Goh J, Lee BC, Kang IJ, Kang HW. Use of sodium hypochlorite for the control of bakanae disease in rice. Res Plant Dis 2014;20:259-63.
2. Choi HW, Lee YH, Hong SK, Lee YK, Nam YJ, Lee JG, Han SH. Monitoring for the resistance to prochloraz of *Fusarium* species causing bakanae disease in Korea. Kor J Mycol 2015; 43:112-7.
3. Chen Z, Gao T, Liang S, Liu K, Zhou M, Chen C. Molecular mechanism of resistance of *Fusarium fujikuroi* to benzimidazole fungicides. FEMS Microbiol Lett 2014;357:77-84.
4. Ogawa K, Takeda S. Population of benomyl-resistant rice bakanae fungus in paddy fields. Ann Phytopathol Soc Jpn 1990; 56:247-9.
5. Lee YH, Kim SY, Choi HW, Lee MJ, Ra DS, Kim IS, Park JW, Lee SW. Fungicide resistance of *Fusarium fujikuroi* isolates isolated in Korea. Korean J Pestic Sci 2010;14:427-32.
6. Shin MU, Kang HJ, Lee YH, Kim HT. Detection for the resistance of *Fusarium* spp. Isolated from rice seeds to prochloraz and cross-resistance to other fungicides inhibiting sterol biosynthesis. Korean J Pestic Sci 2008;12:277-82.
7. Kim BS, Lim TH, Park EW, Cho KY. Occurrence of multiple resistant isolates of *Botrytis cinerea* to benzimidazole and N-phenylcarbamate fungicides. Korean J Plant Pathol 1995;11: 146-50.
8. Karaoglanidis GS, Bardas G. Control of benzimidazole and DMI resistant strains of *Cercospora beticola* with strobilurin fungicides. Plant Dis 2006;90:419-24.
9. Griffin MJ, Fisher N. Laboratory studies on benzimidazole resistance in *Septoria tritici*. EPPO Bull 1985;15:505-11.
10. Elad Y, Shabi E, Katan T. Negative cross resistance between benzimidazole and N-phenylcarbamate fungicides and control of *Botrytis cinerea* on grapes. Plant Pathol 1988;37:141-7.
11. Faretra F, Pollastro S, Di Tonno AP. New natural variants of *Botryotinia fuckeliana* (*Botrytis cinerea*) coupling benzimidazole-resistance to insensitivity toward the N-phenylcarbamate diethofencarb. Phytopathol Mediterr 1989;28:98-104.
12. Davidse LC. Benzimidazole fungicides: mechanism of action and biological impact. Annu Rev Phytopathol 1986;24:43-65.