

## Carboxylic acid amide계 살균제에 대한 고추 역병균 *Phytophthora capsici*의 감수성 기준 설정

신진호<sup>1</sup> · 김주형<sup>1</sup> · 이경희<sup>2</sup> · 노창우<sup>2</sup> · 김흥태<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과, <sup>2</sup>충북농업기술원 친환경농업과

(2010년 10월 2일 접수, 2010년 11월 23일 수리)

### Establishment of Baseline Sensitivity of *Phytophthora capsici* Causing Pepper Phytophthora Blight to Carboxylic Acid Amide Fungicides

Jinho Shin<sup>1</sup>, Joohyung Kim<sup>1</sup>, Kyeong Hee Lee<sup>2</sup>, Chang Woo Rho<sup>2</sup> and Heung Tae Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Plant Medicine, College of Agriculture, Life Science and Environment, Chungbuk National University, <sup>2</sup>Environment-Friendly Agriculture Research Division, Chungbuk Agricultural Research and Extension Services

#### Abstract

Baseline sensitivity to benthiavalicarb, iprovalicarb and dimethomorph included into carboxylic acid amide (CAA) group was evaluated in 180 isolates of *Phytophthora capsici* over 4 years from 2005 to 2008. EC<sub>50</sub> (effective concentration inhibiting mycelial growth by 50%) value of benthiavalicarb ranged from 0.015 µg mL<sup>-1</sup> to 0.049 µg mL<sup>-1</sup> with a mean of 0.033 µg mL<sup>-1</sup>. The mean values of EC<sub>50</sub> of iprovalicarb and dimethomorph were 0.411 (0.197 - 0.556) µg mL<sup>-1</sup> and 0.271 (0.101 - 0.798) µg mL<sup>-1</sup>, respectively. Although there was no increasing tendency in EC<sub>50</sub> of benthiavalicarb and iprovalicarb during 4 years, EC<sub>50</sub> of dimethomorph was increased gradually by laps of time. There was no cross-resistance between each fungicide used in this study and metalaxyl. Among fungicides included into CAA group, there was a positive correlation between benthiavalicarb and iprovalicarb, and between dimethomorph and mandipropamid.

**Key words** *Phytophthora capsici*, baseline sensitivity, benthiavalicarb, iprovalicarb, dimethomorph

#### 서 론

고추 역병은 고추 생산에 큰 영향을 미치는 토양병으로 알려져 있다(황과 김, 1995). 실제 포장에서 고추 역병을 방제하기 위해서는 적절한 경종 방법, 작물의 윤작, 저항성 품종 또는 저항성 접목묘의 사용, 적절한 살균제 처리 등의 방법이 사용되고 있지만, 실질적으로 고추를 재배하는 포장에서는 살균제를 처리하여 역병을 방제하는 방법이 가장 많이 사용되고 있다(김 등, 2007).

고추에 역병을 일으키는 *Phytophthora capsici*는 난균문에 속하는 유사균류로서, 세포막 상에 ergosterol을 가지고 있지 않으며, 미토콘드리아의 구조도 진정균류의 구조와 다르기 때문에 자낭균에 속하는 식물병원균을 방제하는 살균제를 사용할 수 없다. 또한 병원균이 토양을 통한 전반뿐만 아니라 관계수가 튀면서 식물체의 지상부로 병원균이 전반되기도 하며, 지상부에서 형성된 병원균이 비바람 등을 타고서 옮겨지는 등 다양한 전반의 형태를 보인다. 이처럼 전반 양식이 다양한 역병을 살균제를 사용하여 포장에서 방제하기 위해서는 처리 방법과 시기 역시 다양화되어야 하며 따라서 고추 역병 방제는 용이하지 않다. 난균문류에 속하는 역병균의 방제

\*연락처 : Tel. +82-43-261-2556, Fax. +82-43-271-4414

E-mail: htkim@cbnu.ac.kr

를 위해서는 진정균류에 속하는 식물병원균에 효과가 우수한 살균제와는 다른 작용기작과 작용특성을 지니는 다른 계열의 살균제의 개발과 포장에서 병 진전 과정을 고려한 살균제 처리 체계의 확립이 필요하다(Gisi, 2002). 역병균의 방제를 위해서 사용되는 살균제로는 RNA 합성을 저해하는 metalaxyl, ATP 합성을 저해하는 fluazinam, 세포막 투과성에 영향을 미치는 propamocarb, 병원균의 호흡 효소인 complex III와 Q<sub>0</sub>의 활성을 저해하는 fenamidone과 cyazofamid, 그리고 세포벽 증합에 영향을 미치는 dimethomorph 등이 있다(Gisi, 2002).

다양한 작물에서 역병을 일으키는 *Phytophthora*는 1980년대 초반에 metalaxyl에 대한 저항성 발현이 빈번하게 보고됨에 따라, 저항성 발현 위험도가 높은 병원균으로 분류되어 왔다. Metalaxyl에 대한 *Phytophthora*속 식물병원균에 대한 저항성 연구는 1980년대 초반부터 지금까지 전 세계적으로 계속하여 보고되고 있다. 실제로 유럽에서는 metalaxyl을 포장에 사용한 직후 감자 역병균인 *P. infestans*에서 metalaxyl에 대해 저항성을 보이는 병원균의 출현이 보고되었다(Davidse 등, 1981; Dowley와 O'Sullivan, 1981). 유럽뿐만 아니라 미국에서도 1991년에 워싱턴주에서 metalaxyl에 대한 저항성 병원균 출현에 대한 보고가 있었으며(Deahl 등, 1993), 국내의 감자 포장에서도 저항성 반응을 보이는 감자 역병균이 분리되었다(장 등, 2003; Zhang 등, 2005). 이와 같은 metalaxyl에 대해서 저항성 병원균의 출현은 *P. infestans*뿐만 아니라 고추 역병균인 *P. capsici*에서도 보고되었다. Ham 등(1991)과 Oh와 Kim(1992)은 국내에서 분리한 고추 역병균의 metalaxyl에 대한 감수성 정도를 조사하여 보고하였다. 최근에는 김 등(2007)에 의해서 *P. capsici*의 metalaxyl에 대한 약제 반응이 다시 한 번 재고되었으며, 계속해서 저항성 병원균의 병원성 및 포장 적응력과 관련된 균화적인 특징에 대한 보고가 있었다(연 등, 2008; 이 등, 2009). 그러나 그 후에 개발된 다른 살균제들에 대해서 지난 20여년 동안 *Phytophthora*속 식물병원균의 저항성 발현이 보고되지 않았기 때문에, *Phytophthora*속의 위험군 위치를 낮추어 중도 위험군의 병원균으로 재분류하였다(Kuck와 Russell, 2006).

Carboxylic acid amide(CAA)계열의 살균제는 화학 구조식에 의해서 다시 valinamid carbamate(benthiavalicarb와 iprovalicarb), cinnamic acid amide(dimethomorph와 flumorph), mandelic acid amide(mandipropamid)의 세 가지 종류로 구분할 수 있으며, 병원균의 세포벽 합성과 증합을 억제하는 것으로 알려져 있다(Cohen 등, 1995; Jende 등, 2002; Matheron와 Porchas, 2000; Reuveni, 2003). 그 중에서 dimethomorph

는 1988년에 가장 먼저 개발되었고 국내에서는 1994년부터 등록되어 사용되고 있는데, 역병에 대해서 예방, 치료 및 침투이행 효과를 가지고 있다(Albert 등, 1988). 최근에는 같은 계열에 속하는 mandipropamid, benthiavalicarb, iprovalicarb가 가장 먼저 개발되어 역병의 방제에 사용되고 있다. Zhu 등(2007, 2008)은 오이 노균병균인 *Pseudoperonospora cubensis*에 대해서 높은 저항성균 발현 가능성이 높으며, 포장에서 분리한 병원균의 포장 적응력도 높은 것으로 보고하였다. 하지만 실험실에서 분리한 돌연변이의 저항성 발현 가능성은 중간 정도이며, 병원성과 포자 형성 정도는 낮은 것으로 보고하였다. Gisi 등(2007)도 포도 노균병균인 *Plasmopara viticola*에서 CAA계열 살균제의 저항성 발현 정도는 중간 정도라고 보고하였다. 한편 Stein과 Kirk(2004)는 *P. infestans*에 ethidium bromide와 UV를 처리하거나, dimethomorph를 함유한 배지 상에서 병원균을 계대배양하여 dimethomorph에 저항성인 균주를 선발하였다. 선발한 균주는 모균주에 비하여 저항성 요인(resistance factor) 20 이상이었으나 계대배양을 계속하면서 저항성 요인이 8이하로 감소하였다. 또한 저항성 균주로 선발된 균주는 균사 생육 자체가 모균주와 비교하여 억제되었으며, 병원성 역시 20% 이상 감소하였다. 따라서 Stein과 Kirk(2004)는 현재의 저항성 관리 체계에서 dimethomorph에 대한 저항성균은 발현되기 어렵다고 보고하였다. 이처럼 연구자와 병원균에 따라서 CAA계열 살균제에 대해서 저항성 발현이 높다고 보고된 경우도 있지만, 어떤 경우에는 포장에서의 저항성 발현은 없을 것으로 예상하는 경우도 있었다.

국내에서 CAA계열 살균제가 고추 역병의 방제를 위해 등록되어 사용되기 시작한 것은 dimethomorph가 1994년부터, 그리고 benthiavalicarb와 iprovalicarb는 2007년부터, mandipropamid는 2008년부터이었다. 그런데 고추 역병균은 CAA계 살균제의 적용 범위에 속하는 중요한 병원균으로 FRAC의 분류에 따르면 저항성 병원균이 발현될 수 있는 중간 위험군에 속한 병원균이기 때문에, 포장 균주를 사용하여 감수성 기준(baseline sensitivity)을 설정하고 CAA계 살균제에 대한 저항성을 관리할 필요가 큰 병원균이다. Mandipropamid의 경우는 이미 Jang 등(2009)에 의해서 *P. capsici*의 감수성 기준이 보고되었으나, benthiavalicarb와 iprovalicarb에 대해서는 보고된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 CAA계열 살균제 중에서도 valinamid carbamate의 구조를 갖는 benthiavalicarb와 iprovalicarb, 그리고 cinnamic acid amide 구조를 갖는 dimethomorph에 대한 고추 역병균 *P. capsici*의 감수성 기준을 구하고, 4종의 CAA계 살균제에 대한 병원균의 감수성 반응 간에 상관관계가 존재하는지의 여부를 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 병원균의 분리 및 균주의 보관

2005년부터 2008년까지 전국 주요 고추재배 지역을 중심으로, 역병균에 감염되어 전형적인 시들음 증상을 보이는 고추를 채집하였다. 채집해온 고추의 병환부와 건전부 경계의 조직을 잘라 1% sodium hypochloride에서 1분간 표면살균 후, 70% ethanol에서 다시 30초간 살균하였다. 표면살균한 고추조직은 멸균수로 세척하여, *Phytophthora*의 선택배지인 Jee 배지{corn meal arar에 항생제 용액(멸균증류수, 100 mL; pimarin, 100 mg; rifampicin, 100 mg; ampicillin, 1000 mg; hymexazol, 250 mg; PCNB, 500 mg)을 1%가 되게 첨가}에 치상하고, 20°C 항온기에서 4일간 배양하였다. 치상한 조직에서 자라나온 균총의 선단에서 균사 조각을 떼어내어 V-8 juice agar(증류수, 800 mL; V8 juice, 200 mL; agar, 17 g; CaCO<sub>3</sub>, 1 g)에 옮겨 20°C 항온기에서 배양한 후, 형성된 유주자낭 하나를 분리하여 배양함으로써 균주의 순수 배양체를 얻어 실험하였다. 병원균의 보관을 위해서 분리한 고추 역병균은 20% V-8 juice agar에서 5일간 20°C로 배양한 후 균총의 선단부에서 직경 5 mm의 균사 조각을 떼어내어 cap tube(직경; 1 cm, 높이; 10 cm)에 10조각씩 넣고, 보관용액 5 mL(멸균증류수, 4.5 mL; 3,000 µg mL<sup>-1</sup>의 streptomycin, 0.5 mL)를 넣어 20°C 항온기에 보관하며 실험에 사용하였다.

### 실험에 사용한 살균제

본 실험에서는 carboxylic acid amide(CAA)계열에 속하는 3종의 살균제를 선발하여 사용하였다. Valinamide carbamate에 속하는 benthialicarb(a.i. 93.6%)와 iprovalicarb(a.i. 97%), 그리고 cinnamic acid amide에 속하는 dimethomorph(a.i. 95%)를 Bayer Crop Science와 동부하이텍으로부터 분양받아 실험에 사용하였다.

### 고추 역병균의 살균제에 대한 저항성 검정

분리한 병원균은 carboxylic acid amide(CAA)계열의 3가지 살균제와 rRNA 합성을 저해함으로써 단백질 합성을 억제하는 기작을 가진 metalaxyl에 대해서 저항성 발현을 조사하였다. 실험 배지에 살균제를 첨가하기 위해서 모든 살균제는 DMSO를 사용하여 용해시켰다. V-8 juice agar에 첨가한 살균제의 최종농도는 benthialicarb가 .000625, 0.0125, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4 µg mL<sup>-1</sup>, iprovalicarb가 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4 µg mL<sup>-1</sup>, dimethomorph가 0.032, 0.16, 0.8, 4 µg mL<sup>-1</sup>, 그리고 metalaxyl은 0.032, 0.16, 0.8, 4, 20, 100 µg mL<sup>-1</sup>이 되도록 첨가하였으며, DMSO의 최종농도는 1% 이하가 되도록 조절하였다. 이 때 V-8 juice agar에는 세균의 오염을 방지하기 위해 300 µg mL<sup>-1</sup>의 streptomycin을 첨가하였다. 병원균의 접종은 20°C의 V-8 juice agar에서 5일간 배양한 *P. capsici* 균총의 선단에서 직경 5 mm의 균사조각을 떼어 내어 살균제를 첨가한 V-8 juice agar에 접종하고 20°C에서 3일간 배양 후 균총의 직경을 측정하였다. 각 살균제의 균사 성장 억제율(%)은 약제를 첨가하지 않은 배지에서 균총의 직경과 살균제를 첨가한 배지에서 균총의 직경을 비교하여 구하였다.

## 결과 및 고찰

### 고추 역병균의 살균제에 대한 감수성 기준 결정

고추 역병균의 살균제에 대한 감수성 기준을 결정하기 위해서 2005년에 분리한 균주 중에서 20개, 2006년의 균주 중에서 45개, 2007년 균주 중에서 23개, 그리고 2008년에 분리한 92개의 균주를 선발하여 실험에 사용하였다.

실험에 사용한 모든 균주의 benthialicarb, iprovalicarb, dimethomorph에 대한 감수성 정도는 병원균의 균사 성장을 50% 억제하는 살균제의 농도인 EC<sub>50</sub>값을 조사하였다(Table 1). Benthialicarb의 평균 EC<sub>50</sub>값은 0.033 µg mL<sup>-1</sup>이었고,

**Table 1.** EC<sub>50</sub> (effective concentration inhibiting by 50% of mycelial growth) value of three carboxylic acid amide fungicides against the mycelial growth of *Phytophthora capsici* isolates<sup>a</sup>

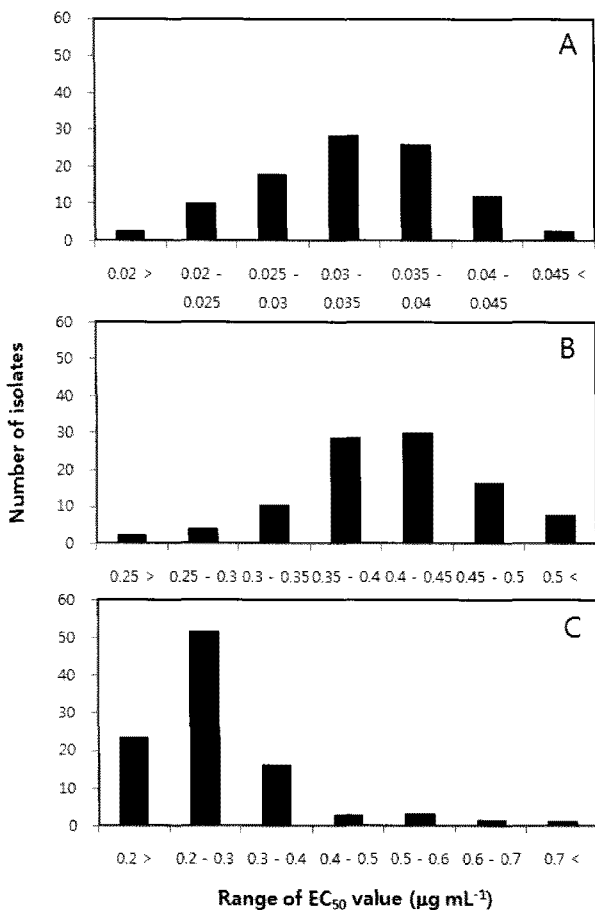
Fungicide	EC <sub>50</sub>		
	Minimum	Average	Maximum
Benthialicarb	0.0151a	0.0333	0.0488
Iprovalicarb	0.1967	0.4108	0.5562
Dimethomorph	0.1013	0.2714	0.7982

<sup>a</sup> The sensitivity of *P. capsici* to each fungicide was investigated through the agar dilution method.

<sup>b</sup> Figures was EC<sub>50</sub> value (µg mL<sup>-1</sup>).

EC<sub>50</sub>값의 범위는 0.015  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 에서 0.049  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 까지였다. Iprovalicarb과 dimethomorph의 평균 EC<sub>50</sub>값과 그 범위는 각각 0.411  $\mu\text{g mL}^{-1}$ (0.10값~0.556  $\mu\text{g mL}^{-1}$ )와 0.271  $\mu\text{g mL}^{-1}$ (0.101~0.708  $\mu\text{g mL}^{-1}$ )로 나타났다. Jang 등(2009)은 본 실험에서 사용한 살균제와 동일한 계열에 속하는 mandipropamid에 대한 살균제 감수성 기준을 설정하면서 2005년, 2006년, 2007년에 채집한 균주의 평균 EC<sub>50</sub>값을 각각 0.016, 0.013, 0.013  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 로 보고하였다. 본 실험의 결과는 Jang 등이 보고한 결과와 같이 앞으로 CAA계열 살균제에 대한 저항성 역병균 출현을 판단할 수 있는 기준이 될 수 있을 것으로 생각한다.

본 실험을 수행하면서 채집한 균주들 중에 이미 저항성 집단이 출현해 있는지를 알아보기 위하여 실험에 사용한 살균제에 대한 180개 모든 균주들의 EC<sub>50</sub>값의 분포를 조사하였다. Fig. 1에서 보는 것과 같이 2007년부터 등록되어 국내 고추 포장에서 사용되고 있는 benthiavalicarb와 iprovalicarb



**Fig. 1.** Sensitivity distribution of *Phytophthora capsici* isolates to four fungicides according to effective concentration inhibiting mycelial growth by 50%. A: benthiavalicarb, B: iprovalicarb, C: dimethomorph.

는 왼쪽으로 치우친 분포도를 보여주었다. Gisi 등(2007)은 유럽 지역에서 분리한 *Plasmopara viticola*의 mandipropamid에 대한 저항성 발현을 모니터링한 결과, 감수성 균주의 EC<sub>50</sub>값은 평균 0.95(0.03 - 3.6)  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 이었으나, 저항성 균주의 EC<sub>50</sub>값은 300  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 가 넘어 저항성 요인은 118이었다고 보고하였다. 유럽의 독일, 프랑스, 스위스 등의 서로 다른 37개의 지역에서 분리한 41개 균주가 저항성 반응을 보였으며, 이 균주들은 CAA계열의 다른 살균제인 benthiavalicarb, iprovalicarb, dimethomorph에 대해서 교차 저항성을 보였다. 하지만 아직까지 국내의 고추 역병균인 *P. capsici*에서는 저항성 반응을 보이는 병원균은 분리하지 못하였다. Dimethomorph는 1994년부터 국내에서 사용되어 오는 살균제로, CAA계 살균제 중에서는 가장 오랜 기간 사용한 살균제임에도 불구하고 고추 포장에서 저항성 병원균 집단이 발현되었다고 판단할 수는 없었다. Stein과 Kirk(2004)는 *P. infestans*에 ethidium bromide와 UV를 처리하여 2개의 돌연변이를 선발하였는데, 이 돌연변이주는 모균주의 EC<sub>50</sub>값과 돌연변이의 EC<sub>50</sub>값을 비교하는 저항성 요인이 20 이상이었다. 또한 dimethomorph를 첨가한 배지에서 병원균을 계대배양하여 저항성 요인이 8 정도인 돌연변이 균주를 선발하였다. 하지만 이들 저항성 돌연변이 균주는 모균주와 비교할 때, 균사의 생장이 많이 느렸으며, 감자의 잎과 괴경에서의 침입을 자체가 20% 이상 감소하였다. 이런 결과로부터 Stein과 Kirk(2004)는 포장에서 dimethomorph에 대해서 저항성인 *P. infestans*는 발생하기 어려울 것으로 예상하였다. 하지만 Zhu 등(2007)은 dimethomorph와 같이 cinnamic acid amide의 화학 구조를 갖는 flumorph를 2년 동안 각각 6회씩 처리한 시설 재배지에서 저항성 반응을 보이는 *P. cubensis*가 2.5%의 비율로 분리되었다고 보고하였다. 이 저항성 균주들은 dimethomorph에 대해서 상관계수( $r$ 값)가 0.9905인 높은 상관관계를 보였다. 아직까지 국내의 고추 포장에서 분리한 역병균에서 저항성균이 발견되지는 않았지만, 위의 실험 결과처럼 dimethomorph에 대해서 병원균이 다른 경우 저항성 발현에 대한 보고가 전혀 다르기 때문에, 난균문에 속하는 병원균에 대한 살균제 저항성 모니터링이 계속 이루어져야 한다. 또한 본 실험에서 구한 감수성/저항성 기준은 앞으로 CAA계열의 살균제를 관리하는데 중요한 자료가 될 것으로 생각한다.

특히 각 분리 연도별로 병원균의 평균 EC<sub>50</sub>값을 비교하여 보면, Table 2에서처럼 benthiavalicarb와 iprovalicarb의 평균 EC<sub>50</sub>값에 변화가 없었지만, 가장 오래 포장에서 사용해 온 dimethomorph는 2005년에 분리한 균주의 평균 EC<sub>50</sub>값이 0.2202  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 이었다가 분리 연도가 증가함에 따라 점

**Table 2.** Mean EC<sub>50</sub> value of carboxylic acid amide fungicides against the mycelial growth of *Phytophthora capsici* isolates collected during 4 years (2005-2008)<sup>a</sup>

Fungicide	Average EC <sub>50</sub>			
	2005	2006	2007	2008
Benthiavalicarb	0.0263 <sup>b</sup>	0.0367	0.0307	0.0333
Iprovalicarb	0.3894	0.4389	0.4004	0.3953
Dimethomorph	0.2202	0.2233	0.2831	0.3031

<sup>a</sup>EC<sub>50</sub>, effective concentration needed to reduce mycelium growth by 50%

<sup>b</sup>Average of EC<sub>50</sub> values (µg mL<sup>-1</sup>)

차 상승하는 경향을 보였다(Table 2). 따라서 고추 포장에서 dimethomorph에 대한 지속적인 살균제 저항성 발현에 대한 조사가 필요할 것으로 생각한다.

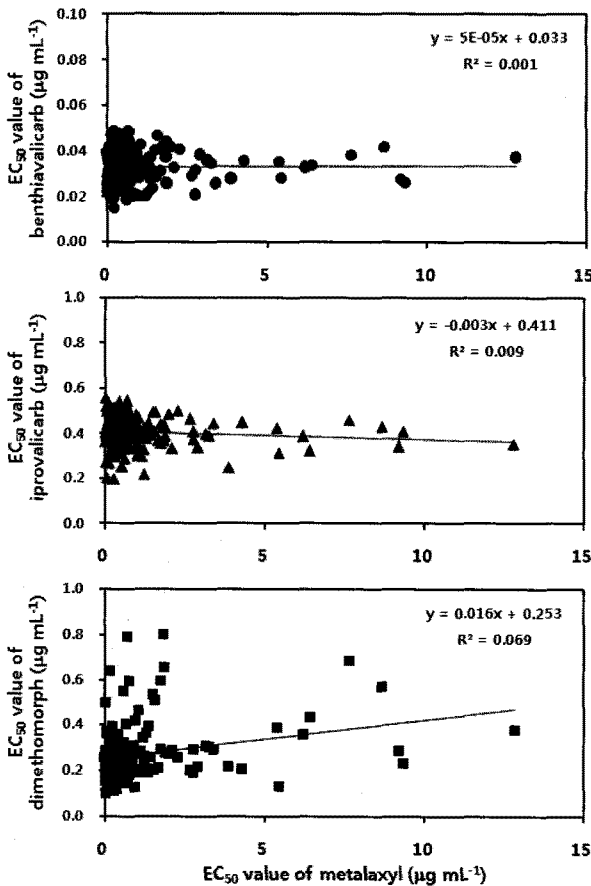
**각 살균제 간의 상관관계**

고추 역병균은 이미 포장에서 metalaxyl에 대한 저항성균이 발생되었다고 보고되어 있다(김 등, 2007; 연 등, 2008;

이 등, 2009). 따라서 고추 역병균의 metalaxyl에 대한 감수성 정도와 본 실험에서 사용한 3종의 살균제에 대한 감수성 정도 간에 상관 관계가 있는 지를 살펴봄으로써 두 그룹 간의 교차 저항성 발현 여부 가능성을 알아보고자 하였다. 3종의 CAA계열 살균제들과 methalxyl의 상관관계를 조사한 결과, benthiavalicarb와 metalaxyl 간의 R<sup>2</sup>값은 0.0002로 상관관계가 나타나지 않았고, iprovalicarb와 dimethomorph의 경우에도 metalaxyl과의 관계에서 R<sup>2</sup>값은 각각 0.0097과 0.0697로 나타나 역시 상관관계가 없는 것으로 나타났다(Fig. 2). 따라서 CAA계열 살균제를 사용한다면 metalaxyl 저항성인 역병균을 효과적으로 방제할 수 있을 것으로 생각한다.

실험에 사용한 CAA계열 살균제 간의 상관관계를 조사하였다. 그 결과, dimethomorph와 mandipropamid의 R<sup>2</sup>값은 0.406으로, iprovalicarb와 benthiavalicarb의 R<sup>2</sup>값은 0.233으로 서로 상관관계가 있는 것으로 나타났다(Fig. 3). 그러나 다른 benthiavalicarb와 mandipropamid, dimethomorph 그리고 iprovalicarb와 dimethomorph, mandipropamid의 R<sup>2</sup>값은 0.020과 0.059, 그리고 0.006과 0.009로 상관관계가 없었다(결과 미발표). 그러나 Gisi 등(2007)은 mandipropamid에 저항성인 포도 노균병균은 다른 CAA계열 살균제에 대해서 모두 교차 저항성을 보인다고 보고하였다. 본 실험의 결과에서 고추 역병균의 경우에는 CAA계열 살균제에 대한 뚜렷한 저항성균이 발현되지 않은 상태로서, 포장에서 분리한 균주를 대상으로 상관관계를 조사하였기 때문에 같은 CAA계열 살균제라고 하더라도 살균제의 화학 구조에 따라서 병원균의 감수성/저항성 반응은 달라지는 것으로 생각된다.

Moore 등(2008)은 작물 재배기간 동안에 CAA계 살균제를 추천농도 이상으로 사용할 경우 저항성 병원균의 출현 위험성이 높아지기 때문에, 저항성 관리 방안으로 병 예방을 기초로 병 발생량이 적은 발병 초기에 처리할 것과 작기 당 최대 4회까지 처리하며, 다른 기작을 갖는 살균제와 혼용하여 처리할 것을 추천하였다. 본 실험의 결과 아직까지는 포장에



**Fig. 2.** Relationship between EC<sub>50</sub> values of carboxylic acid amide fungicides (benthiavalicarb, iprovalicarb and dimethomorph) and metalaxyl against *Phytophthora capsici* isolates. R<sup>2</sup> value was the correlation value for the relationship.

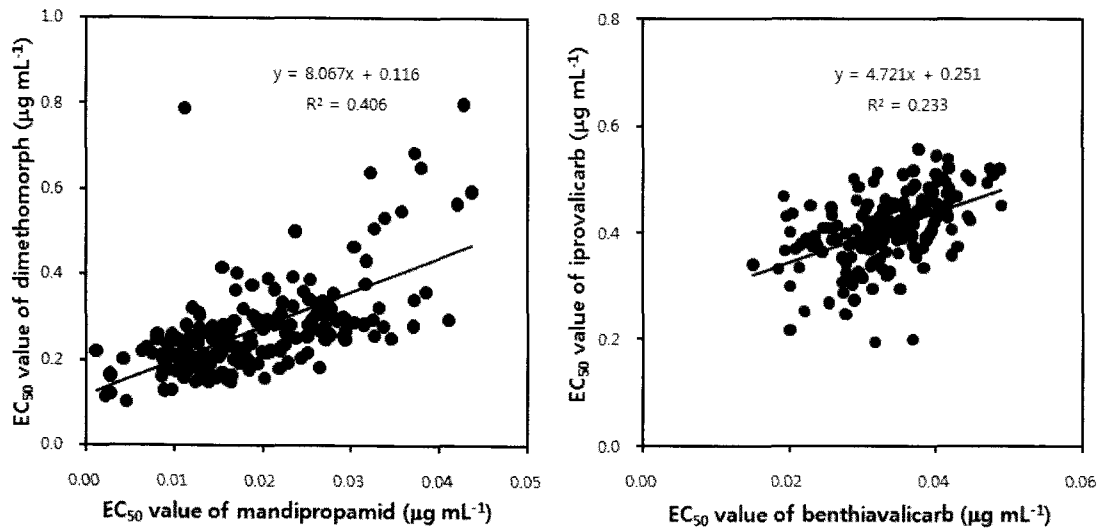


Fig. 3. Relationship between  $EC_{50}$  values of carboxylic acid amide fungicides such as benthiavalicarb, iprovalicarb, mandipropamid and dimethomorph against *Phytophthora capsici* isolates.

서 CAA계 살균제에 대해서 저항성인 고추 역병균이 발생하지는 않았지만, 일부 병원균에서 저항성균의 출현이 보고되고 있으며, 저항성균은 다른 CAA계열 살균제에 대해서 교차저항성을 갖는 것으로 밝혀져 있다. 따라서 CAA계 살균제를 사용하여 고추 역병을 효과적으로 방제하고, 그 효과가 장기간 지속되기 위해서는 살균제 모니터링을 기초로 한 다양한 저항성 관리가 필요할 것으로 생각된다.

## 감사의 글

본 연구는 특화작목연구개발과제로 수행한 “친환경 고기능 고추 생산 및 상품화 전략 기술 개발 연구”과제와 충북대학교 농업생명환경대학의 BK21 사업단(바이오농업기술실용화사업단)의 지원으로 수행된 연구 결과로서, 지원에 감사드립니다.

## >> 인 / 용 / 문 / 헌

- Albert, G., J. Curtze and A. C. Drandarevski (1988) Dimethomorph (CME 151), a novel curative fungicide. Brighton Crop Prot. Conf. Pests Dis. 1988:17~23.
- Cohen, Y., A. Baidr and B. T. Cohen (1995) Dimethomorph activity against oomycete fungal plant pathogens. Phytopathology 85:1500~1506.
- Davidse, L. C., D. Looijei, L. J. Turkensteen and Van Der Wal (1981) Occurrence of metalaxyl-resistant strains of potato

blight in Dutch potato fields. Neth. J. Plant Pathol. 87:65~68.

- Deahl, K. L., D. A. Inglis and S. P. DeMuth (1993) Testing for resistance to metalaxyl in *Phytophthora infestans* isolates from north-western Washington. Am. Potato J. 70:779~795.
- Dowley, L. J. and E. O'Sullivan (1981) Metalaxyl resistant strains of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary in Ireland. Potato Res. 24:417~421.
- Gisi, U. (2002) Chemical control of downey mildews. p 119-159 in: Advances in downey mildew research. P. T. N. Spencer-Phillips, U. Gisi, and A. Lebeda, eds. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Gisi, U., M. Waldner, N. Kraus, P. H. Dubuis, and H. Sierotzki (2007) Inheritance of resistance to carboxylic acid amide (CAA) fungicides in *Plasmopara viticola*. Plant Pathology 56:199~208.
- Ham, J. H., B. K. Hwang, Y. J. Kim and C. H. Kim (1991) Differential sensitivity to metalaxyl of isolates of *Phytophthora capsici* from different geographic areas. Korean J. Plant Pathol. 7:212~220.
- Jang, H. S., S. M. Lee, S. B. Kim, J. Kim, S. Knight, K. D. Park, D. McKenzie and H. T. Kim (2009) Baseline sensitivity to mandipropamid among isolates of *Phytophthora capsici* causing Phytophthora blight on pepper. Plant Pathol. J. 25:317~321.
- Jende, G., U. Steiner and H. W. Dehne (2002) Microscopical characterization of fungicidal effects on infection structures and cell wall formation of *Phytophthora infestans*. In: H. W. Dehne, U. Gisi, K. H. Kuck, P. E. Russell and H. Lyr eds. Modern fungicide and antifungal compounds III. Bonn, Germany: AgroConcept 83~90.
- Kuck, K. H. and P. E. Russell (2006) FRAC: Combined resistant risk assessment. Aspects of Applied Biology 78:3~10.

- Matheron, M. E. and M. Porchas (2000) Impact of azoxystrobin, dimethomorph, fluazinam, fenprophos, and metalaxyl on growth, and zoospore cyst germination of three *Phytophthora* spp. *Plant Dis.* 84:454~458.
- Moore, M. S., G. B. Follas, G. C. Hagerty and R. M. Beresford (2008) Carboxylic acid amide (CAA) fungicide resistance prevention strategy. *New Zealand Pl. Prot.* 61:134~136.
- Oh, J. S. and C. H. Kim (1992) Varying sensitivity to metalaxyl of Korean isolates of *Phytophthora capsici* from red pepper fields. *Korean J. Plant Pathol.* 8:29~33.
- Reuveni, M. (2003) Activity of the new fungicide bethiavalicarb against *Plasmopara viticola* and its efficacy in controlling downy mildew in grape vines. *European J. Plant Pathol.* 109:243~251.
- Stein, J. M. and W. W. Kirk (2004) The generation and quantification of resistance to dimethomorph in *Phytophthora capsici*. *Plant Dis.* 88:930~934.
- Zhang, X., K. Ryu, J. Kim, J. Cheon and B. Kim (2005) Changes in the sensitivity to metalaxyl, dimethomorph and ethaboxam of *Phytophthora infestans* in Korea. *Plant Pathol. J.* 21:33~38.
- Zhu, S., P. Liu, X. Liu, J. Li, S. Yuan and N. Si (2008) Assessing the risk of resistance in *Pseudoperonospora cubensis* to the fungicide flumorph *in vitro*. *Pest Manag. Sci.* 64:255~261.
- Zhu, S. S., X. L. Liu, Y. Wang, X. H. Wu, P. F. Liu, J. Q. Li, S. K. Yuan and N. G. Si (2007) Resistance of *Pseudoperonospora cubensis* to flumorph on cucumber in plastic houses. *Plant Pathology* 56:967~975.
- 김선보, 이수민, 민지영, 김홍태. (2007) 2005년과 2006년에 채집한 고추 역병균(*Phytophthora capsici*)의 metalaxyl에 대한 억제 반응. *농약과학회지* 11:305~312.
- 연초롱, 이수민, 김선보, 민지영, 김홍태. (2008) 국내 고추 역병균의 metalaxyl 저항성 변화 및 metalaxyl 저항성과 고추에 대한 병원성과의 상관관계. *농약과학회지* 12:270~276.
- 이수민, 신진호, 김선보, 김홍태. (2009) Metalaxyl에 대한 저항성 고추 역병균의 특성. *농약과학회지* 13:283~289.
- 장현철, 정은경, 이윤수, 김병섭. (2003) 강원지역 포장에서 분리한 감자 역병균(*Phytophthora infestans*)의 metalaxyl에 대한 감수성 변화. *농약과학회지* 7:25~31.

## Carboxylic acid amide계 살균제에 대한 고추 역병균 *Phytophthora capsici*의 감수성 기준 설정

신진호<sup>1</sup> · 김주형<sup>1</sup> · 이경희<sup>2</sup> · 노창우<sup>2</sup> · 김홍태<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과, <sup>2</sup>충북농업기술원 친환경농업과

**요 약** 고추 주요 재배지에서 2005년부터 2008년까지 4년에 걸쳐 채집한 180개의 고추 역병균 *Phytophthora capsici*을 대상으로 carboxylic acid amide(CAA)계열의 bethiavalicarb, iprovalicarb, dimethomorph에 대한 감수성/저항성 반응을 검정하였다. 실험에 사용한 3가지 살균제에 대한 EC<sub>50</sub>값(병원균의 균사생장을 50% 억제하는 농도)은 bethiavalicarb가 0.033(0.015-0.049) µg mL<sup>-1</sup>, iprovalicarb가 0.411(0.197-0.556) µg mL<sup>-1</sup>, dimethomorph가 0.271(0.101-0.798) µg mL<sup>-1</sup>로 나타났다. Bethiavalicarb와 iprovalicarb는 포장에서 살균제를 사용하기 시작한 2007년부터의 EC<sub>50</sub>값과 사용하기 전의 EC<sub>50</sub>값 간에 차이가 없었으며, 병원균의 EC<sub>50</sub>값에 의한 분포에서도 저항성균의 발현은 찾아볼 수 없었다. Dimethomorph 역시 포장에서 저항성균이 발현하지는 않았지만, 연도별도 병원균의 EC<sub>50</sub>값이 서서히 상승하고 있는 경향을 보여 주었다. 다른 작용기작을 갖는 metalaxyl과의 교차저항성 관계를 구명하기 위하여 R<sup>2</sup>값을 조사하였는데, bethiavalicarb, iprovalicarb, dimethomorph 각각과 metalaxyl과의 R<sup>2</sup>값은 0.001, 0.009, 0.069로 매우 낮아 전혀 상관관계가 성립하지 않았다. 같은 계열에 속하는 mandipropamid와 실험에 사용한 세 종류의 살균제 각각의 상관관계를 조사한 결과, 유사한 화학구조를 지니는 bethiavalicarb와 iprovalicarb, 그리고 dimethomorph와 mandipropamid간의 상관관계가 인정되었다. 하지만 동일한 CAA 계열의 다른 살균제와는 상관관계가 인정되지 않았다.

**색인어** bethiavalicarb, iprovalicarb, dimethomorph, *Phytophthora capsici*, 감수성 기준 설정