

## 고추 역병에 대한 Carboxylic Acid Amide계 살균제의 방제 효과

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

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

(2010년 10월 7일 접수, 2010년 11월 14일 수리)

### Control Efficacy of Carboxylic Acid Amide Fungicides against Pepper Phytophthora Blight Causing *Phytophthora capsici*

Jinho Shin<sup>1</sup>, Joohyung Kim<sup>1</sup>, Hyeongjo Kim<sup>1</sup>, Youngki Choi<sup>1</sup>, Ahyeong 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

It was conducted to investigate the control efficacy of carboxylic acid amide (CAA) fungicides, such as benthiavalicarb, iprovalicarb, dimethomorph and mandipropamid, against pepper Phytophthora blight caused by *P. capsici* in the laboratory and the field. The fungicides inhibited mycelial growth and direct sporangium germination of *P. capsici* strongly, while there was no activity of all fungicides against zoospore release from sporangium. In greenhouse test, they showed the good protective and curative effect against pepper Phytophthora blight. Benthiavalicarb applied at 100 µg mL<sup>-1</sup> 7 days before inoculation prevented pepper Phytophthora blight by 100%, even though the zoosporangium suspension of *P. capsici* adjusted to not only 5x10<sup>3</sup> zoosporangia mL<sup>-1</sup> but also 1x10<sup>5</sup> zoosporangia mL<sup>-1</sup> was inoculated by soil-drenching. Except for dimethomorph, the other fungicides showed an excellent control activity over 2 years from 2009 to 2010 in the field test. The control value of dimethomorph applied at 250 µg mL<sup>-1</sup> was low, 27.2% in 2009, but that of dimethomorph applied even at 125 µg mL<sup>-1</sup> was high, 89.5% in 2010. All the fungicides showed good inhibitory effect on the mycelial growth and the direct germination of zoosporangium, and controlled pepper Phytophthora blight preventively and curatively, can be used to establish the spray system for controlling the pepper disease.

**Key words** carboxylic acid amide (CAA) fungicides, pepper Phytophthora, *Phytophthora capsici*

#### 서 론

고추 역병은 고추 생산에 큰 영향을 주는 병으로서, 난균문에 속하는 *Phytophthora capsici*가 고추의 뿌리와 지체부를 통하여 침입하고, 유관속 부위를 감염시키기 때문에 식물이 전체적으로 시든다. 역병을 방제하기 위해서는 골 피복, 반비

가림 재배, 또는 다른 경종적인 방법을 통해서 포장에서 전염원의 전반을 차단하여 병 발생을 억제하거나, 저항성 품종을 재배한다. 골 피복의 경우 넓은 면적에 적용하지 않으면 효과가 적고, 비바람을 타고 지상부로 전반되는 병원균의 침입을 방제하기 어렵다. 반비가림 재배는 강우 시에 고추를 가릴 수 있는 비가림 시설을 포장 전체적으로 설치해야 하기 때문에 비용이 소요되고, 추후 설치한 시설을 제거하기 위해서도 노동력과 비용이 들어가는 단점이 있다. 최근 여러 종묘회사에

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

E-mail: htkim@cbnu.ac.kr

서 개발한 역병 저항성 품종을 사용하면서 상당한 효과를 거두고 있지만, 역병균의 병원성의 분화 때문에 지역에 따라서는 저항성 품종을 재배하였는데도 불구하고 역병에 의한 피해가 발생하였다는 주장도 있다. 이처럼 경종적 방법으로 고추 역병을 방제하고 있지만, 농민들이 가장 쉽게 사용하며 효율적으로 역병을 방제하는 방법은 살균제를 사용하는 화학적 방법이다. *P. capsici*는 색조류계인 난균문에 속하는 병원균인데, 진정균류로 알려진 균계에 속하는 다른 식물병원균과 세포소기관의 구조가 다르다. 진정균류들은 세포막의 구성 성분으로 ergosterol이 있는데, 난균문에 속하는 병원균은 세포막 상에 ergosterol을 가지고 있지 않으며, 미토콘드리아의 구조도 진정균류의 구조와 다르기 때문에 자낭균과 같이 균계에 속하는 식물병원균을 방제하는 살균제를 사용하여 방제할 수가 없다. 따라서 난균문에 속하는 병원균은 특별히 난균문에 효과가 우수한 phenylamide계(metalaxyl 등), strobilurin계(kresoxim-methyl, trifloxystrobin 등), 그리고 다양한 작용점을 갖는 살균제(copper 등) 등이 개발되어 사용되고 있다. 고추 역병의 방제를 위해서 사용한 살균제들이 포장에서 과도하게 사용되면서 저항성균의 발현이라는 또 다른 문제를 일으키기도 하였다. 국내에서도 metalaxyl에 대한 고추 역병균의 저항성 발현에 대한 보고가 있었다(김 등, 2007; 연 등, 2008; 이 등, 2009). 최근 국내에서 새로운 구조를 갖는 carboxylic acid amide계(CAA계)의 살균제가 고추 역병균의 방제를 위해서 등록되어 사용되고 있는데, CAA계 살균제는 화학 구조에 따라서 valinamide carbamate(benthiavalicarb와 iprovalicarb)계, cinnamic acid amide(dimethomorph와 flumorph)계, mandelic acid amide(mandipropamid)계 등으로 분류할 수 있다. Dimethomorph는 이미 1994년부터 등록되어 사용되고 있지만, benthiavalicarb와 iprovalicarb는 2007년부터, mandipropamid는 2008년부터 등록되어 사용되고 있다. CAA계 살균제는 metalaxyl과 교차저항성이 없으며, 병원균의 세포벽 합성과 중합을 억제한다(Griffiths 등, 2003a, 2003b). 이처럼 세포벽 합성을 억제하는 CAA계 살균제인 dimethomorph는 감자 역병균인 *P. infestans*에 대해서 유주포자의 피낭체

화 및 발아, 그리고 균사 성장 등을 강하게 억제하지만, 포자낭으로부터 유주포자의 나출은 억제하지 못하였다(Cohen 등, 1995). Dimethomorph뿐만 아니라 최근에 사용되고 있는 benthiavalicarb, iprovalicarb, mandipropamid 등도 *P. infestans*의 피낭체와 포자낭의 발아를 강하게 억제하였으며, 피낭체와 발아한 피낭체에 CAA계 살균제를 1시간 처리하면 피낭체는 발아능과 감염능을 상실하였으며, 발아한 피낭체도 발아관이 더 이상 성장하지 못하고, 형태가 변화하여 정상적인 균사체로 자라지 못하였다(Cohen과 Gisi, 2007). 실험실 내에서 감자와 토마토의 잎을 가지고 효과를 검증한 결과, CAA계 살균제들은 예방 효과에 비하여 병원균을 접종하고 1일 후에 처리한 치료효과는 떨어졌으며, 2일 후에 처리할 경우에는 그 효과를 얻을 수 없었다. 이처럼 CAA계 살균제의 *P. infestans*에 대한 다양한 효과가 알려져 있는 반면에, 고추 역병에 대한 방제 특성과 역병균에 대한 효과는 보고되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 고추 역병균의 여러 생육 단계에 미치는 CAA계 살균제의 효과를 검증하였고, 고추 역병에 대한 식물체에서의 효과와 포장에서의 방제 효과를 조사하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험에 사용한 살균제

본 실험에서는 CAA계열에 속하는 4개의 살균제를 선별하여 사용하였다. valinamide carbamate에 속하는 benthiavalicarb (a.i. 93.6%)와 iprovalicarb(a.i. 97%), cinnamic acid amide에 속하는 dimethomorph(a.i. 95%) 그리고 mandelic acid amide계인 mandipropamid(a.i. 21.8%)를 사용하여 실험하였다. 하지만 포장 실험의 경우에는 이미 기존에 사용되는 상품을 사용하였다(Table 1).

### 고추 역병균의 생육 단계에 미치는 살균제 효과

Metalaxyl에 대하여 감수성 반응을 보이는 *P. capsici* 06-143

**Table 1.** List of fungicides used for field experiments

Fungicide	a.i. (%)	Formulation <sup>a)</sup>	Group
Benthiavalicarb + Chlorothalonil	1.75 + 50	WG	valinamide carbamate
Iprovalicarb + Propineb	6 + 60	WP	valinamide carbamate
Dimethomorph	25	WP	cinnamic acid amide
Mandipropamid	21.8	SC	mandelic acid amide

<sup>a)</sup> WG: water dispersible granule, WP: wettable powder, SC: suspension concentrate.

균주를 사용하여, 균사 생장, 포자낭 발아, 포자낭으로부터 유주포자의 나출 등이 살균제에 의해서 억제되는 정도를 조사하였다.

### 균사생장 억제 효과

실험에 사용한 살균제는 dimethyl sulfoxide(DMSO)에 용해하여 배지에서 약제의 최종 농도를 0.0064, 0.032, 0.16, 0.8, 4, 20, 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 가 되도록 V-8 juice agar에 첨가한 후 Petri dish에 부어 약제배지를 만들었다. 이때 배지에서 DMSO의 최종농도 1%를 넘지 않도록 조정하였다. *P. capsici* 06-143을 20°C의 V-8 juice agar에서 5일간 배양하고 균총의 선단 부에서 지름 5 mm의 균사조각을 떼어내어 살균제가 첨가된 배지의 중앙에 접종하였다. 병원균을 접종한 배지는 20°C 암조건에서 3일간 배양하고 균총의 직경을 측정하였다. 각 살균제의 균사생장 억제 효과는 아래의 식에 의해서 계산하였다.

$$\text{균사생장 억제율(\%)} = \left(1 - \frac{\text{살균제 배지에서 균총의 직경}}{\text{무처리 배지에서 균총의 직경}}\right) \times 100$$

### 포자낭 발아 억제 효과

Oatmeal agar에서 형성시킨 *P. capsici* 06-143의 포자낭을 멸균수를 이용하여 수확하여 실험에 사용하였다. 이 때 포자낭 현탁액에서의 포자낭 농도는  $1 \times 10^5$  개  $\text{mL}^{-1}$ 로 조정하였다. 각 살균제는 DMSO에 용해시켜 포자낭 현탁액에 최종 농도가 0.0064, 0.032, 0.16, 0.8, 4, 20, 100  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 가 되도록 첨가하였으며, DMSO의 농도는 1%가 넘지 않도록 조정하였다. 살균제를 첨가한 포자낭 현탁액을 slide-glass에 50  $\mu\text{L}$ 씩 점적하고, 25°C에서 4시간 배양한 후 발아율을 조사하였다. 이때 slide-glass는, 2장의 키친타올을 깔고 증류수를 부어 습한 상태를 유지한 플라스틱 상자에 넣어 배양하였다. 각 살균제의 포자낭 발아 억제 효과는 아래식에 의해 계산하였다.

$$\text{포자낭 발아 억제율(\%)} = \left(1 - \frac{\text{살균제 처리구에서의 발아율}}{\text{무처리구에서의 발아율}}\right) \times 100$$

### 포자낭의 나출 억제 효과

Oatmeal agar에서 형성된 포자낭을 수확하고, 살균제를 처리한 후에는 저온(4°C)에서 1시간, 상온(25°C)에서 30분을 배양한 후 현미경 하에서 포자낭에서 유주포자가 나출된 포자낭의 수를 조사하였다. 각각의 처리구에서 나출된 포자낭을 조사한 후 아래 식에 따라 유주포자 나출 억제 효과를 구

하였다.

$$\text{유주포자 나출 억제율(\%)} = \left(1 - \frac{\text{살균제 처리구에서 유주포자가 나출된 포자낭의 비율}}{\text{무처리구에서 유주포자가 나출된 포자낭의 비율}}\right) \times 100$$

### 온실에서 살균제 효과 검증

역병균에 대해 감수성 품종으로 알려져 있는 '왕대박' 고추 품종을 온실에서 4엽기까지 재배한 후 실험에 사용하였으며, 병원균은 metalaxyl에 대하여 감수성을 나타내는 역병균주인 06-143을 선발하여 사용하였다. 살균제는 병원균 접종 7일전, 3일전, 1일전과 병원균 접종 1일후에 처리하여 각 살균제의 예방효과와 치료효과를 조사하였다. 선발한 4종의 살균제는 각각 10, 100, 500  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 로 농도를 조절하여 고추 재배 포트(직경; 5 cm, 높이; 7 cm)에 10 mL씩 관주처리하였다. 병원균의 접종농도가 살균제의 효과에 미치는 영향을 조사하기 위해서 oatmeal agar에서 수확한 포자낭 농도를  $5 \times 10^3$ ,  $1 \times 10^5$  개  $\text{mL}^{-1}$ 로 조절하여 고추 재배 포트에 10 mL씩 관주하여 접종하였다. 접종한 고추는 저면관수를 통하여 항상 과습상태를 유지하였고, 접종 후 6일과 12일에 발병주율을 조사하여 살균제의 병 방제 효과를 계산하였다.

### 포장에서 살균제 효과 검증

포장에서 CAA계열의 살균제에 대한 방제효과 검정을 2009년과 2010년, 2년에 걸쳐서 수행하였다. 모든 포장 실험에서의 처리구는 난괴법 3반복으로 배치하였다. 2년간의 포장 실험에 사용한 살균제의 제형과 유효성분량은 Table 1과 같았다. 특히 benthiavalicarb와 iprovalicarb의 경우는 단제로 개발된 품목이 없었던 관계로, 탄저병 방제 살균제인 chlorothalonil과 propineb가 각각 혼합된 합제를 실험에 사용하였다. 2009년 포장실험에서는 benthiavalicarb, iprovalicarb, dimethomorph, 그리고 mandipropamid 등 4종의 살균제 각각의 처리 농도를 포장에서 사용하는 농도인 35, 120, 250, 109  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 로 조절하여 처리하였다. 모든 살균제는 10일 간격으로 4회 처리하였으며, 마지막 처리를 하고 10일 후에 발병주율을 조사하였다. 살균제는 토양에 흘러내릴 정도로 고추의 지상부에 충분히 처리하였다. 2010년의 포장 실험에서 시험구의 배치는 2009년과 동일하게 난괴법 3반복으로 실시하였으며, 사용한 살균제도 동일하였다. 다만 포장에서 처리한 살균제의 농도는 2009년에 사용한 농도의 1/2 농도와 2배의 농도인 benthiavalicarb는 17과 70  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 로, iprovalicarb는 60과 240  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 로,

dimethomorph는 125와 500  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 로, mandipropamid는 55와 220  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 로 처리하였다. 모든 살균제는 10일 간격으로 4회 처리하였으며, 최종처리를 하고 10일 후에 발병주율을 조사하였다.

## 결 과

### 고추 역병균의 생육단계에 미치는 살균제의 효과

실험에 사용한 살균제가 역병균의 균사생장, 포자낭 발아와 포자낭으로부터 유주포자의 나출을 억제하는 효과를 조사하였다. Fig. 1에서 보는 것과 같이 *P. capsici* 06-143에 대해서 실험에 사용한 4종의 살균제 모두 06-143 균주의 균사생장과 포자낭 발아에 대한 억제효과는 양호하였으나, 포자낭으로부터 유주포자가 나출되는 것은 거의 억제하지 못하였다. *P. capsici* 06-143의 균사생장에 대한 benthiavalicarb, iprovalicarb, dimethomorph, 그리고 mandipropamid의 억제 효과를  $\text{EC}_{50}$ 값과 MIC값을 가지고 비교하여 보면, 각각의  $\text{EC}_{50}$ 값은 0.036, 0.4, 0.325, 0.003  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 이었으며, MIC값은 0.8, 4, 0.8, 0.16  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 로, 모든 살균제가 낮은 처리농도에서 역병균의 균사생장을 효과적으로 억제하였다. 병원균의 포자낭 발아에 대한 mandipropamid의  $\text{EC}_{50}$ 값과 MIC값을 보면 0.008  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 와 100  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 로 균사생장 억제효과보다 높은 농도에서 포자낭의 발아를 억제하였다. Dimethomorph 역시 균사생장을 억제하는  $\text{EC}_{50}$ 값과 MIC값은 0.325  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 와 0.8  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 인데 비하여, 포자낭 발아에 대한  $\text{EC}_{50}$ 값과 MIC값은 0.622  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 와 100  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 로, 포자낭 발아를 억제하는 농도보다 더 낮은 농도에서 균사생

장을 억제하는 것을 알 수 있었다. 하지만 실험에 사용한 4종의 살균제 모두 포자낭으로부터 유주포자가 나출되는 것을 억제하지 않았다.

### 살균제의 예방 및 치료효과

Table 2에서 보는 것과 같이 병원균을  $5 \times 10^3$  개  $\text{mL}^{-1}$ 의 농도로 접종하고 6일 후에 조사한 예방효과를 보면, iprovalicarb의 10  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 처리구를 제외한 모든 처리구에서 100%의 방제효과를 보여 주었다. 하지만 병원균을 접종하고 12일 후에 병 발생 정도를 조사하여 보면, 10  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 benthiavalicarb와 iprovalicarb의 처리에서 예방효과가 55.6%와 22.2%로 감소하였다. Dimethomorph의 예방효과는 benthiavalicarb와 iprovalicarb보다도 더 큰 폭으로 감소하였는데, 500  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 의 처리에서조차 예방효과가 16.7%로 감소하였다. Mandipropamid의 경우도 병원균 접종 12일 후에 조사한 예방효과를 보면, 500  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 에서 83.3%의 효과를 보였을 뿐, 100과 10  $\mu\text{g mL}^{-1}$ 에서는 27.8%와 0%로 예방효과가 거의 나타나지 않았다. 이처럼 병 발생이 진전되면서 나타나는 예방효과의 감소현상은 병원균을  $1 \times 10^5$  개  $\text{mL}^{-1}$ 의 농도로 접종하였을 때 더 뚜렷하게 나타났다. 처리한 4종의 살균제 중에서는 benthiavalicarb의 예방효과 감소현상이 가장 적었다. 병원균을  $1 \times 10^5$  개  $\text{mL}^{-1}$ 의 높은 농도로 접종하고 12일 후에 조사하였을 때, benthiavalicarb의 500, 100, 10  $\mu\text{g mL}^{-1}$  처리구의 예방 효과는 100, 100, 61.1%로 나타나,  $5 \times 10^3$  개  $\text{mL}^{-1}$ 의 낮은 농도로 접종하고 12일 후에 조사하였을 때와 비슷한 효과를 보여 주었다. 하지만 나머지 3가지의 살균제는 병원균의 접종 농도를  $5 \times 10^3$  개  $\text{mL}^{-1}$ 에서  $1 \times 10^5$  개  $\text{mL}^{-1}$ 으로 높이면서 역병에

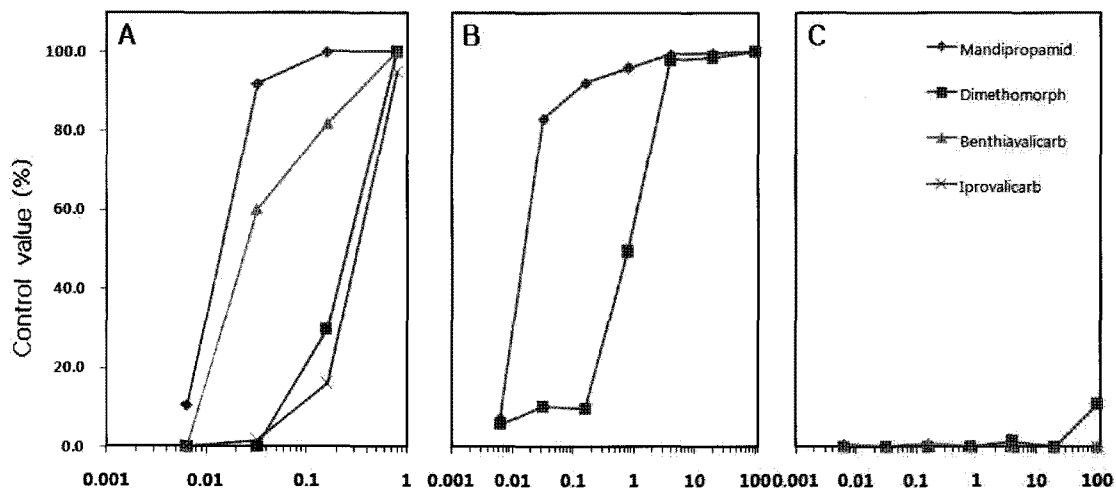


Fig. 1. Inhibitory effect of four fungicides on mycelial growth (A), sporangium germination (B), and zoospore release (C) of *Phytophthora capsici* 06-143.

**Table 2.** Protective effect of four fungicides on pepper Phytophthora blight caused by *Phytophthora capsici* 06-143 according to inoculum density and investigation timing

Fungicide	Sporangium concentration (sporangia mL <sup>-1</sup> )	Investigation timing (DAI <sup>a</sup> )	Concentration (µg mL <sup>-1</sup> )		
			500	100	10
Benthiavalicarb	5x10 <sup>3</sup>	6	100 <sup>b</sup>	100	100
		12	100	100	55.6
	1x10 <sup>5</sup>	6	100	100	100
		12	100	100	61.1
Iprovalicarb	5x10 <sup>3</sup>	6	100	100	80
		12	100	100	22.2
	1x10 <sup>5</sup>	6	100	100	22.2
		12	100	100	0
Dimethomorph	5x10 <sup>3</sup>	6	100	100	100
		12	16.7	0	0
	1x10 <sup>5</sup>	6	100	72.7	18.2
		12	0	0	0
Mandipropamid	5x10 <sup>3</sup>	6	100	100	100
		12	83.3	27.8	0
	1x10 <sup>5</sup>	6	100	100	45.5
		12	66.7	22.2	0

<sup>a</sup>; DAI was the simpler form for days after inoculation.

<sup>b</sup>; Figures was control value (%) as calculated as follows;

$$\text{Control value (\%)} = \left( 1 - \frac{\text{percentage of diseased plants in fungicide-applied treatment}}{\text{percentage of diseased plants in treatment without fungicide}} \right) \times 100$$

<sup>c</sup>; All the fungicides were treated by soil drenching one day before inoculation.

대한 예방효과는 크게 감소하였다. Iprovalicarb를 10 µg mL<sup>-1</sup>로 처리하고 낮은 농도로 병원균을 접종한 다음, 6일 후에 80%이었던 효과가 높은 농도로 접종하였을 때에는 22.2%로 감소하였다. 이러한 예방효과의 변화는 dimethomorph의 처리구에서 더 심하게 나타났다. 모든 처리구에서 낮은 농도로 병원균을 접종하고 6일 후에는 100%의 효과를 보이다가, 병원균의 접종 농도가 높아지면서 100과 10 µg mL<sup>-1</sup> 처리구에서 72.7%와 18.2%까지 효과가 감소하였다. 병원균을 접종하고 12일 후에 조사하였을 때, dimethomorph 모든 처리구에서 역병을 거의 방제하지 못하였다. Mandipropamid 역시 10 µg mL<sup>-1</sup> 처리구에서 병원균을 접종하고 6일 후의 결과를 비교하여 보면, 낮은 접종구에서 100%이었던 효과가 접종 농도가 높아지면서 45.5%로 감소하였다.

실험에 사용한 모든 살균제의 치료효과는 인정되었지만, 예방효과보다 저조하였다(Table 3). 우수한 예방효과를 보였던

benthiavalicarb의 치료효과도 다소 떨어지는 경향을 보였지만, 전반적으로 예방효과와 유사한 결과를 보여주었다. 병원균을 낮은 농도로 접종하고 12일 후에 조사하였을 때, 100과 10 µg mL<sup>-1</sup>의 benthiavalicarb는 100과 66.7%의 방제효과를 보였으나, 높은 포자 농도로 접종하였을 때에는 100 µg mL<sup>-1</sup>의 처리에서 고추 역병을 83.3% 방제하였으며, 10 µg mL<sup>-1</sup>의 처리에서는 전혀 방제하지 못하였다. Iprovalicarb, dimethomorph, mandipropamid의 효과 역시 예방 처리하였을 때 보다는 치료 처리에서 효과가 감소하였으며, 병원균의 접종 농도가 높아지면서 역시 역병에 대한 효과가 감소하였다. Dimethomorph와 mandipropamid 모두 병원균을 접종하고 12일 후에는 역병에 대한 효과가 전혀 없었다.

#### 살균제의 지속 효과

Fig. 2에서 보는 것과 같이 100 µg mL<sup>-1</sup>의 benthiavalicarb

**Table 3.** Curative effect of fungicides on pepper Phytophthora blight caused by *Phytophthora capsici* 06-143 according to inoculum density and investigation timing

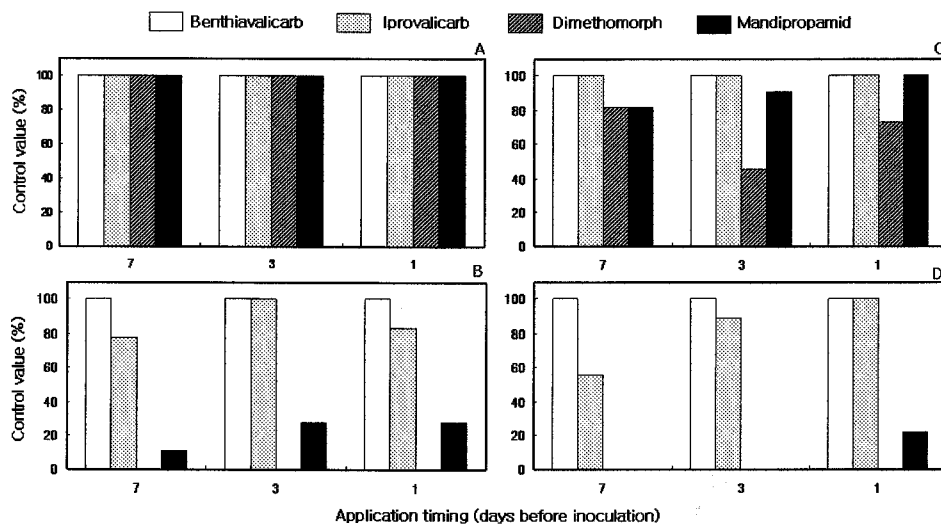
Fungicide	Sporangium concentration (sporangia mL <sup>-1</sup> )	Investigation timing (DAI <sup>a</sup> )	Concentration ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )		
			500	100	10
Benthiavdicarb	5x10 <sup>3</sup>	6	100 <sup>b</sup>	100	100
		12	100	100	66.7
	1x10 <sup>5</sup>	6	100	100	61.1
		12	100	83.3	0
Iprovalicarb	5x10 <sup>3</sup>	6	100	100	73.3
		12	100	94.4	5.6
	1x10 <sup>5</sup>	6	100	100	61.1
		12	94.4	94.4	0
Dimethomorph	5x10 <sup>3</sup>	6	100	72.7	36.4
		12	0	0	0
	1x10 <sup>5</sup>	6	75.0	61.0	20.9
		12	0	0	0
Mandipropamid	5x10 <sup>3</sup>	6	100	75	36.4
		12	0	0	0
	1x10 <sup>5</sup>	6	75	75	18.7
		12	0	0	0

<sup>a</sup>; DAI was the simpler form for days after inoculation.

<sup>b</sup>; Figures was control value (%) as calculated as follows;

$$\text{Control value (\%)} = \left( 1 - \frac{\text{percentage of diseased plants in fungicide-applied treatment}}{\text{percentage of diseased plants in treatment without fungicide}} \right) \times 100$$

<sup>c</sup>; All the fungicides were treated by soil drenching one day before inoculation.



**Fig. 2.** Persistent effect of fungicides on Phytophthora blight caused by *Phytophthora capsici* 06-143. All fungicides were adjusted to 100  $\mu\text{g mL}^{-1}$  and applied 7, 3, and one day before inoculation. For the inoculation, sporangium suspension prepared from the culture of *P. capsici* 06-143 was adjusted to 5x10<sup>3</sup> (A and B) and 1x10<sup>5</sup> sporangia mL<sup>-1</sup> (C and D), and poured into soil of pot, respectively. The percentage of diseased plants was investigated 6 (A and C) and 12 (B and D) days after inoculation.

처리구는 병원균을  $5 \times 10^3$ 과  $1 \times 10^5$  개  $\text{mL}^{-1}$ 의 농도로 접종한 처리구 모두에서 약제 처리 시기와 관계없이 고추 역병을 100% 방제하였다. 반면에 dimethomorph와 mandipropamid는 병원균의 접종 농도와 약제 처리 시기와 관계없이 병원균을 접종하고 12일 후에는 역병에 대한 방제 효과가 인정되지 않았다. Iprovalicarb는 병원균을 접종하고 6일 후까지는 병원균의 접종농도와 약제의 처리 시기에 영향을 받지 않고 100%의 효과를 보였지만, 12일 후에는  $5 \times 10^3$ 과  $1 \times 10^5$  개  $\text{mL}^{-1}$ 로 접종한 처리구 모두에서 병원균을 접종하기 7일 전에 처리한 처리구의 효과가 가장 낮았다. 결국 병 진전이 심해질 경우  $100 \mu\text{g mL}^{-1}$ 의 iprovalicarb의 효과는 약제 처리시기에 영향을 받게 되는데, 높은 접종 농도와 낮은 접종 농도로 접종할 경우 모두에서 병원균을 접종하기 7일 전에 관주처리한 효과가 78.1%와 57.0%로 감소하였다.

### 포장에서 역병 방제효과

실험에 사용한 4종의 살균제의 역병 방제효과를 2009년과 2010년의 2년 동안 고추 재배 포장에서 조사하였다. 2년간의 포장 실험에서 모든 살균제는 10일 간격으로 4회 처리하고, 마지막 살균제를 처리하고 10일 후에 각 처리구 당 30주의 고추를 조사하여 발병주율을 구하였다.

살균제를 처리하지 않은 무처리구의 발병주율은 자연발병을 유도하였던 2009년의 포장에서는 15.8%이었으며, 병원균을

포장 전체에 균일하게 접종하여 발병을 유도하였던 2010년에는 71.5%이었다(Table 4). 무처리구의 발병율이 낮았던 2009년의 포장 실험 결과에서는 iprovalicarb 처리구에서 발병주율은 1.8%로 88.4%의 방제 효과를 보였으며, benthiavalicarb와 mandipropamid의 방제효과는 66.4%와 69.2%로 나타났다. 하지만 dimethomorph의 경우 발병주율이 11.5%로 나타나, 역병에 대한 방제 효과가 27.2%로 저조하였다. 2010년에는 2009년의 실험 결과를 바탕으로 4종의 살균제를 포장 추천 농도보다 2배 높은 농도와 1/2 낮은 농도로 처리하였다. 각 살균제를 포장 사용 농도보다 2배 높은 농도로 처리한 경우, benthiavalicarb, iprovalicarb, dimethomorph, mandipropamid의 병 방제효과가 94.8, 94.2, 94.8, 82.5%로 나타났다. 각 살균제를 권장되는 포장 사용 농도의 1/2 농도로 처리하였을 때, benthiavalicarb, iprovalicarb, mandipropamid 등은 2009년에 포장 사용 농도로 처리하였을 때와 비슷하거나 약간 감소하는 효과를 보이고 있었다. 하지만 dimethomorph의 경우는 자연 발병을 유도하여 무처리구에서의 발병주율이 15.8%로 낮았던 2009년의 실험에서 27.2%의 효과를 보인 반면에, 무처리구에서의 발병율이 71.5%로 훨씬 높았던 2010년 실험에서 1/2 농도인  $125 \mu\text{g mL}^{-1}$ 를 처리하였음에도 불구하고 역병의 발생을 89.5%나 억제하는 것을 보면 포장에서 dimethomorph의 효과가 불안정하게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

**Table 4.** Control efficacy of four fungicides against Phytophthora blight caused by *Phytophthora capsici* in pepper field over 2 years from 2009 to 2010

Fungicide	Experiment I			Experiment II		
	Concentration ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ )	Disease incidence (%)	Control value (%)	Concentration ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ )	Disease incidence (%)	Control value (%)
Benthiavalicarb	35	5.3	66.4	70	3.7	94.8
				17	26.2	63.4
Iprovalicarb	120	1.8	88.4	240	4.2	94.2
				60	18.7	73.9
Dimethomorph	250	11.5	27.2	500	3.7	94.8
				125	7.5	89.5
Mandipropamid	110	4.9	69.2	220	12.5	82.5
				55	15.0	79.0
Untreated control		15.8			71.5	

<sup>a</sup>; All fungicides were treated 4 times by 10-day interval. To assess the activity of each fungicide, percentage of diseased plants was investigated 10 days after the last application with each fungicide.

<sup>b</sup>; In experiment II conducted in 2010, all pepper plants were inoculated with sporangial suspension of *P. capsici* 06-143 adjusted to  $1 \times 10^5$  sporangia  $\text{mL}^{-1}$  in pepper field.

## 고 찰

본 실험에서 CAA계 살균제는 *P. capsici*의 생육 단계 중에서 포자낭의 직접 발아와 균사 성장을 크게 억제하였고, 고추 유묘를 이용한 온실 실험에서도 우수한 예방과 치료 효과를 보였으며, 2년간의 포장 실험에서도 고추 역병을 효과적으로 방제하였다. 실험에 사용하였던 CAA계 살균제는 고추 역병뿐만 아니라 난균문에 속하는 식물병원균을 효과적으로 방제하는 것으로 알려져 있다. Mandipropamid도 포장에서 감자와 토마토 역병뿐만 아니라, 포도, 담배, 채소류의 노균병을 효과적으로 방제하였다(Harp 등, 2006; Huggenberger 등, 2005). CAA계 살균제 중에서는 가장 먼저 개발되어 다년간 사용하여 온 dimethomorph 역시 난균문에 속하는 식물병원균의 방제에 효과적이다(Cohen 등, 1995; Matheron과 Porchas, 2000). Iprovalicarb 역시 감자와 토마토 역병과 포도와 상추 노균병에 대한 우수한 효과를 가지고 있다(Cohen과 Gisi, 2007; Jende 등, 1999). 이들은 병원균의 세포벽 합성과 중합을 억제하기 때문에 포자낭의 직접 발아, 피낭체의 발아 등을 효과적으로 억제하며, 발아한 발아관이 정상적인 균사체로 성장하지 못하게 한다(Cohen 등, 1995; Cohen과 Gisi, 2007; Cohen 등, 2008; Griffiths 등, 2003a, 2003b). *P. capsici*도 CAA계 살균제 처리에 의해서 각 생육 단계에서 나타나는 현상이 다른 난균문의 식물병원균과 동일하게 포자낭의 직접 발아와 균사생장은 크게 억제되었으나, 포자낭으로부터 유주포자의 나출은 전혀 억제되지 않았다. Griffiths 등(2003)은 mandipropamid가 *P. infestans*에서 choline phosphotransferase의 활성을 저해함으로써 지질 대사를 억제하고 결국 세포벽의 합성에 영향을 미친다고 보고하였다. *P. infestans*와 같이 난균문에 속하는 *P. capsici*에서 CAA계 살균제를 낮은 농도로 처리하였을 때 포자낭의 직접 발아와 균사 성장을 크게 저해하면서도, 유주포자가 포자낭에서 나출되는 것은 전혀 저해하지 못하는 원인은 병원균의 세포벽 합성과 관련이 있을 것으로 생각한다.

Cohen과 Gisi(2007)는 감자와 토마토의 잎을 잘라 실험실에서 CAA계 살균제의 치료 효과를 조사하였는데, 감자와 토마토의 잎에 역병균의 포자낭현탁액을 점적하여 접종하고, mandipropamid와 dimethomorph를 1일 후에 처리한 치료적 처리는 예방적 처리보다 병 방제 효과가 다소 감소하였으나, 2일 후에 살균제를 처리하였을 때는 살균제의 효과가 전혀 나타나지 않았다고 보고하였다. 두 살균제 모두 높은 처리 농도에서 병반 상에서 병원균의 포자낭의 형성을 억제하였다. Dimethomorph를 감자 역병균을 1일 전에 접종한 감자

성체식물에 처리하였을 경우, 감자에 나타나는 역병의 마름 증상을 억제하지 못하였지만, 병반에서 포자낭의 형성은 크게 억제하였다(Cohen 등, 1995). 이러한 현상은 오이 노균병의 경우에도 동일하게 나타났다. 본 실험에서도 CAA계 살균제는 유묘 상태의 고추에 처리하였을 때 우수한 예방과 치료 효과를 모두 가지고 있었지만, 예방효과에 비해서 치료효과가 약간 감소하였다. 지금까지의 모든 실험은 지상부에 살균제를 처리하였으며, 병원균 역시 지상부에 집중하여 실험하였다. 하지만 본 온실실험에서는 CAA계 살균제의 처리와 병원균인 *P. capsici*를 고추 유묘를 재배하는 포트의 토양에 관주하였기 때문에, 병원균은 뿌리와 지제부를 통해서 고추를 침입하고, 살균제 역시 토양 중에 존재하는 병원균에 효과를 나타내거나 뿌리를 통하여 식물체로 이동하여 효과를 나타내고 있는 것이 기존의 실험과 큰 차이라고 생각한다. 실험 상의 차이에도 불구하고 CAA계 살균제의 치료효과가 예방효과에 비하여 다소 감소하는 경향은 동일하였다. *P. capsici*를 접종하고 3-4일 후부터 고추 유묘에서 지제부가 검게 변하고 지상부의 식물체가 시들기 시작하는 증상을 관찰할 수 있었다. 하지만 병원균을 접종하고부터 뿌리를 통한 침입 과정을 경시적으로 조사하지 못하였기 때문에 1일 후에 병원균이 충분히 뿌리를 침입하였는지의 여부를 정확하게 알 수는 없지만, 실험에 사용한 살균제의 치료적 처리에서 병 방제 효과가 예방적 처리보다 더 감소하는 것을 보면 병원균이 고추 유묘의 뿌리를 침입할 수 있는 충분한 시간이었다고 생각하고, 토양에 관주처리하는 본 실험의 결과가 치료 처리 효과를 검증하는데 부족함이 없는 방법이라고 생각한다. 예방적 처리와 비교해서 병 방제 효과의 감소 정도는 benthiavalicarb와 iprovalicarb보다는 mandipropamid와 dimethomorph에서 다소 크게 나타났다. 하지만 상추에 *Bremia lactucae*를 접종하고 3시간 후에 살균제를 처리하였을 때는 benthiavalicarb, dimethomorph, mandipropamid, iprovalicarb 순으로 치료 효과가 우수하였으며, 18시간 후에 살균제를 처리하였을 때는 mandipropamid와 iprovalicarb는 치료 효과를 보이지 않았다(Cohen 등 2008). 다른 CAA계 살균제와 비교하여 iprovalicarb의 치료 효과에서 나타나는 차이는 본 실험에서 살균제 용액과 병원균을 토양에 관주 처리한 실험계의 차이 때문이라고 생각한다. 하지만 모든 차이가 실험계의 차이에서만 나타나는 것은 아니라고 생각한다. Mandipropamid의 경우 감자와 포도 잎에 처리하였을 경우, 1.5시간 이내에 감자의 경우는 4.9%가, 그리고 포도의 경우는 1.3%가 엽육조직에 도달하였는데(Hermann 등, 2005), 이는 살균제의 물리·화학적 성질에 따라서 식물체의 큐티클층과 왁스층을 통과하는 능력이 다르기 때문으로



생각된다. 살균제의 물리·화학적 성질은 토양 중에서의 살균제의 동태나 뿌리를 통해 물관 내부로 이동할 때에도 영향을 미쳐서, 토양 관주처리에 의한 치료 효과에 영향을 미칠 것으로 생각한다. 고추 유묘의 정식기에 살균제를 육묘상자나 정식 직후에 토양에 관주처리하거나 또는 포장 경운 시에 토양에 처리하여 역병을 방제하기 위해서는 토양 중에서 살균제가 일정기간 효과를 유지할 수 있어야 할 뿐만 아니라 뿌리를 통한 침투성도 지녀야 할 것으로 생각한다. 포장에서 고추 역병균은 주로 토양을 통해서 고추의 뿌리와 지제부를 침입하기 때문에 토양에서의 살균제의 동태와 뿌리를 통한 침투이행 효과에 대한 더 많은 연구가 필요하다고 본다.

Cohen 등(1995)에 의하면 감자 잎 상에서 dimethomorph는 9일 이상 효과를 보이고 있었지만, 본 실험에서는 12일 후에는 전혀 고추 역병을 방제하지 못하였다. 감자 잎 상에서 9일 이상 효과를 보이는 것은 지상부에 처리한 dimethomorph가 대부분 잎의 큐티클층에 강하게 결합하여 장기간 효과를 지속적으로 나타내기 때문이지만, 앞에서 설명한 것과 같이 토양에서 살균제의 안정성이 큐티클층에서와 다를 수 있기 때문에 관주처리하였을 때의 살균제의 지속효과가 다른 살균제와 비교하여 짧았던 것으로 생각한다.

포장에서 직접 CAA계 살균제의 효과를 2년에 걸쳐서 조사하였다. 2009년의 포장 실험에서는 역병의 자연발병을 유도하였으나, 병이 포장 전체에 균일하게 발생하지 않아 실험을 진행하는데 어려움이 많았다. 따라서 2010년에는 살균제를 2회 처리한 후에 역병균을 접종하여, 실험 포장 전체적으로 역병의 발생을 균일하게 조정하고자 노력하였다. Dimethomorph를 제외한 모든 살균제는 2년간의 포장실험에서 모두 우수한 방제효과를 보였다. 하지만 dimethomorph는 2010년의 포장 실험에서 매우 우수한 방제 효과를 보였지만, 2009년의 포장 실험에서는 매우 저조한 방제 효과를 보였다. Dimethomorph의 역병 방제 효과는 병원균의 병원성 정도와 접종 농도 등 병 발생에 영향을 주는 요인들에 의해서 영향을 받을 수 있다. 본 실험의 결과에서도 온실에서 실시한 실험의 결과를 보면, 발병이 심한 경우에 dimethomorph의 효과는 크게 감소하였다 (Table 2와 3, Fig. 2). 하지만 2009년의 포장 결과에서는 병 발생이 높지 않은 포장인데도 불구하고 낮은 방제효과를 보이고 있었기 때문에 병 발생에 미치는 요인만이 dimethomorph의 효과에 영향을 주었다고 설명하기에는 부족함이 있고, 2009년에 실시한 고추 포장에서의 토양 환경의 차이나 온도, 강우 등과 같은 병 발생환경 등이 dimethomorph의 효과에 영향을 미쳤을 가능성도 생각할 수 있다. 하지만 dimethomorph의 효과가 포장에서 큰 차이로 변하는 이유는 더 실험해 볼 가치

가 있다고 생각한다.

CAA계 살균제는 고추 역병균에 대해서 균사 생장과 포자낭의 직접 발아를 효과적으로 억제하며, 예방과 치료효과뿐만 아니라 지속효과까지도 가지고 있기 때문에 고추 역병의 체계적인 방제 시스템을 구축하는데 초기와 중기에 처리할 수 있는 살균제로 사용이 가능하리라고 본다. 또한 CAA계 살균제는 현재 역병 방제에 많이 사용되고 있는 metalaxyl과 교차 저항성의 관계가 없기 때문에 다른 살균제와의 교호 처리 또는 혼합처리를 통한 역병균의 저항성 발현을 저지하는 저항성 관리 체계에도 사용할 수 있을 것으로 생각한다.

## 감사의 글

본 연구는 특화작목연구개발과제로 수행한 “친환경 고품질 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

- Cohen, Y., A. Baider and B. Cohen (1995) Dimethomorph activity against Oomycete fungal plant pathogens. *Phytopathology* 85:1500~1506.
- Cohen, Y. and U. Gisi (2007) Differential activity of carboxylic acid amide fungicides against various developmental stages of *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 97:1274~1283.
- Cohen, Y., A. Rubin and D. Gotlieb (2008) Activity of carboxylic acid amide (CAA) fungicides against *Bremia lactucae*. *Eur. J. Plant Pathol.* 122:169~183.
- Griffiths, R. G., J. Dancer, E. O'Neill and J. L. Harwood (2003a) Effect of culture conditions on the lipid composition of *Phytophthora infestans*. *New Phytologist* 158:337~344.
- Griffiths, R. G., J. Dancer, E. O'Neill and J. L. Harwood (2003b) A mandelamide pesticide alters lipid metabolism in *Phytophthora infestans*. *New Phytologist* 158:345~353.
- Harp, T., G. Cloud, B. Minton, and A. Cochran (2006) Mandipropamid: A new fungicide for control of late blight and downey mildews. (Abstr.) *Phytopathology* 96(suppl.):S185.
- Hermann, D., D. W. Barlett, W. Fischer and H. J. Kempf (2005) The behaviour of mandipropamid on and in plants. *Proceedings of BCPC International Congress of Crop Science and Technology*, Galsgow, UK 1:87~92.
- Huggenberger, F., C. Lamberth and W. Iwanzik (2005) Mandipropamid a new fungicide against Oomycete pathogens. p

- 93-98 in: Proceedings of the BCPC International Congress Crop Science & Technology, Glasgow, UK.
- Jende, G., U. Steiner and H.-W. Dehne (1999) Effect of iprovalicarb (SZX 0722) on the development of *Phytophthora infestans* in tomato plants. *Pflanzenchutz-Nachr. Bayer* 52:49~60.
- Matheron, M. E. and M. Porchas (2000) Impact of azoxystrobin, dimethomorph, fluazinam, fosetyl-Al and metalaxyl on growth, sporulation, and zoospore cyst germination of three *Phytophthora* spp. *Plant Dis.* 84:454~458.
- 김선보, 이수민, 민지영, 김홍태. (2007) 2005년과 2006년에 채집한 고추 역병균(*Phytophthora capsici*)의 metalaxyl에 대한 약제 반응. *농약과학회지* 11:305~312.
- 연초롱, 이수민, 김선보, 민지영, 김홍태. (2008) 국내 고추 역병균의 metalaxyl 저항성 변화 및 metalaxyl 저항성과 고추에 대한 병원성과의 상관 관계. *농약과학회지* 12:270~276.
- 이수민, 신진호, 김선보, 김홍태. (2009) Metalaxyl에 대한 저항성 고추 역병균의 특성. *농약과학회지* 13:283~289.

## 고추 역병에 대한 Carboxylic Acid Amide계 살균제의 방제 효과

신진호<sup>1</sup> · 김주형<sup>1</sup> · 김형조<sup>1</sup> · 최영기<sup>1</sup> · 김아형<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** Benthialavdicarb, iprovalicarb, dimethomorph, mandipropamid 등과 같은 carboxylic acid amide(CAA)계 살균제가 고추 역병균인 *Phytophthora capsici*의 생육 단계에 미치는 영향과 온실에서의 작용특성 그리고 포장에서의 방제 효과를 조사하였다. CAA계 살균제는 병원균의 균사 생장과 포자낭의 직접 발아를 크게 억제하였으나, 포자낭으로부터 유주포자의 나출은 전혀 억제하지 못하였다. 온실에서 실시한 고추 유묘 검정에서도 모든 살균제는 병원균의 접종 농도와 조사 시기 등에 따라서 다소의 차이는 있었지만, 병원균을 접종하기 1일 전과 1일 후에 처리한 예방과 치료처리에서 모두 우수한 효과를 보여 주었다. Benthialavdicarb는 병원균을 접종하기 7일 전에 처리하였을 때도 100%의 효과를 보였다. 이 효과는 *P. capsici*를  $5 \times 10^3$  개  $\text{mL}^{-1}$ 의 낮은 농도로 접종하였을 때와  $1 \times 10^5$  개  $\text{mL}^{-1}$ 의 높은 농도로 접종하였을 때 모두에서 나타났다. 포장 실험에서도 dimethomorph를 제외한 모든 살균제는 효과적으로 고추 역병을 방제하였다. 하지만 dimethomorph는 2009년의 실험에서  $250 \mu\text{g mL}^{-1}$ 에서 27.2%의 저조한 효과를 보였지만, 2010년에는  $125 \sim 250 \mu\text{g mL}^{-1}$ 에서도 89.5%의 우수한 효과를 보였다. 본 실험을 통해서 CAA계 살균제는 고추 역병에 대해서 매우 우수한 효과를 가지고 있음이 확인되었고, 병원균과 병 방제에 대한 다양한 효과는 포장에서 역병을 종합적으로 방제하는 처리 체계를 확립하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 생각한다.

**색인어** carboxylic acid amide(CAA)계 살균제, 고추 역병, *Phytophthora capsici*