

Ethaboxam의 배추 뿌리혹병 방제효과

최경자* · 장경수 · 김진철 · 임희경 · 전삼재¹ · 김달수¹ · 조광연

한국화학연구원 생물기능연구팀, ¹LG생명과학기술연구원 정밀화학연구그룹

요약 : Ethaboxam[(RS)-N-(a-cyano-2-thenyl)-4-ethyl-2-(ethylamino)-1,3-thiazole-5-carboximide]은 난균강 미생물에 대하여 우수한 살균활성을 보이는 신규 살균제 이다. Ethaboxam 원제와 몇 가지 ethaboxam 제형의 배추 뿌리혹병에 대한 방제효과를 조사하였다. Ethaboxam을 관주처리 하였을 때, 토양 1 L 당 8.33 mg 농도 처리구는 배추 뿌리의 혹 형성이 완전히 억제되었으며, EC₅₀ 값은 2.65 mg/L 토양 이었다. Ethaboxam 5개 제형(10% 액상수화제, 15% 액상수화제, 2% 입제, 5% 입제, 25% 수화제) 그리고 ethaboxam과 metalaxyl 합제 제형(3%+1% 입제)의 배추 뿌리혹병 방제효과는 우수하였다. 이들 중 토양 관주처리 한 ethaboxam의 10% 및 15% 액상수화제, 토양 혼화처리 한 ethaboxam 2% 입제 제형은 다른 제형보다 배추 뿌리혹병에 대하여 더 우수한 방제효과를 보였다. 이들의 배추 뿌리혹병에 대한 EC₅₀ 값은 원제기준으로 토양 L 당 각각 3.72 mg (10% 액상수화제), 1.10 mg (15% 액상수화제), 4.95 mg (2% 입제) 이었다. 그러므로 실험한 ethaboxam 6개 제형 중에 15% 액상수화제가 배추 뿌리혹병에 대하여 가장 우수한 방제효과를 나타냄을 알 수 있었다. 이들 결과로부터 ethaboxam은 포장에서도 배추 뿌리혹병을 효과적으로 방제할 수 있으리라 생각되었다.(2005년 1월 13일 접수, 2005년 3월 23일 수리)

색인어 : ethaboxam, 방제효과, 배추 뿌리혹병, *Plasmodiophora brassicae*.

서 론

*Plasmodiophora brassicae*에 의해 발생하는 배추 뿌리혹병은 전 세계적으로 분포하는 병으로 배추(*Brassica campestris* subsp. *pekinensis*), 양배추(*B. oleracea* var. *capitata*), 순무(*B. campestris* var. *rapifera*) 등의 십자화과 식물에 발생한다(Yoshikawa and Buczacki, 1978). 이 병의 병징은 배추 뿌리가 이상증식 하여 혹을 형성하는 병으로 영양분이 지하부의 혹 형성에 사용되므로 지상부 발달이 저해되고 심하게 감염되면 지상부에 수분공급이 억제되어 시들게 된다(Arie et al., 1998). 이 병이 발생한 뿌리 조직 속에는 무수히 많은 휴면포자가 형성되고 휴면포자는 토양 내에서 장기간 생존하여 전염원이 된다(김 등, 1997; 오 등, 1997). *P. brassicae*의 휴면포자는 조건이 맞으면 10년 동안 토양 속에서 살 수 있다고 한다(Arie et al., 1998; 김 등, 2000a).

뿌리혹병 방제를 위하여 병든 식물을 제거하거나 태우기, 석회석 혹은 알칼리 용액을 이용한 토양 산도 올리기, 배수시설 강화, 십자화과 식물과 기타 식물의 윤작 등의 경종적 방제가 사용되고 있다

(Yoshigawa, 1983; 김 등, 2000b; 조 등, 2002). 그러나 병 저항성 품종만이 일부 성공하고 있을 뿐 다른 방법은 별 효과를 거두지 못하고 있다(Yoshikawa and Buczacki, 1978; Tanaka et al., 1997). 배추의 경우에, 병원균이 소량 있는 토양에서는 감수성 품종과 저항성 품종 간에 뿌리혹병 발생에 차이가 있으나, 병원균이 심하게 오염된 토양에서는 뿌리혹병에 대한 방제효과 차이가 거의 없었다(Ikegami, 1975). 특히 양배추의 경우에는, 병원균의 생리적 분화가 많아서 저항성 품종도 곧 감수성 품종이 되었다(Williams, 1966). 그러므로 농민들은 배추 뿌리혹병의 안정적인 방제를 위해서 살균제를 이용한 화학적 방제를 많이 이용하고 있다.

우리나라에서 배추 뿌리혹병을 위한 살균제로는 정식전 전면 토양 혼화처리 하는 fluazinam[3-chloro-N-(3-chloro-5-trifluoro-methyl-2-pyridyl)-a, a, a-trifluoro-2,6-dinitro-p-toluidine, 후론사이드[®]]과 flusulfamide(2',4-dichloro-a, a, a-trifluoro-4'-nitro-m-toluenesulfonanilide, 흑안나[®], 후루설파마이드[®]), 정식전 뿌리 침지처리와 정식 시에 관주처리 하는 cyazofamid(4-chloro-2-cyano-N,N-dimethyl-5-p-tolylimidazole-1-sulfonamide, 미리카트[®]) 등이 등록되어 사용되고 있다(Shimotori 등, 1996; Komyoji et al., 1995; Mitani, et al., 2003). 그러나 다른 식물병에

*연락처

대한 살균제에 비하여 등록약제가 소수이므로 농민은 배추 뿌리혹병 방제를 위한 살균제 선택의 폭이 아주 좁다. 식물병 방제를 위하여 같은 살균제를 반복적으로 사용하게 되면 포장에서는 저항성이 쉽게 생기게 되므로 다양한 계열의 살균제를 등록하여 교대로 사용함으로써 저항성 발달을 회피할 수 있다(최 등, 1992; Daggett *et al.*, 1993; Davidse *et al.*, 1981; Dowley and O'Sullivan, 1981; Lorenz and Eichhorn, 1982). 그러므로 *P. brassicae*에 의한 뿌리혹병 방제를 위한 새로운 약제의 개발이 요구되고 있다.

Ethaboxam[(*RS*)-*N*-(*a*-cyano-2-thenyl)-4-ethyl-2-(ethylamino)-1,3-thiazole-5-carboximide; CAS 등록번호 162650-77-3; 코드번호: LGC-30473]은 1998년에 개발되어 감자 역병(병원균: *Phytophthora infestans*), 고추 역병(병원균: *Phytophthora capsici*), 포도 노균병(병원균: *Plasmopara viticola*), 오이 노균병(병원균: *Pseudoperonospora cubensis*) 등의 난균류 병해를 방제하기 위한 살균제로 등록 되어 사용되고 있다. Ethaboxam의 합성, 역병 및 노균병에 대한 살균활성 특성 그리고 포장에서의 역병 및 노균병 방제효과 등은 이미 보고 되었다(Kim 등, 1999; Kim 등, 2002; Kim 등, 2003; Kim 등, 2004) 그러나 지금까지 ethaboxam의 배추 뿌리혹병에 대한 살균 활성은 보고 된 바 없다.

본 연구에서는 ethaboxam의 배추 뿌리혹병에 대한 살균 활성 유무를 조사하고, ethaboxam을 제제화 하여 다양한 제형을 만든 후에 이들의 배추 뿌리혹병에 대한 방제효과를 조사하여 3개 제형을 선발하고, 선발된 ethaboxam 제형의 배추 뿌리혹병에 대한 살균활성 정도를 실험하였다.

재료 및 방법

사용 약제

배추 뿌리혹병에 대한 살균 활성 유무를 조사하기 위한 실험에서는 ethaboxam과 fluazinam의 원제를 농약회사로부터 분양받아 실험에 사용하였다(그림 1).

Ethaboxam 제형의 배추 뿌리혹병에 대한 살균활성

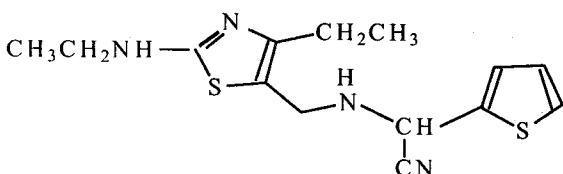


Fig. 1. Chemical structure of ethaboxam.

실험을 위하여 바이엘크롭사이언스에서 제제한 25% 수화제 (가디안[®]), 한국삼공에서 제제한 15% 액상수화제 (텔루스[®]), 그리고 LG 생명과학에서 시험용으로 제제한 10% 액상수화제, 2% 입제, 5% 입제, 그리고 ethaboxam과 metalaxyl 합제인 3%+1% 입제의 제형을 사용하여 실험하였다. Flusulfamide는 영일케미컬에서 제제한 0.3% 분제(흑안나[®])를 그리고 fluazinam은 동부한농에서 제제한 0.5% 분제(후론사이드[®])를 구입하여 실험에 사용하였다.

시험토양 준비

서산 해미지방에서 2003년에 뿌리혹병이 발생한 배추 뿌리를 채집하여 -70°C deep freezer에 보관하면서 이를 약제의 배추 뿌리혹병에 대한 살균활성 실험의 접종원으로 사용하였다. 발토양 10 L 당 배추 이병 조직 100 g을 취하여 흐르는 물로 깨끗이 씻어 뿌리 표면의 불순물을 제거하고, 소량의 멸균수를 첨가하여 Waring blender로 마쇄하고 다시 멸균수를 첨가하여 최종 부피가 1 L 되도록 하였다. 이를 3겹 가제로 걸러 식물조직을 제거하고 *P. brassicae*의 휴면포자 현탁액을 준비하였다. 이 휴면포자 현탁액을 발토양에 넣고 고르게 섞어 이병토를 준비하였다. 이 때 휴면포자의 농도는 토양 mL 당 1×10^5 부터 1×10^6 정도 이었다.

약제 처리

Ethaboxam과 flusulfamide 원제는 아세톤에 용해시키고 계면활성제인 Tween 20을 첨가하여 실험하고자 하는 농도의 약제 용액을 준비하였다. 이 때 아세톤과 Tween 20의 최종 농도는 각각 10%와 250 $\mu\text{g/mL}$ 로 하였다. 홍농종묘(주)로부터 구입한 삼복엇갈이 품종의 배추 종자를 원예용상토(부농사)에 파종하여 $25 \pm 5^\circ\text{C}$ 의 온실에서 약 2주 동안 재배하여 2~3엽기 배추 유묘를 준비하였다. 직경 6.5 cm 포트에 건전 토양 75 mL를 먼저 넣고 그 위에 재배한 배추유묘를 올린 후에 준비한 이병토 75 mL를 넣어 주었다. 수분을 공급하기 위하여 멸균수를 포트 당 20 mL 씩 공급한 후에 준비한 약제 용액을 포트 당 10 mL 씩 관주처리 하였다. 이 때 무처리구는 처리하는 용액에 약제는 없이 10% 아세톤과 250 $\mu\text{g/mL}$ Tween 20 용액을 약제처리구와 동일한 양과 방법으로 처리하였다.

제제화 된 ethaboxam 시료 중에 10% 액상수화제, 15% 액상수화제, 25% 수화제 제형은 원제를 사용한

실험과 유사한 방법으로 약제처리 하였다. Ethaboxam 액상수화제와 수화제 제형들은 약제를 증류수로 희석하여 실험하고자 하는 농도의 약제용액을 만들고 원제처리와 동일하게 관주처리 하였다. 무처리구는 증류수를 관주 하였다.

Ethaboxam의 2%와 5% 입제 제형, ethaboxam과 metalaxyl 합제(3%+2%)인 입제 제형은 토양혼화처리를 하였다. 관주처리와 포트 당 동일한 원제 양을 처리하기 위하여, 각 약제의 약량을 계산하고 측량하여 이병토에 첨가하고 잘 섞어 주었다. 대조약제인 flusulfamide 0.3% 분제와 fluazinam 0.5% 분제도 마찬가지로 토양혼화처리를 하였다. 플라스틱 포트(직경 6.5 cm)에 건전 토양 75 mL를 먼저 넣고 그 위에 배추유묘를 올린 후에 약제가 첨가된 이병토 75 mL를 넣어 주었다. 그 위에 멸균수를 포트 당 30 mL씩 관주하여 수분을 공급하였다.

발병조사

약제를 처리한 배추 유묘는 growth chamber(20°C)에서 약 24일 동안 재배하여 배추 뿌리혹병 발생을 유도한 후에 다음과 같은 지수를 사용하여 발병정도를 조사하고 아래의 식에 따라 방제가를 계산하였다.

- 0, 흑이 없는 것;
- 1, 세균에 간혹 작은 흑이 형성;
- 2, 주근과 세균에 간혹 작은 흑이 형성;
- 3, 주근과 세균에 크기가 작은 흑이 많이 형성;
- 4, 주근과 세균에 크기가 큰 흑이 형성

$$\text{방제가(\%)} = (1 - \text{처리구의 발병지수} / \text{무처리구의 발병지수}) \times 100$$

결과 및 고찰

원제의 배추 뿌리혹병 방제효과

*P. brassicae*의 휴면포자를 접종하여 준비한 이병토에 2엽기 배추를 이식하고, 우리나라에서 배추 뿌리혹병 방제약제로 널리 사용되고 있는 후론사이드®의 활성성분인 fluazinam과 ethaboxam 원제의 배추 뿌리혹병에 대한 *in vivo* 살균활성을 조사한 결과, fluazinam과 ethaboxam은 모두 배추 뿌리혹병에 대하여 우수한 방제효과를 나타내었다(그림 2). 이들 결과로부터 약제농도를 자연로그로 환산하여 X축으로 하고 배추 뿌리혹병 방제가를 Y축으로 하여 1차 방정식의 회귀직선을 구하고 EC₅₀을 계산하였다. 이들 회

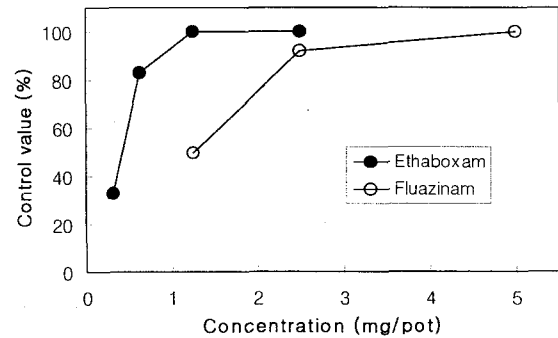


Fig. 2. Control of ethaboxam and fluazinam on Chinese cabbage clubroot caused by *Plasmodiophora brassicae*.

귀직선으로부터 계산한 ethaboxam과 fluazinam의 EC₅₀은 각각 397 $\mu\text{g/pot}$ 과 534 $\mu\text{g/pot}$ 이었으며, 이들 회귀직선의 R²는 각각 0.92와 0.87로 이들로부터 계산한 EC₅₀ 값은 신뢰할 수 있었다. 따라서 배추 뿌리혹병에 대한 살균활성은 ethaboxam이 fluazinam보다 다소 높다는 것을 알 수 있었다.

Ethaboxam의 역병균(*Phytophthora* 속) 및 노균병균(*Peronospora* 속, *Pseudoperonospora* 속, *Sclerospora* 속, *Plasmopara* 속)에 대한 살균활성은 이미 보고되었으나, 지금까지 ethaboxam의 배추 뿌리혹병에 대한 살균활성은 알려지지 않았다(Kim 등, 1999; Kim 등, 2002; Kim 등, 2003; Kim 등, 2004). Ethaboxam 원제를 사용하여 배추 뿌리혹병에 대한 방제효과를 조사하는 본 실험에서 ethaboxam은 배추 뿌리혹병을 효과적으로 방제함을 알 수 있었다.

역병균 및 노균병균과 배추 뿌리혹병균(*P. brassicae*)의 분류학적인 관계를 살펴보면, *P. brassicae*은 Plasmodiophoraceae 과, Plasmodiophorales 목, Plasmodiophoromycetes 강, Plasmodiophoromycota 문, Protozoa 계에 속한다. 이와 달리 역병균 및 노균병균은 Pythiaceae 과, Peronosporales 목, Oomycetes 강, Oomycota 문, Chromista 계에 속한다. 따라서 역병균 및 노균병균과 배추 뿌리혹병균은 분류학적으로 '계' 수준에서 다른 미생물로 분류학적으로는 유연관계가 멀다(Braselton, 1995; Hawksworth *et al.*, 2001). 그러나 역병균 및 노균병균과 배추 뿌리혹병균은 모두 생활환 중에 세포벽이 없이 원형질막만으로 둘러싸여 있으며, 한 개 혹은 두 개의 편모가 부착되어 운동성이 있는 유주자를 형성한다는 공통점이 있다(Stanghellini and Miller, 1997). 기존 살균제 중에 배추 뿌리혹병과 역병 및 노균병을 동시에 방제할 수 있는 살균제로는

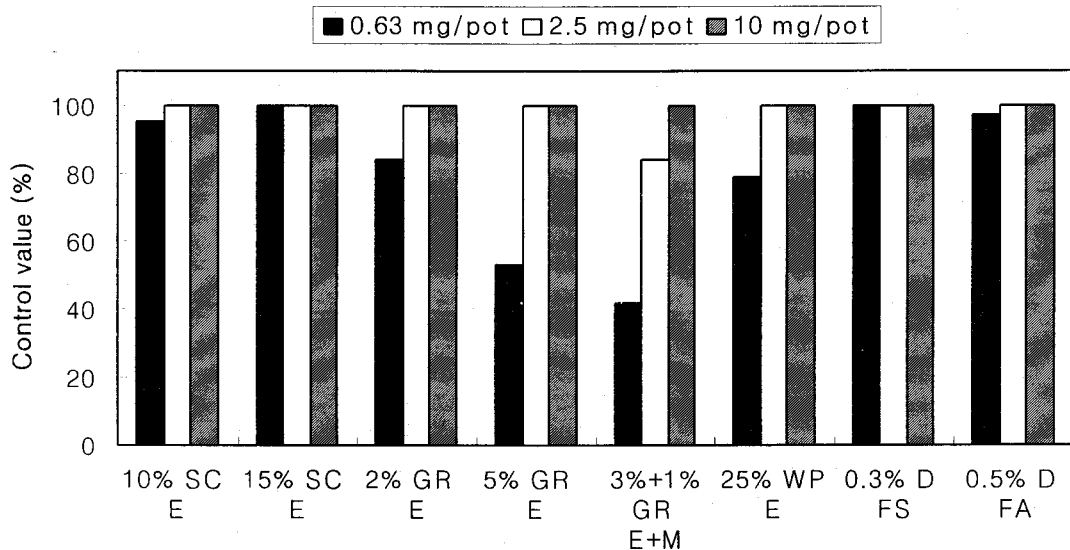


Fig. 3. *In vivo* antifungal activity of various ethaboxam formulations against *Plasmodiophora brassicae*. E, ethaboxam; M, metalaxyl; FS, flusulfamide; FA, fluazinam; SC, suspension concentrate; GR, granule; WP, wettable powder; D, dust.

cyazofamid가 최근에 보고 된 바 있다(Mitani *et al.*, 2003). Cyazofamid는 호흡저해제로 미토콘드리아 전자 전달계의 complex III의 cytochrome b에서 전자전달을 억제하는 작용 메커니즘을 가진다(Mitani *et al.*, 2001b). 그리고 Mitani 등은, *P. infestans* 유주자의 운동성에 대한 cyazofamid의 억제효과는 유주자낭으로부터 유주자의 유출에 대한 억제효과보다 더 효과적이라고 보고 하였다(Mitani *et al.*, 2001a). 그러므로 배추 뿌리혹병균과 역병균 및 노균병균의 공통적 요소인 원형질막으로 구성된 유주자는 ethaboxam의 살균 작용에 있어서 결정적이라 생각되었다.

몇 가지 ethaboxam 제형의 배추 뿌리혹병 방제 효과

몇 가지 ethaboxam 제형의 풋트 당 활성성분 0.63, 2.5, 10 mg 처리에 의한 배추 뿌리혹병 방제효과를 조사한 결과, 6개 ethaboxam 제형 중에 토양 관주처리 한 15% 액상수화제와 10% 액상수화제 그리고 토양 혼화처리 한 2% 입제 제형은 다른 제형보다 배추 뿌리혹병에 대하여 우수한 방제효과를 나타내었다(그림 3). 풋트(150 mL) 당 활성성분 0.63 mg 처리 시의 15% 액상수화제(토양 관주처리), 10% 액상수화제(토양 관주처리) 및 2% 입제(토양 혼화 처리) 제형은 각각 100%, 95%, 84%의 방제가를 보였다. 그리고 풋트 당 2.5 mg 이상 처리 하였을 경우, 3종 제형은 배추 뿌리혹병을 완전히 방제하였다. 그러나 15% 액상수화

제 제형과 2% 입제 제형은 풋트 당 10 mg 처리 시에 배추에 약해를 나타내 배추의 생육이 조금 억제되었다.

6개 제형 중에 토양 혼화처리 한 ethaboxam과 metalaxyl 합제(3%+1%) 입제 제형과 ethaboxam 5% 입제 제형 그리고 토양 관주처리 한 ethaboxam 25% 수화제는 다른 제형에 비하여 배추 뿌리혹병에 대하여 다소 낮은 방제효과를 보였다. 이들 결과로부터 배추 뿌리혹병에 대한 살균활성 정도를 조사하기 위하여 ethaboxam 6개 제형 중 10% 액상수화제, 15% 액상수화제, 2% 입제 등 3개 제형을 선발하였다.

Ethaboxam 6개 제형들의 배추 뿌리혹병에 대한 방제효과를 대조약제인 flusulfamide 0.3% 분제(토양 혼화처리)와 fluazinam 0.5% 분제(토양 혼화처리)와 비교하면, ethaboxam 15% 액상수화제 제형(토양 관주처리)은 flusulfamide와, ethaboxam 10% 액상수화제 제형(토양 관주처리) 및 2% 입제 제형(토양 혼화처리)은 fluazinam과 유사한 방제효과를 나타냈다.

선발 ethaboxam 제형의 배추 뿌리혹병에 대한 방제 효과

선발한 ethaboxam 3개 제형(10% 액상수화제, 15% 액상수화제, 2% 입제)의 풋트 당 활성성분 0.31, 0.63, 1.25, 2.5 mg 처리에 의한 배추 뿌리혹병 *in vivo* 살균 활성 정도를 조사한 결과, 대조약제를 포함하여 실험한 5개 제형은 모두 풋트 당 2.5 mg 처리 시에 배추

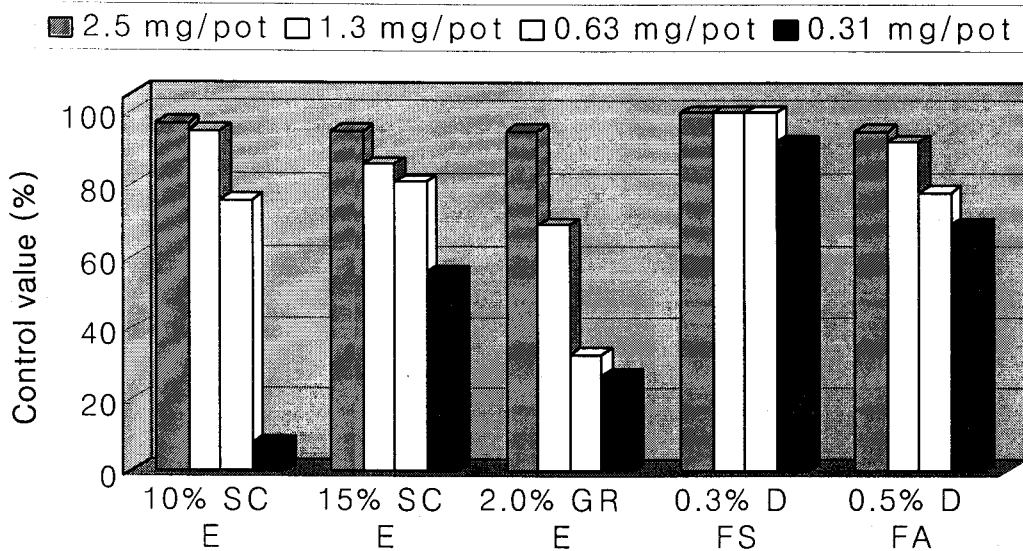


Fig. 4. Control efficacy of several ethaboxam formulations on Chinese cabbage clubroot caused by *Plasmodiophora brassicae*. E, ethaboxam; FS, flusulfamide; FA, fluazinam; SC, suspension concentrate; GR, granule, D, dust.

뿌리혹병에 대하여 95% 이상의 우수한 방제효과를 나타냈으며, 약해 또한 발견할 수 없었다. 그러나 포트 당 활성성분 1.25 mg 처리 시에는 실험한 약제에 따라 배추 뿌리혹병에 대한 방제효과에 차이를 나타냈다(그림 4).

실험한 5개 약제의 EC_{50} 을 계산하여 배추 뿌리혹병에 대한 이들의 약효 정도를 조사하였다(표 1). Ethaboxam의 10% 액상수화제(토양 관주처리), 15% 액상수화제(토양 관주처리) 및 2% 입제(토양 혼화처리)의 EC_{50} 은 각각 558, 165, 743 $\mu\text{g}/\text{pot}$ 이었다. 따라서 토양 관주처리를 한 ethaboxam 15% 액상수화제 제형은 다른 2개의 제형보다 배추 뿌리혹병에 대하여 더 높은 방제효과를 나타냄을 알 수 있었다. 이 제형은 배추 뿌리혹병에 대하여 우리나라 시장에서 널리 판매되고 있는 fluazinam 0.5% 분제(토양 혼화처리)와 유사한 방제효과를 보이며, flusulfamide 0.3% 분제(토양 혼화처리)보다는 다소 낮은 방제효과를 나타냈다.

이상의 결과로부터 ethaboxam은 기존 배추 뿌리혹

병 방제약제인 fluazinam과 유사한 정도의 *in vivo* 활성을 지니며, ethaboxam 6개 제형의 배추 뿌리혹병에 대한 살균활성을 비교해 보면, 토양 혼화처리 하는 ethaboxam의 입제 제형보다는 관주처리 하는 ethaboxam의 액상수화제 제형이 더 우수한 방제효과를 나타냄을 알 수 있었다. 그러므로 배추 재배 농민은 배추 뿌리혹병을 방제하기 위하여 ethaboxam 분제 및 입제 제형을 토양 혼화처리하지 않고, ethaboxam 액상수화제를 사용하여 배추 정식 시에 관주처리를 함으로써 배추 뿌리혹병 방제를 위한 노동력과 비용 절감이 가능하리라 생각되었다. 이들은 앞으로 포장 실험을 통하여 확인할 필요가 있다. 또한 ethaboxam과 fluazinam의 EC_{50} 값은 각각 397 $\mu\text{g}/\text{pot}$ 과 534 $\mu\text{g}/\text{pot}$ 로 ethaboxam의 약효가 다소 우수하였으나, 제형별 비교에서는 fluazinam 보다 약간 낮은 것으로 나타났다. 이는 ethaboxam의 제제를 개선함으로써 추가적인 약효증진을 기대할 수 있음을 의미한다.

인용문헌

Table 1. EC_{50} of ethaboxam formulations on Chinese cabbage clubroot

Chemical ^{a)}	Method	EC_{50} (mg AI/L soil)
Ethaboxam 10% SC	Soil drenching	3.72
Ethaboxam 15% SC	Soil drenching	1.10
Ethaboxam 2% GR	Soil mixing	4.95
Fluazinam 0.5% D	Soil mixing	0.47

^{a)}SC, suspension concentrate; GR, granule; D, dust.

- Arie, T., Y. Kobayashi, G. Okada, Y. Kono and I. Yamaguchi (1998) Control of soilborne clubroot disease of cruciferous plants by epoxydon from *Phoma glomerata*. Plant Pathology 47:743~748.
- Braselton, J. (1995) Current status of plasmodiophorids. Crit. Rev. Microbiology 21:263~275.
- Daggett, S. S., E. Gotz and C. D. Therrien (1993)

- Phenotypic changes in populations of *Phytophthora infestans* populations from Eastern Germany. *Phytopathology* 83:319~323.
- Davidse, L. C., D. Looijen, L. Turkensteen and D. van der Wal (1981) Occurrence of metalaxyl-resistant strains of *Phytophthora infestans* in Dutch potato fields. *Neth. J. Plant Pathol.* 87:65~68.
- Dowley, L. J. and E. O'Sullivan (1981) Metalaxyl resistant strains of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary in Ireland. *Potato research* 24:417~421.
- Hawksworth, D. L., P. M. Kirk, B. C. Sutton and D. N. Pegler (2001) *Anisworth & Bisby's Dictionary of the Fungi*. 9th ed., 655p., CAB International, UK.
- Ikegami, H. (1975) Susceptibility and resistance to clubroot of the cruciferous vegetable species and varieties. *Studies on the clubroot of cruciferous plant* 1. *Res. Bull. Fac. Agric. Gifu Univ.* 38:11~28.
- Kim, B. S., X. Z. Xiang, E. K. Chung, D. S. Kim, S. J. Chun and W. B. Choi (2003) Sensitivity of *Phytophthora infestans* isolates to fungicides metalaxyl and ethaboxam in Korea. *Plant Pathol. J.* 19:143~147.
- Kim, D. S., S.-J. Chun, J.-J. Jeon, S.-W. Lee and G.-H. Joe (2004) Synthesis and fungicidal activity of ethaboxam against Oomycetes. *Pest Manag. Sci.* 60:1007~1012.
- Kim, D. S., Y. S. Lee, S. J. Chun, W. B. Choi, S. W. Lee, G. T. Kim, K. G. Kang, G. H. Joe and J. H. Cho (2002) Ethaboxam: a new Oomycetes fungicide. *Proc. Br. Crop Prot. Conf.-Pests and Dis.* 1:377~382.
- Kim, D. S., H. C. Park, S. J. Chun, S. H. Yu, K. J. Choi, J. H. Oh, K. H. Shin, Y. J. Ko, B. S. Kim, Y. I. Hahm and B. K. Chung (1999) Field performance of a new fungicide, ethaboxam, against cucumber downy mildew, potato late blight and pepper *Phytophthora* blight in Korea. *Plant Pathol. J.* 15:48~52.
- Komyoji, T., K. Sugimoto, S. Mitani, N. Matsuo and K. Suzuki (1995) Biological properties of a new fungicide, fluazinam. *J. Pesticide Sci.* 20:129~135.
- Lorenz, D. H. and K. W. Eichhorn (1982) *Botrytis cinerea* and its resistance to dicarboximide fungicides. *EPPO Bull.* 12:125~129.
- Mitani, S., K. Sugimoto, H. Hayashi, Y. Takii, T. Ohshima and N. Matsuo (2003) Effects of cyazofamid against *Plasmodiophora brassicae* Woronin on Chinese cabbage. *Pest Manag. Sci.* 59:287~293.
- Mitani, S., S. Araki, T. Yamaguchi, Y. Takii, T. Ohshima and N. Matsuo. (2001a) Antifungal activity of the novel fungicide cyazofamid against *Phytophthora infestans* and other plant pathogenic fungi *in vitro*. *Pestic. Biochem. Physiol.* 70:92~99.
- Mitani S., S. Araki, Y. Takii, T. Ohshima, N. Matsuo and H. Miyoshi (2001b) The biochemical mode of action of the novel selective fungicide cyazofamid: Specific inhibition of mitochondrial complex III in *Pythium spinosum*. *Pestic. Biochem. Physiol.* 71:107~115.
- Shimotori, H., H. Yanagida, Y. Enomoto, K. Igarashi, M. Yoshinari and M. Umemoto (1996) Evaluation of benzenesulfonamide derivatives for the control of crucifers clubroot. *J. Pesticide Sci.* 21:31~35.
- Stanghellini, M. E. and R. M. Miller (1997) Their identity and potential efficacy in the biological control of zoospore plant pathogens. *Plant Dis.* 81:4~12.
- Tanaka S., S. Yoshihara, S. Ito and M. Kameya-Iwaki (1997) The influence of virulence of *Plasmodiophora brassicae* populations on epidemiology of Chinese cabbage clubroot and efficacy of fungicides. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 63:183~187.
- Williams, P. H. (1966) A system for the determination of the races of *Plasmodiophora brassicae* that infest cabbage and rutabaga. *Phytopathology* 56:624~626.
- Yoshigawa, H. (1983) Breeding for clubroot resistance of crucifer crop in Japan. *Jpn. Agr. Res. Quart.* 17:6~11.
- Yoshikawa, H. and S. T. Buczacki (1978) Clubroot in Japan: research and problems. *Rev. Plant Pathol.* 57:253~257.
- 김두욱, 오정행 (1997) 배추 무사마귀병의 발생상황과 병원균(*Plasmodiophora brassicae*)의 병원성 및 배추 품종의 병저항성. *한국식물병리학회지* 13:95~99.
- 김충희, 조원대, 김홍모 (2000a) 배추무사마귀병균의 토양내 분포. *식물병 연구* 6(1):27~33.
- 김충희, 조원대, 김홍모 (2000b) 배추무사마귀병균 휴면포자의 발아 및 생존에 미치는 몇가지 환경요인. *한국농약과학회지* 4(4):66~71.
- 조광수, 한영환, 이정태, 허은주, 양태진, 우종규

- (2002) 고령지 지역 배추 무사마귀병원균의 생리형 분화와 저항성 품종 선발. 한국육종학회지 34:168~173.
- 오정행, 조장환, 김봉구, 채제천, 정길웅, 황철호, 김두옥 (1997) 배추 무사마귀병(*Plasmodiophora brassicae*)의 발병 유인 및 약제방제. 한국식물병리학회지 13:244~247.
- 최경자, 김병섭, 정영륜, 조광연 (1992) 감자 재배포장에서 Metalaxyl 저항성인 감자역병균(*Phytophthora infestans*)의 발생. 한국식물병리학회지 8(1):34~40.

Control Efficacy of Ethaboxam on Chinese Cabbage Clubroot Caused by *Plasmodiophora brassicae*

Gyung Ja Choi*, Kyoung Soo Jang, Jin-Cheol Kim, He-Kyoung Lim, ¹Sam-Jae Chun, ¹Dal-Soo Kim, and Kwang Yun Cho (Biological Function Research Team, Korea Research Institute of Chemical Technology, P. O. Box 107, Yuseong, Daejeon 305-600, Korea, ¹Specialty Chemicals Research Group, LG Life Sciences Ltd. R&D Park, Daejeon 305-380, Korea)

Abstract : Ethaboxam [(*RS*)-*N*-(*a*-cyano-2-thenyl)-4-ethyl-2-(ethylamino)-1,3-thiazole-5-carboximide] is a novel fungicide with high level of activity against Oomycetes fungi. The control effects of ethaboxam technical and various ethaboxam formulations were investigated against *P. brassicae*, the causal agent of clubroot disease in Chinese cabbage. When ethaboxam was applied to infested soil, club formation caused by *P. brassicae* was strongly inhibited at 8.33 mg/L soil and EC₅₀ of ethaboxam was 2.65 mg/L soil. Five ethaboxam formulations [10% suspension concentrate (SC), 15% SC, 2% granule (GR), 5% GR, 25% wettable powder] and mixture formulation of ethaboxam and metalaxyl (3%+1% GR) exhibited good efficacy against the pathogen. 10% SC, 15% SC, and 2% GR formulations of ethaboxam showed better disease controlling efficacy on Chinese cabbage clubroot than the other formulations. The EC₅₀ values of 10% SC, 15% SC, and 2% GR formulations of ethaboxam were 3.72 mg AI/L soil, 1.1 mg AI/L soil, and 4.95 mg AI/L soil, respectively. Among them, soil drenching application by 15% SC formulation of ethaboxam exhibited the most *in vivo* antifungal activity on *P. brassicae*. These results indicate that ethaboxam has a high potential for the control of clubroot disease.

key words : ethaboxam, *Plasmodiophora brassicae*, clubroot, antifungal activity.

*Corresponding author (Fax : +82-42-861-4913, E-mail : kjchoi@kriict.re.kr)