

발병 조건에 따른 살균제들의 배추 뿌리혹병 방제효과

엄민용 · 조수정 · 장경수 · 최용호 · 김진철 · 최경자*

한국화학연구원 산업바이오화학연구센터

Control Efficacy of Fungicides on Chinese Cabbage Clubroot under Several Conditions

Min-Yong Eom, Su-Jung Jo, Kyoung Soo Jang, Yong Ho Choi,

Jin-Cheol Kim and Gyung Ja Choi*

Chemical Biotechnology Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology, Daejeon 305-600, Korea

(Received on June 16, 2011; Revised on July 8, 2011; Accepted on July 13, 2011)

To develop the efficient screening methods for antifungal compound active to Chinese cabbage clubroot caused by *Plasmodiophora brassicae*, the control efficacy of three fungicides fluazinam, ethaboxam, and cyazofamid on the disease was tested under several conditions such as soil types, cultivars of Chinese cabbage, growth stages of the host, and inoculum concentrations. The *in vivo* antifungal activities of the fungicides on clubroot of two Chinese cabbage cultivars were hardly different. At 7- and 14-day-old seedlings, the fungicides were more effective to control of clubroot than at 21-day-old seedlings. In a commercial horticulture media soil (CNS), disease severity of untreated controls was higher and control activity of the fungicides was less than in a mixture of CNS and upland soil (1:1, v/v). Disease development of the seedlings inoculated with *P. brassicae* at 1.8×10^7 spores/pot to 1.1×10^9 spores/pot was almost same, but control efficacy of the fungicides was negatively correlated with inoculum dosages. To effectively select *in vivo* antifungal compound on Chinese cabbage clubroot, 14-day-old seedlings need to be inoculated with *P. brassicae* by drenching the spore suspension to give 1×10^8 spores/pot 1 day after chemical treatment. To develop clubroot, the inoculated plants are incubated in a growth chamber at 20°C for 2 days, and then cultivated in a greenhouse (20±5°C) for four weeks.

Keywords : Cyazofamid, Ethaboxam, Fluazinam, Inoculum concentration, *In vivo* antifungal activity, *Plasmodiophora brassicae*

서 론

배추 뿌리혹병은 *Plasmodiophora brassicae* Woronin에 의해 발생하는 토양전염병이다. 과거에는 *P. brassicae*를 곰팡이로 분류하였으나 생리생화학 및 분자생물학이 발달함에 따라 *P. brassicae*가 곰팡이와 유연관계가 적다는 것이 밝혀져 Protozoa로 재분류하게 되었다. 따라서 오늘날 *P. brassicae*는 Plasmodiophoraceae 과, Plasmodiophoromycetes 강, Plasmodiophoromycota 문, Protozoa 계에 속하는 유사균류(Pseudo fungi)로 배추(*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*),

양배추(*B. oleracea*) 등의 십자화과 작물에 뿌리혹병을 일으키는 활물기생균이다. 배추 뿌리혹병은 우리나라에서 1920년대에 처음 보고되었으나, 1990년대부터 급격히 증가하여 배추 재배 농가에 큰 피해를 주고 있다(Cho 등, 2003; Kim 등, 2000a, 2000b, 2003). 뿌리혹병균은 흑이 발생한 조직 즉 뿌리에 무수히 많은 휴면포자를 형성하고, 이들은 뿌리가 부패하면서 토양에 방출하게 된다. 휴면포자는 조건이 맞으면 10년 동안이나 토양에 생존이 가능한 것으로 알려져 있다(Arie 등, 1998).

배추 뿌리혹병을 방제하기 위한 방법으로 토양에 생석회를 처리하여 pH를 올려 주거나 십자화과 작물 이외의 작물과 윤작을 하는 등의 경종적 방법이 있다. 하지만 배추는 주산단지에서 대 면적으로 재배하는 특징이 있어 이

*Corresponding author

Phone) +82-42-860-7434, Fax) +82-42-861-4913

Email) kjchoi@kriict.re.kr

들 방법은 경제적으로 용이하지 않다. 그리고 살균제를 사용하여 방제하는 화학적 방법이 있는데, 뿌리혹병 방제용 살균제는 미토콘드리아에서 산화적 인산화를 방해하여 ATP를 생산하지 못하게 하는 fluazinam, cytochrome bc₁ complex의 ubiquinone reducing site에서 전자전달을 억제하여 호흡을 저해하는 cyazofamid 그리고 작용 기작이 알려져 있지 않은 benzenesulfonamide 계 살균제인 flusulfamide와 thiazolecarboxamide 계의 ethaboxam 등이 있다(장 등, 2005; Komyoji 등, 1995; Mitani 등, 2003; Shimotori 등, 1996). 최근에는 친환경 농산물에 대한 수요가 증가함에 따라 농약을 사용하지 않고도 배추를 재배할 수 있는 저항성 품종이 요구되어, 우리나라 종자회사에서도 다양한 저항성 품종을 개발하여 판매하고 있다. 하지만 배추 뿌리혹병 저항성 유전자는 단일 우성 유전자로 알려져 있고, 뿌리혹병균은 감염 기주 내에서 핵융합으로 변형체를 만들기 때문에 생리형 분화가 쉽게 발생하는 병원균이다(James와 Williams, 1980; Kuginuki 등, 1999). 따라서 일본뿐만 아니라 우리나라에서도 저항성 품종을 재배하는 배추 연작지를 중심으로 저항성 품종을 감염하는 새로운 균주가 출현하여 뿌리혹병 방제에 실패하는 결과가 발생하고 있다(Kuginuki 등, 1999). 따라서 뿌리혹병 방제를 위해서는 새로운 병 저항성 자원을 이용한 저항성 품종의 개발과 더불어 저독성의 환경 친화적인 살균활성 물질의 개발이 지속적으로 필요하다.

본 연구에서는 뿌리혹병에 효과적인 살균 활성 물질을 선별하기 위한 생물검정법을 확립하기 위하여, 기존 살균제 3종을 이용하여 토양 종류, 배추 품종, 배추 생육 시기 및 뿌리혹병균 접종 농도 등의 발병조건에 따른 기존 살균제 fluazinam, ethaboxam 및 cyazofamid의 방제효과 차이를 조사하였다.

재료 및 방법

병원균. 강원도 강릉시 왕산면 대기리의 배추 재배포장에서 뿌리혹병에 감염된 배추 뿌리를 채집하여 이병조직(1 g)으로부터 휴면포자를 수확한 후 이를 다시 2주 동

안 재배한 배추 유묘 100주에 접종하였다(조 등, 2010). 접종한 배추는 20±5°C의 온실에서 1주일 동안 재배한 후 배추 뿌리혹병이 발생한 적이 없는 한국화학연구원 실험 포장에 정식한 후 시비 및 병충해 방제를 위한 약제 살포 등 통상적으로 관리하면서 60일 동안 재배하였다. 뿌리혹병이 발생한 배추 뿌리 이병조직을 수확한 후 이를 -80°C deep freezer에 보관하면서 실험에 사용하였다.

식물의 재배. 몬산토코리아사로부터 ‘노랑김장’ 배추 종자를 구입하여 배추 품종에 따른 방제효과 실험을 제외한 모든 실험에 사용하였다. 원예용상토 5호(부농사)가 담긴 5×8 육묘용 연결 포트(68 ml/pot, 범농사)에 배추 종자를 파종하고 온실(20±5°C)에서 재배하였다. 식물 생육 시기에 따른 살균제의 방제효과실험을 제외한 모든 실험은 2주 동안 재배한 2~3엽기 배추 유묘를 실험에 사용하였다.

배추의 생육 시기에 따른 방제효과 실험에서는 동일한 방법으로 배추 종자를 파종하고 각각 7일, 14일, 21일 동안 온실에서 재배한 배추 유묘를 사용하여 살균제들의 방제효과를 실험하였다. 그리고 토양의 종류에 따른 뿌리혹병에 대한 방제효과 실험에서는 원예용상토 5호와 일반 밭토양을 동량의 부피로 섞은 혼합토양, 밭토양 그리고 원예용상토 5호 등 세 종류의 토양에 배추를 파종하여 실험하였다. 배추 품종에 따른 방제효과 실험에는 ‘노랑김장’ 외에 ‘삼복엿갈이’(몬산토코리아사) 그리고 뿌리혹병에 대한 저항성 품종인 ‘CR 하계’(농우바이오사)와 ‘부활’(몬산토코리아사)을 실험에 사용하였다.

약제 처리. Fluazinam, ethaboxam, 그리고 cyazofamid 등 3종 살균제들의 배추 뿌리혹병 방제효과를 조사하기 위하여 이 살균제들의 원제를 구입하여 실험에 사용하였다(Fig. 1). 각 약제는 dimethyl sulfoxide(DMSO)에 용해하고 희석하여 실험하고자 하는 약제 농도의 100배액으로 준비한 후, 250 µg/ml 농도의 Tween 20 수용액에 1%가 되도록 첨가하여 약제 용액을 조제하였다. 온실에서 재배한 배추 유묘에 준비한 약제 용액을 포트 당 5 ml 씩 관주하는 방법으로 약제를 처리하였다.

접종 및 발병. 배추 유묘에 약제를 처리하고 1일 후에 *P. brassicae*의 포자현탁액을 관주접종 하였다. Deep

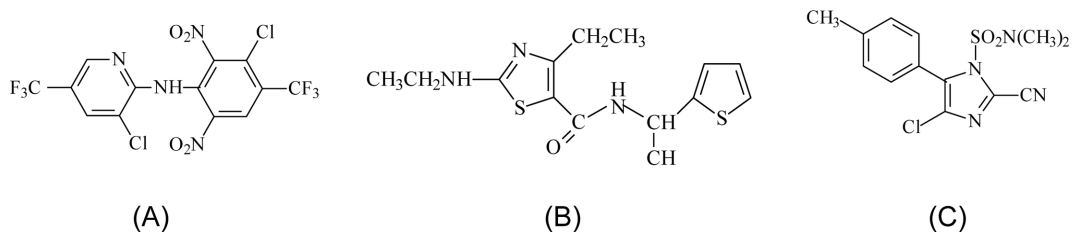


Fig. 1. Chemical structures of fluazinam (A), ethaboxam (B), and cyazofamid (C).

freezer에 보관 중인 뿌리혹병 이병조직을 꺼내어 흐르는 수돗물에 세척하여 이물질을 제거한 후 Waring blender에 넣고 멸균증류수를 첨가한 후 마쇄하였다. 그리고 2겹의 가제로 걸러 식물조직을 제거한 후 광학현미경 하(300배)에서 hemocytometer를 이용하여 휴면포자의 수를 측정하고, 접종원의 최종 농도는 ml 당 1.3×10^8 개가 되도록 멸균수로 희석하였다. 약제가 처리된 배추 유묘에 준비한 포자현탁액을 포트 당 5 ml씩 관주하여 접종한 후 20°C 그리고 상대습도 70% 내외의 항온항습실에서 하루에 12시간 씩 광을 조사하면서 2일 동안 배양하였다. 접종원 농도에 따른 살균제의 방제효과 실험에서는 포트 당 1.8×10^7 , 7.0×10^7 , 2.8×10^8 및 1.1×10^9 개를 각각 접종하였다. 접종한 후에 항온항습실에서 배양한 배추 유묘는 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 의 온실로 이동하여 4주일 동안 재배한 후에 배추 뿌리를 뽑아 물로 씻은 후 뿌리혹병 발생 정도를 조사하였다. 조사 기준은 0=뿌리혹병 발생이 없음, 1=측근에 뿌리혹이 착생되어 비대정도가 적고 서로 독립하여 존재, 2=측근에 뿌리혹이 착생되며 비대정도가 비교적 큼, 3=주근에 뿌리혹이 착생되며 서로 접합되고 비대정도가 큼, 4=주근에 뿌리혹이 착생되며 서로 접합되고 비대정도가 매우 큰 등의 5단계로 하였다(Kuginuki 등, 1999; Suwabe 등, 2003).

모든 실험은 5반복으로 2회 실시하였으며, SAS(SAS Institute, Inc., 1989, Cary, NC) 프로그램을 이용하여 ANOVA 분석을 하였다. 처리 평균간 비교를 위하여 Duncan's multiple range test ($P=0.05$)를 실시하였다. 약제의 방제효과는 다음과 같은 식에 따라 계산하였다.

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

결과 및 고찰

배추 품종에 따른 뿌리혹병 방제효과. 실험에 사용한

배추 품종 즉, 뿌리혹병에 저항성 품종인 ‘CR하계’와 ‘부활’ 그리고 감수성 품종인 ‘노랑김장’과 ‘삼복엇갈이’의 무처리구 발병도는 각각 0%, 0%, 68% 및 58%였다. 즉 감수성 품종들에서는 매우 높은 뿌리혹병 발생을 나타냈으나, 저항성 두 품종에서는 전혀 발생하지 않았다. 그리고 감수성 배추 품종에서 fluazinam, ethaboxam 그리고 cyazofamid 처리구의 뿌리혹병에 대한 방제효과는 ‘삼복엇갈이’에서 다소 높았으나, 통계적 유의성은 없었다 (Table 1).

우리나라에는 유럽 순무로부터 뿌리혹병 저항성 유전자가 도입된 ‘CR 하계’와 ‘부활’ 등과 같은 저항성 품종이 여러 종자회사에서 개발되었다. James와 Williams(1980)는 배추 뿌리혹병 저항성을 단인자 우성으로 보고하여 저항성 품종을 감염하는 새로운 균주의 출현이 예견되었다. 그 후 일본 및 우리나라의 배추 대단위 연작 재배지에서 배추 뿌리혹병 저항성 품종에 병을 일으키는 뿌리혹병균이 보고되고 있다(Crute과 Pink, 1989; Kuginuki, 2001). 따라서 배추의 뿌리혹병을 방제하기 위해서는 저항성 품종 육성과 더불어 환경 친화적인 살균제 개발이 지속적으로 요구되고 있다.

배추의 생육 시기에 따른 뿌리혹병 방제효과. 서로 다른 생육 시기의 배추에서 살균제 fluazinam, ethaboxam 및 cyazofamid의 뿌리혹병 방제효과를 실험하였다. 무처리구에서 과중 1주일, 2주일 및 3주일 후의 배추 유묘의 뿌리혹병 발병도는 각각 58%, 80%, 100%로 생육 시기가 증가할수록 뿌리혹병 발생이 크게 증가함을 알 수 있었다. 일반적으로 각종 식물의 잣빛곰팡이병, 탄저병 및 벼 도열병 등의 식물병은 어린 조직에서 병 발생이 높으나 배추 뿌리혹병의 경우에는 이와 반대의 결과를 나타냈으며, 이는 조 등(2010)의 결과와 일치하는 결과이다. 이는 3주 유묘가 1주 유묘보다 병원균에 대한 감수성이 높아 발생한 것이라 생각되기 보다는 1주 유묘보다 3주 유묘가 뿌리혹병균이 침입할 수 있는 배추 뿌리가 더 많

Table 1. Efficacy of three fungicides for control of clubroot in two Chinese cabbage cultivars^a

Con. ($\mu\text{g/ml}$)	Cultivar	Chemical			Average
		Fluazinam	Ethaboxam	Cyazofamid	
4	Noranggimjang	54b ^b	54b	82a	63
	Sambokeotgalyi	81ab	57b	90a	76
20	Noranggimjang	84ab	92ab	99a	92
	Sambokeotgalyi	90ab	99a	99a	96
100	Noranggimjang	100a	93ab	100a	98
	Sambokeotgalyi	100a	100a	100a	100

^aDisease severities of untreated controls Noranggimjang and Sambokeotgalyi were 68% and 58%, respectively.

^bControl value (%).

기 때문으로 생각된다. 왜냐하면 뿌리혹병균은 활물기생균이므로 포자현탁액을 접종한 후에 수 시간 이내에 침입하지 못하면 포자는 사멸하게 되므로 1주 유묘보다 3주 유묘에서 뿌리 침입에 성공하는 뿌리혹병균의 양이 더 많으리라 생각된다. 하지만 정확한 원인을 규명하기 위해서는 실험을 통하여 확인할 필요가 있다.

실험한 3종 살균제들은 모두 1주 혹은 2주 유묘에서는 높은 방제효과를 보였으나, 3주 배추에서는 1주와 2주에 비하여 낮은 방제효과를 나타냈다(Table 2). 따라서 병발생이 심한 조건(3주 유묘)에서는 약한 조건(1주와 2주

유묘) 보다 방제효과가 더 낮다는 것을 알 수 있었다. 또한 fluazinam과 ethaboxam의 방제효과는 생육 시기에 따라 큰 차이를 나타내나 cyazofmid의 경우에는 차가 적었다. 따라서 효율적으로 배추 뿌리혹병에 대한 방제효과를 조사하기 위해서는 2주 유묘를 사용하여 실험하는 것이 바람직할 것으로 생각되었다.

접종원 농도에 따른 배추 뿌리혹병 방제효과. 배추 유묘(10일)에 살균제를 관주하여 약제처리하고 뿌리혹병균을 포트 당 1.8×10^7 , 7.0×10^7 , 2.8×10^8 및 1.1×10^9 개씩 접종하여 배추 뿌리혹병에 대한 fluazinam, ethaboxam 및

Table 2. Control activity of three fungicides on clubroot of Chinese cabbage at several growth stages^a

Con. (µg/ml)	Growth stage ^b	Chemical			
		Fluazinam	Ethaboxam	Cyazofamid	Average
4	7	47cd ^c	39b	48c	45
	14	56bcd	19bc	62abc	46
	21	0e	5c	55bc	20
20	7	100a	90a	91ab	94
	14	93ab	81a	99a	91
	21	30de	15bc	80abc	42
100	7	100a	100a	100a	100
	14	100a	94a	100a	98
	21	75abc	75a	100a	83

^aDisease severity of untreated controls was 58% for 7 days after sowing (DAS), 80% for 14 DAS and 100% for 21 DAS.

^bGrowth stage of Chinese cabbage seedlings.

^cControl value (%).

Table 3. Control of three fungicides on the development of clubroot in Chinese cabbage plants inoculated with spore suspension of *Plasmodiophora brassicae* at various concentrations^a

Con. (µg/ml)	Spore concentration ($\times 10^7$ spores/pot)	Chemical			
		Fluazinam	Ethaboxam	Cyazofamid	Average
4	1.8	100a ^b	68a-e	95ab	88
	7	42bc	52b-e	68bc	54
	28	15cd	30de	50c	32
	110	0d	26e	53c	26
20	1.8	100a	74a-d	100a	91
	7	63b	74a-d	100a	79
	28	25cd	45cde	99a	56
	110	5d	47a-e	89ab	47
100	1.8	100a	100a	100a	100
	7	100a	89ab	100a	96
	28	70ab	75abc	100a	82
	110	63b	73a-d	100a	79

^aDisease severity of untreated controls was 95% for 1.8×10^7 spores/pot, 95% for 7.0×10^7 spores/pot, 100% for 2.8×10^8 spores/pot, and 95% for 1.1×10^9 spores/pot.

^bControl value (%).

cyazofamid의 방제효과를 조사하였다. 배추 뿌리혹병은 포자 농도가 포트 당 1.8×10^7 , 7.0×10^7 , 2.8×10^8 및 1.1×10^9 개로 증가함에 따라 각각 95%, 100%, 95%, 95%의 발병도를 나타내어 접종원 농도가 100배 증가하여도 유사한 정도의 뿌리혹병 발생을 나타냈다. 그러나 살균제들의 배추 뿌리혹병 방제효과는 3종 살균제 모두 접종원의 농도가 증가함에 따라 크게 감소하였다(Table 3). 세 가지 살균제 중 fluazinam은 가장 큰 차이를 보였는데, 가장 낮은 포자 농도인 포트 당 1.8×10^7 개 접종구에서는 모든 처리농도에서 100%의 방제율을 보여서 처리 약제의 농도에 따른 방제효과의 차이를 알 수 없었으나, 7.0×10^7 , 2.8×10^8 및 1.1×10^9 의 접종구에서는 처리 약제 농도가 높아짐에 따라 방제효과가 증가함을 알 수 있었다. 따라서 약제들의 배추 뿌리혹병에 대한 방제효과 실험에서 접종원 농도는 방제효과에 영향을 미치는 가장 중요한 인자 중 하나라고 생각되었으며, 배추 뿌리혹병에 대한 약제의 방제효과는 포트 당 7×10^7 개 정도가 되도록 *P. brassicae* 포자현탁액을 관주하여 접종하여 조사하는 것이 바람직할 것으로 생각되었다.

오이 탄저병균 경우에도 분무 접종하는 *Colletotrichum lagenarium* 포자현탁액의 포자 농도가 ml 당 10^4 , 10^5 , 10^6 개로 증가함에 따라 benomyl의 방제효과가 크게 감소하였다고 보고하여 배추 뿌리혹병과 유사한 경향을 나타냈다(김 등, 1991). 하지만 상추 잣빛곰팡이병의 경우에는 이와 달리 접종원 농도가 증가함에 따라 fludioxonil의 상추 잣빛곰팡이병 방제효과가 다소 감소하지만 뿌리혹병과 같은 정도의 차이를 나타내지는 않았다(최 등, 2010).

토양 종류에 따른 배추 뿌리혹병 방제효과. 살균제의 배추 뿌리혹병에 대한 방제효과를 발토양, 원예용 상토 및 혼합토양에서 실험하였다. 무처리구의 배추 뿌리혹병 발생은 세 종류 토양 중 원예용 상토에서 가장 높은 95%

의 발병도를 그리고 혼합토양에서는 38%의 낮은 발병도를 나타냈다. 그러나 발토양에서는 뿌리혹병이 거의 발생하지 않아 약제의 방제효과를 조사할 수 없었다. Narisawa 등(2005)은 토양의 공극이 20-40%일 때 뿌리혹병 발생이 최대였다는 보고로 추정하면 원예용 상토에 비하여 혼합토양의 경우 공극이 줄어들어 뿌리혹병 발생이 감소하였다고 생각되었다. 게다가 본 실험에서는 뿌리혹병균을 관주하는 접종 방법을 사용하였는데, 이 방법은 발토양의 입자가 작아 뿌리혹병균의 포자가 배추의 세근에 도달할 수 없어 뿌리혹병 발생이 적었다고 생각되었다. 왜냐하면 동일한 접종원을 발토양에 고르게 섞어주어 이병토를 만든 후에 배추 유묘를 이식한 경우에는 관주접종한 경우보다 뿌리혹병 발생이 훨씬 많았다. 따라서 불가피하게 발토양을 사용하는 경우에는 관주접종법보다 토양에 휴면포자를 고르게 섞어주어 이병토를 만들어 실험하는 것이 바람직할 것으로 생각되었다. Fluazinam, ethaboxam 및 cyazofamid는 원예용 상토보다 혼합토양에서 더 높은 배추 뿌리혹병 방제효과를 나타냈다(Fig. 2). 이것은 원예용상토의 경우 발병 환경이 혼합토양보다 좋아 disease pressure가 높아져 살균제의 방제효과가 낮아졌다고 생각되었다.

이상의 결과로부터 fluazinm, ethaboxam 및 cyazofamid들의 배추 뿌리혹병에 대한 방제효과는 실험하는 배추 유묘의 생육시기와 실험 토양 종류의 경우에는 무처리구의 뿌리혹병 발생에 차이가 있어 살균제들의 방제효과가 변하였으며, 뿌리혹병균 접종 농도의 경우에는 무처리구에서 뿌리혹병 발생이 차이가 없으나 세 살균제들의 방제효과는 크게 영향을 받았다. 그러므로 여러 발병 조건 중 약제의 배추 뿌리혹병에 대한 방제효과에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 접종하는 뿌리혹병균 포자 농도라고 생각되었다. 따라서 화합물의 배추 뿌리혹병에 대한 방제효

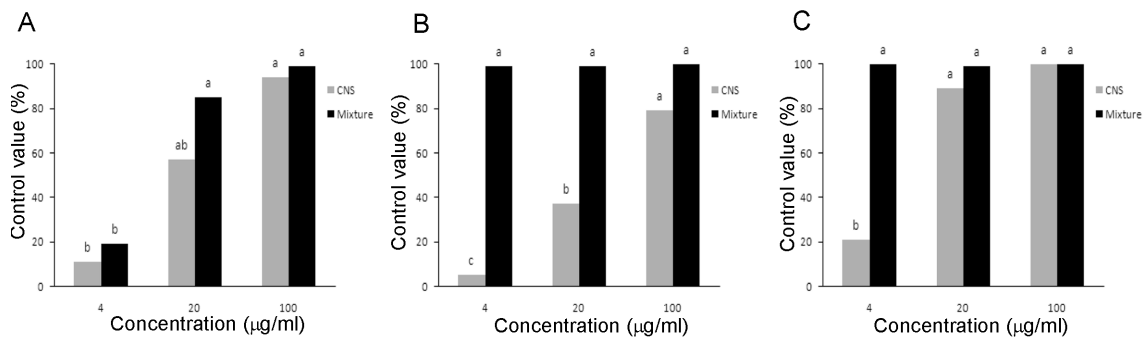


Fig. 2. *In vivo* antifungal activities of three fungicides (A, fluazinam; B, ethaboxam; C, cyazofamid) on clubroot of Chinese cabbage seedlings cultivated in two soil types. And disease severity of untreated controls was 95% for commercial horticulture nursery media soil (CNS) and 38% for mixed soil of CNS and upland soil (1:1, v/v). Columns labeled with the same letter are not significantly different in Duncan's multiple range test ($P = 0.05$).

과를 조사하기 위해서는 배추 종자를 원예용 상토에 파종한 후 2주 동안 재배한 유묘에 약제를 관주처리하고 1일 후에 포트 당 7×10^7 개 정도가 되도록 *P. brassicae* 포자현탁액을 관주하여 접종하고 20°C 생육상에서 2일 동안 배양한 후에 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 의 온실로 이동하여 4주 동안 재배하는 것이 효율적이라 생각되었다.

요 약

배추 뿌리혹병에 대한 효율적인 살균 활성 검정법을 확립하기 위하여, 배추 품종, 기주 식물의 생육 시기, 접종원 농도, 토양 종류 등의 발병 조건에 따른 살균제 fluazinam, ethaboxam 및 cyazofamid의 배추 뿌리혹병에 대한 방제효과를 온실에서 실험하였다. 배추의 생육 시기에 따른 살균제들의 방제효과는 파종 7일 및 14일 유묘에서는 21일 유묘보다 더 높은 방제효과를 보였다. 그리고 토양 종류에 따른 살균제의 방제효과는 원예용 상토보다 혼합토양에서 더 높은 방제효과를 나타냈다. 무처리구의 뿌리혹병 발생은 배추가 커질수록 증가하였으며, 혼합토양보다 원예용 상토에서 병 발생이 더 많았다. 그러나 배추 품종에 따른 살균제들의 방제효과 차이는 거의 없었다. 한편 *P. brassicae* 포자 농도가 100배 증가하여도 무처리구의 뿌리혹병 발생은 거의 차이가 없었으나, 살균제들의 배추 뿌리혹병 방제효과는 크게 감소하였다. 이상의 결과로부터 살균제 fluazinam, ethaboxam 및 cyazofamid는 토양 종류, 배추 생육시기 및 접종원 농도 등의 발병 조건에 따라 배추 뿌리혹병에 대하여 다양한 방제효과를 보였으며, 이들 중 포자 농도가 살균제의 방제효과에 가장 큰 영향을 미친다고 생각되었다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ006657022011), Rural Development Administration, Republic of Korea.

참고문헌

김홍태, 정영륜, 조광연. 1991. 오이 탄저병에 대한 bennomyl의 억제효과에 영향을 미치는 요인. 한국식물병리학회지 7: 153-158.
장경수, 김진철, 이희경, 조광연, 최경자. 2005. 다양한 살균제의 배추 뿌리혹병 방제효과. 농약과학회지 9: 422-428.

조수정, 장경수, 최용호, 김진철, 최경자. 2010. 관주 접종법을 이용한 효율적인 배추 뿌리혹병 저항성 검정법. 식물병연구 16: 279-284.
최경자, 장경수, 최용호, 김진철. 2009. 발병 조건에 따른 fludioxonil의 상추 잿빛곰팡이병 방제효과. 식물병연구 15: 217-221.
Arie, T., Kobayashi, Y., Okada, G., Kono, Y. and Yamaguchi, I. 1998. Control of soilborne clubroot disease of cruciferous plants by epoxydon from *Phoma glomerata*. *Plant Pathol.* 47: 743-748.
Cho, W. D., Kim, W. G. and Takahashi, K. 2003. Occurrence of clubroot in cruciferous vegetable crops and races of the pathogen in Korea. *Plant Pathol. J.* 19: 64-68.
Crute, I. R. and Pink, D. A. C. 1989. The characteristics and inheritance of resistance to clubroot in *Brassica oleracea*. *Aspect Appl. Biol.* 23: 57-60.
James, R. V. and Williams, P. H. 1980. Clubroot resistance and linkage in *Brassica campestris*. *Phytopathology* 70: 776-779.
Kim, C. H., Cho, W. D. and Kim, H. M. 2000a. Distribution of *Plasmodiophora brassicae* causing clubroot disease of Chinese cabbage in soil. *Plant Dis. Res.* 6: 27-33.
Kim, C. H., Cho, W. D. and Kim, H. M. 2000b. Yield loss of spring Chinese cabbage as affected by infection time of clubroot disease in fields. *Plant Dis. Res.* 6: 23-26.
Kim, C. H., Cho, W. D. and Lee, S. B. 2003. Review of researches on clubroot disease of Chinese cabbage in Korea and future tasks for its management. *Plant Dis. Res.* 9: 57-63.
Komyoji, T., Sugimoto, K., Mitani, S., Matsuo, N. and Suzuki, K. 1995. Biological properties of a new fungicide, fluazinam. *J. Pestic. Sci.* 20: 129-135.
Kuginuki, Y., Yoshikawa, H. and Hirai, M. 1999. Variation in virulence of *Plasmodiophora brassicae* in Japan tested with clubroot resistance cultivars of Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*). *Eur. J. Plant Pathol.* 105: 327-332.
Mitani, S., Sugimoto, K., Hayashi, H., Takii, Y., Ohshima, T. and Matsuo, N. 2003. Effects of cyazofamid against *Plasmodiophora brassicae* Woronin on Chinese cabbage. *Pest Manag. Sci.* 59: 287-293.
Narisawa, K., Shimura, M., Usuki, F., Fukuhara, S. and Hashiba, T. 2005. Effects of pathogen density, soil moisture, and soil pH on biological control of clubroot in Chinese cabbage by *Heteroconium chaetospira*. *Plant Dis.* 89: 285-290.
Shimotori, H., Yanagida, H., Enomoto, Y., Igarashi, K., Yoshinari, M. and Umemoto, M. 1996. Evaluation of benzenesulfonilide derivatives for the control of crucifers clubroot. *J. Pestic. Sci.* 21: 31-35.
Suwabe, K., Tsukazaki, H., Iketani, H., Hatakeyama, K., Fujimura, M., Nunome, T., Fukuoka, H., Matsumoto, S. and Hirai, M. 2003. Identification of two loci for resistance to clubroot (*Plasmodiophora brassicae* Woronin) in *Brassica rapa* L. *Theor. Appl. Genet.* 107: 997-1002.