

다양한 살균제의 배추 뿌리혹병 방제효과

장경수 · 김진철 · 임희경 · 조광연 · 최경자*

한국화학연구원 생물기능연구팀

요약 : 배추 유묘를 *Plasmiodiophora brassicae* 오염토에 이식하고 약제 용액을 포트(35 cm²)에 관주처리 하는 방법으로 기존 살균제 44종의 배추 뿌리혹병에 대한 방제효과를 실험하였다. 뿌리혹병 방제용 살균제인 fluazinam, flusulfamide 및 cyazofamid는 포트 당 0.63 mg 처리구에서 모두 90% 이상의 방제가를 나타냈다. 난균류 병해 살균제인 ethaboxam과 cymoxanil은 포트 당 5 mg 처리 시에 배추 뿌리혹병을 완전히 방제하였다. 그러나 cymoxanil은 고농도 처리에서 배추에 심한 약해를 유발하였다. 잣빛곰팡이병 방제용 살균제인 dichlofluanid와 procymidone도 포트 당 2.5 mg 처리 시에 배추 뿌리혹병을 효과적으로 방제하였다. 광범위 살균제인 chlorothalonil, quintozene과 trichlamide도 2.5 mg 처리 시에 각각 85%, 100%, 100%의 방제가를 나타냈다. 스테롤 생합성 저해제는 대부분 배추 뿌리혹병에 우수한 방제효과를 나타냈으나, 이들은 배추 유묘의 생육을 억제하는 약해를 나타냈다. 이상의 결과로부터 선발된 7종 살균제의 배추 뿌리혹병 방제효과를 비교하여 실험한 결과, 이들 중 ethaboxam은 가장 우수한 방제효과를 나타냈으며 fenarimol, procymidone, nuarimol, chlorothalonil 순으로 우수한 방제효과를 보였다. (2005년 9월 15일 접수, 2005년 12월 20일 수리)

Key words : 뿌리혹병, 방제효과, 살균활성, 살균제, *Plasmiodiophora brassicae*.

서 론

배추(*Brassica campestris* subsp. *pekinensis*), 양배추(*B. oleracea* var. *capitata*), 순무(*B. campestris* var. *rapifera*) 등의 십자화과작물에 발생하는 배추 뿌리혹병은 *Plasmiodiophora brassicae*에 의해 전 세계적으로 발생하는 병이다(Yoshikawa and Buczacki, 1978). 배추가 이 병에 걸리게 되면 지하부는 이상 증식하고 지상부의 생장은 억제된다(Arie et al., 1998). 병이 심하게 발생하면 지상부는 시들고 결구하지 않아 결국 상품성을 잃게 된다. 뿌리혹병균인 *P. brassicae*은 Plasmodiophoraceae 과, Plasmodiophoromycetes 강, Plasmodiophoromycota 문, Protozoa계에 속하며, 난균류처럼 생활환 중에 편모를 지니는 유주자(zoopore) 시기가 있다(Braselton, 1995; Kirk et al., 2001). 토양 속에 존재하는 휴면포자가 발아한 후 유주포자를 형성하며 이 유주포자는 뿌리털을 침입하고 증식하면서 변형체(plasmodium)가 된다. 변형체는 계속 자라다 유주포자낭(zosporangia)을 형성하며 유주포자낭 당 4~8개의 유주포자가 형성되며 이들은 기주 조직을 뚫고 밖으로 나와 둘 씩 결합하여 접합체를 만들고, 접합체는 이웃 뿌리를 2차 감염하고 변형체를 만들어 증식한

다. 마지막에는 병든 조직에 무수히 많은 휴면포자를 형성한다(김 등, 1997; 김 등, 2000a; 오 등, 1997).

뿌리혹병을 방제하기 위하여 저항성 품종 재배, 경종적 방제, 화학적 방제 등 여러 가지 방제법이 사용되고 있다(Ikegami, 1975; Tanaka et al., 1997; Williams, 1966; Yoshigawa, 1983; 김 등, 2000b; 조 등, 2002). 경종적 방제 방법으로는 석회석을 이용한 토양 산도 올리기, 배수시설을 강화하여 토양의 보수력을 45% 이하로 낮추기, 십자화과작물과 기타 작물의 윤작 등이 있다. 그러나 뿌리혹병균은 병든 조직에 수없이 많은 휴면포자를 형성하며, 이 휴면포자는 토양에서 환경이 맞으면 10 여 년 동안 살 수 있으므로 뿌리혹병은 방제하기 어려운 병이다. 그러므로 위와 같은 경종적 방제와 더불어 화학적 방제를 통하여 십자화과작물의 뿌리혹병을 방제하고 있다.

우리나라에서 뿌리혹병을 방제하기 위해 등록된 살균제는 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-toluenesulfonamide, 흑안나[®], 후루설파마이드[®]), 그리고 cyazofamide(4-chloro-2-cyano-N,N-dimethyl-5-p-tolylimidazole-1-sulfonamide, 미리카트[®])가 있다(Shimotori et al., 1996; Komyoji et al., 1995; Mitani, et al., 2003).

*연락처

Table 1. Fungicides used this test

Class ^{a)}	Fungicide
Anilinopyrimidine	mepanipyrim, pyrimethanil
Antibiotics	blasticidin-S
Aromatic hydrocarbon	quintozene
Benzimidazole	carbendazim
Chloronitrile	chlorothalonil
Cinnamic acid	dimethomorph
Dicarboximide	iprodione, procymidone
Dithiocarbamate	mancozeb, propineb
MBI	carpropamid, tricyclazole, fthalide
Oxathiin	carboxin, mepronil
Phenylamide	metalaxyl
Phenylpyridinamine	fluazinam
Phosphorothiolate	isoprothiolane, iprobenfos
Phthalimide	captafol, captan, folpet
SBI, hydroxyanilide	fenhexamid
SBI, imidazole	imazalil, prochloraz, triflumizole
SBI, piperazine	triforine
SBI, pyrimidine	fenarimol, nuarimol
SBI, triazole	flusilazole, hexaconazole, triadimefon
Strobilurin type	famoxadone
Sulphamid	dichlofluanid, tolylfluanid
Others	cyazofamid, cymoxanil, ethaboxam, ferimzone, flusulfamide, fosetyl-Al, probenazole, trichlamide, zoxamide

^{a)}MBI: melanin biosynthesis inhibitor; SBI: sterol biosynthesis inhibitor.

그러나 다른 식물병에 비하여 방제약제가 다양하지 않으므로 저항성 발현의 문제점을 안고 있다. 본 연구에서는 구조가 다양한 기존 살균제 35종을 선별하여 이들의 배추 뿌리혹병에 대한 방제효과를 실험하여 기타 병해를 방제하기 위하여 사용된 살균제가 배추 뿌리혹병에 미치는 영향을 실험하였다.

재료 및 방법

시험토양 준비

서산 해미지방에서 2004년에 뿌리혹병이 발생한 배추 뿌리를 채집하여 -70°C deep freezer에 보관하면서 이를 배추 뿌리혹병 발병을 위한 접종원으로 사용하였다. 발토양 10 L 당 배추 발병조직 100 g을 취하여 흐르는 물로 깨끗이 씻어 뿌리 표면의 불순물을 제거하고, 멸균수를 첨가하여 Waring blender로 마쇄하고 최종부피가 1 L 되도록 다시 멸균수를 첨가하였다. 이를 3겹 가제로 걸러 식물조직을 제거하여 *P. brassicae* 휴면포자 현탁액을 준비하였다. 이 휴면포자 현탁액을 발토양에 넣고 고르게 섞어 발병토를 준비하였다. 이 때 휴면포자의 농도는 토양 mL 당 10⁵~

10⁶ 정도였다.

사용 약제 및 약제처리

배추 뿌리혹병 방제효과 실험에 사용한 살균제 44종은 표 1과 같으며, 이들 살균제는 농약회사로부터 분양받은 원제를 사용하여 실험하였다. 약제는 아세톤에 용해하여 Tween 20 용액에 첨가하였으며, 이 때 아세톤과 Tween 20의 최종 농도는 각각 10% 와 250 µg/ml이었다.

플러그묘 포트에 원예용상토(부농사)를 넣고 홍농종묘(주)로부터 구입한 삼복엇같이 품종의 배추 종자를 파종하여 25±5°C의 온실에서 약 2주 동안 재배하여 2~3엽기 배추 유묘를 준비하였다. 직경 6.5 cm 포트에 건전한 발토양 75 mL를 먼저 넣고, 그 위에 배추 유묘를 올린 후에 준비한 이병토양 75 mL를 넣어 주었다.

수분을 공급하기 위하여 멸균수를 포트 당 20 mL씩 공급한 후에 준비한 약제 용액을 포트 당 10 mL씩 관주처리 하였다. 무처리구는 약제없이 아세톤이 10% 포함된 Tween 20 용액(250 µg/mL)을 약제처리구와 동일한 방법으로 관주처리 하였다.

발병 및 병조사

약제를 처리한 배추 유묘 포트는 20°C의 생육상에서 약 24일 동안 수분을 공급하면서 재배하였다. 무처리구에 배추 뿌리혹병이 충분히 발생한 후에 포트에서 배추를 뽑아서 수돗물에 배추 뿌리를 깨끗이 씻은 후에 다음과 같은 발병지수를 사용하여 발병 정도를 조사하였다: 0, 흠이 없는 것; 1, 세근에 간혹 작은 흠이 형성; 2, 주근과 세근에 간혹 작은 흠이 형성; 3, 주근과 세근에 크기가 작은 흠이 많이 형성; 4, 주근과 세근에 크기가 큰 흠이 형성. 조사한 발병지수는 아래의 식에 따라 방제가를 계산하였다. 배추 포트들은 생육상에 완전임의배치 하였으며, 실험은 처리당 3반복으로 2회 실시하였다.

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

결과 및 고찰

뿌리혹병 살균제의 배추 뿌리혹병 방제효과

배추 뿌리혹병 방제제로 우리나라에 등록되어 재배에 사용하고 있는 살균제 fluazinam, flusulfamide 및 cyazofamide는 모두 포트(34 cm²) 당 0.63 mg을 처리하였을 때 배추 뿌리혹병을 90% 이상 방제하였다(그림 1). 그러나 flusulfamide는 포트 당 2.5 mg 처리에서 배추의 생육을 억제하였다. 우리나라에서 fluazinam과 flusulfamide는 배추 정식 전에 전면 토양 혼화처리용 분제로 개발되었으며, cyazofamid는 정식 전에 뿌리 침지처리와 정식 시에 토양 관주처리 하는 액상수화

제로 판매되고 있다. 본 실험에서는 원제를 아세톤에 용해하고 Tween 20 용액에 희석한 일종의 유제 제형을 사용하여 이 유제의 토양 관주처리에 의한 배추 뿌리혹병 방제효과를 실험하였는데, 3종 약제는 모두 배추 뿌리혹병에 대하여 우수한 방제효과를 나타냈다. 따라서 fluazinam과 flusulfamide도 정식 시의 토양 관주처리제로도 사용이 가능하리라 생각되었다.

다양한 살균제의 배추 뿌리혹병 방제효과

역병 및 노균병 살균제인 cymoxanil, dimethomorph, ethaboxam, famoxadone, fosetyl-Al, metalaxyl 및 zoxamide의 배추 뿌리혹병에 대한 방제효과를 실험한 결과, ethaboxam과 cymoxanil은 포트(35 cm²) 당 5 mg 처리에 의해 배추 뿌리혹병을 100% 방제하는 우수한 살균활성을 나타냈다(표 2). 그러나 cymoxanil은 포트 당 10 mg 이상 처리에서 배추의 생육을 억제하거나, 고사시켰다. Dimethomorph와 zoxamide는 포트 당 10 mg 처리에서 각각 42%와 58%의 방제가를 나타냈으며, famoxadone, fosetyl-Al 및 metalaxyl은 거의 방제효과가 없었다. 따라서 배추에 발생하여 큰 피해를 주고 있는 노균병(병원균: *Peronospora brassicae*)을 방제하기 위해 사용하는 zoxamide와 cymoxanil 합제(카니발[®]) 그리고 dimethomorph와 copper oxychloride 합제(산뜨탄[®])는 뿌리혹병 방제에 기여할 수 있으리라 생각되었다. 역병균과 뿌리혹병균은 분류학적인 유연관계는 적으나, 모두 생활환 중에 세포벽이 없이 원형질막만으로 둘러싸여 있고 또한 편모가 부착되어 운동성이 있는 유주포자를 형성하는 공통점이 있다

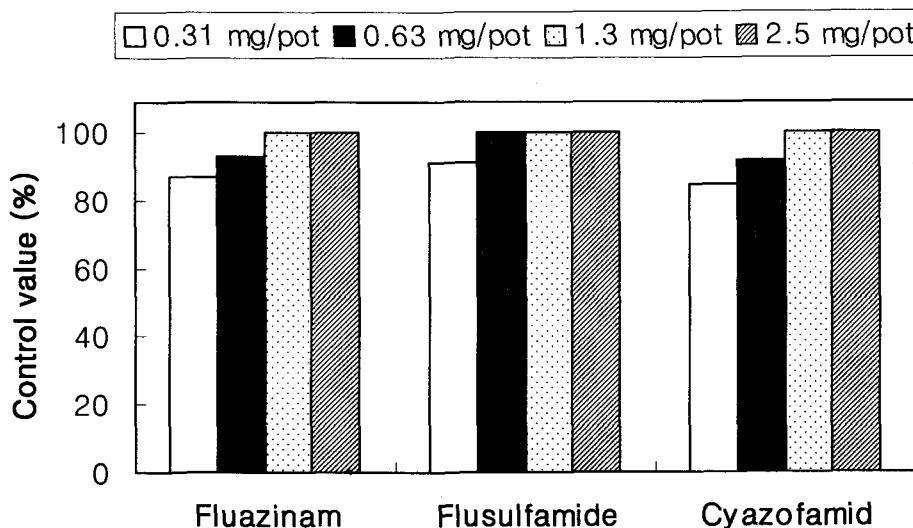


Fig. 1. Control efficacy of commercial fungicides against Chinese cabbage clubroot caused by *Plasmodiophora brassicae*.

(Stanghellini and Miller, 1997). 그러나 실험한 역병 방제용 살균제 중 ethaboxam과 cymoxanil을 제외한 다른 화합물들은 배추 뿌리혹병에 대하여 우수한 방제효과를 나타내지는 않았다.

갯빛곰팡이병 방제약제인 dichlofluanid, fenheximid, iprodione, mepanipyrim, procymidone, pyrimethanil 및 tolylfluanid의 관주처리에 의한 배추 뿌리혹병 방제효과를 실험하였다. Dichlofluanid와 procymidone은 실험한 8종 약제 중에 가장 우수한 방제가를 나타내어 풋트 당 2.5 mg 처리에서도 배추 뿌리혹병을 100% 방제하였다(표 2). 그러나 dichlofluanid는 풋트 당 10 mg 이상에서 그리고 procymidone은 풋트 당 2.5 mg 이상에서 배추 유묘에 약해를 유발하였다. Iprodione, pyrimethanil, mepanipyrim 및 tolylfluanid는 풋트 당 20 mg 처리에서 배추 뿌리혹병에 대해 방제효과를 나타냈으나, fenheximid는 거의 살균활성이 없었다.

도열병 방제약제인 blasticidin-S, isoprothiolane, iprobenfos, ferimzone, carpropamide, tricyclazole 및 probenazole의 배추 뿌리혹병 방제효과를 실험한 결과, iprobenfos와 probenazole은 풋트 당 20 mg 처리에서 뿌리혹병을 완전히 방제하였다(표 2). 그리고 isoprothiolane과 ferimzone은 다소 낮은 방제가를 보였으나 배추 뿌리혹병을 효과적으로 방제하였다. 그러나 blasticidin S, capropamid, tricyclazole은 배추 뿌리혹병에 대하여 거의 방제효과가 없었다. Carpropamid와 tricyclazole은 *Maganporthe grisea*와 *Colletotrichum* spp. 부착기의 멜라닌 생합성을 억제하여 살균활성을 나타낸다고 알려져 있다(Tsuji *et al.*, 1997; Yamaguchi *et al.*, 1982). 따라서 *P. brassicae*의 침입 기작은 부착기의 멜라닌 형성과는 무관함을 알 수 있었다. 그리고 probenazole은 벼 도열병균에 대하여 직접적인 살균활성이 있는 것이 아니라, 벼에 유도저항성을 유발하여 병을 방제한다(Minami and Ando, 1994; Nakashita *et al.*, 2002). 본 실험의 probenazole에 의한 배추 뿌리혹병 방제가 유도저항성 덕분인지는 더 확인할 필요가 있다.

스테롤 생합성 저해제 살균제인 fenarimol, flusilazole, hexaconazole, imazalil, nuarimol, prochloraz, triadimefon 및 triflumizole은 다른 방제약제와 달리 모두 배추 뿌리혹병에 대해 우수한 방제효과를 나타냈으며, 또 대부분 배추 유묘의 생육을 억제하는 현상을 나타냈다(표 2). 이는 곰팡이 스테롤인 에르고스테롤 생합성의 상당 부분이 식물의 스테롤인 stigmasterol, sitosterol 및 campesterol 등의 생합성 과정과 동

Table 2. *In vivo* antifungal activities of various fungicides against *Plasmiodiophora brassicae* on Chinese cabbage

Chemical	Concentration (mg/pot)			
	2.5	5.0	10	20
Cymoxanil	50	100*	*	*
Dimethomorph	17	42	58	58
Ethaboxam	92	100	100	100
Famoxadone	0	8	0	17
Fosetyl-Al	0	17	0	17
Metalaxyl	8	17	17	8
Zoxamide	17	25	42	42
Dichlofluanid	100	100	100*	100*
Fenheximid	0	9	18	18
Iprodione	18	18	18	91
Mepanipyrim	0	0	9	55
Procymidone	100*	100*	100*	100*
Pyrimethanil	0	18	0	82
Tolyfluanid	0	9	55	64
Blasticidin-S	8	17	*	*
Carpropamid	25	17	42	25
Ferimzone	50	58	67	75
Isoprothiolane	25	50	58	75
Iprobenfos	33	67	83	100
Probenazole	42	67	67	100
Tricyclazole	0	42	25	33
Fenarimol	75	100*	100*	100*
Flusilazole	67	75	100*	100*
Hexaconazole	87*	100*	100*	100*
Imazalil	0	42	75	100
Nuarimol	100*	100*	100*	100*
Prochloraz	33	75	75	100
Triadimefon	92*	92*	100*	100*
Triflumizole	42	58	67	100
Triforine	0	10	5	10
Captafol	20	30	50	45
Captan	5	10	15	35
Carbendazim	25	53	81	75
Carboxin	56	69	100	100
Chlorothalonil	85	85	100	100
Folpet	10	10	25	30
Mancozeb	5	15	85	100
Mepronil	10	35	75	95
Propineb	15	75	75	100
Quintozene	100	100	100	100
Trichlamide	93	100	100	100

* Phytotoxicity.

일하므로 고농도에서 식물의 스테롤 생합성이 억제되어 나타난 결과이리라 생각되었다(Burden *et al.*, 1987; Burden *et al.*, 1989; Schaller 2004). 그러므로 fenarimol

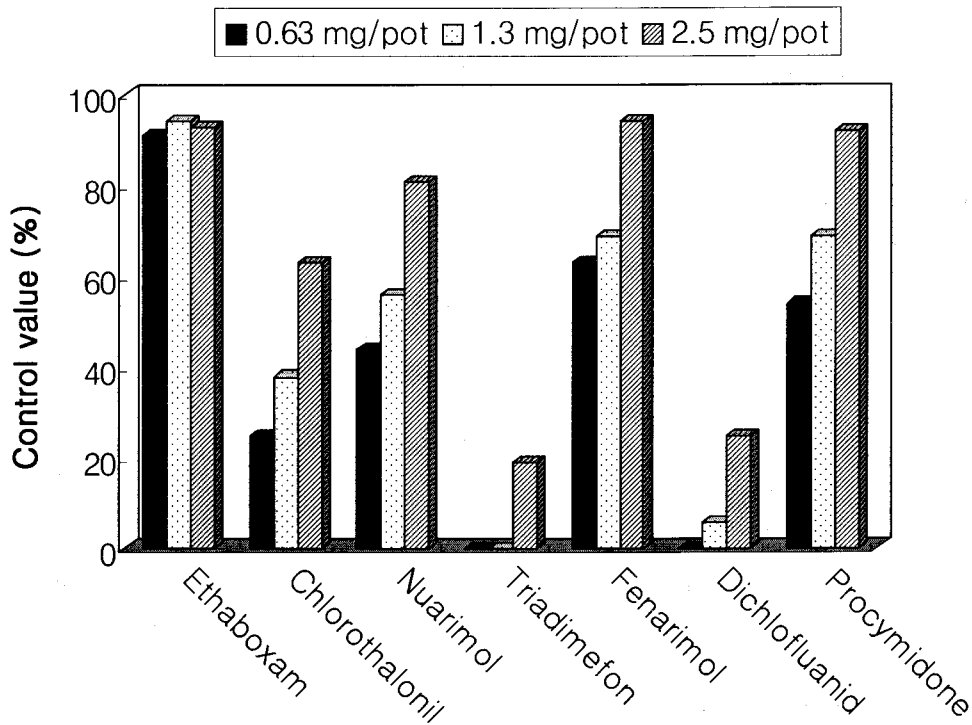


Fig. 2. *In vivo* antifungal activities of several chemicals against *Plasmodiophora brassicae* on Chinese cabbage.

과 같은 스테롤 생합성 저해제는 배추의 생장도 조절하고, 배추 뿌리혹병 방제에도 기여할 수 있으리라 생각되었다.

광범위 살균제인 captafol, captan, carbendazim, carboxin, chlorothalonil, folpet, mancozeb, mepronil, propineb, quitozene 및 trichlamide의 배추 뿌리혹병에 대한 방제효과를 실험하였다. 실험한 11종 살균제 중에 quitozene, trichlamide, chlorothalonil 및 carboxin은 배추 뿌리혹병에 대하여 우수한 방제효과를 나타냈으며, propineb, carbendazim, mepronil 및 mancozeb는 풋트 당 10 mg 처리에서 75% 이상의 방제가를 나타내어 배추 뿌리혹병을 효과적으로 방제함을 알 수 있었다(표 2). 그러나 광범위 살균제인 captafol, captan, folpet은 배추 뿌리혹병에 대해 거의 방제효과가 없었다. 따라서 배추 무름병 방제를 위하여 사용되는 알프리®(streptomycin+chlorothalonil)는 배추 뿌리혹병을 효과적으로 방제할 수 있으리라 생각되었다. 또한 배추 노균병 방제를 위하여 포장에서 사용되는 리도밀 엠골드엠지®(metalaxyl-M + mancozeb)도 배추 뿌리혹병 방제에 일부 기여할 것이다.

선발한 살균제의 배추 뿌리혹병 방제효과

앞의 실험에서 배추 뿌리혹병에 대하여 우수한 방

제효과를 보인 살균제 중에 뿌리혹병 방제용 살균제를 제외한 chlorothalonil, dichlofluanid, ethaboxam, nuarimol, fenarimol, procymidone 및 triadimefon 등 7종 화학물질을 선발하여 풋트(35 cm²) 당 0.63~2.5 mg 처리에 의한 배추 뿌리혹병 방제효과를 실험하였다. 이들 중 ethaboxam은 배추 뿌리혹병에 대하여 가장 높은 방제가를 나타내어 풋트 당 0.63 mg 처리에서도 90% 이상의 방제가를 나타냈다(그림 2). 또한 fenarimol, procymidone, nuarimol 및 chlorothalonil의 EC₅₀은 각각 풋트(35 cm²) 당 0.41, 0.58, 0.86, 1.7 mg으로 이들은 배추 뿌리혹병을 효과적으로 방제함을 알 수 있었다.

인용문헌

- 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 Pathol. 47: 743~748.
- Braselton, J. (1995) Current status of plasmodiophorids. Crit. Rev. Microbiology 21:263~275.
- Burden, R. S., D. T. Cooke and G. A. Carter (1989) Inhibitors of sterol biosynthesis and growth in plants and fungi. Phytochemistry 28:1791~1804.

- Burden, R. S., T. Clark and P. J. Holloway (1987) Effects of sterol biosynthesis-inhibiting fungicides and plant growth regulators on the sterol composition of barley plants. *Pestic. Biochem. Physiol.* 27:289~300.
- 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.
- Kirk, P. M., P. E. Cannon, J. C. David and J. A. Stalpers (2001) *Dictionary of the Fungi*. 9th ed. IMI. CAB Internatinal.
- Komyoji, T., K. Sugimoto, S. Mitani, N. Matsuo and K. Suzuki (1995) Biological properties of a new fungicide, fluazinam. *J. Pestic. Sci.* 20:129~135.
- Minami, E. and I. Ando (1994) Analysis of blast disease resistance induced by probenazole in rice. *J. Pestic. Sci.* 19:79~83.
- Mitani, S., K. Sugimoto, H. Hayashi, Y. Takii, T. Ohshima and N. Matsuo (2003) Effects of cyazofamid against *Plasmiodiophora brassicae* Woronin on chinese cabbage. *Pest Manag. Sci.* 59:287~293.
- Nakashita, H., K. Yoshioka, M. Yasuda, T. Nitta, Y. Arai, S. Yoshida and I. Yamaguchi (2002) Probenazole induces systemic acquired resistance in tobacco through salicylic acid accumulation. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 61:197~203.
- Schaller, H. (2004) New aspects of sterol biosynthesis in growth and development of higher plants. *Plant Physiol. Biochem.* 42:465~476.
- Shimotori, H., H. Yanagida, Y. Enomoto, K. Igarashi, M. Yoshinari and M. Umemoto (1996) Evaluation of benzenesulfonanilide derivatives for the control of crucifers clubroot. *J. Pestic. Sci.* 21:31~35.
- Stanghellini, M. E. and R. M. Miller, (1997) Their identity and potential efficacy in the biological control of zoosporic plant pathogens. *Plant Dis.* 81:4~12.
- Tanaka S., S. Yoshihara, S. Ito and M. Kameya-Iwaki (1997) The influence of virulence of *Plasmiodiophora brassicae* populations on epidemiology of Chinese cabbage clubroot and efficacy of fungicides. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn* 63:183~187.
- Tsuji, G., T. Takeda, I. Furusawa, O. Horino and Y. Kubo (1997) Carpropamid, an anti-rice blast fungicide, inhibits scytalone dehydratase activity and appressorial penetration in *Colletotrichum lagenarium*. *Petic. Biochem. Physiol.* 57:211~219.
- Williams, P. H. (1966) A system for the determination of the races of *Plasmiodiophora brassicae* that infest cabbage and rutabaga. *Phytopathology* 56:624~626.
- Yamaguchi, I., S. Sekido and T. Misato (1982) The effect of non-fungicidal anti-blast chemicals on the melanin biosynthesis and infection by *Pyricularia oryzae*. *J. Pestic. Sci.* 7:523~529.
- 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(*Plasmiodiophora brassicae*)의 병원성 및 배추 품종의 병저항성. *한국식물병리학회지* 13:95~99.
- 김충희, 조원대, 김홍모 (2000a) 배추무사마귀병균의 토양내 분포. *식물병 연구* 6:27~33.
- 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, 김두욱 (1997) 배추 무사마귀병(*Plasmiodiophora brassicae*)의 발병 유인 및 약제방제. *한국식물병리학회지* 13: 244~247.

In Vivo* Antifungal Activities of Various Fungicides against *Plasmodiophora brassicae

Kyoung Soo Jang, Jin-Cheol Kim, He-Kyoung Lim, Kwang Yun Cho and Gyung Ja Choi* (*Biological Function Research Team, Korea Research Institute of Chemical Technology, P. O. Box 107, Yuseong, Daejeon 305-600, Korea*)

Abstract : *In vivo* antifungal activity of 44 fungicides consisting of 3 clubroot fungicides, 7 Oomycetes fungicides, 7 botriticides, 7 blasticides, 9 sterol biosynthesis inhibitors, and 11 broad spectrum fungicides were investigated against *Plasmodiophora brassicae*, the causal agent of clubroot disease in Chinese cabbage. When fluazinam, flusulfamid and cyazofamid, commercial fungicide to control clubroot of Chinese cabbage in Korea, were applied to infested soil, club formations by *P. brassicae* were strongly inhibited at pot (35 cm²) per 0.63 mg. Ethaboxam and cymoxanil, Oomycetes fungicides, completely controlled Chinese cabbage clubroot at 5 mg/pot, but cymoxanil represented sever phytotoxicity. Besides, dichlofluanid and procymidone of botriticides effectively controlled the development of Chinese cabbage clubroot at 2.5 mg/pot. Chlorothalonil, quintozene and trichlamide, broad spectrum fungicides, showed disease-control efficacy of 85%, 100% and 100% at 2.5 mg/pot, respectively. Most of sterol biosynthesis inhibitors displayed the strong antifungal activity against *P. brassicae* on cabbage seedlings and plant growth-retarding activity. From these results, 7 fungicides were selected and further tested *in vivo* antifungal activity against *P. brassicae* in glasshouse. Among them, ethaboxam showed the most antifungal activity against *P. brassicae* on cabbage seedlings, followed by fenarimol, procymidone, nuarimol and chlorothalonil.

key words : antifungal activity, clubroot, control efficacy, fungicide, *Plasmodiophora brassicae*

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