

발병 조건에 따른 fludioxonil의 상추 잿빛곰팡이병 방제효과

최경자* · 장경수 · 최용호 · 김진철
한국화학연구원 산업바이오화학연구센터

Control Efficacy of a New Fungicide Fludioxonil on Lettuce Gray Mold According to Several Conditions

Gyung Ja Choi*, Kyoung Soo Jang, Yong Ho Choi and Jin-Cheol Kim

Chemical Biotechnology Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology, Daejeon 305-600, Korea
(Received on November 4, 2009; Accepted on November 11, 2009)

Fludioxonil is derived from the antifungal compound pyrrolnitrin produced by *Pseudomonas pyrrocinia* and classified as a reduced-risk fungicide by the US EPA. The efficacy of fludioxonil for the control of lettuce gray mold caused by *Botrytis cinerea* was evaluated under several conditions such as growth stages of host, inoculum concentrations, and amounts of potato dextrose broth (PDB) included in spore suspension of *B. cinerea*. At 4-leaf stage of lettuce plants, fludioxonil applied at 2 $\mu\text{g}/\text{ml}$ was more effective for the control of gray mold than at 5- and 6-leaf stages. However, fludioxonil at more than 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ provided similar control activity in all growth stages of lettuce tested. The fungicide (10 and 50 $\mu\text{g}/\text{ml}$) also gave excellent control of gray mold on lettuce seedlings inoculated with spore suspensions of *B. cinerea* (2.5×10^5 to 2×10^6 spores/ml). But, control efficacy of fludioxonil (2 $\mu\text{g}/\text{ml}$) was negatively correlated with inoculum concentration. Addition of PDB in spore suspension of *B. cinerea* resulted in higher disease severity than non-treated control. By inoculating spore suspension including 0.5% PDB, the fungicide gave the most control activity on the disease, followed by 1% and 2% PDB. The results suggest that fludioxonil has potential to control gray mold of lettuce, but the fungicide at a concentration having moderate activity may represent low control efficacy on the disease under some conditions.

Keywords : *Botrytis cinerea*, Control activity, Fludioxonil, *In vivo* fungicidal activity, Inoculum concentration

Botrytis cinerea Pers ex Fr은 거의 모든 작물에 잿빛곰팡이병을 일으키는 다범성 병원균으로, 잿빛곰팡이병은 노지 재배보다 비닐하우스와 같은 시설재배에서 그리고 온도가 낮고 습도가 높은 환경에서 많이 발생하여 경제적으로 큰 피해를 주고 있다(De Curtis 등, 1996). 이 병은 작물의 생육 중에 발생할 뿐만 아니라 4°C 저온에서도 병이 진전하는 대표적인 저장병이다. 잿빛곰팡이병을 방제하기 위한 방법으로 습도를 낮게 하고 온도를 높이는 등의 경종적 방법이 있으나 이는 비용과 밀접한 관계가 있어 용이하지 않고, 개발된 저항성 품종 또한 없어 잿빛곰팡이병의 방제는 주로 반복적인 살균제 처리에 의존하고 있다.

잿빛곰팡이병을 방제하기 위한 살균제는 작용기작과 화합물 구조에 따라 크게 몇 가지 그룹으로 구분할 수 있다. 미세소관의 형성을 억제함으로써 세포분열을 저해하는 약제인 benomyl, carbendazim, thiophanate-methyl, thiabendazole 등의 benzimidazole계 살균제 그리고 작용 메카니즘이 분명하지는 않은 iprodione, vinclozolin, procymidone 등의 dicarboximide계 살균제, methionine 생합성을 저해하여 세포벽 분해효소의 분비를 억제하는 mepanipyrim과 pyrimethanil 등의 anilopyrimidine 살균제, 다작용점 약제인 sulphamide계 살균제인 dichlofluanid와 tolyfluanid 등이 있다. 이들 중 benzimidazole계 살균제와 dicarboximide계 살균제는 작용점이 특이할 뿐만 아니라 약제 저항성 발현을 방지하기 위한 관리 노력 등이 부족하여 같은 계열의 살균제를 반복적으로 살포함에 따라 전 세계적으로 약제 저항성 균이 발생하게 되었다(Gullino와

*Corresponding author

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

Email) kjchoi@kriict.re.kr

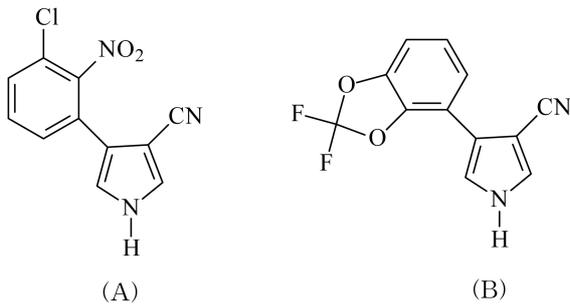


Fig. 1. Chemical structures of pyrrolnitrin (A) and fludioxonil (B).

Garibaldi, 1986; Kim 등, 1993; Moorman과 Lease, 1992; Staub와 Diriwaechter, 1986). 포장에서 저항성이 발생한 살균제는 잿빛곰팡이병을 방제하기 위하여 더 많은 양의 살균제를 살포하거나, 다량을 살포하여도 만족할 만한 방제 효과를 얻지 못함으로 농약 오·남용의 원인이 되었으며, 잔류 및 인축 독성의 문제를 유발하게 되었다. 오늘날 well-being을 추구하는 시대적 조류에 따라 식물병을 방제하기 위하여 잔류 및 인축 독성이 적은 친환경 살균제가 요구되고 있다.

Fludioxonil은 fenpiclonil과 함께 phenylpyrrole 살균제로서, *Pseudomonas pyrrocinia*가 생산하는 항균 물질인 pyrrolnitrin을 리드 화합물로 하여 합성한 살균제이다(Fig. 1). 실험실 내에서 Pyrrolnitrin은 다수의 곰팡이에 대하여 우수한 살균 활성을 나타내었으나, 자연 상태에서는 광분해가 잘 되어 실제로 포장에서 식물병을 방제하고자 하였을 때 낮은 방제효과를 나타내었다. 따라서 이를 모본으로 하여 살균활성은 유지하면서 광분해에 취약한 단점을 개선함으로써 경영처리용 잿빛곰팡이병 살균제 fludioxonil을 개발할 수 있었다. 미국 Environmental Protection Agency (EPA)에서는 fludioxonil을 환경과 인류에 저독성인(reduced-risk) 살균제로 분류되고 있으며, *Penicillium* 속, *Botrytis* 속, *Monilinia* 속 등에 의한 저장병 방제에 사용가능한 살균제로 등록되었다(EPA, 1998; Errampalli 등, 2005; Förster 등, 2007; Zhang, 2007). 또한 fludioxonil는 benzimidazole 살균제에 대하여 저항성인 *Penicillium expansum*에 대하여 포자 발아 및 균사 성장을 효과적으로 억제하기도 한다(Errampalli, 2004; Rosslenbroich와 Stuebler, 2000).

본 실험에서는 우리나라에서 주로 신선 채소로 이용되고 있는 상추(*Lactuca sativa* L.)의 잿빛곰팡이병을 방제하기 위한 살균제로 fludioxonil을 선발하여, 상추 품종, 상추 생육 시기, 전염원인 *B. cinerea*의 포자 농도 그리고 영양원(potato dextrose broth) 농도 등이 fludioxonil의 상추 잿빛곰팡이병에 대한 방제효과에 어떠한 영향을 미치

는 지를 조사하였다.

재료 및 방법

상추의 재배. 품종실험을 제외한 모든 실험에서 상추는 권농종묘사로부터 구입한 선풍포잡적축면상추를 온실에서 재배하여 실험에 사용하였다. 원예용상토 5호(부농사)가 담긴 일회용 포트(직경 4.5 cm)에 상추 종자를 파종하고 온실(25±5°C)에서 재배하였다. 식물 생육시기에 따른 fludioxonil 방제효과를 제외한 모든 실험은 약 3주 동안 재배한 4엽기 상추 유묘를 실험에 사용하였다. 상추 품종에 따른 fludioxonil의 방제효과는 선풍포잡적축면상추 이외에도 흑치마상추(대농종묘사)와 파위선적축면상추(몬산토코리아사)를 사용하여 온실에서 수행하였다.

사용 약제 및 처리. 상추 잿빛곰팡이병 방제효과를 조사하기 위하여 griseofulvin, kasugamycin, polyoxin B, polyoxorim, 그리고 validamycin 등의 천연물 5종과 신규 살균제 fludioxonil을 실험에 사용하였다. Griseofulvin (C₁₇H₁₇ClO₆), kasugamycin(C₁₄H₂₅N₃O₉), polyoxin B (C₁₇H₂₅N₅O₁₃), polyoxorim(C₁₇H₂₃N₅O₁₄), validamycin (C₂₀H₃₅NO₁₃) 등의 천연물은 95% 이상의 원제를 구입하여 실험에 사용하였다. 그리고 살균제 fludioxonil (C₁₂H₆F₂N₂O₂)은 20% 액상수화제인 사파이어(신젠타코리아사)를 시중에서 구입하였다. 각 약제는 아세톤에 용해하고 Tween 20 250 µg/ml 수용액에 10%가 되도록 첨가하였다. 각 실험을 위해 준비한 약제 용액은 상추 유묘에 흘려내릴 정도로 살포하여 약제처리를 하였다.

병원균 및 발병. 잿빛곰팡이병균(*B. cinerea*)은 한국화학연구원에서 분리하여 실험에 사용해온 NY76 균주를 사용하였다. *B. cinerea*는 potato dextrose agar 배지(PDA, Difco®, Beckton and Dickinson사) 중앙에 균사조각을 올려놓고 20°C에서 5일 동안 암상태로 배양한 후, 광/암 인큐베이터로 이동하여 하루에 16시간 동안 광을 조사하면서 포자 형성을 유도하였다.

약제를 처리한 상추 유묘는 1일 동안 풍건시킨 후에 병원균의 포자현탁액을 분무하여 접종하였다. 멸균하여 준비한 potato dextrose broth 배지(PDB, Difco®, Beckton and Dickinson사)로 PDA 배지에 형성된 포자를 수확한 후 가제로 걸러서 균사체를 제거한 후 광학현미경 하에서 포자의 수를 조사하였다. 접종원 포자농도에 따른 fludioxonil 방제효과 실험을 제외한 모든 실험에서 접종원의 포자현탁액 농도는 5×10⁵개/ml로 조정하여 실험에 사용하였다. 그리고 접종원에 첨가된 영양분 PDB의 양에 따른 fludioxonil의 방제효과를 실험하기 위하여, PDB의 농도

를 2 mg/ml, 5 mg/ml, 10 mg/ml, 그리고 20 mg/ml로 멸균하여 준비한 후, 각각의 용액으로 *B. cinerea*의 포자를 수확하고 접종하였다.

접종한 상추 유묘는 20°C 습실상에서 3~4일 동안 보관한 후, 병반 면적율을 달관조사 하였다. 모든 실험은 3반복으로 2회 실시하였고, 결과는 2회 실험의 평균값을 나타냈으며, 방제효과는 다음과 같은 식에 따라 계산하였다.

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

결과 및 고찰

화합물의 잿빛곰팡이병 방제효과. 실험에 사용한 천연물 5종(griseofulvin, kasugamycin, polyoxin B, polyoxorim, validamycin)과 살균제 fludioxonil의 잿빛곰팡이병 방제효과를 실험한 결과, fludioxonil과 griseofulvin은 우수한 방제효과를 나타냈으며, kasugamycin, polyoxin B 그리고 polyoxorim은 중간 정도의 살균 활성을 보였다(Table 1). 특히 fludioxonil은 2 µg/ml 처리에 의해서도 잿빛곰팡이병을 86% 방제하였다. 그러나 validamycin은 250 µg/ml 처리구에서도 잿빛곰팡이병에 대하여 거의 방제효과를 나타내지 않았다. 이들 결과로부터 발병조건에 따른 약제의 상추 잿빛곰팡이병 방제효과를 실험하기 위하여 fludioxonil을 선발하였다.

상추 품종에 따른 fludioxonil의 방제효과. 실험에 사용한 흑치마상추, 파위선적측면상추, 선풍포잡적측면상추 각 품종의 무처리구 병반면적율은 각각 48%, 55%, 54%로 잿빛곰팡이병에 대한 품종 간의 감수성은 유의성 있는 차이가 없었다. 그리고 각 상추 품종에 처리한 모든 fludioxonil 처리구에서 잿빛곰팡이병의 병반면적율에는 유의성 있는 차이를 찾아 볼 수 없어 상추 품종에 따른

Table 1. *In vivo* antifungal activity of several compounds on lettuce gray mold^a

Compound	Concentration (µg/ml)			
	2	10	50	250
Fludioxonil	86±4.2 ^b	93±3.3	98±1.5	100
Griseofulvin	18±8.3	45±11	86±7.2	95±3.5
Kasugamycin	7.2±12	14±7.8	29±13	50±9.5
Polyoxin B	0±0.0	8.9±14	27±13	68±5.8
Polyoxorim	19±10	21±6.8	43±10	50±16
Validamycin	0±0.0	14±8.5	21±12	21±12

^aDisease severity of untreated control was 68%.

^bControl value (%).

Table 2. Efficacy of fludioxonil for control of gray mold in three lettuce cultivars^a

Con. (µg/ml)	Lettuce cultivar		
	Hukchima	Powersunjuk-chukmyun	Sunpungpochop
0.4	0.0±9.2 ^b	2.0±3.0	3.0±6.5
2	33±8.3	25±11	36±15
10	93±5.0	99±1.0	95±3.1
50	100	100	100

^aDisease severity of untreated controls was 48% for Hukchima, 55% for Powersunjukchukmyun, and 54% for Sunpungpochop.

^bControl value (%).

fludioxonil의 잿빛곰팡이병 방제효과에는 차이가 없음을 알 수 있었다(Table 2). 이는 개발된 상추 품종 중 잿빛곰팡이병 저항성 품종이 없기 때문이다. 상추는 1990년 이후에야 비로소 일부 종자회사가 품종 개발에 대한 필요성을 인식하면서 품종 육성이 시작되었으며, 1998년 종자산업법 제정을 통한 품종보호제도가 도입되면서 적극적인 품종 개발이 활기를 띠게 되었다(박 등, 2008). 하지만 잿빛곰팡이병에 대한 저항성 유전자원이 없어 아직 잿빛곰팡이병에 대한 저항성 품종은 없는 실정이다. 따라서 저항성 상추 품종 개발을 위하여 잿빛곰팡이병에 대한 저항성 유전자원을 확보하기 위한 노력이 요구되고 있다.

상추의 생육 시기에 따른 fludioxonil의 방제효과. 4엽기, 5엽기 그리고 6엽기 상추에 fludioxonil을 살포하여 잿빛곰팡이병 방제효과를 실험하였다. 4엽기, 5엽기, 6엽기 상추 유묘의 무처리구 병반면적율은 각각 58%, 60%, 58%로 상추의 생육 시기에 따른 잿빛곰팡이병 발생은 거의 차이가 없었다. Fludioxonil 50 µg/ml 처리구는 상추 잿빛곰팡이병에 대한 완벽한 방제효과를 그리고 10 µg/ml 처리구는 85% 이상의 방제율을 나타내어 상추의 생육시기에 따른 잿빛곰팡이병에 대한 방제효과는 거의 차이가 없었다(Table 3). 반면에 fludioxonil 2 µg/ml 처리구에서는 상

Table 3. Control activity of fludioxonil on gray mold of lettuce at several growth stages^a

Con. (µg/ml)	Growth stage of lettuce plants		
	4-Leaf stage	5-Leaf stage	6-Leaf stage
0.4	3.0±9.9	0.0±0.0	6.0±0.0
2	60±9.9	49±0.0	41±5.4
10	87±4.3	90±6.2	88±7.6
50	100	100	100

^aDisease severity of untreated controls was 58% for 4-leaf stage, 60% for 5-leaf stage and 58% for 6-leaf stage.

^bControl value (%).

추 생육시기에 따라 방제 효과의 차이를 나타냈으며, 4, 5, 6엽기로 상추가 커질수록 fludioxonil의 방제 효과는 낮아졌다.

Bennet 등(1994)은 *Bremia lactucae*에 대하여 저항성을 보이는 상추 품종에서 과민성 반응과 관련이 있는 phytoalexin인 lettuценin A을 분리하고 보고하였다. 이 phytoalexin은 *B. cinerea*에 대해서도 상추 잎에 축적되는데, 저항성 반응과 감수성 반응을 보이는 잎에서 lettuценin A 함량은 뚜렷한 차이가 있었다(Bestwick 등, 1995; Takasugi 등, 1985). 따라서 실험한 선풍포찰상추의 경우에 어린잎에 lettuценin A와 같은 항균물질 등 병 발생 억제에 기여하는 요인들이 병 발생을 억제할 정도의 양으로 존재하지는 않지만 이들이 fludioxonil과 협력함으로써 잣빛곰팡이병의 방제 효과의 증진에 기여하였으리라 추정되었다.

접종원 포자농도에 따른 fludioxonil의 방제 효과. 상추 유묘에 fludioxonil을 살포하고 잣빛곰팡이병균을 각각 2.5×10^5 개/ml, 5.0×10^5 개/ml, 1.0×10^6 개/ml, 그리고 2.0×10^6 개/ml로 접종하여 fludioxonil의 잣빛곰팡이병에 대한 방제 효과를 조사하였다. 상추 잣빛곰팡이병에 대한 fludioxonil의 방제 효과는 접종원 농도가 증가함에 따라 감소하였으며, 그 차이는 fludioxonil 2 µg/ml 농도 처리구에서 가장 컸다(Table 4). 하지만 fludioxonil 50 µg/ml 처리구에서는 접종원 농도가 10배 증가하여도 잣빛곰팡이병을 완벽하게 방제하였다. 살균제를 처리하지 않은 무처리구의 병반 면적율은 접종원 농도 2.5×10^5 개/ml, 5.0×10^5 개/ml, 1.0×10^6 개/ml 그리고 2.0×10^6 개/ml에 따라 각각 58%, 55%, 48%, 58%의 병반면적율을 보여 접종 3일 후 병조사에서 접종원 농도에 따른 병 발생은 큰 차이가 없었다.

이와 달리 김 등(1991)은 오이 탄저병균의 접종 농도가 10^4 개/ml, 10^5 개/ml, 10^6 개/ml로 증가함에 따라 살균제 benomyl의 방제 효과는 크게 감소하였으며, 특히 benomyl 100 µg/ml 처리는 10^4 과 10^5 개/ml 접종농도에서는 95% 이

Table 4. Control of fludioxonil on the development of gray mold in lettuce plants inoculated with spore suspension of *Botrytis cinerea* at various concentrations^a

Con. (µg/ml)	Spore concentration ($\times 10^6$ spores/ml)			
	0.25	0.50	1.0	2.0
0.4	4.0±12 ^b	5.0±6.4	0.0±7.4	0.0±0.0
2	43±6.1	32±6.4	32±7.4	17±7.9
10	97±0.0	97±3.9	92±3.0	94±1.6
50	100	100	100	100

^aDisease severity of untreated controls was 58% for 2.5×10^5 spores/ml, 55% for 5.0×10^5 spores/ml, 48% for 1.0×10^6 spores/ml and 58% for 2.0×10^6 spores/ml.

^bControl value (%).

상의 높은 방제 효과를 나타내었지만 10^6 개/ml 접종구에서는 15%의 방제 효과를 보일 뿐이라고 보고하였다. 따라서 약제의 방제 효과 실험에서 접종원 농도는 아주 중요한 인자라고 주장하였으나, 우리의 상추 잣빛곰팡이병에 대한 fludioxonil의 방제 효과 결과에서는 접종원 농도가 증가함에 따라 방제 효과가 다소 감소하지만 결정적 요인으로 작용하지는 않았다.

영양액 농도에 따른 fludioxonil의 방제 효과. 잣빛곰팡이병균 *B. cinerea*는 거의 모든 식물에 병을 일으켜 경제적으로 큰 피해를 입히는 식물병원균이나, 부생성이 강하여 직접 열매를 침입하기보다 시든 꽃과 같은 죽은 조직을 감염한 후에 건전한 조직에 병을 일으킨다. 그러므로 인위적으로 식물에 잣빛곰팡이병을 발생시킬 경우에는 포자현탁액에 glutamine, glucose, 아미노산, KH_2PO_4 와 MgSO_4 무기염류 등의 영양분을 첨가해야 한다(손 등, 2001; Hoffland 등, 1999).

본 실험에서는 접종원의 현탁액을 준비하는데 사용하는 PDB의 농도에 따른 fludioxonil의 방제 효과를 실험한 결과, PDB 양을 2 mg/ml에서 20 mg/ml로 증가함에 따라 무처리구의 병반 면적율은 증가하였으며, fludioxonil 0.4 µg/ml부터 10 µg/ml 처리구의 방제 효과도 감소하였다(Fig. 2). 하지만 50 µg/ml 농도로 살포한 fludioxonil은 영양분 함량에 관계없이 모든 처리구에서 98% 이상의 우수한 방제 효과를 보였다.

이상의 결과로부터 저독성 살균제인 fludioxonil은 상추 잣빛곰팡이병을 효과적으로 방제할 수 있는 살균제임을 알 수 있었으며, 중간 정도의 활성을 나타내는 fludioxonil 처리농도에서는 발병 조건에 따라 방제 효과가 변화할 수 있으리라 예상되었다.

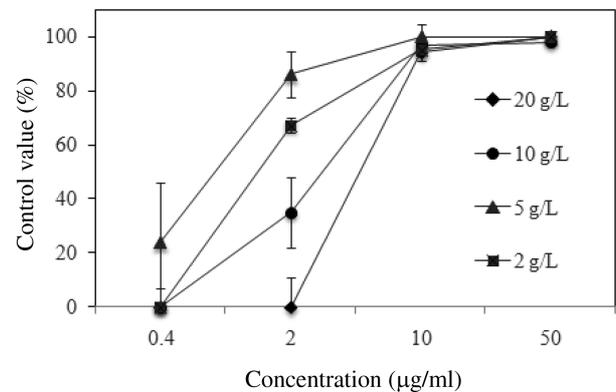


Fig. 2. Effect of potato dextrose broth (PDB) on efficacy of fludioxonil for control of lettuce gray mold disease. The nutrient was added in inoculum at several concentrations. And disease severity of untreated controls was 13% for 2 mg/ml PDB, 42% for 5 mg/ml PDB, 38% for 10 mg/ml, and 53% for 20 mg/ml PDB.

요 약

Fludioxonil은 미국 EPA에 의해 저독성(reduced-risk) 살균제로 분류되었으며, 이 살균제는 *Pseudomonas pyrrrocinia*가 생산하는 항균 물질인 pyrrolnitrin을 선도 물질로 하여 합성하였다. 본 연구에서는 상추 품종, 기주 식물의 생육 시기, *Botrytis cinerea* 포자농도, 접종원의 영양분 농도 등의 발병 조건에 따른 fludioxonil의 상추 잿빛곰팡이병에 대한 방제효과를 온실에서 실험하였다. 상추의 생육 시기에 따른 fludioxonil 방제효과를 실험한 결과, 2 µg/ml 처리구는 어린 유묘에서 잿빛곰팡이병 방제효과가 더 높았으나, 10 µg/ml 이상 농도에서는 생육 시기에 따른 방제효과의 차이는 거의 없었다. 또한 fludioxonil 10 µg/ml 이상 농도 처리구는 *B. cinerea*의 포자 농도(2.5×10⁶개/ml부터 2×10⁶개/ml까지)에 관계없이 모두 우수한 방제효과를 나타냈다. 반면에 fludioxonil 2 µg/ml은 접종원의 포자 농도가 높을수록 낮은 방제효과를 보였다. 그리고 영양분 농도에 따른 fludioxonil의 잿빛곰팡이병 방제효과를 실험한 결과, potato dextrose broth의 농도가 낮을수록 fludioxonil은 상추 잿빛곰팡이병에 대한 높은 방제효과를 나타냈다. 이상의 결과로부터 살균제 fludioxonil은 상추 잿빛곰팡이병에 대한 효과적인 살균제임을 알 수 있었으며, 다만 낮은 농도에서는 발병 조건에 따라 다소 낮은 방제효과를 나타낼 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 : 2009O1OFT102966165호)의 지원에 의해 이루어진 것이다.

참고문헌

김흥태, 정영륜, 조광연. 1991. 오이 탄저병에 대한 bennomyl의 억제효과에 영향을 미치는 요인. 한국식물병리학회지 7: 153-158.

박효근 등 20인. 2008. 한국채소종자산업발달사. 서울대학교 출판부. 607 pp.

손지희, 이재필, 김철승, 임은경, 송주희, 김현주, 박현철, 문병주. 2001. 토마토 주스와 KH₂PO₄가 *Botrytis cinerea* LVF12 분생포자의 토마토 감염에 미치는 영향. 식물병연구 7: 134-139.

Bennett, M. H., Gallagher, M. D. S., Bestwick, C. S., Rossiter, J. T. and Mansfield, J. W. 1994. The phytoalexin response of lettuce to challenge by *Botrytis cinerea*, *Bremia lactucae* and *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 44: 321-333.

Bestwick, L., Bennett, N. H., Mansfield, J. W. and Rossiter, J. T. 1995. Accumulation of the phytoalexin lettuценin A and changes in 3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme a reductase activity in lettuce seedlings with red spot disorder. *Phytochemistry* 39: 775-777.

De Curtis, F., Torriani, S., Rossi, E. and De Cicco, V. 1996. Selection and use of *Metschnikowia pulcherrima* as a biological control agent for postharvest rots of peaches and table grapes. *Ann. Microbiol. Enzimol.* 46: 45-55.

Errampalli, D. 2004. Effect of fludioxonil on germination and growth of *Penicillium expansum* and decay in apple cvs. Empire and Gala. *Crop Prot.* 23: 811-817.

Errampalli, D., Northover, J., Skog, L. and Brubacher, N. R. 2005. Control of blue mold (*Penicillium expansum*) by fludioxonil in apples (cv Empire) under controlled atmosphere and cold storage conditions. *Pest Manag. Sci.* 61: 591-596.

Environmental Protection Agency (EPA). 1998. General overview: reduced-risk pesticide program. Environ, Prot. Agency Off. Pestic. Programs, Staff Background. Paper 2-4.

Förster, H., Driever, G. F., Thompson, D. C. and Adaskaveg, J. E. 2007. Postharvest decay management for stone fruit crops in California using the "reduced-risk" fungicides fludioxonil and fenheximid. *Plant Dis.* 91: 209-215.

Gullino, M. L. and Garibaldi, A. 1986. Fungicide resistance monitoring as an aid to tomato grey mould management. *Proc. Br. Crop Prot. Conf.* 2: 499-505.

Hoffland, E., van Beusichem, M. L. and Jeger, M. J. 1999. Nitrogen availability and susceptibility of tomato leaves to *Botrytis cinerea*. *Plant and Soil* 210: 263-272.

Kim, B. S., Choi, G. J. and Cho, K. Y. 1993. Responses to several fungicides of *Botrytis cinerea* isolates resistant to benzimidazole and dicarboximide fungicides. *Kor. J. Plant Pathol.* 9: 104-111.

Moorman, G. W. and Lease, R. T. 1992. Benzimidazole- and dicarboximide-resistant *Botrytis cinerea* from Pennsylvania greenhouses. *Plant Dis.* 76: 477-480.

Mueller, D. S., Bradley, C. A., Grau, C. R., Gaska, J. M., Kurle, J. E. and Pedersen, W. L. 2004. Application of thiophanate-methyl at different host growth stages for management of sclerotinia stem rot in soybean. *Crop Prot.* 23: 983-988.

Rosslensbroich, H.-J. and Stuebler, D. 2000. *Botrytis cinerea*-history of chemical control and novel fungicides for its management. *Crop Prot.* 19: 557-561.

Staub, T. and Diriwaechter, G. 1986. Status and handling of fungicide resistance in pathogens of grapevine. *Proc. Br. Crop Prot. Conf.* 2: 771-780.

Takasugi, M., Okinaka, S., Katsui, N., Masamune, T., Shirata, A. and Ohuchi, M. 1985. Isolation and structure of lettuценin A a novel guaianolide phytoalexin from *Lactuca sativa* var. *capitula* (Compositae). *Chem. Commun.* 10: 621-622.

Zhang, J. 2007. The potential of a new fungicide fludioxonil for stem-end rot and green mold control on Florida citrus fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 46: 262-270.