



ORIGINAL ARTICLES

수박 덩굴쪓김병과 오이 근경썩음병에 대한 살균제의 방제 효과

한유경* · 백창기 · 박미정 · 월터빈두민 · 박종한 · 배영석

국립원예특작과학원 원예특작환경과

Control Effects of Fungicides Against Fusarium wilt on Watermelon and Crown and Foot Rot on Cucumber

You-Kyoung Han*, Chang-Gi Back, Mi-Jung Park, Walftor bin Dumin, Jong-Han Park, Yeoung-Seuk Bae

Horticultural & Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Wanju 55365, Korea

(Received on December 4, 2021. Revised on December 10, 2021. Accepted on December 14, 2021)

Abstract Fusarium wilt and crown and foot rot caused by *Fusarium oxysporum* and *F. solani* can result in serious economic losses on several cucurbitaceous crops, such as watermelon and cucumber in Korea. These diseases associated with soil-borne pathogens mainly induce wilting symptoms. In this study, 108 chemical pesticides for controlling Fusarium wilt and crown and foot rot examined *in vitro*. Meanwhile, in watermelon and cucumber seedling test, carbendazim+kasukamycin and prochlorazmanganese showed a highly control activity in two species of *Fusarium*. However, in the field test, only carbendazim+kasukamycin had a high control effect crown and foot rot on cucumber. As a results, carbendazim+kasukamycin WP is shown over 90% control efficiency in the field test. Based on the results, it was suggested that it would be better to use carbendazim+kasukamycin WP to control cucumber crown and foot rot in the fields.

Key words Fusarium wilt, crown and foot rot, control effects, watermelon, cucumber

서 론

박과(Cucurbitaceae) 작물에 속하는 수박(*Citrullus lanatus*), 오이(*Cucumis sativus*)는 주로 시설에서 재배되고 있으며, 수박은 약 11,973 ha의 재배면적에서 475,815톤을 생산하고 있으며, 오이는 4,962 ha의 재배면적에서 366,065톤을 생산하고 있다.

작물 재배 시 수박에 발생하는 주요 토양전염성병으로는 *Didymella bryoniae*에 의한 덩굴마름병, *Monosporascus cannonballus*에 의한 검은점뿌리썩음병, *Phytophthora* sp. 3종에 의한 역병 등이 보고되어 있다. 또한, 오이에는 *Erwinia tracheiphila*에 의한 세균시들음병, *Didymella bryoniae*에 의한 덩굴마름병, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*에 의한 덩굴쪓김병, *Monosporascus cannonballus*에 의한 검

은점뿌리썩음병, *Phytophthora* sp. 3종에 의한 역병 등이 보고되어 있다(The Korean Society of Plant Pathology, 2021). 수박 덩굴쪓김병은 *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* 균에 의해 발생되며, Lee (1969)에 의해 국내 발생했다고 처음 보고 되었으며, 오이 근경썩음병은 *Fusarium solani* f. sp. *cucurbitae* 균에 의해 병 발생이 되며 Han et al. (2012)의 해 국내에 처음 보고되었다.

수박 덩굴쪓김병은 병원균이 뿌리를 통해 침입한 후 지제부나 도관을 막아 식물체를 시들게 하며, 도관부위가 파열되어 줄기 지제부가 세로로 쪼개지는 병징을 보인다. 오이 근경썩음병도 수박 덩굴쪓김병과 마찬가지로 병원균이 뿌리를 통해 침입한후 지제부가 썩게 만들어 식물체 전체가 시드는 증상을 유발한다.

수박 덩굴쪓김병과 오이 근경썩음병은 토양전염성 병으로 작물의 생장에 심각한 영향을 미쳐 오이의 품질 저하 및 생산량 감소 등의 피해를 주는 중요한 병임에도 효과적인 방제 방법에 대한 연구는 부족한 실정이다. 수박, 오이를 비롯

*Corresponding author
E-mail: kala74@korea.kr

한 대부분의 박과작물은 덩굴쪄김병과 역병 등 토양병을 예방하기 위해 저항성 대목을 사용하여 점목재배하고 있다 (Keinath et al., 2014; Louws et al., 2010). 저항성 대목으로 호박(*Cucurbita moschata*), 흑종호박(*Cucurbita ficifolia*), 신토좌호박(*C. maxima* x *C. moschata*)이 이용되고 있으며, 실생묘 재배는 거의 없는 실정이다.

점목된 대목 뿌리는 저온 신장성, 환경 적응성 및 흡비력 등이 강하고 이들 병에 저항성을 나타내는 것으로 알려져 있다(Lee, 1989). 이런 물리적 방제를 위해 저항성 품종 선발을 위한 수박, 오이, 멜론 등에 효율적이고 대량으로 병원성 검정을 할 수 있는 방법들이 개발 되었다(Lee et al., 2014; Lee et al., 2015; Jo et al., 2017).

수박 덩굴쪄김병과 오이 근경썩음병은 병들은 해당 병원균이 지하부 토양내에 존재하며 피해를 주고 있고, 토양내 미생물상 및 토양환경 등에 따라 병 발생 정도가 달라져 방제시험에 어려움이 있다. 따라서, 병 방제를 위한 살균제 등록 시험도 지상부 및 공기전염성 병해 시험보다 어려움이 따른다. 수박 덩굴쪄김병에는 수박 정식 전 토양 혼화나 관주처리를 할 수 있는 토양소독제 다조멧, 메탐소듐 등 4종의 품목만 등록되어 있다. 반면, 수박 흰가루병에는 44종의 품목이 등록되어 있다. 오이의 경우에도 덩굴쪄김병 방제약제로 풀록사피록사드·피라클로스트로빈 입제만 등록되어 있을 뿐, 근경썩음병에 대한 방제약제는 전무한 상황이다.

이와 같은 이유로 수박 덩굴쪄김병과 오이 근경썩음병의 경우, 병 발생시 농가에서 사용 가능한 약제에 한계가 있어 어려움을 겪고 있는 실정이다. 이에 본 연구는 두 병에 대한 방제 효과가 있는 약제를 선발하고자 수행하였다.

재료 및 방법

병원균 준비

덩굴쪄김병과 근경썩음병 균주는 발병된 식물체의 지체부로부터 병원균을 분리하여 사용하였다. 덩굴쪄김병 병원균은 광주광역시에서 의뢰된 민원의 수박 시료에서, 근경썩음병은 전남 화순에서 의뢰된 민원 오이 시료에서 분리하여 사용하였다. 분리된 균주는 Internal transcribed spacer of ribosomal DNA (ITS-rDNA), elongation factor-1 α (EF-1 α), and beta-tubulin (β -tub) 유전자 염기서열을 분석하였고, 병원성 검정을 수행한 후 최종적으로 병원성을 가지는 덩굴쪄김병균(19-022, KCTC56701)과 근경썩음병균(17-555, KCTC 56700)을 기탁 후 실험에 사용하였다. 분리된 병원균은 PDA (Potato Dextrose Agar) 배지에 5일간 배양한 후 20% glycerol에 현탁하여 -70°C에 보관하면서 실험에 사용하였다.

실험에 사용한 살균제 및 품종

실내 항균활성 검정을 수행하기 위해 작물보호제사용지침

서에 고시되어 있는 약제 중 곰팡이병 방제에 사용하고 있는 약제 108종을 선별하여 병원균 생장억제 시험에 사용하였다(Table 1). 실험에 사용한 품종은 수박은 삼복꽃(팜한농), 오이는 조은백다다기(홍농) 시판품종을 사용하였다.

병원균 균사생장 억제 실험

병원균 균사생장억제 실험을 위해 병원균의 포자현탁액을 1×10^6 spores/ml 농도가 되도록 배양 후, PDA (Potato Dextrose Agar) 배지를 제조시 5 ml를 함께 섞어 균 배지를 제조하였다. 약제는 1,000배의 농도로 희석해 필터페이퍼에 100 μ l씩 흡수시킨 후, 균 배지 가운데에 치상하였다. 무처리구는 병원균 들어있지 않은 PDA를 사용하였으며, 병원균 처리 대조구는 필터페이퍼에 감압 멸균한 증류수를 100 μ l 흡수시켜 치상하였다. 무처리구와 약제가 처리 된 배지는 28°C에서 배양하며 형성된 저지원을 관찰하고 직경을 조사하였다.

유묘 이용 선발 약제의 예방 및 치료 효과

균사생장억제시험을 통해 선발된 4종의 약제 카벤다짐·가스가마이신(carbendazim+kasugamycin, 고추탄, ((주)동방아그로), 카벤다짐·디에토펜카브(carbendazim+diethofencarb, 깨뜨단, ((주)동방아그로), 프로클로라즈망가니즈(prochloraz-manganese, 스포르곤, 한국삼공(주)), 프로클로라즈·테부코나졸(prochloraz+tebuconazole, 두아졸, 아마다코리아(주))를 대상으로 수박 덩굴쪄김병과 오이 근경썩음병에 대해 약제 예방 및 치료 효과 검정을 수행하였다. 시험에 사용한 유묘는 바로커 상토((주)서울바이오)를 채운 원예용 32공 트레이에 파종한 후 온실 내에서 재배하였다. 약 2주간 재배 후 본엽 2엽기에 병 접종 실험을 수행하였다. 예방 효과 시험의 경우, 2엽기 유묘가 심어진 트레이에 1,000배로 희석된 약제를 주당 50 ml씩 관주하여 뿌리에 흡수시켜 주었다. 24시간 후 뿌리를 1×10^6 cfu/spores 농도의 포자현탁액에 2분간 침지한 후 바로커 상토(서울바이오(주))를 채운 원예용 32공 트레이에 이식해 주었다. 치료 효과는 2엽기 유묘의 뿌리를 병원균 포자현탁액에 2분간 침지한 후 이식하고, 24시간 후 1,000배 농도로 희석한 약제를 50 ml씩 관주해 주었다. 접종 및 약제를 처리한 유묘는 27°C에서 하루 12시간씩 광을 처리하여 재배하고 접종 2주후에 병 발생 정도를 조사하였다. 병조사는 유묘의 시드는 병징이 나타나는지의 여부에 따라 발병주율을 조사하였다.

농도별 약제 방제 효과

약제를 이용한 예방 및 치료효과 통해 선발된 2종의 약제 카벤다짐·가스가마이신 수화제, 프로클로라즈망가니즈 수화제를 대상으로 농도별 약제 방제 효과를 조사하였다. 각 병원균은 PDB (Potato Dextrose Broth) 배지에서 키운후, 포

Table 1. Fungicides used in this study

| Agricultural chemicals | Active ingredient (%) | Agricultural chemicals | Active ingredient (%) |
|---------------------------------------|-----------------------|---|-----------------------|
| Acibenzolar-s-methyl+mancozeb | 1+48 | Dimethomorph | 25 |
| Ametoctradin+dimethomorph | 27+20 | Dimethomorph+pyraclostrobin | 16+9.5 |
| Amisulbrom | 13.5 | Dithianon | 44 |
| Amisulbrom+cymoxanil | 11+24 | Dithianon+pyraclostrobin | 12+4 |
| Azoxystrobin | 21.7 | Ethaboxam | 15 |
| Azoxystrobin+chlorothalonil | 4.8+40 | Etridiazole | 25 |
| Azoxystrobin+difenoconazole | 17.4+11.3 | Etridiazole+thiophanate-methyl | 10+55 |
| Azoxystrobin+dimethomorph | 5+20 | Famoxadone+manipropamid | 9+7 |
| Azoxystrobin+hexaconazole | 12+1 | Famoxadone+oxathiapiprolin | 20+2 |
| Azoxystrobin+oxathiapiprolin | 14.46+1.4 | Fenfexamid+tebuconazole | 30.5+5.8 |
| Azoxystrobin+tebconazole | 11+18.5 | Fenhexamid | 42 |
| Benomyl | 50 | Fenhexamid+ininocadine tris(albesilate) | 30+20 |
| Benomyl+thiram | 20+20 | Fenpyrazamine | 60 |
| Bitertanol | 25 | Fenpyrazamine | 30 |
| Boscalid | 49.3 | Fluazinam | 50 |
| Boscalid+fludioxonil | 23.5+5 | Fludioxonil | 20 |
| Boscalid+kresoxim-methyl | 18.2+9.1 | Fluopicolide+propamocarb hydrochloride | 5+50 |
| Boscalid+pyraclostrobin | 13.6+8 | Fluopyram | 40 |
| Boscalid+pyraclostrobin | 13.6+6.8 | Fluopyram+trifloxystrobin | 21.3+21.3 |
| Boscalid+pyriofenone | 15+8 | Fluquinconazole | 25 |
| Captan | 50 | Fluquinconazole+prochloraz-manfanese | 0.4+2 |
| Carbendazim+chlorothalonil | 12+31 | Fluquinconazole+pyrimethanil | 5+30 |
| Carbendazim+diethofencarb | 25+25 | Fluxapyroxad | 15.3 |
| Carbendazim+kasugamycin | 40+3.45 | Fluxapyroxad+metrafenone | 8+9.1 |
| Carbendazim+polyoxin d | 50+1.5 | Fluxapyroxad+pyraclostrobin | 4.6+8.3 |
| Chlorothalonil | 75 | Folpet | 50 |
| Chlorothalonil+dithianon | 20+15 | Fosetyl-aluminium | 80 |
| Chlorothalonil+metalaxyl-m | 31.5+3 | Hexaconazole | 2 |
| Chlorothalonil+pyrimethanil | 31+12.4 | Hexaconazole | 2 |
| Copper hydroxide | 77 | Hexaconazole | 5 |
| Copper oxychloride+dithianon | 42+13 | Hexaconazole+thifluzamide | 2+1 |
| Copper oxychloride+kasugamycin | 45+5.75 | Hymexazol+penthopyrad | 30+5 |
| Cyazofamid | 10 | Iminocadine triacetate | 25 |
| Cyflufenamid+hexaconazole | 3.5+1 | Iminocadine tris(albesilate) | 30 |
| Cymoxanil+famoxadone | 12+9 | Iminocadine tris(albesilate) | 40 |
| Dbedc(copper sulfate) | 20 | Iminocadine tris(albesilate)+polyoxin b | 20+10 |
| Difenoconazole | 10 | Iminocadine tris(albesilate)+thiram | 20+48 |
| Difenoconazole+iminocadine triacetate | 3+15 | Iprodione | 50 |
| Difenoconazole+pyribencarb | 6+10 | Isopyrazam | 12.57 |
| Difenoconazole+pyriofenone | 5+10 | Kasufamycin+polyoxin d | 9+4 |
| Kresoxim-methyl | 50 | Prochloraz+tebuconazole | 25+12.5 |
| Kresoxim-methyl+triflumizole | 20+15 | Procymidone | 50 |
| Mancozeb | 75 | Propineb | 70 |
| Mandestrobin | 40 | Pyraclostrobin | 20 |
| Mandipropamid | 22.59 | Pyraclostrobin+tebuconazole | 9+9 |

Table 1. to be continued

| Agricultural chemicals | Active ingredient (%) | Agricultural chemicals | Active ingredient (%) |
|------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|
| Metam-sodium | 42 | Pyribencarb | 20 |
| Metrafenone | 25.2 | Sulfur+buprofezin | 35.5+4 |
| Myclobutanil | 6 | Tebuconazole | 25 |
| Penthiopyrad | 20 | Tebuconazole+trifloxystrobin | 20+10 |
| Picarbutrazox | 10 | Thiophanate-methyl+triflumizole | 45+15 |
| Picoxystrobin | 25 | Triadimefon | 5 |
| Polyoxin b | 10 | Tribasic copper sulfate | 15 |
| Polyoxin d | 2.25 | Trifloxystrobin | 22 |
| Prochloraz manganese | 50 | Triflumizole | 30 |

자 농도가 1×10^6 spores/ml 되도록 한 후 사용하였다. 병원균 접종은 온실에서 재배한 유묘의 뿌리를 2~2.5 cm 정도 남기고 자른 후, 병원균의 포자현탁액에 2분간 침지한 후 원예용 트레이에 이식을 해주었다. 약제는 500배, 1,000배의 농도로 희석한 후 병원균 접종 후 24시간 후부터 7일간격으로 3회 관주처리 해주었다. 약제는 희석된 약제를 이식한 식물체에 50 ml씩 관주 처리하여 주었다. 병조사는 약제의 예방 및 치료 효과검정과 마찬가지로, 유묘의 시드는 병징이 나타나는지의 여부에 따라 발병주율을 조사하였다. 발병률 조사는 30주씩 3반복 실험을 수행하였다.

포장 내 약제방제 효과 검정

유묘를 대상으로 농도별 약제방제 검정을 통해 확인된 카벤다짐·가스가마이신 수화제, 프로클로라즈망가니즈 수화제를 대상으로 포장내에서 약제방제 효과 시험을 수행하였다. 수박 덩굴쪄짐병에 대해 카벤다짐·가스가마이신 수화제 500배와 1,000배의 농도로 처리하였고, 오이 근경썩음병에 대해 카벤다짐·가스가마이신 수화제 500배와 1,000배, 프로클로라즈망가니즈 수화제 500배와 1,000배의 농도로 처리하여 효과 검정을 하였다. 방제 약제 효과 시험시에 수박 삼복꿀, 오이 조은백다다기 품종의 종자를 파종하여 3주간 키운 후 약제방제 시험에 사용하였다. 병 접종은 수박, 오이 유묘를 덩굴쪄짐병, 근경썩음병 1×10^6 spores/ml 농도의 병원균 포자현탁액에 각각 뿌리를 5분간 침지해준 후 포장에 정식하여 주었다. 뿌리활착이 일어난 정식 7일후부터 7일간격으로 약제를 주당 100 ml씩 3회 토양내 관주 처리해 주었다. 수박 덩굴쪄짐병에는 카벤다짐·가스가마이신 수화제 500배, 1000배를 처리해 주었고, 오이 근경썩음병에는 카벤다짐·가스가마이신 수화제 500배, 1000배, 프로클로라즈망가니즈 수화제 500배, 1000배를 각각 관주 처리해 주었다. 방제효과 조사는 약제 3차 처리 20일 후에 조사하였다. 약제 방제 효과 조사는 식물체의 뿌리를 뽑아서 줄기 아래 부분을 세로로 비스듬하게 잘라내 도관의 갈변정도를 조사하였다.

병원성 평가

모든 병원성 실험은 발병주율을 조사하였으며, 처리구별 3반복씩 처리하였다. 발병주율(%)은 (발병주수/처리주수) \times 100으로, 방제가는 [(무처리구의 발병률-약제 처리구의 발병률)/무처리구의 발병률] \times 100로 산출하여 방제효과를 조사하였다.

결과 및 고찰

수박 덩굴쪄짐병은 대표적인 토양전염성 병으로 작물의 생장에 심각한 영향을 미쳐 수박의 품질 저하 및 생산량 감소 등 피해를 주는 병임에도 효과적인 방제 방법에 대한 연구가 부족한 실정이다. 일부 병 예방을 위해 저항성 품종을 선발 방법을 확립하는 연구만 진행되어져 왔다(Lee et al., 2014; Lee et al., 2015; Jo et al., 2017). 오이 근경썩음병의 경우에는 국내에 병 발생 피해증상 및 병원균의 특성에 대해 보고(Han et al., 2012)만 있을 뿐, 방제분야의 연구는 전무한 실정이다.

국내에 병 발생시 사용할 수 있는 방제 약제로 수박 덩굴쪄짐병에 dazomet, prochlorazmanganese, metam-sodium, dimethyl disulfide만 정식 전 토양내 혼화처리로 사용할 수 있게 등록되어 있을뿐, 병 발생시 사용할 수 있는 약제가 없다. 오이 근경썩음병의 경우에는 등록약제가 아예 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 수박 덩굴쪄짐병과 오이 근경썩음병의 방제 약제 선발로, 추후 수박, 오이재배 농가에서 사용할 수 있는 약제 선발을 하는데 목적을 두었다.

병원균 군사생장 억제 효과

수박 덩굴쪄짐병과 오이 근경썩음병에 대한 방제 약제를 선발하기 위해서 작물보호제지침서에 등록되어 있는 약제 중 작물의 곰팡이병 방제에 사용되고 있는 약제 108종(Table 1)에 대하여 군사생장억제효과 검정을 수행하였다. 병원균 군사생장억제 효과를 조사하기 위해 여과지 원반법

Table 2. Inhibition efficacy of fungicides against fusarium wilt and crown and foot rot

| pathogen | No. of clear zone formation | | | | | total |
|--|-----------------------------|------|-------|-------|------|-------|
| | < 6* | 6~20 | 20~30 | 30~40 | 40 < | |
| <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i> (19-022) | 81 | 19 | 5 | - | 3 | 108 |
| <i>Fusarium solani</i> f. sp. <i>cucurbitae</i> (17-555) | 78 | 7 | 8 | 4 | 11 | |

* clear zone diameter (mm)

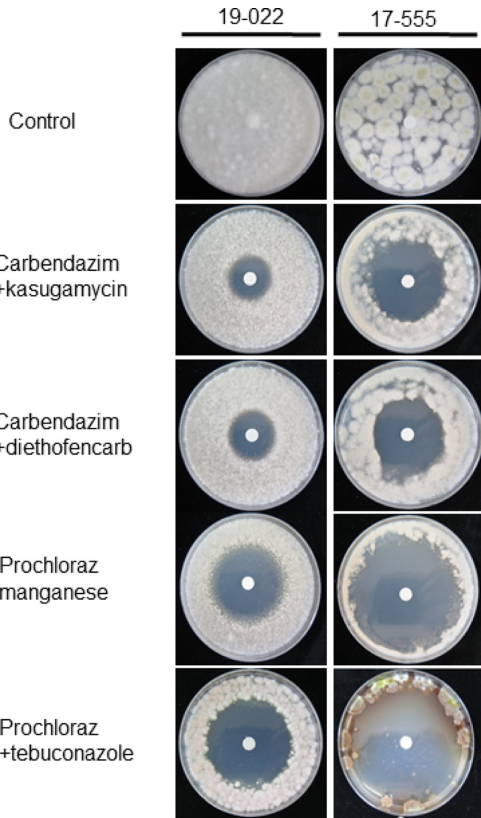


Fig. 1. Inhibiting efficacy of fungicides on the growth of *Fusarium* wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* (19-022) and Crown and foot rot by *Fusarium solani* f. sp. *cucurbitae* (17-555) on PDA medium. Diameter of clear zone was measured 4 days after inoculation with the pathogen into PDA medium.

(Paper disc)을 이용하여 살균제가 병원균의 생육에 미치는 효과를 조사하였다. 108종(Table 1)의 약제 중에서 수박 덩굴쪓김병균(19-022)에 대해 형성된 저지원의 크기를 조사한 결과, 81종은 저지원을 형성하지 않았고 19종은 20 mm 이내의 크기를, 5종은 20~30 mm, 3종은 40 mm 이상의 크기를 나타냈다. 오이 근경썩음병균(17-555)에 대해서는 78종은 저지원을 형성하지 않았고 7종은 20 mm 이내, 8종은 20~30 mm, 4종은 30~40 mm, 11종은 40 mm 이상의 저지원을 형성하였다(Table 2). 저지원 형성 결과에 따라, 19-022와 17-555 균주에 대해 40 mm 이상 동시에 균사생장효과를 나타내는 카벤다짐·가스가마이신 수화제, 카벤다짐·디에토펜카브 수화제, 프로클로라즈망가니즈 수화제, 프로클

로라즈·테부코나졸 유제를 선발하였다(Fig. 1). 추후 생장억제효과 검증에서 선발된 4가지 약제를 이용하여 수박덩굴쪓김병과 오이 근경썩음병 방제 효과 시험을 수행하는데 사용하였다.

이 중 프로클로라즈망가니즈 수화제는 수박 덩굴마름병, 탄저병, 덩굴쪓김병 방제 약제로 작물보호제지침서에 등록되어 있는 약제이다. 그러나 덩굴쪓김병에 등록되어 있는 사용방법과 안전사용기준이 정식전 토양처리, 1회 이내 사용으로 되어 있어 재배중 병 발생시 사용할 수 없는 실정이다. 프로클로라즈망가니즈 수화제는 오이에 잿빛곰팡이병과 흰가루병 방제 약제로도 등록되어져 있는 약제이다. 카벤다짐·가스가마이신 수화제는 수박 탄저병 방제 약제로만 등록되어 있다.

유묘 이용 선발 약제의 예방 및 치료 효과

선발된 4종의 살균제에 대해 수박 덩굴쪓김병과 오이 근경썩음병의 예방효과와 치료효과를 보기 위해서 유묘를 이용해 효과 조사를 실시하였다. 예방효과는 병 접종전 약제 처리를 하여 주었고, 치료효과는 병 접종후 약제처리를 하여 주었다. 예방 및 치료효과 검증시 모든 약제는 1,000배의 희석농도로 처리한 후 결과를 조사하였다. 살균제 무처리구의 유묘에서는 병원균을 접종하고 5일 후부터 유묘에 시드는 증상을 보이기 시작하였으며, 21일 후에는 전체가 시들어 고사하는 증상을 보였다. 살균제의 예방 및 치료 효과 결과 확인은 병 접종후 14일에 발병률을 조사하였다. 4종의 약제 중 수박 덩굴쪓김병에 대한 예방효과를 조사한 결과, 카벤다짐·가스가마이신 수화제, 프로클로라즈망가니즈 수화제는 87.5%의 발병률을 보였고, 카벤다짐·디에토펜카브 수화제, 프로클로라즈·테부코나졸 유제는 접종한 모든 유묘에서 병 발생률이 100%로 예방효과가 전혀 없었다. 이 같은 결과는 4종의 약제가 수박 덩굴쪓김병에는 예방 효과가 없는 것으로 해석된다. 오이 근경썩음병 예방효과와 경우, 카벤다짐·가스가마이신 수화제와 프로클로라즈망가니즈 수화제가 발병률이 0으로 병에 대한 예방효과가 높은 것으로 나타났다. 카벤다짐·디에토펜카브 수화제와 프로클로라즈·테부코나졸 유제는 62.5%와 25%의 방제율을 보이며 카벤다짐·가스가마이신 수화제와 프로클로라즈망가니즈 수화제 보다는 예방효과가 낮게 나타났다(Table 3, 4).

두 병에 대한 치료 효과의 시험은 수박 덩굴쪓김병에 대

Table 3. Protective and curative effects of fungicides on the fusarium wilt

| Fungicides | Effect | Disease incidence (%) | Control value (%) ^{a)} |
|---------------------------|------------|-----------------------|---------------------------------|
| Carbendazim+kasugamycin | preventive | 87.5 | 12.5 |
| | curative | 0 | 100 |
| Carbendazim+diethofencarb | preventive | 100 | 0 |
| | curative | 0 | 100 |
| Prochlorazmanganese | preventive | 87.5 | 12.5 |
| | curative | 100 | 0 |
| Prochloraz+tebuconazole | preventive | 100 | 0 |
| | curative | 37.5 | 62.5 |
| Disease inoculated | preventive | 100 | - |
| | curative | 100 | - |
| Disease non-inoculated | preventive | 0 | - |
| | curative | 0 | - |

^{a)}[(disease incidence of control-disease incidence of treatment)/disease incidence of control]×100.

^{b)}Wettable powder

Table 4. Protective and curative effects of fungicides on the crown and foot rot

| Fungicides | Effect | Disease incidence (%) | Control value (%) ^{a)} |
|---------------------------|------------|-----------------------|---------------------------------|
| Carbendazim+kasugamycin | preventive | 0 | 100 |
| | curative | 0 | 100 |
| Carbendazim+diethofencarb | preventive | 37.5 | 62.5 |
| | curative | 0 | 100 |
| Prochlorazmanganese | preventive | 0 | 100 |
| | curative | 0 | 100 |
| Prochloraz+tebuconazole | preventive | 75 | 25 |
| | curative | 0 | 100 |
| Disease inoculated | preventive | 100 | - |
| | curative | 100 | - |
| Disease non-inoculated | preventive | 0 | - |
| | curative | 0 | - |

^{a)}[(disease incidence of control-disease incidence of treatment)/disease incidence of control]×100.

^{b)}Wettable powder

한 발병률을 기준으로 카벤다짐·가스가마이신 수화제와 카벤다짐·디에토펜카브 수화제가 100%의 방제가 수치를 보이며 치료 효과가 탁월한 것으로 나타났다. 하지만, 카벤다짐·디에토펜카브 수화제가 유묘에 처리시 무처리구와 비교하여 수박 유묘의 생장을 저해하는 증상을 보였다. 프로클로라즈·테부코나졸 유제도 62.5%의 방제가를 보였지만, 카벤다짐·가스가마이신 수화제와 카벤다짐·디에토펜카브 수화제보다는 치료 효과가 낮았다. 오이 근경썩음병에 대해서는 처리한 4개의 약제 모두 치료효과 검정에서 매우 효과가 좋음을 보여주었다. 카벤다짐·가스가마이신 수화제, 카벤다짐·디에토펜카브 수화제, 프로클로라즈·망가니즈 수화제, 프로클로라즈·테부코나졸 유제 4개의 약제 처리구 모두에서 병 발생이 되지 않았다. 그러나 수박 덩굴썩음병 치료 효과시험과

마찬가지로 카벤다짐·디에토펜카브 수화제와 프로클로라즈·테부코나졸 유제가 치료효과는 좋았으나, 오이 유묘의 생장을 저해하는 약해 증상을 보였다. 이 같은 결과로, 수박과 오이 재배시 카벤다짐·디에토펜카브 수화제와 프로클로라즈·테부코나졸 유제는 방제 약제로 사용 할 수 없을것으로 판단된다(Table 3, 4).

농도별 약제 방제 효과

수박 덩굴썩음병과 오이 근경썩음병에 대해 균사생장억제 시험과 유묘를 이용한 살균제의 예방 및 치료 효과 검정을 통해 카벤다짐·가스가마이신 수화제와 프로클로라즈·망가니즈 수화제를 추가 방제효과 검정 시험을 위해 선발하였으며, 유묘를 대상으로 두 살균제의 농도별 방제 효과 검정을 실

Table 5. Control efficacy of fungicides against the *Fusarium* wilt and Crown and foot rot

| Pesticide | Dilution | Fusarium wilt (Watermelon) | | Crown and foot rot (Cucumber) | |
|---|----------|----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| | | Disease incidence (%) | Control value (%) ^{a)} | Disease incidence (%) | Control value (%) ^{a)} |
| Carbendazim +kasukamycin WP ^{b)} | 500X | 0 | 100 | 0 | 100 |
| | 1,000X | 47.2 | 52.8 | 0 | 100 |
| Prochloraz manganese WP | 500X | 19.4 | 80.6 | 0 | 100 |
| | 1,000X | 83.3 | 16.7 | 8.0 | 91.7 |
| Disease inoculated | | 100? | 0 | 100 | 0? |
| Disease non-inoculated | | 0? | 0? | 0 | 0? |

^{a)}[(disease incidence of control-disease incidence of treatment)/disease incidence of control]×100.

^{b)}Wettable powder

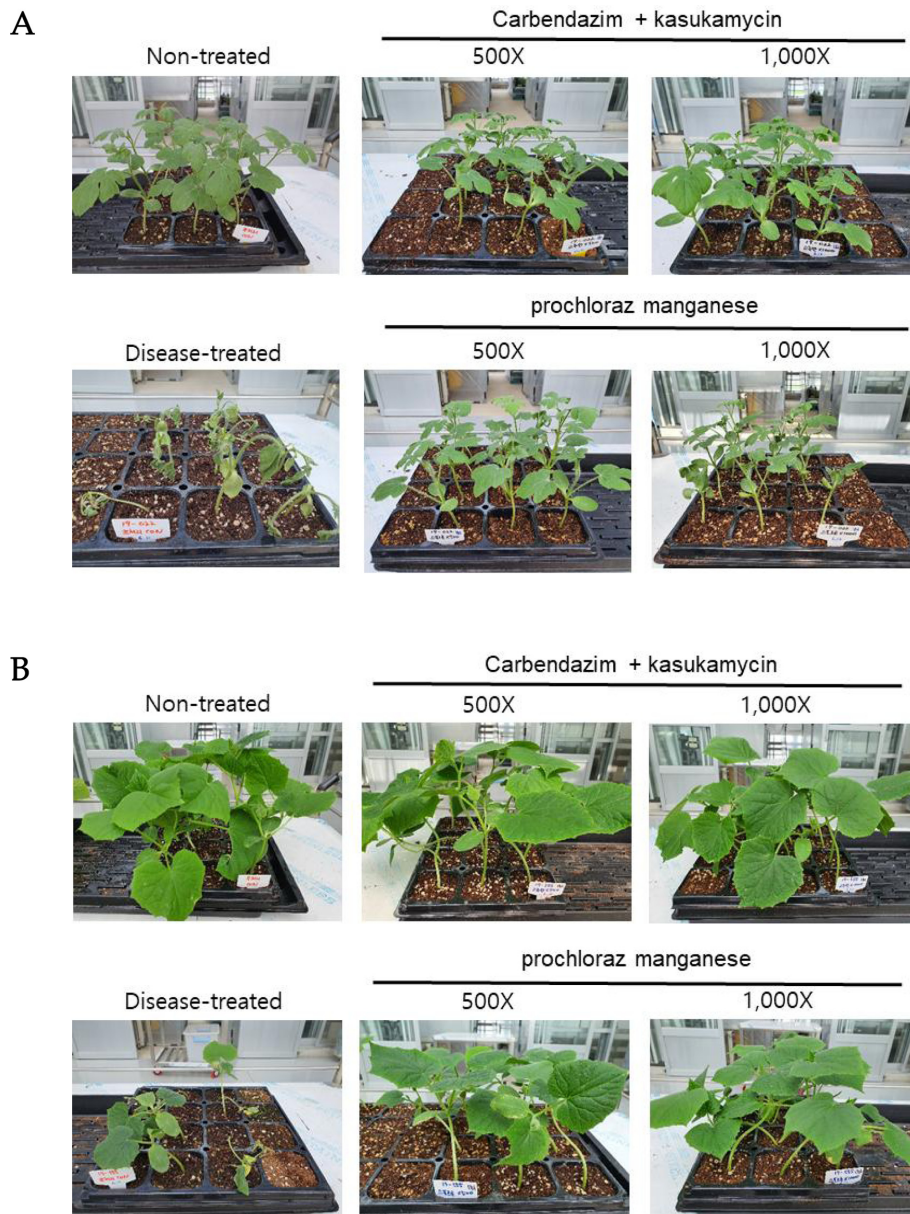


Fig. 2. Control effects of fungicides against *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* (A) causing fusarium wilt on watermelon and *F. solani* f. sp. *cucurbitae* (B) causing crown and foot rot on cucumber.

시하였다.

수박과 오이의 유묘를 대상으로 농도별 약제처리 후 방제 효과를 조사한 결과, 수박 덩굴쪄김병의 방제 효과는 카벤다짐·가스가마이신 수화제 500배와 프로클로라즈망가니즈 수화제 500배 농도 처리구에서 방제가가 100%와 80.6%의 효과를 보였다(Table 4). 오이 근경썩음병에 대해서는 카벤다짐·가스가마이신 수화제 500배, 1,000배와 프로클로라즈망가니즈 수화제 500배, 1,000배의 농도 모두에서 90% 이상의 방제효과를 보였다. 수박 덩굴쪄김병균에 대해 카벤다짐·가스가마이신 수화제, 프로클로라즈망가니즈 수화제 두 약제의 1,000배 희석농도에서는 방제가가 52.8%와 16.7%로 낮게 나타났다(Table 5, Fig. 2). 두 약제 모두 수박과 오이에 대해 농도별 방제효과 시험시, 유묘에 대해서는 어떠한 약해 증상도 발생하지 않았다.

포장 내 약제방제 효과 검정

이 같은 결과를 토대로 수박 덩굴쪄김병에 대해 카벤다짐·가스가마이신 수화제, 오이 근경썩음병에 대해 카벤다짐·가스가마이신 수화제, 프로클로라즈망가니즈 수화제의 포장 방제효과 시험을 수행하였다.

수박 덩굴쪄김병 및 오이 근경썩음병에 대한 약제 방제 시험은 유묘의 뿌리를 병원균 포자 현탁액에 침지시켜 정식을 한후 발병을 유도하였다. 병 집중과 정식 40일 후에 뿌리를 뽑아서 줄기 아래부분을 세로로 비스듬하게 잘라 도관의 갈변유무를 확인하여 병 발병률을 조사하였다. 그 결과, 수박에 덩굴쪄김병 접종 후 카벤다짐·가스가마이신 수화제 500배 희석 처리구에서 48.2%의 방제 효과를 보였으며,

1,000배의 희석농도로 처리한 처리구에서는 44.0%의 방제가를 보였다(Table 6). 오이 근경썩음병의 경우에는 프로클로라즈망가니즈 수화제 1,000배 농도에서 24.4%, 500배 63.2%의 방제효과를 보였으며, 카벤다짐·가스가마이신 수화제 처리구에서는 1,000배에서 65.1%, 500배에서 90.3%의 방제효과를 보였다. 이 같은 결과로 볼 때, 카벤다짐·가스가마이신 수화제의 경우 수박 덩굴쪄김병의 방제효과가 50% 미만으로 낮게 나타났지만, 오이 근경썩음병에 대해서는 500배의 농도에서 90.3%의 높은 방제효과를 보였다(Table 7).

포장 시험의 경우, 근권 내에 존재하는 미생물상 및 토양 환경조건에 의해 방제효과 시험의 결과가 달라질 수 있다. 길항 작용을 갖는 미생물이 근권 내에 존재할 경우, 약제 방제에 시너지 효과를 일으킬 수도 있다. 반면에 농약을 분해하는 미생물이 존재할 경우, 농약의 효과를 저해할 수도 있다. 또한, 토양내 수분, 영양분 등의 환경 조건에 따라 병 발생 여부가 달라질 수도 있다. 덩굴쪄김병의 경우 유묘를 이용한 온실내 병 방제 효과 검정에서 카벤다짐·가스가마이신 수화제의 경우 높은 방제효과를 보였지만, 포장 검정에서는 50% 미만의 낮은 방제가를 보였다. 이 같은 결과는 위에 앞서 기술한 토양내 미생물상의 변화 및 토양 환경조건과의 상호관계에 대한 규명이 추가 연구로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

국내에서 작물별 병에 대한 살균제의 처리약제의 방제가가 70% 이상이 되어야 등록기준을 충족시킬 수 있다. 두 병해에 대한 군사생장억제시험, 유묘 이용 예방 및 치료효과 검정, 농도별 약제 방제시험을 통해 카벤다짐·가스가마이신 수화제 500배 농도로 처리 했을 경우만, 약제 등록 기준을

Table 6. Control efficacy of fungicides against the fusarium wilt on watermelon greenhouse

| Pesticide | Dilution | Disease incidence (%) | Control value (%) ^{a)} |
|---|----------|-----------------------|---------------------------------|
| Carbendazim +kasukamycin WP ^{b)} | 500X | 36.7 | 48.2 |
| | 1,000X | 39.6 | 44.0 |
| Disease inoculated | - | 70.7 | - |
| Disease non-inoculated | - | 0 | - |

^{a)}[(disease incidence of control-disease incidence of treatment)/disease incidence of control]×100.

^{b)}Wettable powder

Table 7. Control efficacy of fungicides against the crown and foot rot on cucumber greenhouse

| Pesticide | Dilution | Disease incidence (%) | Control value (%) ^{a)} |
|--|----------|-----------------------|---------------------------------|
| Carbendazim+kasukamycin WP ^{b)} | 500X | 8.3 | 90.3 |
| | 1,000X | 30.0 | 65.1 |
| Prochlorazmanganese WP | 500X | 31.7 | 63.2 |
| | 1,000X | 65.0 | 24.4 |
| Disease inoculated | - | 80.6 | - |
| Disease non-inoculated | - | 0 | - |

^{a)}[(disease incidence of control-disease incidence of treatment)/disease incidence of control]×100.

^{b)}Wettable powder

충족시킬 수 있었다.

카벤다짐·가스가마이신 수화제는 합제로써, 이 중 kasugamycin은 *Streptomyces kasugaensis*가 생성하는 항생물질로서 1960년대 벼 도열병 방제를 위해 개발된 항생물질계 살균제로 병원균에서 aminoacyl-tRNA가 리보솜에 부착하는 것을 억제하여 단백질 합성을 억제하는 살균제로 알려져 있다(Umezawa et al., 1965., Tanaka et al., 1966). 또한, kasugamycin은 여러 작물의 세균병에 생육억제효과가 있는 것으로 알려져 있다.

Carbendazim은 benzimidazole계 살균제에 속하며, benzimidazole계 살균제들이 갖는 넓은 적용 범위와 침투이행 효과 등 때문에 많은 작물에 방제 약제로 등록되어 있으며, 채소와 과수 등의 탄저병 방제를 위해서도 사용되고 있다. 이 계통의 살균제는 식물 병원곰팡이의 β -tubulin 단백질에 결합하여 미세소관 생성을 방해하기 때문에 병원균이 세포분열을 하지 못하게 되고, 곰팡이의 생장이 억제된다고 알려져 있다(Davidse and Flach, 1977; Martin, 1997). 국내에 등록되어 있는 농약은 농촌진흥청 농약, 원제 및 농약활용기자재의 표시기준을 준수하게 되어 있다. 이에 따라 농약의 작용기작별 분류 기준이 마련되어 있다. 이 중 카벤다짐·가스가마이신은 작용기작이 나1+라3에 속하며, 병원균의 세포분열저해+아미노산 및 단백질 합성을 저해하는 기작을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 약제의 이러한 기능이 병원균의 생장을 억제시켜 병 방제효과를 보이는 것으로 추측이 된다.

이상의 결과에서 보면 유묘시기의 병 방제효과 검정시까지 프로클로라즈망가니즈 수화제와 카벤다짐·가스가마이신 수화제가 두 병 모두에 대해 효과가 있었다. 그러나, 포장시험에서는 같은 결과가 도출되지 않았다. 카벤다짐·가스가마이신 수화제가 수박 덩굴쪄김병에 방제 효과를 보였지만, 포장내에서는 방제효과가 좋진 않았다. 반면, 오이 근경썩음병 포장 시험에서는 500배의 농도에서 높은 방제효과를 보여 오이 근경썩음병의 병원균 생장억제 뿐만 아니라, 실험한 모든 살균제 중에서 가장 효과적으로 병을 방제할 수 있는 살균제이었다. 또한, 약제방제 효과 검정시 카벤다짐·가스가마이신 수화제는 500배, 1,000배의 농도에서 유묘 및 포장검정에서도 어떠한 약해 증상도 보이지 않았다. 카벤다짐·가스가마이신 수화제는 수박 탄저병에 1,000배의 농도로 발병초부터 10일간격으로 경엽처리하고, 수확3일전까지 3회 이내로 사용하도록 되어 있다. 하지만, 국내에 오이 근경썩음병의 방제 약제로 등록되어 있지 않아, 추후 직권시험 등을 통해 방제 약제로 등록되어야 할 것이며, 약해 시험도 같이 이루어져야 할 것이다. 오이 근경썩음병에 대해 효과적인 방제 약제로 사용 될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 원예특작시험연구 사업(과제번호 PJ01435701)의 지원에 의해 이루어진 결과입니다.

Author Information and Contributions

- You Kyoung Han, Horticultural & Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-3035-7775>

- Chang Gi Back, Horticultural & Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Researcher

- Mi Jung Park, Horticultural & Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Researcher

- Walftor bin Dumin, Horticultural & Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Postdoctoral researcher

- Jong Han Park, Horticultural & Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Researcher

- Yeoung Seuk Bae, Horticultural & Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Researcher

- Establishment of experimental plan, You Kyoung Han, Chang Gi Back, Mi Jung Park

- Methodology proposal, Jong Han Park, Yeoung Seuk Bae

- Experimental participation, Walftor bin Dumin

- Writing, You Kyoung Han

이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

Literature cited

Davidse LC, Flac W, 1977. Differential binding of methyl benzimidazol-2-yl carbamate to fungal tubulin as a

- mechanism of resistance to this antimetabolic agent in mutant strains of *Aspergillus nidulans*. J. Cell Biol. 72(1):174-193.
- Han KS, Lee SC, Han YK, Kim DH, Kim S., 2012. Crown and foot rot of grafted cucumber caused by *Fusarium solani* f. sp. *cucurbitae*. Res. Plant Dis. 18(1):57-61.
- Jo EJ, Choi YH, Jang KS, Kim H, Choi GY, 2017. Development of a simple and effective bioassay method to evaluate resistance of watermelon plants to *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. Res. Plant Dis. 23(2):168-176.
- Keinath AP, Hassell RL, 2014. Control of *Fusarium* wilt of watermelon by grafting onto bottlegourd or interspecific hybrid squash despite colonization of rootstocks by *Fusarium*. Plant Dis. 98(2):255-266.
- Lee JH, Kim JC, Jang KS, Choi YH, Choi GY, 2014. Efficient screening method for resistance of cucumber cultivars to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*. Res. Plant Dis. 20(4):245-252.
- Lee JM, 1989. On the cultivation of grafted plants of Cucurbitaceous vegetables. Hort. Envir. Bio. 30(3):169-179.
- Lee WJ, Jang KS, Choi YH, Kim HT, Kim JC, et al., 2015. Development of an efficient simple mass-screening method for resistant melon to *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*. Res. Plant Dis. 21(3):201-207.
- Louws FJ, Rivard CL, Kubota C, 2010. Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds. Scientia Horticulturae. 127(2):127-146.
- Martin RJ, 1997. Modes of action of anthelmintic drugs. Vet. J. 154(1):11-34.
- Tanaka N, Yamaguchi H, Umezawa H, 1966. Mechanism of kasugamycin action on polypeptide synthesis. J. Biochem. 60(4):429-434.
- The Korean Society of Plant Pathology, 2021, List of Plant Disease in Korea. <http://genebank.rda.go.kr/kplantdisease.do> (Accessed Nov. 13. 2021)
- Umezawa H, Okami Y, Hashimoto T, Suhara Y, Hamada M, et al., 1965. A new antibiotic, kasugamycin. J. Antibiot. 18(2):101-103.
- Yang SS, Kim CH, 1994. Studies on cross protection of *Fusarium* wilt of cucumber III. Selection of nonpathogenic isolates and their protective effects in the greenhouse. Korean J. Plant Pathol. 10:29-33.

수박 덩굴쪄김병과 오이 근경썩음병에 대한 살균제의 방제 효과

한유경* · 백창기 · 박미정 · 윌터빈두민 · 박종한 · 배영석

국립원예특작과학원 원예특작환경과

요 약 *Fusarium oxysporum* 과 *F. solani*에 의해 발생하는 덩굴쪄김병과 근경썩음병은 박과작물의 피해를 주고 있는 토양염성 병해이다. 본 연구에서 두 병해에 대한 방제 약제를 선별하기 위해 108개의 시판되는 살균제로 방제 효과를 조사하였다. 이 중 유효검정을 통해 카벤다짐·가스가마이신 수화제와 프로클로라즈망가니즈 수화제가 두 병해에 대해 방제 효과가 높음을 확인하였다. 그러나, 포장 검정에서는 카벤다짐+가스가마이신 수화제만 500배의 희석 농도에서 오이 근경썩음병에 대해 90% 이상의 방제효과를 보였으며, 500배와 1,000배의 농도에서 어떠한 약해증상도 보이지 않았다. 이 같은 결과는 추후 카벤다짐·가스가마이신 수화제를 오이 근경썩음병 방제약제로 다양한 포장 평가후 등록이 된다면 사용시 효율적인 방제가 될 것으로 판단된다.

색인어 덩굴쪄김병, 근경썩음병, 방제효과, 수박, 오이