식물병연구
Res. Plant Dis. 30(3): 288-293 (2024)
Note | Open Access
https://doi.org/10.5423/RPD.2024.30.3.288

양파 유묘기 단계 시들음병(Fusarium Basal Rot) 저항성 검정법 개발

Development of an Effective Method to Evaluate Resistance of Onion (*Allium cepa* L.) Cultivars to Fusarium Basal Rot

***Corresponding author**
Tel: +82-63-238-6312
Fax: +82-63-238-6305
E-mail: kala74@korea.kr
ORCID
https://orcid.org/0009-0005-8229-2223
https://orcid.org/0000-0002-6043-2775
https://orcid.org/0000-0002-9734-8702
https://orcid.org/0009-0001-1479-3959
https://orcid.org/0000-0003-3035-7775
†These authors contributed equally to this work.

김시은[1†] · 신종환[2†] · 이하경[1] · 강수현[3] · 한지원[3] · 이성찬[1] · 한유경[1*]

[1]농촌진흥청 국립원예특작과학원 원예특작환경과, [2]농촌진흥청 국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소, [3]농촌진흥청 국립원예특작과학원 파속채소연구센터

Sieun Kim[1†], Jong-Hwan Shin[2†], Ha-Kyoung Lee[1], Soo-hyun Kang[3], Ji-won Han[3], Seong-Chan Lee[1], and You-Kyoung Han[1*]

[1]*Horticultural and Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea*
[2]*Research Institute of Climate Change and Agriculture, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Jeju 63240, Korea*
[3]*Allium Vegetables Research Institute, National Institute of Horticultural & HerbalScience, Rural Development Administration, Muan 58545, Korea*

Received June 27, 2024
Revised July 17, 2024
Accepted July 18, 2024

Fusarium basal rot (FBR), caused by the ascomycete fungus *Fusarium oxysporum*, is an economically important disease of onion worldwide. The most economical and effective way to manage FBR would be the use of FBR resistant onion cultivars. This study was carried out to develop a rapid screening method for resistant onion cultivars in seedling stage. We used the *F. oxysporum* 19-385 isolate, which causes damping-off in onion seedlings and basal rot in onion bulbs. We optimized broth incubation and medium composition for the production of inoculum, and determined conidial concentration for the preparation of *F. oxysporum* infected soil. Ten commercial cultivars of onion were evaluated the seedling survival rates and heights by infected soil inoculation methods. As a result, 'K-force' was the most resistant cultivar with 97.4% of relative seedling survival rate against the pathogen, whereas 'Sunpower' was the most susceptible cultivar with 20.0% of relative seedling survival rate.

Keywords: Damping off, Fusarium basal rot, *Fusarium oxysporum*, Onion, Seedling testing

양파(*Allium cepa* L.)는 아스파라거스목(Asparagales), 수선화과(Amaryllidaceae), 부추속(*Allium*)에 속하는 식물로서, 전 세계적으로 식용하고 있는 중요한 조미채소이다(Chakraborty 등, 2022). 양파는 생으로 먹거나 굽기, 볶기, 절이기, 샐러드 등 다양하게 조리해서 먹고 있는데, 미네랄, 비타민, 폴리페놀, 유황성분 등이 풍부하게 함유되어 있어 건강식품으로서도 각광받고 있다(Mahmood 등, 2021; Ren 등, 2018; Shabir 등, 2022; Slimestad 등, 2007). 양파 최대 생산국은 중국, 인도 및 미국으로 한국은 세계 12위의 양파 생산국가이다(Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019). 통계청에 따르면 2021년 양파 재배면적과 생산량은 18,461 ha, 1,576,756톤으로, 전남이 전체 생산량의 36.7%로 가장 많고, 경남이 21.5%, 경북이 19.5%를 차지하고 있다(Statistics Korea, 2021).

양파에는 곰팡이, 세균, 바이러스, 해충 등 다양한 병해충이

Research in Plant Disease
eISSN 2233-9191
www.online-rpd.org

ⓒ The Korean Society of Plant Pathology
ⓒ This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

발생하여 생산량을 감소시키고 있는데, 주요 곰팡이 병해로는 *Botrytis allii*에 의한 잿빛썩음병(neck rot), *Fusarium oxysporum*에 의한 시들음병(Fusarium basal rot), *Aspergillus niger*에 의한 검은곰팡이병(black mold), *Peronospora destructor*에 의한 노균병(downy mildew), *Stemphylium vesicarium*에 의한 잎마름병(Leaf blight) 등이 있다(Back 등, 2017; Kim 등, 2002; Park 등, 1995; Shin 등, 2023). 이 중에서 *F. oxysporum*에 의한 시들음병이 전 세계적으로 가장 문제시되고 있는데, *F. oxysporum*이 단독으로 병을 일으키거나 *F. commune*, *F. redolens*, *F. proliferatum* 등과 pathogenic complex를 이루어 병을 일으킨다고 알려져 있다(Ghanbarzadeh 등, 2014; Haapalainen 등, 2016; Shin 등, 2023). *F. oxysporum*은 양파 전 생육기에 걸쳐 감염하여 모잘록, 뿌리 썩음, 지상부 및 지하부 시들음 등의 증상을 일으키며, 유묘기와 휴면기 혹은 수확 후에 피해가 가장 심각한 것으로 알려져 있다(Ghanbarzadeh 등, 2014; Haapalainen 등, 2016). 특히, 수확 때는 별다른 병징이 없다가 수확 후 저장 중에 발병하는 경우가 많고, 토양 내에서 후막포자를 형성하여 수년 혹은 십 수년까지 생존할 수 있기 때문에 방제가 어렵다(Labanska 등, 2022; Le 등, 2021). 미국에서의 경우 *F. oxysporum*에 의한 양파 수량 손실은 수확 전 3-35%, 수확 후 저장 중에는 최대 75%까지 이르는 것으로 보고되고 있다(Abawi와 Lorbeer, 1972; Brayford, 1996; Lacy와 Roberts, 1982). 국내 양파 재배의 경우, 재배농가의 노령화와 일손 부족으로 기계화 작업이 늘어나고 있다. 양파 기계정식시 사용되는 육묘판에 양파 종자를 파종 후, 육묘상에서 시들음병 오염토양으로부터 병원균이 뿌리에 감염되는 일이 발생하였다. 또한, 매년 병원균에 오염된 육묘판을 재활용하는 작업이 반복되면서 양파 정식 전부터 수확기까지 농가에 피해를 야기하였다.

양파 시들음병을 방제하기 위한 방법으로 윤작, 태양열 소독, 방제약제 처리, 저항성 품종의 사용 등이 있는데, 재배면적이 한정적일 경우 윤작을 하기 어렵고, 방제약제 처리는 경제적인 문제 및 환경독성의 우려가 있기 때문에 저항성 품종을 사용하는 것이 양파 시들음병을 예방하기 위한 가장 효과적인 방법으로 제시되고 있다(Cramer, 2000; Straley 등, 2021; Walker와 Tims, 1924). 시들음병에 대한 저항성 검정은 양파 종자에 포자현탁액을 침지하거나 이병토를 만들어 종자를 파종하여 유묘단계에서 검정하는 방법, 양파 구의 기부(basal plate)에 병원균의 포자현탁액이나 agar plug 형태의 균사를 접종하여 검정하는 방법, 포장에서 이병토를 이용하여 검정하는 방법 등이 있다(Cramer, 2000; Karabulut와 Gökçe, 2022; Retig 등, 1970; Sharma와 Cramer, 2023).

최근 국내에서 노동력과 생산비 절감을 위해 양파 기계정식에 대한 수요가 증가하고 있는 추세인데, 기계정식 양파에서 시들음병 발생이 크게 증가하는 문제가 발생하고 있다. 양파는 어린 유묘일수록 시들음병에 대한 감수성이 기계정식용 육묘 트레이에 남아있던 병원균의 후막포자 및 분생포자에 의한 감염이 시들음병 발생의 주요 원인인 것으로 추정되고 있다. 하지만 아직까지 국내에서는 시들음병 저항성 품종이 없고, 시들음병 방제용으로 등록된 살균제도 없는 등 대처방안이 전무한 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 양파 저항성 품종 개발에 기여하기 위하여 양파 유묘단계에서 시들음병에 대한 저항성을 검정할 수 있는 방법을 개발하였고, 시중에 판매되고 있는 양파 품종에 대하여 시들음병 발생 정도를 조사하였다.

시들음병균은 이전 연구에서 분리하여 양파에 접종하여 병원성을 확인한 *F. oxysporum* 19-385 균주를 사용하였다(Shin 등, 2023). 병원균은 potato dextrose agar (PDA) (Difco Laboratories, Franklin Lakes, NJ, USA) 배지에서 7일간 배양하여 분생포자 형성을 유도하였고, 균사 및 분생포자가 함유된 agar plug를 25% glycerol에 섞어 -75°C deep freezer에 보관하여 필요할 때마다 새로 배양하며 사용하였다. 양파 시들음병에 대한 저항성 검정을 위해 시판되고 있는 양파 품종 10종류를 구매하여 실험에 사용하였다(Table 1). 모든 실험은 3반복으로 3차례 수행하였으며, IBM SPSS Statistics v27.0 (SPSS, Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용한 Duncan의 다중 검정 방법(Duncan's multiple range test)으로 5% 유의수준에서 통계 분석하였다.

시들음병균의 분생포자를 대량 형성시키기 위하여 카네이션 잎 조각을 넣고 멸균한 potato dextrose broth (PDB) 배지를 사용하였다. 실온에서 7일간 배양하여 분생포자가 형성된

Table 1. Onion cultivars used in this study

Cultivar	Company	Resistance to FBR[a]
Bigboss	Nongwoo Bio	Unknown
Geobukseon	Daenong Seed	Unknown
Geumsongi	Daenong Seed	Unknown
Haha	Seeds & People	Unknown
Hwangryongball	Nongwoo Bio	Unknown
Intercooler70	Asia seed	Unknown
Katamaru	Takii Seed	Unknown
K-force	Nongwoo Bio	Unknown
Strikegold	FarmHannong	Unknown
Sunpower	Takii Seed	Unknown

FBR, Fusarium basal rot.
[a]The information of resistance of onion cultivars to FBR was provided from the company.

PDA 배지에 멸균수를 첨가하고 표면을 긁어 포자현탁액을 얻어 내었고, hemocytometer를 이용하여 5×10^5 conidia/ml의 농도로 맞추었다. 이후 카네이션 잎 조각(40 mg, 80 mg, 160 mg)을 넣고 멸균한 300 ml의 PDB 배지에 포자현탁액 100 µl를 접종하고 25°C에서 150 rpm으로 진탕배양하였고, 형성된 포자의 농도를 hemocytometer를 사용하여 측정하였다(Fig. 1). 그 결과 PDB 배지에서 24시간, 48시간 뒤에 각각 평균 1.9×10^4 conidia/ml와 10.8×10^4 conidia/ml의 농도의 포자를 형성하여 포자 형성수가 가장 적었고, 160 mg의 카네이션 잎 조각이 포함된 PDB 배지에서는 24시간, 48시간 뒤에 각각 평균 18×10^4 conidia/ml과 191×10^4 conidia/ml의 농도의 포자를 형성하여 포자 형성수가 가장 많았다. *Fusarium* spp.의 생장과 포자 형성은 배양 조건에 영향을 받는데, 특히 배지의 성분에 크게 영향을 받는다(Fisher 등, 1982). 카네이션 잎 조각이 포함된 배지에서 *Fusarium* 균을 배양하는 경우 형태적인 변이(morphological variation), 활력(viability), 병원성(pathogenicity)의 감소를 최소화할 수 있다고 알려져 있는데, 카네이션 잎 조각이 포함된 배지는 *Fusarium* 종의 동정, 분생포자 형성 촉진, 장기간 보존, 병원성 검정 등의 실험을 하는데 많이 사용되고 있다(Axelrood 등, 1995; Fisher 등, 1982; Snyder와 Hansen, 1947). *F. oxysporum* 19-385 균주도 카네이션 잎 조각이 포함된 PDB 배지에서 포자 형성수가 크게 증가하였기 때문에, 저항성 검정 시험에 필요한 접종원을 대량 생산하기 위해 카네이션 잎 조각을 넣은 PDB 배지에 2일

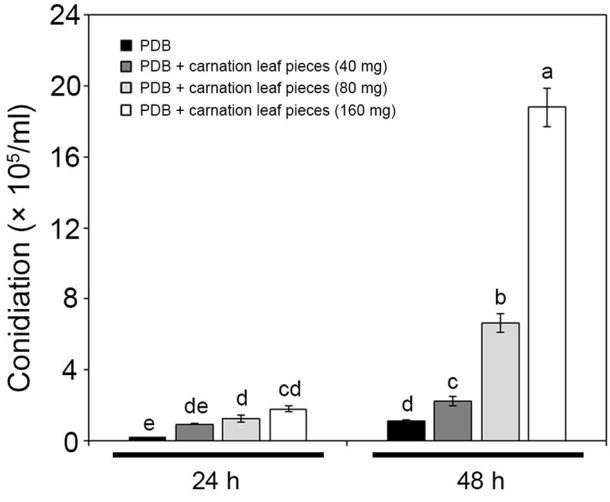

Fig. 1. Quantitative measurement of conidia of *F. oxysporum* 19-385. Conidiation was measured by counting the number of conidia at 24 and 48 hr after incubation in potato dextrose broth with or without carnation leaf pieces with shaking (150 rpm) at 25°C. Different letters indicate significant differences (P<0.05, Duncan's multiple range test). PDB, potato dextrose broth.

간 150 rpm으로 진탕배양하는 것이 가장 효율적일 방법일 것으로 판단된다.

양파 시들음병균 *F. oxysporum*은 토양 전염성 병원균으로 토양 내 분생포자나 후막포자가 주요 전염원으로 알려져 있다(Le 등, 2021). 양파 생육단계에서 시들음병에 가장 취약한 시기 중 하나는 유묘단계로, 이 시기에는 토양 내 시들음병균에 의해 식물체가 감염되어 종자 발아의 지연, 유묘의 위축 생장(stunted growth), 모잘록(damping-off) 등의 증상이 나타난다(Karabulut와 Gökçe, 2022; Le 등, 2021). Ailsa Craig Prizewinner, Hystar, Akgün, Rossa Savonese 등의 양파 품종을 이용한 시들음병 저항성 연구에 따르면, 양파 유묘단계에서 나타나는 시들음병에 대한 저항성과 비대한 구에서 나타나는 시들음병에 대한 저항성은 서로 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났다(Mandal과 Cramer, 2021; Özer et al., 2004; Taylor 등, 2013). 따라서 초기 저항성 검정 실험으로 양파 유묘가 많이 활용되고 있다(Cramer, 2000; Krueger 등, 1989; Retig 등, 1970). 본 연구에서도 초기 시들음병 저항성 검정을 위해 양파 유묘를 활용하였다. 저항성 검정 실험을 위한 접종원의 최적 농도를 결정하기 위해 이병토를 제작하여 접종원의 농도에 따른 병 발생을 비교하였다. 이병토 제작을 위해 카네이션 잎 조각을 넣은 PDB 배지에 *F. oxysporum* 19-385 균주를 접종하고 2일간 150 rpm으로 진탕배양하였다. 배양한 포자현탁액을 2겹의 거즈에 걸러 균사를 제거하였고, 50 ml conical tube에 넣어 4,000 rpm으로 15분간 원심분리하여 배양액을 제거하고 멸균수로 pellet을 현탁하여 접종원을 준비하였다. 준비한 포자현탁액은 hemocytometer를 이용하여 실험에 맞게 농도를 맞추었으며(1×10^3 conidia/g, 1×10^4 conidia/g, 1×10^5 conidia/g, 1×10^6 conidia/g), 멸균한 원예범용상토 2호(바로커; Seoul Bio, Eumseong, Korea) 400 g당 400 ml의 포자현탁액을 혼화하여 이병토를 제조하였다. 양파 종자는 황룡볼을 사용하였고, 1% sodium hypochlorite 용액에 3분 동안 소독하고 멸균수로 3회 세척하여 실험에 사용하였다. 제조한 이병토를 직경 20 cm, 높이 10 cm의 포트에 담았고, 양파 종자를 55립씩 포트에 파종하였다. 이후 항온항습실(온도 25°C, 습도 70%, 12시간 광 조건/12시간 암 조건)에 두어 발병을 유도하였고, 14일 뒤 유묘의 생존율(seedling survival survival rate)과 생존한 유묘의 초장(seedling height)을 측정하였다. 실험 결과 접종원의 농도가 높아질수록 유묘의 생존율과 초장이 낮아지는 경향을 보였다(Fig. 2). 종자를 이병토에 파종하고 2주 뒤에 확인하였을 때, 양파 유묘의 생존율과 초장은 포자 농도 1×10^6 conidia/g의 이병토에서 배양하였을 때 가장 낮았고, 포자 농도 1×10^3 conidia/g의 이병토에서 배양하였을 때는 무처리구와 통계적으로 차이가 없는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 2).

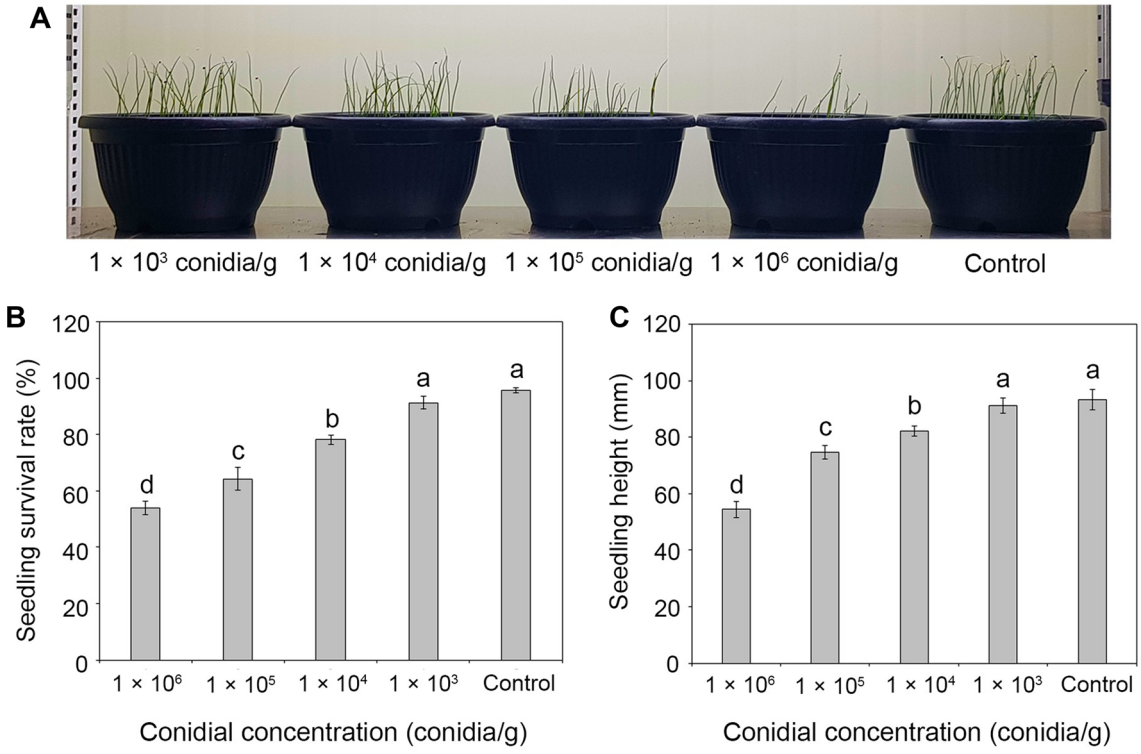

Fig. 2. Effects of different concentrations of conidia of *Fusarium oxysporum* 19-385 on onion seedlings. Conidial suspension was thoroughly mixed with sterile soil to a final concentration of 1×10^3, 1×10^4, 1×10^5, and 1×10^6 conidia/g in plastic pots, and 55 onion seeds were sown in the pots. Photographs were taken after 2 weeks of incubation at 25°C under a 12-hr light/12-hr dark light cycle (A), and the seedling survival rates (B) and heights (C) were measured. Different letters indicate significant differences ($P<0.05$, Duncan's multiple range test).

따라서 실험한 포자 농도 중에 중간 정도의 농도인 1×10^5 conidia/g가 저항성을 평가하는 데 가장 적합한 농도일 것으로 판단된다.

양파 품종에 따른 병 발생 비교 실험은 포자 농도 1×10^5 conidia/g의 이병토를 제조하여 포트에 옮겨 담고, 양파 품종별로 각 포트에 55립씩 심어 14일 뒤 유묘의 생존율과 생존한 유묘의 초장을 측정하여 비교분석하였다. 유묘의 상대적 생존율(%)과 초장(%)은 포자를 처리하지 않은 무처리구에 비교하여 상대적으로 측정하였는데, 각각 처리구의 평균 생존율 / 무처리구의 평균 생존율 × 100과 처리구의 평균 초장 / 무처리구의 평균 초장 × 100의 계산식을 이용하여 측정하였다. 유묘의 상대적 생존율과 초장은 100%에 가까울수록 시들음병에 대한 저항성이 강한 것을 나타낸다. 시판 중인 10종류의 양파 품종에 대하여 시들음병 저항성 검정을 실시한 결과 상대적 생존율에서 품종 간 큰 차이가 있었다. 시들음병에 대해 가장 높은 저항성을 나타낸 품종은 '케이포스'로, 상대적 생존율과 초장 모두 각각 97.4%와 95.7%로 시들음병을 접종하지 않은 무처리구와 거의 차이가 없었다(Table 2). '선파워'는 20.0%의 상대적 생존율을 나타내어 실험에 사용한 품종 중에서 생존율이 가장 낮으며, '빅보스', '인터쿨러70', '카타마루'도 각각 36.1%, 46.4%, 32.6%로 다른 품종에 비해 낮은 상대적 생존율을 나타내었다. 상대적 초장 또한 '선파워', '빅보스', '인터쿨러', '카타마루' 품종 모두 50% 미만으로 다른 품종에 비해 낮은 것으로 확인되었다. 상대적 생존율이 '선파워'와 약 2.3배 차이 나는 인터쿨러70이 '선파워'와 상대적 초장에서는 통계적으로 유의성이 없는 것을 확인할 수 있었는데, 이러한 결과를 보았을 때 상대적 생존율을 통한 양파 저항성 검정 방법이 상대적 초장을 이용하는 방법보다 분별력 있는 저항성 검정 방법이 될 것이라고 사료된다. 저항성 품종의 사용은 종합적 병해충 관리(integrated pest management)의 중요한 부분이며, 특히 토양 전염성 병원균인 *F. oxysporum*에 의한 양파 시들음병에 효과적인 대처법이 될 것이다(Taylor 등, 2013). 양파의 시들음병에 대한 저항성 기작은 아직까지 확실히 밝혀지지 않았지만, single dominant gene, cytoplasmic genes, two partially dominant genes, multiple genes 등의 유전이 시들음병에 대한 저항성에 관여하는 것으로 알려져 있다(Cramer 등, 2021). 본 연구에서 시들음병에 대해 가장 높은 저항성을 나타낸 품종은 '케이포스'였는데, 이러한 저항성에 관여하는 기작을 밝히기 위하여 분자적 연구가 필요할 것이다. 본 연구 결과는 기계정식 양파에서 문제시되는 양파 시들음병균 *F. oxysporum*에 대하여 양파 유묘단계에서 저항

Table 2. Relative seedling survival rates and heights of 10 onion cultivars against *Fusarium oxysporum* 19-385

Cultivar	Treatment	Relative seedling survival rate (%)	Relative seedling height (%)
Bigboss	FBR	36.1 e[a]	44.0 d
Geobukseon	FBR	75.6 b	61.0 c
Geumsongi	FBR	76.9 b	62.4 c
Haha	FBR	78.5 b	68.6 b
Hwangryongball	FBR	65.7 c	62.3 c
Intercooler70	FBR	46.4 d	48.5 d
Katamaru	FBR	32.6 e	44.6 d
K-force	FBR	97.4 a	95.7 a
Strikegold	FBR	67.3 c	68.6 b
Sunpower	FBR	20.0 f	48.7 d
Mean		60.4	59.6

FBR, Fusarium basal rot.
[a]Values are means calculated from three independent observations. Different letters in the same column are significantly different according to Duncan's multiple range test at $P<0.05$.

성을 검정하는 데 기여할 수 있을 것이고, 양파 구에서의 저항성 검정은 추후 연구를 통해 진행할 예정이다.

요 약

*Fusarium oxysporum*에 의해 발생하는 시들음병(Fusarium basal rot)은 양파 재배에서 발생하는 주요 병해 중 하나로 전 세계적으로 심각한 수량 손실을 일으키고 있다. 시들음병에 대한 저항성 품종을 사용하는 것은 시들음병 발생을 억제하고 화학 농약의 사용을 줄일 수 있는 가장 효율적인 방법으로 평가받고 있다. 본 연구는 양파 유묘를 활용한 효율적인 시들음병 저항성 검정법 개발을 위해 접종원 생산을 최적화하였고, 접종원 농도에 따른 병 발생 양상을 조사하여 이병토 제작을 위한 접종원의 최적 농도를 결정하였다. 위 실험 결과를 이용하여 1×10^5 conidia/g의 이병토에서 시판중인 양파 10개 품종의 시들음병 저항성 정도를 확인한 결과, '케이포스'가 97.4%의 상대적 생존율을 나타내어 저항성이 가장 강했고, '선파워'는 20.0%의 상대적 생존율을 나타내어 저항성이 가장 약했다. 본 실험 결과는 양파 유묘단계에서 시들음병에 대한 저항성을 검정하는데 기여할 수 있을 것이며, 추후 실험 결과를 바탕으로 양파 구에서의 저항성 검정이 필요할 것으로 사료된다.

Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgments

This work was carried out with the support of the Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ01667601), and supported by (2024) the RDA Fellowship Program of the National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

Abawi, G. S. and Lorbeer, J. W. 1972. Several aspects of the ecology and pathology of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae*. *Phytopathology* 62: 870-876.

Axelrood, P. E., Neumann, M., Trotter, D., Radley, R., Shrimpton, G. and Dennis, J. 1995. Seedborne *Fusarium* on Douglas-fir: pathogenicity and seed stratification method to decrease *Fusarium* contamination. *New For.* 9: 35-51.

Back, C.-G., Hwang, S.-K., Park, M. J., Kwon, Y.-S., Jung, H.-Y. and Park, J.-H. 2017. Phylogenetic analysis of downy mildew caused by *Peronospora destructor* and a method of detection by PCR. *Kor. J. Mycol.* 45: 386-393. (In Korean)

Brayford, D. 1996. *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae*. *Mycopathologia* 133: 39-40.

Chakraborty, A. J., Uddin, T. M., Matin Zidan, B. M. R., Mitra, S., Das, R., Nainu, F. et al. 2022. *Allium cepa*: a treasure of bioactive phytochemicals with prospective health benefits. *Evid. Based Complement. Altern. Med.* 2022: 4586318.

Cramer, C. S. 2000. Breeding and genetics of Fusarium basal rot resistance in onion. *Euphytica* 115: 159-166.

Cramer, C. S., Mandal, S., Sharma, S., Nourbakhsh, S. S., Goldman, I. and Guzman, I. 2021. Recent advances in onion genetic improvement. *Agronomy* 11: 482.

Fisher, N. L., Burgess, L. W., Toussoun, T. A. and Nelson, P. E. 1982. Carnation leaves as a substrate and for preserving cultures of *Fusarium* species. *Phytopathology* 72: 151-153.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2019. Onion Production. URL https://www.fao.org/faostat/en/ [24 August 2023].

Ghanbarzadeh, B., Mohammadi Goltapeh, E. and Safaie, N. 2014. Identification of *Fusarium* species causing basal rot of onion in East Azarbaijan province, Iran and evaluation of their virulence on onion bulbs and seedlings. *Arch. Phytopathol. Plant Prot.* 47:

1050-1062.

Haapalainen, M., Latvala, S., Kuivainen, E., Qiu, Y., Segerstedt, M. and Hannukkala, A. O. 2016. *Fusarium oxysporum, F. proliferatum* and *F. redolens* associated with basal rot of onion in Finland. *Plant Pathol.* 65: 1310-1320.

Karabulut, E. and Gökçe, A. F. 2022. Determination of resistance levels of some onion cultivars or inbreed lines with *Fusarium* testing at seedling stage. *HortiS* 39: 1-7.

Kim, H.-T., Park, S.-W., Choi, G.-J., Kim, J.-C. and Cho, K.-Y. 2002. Inhibitory effect of flusilazole on the spore formation of *Aspergillus niger* causing the onion black mold in vapour phase. *Res. Plant Dis.* 8: 124-130. (In Korean)

Krueger, S. K., Weinman, A. A. and Gabelman, W. H. 1989. Combining ability among inbred onions for resistance to Fusarium basal rot. *HortScience* 24: 1021-1023.

Labanska, M., van Amsterdam, S., Jenkins, S., Clarkson, J. P. and Covington, J. A. 2022. Preliminary studies on detection of Fusarium basal rot infection in onions and shallots using electronic nose. *Sensors* 22: 5453.

Lacy, M. L. and Roberts, D. L. 1982. Yields of onion cultivars in Midwestern organic soils infested with *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* and *Pyrenochaeta terrestris*. *Plant Dis.* 66: 1003-1006.

Le, D., Audenaert, K. and Haesaert, G. 2021. Fusarium basal rot: profile of an increasingly important disease in *Allium* spp. *Trop. Plant Pathol.* 46: 241-253.

Mahmood, N., Muazzam, M. A., Ahmad, M., Hussain, S. and Javed, W. 2021. Phytochemistry of *Allium cepa* L.(Onion): an overview of its nutritional and pharmacological importance. *Sci. Inq. Rev.* 5: 41-59.

Mandal, S. and Cramer, C. S. 2021. Improving Fusarium basal rot resistance of onion cultivars through artificial inoculation and selection of mature bulbs. *Horticulturae* 7: 168.

Özer, N., Köycü, N. D., Chilosi, G. and Magro, P. 2004. Resistance to Fusarium basal rot of onion in greenhouse and field and associated expression of antifungal compounds. *Phytoparasitica* 32: 388-394.

Park, S. Y., Lee, D. H., Chung, H. J. and Koh, Y. J. 1995. Gray mold neck rot of onion caused by *Botrytis allii* in Korea. *Plant Pathol. J.* 11: 348-352. (In Korean)

Ren, F., Perussello, C. A., Zhang, Z., Gaffney, M. T., Kerry, J. P. and Tiwari, B. K. 2018. Effect of agronomic practices and drying techniques on nutritional and quality parameters of onions (*Allium cepa* L.). *Dry. Technol.* 36: 435-447.

Retig, N., Kust, A. F. and Gabelman, W. H. 1970. Greenhouse and field tests for determining the resistance of onion lines to Fusarium basal rot. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 95: 422-424.

Shabir, I., Pandey, V. K., Dar, A. H., Pandiselvam, R., Manzoor, S., Mir, S. A. et al. 2022. Nutritional profile, phytochemical compounds, biological activities, and utilisation of onion peel for food applications: a review. *Sustainability* 14: 11958.

Sharma, S. and Cramer, C. S. 2023. Selection progress for resistance to Fusarium basal rot in short-day onions using artificial inoculation mature bulb screening. *Horticulturae* 9: 99.

Shin, J.-H., Lee, H.-K., Back, C.-G., Kang, S.-H., Han, J.-W., Lee, S.-C. et al. 2023. Identification of Fusarium basal rot pathogens of onion and evaluation of fungicides against the pathogens. *Mycobiology* 51: 264-272.

Slimestad, R., Fossen, T. and Vågen, I. M. 2007. Onions: a source of unique dietary flavonoids. *J. Agric. Food Chem.* 55: 10067-10080.

Snyder, W. C. and Hansen, H. N. 1947. Advantages of natural media and environments in the culture of fungi. *Phytopathology* 37: 420.

Statistics Korea (KOSTAT). 2021. Production of Barley, Garlic and Onions in 2021. URL http://kostat.go.kr/portal/eng/pressReleases/ [24 August 2023].

Straley, E., Colcol Marzu, J. and Havey, M. J. 2021. Genetic analyses of resistance to Fusarium basal rot in onion. *Horticulturae* 7: 538.

Taylor, A., Vagany, V., Barbara, D. J., Thomas, B., Pink, D. A. C., Jones, J. E. et al. 2013. Identification of differential resistance to six *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* isolates in commercial onion cultivars through the development of a rapid seedling assay. *Plant Pathol.* 62: 103-111.

Walker, J. C. and Tims, E. C. 1924. A Fusarium bulb rot of onion and the relation of environment to its development. *J. Agric. Res.* 28: 683-694.