

## 충북에서 사과 주요 토양병에 의한 고사율과 재배환경과의 상관관계

## Correlation between the Dieback Ratio and Cultivation Environment for Apple Orchards Infected by Soil-Borne Diseases in Chungbuk Province

이성희<sup>1</sup> · 권의석<sup>1</sup> · 신현만<sup>1</sup> · 김익제<sup>1</sup> · 남상영<sup>1</sup> · 홍의연<sup>1</sup> · 김대일<sup>2</sup> · 차재순<sup>2\*</sup><sup>1</sup>충청북도농업기술원 연구개발국, <sup>2</sup>충북대학교 농업생명환경대학Sung-Hee Lee<sup>1</sup>, Yeuseok Kwon<sup>1</sup>, Hyunman Shin<sup>1</sup>, Ik-Jei Kim<sup>1</sup>, Sang-Young Nam<sup>1</sup>, Eui Yon Hong<sup>1</sup>, Daeil Kim<sup>2</sup>, and Jae-Soon Cha<sup>2\*</sup>**\*Corresponding author**

Tel: +82-43-261-2554

Fax: +82-43-271-4414

E-mail: jscha@cbnu.ac.kr

<sup>1</sup>Bureau of Research & Development, Chungcheongbuk-do Agricultural Research & Extension Services, Cheongju 28130, Korea<sup>2</sup>College of Agriculture, Life & Environment Sciences, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

The previous study showed that die-back of apple trees caused by soil-borne diseases was significantly high in the apple orchards in Chungbuk province. The correlation between dieback ratio and cultivation environment in apple orchards infected by soil-borne diseases was investigated in this study. The dieback ratio of five orchards diseased by violet root rot and five places infected by white root rot showed significantly positive correlation with Ca content and available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> content in soil, respectively. Whereas, the dieback ratio of fourteen orchards diseased by *Phytophthora* root rot was not significant. Subgrouping of cultivation environment analysis showed that the slope degree of orchard and the number of fruit setting also affected the dieback ratio caused by violet root rot and Ca content in soil also affected the dieback ratio caused by white root rot. It showed that the slope degree, soil texture, Mg and Ca content affected the dieback ratio caused by *Phytophthora* root rot. These results can be applied to reduce die-back ratio by the modification cultivation environment for each soil-borne disease.

**Keywords:** Apple tree, Cultivation environment, Dieback, Root rot, Soil-borne diseases

Received October 17, 2016

Revised December 11, 2016

Accepted January 6, 2017

최근 충북에서 사과자주·흰날개무늬병, 역병 등 토양병에 의한 반복적인 사과나무 고사로 재배 농가의 경제적 손실이 심각한 수준이다(Lee 등, 2016). 이들 토양병원균에 감염되면 잎의 조기 황화와 낙엽이 되고 과일 비대도 정지한다. 또한 이듬해 엽수가 줄어들고 신초 및 결과지 생장이 불량해지는 등 빈가지 수가 증가하여 착과를 기대하기

어렵다. 이러한 지상부의 증상은 생리장애와 혼동하기 쉬워 그 원인을 빠르고 정확하게 알아내기 어렵다(Lee 등, 1995). 또한 병이 많이 진전이 되어 병징이 뚜렷해질 시기에 근권부의 부패가 심하여 방제 시기를 놓치게 되고 결국 고사하게 된다(Lee 등, 2009). 더욱이 이병된 뿌리를 완전히 제거하지 못하기 때문에 토양 내 수분 및 설치류를 통한 병 확산으로 해당 사과원에서는 방제에 커다란 어려움을 겪고 있는 실정이다.

우리나라의 사과원에서 사과나무 토양병에 의한 고사

**Research in Plant Disease**

pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191

[www.online-rpd.org](http://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.

와 재배환경과의 상관관계에 대한 연구는 매우 드물다. Lee (1995)는 전국 사과 주산지를 중심으로 사과자주·흰날개무늬병에 대한 발생생태를 보고하였고, Lee (2002)는 사과 흰날개무늬병에 대한 발생생태를 보고한 바 있으며, Lee 등 (2016)은 기후 온난화와는 재배면적 증가 등의 영향으로 사과역병 증가를 보고하였으나 여전히 발생생태에 대한 연구는 미미한 실정이다.

따라서, 본 연구는 충북에서 사과 토양병(사과자주·흰날개무늬병 및 역병)에 의한 고사 실태 연구(Lee 등, 2016)를 바탕으로 고사율과 피해 사과원의 재배 방법, 재배 환경 및 토양 물리·화학적과의 상관관계를 파악하고자 하였다.

2013년부터 2015년까지 충북 청주, 충주, 제천, 영동, 진천, 괴산, 음성 등 도내 7개 시·군에서 토양병에 의해 필지당 사과나무가 10주 이상 고사한 사과원 24개소를 분석하였다. 식재주 수, 수령, 재식거리, 품종 및 대목 종류, 평균 착과량, 발병 최초 연도, 과원방향, 재식방향, 암거 설치 여부, 지목상 논인지 밭인지 등의 재배환경 조사는 농가와 문답식으로 수행하였다. 대목 종류는 자근과 이중 대목 구분 없이 M.9과 M.26로 나누었고 과원방향은 육안상 평지와 각 방향별로 구분하였다. 재식방향은 동서와 남북 방향으로 나누었다. 사과원의 고도는 Altitude application (version 2.06a9; PyGDroid)을 이용하였으며, 경사도는 육안상 평탄지(3% 미만), 완경사(3%~10%) 및 급경사(10% 이상)로 Lee 등(1995)의 방법으로 조사하였다. 피해 사과원의 토양 물리·화학적은 농촌진흥청 토양화학분석법(NAAS, 2010)과 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2000)에 준하여 분석된 흙토람(<http://soil.rda.go.kr>)의 자료를 활용하였다. 토양 물리성 중 표토는 사양토, 양토, 미사질양토로, 심토는 식양질과 사양질로, 유효토심은 얇음, 보통, 깊음으로 구분하였다. 또한 배수는 암거 설치 유무로, 지목은 논(꺾토 포함)과 밭(임야 포함)으로 나누었다. 토양 화학성은 pH, 유기물함량, 유효인산, 치환성 양이온인 칼륨, 칼슘, 마그네슘을 포함시켰다.

통계처리는 각각의 토양병에 의한 사과나무 고사율과 피해 사과원의 재배환경 및 토양 화학성과의 상관관계는 Microsoft Excel 2010 프로그램(Microsoft, Redmond, WA, USA)을 이용하여 유의성 5% 수준에서 상관 및 회귀 분석으로 수행하였다.

Lee 등(2016)에 의하면, 충북에서 발생한 토양병에 의해 사과나무가 고사한 피해 과원은 7개 지역의 피해 사과원 24개소에서 총 26,765주가 식재되어 있었고 고사주 수는 3,350주로 전체 고사율은 11.5%였다. 자주날개무늬병에 의한 피해 사과원은 5개소에서 1,085주가 고사하여 고사율

3.7%, 흰날개무늬병에 의한 피해 사과원은 5개소에서 250주가 고사하여 고사율 0.9%였으며, 역병에 의한 피해 사과원은 14개소에서 2,015주가 고사하여 고사율이 6.9%였다.

각 토양병에 의해 피해를 입은 사과원의 재배 방법과 환경 그리고 토양 물리·화학적을 조사하여 각 토양병에 의한 사과나무 고사율과의 상관관계를 분석하였다. 그 결과, 각각의 토양병에 의한 고사율과 피해 사과원 재배환경과의 상관관계는 Table 1과 같았다. 자주날개무늬병 피해 사과원 5개소는 토양 내 칼슘 함량과 유의성 있게 정의 상관관계를 보였고 흰날개무늬병 피해 사과원 5개소는 토양 내 유효인산 함량과 유의하게 정의 상관관계를 보였다. 반면에 역병 피해 사과원 14개소는 유의성이 없었다.

자주날개무늬병에 의한 고사율과 피해 사과원 재배환경을 세분화한 상관관계는 Table 2와 같았다. 비록 표본수가 5개로 적었으나, 사과나무 대목 M.9을 사용한 사과원에서는 고사율과 과원 경사도가 유의하게 정의 상관관계를 보였다. 심토가 식양토인 곳에서는 고사율과 착과수 및 토양 내 칼슘 함량이 유의성 있게 정의 상관관계를 보였다. 또한, 암거 배수관을 설치한 사과원 및 지목상 밭인 곳에서는 모두 고사율과 토양 내 칼슘 함량이 유의하게 정의 상관관계를 보였다. 그러나 사과원이 남향인 곳과 유효토심이 보통인 곳에서는 고사율과의 상관성은 없었다. Lee (1995)의 보

**Table 1.** Correlation coefficients between the dieback ratio and the cultivation properties in the apple orchards infected by each soil-borne disease (n=24)

Factors	The dieback ratio by each soil-borne disease		
	Violet root rot (n=5)	White root rot (n=5)	Phytophthora root rot (n=14)
Tree age	0.203	-0.526	-0.063
No. of planting trees	-0.424	-0.547	-0.345
Altitude	0.674	-0.701	0.029
Slope degree	-0.014	-0.418	-0.207
No. of fruit setting	0.472	-0.807	-0.150
In soil			
pH	-0.040	-0.262	0.135
O.M.	0.794	0.230	-0.186
Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.399	0.901*	-0.116
K	0.516	0.525	-0.160
Ca	0.924*	-0.184	0.278
Mg	-0.266	-0.394	0.086

O.M., organic matter; Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.  
\*P<0.05.

고처럼 왜화도가 높은 대목 사용, 야산 구릉지인 과원, 식양 토 및 수직배수가 불량한 과원에서 자주날개무늬병의 발병률이 높다는 것과 유사하였다. 이렇듯 왜화도가 높은 M.9 대목 사용에서 경사도가 심한 곳과 심토가 식양토인 곳에

서 착과수 증가는 수세 저하를 야기하므로 고사율이 높았을 것이라 생각한다. 토양 내 칼슘은 *Aphanomyces euteiches* Drechsler에서 난포자 형성 유도 및 난포자 수를 조절하는데 중요한 역할을 하고(Yokosawa 등, 1995), *Pythium* species

**Table 2.** Correlation coefficients between the dieback ratio and the cultivation properties under subgrouping in the apple orchards infected by violet root rot (n=5)

Factors	The dieback ratio by violet root rot					
	Root stock M.9 (n=3)	South direction of slope (n=3)	Clay loam of subsoil texture (n=3)	Underdrain (n=4)	Normally effective soil depth (n=4)	Upland on land category (n=5)
Tree age	-0.905	-0.142	0.183	0.392	0.024	0.203
No. of planting trees	-0.473	0.787	-0.733	-0.301	-0.503	-0.424
Altitude	0.709	0.386	0.949	0.607	0.721	0.674
Slope degree	1.000*	-0.071	0.836	-0.930	0.797	-0.014
No. of fruit setting	0.219	0.811	0.999*	0.402	0.584	0.472
In soil						
pH	-0.934	0.229	-0.956	0.743	-0.795	-0.040
O.M.	0.850	0.488	0.951	0.797	0.912	0.794
Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-0.689	0.617	-0.432	0.748	-0.232	0.399
K	0.917	-0.002	0.995	0.461	0.930	0.516
Ca	0.953	0.908	0.998*	0.952*	0.929	0.924*
Mg	-0.556	-0.892	-0.257	-0.171	-0.202	-0.266

O.M., organic matter; Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.  
\*P<0.05.

**Table 3.** Correlation coefficients between the dieback ratio and the cultivation properties under subgrouping in the apple orchards infected by white root rot (n=5)

Factors	The dieback ratio by white root rot				
	Root stock M.26 (n=5)	Sandy loam of surface soil texture (n=3)	No underdrain (n=3)	Normally effective soil depth (n=4)	Upland on land category (n=3)
Tree age	-0.526	-0.818	0.400	-0.656	0.400
No. of planting trees	-0.547	-0.664	-0.400	-0.383	-0.400
Altitude	-0.701	-0.886	0.031	-0.646	0.031
Slope degree	-0.418	-0.898	0.566	-0.669	0.566
No. of fruit setting	-0.807	-0.872	-0.410	-0.750	-0.410
In soil					
pH	-0.262	0.168	0.753	-0.740	0.753
O.M.	0.230	-0.564	-0.994	0.526	-0.994
Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.901*	0.878	0.883	0.876	0.883
K	0.525	0.499	0.540	0.380	0.540
Ca	-0.184	0.766	0.999*	-0.938	0.999*
Mg	-0.394	0.333	0.920	-0.841	0.920

O.M., organic matter; Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.  
\*P<0.05.

(Yang과 Mitchell, 1965)와 *Saprolegnia diclina* (McCann과 Stuart, 1973)에서 장난기 형성 및 *Phytophthora cactorum* (Elliott, 1972)과 *S. diclina* (Fletcher, 1979)에서 난포자 성숙에 필요하며, *S. diclina*에서는 유성기관 형성 과정에서 중요한 역할을 한다고 하였다(Fletcher, 1979). 또한 기주 식물의 병원력 인자의 활성이나 유전자 발현의 억제 또는 세포벽의 저항성 증대 등의 방법으로 다양한 병의 억제 효과를 이끌지만 (Yamazaki, 2001) 사과원의 토양에 충분한 칼슘이 있음에도 불구하고 사과 체내에 칼슘 결핍이 일어난다(Wilsdorf 등, 2012). 이렇듯 토양에 칼슘 시용은 수체 내 공급에 있어 비효과적이기 때문에 엽면 시비가 필요하다는 보고(Yamane, 2014)처럼 자주날개무늬병 피해 사과원 중, 심토가 식양토이거나 암거를 설치한 곳 또는 지목상 발인 곳에서는 토양 내 칼슘 시용을 줄여야 한다. 더불어, 엽면 시비를 통한 칼슘 공급은 토양 pH 상승 및 붕소 등 미량원소의 불용화를 경감시켜 수세를 좋게 하고 고사 피해를 줄일 수 있을 것이라 생각한다.

흰날개무늬병에 의한 고사율과 피해 사과원 재배환경을 세분화한 상관관계는 Table 3과 같았다. 표본수 5개에도 불구하고 M.26 대목을 사용한 사과원에서 토양 내 유효인산 함량과 유의하게 정의 상관관계를 보였고 암거를 설치하지 않은 곳과 지목상 발인 사과원에서 모두 고사율과 토양 내 칼슘 함량과 유의성 있게 정의 상관관계를 보였다. 하지만 표토가 사양토인 곳과 유효토심이 보통인 사과원에서는 고사율과의 상관성은 없었다. 이는 수직배수가 불량한 과원에서 발병률이 높았다는 것(Lee, 1995)과 평탄지와 구릉지 간에는 차이가 없었다는 것(Lee, 2002), 양토와 사양토에서 발병률이 많았다는 보고와 유사하였다. 그러나 Lee (1995)가 보고한 대목 종류와 상관 없이 10년 이상의 노후 과원과 높은 토양 pH에서 자주·흰날개무늬병 피해가 심하였다는 것과는 차이가 있었다. Aoki와 Shimodaira (1959)는 토양 내 인산 공급원으로써  $K_2HPO_4$ 는 자주날개무늬병균의 균사두께를 증가시키는 반면에 흰날개무늬병균의 균사생장을 촉진한다고 보고하였다. 이처럼 흰날개무늬병 피해 사과원 중, M.26 대목을 사용한 곳에서는 토양 내 인산 시용을 줄여야 한다고 생각한다. 더불어, 암거를 설치하지 않았거나 지목상 발인 곳은 자주날개무늬병 피해 사과원처럼 엽면시비를 통한 칼슘 공급이 고사율 경감에 효과가 있을 것이라 생각한다.

사과역병에 의한 고사율과 피해 사과원 재배환경을 세분화한 상관관계는 Table 4와 같았다. 피해 사과원 14개소 모두 M.26 대목을 사용하였는데, 고사율과의 상관성을 보

인 요인은 없었다. 경사가 있는 곳에서는 고사율과 상관관계를 보이지 않은 반면, 육안상 평지인 곳은 고사율과 토양 내 마그네슘 함량이 고도의 정의 상관관계를 보였다. 또한, 표토가 사양토 및 양토인 곳과 심토가 사양토인 곳에서는 상관성이 없었지만, 표토가 미사질양토인 과원과 심토가 식양토인 과원에서는 고사율과 토양 내 마그네슘 함량이 고도의 정의 상관관계를 보였다. 암거를 설치하지 않은 곳에 대한 고사율과 요인과의 상관관계는 보이지 않았지만 암거를 설치한 곳에서는 고사율과 토양 내 칼슘 함량이 유의성 있게 부의 상관관계를 보였다. 유효토심이 깊은 피해 과원에 대한 고사율과 요인과의 상관관계는 없었다. 논과 밭 구분 없이 역병이 발생하였으나, 논에 대해서만 고사율과 토양 내 마그네슘 함량이 고도의 정의 상관관계를 보였다. 역병에 의한 피해 사과원 모두 저항성인 약한 M.26 대목을 이용하였다. 이는 대목별 역병 저항성 정도가  $M.9 > \text{Mark} > M.26 > \text{MM.106}$  순인 것(RDA, 2003)과 Jee 등(1997)이 보고한 M.9과 M.26 대목을 사용한 후지 품종에서 심하게 발생한다는 것과 유사하였다. 역병 피해 사과원 중 암거를 설치한 곳에서 고사율과 토양 내 칼슘 함량과 유의하게 부의 상관관계를 보임에 따라 토양 내 칼슘 시용을 늘려야 한다고 생각한다. 한편, 마그네슘은 세균성무름병균과 같은 펙틴 분해효소에 대해 조직의 저항성을 증가시키지만 마그네슘 고농도는 칼슘 흡수를 방해하고 병 발생을 증가시킨다(Huber와 Jones, 2013)고 하였고, Koohakan 등(2002)은 토마토 모잘록병균(*Pythium aphanidermatum*)의 유주자 방출을 50% 억제하는 칼슘과 마그네슘의 농도는 각각 168 mg/l와 171 mg/l였다고 보고하였다. 균류의 포자낭 발아는 유기화합물보다는 무기이온이 필수적인데, pH 8.0에서 0.3 mM의 낮은 농도의 칼슘 및 마그네슘 이온은 *Phytophthora infestans*의 포자낭 발아에 매우 효과적이고 칼륨과 나트륨 이온은 농도에 상관없이 효과적이지 않으며, 나트륨 이온을 제외한 칼륨, 마그네슘, 칼슘 이온이 10 mM 이상에서는 포자낭 발아를 억제한다고 하였다(Sato, 1994). Gisi 등(1977)은 *P. cactorum*의 포자낭 발아를 완전히 억제하는 무기염 농도는 4 mM  $CaCl_2$ , 1.7 mM  $MgCl_2$ , 12.5 mM KCl이었다고 하였다. Jee 등(2000)은 화학비료 과용이나 미숙 퇴비의 사용은 염류 집적 등의 유해물질로 인해 잔뿌리가 손상되어 상처를 조장하고 역병 발생을 야기한다고 보고하였다. 역병 피해 과원 중 경사가 육안상 평지인 곳, 표토가 미사질 양토인 곳, 심토가 식양토인 곳 또는 지목상 논인 곳에서 고사율과 토양 내 마그네슘 함량과 유의하게 정의 상관관계를 보임에 따라 마그네슘 시용을 줄인다면 칼슘 흡수가 촉진되어

**Table 4.** Correlation coefficients between the dieback ratio and the cultivation properties under subgrouping in the apple orchards infected by *Phytophthora* root rot (n=14)

Factors	The dieback ratio by <i>Phytophthora</i> root rot																
	Slope direction				Surface soil texture			Subsoil texture			Underdrain		Effective soil depth			Land category	
	Root stock M.26 (n=14)	South (n=4)	West (n=4)	flatland (n=4)	Sandy loam (n=5)	Loam (n=3)	Silt loam (n=5)	Sandy loam (n=7)	Clay loam (n=6)	Yes (n=4)	No (n=10)	Deep (n=10)	Normal (n=3)	Upland (n=7)	Lowland (n=7)		
Tree age	-0.055	-0.142	-0.813	-0.229	-0.029	0.583	-0.147	0.059	-0.172	-0.192	0.002	0.126	0.469	0.036	-0.318		
No. of planting trees	-0.258	0.787	-0.696	0.889	-0.813	-0.984	-0.301	-0.533	-0.091	-0.156	-0.395	-0.229	-0.991	-0.534	-0.138		
Altitude	-0.049	0.386	-0.216	0.227	0.194	0.382	-0.212	0.226	-0.223	-0.656	0.201	0.114	-0.347	0.017	0.051		
Slope degree	-0.261	-0.071	0.113	-0.410	-0.320	0.899	0.217	-0.217	0.234	0.794	-0.201	-0.241	0.892	-0.361	0.386		
No. of fruit setting	-0.053	0.811	-0.202	0.050	-0.353	0.576	0.300	-0.280	0.201	0.613	-0.226	-0.138	0.539	-0.284	0.192		
In soil																	
pH	0.067	0.229	0.751	-0.115	0.139	0.323	-0.176	0.444	-0.197	-0.434	0.302	0.043	0.321	0.392	-0.083		
O.M.	-0.217	0.488	0.531	-0.346	-0.389	-0.888	0.354	-0.406	0.354	0.420	-0.330	-0.279	-0.908	-0.432	0.158		
Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-0.307	0.617	0.352	-0.454	0.372	0.552	-0.718	0.314	-0.709	-0.623	0.023	-0.151	0.253	0.222	-0.460		
K	-0.202	-0.002	-0.434	-0.055	0.081	0.606	-0.653	0.010	-0.604	-0.543	-0.078	-0.074	0.260	-0.220	-0.096		
Ca	0.314	0.908	0.392	0.948	-0.261	0.668	0.663	-0.112	0.658	-0.982*	0.373	0.273	0.416	-0.286	0.714		
Mg	0.107	-0.892	0.782	0.995**	-0.380	0.706	0.995***	-0.054	0.994***	0.731	0.078	0.063	0.567	-0.200	0.887**		

O.M., organic matter; Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

\*P<0.05, \*\*P<0.01, \*\*\*P<0.001.

역병 피해가 경감될 수 있다고 생각한다.

향후, 토양병에 의한 사과나무 고사율과 재배 방법, 재배 환경 및 토양 물리·화학성과의 상관관계는 더 많은 표본수를 위해 전국을 대상으로 조사와 분석이 필요하다. 이를 통해 토양병 피해 사과원에 대해, 기존의 관행 재배를 벗어난 맞춤형 재배법으로 그 피해를 최소화할 수 있을 것이라 판단한다.

## 요 약

이전 연구에서 충북지방의 사과과수원에서 토양병에 의한 사과나무 고사율이 매우 높게 나타났다. 본 연구에서는 토양병에 의한 사과나무 고사율과 재배환경과의 상관관계를 조사하였다. 자주날개무늬병에 의한 사과나무 고사율은 토양 내 칼슘 함량과 유의하게 정의 상관관계를 보였고, 흰날개무늬병에 의한 사과나무 고사율은 토양 내 유효인산 함량과 유의하게 정의 상관관계를 보였다. 반면에 역병 피해 사과원 14개소에서는 사과나무 고사율과 재배환경과는 유의성 있는 상관관계가 없었다. 세분화한 재배환경과의 상관관계 분석결과는 토양 내 칼슘함량 외에 과원 경사도와 착과수가 자주날개무늬병에 의한 고사율에 영향을 미쳤고, 토양 내 유효인산 함량 외에 칼슘 함량이 흰날개무늬병에 의한 고사율에 영향을 미쳤다. 과원 경사도, 토성, 마그네슘과 칼슘 함량이 사과역병에 의한 고사율에 영향을 주었다. 이 결과는 사과과원의 재배법 변경에 의해 토양병에 의한 사과나무 고사율을 감소시키는 데 적용 가능할 것이다.

## Conflicts of Interest

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

## Acknowledgement

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development" (Project No. PJ010014052016) Rural Development Administration, Republic of Korea as well as Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (IPET) through (Agri-Bioindustry Technology Development Program), funded by Ministry of Agricul-

ture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (Grant No. 315003-05-2-HD060).

## References

- Aoki, J. and Shimodaira, M. 1959. Studies on the root rot of mulberry trees, caused by *Helicobasidium Mompa* TANAKA and *Rosellinia necatrix* (HARTIG) BERLÉSE. (II) Influence of carbon, nitrogen source and phosphate on the growth of two causal fungi. *J. Seric. Sci. Jpn.* 28: 125-129.
- Elliott, C. G. 1972. Calcium chloride and growth and reproduction of *Phytophthora cactorum*. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 58: 169-172.
- Fletcher, J. 1979. An ultrastructural investigation into the role of calcium in oospore-initial development in *Saprolegnia diclina*. *J. Gen. Microbiol.* 113: 315-326.
- Gisi, U., Oertli, J. J. and Schwinn, F. J. 1977. Wasser- und Salzbeziehungen der Sporangien von *Phytophthora cactorum* (Leb. et Cohn) Schroet. in vitro. *J. Phytopathol.* 89: 261-284.
- Huber, D. M. and Jones, J. B. 2013. The role of magnesium in plant disease. *Plant Soil* 368: 73-85.
- Jee, H. J., Cho, W. D. and Kim, C. H. 2000. *Phytophthora* diseases in Korea. Rural Development Administration, Suwon, Korea. 226 pp.
- Jee, H. J., Cho, W. D. and Kim, W. G. 1997. *Phytophthora* diseases of apple in Korea: I. Occurrence of a destructive collar rot caused by *P. cactorum*. *Korean J. Plant Pathol.* 13: 139-144.
- Koohakan, P., Ikeda, H., Jaenaksorn, T., Tojo, M. and Kusakari, S. I. 2002. Effects of inorganic elements on the *in-vitro* growth of *Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitzp. *Microbes Environ.* 17: 91-97.
- Lee, D. H. 2002. Etiology and ecology of apple white root rot, caused by *Rosellinia necatrix* and its biological control. Ph.D. thesis. Kyungpook National University, Daegu, Korea.
- Lee, D. H., Choi, K. H. and Uhm, J. Y. 2009. Cytochalasin E production by *Rosellinia necatrix* and its pathogenicity on apple. *Res. Plant Dis.* 15: 46-50. (In Korean)
- Lee, S. B. 1995. Etiology and epidemiology of white- and violet-root rot caused by *Rosellinia necatrix* and *Helicobasidium mompa* on apple tree and their control in Korea. Ph.D. thesis. Chungbuk National University, Cheongju, Korea.
- Lee, S. B., Chung, B. K., Jang, H. I., Kim, K. H. and Choi, Y. M. 1995. Incidence of soil-borne diseases in apple orchards in Korea. *Korean J. Plant Pathol.* 11: 132-138. (In Korean)
- Lee, S. H., Kwon, Y., Shin, H., Kim, I. J., Nam, S. Y., Hong, E. Y., Kwon, S. I., Kim, D. and Cha, J. S. 2016. Dieback of apple tree by major soil borne diseases in Chungbuk province from 2013 to 2015. *Res. Plant Dis.* 22: 198-201. (In Korean)
- McCann, M. and Stuart, M. 1973. The effect of calcium on sexual reproduction in *Saprolegnia diclina*. *Proc. Soc. Gen. Microbiol.* 1: 33.
- [NAAS] National Academy of Agricultural Science. 2010. Method of soil chemical analysis. NAAS, Rural Development Administration, Jeonju, Korea.
- [NAIST] National Institute of Agricultural Science and Technology.

2000. Methods of soil and plant analysis. NIAST, Rural Development Administration, Jeonju, Korea.
- [RDA] Rural Development Administration. 2003. Apple Cultivation. 5th ed. RDA, Jeonju, Korea. 443 pp.
- Sato, N. 1994. Effect of some inorganic salts and hydrogen ion concentration on indirect germination of the sporangia of *Phytophthora infestans*. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 60: 441-447.
- Wilsdorf, R. E., Theron, K. I. and LÖTZE, E. 2012. Evaluating the effectiveness of different strategies for calcium application on the accumulation of calcium in apple (*Malus × domestica* Borkh. 'Braeburn') fruit. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 87: 565-570.
- Yamane, T. 2014. Foliar calcium applications for controlling fruit disorders and storage life in deciduous fruit trees. *Jpn. Agric. Res. Q.: JARQ* 48: 29-33.
- Yamazaki, H. 2001. Relation between resistance to bacterial wilt and calcium nutrition in tomato seedlings. *Jpn. Agric. Res. Q.: JARQ* 35: 163-169.
- Yang, C. Y.-D. and Mitchell, J. E. 1965. Cation effect on reproduction of *Pythium* spp. *Phytopathology* 55: 1127-1131.
- Yokosawa, R., Kuninaga, S., Sakushima, A. and Sekizaki, H. 1995. Induction of oospore formation of *Aphanomyces euteiches* Drechsler by calcium ion. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 61: 434-438.