

과산화수소를 이용한 새싹인삼의 뿌리썩음병 방제효과

Efficacy of Hydrogen Peroxide on Root Rot Disease of Ginseng Sprouts

*Corresponding author

Tel: +82-63-440-4229

E-mail: jongseoksong@kfe.re.kr

ORCID

<https://orcid.org/0000-0002-1900-7806>

<https://orcid.org/0000-0002-9557-1484>

송종석*^{ORCID} · 안금란^{ORCID} · 정선경

한국핵융합에너지연구원 플라즈마기술연구소

Jong-Seok Song*^{ORCID}, Geum Ran Ahn^{ORCID}, and Sunkyung Jung

Institute of Plasma Technology, Korea Institute of Fusion Energy, Gunsan 54004, Korea

Hydrogen peroxide is an eco-friendly oxidizing agent, which has exhibited a broad spectrum of antimicrobial activity without adverse environmental impact. This study was conducted to investigate the antifungal effect of hydrogen peroxide treatment against *Cylindrocarpon destructans*, and consequently to evaluate its control efficacy against root rot disease of 2-year-old ginseng plants. Hydrogen peroxide treatment strongly inhibited the viability of *C. destructans* conidia *in vitro*. The hydrogen peroxide at a concentration of 300 mg/l significantly reduced disease infection of the ginseng root when treated to spore suspension (10^7 conidia/ml). Spraying with 300 mg/l of hydrogen peroxide reduced the root rot disease of the ginseng sprouts by 15% compared to the untreated control at 14 days after the inoculation. However, 300 mg/l of hydrogen peroxide delayed the emergence of ginseng plants during sprouting under aeroponic conditions. Further works need to be done to provide an acceptable control efficacy of hydrogen peroxide against the disease and its good safety to ginseng plants.

Keywords: *Cylindrocarpon destructans*, Ginseng, Hydrogen peroxide, Plasma, Root rot

Received October 13, 2022

Revised October 31, 2022

Accepted October 31, 2022

서론

새싹인삼은 1-2년생 묘삼에서 싹을 틔워 약 14-30일 정도 재배되어 소비되는 신선채소로, 상토 또는 수경 재배과정에서 *Cylindrocarpon destructans* 등에 의해 뿌리썩음병이 주로 발생한다(Cho 등, 1995). 이 병은 연작지에서 채굴한 묘삼의 뿌리감염 때문에 인삼의 뿌리가 썩는 병징이 특징이며(Lee 등, 2020; Park 등, 2017; Seo 등, 2022), 병원균의 후막포자 형성으로 묘삼을 채굴한 이후에도 최소 10년 이상 생존이 가능한 것으로 알려져 지속적인 관리가 요구된다(Kang 등, 2007; Lee 등, 2020).

새싹인삼의 뿌리썩음병 방제는 재배특성 상 단기간 재배하여 수확하기 때문에 현실적으로 훈증제 등과 같은 농약을 사용하여 뿌리를 소독하는 것이 어려운데, 수확 이후에 잔류의 위험성이 커서 농약을 대체하는 방법이 요구되고 있다(Lee 등, 2014, 2018). 또한, 인삼의 뿌리썩음병 방제를 위한 미생물제제 개발이 시도되고 있는데, 뿌리썩음병원균에 대한 길항 미생물이 선발되었으나 여전히 제형 개발, 포장에서의 효과 검정 등의 연구가 필요한 것으로 알려졌다(Kim 등, 2020, 2022). 따라서, 기존 방법과는 달리 새싹인삼의 뿌리썩음병을 친환경적으로 손쉽게 방제할 수 있는 방법 개발이 요구된다. 과산화수소는 항진균 효과가 뛰어난 친환경 소독제로써, 잔류물이 없어 농산물 세척에도 널리 사용되어 왔고 식물병 방제 등의 연구에서 살균제로써 사용되고 있다(Ahn 등, 2021; Byun과 Choi, 2003; Cho 등, 2009).

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.

따라서 이 연구에서는 새싹인삼의 뿌리썩음병 방제를 위한 친환경 살균제로서 과산화수소의 가능성을 검토하고 플라즈마 기술개발의 기초자료로 활용하고자, 새싹인삼의 뿌리썩음병에 대한 과산화수소의 항진균효과와 묘삼소독 및 발병 억제 효과를 구명하였다.

재료 및 방법

과산화수소의 항진균 활성 검정. 과산화수소(hydrogen peroxide, 30%, Sigma, St. Louis, MO, USA)를 수돗물로 0, 3, 30, 300 mg/l으로 희석하여 농도를 조절한 용액 각 1 ml에, 국립농업과학원에서 분양받은 인삼 뿌리썩음병원균(*Cylindrocarpon destructans* KACC 41077)의 포자현탁액(1×10^7 conidia/ml)을 9 ml 혼합 후 10^{-3} 까지 희석하여 potato dextrose agar 배지(BD Difco, Detroit, MI, USA)에 0.1 ml를 분주하여 도말한 후 25°C 항온배양기에서 7일간 배양하면서 균총 형성 정도를 조사하였다. 이 실험은 3반복으로 수행하였다.

과산화수소의 2년생 묘삼 소독효과 검정. 과산화수소를 0, 30, 300 mg/l으로 희석하여 농도를 조절한 용액 각 1 ml에, 상기에 서술한 뿌리썩음병원균 포자현탁액(1×10^7 conidia/ml)을 9 ml 넣어 혼합한 다음, 이 용액을 2년생 묘삼에 10분 동안 침지 처리하여 접종한 후 25°C 항온배양기에서 7일간 배양하였다. 음성 대조군은 수돗물, 양성 대조군은 뿌리썩음병원균 포자현탁액을 사용하였다. 배양이 끝난 후 2년생 묘삼의 병 발생 수율을 조사하였다. 병 발생수율은 조사된 총 묘삼 중 감염된 개체수의 백분율로 표시하였다. 이 실험은 3반복(5개체/반복)으로 수행하였다.

과산화수소의 새싹인삼 뿌리썩음병 발생 억제효과 검정. 2년생 묘삼을 뿌리썩음병원균 포자현탁액(1×10^7 conidia/ml)에 10분 동안 침지 처리한 다음 분무수경시스템의 재배상에 재식한 뒤에 수돗물 또는 과산화수소 희석수(300 mg/l)을 분무처리하면서 14일에 걸쳐 생육시켰다. 분무조건은 분무압 5 kgf/cm², 분무량 28 ml/min, 분무시간 2 min/178 min (분무/정지)으로, 재배조건은 온도 20°C, 광주기 14시간 조건으로 설정하였다(Song 등, 2021). 희석수의 수중 과산화수소는 수돗물로 희석한 과산화수소 용액 5 ml를 분석키트(HS-H₂O₂ kit, Humas, Daejeon, Korea)를 사용하여 1분 동안 반응시킨 후 분광광도계(DR6000, Hach, Ames, IA, USA)로 실제농도를 측정하였다. 또한, 희석수의 pH와 electrical conductivity (EC)는 휴대용 측정기(Orion Star A325, Thermo Fisher Scientific, Seoul, Korea)

를 이용해서 측정하였으며, 희석수의 무기이온은 이온크로마토그래피(ICS-2100 & ICS-1600, Thermo Fisher Scientific)을 사용하여 음이온과 양이온을 각각 분석하였다.

재식 후 14일째 되는 날 새싹인삼 134주씩을 수확하여 식물체 생육과 뿌리썩음병 발생수율을 조사하였다. 병 발생수율은 조사된 총 식물체 중 감염된 개체수의 백분율로 표시하였다. 이 실험은 단반복으로 수행하였다.

통계분석. 모든 데이터는 분산분석(ANOVA) 및 Tukey의 honestly significant difference 검정을 통해 유의적 차이 여부를 평가하였다. 통계분석은 R 프로그램(version 3.6.2) (R Core Team, 2019)의 'agricolae' 패키지를 이용하여 수행되었다.

결 과

과산화수소의 항진균 활성 효과. 과산화수소의 뿌리썩음병 병원균에 대한 항진균 활성 효과를 알기 위해 과산화수소를 농도별로 희석하여 처리한 후 배지에 도말하여 25°C 항온배양기에서 7일간 배양한 결과, Fig. 1에서와 같이 과산화수소는 높은 항균 활성을 나타내었다. 모든 과산화수소 처리군에서 무처리군에 비해 항진균 활성 효과가 현저히 높았으며, 특히 과산화수소 300 mg/l의 농도에서 80% 이상의 효과를 나타내었다.

과산화수소의 2년생 묘삼 소독효과. 과산화수소의 2년생 묘삼 소독효과를 알기 위해 농도별로 과산화수소 처리된 포자현탁액에 묘삼을 침지하여 인위적으로 뿌리썩음병 병원균에 감

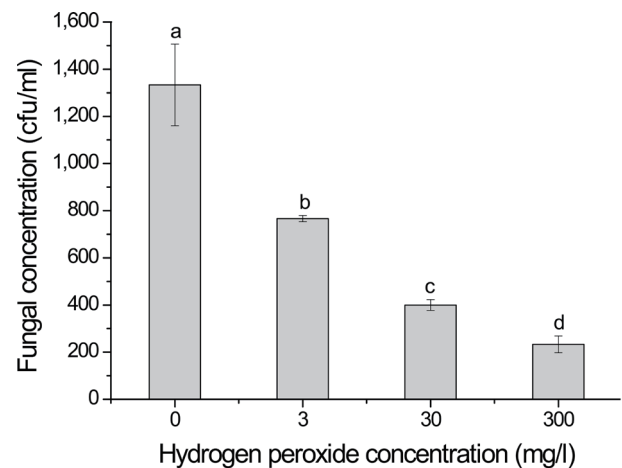


Fig. 1. Fungal concentration of *Cylindrocarpon destructans* in vitro, each treated with hydrogen peroxide at a range of 0 to 300 mg/l. The vertical bar represents the standard error of the mean. Means with different letters are significantly different by Tukey's test at $P=0.05$.

Table 1. The percentage of disease incidence in the ginseng root

Treatment ^a		Disease incidence (%)
H ₂ O ₂ (mg/l)	Infection (+, -)	
0	-	0 b ^b
0	+	80±11.5 a
30	+	80±11.5 a
300	+	20±11.5 b

H₂O₂, hydrogen peroxide.

^aGinseng root was inoculated with *Cylindrocarpon destructans* spore suspension (10⁷ conidia/ml) which was treated with H₂O₂ at a range of 0 to 300 mg/l.

^bMeans with different letters within a column are significantly different by Tukey's test at P=0.05. The error represents the standard error of the mean.

염시킨 묘삼의 병 발생 여부를 확인하였다. 7일간 배양 후 묘삼의 뿌리썩음병 발생수율을 조사한 결과, Table 1과 같이 과산화수소 처리는 30 mg/l에서 80%의 병 발생수율을 보여 소독효과가 거의 없었으나 300 mg/l에서 20%의 병 발생수율을 보여 높은 소독효과를 나타냈다.

과산화수소의 새싹인삼 뿌리썩음병 발생 억제효과. 과산화수소의 새싹인삼 뿌리썩음병 발생 억제효과를 알고자 인위적으로 뿌리썩음병 병원균에 감염시킨 묘삼에 수돗물 또는 과산화수소 희석수(300 mg/l)을 분무수경재배 중에 주기적으로 분무처리하여 새싹인삼의 뿌리썩음병 발생수율과 식물체 생육을 확인하였다. Table 2에서와 같이 14일에 걸쳐 분무처리한 수돗물과 과산화수소 희석수(300 mg/l)의 성분을 분석한 결과, 과산화수소 희석수는 약 300 mg/l의 과산화수소 농도를 유지하였고 수돗물에 비해 pH와 EC가 유의하게 높았다. 나머지 무기이온 농도는 수돗물에 비해 큰 차이가 없었다. 새싹인삼의 뿌리썩음병 발병 결과는 Table 3과 Fig. 2에서와 같이 과산화수소 희석수 처리에서

Table 3. Root-rot disease incidence and average biomass of ginseng plants at 14 days after planting, each sprayed with untreated TW and 300 mg/l of H₂O₂ up to 14 days

Treatment	Disease incidence (%)	Average biomass (g/plant)	
		Shoot	Root
TW	87.2	0.37±0.027 a ^a	0.82±0.045 a
H ₂ O ₂	72.1	0.24±0.016 b	0.83±0.035 a

TW, tap water; H₂O₂, hydrogen peroxide.

^aMeans with different letters within a column are significantly different by Tukey's test at P=0.05. The error represents the standard error of the mean.

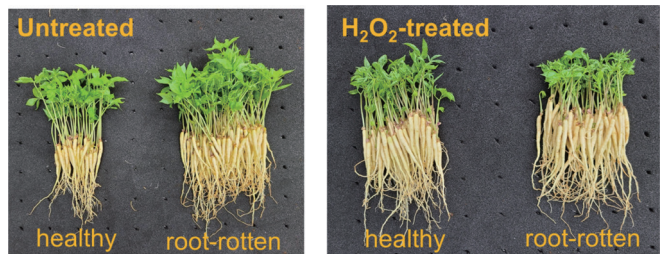


Fig. 2. A photograph of ginseng sprouts, each sprayed with untreated tap water and 300 mg/l of hydrogen peroxide (H₂O₂) for disease control up to 14 days.

수돗물에 비해 다소 미비한 발병 억제효과를 나타내었다. 수돗물의 경우 뿌리썩음병 발생수율이 87.2%인 반면에 과산화수소 희석수 처리의 병 발생수율이 72.1%이었다. 한편, 새싹인삼의 생육 결과는 과산화수소 희석수 처리에서 수돗물에 비해 약 35% 정도의 지상부 생육저하 현상을 나타내었다. 따라서, 과산화수소 희석수(300 mg/l)를 14일에 걸쳐 분무한 결과, 새싹인삼의 뿌리썩음병 발생이 약 15% 감소한 것을 확인하였으나 동시에 지상부 생육이 다소 부진한 것을 확인하였다.

Table 2. Ion concentration of H₂O₂ solution used in the aeroponic system as compared with TW

Treatment	EC (dS/m)	pH	H ₂ O ₂ (mg/l)	Anion (mg/l)			Cation (mg/l)			
				NO ₃	SO ₄	Cl	K	Ca	Mg	Na
TW	0.119±0.0004 b ^a	7.6±0.14 b	0.0 b	4.7±0.03 a	6.4±0.07 a	12.3±0.04 a	1.9±0.02 a	9.5±0.03 a	1.9±0.01 a	7.6±0.15 a
H ₂ O ₂	0.128±0.0015 a	8.5±0.09 a	355.0±34.07 a	5.1±0.28 a	6.4±0.08 a	12.4±0.08 a	2.0±0.03 a	8.9±0.19 a	2.0±0.09 a	7.6±0.09 a

H₂O₂, hydrogen peroxide; TW, tap water; EC, electrical conductivity.

^aMeans with different letters within a column are significantly different by Tukey's test at P=0.05. The error represents the standard error of the mean.

고 찰

인삼의 뿌리썩음병은 대표적인 전염병으로 훈증제 등과 같은 농약을 사용하여 묘삼을 소독하는 것으로 방제를 해왔으나, 새싹인삼의 청정재배에 대한 소비자의 요구가 증대됨에 따라 뿌리썩음병의 친환경 방제를 위한 방법의 개발이 요구되고 있다. 과산화수소는 그 자체로 산화력이 높을 뿐만 아니라 분해되면서 생기는 활성산소가 강한 산화제로 작용하는데, 과산화수소는 세균, 곰팡이 등에 폭넓게 항균효과가 입증되어 오래전부터 각종 소독제로서 널리 사용되어 왔다(Byun과 Choi, 2003). 이 연구에서 과산화수소는 300 mg/l 농도에서 뿌리썩음병원균 *C. destructans*에 대한 항진균 활성을 보이며(Table 1, Fig. 1) 새싹인삼의 뿌리썩음병 발생을 15% 억제하였지만, 생육 저하가 눈에 나타나 묘삼의 출아나 유묘 생장에 부정적인 영향을 미쳤다(Table 3, Fig. 2). Ahn 등(2021)은 과산화수소를 처리한 작물의 유묘 생장 부진이 과산화수소의 산화력 등의 직접적인 영향이라고 보고하고 있다. 과산화수소의 처리농도가 높을수록 처리시간이 길수록 살균효과가 높다는 보고가 있지만(Ali, 2018; Byun과 Choi, 2003; Cho 등, 2009), 과산화수소 처리에서 생육 부진 등 식물의 생장 측면에서 장애가 나타나기 때문에 과산화수소의 처리농도와 처리시간을 높여서 살균효과를 증가시키는 방안은 기대하기 어렵다. 또한 분무수경재배 조건에서 새싹인삼에 처리한 과산화수소 희석수의 뿌리썩음병 억제효과가 높지 않았던 이유는 분무처리한 과산화수소가 햇빛에 노출되는 분무수경재배 시스템의 특성에서 찾을 수 있다. Kim 등(1997)에 따르면 과산화수소가 광분해 되어 살균작용을 지속하는데 있어 불리한 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 한편, Abdel-Monaim 등(2012)은 병원균에 대한 식물의 저항성 반응을 유도하기 위해서 과산화수소를 사용하였는데, 토마토 유묘에 과산화수소 희석수(200 mg/l)를 처리한 결과 토양병원균 *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *Rhizoctonia solani*가 일으키는 마름병 또는 뿌리썩음병을 현저히 감소시키는 효과뿐만 아니라 생육을 증진시키는 부가적인 효과를 보고하였다. 따라서, 과산화수소의 직접적인 살균효과 외에도 식물병 저항성을 유도하는 간접적인 효과를 기대할 수 있기 때문에 새싹인삼 재배에 과산화수소를 적용하는 방식을 보다 다양한 조건에서 추가 연구가 수행되어야 할 필요가 있다.

요 약

새싹인삼의 뿌리썩음병 억제제로서 과산화수소의 활용 가능성을 구명하고자 항진균 활성효과와 묘삼 소독효과를 연구

한 결과, 과산화수소는 300 mg/l의 농도에서 1×10^7 conidia/ml 농도의 *Cylindrocarpon destructans* 균총을 80% 이상 억제시켜 항진균 활성을 나타내었고 인위적으로 병원균에 감염시킨 묘삼의 유병율을 20% 이하로 억제시켜 소독효과가 매우 높았다. 결과적으로 과산화수소 희석수 300 mg/l를 14일에 걸쳐 분무 처리하였을 때, 인위적으로 병원균에 감염된 새싹인삼의 뿌리썩음병 발생수율이 72.1%로 무처리의 발생수율 87.2%에 비해 다소 억제되었다. 그러나, 과산화수소의 주기적인 살포가 새싹인삼의 생육 부진을 다소 유발하였다. 추가 연구로서 뿌리썩음병의 방제에 효과적이고 새싹인삼에 안전한 과산화수소의 처리방법 개발이 요구되었다.

Conflicts of Interest

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

Acknowledgments

This research was supported by R&D Program of 'Plasma Advanced Technology for Agriculture and Food (Plasma Farming, Project No. 1711124797)' through the Korea Institute of Fusion Energy (KFE) funded by the Government funds, Republic of Korea.

References

- Abdel-Monaim, M. F., Abdel-Gaid, M. A.-W. and Armanious, H. A. H. 2012. Effect of chemical inducers on root rot and wilt diseases, yield and quality of tomato. *Int. J. Agric. Sci.* 2: 210-220.
- Ahn, Y. H., Noh S. W., Do, J. W. and Park, J. S. 2021. Changes in the growth and bioactive compounds content of lettuce soaked in plasma activated water and hydrogen peroxide dilution water. *J. Bio-Environ. Control* 30: 118-125. (In Korean)
- Ali, A. A. M. 2018. Role of hydrogen peroxide in management of root rot and wilt disease of thyme plant. *J. Phytopathol. Pest Manag.* 5: 1-13.
- Byun, H.-J. and Choi, S.-J. 2003. Suppression of post-harvest grey mold rot incidence in strawberry by field application of hydrogen peroxide. *J. Korean Soc. Hortic. Sci.* 44: 859-862. (In Korean)
- Cho, D.-H., Park, K.-J., Yu, Y.-H., Ohh, S.-H. and Lee, H.-S. 1995. Root-rot development of 2-year old ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) caused by *Cylindrocarpon destructans* (Zinssm). Scholten in the continuous cultivation field. *Korean J. Ginseng Sci.* 19: 175-180. (In Korean)
- Cho, I.-H., Lee, W.-M., Kwan, K.-B., Woo, Y.-H. and Lee, K.-H. 2009. Sta-

- ble production technique of paprika (*Capsicum annuum* L.) by hydrogen peroxide treatment at summer. *J. Bio-Environ. Control* 18: 297-301. (In Korean)
- Kang, S. W., Yeon, B. Y., Hyeon, G. S., Bae, Y. S., Lee, S. W. and Seong, N. S. 2007. Changes of soil chemical properties and root injury ration by progress years of post-harvest in continuous cropping soils of ginseng. *Korean J. Med. Crop Sci.* 15: 157-161. (In Korean)
- Kim, D., Li, T., Lee, J. and Lee, S.-H. 2022. Biological efficacy of endophytic *Bacillus velezensis* CH-15 from ginseng against ginseng root rot pathogens. *Res. Plant Dis.* 28: 19-25. (In Korean)
- Kim, E.-H., Kim, Y.-H., Chung, D.-Y., Yoo, J.-H. and Choi, C.-S. 1997. Effect of H₂O₂ on photodestruction of oxalic acid. *Hwahak Konghak* 35: 440-444. (In Korean)
- Kim, S.-H., Kim, D.-R. and Kwak, Y.-S. 2020. Isolation and characterization of beneficial microbe against ginseng root rot pathogens. *Korean J. Pestic. Sci.* 24: 296-303. (In Korean)
- Lee, S. W., Lee, S. H., Park, K. H., Jang, I. B., Jin, M. L. and Kim, K. H. 2014. Effect of irrigation of sulfur solution before sowing on growth and root rot disease of seedling in ginseng nursery. *Korean J. Med. Crop Sci.* 22: 391-397. (In Korean)
- Lee, S. W., Lee, S. H., Seo, M. W., Jang, I. B., Jang, I. B., Yu, J. et al. 2018. Effect of soil fumigation and maize cultivation on reduction of replant failure in ginseng. *Korean J. Med. Crop Sci.* 26: 248-253. (In Korean)
- Lee, S. W., Lee, S. H., Seo, M. W., Jang, I. B., Kwon, R. Y. and Heo, H. J. 2020. Soil chemical properties, microbial community and ginseng root rot in suppressive and conducive soil related injury to continuously cropped ginseng. *Korean J. Med. Crop Sci.* 28: 142-151. (In Korean)
- Park, H. W., Song, J. H., Kwon, K. B., Lee, U. H. and Son H. J. 2017. Growth characteristics of ginseng seedling transplanting by self soil nursery, nursery or hydroponic culture on main field. *Korean J. Med. Crop Sci.* 25: 238-243. (In Korean)
- R Core Team. 2019. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Seo, M. W., Hong, J. E., Kwon, N. Y., Lee, S. W., Kim, S. K. and Lee, S. H. 2022. Disease occurrence status in ginseng cultivation fields caused by pathogens of ginseng root rot in South Korea. *Korean J. Med. Crop Sci.* 30: 31-39. (In Korean)
- Song, J.-S., Jung, S., Jee, S., Yoon, J. W., Byun, Y. S., Park, S. et al. 2021. Growth and bioactive phytochemicals of *Panax ginseng* sprouts grown in an aeroponic system using plasma-treated water as the nitrogen source. *Sci. Rep.* 11: 2924.