

수지상균근균이 인삼 (*Panax ginseng* C. A. Mey.)의 생장에 미치는 영향

길이종 · 어주경 · 엄안흠*

한국교원대학교 생물교육과

Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth of Korean Ginseng (*Panax ginseng* C. A. Mey.) Seedlings

Yi-Jong Kil, Ju-Kyeong Eo and Ahn-Heum Eom*

Department of Biology Education, Korea National University of Education, Chungbuk, 363-791, Republic of Korea

ABSTRACT: The purpose of this study was to investigate effects of inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on growth of Korean ginseng (*Panax ginseng* C. A. Mey.) seedlings. Five species of AMF (*Glomus mosseae*, *Glomus intraradices*, *Glomus etunicatum*, *Acaulospora longula*, *Acaulospora trapeei*) were inoculated to ginseng seedlings at 60 days after ginseng seed germination. Dry weights, heights of the plants and chlorophyll fluorescence were measured at 120 days after inoculation of AMF. Dry weights and shoot heights were increased in seedlings inoculated with AMF compared to the controls without AMF. However, chlorophyll fluorescence of seedlings with AMF showed no significant difference compared to the control.

KEYWORDS: AMF, Chlorophyll fluorescence, Dry weight, Growth, *Panax ginseng*.

서론

인삼(*Panax ginseng* C. A. Mey.)은 대표적인 고부가가치 작물로서 현재 남한지역에서는 충청남도 금산을 중심으로 경상북도 풍기에 이르기까지 그 재배면적이 점점 확대되고 있는 추세에 있다. 분류학적으로는 두릅나무과 인삼속에 속하는 식물로 전 세계적으로 약 9종이 존재하며(Lee, 1985), 그 중에서도 인삼이 그 약효면에서 매우 탁월한 것으로 알려져 있다.

Glomeromycota 문에 속하는 수지상균근균은 대부분의 육상식물과 상리공생관계를 이루고 있으며 이 균은 식물로부터 광합성 산물을 얻는 대신에 식물에게 주로 인산과 같은 토양 내 무기 양분을 제공하여 식물의 생장을 돕는 것으로 알려져 있다. 또한 이 균은 불리한 환경에서도 식물이 생장할 수 있도록 돕는 것으로 알려져 있는데 특히 중금속, 염분, 건조, 병원균에 대한 저항성을 증가시킨다. 일반적으로 이 균은 숙주 식물의 범위가 상당히 넓어 숙주 특이성은 보이지 않는 것으로 알려져 있다. 그러나 다른 종의 수지상균근균은 식물의 생장에 다른 효과를 나타내는 연구결과로부터 수지상균근을 농업에 활용할 경우, 특정 기주 식물에 대해 효과적인 균근균을 선택해서 접종할 필요성이 있다는 것을 나타낸다.

우리나라에서 인삼의 균근에 대한 연구는 빈약한 실정이며 초기의 주변 토양에서 수지상균근균을 관찰하던 연구에서부터 인삼과 수지상균근균과의 공생관계에 대한 분자적인 확인뿐만 아니라 인삼의 2차 대사산물의 분석에 이르기까지 다양한 수준에서 이루어지고 있다(Eo and Eom, 2009b; Eom et al., 2004; Lee et al., 2006). 그러나 균근이 감염되지 않은 인삼의 뿌리를 이용한 통제된 환경에서 다양한 종의 균근균을 접종하여 인삼과 수지상균근균 사이의 공생관계를 규명하고자 시도된 연구는 이루어지지 않

Kor. J. Mycol. 2013 June 41(2): 81-84
<http://dx.doi.org/10.4489/KJM.2013.41.2.81>
 pISSN 0253-651X
 ©The Korean Society of Mycology

*Corresponding author
 E-mail : eomah@knue.ac.kr

Received March 3, 2013
 Revised May 6, 2013
 Accepted May 22, 2013

Ⓢ This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

았다. 따라서 이들 간의 관계를 파악하기 위해 본 연구에서는 인삼의 종자를 받아서킨 후 어린 인삼묘의 뿌리에 균근균을 접종시킨 후 인삼의 생장 및 광합성을 측정하여 수지상균근균이 인삼의 생장에 미치는 효과를 분석하였다.

총 5종의 수지상균근균(*Glomus mosseae*, *Glomus intraradices*, *Glomus etunicatum*, *Acaulospora longula*, *Archaeospora trappei*)을 인삼의 뿌리에 접종하여 생장효과를 측정하였다. 수지상균근균 포자를 순수배양 중인 토양에서 100개 추출하여 0.05% tween20 solution으로 세척하고, 2% chloramine T solution으로 10분간 처리한 후, 멸균수로 2~3회 씻어내어 표면 살균하였다(Becard and Fortin, 1988). 멸균 모래(121°C, 60분)에서 수수(*Sorghum bicolor*) 씨앗을 받아서켜 지상부가 약 5 cm가 될 때까지 키운 후, 표면살균된 포자를 접종시켰다(Brundrett and Abbott, 1995). 수수는 멸균모래가 담겨 있는 콘형 포트(Stuwe and Sons, USA. 깊이 21 cm, 지름 3.8 cm, 부피 164 mL)에 이식하여 순수 배양실에서 4개월 동안 배양하였다. 배양 기간 동안 물로 1일 1회 20 mL씩 관수하였고, 무기양분 공급을 위해 Hoagland's solution을 주 1회 20 mL 처리하였다. 배양 기간 이후 뿌리는 모래를 완전히 세척한 후 건조시켜 인삼묘의 접종원으로 사용하였으며 접종원으로 사용한 뿌리의 균근 감염율을 측정할 결과 35%-57%의 감염율을 나타내었다.

인삼 종자는 딱딱한 분화되어 있어 형태적으로 불완전한 미성숙배이며 종피가 매우 단단한 경질종자로서 그 상태에서는 발아가 불가능한 형태적 휴면에 처해있다(Kwon and Lee, 1997). 이러한 형태적 휴면을 타파하기 위해서 인삼종자를 90일 동안 멸균된 모래에 층적저장하며 1일 1회 관수하는 개갑 처리를 하였다. 개갑 처리 전 모든 인삼 종자는 70% ethanol 용액에 세척 한 후, 5% NaOCl에 20분간, 30% H₂O₂에 10분간 담그고 멸균수로 3회 씻어내어 표면살균 하였다(Brundrett et al., 1996). 개갑 처리된 종자는 다시 저온감응을 통해 생리적 휴면을 타파해야 하며(Stoltz and Snyder, 1985), 이를 위해 4°C의 저온실에서 90일 동안 저온처리를 시행하였다. 개갑과 저온감응 처리된 인삼 종자를 4 cm 간격으로 멸균된 모래가 담긴 사각형의 포트(600 × 400 × 70 mm)에 파종하였고, 배양실의 온도를 인삼의 최적 발아 온도인 10°C로 유지하여 발아를 유도하였다. 10일 동안 받아서킨 인삼은 최적 생장 환경인 10,000 Lux의 빛과, 20°C의 온도를 유지시키며 배양실에서 2개월간 배양하였다. 배양 기간 동안 물은 멸균수로 3일 1회 20 mL씩 제공하였고 무기양분 공급은 Hoagland's solution으로 15일에 한 번씩 20 mL 제공하였다(Eo and Eom, 2009b).

순수배양을 통해 배양한 수지상균근균의 접종원을 무균 인삼묘에 50 mg씩 접종하였다. 콘형 포트에 멸균 토양을 1/2 채운 후 무균 인삼묘를 세우고 접종원을 10 mg씩 나누어 인삼뿌리의 5곳에 부착시키며 멸균 모래를 채웠다. 사용한 토양의 화학적 분석은 Table 1에 나타내었다. 접종 처리는 수지상균근균이 포함되지 않은 대조군과 5종의 수

Table 1. Chemical properties of soils used for growth of ginseng inoculated AMF*

Contents	
pH	6.8 ± 0.40
Organic matter (g/kg)	14 ± 1.0
P ₂ O ₅ (mg/kg)	385 ± 12.1
K (cmol ⁺ /kg)	0.26 ± 0.03
Ca (cmol ⁺ /kg)	5.2 ± 0.37
Mg (cmol ⁺ /kg)	1.8 ± 0.05
Na (cmol ⁺ /kg)	0.1 ± 0.00
EC (ds/m)	0.44 ± 0.04
Cation Exchange Capacity (cmol ⁺ /kg)	10.8 ± 0.29

*Values are means ± standard deviation.

지상균근균이 포함된 접종원, 그리고 5종의 접종원을 동일 비율로 혼합한 접종원 등, 총 6가지의 처리를 하였으며, 각 처리 당 30 반복을 하였다. 접종 인삼은 무균 인삼의 배양 조건과 동일한 조건으로 총 120일간 배양하였다.

각 개체 별로 최초의 지상부 길이를 측정하여 기록하였으며 실험 시작 120일이 지난 후 최종 길이를 측정하였다. 인삼 지상부의 길이 측정은 Digimatic Caliper(CD-15CPX, Mytutoyo, Japan)를 이용하였으며 측정의 신뢰도를 높이기 위해 자석식 수평수포(ED-CI, EBISU, Japan)를 이용하였다. 생장율은 최종 길이와 최초 길이 차를 계산하여 얻었다. 인삼의 생물량은 120일 배양 후에 각 인삼 개체의 지상부와 뿌리를 구분하여 40°C에서 72시간 동안 건조(WiseVan, DAIHAN Scientific, Korea) 후 측정하였다. 건조된 샘플들은 전자저울(ABS 220-4, KERN, Germany)을 사용하여 건조 중량을 측정하였다. 또한 각 개체 별로 엽록소형광측정을 수행하였다. 인삼 지상부의 잎 3장 중 가운데 잎 중앙에 클립(Leaf clip, ADC BioScientific, UK)을 이용하여 암처리 하였다. 15분간의 암처리 후 엽록소형광측정기(OS-30p, ADC BioScientific, UK)를 이용하여 엽록소형광측정 값을 얻어 분석하였다(Maxwell and Johnson, 2000).

총 5종류의 수지상균근균의 접종원을 인삼묘에 처리한 후, 120일 후 인삼의 생장촉진 효과를 측정할 결과, 대체로 수지상균근균을 접종한 인삼은 접종하지 않은 대조구에 비해 생장량이 증가하였다(Table 2). 인삼의 지상부 길이 생장률의 경우, *G. intraradices*의 처리 시 대조구에 비해서 약 2배 이상의 생장률의 증가를 보였으며, *A. trappei*, *G. mosseae*, *A. longula*, *G. etunicatum* 순으로 생장에 긍정적인 효과가 있었다. 수지상균근균 처리에 따른 인삼의 건조량 차이를 측정할 결과 수지상균근균을 접종한 인삼의 건조량이 대조구보다 모두 높은 값을 나타내었다(Table 2). 통계적으로는 *G. intraradices*, *A. trappei*, *G. etunicatum*의 처리 구에서 유의수준 0.05에서 유의미한 차이를 나타내었으나

Table 2. Effects of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on growth characteristics of *P. ginseng**

AMF species	Chlorophyll fluorescence (Fv/Fm)	Growth increment (cm)	Dry weight (mg)			
			total	Root	Shoot	R/S
Control	0.79 ± 0.02	0.52 ± 0.03 ^c	218.16 ± 5.51 ^c	158.86 ± 4.13 ^b	59.30 ± 2.01 ^b	2.74 ± 0.08
<i>A. trappei</i>	0.81 ± 0.01	0.77 ± 0.03 ^b	237.98 ± 7.77 ^b	173.67 ± 5.48 ^a	64.32 ± 1.42 ^a	2.71 ± 0.10
<i>G. etunicatum</i>	0.81 ± 0.01	0.69 ± 0.05 ^b	237.39 ± 5.23 ^b	173.15 ± 4.69 ^{ab}	64.24 ± 1.32 ^a	2.71 ± 0.08
<i>G. mosseae</i>	0.80 ± 0.01	0.72 ± 0.03 ^b	230.46 ± 5.81 ^{bc}	167.20 ± 4.91 ^{ab}	63.26 ± 1.94 ^{ab}	2.73 ± 0.12
<i>G. intraradices</i>	0.81 ± 0.01	0.94 ± 0.09 ^a	242.84 ± 14.17 ^{ab}	176.81 ± 10.18 ^a	66.02 ± 4.09 ^a	2.69 ± 0.05
<i>A. longula</i>	0.79 ± 0.01	0.70 ± 0.12 ^{bc}	232.34 ± 8.30 ^{bc}	169.82 ± 5.86 ^{ab}	62.53 ± 2.81 ^{ab}	2.73 ± 0.08

*Different letters in each column indicate that the mean values are significantly different at $p < 0.05$ according to LSD test.

G. mosseae 와 *A. longula*의 건중량은 대조구와 유의미한 값의 차이를 나타내지 않았다. 또한 수지상균근균의 처리에 따른 인삼의 엽록소형광을 측정할 결과, *A. longula*를 제외한 모든 수지상균근균의 처리구에서 대조구보다 증가하는 경향을 나타내었으나 통계적으로 유의미한 결과를 나타내지는 않았다(Table 2).

수지상균근균은 식물에 감염처리를 하면 생장이 촉진되는 것으로 알려져 있으며, 인삼의 경우 생장 뿐 아니라 ginsenoside의 일부 성분도 증가하는 것으로 나타났다(Cho *et al.*, 2009; Eo and Eom, 2009a; Eo and Eom, 2009b; Ruiz *et al.*, 1995; Zeusk and Weber, 2000). 본 연구에서도 인삼의 지상부의 생장이 대부분의 균주의 접종에서 균주를 접종하지 않은 대조구에 비해 유의미하게 증가하였음을 알 수 있었다. Zhu 등 (2010)은 옥수수를 이용한 연구에서 수지상균근균 처리구와 비처리구 간에 엽록소의 차이 뿐만이 아니라 최종적으로는 건중량에 있어서도 차이가 발생하는 것을 보고하였다(Zhu *et al.*, 2010). 그러나 본 연구에서는 수지상균근균의 접종이 엽록소형광의 값에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 더욱이 인삼의 생장에 큰 차이를 나타내지 않았으나 이는 다년생 작물인 인삼의 특성을 고려한 장기간의 연구가 필요하다는 것을 보여주고 있다.

수지상균근균에 대한 식물의 반응은 균의 종뿐만 아니라 균주에 따라서도 다르게 나타난다(Colard *et al.*, 2011; van der Heijden *et al.*, 1998). 따라서 균주와 식물사이의 조합이 식물의 반응에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 그 외에도 다양한 수지상균근균을 인삼에 접종한 Zeusk and Weber (2000)의 연구에서도 접종원에 따라 다양한 생장효과를 보였으며, 토양의 양분함량에 따라서도 다른 효과를 나타내었다고 보고하였다. 본 연구에서는 인삼 묘가 자라는 토양의 성분을 일정하게 유지하고 접종원만을 달리한 결과 *G. intraradices*는 다른 균주에 비해 지상부 길이생장과 생체량에서 인삼의 생장을 높여주는 효과를 나타내었다. Kil *et al.*(2012)은 경작기간과 인삼의 뿌리에 감염된 수지상균근균의 다양성에 대하여 연구하였는데 특히, 시간이 경과 할수록 *G. intraradices*가 우점하는 경향을 보였고,

이는 다년생 식물인 인삼에서 이 종의 중요성을 보여주는 결과로 생각된다. 또한 *G. intraradices*의 포자는 토양에서 뿐만 아니라 뿌리내에도 형성되는 종으로 알려져 있으며, 뿌리조직배양 등의 방법을 이용한 배양이 용이하여 연구 뿐 만 아니라 식물생장 촉진을 위해 상업적으로도 널리 사용되고 있는 수지상균근균이다(Deckerck *et al.*, 2005).

숙주식물과 수지상균근균간의 공생관계는 식생이 내·외부의 교란으로 인해 파괴되지 않는 한 급격히 변화되는 않는 것으로 알려져 있으므로(Zhang *et al.*, 2010), 인삼의 재배 초기에 *G. intraradices* 와 같은 수지상균근균을 처리하여 생장을 촉진시키는 방법을 개발할 필요가 있다. 끝으로 본 연구에서는 실험에 사용한 토양이 동일한 토양조건임에도 인삼의 생장에 영향을 미칠 수 토양의 양분함량은 고려하지 않았으므로 향후 토양조건을 포함한 실제 야외의 환경 요인을 고려한 실험의 설계가 요구된다.

본 연구 결과, 인삼의 재배에 수지상균근균을 처리하는 것이 인삼의 생장에 보다 효과적인 것을 확인하였다. 특히, 수지상균근균의 종에 따라 효과의 차이가 있음을 알 수 있었으며, 이는 인삼과 수지상균근균 그리고 인삼의 생장 및 성분분석 변화 등에 있어서 앞으로 규명해야 할 것이다. 이를 위해서 우선적으로 순수배양된 수지상균근균과 무균상태의 인삼묘 그리고 이들 공생체의 다년간의 재배를 통해 보다 유용한 결과를 도출할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

이 논문은 한국교원대학교 2012학년도 KNUE 학술연구비 지원을 받아 수행 하였음

적 요

본 연구에서는 5 종의 수지상균근균을 인삼(*Panax ginseng* C. A. Mey.)의 묘에 처리하여 인삼의 생장에 미치는 영향을 확인하였다. 수지상균근균 5종(*Glomus mosseae*, *Glomus intraradices*, *Glomus etunicatum*, *Acaulospora longula*, *Aca-*

ulospora trappesi)의 접종원을 발아 후 60일이 지난 인삼묘에 접종하여 120일간 키운 후 인삼의 건조중량, 지상부의 크기 및 엽록소 형광을 측정하였다. 그 결과 수지상균근균을 접종한 인삼의 생장이 대조구에 비해 높은 경향을 나타내었으며, 접종한 수지상균근균의 균주(종)에 따라 차이를 보였다. 특히, *Glomus intraradices* 가 다른 종에 비해 인삼의 생장에 미치는 효과가 크게 나타났으며, 엽록소형광 값은 모든 종에 대하여 유의미한 차이를 보이지 않았다.

참고문헌

- Becard, G. and Fortin, J. A. 1988. Early events of vesicular-arbuscular mycorrhiza formation on Ri T DNA transformed roots. *New Phytol.* 108:211-218.
- Brundrett, M. C. and Abbott, L. K. 1995. Mycorrhizal fungus propagules in the jarrah forest. II. Spatial variability in inoculum levels. *New Phytol.* 131:461-469.
- Brundrett, M. C., Ashwath, N. and Jasper, D. A. 1996. Mycorrhizas in the Kakadu region of tropical Australia: II. Propagules of mycorrhizal fungi in disturbed habitats. *Plant Soil* 184:173-184.
- Cho, E. J., Lee, D. J., Wee, C. D., Kim, H. L., Cheong, Y. H., Cho, J. S. and Sohn, B. K. 2009. Effects of AMF inoculation on growth of *Panax ginseng* C.A. Meyer seedlings and on soil structures in mycorrhizosphere. *Scientia Hort.* 122:633-637.
- Colard, A., Angelard, C. and Sanders, I. R. 2011. Genetic exchange in an arbuscular mycorrhizal fungus results in increased rice growth and altered mycorrhiza-specific gene transcription. *Appl. Environ. Microbiol.* 77:6510-6515.
- Declerck, S., Strullu, D. G. and Fortin, A. 2005. In vitro culture of mycorrhizas, 4th edition, pp. 291-312. Springer, France.
- Eo, J. K. and Eom, A. H. 2009a. Differential growth response of various crop species to arbuscular mycorrhizal inoculation. *Mycobiology* 37:72-76.
- Eo, J. K. and Eom, A. H. 2009b. The effect of benomyl treatments on ginsenosides and arbuscular mycorrhizal symbiosis in roots of *Panax ginseng*. *J. Ginseng Res.* 33:256-259.
- Eom, A. H., Eo, J. K., Kim, D. H. and Jeong, H. S. 2004. Identification of arbuscular mycorrhizal fungi colonizing *Panax ginseng* using 18S rDNA sequence. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 47:182-186. (in Korean).
- Kil, Y. J., Eo, J. K. and Eom, A. H. 2012. Diversities of Arbuscular Mycorrhizal fungi in cultivated field soils of Korean ginseng. *Kor. J. Mycol.* 40:1-6. (in Korean).
- Kwon, W. S. and Lee, J. M. 1997. Changes of cytokinins and gibberellin contents during low temperature storage of dehiscid ginseng seeds. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 38:111-115. (in Korean).
- Lee, K. H., Lee, K. J., Park, H. and Budi, S. W. 2006. The rate and morphology of mycorrhizal infection in the wild ginseng (*Panax ginseng* C. A. Mey.) collected from various locations in Korea. *J. Ginseng Res.* 30:206-611. (in Korean).
- Lee, T. B. 1985. Illustrated flora of Korea. Hyang Moon Sa, Seoul, Korea. (in Korean).
- Maxwell, K. and Johnson, G. N. 2000. Chlorophyll fluorescence-a practical guide. *J. Experimental Bot.* 51:659.
- Ruiz, L. J. M., Azcon, R. and Gomez, M. 1995. Effects of arbuscular-mycorrhizal *Glomus* species on drought tolerance: physiological and nutritional plant responses. *Appl. Environ. Microbiol.* 61:456-460.
- Stoltz, L. and Snyder, J. C. 1985. Embryo growth and germination of American ginseng seed in response to stratification temperatures. *HortScience* 20:261-262.
- van der Heijden, M. G. A., Boller, T., Wiemken, A. and Sanders, I. R. 1998. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. *Ecology* 79:2082-2091.
- Zeuske, D. and Weber, H. C. 2000. Growth stimulation of *Panax ginseng* C.A. Meyer (Araliaceae) arising from AMF-isolate inoculation. *Symbiosis* 29:213-230.
- Zhang, Q., Yang, R., Tang, J., Yang, H., Hu, S. and Chen, X. 2010. Positive feedback between mycorrhizal fungi and plants influences plant invasion success and resistance to invasion. *PLOS ONE* 5:e12380.
- Zhu, X. C., Song, F. B. and Xu, H. W. 2010. Arbuscular mycorrhizae improves low temperature stress in maize via alterations in host water status and photosynthesis. *Plant Soil* 331:129-137.