

주요 재배지에서 산양삼(*Panax ginseng*)의 형태적 특성 및 환경인자 사이의 상관 분석

이다영^{1*} · 고병주² · 이채빈^{1,3} · 김 영¹ · 강규석^{1*}

¹서울대학교 농림생물자원학부, ²서울대학교 산림과학부,

³캐나다 브리티시컬럼비아대학교 산림보존과학과

Correlation between Morphological Characteristics of *Panax ginseng* and Environmental Factors at the Major Cultivation Sites

Dayoung Lee^{1*}, Byeongju Go², Chae-Bin Lee^{1,3}, Young Kim¹ and Kyu-Suk Kang^{1*}

¹Department of Agriculture, Forestry and Bioresources, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

²Department of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

³Department of Forest and Conservation Sciences, University of British Columbia, BC V6T 1Z4, Canada

요 약: 산양삼(*Panax ginseng*, wild-simulated ginseng)은 진세노사이드 등 다양한 약리활성 물질이 함유되어 있어 고부가 가치가 높은 임산물 중 하나이다. 산양삼의 품질 표준화 및 등급화를 위해서는 국내 재배지별 산양삼의 형태적 특성 및 환경 요인에 대한 기초적인 정보가 필요하다. 본 연구에서는 산양삼의 형태적 특성 및 환경인자 사이의 상관관계를 분석하기 위해, 강원 평창, 충남 서산, 경남 거창 주요 산양삼 재배지에서 2년생, 5년생 및 8년생을 대상으로 지상부 및 지하부의 형태적 특성과 각 재배지의 환경 요인을 측정하고 비교 분석하였다. 지상부의 경우, 줄기 길이는 2년생에서 서산, 거창, 평창 순으로 길었으며, 줄기 직경은 전체적으로 평창과 거창에서 크게 나타났다. 지하부의 경우, 뇌두 길이는 전체적으로 평창에서 길었으며, 뿌리 길이는 2년생에서 평창이, 5년생 및 8년생에서 평창과 거창이 길었다. 또한 뿌리 생중량은 2년생에서 서산이, 8년생에서 평창과 거창이 크게 나타났다. 종자의 길이와 폭은 서산에서, 생중량은 평창에서 가장 큰 값을 보였으며, 종자의 색은 평창에서 가장 밝았다. 산양삼 지상부와 지하부의 상관관계를 분석한 결과, 뿌리의 생중량은 줄기의 근원경($r=0.79$)과 길이($r=0.79$)와 양의 상관관계를 보였다. 낮은 온도에서 생육한 산양삼은 긴 뇌두 길이를 가졌으며, 치환성 나트륨(Na^+)의 농도가 높을수록 전체 뿌리와 세근의 길이가 짧아지는 경향을 보였다. 국내 산양삼의 품질 관리를 위해서는 산양삼의 형태적 표준화 및 등급화를 통한 체계적인 관리 시스템이 필요하며, 본 연구 결과는 산양삼의 형태적 지표 및 품질 표준화를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이라 기대한다.

Abstract: Wild-simulated ginseng (*Panax ginseng*) is a valuable forest product containing pharmacologically active compounds, including ginsenosides. Standardizing and grading its quality requires understanding its morphological characteristics and the environmental factors influencing its growth across different regions. This study measured and compared the aboveground and underground morphological traits of 2-, 5-, and 8-year-old wild-simulated ginseng, along with environmental factors at major cultivation sites in Pyeongchang, Seosan, and Geochang, South Korea, to assess correlations between these traits and factors. Results showed that 2-year-old plants had the longest stems in Seosan, whereas stem diameter was greater in Pyeongchang and Geochang. For underground parts, rhizomes were longest in Pyeongchang, and roots were longer in Pyeongchang and Geochang. Root fresh weight was highest in Seosan for 2-year-old plants and in Pyeongchang and Geochang for 8-year-old plants. Seosan produced the longest seeds, whereas Pyeongchang yielded seeds with the highest fresh weight. Correlation analysis revealed a positive association between root fresh weight and both stem diameter ($r = 0.79$) and stem length ($r = 0.79$). Wild-simulated ginseng grown in colder climates developed longer rhizomes, and higher Na^+ concentrations resulted in shorter roots. This research provides fundamental data for the standardization and quality management of wild-simulated ginseng.

Key words: wild-simulated ginseng, morphological characteristics, correlation analysis, root weight, Na^+ concentration

* Corresponding author

E-mail: dayoung0952@snu.ac.kr, kangks84@snu.ac.kr

ORCID

Dayoung Lee  <https://orcid.org/0009-0004-8779-2131>

Kyu-Suk Kang  <https://orcid.org/0000-0002-2368-5423>

서론

산양삼(*Panax ginseng* C. A. Meyer, wild-simulated ginseng)은 식물학적으로 두릅나무과 인삼속(*Panax*)에 속하며, 낙엽성의 다년생 반음지성 속근초이다. 삼은 재배 방식에 따라 인삼(재배삼), 산양삼, 산삼으로 분류되는데, 인위적으로 밭이나 논에서 재배한 삼을 인삼, 인삼과 산삼의 종자를 인위적으로 산으로 옮겨 재배한 삼을 산양삼, 야생에서 자연발생적으로 발아한 삼을 산삼이라고 칭한다(Shin et al., 2001). 산양삼의 법적인 정의는 「산지관리법」 제2조 제1호의 산지에서 재배하고, 「임업 및 산촌진흥촉진에 관한 법률」 제18조의4에 따른 품질검사에 합격한 오갈피나물과(科) 인삼속(人蔘屬) 식물을 말한다. 또한 「산지관리법」 제2조 제1호의 산지에서 차광막 등 인공시설을 설치하지 아니하고 생산되는 삼(건조된 것을 포함한다)을 말한다[산림청고시 제 2020-21 호].

산양삼은 30 종 이상의 사포닌(ginsenoside)과 다양한 생리 활성 물질을 포함하고 있으며, 약용 자원으로서 고부가 가치를 가진 임산물 중 하나이다(Jeong et al., 2019). 인삼류는 항암 및 항산화 활성, 노화억제, 항당뇨, 간기능 증진, 혈압조절 등 다양한 효능을 가지며, 관련하여 많은 연구 결과가 보고되었다(Song et al., 1990; Kang et al., 1995; Kim et al., 2002; Lai et al., 2006; Park et al., 2007; Li et al., 2012).

국내 임가에서는 이러한 산양삼의 가치를 높게 평가하기 시작하여 2010년대부터 전국 생산량과 생산액이 꾸준히 증가하고 있다. 더불어, 국민들의 생활수준이 향상되어 건강 및 웰빙 문화 등에 대한 관심이 높아지고 있으며 안전한 먹거리에 대한 소비자의 요구가 증가하면서, 이에 따라 청정 임산물로 알려진 산양삼에 대한 수요가 늘어나고 있다. 산림청에 의하면, 2023년 기준 산양삼 생산신고 임가는 계속적으로 증가하여 누적 3,792건을 도달했으며, 생산신고 면적은 누적 13,858 ha였다. 또한 산양삼 생산량은 2020년대부터 급격히 증가하여 2023 기준 254,111 kg를 도달하였으며 생산액은 629 억원으로 2014년 이후 최대치를 달성하였다(KFS, 2024).

인삼의 경우 재배 조건 및 생육 특성과 관련된 많은 연구가 수행되었고 이에 따른 품질 및 표준규격, 등급 체계 등도 이미 설정되어 활발한 산업화가 진행되고 있다(Hyun et al., 2009; Li et al., 2010; Jeong et al., 2019). 하지만 지역별 및 재배지별로 생육환경이 매우 다른 환경에 서식하는 산양삼에 대한 형태적 표준화 및 등급화와 관련된 연구는 매우 부족한 상황이다. 또한 전칠삼, 화기삼 등 산양삼의 유사종을 한국산 산양삼으로 둔갑시켜 불법으로

유통하는 사례가 증가하고 있지만, 이에 대한 판별 방법은 일부 전문가의 감정에만 의존하고 있는 실정이며, 일반 소비자들이 판별하기가 어렵기 때문에 지속적인 문제가 제기되고 있다(Gil et al., 2017).

산양삼의 품질을 관리하기 위해 현재 「임업 및 산촌진흥촉진에 관한 법률」 제17조의5에 따른 「산양삼에 관한 품질관리 요령」에 따라 국내 산양삼 재배지를 대상으로 산양삼 종자와 지하부의 품질 및 생산적합성을 조사하고 있다. 하지만 장기적인 산양삼의 품질 관리를 위해서는 산양삼의 형태적 표준화 및 등급화를 통한 체계적인 관리 시스템이 필요할 것이다. 이를 위해서는 산양삼 재배지에서 생육 중인 산양삼의 형태적 특성 및 환경 요인을 조사하여 비교하는 것이 우선적으로 수행되어야 할 필요가 있다. 또한 비파괴적으로 산양삼의 지하부 생장을 예측할 수 있는 방법을 탐색하여, 산양삼 지상부 관찰을 통한 지하부의 경제적 가치를 예측할 수 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 산양삼의 국내 주요 재배지인 강원 평창, 충남 서산, 경남 거창 세 곳에서 산양삼의 형태적 특성 및 환경 요인을 조사하여 비교하였다. 또한 산양삼의 지상부와 지하부 간의 상관관계를 분석함으로써, 지상부의 특성을 기반으로 지하부 생장 예측의 가능성을 제시하고자 하였다. 이를 통해 산양삼의 생육 특성에 대한 이해를 증진하고, 보다 효율적인 생육 관리 및 품질 평가에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

재료 및 방법

1. 연구지 개황 및 시료 수집

강원도 평창군, 충청남도 서산시, 경상남도 거창군 세 곳을 대상으로 본 연구를 수행하였다(Figure 1). 각 재배지

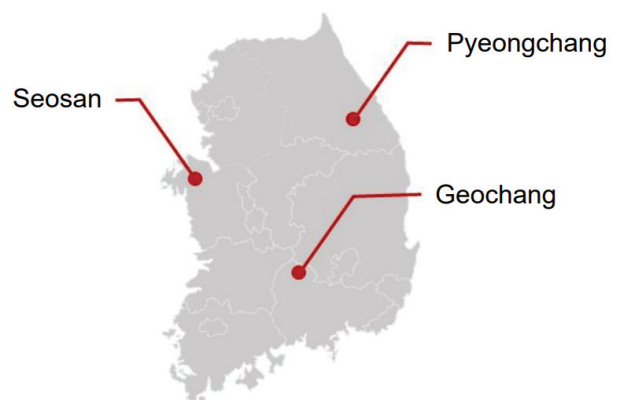


Figure 1. The locations of three wild-simulated ginseng cultivation sites (Pyeongchang, Seosan, and Geochang) in South Korea.

에서 2년생, 5년생 및 8년생을 각 30개체씩, 즉 재배지 당 총 90개체를 선정하여 산양삼의 지상부와 지하부의 형질을 측정하였다.

2. 지상부 및 지하부 특성 조사

2023년 5월 말부터 6월 초에 산양삼 지상부의 줄기 근원경은 버니어캘리퍼스(Digimatic Caliper CD-20AX, Mitutoyo, Japan)를 사용하여 측정하였고, 줄기 길이와 꽃자루 길이는 자를 사용하여 측정하였다. 그리고 잎 개수, 소엽 개수 및 꽃 개수는 직접 세어 기록하였다. 지하부는 2023년 7월 말부터 8월 초에 각 재배지 내 연령별로 24개씩 뿌리를 굴취하였다. 굴취한 뿌리는 세척 1일 후 버니어캘리퍼스와 자를 사용하여 뇌두 길이, 전체 뿌리 길이, 주근 길이, 세근 길이, 주근 직경을 측정하였다. 뿌리 생중량은 저울을 사용하여 측정한 후 기록하였다.

3. 종자의 형태적 특성 및 종자 발아율 측정

2023년 7월 말부터 8월 초에 강원 평창, 경남 거창, 충남 서산 세 곳의 재배지에서 산양삼 종자를 각 100립씩 채취한 후, 총 300립을 사용하여 산양삼 종자의 형태학적 특성을 조사하였다. 채취 1~2일 후 과육을 제거해 3일간 상온에서 음건한 후 각 종자의 길이, 폭, 두께, 무게를 측정하였다. 종자의 무게는 3일 동안 음건하여 60°C에서 2일간 건조시킨 후 백립중을 측정하였다. 또한 종자의 색을 정량화하기 위해 ImageJ, Fiji, IJP Color Calibrator 프로그램으로 사진을 보정한 후, Microsoft PowerToys를 이용하여 종자들의 평균 RGB 값을 구하였다.

재배지별 산양삼 종자와 인삼 종자의 파종 후 발아율을 비교하기 위해 서울대학교 칠보산학술림, 태화산학술림, 관악수목원에 2022년에 채집한 종자를 2023년 3월 말에서 4월 초에 파종하였다. 각 파종지 내 서로 다른 임상을 가진 두 개의 실험지(침엽수림, 활엽수림)를 선정하였으며 침엽수림은 주로 소나무속(*Pinus*)으로 구성되었고, 활엽수림은 주로 목련속(*Magnolia*)과 참나무속(*Quercus*)으로 이루어져 있었다. 총 6개의 실험지를 대상으로 실시하였으며, 4처리 3반복 난괴법 배치도로 구성한 하나의 실험지는 12개의 실험구로 구성되었다. 한 실험구 내 파종밀도는 10행 5열로 1구 당 1립, 즉 한 실험구 당 총 50립 기준으로 파종하였다. 파종에 사용한 산양삼 종자 중에서 경남 거창 재배지에서 채집한 종자의 경우에만 발아한 종자를 추가적으로 사용하여 파종하였다.

4. 토양 이화학적 분석 및 기상 데이터 수집

2023년 4월 평창, 거창, 서산 세 곳의 2년생, 5년생, 8년생

산양삼 재배지의 토양을 채취한 뒤, 서울대학교 농생명과학공동기기원(NICEM)에 의뢰하여 토양 이화학적 분석을 진행하였다. 분석 항목은 토성(Soil texture), pH, EC(전기전도도), 유기물함량, 전질소(T-N), CEC(양이온치환용량), 치환성 Ca, 치환성 Mg, 치환성 K, 유효인산(P_2O_5)이 해당되었다. 나트륨 흡착비(sodium adsorption ratio, SAR)는 칼슘(Ca^{2+})과 마그네슘(Mg^{2+})에 대한 나트륨(Na^+)의 농도비를 기준하여 토양에 흡착되어 있는 나트륨의 양이온 교환용량 점유율을 추정하기 위한 값으로, 계산 공식은 다음의 식 1과 같다.

$$\text{나트륨 흡착비(SAR)} = \frac{[Na^+]}{\sqrt{[Ca^{2+} + Mg^{2+}]}} \quad (1)$$

재배지별 기상 환경을 측정하기 위해, 2023년 4월 각 재배지에 온습도 데이터로거(HOBO Optic USB Base Station, Onset, U.S.)를 설치하였다. 7월 말에 서산, 8월 초에 평창의 온습도 데이터를 수집하였으며, 거창의 경우 기상청 데이터(<https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>)를 사용하였다.

5. 통계 분석

각 재배지별 산양삼의 지상부 및 지하부 형질 특성을 비교하기 위해 분산분석 및 사후분석을 실시하였다. 지상부의 경우 대표적으로 줄기 길이, 줄기 근원경, 꽃 개수에 대한 측정 데이터를 사용하였고, 지하부의 경우 대표적으로 뇌두 길이, 전체 뿌리 길이, 주근 직경, 세근 길이, 뿌리 생중량에 대한 측정 데이터를 사용하였다.

모든 통계 분석은 R 4.4.2(R Core Team, 2024)를 사용하였다. 분산분석에서 Shapiro 검정 결과, p -value가 0.05 이하이면 정규성이 위배되어 Kruskal-Wallis test 후 Dunn 사후검정을 실시하였다. Shapiro 검정 결과 p -value가 0.05 이상이고 Levene 검정 결과 p -value가 0.05 이하이면 등분산성이 위배되어 Welch's anova 후 Games Howell 사후검정을 실시하였다. Shapiro 검정 결과 p -value가 0.05 이상이고 Levene 검정 결과 p -value가 0.05 이상이면 일원 분산분석 후 Tukey 사후검정을 실시하였다. 산양삼의 지상부 및 지하부 형질 사이의 상관성을 알아보기 위해 Pearson 상관분석을 실시하였다. 지상부의 경우 줄기 근원경, 줄기 길이, 꽃 개수에 대한 측정 데이터를 사용하였고, 지하부의 경우 뇌두 길이, 전체 뿌리 길이, 뿌리 직경, 생중량에 대한 측정 데이터를 사용하여 상관분석을 진행하였다.

결과 및 고찰

1. 산양삼 지상부 생육 특성 비교

산양삼의 지상부인 줄기 길이, 줄기 근원경, 꽃 개수에 대한 측정 데이터는 Table 1과 같다.

줄기 길이의 경우, 2년생은 일원분산분석 후 Tukey 사후검정을 수행한 결과, p -value가 0.0255로 산지별로 유의미한 차이가 있었다[Figure 2(A)]. 5년생은 일원분산분석을 수행한 결과, p -value가 0.0751로 산지별로 유의미한 차이가 없었다. 8년생은 Kruskal-Wallis test를 수행한 결과, p -value가 0.1734로 산지별로 유의미한 차이가 없었다. 즉 세 곳의 재배지에서 생육 중인 산양삼의 줄기 길이를 비교한 결과, 2년생에서 서산, 거창, 평창 순으로 길었으며 5년생과 8년생에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았다.

줄기 직경의 경우, 2년생은 Welch's anova 후 Games Howell 사후검정을 수행한 결과, p -value가 $3.41\text{e-}10$ 으로 산지별로 유의미한 차이가 있었다[Figure 2(B)]. 5년생은 Kruskal-Wallis test 후 Dunn 사후검정을 수행한 결과, p -value가 0.001645로 산지별로 유의미한 차이가 있었다. 8년생은 Kruskal-Wallis test 후 Dunn 사후검정을 수행한 결과, p -value가 $8.615\text{e-}07$ 로 산지별로 유의미한 차이가 있었다. 즉 세 곳의 재배지에서 생육 중인 산양삼의 줄기 근원경을 비교한 결과, 전체적으로 서산에 비해 평창과 거창에서 크게 나타났다.

꽃 개수의 경우, 2년생은 꽃이 피지 않아 분석 대상에서 제외하였다. 5년생은 Kruskal-Wallis test 후 Dunn 사후검정을 수행한 결과, p -value가 $1.346\text{e-}10$ 으로 산지별로 유의미한 차이가 있었다[Figure 2(C)]. 8년생은 Kruskal-Wallis test 후 Dunn 사후검정을 수행한 결과, p -value가 $7.664\text{e-}06$ 로

산지별로 유의미한 차이가 있었다. 즉 세 곳의 재배지에서 생육 중인 산양삼의 꽃 개수를 비교한 결과, 5년생에서는 평창에서 크게 나타났고 8년생에서는 서산에 비해 평창과 거창에서 많은 것으로 나타났다.

2. 산양삼 지하부 생육 특성 비교

산양삼의 지하부인 뇌두 길이, 전체 뿌리 길이, 주근 직경, 세근 길이, 뿌리 생중량에 대한 측정 데이터는 Table 2와 같다.

뇌두 길이의 경우, 2년생은 Kruskal-Wallis test 후 Dunn 사후검정을 수행한 결과, p -value가 $1.319\text{e-}12$ 로 산지별로 유의미한 차이가 있었다[Figure 3(A)]. 5년생은 Kruskal-Wallis test 후 Dunn 사후검정을 수행한 결과, p -value가 $5.196\text{e-}09$ 로 산지별로 유의미한 차이가 있었다. 8년생은 일원분산분석 후 Tukey 사후검정을 수행한 결과, p -value가 $2.53\text{e-}06$ 으로 산지별로 유의미한 차이가 있었다. 즉 세 곳의 재배지에서 생육한 산양삼의 뇌두 길이를 비교한 결과, 전체적으로 서산과 거창에 비해 평창에서 크게 나타났다.

전체 뿌리 길이의 경우, 2년생은 Kruskal-Wallis test 후 Dunn 사후검정을 수행한 결과, p -value가 $4.392\text{e-}05$ 로 산지별로 유의미한 차이가 있었다[Figure 3(B)]. 5년생은 일원분산분석 후 Tukey 사후검정을 수행한 결과, p -value가 $2.59\text{e-}05$ 로 산지별로 유의미한 차이가 있었다. 8년생은 일원분산분석 후 Tukey 사후검정을 수행한 결과, p -value가 $2.77\text{e-}06$ 으로 산지별로 유의미한 차이가 있었다. 즉 세 곳의 재배지에서 생육한 산양삼의 전체 뿌리 길이를 비교한 결과, 2년생에서는 평창이 크게 나타났고 5년생과 8년생에서는 평창과 거창이 서산에 비해 큰 것으로 나타났다.

Table 1. Above ground part characteristics of wild-simulated ginseng by three cultivation sites (Pyeongchang, Seosan, and Geochang) and three ages (two-year-old, five-year-old, and eight-year-old).

Site	Year	Stem diameter (mm)	Stem length (cm)	Peduncle length (cm)	No. of leaves	No. of leaflets	No. of flowers
Pyeongchang	2	1.51±0.23 ^a	4.31±1.81	-	1.58±0.5	4.42±0.50	-
	5	3.24±0.84	15.23±3.27	12.71±3.82	3.48±0.51	4.76±0.37	8.48±5.97
	8	3.87±0.76	20.2±4.13	15.85±4.39	3.92±0.28	4.85±0.28	12.13±7.46
Seosan	2	1.03±0.18	5.54±1.13	-	1±0	4.46±0.51	-
	5	2.49±0.48	12.9±4.16	8.04±5.29	3±0.59	4.41±0.54	6.5±3.37
	8	2.8±0.39	18.71±2.21	7.99±3.25	3.5±0.62	4.56±0.54	5.78±2.56
Geochang	2	1.43±.28	4.59±1.78	-	1.5±0.51	4.56±0.52	-
	5	2.81±0.37	13.93±2.71	9.19±2.33	3.43±0.66	4.81±0.45	5.91±1.78
	8	4.02±0.73	20.94±3.67	14.9±3.71	4.04±0.36	5.02±0.24	17.5±8.82

^a Mean±Standard deviation.

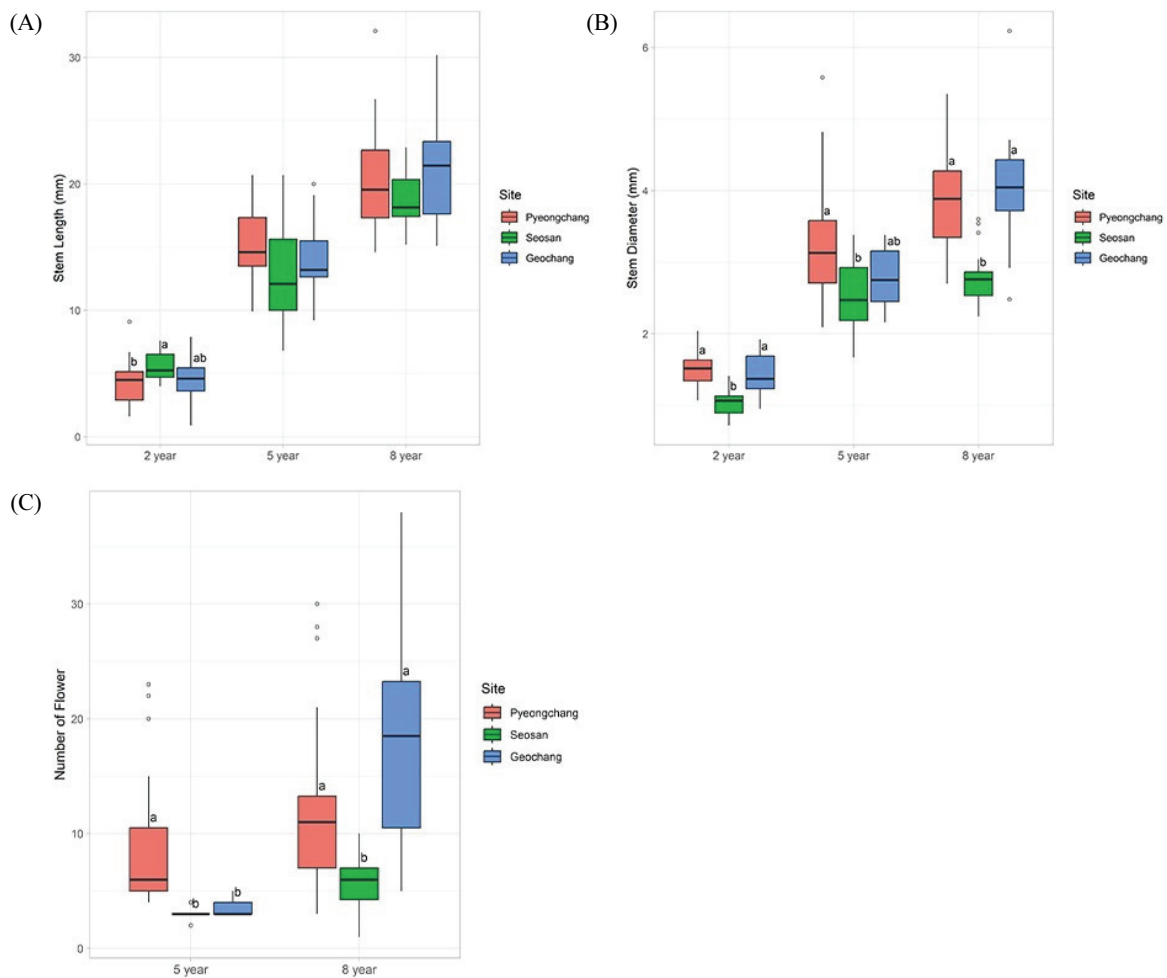


Figure 2. Comparison of the above ground part characteristics of wild-simulated ginseng in three cultivation sites (Pyeongchang, Seosan, and Geochang). (A) Stem length (B) Stem diameter (C) Number of flowers.

Table 2. Underground part characteristics of wild-simulated ginseng by three cultivation sites (Pyeongchang, Seosan, and Geochang) and three ages (two-year-old, five-year-old, and eight-year-old).

Site	Year	Rhizome length (mm)	Root length (mm)	Main root length (mm)	Lateral root length (mm)	Main root diameter (mm)	Root fresh weight (g)
Pyeongchang	2	7.21±1.56 ^a	116.86±49.49	21.98±5.98	94.89±47.75	5.43±1.31	0.63±0.56
	5	13±3.66	179.33±46.49	53.14±21.45	126.19±35.47	8.78±1.56	3.02±1.67
	8	25.31±3.54	233±55.87	40.19±13.44	192.82±55.18	12.68±2.29	5.64±1.6
Seosan	2	1.4±1.27	67.02±21.56	11.02±2.43	56.01±21.09	3.04±0.85	0.83±0.44
	5	6.72±1.87	131.05±28.07	35.37±8.94	95.68±28.03	10.5±2.39	2.95±1.63
	8	19.22±6.48	174.73±41.33	29.28±13.8	145.45±40.5	11.78±3.17	2.94±1.07
Geochang	2	2.69±0.9	75.21±26.09	18.76±4.18	56.46±23.54	4.45±0.77	0.26±0.15
	5	7.07±2.3	171.02±30.55	24.27±7.51	146.75±33.36	9.69±1.65	2.18±0.76
	8	16.66±5.69	246.93±44.59	29.07±14	217.86±43.6	14.39±2.39	6.29±2.48

^a Mean±Standard deviation.

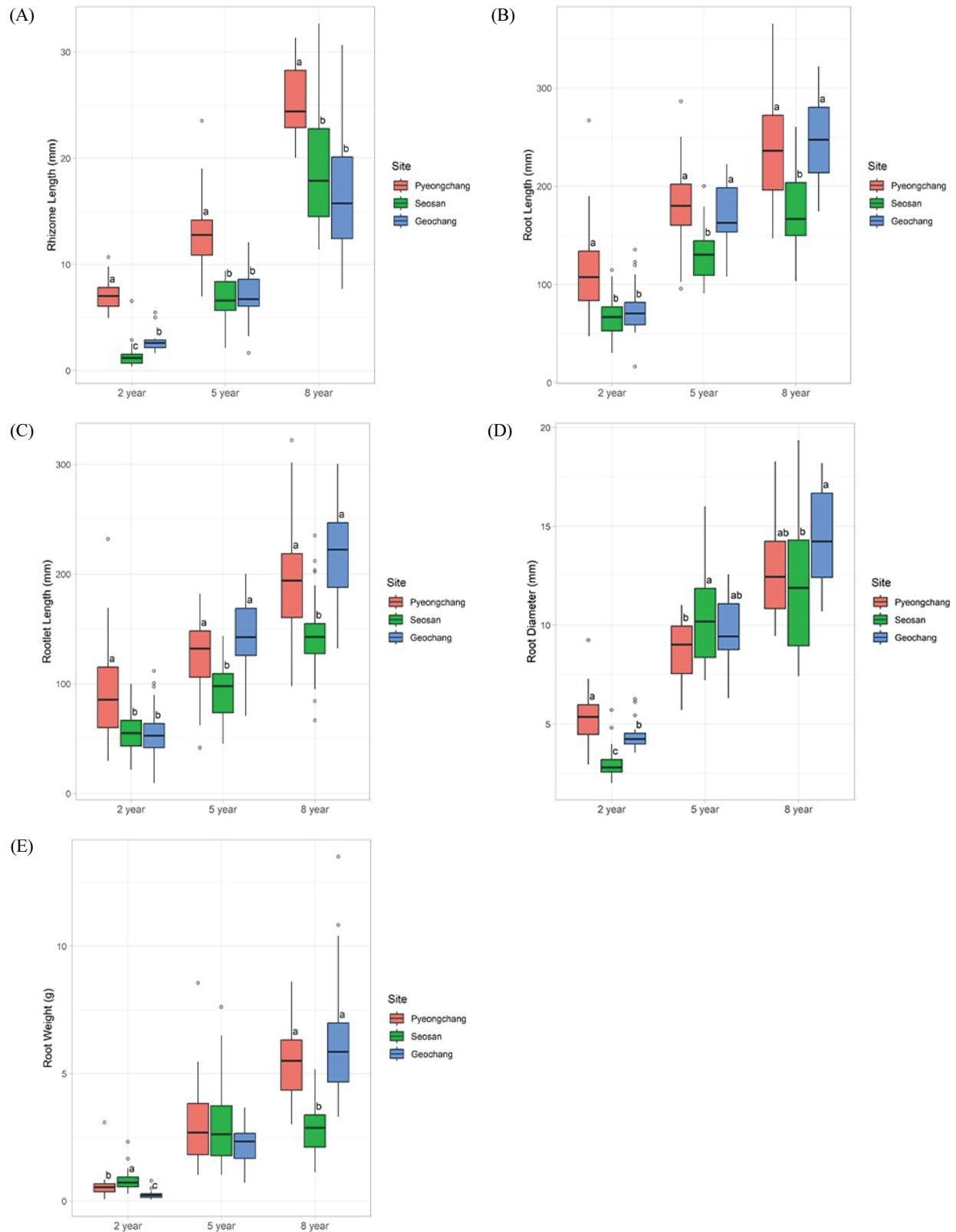


Figure 3. Comparison of the underground part characteristics of wild-simulated ginseng in three cultivation sites (Pyeongchang, Seosan, and Geochang). (A) Rhizome length (B) Root length (C) Rootlet length (D) Root diameter (E) Root weight.

세균 길이의 경우, 2년생은 Kruskal-Wallis test 후 Dunn 사후검정을 수행한 결과, p -value가 0.0007583으로 산지별로 유의미한 차이가 있었다[Figure 3(C)]. 5년생은 일원분산분석 후 Tukey 사후검정을 수행한 결과, p -value가 3.74e-06으로 산지별로 유의미한 차이가 있었다. 8년생은 일원분산분석 후 Tukey 사후검정을 수행한 결과, p -value가 4.55e-06으로 산지별로 유의미한 차이가 있었다. 즉 세 곳의 재배지에서 생육한 산양삼의 세균 길이를 비교한 결과, 2년생에서는 평창이 크게 나타났고 5년생과 8년생에서는 평창과 거창이 서산에 비해 큰 것으로 나타났다.

주근 직경의 경우, 2년생은 Kruskal-Wallis test 후 Dunn 사후검정을 수행한 결과, p -value가 1.987e-09로 산지별로 유의미한 차이가 있었다[Figure 3(D)]. 5년생은 일원분산분석 후 Tukey 사후검정을 수행한 결과, p -value가 0.00981로 산지별로 유의미한 차이가 있었다. 8년생은 일원분산분석 후 Tukey 사후검정을 수행한 결과, p -value가 0.00378로 산지별로 유의미한 차이가 있었다. 즉 세 곳의 재배지에서 생육한 산양삼의 주근 직경을 비교한 결과, 2년생에서는 평창, 5년생에서는 서산, 8년생에서는 거창이 크게 나타났다.

뿌리 생중량의 경우, 2년생은 Kruskal-Wallis test 후 Dunn 사후검정을 수행한 결과, p -value가 1.288e-08로 산지별로 유의미한 차이가 있었다[Figure 3(E)]. 5년생은 Kruskal-Wallis test를 수행한 결과, p -value가 0.1645로 산지별로 유의미한 차이가 없었다. 8년생은 Kruskal-Wallis test 후 Dunn 사후검정을 수행한 결과, p -value가 1.147e-08로 산지별로 유의미한 차이가 있었다. 즉 세 곳의 재배지에서 생육한 산양삼의 뿌리 생중량을 비교한 결과, 2년생에서는 서산, 8년생에서는 평창과 거창이 크게 나타났다.

3. 산양삼 지상부와 지하부의 상관성 분석

평창, 서산, 거창 세 곳의 재배지 내 2년생, 5년생 및 8년생 산양삼의 지상부 및 지하부에 대한 모든 데이터를 사용하여 상관분석을 실시한 결과, 전체적으로 지상부와 지하부의 양의 상관관계가 높게 나타났다. 특히, 지하부의 뿌리 직경은 지상부의 줄기 근원경($r=0.79$)과 줄기 길이($r=0.82$)와 높은 양의 상관관계를 보였다($p<0.001$). 뿌리 생중량 또한 지상부의 줄기 근원경($r=0.79$), 줄기 길이($r=0.79$)와 높은 양의 상관관계를 나타냈다($p<0.001$) [Figure 4(A)].

평창, 서산 및 거창 세 곳의 재배지 내 모든 2년생 산양삼의 지상부 및 지하부에 대한 데이터를 사용하여 상관분석을 실시한 결과, 지상부의 줄기 근원경은 지하부의 뿌리

직경($r=0.53$)과 양의 상관관계를 나타냈다($p<0.001$) [Figure 4(B)]. 5년생 산양삼의 지상부 및 지하부에 대한 데이터를 사용하여 상관분석을 실시한 결과, 지상부의 줄기 근원경은 지하부의 전체 뿌리 길이($r=0.44$)와 양의 상관관계를 보였다($p<0.001$) [Figure 4(C)]. 8년생 산양삼의 지상부 및 지하부에 대한 데이터를 사용하여 상관분석을 실시한 결과, 특히 지하부의 뿌리 생중량은 지상부의 줄기 근원경($r=0.63$), 꽃 개수($r=0.60$)와 양의 상관관계를 나타냈다($p<0.001$) [Figure 4(D)].

평창 재배지 내 2년생, 5년생 및 8년생 산양삼의 지상부 및 지하부에 대한 모든 데이터를 사용하여 상관분석을 실시한 결과, 지상부의 줄기 근원경은 지하부의 뿌리 직경($r=0.71$)과 뿌리 생중량($r=0.76$)과 높은 양의 상관관계를 보였다($p<0.001$). 줄기 길이 또한 뿌리 직경($r=0.79$), 뿌리 생중량($r=0.81$)과 높은 양의 상관관계를 나타냈다($p<0.001$) [Figure 4(E)].

서산 재배지 내 2년생, 5년생 및 8년생 산양삼의 지상부 및 지하부에 대한 모든 데이터를 사용하여 상관분석을 실시한 결과, 특히 지하부의 뿌리 직경은 지상부의 줄기 근원경($r=0.85$)과 줄기 길이($r=0.80$)와 높은 양의 상관관계를 나타냈다($p<0.001$) [Figure 4(F)].

거창 재배지 내 2년생, 5년생 및 8년생 산양삼의 지상부 및 지하부에 대한 모든 데이터를 사용하여 상관분석을 실시한 결과, 전체적으로 지상부와 지하부의 양의 상관관계가 매우 높게 나타났다[Figure 4(G)]. 특히, 지하부의 뿌리 직경은 지상부의 줄기 근원경($r=0.89$)과 줄기 길이($r=0.89$)와 매우 높은 양의 상관관계를 보였다($p<0.001$).

종합하면, 뿌리 직경과 뿌리 생중량은 줄기 근원경과 줄기 길이와 전체적으로 높은 양의 상관관계를 가졌다. 연령별로 비교해보면, 지하부인 뿌리 무게와 지상부와와의 상관성은 산양삼의 연생이 높아질수록 그 값이 커졌다. 재배지별로 비교해보면, 지상부와 지하부의 상관성은 전체적으로 거창이 가장 높은 것으로 나타났다.

재배 포지의 상태에 따라 인삼 지상부와 지하부의 생육이 직접적으로 영향을 받으며, 생육년수가 증가함에 따라 그 생육차이가 현저히 커진다고 보고된 바가 있다(Jin et al., 2009). 즉 재배지의 토양 수분 및 양분 함량에 따라 지하부의 생육이 결정되며, 이는 직접적으로 지상부의 생육에 큰 영향을 미친다고 할 수 있다. 거창 재배지의 경우 지상부와 지하부의 상관성이 전체적으로 가장 높게 나타났는데, 이는 파종 간격과 토양 성분의 균일성이 비교적 높았기 때문이라고 생각된다.

일반적으로 식물의 구조는 뿌리와 줄기로 구성되어 있으며, 관다발 조직을 통해 뿌리가 흡수한 물과 양분을 위로

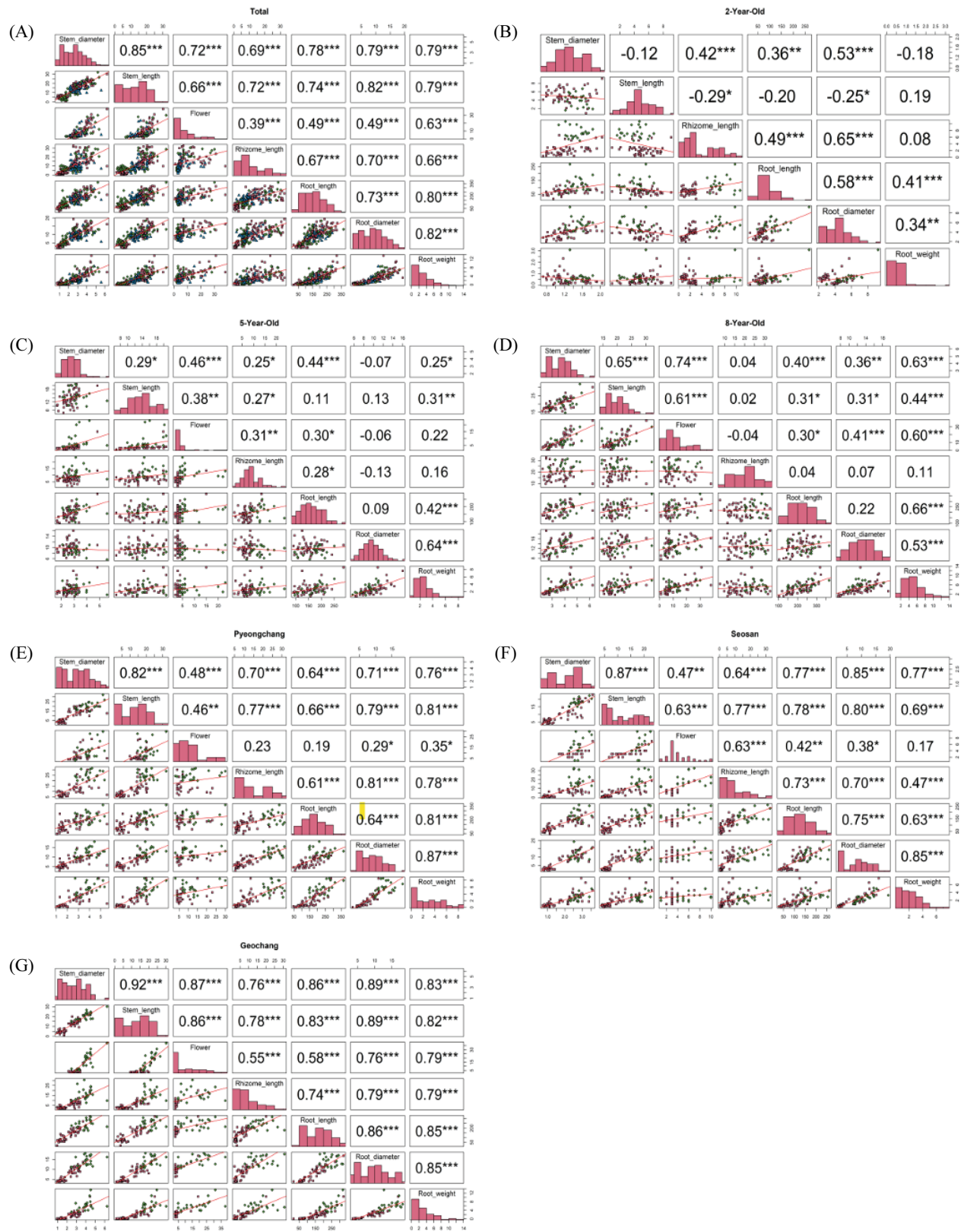


Figure 4. Correlation between the above ground part and underground part of wild-simulated ginseng. (A) Total samples (B) 2-year-old samples (C) 5-year-old samples (D) 8-year-old samples (E) Pyeongchang samples (F) Seosan samples (G) Geochoang samples.

운반하는 동시에 잎에서 생성된 당을 뿌리로 운반한다. 또한 대부분의 식물 뿌리는 티아민(Thiamin), 니코틴산(Nicotinic Acid), 피리독신(Pyridoxine) 등의 성분을 자체적으로 합성하지 못하기 때문에 줄기와 잎으로부터 이들을 공급받아야 한다. 반대로, 뿌리에서 흡수된 질산염(NO_3^-)은 질산 환원효소(Nitrate reductase)에 의해 암모니아(NH_3) 형태로 환원된 후, 아미노산으로 전환되어 줄기와 잎에 공급되어야 한다(Luckwill, 1959). 즉, 뿌리와 줄기는 물질 교환 및 호르몬 신호를 통해 상호 의존적으로 조절된다.

인삼의 경우, 지상부의 양적 형질과 지하부의 수량과의 상관관계를 분석한 연구들이 다수 존재한다. 4년생 인삼 지상부의 양적 형질 중에서 줄기 직경, 줄기 길이, 소엽 개수, 열매 개수가 뿌리 무게와 양의 상관을 보인다고 보고되었다(Choi et al., 1980; Chung et al., 1995). 또한 인삼의 줄기 직경은 뿌리 생중량과 유의한 선형 관계가 존재하며, 이를 통해 뿌리 생중량을 줄기 직경을 활용하여 관측할 수 있음을 제안한 바가 있다(Hwang et al., 2024). 하지만, 산양삼의 경우 지상부의 양적 형질과 지하부의 수량의 상관성에 대한 연구는 거의 존재하지 않았다. 따라서 본 연구 결과는 산양삼의 지하부를 수확하지 않더라도, 지상부의 양적 형질로 지하부의 수량을 예측하여 선발할 수 있다는 가능성을 제시한 것에서 의의가 있다고 볼 수 있다. 다만 본

연구에서 제안한 비파괴적인 방법인 지상부 측정법을 이용하여 지하부의 수량 예측이 가능한지 검증하기 위해서는, 국내 다양한 산양삼 재배지 및 연생에서 충분한 산양삼 시료를 수확하여 상관성 및 선형 관계가 통계적으로 유의한지 검증하는 추가적인 연구가 필요할 것이다.

4. 산양삼 종자의 형태적 특성 및 발아율 비교

세 곳의 재배지에서 채집한 산양삼 종자는 평균 길이 4.90 mm, 폭 4.05 mm, 두께 2.56 mm, 무게 0.027 g, 건중량 0.024 g 값을 나타냈다. 서산 종자가 길이와 폭에 비교적 큰 값을 보였으며, 평창 종자의 경우 생중량에서 가장 큰 값을 확인할 수 있었다(Table 3). 평창은 [213, 192, 156], 서산은 [185, 163, 130], 거창은 [203, 182, 147]의 RGB 값을 보였다. RGB 값이 [0, 0, 0]이면 검은색, [255, 255, 255]이면 흰색을 의미하므로, 평창 종자가 가장 밝고 서산 종자가 가장 어두운 것으로 나타났다. 하지만 세 곳의 재배지에서 유의미한 종자의 형태적 차이는 나타나지 않은 것으로 판단되었다.

칠보산 학술림 및 태화산 학술림, 관악산 수목원 세 곳의 파종지 내에 각 재배지에서 채집한 종자 및 인삼 종자를 사용하여 파종을 실시한 후, 2023년 6월 말에 파종지 내 모든 실험지의 종자 발아 유무를 확인하였다(Table 4, Figure 5). 평균 발아율은 평창 종자는 23.11%, 서산 종자

Table 3. Morphological characteristics of seeds of wild-simulated ginseng in three cultivation sites (Pyeongchang, Seosan, and Geochang).

Provenance	Average length (mm)	Average width (mm)	Average thickness (mm)	Average fresh weight (g)	Average dry weight (g)	Average color (RGB value)
Pyeongchang	4.914±0.289	4.008±0.249	2.495±0.247	0.028±0.004	0.024	[213, 192, 156]
Seosan	4.941±0.357 ^a	4.141±0.280	2.644±0.280	0.027±0.005	0.024	[185, 163, 130]
Geochang	4.853±0.367	4.002±0.285	2.553±0.235	0.026±0.004	0.023	[203, 182, 147]

^a Mean±Standard deviation.

Table 4. Germination rate (%) of seeds from three cultivation sites (Pyeongchang, Seosan, and Geochang) and seeds of cultivated ginseng in three different sowing sites (Mt. Chilbo, Mt. Taehwa, and Mt. Gwanak).

Provenance	Mt. Chilbo (%)		Mt. Taehwa (%)		Mt. Gwanak (%)		Mean (%)
	Broad ^c	Conifer ^d	Broad	Conifer	Broad	Conifer	
Pyeongchang	41.34 ^{ab}	26.00 ^{ab}	32.66	10.00	3.34	25.34	23.11
Seosan	15.34 ^{ab}	1.34 ^{ab}	6.66	2.00	5.34	6.00	6.11
Geochang	66.00 ^{a*}	48.66 ^{a*}	38.00	18.66	4.00	26.00	33.55
Cultivated ^a	0.00 ^{b*}	0.00 ^{b*}	0.66	0.00	0.00	0.00	0.11
Germinated ^b	20.00 ^{ab}	20.00 ^{ab}	12.00	6.00	0.00	0.00	9.67

^a Cultivated ginseng (*Panax ginseng*).

^c Broad-leaved forest floor.

* $p < 0.05$

^b Germinated seeds from Geochang cultivation site.

^d Conifer forest floor.



Figure 5. Different germination rate of seeds from three cultivation sites (Pyeongchang, Seosan, and Geochang) in the broad-leaved forest floor of Mt. Chilbo.

는 6.11%, 거창 종자는 33.55%, 인삼 종자는 0.11%, 그리고 거창 발아 종자는 9.67%로 나타났다. 칠보산과 태화산 파종지의 경우 침엽수림보다 활엽수림에 파종하였을 때 전체적으로 발아율이 높았으며, 관악산의 경우 침엽수림이 더 높은 발아율을 보였다. 그리고 전체 파종지에 대한 평균값을 보았을 때, 거창 종자가 가장 발아율이 높았으며 인삼 종자가 가장 발아율이 낮게 나타났다. 또한 거창의 발아된 종자의 경우, 발아되지 않은 종자에 비해 파종 후 발아율이 현저히 낮게 나타났다.

그러나 본 연구에서 사용된 종자는 전년도에 각 재배지에서 채집된 후 보관된 종자를 활용하여 파종하였으므로, 재배지별 개갑 처리 방법 및 보관 조건에 차이가 있을 가능성을 높다. 추후 동일한 생육 시기에 수확하여 동일한 조건으로 과육 제거 및 개갑 처리한 후, 일정 기간 저온 보관한 종자를 사용하여 추가 실험을 진행할 필요가 있을 것이다. 이때 기상 조건 및 임상이 다양한 산지들을 선정한 뒤 파종 및 발아 결과를 활용하여 분석한다면, 산양삼의 최적 발아 조건을 탐색할 수 있을 것이라 기대한다.

5. 산양삼 재배지의 생육 환경 분석

2023년 4월에서 8월까지 약 5개월 동안 평창, 서산, 및 거창 세 곳의 재배지 내 평균 온도 및 평균 상대습도를 측정한 결과, 모든 재배지에서 평균 온도는 9~25.7°C 범위였고 평균 상대습도는 64~95% 범위로 나타났다(Table 5). 측정 기간 동안의 평균 온도는 전체적으로 평창에서 가장 낮았으며, 서산과 거창은 비교적 비슷한 값으로 나타났다. 평균 상대습도는 전체적으로 거창이 가장 낮게 나타났고, 평창이 대체로 가장 높은 값을 보였다. 산양삼 재배지의 기상 특성 중에서 지상 온도는 -10~30°C 범위에 존재하여야 하며, 특히 지상부가 출현하는 4월에는 15°C 이상의 기온이 필요한 것으로 보고되었다(Lee, 2010). 본 연구에서도 마찬가지로, 지상 온도가 15°C 이상이 되는 시기인 5월에 산양삼의 지상부가 출현하여 잎이 발달하기 시작하였다.

세 곳 재배지의 평균 온도는 산양삼의 지하부 형질 중에서 뇌두 길이와 전체적으로 비슷한 경향성을 가졌으며, 낮은 온도일수록 뇌두의 길이가 길어지는 경향을 보였다. 선행연구에 따르면, 저온(14~20°C)에서 재배된 2년생 인삼의 경우 고온(18~23°C)에서 재배된 인삼보다 식물의 전체 길이와 줄기 직경이 큰 것으로 보고되었으며(Lee et al., 2012), 이러한 결과는 낮은 온도에서 생육한 평창 재배지 내 산양삼의 뇌두 길이가 길어지는 것과 관련이 있을 것으로 사료된다. 평창 재배지에서 뇌두의 길이는 지하부의 뿌리 직경($r=0.81$) 및 뿌리 생중량($r=0.78$)과 유의하게 높은 양의 상관관계를 보였으며, 이를 통해 환경 인자인 재배지의 평균 온도는 뇌두 길이 및 지하부의 수량과 연관성이 높다고 할 수 있다.

평균 상대습도는 재배지 사이에 뚜렷한 경향성을 보이지 않았는데, 이는 실제 대기의 상대습도가 산양삼의 생장에 어떤 영향을 줄지는 다양하고 복잡한 기상 상황과 관련되어 있어 단순히 예측하기 어렵기 때문이며, 특히 대기

Table 5. Average temperature and relative humidity of three cultivation sites of wild-simulated ginseng (Pyeongchang, Seosan, and Geochang).

Month	Pyeongchang		Seosan		Geochang	
	T ^a (°C)	RH ^b (%)	T (°C)	RH (%)	T (°C)	RH (%)
April	9.4	75	12.9	72	12.5	64
May	14.0	73	18.0	72	17.3	73
June	17.8	87	21.6	81	22.1	75
July	21.3	95	24.5	93	24.9	88
August	22.7	95			25.7	84

^a Temperature

^b Relative humidity

Table 6. Soil physicochemical characteristics of wild-simulated ginseng by three cultivation sites (Pyeongchang, Seosan, and Geochang) and three ages (two-year-old, five-year-old, and eight-year-old).

Site	Year	Texture	pH	EC (dS/m)	Organic density (%)	Total of nitrogen (%)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	Exchangeable cations (mg/kg)			
									Ca	Mg	K	Na
Pyeongchang	2	Sandy clay loam	5.2	0.12	8.93	0.359	135.66	22.74	272.52	27.03	85.88	6.53
	5	Silt loam	4.9	0.41	14.5	0.619	332.72	42.49	438.95	68.86	253.93	8.63
	8	Clay loam	5.3	0.2	9.58	0.383	275.74	32.86	444.43	57.15	186.13	8.75
Geochang	2	Loam	4.8	0.45	12.67	0.575	402.34	41.41	366.35	47.24	286.8	15.16
	5	Sandy clay loam	4.8	0.24	9.84	0.381	115.85	28.84	161.53	23.44	118.23	10.72
	8	Clay loam	4.4	0.3	10.81	0.412	98.14	36.06	64.29	12.38	71.82	10.3
Seosan	2	Loam	4.8	0.19	4.58	0.185	87.99	25.79	68.22	28.24	86.34	14.22
	5	Loam	4.4	0.43	12.05	0.313	56.08	28.98	233.82	52.39	82.15	15.66
	8	Sandy clay loam	4.7	0.58	16.23	0.537	147.13	28.15	845.88	78.05	103.17	24.26

의 습도는 강우와 관련해서 매우 다양하게 나타날 수 있다 (Lee, 2010; Suh et al., 2021).

세 곳의 재배지 내 2년생, 5년생 및 8년생 산양삼이 생육 중인 토양의 이화학적성을 분석한 결과, 모두 양토 또는 식양토의 토성을 가졌으며, pH는 4.4~5.3 범위 내로 나타났다(Table 6). 『산양삼 표준재배지침』(Jeon et al., 2021)과 『인삼 농업기술길잡이』(RDA, 2022)에 따르면, 산양삼 재배를 위한 적합한 토양 조건은 산도 pH 5.5 이외의 토양이며, 토성은 점질이 약간 많은 양토 또는 식양토로, 세 곳 재배지의 산양삼 연생별 토성과 pH는 재배 기준에 부합하는 것으로 판단되었다.

토양의 전기전도도는 0.1~0.6 dS/m, 유기물 함량은 4.5~16.3%, 전질소는 0.18~0.62% 정도로 나타났다. 그리고 유효인산은 56~403 mg/kg, 양이온 치환용량은 22.7~42.5 cmol/kg 정도였으며, 치환성 양이온 또한 다양한 범위로 나타났다. 이는 우리나라 산림의 다양한 토양 특성에 의한 것으로 판단되며, 산양삼 재배지별 및 연생별로 차이가 존재하였다.

토양 내 치환성 양이온인 Na⁺의 평균 농도는 서산이 가장 높은 값을 나타냈고, 그 다음으로 거창, 평창 순으로 높았다. 토양 내 Na⁺가 Ca²⁺와 Mg²⁺에 비해 상대적으로 높은 농도를 보이면 토양의 투수성 및 통기성이 불량해지는데, 이를 나타내기 위한 기준으로 나트륨 흡착비(SAR)가 있다(Curtin et al., 1994). 서산, 거창, 평창의 평균 SAR 값은 각각 약 0.86, 0.80, 0.38로 계산되었다. 나트륨성 토양은 식물의 생육을 저해할 정도로 치환성 나트륨이 집적된 토양을 의미하며, 일반적으로 나트륨 흡착비 값이 13

이상이다. 따라서 연구를 수행한 세 곳의 재배지는 모두 나트륨 흡착비 기준으로 정상토양으로 분류할 수 있다.

인삼은 다년생의 뿌리 작물로서 다른 작물과 비교했을 때 상대적으로 내비성이 약하여 토양 환경 중 특히 양분에 민감하게 반응하는데(Park, 1991), 나트륨 과잉으로 인해 생육특성이 변화하면서 엽록소 함량, 지상부 생중량, 뿌리 생중량이 감소하고, 생리장해가 나타나면서 잎 황화 현상, 지상부 고사, 세균 탈락 및 썩음 현상이 나타난다고 보고되었다(Yu et al., 2018). 선행연구와 동일한 결과로, 세 곳 재배지의 토양 내 치환성 나트륨의 농도는 산양삼의 지하부 형질 중에서 전체 뿌리 길이 및 세균 길이와 전체적으로 부(-)의 연관성을 보였다. 이는 나트륨 농도가 높을수록 전체 뿌리와 세균의 길이가 짧아지는 경향성을 보인다는 선행연구와 동일한 결과라고 할 수 있다.

결론

본 연구는 산양삼의 재배지별, 부위별 형태적 특성에 대한 표준화 지표 개발을 위한 기초 자료를 마련하기 위해 수행되었다. 산양삼은 토양 특성 및 기상 조건의 복합적인 영향으로 인해 그 형태가 크게 달라질 수 있기 때문에, 산양삼의 형태적 특성에 결정적인 영향을 주는 환경적 요인을 탐색할 필요가 있다. 따라서 국내 산양삼의 주요 재배지인 강원 평창, 충남 서산 및 경남 거창 세 곳의 재배지를 선정하여 산양삼의 지상부 및 지하부의 형태적 특성과 종자 발아율, 그리고 각 재배지의 생육 환경에 대해 조사하여 비교하였다. 또한 비파괴적인 방법으로 산양삼의 지상부

관측을 통한 지하부 생장량의 예측 가능성을 제안하고자 지상부와 지하부의 상관성을 분석하였다. 산양삼의 형태적 특성과 생육 환경의 연관성을 분석한 결과, 낮은 기상 온도에서 생육한 산양삼의 경우 긴 뇌두 길이를 나타냈으며, 치환성 나트륨(Na^+)의 농도가 높을수록 전체 뿌리와 세근의 길이가 짧아지는 경향을 보였다. 또한 뿌리의 직경과 생중량은 줄기의 근원경 및 길이 양의 상관관계를 보였다. 앞으로 국내 산양삼의 체계적인 품질 관리를 위해서는 산양삼의 형태적 표준화 및 등급화 통한 과학적인 품질 및 유통 관리 시스템이 필요할 것이다. 이를 위해서는 지역별 또는 재배지별 산양삼의 형태적 특성을 비교하여 지표화 또는 등급화가 가능한 기준 형질을 선정하는 것이 필수적이다. 본 연구 결과는 산양삼의 형태적 지표 개발 및 품질 등급화를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이라 기대한다.

감사의 글

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 실용화 지원사업(과제번호: 2023501C10-2323-AB01)의 지원에 의하여 수행되었습니다. 본 연구에 도움을 주신 이원경(평창), 김응화(서산), 서재석(거창) 세 곳의 산양삼 재배지 대표님들께 감사함을 전합니다.

References

- Choi, K.T., Ahn, S.D. and Shin, H.S. 1980. Correlations among agronomic characters of hingseng plants. Korean Journal of Crop Science 25(3): 63-67.
- Chung, Y.Y., Chung, C.M. and Choi, K.T. 1995. The correlation of agronomic characters and path coefficient analysis in *Panax ginseng* C.A. Meyer. Journal of Ginseng Research 19(2): 165-170.
- Curtin, D., Steppuhn, H. and Selles, F. 1994. Clay dispersion in relation to sodicity, electrolyte concentration, and mechanical effects. Soil Science Society of America Journal 58(3): 955-962.
- Gil, J., Um, Y., Byun, J.K., Chung, J.W., Lee, Y. and Chung C.M. 2017. Genetic diversity analysis of wood-cultivated ginseng using simple sequence repeat markers. Korean Journal of Medicinal Crop Science 25(6): 389-396.
- Hwang, J.S., Jang, M.H. and Lim, C.R. 2024. A study on environmental factors affecting ginseng yield. Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society 25(12): 646-652.
- Hyun, D.Y., Hyeon, G.S., Yeon, B.Y., Kang, S.W., Kim, Y.C., Lee, K.W. and Kim, S.M. 2009. A guideline to land suitability used soil physical characteristics and yield potential in *Panax ginseng* C.A. Meyer. Korean Journal of Medicinal Crop Science 17(6): 421-426.
- Jeon, K.S., Um, Y., Jung, C.R., Park, H.W. and Kim, M.J. 2021. Standard Cultivation Guidelines for Wild-simulated Ginseng. Jinhan M&B. Seoul, Republic of Korea.
- Jeong, B.G., Jung, G.R., Kim, M.S., Moon, H.G., Park, S.J. and Chun, J. 2019. Ginsenoside contents and antioxidant activities of cultivated mountain ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) with different ages. The Korean Society of Food Preservation 26(1): 90-100.
- Jin, H.O., Kim, U.J. and Yang, D.C. 2009. Effect of nutritional environment in ginseng field on the plant growth of ginseng (*Panax ginseng* C. A. Meyer). Journal of Ginseng Research 33(3): 234-239.
- Kang, S.Y., Schini-Kerth, V.B. and Kim, N.D. 1995. Ginsenosides of the protopanaxatriol group cause endothelium-dependent relaxation in the rat aorta. Life Sciences 56(19): 1577-1586.
- Kim Y.K., Guo, Q. and Packer, L. 2002. Free radical scavenging activity of red ginseng aqueous extracts. Toxicology 172(2): 149-156.
- Lai, D.M., Tu, Y.K., Liu, I.M., Chen, P.F. and Cheng, J.T. 2006. Mediation of β -endorphin by ginsenoside Rh2 to lower plasma glucose in streptozotocin-induced diabetic rats. Planta Medica 72(1): 9-13.
- Lee, D.S. 2010. Weather characteristic and growth of a forest ginseng cultivation site. Journal of Korean Forst Society 99(6): 863-870.
- Lee, G.A., Chang, Y.K., Park, S.Y., Kim, G.A., Kim, S.H. and Song, B.H. 2012. Studies on growth responses and yields of *Panax ginseng* C. A. Meyer grown under hydroponic culture with different temperatures and growth stages. Korean Journal of Medicinal Crop Science 20(3): 184-189.
- Li, C., Cai, J., Geng, J., Li, Y., Wang, Z. and Li, R. 2012. Purification, characterization and anticancer activity of a polysaccharide from *Panax ginseng*. International Journal of Biological Macromolecules 51(5): 968-973.
- Li, X., Kang, S.J., Han, J.S., Kim, J.S. and Choi, J.E. 2010. Comparison of growth increment and ginsenoside content in different parts of ginseng cultivated by direct seeding and transplanting. Korean Journal of Medicinal Crop Science 18(2): 70-73.
- Luckwill, L.C. 1959. The physiological relationships of root and shoot. Scientific Horticulture 14: 22-26.
- Park, C.K., Kwak, Y.S., Hwang, M.S., Kim, S.C. and Do,

- J.H. 2007. Current status of ginseng (red ginseng) products in market of health functional food. The Korean Ginseng Research and Industry 1(2): 9-16.
- Park, H. 1991. Physiological disorder of *Panax ginseng*. Journal of Korean Society of Crop Science 36: 459-480.
- R Core Team. 2024. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.
- Rural Development Administration (RDA). 2022. Guide to Agricultural Techniques for Ginseng. Jinhan M&B. Seoul, Republic of Korea.
- Shin, S.S., Kim, K.C., Choi, Y.H., Lee, Y.T., Eom, H.S. and Kim, C.S. 2001. Critic standardization and objectivity of mountain grown ginseng. Journal of Dong - Eui Oriental Medicine 5(0): 107-114.
- Song, J.H., Park, M.J., Kim, E. and Kim, Y.C. 1990. Effects of *Panax ginseng* on galactosamine-induced cytotoxicity in primary cultured rat hepatocytes. The Pharmaceutical Society of Korea 34(5): 341-347.
- Suh, S.J., Moon, J.W., Kwon, N.Y., Jang, I.B., Kim, Y.C. and Jang, I.B. 2021. Effects of cold temperature and relative humidity on the freezing stress of two year-old ginseng seedlings. Korean Journal of Medicinal Crop Science 29(3): 194-200.
- The Korea Forest Service (KFS). 2024. Introduction to Wild-simulated Ginseng. https://www.forest.go.kr/kfswb/kfi/kfs/cms/cmsView.do?cmsId=FC_000826&mn=AR01_05_02_01. (2025. 01. 27).
- Yu, J., Suh, S.J., Jang, I.B., Jang, I.B., Moon, J.W., Kwon, K.B. and Lee S.W. 2018. Influence of sodium concentrations on growth, physiological disorder symptoms, and bed soil chemical properties of 2-year-old ginseng. Korean Journal of Medicinal Crop Science 26(3): 240-247

Manuscript Received : October 2, 2024

First Revision : February 2, 2025

Accepted : February 3, 2025