우리나라 인삼 육종의 주요 성과와 전망

방경환 · 김영창 · 이정우 · 조익현 · 홍지은 · 현동윤 · 김장욱*

농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부

Major Achievement and Prospect of Ginseng Breeding in Korea

Kyong-Hwan Bang, Young-Chang Kim, Jung-Woo Lee, Ick-Hyun Cho, Chi-Eun Hong, Dong-Yun Hyun, and Jang-Uk Kim*

Department of Herbal Crop Research, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Bisanro 92, Eumseong, Republic of Korea

Abstract Artificial selection of ginseng has been practiced since Hwangsook (with yellow pericarp and a green stalk, and was developed from a landrace parent) and Cheonggyeong (with red pericarp) were selected as breeding lines in 1926. Systematic research into ginseng breeding, however, started in earnest in the 1960s when the Central Research Institute of Monopoly and Technology (CRIMT) was established, and the Korean Ginseng Experiment Station was organized under the CRIMT. Research into variant characteristics, resource collections, and genetic evaluations began around this time. With the establishment of the Korean Ginseng Institute in the 1970s, studies involving pedigree selection, cataloguing of agricultural traits of genetic resources, generation shortening by tissue culture, and heritability assessments were conducted. In the 1980s, regional adaptation tests were carried out on breeding lines, focusing on ginseng-producing districts. In the 1990s, research was performed on seed multiplication for variety diffusion, effective components and processing quality, and cross breeding. Foreign ginsengs were introduced for interspecies hybridization, and studies were conducted using genetic engineering techniques. Since the 2000s, applications have been made to patent different ginseng cultivars. Currently, 32 cultivars are registered at the Korea Seed & Variety Service. Future goals for ginseng breeding include developing climate change- and disaster-resistant, consumer-oriented, high-performance cultivars. Therefore, it is necessary to develop technologies for distributing new cultivars by collecting and evaluating genetic resources, and cross breeding and performing mass propagation using these resources.

Keywords Korean ginseng, Breeding, Ginseng cultivar

Received on December 13, 2019. Revised on January 27, 2020. Accepted on February 12, 2020.

* Corresponding Author (E-mail: k2korea@korea.kr, Tel: +82-43-871-5608, Fax: +82-43-871-5639)

서 언

최근 전 세계인의 웰빙과 건강에 관한 관심 증가로 다양한 한약재를 원재료로 한 건강기능식품이 등장하고 있다. 인삼은 이러한 다양한 한약재 중에서도 대표적인 한약재로 손꼽히며 전 세계적으로 널리 이용되고 있다. 특히 최근에는 베트남 등의 동남아시아와 유럽 등에서 인삼에 대한 관심이 높아지고 있다.

고려인삼(*Panax ginseng* C. A. Meyer)은 우리나라의 중요한 천연자원으로서 예로부터 영약(靈藥) 또는 선약(仙藥)으로 사용됐다. 중국의 문헌에 처음으로 기재되어 있는 것은 사유의 급취장(전한 원제시대, B. C. 33~48)이며, 장중경의 상한론(후한 헌제 시대, B. C. 196~200)에는 총 113개 처방 중 21개의 인삼 배합 처방이 수록되어 있다. 그 후 신농본초경, 신농본초경집주, 명의

별록, 방약합편, 경악전서, 동의보감 등 많은 의서에 보기 약재로서의 인삼 기록이 수록되어 있다(Lee 2013).

Panax 속에 속하는 식물은 *Panax ginseng* C. A. Meyer를 비롯하여 *P. quinquefolius*, *P. notoginseng*, *P. japonicus*, *P. trifolius* 등 17종이 알려져 있다. 이 중에서 Asian ginseng으로 알려진 *P. ginseng* (한국, 중국, 일본 등 동아시아 지역 재배 기원), American ginseng으로 알려진 *P. quinquefolium* (캐나다와 미국 동부 및 중국 재배 기원) 및 삼칠삼으로 불리는 *P. notoginseng* (중국 남서부 및 베트남 재배 기원)의 3종이 주로 재배되어 한약재로 널리 유통되고 있다(Wen & Zimmer 1996).

고려인삼은 아시아의 극동지방 북위 34~48° 사이의 우리나라 남해 지역과 제주도를 제외한 지역(34~43°), 중국 동북지역(43~47°) 및 러시아 지역(42.5~48°)에서 자생하고 있으며, 상당히 제한적

인 범위의 위도와 경도 상에서 생육할 수 있다(Woo et al. 2004). 우리나라에서 생산된 인삼이 다른 나라에서 생산되는 삼보다 높이가 평가받는 이유는 재배 적지가 좁음에도 불구하고 계절의 변화가 다른 지역보다 분명하고 생육 기간이 긴 특성이 있기 때문이다(Kim 2012).

고려인삼의 주요 약리 물질들은 사포닌(진세노사이드류), 페놀 화합물, 다당류, 펩타이드류, 폴리아세틸렌류, 지방산 등으로 알려졌지만(Attele et al. 1999), 이 중에서 사포닌 성분이 가장 대표적인 약리효능 물질로서 주목을 받고 있다. 사포닌은 비누와 같은 특징을 갖는 배당체(glycosides)로써, 수많은 식물 중에서 생성된다. 또한 수백 년 전부터 약리적 활성을 인정받았으며 비누풀(*Saponaria officinalis* L.)에서 추출하여 비누로 사용하기도 하였다(Osbourn 1996).

한편 인삼 종의 기원을 동정하기 위해서 사포닌이 활용되고 있으며, protopanaxadiol 계와 protopanaxatriol 계의 사포닌이 다양한 약리 작용을 가지고 있기 때문에 품질 관리의 지표 성분으로 이용되고 있다. 또한 사포닌 종류에 따라 다양한 질병에 대한 작용도 다른 것으로 알려져 있다(Elma et al. 1991, Henishin et al. 1991, Park et al. 1991). 사포닌의 함량은 주로 온도, 습도 등 재배 환경에 따라 차이가 나지만 품종이나 계통에 따라 서로 차이가 있을 것으로 추측되어 앞으로 성분(기능성) 육종에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

고려인삼의 효능은 항 스트레스(Lee et al. 2006), 혈류 개선(Kang et al. 2013), 면역증강(Kim et al. 2014)과 암(Jiao et al. 2014), 고지혈증(Kwak et al. 2010), 건망증(Lee et al. 2011) 및 당뇨병(Banz et al. 2007) 등의 예방에 효과가 있는 것으로 보고되고 있으며, 현재도 활발한 연구가 진행되고 있다.

앞서 기술한 바와 같이 인삼을 대상으로 한 연구는 다른 식량 작물에 비교하였을 때, 주로 생리 활성, 효능 등에 관련된 연구가 진행되어 왔으며, 최근에 와서야 분자 수준에서의 유전학과 생리학 등의 기초과학 분야에 관련된 연구가 시작되고 있다. 한편 인삼 품종의 역사는 다른 작물에 비해 짧은 편이어서 앞으로도 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

우리나라 인삼 육종의 주요성과

고려인삼은 산형목 오가과(*Araliaceae*) *Panax*속 다년생 식물이다. 지역적으로 차이가 있으나 출아는 매년 4월 중순경에, 개화는 5월 초순경에 이뤄진다(Kwon et al. 2001). 꽃은 5장의 꽃잎과 꽃받침에 1개의 암술과 5개의 수술 및 2개의 주두를

갖는 완전화이다. 수정은 자가수정을 원칙으로 하지만 간혹 충매, 풍매 등에 의해 타가 수정되기도 한다(KT&G 1996). 꽃은 꽃대의 꼭대기 끝에 여러 개의 작은 꽃(소화, 小花)들이 방사형으로 달려 하나의 큰 꽃송이처럼 보이는 산형화서를 이루고 있는데, 산형화서의 가장자리 소화(小花)들부터 개화하기 시작하여 점차 꼭대기 중심 부위로 개화가 진행되는데, 완전히 개화되는데 소요되는 시간은 7~15일이다. 또한 1개의 화경에 40여 개의 열매가 맺히는 핵과류이다(Rhim 2010). 종자는 대체로 1과에 2립이 보통이지만 드물게는 1과에 1립 또는 1과에 3립인 경우도 있다(KT&G 1996).

현재까지 국내에서 인삼 품종 육성은 제한된 수의 품종만이 개발되어 왔으며, 이러한 품종들을 지역 재래종에 비교하여 뿌리의 형태가 양호하고, 병해충에 강하며, 사포닌을 다량으로 함유하고 있고, 수량성이 좋은 고유한 형태적 특성과 더욱 나은 농업적 특성을 보이고 있다(Kim et al. 2013, Kwon et al. 2003).

한편 인삼 육종은 매우 까다로운 것으로 알려져 있는데 그 이유는 다른 작물에 비교하여 상대적으로 유전자원의 수가 적고 육종 소요 기간이 30년 이상으로 매우 길어서 실용성이 떨어지기 때문이다(Bang et al. 2011, Kwon et al. 1998).

인삼은 종자를 파종하여 다시 종자를 얻기까지 최소 3~4년이 소요되며, 인삼 지상부의 전형적인 특성을 파악하기 위해서 4년 생부터 가능하다. 인삼은 주로 순계분리 육종법에 의해 육성을 하고 있는데, 이 방법을 이용할 경우 선발, 증식, 특성평가, 생산력 검정 시험, 지역 적응시험을 거치면 대략 36년이란 시간이 소요된다. 또한 교잡육종법을 이용하여 새로운 품종을 만들 경우 잡종 1대를 육성하고 분리 세대(F_2 - F_3) 및 F_6 세대 이후의 선발 등의 단계를 거치면 산술적으로 60년 이상의 오랜 시간이 소요된다(Cho 1998). 현재까지 육성된 품종은 모두 순계분리육종법에 의해 육성된 것으로 교잡육종법에 의해 육성된 품종은 아직 없는 실정이다.

국내에서 인삼의 육종이 시작된 시기는 1920년대이다. 1926년에는 경기도 개풍군에서 장과의 색깔이 황색을 띠는 황숙종이, 경기도 장단군에서 줄기의 색깔이 녹색인 청경종이, 경기도 개풍군에서 열매 색이 자경종과 황숙종의 중간인 등황색을 나타내는 등황숙종이 발견되었다. 국내 인삼 재배농가에서 이러한 변종들이 발견되면서 인삼의 유전자원 선발이 시작되었다(Chung et al. 1992).

인삼 신품종 육성 분야에서 체계적인 연구가 시작된 시기는 1962년 중앙전매기술연구소 산하에 고려인삼시험장이 설치된 이후이다. 한편 농가에서 발견된 자경종과 황숙종을 대상으로

특성 비교 연구는 1963년에 수행되었고, 유전자원 수집 및 특성 검정은 1966년에 시작되었다(KT&G 1972). 한편 1964년에 일본 나가노 시험장 Miyazawa에 의해서 미마끼(Mimaki)가 품종 등록되어 1967년에 우리나라에 도입되었으나, 품종의 구별성이 없어 품종으로 지속을 못 하고 있으며 현재 육종과 재배 연구가 중단되고 있다(KT&G 1992).

1970년대에는 고려인삼연구소가 설립되었으며, 1980년대에는 고려인삼연구소가 한국인삼연초연구소로 확대 개편되면서 인삼 품종 육성에 관한 연구 영역도 확대되었는데 농가에서 수집되어 선발 육성된 계통들을 대상으로 지역 적응시험이 본격적으로 수행되었다(Kwon et al. 1991).

1990년대에는 순계분리 육종과 함께 교배육종도 병행되었는데 중간 교잡을 목적으로 미국삼(*P. quinquefolius* L.), 삼칠삼(*P. notoginseng* Burkill), 죽절삼(*P. japonicus* C. A. Meyer) 및 히말라야삼(*P. pseudoginseng* Wall)이 국내에 도입되었다(Cheon et al. 1985). 인삼 중간 교잡의 경우 고려인삼과 미국삼을 대상으로 연구가 시도되었으나 F₂ 세대에서 종자가 맺히지 않는 것으로 알려져 있다.

본격적으로 인삼 품종이 등록된 시기는 2000년대 이후부터이다. 한국인삼공사에서는 2002년에 천풍과 연풍을, 2003년에 고평, 선풍, 금풍을, 2006년에 선운, 선원을, 2007년에 청선을 그리고 2009년에 선향을 품종 등록하였다. 2000년 초반에는 한국인삼공사가 민영화되면서 한국인삼공사에서 보존 중인 유전자원 317점이 농촌진흥청으로 이관되어 국가기관에서 인삼 육종을 담당하게 되었다.

또한 2000년대에는 국가기관인 농촌진흥청을 비롯하여 지역 특화작목연구소에서도 본격적으로 인삼 육종 연구가 시작되었다. 경기도원에서는 2012년에 K-1을, 충남도원에서는 2013년에 금선을, 2015년에 금진을, 농촌진흥청에서는 2013년에 천량을, 2015년에 고원을, 2019년에 천명과 진원을 품종 등록하였다(Kim 2012, Kim et al. 2013, Kim et al. 2017). 이들 품종은 다수성이면서 병(점무늬병)과 고온에 강하며 적변(뿌리가 빨갛게 변하는 현상) 등이 없는 특성을 나타내고 있다(Fig. 1).

현재까지 인삼 품종은 약 15%가 보급되었으며 아직도 85%는 지역 재래종에 의존하고 있다. 따라서 우리가 육성한 신품종이 보다 빨리, 더욱 많이 보급되기 위해서는 농촌진흥청과 지역 특화작목연구소(금산인삼약초시험장, 풍기인삼연구소 등) 등에서 개발된 품종을 현장실증사업과 신기술보급사업 등을 통하여 선도 농가를 중심으로 보급을 확산 시켜 나아가야 할 것이다.

인삼은 신품종 육성 뿐만 아니라 증식 연구도 매우 중요한데

6년 재배하여 1회 채종 시 증식 배율이 연간 약 8.5배이며 6년 4회 채종하더라도 21배로 매우 낮아 육성된 품종을 농가에 보급하기 위해서는 오랜 시간이 소요된다(Kim et al. 2016). 이를 해결하기 위하여 조직배양을 이용한 대량 증식 연구가 오랜 기간 진행되었는데 대부분 부정배 대량 유도(roatic embryos from cotyledon explants) 연구에 초점이 맞춰져 왔다(Fig. 2)(Ahn et al. 1996, Kim et al. 2012). 조직배양이 실제 인삼 품종 증식에 적용된 사례는 없는데 대표적인 이유는 기내에서 정상적이면서 우량한 식물체를 얻기 힘들다는 점(Choi et al. 1999)과 조직배양 묘의 기외 생존율이 매우 낮다는 점 때문이다(Choi et al. 1998, Choi et al. 2003). 이 문제점을 극복하기 위한 연구가 계속 진행되고 있으며(Kim et al. 2016), 조직배양 외에도 세대단축을 통한 종자 채종 효율성을 향상시킬 수 있는 연구가 진행 중이다(Kim et al. 2015, Lee et al. 2016, Lee et al. 2018).

인삼은 유전자원의 다양성이 부족하여 이를 극복하기 위한 연구도 이루어졌는데 고려인삼과 미국삼의 중간 교배가 시도되었으며(Ahn et al. 2006, Kim et al. 2016) 불임인 중간잡종 F1을 증식하기 위한 조직배양 연구도 이루어졌다(Kim et al. 2019). 또, 감마선, EMS 등 돌연변이원 처리를 통한 돌연변이 육종법 확립 연구가 진행되고 있으며(Choi et al. 1981, Lee et al. 2019) 이를 통하여 사포닌이 높은 개체의 선발이 이루어졌으나(Kim et al. 2009, Zhang et al. 2011) 아직 품종으로 나온 바는 없다.

한편 인삼 육종의 생명공학기술 적용은 2000년대 초반부터 활성화 되었으며 주로 인삼염기서열의 해독과 변이 탐색에 초점이 맞춰져 연구가 진행되었다. 게놈사이즈를 측정하기 위한 박테리아성 인공 염색체(Bacterial artificial chromosome, BAC) library 구축(Hong et al. 2004)과 상보적인 DNA 정보를 획득하기 위한 발현유전자 단편(expressed sequence tag, EST) 분석 연구 등이 이루어졌다(Kim et al. 2006, Sathiyamoorthy et al. 2010, Choi et al. 2013).

또한 단일염기다형성(single nucleotide polymorphisms)과 단순염기반복서열(Simple sequence repeats)을 기반으로 DNA 마커(Bang et al. 2011, Jo et al. 2011, 2015, 2017a, Kim et al. 2012, 2014)가 개발되어 품종 식별과 유전적 다양성 분석에 적용이 되었다. 최근 차세대염기서열분석 기술의 발달로 상대적으로 긴 염기서열을 해독할 수 있는 방법들이 인삼에도 적용되고 있다(Jo et al. 2017b). 이러한 기술의 발달과 국내 연구진의 끊임없는 노력으로 인삼 유전체 초안이 세계 최초로 완성되었다(Kim et al. 2018). 현재도 분자육종기반 구축을 위한 염류 저항성

바이오마커 개발, 고온 및 광 스트레스에 반응하는 전사체 구명 et al. 2019, Kim et al. 2019)
연구 등이 수행되고 있다(Fig. 3)(Jayakoki et al. 2019, Jung

Fig. 1. Qualitative characteristics of the parts of major ginseng varieties, such as leaf, stem, fruit and root. Qualitative traits were examined for shape and blistering of surface of leaflet, intensity of anthocyanin coloration of the stem and the petiole, maturity time and color of berry, and shape of the main root.

Fig. 2. Plant regeneration and thickened taproot formation of Asian ginseng from somatic embryos. (A) Matured somatic embryos from cotyledon explants, (B) Germinated somatic embryos on medium with 5 mg/L GA₃, (C) Rooted *in vitro* seedling, (D) Fully grown plants with thickened roots. (E) Thickened taproots with dormant buds. Arrow indicates an enlarged view of a dormant bud. Scale bars: a-c 1 mm; d-e 10 mm (Source: Lee et al. 2019).

Fig. 3. Mapping of identified proteins in respective metabolic pathways to visualize the overall changes in the metabolism in response to heat stress on ginseng leaves. Abundance pattern of the proteins is shown by the green-yellow-red color scheme (Kim et al., 2019). DHA, dehydroascorbate; MDHA, monodehydroascorbate; NADP, nicotinamide adenine dinucleotide phosphate; PEP, phosphoenolpyruvate.

결론

인삼 품종 육성은 한국과 중국을 중심으로 경쟁 우위의 품종을 만들기 위해서 눈에 보이지 않는 치열한 경쟁을 벌이고 있다. 하지만 주로 생산자 중심의 품종(내재해성, 내병성) 육성이 이루어져 소비자와 산업체가 요구하는 품종(기능성) 개발도 필요한

실정이다. 현재까지 한국은 32개 품종이, 중국은 13개 품종이, 일본은 2개 품종이 육성되었는데, 이중 소비자 중심의 품종은 약 10% 정도에 불과하다. 따라서 인삼의 유효성분(사포닌계, 비사포닌계 등)이 많이 함유된 기능성 품종 육성이 필요하다. 인삼 가공 제품 수출은 대부분 홍삼이 차지하고 있고 중국 등 아시아권 수출 위주로 시장이 형성되어 있다. 수출 확대를

위해서는 수입국 맞춤형 품종 육성과 제품 개발을 통해 제품의 다양화와 중저가, 저가 등 다양한 해외시장 확대가 요구된다.

인삼 신품종은 2000년대 초반 한국인삼공사를 중심으로 육성되었으며, 최근에는 농촌진흥청과 지방 특허작목연구소 등 농촌진흥기관을 중심으로 품종이 육성되고 있다. 하지만 인삼의 신품종 보급률은 2018년 기준으로 14.6%로 낮은 실정이고 일부 품종(연풍 7%, 금풍 5%, 천풍 2%)만 보급되고 있다.

인삼은 종자 증식 배율이 매우 낮아 증식에 오랜 기간이 소요된다. 하나의 품종이 만들어져 보급에 필요한 양을 확보하기까지는 약 12년이 소요된다. 따라서 종자 보급 기간 단축을 위한 신품종 대량증식 기술과 종자 채종 효율성 향상 기술 개발이 필요하다. 또한 인삼 종자를 안정적으로 보급할 수 있는 신품종 보급체계 구축도 필요하다.

인삼은 유전자원의 다양성이 작고 한 세대가 4년으로 세대 고정애 오랜 기간이 소요되는 등 육종효율이 낮은 작물로 알려져 있다. 최근에는 인삼 육종효율을 높이기 위해서 다양한 생명공학 기술이 접목되고 있다. 고온과 염류와 관련된 바이오마커를 개발하여 품종 육성에 활용하고 있으며, 조직배양을 이용하여 신품종을 대량증식하는 연구 등이 진행되고 있다.

인삼 신품종 육성과 보급을 위해서는 우선 이상기상에 대응하고 다양한 트렌드를 반영한 품종 육성에 집중하여야 할 것이다. 이를 위해서는 생산자 중심의 고온과 염류 등에 강한 품종과 병해에 강한 품종을 육성하고, 산업체와 소비자의 요구를 반영한 가공적성과 기능성이 우수한 품종을 육성해야 한다. 또한 선도 농가를 중심으로 채종포를 운영하여 신품종 보급을 확대해야 한다. 이를 위해서는 현장실증연구와 신기술보급사업 등을 활용하여 신품종 보급에 필요한 종자량을 먼저 확보해야 할 것이다. 마지막으로 바이오마커, 조직배양 등의 생명공학기술을 보다 적극적으로 활용하여 인삼 육종 효율성 향상을 위해서도 노력을 해야 할 것이다.

적 요

인삼은 1920년대 황숙종과 청경종이 발견되면서 유전자원 선발이 시작되었는데, 이때를 인삼 육종의 시작으로 본다. 그러나 인삼 육종에 대한 체계적인 연구는 1960년대 중앙전매기술연구소가 설립되고 산하에 고려인삼시험장이 설치되면서 본격적으로 이뤄지게 되는데, 이때 변종 간의 특성 연구, 자원 수집 및 평가 등이 시작되었다. 1970년대에 고려인삼연구소가 설립되면서 인삼 육종은 본격적으로 실시되는데, 이 시기에는 선발

계통의 체계적인 조사, 조직배양에 의한 세대 단축, 유전력 검정 등의 연구가 이뤄졌고, 이후 1980년대에 산지를 중심으로 우량 계통 지역적응시험이 실시되었다. 1990년대에 이르러 품종 보급을 위한 종자 증식과 함께 성분과 가공 품질에 대한 연구, 교배육종, 중간 육종을 위한 외국삼 도입, 유전공학 기법을 이용한 연구 등이 진행되었다. 2000년대에 이르러서는 본격적으로 품종이 등록되기 시작하여 현재 32개 품종이 등록되었다. 앞으로의 인삼 육종 방향은 기후변화에 대응한 병 및 재해 저항성, 소비자 맞춤형 고기능성 품종 등을 들 수 있다. 이를 위해서는 다양한 유전자원의 수집과 평가, 이들 자원을 활용한 교배와 대량증식 기술 개발을 통한 신품종 보급기술 개발 등이 필요할 것으로 생각된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ01476001)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

1. Ahn IO, Le BV, Gendy C, Tran Thanh Van K. 1996. Direct somatic embryogenesis through thin cell layer culture of *Panax ginseng*. Plant Cell Tissue Organ Cult 45: 237-243.
2. Ahn IO, Lee SS, Lee JH, Lee BS, In JG, Yang DC. 2006. Characteristics of plantlets redifferentiated from F₁ hybrid between *Panax ginseng* and *Panax quinquefolius*. Korean J Plant Biotechnol 33: 45-48.
3. Attele AS, Wu JA, Yuan CS. 1999. Ginseng pharmacology: Multiple constituents and multiple actions. Biochem Pharmacol 58: 1685-1693.
4. Bang KH, Jo IH, Chung JW, Kim YC, Lee JW, Seo AY, Park JH, Kim OT, Hyun DY, Kim DH, Cha SW. 2011. Analysis of genetic polymorphism of Korean ginseng cultivars and foreign accessions using SSR makers. Korean J Med Crop Sci 19: 347-353.
5. Banz WJ, Iqbal MJ, Bollaert M, Chickris N, James B, Higginbotham DA, Peterson R, Murphy L. 2007. Ginseng modifies the diabetic phenotype and genes associated with diabetes in the male ZDF rat. Phytomedicine 14: 681-689.
6. Cheon SR, Ahn SD, Choi KT, Kwon WS. 1985. Characters and inheritance of stem color in F₁ and F₂ of violet-stem variant × yellow-berry variant in *Panax ginseng* C. A. Meyer.

- J Ginseng Res 9: 264-269.
7. Choi HI, Kim NH, Lee J, Choi BS, Kim KD, Park JY, Lee SC, Yang TJ. 2013. Evolutionary relationship of *Panax ginseng* and *P. quinquefolius* inferred from sequencing and comparative analysis of expressed sequence tags. Genet Resour Crop Evol 60: 1377-1387.
8. Cho JS. 1998. Ginseng culture. Seonjin Press.
9. Choi KT, Ahn SD, Park KJ. 1981. Effects of ethyl methane sulfonate treatment on ginseng seeds. J Ginseng Res 5: 163-169.
10. Choi YE, Yang DC, Park JC, Soh WY, Choi KT. 1998. Regenerative ability of somatic single and multiple embryos from cotyledons of Korean ginseng on hormone free medium. Plant Cell Rep 17: 544-551.
11. Choi YE, Yang DC, Yoon ES, Choi KT. 1999. High-efficiency plant production via direct somatic single embryogenesis from preplasmolysed cotyledons of *Panax ginseng* and possible dormancy of somatic embryos. Plant Cell Rep 18: 493-499.
12. Choi YE, Jeong JH, In JK, Yang DC. 2003. Production of herbicide-resistant transgenic *Panax ginseng* through the introduction of phosphinotricin acetyl transferase gene and successful soil transfer. Plant Cell Rep 21: 563-568.
13. Chung YY, Chung CM, Choi KT, Chung CS. 1992. The comparison of growth characteristics of *Panax ginseng* C. A. Meyer and *Panax quinquefolium* L.. Korean J Breed Sci 24: 81-86.
14. Elma ZT, Ilan EZ, Christina IH. 1991. Effect of ginsenoside Rg1 on insulin binding in mice liver and brain membrane. Phytother Res 5: 46-48.
15. Henishin CC, Lee R, Wang IC, Liu HJ. 1991. Effect of ginsenoside on central cholinergic metabolism. Pharmacology 42: 223-229.
16. Jayakodi M, Lee SC, Yang TJ. 2019. Comparative transcriptome analysis of heat stress responsiveness between two contrasting ginseng cultivars. J Ginseng Res 43: 572-579.
17. Jiao L, Zhang X, Li B, Liu Z, Wang M, Liu S. 2014. Anti-tumor and immunomodulatory activities of oligosaccharides isolated from *Panax ginseng* C. A. Meyer. Int J Biol Macromol 65: 229-233.
18. Jo IH, Bang KH, Kim YC, Lee JW, Seo AY, Seong BJ, Kim HH, Kim DH, Cha SW, Cho YG, Kim HS. 2011. Rapid identification of ginseng cultivars (*Panax ginseng* Meyer) using novel SNP-based probes. J Ginseng Res 35: 504-513.
19. Jo IH, Kim YC, Kim DH, Kim KH, Hyun TK, Ryu H, Bang KH. 2017a. Applications of molecular markers in the discrimination of *Panax* species and Korean ginseng cultivars (*Panax ginseng*). J Ginseng Res 41: 444-449.
20. Jo IH, Lee J, Hong CE, Lee DJ, Bae W, Park SG, Ahn YJ, Kim YC, Kim JU, Lee JW, Hyun DY, Rhee SK, Hong CP, Bang KH, Ryu H. 2017b. Isoform sequencing provides a more comprehensive view of the *Panax ginseng* transcriptome. Genes 8: 228.
21. Jo IH, Lee SH, Kim YC, Kim DH, Kim HS, Kim KH, Chung JW, Bang KH. 2015. De novo transcriptome assembly and the identification of gene-associated single-nucleotide polymorphism markers in Asian and American ginseng roots. Mol Genet Genomics 290: 1055-1065.
22. Jung JH, Kim HY, Kim HS, Jung SH. 2019. Transcriptome analysis of *Panax ginseng* response to high light stress. J Ginseng Res. doi.org/10.1016/j.jgr.2018.12.009.
23. Kang JH, Lee NH, Ahn YC, Lee H. 2013. Study on improving blood flow with Korean red ginseng substances using disital infrared thermal imaging and doppler sonography: randomized, double blind, placebo-controlled clinical trial with parallel design. J Tradit Chine Med 33: 39-45.
24. Kim DH, Kim YC, Bang KH, Kim JU, Lee JW, Jo IH, Kim YB, Son SW, Park JB, Kim KH. 2015. Effects of GA₃ and alternating temperature on breaking bud dormancy of *Panax ginseng* C. A. Meyer Seedling. Kor J Med Crop Sci 23: 379-384.
25. Kim DH, Kim YC, Bang KH, Kim JU, Lee JW, Jo IH, Kim YB, Lim JY, Kim KH. 2016. Flowering and Fruits Formation Characteristics in Major Varieties of *Panax ginseng*. Kor J Med Crop Sci 24: 207-213.
26. Kim DS, Kim SY, Jeong IY, Kim JB, Lee GJ, Kang SY, Kim W. 2009. Improvement of ginsenoside production by *Panax ginseng* adventitious roots induced by γ -irradiation. Biol Plant 53: 408-414.
27. Kim JY, Adhikari PB, Ahn CH, Kim DH, Kim YC, Han JY, Kondeti S, Choi YE. 2019. High frequency somatic embryogenesis and plant regeneration of interspecific ginseng hybrid between *Panax ginseng* and *Panax quinquefolius*. J Ginseng Res 43: 38-48.
28. Kim JY, Ahn HJ, Han BC, Lee SH, Cho YW, Kim CH, Hong EJ, An BS, Jeung EB, Lee GS. 2014. Korean red ginseng extracts inhibit NLRP3 and AIM2 inflammasome activation. Immunol Lett 158: 143-150.
29. Kim JY, Kim DH, Kim YC, Kim KH, Han JY, Choi YE. 2016. *In vitro* grown thickened taproots, a new type of soil

- transplanting source in *Panax ginseng*. J Ginseng Res 40: 409-414.
30. Kim MK, Lee BS, In JG, Sun H, Yoon JH, Yang DC. 2006. Comparative analysis of expressed sequence tags (ESTs) of ginseng leaf. Plant Cell Rep 25: 599-606.
 31. Kim NH, Choi HI, Ahn IO, Yang TJ. 2012. EST-SSR marker sets for practical authentication of all nine registered ginseng cultivars in Korea. J Ginseng Res 36: 298-307.
 32. Kim NH, Choi HI, Kim KH, Jang W, Yang TJ. 2014. Evidence of genome duplication revealed by sequence analysis of multi-loci expressed sequence tag-simple sequence repeat bands in *Panax ginseng* Meyer. J Ginseng Res 38: 130-135.
 33. Kim NH, Jayakodi M, Lee SC, Choi BS, Jang W, Lee J, Kim HH, Wanimal NE, Lakshmanan M, van Nguyen B, Lee YS, Park HS, Koo HJ, Park JY, Perumal S, Joh HJ, Lee H, Kim J, Kim IS, Kim K, Koduru L, Kang KB, Sung SH, Yu Y, Park DS, Choi D, Seo E, Kim S, Kim YC, Hyun DY, Park YI, Kim C, Lee TH, Kim HU, Soh MS, Lee Y, In JG, Kim HS, Kim YM, Yang DC, Wing RA, Lee DY, Paterson AH, Yang TJ. 2018. Genome and evolution of the shade-requiring medicinal herb *Panax ginseng*. Plant Biotechnol J 16: 1904-1917.
 34. Kim SW, Gupta R, Min CW, Lee SH, Cheon YE, Meng QF, Jang JW, Hong CE, Lee JY, Jo IH, Kim ST. 2019. Label-free quantitative proteomic analysis of *Panax ginseng* leaves upon exposure to heat stress. J Ginseng Res 43: 143-153.
 35. Kim YJ, Lee OR, Kim KT, Yang DC. 2012. High frequency of plant regeneration through cyclic secondary somatic embryogenesis in *Panax ginseng*. J Ginseng Res 36: 442-448.
 36. Kim YJ, Silva J, Zhang D, Shi J, Joo SC, Jang MG, Kwon WS, Yang DC. 2016. Development of interspecies hybrids to increase ginseng biomass and ginsenoside yield. Plant Cell Rep 35: 779-790.
 37. Kim YC. 2012. Characterization of Korean ginseng varieties and its promotion of utilization for industrialization. Doctoral Thesis. Chungnam National University at Daejeon.
 38. Kim YC, Kim DH, Bang KH, Kim JU, Hyun DY, Lee SW, Kang SW, Cha SW, Kim KH, Choi JK, Han SH, An YN, Jong HN. 2013. A high yielding and salt resistance ginseng variety 'Cheonryang'. Korean J Breed Sci 45: 434-439.
 39. Kim YC, Kim JU, Lee JW, Hong CE, Bang KH, Kim DH, Hyun DY, Choi JK, Seong BJ, An YN, J HN, Jo IH. 2017. 'Kowon', A new Korean ginseng cultivars with high yield and alternaria blight resistance. Korean J Hortic Sci Technol 35: 499-509.
 40. KT&G. 1972. Annual report of ginseng-culture part.
 41. KT&G. 1992. Annual report of ginseng-culture part.
 42. KT&G. 1996. The latest Korean ginseng-culture part.
 43. Kwak YS, Kyung JS, Kim JS, Cho JY, Rhee MH. 2010. Anti-hyperlipidemic effects of red ginseng acidic polysaccharide from Korean red ginseng. Biol Pharm Bull 33: 468-472.
 44. Kwon WS, Chung CM, Kim YT, Choi KT. 1991. Comparisons of growth, crude saponin, ginsenosides, and anthocyanins in superior lines of *Panax ginseng* C. A. Meyer. Korean J Breed Sci 23: 219-228.
 45. Kwon WS, Chung CM, Kim YT, Lee MG, Choi KT. 1998. Breeding process and characteristics of KG101, a superior line of *Panax ginseng* C. A. Meyer. J Ginseng Res 22: 11-17.
 46. Kwon WS, Lee MG, Lee JH. 2001. Characteristics of flowering and fruiting in new varieties and lines of *Panax ginseng* C. A. Meyer. J Ginseng Res 25: 41-44.
 47. Kwon WS, Lee JH, Park CS, Yang DC. 2003. Breeding process and characteristics of Gopoong, a new variety of *Panax ginseng* C. A. Meyer. J Ginseng Res 27: 86-91.
 48. Lee JH. 2013. Characterization of Korea ginseng varieties and its promotion of utilization for industrialization. Doctoral Thesis. Chungnam National University at Daejeon.
 49. Lee JW, Kim YC, Kim JU, Jo IH, Kim KH, Kim DH. 2016. Effects of gibberellic acid and alternating temperature on breaking seed dormancy of *Panax ginseng* C. A. Meyer. Korean J Med Crop Sci 24: 284-293.
 50. Lee JW, Jo IH, Kim JU, Hong CE, Kim YC, Kim DH, Park YD. 2018. Improvement of seed dehiscence and germination in ginseng by stratification, gibberellin, and/or kinetin treatments. Hort Environ Biotech 59: 293-301.
 51. Lee JW, Jo IH, Kim JK, Hong CE, Bang KH, Park YD. 2019. Determination of mutagenic sensitivity to gamma rays in ginseng (*Panax ginseng*) dehiscent seeds, roots, and somatic embryos. Hort Environ Biotech 60: 721-731.
 52. Lee MR, Yun BS, In OH, Sung CK. 2011. Comparative study of Korean white, red, and black ginseng extract on cholinesterase inhibitory activity and cholinergic function. J Ginseng Res 35: 421-428.
 53. Lee SH, Jung BH, Kim SY, Lee EH, Chung BC. 2006. The antistress effect of ginseng total saponin and ginsenoside Rg3 and Rb1 evaluated by brain polyamine level under immobilization stress. Pharmacol Res 54: 46-49.
 54. Osbourn A. 1996. Saponins and plant defence a soap story.

- Trends Plant Sci 1: 4-9.
55. Park JH, Park MK, Han BH. 1991. Analysis of diol- and triol-saponins of ginseng. J Ginseng Res 15: 167-172.
56. Rhim SY, Sohn JK, Ryu TS, Kwon TR, Choi JK, Choi HJ. 2010. Analysis for the major traits and genetic similarity of native ginseng (*Panax ginseng* C. A. Meyer) collections in Korea. Korean J Breed Sci 42: 488-494.
57. Sathiyamoorthy S, In JG, Gayathri S, Kim YJ, Yang DC. 2010. Generation and gene ontology based analysis of expressed sequence tags (EST) from a *Panax ginseng* CA Meyer roots. Mol Biol Reports 37: 3465-3472.
58. Wen J, Zimmer EA. 1996. Phylogeny and biogeography of *Panax* L. (the Ginseng genus, *Araliaceae*): Inferences from ITS sequences of nuclear ribosomal DNA. Mol Phylogenet Evol 6: 167-177.
59. Woo SY, Lee DS, Kim PG. 2004. Growth and Eco-physiological characteristics of *Panax ginseng* grown under three different forest type. J Plant Biol 473: 230-235.
60. Zhang JY, Bae TW, Boo KH, Sun HJ, Song IJ, Pham CH, Ganesan M, Yang DH, Kang HK, Ko SM, Riu KZ, Lim PO, Lee HY. 2011. Ginsenoside production and morphological characterization of wild ginseng (*Panax ginseng* Meyer) mutant lines induced by γ -irradiation (^{60}Co) of adventitious roots. J Ginseng Res 35: 283-293.