



기능성분 고함유 단삼 품종 ‘홍단’의 재배 특성 및 성분 함량

한종원^{1#} · 정진태^{2,3,#,†} · 이정훈⁴ · 강민지⁵ · 임정대^{6,7} · 이우문⁸ · 마경호⁹

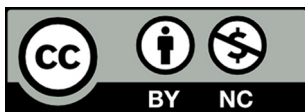
Cultivation and Quality Characterization of New Variety *Salvia miltiorrhiza* “Hongdan” with High Active Ingredients

Jong Won Han^{1#}, Jin Tae Jeong^{2,3,#,†}, Jeong Hoon Lee⁴, Min Ji Kang⁵, Jung Dae Lim^{6,7}, Woo Moon Lee⁸, and Kyung Ho Ma⁹

ABSTRACT

Received: 2024 February 21
1st Revised: 2024 March 13
2nd Revised: 2024 April 10
3rd Revised: 2024 April 21
Accepted: 2024 April 21

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.



Background: *Salvia miltiorrhiza* Bunge, commonly known as Danshen belongs to the Lamiaceae family and is a perennial medicinal crop with purple flowers and red roots. Originated in China, this plant is known for its medicinal properties and has recently been cultivated for medicinal purposes in Korea as well.

Methods and Results: In 2007, plants were selected from seedlings grown through open pollination based on the “Dasan” variety, followed by replicated yield trials in 2016 - 2018 and local adaptability testing in 2019 - 2020. This process confirmed that “Hongdan” possesses yield potential comparable to that of “Dasan”. Salvianolic acid B and tanshinone IIA contents were analyzed using high-performance liquid chromatography, while the other components, hydrophilic phenolic acid and hydrophobic tanshinone, were also analyzed separately. “Hongdan” had higher contents of salvianolic acid B and tanshinone IIA, indicating its potential as a high-quality medicinal variety. “Hongdan” generally has a generally high content of hydrophilic phenolic acids and hydrophobic tanshinones.

Conclusion: “Hongdan” demonstrated excellent yield and was found to have a higher content of active ingredients than the “Dasan”. This study highlights the potential of “Hongdan” as an excellent source of medicinal and functional food.

Key Words: *Salvia miltiorrhiza*, High Active Ingredient, New Variety

서 언

꿀풀과에 속하는 다년생 약용식물인 단삼 (*Salvia miltiorrhiza* Bunge, 丹蔘)은 꽃이 보라색이고 뿌리가 붉으며, 주로 약용으로 재배되고 있다 (Lee, 2006; Lu, 2019). 단삼은 인삼, 현삼, 고삼, 사삼과 함께 五蔘 (오삼) 중 하나로, 한의학에서는 활혈 (活血), 청심제번 (淸心除

煩), 배농지통 (排膿止痛), 거어 (祛瘀) 등의 효능이 있다고 알려져 있다 (Chang *et al.*, 2008). 항균 (Choi and Han, 2003), 항산화 (Kim *et al.*, 2008), 항암 효과 (Kim *et al.*, 1999) 뿐만 아니라 간 보호 (Yin *et al.*, 2009), 세포 지방 축적 감소 (Ji and Gong, 2008)와 같은 다양한 효능을 보여주는 것으로 연구되어 있다.

『대한민국 약전』에서는 단삼은 뿌리를 약용하며

†Corresponding author: (Phone) +82-43-871-5672 (E-mail) powjtt@korea.kr

#Jong Won Han and Jin Tae Jeong are contributed equally to this paper

¹농촌진흥청 연구정책국 연구사 / Researcher, Planning and Coordination Division, RDA, Jeonju, 55365, Korea.

²농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 연구사 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong, 27709, Korea.

³충북대학교 특용식물과 박사과정생 / Ph. D. student, Department of Industrial Plant Science and Technology, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

⁴농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 연구관 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong, 27709, Korea.

⁵강원대학교 바이오헬스융합학과 석사과정생 / Master's student, Department of Bio-Health Convergence, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea.

⁶강원대학교 바이오헬스융합학과 교수 / Professor, Department of Bio-Health Convergence, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea.

⁷강원대학교 바이오기능성소재학과 교수 / Professor, Department of Bio-Functional Material, Kangwon National University, Samcheok 25949, Korea.

⁸농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 연구관 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong, 27709, Korea.

⁹농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 연구관 / Researcher, Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong, 27709, Korea.

salvianolic acid B가 4.1% 이상 함유되어야 한다고 명시되어 있으며 (KFDA, 2012), 『중화인민공화국 약전』에는 salvianolic acid B가 3.0% 이상 함유해야 하며 tanshinone IIA, cryptotanshinone과 tanshinone I의 총량을 0.25% 이상이어야 한다고 규정하고 있다 (ChP, 2020).

단삼의 지표성분인 salvianolic acid B는 항산화 (Li *et al.*, 2021), 신경보호 (Gao *et al.*, 2020), 항암 및 항종양 (Zhang *et al.*, 2020; Kuang *et al.*, 2023) 등의 효능이 알려져 있으며, 최근에는 초기 알츠하이머 증상인 망막 결손 완화 (Wang *et al.*, 2023) 효능이 알려져 있다. 또 다른 단삼의 주요 활성 성분인 tanshinone IIA는 항암, 항종양 (Fang *et al.*, 2021) 외에도 심혈관 보호, 항산화, 항염증, 항당뇨 및 신경 보호 등 다양한 효능 (Guo *et al.*, 2020)이 알려져 있다. 그 외 단삼에서 활성이 알려진 성분으로는 친수성 페놀 화합물인 danshensu, protocatechuic acid, protocatechuic aldehyde, vanillic acid, caffeic acid, rosmarinic acid, lithospermic acid, salvianolic acid A 및 salvianolic acid C와 소수성 탄닌류인 dihydrotanshinone, cryptotanshinone 및 tanshinone I 등이 알려져 있다 (Chen *et al.*, 2012).

2007년에서 2016년 사이에 북한 의학 잡지에 발표된 1,101편의 천연물 의약품 논문 분석 결과, 인체 질병 치료에 자주 사용되는 약재로 당귀 16회, 콩 15회, 단삼 13회, 황기 13회, 인삼 12회 순일 정도로 단삼은 북한에서도 널리 이용되는 생약재이다 (Shin *et al.*, 2017).

한편, 나고야 의정서 발효 등에 따른 국산 원료 수요 증가에 비해 원료 공급체계가 미비하며 안정적 원료공급을 위한 생산 지역 확대 및 생산단지 조성이 필요한 상황이다. 국내에서는 2009년까지는 수입에 의존하여 국내에서 단삼 재배는 1 ha, 1 톤 생산에 불과하였으나, 안전한 한약재에 대한 수요 증가와 함께 생산량이 점진적으로 증가하여 2022년 기준 8 ha에서 66 톤을 생산하였으며 (MAFRA, 2022), 최근에는 단삼의 항비만 효과에 관한 연구도 활발히 이루어지고 있어 수요가 지속적으로 증가할 것으로 예상되고 있다 (Ai *et al.*, 2022; Wu *et al.*, 2022).

독일과 중국에서는 이미 다양한 특성을 가진 품종 개발이 이루어지고 있으나 (Bomme *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2016a), 국내에서의 재배 역사가 짧아 품종 개발과 육종 기술에 관한 연구가 부족하며 농촌진흥청에서 개발한 단삼 다수성 품종 '다산' 1품종이 보고된 바 있다 (Jeong *et al.*, 2023).

이에 본 연구진은 수량성이 우수하면서도 대조 품종인 '다산'에 비해 유효 성분 함량이 높은 다수성 단삼 품종을 개발하였으며 재배 특성 및 성분 함량에 관한 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

1. 시험재료

본 연구는 육성 품종 '홍단'과 함께 단삼 최초 품종 '다산'을 대조품종으로 이용하여 수행하였다.

2. 재배 방법 및 생육조사

본 연구에서 질소 (N), 인산 (P₂O₅), 칼륨 (K₂O) 비율을 9 - 8 - 10 kg/10a로 설정하고, 퇴비는 1,000 kg/10a를 전량 기비로 사용하였다. 3월에 1년생 뿌리를 채취하여 직경 0.5 cm - 1 cm 사이의 뿌리를 약 5 cm 길이로 잘라 종근으로 사용하였다. 이후 4월 하순에 흑색 비닐로 덮인 두둑에 이 종근의 상부가 위를 향하도록 세워 심었으며, 주변을 3 cm 두께로 덮었다. 식재 간격은 조건 (포기 간격)을 30 cm, 주간 (줄 간격)을 15 cm로 설정하였고, 시험구는 난괴법을 이용한 3 회 반복으로 배치하였다.

본 연구에서는 각 시험구에 대한 생육 특성을 조사하기 위해 20개 이상의 개체를 대상으로 하였다. 단삼의 생육 특성 조사 기준이 농업과학기술 연구조사분석기준에 명시되어 있지 않기 때문에, 뿌리 형태가 유사한 작약의 기준을 참고하여 생육 특성 조사를 실시하였다 (RDA, 2012).

3. Salvianolic acid B, tanshinone IIA 분석

대한민국 약전에서 단삼의 지표성분으로 인정된 salvianolic acid B와 주요 활성성분인 tanshinone IIA 성분 2 종을 정밀 분석하기 위해 음성군 소이면 지역적응성 시험 포장에서 2019년 10월 하순에 수확한 1년생 시료를 수확하여 세척 후 급속 동결하여 고르게 분쇄하였으며, 0.2 g을 50 ml 튜브에 넣고 75% 메탄올 10 ml을 첨가하여 실온에서 60 분간 초음파 추출한 뒤, 상층액을 0.45 μm 멤브레인 필터로 여과한 것을 사용하였다.

분석한 HPLC 기기는 Agilent 1260 series (Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA, USA)를 사용하였다. Column은 YMC pack ODS AM (150 mm × 4.6 mm, 5 μm)를 사용하였다. 분석은 상온에서 진행하였으며 injection volume은 10 μl로 정하였고 UV-wavelength 조건은 280 nm로 고정하였으며 flow rate는 분당 1 ml로 용출하였고 이동상 조건은 Table 1에 나타내었다.

본 실험에서 사용한 표준품은 Sigma-aldrich (St. Louis, MO, USA) 제품을 구입하여 사용하였으며 정량분석을 위해 salvianolic acid B를 0.04, 0.1, 0.2, 0.4, 1 mg/ml과 tanshinone IIA를 0.005, 0.04, 0.05, 0.1, 0.2 mg/ml 농도에 따라 70% 에탄올에 녹인 후 사용하였다. 확립한 HPLC 조건을 통해 분석한 결과, 두 물질에서 결정계수 (r²)는 각각 0.9992, 0.9964로 양호한 직선성을 나타내었고, 이

1. Chromatographic separation mobile phase parameters.

Time (min)	Flow (ml/min)	Mobile phase (%)	
		Solvent A	Solvent B
		1% formic acid in water	0.57% acetic acid in the mixture of acetonitrile (1000 ml) and methanol (750 ml)
0	1.0	60	40
7	1.0	60	40
12	1.0	40	60
13	1.0	20	80
40	1.0	13	87
41	1.0	0	100
45	1.0	0	100
46	1.0	60	40
50	1.0	60	40

Table 2. Calibration curve equations of salvianolic acid B and tanshinone II A.

Sample	Equation ¹⁾	r ²
Salvianolic acid B	y=12218x - 49.20	0.9992
Tanshinone II A	y=35535x + 236.06	0.9964

¹⁾y; peak area, x; concentration

식을 이용하여 salvianolic acid B, tanshinone IIA의 정량 분석을 실시하였다 (Table 2).

4. 기타 성분 분석

지표성분인 Salvianolic acid B와 tanshinone IIA 외 추가적으로 친수성 (hydrophillic) 페놀산 9 종과 소수성 (hydrophobic) 탄시논류 3 종 성분에 대해 동시 분석하기 위해 Chen 등 (2012)의 방법을 응용하였다.

실험 분석 시료로 2023년에 2 지역 (음성군 소이면, 평창군 진부면)에 소재한 인삼특작부 시험포장에서 표준재배법으로 1년간 재배한 시료를 사용하였다.

수확한 시료는 세척 후 건조 감량 30% 내외로 열풍 건조하여 고르게 분쇄하였으며 4°C에 50일간 냉장 보관하였다. 분쇄한 시료 1g을 칭량하여 100% 메탄올 50ml를 추출 용매로 사용하였고 상온 (25°C)에서 30분간 초음파를 처리한 후 (120 V, 60 Hz, UCP-20, JeioTech, Daejeon, Korea), 100 rpm으로 1시간 동안 교반하여 추출하였으며 이후 추출액은 Whatman No. 6 filter paper (0.6 µm, Whatman International Ltd., Maidstone, England)로 상압 여과한 것을 모두 합친 뒤, 40°C의 water bath에서 회전감압농축 (Eyela Co., Ltd., Tokyo, Japan)하여 회수하였다.

추출 시료는 10,000 µg/ml의 농도로 동일하게 희석하여, syringe filter (13JP020AN, 0.20 µm, Advantec Mfs. Inc., Dublin, CA, USA)에 여과한 후 HPLC 분석에 사용하였다.

본 실험에서 사용된 salvianolic acid A와 salvianolic acid C의 표준품은 MedChemExpress (Romulus, MI, USA)에서 구입한 제품이며, danshensu, protocatechuic aldehyde, vanillic acid, caffeic acid, rosmarinic acid, lithospermic acid, salvianolic acid A, salvianolic acid C, dihydrotanshinone, cryptotanshinone, tanshinone I의 표준품은 Sigma-aldrich (St. Louis, MO, USA)에서 구입하였고 protocatechuic acid의 표준품은 HWI pharma services GmbH (Germersheim, Germany)에서 구매하여 사용하였다.

HPLC system은 Shimadzu LC-20AT (Shimadzu Co., Kyoto, Japan)을 사용하였고 분석한 Column은 YMC pack ODS AM (250 mm × 4.6 mm I.D., 5 µm, YMC Co., Ltd., Kyoto, Japan)를 사용하였으며 기타 세부적인 HPLC 조건은 Table 3과 같으며 계산식과 결정계수 (r²)는 Table 4에 나타내었다.

4. 통계 분석

본 연구에서 얻은 데이터는 SAS Enterprise Guide 7.1 (Statistical Analysis System, 2009, SAS Institute Inc., Cary,

Table 3. HPLC operating condition for the analysis of 12 active ingredients.

Instrument	Shimadzu LC-20AT HPLC system
Column	YMC Pack ODS-AM C18 250 × 4.6 mm
Detector	UV-VIS detector (280 nm)
Solvent A	Water : Acetic acid = 99.2 : 0.8
Solvent B	Acetonitrile : Acetic acid = 99.2 : 0.8
Flow rate	1 ml/min
Oven	30°C
Injection volume	10 µl

Table 4. Calibration curve equations for 12 active ingredients.

Sample	Equation ¹⁾	r ²
Danshensu	y=18686x+4235	0.9996
Protocatechuic acid	y=13384x-11699	0.9999
Protocatechuic aldehyde	y=31339x-26651	0.9997
Vanillic acid	y=16621x-7295.4	1.0000
Caffeic acid	y=22102x-25255	0.9998
Rosmarinic acid	y=749.51x+1046.5	0.9954
Lithospermic acid	y=4455.1x-17621	0.9901
Salvianolic acid A	y=47158x-182113	0.9982
Salvianolic acid C	y=6261.5x-27598	0.9985
Dihydrotanshinone	y=39402x+24974	0.9999
Cryptotanshinone	y=16828x-69004	0.997
Tanshinone I	y=21089x+68375	0.9997

¹⁾Equation (y; peak area, and x; concentration).

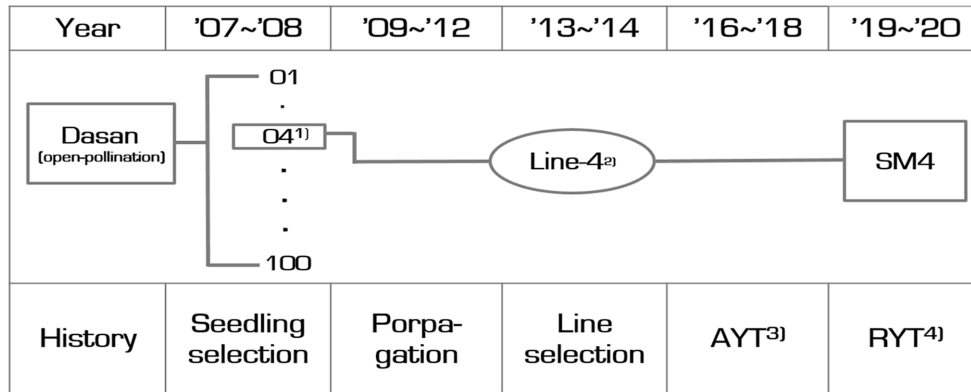


Fig. 1. Pedigree diagram of *S. miltiorrhiza* 'Dasan'.

1)selected from 100 cross. 2)Line-4 (temporary line name) are assigned to selected resource. 3)AYT; advanced yield trial. 4)RYT; regional yield trial. 5)SM4; line name are assigned to selected line.

NC, USA) 소프트웨어를 활용해 분석하였으며, 모든 실험은 3 회 반복하였고 결과값은 평균 ± 표준편차 (means ± SD)로 표현하였다. 결과값의 유의성은 DMRT (Duncan's Multiple Range Test)와 *t*-test를 수행하여 5% 수준에서 검증하였다 ($p < 0.05$).

결과 및 고찰

1. 재배특성

1.1. 육성경위

2007년 '다산'을 모본으로 방임 수분하여 100 개체의 실생을 양성하였고 이 가운데 생육이 우수한 개체를 선발하여 계통육성 하였다. 2013년에서 2014년에 특성검정을 하였고 다수성 계통을 선발, 증식 한 후 2016년에서 2018년에 생산력 검정 시험하였다 (Fig. 1).

그 결과 고품질 다수성 단삼 계통-4를 선발하여 SM 4호로 계통명을 부여하였으며, 2019년 - 2020년 등 4 지역에서 지역적응시험을 실시하여 우수성을 확인한 뒤, 2022년 농촌진흥청에서 실시한 농작물 직무육성 신품종 선정직무육성 품종심의회를 거쳐 붉은색 뿌리의 특징을 강조하여 '홍단'으로 명명하였고, 2023년 2월 2일에 국립종자원에 품종보호출원을 실시하여 2024년 1월 25일 식물신품종보호법 제43조 제1항에 의해 품종보호권 (등록번호 제9922호) 등록이 되었다.

Table 6. Agronomic characteristics of *S. miltiorrhiza* 'Hongdan'.

Variety	Emergence rate (%)	Flowering date	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (mm)	Root length (cm)	Root diameter (mm)
Hongdan	54.6±15.2	July 28	37.6±11.9	9.1±0.8	6.0±0.8	39.9±1.8	21.6±8.3
Dasan	73.8±11.7	July 23	41.2±7.2	8.6±1.0	5.8±0.7	38.3±2.9	19.5±5.0
$p < 0.05$	NS		NS	*	NS	NS	NS

Values indicate means ± SD (n = 3). Significantly different according to Student's *t*-test ($p < 0.05$). NS; not significantly different.

1.2. 형태적 특성

'홍단' 품종 고유 특성은 Table 5과 같다. 잎 색에 있어 '홍단'은 녹색을 나타낸 반면, '다산'은 연한 녹색을 보였으며, '홍단'의 꽃 색은 진한 자두색인 반면, '다산'은 연한 자두색을 나타내었다 (Fig. 2). 뿌리 색깔은 '홍단'의 표피가 '다산' 대비 진한 적자색을 띠고, 심부는 연황색을 나타내었다 (Fig. 3).

1.3. 가변특성 및 수량성

지상부 생육조사 결과는 2020년에 음성에서 실시하였으며 그 결과는 Table 7와 같다. '홍단'의 개화기는 7월 28일로 '다산'의 개화기 7월 23일에 비하여 5 일이 늦었으며 출현율은 54.6%로 73.8%를 나타낸 '다산'에 비하여 19.2% 낮았다. 초장은 37.6 cm로 '다산' 대비 3.6 cm 짧았으며 엽장은 9.1 cm로 '다산'보다 0.5 cm 길었고 엽 폭은 '다산'보다 0.1 cm 길었다 (Fig. 2).

지하부 생육 조사 결과는 2015년에서 2020년까지 음성에서 실시하였으며, 지하부는 근장에서 '홍단'이 39.9 cm

Table 5. Inherent characteristics of *S. miltiorrhiza* 'Hongdan'.

Variety	Color of leaves	Color of flowers	Color of roots	
			Epidermis	Cortex
Hongdan	Green	Purple	Dark Crimson	Pale Yellow
Dasan	Pale green	Pale Purple	Crimson	Pale Yellow

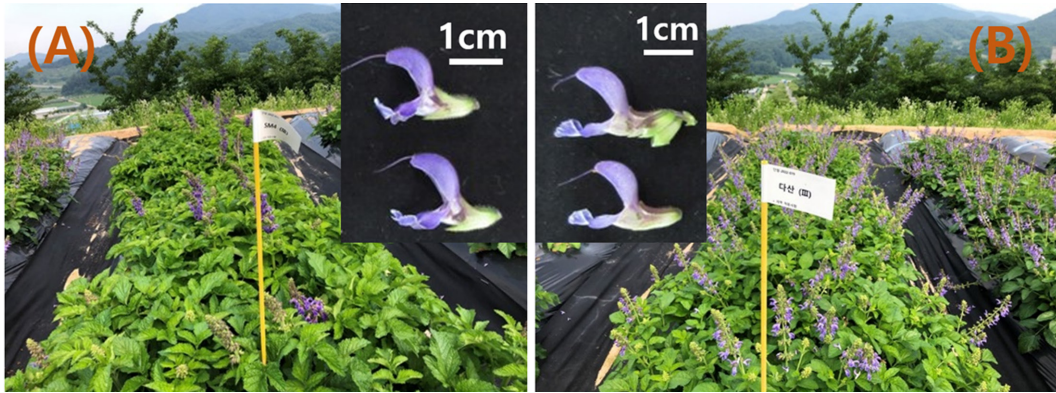


Fig. 2. Phenotype of aerial part and flower of *S. miltiorrhiza* 'Hongdan' (A) and 'Dasan' (B). The white bar indicates 1 cm.

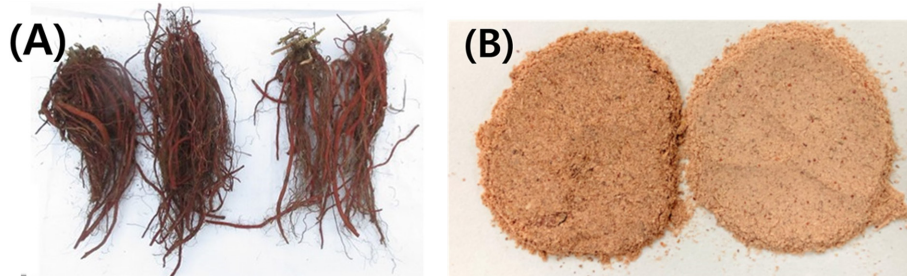


Fig. 3. Harvested roots (A) and powder of roots (B) of *S. miltiorrhiza* varieties for Comparison. Left; 'Hongdan', Right; 'Dasan'. The black bar indicates 10 cm.

로 38.3 cm를 나타낸 '다산'에 비하여 1.6 cm 길었고, 근경은 21.6 mm로 19.5 mm를 나타낸 '다산'에 비하여 2.1 mm 굵었다 (Table. 6, Fig. 3).

1.4. 지역 적응성 및 수량 특성

단삼 '홍단'과 '다산'을 2019년 - 2020년 2 년간, 4 개 지역에서 지역적응시험을 실시한 결과, 대조 품종인 '다산'의 평균 건근 수량이 222.8 kg/10a을 나타낸 반면 '홍단'은 258.4 kg/10a로 '홍단'이 '다산' 대비 평균 15%의 증수율을 나타내었으나 유의적인 차이는 아니었다 (Table 7).

북한에서 단삼이 상당히 많이 재배되어 의학적으로 많이 쓰이는 것으로 알려져 있는데 (Shin *et al.*, 2017), 본 결과에서도 위도가 가장 높은 강원도 철원지역에서 수량이 가장 많았음을 확인 할 수 있었다.

농촌진흥청 농업기상 정보서비스 (<http://weather.rda.go.kr>)를 활용하여 각 지역적응성 시험포장과 인접한 음성군 소이면, 철원군 동송읍, 봉화군 봉성면, 나주시 금천면 등 4 재배지에서 2019년, 2020년, 최근 10 년의 생육기간 (4월 - 10월) 동안의 기상 데이터 분석 비교한 결과는 Table 8에 나타내었다.

2020년에는 2019년과 비교하여 모든 지역에서 강수량

Table 7. Root yields of *S. miltiorrhiza* 'Hongdan' on regional yield trial at four regions.

Regions	Hongdan (kg/10 a)			Dasan (kg/10 a)			Index ¹⁾
	2019	2020	Mean	2019	2020	Mean	
Eumseong	229.7	212.9	221.3	278.7	220.4	249.6	89
Chulwon	380.2	234.9	307.6	236.3	278.8	257.6	119
Bonghwa	290.2	188.9	239.6	184.8	175.7	180.3	133
Naju	255.7	274.0	264.9	175.9	231.0	203.5	130
Mean	289.0	227.7	258.4 ^{ns}	218.9	226.5	222.8 ^{ns}	115

¹⁾Index; (root yield of 'Dasan' / root yield of local variety) × 100. Data represent the means (n = 3). ^{*}Means separation within columns by Duncan's Multiple Range Test (DMRT, *p* < 0.05).

Table 8. Comparative analysis of average precipitation (AP) and temperature (AT) for the years 2019 and 2020, including last 10 year averages, in four agricultural regions.

Location	AP 2019 (mm)	AP 2020 (mm)	AP 10-Years (mm)	AT 2019 (°C)	AT 2020 (°C)	AT 10-Years (°C)
Eumseong	79.5	172.5	130.7	19.5	18.8	19.2
Chulwon	128.1	267.8	166.9	18.3	17.5	18.3
Bonghwa	120	171.1	124.5	18.4	17.7	18.3
Naju	147.4	221.6	149.9	20.1	19.6	20.4
Mean	118.8	208.3	143.0	19.1	18.4	19.1

*The data represents the average precipitation (AP) and temperature (AT) during the growth period of April to October for the years 2019 and 2020.

이 크게 증가하였고 (평균 90 mm 이상 증가), 2020년의 평균 온도는 2019년보다 대체로 낮은 편 이었다 (평균 0.7 ° C 이상 증가).

Table 8과 비교해보면 두 품종은 대부분의 지역에서 2020년에 2019년보다 낮은 수량을 보여 상대적으로 높은 강수량이 영향을 끼친 것으로 보이나 나주에서의 '홍단' 품종과 철원군에서 '다산' 품종은 예외적으로 수량이 증가하였으며 강수량 증가가 반드시 수량 감소를 의미하지 않음을 보여준다.

Zhang (2019) 등은 강수량과 기온 뿐만 아니라 대기 수증기 압력, 일조 시간 등이 단삼의 유효성분에 영향을 끼친다고 발표 한 바 있는데, 수량에 있어서도 이러한 다양한 기후요소 등이 각각의 품종 특성과 결합하여 유리하게 작용했을 수 있으며, 단삼 다수확 재배를 위해서는 지역 및 환경적 요인에 대한 추가 연구가 필요한 것으로 보인다.

'홍단'은 '다산' 대비 출현율이 낮았는데, 일반적

으로 낮은 출현율은 수량성에 악영향을 끼치므로 (Masarirambi *et al.*, 2012; Liang *et al.*, 2018), 추후에 '홍단'에 맞는 영양 증식기술을 보완하거나 품종 개발 시 출현율이 우수한 '다산'과 교배를 통해 이러한 점을 보완이 필요할 것으로 보인다. 다만, 단삼 뿐만 아니라 뿌리를 약용하는 많은 약용작물에 있어서 근장과 근경은 지하부 수량과 상관관계가 높은 특성으로 보고된 바가 있으며 (Kim *et al.*, 1998; Chen *et al.*, 2023), 뿌리가 길고 굵은 '홍단'의 이러한 특성은 높은 수량성에 영향을 미친 것으로 생각된다.

2. 성분특성

2.1. salviannolic acid B, tanshinone IIA 분석

'다산'과 '홍단'의 유효성분 함량을 분석한 결과 salviannolic acid B은 '홍단'이 72.3 ± 1.4 mg/g 함유되어 54.9 ± 7.8 mg/g의 '재래'와 비교하여 31%가 높았으며, tanshinone IIA는 '홍단'이 3.81 ± 0.07 mg/g 함유되어 2.70 ± 0.14 mg/g

Table 9. Salviannolic acid B and tanshinone IIA contents and its yield of *S. miltiorrhiza* 'Dasan'.

Variety	Salviannolic acid B		Tanshinone IIA.		Total mg/g
	mg/g	kg/10a	mg/g	kg/10a	
Hongdan	72.35±1.39*	18.70±0.36*	3.80±0.07*	0.98±0.02*	76.15±1.47*
Dasan	54.88±7.77	14.18±2.01	2.69±0.14	0.70±0.03	57.58±7.90

*Means separation within columns by Duncan's Multiple Range Test (DMRT, $p < 0.05$).

Table 10. Hydrophillic phenolic acids content by region and variety.

Regions ¹⁾	Variety ²⁾	Content (µg/g · DW)							
		Danshensu	Protocatechuic acid	Protocatechuic aldehyde	Caffeic acid	Rosmarinic acid	Lithospermic acid	Salviannolic acid A	Salviannolic acid C
Emseong	Hongdan	129.93±15.48	4.16±0.28	2.20±1.33	14.15±8.52	19558.23±11424.28	1831.49±1027.09	3.89±0.77	51.41±3.60
	Dasan	87.86±2.78	3.65±0.52	4.80±1.26	13.25±2.31	22601.10±5069.36	1336.28±217.07	12.88±1.53	59.29±10.19
$p < 0.05$		*	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS
Pyeongchang	Hongdan	127.13±7.85	4.50±0.19	7.12±0.58	13.27±0.35	5419.87±315.81	564.93±66.31	6.21±0.55	65.08±4.29
	Dasan	74.64±11.11	3.60±0.27	8.50±1.37	7.12±0.73	6886.24±632.04	412.39±72.56	7.29±1.10	39.46±8.34
$p < 0.05$		*	*	NS	*	*	NS	NS	*

¹⁾Region; cultivated region of Emseong and Pyeongchang ²⁾Variety; cultivated variety of Hongdan and Dasan. *Values indicate means ± SD (n = 3). Significantly different according to Student's t-test (* $p < 0.05$). NS; not significantly different.

를 나타낸 ‘다산’ 대비 41% 수준으로 높은 함량을 나타내었다. salvanolic acid B와 tanshinone IIA를 합한 총 유효성분 함량도 ‘홍단’이 76.1 mg/g으로 나타나 57.7 mg/g을 나타낸 ‘다산’ 보다 높았다 (Table. 9).

추출 조건과 분석방법에 따라 다를 수 있으나 ‘홍단’의 salvanolic acid B는 중국의 단삼 육성 품종 ‘Danza 1’과 ‘Danza 2’에 대한 연구 결과와 비교하여 큰 차이를 보이지 않았으며, tanshinone IIA는 더 높은 수준을 나타냈다 (Wen *et al.*, 2017).

Tanshinone IIA는 지용성 diterpene으로서 항산화 및 항염증 효과를 가지며 다양한 질환에 대한 약리 효과가 있음이 알려져 있으며 (Jang *et al.*, 2003; Jang *et al.*, 2006; Wan *et al.*, 2008; Ansari *et al.*, 2021), 특히 Jeong 등 (2009)은 세포 실험에서 tanshinone IIA는 지방형성을 감소시키는 효과를 나타내는 것으로 보고한 바 있는데, 이러한 연구 결과는 ‘홍단’ 품종이 지방형성 억제와 같은 약리적 효능을 갖춘 고품질 품종으로서의 가능성을 보여준다고 하겠다.

한편 Zhan 등 (2019)이 보고한 바에 따르면 붉은색 뿌리가 더 연한색의 뿌리 대비 tanshinone IIA 함량이 높다고 보고하였는데, 마찬가지로 ‘다산’ 대비 뿌리색이 붉은 ‘홍단’이 tanshinone IIA 함량이 높은 것으로 확인되었다 (Fig. 3). 따라서, tanshinone IIA 함량이 높은 품종을 향후 선발하기 위해, 먼저 뿌리 색상이 진한 계통을 선별하는 것을 고려하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

2.2. 기타 성분 분석

‘다산’과 ‘홍단’의 salvanolic acid B 외 친수성 페놀산 성분함량을 분석한 결과는 Table 10와 같다.

Danshensu에 대해서는, ‘음성’ 지역에서 ‘다산’ 품종은 평균 87.9 ± 2.8 µg/g의 함량을 나타냈으나, ‘홍단’ 품종에서는 이보다 높은 129.9 ± 15.5 µg/g을 보였으며 ‘평창’ 지역에서도 ‘다산’은 74.6 ± 11.1 µg/g, ‘홍단’은 127.1 ± 7.9 µg/g으로 측정되어, ‘홍단’이 더 높은 함량

을 보이는 경향이 일관되게 나타났다.

Protocatechuic acid의 경우, ‘음성’ 지역에서 ‘다산’은 3.64 ± 0.52 µg/g로 나타난 반면, ‘홍단’은 이보다 높은 4.16 ± 0.28 µg/g을 나타냈으며 ‘평창’ 지역에서는 ‘다산’이 3.60 ± 0.27 µg/g, ‘홍단’은 4.50 ± 0.19 µg/g로 측정되어, 두 지역에서 ‘홍단’이 일관되게 높았다.

반면 protocatechuic aldehyde는 ‘음성’ 지역의 ‘다산’이 4.80 ± 1.26 µg/g인 반면, ‘홍단’은 더 낮은 2.20 ± 1.33 µg/g를 나타냈으며 ‘평창’ 지역에서도 ‘다산’은 8.50 ± 1.37 µg/g, ‘홍단’은 7.16 ± 0.58 µg/g로 측정되어 ‘홍단’이 낮은 함량을 보였다.

Caffeic acid의 경우, ‘음성’ 지역에서 ‘다산’은 13.25 ± 2.31 µg/g로 측정되었고, ‘홍단’은 이보다 높은 14.15 ± 8.52 µg/g를 나타냈으며 ‘평창’ 지역에서는 ‘다산’이 7.12 ± 0.73 µg/g, ‘홍단’은 13.27 ± 0.35 µg/g로 측정되어, 이 지역에서도 ‘홍단’이 더 높은 함량을 보였다.

Rosmarinic acid는, ‘음성’ 지역의 ‘다산’이 22,601.10 ± 5,069.36 µg/g인 반면 ‘홍단’은 19,558.23 ± 11,424.28 µg/g로 더 낮았으며 ‘평창’ 지역에서도 ‘다산’은 6,886.24 ± 632.04 µg/g, ‘홍단’은 5,419.87 ± 315.81 µg/g로 측정되어, 이 지역에서도 ‘홍단’이 ‘다산’보다 낮은 함량을 보였다.

다음으로 lithospermic acid는 ‘음성’ 지역에서 ‘다산’이 1,336.28 ± 217.07 µg/g를 보인 반면, ‘홍단’은 이보다 높은 1,831.49 ± 1,027.09 µg/g을 나타냈다. ‘평창’ 지역에서도 ‘다산’은 412.39 ± 72.56 µg/g, ‘홍단’은 564.93 ± 66.31 µg/g로 측정되어, 두 지역 모두에서 ‘홍단’이 더 높은 함량을 가지고 있음이 확인되었다.

Salvanolic acid A에 대해서는, ‘음성’ 지역에서 ‘다산’은 12.88 ± 1.53 µg/g, ‘홍단’은 3.89 ± 0.77 µg/g로 나타나, ‘홍단’이 상대적으로 낮은 함량을 보였으며 ‘평창’ 지역에서도 ‘다산’이 7.29 ± 1.10 µg/g, ‘홍단’은 6.21 ± 0.55 µg/g로 ‘홍단’이 더 낮은 함량을 나타냈다.

Salvanolic acid C의 경우, ‘음성’ 지역에서 ‘다산’은

Table 11. Hydrophobic tanshinones content by region and cultivar.

Region ¹⁾	Variety ²⁾	Content (µg/g-DW)		
		Dihydrotanshinone	Cryptotanshinone	Tanshinone I
Emseong	Hongdan	670.59±46.29	6689.38±355.55	1742.43±151.62
	Dasan	570.34±100.73	9309.91±1756.61	1333.63±252.57
<i>p</i> < 0.05		NS	NS	*
Pyeongchang	Hongdan	480.57±12.49	5489.84±177.90	1587.67±38.37
	Dasan	347.36±44.36	5184.43±679.37	851.78±108.08
<i>p</i> < 0.05		*	NS	*

¹⁾Region; cultivated region of Emseong and Pyeongchang ²⁾Variety; cultivated variety of Hongdan and Dasan. *Data with different letters on the columns represent significant difference according to the Duncan's Multiple Range Test (DMRT, *p* < 0.05).

59.29 ± 10.19 µg/g로 측정되었고, '홍단'은 이보다 낮은 51.41 ± 3.60 µg/g를 나타냈으나 '평창' 지역에서는 '다산'이 39.46 ± 8.34 µg/g, '홍단'은 65.08 ± 4.29 µg/g로 '홍단'이 더 높은 함량을 가지고 있었다.

'다산'과 '홍단'의 tanshinone IIA 외 소수성 탄시논류 성분 함량을 분석한 결과는 Table 11와 같다. Dihydrotanshinone는 '음성' 지역에서 '다산'은 570.34 ± 100.73 µg/g, '홍단'은 이보다 높은 670.59 ± 46.29 µg/g를 나타냈으며 '평창' 지역에서도 '다산'은 347.36 ± 44.36 µg/g, '홍단'은 480.57 ± 12.49 µg/g로 측정되어, 이 지역에서도 '홍단'이 높은 함량을 보였다.

Cryptotanshinone에 대해서는, '음성' 지역에서 '다산'은 9,309.91 ± 1756.61 µg/g, '홍단'은 이보다 낮은 6,689.38 ± 355.55 µg/g를 나타냈으나 '평창' 지역에서는 '다산'이 5,184.43 ± 679.37 µg/g, '홍단'은 5,489.84 ± 177.90 µg/g로, 이 지역에서는 '홍단'이 약간 더 높은 함량을 보였다.

마지막으로 tanshinone I의 경우, '음성' 지역에서 '다산'은 1,333.63 ± 252.57 µg/g, '홍단'은 이보다 높은 1,742.43 ± 151.62 µg/g를 나타냈으며 '평창' 지역에서도 '다산'이 851.78 ± 108.08 µg/g, '홍단'은 1,587.67 ± 38.37 µg/g로, 이 지역에서도 '홍단'이 높은 함량을 가지고 있었다.

분석된 모든 성분에 대한 전체적인 결과를 분석해보면, danshensu, protocatechuic acid, caffeic acid, lithospermic acid, dihydrotanshinone, tanshinone I 등 6 종의 성분에서 '홍단'이 일관되게 높은 함량을 보였으며, protocatechuic aldehyde, rosmarinic acid, salvianolic acid A 및 salvianolic acid C 등 4 종의 성분에서는 '다산'이 일관되게 더 높은 함량을 나타냈다. 이러한 결과는 품종 선택 시 고려해야 할 중요한 요소이며, 특정 성분의 함량이 높은 품종 선발에 중요한 참고 자료가 될 것으로 보인다.

단삼의 지표 성분으로 알려진 salvianolic acid B는 물에서 protocatechuic aldehyde 등으로 분해되는 것으로 알려져 있으며 (Chen *et al.*, 2016b), 온도와 pH가 높고 추출 시간이 길면 salvianolic acid B의 분해가 촉진될 수 있다고 보고된 바 있다 (Pang *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2018).

'홍단'은 '다산'과 비교하여 앞서 분석한 salvianolic acid B 뿐만 아니라 분해 산물로 알려진 성분 함량 또한 더 높았다는 점은 주목할 만하며 또한 추출 조건을 조절함으로써 '홍단' 품종에서 특정 성분 함량을 더욱 증가시킬 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구를 통해 '홍단'은 수량성이 뛰어난 뿐만 아니라 '다산' 대비 유효성분 함량이 높은 것을 확인하였으며, 따라서 '홍단'이 생약재 혹은 기능성식품의 원료로써 활용성이 뛰어난 것으로 판단된다.

감사의 글

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: RS-2022-RD010073)에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Ai ZL., Zhang X, Ge W, Zhong YB, Wang HY, Zuo ZY and Liu DY.** (2022). *Salvia miltiorrhiza* extract may exert an anti-obesity effect in rats with high-fat diet-induced obesity by modulating gut microbiome and lipid metabolism. *World Journal of Gastroenterology*. 28:6131-6156.
- Ansari MA, Khan FB, Safdari HA, Almatroudi A, Alzohairy MA, Safdari M, Amirzadeh M, Rehman S, Equbal MJ and Hoque M.** (2021). Prospective therapeutic potential of tanshinone IIA: An updated overview. *Pharmacological Research*. 164:105364. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1043661820316728> (cited by Feb. 2024).
- Bomme U, Rinder R, Bauer R and Heubl G.** (2009). Field cultivation of *Salvia miltiorrhiza* Bunge as a new medicinal plant in Germany, used for the traditional Chinese medicine. *Zeitschrift für Arznei- und Gewürzpflanzen*. 14:25-31.
- Chang BY, Oh BR, Sohn DH, and Kim SY.** (2008). Single oral toxicity study on the standardized extract of *Salvia miltiorrhiza*. *Korean Journal of Pharmacognosy*. 39:352-356.
- Chen M, Yang C, Sul C, Jin Y and Wei J.** (2016a). "Zhongdanyaozhi No. 1" and "Zhongdanyaozhi No. 2" are hybrid varieties of *Salvia miltiorrhiza* with high yield and active compounds content. *Plos One*. 11:e0162691. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0162691> (cited by Feb. 2024).
- Chen J, Li S, Yao Z, Yang D and Zhang L.** (2016b). Improved stability of salvianolic acid B from radix *Salviae miltiorrhizae* in deep eutectic solvents. *Analytical Methods*. 8:2502-2509.
- Chen J, Wang Y, Di P, Wu Y, Qiu S, Lv Z, Qiao Y, Li Y, Tan J, Chen W, Yu M, Wei P, Xiao Y and Chen W.** (2023). Phenotyping of *Salvia miltiorrhiza* roots reveals associations between root traits and bioactive components. *Plant Phenomics*. 5:0098. <https://spj.science.org/doi/full/10.34133/plantphenomics.0098> (cited by Feb. 2024)
- Chen X, Deng Y, Xue Y and Liang J.** (2012). Screening of bioactive compounds in radix *Salviae Miltiorrhizae* with liposomes and cell membranes using HPLC. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 70:194-201.
- Chinese Pharmacopoeia Commission(ChP).** (2020). Chinese Pharmacopoeia. Standards for component content of *Salvia*. Chinese Pharmacopoeia Commission. Beijing Chemical Industry Press. Beijing, China. p.77-79.
- Choi HY and Han YS.** (2003). Isolation and identification of antimicrobial compound from Dansam(*Salvia miltiorrhiza* Bunge). *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*. 32:22-28.
- Fang ZY, Lin R, Yuan BX, Yang GD, Liu Y and Zhang H.** (2008). Tanshinone IIA downregulates the CD40 expression and decreases MMP-2 activity on atherosclerosis induced by high fatty diet in rabbit. *Journal of Ethnopharmacology*. 115:217-222.
- Gao RL, Yang PS, Xu G, Wu XW, Yang C and Shi XY.** (2020).

- Study on establishment of near-infrared quantitative model for salvianolic acid B in naoxintong capsule based on the system modeling idea. *Spectroscopy and Spectral Analysis*. 40:3573-3578.
- Guo R, Li L, Su J, Li S, Duncan SE, Liu Z and Fan G.** (2020). Pharmacological activity and mechanism of tanshinone IIA in related diseases. *Drug Design, Development and Therapy*, 14:4735-4748.
- Jang SI, Jeong SI, Kim KJ, Kim HJ, Yu HH, Park R and You YO.** (2003). Tanshinone IIA from *Salvia miltiorrhiza* inhibits expression of inducible nitric oxide synthase and production of TNF- α , IL-1 β and IL-6 in activated RAW 264.7 cells. *Planta Medica*. 69:1057-1059.
- Jang SI, Kim HJ, Kim YJ, Jeong SI and You YO.** (2006). Tanshinone IIA inhibits LPS-induced NF- κ B activation in RAW 264.7 cells: Possible involvement of the NIK-IKK, ERK1/2, p38, and JNK pathways. *European Journal of Pharmacology*. 542:1-7.
- Jeong JT, Lee JH, Lee WM, An TJ, Lee YJ, Hur M, Ma KH, Kim YG and Han JW.** (2023). Cultivation and quality characterization of new variety *Salvia miltiorrhiza* 'Dasan'. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 31:371-376.
- Jeong SI, Lee JW and Jang SI.** (2009). Effects of tanshinone IIA from *Salvia Miltiorrhiza* Bunge on induction of apoptosis and inhibition of adipogenesis in 3T3-L1 cells. *Korean Journal of Oriental Physiology and Pathology*. 23:1409-1415.
- Ji W and Gong BQ.** (2008). Hypolipidemic activity and mechanism of purified herbal extract of *Salvia miltiorrhiza* in hyperlipidemic rats. *Journal of Ethnopharmacology*. 119:291-298.
- Korea Food and Drug Administration(KFDA).** (2012). The Korean pharmacopoeia. The second section of each item in medicine and medical supplies. Korea Food and Drug Administration. Chongju, Korea. p.25-26.
- Kim JC, Kim JH, Kim KJ, Ryu JK., Park SD, and You OJ.** (1998). Correlation between growth characteristics and root yield in collected peony lines. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 6:188-192.
- Kim OH, Chung SY, Park MK, Rhee HM and Yang JS.** (1999). Anticancer activity of natural products including *Salvia miltiorrhiza*. *Journal of Applied Pharmacology*. 7:29-34.
- Kim JY, Kim HS, Kang HS, Choi JS, Yokozawa T, and Chung HY.** (2008). Antioxidant potential of dimethyl lithospermate isolated from *Salvia miltiorrhiza*(red sage) against peroxynitrite. *Journal of Medicinal Food*. 11:21-28.
- Kuang ZA, Dong JW, Sun C, Yin MX, Liu L, Deng HB, Liu XJ and Feng YC.** (2023). Salvianolic acid B exerts its anti-tumor immunity by targeting USP2 and reducing the PD-L1 level. *Acta Pharmaceutica Sinica B*. 58:954-962.
- Lee YN.** (2006). New flora of Korea(II). Kyohaksa corporation. Seoul, Korea. p.376-378.
- Li E, Wang Y, Li Q, Li L and Wei L.** (2021). Protective effects of Sal B on oxidative stress-induced aging by regulating the Keap1/Nrf2 signaling pathway in zebrafish. *Molecules*. 26:5239. <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/17/5239> (cited by Feb. 2024).
- Liang SM., Ren C, Wang PJ, Wang XT, Liao YS, Xu FH, Wang Y, Dai YQ, Zhang L, Li XP, Zhan K, Yang QF and Sui QJ.** (2018). Improvements of emergence and tuber yield of potato in a seasonal spring arid region using plastic film mulching only on the ridge. *Field Crops Research*. 223: 57-65.
- Lu S.** (2019). *Salvia miltiorrhiza*: An economically and academically important medicinal plant. In Kole C. (ed.). *Compendium of plant genomes*. Springer International Publishing AG. Cham, Switzerland. p.1-15.
- Masarirambi MT, Mandisodza FC, Mashingaidze AB and Bhebhe E.** (2012). Influence of plant population and seed tuber size on growth and yield components of potato(*Solanum tuberosum*). *International Journal of Agriculture and Biology*. 14:545-549.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA).** (2022). Final results of the 2021 census of agriculture, forestry and fisheries. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Sejong, Korea. p.84-88.
- Pang H, Wu L, Tang Y, Zhou G, Qu C and Duan JA.** (2016). Chemical analysis of the herbal medicine *Salviae miltiorrhizae* Radix et Rhizoma(Danshen). *Molecules*. 21:51. <https://www.mdpi.com/1420-3049/21/1/51> (cited by Feb. 2024).
- Rural Development Administration(RDA).** (2012). Standard method of investigation and analysis for research on the agricultural science and technology. Rural Development Administration. Jeonju, Korea. p.771-772.
- Rural Development Administration(RDA).** (2024). Data by period of agricultural meteorology. <https://weather.rda.go.kr/w/analysis/avrgyear.do> (cite by 2024 Feb. 4).
- Wan X, Jung YA and Row KH.** (2008). Solvent extraction of tanshinone IIA from *Salvia Miltiorrhiza* Bunge. *Korean Chemical Engineering Research*. 46:660-664.
- Wang MD, Zhang S, Liu XY, Wang PP, Zhu YF, Zhu JR and Wen L.** (2023). Salvianolic acid B ameliorates retinal deficits in an early-stage alzheimer's disease mouse model through downregulating BACE1 and A β generation. *Acta Pharmacologica Sinica*. 44:2151-2168.
- Wen C, Liu L, Xie X, Wei, Tian W, Jia D, Bian J, Wang M, Yanfei O and Dandan G.** (2017). New varieties of *Salvia miltiorrhiza* 'Danza 1' and 'Danza 2'. *Acta Horticulturae Sinica*. 44:2747-2748.
- Wu YL, Lin H, Li HF, Don MJ, King PC and Chen HH.** (2022). *Salvia miltiorrhiza* extract and individual synthesized component derivatives induce activating-transcription-factor-3-mediated anti-obesity effects and attenuate obesity-induced metabolic disorder by suppressing C/EBP α in high-fat-induced obese mice. *Cells*. 11:1022. <https://www.mdpi.com/2073-4409/11/6/1022> (cited by Nov. 2023).
- Yin HQ, Choi YJ, Kim YC, Sohn DH, Ryu SY and Lee BH.** (2009). *Salvia miltiorrhiza* Bunge and its active component cryptotanshinone protects primary cultured rat hepatocytes from acute ethanol-induced cytotoxicity and fatty infiltration. *Food and Chemical Toxicology*. 47:98-103.
- Xu L, Wang Y, Li Y, Zhou Z, Zhang F, Rajput, Z.I and Sun Y.** (2018). Stability analysis of salvianolic acid B and total phenolic acids from *Salvia miltiorrhiza* by HPLC and HPLC-MS. *Natural Product Communications*. 3:671-672.
- Zhang L, Zheng L, Yuan NP, Gu LQ and Shen QY.** (2020). Inhibition effect and mechanism of the salvianolic acid B on the proliferation of human colon cancer HCT116 cells. *Acta Pharmaceutica Sinica B*. 36:3268-3271.
- Zhang C, Yang D, Liang Z, Liu J, Yan K, Zhu Y and Yang S.** (2019). Climatic factors control the geospatial distribution of

active ingredients in *Salvia miltiorrhiza* Bunge in China. Scientific Reports, 9:904. <https://www.nature.com/articles/s41598-018-36729-x> (cited by Nov. 2023).

Zhan Z, Fang W, Ma X, Chen T, Cui G, Ma Y, Kang L, Nan T, Lin H, Tang J, Zhang Y, Lai C, Ren Z, Wang Y, Zhao Y, Shen Y, Wang L, Zeng W, Guo J and Huang L. (2019). Metabolome and transcriptome analyses reveal quality change in the orange-rooted *Salvia miltiorrhiza*(Danshen) from cultivated field. Chinese Medicine. 14:42. <https://link.springer.com/article/10.1186/s13020-019-0265-6> (cited by Feb. 2024).