

Effect of temperature on photosynthetic capacity and influence of harvesting time on quality of *Salvia miltiorrhiza* Bunge

Young-Jin Seo^{1*}, Jong-Su Kim¹, Sun-Hwa Kim², Mi-Yeon Kim², Yong-Jin Jeong^{2,3},
Gi-Un Seong⁴, Shin-Kyo Chung^{4,5}

¹Bonghwa Medicinal Plant Research Station, Gyeonbuk Agricultural Technology Administration, Bonghwa 36229, Korea

²KMF Co., Ltd., Daegu 41065, Korea

³Department of Food Science and Technology, Keimyung University, Daegu 42403, Korea

⁴Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

⁵Food and Bio-Industry Research Institute, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

온도에 따른 단삼의 광합성 특성 및 수확시기가 품질에 미치는 영향

서영진^{1*} · 김종수¹ · 김선화² · 김미연² · 정용진^{2,3} · 성기운⁴ · 정신교^{4,5}

¹경북농업기술원 봉화약초시험장, ²(주)케이엠에프, ³계명대학교 식품가공학과,

⁴경북대학교 식품공학과, ⁵경북대학교 식품생물산업연구소,

Abstract

Salvia miltiorrhiza has been used for treating heart and liver disease. In the present study, the influences of temperature on photosynthetic capacity of *S. miltiorrhiza* under controlled cultivation environment using growth chamber were investigated because of providing information about growth and secondary metabolite synthesis. And effect of harvesting time on growth properties and constituents such as salvianolic acid B, cryptotanshinone, tanshinone I, tanshinone IIA were evaluated. Maximum photosynthesis rate (5.102 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) and net apparent quantum yield (0.147 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$), stomatal conductance (0.035 $\text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}$) and water use efficiency (7.108 $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$) was highest at 20°C. Results of chlorophyll fluorescence showed that elevated temperature had contributed to reduce a quantum yield and electron flux in photosystem. This result demonstrated that favorable temperature condition was determined at 20°C. Contents of salvianolic acid B, cryptotanshinone, tanshinone I and tanshinone IIA was highest in root sample harvested at 20 March, whereas growth and yield of *S. miltiorrhiza* had no significant differences with harvesting time. Therefore, this study shows that temperature play an important role in photosynthetic activity and harvesting time have influence upon accumulation of constituents in root of *S. miltiorrhiza*.

Key words : *Salvia miltiorrhiza*, photosynthesis, salvianolic acid, tanshinone

서 론

단삼(*Salvia miltiorrhiza* Bunge)은 꿀풀과에 속하는 다년 생 초본 약용식물로서 뿌리의 색이 붉은 특징을 가지고 있다.

단삼은 대한민국약전에 수재된 한약재종로 생약명은 단삼(단삼)이며 뿌리는 특유의 냄새가 있고 약간 쓴 맛이 있으며 (1) 대한민국 약전에서는 salvianolic acid B의 함량이 4.1% 이상을 함유하도록 규정하고 있다. 한방에서는 생리불순, 생리통 및 산후복통과 어혈성의 심복부동통과 타박상을 치료하는데 사용되고 있으며(2) 단삼은 고혈압, 관상동맥, 경화성 심장병에 효능이 있으며(3), 동맥경화 개선(4), 세포 내 지방축적 비율을 감소시키고(5), 뇌세포 보호(6), 항산화 작용(7), 간세포보호(8), 항균효과(9,10), 항혈전작용(11)과 항암활성(12-14) 등의 생리활성을 가지는 것으로 보고되었

*Corresponding author. E-mail : francisc@korea.kr

Phone : 82-54-673-8064, Fax : 82-54-673-8066

Received 22 September 2015; Revised 4 November 2015;

Accepted 4 November 2015.

Copyright © The Korean Society of Food Preservation. All rights reserved.

다. 단삼의 뿌리에 함유된 약효성분으로 tanshinone I, tanshinone IIA, dihydrotanshinone I, cryptotanshinone 등과 같은 lipid-soluble diterpene 화합물과 rosmarinic acid, salvianolic acid B 등의 water-soluble phenolic acid 화합물이 주요한 약리작용을 나타내는 성분으로 알려져 있다(15-17). Tanshinone은 cytoplasm에서 melvalonate pathway, plastid의 methylerythritol phosphate pathway에 의해 생합성되며(18,19), rosmarinic acid와 salvianolic acid B는 phenylpropanoid pathway, tyrosine derived pathway를 통하여 L-phenylalanine, L-tyrosine이 대사과정을 거쳐 rosmarinic acid, salvianolic acid B로 전환된다고 보고하였다(20-22). 따라서 광합성 산물, 질소성분의 흡수량 등과 같은 환경조건이 전구물질의 생합성에 영향을 미칠 수 있어(20) 유효성분 함량이 높은 단삼을 생산, 유통하기 위하여 기상조건을 고려한 재배관리 방법의 개발이 필요하다. 당귀의 경우 주요 약리성분인 decursin의 함량은 재배지역에 따라 차이가 크다고 보고하였으며(23), 재배지의 해발고도가 500 m 이상의 고지대에서 적산온도가 3,700°C 이하인 곳이 decursin과 decursinol angelate 함량이 높고 수량이 많으므로 당귀의 수량이나 성분은 재배지역의 환경조건에 의해 크게 영향을 받는 것으로 조사되었다(24). 미나리과 약용작물인 갯기름나물도 재배조건에 따라 영양성분 및 항산화활성의 차이가 있었으며 하우스보다 노지에서 재배한 갯기름나물이 비타민 C, 엽산, 폴리페놀 화합물 함량과 항산화 활성이 높았다고 하였다(25). 단삼은 국내에서 재배되지 않았으나 경북 영양군 일월면 일대에서 주산지가 형성되어 단삼이 유통되고 있으며 전북 고창 지역의 일부 농가에서도 생산이 되고 있다. 현재까지 단삼 생산을 위한 재배방법 개발을 위하여 종자채종을 위한 개화결실 특성(26), 시비량 산정(27), 잡초방제(28), 재식밀도와 피복재료 선택(29)에 대한 연구가 수행되었을 뿐 유효성분 함량이 높은 단삼을 생산, 유통하기 위하여 재배환경이 단삼의 생리특성 및 유효성분 함량 변화에 미치는 영향에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 단삼의 생육에 적합한 기상조건 구명을 위하여 온도별 광합성, 증산율 및 엽록소 형광반응을 조사하였고 고품질 단삼 유통을 위해 수확시기에 따른 생육, 수량 및 성분함량을 분석하였다.

재료 및 방법

재배방법

2013년도 수확한 단삼종자를 트레이상토에 파종하여 온실에서 2개월간 육묘한 모종을 직경 36 cm × 높이 44 cm 플라스틱 포트에 이식하여 재배하면서 온도에 따른 단삼의 광합성, 증산율, 엽록소 형광특성을 조사하였다. 수확시기별 단삼의 생육, 수량 및 성분함량 분석을 위하여 경북 영양

군 일월면 도곡리 농가 포장에서 재배시험을 수행하였으며, 2014년 3월 하순에 모종을 정식하여 비닐피복 재배를 하면서 2014년 11월 10일, 11월 20일, 11월 30일과 2015년 3월 10일, 3월 20일 등 5회에 걸쳐 단삼을 수확하였다.

광합성 및 엽록소형광 분석

단삼을 식물성장상(JSPC-420C2, JSResearch Inc., Gongju, Korea)에서 상대습도 65%, 광량 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조건을 유지하면서 온도에 따른 광합성, 증산율, 엽록소 형광반응을 측정하였다. 순광합성율과 증산율은 광합성측정기(LI-6400XT, Licor Inc., Lincoln, USA)를 이용하여 중간부위에 위치하는 만개한 잎을 공기유량 250 $\mu\text{mol/s}$, 온도 20±2°C에서 오전 9시부터 오후 1시까지 3반복으로 측정하였다. 광합성측정기의 광량조절은 LED light source를 이용하여 0, 25, 50, 75, 100, 250, 500, 750, 1000, 1500 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 의 단계로 조절하였다. 광-광합성 곡선을 측정하여 광보상점(light compensation point), 암호흡(dark respiration), 순양자수율(net apparent quantum yield), 최대광합성속도(maximum photosynthesis rate)를 구하였다(29,30). 엽록소 형광반응 측정기(FluorPen FP100 Fluorimeter, Photon System Instrument, Drasov, Czechia)를 사용한 OJIP 분석은 20분간 암상태에 적응시킨 잎에 1,500 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 의 광을 1초간 조사하고 50 μs (O 단계), 2 ms(J 단계), 30 ms(I 단계), 300 ms(P 단계)의 엽록소 형광밀도를 3반복으로 측정하여 구하였다. OJIP 분석을 통해 단삼 잎의 생체물리학적 변수(V_j , V_i , F_v/F_m , ABS/RC, ET_o/RC, DI_o/RC)를 산출하였다(31).

Salvianolic acid B 및 Tanshinone 화합물 분석

분석용 시료는 단삼을 40°C에서 열풍건조한 후 절단, 분쇄하여 사용하였다. 건조분말 0.3 g에 75% methanol 50 mL를 가한 후 30분 동안 초음파 추출하였다. 추출물은 Whatman NO. 1 여과지 및 0.45 μm membrane filter로 여과하여 분석용 시료로 사용하였다. 단삼의 유효 성분인 salvianolic acid B, cryptotanshinone, tanshinone I, tanshinone IIA는 HPLC(1260 Infinity Quaternary LC System, Agilent Technologies, Waldbronn, Germany)를 이용하였으며 분석 조건은 Table 1과 같다. 함량 측정은 Sigma-Aldrich(St. Louis, MO., USA)의 salvianolic acid B, cryptotanshinone, tanshinone I, tanshinone IIA를 이용하여 작성한 검량선의 회귀식에서 구하였다.

생육조사 및 통계처리

본 연구의 모든 실험은 3회 반복하여 측정된 평균을 나타내었다. 근장은 가장 긴 뿌리의 최대길이, 근직경은 가장 굵은 뿌리의 직경, 지근수는 주근을 제외한 뿌리수를 조사하였으며 건조중량은 열풍건조기를 이용하여 80°C에서 48시간 동안 건조한 무게를 측정하였다. 각 실험결과에 대한

통계분석은 SAS(9.13, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하였으며 처리군 간의 유의성 검정은 일원 배치 분산분석법(one-way analysis of variance)을 시행하였고, Duncan's multiple range test로 처리 평균간의 유의적 차이를 검증하였다($p < 0.05$).

Table 1. HPLC conditions for the assay of *Salviae Miltiorrhizae* Bunge

Items	Conditions
HPLC system	1260 (Infinity Quaternary LC System, Agilent Technologies, Waldbronn, Germany)
Column	ODS-H80 (ODS-H80, 4.6×250 mm, YMC Co., Ltd., Kyoto, Japan)
	Time 1% formic acid in H ₂ O 1% formic acid in ACN:MeOH (75:25)
	(min) 75 25
	1 60 40
Mobile phase	14 60 40
	22 40 60
	23 11 89
	45 11 89
Flow rate	0.5 mL/min
Column temp.	30 °C
Injection volume	5 μL
Detector	UV (280 nm)

결과 및 고찰

광합성 조사

온도와 광의 세기가 단삼의 광합성에 미치는 영향을 조사한 결과는 Fig. 1과 같았다. 광의 세기가 증가할수록 광합성율은 증가하는 경향을 나타내었는데 광의 세기가 750 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 까지 증가한 후 이후에는 일정한 수준을 유지하였다. 재배온도에 따른 광합성율은 20°C, 25°C, 30°C의 순으로 조사되었다. 자연환경의 일상적인 조건에서 광의 세기가 1,000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이상인 것으로 고려할 때 일사량 보다는 재배기간 중 온도조건이 큰 영향을 미치는 것으로 조사되었다.

약광조건인 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이하에서 광도와 광합성의 관계는 직선적이므로 직선 회귀식을 이용하여 광보상점, 암상태의 호흡속도, 최대 광합성 속도, 순양자 수율을 산출하였다(Table 2). 20°C에서 광보상점은 18.487 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 가장 낮아 약광조건에서도 광합성 효율이 높았으며, 최대 광합성 속도 또한 5.102 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ 로 가장 높았으며 순양자 수율도 0.147 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ 로 25°C와 30°C에 비해 2.7~3.1배 높았다. 특히 순양자 수율은 약광조건에서 광합

성능력의 지표로 빛 에너지를 화학 에너지로 변환시키는 광화학계의 활성을 나타내는데(31), 외부의 스트레스를 받지 않는 조건에서 대략 0.04~0.06 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ 을 나타내며 0.04 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ 이하인 경우 광화학계가 손상을 받은 것으로 보고하고 있다. 본 연구에서는 25°C, 30°C에서 순양자수율이 0.048~0.054 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ 범위를 나타내어 광화학계의 손상은 발생하지 않았지만 온도에 따른 광합성율과 광합성 특성의 저하를 나타내었다.

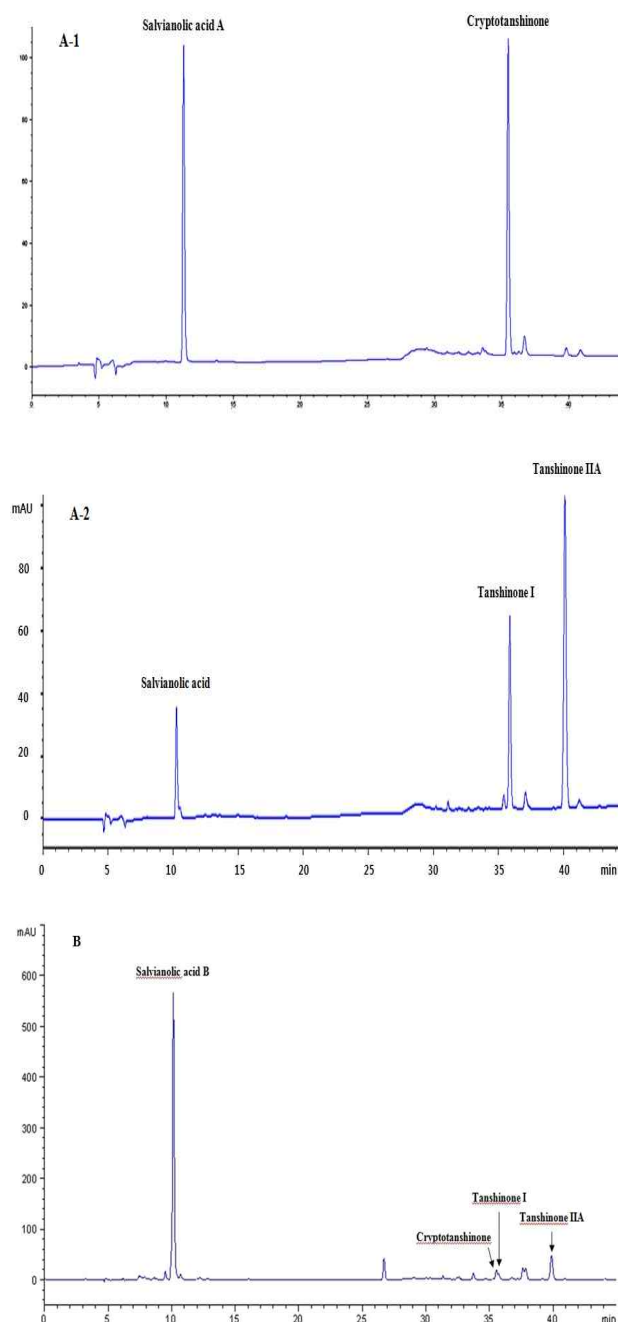


Fig. 1. HPLC chromatograms of standards (A) and root sample (B) extracted by methanol in *Salvia miltiorrhiza* Bunge.

Table 2. Effect of temperature on photosynthetic parameters in *Salvia miltiorrhiza* Bunge

Temperature	LCP ¹⁾ ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	DR ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$)	MPR ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$)	NAQY ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$)
20°C	18.487 ^{c2)}	0.540 ^b	5.102 ^a	0.029 ^a
25°C	33.913 ^b	0.776 ^a	4.113 ^b	0.023 ^b
30°C	92.480 ^a	0.422 ^c	1.766 ^c	0.004 ^c

¹⁾LCP, light compensation point; DR, dark respiration; MPR, maximum photosynthesis rate; NAQY, net apparent quantum yield.

²⁾Values represent the mean (n=3). Means with different letters are significantly different at p<0.05 probability level by Duncan's multiple range test.

증산율 조사

온도에 따른 단삼의 증산율을 조사한 결과는 Table 3과 같았다. 잎의 기공 전도도는 20°C에서 가장 높았고 증산율은 0.698 mmol H₂O/m²/s로 25°C 다음으로 높았다.

Table 3. Effect of temperature on stomatal conductance, transpiration rate, vapor pressure deficit of leaf-air and water use efficiency of *Salvia miltiorrhiza* Bunge exposed to LED at 1,000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ of photosynthetic photon density, 400 ppm CO₂

Temperature	Stomatal conductance (mmol/m ² /s)	Transpiration rate (mmol H ₂ O/m ² /s)	Vapor pressure deficit (kPa)	Water use efficiency ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$)
20°C	0.035 ^{a1)}	0.698 ^b	1.918 ^c	7.108 ^a
25°C	0.024 ^b	0.720 ^a	2.848 ^b	4.955 ^b
30°C	0.012 ^c	0.507 ^c	4.023 ^a	3.311 ^b

¹⁾Values represent the mean (n=3). Means with different letters are significantly different at p<0.05 probability level by Duncan's multiple range test.

식물체내에서 대기중으로 수분의 확산을 의미하는 증산은 주로 기공에서 이루어지며 기공이 폐쇄될 경우 수분과 CO₂의 교환에 영향을 미쳐 광합성 속도의 감소를 초래하게 된다. 수분 부족, 고온 및 저온 등 환경 스트레스를 받는 조건에서 광반응에 이용되는 빛 에너지에 의해 광합성 저해가 일어나는데 포도의 경우 침수에 의해 뿌리로 부터 수분 흡수 저해에 따른 잎의 기공 전도도가 감소하여 증산율이 떨어져서 증산작용에 의한 엽온 조절기능이 교란되고 일사에 의한 광에너지 방출이 원활하지 못하므로 엽온도 상승, 정상적인 광합성이 억제되어 잎의 광계 II의 광수확 복합체(LHC II)의 광수확 안테나가 닫히고 막 단백질이 변형되어 광에너지가 광합성에 효율적으로 쓰이지 못하고 비광화학적 에너지 방출이 증가한다고 보고하였다(32). 20°C에서 기공 전도도가 높지만 증산율이 25°C 보다 낮은 원인은 대기 수증기압 차이(vapor pressure deficit)가 낮기 때문이며 뿌리로부터 수분의 흡수가 원활하지 못한 조건에서 대기 수증기압 차이가 클 때에는 잎의 기저부 또는 말단부위의 위조현상 등 수분 스트레스를 유발할 수 있다. 온도 조건에

따른 수분 이용효율은 20°C에서 가장 높으므로 단삼의 수분 생리에도 상대적으로 낮은 온도에서 유리한 편이었다.

엽록소형광 분석

OJIP 분석법에 의한 엽록소 형광반응의 가장 초기에 O-J 구간은 광계 II의 반응중심에 Q_A의 환원(Q_A⁻)을 나타내고 J-I 구간은 Q_A의 환원과 재산화간 불균형, I-P 구간은 플라스토퀴논(plastoquinone)의 급격한 환원을 의미한다(33). 온도에 따른 엽록소 형광분석 결과는 Table 4의 내용과 같았다.

20°C에서는 V_j, V_i가 높아서 Q_A⁻의 재산화를 감소로 전자 전달이 다소 낮아지는 편이었으나 초기 광화학 반응에서 최대 양자수율을 나타내는 Fv/Fm은 20°C, 25°C에서 높았고, 반응중심당 에너지 흐름의 변화를 나타내는 ABS/RC는 20°C에서 가장 낮은 값을 나타내어 25°C, 30°C에 비해 반응중심의 활성도가 유의하게 증가하는 것을 알 수 있었다. DiO/RC는 30°C에서 가장 높아 활성상태의 반응중심이 감소되어 반응중심에 에너지와 열의 방출이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 고온조건에서 광화학 반응에 이용되는 에너지가 줄어들고 전자전달에 이용되지 못하는 에너지가 증가하여 광계 II의 활성이 감소하며 과도한 여기 에너지로 인하여 광산화를 막기 위한 환원상태의 반응중심과 비광화학적 에너지의 소실을 증가시키는 반응을 나타낸 것으로 사료된다.

Table 4. Effect of temperature on characteristics of chlorophyll fluorescence in *Salvia miltiorrhiza* Bunge

Temperature	V _j ¹⁾	V _i	Fv/Fm	ABS/RC	DiO/RC
20°C	0.447 ^{c2)}	0.737 ^a	0.813 ^a	2.049 ^c	0.383 ^b
25°C	0.401 ^b	0.703 ^b	0.815 ^a	2.177 ^b	0.402 ^b
30°C	0.375 ^c	0.693 ^b	0.808 ^b	2.317 ^a	0.445 ^a

¹⁾V_j, relative variable fluorescence at 2 ms time; V_i, relative variable fluorescence at 30 ms time; Fv/Fm, maximum quantum yield of PS II photochemistry in the dark adapted state; ABS/RC, absorption flux per reaction center; DiO/RC, energy dissipation flux per reaction center.

²⁾Values represent the mean (n=3). Means with different letters are significantly different at p<0.05 probability level by Duncan's multiple range test.

Table 5. Effect of harvesting time on root growth and yield of *Salvia miltiorrhiza* Bunge

Harvesting time	Root length (cm)	Root diameter (mm)	Lateral root (Number/plant)	Dry weight (g/plant)
November 10	35.53 ^{a1)}	38.00 ^a	18.33 ^a	32.73 ^a
November 20	33.90 ^a	37.83 ^a	18.00 ^a	32.97 ^a
November 30	35.43 ^a	36.73 ^a	18.36 ^a	33.57 ^a
March 10	35.30 ^a	36.97 ^a	18.24 ^a	34.01 ^a
March 20	36.07 ^a	36.77 ^a	18.42 ^a	34.13 ^a

¹⁾Values represent the mean (n=3). Means with different letters are significantly different at p<0.05 probability level by Duncan's multiple range test.

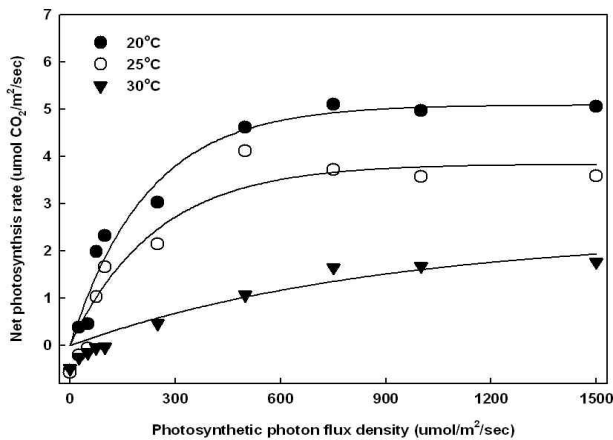


Fig. 2. Effect of temperature on net photosynthesis rate depending upon photon flux density of *Salvia miltiorrhiza* Bunge.

시료의 근장, 근직경, 지근수 및 건근중의 차이는 없었다. 수확시기별 단삼에 함유된 salvianolic acid B, cryptotanshinone, tanshinone I, tanshinone IIA을 HPLC를 이용하여 분석한 결과는 Fig. 2와 같았으며 salvianolic acid B는 10.177분, cryptotanshinone은 35.653분, tanshinone I은 35.827분, tanshinone IIA는 40.044분에 검출되었다. 수확시기별 함량을 분석한 결과(Fig. 3.), salvianolic acid B 함량은 수확시기가 늦을수록 유의하게 증가하는 경향을 보였으며 2015년 3월 20일에 수확한 단삼이 7,417.75 mg/100 g으로 가장 높았고 다음은 2015년 3월 10일 시료로 6,058.81 mg/100 g이었으며 2014년 11월 수확한 시료는 291.01~363.58 mg/100 g으로 11월 상순에 비해 이듬해 3월 20일 수확한 시료가 약 25.5배 정도 함량이 증가하였다. Cryptotanshinone 함량은 2015년 3월 20일 수확한 시료가 156.42 mg/100 g으로

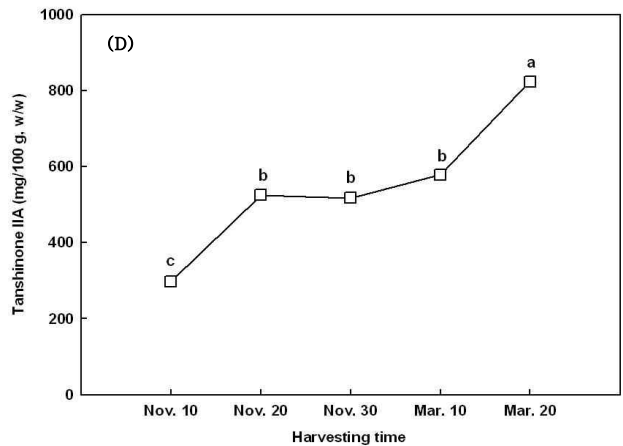
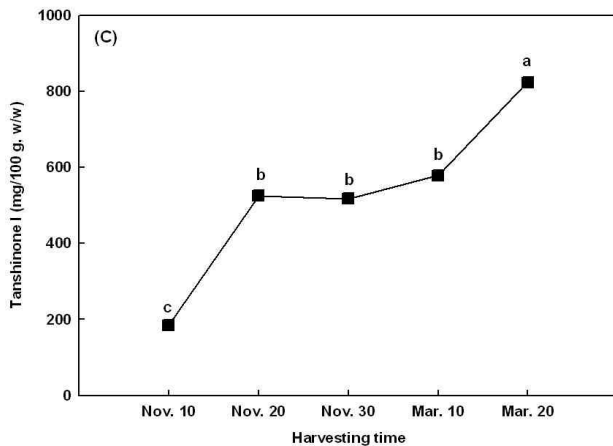
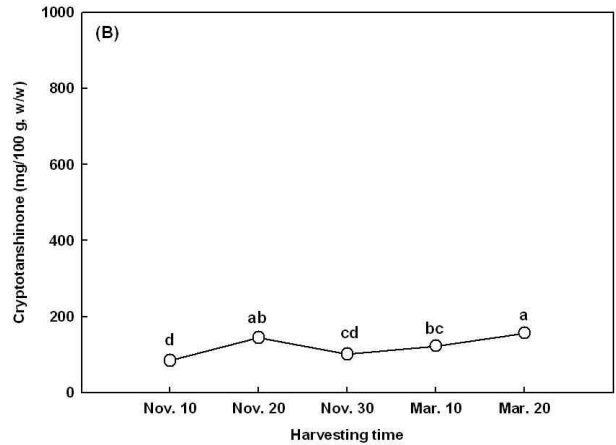
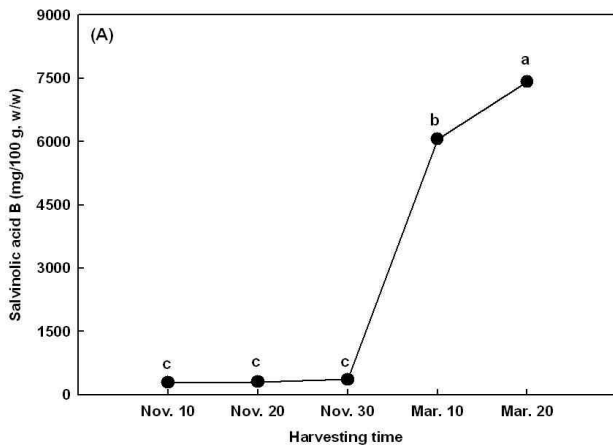


Fig. 3. Effects of harvesting time on content of (A) salvianolic acid B, (B) cryptotanshinone, (C) tanshinone I and (D) tanshinone IIA in *Salvia miltiorrhiza* Bunge.

Values represent the mean (n=3). Means with different letters are significantly different at p<0.05.

생육, 수량 및 성분함량

단삼의 수확시기에 따른 생육 및 수량은 Table 5와 같았다. 2014년 11월 10일 부터 2015년 3월 30일 까지 수확한

2014년 11월 10일 수확시료의 83.58 mg/100 g보다 유의한 증가를 나타내었다. Tanshinone I 함량도 수확시기가 늦어짐에 따라 증가하는 경향을 나타내었으며 2015년 3월 20일

시료는 393.91 mg/100 g으로 2014년 11월 10일 시료보다 2.1배 증가하였다. Tanshinone IIA 함량도 같은 경향을 나타내었는데 2014년 11월 10일 시료보다 2015년 3월 20일 시료가 823.15 mg/100 g으로 2.8배 증가하였다.

요 약

본 연구에서는 고품질 단삼을 생산하기 위한 재배지대 구분과 수확시기에 따른 단삼의 생산성 및 성분함량에 대한 기초자료를 확보하기 위하여 온도조건별 생리반응과 수확시기별 품질을 조사하였다. 동화산물의 축적과 수분이용 효율에 영향을 미치는 광합성율, 증산율 및 엽록소 형광반응을 조사한 결과 20°C에서 광합성율, 기공전도도, 수분이용 효율이 가장 좋았고 광보상점이 가장 낮아 약광조건에서도 광합성 효율이 높았으며, 최대광합성속도와 순양자수율도 가장 높았다. 수확시기에 따른 단삼뿌리의 생육 및 수량은 큰 차이가 없었으나 salvanolic acid B, cryptotanshinone, tanshinone I, tanshinone IIA의 함량은 수확시기가 늦을수록 유의하게 증가하였으며 salvanolic acid B 함량이 가장 많았으며 수확시기별로는 11월 상순에 비해 이듬해 3월 중순 이후에 수확시료에서 약 25.5배 증가하였다. Cryptotanshinone, tanshinone I, tanshinone IIA 함량 또한 2015년 3월 20일 수확한 시료에서 가장 높은 함량을 나타내었다. 따라서 단삼재배에 적합한 온도는 20°C 전후가 적절한 것으로 사료되며 상대적으로 고온조건인 30°C에서 광합성율, 증산율, 엽록소 형광반응이 크게 저하되므로 서늘한 기후조건인 준고랭지 이상의 지역에서 단삼을 재배하는 것이 유리할 것으로 판단된다. 또한 고품질 단삼 유통을 위한 적정 수확시기는 단삼을 파종한 다음 해 3월 중순 이후에 수확을 하는 것이 합리적인 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부와 농림수산식품기술평가원의 지원으로 수행되는 2014년 『국내산 단삼의 고랭지 재배 기술 및 유효성분 강화 가공기반 구축』 과제일환으로 이루어진 것으로, 이에 감사드립니다.

References

1. Mok JS, Kim YM, Kim SH, Chang DS (1995) Antimicrobial properties of the ethanol extract from *Salvia miltiorrhiza*. J Food Hygiene Safety, 10, 23-28
2. Kim JK (1989) Illustrated natural drugs encyclopedia. Namsandang Publishers, Seoul, Korea, p 160
3. Lee YJ, Lee SY (1992) Pharmacognocny. Dongmyeungsa, Seoul, Korea, p 131-137
4. Fang ZY, Lin R, Yuan BX, Yang GD, Liu Y, Zhang H (2008) Tanshinone IIA down-regulates the CD40 expression and decreases MMP-2 activity on atherosclerosis induced by high fatty diet in rabbit. J Ethnopharma, 115, 217-222
5. Ji W, Gong BQ (2008) Hypolipidemic activity and mechanism of purified herbal extract of *Salvia miltiorrhiza* in hyperlipidemic rats. J Ethnopharma, 119, 291-298
6. Zhang F, Zheng W, Pi R, Mei Z, Bao Y, Gao J, Tang W, Chen S, Liu P (2009) Cryptotanshinone protects primary rat cortical neurons from glutamate induced neurotoxicity via the activation of the phosphatidylinositol 3-kinase/Akt signaling pathway. Experi Brain Res, 193, 109-118
7. Kim JY, Kang HS, Choi JS, Yokozawa T, Chung HY (2008) Antioxidant potential of dimethyl lithospermate isolated from *Salvia miltiorrhiza* (red sage) against peroxynitrite. J Med Food, 11, 21-28
8. Yin HQ, Choi YJ, Kim YC, Sohn DH, Ryu SY, 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 Chem Toxicol, 47, 98-103
9. Choi HY, Han YS (2003) Isolation and identification of antimicrobial compound from Dansam (*Salvia miltiorrhiza* Bunge). J Korean Soc Food Sci Nutr, 32, 22-28
10. Han WS (2004) Isolation of antimicrobial compounds from *Salvia miltiorrhiza* Bunge. Korean J Med Crop Sci, 12, 179-182
11. Yang SA, Im NK, Lee IS (2007) Effect of methanolic extract from *Salvia miltiorrhiza* Bunge on in vitro antithrombotic and antioxidative activities. Korean J Food Sci Technol, 39, 83-87
12. Yang BJ, Huang XL, Zhou QR (1984) The structures of four minor diterpenquinones przewaquinones C, D, E and F from the root of *Salvia przewalskii* Maxim var. *mandarinorum* (Diels) Stib. Acta Pharma Sinica, 19, 294-298
13. Cheng GC, Lee JY, Kim DC, Suh SO, Hwang WI (2000) Inhibitory effect of *Salvia miltiorrhiza* extract on growth of some cancer cells. J Korean Soc Food Nutr, 29, 726-731

14. Kim OH, Chung SY, Park MK, Rheu HM, Yang JS (1999) Anticancer activity of natural products including *Salvia miltiorrhiza*. J Appl Pharmacol, 7, 29-34
15. Fugh-Berman A (2000) Herbs and dietary supplements in the prevention and treatments of cardiovascular disease. Preven Cardiol, 3, 24-32
16. Wang XH, Morris-Natschke SL, Lee KH (2007) New developments in the chemistry and biology of bioactive constituents of Tanshen. Med Res Rev, 27, 133-148
17. Zhou L (2005) Danshen : an overview of its chemistry, pharmacology, pharmacokinetics and clinical use. J Clin Pharmacol, 45, 1345-1359
18. Laule O, Furholz A, Chang HS, Zhu T, Wang X, Heifetz PB, Gruissem W, Lange BM (2003) Crosstalk between cytosolic and plastidal pathways of isoprenoid biosynthesis in *Arabidopsis thaliana*. Proc Nat Acad Sci USA, 100, 6866-6871
19. Lichtenhaler HK (2000) Non-mevalonate isoprenoid biosynthesis : enzyme, genes and inhibitors. Biochem Soc Trans, 28, 785-789
20. Petersen M (1997) Cytochrome P450-dependent hydroxylation in the biosynthesis of rosmarinic acid in *Coleus*. Phytochem, 45, 1165-1172
21. Petersen M, Simmonds MSJ (2003) Rosemarinic acid. Phytochem, 62, 121-125
22. Petersen M, Abdullah Y, Benner J, Eberle D, Gehlen K, Hücherig S, Janiak V, Kim KH, Sander M, Weitzel C, Wolters S (2009) Evolution of rosmarinic acid biosynthesis. Phytochem, 70, 15-16
23. Seong NS, Lee SW, Kim KS, Lee ST (1993) Environmental variation of decursine content in *Angelica gigas*. Korean J Med Crop Sci, 1, 60-65
24. Kim YK, Ahn YS, An TJ, Yeo JH, Park CB, Park HK (2009) Effect of yield and decursin content according to the accumulative temperature and seedling size in cultivation area of *Angelica gigas* Nakai. Korean J Med Crop Sci, 17, 458-463
25. Jin YX, Cho YS, Choi YM (2014) Nutritional quality of *Peucedanum japonicum* Thunb. leaves in relation to ripening time, growing condition and blanching. Korean J Food Preserv, 21, 784-789
26. Kim YK, Lee SH, Han SH, Kang YG, Ahn YS, Park CB (2010) Characteristics of flowering and seed setting of *Salvia miltiorrhiza* Bunge. Paper presented at 2010 Annual Meeting of Korean J Med Crop Sci, October 12, Jecheon, Korea
27. Kim YK, Lee SH, Han SH, Kang YG, Lee YS, Ahn YS, Park CB (2011) Effect of fertilizer amount on growth and root yield in *Salvia miltiorrhiza* Bunge. Paper presented at 2011 Annual Meeting of Korean J Med Crop Sci, April 28, Jeju, Korea
28. Lee SH, Kim YK, Han SH, Lee YS, Han NH, Kim SS, Song BH, Park CB (2012) Effect of biodegradable mulching on the weed management and growth characteristics in *Salvia miltiorrhiza* Bunge. Paper presented at 2012 Annual Meeting of Korean J Med Crop Sci, May 3, Cheongju, Korea
29. Kim PG, Lee E.J (2001) Ecophysiology of photosynthesis : effect of light intensity and intercellular CO₂ pressure on photosynthesis. Korean J Agri Forest Meteor, 3, 126-133
30. Kim PG, Lee KY, Kim SH, Han SS (1999) Foliar characteristics and photosynthetic efficiency of three species of Schizandracea trees distributed in Korea. Korean J Agri Forest Meteor, 1, 90-96
31. Strasser RJ, Srivastava A, Tsimilli-Michael M (2000) The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic sample. In: Probing photosynthesis : mechanism, regulation and adaptation, Yunus M et al., (Editor) Taylor and Francis, NY, USA, p 445-483
32. Evans JR (1987) The dependence of quantum yield on wavelength and growth irradiance. Australian J Plant Physiol, 14, 445-483
33. Kang SB, Jang HI, Lee IB, Park JM, Moon DK (2007) Changes in photosynthesis and chlorophyll fluorescence of 'Cambell Early' and 'Kyoho' grapevine cultivars under long-term waterlogging condition. Korean J Hort Sci Technol, 25, 1-8
34. Oh SJ, Zhin KL, Koh SC (2009) Characterization of Chl a fluorescence of hydrophytes under cadmium stress. Environ Sci, 18, 1361-1368