



미네랄 및 호르몬 제제 처리에 따른 당귀의 생육특성 및 Decursin, Decursinol Angelate 함량 변화

이상훈*¹ · 윤형목**¹ · 구성철* · 이우문* · 장재기* · 구현정** · 장광진** · 김연복**[†]

*농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부, **한국농수산대학 특용작물학과

Changes in the Growth Characteristics and the Content of Decursin and Decursinol angelate in *Angelica gigas* Nakai by Mineral and Hormonal Agent Treatment

Sang Hoon Lee*¹, Hyeong Muk Yun**¹, Sung Cheol Koo*, Woo Moon Lee*, Jae Ki Chang*,
Hyun Jeong Koo**, Kwang Jin Chang** and Yeon Bok Kim**[†]

¹Department of Herbal Crop Research, NIHHS, RDA, Eumseong 27709, Korea.

**Department of Medicinal and Industrial Crops, Korean National Collage of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea.

ABSTRACT

Background: *Angelica gigas* Nakai is a perennial herb belonging to the family Umbelliferae. Its roots are utilized in traditional medicine. The aim of this study was to increase the yield of and the content of two indicator components (decursin and decursinol angelate) in *A. gigas* Nakai.

Methods and Results: The roots of *A. gigas* Nakai were harvested 4-times from late August to late October in 2017. Two agents (trace element-TE, and plant hormone-HM) were applied 4 times at intervals of 2 weeks. The content of the two indicator components were analyzed by high performance liquid chromatography. The HM treatment showed the greatest increase in underground part yield and root diameter. The content of the two indicator components in the control (non-treatment) group was the highest in the underground part, but was higher in the aerial parts in the agent treatment group. After treatment with the agents, the content of the indicator components tended to decrease in the underground part. However, the total content of the indicator components in the two agent treatment groups exceeded the level of 6% set by the Korean Pharmacopoeia.

Conclusions: The highest underground part yield was found in the HM treatment group, while the highest content of decursin and decursinol angelate were found in the control group. This study provides basic information for yield improvement in *A. gigas*.

Key Words: *Angelica gigas*, Growth Characteristics, Decursin, Decursinol Angelate, Elicitor, Yield

서 언

참당귀 (*Angelica gigas* Nakai)는 다년생 식물로서 산형과 (Umbelliferae)에 속하며, 국내에서 자생한다. 서늘한 기후를 좋아하는 작물로서 우리나라 북부지방인 강원도나 중북부 산간 지역 등 추운 곳에서 재배하고 있다. 현재 국내에서 참당귀는 강원 평창, 충북 제천, 경북 봉화 등 해발 300 - 700 m의 산간

고랭지에서 재배되고 있다 (Yu *et al.*, 2004). 농림축산식품부 2015년 특용작물 생산물 실적 조사 기준에 의하면 당귀의 전국 재배면적은 약 497 ha이고, 전국 농가호수는 756 농가이며, 국내 생산량은 1,398 톤으로 점차 줄어들고 있는 추세이다 (MAFRA, 2016).

당귀는 뿌리를 약재로 이용하는 약용작물로서 뿌리를 건조시켜 약으로 사용하는데, 나라마다 약전 및 기원이 다르다. 중

¹Sang Hoon Lee and Hyeong Muk Yun are contributed equally to this paper

[†]Corresponding author: (Phone) +82-62-238-9092 (E-mail) yeondarabok@korea.kr

Received 2018 March 19 / 1st Revised 2018 April 4 / 2nd Revised 2018 April 12 / 3rd Revised 2018 April 24 / Accepted 2018 April 27

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.

국약전은 *A. sinensis* (oliv.) Diels의 뿌리로, 일본약전은 *A. acutiloba* Kitag.의 뿌리로 규정하고 있다 (Lee *et al.*, 2017). 대한약전 11 개정에 따르면 당귀는 ‘산형과 참당귀 (*A. gigas*)의 뿌리’로 이 약을 건조한 것은 nodakenin 및 총 decursin (decursin과 decursinol angelate)의 합이 6% 이상 함유해야 한다는 기준이 있다.

당귀는 한방에서 사물탕 (四物湯), 십전대보탕 (十全大補湯), 당귀작약탕 (當歸芍藥湯) 등의 원료로 사용되어 왔으며, 주로 보혈약 (補血藥)으로 월경불순, 월경통, 빈혈증 등 부인과 질병의 치료에 사용되어 왔다 (Sung *et al.*, 2004). 참당귀는 당뇨합병증 개선효과, 멜라닌 생성 억제 효과, 미백효과, 자외선 차단 효과가 있는 것으로 알려져 있으며 (Kim *et al.*, 2008; Park *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2014), 특히 참당귀의 주요성분이자 지표성분인 decursin과 decursinol angelate는 중국당귀와 일본당귀에는 없는 성분으로 남성 난임 예방, 유방암, 전립선암, 폐암, 간보호, 신경 보호, 항균, 항산화 등의 효능이 있는 것으로 보고된 바 있다 (Kang *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2003; Yim *et al.*, 2005; Jiang *et al.*, 2007; Yoon *et al.*, 2011; Bae *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2016b).

재배 시 작물의 생산량과 중요 성분을 증가시키기 위해서 첨가물을 이용한 연구가 많이 보고되어 왔으며, 첨가물에는 호르몬, 미량원소, 효모추출물, 게르마늄 등 다양한 종류가 있다. 시호, 당귀, 삼백초, 땃두릅나무 등에서 첨가물 처리에 의해 생산량과 특정 성분의 증가가 일어났다는 연구결과가 보고된 바 있다 (Lee *et al.*, 2002; Rhee *et al.*, 2010; Choi *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2016a). 특히, 뿌리를 이용하는 약용작물의 경우 생산량을 증가시키기 위해 뿌리 발육 향상제를 많이 이용하는 데, 미량 원소 첨가제와 호르몬 첨가제의 두 가지 종류가 많이 쓰이고 있으며, 작물의 뿌리가 비대 되는 시기에 이러한 첨가제를 사용한다.

현재 기후의 변화로 인해 참당귀의 재배 적지가 점점 북쪽으로 이동함에 따라 재배 면적과 생산량이 점차 줄어들고 있는 추세이다. 따라서 본 연구는 당귀의 안정적인 한약재 수급을 위한 생산량 증가 및 적정 지표성분 함량을 유지시키기 위한 방법을 찾기 위해 첨가제를 이용한 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험은 제천 송학 영농조합 법인에서 운영하는 참당귀 (*Angelica gigas* Nakai) 포장에서에서 수행하였다. 정식 시기는 2017년 3월 상순이었고, 재식방법은 외줄로 이랑 33 cm, 고랑 40 cm, 재식거리 35 cm로 하였고, 처리 별 시험구 배치는 난괴법 3 반복으로 배치하였다.

처리물질은 뿌리 발육 향상제로 미량 원소제 (TE, 슈퍼대근,

Yuil Co., Ltd., Seoul, Korea), 병저항성과 관계된 elicitor 물질을 포함한 호르몬제 (HM, Master 600, Choong Ang Plaza Co., Ltd., Anseong, Korea)를 사용하였다. 희석배수는 처리제 상품 규격의 약용작물 처리 기준으로 TE는 500 배 희석액, HM은 2,000 배 희석액을 처리하였다. 처리는 2017년 8월 하순부터 10월 하순까지 2 주 간격으로 4 회 실시하였으며, 처리 2 주 후 2 주 간격으로 미량원소제와 elicitor를 포함한 호르몬제가 처리된 참당귀를 채취하여 실험에 사용하였다. 채취한 시료는 수세 후, 동결건조 한 다음 균일하게 분쇄하여 분석에 사용하였다.

2. 지표성분 분석

표준품은 (주)코아사이언스 (Coresciences Co., Ltd., Seoul, Korea)에서 구입하여 사용하였으며, 검액은 20 mg의 분쇄된 건조 당귀를 1 ml의 80% methanol에 현탁하여 15 분간 초음파 추출한 후, syringe filter (0.45 μ m)로 여과하여 사용하였다.

분석은 Agilent 1100 Series HPLC system (Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA, USA)을 이용하였고, column은 YMC-Pack ODS-AM (4.6 \times 250 mm, 5 μ m, YMC Co., Ltd., Kyoto, Japan)을 이용하였다. 분석 조건은 Table 1 과 같다.

3. 통계분석

실험결과는 SAS Enterprise Guide 4.2 (Statistical analysis system, 2009, Cray, NC, USA)로 분석하였고, 3 반복한 결과값을 평균치 \pm 표준편차 (Means \pm SD)로 나타내었다. 시료 간의 유의적인 차이는 Duncan's Multiple Range Test (DMRT)로 유의수준 5% ($p < 0.05$)에서 검증하였다.

Table 1. LC analysis condition of decursin and decursinol angelate in *Angelica gigas* Nakai.

LC condition		
Column oven Temperature	25 $^{\circ}$ C	
UV wavelength	330 nm	
Sovent A	Water	
Sovent B	Acetonitrile	
Flow rate	0.8 ml/min	
Gradient elution system		
Time (min)	%A	%B
Initial	45	55
10	30	70
15	20	80
25	10	90
35	5	95
40	45	55
Injection	10 μ l	

결과 및 고찰

1. 첨가제 처리에 따른 생육특성

경경의 생육특성은 Table 2에서 보는 바와 같이 2 주 뒤에는 무처리구를 제외한 TE, HM 처리구에서 모두 빠르게 성장한 것을 알 수 있었으나, 4 주 뒤에는 무처리구와 유의성이 없었다.

하지만 처리 6 주 후에는 무처리구의 경우 경경이 성장하였으나, TE, HM 처리구에서는 지상부 고사로 오히려 경경이 줄어들기 시작하는 것을 알 수 있었다. 처리 8 주 뒤에는 무처리구도 지상부 고사로 경경이 줄어들기 시작했다. 반대로 근경의 생육특성은 처리 6 주 후까지는 처리구 간의 통계상 유의성이 없었으나, 계속 근경이 성장함을 알 수 있었다.

그러나 처리 8 주 후에는 TE, HM 처리구만이 성장을 계속하는 것을 알 수 있었다. 그러나 최종 근경의 크기는 HM 처리구가 가장 컸고, TE 처리구는 무처리구와 비슷한 크기를 보였다. 결과적으로 근경의 성장에는 HM 처리는 효과가 있었던 반면에 TE 처리는 효과가 없었다.

지상부의 생산량은 모든 실험구에서 처리 4 주까지 올라가다 6 주 후부터는 줄어드는 것을 알 수 있었는데, 이는 지상부가 시들었기 때문으로 생각된다. 그러나 경경의 줄어드는 시점보다 2 주가 빠른 것으로 나타났는데, 그 이유는 지하부의 물질축적을 위해 뿌리와 가까운 줄기는 2 주간 고사가 진행되지 않았고, 뿌리로부터 먼 줄기부터 고사가 일어났기 때문으

로 사료된다.

지상부가 고사됨에 따라 지하부의 생장은 급격히 늘어나는 경향을 보였으나, TE 처리구에서의 지하부 생장이 더딘 것을 알 수 있었으며, 통계상 무처리군과는 지하부 생산량에 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다. 반면에 HM 처리구에서는 지하부의 생산량이 빠르게 증가하였으며, 가장 높은 생산량을 보였다 (Table 3).

이러한 결과를 종합해 볼 때, TE, HM 처리는 경경의 성장을 2 주 정도 앞당겼으나, 생장이 멈추기 시작하는 지점도 똑같이 2 주 정도 앞당겼음을 알 수 있었다. 반대로 근경의 생장은 2 주 정도 연장시켜주는 효과를 보였다.

결과적으로 첨가제 처리는 경경의 성장시기만 조절할 뿐 성장을 연장시켜주지는 않았지만, 근경의 생장은 2 주 정도 연장시켜주는 효과를 보였다. 하지만 지하부 생산량의 경우 2 주가 생장이 연장되었어도 TE 처리구는 생산량 증가에 유의미한 효과가 없었고, HM 처리구만 성장 연장에 의한 생산량 증가 효과가 있었다.

메리골드, 토마토 (Choi and Kang, 2005; Ryoo, 2012)에서는 미량원소가 식물체의 생육 증진 및 생산량 증가에 영향을 미쳤다는 결과가 보고된 바 있는데, 참당귀 (*Angelica gigas* Nakai)에서는 이러한 영향이 없었다. 이러한 원인으로서는 Choi 와 Kang (2005)의 연구에서 보고한 바대로 미량원소제 처리가 오히려 미량원소 과잉으로 생육을 억제했을 가능성이 있었기 때문으로 생각된다. 결과적으로 참당귀에서 생육 증

Table 2. Effect of elicitor treatment on the growth of shoot and root diameter in *A. gigas*.

(unit: mm)

Treatment	Harvest time after treatment (weeks)							
	2		4		6		8	
	¹ SD	² RD	SD	RD	SD	RD	SD	RD
Control	19.70±2.62 ^b	48.30±5.48 ^a	31.10±3.02 ^a	49.50±6.18 ^a	35.20±5.14 ^a	71.30±5.58 ^a	31.50±6.66 ^a	71.20±0.64 ^{b*}
TE	29.40±1.16 ^a	49.50±6.67 ^a	35.00±2.65 ^a	56.70±3.79 ^a	24.10±2.37 ^b	67.10±3.74 ^a	22.30±2.96 ^{ab}	69.10±3.52 ^b
HM	26.50±5.08 ^{ab}	47.30±4.79 ^a	30.70±5.13 ^a	50.70±5.13 ^a	24.50±1.92 ^b	65.50±3.04 ^a	20.10±3.15 ^b	77.10±2.92 ^a

¹SD; Shoot diameter, ²RD; Root diameter. Means values ± SD from triplicate separated experiments are shown. *Means with difference letters of the same column are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

Table 3. Effect of elicitor treatment on aerial and underground parts yield in *A. gigas*.

(unit: kg/10a)

Treatment	Harvest time after treatment (weeks)							
	2		4		6		8	
	¹ AP	² UP	AP	UP	AP	UP	AP	UP
Control	1,057.0±13.3 ^a	1,028.0±12.7 ^a	1,162.0±30.1 ^a	1,274.0±7.6 ^a	903.0±10.0 ^a	2,597.0±61.7 ^a	868.0±27.5 ^a	2,709.0±88.9 ^{b*}
TE	727.0±17.2 ^b	1,105.0±30.0 ^a	931.0±15.0 ^b	1,190.0±22.5 ^{ab}	715.0±15.3 ^b	2,030.0±41.6 ^b	434.0±14.4 ^b	2,464.0±71.5 ^b
HM	930.0±22.9 ^a	799.0±16.6 ^b	903.0±25.7 ^b	1,085.0±15.3 ^b	728.0±13.8 ^b	2,212.0±61.1 ^{ab}	532.0±18.9 ^b	3,353.0±41.9 ^a

¹AP; Aerial part, ²UP; Underground part. Means values ± SD from triplicate separated experiments are shown. *Means with difference letters of the same column are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

진 및 생산량 증가는 미량원소제 보다는 호르몬제 처리의 효과가 더 좋은 것으로 사료된다.

2. 첨가제 처리에 따른 지표 성분 함량 변이

지상부의 decursin 함량은 무처리구의 경우 지상부의 생산량이 감소하는 시기와 동일하게 TE, HM 처리 후, 6 주차 때 감소가 진행되는 경향을 보였다. 그러나 TE, HM 처리구에서는 무처리구와 다르게 지상부의 decursin의 축적이 일어났으며, 특히 TE 처리구에서 처리 후 8 주차 까지 decursin 축적이 일어났다.

Decursinol angelate 함량은 무처리구와 TE 처리구는 동일하게 뿌리 발육 향상제 처리 후, 6 주차 때 감소가 일어났으나, HM 처리구에서는 축적량은 많지 않지만 계속적으로 축적이 일어나는 경향이 나타났다.

지상부의 decursin과 decursinol angelate 함량 결과를 종합해보면, 대체적으로 decursin 함량이 decursinol angelate 함량보다 낮았으나, 뿌리 발육 향상제 처리구에서는 반대의 경향을 보이는 시기가 나타났다. 이러한 결과는 뿌리 발육 향상제 처리가 decursin과 decursinol angelate의 함량 비율 변화에 영향을 미쳤으며, decursinol angelate보다는 decursin의 함량이 증가하는 방향으로 영향을 미친 것으로 생각된다. 본 실험의 결과는 인위적인 조건과 자연적인 조건의 차이는 있지만, Rhee 등 (2010)의 당귀 뿌리 조직 배양 연구 에서 식물 호르몬 처리가 decursin과 decursinol angelate의 함량 증가에 영

향을 준다는 결과와 부합하는 것으로 사료된다.

모든 실험구에서 지하부의 decursin과 decursinol angelate 함량이 시간이 지날수록 높아지는 경향이 나타났으며, 특히 처리 후 6 주에서 8 주로 넘어갈 때 급격히 함량이 늘어나는 경향을 보였다. 이러한 결과는 처리 8 주 후가 10 월 하순으로 첫 서리가 내린 이후의 시기이기 때문에 지하부의 물질 축적이 활발했기 때문으로 사료된다.

당귀를 포함해 첫서리가 내리고 수확하는 약용작물들은 이러한 시기가 유용물질 축적으로 약효와 관련된 성분의 증가가 일어나기 때문인데, 단삼의 tanshinone IIA, 작약의 paeoniflorin, 천마의 gastrodin이 10 월 하순에 가장 많이 함유되어 있다고 보고된 바 있다 (Kim et al., 2000; Kim and Park, 2013; Kim et al., 2015).

위의 결과를 종합해보면, 대체적으로 지상부에서는 decursinol angelate의 함량이 decursin에 비해 높고, 지하부는 반대의 경향을 보였다. 또한 첨가제 처리에 의해 지상부에서는 decursin과 decursinol angelate 비율이 역전되는 시기가 나타났으나, 지하부에서는 이러한 현상이 나타나지 않았다. 뿌리 발육 향상제 처리는 지상부의 지표성분 함량을 증가시켰으나, 지하부의 지표성분 함량은 저하를 시키는 것을 알 수 있었다.

무처리에 비해 HM 처리는 경미하게 지하부 지표 성분의 축적이 적었고, TE 처리는 지상부의 지표 성분 축적은 많았으나 지하부의 지표 성분 축적은 적었음을 알 수 있었다. 그러

Table 4. Effect of elicitor treatment on decursin and decursinol angelate contents in aerial part of *A. gigas*.

(unit: %)

Treatment	Harvest time after treatment (weeks)							
	2		4		6		8	
	¹ D	² DA	D	DA	D	DA	D	DA
Control	0.36±0.00 ^b	1.37±0.01 ^b	1.09±0.02 ^c	2.75±0.04 ^a	0.87±0.01 ^c	2.40±0.02 ^a	0.73±0.02 ^c	1.44±0.03 ^{a*}
TE	0.66±0.03 ^a	1.32±0.02 ^c	1.41±0.02 ^a	2.53±0.03 ^b	1.50±0.04 ^b	2.24±0.02 ^b	2.36±0.01 ^a	2.05±0.04 ^b
HM	0.36±0.03 ^b	1.50±0.01 ^a	1.14±0.01 ^b	2.37±0.01 ^c	2.69±0.02 ^a	2.39±0.04 ^a	1.93±0.04 ^b	2.47±0.02 ^a

¹)D; decursin, ²)DA; Decursinol angelate. Means values ± SD from triplicate separated experiments are shown. *Means with difference letters of the same column are significantly different at *p* < 0.05 by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

Table 5. Effect of elicitor treatment on decursin and decursinol angelate contents in underground part of *A. gigas*.

(unit: %)

Treatment	Harvest time after treatment (weeks)							
	2		4		6		8	
	¹ D	² DA	D	DA	D	DA	D	DA
Control	2.61±0.04 ^a	2.01±0.04 ^a	3.70±0.05 ^a	2.43±0.02 ^a	3.77±0.01 ^b	2.54±0.03 ^a	5.40±0.05 ^a	2.99±0.03 ^{a*}
TE	2.52±0.04 ^b	1.59±0.02 ^b	3.17±0.01 ^b	1.75±0.01 ^b	3.92±0.02 ^a	1.83±0.01 ^b	4.43±0.03 ^c	2.49±0.02 ^c
HM	2.45±0.03 ^b	1.43±0.01 ^c	2.69±0.04 ^c	1.58±0.02 ^c	2.80±0.02 ^c	1.86±0.05 ^b	5.24±0.03 ^b	2.78±0.03 ^b

¹)D; decursin, ²)DA; Decursinol angelate. Means values ± SD from triplicate separated experiments are shown. *Means with difference letters of the same column are significantly different at *p* < 0.05 by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

나 본 실험에서 모든 실험구에서 decursin와 decursinol angelate의 함이 6%를 넘었기 때문에 한약재로의 이용은 모두 가능한 것으로 나타났고, 생산량까지 고려해 보면, HM 처리가 가장 효과적인 것으로 사료된다.

본 연구를 통해 뿌리 발육 향상제 처리가 당귀의 수량은 증가시킬 수 있으나, 지표 성분인 decursin과 decursinol angelate 함량의 지하부 축적을 저하시킬 수 있음을 알 수 있었으며, 당귀의 한약재 생산량 증가와 관련된 기초자료를 확보하였다고 사료된다.

뿌리 발육 향상제 중에 미량원소 첨가제는 지하부의 지표성분 축적과 생산량을 저하시켜 사용하지 않는 편이 좋을 것으로 사료되나, 지상부의 지표성분 함량을 증가시켰으므로 식방풍, 일당귀 같은 잎채소나 화장품, 건강식품 등의 기능성 원료로 활용할 수 있는 가능성이 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 당귀/터덕의 품종육성을 위한 집단분류 및 우수계통 선발 연구사업(과제번호: PJ01344301)과 2018년도 농촌진흥청 국립원예특작과학원 전문연구원 과정 지원 사업에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Bae WJ, Ha US, Choi JB, Kim KS, Kim SJ, Cho HJ, Hong SH, Lee JY, Wang Z, Hwang SY and Kim SW. (2016). Protective effect of decursin extracted from *Angelica gigas* in male infertility via Nrg2/HO-1 signaling pathway. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2016:5901098. <http://downloads.hindawi.com/journals/omcl/2016/5901098.pdf> (cited by 2018 March 5).
- Choi JH, Seong ES and Yu CY. (2016). Growth effect by storage temperature, soil type and treatment chemical of *Saururus chinensis*(Lour.) Baill. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 24:458-463.
- Choi JM and Kang CS. (2005). Effect of incorporation of micronutrient mixes on growth and nutrient uptake of marigold and changes of soil nutrient concentrations in plug system. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*. 23:104-109.
- Jiang C, Guo J, Wang Z, Xiao B, Lee HJ, Lee EO, Kim SH and Lu J. (2007). Decursin and decursinol angelate inhibit estrogen-stimulated and estrogen-independent growth and survival of breast cancer cells. *Breast Cancer Research*. 9:R77. <http://breast-cancer-research.com/content/9/6/R77> (cited by 2018 February 12).
- Kang SY, Lee KY, Park MJ, Kim YC, Markelonis GJ, Oh TH and Kim YC. (2003). Decursin from *Angelica gigas* mitigates amnesia induced by scopolamine in mice. *Neurobiology of Learning and Memory*. 79:11-18.
- Kim CH, Kwon MC, Han JC, Na CS, Kwak HG, Choi GP, Park UY and Lee HY. (2008). Skin-whitening and UV-protective effects of *Angelica gigas* Nakai extracts on ultra high pressure extraction process. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 16:255-260.
- Kim HT and Park EJ. (2013). Change of major functional components of *Gastrodia elata* Blume with cultivation conditions and harvest times. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 21:282-288.
- Kim HY, Seong ES, Yoo JH, Choi JH, Kang BJ, Jeon MR, Kim MJ and Yu CY. (2016a). Effect of germanium treatment of growth and production of organic germanium in *Oplopanax elatus*. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 24:214-221.
- Kim JK, Yun M, Kim EO, Jung DB, Won G, Kim B, Jung JH and Kim SH. (2016b). Decursin enhances TRAIL-induced apoptosis through oxidative stress mediated-endoplasmic reticulum stress signalling in non-small cell lung cancers. *British Journal of Pharmacology*. 173:1033-1044.
- Kim KJ, Park SD, Park CH, Shin JH, Kim JC and Choi BS. (2000). Changes of root yield and paeoniflorin content affected by harvesting times in peony(*Paeonia lactiflora*). *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 8:58-63.
- Kim YA, Park SH, Kim BY, Kim AH, Park BJ and Kim JJ. (2014). Inhibitory effects on melanin production of demethylsuberosin isolated from *Angelica gigas* Nakai. *Korean Journal of Pharmacognosy*. 45:209-213.
- Kim YG, An TJ, Hur M, Lee JH, Lee YJ and Cha SW. (2015). Changes of major components and growth characteristics according to harvesting times of *Salvia miltiorrhiza* Bunge. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 23:395-399.
- Lee H, Kim KU, Son TK, Lee JE and Lee SC. (2002). Effect of application of plant growth regulator on growth characteristics in *Bupleurum falcatum* L. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 10:344-352.
- Lee SH, Lee YS, Jung SH, Shin KH, Kim BK and Kang SS. (2003). Antioxidant activities of decursinol angelate and decursin from *Angelica gigas* roots. *Natural Product Sciences*. 9:170-173.
- Lee SW, Lee SJ, Han EH, Sin EC, Cho KM and Kim YH. (2017). Current status on the development of molecular markers for differentiation of the origin of *Angelica* spp. *Journal of Plant Biotechnology*. 44:12-18.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). (2016). 2015 an actual output of crop for a special purpose. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Sejong, Korea. pp.88-91.
- Park HY, Kwon SB, Heo NK, Chun WJ, Kim MJ and Kwon YS. (2011). Constituents of the stem of *Angelica gigas* with rat lens aldose reductase inhibitory activity. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*. 54:194-199.
- Rhee HS, Cho HY, Son SY, Yoon SY and Park JM. (2010). Enhanced accumulation of decursin and decursinol angelate in root cultures and intact roots of *Angelica gigas* Nakai following elicitation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 101:295-302.
- Ryoo JW. (2012). Effect of the mixed treatment of electrolyzed micronutrients with nutrient solution and SCB slurry on mineral content and growth of cherry tomatoes(*Lycopersicon esculentum*). *Korean Journal of Organic Agriculture*. 20:385-397.
- Sung JS, Bang KH, Park CH, Park CG, Yu HS, Park HW and

- Seong NS.** (2004). Discrimination of *Angelicae radix* based on anatomical characters. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 12:67-72.
- Yim D, Singh RP, Agarwal C, Lee S, Chi H and Agarwal R.** (2005). A novel anticancer agent, decursin, induces G₁ arrest and apoptosis in human prostate carcinoma cells. *Cancer Research*. 65:1035-1044.
- Yoon MY, Kim YS, Choi GJ, Jang KS, Choi YH, Cha BJ and Kim JC.** (2011). Antifungal activity of decursinol angelate isolated from *Angelica gigas* roots against *Puccinia recondita*. *Research in Plant Disease*. 17:25-31.
- Yu HS, Park CH, Park CG, Kim YG, Park HW and Seong NS.** (2004). Growth characteristics and yield of the three species of genus *Angelica*. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 12:43-46.