

유기질 및 화학비료 시용수준이 도라지의 생육 및 약용성분에 미치는 영향*

전승호** · 노일래*** · 김영국**** · 전현식***** · 조영손*****

Effects on Growth and Medicinal Ingredients of *Platycodon grandiflorum* Radix by Organic and Chemical Fertilizers

Jeon, Seung-Ho · Rho, Il-Rae · Kim, Young-Guk ·
Chun, Hyun-Sik · Cho, Young-Son

This study was done to elucidate effects on organic and chemical fertilizers for growth characteristics, saponin content and antioxidant activity in *Platycodon grandiflorum* Radix root. Chemical and mixed organic fertilizers were treated at levels of 50%, 100% and 200% based on nitrogen 3 kg/10a before transplant of *Platycodon grandiflorum* Radix. As a result, when 50% mixed organic and chemical fertilizer plots were treated to *P. grandiflorum* Radix root, the root length showed the highest scores of 26.9 and 26.5 cm, respectively. Root width exhibited the highest scores of 25.6 mm and 25.2 mm in 50% mixed organic and chemical fertilizer plots, respectively. The number of fine-roots and fresh weight presented the highest values in 50% mixed organic fertilizer plot as 26.7 and 50.4 g, respectively. The content of platycodin D3 was ranged in 183.4~321.7 mg/100 g, which the highest value was observed in 100% mixed organic fertilizer plot. The content of saponin except for deapioplatycodin D presented higher amount in the mixed organic fertilizer plots. Treatment of 200% chemical fertilizer presented to be withered in transplant cultivation of 3 year-old roots.

Key words : *antioxidant activity, organic fertilizer, platycodon grandiflorum, saponin*

* 이 논문은 농촌진흥청지원 연구지원(PJ010930) 연구비 지원에 의하여 연구되었음.
** 경남과학기술대학교 종자실용화연구소
*** 경상대학교 농학과(농업생명과학연구원)
**** 농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부
***** 경남과학기술대학교 농학·한약자원학부
***** Corresponding author, 경남과학기술대학교 농학·한약자원학부(choyoungson@daum.net)

I. 서 론

최근 국민소득 수준이 향상되면서 삶의 질 향상과 참살이문화의 확산으로 약용작물에 대한 관심이 증가하면서 도라지가 건강식품으로 각광을 받고 있으면서 도라지의 재배 면적이 크게 증가(Lee *et al.*, 2014a)하고 있다. 도라지(*Platycodon grandiflorum* A. DC)는 한국, 일본 및 중국의 산간지방에 널리 자생하는 초롱꽃과 한약재 명으로 길경(*Platycodonis radix*)이라 불리며, 약리적 성분인 다량의 사포닌을 함유(Tada *et al.*, 1975; Konishi *et al.*, 1978)하고 있다. 도라지에 함유된 주요 사포닌 종류 중, 특히 Platycodin D는 동물실험에서 진해 거담작용, 중추신경억제작용(Sung and Seo, 1998), 혈당강화작용 및 콜레스테롤 대사개선작용(Zhao *et al.*, 2006), 항암활성 효과(Choi *et al.*, 2001), 항염증 효과(Wang *et al.*, 2004; Ahn *et al.*, 2005), 항비만 효과(Lee *et al.*, 2010) 등이 있는 것으로 알려졌다.

도라지는 초세가 강하여 산간지나 평야지대에서도 재배가 가능하지만, 유기물이 풍부하고, 배수가 잘되는 식양토나 사질양토에서 생육이 양호하며(Seong *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2010), 토양수분과 입경분포, 경도, 통기성 등의 토양 물리성(Jo *et al.*, 1978; Hallmark and Barber, 1981)과 더불어 유기물, 양이온 등의 토양화학성에 영향을 받는다(Kwon *et al.*, 1998). 특히, 배수가 불량한 토양에서는 근부병 발생이 많아(Jo *et al.*, 1978; Hallmark and Barber, 1981; Jo *et al.*, 1985; Jo *et al.*, 1997; Kim and Cho, 2011) 주기적으로 옮겨심기를 해야 한다(Lee *et al.*, 1990; Kwon *et al.*, 1998; Lee and Lee, 1998). 도라지는 재배 지역과 재배 방법에 따라 약리성이 달라지며(Lee *et al.*, 2014a), 질소비료의 분시방법에 따라 도라지 경태의 굵기, 분지수 및 엽수뿐만 아니라 생약성분 중 조사포닌 함량에도 적지 않은 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Seong *et al.*, 2004). 또한, Lee 등(2010)의 보고에 따르면 질소, 인산 및 칼리의 함량이 높은 토양에서는 비정상근보다 정상근이 많은 것으로 나타났다.

도라지를 비롯한 인삼, 더덕 및 잔대 등 뿌리를 한약재 또는 식용으로 이용하는 작물들은 장기간 토양 속에서 재배됨에 따라 제초제, 화학비료 및 병해충 방제를 위해 농약 등이 사용되어 왔다(Yoon *et al.*, 2016). 이로 인해 잔류 농약 문제가 사회적 문제로 대두되면서 많은 소비자들이 약용작물에 대한 안전성에 관심을 기울이고 있다(Seo *et al.*, 2009). 따라서 도라지는 친환경 유기재배 기술개발이 요구되고 있는 실정이며, 최근 유기질 비료사용에 대한 연구(Jeon *et al.*, 2016)를 제외하면 연구는 미미한 수준이다.

따라서 본 연구는 유기질비료와 화학비료의 시용량에 따른 도라지 뿌리의 생육특성 및 약리성 효과를 구명하여, 고품질 친환경 유기재배 도라지생산을 위한 기초자료로 활용하고자 실시되었다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료

경남과학기술대학교 종합농장에서 3월에 3년근 도라지를 이식하기 전 기비로 화학비료 (슈퍼21, N-P₂O₅-K₂: 21-17-17, 남해화학)와 유기질비료(오계비트 유기질비료, 유기물 65% (N: 4%), 메몬사)를 사용하여 재배하였다. Jeon 등(2016)이 보고한 화학비료, 유기질비료, 균 배양체, 유박 및 퇴비 등의 사용에 따른 보고에서 도라지의 생육 및 약용성분 효과가 우수한 것으로 나타난 유기질 비료와 비교구 화학비료를 각각 질소기준 3 kg/10a 기준으로 50%, 100%, 200%를 기비로 사용하여 재배하였다. 시험구 면적은 60.2 m²로 3반복으로 수행하였으며, 손제초는 2회(6월 중순, 8월 초순) 실시하고, 10월에 수확하여 도라지 뿌리의 생육특성을 조사하였다. 45°C에서 건조된 시료는 냉동고에 보관하였으며, 분쇄기로 분쇄하여 0.5 mm 체로 선별하여 사용하였다.

2. 도라지 뿌리의 생육특성

도라지 뿌리의 생육특성 조사는 생체중, 뿌리직경(원 뿌리의 길이와 너두에서 1 cm 아래를 기준으로 두께), 잔뿌리의 개수 및 각 잔뿌리의 굵기를 조사하였다.

3. 토양 및 뿌리 화학성 분석

토양화학성 및 도라지 뿌리 분석은 농촌진흥청 농업과학원 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2000)에 따라 pH는 초자전극법, 유기물은 Tyurin법, 질소는 Kjeldahl 증류법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성양이온은 1N-NH₄OAc (pH 7.0)로 침출하여 ICP (Inductively Coupled Plasma, Perkin Elmer 3300)를 이용하여 분석하였다. 식물체는 60°C에서 72시간 동안 건조 후 곱게 분쇄한 시료를 H₂SO₄-HClO₄ 혼액으로 분해하여 T-N은 Kjeldahl법, 인산은 Ammonium Vanadate법, 양이온은 ICP (Perkin Elmer 3300)를 이용 분석하였다.

4. 사포닌 함량

사포닌 추출방법은 Park 등(2000)이 제안한 방법으로 도라지 1 g을 70% 에탄올 50 ml에 혼합하여 45°C 항온수조에서 2시간 진탕 후 4,000 rpm에서 15분 원심분리하여 상등액을 추출을 2회 반복하고, 이것을 감압 농축하여 HPLC-grade 증류수 10 ml에 녹여 분석하였다.

사포닌 함량 분석에 사용된 HPLC는 Agilent 1260 Series HPLC system (Agilent Technol-

ogies, Delaware, OH, USA)을 이용하여 측정하였다. HPLC 분석은 C₁₈ (4.6 × 250 mm, 5 μm, Shiseido, Tokyo, Japan) Column을 사용하였다. 이동상은 Water, Acetonitrile를 사용하였으며, Acetonitrile 비율을 0 min (18%) - 22 min (18%) - 32 min (30%) - 60 min (50%)로 순차적으로 조절하였다. Column 온도는 35°C로 유지 하였고, injection volume은 10 μL, 유속은 1 ml/min로 하였다. 검출파장은 203 nm에서 측정하였다.

사포닌 표준시료는 한국한방진흥원 천연물 물질은행(Natural Substance Bank, Korean Promotion Institute for Traditional Medicine Industry, Gyeongsan, Korea)으로부터 분양받은 platycodin D, platycodin D3, deapioplatycodin D, polygalacin D를 각각 1 mg씩 취하여 증류수 10 mL에 녹여 HPLC용 표준 사포닌 용액을 조제하였다. 표준품을 각각 100, 50, 25 μg/mL로 조절하여 표준액을 만들었다. 각 사포닌 표준액 10 μL를 취하여 HPLC로 검량하고, 작성한 검량선으로부터 환산하였다.

5. 항산화성분 함량

시료를 80% 메탄올로 2시간 동안 3회 진탕추출기(SK-71 Shaker, JEIO Tech, Kimpo, Korea)로 추출한 다음 여과하여 감압농축(Eyela N-1000, Tokyo, Japan) 하여 얻은 추출물에 대한 총 polyphenol 함량은 Folin-Ciocalteu phenol reagent가 추출물의 폴리페놀성 화합물에 의해 환원된 결과 몰리브덴 청색으로 발색하는 원리로 분석하였다(Dewanto *et al.*, 2002). 각 추출물 50 μL에 2% Na₂CO₃ 용액 1 μL를 가한 후 3분간 방치하여 50% Folin-Ciocalteu reagent (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 50 μL를 가하였다. 30분 후 반응액의 흡광도 값을 750 nm에서 측정하였고 표준물질인 gallic acid (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하여 검량선을 작성하였고 회귀식은 $y=0.003X$ ($R^2=0.989$)로 나타났으며, g 중의 mg gallic acid (dry basis)로 나타내었다. 총 flavonoid 함량은 Dewanto 등(2002)의 방법에 따라 추출물 250 μL에 증류수 1 ml와 5% NaNO₂ 75 μL를 가한 다음, 5분 후 10% AlCl₃ 6H₂O 150 μL, 가하여 6분 방치하고 1 N NaOH 500 μL를 가하였다. 11분 후, 반응액의 흡광도 값을 510 nm에서 측정하였다. 표준물질인 (+)-catechin (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)을 사용하여 검량선을 작성하였고, 회귀식은 $y=0.005x$ ($R^2=0.998$)로 나타났으며, 시료 g 중의 mg catechin (dry basis)으로 나타내었다. 총 tannin 함량은 Duval과 Shetty (2001)의 방법에 따라 측정하였다. 즉, 시료 용액 1 ml에 95% ethanol 1 ml와 증류수 1 ml를 가하여 잘 흔들어 주고 5% Na₂CO₃ 용액 1 ml와 1 N Folin-Ciocalteu reagent (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 0.5 ml를 가한 후 실온에서 60분간 발색시킨 다음 725 nm에서 흡광도를 측정하였으며, tannic acid (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)로 표준물질로 검량선($y=0.0097x$, $R^2=0.9769$)을 작성하여 시료 g 중의 ml tannic acid (dry basis)로 나타내었다.

6. ABTS 및 DPPH 라디칼 소거활성 측정

추출물에 대한 항산화활성은 ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzo-thiazolin-6-sulfonic acid, Sigma-Aldrich) 및 DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, Sigma-Aldrich) radical의 소거활성을 측정하였다(Lee and Lee, 2006). ABTS radical의 소거활성은 ABTS 7.4 mM과 potassium persulphate 2.6 mM을 하루 동안 암소에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후 이 용액을 735 nm에서 흡광도 값이 1.4-1.5가 되도록 몰흡광계수($\epsilon = 3.6 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)를 이용하여 메탄올로 희석하였다. 희석된 ABTS용액 1 ml에 추출액 50 μL 를 가하여 흡광도의 변화를 정확히 30분 후에 측정하였으며, 표준물질로서 Trolox (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 동량 첨가하였고, mgTE (Trolox equivalent antioxidant capacity)/g으로 표현하였다. DPPH radical의 소거활성은 0.2 mM DPPH용액(99.9% methanol에 용해) 0.8 ml에 시료 0.2 ml를 첨가한 후 520 nm에서 정확히 30분 후에 흡광도 감소치를 측정하였으며, 표준물질로서 Trolox (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 동량 첨가하였고 mgTE/g 로 표현하였다.

7. 통계분석

모든 실험은 3회 반복으로 하여 실험결과는 평균으로 나타내고 SAS프로그램(V. 9.2, Cary, NC, USA)을 이용하여 분산 분석하였고, Duncan의 다중검정법 (Duncan's multiple range test, DMRT)을 통해 5% 유의수준에서 처리구간 유의성을 검정하였으며, 유기질비료와 화학비료 시용수준에 따른 사포닌 함량과 항산화성분량 및 활성과의 상관관계는 Pearson's correlation으로 5%와 1% 수준에서 분석하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 도라지 뿌리특성 및 토양 화학성

유기질비료와 화학비료 시용수준에 따른 도라지 재배지역의 토양 화학적 특성을 조사한 결과는 Table 1과 같다. 토양의 pH는 화학비료군은 평균 5.43으로 유기질비료군 평균 6.74과 차이가 나타났으며, 유기물 함량에서도 유기질비료군에서 평균 23.2 g/kg으로 화학비료군과 무처리보다 높게 나타났다. EC와 유효인산 함량에서는 화학비료군이 유기질비료군과 무처리보다 높게 나타났으며, 나머지 함량에서는 화학비료군과 유기질비료군간의 뚜렷한 차이가 나타나지 않았으나, 무처리구보다는 높은 것으로 나타났다. Jeon 등(2016)이 보고한 유기질비료군에서의 유기물함량 등이 다소 높은 결과는 유사하였으나, 유효인산 함량에 앞

의 보고보다 크게 차이가 나타나, 이에 따른 추가 연구 등으로 통해 추적이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

Table 1. Chemical properties of soil samples for *Platycodon grandiflorum* radix by different levels of applied organic and chemical fertilizers

Treatment	pH	EC*	T-N	O.M	Av.P ₂ O ₅	Ex. cations		
						K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	(1:5)	(dS/m)	(%)	(g/kg)	(mg/kg)	(cmol(+)/kg)		
Before treatment	7.32	0.19	0.10	20.8	139.8	0.16	5.92	0.53
50% Chemical F.**	5.68	0.58	0.08	20.4	858.8	0.36	4.41	0.84
100% Chemical F.	5.31	1.66	0.08	19.5	1,632.7	0.66	5.50	0.84
200% Chemical F.	5.29	1.99	0.10	20.2	1,385.9	1.32	3.45	1.01
50% Mixed organic F.	6.93	0.21	0.10	25.3	127.9	0.21	5.71	0.82
100% Mixed organic F.	7.06	0.29	0.09	21.4	136.3	0.18	5.86	1.00
200% Mixed organic F.	6.22	0.69	0.12	22.9	147.5	0.22	6.27	0.64
No F.	6.40	0.19	0.08	20.8	139.8	0.16	5.91	0.53

* EC : Electric conductivity; T-N : Total nitrogen; OM : Organic matters, ** F. : Fertilizer

유기질비료와 화학비료 사용수준에 따른 도라지의 뿌리의 특성은 Table 2와 같다. 먼저 200% 화학비료 처리구에서는 고사되어 뿌리의 특성 조사가 이루어지지 않았다. 뿌리의 길이는 50% 유기질비료 처리구와 50% 화학비료 처리구에서 26.9와 26.5 cm로 가장 길었고, 각 비료마다 처리량을 많아질수록 짧아지는 경향을 보였으며, 무처리구에서 20.1 cm로 가장 짧게 나타났다. 직경에서도 50% 유기질비료 처리구와 50% 화학비료 처리구가 가장 굵은 25.6와 25.2 mm로 나타났으며, 무처리구를 제외한 다른 비료처리수준에서는 차이가 없었다. 도라지의 주근에 비해 사포닌 함량이 높은 것으로 알려져 있는(Lee et al., 2014b) 지근의 수에서는 50% 유기질비료 처리구에서 가장 많은 26.7개로 나타났으며, 무처리구를 제외한 다른 비료처리수준에서는 차이가 없었다. 수량성과 관련이 있는 뿌리생체중은 모든 특성에서 길거나 많았던 50% 유기질비료 처리구에서 50.4 g으로 가장 무겁게 나타났으며, 다음으로 50% 화학비료 처리구로 47.1 g으로 나타났다.

이러한 결과는 Lee 등(2014b)이 보고한 토양의 전질소, 유기물 및 인산 함량이 도라지 뿌리 생육 및 수량에 미치는 영향이 크다는 연구결과와 유사하였으나, 3년근 이식 도라지 재배에서는 혼합 유기물이 적정 사용하는 것이 생육에 좋은 것으로 나타났으며, 질소기준 3 kg/10a 기준으로 200% 화학비료 처리구에서 고사되는 것으로 나타나는 것으로 보아 도라지 생육에서는 인삼과 같이 내비성이 약하고 적정비옥도 수준의 폭이 좁은 생리적 특성(Jin et al., 2009)으로 인해 적정양분함량의 설정이 무엇보다도 중요할 것으로 생각된다.

Table 2. Characteristics of *P. grandiflorum* radix by different levels of applied organic and chemical fertilizers

Treatment	Root			Fresh weight (g/root)
	Length (cm)	Diameter (mm)	Fine (no.)	
50% Chemical F.*	26.5 ^{a**}	25.2 ^a	23.7 ^{ab}	47.1 ^{ab}
100% Chemical F.	21.7 ^c	21.7 ^{ab}	23.3 ^{ab}	41.2 ^c
200% Chemical F.	-	-	-	-
50% Mixed organic F.	26.9 ^a	25.6 ^a	26.7 ^a	50.4 ^a
100% Mixed organic F.	25.4 ^b	23.9 ^{ab}	24.0 ^{ab}	45.8 ^{abc}
200% Mixed organic F.	22.5 ^c	22.5 ^{ab}	23.0 ^{ab}	41.7 ^{bc}
No F.	20.1 ^d	19.8 ^b	19.0 ^b	35.0 ^d

* F.: Fertilizer, ** The same superscripted letters indicate no significant difference in DMRT ($p < 0.05$).

2. 도라지 뿌리의 무기 함량

도라지 뿌리의 무기성분을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 인산 함량은 50% 유기질비료 처리구에서 87.9 mg/100 g으로 가장 높게 나타났으며, 화학비료군에서는 처리량이 많을수록, 유기질비료군은 적을수록 높은 값의 경향이 나타났다. 인산을 제외한 칼륨, 칼슘, 마그네슘 및 나트륨 함량에서는 100% 화학비료 처리구에서 가장 높은 함량이 나타났고, 유기질비료군에 비해 화학비료군이 높은 함량을 보였으며, 무처리는 가장 낮은 함량이 나타났다.

Table 3. Mineral contents of *P. grandiflorum* radix by different levels of applied organic and chemical fertilizers

Treatment	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na
 mg/100g				
50% Chemical F.*	52.7 ^{c**}	160 ^c	49.5 ^c	36.2 ^b	7.2 ^b
100% Chemical F.	78.6 ^{ab}	246 ^a	69.7 ^a	49.0 ^a	12.3 ^a
200% Chemical F.	-	-	-	-	-
50% Mixed organic F.	87.9 ^a	217 ^b	59.7 ^b	35.4 ^b	3.8 ^c
100% Mixed organic F.	79.7 ^{ab}	191 ^{bc}	57.5 ^b	34.7 ^b	2.3 ^d
200% Mixed organic F.	63.8 ^{bc}	167 ^c	52.6 ^c	34.3 ^b	2.7 ^d
No F.	70.2 ^b	156 ^c	39.4 ^d	26.3 ^c	2.4 ^d

* F.: Fertilizer, ** The same superscripted letters indicate no significant difference in DMRT ($p < 0.05$).

이러한 결과는 강화약쑥, 더덕 및 당귀와 같이 재배 중 처리된 비료에 따라 성분함량에 영향을 미친다는 보고(Lee and Lee, 1998; Kim et al., 2010; Kim et al., 2014)와 유사한 결과를 보였으며 특히, 유기질비료에 비해 속효성 특징을 가지고 있는 화학비료의 특성(Uhm et al., 2012)에 따라 변화가 더 크게 나타나는 것으로 사료된다.

3. 사포닌 함량

3년근 도라지를 이식하기 전 기비로 유기질비료와 화학비료 사용수준에 따라 재배하여 수확한 도라지 뿌리를 45°C에서 건조하여 사포닌 함량을 분석한 결과는 Table 4과 같다. Platycodin D3 함량에서는 100% 유기질비료 처리구에서 321.7 mg/100 g으로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 200% 유기질비료 처리구로써, 화학비료군 평균보다 유기질비료군이 평균 58.6 mg/100 g 높았다. Deapioplatycodin D은 100% 화학비료 처리구에서 74.8 mg/100g으로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 46.5~50.6 mg/100 g으로 50%와 100% 유기질비료 처리구로 나타났다. Platycodin D의 함량은 265~391 mg/100 g의 범위로 200% 유기질비료 처리구에서 가장 높은 함량을 보였으며, 50% 화학비료 처리구에서 가장 낮은 함량이 나타났다. Polygalacin D의 함량은 232~619 mg/100 g의 범위로 조사된 사포닌 함량 중 가장 높은 비율을 차지하였고 또한, 무비구와의 함량 차이도 가장 높은 200% 유기질비료 처리구와도 267% 차이가 나타났다.

Table 4. Saponin contents of *P. grandiflorum* radix by different levels of applied organic and chemical fertilizers

Treatment	Plantycodin D3	Deapioplatycodin D	Platycodin D	Polygalacin D
 mg/100g			
50% Chemical F.*	254.1 ^{b**}	29.1 ^d	265.4 ^c	247.1 ^d
100% Chemical F.	214.1 ^c	74.8 ^a	310.5 ^b	456.2 ^c
200% Chemical F.	-	-	-	-
50% Mixed organic F.	266.2 ^b	50.6 ^b	324.5 ^b	515.6 ^b
100% Mixed organic F.	321.7 ^a	46.5 ^b	372.7 ^{ab}	525.7 ^b
200% Mixed organic F.	290.2 ^{ab}	39.0 ^c	391.2 ^a	619.1 ^a
No F.	183.4 ^d	29.7 ^d	308.3 ^b	232.1 ^d

* F.: Fertilizer, ** The same superscripted letters indicate no significant difference in DMRT ($p < 0.05$).

사포닌 함량 중 deapioplatycodin D 함량을 제외한 나머지 사포닌 함량에서 유기질비료군에서 높은 함량을 나타냈으며 특히, 유기질비료 사용량이 많을수록 고함량이 나타났다. 또

한, 대부분의 사포닌 함량에서 무처리구에 비해 비료처리구에서 사포닌 함량이 높게 나타났다. 이는 Lee 등(2014b)이 보고한 토양의 화학성과 부의 상관성이 나타났다는 보고와 상반된 결과로 약리성 증대를 위한 고품질 도라지 생산에서 유기질비료 사용이 중요한 결과로 생각되며 추후, 상품성이 우수한 3년근 도라지의 친환경 유기재배기술을 위해 유기질비료 사용 연구를 보다 세부적인 처리와 연차 간 시험이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

4. 항산화성분 함량

Polyphenolic 화합물들은 우수한 항산화력을 가지고 있는 것으로 알려져 있으며, 이는 free radical을 안정화시킬 수 있는 phenolic ring의 존재 때문인 것으로 보고되어져 있다(Middleton and Kandaswami, 1994). 유기질비료와 화학비료 사용수준에 따른 총 polyphenol 함량은 100% 화학비료 처리구에서 44.3 mg/100 g 높게 나타났으며, 다음으로 무처리구를 제외한 나머지 처리구로 처리구간 유의성이 나타나지 않았다(Fig. 1). Flavonoid는 주로 anthocyanidins, flavonols, flavones, catechins 및 flavanones 등으로 구성되어 있으며, 그 구조에 따라 특정 flavonoid는 항산화 및 항균성 등 다양한 생리활성을 갖고 있는 것으로 보고되고 있다(Middleton and Kandaswami, 1994; Choi *et al.*, 2013). 도라지의 flavonoid 함량에서도 100% 화학비료 처리구에서 가장 높은 116 mg/100 g으로 나타났으며, 무처리구에서 가장 낮은 71.5 mg/100 g으로 조사되었다.

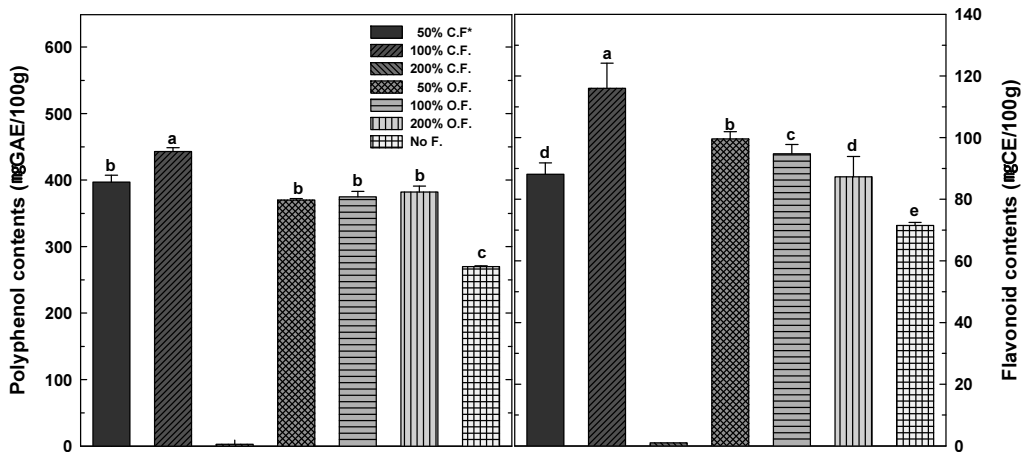


Fig. 1. Antioxidants for the applied organic and chemical fertilizer of *P. grandiflorum* radix.

* C.F.: chemical fertilizer, O.F.: mixed organic fertilizer. Values with different superscripts on the same kind in bar graphs are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple ranged test.

도라지의 항산화성분에서 polyphenol과 flavonoid 함량 모두 100% 화학비료 처리구에서 높게 나타났다. 이는 Jeon 등(2016)이 보고한 유기질비료 처리시(질소기준 3 kg/10a) polyphenol과 flavonoid 함량이 높게 나타났다는 보고와 다소 차이가 있는 것으로 나타났으며 또한, 200% 화학비료 처리구가 고사로 인해 화학비료 시용량에 따른 변화를 알아보기 못하는 것이 아쉬운 것으로 나타났다. 이에 추후 유기질비료와 화학비료 시용량에 대해 보다 세분화한 시용처리와 다년간 추적연구가 진행된다면 친환경 유기재배 도라지생산을 위한 기초자료로 활용 될 것으로 사료된다.

5. 항산화 활성변화

ABTS는 비교적 안정한 free radical로서 DPPH 방법과 함께 항산화활성을 스크리닝하는데 주로 이용되는 것으로 유기질비료와 화학비료 시용수준에 따른 ABTS radical 소거활성은 100% 화학비료 처리구에서 724 mg TE/100 g으로 가장 높게 나타났으며, 무처리구에서 584 mg TE/100 g으로 가장 낮게 나타났다(Fig. 2).

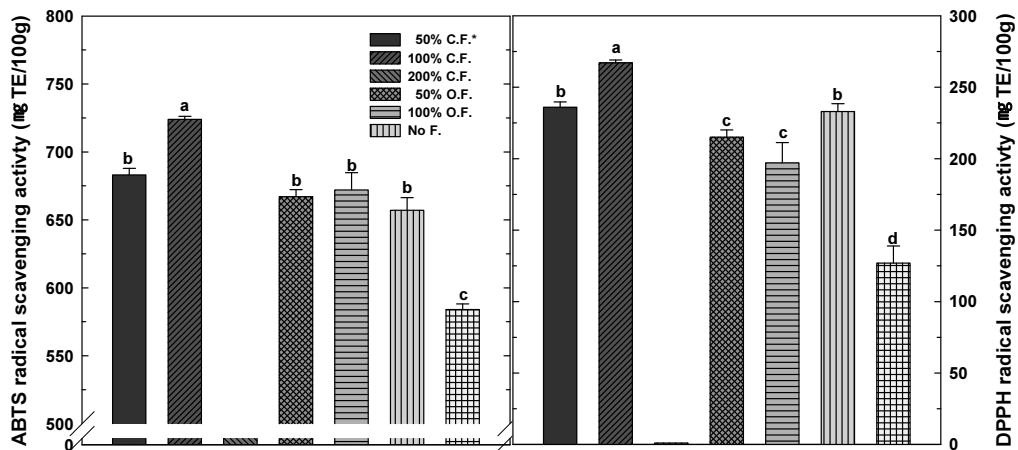


Fig. 2. Antioxidant activity for the applied organic and chemical fertilizers of *P. grandiflorum* radix.

* C.F.: chemical fertilizer, O.F.: mixed organic fertilizer. Values with different superscripts on the same kind in bar graphs are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple ranged test.

전자공여능은 활성 radical에서 전자를 공여하여 인체의 노화 억제작용과 식품중의 지방질 산화를 억제시키는 척도로 사용되어지며, 항산화물질의 항산화능 측정 시, 주로 사용되는(Shon *et al.*, 2001) DPPH radical 소거활성에서도 100% 화학비료 처리구에서 가장 높은 267 mg TE/100 g으로 나타났으며, 다음으로 50% 화학비료 처리구와 200% 유기재배 처리

구에서는 233~236 mg TE/100 g으로 나타났다. Park (2013)이 보고한 친환경 농자재 처리에 따른 전자공여능의 변화에 있어서 유의성이 없는 것과는 일치하지 않는 것으로 나타났다. 이에 앞서와 같이 유기질비료와 화학비료 사용량에 대해 보다 세분화한 시용처리와 다년간 추적연구가 진행된다면 친환경 유기재배 도라지생산을 위한 기초자료로 활용 될 것으로 사료된다.

6. 유기질비료와 화학비료 사용수준에 따른 사포닌함량, 항산화 함량 및 항산화 활성과의 상관관계

도라지의 유기질비료와 화학비료 사용수준에 따른 사포닌함량, 항산화성분 및 활성과의 상관관계를 SAS program으로 분석한 결과는 Table 5에서와 같이 유의성이 없는 것으로 나타났다. 사포닌 함량과 항산화성분 Deapioplatycodin D와 Polyphenol, Flavonoid와의 상관관계에서 각각 0.836**, 0.937**로 고도 정의 상관관계를 보였고 항산화활성인 ABTS 및 DPPH와의 상관관계에서도 0.858**, 0.743**로 고도 정의 상관관계가 나타났다.

앞의 연구(Jeon *et al.*, 2016)에서는 다양한 유기질 비료처리에 따른 사포닌함량과 항산화 성분 및 활성과의 상관관계가 인정되지 않은 것으로 보고되었으나, 도라지 절단 길이에 따른 연구(Lee *et al.*, 2015)에서는 deapioplatycodin D와 항산화성분 및 활성과의 상관관계에서는 고도 부의 상관관계가 나타났다고 보고하였다. 이에 deapioplatycodin D와의 항산화성분 및 활성과의 상관관계에 대한 보다 다양한 관점에서의 추가 연구가 이루어짐으로써의 도라지 다양한 활용에 대한 기초자료로 활용도 높을 것으로 사료된다.

따라서 본 연구를 통해 3년근 도라지의 친환경 유기재배를 위해 혼합 유기질비료 시용이 뿌리의 생육과 사포닌 함량의 비교에서 화학비료 시용보다 더 우수한 것으로 나타났으며 특히, 유기질 비료시용에 대한 보다 세분화한 연차연구가 이루어진다면 고품질 친환경 유기재배생산에 매우 활용도가 높을 것으로 생각된다.

Table 5. Correlation coefficient between antioxidant and saponin contents in *P. grandiflorum* radix by different levels of applied organic and chemical fertilizers

	Polyphenol	Flavonoid	ABTS	DPPH
Platycodin D	-0.099 ^{ns}	-0.076 ^{ns}	-0.136 ^{ns}	-0.061 ^{ns}
Platycodin D3	-0.001 ^{ns}	-0.049 ^{ns}	-0.024 ^{ns}	0.102 ^{ns}
Polygalacin D	0.290 ^{ns}	0.331 ^{ns}	0.251 ^{ns}	0.358 ^{ns}
Deapioplatycodin D	0.836**	0.937**	0.858**	0.743**

^{ns}, * and ** ; No significance, significance at $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively.

IV. 적 요

이 연구는 도라지의 유기재배를 위하여 유기질비료와 화학비료 사용수준에 따른 도라지 뿌리의 생육특성 및 사포닌, 항산화 활성에 미치는 영향을 구명하고자 실시되었다. 뿌리의 길이와 직경은 50% 유기질비료 처리구와 50% 화학비료 처리구가 가장 길거나 굵게 나타났으며, 지근의 수와 뿌리생체중은 50% 유기질비료 처리구에서 가장 많거나 무겁게 나타났다. 사포닌 함량 plantycodin D3 함량에서는 100% 유기질비료 처리구에서 321.7 mg/100 g으로 가장 높게 나타났으며, deapioplatycodin D 함량을 제외한 나머지 사포닌 함량에서 유기질비료군에서 높은 함량을 나타냈으며 특히, 유기질비료 사용량이 많을수록 고함량이 나타났다. 사포닌 함량과 항산화성분 deapioplatycodin D와 polyphenol, flavonoid와의 상관관계에서 고도 정의 상관관계를 보였고, 항산화활성인 ABTS 및 DPPH와의 상관관계에서도 고도 정의 상관관계가 나타났다. 200% 화학비료 처리구(질소기준 3 kg/10a)에서는 고사되는 것으로 조사되었다

[Submitted, February. 21, 2017 ; Revised, April. 11, 2017 ; Accepted, April. 17, 2017]

References

1. Ahn, K. S., E. J. Noh, H. L. Zhao, S. H. Jung, S. S. Kang, and Y. S. Kim. 2005. Inhibition of inducible nitric oxide synthase and cyclooxygenase II by *Platycodon grandiflorum* saponins via suppression of nuclear factor-kB activation in RAW 264.7 cells, Life Science. 76: 2315-2328.
2. Choi, C. Y., J. Y. Kim, Y. S. Kim, Y. C. Chung, J. K. Seo, and H. G. Jeong. 2001. Aqueous extract isolated from *Platycodon grandiflorum* elicits the release of nitric oxide and tumor necrosis factor alpha from murine macrophages. International Immunopharmacology. 1: 1141-1151.
3. Choi, K. H., H. H. Nam, and B. K. Choo. 2013. Effect of five Korean native Taraxacum on antioxidant activity and nitric oxide production inhibitory activity. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 21: 191-196.
4. Dewanto, V., X. Wu, and R. H. Liu. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 50: 4959-4964.
5. Duval, B., and K. Shetty. 2001. The stimulation of phenolics and antioxidant activity in pea

- (*Pisum sativum*) elicited by genetically transformed anise root extract. *Journal of Food Biochemistry*. 25: 361-377.
6. Hallmark, W., and S. Barber. 1981. Root growth and morphology, nutrient uptake and nutrient status of early growth of soybean as affected by soil K and bulk density. *Agronomy Journal*. 76: 209-212.
 7. Jeon, S. H., I. R. No, Y. G. Kim, and Y. S. Cho. 2016. Effects of organic fertilizer application on growth and medicinal ingredients of *Platycodon grandiflorum* ridix. *Korean Journal Organic Agriculture*. 24: 511-524.
 8. Jin, H. O., U. J. Kim, and D. K. Yang. 2009. Effect of nutritional environment in ginseng field on the plant growth of ginseng (*Panax ginseng* C. A. Meyer). *Journal Ginseng research*. 33: 234-239.
 9. Jo, I. S., B. K. Hur, L. Y. Kim, and S. L. Cho. 1985. A study on the correlations among the physical and chemical properties of soils in Korean. *Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer*. 18: 134-139.
 10. Jo, I. S., B. K. Hyun, H. J. Cho, Y. S. Jang, and J. S. Shin. 1997. Effects of soil texture and bulk density on the least-limiting water range. *Korean Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer*. 30: 51-55.
 11. Jo, I. S., B. K. Hyun, L. Y. Kim, Y. K. Cho, and K. T. Um. 1978. Soil physico-chemical properties of red pepper fields and plant growth. *Korean Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer*. 20: 205-208.
 12. Kim, H. J., and Y. S. Cho. 2011. Characteristics of rhizome rot of *Platycodon grandiflorum* by ridge width and depth and cultivation period in the seeding place. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 19: 246-250.
 13. Kim, Y. G., T. J. An, J. H. Yeo, M. Hur, Y. S. Park, S. W. Cha, B. H. Song, and K. A. Lee. 2014. Effects of eco-friendly organic fertilizer on growth and yield of *Angelica gigas* Nakai. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 22: 127-133.
 14. Kim, Y. N., E. J. Han, J. H. Park, H. J. Kang, S. S. Kim, H. Y. Jeong, S. A. Chung, E. K. Kang, and H. G. Chung. 2010. Comparison of Ganghayakssuk *Artemisia princeps* growth characteristics and effective components by organic material treatment. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 18: 191-192.
 15. Konishi, T., A. Tada, J. Shoji, R. Kasai, and O. Tanaka. 1978. The structures of platycodin A and C, monoacetylated saponins of the roots of *Platycodon grandiflorum* A. DC. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 26: 668-670.
 16. Kwon, T. Y., K. C. Jung, J. S. Kim, C. K. Kim, S. D. Park, and B. S. Choi. 1998. Factors

- influencing on continuous cropping injury of *Cnidium officinale* Makino in Ulleung island. *Journal of Agro-Environment Science*. 40: 39-43.
17. Lee, B. J., S. H. Jeon, S. W. Lee, H. S. Chun, and Y. S. Cho. 2014a Effects of drying methods on the saponin and mineral contents of *Platycodon grandiflorum* radix. *Korean Journal of Food Science and Technology*. 46: 636-640.
 18. Lee, B. J., S. H. Jeon, S. W. Lee, H. S. Chun, and Y. S. Cho. 2014b Soil physico-chemistry and saponins content of *Platycodon grandiflorum* radix cultured from different sites in Gyeongnam province. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 22: 463-468.
 19. Lee, B. J., S. H. Jeon, I. R. No, Y. K. Kim, and Y. S. Cho. 2015. Effect of saponin content and antioxidant activities of *Platycodon grandiflorum* radix by cutting length. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 23: 363-369.
 20. Lee, H. Y., R. H. Kang, Y. S. Kim, S. I. Chung, and Y. S. Yoon. 2010. Platycodin D inhibits adipogenesis of 3T3-L1 cells by modulating kruppel-like factor 2 and peroxisome proliferator-activated receptor gamma. *Phytotherapy Research*. 24: 161-167.
 21. Lee, S. M., and J. S. Lee. 2006. Tocopherol and tocotrienol contents of vegetable oils, margarines, butters, and peanut butters consumed in Korean diet. *Food Science and Biotechnology*. 15: 183-188.
 22. Lee, W. H., and D. K. Lee. 1998. Ecology of rhizome rot incidence of ginger and relation of soil texture, chemistry and biology. *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 17: 1-4.
 23. Lee, W. H., S. S. Cheong, and I. Y. So. 1990. Properties of suppressive and conducive soils to ginger rhizome rot. *Korean Journal of Plant Pathology*. 6: 338-342.
 24. Middleton, E., and C. Kandaswami. 1994. Potential health promoting properties of citrus flavonoids. *Food Technology*. 48: 115-119.
 25. NIAST. 2000. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
 26. Park, I. S., E. M. Kang, and N. S. Kim. 2000. High-performance liquid chromatographic analysis of saponin compounds in *Bupleurum falcatum*. *Journal of Chromatographic Science*. 38: 229-233.
 27. Park, J. S. 2013. Effect of different planting density on growths and functional components of *Platycodon grandiflorum* using environment-friendly materials. Master thesis. Kyungpook National University Daegu. Korea. p.1-32.
 28. Seong, J. D., G. S. Kim, H. T. Kim, C. B. Park, and S. M. Kim. 2004. Effects of split application of nitrogen fertilizer on growth and yield in *Platycodon grandiflorum* A. DC. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 12: 437-441.

29. Seo, C. S., D. S. Hwang, J. K. Lee, H. K. Ha, J. M. Chun, Y. R. Um, S. Jang, and H. K. Shin. 2009. Concentration of heavy metals, residual pesticides and sulfur dioxide of before/after a decoction: In prescription of digestive system. *The Korea Journal of Herbology*. 24: 111-119.
30. Shon, M. Y., J. K. Seo, H. J. Kim, and N. J. Sung. 2011. Chemical composition and physiological activities of doragi (*Platycodon grandiflorum*). *Journal of Korean Society Food Science Nutrient*. 30: 717-720.
31. Sung, N. J. and J. K. Seo. 1998. Medical action of perennial *Platycodon grandiflorum* radix. In proceeding Institute Agriculture Reserch Utility Symposium for 50th Anniversary. Gyeongsang National University. Jinju. Korea. p.35-47.
32. Tada, T., Y. Kaneiwa, J. Shoji, and S. Shibata. 1975. Saponins of the root of *Platycodon grandiflorum*: Isolation and the structure of platycodin D. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 23: 2965-2972.
33. Uhm, M. J., J. J. Noh, H. G. Chon, S. W. Kwon, and Y. J. Song. 2012. Application effect of organic fertilizer and chemical fertilizer on the watermelon growth and soil chemical properties in greenhouse. *Korean Journal Environment Agriculture*. 31: 1-8.
34. Wang, C., G. B. Schuller-Levis, E. B. Lee, W. R. Levis, D. W. Lee, B. S. Kim, S. Y. Park, and E. Park. 2004. Platycodin D and D3 isolated from the root of *Platycodon grandiflorum* modulate the production of nitric oxide and secretion of TNF- α in activated RAW 264.7 cells. *International Immunopharmacology*. 4: 1039-1049.
35. Yoon, K. K., K. G. Moon, S. U. Kim, I. S. Um, Y. S. Cho, Y. G. Kim, and I. R. Rho. 2016. Analysis of growth and antioxidant compounds in deodeok in response to mulching materials. *Korean Journal Medicinal crop Science*. 24: 183-190.
36. Zhao, H. L., K. H. Cho, Y. W. Ha, T. S. Jeong, W. S. Lee, and Y. S. Kim. 2006. Cholesterol-lowering effect of platycodin D in hypercholesterolemic ICR mice. *European Journal of Pharmacology*. 537: 166-173.