

논 재배 배수방법이 팥 에탄올 추출물의 항산화성분 및 항산화활성에 미치는 영향

우관식[†] · 정기열 · 송석보 · 고지연 · 이재생 · 최영대 · 윤을수 · 정태욱 · 오인석

농촌진흥청 국립식량과학원 기능성작물부

Effects of the Drainage Methods on Antioxidant Compounds and Antioxidant Activity of Ethanolic Extracts on Adzuki Bean

Koan Sik Woo[†], Ki Yuol Jung, Seuk Bo Song, Jee Yeon Ko, Jae Saeng Lee, Young Dae Choi, Eul Soo Yun, Tae Wook Jung, and In Seok Oh

Department of Functional Crop, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Miryang, Gyeongnam 627-803, Korea

ABSTRACT This study investigated the changes of antioxidant compounds and antioxidant activity of adzuki bean by drainage methods in poorly drained sloping paddy field. The soil moisture contents of under pipe and open ditch drainage on very poorly drained paddy soil were 18.52±4.58 and 19.01±4.25%, and imperfectly drained paddy soil were 14.87±4.82 and 18.64±3.85%, respectively. Moisture, protein, fat and ash contents of adzuki bean with drainage methods were 10.10~11.60, 14.13~21.75, 0.02~0.73 and 2.81~3.45 g/100 g, respectively. The total polyphenol, flavonoid and tannin contents, and radical scavenging activity of adzuki bean showed significant differences by drainage methods. The total polyphenol, flavonoid, and tannin contents by drainage methods were 2.73~4.14 mg GAE/g, 1.07~1.43 mg CE/g, and 1.27~1.84 mg TAE/g, respectively. The DPPH and ABTS radical scavenging activities were 2.84~4.47 and 5.11~6.74 mg TE/g, respectively. The antioxidant compounds and radical scavenging activity of the adzuki bean by drainage methods were frequently affected soil water.

Keywords : adzuki bean (*Vigna angularis* var. *nipponensis*), drainage method, polyphenol, antioxidant activity

우리나라에서 팥(*Vigna angularis* var. *nipponensis*)은 콩 다음으로 중요한 두류작물로 기후 및 토양에 적응성이 양호하여 작부체계에 유용하게 이용되고 있다(Rho *et al.*, 2003). 팥은 탄수화물 함량이 높은 두류로 대부분은 전분으로 이루어져 있으며(Koh *et al.*, 1997), 100 g당 337 kcal의 열량을

내는 것으로 보고되어 있다(Hwang *et al.*, 2005). 팥은 일반적으로 밥밀용으로 이용되며, 팥죽, 떡이나 빵의 양념, 빙과 제조용 등으로 많이 이용되고 있다(Kim *et al.*, 2003). 비타민 B1이 풍부하여 쌀에 혼반할 경우 쌀밥에 부족하기 쉬운 비타민을 공급하여 주며, 각기병뿐만 아니라 피로회복에도 효과가 있다(Chang *et al.*, 1968). 단백질의 대부분은 글리시닌이고 발린을 제외한 필수아미노산이 풍부하며, 특히 쌀의 제한아미노산인 라이신 함량이 높아 혼식하면 아미노산 보충효과로 단백질의 질을 향상시켜 준다(Chang, 1999). 팥에 함유된 사포닌은 배변을 촉진시키고 신장병, 각기병, 숙취 등에도 도움이 된다(Choi *et al.*, 2002). 팥의 색소는 anthocyanin 계의 cyanidin으로 알려져 있으며(Yoshida *et al.*, 1996), 이들 색소는 항산화(Arigo *et al.*, 1988) 및 항종양효과(Koide *et al.*, 1997)를 나타내는 것으로 보고되었다.

토양의 수분함량은 작물의 생육에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며, 배수가 불량한 토양에서는 수분 과다로 토양공극이 수분으로 포화되어 작물에 산소가 부족하게 된다(Jung *et al.*, 2011). 또한 토양수분이 과다하면 토양환원에 의한 유해의 물질 발생으로 미생물의 활동이 제한되어 작물에 스트레스를 주게 된다고 알려져 있다(Jung *et al.*, 2011; Plamenac, 1988; Evans *et al.*, 1991). 토양수분함량의 과다로 인해 발생하는 작물의 스트레스에 대한 반응은 작물의 종류와 생육시기에 따라 큰 차이가 있으며(Jung *et al.*, 2011), 콩의 경우 다른 생육시기에 비해 개화기에서 협형성기에 수분과다에 스트레스를 가장 많이 받고 수량감소가 크다고 알려져 있다(Evans *et al.*, 1991; Griffin & Saxton,

[†]Corresponding author: (Phone) +82-55-350-1269 (E-mail) wooks@korea.kr

<Received 4 July, 2014; Accepted 18 August, 2014>

1988; Scott *et al.*, 1989). 수분 스트레스에 대한 반응으로 작물은 일반적으로 활성산소종을 제거하는 peroxidases, superoxide dismutase, catalase 등과 같은 효소적 항산화물질과 phytochemical 같은 비효소적 항산화물질이 축적을 증가시킨다(Oh *et al.*, 2010; Sofu *et al.*, 2005). 식물체가 수분 스트레스를 받으면 α -tocopherol, β -carotene, flavonoid 등과 같은 phytochemical의 합성이 유도되는 것으로 보고되고 있다(Keles & Öncel, 2002; Munné-Bosch *et al.*, 2001; Tattini *et al.*, 2004; Zobayed *et al.*, 2007).

이에 본 연구에서는 배수등급이 약간불량인 토양과 매우 불량인 토양을 선정하여 배수방법을 명거배수 방법과 암거배수 방법으로 처리하였을 경우 배수방법이 수확된 팥의 항산화성분 및 항산화활성에 미치는 영향을 분석하여 팥의 논재배시 재배방법과 성분 및 생리활성 연구에 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

재배토양 특성 분석 및 시료 채취

본 연구에 사용된 팥은 아라리(*Vigna angularis* var. *nipponensis* cv. Arari) 품종이며, 2012년 경남 밀양시 부북면 퇴로리의 논 포장에서 배수방법에 따른 시험을 실시하였다. 시험포장의 토양통은 가곡통이며, 심토는 미사식양질이고 배수등급은 매우불량 토양(very poorly drained paddy soil)과 약간불량 토양(imperfectly drained paddy soil)을 선정하여 실시하였다. 배수방법은 논둑 밑 지저부 1열 암거배수(under drainage) 방법과 30 cm 깊이의 명거배수(open ditch drainage) 방법을 처리하였다. 시험에 사용한 팥은 2012년 6월 23일에 재식거리 60×20 cm, 재식본수는 2본으로 하여 파종하였으며, 10월 9일에 수확하여 분석용 시료로 사용하였다. 파종부터 수확까지의 기상을 조사한 결과 평균기온은 24.39±4.00°C 이었으며, 이 기간 동안의 강수량은 861.7 mm, 상대습도는 72.90±8.44%, 일조시간은 553.5시간으로 조사되었다. 배수불량 논에서의 배수개선 효과를 분석하기 위하여 배수개선 방법별 포장위치에 따른 토양 수분함량을 층위별토양수분센서(EasyAG[®] 50-5 Wire, Sentek Sensor Technologies, SA, Australia)와 지하수위측정센서(Ecotone[™] WM, Remote Data Systems, NC, USA)를 이용하여 모니터링 하였다. 시료의 수확기에 시료의 채취는 배수지점에서 1, 5, 10, 15 및 20 m 지점에서 시료를 채취하여 분석용 시료로 사용하였다.

시료의 일반성분 및 무기성분 함량 분석

수확된 팥의 수분함량은 적외선수분함량측정기(AND MX-50

moisture analyzer, Tokyo, Japan)로 측정하였으며, 조단백질 함량은 Kjeldahl 방법(2300 Kjeltac Analyzer Unit, FOSS Tecator, Laurel, MD, USA), 조지방 함량은 Soxhlet 방법(Soxtec[™] 2050 Analyzer Unit, Foss Tecator)으로 분석하였고 조회분 함량은 600°C 직접회화법으로 분석하였다. 시료의 무기성분은 습식분해법으로 분해하여 ICP (Inductively Coupled Plasma, Optima-3300DV, Perkin-Elmer, Norwalk, CT, USA)로 칼륨, 칼슘을 분석하였으며, 인산함량은 분해액을 ammonium meta vanadate 용액으로 발색시킨 후 470 nm에서 흡광도를 측정하였다(Woo *et al.*, 2010).

추출물 제조 및 항산화성분 함량 분석

시료의 항산화성분 및 항산화활성 분석을 위하여 시료를 vibrating sample mill (CMT Co. Ltd., Tokyo, Japan)로 분쇄하고 일정량을 취하여 80% 에탄올로 상온에서 24시간동안 3회 진탕추출(WiseCube WIS-RL010, Daihan Scientific Co., Ltd., Seoul, Korea)한 다음 여과하여 -20°C 냉동고에 보관하면서 분석용 시료로 사용하였다. 추출물에 대한 총 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu phenol reagent가 추출물의 폴리페놀성 화합물에 의해 환원된 결과 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 분석하였다(Dewanto *et al.*, 2002). 추출물 50 μ L에 2% Na₂CO₃ 용액 1 mL를 가한 후 3분간 방치하여 50% Folin-Ciocalteu reagent (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 50 μ L를 가하였다. 30분 후, 반응액의 흡광도 값을 750 nm에서 측정하였고, 표준물질인 gallic acid (Sigma-Aldrich)를 사용하여 검량선을 작성하였고, 시료 g 당 μ g gallic acid equivalent (GAE, dry basis)로 나타내었다. 총 플라보노이드 함량은 Dewanto *et al.* (2002)의 방법에 따라 추출물 250 μ L에 증류수 1 mL와 5% NaNO₂ 75 μ L를 가한 다음, 5분 후 10% AlCl₃·6H₂O 150 μ L를 가하여 6분 방치하고 1 N NaOH 500 μ L를 가하였다. 11분 후, 반응액의 흡광도 값을 510 nm에서 측정하였다. 표준물질인 (+)-catechin (Sigma-Aldrich)를 사용하여 검량선을 작성하였고, 시료 g당 μ g catechin equivalent (CE, dry basis)로 나타내었다. 총 탄닌 함량은 Duval과 Shetty (2001)의 방법에 따라 측정하였다. 즉, 시료 용액 1 mL에 95% ethanol 1 mL과 증류수 1 mL를 가하여 잘 흔들어 주고 5% Na₂CO₃ 용액 1 mL과 1 N Folin-ciocalteu reagent (Sigma-Aldrich) 0.5 mL를 가한 후 실온에서 60분간 발색시킨 다음 725 nm에서 흡광도를 측정하였으며, tannic acid (Sigma-Aldrich)를 표준물질로 검량선을 작성하여 시료 g당 μ g tannic acid equivalent (TAE, dry basis)로 나타내었다.

에탄올 추출물의 항산화활성 검정

에탄올 추출물에 대한 항산화활성은 DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, Sigma-Aldrich) 및 ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid, Sigma-Aldrich) radical의 소거활성을 측정하였다(Choi *et al.*, 2006). DPPH radical의 소거활성은 0.2 mM DPPH용액(99.9% ethanol에 용해) 0.8 mL에 시료 0.2 mL를 첨가한 후 520 nm에서 정확히 30분 후에 흡광도 감소치를 측정하였다. ABTS radical의 소거활성은 ABTS 7.4 mM과 potassium persulphate 2.6 mM을 하루 동안 암소에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후 이용액을 735 nm에서 흡광도 값이 1.4-1.5가 되도록 몰 흡광계수($\epsilon=3.6 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)를 이용하여 메탄올로 희석하였

다. 희석된 ABTS용액 1 mL에 추출액 50 μL 를 가하여 흡광도의 변화를 정확히 30분 후에 측정하였다. DPPH 및 ABTS radical의 소거활성은 시료 100 g당 mg TE (Trolox equivalent antioxidant capacity)로 표현하였다.

결과 및 고찰

배수방법별 토양의 수분 특성 및 팥의 수량성

배수등급이 매우불량의 토양(very poorly drained paddy soil)과 약간불량의 토양(imperfectly drained paddy soil)을 선정하여 배수방법을 암거배수(under drainage) 방법과 명거배수(open ditch drainage) 방법으로 처리하였을 경우 배

Table 1. The soil water characteristics and crop yields of adzuki bean with drainage form in very poorly drained and imperfectly drained paddy soil.

Drainage state	Drainage form	Distance between ridge (m)	Moisture contents of soil (%)			Adzuki bean yields (kg/10 a)	
			Mean \pm SD	Max.	Min.		
Very poorly drained paddy soil	Under drainage	1	17.93 \pm 9.71	33.97	1.90	145.07 ^{g1)}	
		5	23.48 \pm 6.84	33.82	11.19	165.55 ^f	
		10	21.04 \pm 8.49	39.00	9.19	178.33 ^f	
		15	18.89 \pm 7.28	38.33	10.18	259.29 ^{cd}	
		20	11.28 \pm 5.37	24.05	4.25	294.60 ^b	
		Mean \pm SD				208.57 \pm 64.75	
	Open ditch drainage	1	25.53 \pm 8.49	38.69	12.46	63.01 ^j	
		5	20.90 \pm 10.88	37.59	2.77	63.68 ^j	
		10	16.93 \pm 6.49	33.36	7.30	71.47 ^j	
		15	16.82 \pm 6.16	34.59	6.46	74.54 ^{ij}	
		20	14.89 \pm 8.43	36.64	2.98	89.26 ^{hi}	
		Mean \pm SD				72.39 \pm 10.65	
	Imperfectly drained paddy soil	Under drainage	1	8.35 \pm 4.38	22.02	2.53	169.51 ^f
			5	14.69 \pm 9.26	34.05	2.33	198.07 ^e
			10	16.85 \pm 8.38	34.51	4.48	261.49 ^{cd}
15			13.03 \pm 6.99	31.95	3.19	270.64 ^c	
20			21.44 \pm 9.95	30.16	3.99	337.21 ^a	
		Mean \pm SD				247.39 \pm 65.77	
Open ditch drainage		1	18.55 \pm 9.42	36.62	3.62	103.29 ^h	
		5	23.14 \pm 10.14	42.07	4.87	136.97 ^g	
		10	20.45 \pm 10.51	38.76	3.21	175.08 ^f	
		15	18.37 \pm 7.98	33.84	5.40	246.26 ^d	
	20	12.68 \pm 7.21	26.56	3.13	276.92 ^c		
	Mean \pm SD				187.70 \pm 72.88		

¹⁾Values with different superscripts are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple ranged tests.

수방법에 따른 토양의 수분함량과 수확된 팥의 수량을 측정 한 결과 Table 1과 같이 나타났다. 전체적으로 시험지 토양의 수분함량은 중간부분(5~15 m)이 높은 함량을 보이는 것으로 나타났다. 배수 매우불량 토양의 경우 암거배수 처리는 18.52±4.58%, 명거배수는 19.01±4.25%로 나타났으며, 배수 약간불량 토양은 각각 14.87±4.82 및 18.64±3.85%로 명거배수 처리 토양이 약간 높았다. 명거배수 처리 1 및 5 m의 배수로 가까이에서 배수 매우불량(25.53 및 20.90%) 및 약간불량 토양(18.55 및 23.14%) 모두 높은 토양 수분함량을 보였다.

배수불량 토양에서 배수개선 효과를 확인하기 위하여 배수방법에 따른 팥의 수량을 측정한 결과 Table 1과 같이 전

체적으로 63.01~337.21 kg/10 a의 범위로 나타났다. 배수 매우불량 토양의 암거배수 방법을 처리한 시료는 268.57±64.75 kg/10 a, 명거배수 방법을 처리한 시료는 72.39±10.65 kg/10 a로 암거배수 처리에서 높은 수량을 보였다. 배수 약간불량 토양의 경우 암거배수 방법을 처리한 시료는 247.39±65.77 kg/10 a, 명거배수 방법을 처리한 시료는 187.70±72.88 kg/10 a로 약간불량 토양도 암거배수 처리가 높은 수량을 보였다. 전체적으로 팥의 수량은 토양의 수분함량에 매우 많은 영향을 받는 것으로 나타났고 논에서 팥 재배 시 암거배수를 할 경우 명거배수보다 높은 수량을 기대할 수 있을 것으로 보이며, 보다 정확한 결과를 얻기 위해 재배시기, 재배방법, 토양 등의 재배환경에 대한 연구가 필요할 것

Table 2. Proximate compositions and minerals compositions of adzuki bean with drainage form in very poorly drained and imperfectly drained paddy soil.

Drainage state	Drainage form	Distance between ridge (m)	Proximate composition (g/100 g)				Minerals composition (mg/kg)			
			Moisture	Protein	Fat	Ash	P ₂ O ₅	K	Ca	
Very poorly drained paddy soil	Under drainage	1	10.6 ^{bcd1)}	19.13 ^{efgh}	0.48 ^b	2.98 ^{ghi}	915.5 ^g	1,470.1 ^{cd}	310.5 ^c	
		5	10.8 ^{bc}	21.75 ^a	0.73 ^a	3.16 ^{cde}	953.9 ^{ef}	1,356.6 ^{gh}	341.0 ^a	
		10	10.1 ^e	19.31 ^{defg}	0.36 ^e	2.98 ^{ghi}	1,016.7 ^{cd}	1,388.2 ^{fgh}	323.4 ^b	
		15	10.4 ^{cde}	20.25 ^{bc}	0.02 ^m	2.97 ^{ghi}	845.3 ^h	1,345.7 ^{hi}	322.0 ^b	
		20	11.6 ^a	20.69 ^b	0.03 ^{lm}	3.39 ^{ab}	1,008.6 ^d	1,466.0 ^{cd}	300.2 ^d	
		Mean±SD	10.70±0.57	20.23±1.07	0.32±0.30	3.10±0.18	948.0±70.8	1,405.3±59.4	319.4±15.3	
	Open ditch drainage	1	10.6 ^{bcd}	20.25 ^{bc}	0.04 ^l	3.15 ^{cdef}	937.8 ^{efg}	1,407.9 ^{efg}	282.5 ^e	
		5	10.7 ^{bcd}	19.63 ^{defg}	0.14 ^j	3.05 ^{efgh}	930.2 ^{efg}	1,388.6 ^{fgh}	336.0 ^a	
		10	10.7 ^{bcd}	18.25 ⁱ	0.03 ^{lm}	3.19 ^{cd}	999.7 ^d	1,393.7 ^{fgh}	325.4 ^b	
		15	10.3 ^{de}	19.81 ^{cde}	0.07 ^k	3.34 ^b	1,060.0 ^{ab}	1,497.3 ^c	296.2 ^d	
		20	10.1 ^e	14.13 ^j	0.03 ^{lm}	3.45 ^a	1,059.5 ^{ab}	1,448.7 ^{cde}	300.7 ^d	
		Mean±SD	10.48±0.27	18.41±2.51	0.06±0.05	3.24±0.16	997.4±63.0	1,427.3±45.7	308.2±21.9	
	Imperfectly drained paddy soil	Under drainage	1	10.1 ^e	18.31 ⁱ	0.46 ^c	3.04 ^{fgh}	961.5 ^e	1,371.1 ^{gh}	256.7 ^g
			5	10.1 ^e	19.19 ^{efg}	0.43 ^d	3.10 ^{def}	1,073.2 ^{ab}	1,375.4 ^{gh}	295.7 ^d
10			10.7 ^{bcd}	19.56 ^{defg}	0.44 ^d	2.95 ^{hi}	1,083.7 ^a	1,434.0 ^{def}	278.2 ^{ef}	
15			11.0 ^b	19.13 ^{efgh}	0.36 ^e	3.08 ^{defg}	1,011.9 ^d	1,389.6 ^{fgh}	205.5 ⁱ	
20			10.5 ^{cde}	19.25 ^{defg}	0.18 ⁱ	3.22 ^c	918.7 ^{fg}	1,300.2 ⁱ	321.2 ^b	
		Mean±SD	10.48±0.39	19.09±0.47	0.37±0.11	3.08±0.10	1,009.8±70.9	1,374.0±48.21	271.5±43.8	
Open ditch drainage		1	10.5 ^{cde}	18.63 ^{ghi}	0.26 ^f	2.81 ^j	1,046.5 ^{bc}	1,447.5 ^{cde}	270.0 ^f	
		5	10.7 ^{bcd}	19.00 ^{fgh}	0.24 ^g	2.90 ^{ij}	961.8 ^e	1,345.0 ^{hi}	232.8 ^h	
		10	10.7 ^{bcd}	18.19 ⁱ	0.20 ^h	2.97 ^{ghi}	922.8 ^{fg}	1,782.7 ^a	298.2 ^d	
		15	11.0 ^b	18.44 ^{hi}	0.20 ^h	2.89 ^{ij}	927.3 ^{efg}	1,499.7 ^c	196.0 ⁱ	
	20	10.1 ^e	19.94 ^{cd}	0.23 ^g	3.13 ^{cdef}	945.0 ^{efg}	1,588.2 ^b	275.2 ^{ef}		
	Mean±SD	10.60±0.33	18.84±0.68	0.23±0.03	2.94±0.12	960.7±50.4	1,532.6±165.2	254.44±40.2		

¹⁾Values with different superscripts are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple ranged tests.

으로 생각된다. 배수 매우불량 및 약간불량 토양의 암거배수 처리 20 m 지점에서 각각 294.60 및 337.21 kg/10 a로 높은 수량을 보였으며, 전체적으로 작은 수량을 보인 구간은 배수 매우불량 토양의 명거배수를 처리한 구간으로 1 및 5 m 지점에서 각각 63.01 및 63.68 kg/10 a로 조사되었다. 토양의 과습에 의한 스트레스는 작물의 종류와 생육시기에 따라 큰 차이가 있으며, 일반적으로 콩의 경우에는 다른 생육시기에 비해 개화기에서 협 형성기에 수분과다에 스트레스를 가장 많이 받고 수량감소가 크다고 알려져 있다(Jung *et al.*, 2011; Evans *et al.*, 1991; Griffin & Saxton, 1988; Scott *et al.*, 1989).

배수방법에 따른 팔의 일반성분 및 무기성분 함량

배수방법에 따른 팔의 일반성분 및 무기성분 함량을 분석한 결과 Table 2와 같이 전체적으로 수분함량은 10.10~11.60 g/100 g의 범위로 나타났다. 배수 매우불량 토양의 암거배수 방법을 처리한 시료는 10.70±0.57 g/100 g, 명거배수 방법을 처리한 시료는 10.48±0.27 g/100 g으로 나타났다. 배수 약간불량 토양의 경우 암거배수 방법을 처리한 시료는 10.48±0.39 g/100 g, 명거배수 방법을 처리한 시료는 10.60±0.33 g/100 g으로 나타났다. 배수 매우불량 토양과 약간불량 토양의 조단백질 함량은 각각 18.41±2.51 및 18.96±0.57 g/100 g으로 나타났고 암거배수를 처리한 시료는 각각 20.23±1.07 및 19.09±0.47 g/100 g, 명거배수 처리는 각각 18.41±2.51 및 18.84±0.68 g/100 g으로 암거배수 처리에서 약간 높았다. 조지방 함량은 전체적으로 0.02~0.73 g/100 g의 범위로 나타났으며, 조회분 함량은 2.81~3.45 g/100 g의 범위로 나타났다. 배수개선 방법에 따른 팔의 인산, 칼륨 및 칼슘 함량은 각각 845.3~1,083.7, 1,300.2~1,782.7 및 196.0~341.0 mg/100 g의 범위로 나타나 토양조건, 배수방법 및 시료 채취 지점에 따라 큰 변이를 보이는 것으로 나타났다. 인산의 경우 배수 매우불량 토양의 암거배수 및 명거배수 방법을 처리한 시료에서 각각 948.0±70.8 및 997.4±63.0 mg/100 g의 함량을 보였고 배수 약간불량 토양에서 재배한 시료는 각각 1,009.8±70.9 및 960.7±50.4 mg/100 g의 함량을 보였다. 칼륨 함량은 배수 매우불량 토양에서는 각각 1,405.3±59.4 및 1,427.3±45.7 mg/100 g, 배수 약간불량 토양의 시료는 각각 1,374.0±48.2 및 1,532.6±165.2 mg/100 g으로 나타났다. 칼슘은 배수 매우불량 토양의 암거배수 및 명거배수 방법을 처리한 시료에서 각각 319.4±15.3 및 308.2±21.9 mg/100 g으로 배수 약간불량 토양의 시료(각각 271.5±43.8 및 254.4±40.2 mg/100 g)보다 높은 함량을 보였다. 이상의 결과는 재배토양 및 배수방법에 따라 수확된 팔의 일반성분

과 무기성분의 함량에 영향을 미치는 것으로 생각되며, 이러한 이유는 수분의 영향으로 추측이 되고 이에 대한 보다 자세한 연구가 필요할 것으로 보인다.

배수방법에 따른 팔 에탄올 추출물의 항산화성분 함량

배수방법에 따른 팔의 총 폴리페놀, 플라보노이드, 탄닌 등의 항산화성분 함량을 분석한 결과 Fig. 1과 같이 처리 간에 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났다. 식물계에 널리 분포하는 페놀성 화합물은 다양한 구조와 분자량을 가지며 항산화, 항암 및 항균 등의 생리기능을 가지는 것으로 알려져 있다(Rice-Evans *et al.*, 1997). 총 폴리페놀 함량(Fig. 1(A))은 2.73~4.14 mg GAE/g의 범위로 나타났으며, 배수 매우불량 토양의 암거배수 방법을 처리한 시료는 3.52±0.16 mg GAE/g, 명거배수 방법을 처리한 시료는 3.87±0.17 mg GAE/g으로 나타났다. 배수 약간불량 토양의 경우 암거배수 방법을 처리한 시료는 3.45±0.41 mg GAE/g, 명거배수 방법을 처리한 시료는 3.44±0.14 mg GAE/g으로 나타나 전체적으로 팔의 총 폴리페놀 함량은 토양 수분에 따라 유의적인 차이를 보였으나 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 가장 높은 함량을 보인 구간은 배수 매우불량 토양의 명거배수 처리 5 m 지점에서 채취한 시료로 4.14±0.05 mg GAE/g으로 나타났으며, 가장 적은 함량을 보인 구간은 배수 약간불량 토양의 명거배수 처리 20 m 지점에서 채취한 시료로 2.73±0.20 mg GAE/g의 함량을 보였다.

총 플라보노이드 함량은 Fig. 1(B)와 같이 1.07~1.43 mg CE/g의 범위로 나타났으며, 배수 매우불량 토양의 암거배수 방법을 처리한 시료는 1.20±0.07 mg CE/g, 명거배수 방법을 처리한 시료는 1.37±0.06 mg CE/g으로 명거배수에서 약간 높게 나타났다. 배수 약간불량 토양의 경우 암거배수 방법을 처리한 시료는 1.27±0.11 mg CE/g, 명거배수 방법을 처리한 시료는 1.21±0.09 mg CE/g으로 나타났다. 전체적으로 팔의 총 플라보노이드 함량은 총 폴리페놀 함량과 마찬가지로 토양 수분에 따라 유의적인 차이를 보였으나 큰 차이가 없었다. 가장 높은 함량을 보인 구간은 배수 매우불량 토양의 명거배수 처리 5 m 지점에서 채취한 시료로 1.43±0.03 mg CE/g으로 나타났고 가장 작은 함량을 보인 구간은 배수 약간불량 토양의 명거배수 처리 20 m 지점에서 채취한 시료로 1.07±0.01 mg CE/g으로 나타났다.

총 탄닌 함량은 Fig. 1(C)와 같이 1.27~1.84 mg TAE/g의 범위로 나타났으며, 배수 매우불량 토양의 암거배수 방법을 처리한 시료는 1.36±0.08 mg TAE/g, 명거배수 방법을 처리한 시료는 1.60±0.15 mg TAE/g으로 나타났다. 배수 약간불량 토양의 경우 암거배수 방법을 처리한 시료는 1.52±0.10

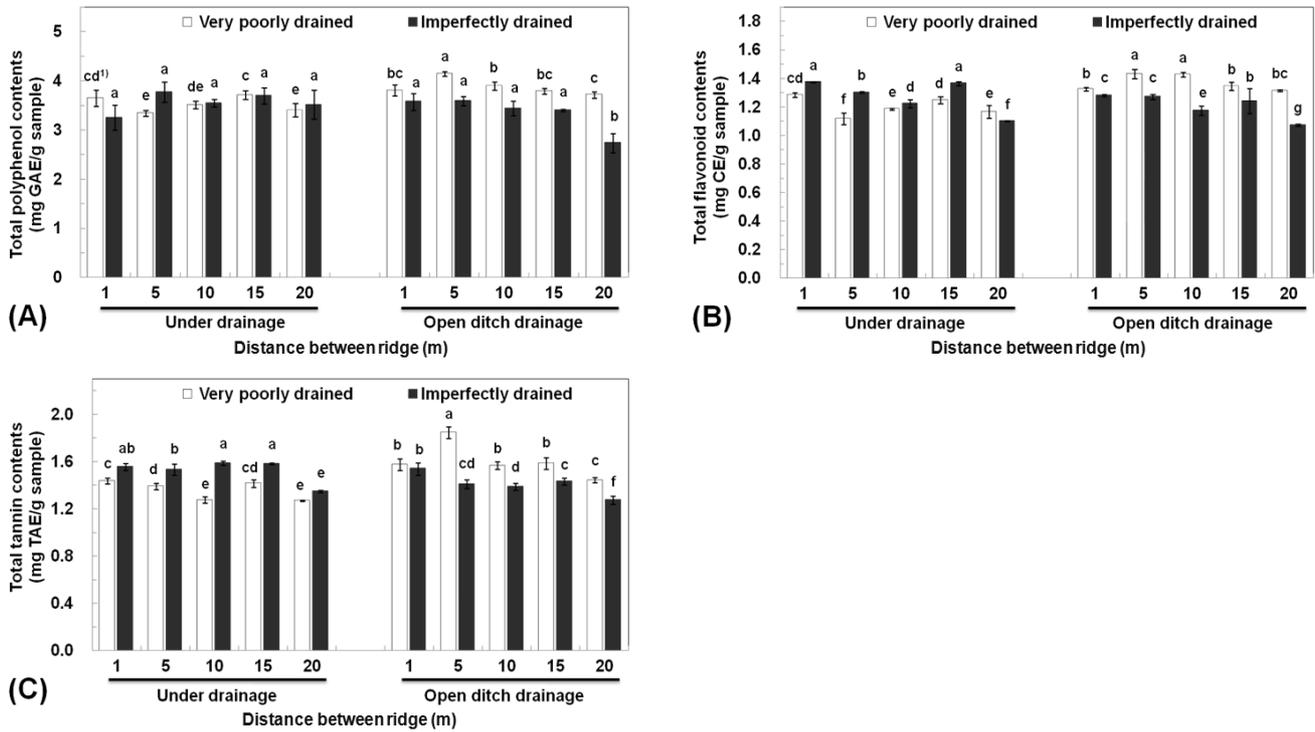


Fig. 1. The total polyphenol (A), flavonoid (B), and tannin (C) contents of adzuki bean with drainage form in very poorly drained and imperfectly drained paddy soil. ¹⁾Values with different superscripts are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple ranged tests.

mg TAE/g, 명거배수 방법을 처리한 시료는 1.41 ± 0.09 mg TAE/g으로 나타났다. 전체적으로 팔의 총 탄닌 함량은 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량과 마찬가지로 토양 수분에 따라 유의적인 차이를 보였으나 큰 차이가 없었다. 가장 높은 함량을 보인 구간은 배수 매우불량 토양의 명거배수 처리 5 m 지점에서 채취한 시료로 0.84 ± 0.05 mg TAE/g으로 나타났고 가장 작은 함량을 보인 구간은 배수 약간불량 토양의 명거배수 처리 20 m 지점에서 채취한 시료로 1.27 ± 0.04 mg TAE/g으로 나타났다.

이상의 배수방법에 따른 팔의 총 폴리페놀, 플라보노이드, 탄닌 등의 항산화성분 함량은 토양의 수분함량에 따라 유의적인 차이를 보였으나 수량과는 달리 큰 차이가 보이지 않았다. 전체적으로 항산화성분의 함량은 배수 매우불량 토양에서는 명거배수 방법이, 배수 약간불량 토양에서는 암거배수 방법을 처리한 구간에서 약간 높은 함량을 나타내었다. 일반적으로 작물에 대한 수분 스트레스는 활성산소종을 제거하는 peroxidases, superoxide dismutase, catalase 등과 같은 효소적 항산화물질과 phytochemical 같은 비효소적 항산화물질이 축적을 증가시키고(Oh *et al.*, 2010; Sofo *et al.*, 2005) 많은 식물에서 α -tocopherol, β -carotene, flavonoid 등

과 같은 phytochemical을 유도하는 것으로 알려져 있다(Keles & Öncel, 2002; Munné-Bosch *et al.*, 2001; Tattini *et al.*, 2004; Zobayed *et al.*, 2007). 전반적으로 항산화성분의 함량은 큰 차이를 보이지 않았지만 팔의 재배에 있어 토양의 배수상태에 따라 알맞은 배수방법을 선택해야 할 것으로 보이며, 환경조건 등 보다 많은 변수에 대한 다각적인 분석이 필요할 것으로 보인다.

배수방법에 따른 팔 에탄올 추출물의 radical 소거활성

배수방법에 따른 팔 에탄올 추출물의 radical 소거활성은 ascorbic acid, tocopherol, polyhydroxy 방향족화합물, 방향족 아민 등에 의해서 환원되어 짙은 자색이 탈색됨으로써 항산화물질의 전자공여능을 측정할 때 사용되고 있는 DPPH radical 소거활성법(Nieva *et al.*, 2000)을 표준물질인 Trolox 와 비교하여 mg TE/g으로 표현한 결과 Fig. 2(A)와 같이 나타났다. 팔 에탄올 추출물의 DPPH radical 소거활성은 2.84~4.47 mg TE/g의 범위로 처리 간에 유의적인 차이를 보였다. 배수 매우불량 토양의 암거배수 방법을 처리한 시료는 3.63 ± 0.32 mg TE/g, 명거배수 방법을 처리한 시료는 4.05 ± 0.28 mg TE/g으로 나타났다. 배수 약간불량 토양의

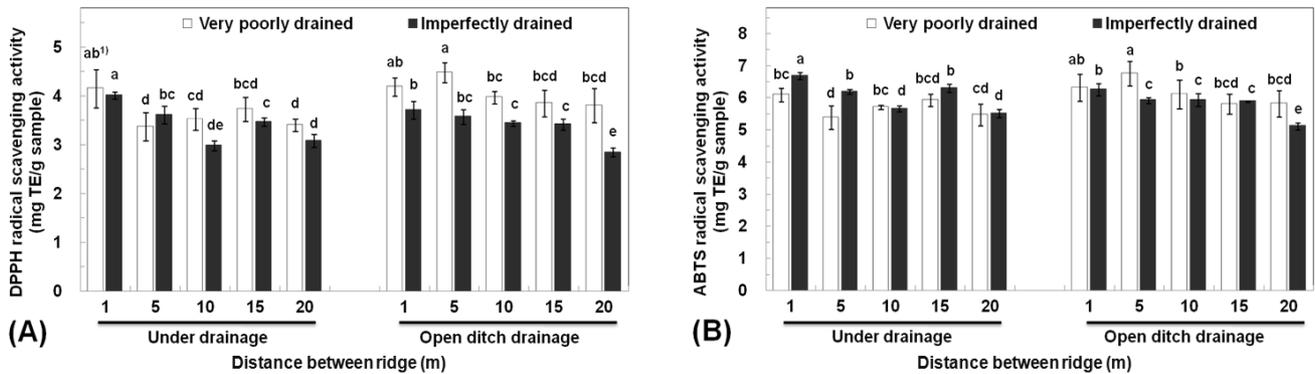


Fig. 2. DPPH (A) and ABTS (B) radical scavenging activity of adzuki bean with drainage form in very poorly drained and imperfectly drained paddy soil. ¹⁾Values with different superscripts are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple ranged tests.

경우 암거배수 방법을 처리한 시료는 3.42 ± 0.41 mg TE/g, 명거배수 방법을 처리한 시료는 3.39 ± 0.33 mg TE/g으로 나타났다. 전체적으로 팔 에탄올 추출물의 DPPH radical 소거활성은 배수 매우불량 토양에서 재배한 시료가 배수 약간불량 토양에서 재배한 시료보다 높은 활성을 보였으며, 배수 매우불량 토양은 암거배수 보다 명거배수 처리시 약간 높은 활성을 보였다. 가장 높은 활성을 보인 처리는 배수 매우불량 토양의 명거배수 처리 5 m 지점에서 채취한 시료로 4.47 ± 0.21 mg TE/g이었으며, 가장 낮은 활성을 보인 처리는 배수 약간불량 토양의 명거배수 처리 20 m 지점에서 채취한 시료로 2.84 ± 0.09 mg TE/g이었다.

현장에서 ABTS radical의 흡광도가 항산화제에 의해 억제되는 것에 기초하여 개발된 ABTS radical 소거활성법 (Kim *et al.*, 2009)을 표준물질인 Trolox와 비교하여 mg TE/g으로 표현한 결과 Fig. 2(B)와 같이 나타났다. 팔 에탄올 추출물의 ABTS radical 소거활성은 5.11~6.74 mg TE/g의 범위로 처리 간에 유의적인 차이를 보였다. 배수 매우불량 토양의 암거배수 방법을 처리한 시료는 5.71 ± 0.30 mg TE/g, 명거배수 방법을 처리한 시료는 6.15 ± 0.39 mg TE/g으로 나타났다. 배수 약간불량 토양의 경우 암거배수 방법을 처리한 시료는 6.06 ± 0.48 mg TE/g, 명거배수 방법을 처리한 시료는 5.82 ± 0.42 mg TE/g으로 나타났다. 전체적으로 팔 에탄올 추출물의 ABTS radical 소거활성은 배수 매우불량 토양에서는 명거배수 방법이, 배수 약간불량 토양에서는 암거배수 방법 처리 구간에서 약간 높은 활성을 보였다. 가장 높은 활성을 보인 처리는 배수 매우불량 토양의 명거배수 처리 5 m 지점에서 채취한 시료로 6.74 ± 0.38 mg TE/g이었으며, 가장 낮은 활성을 보인 처리는 배수 약간불량 토양의 명거배수 처리 20 m 지점에서 채취한 시료로 $5.11 \pm$

0.11 mg TE/g이었다.

이상의 배수방법에 따른 팔 에탄올 추출물의 DPPH 및 ABTS radical 소거활성은 토양의 수분 함량에 영향을 받는 것으로 나타났으며, 배수방법은 배수 매우불량 토양에서의 경우 명거배수 방법을 처리할 경우 활성이 높았고 배수 약간불량 토양에서는 암거배수 방법을 처리한 팔에서 높은 활성을 보였다. 일반적으로 작물에 대한 수분 스트레스는 항산화물질의 축적을 증가시켜(Keles & Öncel, 2002; Oh *et al.*, 2010; Sofu *et al.*, 2005) 작물의 높은 활성을 유도하는 것으로 알려져 있다. 이러한 천연물의 항산화활성은 인체내에서는 활성 radical에 의한 노화를 억제시키는 역할을 하고 있으며, radical 소거작용은 인체의 질병과 노화를 방지하는데 대단히 중요한 역할을 한다(Kim *et al.*, 2001). 전반적으로 팔 에탄올 추출물의 radical 소거활성은 배수방법에 따라 큰 차이를 보이지 않았지만 팔의 재배에 있어 토양의 배수 상태에 따라 알맞은 배수방법을 선택해야 할 것으로 보이며, 환경조건 등 보다 많은 변수에 대한 다각적인 분석이 필요할 것으로 보인다. 이상의 결과에서 본 연구를 통해 항산화 성분 및 항산화활성은 배수가 불량한 토양에서 높게 나타났으나, 팔의 재배에 있어 우선시 되어야 하는 것이 수량이므로 수량을 높이는 것이 중요하므로 팔의 재배는 배수관리가 중요한 것으로 생각된다.

적 요

배수가 매우불량 토양과 약간불량 토양에서 배수방법이 팔의 항산화 성분 및 활성에 미치는 영향을 분석하여 팔의 재배방법과 성분 및 생리활성 연구에 기초자료로 활용하고자 본 연구를 수행한 결과 시험 토양의 수분함량은 중간부

분(5~15 m)이 높은 함량을 보이는 것으로 나타났으며, 배수 매우불량 토양의 경우 암거배수 및 명거배수는 각각 18.52±4.58 및 19.01±4.25%, 배수 약간불량 토양은 각각 14.87±4.82 및 18.64±3.85%로 명거배수 처리 토양이 약간 높았다. 수량은 전체적으로 63.01~337.21 kg/10 a의 범위로 나타났으며, 배수 매우불량 토양의 암거배수 방법을 처리한 시료는 268.57±64.75 kg/10 a, 명거배수 방법을 처리한 시료는 72.39±10.65 kg/10 a으로 나타났다. 팔의 수분, 조단백질, 조지방 및 조회분 함량은 각각 10.10~11.60, 14.13~21.75, 0.02~0.73 및 2.81~3.45 g/100 g의 범위로 나타났으며, 인산, 칼륨 및 칼슘 함량은 각각 845.33~1,083.68, 1,300.20~1,782.68 및 195.97~341.04 mg/100 g의 범위로 나타나 토양조건, 배수방법 및 시료 채취 지점에 따라 변이를 보이는 것으로 나타났다. 배수방법에 따른 팔의 총 폴리페놀, 플라보노이드, 탄닌 함량은 각각 2.73~4.14 mg GAE/g, 1.07~1.43 mg CE/g 및 1.27~1.84 mg TAE/g로 나타났으며, DPPH 및 ABTS radical 소거활성은 각각 2.84~4.47 및 5.11~6.74 mg TE/g의 범위로 처리 간에 유의적인 차이를 보였다. 전체적으로 팔의 총 폴리페놀, 플라보노이드, 탄닌 함량과 radical 소거활성은 배수 매우불량 토양의 경우는 명거배수를 처리한 시험에서 높았고 배수 매우불량 토양에서는 암거배수를 처리하였을 때 높게 나타났다. 이상의 결과 배수가 불량한 토양에서 팔을 재배할 경우 토양의 조건에 알맞은 배수방법을 선택해야 할 것이고 환경조건 등 보다 많은 변수에 대한 다각적인 분석이 필요할 것으로 생각된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 AGENDA 연구사업(ATIS 과제번호: PJ008691)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌(REFERENCES)

- Ariga, T., I. Koshiyama, and D. Fukushima. 1988. Antioxidative properties of procyanidins B-1 and B-3 from azuki beans in aqueous systems. *Agr. Biol. Chem.* 52 : 2717-2722.
- Chang, H. G. 1999. Information on food for the health of modern people. Shinkwang Publishing Co., Seoul, Korea. pp. 46-50.
- Chang, K. Y., K. S. Han, and J. C. Park. 1968. Studies on the selection in adzuki bean breeding. III. Phenotypic and genotypic correlations among some characters in the population of adzuki bean varieties. *Res. Bul. Chinju Agr. Col.* 7 : 39-44.
- Choi, S. Y., Y. J. Jeong, S. J. Lee, O. H. Chi, and S. A. Chegal. 2002. Food and health for modern people. Dongmyungsa, Seoul, Korea. pp. 244-246.
- Choi, Y., S. M. Lee, J. Chun, H. B. Lee, and J. Lee. 2006. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. *Food Chem.* 99 : 381-387.
- Dewanto, V., W. Xianzhong, and R. H. Liu. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J. Agr. Food Chem.* 50 : 4959-4964.
- Duval, B. and K. Shetty. 2001. The stimulation of phenolics and antioxidant activity in pea (*Pisum sativum*) elicited by genetically transformed anise root extract. *J. Food Biochem.* 25 : 361-377.
- Evans, R. O., R. W. Skaggs, and R. E. Sneed. 1991. Stress day index models to predict corn and soybean relative yield under high water table condition. *T. ASABE.* 34 : 1997-2005.
- Griffin, J. L. and A. M. Saxton. 1988. Response of solid-seeded soybean to flood irrigation. Flood duration. Response of solid-seeded soybean to flood irrigation. II. Flood duration. *Agron. J.* 80 : 885-888.
- Hwang, C. S., D. Y. Jeong, Y. S. Kim, J. M. Na, and D. H. Shin. 2005. Effects of enzyme treatment on physicochemical characteristics of small red bean percolate. *Korean J. Food Sci. Technol.* 37 : 189-193.
- Jung, K. Y., E. S. Yun, C. Y. Park, J. B. Hwang, Y. D. Choi, and K. D. Park. 2011. Stress day index to predict soybean yield response by subsurface drainage in poorly drained sloping paddy fields *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44 : 702-708.
- Keles, Y. and I. Öncel. 2002. Response of antioxidative defence system to temperature and water stress combinations in wheat seedlings. *Plant Sci.* 163 : 783-790.
- Kim, C. G., B. H. Oh, J. M. Na, and D. H. Sin. 2003. Comparison of physicochemical properties of Korean and Chinese red bean starches. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35 : 551-555.
- Kim, J. E., S. I. Joo, J. H. Seo, and S. P. Lee. 2009. Antioxidant and α -glucosidase inhibitory effect of tartary buckwheat extract obtained by the treatment of different solvents and enzymes. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 38 : 989-995.
- Kim, S. M., Y. S. Cho, and S. K. Sung. 2001. The antioxidant ability and nitrite scavenging ability of plant extracts. *Korean J. Food Sci. Technol.* 33 : 626-632.
- Koh, K. J., D. B. Shin, and Y. C. Lee. 1997. Physicochemical properties of aqueous extracts in small red bean, mung bean and black soybean. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29 : 854-859.
- Koide, T., Y. Hashimoto, H. Kamei, T. Kojima, M. Hasegawa, and K. Terabe. 1997. Antitumor effect of anthocyanin fractions extracted from red soybeans and red beans *in vitro* and *in vivo*. *Cancer Biother. Radiopharm.* 12 : 277-280.
- Munné-Bosch, S., K. Schwarz, and L. Alegre. 2001. Water deficit in combination with high solar radiation leads to

- midday depression of α -tocopherol in field-grown lavender (*Lavandula stoechas*) plants. Aust. J. Plant Physiol. 28 : 315-321.
- Nieva, M. M., A. R. Sampietro, and M. A. Vattuone. 2000. Comparison of the free radical-scavenging activity of propolis from several regions of Argentina. J. Ethnopharmacol. 71 : 109-114.
- Oh, M. M., E. E. Carey, and C. B. Rajashekar. 2010. Regulated water deficits improve phytochemical concentration in lettuce. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 135 : 223-229.
- Plamenac, N. 1988. Effects of subsurface drainage on heavy hydromorphic soil in the Nelindvor area, Yugoslavia. Agr. Water Manage. 14 : 19-27.
- Rice-Evans, C. A., N. J. Miller, and G. Paganga. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. Trends in Plant Sci. 2 : 152-159.
- Rho, C. W., S. Y. Son, S. T. Hong, K. H. Lee, and I. M. Ryu. 2003. Agronomic characters of Korean adzuki beans (*Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & Ohashi). Korean J. Plant Res. 16 : 147-154.
- Scott, H.D., J. DeAngulo, M.B. Deniels, and L.S. Wood. 1989. Flood duration effect on soybean growth and yield. Agron. J. 81 : 631-636.
- Sofa, A., A. C. Tuzio, B. Dichio, and C. Xiloyannis. 2005. Influence of water deficit and rewatering on the components of the ascorbate-glutathione cycle in four interspecific Prunus hybrids. Plant Sci. 169 : 403-412.
- Tattini, M., C. Galardi, P. Pinelli, R. Massai, D. Remorini, and G. Agati. 2004. Differential accumulation of flavonoids and hydroxycinnamates in leaves of *Ligustrum vulgare* under excess light and drought stress. New Phytol. 163 : 547-561.
- Woo, K. S., J. Y. Ko, S. B. Song, J. S. Lee, J. R. Kang, B. G. Oh, M. H. Nam, J. H. Jeong, H. S. Jeong, and M. C. Seo. 2010. Physicochemical characteristics of vinegars fermented from cereal cobs with *Incalgyun*. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 39 : 1171-1178.
- Yoshida, K., Y. Sato, R. Okuno, K. Kameda, M. Isobe, and T. Kondo. 1996. Structural analysis and measurement of anthocyanin from colored seed coats of *Vigna*, *Phaseolus*, and *Glycine Lugumes*. Biosci. Biotechnol. Biochem. 60 : 589-593.
- Zobayed, S. M. A., F. Afreen, and T. Kozai. 2007. Phytochemical and physiological changes in the leaves of St. John's wort plants under a water stress condition. Environ. Exp. Bot. 59 : 109-116.