

재배조건에 따른 고구마의 항산화성분 및 항산화활성

우관식^{1*} · 서혜인¹ · 이용환² · 김현영³ · 고지연¹ · 송석보¹ · 이재생¹ · 정기열¹ · 남민희¹ · 오인석¹ · 정헌상³

¹국립식량과학원 기능성작물부

²국립식량과학원 작물환경과

³충북대학교 식품공학과

Antioxidant Compounds and Antioxidant Activities of Sweet Potatoes with Cultivated Conditions

Koan Sik Woo^{1*}, Hye In Seo¹, Yong Hwan Lee², Hyun Young Kim³, Jee Yeon Ko¹, Seuk Bo Song¹, Jae Saeng Lee¹, Ki Yuol Jung¹, Min Hee Nam¹, In Seok Oh¹, and Heon Sang Jeong³

¹Dept. of Functional Crop, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Gyeongnam 627-803, Korea

²Crop Environment Research Div., National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Gyeonggi 441-857, Korea

³Dept. of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

Abstract

Effects of cultivated conditions on antioxidant compounds and antioxidant activities of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) were determined. The cultivated variety was Shinyulmi, and they were cultivated in a conventional culture, successful cropped hairy vetch culture, successful cropped barley cultivation, successful cropped rye cultivation, successful cropped mix-seeding of hairy vetch and barley, successful cropped mix-seeding of hairy vetch and rye, and not fertilizer. The brix degree, moisture, protein, and ash content of the sweet potatoes did not significantly change with the cultivated conditions. However amylose, total dietary fiber, and mineral content had significant changes. The total polyphenol, flavonoid, and tannin content of the methanolic extracts of the sweet potato's pericarp showed significant differences from cultivated conditions, however, the sweet potato's sarcocarp did not significantly change. The highest DPPH and ABTS radical scavenging activities of the methanolic extracts of the sweet potatoes were 958.81 and 663.53 mg TE/100 g in the sweet potato's pericarp on the successful cropped hairy vetch culture. Generally, there was a difference in antioxidant compound content and radical scavenging activity on the methanolic extract of sweet potato with cultivated conditions.

Key words: sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam), cultivated condition, antioxidant compound, antioxidant activity

서 론

고구마(*Ipomoea batatas*(L.) Lam)는 메꽃과의 다년생초본으로 남미 멕시코 원산이며(1), 북위 40°에서 남위 40°까지 해발 2,300 m까지의 열대와 온대지역에 걸쳐 광범위하게 재배되고 있다(2,3). 재배가 용이하고 단위면적당 수확량이 많고 수분을 제외한 대부분이 전분으로 쌀, 보리 등의 곡류와 함께 주요 식량자원으로 이용되어 왔으며(4-6), 환경적응성이 강하므로 미래식량 또는 우주식량자원으로 기대되는 작물이다(7). 1763년 우리나라에 도입되어 식량이 부족할 때 주식량 또는 보조식량으로 중요한 역할을 해왔으나(8), 고도 경제성장과 더불어 고구마의 재배면적과 소비가 지속적으로 감소되어 왔다(9). 최근에 안토시아닌, 폴리페놀, β-카로

틴, 알라틴, 식이섬유, 강글리오시드, 칼륨 등의 공급원으로서 고구마의 기능성이 확인되면서 기호식품 및 건강기능식품의 소재로서 새롭게 인식되고 있으며(10), 벼의 대체작물로서 농업인의 소득을 유지시켜 줄 수 있는 작목으로 각광받고 있어 재배면적과 생산량이 점차 증가하고 있다(9). 고구마의 주생산지는 전북 익산·김제, 전남 해남·무안, 경기 여주·이천 등이며(3), 식용, 전분과 주정생산원료, 가공식품, 생식, 야채, 사료 등 다양한 용도로 이용될 수 있으나 대부분 찐고구마, 군고구마, 튀김 등으로 소비되고 있다(3).

고구마는 품종에 따라 그 색깔, 맛, 육질, 수확량, 수분, 전분 함량, 저장성, 가공적성 등이 다르게 나타나는 독특한 특성을 가지고 있으며 그에 따라 용도도 달라진다. 특히 가열 조리 후 조직특성의 변화에 따라 크게 분질고구마와 점질고

*Corresponding author. E-mail: wooks@korea.kr
Phone: 82-55-350-1269, Fax: 82-55-352-3059

구마로 나누어지는데 점질고구마는 비교적 전분이 적고 당분이 많으며, 식용보다는 전분제조와 사료로 더 많이 이용되고 있다. 또한 분질고구마는 전분이 많고 단맛이 있어 식용으로 적합하며 모양도 고르고 외피도 매끈한 편이다(11). 고구마는 수분이 70%, 탄수화물이 25%이고 건조 고형물 중 75% 이상이 탄수화물로 식량자원으로 효용가치가 매우 높을 뿐만 아니라(12) 바이오에탄올(13), 소주(14), 간장, 된장, 의약품, 화학약품 등의 원료가 되기도 한다. 이러한 고구마는 천연의 β -카로틴(15)과 안토시아닌(16), 각종 비타민과 무기성분 및 식이섬유가 많이 함유된 알칼리성식품군에 속하며, 항암 및 항산화활성, 혈압강화작용 등 생활습관병 예방에 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(17). 천연 β -카로틴을 다량 함유하여 육질의 색이 옅은색을 띄는 황색고구마는 항암효과를 갖는 소재(18)와 레티놀의 공급원(19)으로서 크게 인식되고 있으며, 안토시아닌 성분이 함유된 자색고구마는 항돌연변이 및 항산화기능(20,21), 항균작용(21), 항고혈압작용 및 간보호 기능(22) 등이 발표되어 기능성식품으로서도 많은 관심을 받고 있다.

본 연구에서는 최근 각광받고 있는 친환경재배기술의 하나인 녹비작물을 이용한 후작으로 고구마를 재배하고 수확된 고구마의 이화학적 특성을 분석하여 고구마 친환경재배에 적합한 조건 확립을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료의 재배조건

본 연구에 사용된 고구마 품종은 신올미 품종을 사용하였고 시험장소는 경남 통영 육지도의 시험포장에서 재배하였다. 사용한 녹비작물로는 헤어리베치, 보리, 호밀을 사용하였으며, 처리내용은 단일작물 사용구는 헤어리베치, 보리, 호밀을 각각 파종하였으며, 혼합작물 사용구는 헤어리베치와 보리, 헤어리베치와 호밀을 혼파하였고 대조구로 관행재배(고구마 표준 시비량(N-P-K): 5.5-6.3-15.6 kg/10 a)와 무비구를 사용하였다. 고구마 재배를 위하여 2010년 10월 28일에 녹비작물을 파종하고 2011년 5월 11일에 녹비작물을 토양에 환원하였으며, 고구마 삽식은 2011년 6월 7일에 실시하였고 10월 상순에 수확하여 분석용 시료로 사용하였다.

재배조건에 따른 고구마의 당도 및 일반성분, 무기성분 분석

재배조건에 따른 고구마의 당도는 시료를 착즙하여 굴절당도계(PR-101a, Atago Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하여 착즙액의 당도를 측정하여 °Bx로 표시하였다. 수분함량은 적외선수분함량측정기(AND MX-50 moisture analyzer, Tokyo, Japan)로 측정하였으며, 조회분 함량은 550°C 직접회화법으로 분석하였다. 총 식이섬유 함량은 Fibertec™ 1023 (FOSS Tecator, Laurel, MD, USA)와 megazyme total dietary fiber kit(Megazyme, Wicklow, Ireland)를 이용하여

측정하였다. 조단백질함량, 무기성분 및 인산함량을 분석하기 위하여 일정량의 시료를 취하여 습식분해한 후 100 mL로 정용하여 분석용 시료로 사용하였다. 조단백질 함량은 Kjeldahl 분석기(2300 Kjeltac Analyzer Unit, FOSS Tecator)를 이용하여 정량하였으며, 무기성분은 ICP(Optima 3300DV, Perkin Elmer, Norwalk, CT, USA)를 이용하여 분석하였고 인산함량은 분해액을 ammonium meta vanadate 용액으로 발색시킨 후 470 nm에서 흡광도를 측정하였다(23). 아밀로스 함량은 아밀로스가 그의 나선구조 속에 요오드 분자를 결합시켜 안정된 청자색 혼합물을 형성시키는 특성을 이용하여 아밀로스-요오드 혼합물의 청색을 가장 많이 흡수하는 적색파장에서의 흡광도를 비색계(Multiskan Spectrum, Thermo Fisher Scientific, Vantaa, Finland)를 이용하여 620 nm에서 측정하였으며, 표준품으로 pure potato amylose(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 이용하여 정량하였다(24).

메탄올 추출물의 제조

항산화성분 및 항산화활성 측정을 위한 전 처리는 고구마를 세척하고 박피하여 과피와 과육 부분으로 분리하여 동결 건조(FDT-8612, OPERON, Kimpo, Korea)하고 분쇄기(Vibrating sample mill, CMT Co., Ltd., Tokyo, Japan)로 분쇄하여 추출용 시료로 사용하였다. 항산화활성 측정에 있어 추출물의 수율은 중요한 요소로 작용하며, 항산화성분의 추출은 용매에 대한 용해도 차이로 인해 차이가 있을 수 있다(25). Zielinski와 Kozłowska(26)는 메탄올을 사용하였을 경우 그 추출물의 높은 항산화활성과 항산화성분 함량을 보고하여 본 연구에서 메탄올을 추출용매로 사용하였다. 분쇄된 시료 5 g을 취하여 80% 메탄올 50 mL를 첨가하여 24시간 동안 진탕추출(SK-71 Shaker, JEIO Tech, Kimpo, Korea)을 2회 실시한 다음 여과하여 감압농축기(Eyela N-1000, Tokyo, Japan)로 40°C에서 용매를 완전히 제거하였다. 여기에 80% 메탄올을 이용하여 재용해한 후 50 mL로 정용하여 -20°C 냉동고에 보관하면서 분석용 시료로 사용하였으며, 최종적으로 항산화성분의 함량과 라디칼 소거활성을 시료 g당 성분 표준품의 당량으로 환산하여 표기하였다.

메탄올 추출물의 항산화성분 분석

재배조건별 고구마 80% 메탄올 추출물에 대한 총 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu phenol reagent가 추출물의 폴리페놀성 화합물에 의해 환원된 결과 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 분석하였다(27). 추출물 50 μ L에 2% Na₂CO₃ 용액 1 mL를 가한 후 3분간 방치하여 50% Folin-Ciocalteu reagent(Sigma-Aldrich) 50 μ L를 가하였다. 30분 후 반응액의 흡광도 값을 750 nm에서 측정하였고, 표준물질인 gallic acid(Sigma-Aldrich)를 사용하여 검량선을 작성하였으며, 시료 g 중의 mg gallic acid equivalent(GAE, dry basis)로 나타내었다. 총 플라보노이드 함량은 Jia 등(28)의 방법에 따라 추출물 250 μ L에 증류수 1 mL와 5% NaNO₂

75 µL를 가한 다음, 5분 후 10% AlCl₃·6H₂O 150 µL를 가하여 6분 방치하고 1 N NaOH 500 µL를 가하였다. 11분 후 반응액의 흡광도 값을 510 nm에서 측정하였다. 표준물질인 (+)-catechin(Sigma-Aldrich)을 사용하여 검량선을 작성하였으며, 시료 g 중의 mg catechin equivalent(CE, dry basis)로 나타내었다. 총 탄닌 함량은 Duval과 Shetty(29)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) 0.5 mL를 가한 후 실온에서 60분간 발색시킨 다음 725 nm에서 흡광도를 측정하였으며, tannic acid(Sigma-Aldrich)로 표준물질로 검량선을 작성하여 시료 g중의 mg tannic acid equivalent(TAE, dry basis)로 나타내었다.

메탄올 추출물의 항산화활성 측정

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(30). 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 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 물 흡광계수($\epsilon=3.6 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)를 이용하여 메탄올로 희석하였다. 희석된 ABTS용액 1 mL에 추출액 50 µL를 가하여 흡광도의 변화를 정확히 30분 후에 측정하였다. DPPH 및 ABTS radical의 소거활성은 mg TE(Trolox equivalent antioxidant capacity)/g sample로 표현하였다.

통계분석

모든 데이터는 3회 반복 측정하였으며, mean±SD로 표현하였다. 또한 얻어진 결과를 통계프로그램(Statistical Analysis System; version 9.2, SAS Institute, Cary, NC,

USA)을 이용하여 각각의 변수에 대한 특성을 분석하였다.

결과 및 고찰

재배조건에 따른 고구마의 당도 및 일반성분, 무기성분

녹비작물 재배 후 후작으로 재배한 고구마에 대한 당도 및 일반성분의 함량을 분석한 결과 Table 1과 같이 나타났다. 재배조건에 따른 고구마의 당도는 헤어리베치와 보리 혼과 후작으로 재배한 고구마(SP5)와 관행재배 방법으로 재배한 고구마(SP1)가 10.4 및 10.2°Bx로 유의적으로 높게 나타났다(p<0.05), 호밀 후작으로 재배한 고구마(SP4)가 7.9°Bx로 가장 낮은 당도를 보였다. 수분함량은 63.6~56.6 g/100 g으로 재배조건에 따라 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났으며(p<0.05), 회분(1.0~0.8 g/100 g) 및 단백질(3.1~2.4 g/100 g)도 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났다(p<0.05). 재배조건에 따른 고구마의 아밀로스 함량은 헤어리베치 후작으로 재배한 고구마(SP2)에서 24.6 g/100 g으로 낮은 함량을 보였고 다른 재배조건에 따라서는 28.7~26.9 g/100 g으로 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 식이섬유 함량 또한 9.0~8.4 g/100 g의 범위로 유의적인 차이를 보이지 않았다. Oh와 Hong(1)은 밤고구마인 울미의 수분, 단백질, 회분 및 식이섬유 함량이 각각 71.02, 1.98, 0.99 및 11.88%로 보고하였고 Shin 등(7)은 주황미의 수분, 단백질 및 회분 함량이 각각 66.87, 0.13 및 1.4%로 보고하였고 또한 호박고구마의 밤고구마의 수분은 66.87 및 60.78%, 단백질은 0.13 및 1.26%, 회분은 1.40 및 1.14%로 보고하였다(31). 또한 Kim 등(32)의 연구에서 울미 품종의 수분, 단백질 및 회분 함량은 70.12, 1.98 및 1.12%로 보고하였다. 기존 보고와 일반성분의 함량이 약간 차이를 보이는 것은 재배시기의 기상에 따라 큰 차이를 보일 것으로 보이며, 통양의 상태, 품종, 재배지역 등의 영향을 차이를 보이는 것으로 생각된다.

고구마의 무기성분 함량을 분석한 결과 Table 2와 같이 재배조건에 따라 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났다(p<0.05). 칼륨의 함량은 호밀 후작으로 재배한 고구마(SP4)

Table 1. Proximate composition of sweet potato with the cultivated conditions

Sample ¹⁾	Brix degree (°Bx)	Proximate composition (g/100 g)				
		Moisture	Ash	Protein	Amylose	Dietary fiber
SP1	10.2±0.00 ^{2)a3)}	60.4±0.18 ^c	0.9±0.03 ^c	3.0±0.22 ^{ab}	27.5±0.67 ^a	9.0±0.71 ^a
SP2	9.5±0.14 ^{cd}	61.0±0.42 ^b	0.9±0.01 ^c	3.1±0.09 ^a	24.6±1.73 ^b	8.5±1.21 ^a
SP3	9.4±0.00 ^d	56.7±0.36 ^e	0.9±0.02 ^{bc}	2.4±0.00 ^b	27.8±0.07 ^a	8.5±0.04 ^a
SP4	7.9±0.14 ^e	56.6±0.32 ^c	1.0±0.07 ^a	2.6±0.40 ^{ab}	27.4±1.37 ^a	8.4±0.25 ^a
SP5	10.4±0.00 ^a	61.2±0.16 ^b	0.9±0.01 ^c	2.7±0.40 ^{ab}	26.9±2.04 ^a	9.0±0.18 ^a
SP6	9.7±0.14 ^{bc}	59.5±0.12 ^d	0.8±0.03 ^d	2.5±0.27 ^{ab}	28.7±0.14 ^a	8.9±0.19 ^a
SP7	9.9±0.14 ^b	63.6±0.16 ^a	1.0±0.02 ^{ab}	2.6±0.13 ^{ab}	27.8±0.35 ^a	8.8±0.35 ^a

¹⁾SP1: conventional culture, SP2: sweet potato culture after hairy vetch culture, SP3: sweet potato culture after barley cultivation, SP4: sweet potato culture after rye cultivation, SP5: sweet potato culture after mix-seeding hairy vetch and barley, SP6: sweet potato culture after mix-seeding hairy vetch and rye, SP7: not fertilizer.

²⁾Each value is mean±SD (n=3).

³⁾Any means in the same column followed by the same letter are not significantly (p<0.05) different by Duncan's multiple range test.

Table 2. Minerals composition of sweet potato with the cultivated conditions

Sample ¹⁾	Minerals composition (mg/100 g)					
	K	Ca	Mg	Na	Al	P ₂ O ₅
SP1	248.4±2.43 ^{2)c3)}	21.1±1.62 ^b	23.8±0.17 ^d	43.3±1.67 ^d	1.3±0.27 ^{ab}	81.2±0.80 ^{cd}
SP2	193.9±2.22 ^d	28.1±0.80 ^a	30.0±0.08 ^b	92.8±0.33 ^a	1.5±0.24 ^a	83.9±1.54 ^c
SP3	275.9±1.70 ^b	15.4±0.02 ^c	23.3±0.22 ^d	37.0±2.88 ^e	1.0±0.06 ^{bc}	98.8±1.20 ^{ab}
SP4	307.8±7.37 ^a	16.6±0.80 ^c	26.4±0.88 ^c	36.0±0.86 ^e	1.1±0.08 ^{abc}	103.8±5.01 ^a
SP5	192.7±2.22 ^d	28.8±1.74 ^a	31.5±0.40 ^a	57.7±1.62 ^c	1.2±0.21 ^{abc}	77.4±0.50 ^d
SP6	155.1±7.75 ^e	29.1±0.86 ^a	31.0±0.09 ^{ab}	76.1±0.67 ^b	0.7±0.28 ^{abc}	76.5±0.89 ^d
SP7	256.6±3.24 ^c	17.8±2.45 ^c	25.5±1.12 ^c	47.0±1.79 ^d	1.0±0.17 ^c	95.0±4.21 ^b

¹⁾See the Table 1. ²⁾Each value is mean±SD (n=3).

³⁾Any means in the same column followed by the same letter are not significantly (p<0.05) different by Duncan's multiple range test.

가 307.8 mg/100 g으로 가장 높은 함량을 보였으며, 헤어리베치와 호밀 혼파 후작으로 재배한 고구마(SP6)가 155.1 mg/100 g으로 낮은 함량을 나타내었다. 칼슘은 헤어리베치와 호밀 혼파 후작으로 재배한 고구마(SP6)가 29.1 mg/100 g으로 가장 높은 함량을 보였고 보리 후작으로 재배한 고구마(SP3)가 15.4 mg/100 g으로 낮은 함량을 나타내었으며, 마그네슘 함량은 헤어리베치와 보리 혼파 후작으로 재배한 고구마(SP5)가 31.5 mg/100 g으로 가장 높았고 보리 후작으로 재배한 고구마(SP3)가 23.3 mg/100 g으로 낮았다. 나트륨의 경우 헤어리베치 후작으로 재배한 고구마(SP2)가 92.8 mg/100 g으로 가장 높았고 호밀 후작으로 재배한 고구마(SP4)가 36.0 mg/100 g으로 낮은 함량을 보였다. 알루미늄 함량은 0.7~1.5 mg/100 g의 범위로 재배조건별로 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났으며, 인산함량은 호밀 후작으로 재배한 고구마(SP4)가 103.8 mg/100 g으로 유의적으로 가장 높게 나타났다. Lee 등(33)의 보고에 의하면 '하얀미' 품종을 동결건조 하여 무기성분의 함량을 분석한 결과 칼륨, 칼슘, 나트륨, 마그네슘, 인 함량이 각각 1,421, 67, 25, 40 및 123 mg/100 g으로 보고하였는데 이러한 무기성분 함량의 차이를 보이는 것은 일반성분과 마찬가지로 품종, 재배환경 및 지역 등의 영향으로 생각된다.

재배조건에 따른 고구마 메탄올 추출물의 항산화성분

식물성 식품 속에 함유되어 있는 많은 생리활성 물질 중 페놀화합물은 phenolic hydroxyl 그룹 때문에 단백질 또는 효소 단백질, 기타 거대 분자들과 결합하는 성질, 2가 금속이온과의 결합력, 높은 항산화효과를 가지는 것으로 알려져 있다(34). 녹비작물 재배 후 후작으로 재배한 고구마를 과피와 과육으로 구분하여 메탄올로 추출하여 총 폴리페놀, 플라보노이드, 탄닌 등의 항산화성분의 함량을 분석한 결과 Fig. 1과 같이 나타났다. 총 폴리페놀 함량(Fig. 1A)은 과피의 경우 헤어리베치 후작으로 재배한 고구마(SP2)에서 5.05 mg GAE/g sample로 유의적으로 가장 높은 함량을 보였으며 (p<0.05), 비료를 주지 않은 고구마(SP7)가 3.93 mg GAE/g sample로 가장 낮은 함량을 보였다. 과육의 경우는 1.58~1.97 mg GAE/g sample의 범위에서 유의적인 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 총 플라보노이드(Fig. 1B) 및 탄닌

함량(Fig. 1C) 또한 과피 추출물에서 헤어리베치 후작으로 재배한 고구마(SP2)가 각각 3.86 mg CE/g sample 및 3.92 mg TAE/g sample로 유의적으로 가장 높은 함량을 나타내었으며(p<0.05), 비료를 주지 않은 고구마(SP7)가 각각 2.41 mg CE/g sample 및 2.68 mg TAE/g sample로 낮은 함량을 보였다. 과육의 경우 각각 0.47~0.75 mg CE/g sample 및 0.49~0.98 mg TAE/g sample로 유의적인 차이를 보였으나 큰 차이를 보이지 않았으며, 과피와 마찬가지로 비료를 주지 않은 고구마(SP7)가 낮은 함량을 보이는 것으로 나타났다. Lee 등(20)은 신울미의 gallic acid, chlorogenic acid, caffeic acid 등의 함량이 각각 7.9, 12.3 및 0.7 mg/100 g으로 보고하였으며, Lee 등(35)은 울미의 껍질부분의 70% 메탄올 추출물에서 caffeic acid와 chlorogenic acid 함량이 각각 68.4 및 67.4 mg%, 과육이 각각 2.8 및 1.0 mg%로 보고하여 고구마의 폴리페놀 성분이 대부분 껍질에 존재하는 것으로 보고하였다. Kwak 등(36)은 자색고구마 증류수 추출물의 총 페놀화합물 함량을 측정된 결과 44.25 mg/g으로 보고하였고 Song 등(37)은 메탄올 추출물에서 13.1 mg/g였다고 보고하여 추출물의 총 페놀화합물 함량과 많은 차이를 보이는데 이는 품종 등의 실험재료의 차이와 추출물 제조 과정에 있어 추출용매와 추출방법 등의 차이에 의한 것으로 생각된다.

재배조건에 따른 고구마 메탄올 추출물의 항산화활성

천연물의 항산화활성은 활성 radical에 전자를 공여하고 식품 중의 지방질 산화를 억제하는 특성을 가지고 있고 인체 내에서는 활성 radical에 의한 노화를 억제시키는 역할을 하고 있으며, radical 소거작용은 인체의 질병과 노화를 방지하는데 대단히 중요한 역할을 한다(38). 녹비작물 재배 후 후작으로 재배한 고구마를 과피와 과육으로 구분하여 메탄올로 추출하여 DPPH radical 소거활성법(39)과 ABTS radical 소거활성법(40)을 표준물질인 Trolox와 비교하여 mg TE/g sample로 나타낸 결과 Fig. 2와 같이 나타났다. DPPH radical 소거활성(Fig. 2A)은 과피의 경우 헤어리베치 후작으로 재배한 고구마(SP2)에서 958.81 mg TE/100 g으로 유의적으로 가장 높은 활성을 보였으며(p<0.05), 비료를 주지 않은 고구마(SP7)가 546.47 mg TE/100 g으로 낮은 활성을 보였다. 과육의 경우는 132.01~189.83 mg TE/100 g의 범위에서

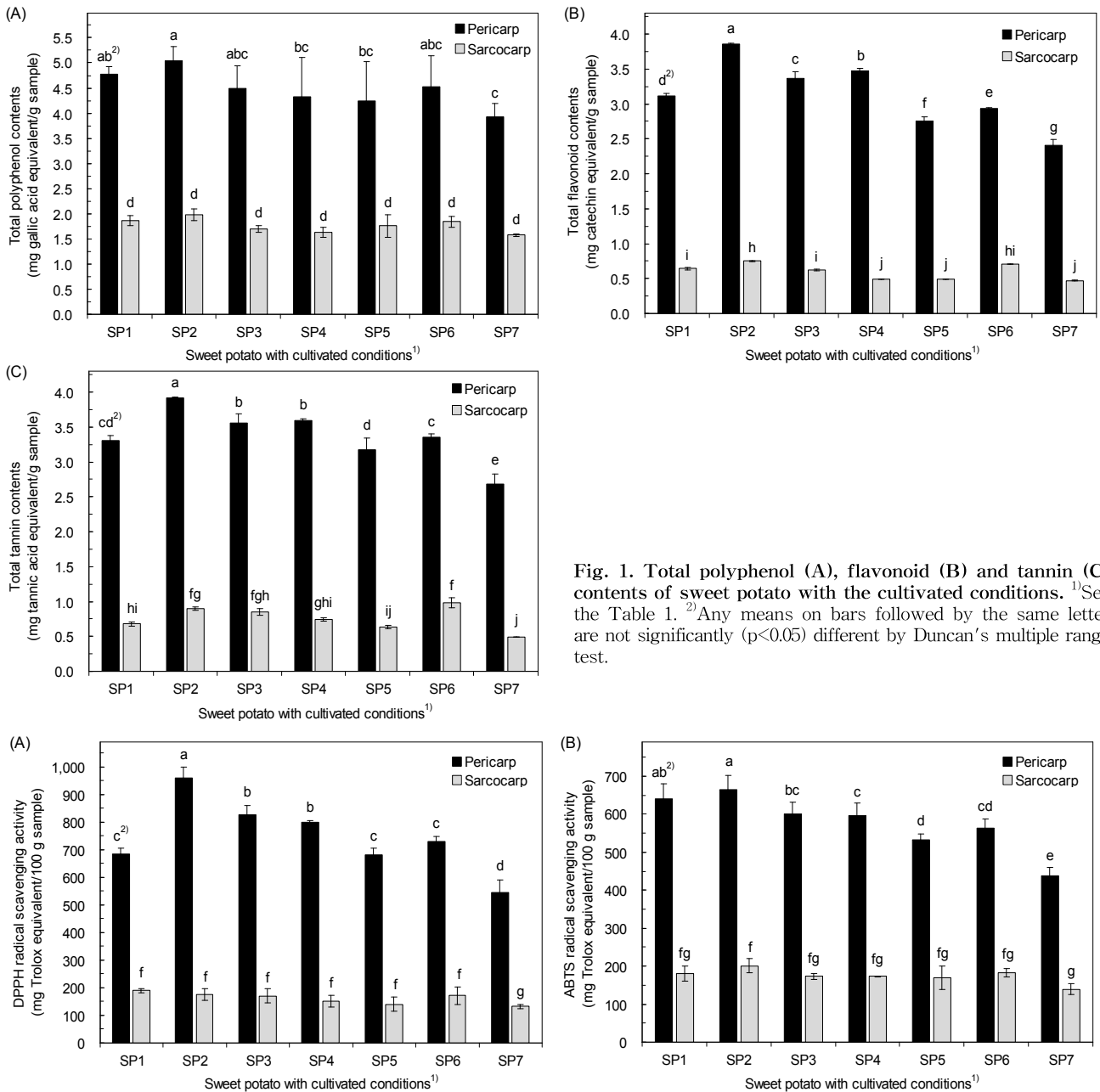


Fig. 1. Total polyphenol (A), flavonoid (B) and tannin (C) contents of sweet potato with the cultivated conditions. ¹See the Table 1. ²Any means on bars followed by the same letter are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

Fig. 2. DPPH (A) and ABTS (B) radical scavenging activity on methanolic extracts of sweet potato with the cultivated conditions. ¹See the Table 1. ²Any means on bars followed by the same letter are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

유의적인 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. ABTS radical 소거활성(Fig. 2B) 또한 과피 추출물에서 헤어리베치 후작으로 재배한 고구마(SP2)가 663.53 mg TE/100 g으로 유의적으로 가장 높은 활성을 보였으며($p < 0.05$), 비료를 주지 않은 고구마(SP7)가 438.08 mg TE/100 g으로 낮은 활성을 나타내었다. 과육의 경우도 헤어리베치 후작으로 재배한 고구마(SP2)가 201.02 mg TE/100 g으로 유의적으로 가장 높은 활성을 보였으며($p < 0.05$), 비료를 주지 않은 고구마(SP7)가 139.43 mg TE/100 g으로 낮은 활성을 나타내었다. 고구마에는 페놀계화합물로 caffeic acid와 quinic acid의 에

스테르 결합 형태인 chlorogenic acid, isochlorogenic acid 등이 다량 함유되어 있고(41), 이들 성분들은 항산화활성, 간독성회복작용, 암 발생 억제, 항미생물 및 항돌연변이 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(42). Song 등(37)은 황색고구마 80% 메탄올 추출물의 DPPH에 의한 전자공여능이 57.1~21.8%(시료농도 1%)로 보고하였으며, Lee 등(20)은 신울미 80% 에탄올 추출물의 전자공여능이 chloroform, ethyl acetate 및 butanol 층에서 각각 3.0, 69.3 및 26.5%로 보고하였다. 이상의 결과에서 기존 보고와 차이를 보이는 것은 품종, 재배조건 등의 실험재료의 차이와 추출용매, 추

Table 3. Correlation coefficients among protein, phosphate, minerals, antioxidant compounds, and radical scavenging activities of methanolic extract from sweet potato with the cultivated conditions

Factor	Polyphenol	Flavonoid	Tannin	DPPH	ABTS
Polyphenol	1.0000	0.9882***	0.9911***	0.9742***	0.9941***
Flavonoid	—	1.0000	0.9961***	0.9903***	0.9929***
Tannin	—	—	1.0000	0.9836***	0.9929***
DPPH	—	—	—	1.0000	0.9780***
ABTS	—	—	—	—	1.0000

***p<0.001.

출방법 등 추출조건의 차이에 의한 것으로 생각된다.

재배조건에 따른 항산화성분 및 항산화활성 간의 상관관계 재배조건에 따른 고구마의 항산화성분 및 항산화활성과의 상관관계를 SAS program으로 분석한 결과 Table 3과 같이 전체적으로 매우 높은 양의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 총 폴리페놀 함량과 총 플라보노이드 및 탄닌 함량, DPPH 및 ABTS radical 소거활성 간에 r값이 각각 0.9882(p<0.001), 0.9911(p<0.001), 0.9742(p<0.001) 및 0.9941(p<0.001)로 높은 상관관계를 보였으며, 총 플라보노이드 함량과 총 탄닌 함량, DPPH 및 ABTS radical 소거활성 간에 r값이 각각 0.9961(p<0.001), 0.9903(p<0.001) 및 0.9929(p<0.001)로 높은 상관관계를 보였다. 총 탄닌 함량과 DPPH 및 ABTS radical 소거활성 간에 r값이 각각 0.9836(p<0.001) 및 0.9929(p<0.001)로 높은 상관관계를 보였으며, DPPH radical 소거활성과 ABTS radical 소거활성 간에 r값이 0.9780(p<0.001)으로 높은 상관관계를 보였다. 전체적으로 재배조건에 따른 고구마의 항산화성분과 항산화활성의 상관관계를 분석한 결과 매우 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

요 약

친환경재배기술의 하나인 녹비작물을 이용한 후작으로 고구마를 재배하여 수확한 고구마의 이화학적 특성을 분석하여 고구마 친환경재배에 적합한 조건 확립을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다. 녹비작물 재배 후 후작으로 재배한 고구마에 대한 당도, 수분, 단백질 및 회분 함량은 재배조건에 따라 유의적인 차이를 보였으며(p<0.05), 아밀로스 및 총식이섬유 함량은 유의적인 차이를 보이지 않았다. 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 알루미늄 및 인산 등의 무기성분 함량은 재배조건에 따라 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났다(p<0.05). 녹비작물 재배 후 후작으로 재배한 고구마를 과피와 과육으로 구분하여 메탄올로 추출하여 총 폴리페놀, 플라보노이드, 탄닌 등의 항산화성분 함량을 분석한 결과 과피의 경우 유의적인 차이를 보였으나(p<0.05), 과육은 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 가장 높은 함량을 보인 처리구는 헤어리베치 후작으로 재배한 고구마로서 과피 추출물에서 각각 5.05 mg GAE/g sample, 3.86 mg CE/g sample 및 3.92 mg TAE/g sample의 함량을 나타내었다. DPPH

및 ABTS radical 소거활성을 표준물질인 Trolox와 비교하여 측정된 결과 과피의 경우 헤어리베치 후작으로 재배한 고구마가 각각 958.81 및 663.53 mg TE/100 g으로 유의적으로 가장 높은 활성을 보였으며(p<0.05), 비료를 주지 않은 고구마가 각각 546.47 및 438.08 mg TE/100 g으로 낮은 활성을 보였다. 과육의 경우는 각각 132.01~189.83 및 139.43~201.02 mg TE/100 g의 범위에서 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 이상의 결과에서 헤어리베치를 전작물로 재배하였을 때 수확된 고구마의 높은 항산화성분 함량과 항산화활성을 보이는 것으로 나타났다.

문 헌

- Oh HE, Hong JS. 2008. Quality characteristics of sulgidduk added with fresh sweet potato. *Korean J Food Cookery Sci* 24: 501-510.
- Shukla PT. 1976. Stability performance of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) varieties in medium altitude areas of Tanzania East. *Afr Forest J* 42: 198-200.
- Kim HS, Moon YH, Chung MN, Ahn YS, Lee JS, Bang JK. 2006. Effect of planting date, plant spacing, and harvest time on the production of small-sized sweet potato in the alpine zone of Korea. *Korean J Crop Sci* 51: 193-197.
- Park IS, Lee HJ, Lee MK, Park IS. 2006. Characterization of mushroom tyrosinase inhibitor in sweet potato. *J Life Sci* 16: 396-399.
- Jung ST, Rhim JW, Kang SG. 1998. Quality properties and carotenoid pigments of yellow sweet potato puree. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 27: 596-602.
- Kim JS. 1995. Preparation of sweet potato drinks and its quality characteristics. *J Korean Soc Food Nutr* 24: 943-947.
- Shin MY, Youn KS, Lee SW, Moon HK, Lee WY. 2011. Optimization of vacuum drying conditions for a steamed (pumpkin-) sweet potato slab by response surface methodology. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 1314-1320.
- Mok IG, Zhao DL, Kwak SS. 2009. Genetic resource of sweet potato for industrial use. *J Plant Biotechnol* 36: 202-206.
- Park JS, Chung BW, Bae JO, Lee JH, Jung MY, Choi DS. 2008. Effects of sweet potato cultivars and koji types on general properties and volatile flavor compounds in sweet potato soju. *Korean J Food Sci Technol* 42: 468-474.
- Yoshimoto M. 2001. New trends of processing and use of sweet potato in Japan. *Farming Jpn* 35: 22-28.
- Cheon SH, Eun JB. 2011. The physical properties of puffed snacks (peongtuigi) added with sweet potato flours. *J Appl Biol Chem* 54: 147-152.
- Kim SY, Ryu CH. 1995. Studies on the nutritional compo-

- nents of purple sweet potato (*Ipomoea batatas*). *Korean J Food Sci Technol* 27: 819-825.
13. Ziska LH, Runion GB, Tomecek M, Prior SA, Torbet HA, Sicher R. 2009. An evaluation of cassava, sweet potato and field corn as potential carbohydrate sources for bioethanol production in Alabama and Maryland. *Biomass Bioenergy* 33: 1503-1508.
 14. Park JS, Chung BW, Bae CJ, Lee JH, Jung MY, Choi DS. 2010. Effects of sweet potato cultivars and koji types on general properties and volatile flavor compounds in sweet potato soju. *Korean J Food Sci Technol* 42: 468-474.
 15. Kim SJ, Rhim JW, Jung ST, Ahn YS, Oh YB. 1997. Carotenoid contents of yellow sweet potatoes. *Korean J Food Sci Technol* 29: 218-222.
 16. Jackman RL, Yada RY, Jung MA. 1987. Separation and chemical properties of anthocyanins used for their qualitative and quantitative analysis. *J Food Biochem* 11: 279-308.
 17. Lee JS, Ahn YS, Kim HS, Chung MN, Jeong BC. 2006. Making techniques of high quality powder in sweet potato. *Korean J Crop Sci* 51: 198-203.
 18. Peto R, Coll R, Buckley JD, Sporn MB. 1984. Can dietary beta-carotene materially reduce human cancer rates? *Nature* 290: 201-208.
 19. Almeida LB, Penteado MVC. 1988. Carotenoids and pro-vitamin A value of white fleshed Brazilian sweet potatoes (*Ipomoea batatas* Lam.). *J Food Comps Anal* 4: 341-352.
 20. Lee JS, Ahn YS, Chung MN, Kim HS. 2007. Biological activity of varieties, isolation and purification of antioxidants components in sweet potato. *Korean J Breed Sci* 39: 296-301.
 21. Lee HH, Kang SG, Rhim JW. 1999. Characteristics of antioxidative and antimicrobial activities of various cultivars of sweet potato. *Korean J Food Sci Technol* 31: 1090-1095.
 22. Cho YJ, Kim HA, Bang MA, Oh YB, Jeong BC, Moon YH, Jeong WJ. 2003. Protective effect of purple sweet potato (*Ipomoea batatas*) on hepatotoxicity rats induced by carbon tetrachloride. *Korean J Food Cult* 18: 202-210.
 23. Woo KS, Ko JY, Song SB, Lee JS, Kang JR, Oh BG, Nam MH, Jeong JH, Jeong HS, Seo MC. 2010. Physicochemical characteristics of vinegars fermented from cereal crops with *Incalgyn*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 1171-1178.
 24. Jeong EG, Kim KJ, Cheon AR, Lee CK, Kim SL, Brar DS, Son JR. 2006. Characterization of grain quality under lodging time and grade at ripening. *Korean J Crop Sci* 37: 440-444.
 25. Choi Y, Kim MH, Shin JJ, Park JM, Lee J. 2003. The antioxidant activities of the some commercial teas. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 723-727.
 26. Zielinski H, Kozłowska H. 2000. Antioxidant activity and total phenolics in selected grains and their different morphological fractions. *J Agric Food Chem* 48: 2008-2016.
 27. Dewanto V, Xianzhong W, Liu RH. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50: 4959-4964.
 28. Jia Z, Tang M, Wu J. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and they scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem* 64: 555-559.
 29. Duval B, Shetty K. 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.
 30. Choi Y, Lee SM, Chun J, Lee HB, Lee J. 2006. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. *Food Chem* 99: 381-387.
 31. Shin MY, Lee WY. 2011. Physical properties and preference of a steamed sweet potato slab after mild hot air drying. *Korean J Food Cookery Sci* 27: 73-81.
 32. Kim SJ, Rhim JW, Jung ST, Ahn YS, Oh YB. 1997. Carotenoid contents of yellow sweet potatoes. *Korean J Food Sci Technol* 29: 218-222.
 33. Lee JS, Ahn YS, Kim HS, Chung MN, Boo HO. 2007. Proximate composition and minerals, phenolics, anthocyanins pigment characteristics on the parts of sweet potato. *Korean J Intl Agr* 19: 196-204.
 34. Shin SJ, Kwon SK, Lee KH, Sung ND, Chio WY. 1994. Extraction and characterization of antibacterial components from the roots of evening primrose (*Oenothera odorata* Jacquin). *J Agric Sci* 21: 54-59.
 35. Lee GH, Kwon BK, Yim SY, Oh MJ. 2000. Phenolic compounds in sweet potatoes and their antioxidative activity. *Korean J Postharvest Sci Technol* 7: 331-336.
 36. Kwak JH, Choi GN, Park JH, Kim JH, Jeong HR, Jeong CH, Heo HJ. 2010. Antioxidant and neuronal cell protective effect of purple sweet potato extract. *J Agric Life Sci* 44: 57-66.
 37. Song J, Chung MN, Kim JT, Chi HY, Son JR. 2005. Quality characteristics and antioxidative activities in various cultivars of sweet potato. *Korean J Crop Sci* 50: 141-146.
 38. Kim SM, Cho YS, Sung SK. 2001. The antioxidant ability and nitrite scavenging ability of plant extracts. *Korean J Food Sci Technol* 33: 626-632.
 39. Nieva MM, Sampietro AR, Vattuone MA. 2000. Comparison of the free radical-savenging activity of propolis from several regions of Argentina. *J Ethnopharmacol* 71: 109-114.
 40. Kim JE, Joo SI, Seo JH, Lee SP. 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.
 41. Fumitaka H, Hiromichi K. 1984. Antioxidative components of sweet potatoes. *J Nutr Sci Vitaminol* 30: 37-46.
 42. Konczak-Islam I, Yoshimoto M, Hou DX, Terahara N, Yamakawa O. 2003. Potential chemopreventive properties anthocyanin-rich aqueous extract from in vitro produced tissue of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *J Agric Food Chem* 51: 5916-5922.

(2012년 1월 3일 접수; 2012년 1월 27일 채택)