

일반감자와 유색감자 에탄올 추출물의 생리활성 및 폴리페놀 함량

장혜림 · 윤경영[†]

영남대학교 식품영양학과

Biological Activities and Total Phenolic Content of Ethanol Extracts of White and Flesh-colored *Solanum tuberosum* L. Potatoes

Hye-Lim Jang and Kyung-Young Yoon[†]

Dept. of Food and Nutrition, Yeungnam University, Gyeongbuk 712-749, Korea

Abstract

This study was aimed to evaluate and compare the biological activities and total phenolic content of ethanol extracts of white (*Superior*) and colored potatoes (*Red*, *Rose*, *Haryoung*, *Blue*, *Jaseo*, and *Jasim*). Various ethanol extracts (250, 500, 1,000, and 2,000 µg/mL) were assessed for antioxidant activities of DPPH free radicals and hydroxyl radical scavenging. The cytotoxic activity of the extracts (0, 30, 60, 100 µg/mL) was also carried out by a human cancer cell lethality bioassay method. Results showed that the DPPH and hydroxyl radical scavenging activities, of all extracts increase in a concentration-dependant manner. All color-fleshed potato extracts, except for *Red* and *Haryoung*, showed higher radical scavenging activities than the general white potato extract. Cytotoxicity of the extracts as determined in THP-1 cells showed that *Blue* and *Jasim* was highly toxic at most concentrations tested. In addition, the *Blue* extract had the highest cytotoxic activity on HepG₂ cells at the concentration 100 µg/mL. The contents of total phenolic (TPC) in the extracts significantly varied from 120.0 mg/100 g powder (*Superior*) to 151.1 mg/100 g powder (*Blue*), and TPC of all color-fleshed potato extracts was higher than that of white. The greatest positive correlation was found between phenolic contents and hydroxyl radical scavenging activity ($r=0.776$, $p<0.05$), and a strong negative correlation was found between hydroxyl radical scavenging activity and cytotoxic activities on HepG₂ cells ($r=-0.795$, $p<0.05$). The present study demonstrates that color-fleshed potatoes have higher antioxidant and stronger anticancer activities than general potato. These results provide useful and important information for potato breeders and researchers, in order to increase the antioxidant capacity and functional value of colored potatoes for use in the food and pharmaceutical industries.

Key words: color-fleshed potatoes, total phenolics, antioxidant activity, anticancer activity

서 론

감자(*Solanum tuberosum* L.)는 세계 4대 작물 중의 하나로 연간 3억 5천만 톤이 생산되고 있으며(1), 양질의 단백질과 함께 칼슘, 마그네슘 등의 무기질과 비타민 C 등을 많이 함유하고 있어 훌륭한 식량자원으로 이용된다(2). 또한 기운을 좋게 하고, 뱃속을 든든하게 하며, 소화기관을 튼튼하게 한다고 알려져 있으며, 예로부터 동맥경화, 심장병 및 간장병과 같은 만성질환을 치료한다 하여 민간요법으로 다양하게 이용되어 왔다.

최근 한국인은 국민소득의 증대와 더불어 식생활의 패턴이 서구화되면서 동물성 식품의 잦은 섭취로 인해 각종 암, 성인병과 만성퇴행성 질환 발병률이 증가하고 있다(3,4). 이에 따라 건강에 대한 관심이 높아지고 있으며, 다양한 식물을 이용한 기능성식품의 수요가 늘어나고 있다. 또한, 식품에 대한 소비자들의 인식이 안전성 측면으로 바뀌면서, 합성

품이 아닌 천연자원을 기능성 소재로 활용, 개발하기 위한 연구가 시도되고 있다(5). 이러한 사회적 풍토는 식용 또는 관상용으로 사용하던 다양한 원예작물의 기능성 연구 활동에도 영향을 미치고 있어, 이를 활용한 천연자원의 생리활성 성분과 기능성 성분을 조사하여 식품학적 가치를 향상시키는 등 다방면으로의 연구가 필요하다.

유색감자는 수분함량이 높아 장기저장이 어려운 일반감자의 단점을 보완하여 개발된 것으로, 일반감자보다 병충해에 강하고, 독특한 맛과 색을 함유하고 있어(6) 기호가 높을 뿐만 아니라 식욕을 증진시킨다. 또한, 아린 맛이 덜해서 과일처럼 생식이 가능하기 때문에 조리로 인한 영양성분의 손실을 줄일 수 있다. 한편, 유색감자 껍질의 육색은 적색 또는 보라색을 띠고 있는데 이것은 수용성 색소인 안토시아닌으로 과실류나 채소류, 꽃 그리고 낙엽 등에 많이 함유되어 있으며, 여러 가지 생리활성을 지닌다.

기존에 보고된 유색감자의 연구로는 재배환경 및 질소시

[†]Corresponding author. E-mail: yoonky2441@ynu.ac.kr
Phone: 82-53-810-2878, Fax: 82-53-810-4768

비량(소비량)이 자주색 감자 '자심'의 안토시아닌 색소 축적에 미치는 영향(7), 유색감자 색소의 특성 및 안정성에 관한 연구(8), 한국산 유색감자 색소의 이화학적 특성 및 생리활성에 관한 연구(9) 등이 있으며, 대부분 감자 껍질의 색소 성분인 안토시아닌의 생리활성에 관한 연구로 주요 식용 부위인 괴경 내부를 중심으로 한 연구는 미미한 실정이다. 또한 많은 연구들이 유색감자 중 표피와 내부 육질까지 자색으로 착색되어 있는 '자심' 품종에 대한 것이 대부분이어서 원예식물로서 다양한 유색감자의 생리활성을 분석하여 기능성식품 소재로서의 이용성을 높일 수 있는 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 유색감자의 식품학적 가치를 향상시키고, 고기능성 유색감자 신품종 육성 및 활용에 기초자료를 제공하고자 일반감자인 '수미'와 다양한 품종의 유색감자에 탄올 추출물의 항산화 및 항암활성을 평가하여 생리활성을 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에서는 2008년 10월 중순 충북 증평군에서 재배된 유색감자 6종('레드', '로즈', '하령', '블루', '자서', '자심')과 우리나라에서 널리 보급되고 있는 '수미'를 시중에서 구입하여 사용하였다. 구입 즉시 세척하고 껍질을 제거한 후 동결건조(MDF-43, Sanyo, Tokyo, Japan)시켰으며, 60 mesh의 체에 걸러 분말로 만들어 -40°C 에 보관하였다.

추출물 제조

감자분말 40 g에 80% 에탄올 800 mL를 가하여 60°C 수욕조에서 3시간 동안 3회 환류 추출하였다. 추출액을 filter paper(Whatman No. 1, Maidstone, England)로 걸러 감압농축(R-124, Buchi, Flawil, Switzerland) 하였으며, 동결건조 하였다. 동결 건조물 2 g을 증류수 200 mL로 다시 용해하였으며, 일정량의 농도로 희석하여 -70°C 에 보관하면서 실험에 사용하였다.

총 폴리페놀

총 폴리페놀 함량은 Folin-Denis(10) 방법으로 측정하였다. 추출물 0.2 mL와 Folin-ciocalteu's phenol reagent 0.2 mL를 잘 혼합한 후 3분간 실온에서 반응시키고, 10% Na_2CO_3 0.4 mL와 증류수 4 mL를 첨가하여 실온에서 1시간 방치한 후 725 nm에서 흡광도를 측정(U-2000, Hitachi, Tokyo, Japan)하였다. Gallic acid(Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 0, 100, 200, 300 그리고 400 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 농도로 표준 검량곡선을 작성하여 계산하였으며, 감자의 총 폴리페놀 함량은 분말 시료 100 g에 대한 mg 함량으로 나타내었다.

전자공여능

전자공여능은 Blois(11)의 방법에 따라 안정한 유리 라디칼인 DPPH(1,1-diphenyl-2-picryl hydrazyl)에 대한 추출

물과의 전자공여 효과로써 이 반응에 의해 DPPH가 감소하는 정도를 측정하였다. 각 추출물을 농도별로 제조한 시료 2 mL에 0.2 mM DPPH 용액 1 mL를 가하고, 10초간 vortex mixing 후 37°C 에서 30분간 반응시켰으며, 517 nm에서 흡광도를 측정(U-2000, Hitachi)하였다. 이때 전자공여능(electron donating ability, EDA %)은 시료 첨가구와 비첨가구의 흡광도 차이를 백분율(%)로 구하여 산출하였다.

Hydroxyl radical 소거능

Hydroxyl radical 소거능은 Gutteridge(12) 방법에 따라 시험관에 1 mM FeSO_4 와 EDTA, 10 mM 2-deoxyribose, 농도별로 제조한 각 추출물을 각각 0.2 mL씩 가하고 0.1 M phosphate buffer(pH 7.2) 1.2 mL와 10 mM H_2O_2 0.2 mL를 가하여 37°C 수욕상에서 1시간 반응시킨 용액을 사용하여 측정하였다. 반응시킨 용액 0.5 mL에 2.8% trichloroacetic acid(TCA) 용액 1 mL를 가하여 반응을 중지시킨 후, 1% thiobarbituric acid(TBA) 용액 1 mL를 가하여 다시 100°C 의 수욕상에서 10분간 가열시켰으며, 이것을 급냉하여 532 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 hydroxyl radical 소거능은 시료 첨가구와 비첨가구의 흡광도 차이를 백분율(%)로 구하여 산출하였다.

세포배양

세포주는 THP-1(Human acute monocytic leukemia cell line)과 HepG₂(Hepatocellular carcinoma, human)로 한국세포주은행(Seoul, Korea)에서 분양 받아 사용하였다. 각각의 세포는 10% fetal bovine serum(FBS, Welgene, Daegu, Korea)과 1% antibiotics(Welgene)가 함유된 Rosewell Park Memorial Institute(RPMI 1640, Welgene) 배지와 Dulbecco's modified Eagle's medium(DMEM, Welgene) 배지를 사용하였으며 37°C , 5% CO_2 incubator(MCO-17AIC, Sanyo)에서 배양하였다. 세포 밀도가 높아지면 0.05% trypsin-0.53 mM ethylenediaminetetraacetic acid(EDTA, Welgene)를 처리하여 계대배양 하였다.

WST-1 assay

각 세포들을 96 well plate(Falcon microtest, Becton Dickinson, Sparks, MD, USA)에 well당 5×10^4 개로 분주한 다음 감자 추출물을 0, 30, 60 그리고 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 농도로 처리하였다. 48시간 후, WST-1 용액(Cell Proliferation Reagent WST-1, Roche Applied Science, Mannheim, Germany)을 각 well당 10 μL 씩 넣고 37°C , 5% CO_2 incubator(MCO-17AIC, Sanyo)에서 4시간 반응시켰으며, ELISA microplate reader(Emax, Molecular Devices, Sunnyvale, CA, USA)를 사용해 450 nm에서 흡광도를 측정(U-2000, Hitachi)하였다.

MTT assay

배양된 세포를 96 well plate(Falcon microtest, Becton Dickinson)에 well당 3×10^4 개로 분주한 다음 추출물을 0,

30, 60 그리고 100 µg/mL 농도로 처리하였다. 48시간 후, 처리한 추출물에 5 mg/mL로 제조한 MTT{3-(4,5-dimethyl-2-thiazolyl)-2,5-diphenyl-2H-tetrazoliumbromide, Sigma Aldrich} 용액 20 µL를 각 well에 첨가한 다음, 호일로 빛을 차단하고 37°C, 5% CO₂ incubator(MCO-17AIC, Sanyo)에서 4시간 동안 반응시켰다. 반응 후, 상등액을 제거하고 DMSO 200 µL를 첨가하여 비수용성의 MTT formazan을 용해시켰으며, ELISA microplate reader(Emax, Molecular Devices)를 사용해 540 nm에서 흡광도를 측정(U-2000, Hitachi)하였다.

통계처리

본 실험의 결과는 3회 반복으로 수행된 평균과 표준편차로 나타내었으며, 각 실험결과에 대한 통계분석은 SPSS(Ver. 18.0, SPSS Inc, Chicago, IL, USA) 통계 프로그램을 이용하였다. 총 폴리페놀 및 전자공여능, hydroxyl radical 소거능은 p<0.05 수준에서 일원배치 분산분석법을 시행하고 Duncan's multiple range test로 각 실험군 평균치 간의 유의적 차이를 검증하였으며, 항암활성 결과는 대조군에 대한 각 실험군 간의 유의차로 p<0.05, p<0.001 수준에서 t-test로 검증하였다. 또한, 각 실험결과들의 상관관계를 알아보기 위하여 p<0.05 수준에서 Pearson's correlation test를 실시하였다.

결과 및 고찰

총 폴리페놀 함량

식물에 널리 존재하는 phytochemical 중 폴리페놀 화합물은 식품에 많이 분포되어 있으며, 천연항산화제로의 작용이 우수하다(13,14). 각종 질병의 치료 및 예방에 효과가 있어 폴리페놀 함량이 높은 식물은 건강보조식품 재료로서도 각광받고 있다. 이에 따라 일반감자와 유색감자의 항산화활성과 관련이 깊은 총 폴리페놀 함량을 측정하였으며, 그 결과는 Fig. 1과 같다. 일반감자 '수미'의 총 폴리페놀 함량은 120.0 mg/100 g powder로 감자 중 가장 낮았으며, 모든 유색

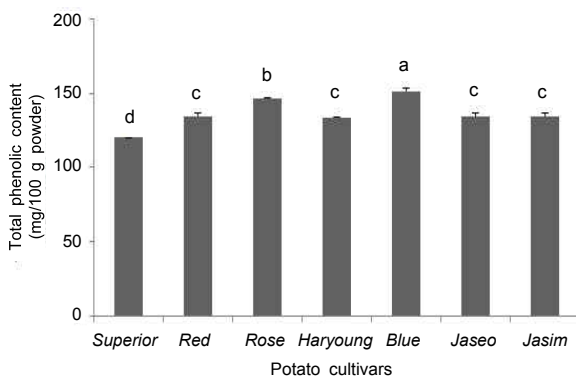


Fig. 1. Total phenolic content of ethanol extracts from various potato cultivars. Mean±SD (n=3). Mean in a bar with different letters are significantly different at 5% significance level by Duncan's multiple range test.

감자의 폴리페놀 함량이 '수미'보다 높았다. 특히, '블루'와 '로즈'는 각각 151.1 mg/100 g powder와 146.7 mg/100 g powder로 다른 유색감자에 비해 높은 폴리페놀을 함유하고 있었다. 이는 다른 유색감자에 비해 '블루'와 '로즈'의 육색이 적색 또는 보라색을 나타내는 안토시아닌 색소가 많이 함유되어 있기 때문인 것으로 판단된다. Velioglu 등(15)은 다양한 과일, 채소, 곡물의 총 폴리페놀 함량을 측정된 결과, 보라색 감자와 일반감자의 총 폴리페놀 함량이 각각 781 mg/100 g과 437 mg/100 g이라고 보고하여 유색감자가 일반 감자에 비해 많은 양의 폴리페놀을 함유하고 있었으며, 그 함량은 본 연구에 비해 높게 나타났다. 또한, Han 등(16)은 안토시아닌이 풍부한 보라색 감자 추출물의 항산화활성을 연구한 결과에서 밝은 보라색을 나타내는 감자의 폴리페놀 함량은 241.7 mg/100 g, 약간 어두운 보라색을 나타내는 감자의 폴리페놀 함량은 505.4 mg/100 g으로 보고하였다. Wu 등(17)은 미국의 일상식품에서의 항산화활성을 측정된 연구에서 감자의 폴리페놀 함량이 100 g당 122 mg에서 179 mg으로 나타났다고 보고하여 본 연구 결과와 유사하였다. 반면, Rumbaoa 등(18)은 필리핀 감자의 페놀 함량과 항산화 활성을 측정된 결과, 감자 100 g당 감자의 총 페놀 함량이 34.4 mg에서 50.0 mg으로 나타나 본 연구 결과보다 낮은 함량을 나타내었다. 이상에서 각 연구에 따라 감자의 폴리페놀 함량이 다른 것은 품종과 재배지역 및 재배환경에 따른 차이에 기인한 것으로 판단되나 대부분의 연구에서 일반감자보다 유색감자의 폴리페놀 함량이 더 높게 나타난 것은 일치하였다.

항산화 활성

보라색의 안정한 유리 라디칼인 DPPH는 항산화제나 환원제에 의해 노란색의 diphenylpicryl hydrazine으로 환원되는 물질이다. 따라서 환원되는 DPPH의 양으로 감자 추출물의 항산화활성을 측정하기 위해 추출물 농도에 따른 전자공여능을 측정하였다(Table 1). '수미'와 대부분의 유색감자 에탄올 추출물의 전자공여능은 농도가 높을수록 증가하였으며, 2,000 µg/mL 농도에서는 '레드'와 '하령'을 제외한 모든 유색감자의 활성이 '수미'보다 높았다. 그중에서도 '블루'가 44.5%로 유색감자 중 가장 높은 활성을 나타내었으며, '로즈'

Table 1. Electron donating ability of ethanol extracts from various potato cultivars (%)

Cultivar	Concentration (µg/mL)			
	250	500	1,000	2,000
Superior	0.0±0.0 ^c	1.0±0.3 ^d	9.1±0.9 ^c	21.5±1.5 ^d
Red	5.5±1.0 ^b	6.3±0.7 ^c	8.3±0.2 ^c	11.7±0.7 ^e
Rose	4.5±2.6 ^b	10.3±1.7 ^b	23.6±2.0 ^{ab}	40.3±1.0 ^b
Haryoung	0.0±0.0 ^c	6.1±0.4 ^c	8.8±1.8 ^c	12.1±0.6 ^e
Blue	7.7±0.6 ^a	15.2±4.3 ^a	27.6±1.1 ^a	44.5±1.6 ^a
Jaseo	5.5±0.6 ^c	2.0±0.4 ^c	12.0±1.7 ^c	23.6±1.6 ^c
Jasim	1.6±1.0 ^c	5.4±1.2 ^d	19.3±6.7 ^b	40.0±1.0 ^b

Mean±SD (n=3).

Mean in a column with different letters are significantly different at 5% significance level by Duncan's multiple range test.

및 '자심' 또한 각각 40.3, 40.0%로 다른 유색감자에 비해 유의적으로 높은 활성을 보였다. Zhou와 Yu(19)는 콜로라도에서 재배된 채소의 총 폴리페놀 및 항산화 특성을 연구한 결과, 4,000 µg/mL 농도의 감자 추출물 DPPH 소거능이 13~38%로 나타났다고 보고하였다. 또한, Faller와 Fialho(20)는 유기농과 일반적으로 재배된 다양한 채소들의 조리 전과 후의 항산화활성 및 폴리페놀 함량을 측정할 결과, 감자의 DPPH 소거능이 유기농으로 재배된 감자는 11.2%, 일반적으로 재배된 감자는 13.0%로 나타났으며, 조리 후 더 높은 DPPH 소거능을 나타내었다고 보고하였다. Reddivari 등(21)의 연구에서는 품종에 따른 감자의 DPPH 소거능이 17.0~95.7%로 품종에 따른 라디칼 소거능의 차이가 크게 나타났다고 보고하였다. 게다가 내부 육질이 같은 yellow임에도 불구하고 표피의 색이 purple에 가까울수록 라디칼 소거능이 높은 것으로 보아 표피의 색 또한 라디칼 소거능의 높고 낮음에 영향을 주는 것으로 판단된다. 따라서 껍질을 제거한 후 내부 육질만 사용하여 분석한 본 실험에서는 Reddivari 등(21)의 연구에서 나타난 DPPH 소거능보다 낮은 수치였으나 감자는 일반적으로 껍질을 제거하고 내부 육질만 식용하는 원예작물이기 때문에 섭취방법을 고려했을 경우에는 본 연구에서 나타난 항산화 활성이 소비자들에게 더욱 유용할 것으로 판단된다.

Hydroxyl radical은 H_2O_2 가 Fe, Cu와 같은 금속과 반응하여 분해되면서 생성되는 것으로 전자친화성이 높고 열화학적 반응성이 크기 때문에 DNA에 염기를 첨가하거나 DNA 나선으로부터 양성자를 제거하여 DNA 가닥을 절단한다. 또한 염기를 변형시키고 구성당인 deoxyribose를 분해하기도 하여 단백질의 기능을 손상시킬 수 있다(22,23). 따라서 항산화능의 중요한 척도로 감자의 hydroxyl radical 소거능을 측정하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다. 농도가 높아질수록 hydroxyl radical 소거 활성이 증가하는 경향을 보였으며, 500 µg/mL 농도와 1,000 µg/mL 농도에서는 모든 유색감자의 hydroxyl radical 소거능이 일반감자 '수미'보다 높게 측정되었다. 2,000 µg/mL 농도에서는 '하령'을 제외한 나머지 유색감자의 hydroxyl radical 소거능이 '수미'보다 높았으며,

Table 2. Hydroxyl radical scavenging ability of ethanol extracts from various potato cultivars (%)

Cultivar	Concentration (µg/mL)			
	250	500	1,000	2,000
<i>Superior</i>	8.5±0.1 ^a	9.3±0.7 ^f	20.1±0.4 ^e	34.9±0.5 ^e
<i>Red</i>	10.0±1.4 ^a	15.4±1.2 ^c	35.2±0.8 ^b	43.5±1.4 ^{cd}
<i>Rose</i>	0.0±0.0 ^b	13.0±0.8 ^d	23.3±0.7 ^d	45.4±0.6 ^{bc}
<i>Haryoung</i>	8.7±0.8 ^a	10.9±0.5 ^e	21.1±0.4 ^e	31.0±0.9 ^f
<i>Blue</i>	9.2±0.3 ^a	23.7±0.7 ^a	39.9±0.8 ^a	65.5±1.3 ^a
<i>Jaseo</i>	9.1±0.4 ^a	17.7±0.5 ^b	29.8±1.9 ^c	42.0±0.8 ^d
<i>Jasim</i>	9.7±1.8 ^a	18.5±1.4 ^b	24.2±0.8 ^d	47.2±1.6 ^b

Mean±SD (n=3).

Mean in a column with different letters are significantly different at 5% significance level by Duncan's multiple range test.

그중에서도 '블루'의 소거능이 65.5%로 가장 높았다. Cha와 Cho(24)는 감자껍질 추출물의 hydroxyl radical 및 superoxide radical 소거능이 94%로 매우 뛰어난 항산화활성이 나타났다고 보고하였다. 이러한 결과는 본 실험에서의 결과와 비교했을 때 매우 높은 소거능이지만 이는 감자의 과육보다 껍질에 더 많이 함유되어 있는 폴리페놀 및 플라보노이드의 항산화활성에 기인한 것으로 판단된다.

항암활성

WST-1은 세포내로 흡수된 후, mitochondria의 succinate dehydrogenase에 의해 수용성 crystal을 형성하는데 이 물질의 세포 내 축적은 mitochondria의 활성, 넓게는 세포의 활성을 의미하므로 세포의 생존을 측정하는 방법으로 이용되고 있다. 또한 조작법이 편리하여 suspension cell의 생존을 측정하는데 유용할 뿐만 아니라 감도가 좋고 유기용제에 의한 가용화가 필요하지 않아 시간을 단축시킬 수 있는 새로운 방법으로 알려져 있다(25). 따라서 감자 추출물의 암세포 THP-1에 대한 세포독성을 WST-1용액으로 측정하였으며, 결과는 Fig. 2와 같다. '수미', '레드', '로즈', '하령'을 제외한 유색감자에서 암세포 THP-1의 생존율이 낮게 나타났고, '블루', '자서', '자심'이 100 µg/mL 농도에서 암 세포에 대한 강한 활성을 나타내었다. 특히 '블루'는 모든 농도에서 THP-1의 생존율이 낮게 측정되어 암세포의 증식을 억제하는 데 큰 효과가 있을 것으로 기대된다.

MTT assay는 세포독성 실험으로 많이 이용되는 방법 중 하나이며, 탈수소 효소작용에 의하여 노란색의 수용성 기질인 MTT tetrazolium을 청자색을 띠는 비수용성의 MTT formazan으로 환원시키는 mitochondria의 능력을 평가한다. 따라서 감자 에탄올 추출물의 간암세포 HepG₂에 대한 세포독성을 MTT assay 방법으로 측정하였으며, 결과는 Fig. 3과 같다. 대부분의 유색감자는 '수미'와 유의적인 차이가 나타나지 않았으며, 100 µg/mL 농도에서의 '블루'만이 '수미'보다 높은 항암효과를 나타내었다.

Park 등(26)은 유색감자 추출물의 항돌연변이 및 항암활

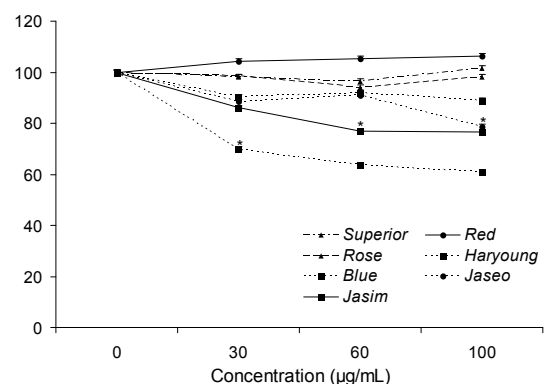


Fig. 2. Effects of ethanol extracts of various potatoes on THP-1 cell proliferation. Mean±SD (n=3). *Significant when compared to *Superior* extracts at $p < 0.05$.

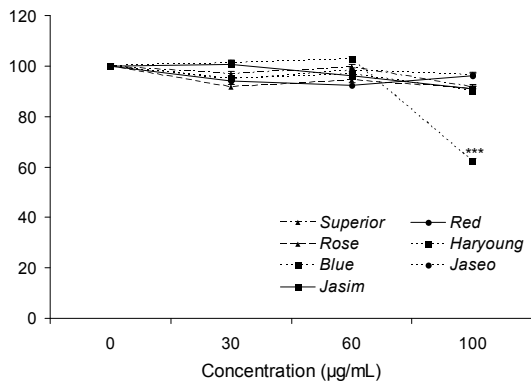


Fig. 3. Effects of ethanol extracts of various potatoes on HepG₂ cell proliferation. Mean ± SD (n=3). ***Significant when compared to Superior extracts at p<0.001.

성을 측정할 결과, 전립선암 세포주(LNCaP), 결장암 세포주(HCT-15, SW-620), 신장암 세포주(ACHN), 폐암 세포주(A549), 백혈병 세포주(MOLT-4F) 중 전립선암 및 신장암 그리고 백혈병 세포주만이 생육억제 효과를 나타내었다고 보고하였으며, 유색감자 중에서도 괴경 내부가 보라색을 나타내는 ‘자영’이 다양한 암세포주에 대하여 가장 높은 항암 활성을 나타내는 것으로 보고하였다.

이상의 결과, 본 연구에서 유색감자가 전단구 백혈병 세포주인 THP-1에 대한 증식 억제 효과만 존재할 뿐, 간암세포인 HepG₂의 생존 억제에는 활성이 거의 없는 것으로 보아 유색감자는 cell cytotoxicity에 대한 특이성이 존재할 것으로 생각된다. 또한, 항산화 실험 결과와 비교했을 때 항암 활성을 나타내는 결과가 비슷한 추이를 나타낸 것으로 보아 감자 중에서도 ‘블루’와 같은 특정 몇 가지 유색감자는 항산화뿐만 아니라 항암효과도 기대할 수 있는 기능성식품으로써의 가치가 높을 것으로 판단된다.

총 폴리페놀, 항산화 및 항암활성의 상관관계

유색감자 추출물의 항산화 및 항암활성의 상관관계를 조사한 결과는 Table 3과 같다. 총 폴리페놀과 hydroxyl radical 소거능은 r=0.776(p<0.05)으로 나타나 유의적인 상관관계가 나타났으며, hydroxyl radical 소거능과 HepG₂에 대한 세포독성 또한 r=-0.795(p<0.05)로 유의적인 상관관계가 존

Table 3. Correlation coefficients among phenolic contents, free radical scavenging activity, nitrate scavenging activity, and cell cytotoxicity of potato cultivars

	TPC	DPPH	OH	WST-1	MTT
TPC	1	0.647	0.776*	-0.525	-0.632
DPPH		1	0.758*	-0.614	-0.588
OH			1	-0.681	-0.795*
WST-1				1	0.708
MTT					1

TPC, total phenolic content; DPPH, DPPH radical scavenging activity; OH, OH radical scavenging activity; WST-1, cytotoxicity on THP1 cells by WST-1 assay; MTT, cytotoxicity on HepG₂ cells by MTT assay.

*p<0.05.

재하는 것으로 나타났다. Katsube 등(27)은 다양한 식물의 항산화활성을 검토한 결과, 총 폴리페놀 함량이 저밀도지단 백질의 산화뿐만 아니라 라디칼 소거능과도 강한 상관관계를 보였다고 보고하였으며, Parejo 등(28)의 연구에서도 폴리페놀 함량이 높을수록 라디칼 소거능 또한 높게 나타났다고 보고하였다. 또한, Oh 등(29)은 양치식물에 속하는 쇠뜨기에서 분리한 페놀성분과 플라보노이드의 간 보호작용 및 라디칼 소거능을 연구한 결과, 일부 분획물에서 라디칼 소거능과 HepG₂에 대한 세포독성이 높은 상관관계를 나타내었다고 보고하였다. 이러한 결과는 폴리페놀 함량이 항산화 및 항암활성에 중요한 영향을 미치는 것을 의미하며 본 연구에서의 결과 또한 이를 증명해줄 것으로 판단된다.

요 약

유색감자의 식품학적 가치를 향상시키고, 고기능성 유색감자 신품종 육성 및 기능성식품의 천연소재로써 기초자료를 제공하고자 일반감자인 ‘수미’와 다양한 유색감자의 생리활성을 평가하였다. 총 폴리페놀 함량은 ‘수미’가 120.0 mg/100 g powder, ‘블루’가 151.1 mg/100 g으로 유색감자가 일반감자보다 더 많은 폴리페놀을 함유하고 있는 것으로 나타났다. 전자공여능은 추출물의 농도가 높아질수록 활성이 증가하였으며, ‘레드’와 ‘하령’을 제외한 유색감자의 활성이 ‘수미’보다 뛰어났다. Hydroxyl radical 소거능은 2,000 µg/mL 농도에서 ‘하령’을 제외한 나머지 유색감자의 활성이 ‘수미’보다 높았으며, 특히 ‘블루’가 65.5%로 가장 높았다. 전단구 백혈병 세포주인 THP-1에 대한 세포 독성은 ‘블루’, ‘자서’, ‘자심’이 강한 활성을 나타내었고, 간암세포 HepG₂에 대한 증식 억제 효과는 ‘블루’만이 높은 항암효과를 나타내었다. 이상의 결과, 유색감자는 일반감자보다 항산화 및 항암활성이 뛰어난 것으로 나타났으며, 특히 유색감자 중에서도 ‘블루’의 생리활성이 높은 것으로 나타났다. 따라서 ‘블루’를 비롯한 다양한 종류의 유색감자는 기능성식품 소재로써 개발할 가치가 매우 높음을 알 수 있으며, 특히 감자가 주식 또는 부식으로 손쉽게 섭취하는 식용작물임을 감안할 때 그 가능성은 더욱 증대될 수 있을 것으로 판단된다.

문 헌

- Choi IY, Song YJ, Lee WH. 2008. DPPH radical scavenging effect and antimicrobial activities of some herbal extracts. *Kor J Hort Sci Technol* 28: 871-876.
- Kolasa KM. 1993. The potato and human nutrition. *Am J Potato Res* 70: 375-384.
- Kim YE, Kwon ET, Han D, Kim LH, Ku KH. 2008. Antioxidant activity, fibrinolysis and angiotensin covering enzyme inhibitory activity of pine mushroom juice (*Tricholoma matsutake* Sing.). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 535-541.
- Oh HS, Kim JH. 2006. Development of functional soy-based stew sauce including hot water extracts of *Cornus officina*-

- lis S. et Z. *Korean J Food Culture* 21: 550-558.
5. Hwang IG, Kim HY, Shin SL, Lee CH, Lee JS, Jang KI, Jeong HS. 2010. Biological activities of *Coreopsis tinctoria* Nutt. flower extracts. *Korean J Hort Sci Technol* 28: 857-863.
 6. Johnson CA. 1995. 1995-1996 seed acres reflect more varieties, market shifts. *Valley Potato Grow* 61: 13-16.
 7. Jeong JC, Chang DG, Yoon YH, Park CS, Kim SY. 2006. Effect of cultural environments and nitrogen fertilization levels on the anthocyanin accumulation of purple-fleshed potato. *J Bio-Environ Con* 15: 204-210.
 8. Park HJ, Jeon TW, Lee SH, Cho YS, Cho SM, Chang KS. 2004. Studies on characteristics and stability of anthocyanin pigment extracted from Korean purple-fleshed potatoes. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 1544-1551.
 9. Jeon TW, Cho YS, Lee SH, Cho SM, Cho HM, Chang KS, Park HJ. 2005. Studies on the biological activities and physicochemical characteristics of pigments extracted from Korean purple-fleshed potato. *Korean J Food Sci Technol* 37: 247-254.
 10. Folin O, Denis W. 1912. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagent. *J Biol Chem* 12: 239-243.
 11. Blois MS. 1958. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature* 181: 1199-1200.
 12. Gutteridge JM. 1984. Reactivity of hydroxyl and hydroxyl-like radicals discriminated by release of thiobarbituric acid reactive material from deoxy sugars, nucleosides and benzoate. *J Biol Chem* 224: 761-767.
 13. Sato M, Ramarathanm N, Suzuki Y, Ohkubo T, Takeuchi M, Ochi H. 1996. Varietal differences in the phenolic content and superoxide radical scavenging potential of wines from different sources. *J Agric Food Chem* 44: 37-41.
 14. Fitzpatrick DF, Hirschfield SL, Coffey RG. 1993. Endothelium-dependent vasorelaxing activity of wine and other grape products. *Am J Physiol* 265: H774-H778.
 15. Velioglu YS, Mazza G, Gao L, Oomah BD. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *J Agric Food Chem* 46: 4113-4117.
 16. Han KH, Sekikawa M, Shimada K, Hashimoto M, Hashimoto N, Noda T, Tanaka H, Fukushima M. 2006. Anthocyanin-rich purple potato flake extract has antioxidant capacity and improves antioxidant potential in rats. *Brit J Nutr* 96: 1125-1133.
 17. Wu X, Beecher GR, Holden JM, Haytowitz DB, Gebhardt SE, Prior RL. 2004. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *J Agric Food Chem* 52: 4026-4037.
 18. Rumbaoa RGO, Cornago DF, Geronimo IM. 2009. Phenolic content and antioxidant capacity of Philippine potato (*Solanum tuberosum*) tubers. *J Food Compos Anal* 22: 546-550.
 19. Zhou K, Yu L. 2006. Total phenolic contents and antioxidant properties of commonly consumed vegetable grown in Colorado. *LWT-Food Sci Technol* 39: 1155-1162.
 20. Faller ALK, Fialho E. 2009. The antioxidant capacity and polyphenol content of organic and conventional retail vegetables after domestic cooking. *Food Res Int* 42: 210-215.
 21. Reddivari L, Hale AL, Miller JC Jr. 2007. Determination of phenolic content, composition and their contribution to antioxidant activity in specialty potato selections. *Am J Potato Res* 84: 275-282.
 22. Okexie IA, Susan LC. 1997. *Antioxidant methodology: In vivo and in vitro concepts*. AOCS Press, Champaign, IL, USA. p 110-112.
 23. Larson RA. 1997. *Naturally occurring antioxidants*. Lewis Publishers, New York, NY, USA. p 7-11.
 24. Cha JY, Cho YS. 2003. Studies on antioxidative activity of green tea extracts in medilite-extraction water. *J Life Sci* 13: 174-198.
 25. Park SW, Kim SG, Kim MJ. 2006. Antioxidative activity and cytotoxicity on human KB cell of extracts from *Rhododendron mucronulatum* Turcz. flower. *Korean J Food Preserv* 13: 501-505.
 26. Park YE, Jeong JC, Cho HM, Hwang YS, Lee HJ, Choi SSN, Lee SJ, Park ES, Ko EA, Kim NS, Lim JD, Choung MG. 2008. Antimutagenic effect and cytotoxicity to human cancer cell lines of colored potato extracts. *Korean J Crop Sci* 53: 75-84.
 27. Katsube T, Tabata H, Ohta Y, Yamasaki Y, Anuurad E, Shiwaku K, Yamane Y. 2004. Screening for antioxidant activity in edible plant products: comparison of low-density lipoprotein oxidation assay, DPPH radical scavenging assay, and Folin-Ciocalteu assay. *J Agric Food Chem* 52: 2391-2396.
 28. Parejo I, Viladomat F, Bastida J, Rosas-Romero A, Flerlage N, Burillo J, Codina C. 2002. Comparison between the radical scavenging activity and antioxidant activity of six distilled and nondistilled Mediterranean herbs and aromatic plants. *J Agric Food Chem* 50: 6882-6890.
 29. Oh HC, Kim DH, Cho JH, Kim YC. 2004. Hepatoprotective and free radical scavenging activities of phenolic petrosins and flavonoids isolated from *Equisetum arvense*. *J Ethnopharmacol* 95: 421-424.

(2012년 4월 23일 접수; 2012년 6월 4일 채택)