

## 젖산 발효 감자주스의 품질 특성 및 항산화 활성

김남조 · 윤경영<sup>†</sup>  
영남대학교 식품영양학과

### Qualities and Antioxidant Activity of Lactic Acid Fermented-Potato Juice

Nam Jo Kim and Kyung Young Yoon<sup>†</sup>

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

#### Abstract

This study was conducted to investigate the chemical properties and functionality of probiotic potato juice fermented by *Lactobacillus casei*. Free sugar content (especially glucose) of potatoes decreased by fermentation, but organic acid contents increased by fermentation. Although the free amino acid content of *Superior* juice significantly decreased after fermentation, *Haryeong* significantly increased after fermentation.  $\gamma$ -Aminobutyric acid, a functional amino acid, was detected at high levels in all samples and slightly decreased with fermentation, but not significantly. The total polyphenol content of potato juice showed insignificant changes in all samples by fermentation. The hydroxyl radical scavenging activity of all samples was more than 90%, and most of the activity was maintained after fermentation. The nitrite scavenging ability of all samples greatly decreased with fermentation; however a SOD-like activity slightly increased with fermentation, except for *Haryeong*. There was a significant xanthine oxidase inhibitory effect in fresh potato juice (more than 45%) and a low loss by fermentation. From our results, most of the chemical properties and functionality of potato juice are maintained after fermentation, although free sugar content and nitrite scavenging activity decline. Thus probiotic potato juice fermented by lactic acid could be used as a functional beverage.

**Key words:** potato, antioxidant activity, probiotic juice, fermentation, lactic acid bacteria

#### 서 론

감자(*Solanum tuberosum* L.)는 세계 4대 작물 중의 하나로 연간 3억 5천만 톤이 생산되고 있으며, 비교적 양질의 단백질과 함께 칼슘, 마그네슘 등의 무기질과 비타민 C 등을 많이 함유하고 있어 훌륭한 식량자원으로 이용된다(1). 현재 재배되고 있는 감자 괴경의 육색은 대부분 백색이나 연황색 계통이 주종을 이루지만(2), 내부에 적색 또는 보라색 안토시아닌 색소를 함유하는 유색감자의 재배 또한 활발히 이루어지고 있다. 유색감자의 안토시아닌은 합성색소들의 안정성 문제가 제기되면서 식품에 첨가하는 천연 색소로 각광받고 있으며(3), 또한 항산화 기능이 밝혀지면서 암 예방, 순환기질환 치료, 염증억제 등에 매우 효과적이라고 보고되어 있다(4). 이처럼 유색감자의 항산화작용은 *in vivo* 및 *in vitro* 실험에서도 입증되고 있어 이를 바탕으로 많은 연구가 이루어지고 있다(5). 유색감자는 주로 샐러드나 튀김, chip 등의 형태로 가공 이용되고 있으나 감자주스를 이용한 연구는 아직 미약한 실정이며, 특히 젖산균을 이용한 probiotic 음료로의 이용은 더욱 미진하다.

Probiotics란 항생물질에 대비되어 사용되는 말로서 '숙주의 장내 균총의 능력을 개선시킴으로써 숙주의 건강에 유익한 효과를 주는 살아있는 미생물(젖산균과 다른 박테리아, 또는 건조된 상태 또는 발효제품 내의 효모)'이라 정의하고 있다(6). 현재 *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Lactococcus*와 같은 젖산균이 probiotic에 많이 이용되고 있으며, 이 균들은 식품 내에서 젖산발효를 일으켜 식품의 부패를 방지하고 bacteriocin과 같은 항균물질을 분비하여 식중독균을 억제하며 사람의 장내 pH를 낮추어 장내 부패세균의 증식을 억제하는 등의 효과를 가지고 있다(7). 또한 probiotic 미생물은 정장작용과 유당불내증의 격감, 혈중 콜레스테롤 수준의 감소, 항암작용, 면역활성 증강작용 및 식품의 영양학적 가치의 증진효과를 가지고 있다(8).

과거 몇 십년동안 probiotic 제품의 대부분이 요구르트와 같은 발효 유제품이었으며, 연구 또한 유제품 중심으로 진행되어 왔다. 요구르트는 전통적으로 우유를 젖산균으로 발효시켜 만들어 왔으나, 유제품은 allergy, 유당불내증 등의 문제를 지닌 사람이나 저지방 다이어트를 행하는 사람에게는 기피되어 왔다(9). 이러한 문제를 보완하기 위해 최근에는

<sup>†</sup>Corresponding author. E-mail: yoonky2441@ynu.ac.kr  
Phone: 82-53-810-2878, Fax: 82-53-810-4768

*Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium lactis* 등을 이용하여 probiotic 과채음료를 생산하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재 밤(9) 및 반려지(10), 매실(11), 당근(12), noni(5) 등을 이용한 probiotic 과채음료에 관한 연구가 보고되어 있다.

본 연구는 비타민 C와 다양한 무기질을 함유한 감자에 probiotic 기능을 가진 젖산균을 이용하여 칼로리가 낮고 영양성과 기능성이 뛰어난 젖산발효 감자주스를 제조하고자 하였다. 본 연구자는 앞선 연구에서 감자주스는 영양성분의 첨가 없이도 젖산균이 잘 증식함으로써 probiotic 음료로의 활용 가능성이 높음을 확인하였다(13). 따라서 본 연구에서는 젖산 발효된 감자주스의 probiotic 음료로서의 식품학적 및 기능성을 확인하고자 젖산발효 전후의 감자주스의 이화학적 품질 및 항산화 활성을 비교하여 측정하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 실험은 국내에서 육종된 유색감자 3종(하령, 홍영, 자영)과 우리나라에서 널리 보급되고 있는 일반감자(수미)를 사용하였으며, 2009년 10월 중순에 강원도 평창군에서 재배된 것을 구입하여 실험재료로 사용하였다.

### 감자주스의 제조

감자의 껍질을 제거하여 세척, 절단한 후 녹즙기(Juice maker J 500, Samsung, Seoul, Korea)로 감자를 착즙하고, 착즙액의 불용성 물질을 제거하기 위하여 20분간 원심분리(8,000×g, 4°C)하였다. 원심분리한 감자주스에 1%(w/v)의 α-amylase를 첨가하여 37°C 항온배양기(IB-600M, Jeio Tech Co., Daejeon, Korea)에서 48시간 동안 전분을 분해시켰다. 분해된 감자주스를 100°C에서 20분간 살균한 후, 남은 불용성 물질을 제거하기 위해 20분간 원심분리 하여 상등액을 취해 -42°C deep freezer(MDF-435, Sanyo, Tokyo, Japan)에 동결·보관하면서 시료로 사용하였다.

### 감자주스의 젖산발효

Probiotic 기능을 가진 젖산발효 감자주스를 제조하기 위해 사용한 균주는 한국미생물 보존센터에서 *Lactobacillus casei*(*L. casei*) ATCC 393을 분양받아 *Lactobacilli* MRS broth(Becton, Dickinson and Company, Sparks, MD, USA)에 접종하여 37°C 항온배양기(IB-600M, Jeio Tech Co.)에서 24시간 배양한 뒤, 균주의 단일 콜로니를 취해 3회 계대배양하여 사용하였다. Starter의 균수가 약  $1 \times 10^6$  CFU/mL가 되도록 0.1% 펩톤수로 희석하여 감자주스 20 mL에 0.5%(v/v) 접종한 후 37°C 항온배양기(IB-600M, Jeio Tech Co.)에서 72시간 동안 발효시켰으며, 72시간 발효액의 품질 특성 및 기능성을 발효전 감자주스의 특성과 비교 분석하였다.

### 유리당, 유기산 및 유리아미노산 함량

감자주스 일정량을 0.45 μm membrane filter(Milipore, Billerica, MA, USA)로 여과하여 유리당, 유기산 및 유리아미노산 분석을 위한 시료로 사용하였다. 유리당 및 유기산의 함량은 HPLC(Water 600, Waters Co., Miliford, MA, USA)로 분석하였으며, 유리아미노산의 함량은 amino acid analyzer(L-8800, Hitach, Tokyo, Japan)로 분석하였다.

### 총 폴리페놀 함량

총 폴리페놀 함량은 Folin-Denis법(14)으로 측정하였다. 즉 감자주스 0.2 mL를 시험관에 취하고 여기에 0.2 mL Folin-Ciocalteu's phenol reagent를 첨가하여 잘 혼합한 후 3분간 실온에 방치한 다음, 10% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 0.4 mL를 가하여 혼합하고 증류수 4 mL를 첨가하여 실온에서 1시간 방치한 후 720 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 총 폴리페놀 함량은 tannic acid(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 이용하여 작성한 표준곡선으로부터 환산하여 구하였다.

### 총 플라보노이드 함량

총 플라보노이드 함량은 Moreno 등(15)의 방법에 준하여 측정하였다. 감자주스 0.5 mL에 10% aluminum nitrate와 1 M potassium acetate를 각각 0.1 mL, 80% ethanol 4.3 mL를 가하여 혼합하고 실온에서 40분 정치한 후 415 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 총 플라보노이드 함량은 quercetin(Sigma-Aldrich)을 이용하여 작성한 표준곡선으로부터 환산하여 구하였다.

### Hydroxyl radical 소거능

Gutteridge(16)의 방법에 따라 시험관에 1 mM FeSO<sub>4</sub>와 EDTA, 10 mM 2-deoxyribose, 감자주스를 각각 0.2 mL씩 가하고 0.1 M phosphate buffer(pH 7.4) 1.2 mL와 10 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 0.2 mL, 1 mM ascorbic acid 0.2 mL를 가하여 37°C 수용상에서 1시간 반응시켰다. 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 100°C의 수용상에서 10분간 가열시켰으며, 반응용액을 급냉하여 523 nm에서 흡광도를 측정하였다. Hydroxyl radical 소거능(%)은 시료용액의 첨가구와 무첨가구 사이의 흡광도 감소율로 나타내었다.

### 아질산염 소거능

감자주스의 아질산염 소거능은 Kato 등(17)의 방법에 준하여 측정하였다. 1 mM의 NaNO<sub>2</sub> 용액 1 mL에 시료 0.2 mL를 첨가하고 여기에 0.1 N HCl과 0.2 N citrate buffer를 사용하여 반응용액의 pH를 1.2로 조정하고 반응용액의 부피를 5 mL로 조정한 후 37°C에서 1시간 동안 반응시켰다. 이 반응용액을 0.5 mL씩 취하여 초산용액 2.5 mL를 첨가한 후, Griess 시약(A : B = 1 : 1, A : 1% sulfanilic acid in 30% acetic acid, B : 1% naphthylamine in 30% acetic acid) 0.2 mL를

가하여 실온에서 15분간 방치시킨 후 520 nm에서 흡광도를 측정하였다. 아질산염 소거능(%)은 시료용액의 첨가구와 무첨가구 사이의 흡광도 감소율로 나타내었다.

#### Superoxide dismutase(SOD) 유사활성

SOD 유사활성 측정은 Bradford(18)의 방법에 따라 각 시료 0.2 mL에 pH 8.5로 보정한 tris-HCl buffer[50 mM tris (hydroxymethyl) aminomethane+10 mM EDTA] 3 mL와 7.2 mM pyrogallol 0.2 mL를 가하고 25°C에서 10분간 방치 후 1 N HCl 0.1 mL로 반응을 정지시킨 다음 420 nm에서 흡광도를 측정하였다. SOD 유사활성(%)은 시료용액의 첨가구와 무첨가구 사이의 흡광도 감소율로 나타내었다.

#### Xanthine oxidase 저해활성

Xanthine oxidase 저해활성 측정은 Stirpe와 Della Corte (19)의 방법에 따라 측정하였다. 각 시료용액 0.1 mL와 0.1 M potassium phosphate buffer(pH 7.5) 0.6 mL에 2 mM의 xanthine 0.2 mL를 첨가하고 xanthine oxidase(0.1 unit/mL) 0.1 mL를 가하여 37°C에서 5분간 반응시킨 후, 1 N HCl 1 mL를 가하여 반응을 종료시킨 다음 반응액 중에 생성된 uric acid의 흡광도를 292 nm에서 측정하였다. Xanthine oxidase 저해활성(%)은 시료용액의 첨가구와 무첨가구의 흡광도 감소율로 나타내었다.

#### 통계처리

모든 실험의 결과는 3반복으로 수행된 평균값과 표준편차로 나타내었으며, 각 실험결과에 대한 통계분석은 SPSS (Ver. 18, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 통계 프로그램을 이용하였다. 또한 감자주스의 발효 전후 실험군 간의 유의적 차이를 알아보기 위해  $p < 0.05$  수준에서  $t$ -test로 검증하였다.

## 결과 및 고찰

### 유리당 함량

감자주스의 발효 전후의 유리당 함량을 분석한 결과는 Table 1과 같다. 일반감자인 수미주스의 유리당은 glucose와 maltose로 구성되어 있는데 반해 유색감자주스는 glu-

cose와 sucrose로 구성되어 있었으며, fructose는 모든 감자주스에서 검출되지 않았다. 72시간 발효 후 모든 감자주스의 유리당 함량은 발효 전과 비교했을 때 감소하는 경향을 나타내었고, 이는 Hwang (11)이 보고한 매실의 젖산발효 후 유리당 함량이 감소하는 것과 일치하였다. 특히 하령과 자영은 총 유리당의 감소가 크게 나타났는데, 그중 glucose의 감소가 하령은 93%, 자영은 58%로 나타나 *L. casei*가 발효과정에서 일차적으로 glucose를 이용함을 알 수 있었다. 반면 sucrose의 경우 감소율이 매우 낮거나 그 함량이 일부 증가하였는데, 이는 감자에 존재하는 다당류가 발효과정 중 분해되어 생성된 것으로 판단된다. 하령과 자영의 경우 유리당의 감소율이 수미에 비해 높았으나 발효 후에도 그 함량이 높게 나타나 발효 감자주스의 단맛에 크게 관여할 것으로 생각된다.

### 유기산

젖산균의 대사산물로부터 생성되는 유기산은 맛, 향, 영양적 측면 이외에도 젖산균 생육 활성의 중요한 지표이다. 감자주스의 유기산을 분석한 결과는 Table 2와 같다. 감자주스에는 발효와 관계없이 malic acid, tartaric acid, citric acid 등 다양한 유기산이 존재함을 알 수 있었다. 특히 홍영은 유기산 중 tartaric acid의 함량이 가장 높았고, 그 외의 감자주스는 succinic acid의 함량이 가장 많았다. 72시간 발효된 감자주스의 유기산 함량은 발효되지 않은 감자주스에 비해 높은 함량을 보였으며, 이는 약용식물을 첨가하여 제조한 감자의 젖산발효 시 유기산의 함량이 증가되었다는 Cho 등 (20)의 보고와 일치하였다. 특히 lactic acid와 acetic acid의 함량 증가가 현저하였는데, 이는 *L. casei*가 이형젖산발효를 하고 있음을 알 수 있었다. 4종의 감자 중 하령이 가장 많은 lactic acid를 생산했고, 그 값은 발효 후 126.4 mg/100 mL로 발효 전과 비교했을 때 약 7배 증가하였다. Acetic acid는 일반감자인 수미에서 가장 높게 나타났고, 그 값은 201.1 mg/100 mL로 발효 전보다 약 8배 증가하였다. 이와 같이 감자주스에는 여러 종류의 유기산이 함유되어 있었으며, 발효에 의한 유기산 함량의 변화는 시료에 따라 차이가 나타났으나, 감자주스의 맛과 품질을 결정하는데 주요 요인으로 작용할 것으로 생각된다.

Table 1. Change in free sugar contents of potato juice by fermentation

(mg/100 mL)

Potato juice		Glucose	Maltose	Sucrose	Total
<i>Superior</i>	Fresh	23.3±1.4 <sup>1)*</sup>	69.5±1.1*	ND <sup>2)</sup>	9.7±1.5*
	Fermented	19.1±0.7	54.7±1.4	ND	73.7±1.9
<i>Haryeong</i>	Fresh	394.6±81*	ND	98.5±3.4*	493.7±1.9*
	Fermented	26.9±1.6	ND	179.9±7.0	206.8±6.9
<i>Hongyoung</i>	Fresh	51.0±0.2*	ND	33.8±1.5	84.8±1.5*
	Fermented	37.2±0.5	ND	32.1±0.7	69.3±1.2
<i>Jayoung</i>	Fresh	291.6±11.7*	ND	143.2±1.6	434.8±11.5*
	Fermented	123.2±10.2	ND	141.4±13.6	264.6±23.8

<sup>1)</sup>Mean±SD (n=3). <sup>2)</sup>ND: Not detected.

\*Significantly different between before and after fermentation by  $t$ -test at  $p < 0.05$ .

Table 2. Change in organic acid contents of potato juice by fermentation (mg/100 mL)

Potato juice		Oxalic acid	Tartaric-acid	Malic acid	Lactic acid	Succinic-acid	Citric acid	Acetic-acid	Total
<i>Superior</i>	Fresh	6.4±0.5 <sup>1)</sup>	111.1±9.8*	8.4±2.7	14.0±1.5*	178.8±5.7	71.1±3.3*	27.2±2.5*	417.0±5.9*
	Fermented	6.5±0.0	102.3±7.7	8.8±0.4	47.6±5.0	191.7±9.5	27.7±1.4	201.1±7.8	585.7±12.6
<i>Haryeong</i>	Fresh	6.1±0.3*	116.3±19.0	5.6±0.7*	18.4±7.7*	118.7±17.5	ND <sup>2)</sup>	44.7±1.3*	309.8±19.8*
	Fermented	7.0±0.2	99.0±0.4	8.8±0.3	126.4±1.7	131.0±6.1	ND	72.2±2.2	444.3±8.5
<i>Hongyoung</i>	Fresh	6.3±0.0*	692.2±26.0*	3.2±0.4*	6.5±1.0*	384.2±6.6*	14.9±1.3*	47.4±1.0*	1154.8±33.9
	Fermented	7.3±0.1	605.1±44.4	4.5±0.4	23.7±0.5	501.4±2.8	19.9±1.1	68.8±0.9	1230.7±43.7
<i>Jayoung</i>	Fresh	5.2±0.0*	91.0±10.3*	21.2±2.1	12.6±0.9*	296.5±24.7*	ND	71.7±4.9*	56.9±29.8*
	Fermented	5.7±0.2	32.0±1.7	22.7±1.2	54.9±3.0	361.8±6.8	ND	98.8±3.3	674.8±2.0

<sup>1)</sup>Mean±SD (n=3). <sup>2)</sup>ND: Not detected.

\*Significantly different between before and after fermentation by t-test at p<0.05.

Table 3. Change in essential free amino acid contents of potato juice by fermentation (mg/100 mL)

Potato juice		Threonine	Valine	Methionine	Isoleucine	Leucine	Phenylalanine	Lysine	Total
<i>Superior</i>	Fresh	26.3±2.2 <sup>1)</sup> *	54.6±4.6*	10.6±0.9	19.5±1.5	23.1±2.0	41.1±3.6*	7.7±0.7	182.9±15.5*
	Fermented	22.2±1.5	36.8±9.4	9.6±0.7	17.7±1.3	21.5±1.6	36.0±2.5	7.7±0.6	151.5±1.2
<i>Haryeong</i>	Fresh	19.3±0.6	47.3±1.5	11.5±0.4	16.9±0.4*	10.1±0.2	33.1±0.8	3.1±0.1	141.3±4.1
	Fermented	18.7±0.8	40.3±11.2	11.8±0.4	19.8±0.8	13.8±0.6	36.3±1.7	4.1±0.2	144.9±6.8
<i>Hongyoung</i>	Fresh	2.5±0.0*	54.7±1.6*	13.2±0.3*	18.3±0.5	11.3±0.3*	10.9±0.3*	0.9±0.0	111.8±3.2
	Fermented	4.1±0.1	43.3±13.7	10.5±0.1	19.1±0.1	12.0±0.2	11.3±0.0	0.8±0.0	101.2±13.9
<i>Jayoung</i>	Fresh	25.5±3.7	59.3±7.7*	18.7±1.9*	23.1±3.1	19.3±2.6	20.1±2.7	2.7±0.4	168.6±22.1*
	Fermented	25.4±1.0	27.9±2.0	10.9±0.3	21.1±0.7	17.8±0.6	18.4±0.7	2.5±0.1	124.0±5.5

<sup>1)</sup>Mean±SD (n=3).

\*Significantly different between before and after fermentation by t-test at p<0.05.

유리아미노산

감자주스에 함유된 유리아미노산의 함량을 측정한 결과는 Table 3, 4 및 Fig. 1, 2와 같다. 감자주스의 필수 유리아미노산 조성(Table 3)을 살펴보면 모든 감자주스에서 valine의 함량이 가장 높게 나타났으며, phenylalanine의 함량도 높게 나타났다. 반면 모든 감자주스에서 tryptophan은 검출되지 않았다. 총 필수 유리아미노산의 함량은 하령을 제외하고 모두 감소하였으며, 자영의 경우 발효 전 168.6 mg/100 mL에서 발효 후 124.0 mg/100 mL로 감소율이 가장 컸다. 하령의 경우 발효 전 141.3 mg/100 mL에서 발효 후 144.9 mg/

100 mL로 다소 증가하였으나 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 이와 같은 유리아미노산의 함량 증가는 젖산발효 중 다른 감자에 비해 하령의 pH 감소가 크게 나타나(13) 감자에 함유된 단백질의 일부가 분해된 결과로 생각된다. 발효 전후 수미의 총 필수 유리아미노산 함량이 각각 182.9 mg/100 mL 및 151.5 mg/100 mL로 감자주스 중 가장 높은 값을 나타내었다.

감자주스의 비필수 유리아미노산의 조성을 살펴보면 (Table 4) 수미와 홍영은 감칠맛을 부여하는 glutamic acid의 함량이, 하령은 aspartic acid의 함량이 가장 높게 나타났으며, 자영은 tyrosine의 함량이 가장 높게 나타났다. 또한

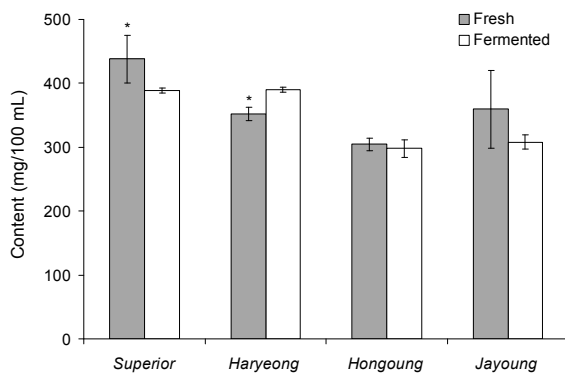


Fig. 1. Change in total free amino acid contents of potato juice by fermentation. Each bar represents mean±standard deviation of triplicate. \*Significantly different between before and after fermentation by t-test at p<0.05.

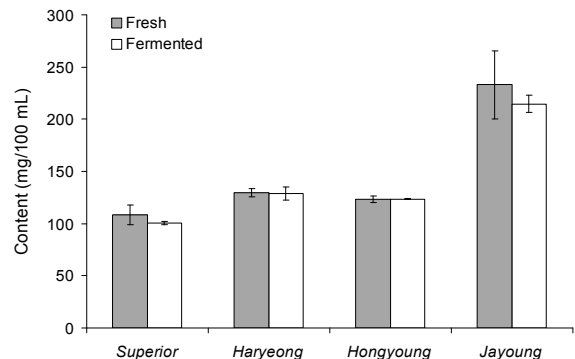


Fig. 2. Change in  $\gamma$ -aminobutyric acid contents of potato juice by fermentation. Each bar represents mean±standard deviation of triplicate.

Table 4. Change in nonessential free amino acid contents of potato juice by fermentation (mg/100 mL)

Potato juice	Potato juice											Total
	Aspartic acid	Serine	Glutamic acid	Glycine	Alanine	Cystine	Tyrosine	Histidine	Arginine	Proline		
<i>Superior</i>	Fresh	9.8±0.9 <sup>1)</sup> *	0.3±0.0*	86.7±7.4*	10.4±0.8	28.1±2.4	2.0±0.3*	19.3±1.7*	14.9±1.3	0.4±0.1*	83.2±7.1	255.2±21.9
	Fermented	14.2±0.8	0.6±0.0	77.8±4.6	9.6±0.6	26.0±1.8	0.3±0.0	17.4±1.3	12.9±0.9	0.8±0.0	78.8±0.5	238.4±9.7
<i>Haryeong</i>	Fresh	53.7±2.1*	0.6±0.0*	25.9±1.2*	4.1±0.1*	11.6±0.4	3.4±1.0	38.7±0.8*	21.4±0.6*	37.9±0.7	13.7±0.2	210.9±7.0
	Fermented	65.7±2.6	2.2±0.0	32.7±1.5	5.3±0.2	13.1±0.5	2.9±0.0	42.1±1.9	23.2±1.1	42.0±2.3	15.6±0.8	244.9±11.1
<i>Hongyoung</i>	Fresh	5.6±0.1*	0.9±0.0	91.3±3.5	8.0±0.2	19.7±0.5*	0.5±0.0	33.9±1.1	15.3±0.5	0.4±0.0	17.1±0.5	192.5±6.4
	Fermented	0.2±0.1	0.8±0.1	91.8±0.0	8.5±0.0	20.9±0.1	0.4±0.0	35.8±0.2	15.0±0.1	0.4±0.0	18.0±0.1	196.7±0.0
<i>Jayoung</i>	Fresh	26.0±3.8	3.0±0.4	39.1±5.5	9.1±1.3	18.4±5.5	4.9±1.0*	44.4±5.7	22.4±3.1	2.1±0.3	21.4±2.4	190.8±38.9
	Fermented	23.9±1.0	2.6±0.1	34.9±1.4	8.6±0.4	27.6±1.2	2.7±1.0	42.2±1.4	20.5±0.7	1.8±0.1	19.5±0.9	184.2±6.2

<sup>1)</sup>Mean±SD (n=3).

\*Significantly different between before and after fermentation by t-test at p&lt;0.05.

감자의 품종에 따라 비필수 유리아미노산의 조성은 시료간의 차이가 크게 나타났다. 총 비필수 유리아미노산의 함량은 필수아미노산과 마찬가지로 수미에서 가장 높게 나타났으며, 자영에서 가장 낮은 값을 나타내었다. 또한 하령과 홍영은 발효 후 그 함량이 증가되었으며 수미와 자영은 감소하였는데, 수미가 발효 전 255.2 mg/100 mL에서 발효 후 238.4 mg/100 mL로 감소하여 감소율이 가장 크게 나타났으나 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

이상의 결과에 따라 총 유리아미노산의 함량 변화를 측정 한 결과(Fig. 1), 하령을 제외하고 모든 감자주스는 발효 후 그 함량이 감소되었으며, 특히 수미의 경우 유의적인 감소를 나타내었다. 반면 하령의 경우 총 유리아미노산의 함량이 발효 전 352.1 mg/100 mL에서 발효 후 389.9 mg/100 mL로 유의적으로 증가하였는데, 이는 발효 중 pH의 감소가 커(13) 이에 따른 유리아미노산의 감소에 비해 감자에 함유된 단백질의 가수분해가 더 많이 진행되어 그 함량이 증가한 것으로 판단된다.

필수 및 비필수아미노산 외에 기능성 아미노산으로 알려진  $\gamma$ -aminobutyric acid(GABA)의 함량을 측정 한 결과는 Fig. 2와 같았다. 모든 감자주스에서 그 함량이 매우 높게 측정되었으며, 특히 자영의 경우 발효 전과 후 각각 232.9 mg/100 mL와 214.7 mg/100 mL로 가장 많은 함량을 나타내었다. 또한 모든 주스에서 발효에 의해 다소 감소하였으나 유의적인 차이는 나타나지 않아 발효 후에도 그 함량이 잘 유지됨을 알 수 있었다. 이는 Pyo(21)가 보고한 홍국균으로 발효시킨 콩의 GABA 함량보다 약 3배 이상 높은 함량이었다. GABA는 식물과 미생물에서 생합성 되는 비단백태 아미노산으로 사람의 신경계와 혈액에 주로 함유되어 있으며, 아세틸콜린이라 불리는 신경전달 물질을 증가시켜 뇌기능을 촉진하는 주요한 물질이다(22). 특히 연골의 혈관 중추에 작용하여 우수한 혈압강하작용을 하는 것으로 알려졌다(23).

이상과 같이 감자주스에는 다양한 유리아미노산이 함유되어 있었으며, 감자주스의 종류에 따라 유리아미노산의 조성 과 함량의 차이가 나타났다. 또한 발효에 따른 감자주스의 유리아미노산 함량은 시료마다 각기 다른 양상으로 변화하였다. 또한 젖산발효 감자주스의 꾸준한 섭취는 높은 GABA의 함량에 의한 고혈압을 예방할 수 있는 방법이 될 수 있으며, 나아가 감자주스의 항고혈압활성에 대한 지속적인 연구가 필요할 것이라고 사료된다.

#### 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량

식물에 널리 존재하는 phytochemical 중 에 폴리페놀 화합물은 식물에 많이 분포되어 있으며, 천연항산화제로의 작용이 우수하다. 이에 따라 일반감자와 유색감자를 이용한 감자주스의 항산화 활성과 관련이 깊은 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량을 측정하였으며, 그 결과는 Table 5와 같다. 감자주스의 총 폴리페놀 함량은 자영에서 가장 높게 나타났고,

Table 5. Changes in total polyphenol and flavonoid contents of potato juice by fermentation (mg/100 mL)

Sample	Total polyphenol		Total flavonoid	
	Fresh	Fermented	Fresh	Fermented
Superior	221.4±1.8 <sup>1)</sup>	216.6±1.6	15.6±1.0*	7.0±0.1
Haryeong	414.3±6.9	430.5±3.7	85.9±1.6*	104.4±1.7
Hongyoung	525.6±18.1	523.8±8.4	30.2±0.6*	27.3±0.2
Jayoung	664.2±16.9	674.9±13.4	40.2±0.4*	48.3±1.0

<sup>1)</sup>Mean ± SD (n=3).

\*Significantly different between before and after fermentation by t-test at p<0.05.

그 함량은 발효 전후 각각 664.2 mg/100 mL와 674.9 mg/100 mL로 발효에 의해 다소 증가하였으나 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 또한 하령의 경우 발효 전 414.3 mg/100 mL, 발효 후 430.5 mg/100 mL로 발효에 의해 함량이 증가하였으나 유의적인 차이는 없었다. 반면 홍영의 경우 발효 전 후 각각 525.6 mg/100 mL와 523.8 mg/100 mL로 발효에 의해 감소하였지만 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 감자주스 중 수미의 총 폴리페놀 함량은 발효 후 216.6 mg/100 mL로 가장 낮은 함량을 나타내었지만, Son 등(24)이 보고한 비트즙을 첨가한 당근 젖산 발효 음료의 총 폴리페놀 함량보다 매우 높은 수준이었다. 이와 같이 감자주스의 총 폴리페놀 함량은 감자의 종류에 따라 차이가 있었으며, 품종 간 폴리페놀 함량의 차이는 항산화 활성에 많은 영향을 미칠 것으로 생각된다.

감자주스의 총 플라보노이드 함량은 총 폴리페놀과 같은

경향으로 수미보다 유색감자가 더 높게 나타났다. 유색감자 중 괴경이 노란색을 띠고 있는 하령이 발효 후 104.4 mg/100 mL로 가장 높은 함량을 나타내었는데, 이는 총 폴리페놀 함량의 약 25%에 달하였다. 또한 하령과 자영의 경우 발효 후 플라보노이드 함량이 유의적으로 증가하였는데, 이는 발효 과정에서 식물조직의 세포벽 성분과 결합되어 있던 배당체 형태의 플라보노이드가 가수분해되어 활성형의 aglycone 형태로 전환되었기 때문인 것으로 판단된다(25).

항산화 활성

감자주스의 발효에 의한 항산화 활성 변화를 측정된 결과는 Fig. 3과 같다. Hydroxyl radical은 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>가 Fe, Cu와 같은 금속과 반응하여 분해되면서 생성되는 것으로 전자친화성이 높고 열화학적 반응성이 크기 때문에 DNA에 염기를 첨가하거나 DNA 나선으로부터 양성자를 제거하는 DNA 가닥을 절단한다. 또한 염기를 변형시키고 구성당인 deoxy-ribose를 분해하기도 하여 단백질의 기능을 손상시킬 수 있다(26). 따라서 항산화능의 중요한 척도로 감자주스의 hydroxyl radical 소거능을 측정하였다. 모든 감자주스에서 hydroxyl radical 소거능이 매우 높게 나타났으며, 발효 후에도 활성의 변화는 거의 나타나지 않았다. 감자주스 중 수미가 가장 높은 활성을 보였으며, 발효 후 수미와 하령은 hydroxyl radical 소거능은 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 반면 홍영과 자영의 경우 발효 후 그 활성이 유의적으로 증가하였는데, 이는 발효 후 폴리페놀 함량의 증가에 기인한

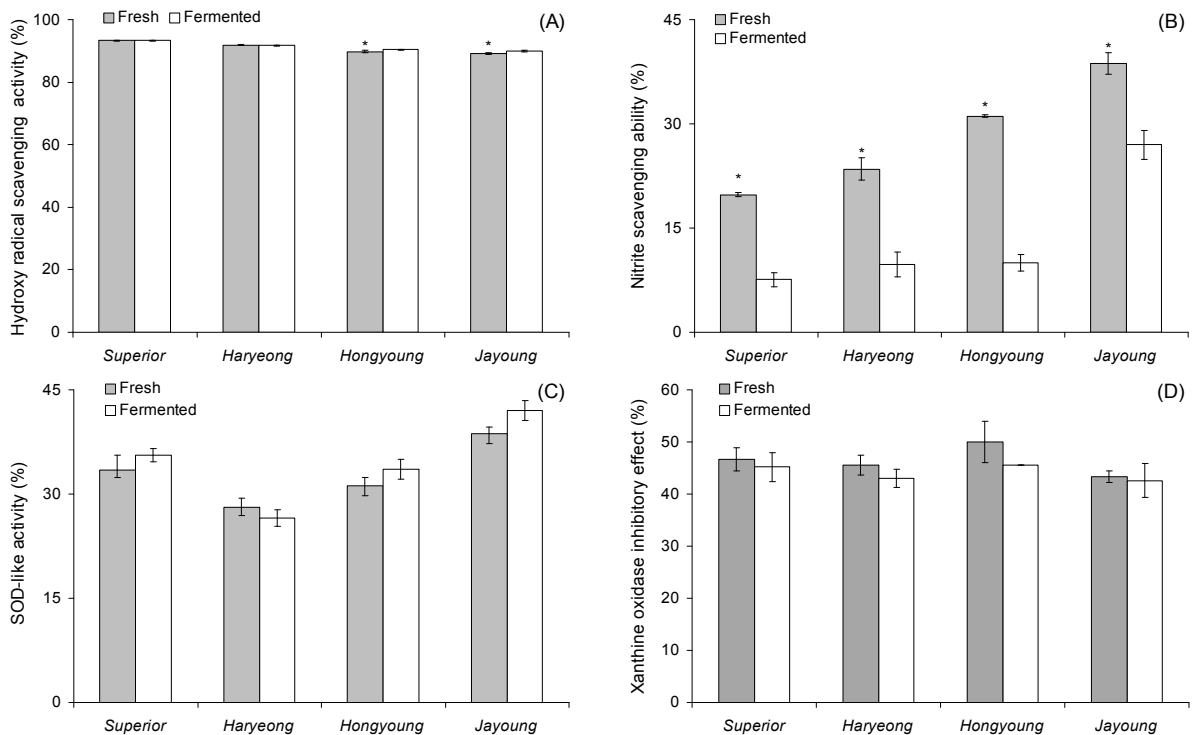


Fig. 3. Change in antioxidant activity of potato juice by fermentation. (A) Hydroxy radical scavenging activity. (B) Nitrite scavenging ability. (C) SOD-like activity. (D) Xanthine oxidase inhibitory effect. Each bar represents mean±standard deviation of triplicate. \*Significantly different between before and after fermentation by t-test at p<0.05.

것으로 판단된다. 또한 모든 감자주스에서 90% 이상의 hydroxyl radical 소거능을 나타내었는데, 이는 Jang 등(27)이 보고한 일반감자와 유색감자 추출물의 hydroxyl radical 소거능보다 높은 수준이었다. 이러한 결과로 감자주스는 발효에 관계없이 전자친화성이 높은 hydroxyl radical의 체내 산화를 억제하는 능력이 매우 클 것으로 생각된다.

육제품이나 수산가공품 등에 발색제로 첨가되는 질산염이나 아질산염은 육제품의 발색 및 육색의 안정화에 기여할 뿐만 아니라 *Clostridium botulinum*에 대한 정균작용 및 육류의 보수성과 결착성을 개선하는 중요한 역할을 한다(28). 그러나 이것을 식품첨가물로 섭취할 경우 위에서는 2급 및 3급 amine류와 반응하여 핵산이나 단백질 또는 세포내의 성분을 알칼리화 함으로써 암을 유발하는 nitrosoamine을 생성한다(29). 따라서 사람 위액의 pH가 극히 낮은 것을 고려하여 pH 1.2에서 발암 전단계의 억제를 확인하고자 감자주스의 아질산염 소거능을 측정하였다. 유색감자가 수미에 비해 아질산염 소거능보다 높게 나타났고, 특히 자영의 아질산염 소거능이 발효 후 38.7%로 가장 높게 나타났다. 이는 Choi 등(30)이 보고한 젓산 발효된 양파의 아질산염 소거능(24.89%)보다 높음을 알 수 있었다. Cooney 등(31)은 폐놀성 물질이 니트로화 반응을 강력하게 억제한다고 하였는데, 자영주스의 높은 아질산염 소거능은 폴리페놀 함량에 기인한 것으로 판단된다. 또한 모든 감자주스의 아질산염 소거능은 발효 후 유의적으로 감소하였다. 이는 아질산염 소거능은 라디칼 소거능에 비해 폴리페놀 함량 뿐만 아니라 ascorbic acid 함량에 의해서 크게 영향을 받는 것으로 보고되어(32), 발효 중 감자주스의 ascorbic acid의 함량의 감소가 클 것으로 추측된다.

감자주스의 SOD 유사활성능은 26.1~42.7% 범위로 나타났다. 자영의 SOD 유사활성능이 다른 감자주스보다 높게 나타났으며, 발효 후에는 42.0%의 유사활성을 나타내었다. 또한 하령을 제외한 수미, 홍영 및 자영의 경우 발효에 의해 그 활성이 다소 증가하였으나 유의적인 차이는 없었다. 하령의 경우 발효에 의해 활성이 감소되어 발효 후 26.5%의 활성으로 감자주스 중 가장 낮은 활성을 보였지만, Oh와 Kim(33)이 보고한 청국장과 된장의 SOD 유사활성능보다 높은 수준이었다. SOD는 세포의 해로운 환원 산소종(superoxide)을 과산화수소로 전환시키는 반응을 촉매하는 효소로, SOD에 의해 생성된 과산화수소는 peroxidase나 catalase에 의하여 물과 산소분자로 전환되기 때문에 결국 산소 상해로부터 생체를 보호하는 기능을 하게 된다.

Xanthine oxidase 저해활성능을 측정한 결과, 발효 전 감자주스의 xanthine oxidase 저해활성은 43.3~50.0%이었으며, 발효 후 42.6~45.6%로 발효에 의해 약간 감소하는 경향을 보였으나 유의적인 차이는 없었다. 또한 감자주스의 xanthine oxidase 저해활성은 Park과 Jang(7)이 보고한 발효된 복분자 농축액의 xanthine oxidase 저해활성과 유사한 수준

이었다. Xanthine oxidase는 생체 내 purine 대사에 관여하는 효소로서 xanthine 또는 hypoxanthine으로부터 uric acid를 형성하게 된다. 혈장 내에 uric acid가 증가하게 되면 낮은 용해성으로 인하여 골절에 축적되어 통증을 일으키는 통풍을 유발할 뿐만 아니라 신장에 침착되어 신장질환을 일으키기도 한다(34). 따라서 감자주스의 꾸준한 섭취는 통풍을 비롯한 xanthine oxidase에 의해 유도되는 질병의 예방에 도움을 줄 것으로 기대된다.

이상의 결과에서 젓산발효 감자주스는 아질산염 소거능을 제외한 모든 항산화 활성이 잘 유지되는 것을 알 수 있었다. Nazzaro 등(12)은 당근 주스를 젓산 발효한 결과 항산화 활성이 증가하였다고 보고하여 본 연구 결과와 다소 차이가 있었다. 하지만 반려지 주스(10) 및 noni 주스(5)를 젓산 발효한 결과, 발효 전후 항산화 활성에 유의적인 차이가 없다고 보고하여 본 연구 결과와 유사하였다. 이와 같이 젓산 발효에 따른 항산화 활성은 젓산균 및 과채류의 종류, 발효 조건에 따라 그 변화가 다른 것으로 나타남을 알 수 있었다. 따라서 젓산발효 감자주스의 꾸준한 섭취는 probiotic 효과와 더불어 체내의 산화적 장해를 방어할 수 있을 것으로 생각된다.

## 요 약

본 연구는 일반감자와 내부에 적색 또는 보라색 안토시아닌 색소를 함유하는 유색감자에 probiotic 기능을 가진 젓산균을 이용하여 칼로리가 낮고 영양성과 기능성이 뛰어난 젓산발효 감자주스를 제조하여 이들 감자주스의 품질 특성 및 항산화 활성을 측정하였다. 감자주스의 유리당 함량은 발효에 의해 크게 감소하였으며, 특히 glucose의 감소율이 크게 나타났다. 감자주스의 유기산을 분석한 결과, malic acid, tartaric acid, citric acid 등 다양한 유기산이 함유되어 있었으며, 발효에 의해 그 함량이 크게 증가함을 알 수 있었다. 유리 아미노산의 함량은 하령은 유의적으로 증가하였으며, 반면 수미는 유의적인 감소를 보였다. 또한 기능성 아미노산인  $\gamma$ -aminobutyric acid(GABA)가 모든 감자주스에서 높은 함량 검출되었고 특히 자영에서 발효 전후 각각 232.9와 214.7 mg/100 mL로 가장 많은 함량을 나타내었으며, 발효 후 약간 감소하였으나 유의적인 차이는 보이지 않았다. 총 폴리페놀 함량은 유색감자 중 자영주스에서 가장 높았고 하령과 자영에서는 발효에 의해 그 함량이 증가하였으며, 수미와 홍영에서는 감소하였으나 유의적인 차이는 보이지 않았다. Hydroxyl radical 소거능은 모든 감자주스에서 약 90% 이상으로 높게 나타났으며, 발효 후에도 그 활성이 유지되었다. 아질산염 소거능은 자영에서 가장 높게 나타났으며, 발효에 의해 소거능이 크게 감소하였다. SOD 유사활성은 자영주스에서 가장 높게 나타났으며, 하령을 제외하고 발효 후 다소 증가하였으나 유의적인 차이는 없었다. Xanthine oxidase 저해활성은 모든 감자주스에서 약 45%로 유사한 저해활성을 보였으며,

발효에 의한 감소율은 적었다. 이상의 결과, 발효 후 감자주스의 유리아미노산 함량과 아질산염 소거능은 감소하였지만 대부분의 영양성과 기능성이 잘 유지되고 있음을 확인할 수 있었으며, 이로써 기능성 probiotic 효과와 항산화 활성을 갖춘 기능성 음료로서의 이용가능성이 매우 높음을 확인할 수 있었다.

## 문 헌

- Kolasa KM. 1993. The potato and human nutrition. *Am Potato J* 70: 375-384.
- Jeong JC, Chang DC, Yoon YH, Park CS, Kim SY. 2006. Effect of cultural environments and nitrogen fertilization levels on the anthocyanin accumulation of purple-fleshed potato (*Solanum tuberosum* L.) variety Jasim. *J Bio-Environ Control* 15: 204-210.
- Yoon JM, Cho MH, Hahn TR, Paik YS, Yoon HH. 1997. Physicochemical stability of anthocyanins from a Korean pigmented rice variety as natural food colorants. *Korean J Food Sci Technol* 29: 211-217.
- Saija A. 1994. Pharmacological effects of anthocyanins from blood orange juice. *Essenze Derivati Agrumari* 64: 229-233.
- Wang CY, Ng CC, Su H, Tzeng WS, Shyu YT. 2009. Probiotic potential of noni juice fermented with lactic acid bacteria and bifidobacteria. *Int J Food Sci Nutr* 60: 98-106.
- Havenaar R, Huis in't Veld JHJ. 1992. Probiotics: a general view. In *The Lactic Acid Bacteria In Health And Disease*. Wood BJB, ed. Elsevier, New York, NY, USA. p 151-170.
- Park YS, Jang HK. 2003. Lactic acid fermentation and biological activities of *Rubus coreanus*. *J Korean Soc Agric Chem Biotechnol* 46: 367-375.
- Seo JH, Lee H. 2007. Characteristics and immunomodulating activity of lactic acid bacteria for the potential probiotics. *Korean J Food Sci Technol* 39: 681-687.
- Jin HS. 2001. Lactic acid fermentation of chestnut broth. *Kor J Appl Microbiol Biotechnol* 29: 162-168.
- Tien YY, Ng CC, Chang CC, Tseng WS, Kotwal S, Shyu YT. 2005. Studies on the lactic-fermentation of sugar apple (*Annona squamosa* L.) puree. *J Food Drug Anal* 13: 377-381.
- Hwang JY. 2008. Optimization for the lactic acid fermentation of *Maesil* (*Prunus mume*). *Korean J Food & Nutr* 21: 391-396.
- Nazzaro F, Fratianni F, Sada A, Orlando P. 2008. Synbiotic potential of carrot juice supplemented with *Lactobacillus* spp. and inulin or fructooligosaccharides. *J Sci Food Agric* 88: 2271-2276.
- Kim NJ, Jang HL, Yoon KY. 2012. Potato juice fermented with *Lactobacillus casei* as a probiotic functional beverage. *Food Sci Biotechnol* 21: 1301-1307.
- Folin O, Denis W. 1912. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J Biol Chem* 12: 239-243.
- Moreno MI, Isla MI, Sampietro AR, Vattuone MA. 2000. Comparison of the free radical-scavenging activity of propolis from several regions of Argentina. *J Ethnopharmacol* 71: 109-114.
- Gutteridge JM. 1984. Reactivity of hydroxyl and hydroxyl-like radicals discriminated by release of thiobarbituric acid-reactive material from deoxy sugars, nucleosides and benzoate. *Biochem J* 224: 761-767.
- Kato H, Lee IE, Chuyen NV, Kim SB, Hayase F. 1987. Inhibition of nitrosamine formation by nondialyzable melanoidins. *Agric Biol Chem* 51: 1333-1338.
- Bradford MM. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem* 72: 248-254.
- Stirpe F, Della Corte ED. 1969. The regulation of rat river xanthine oxidase. Conversion *in vitro* of the enzyme activity from dehydrogenase (type D) to oxidase (type O). *J Biol Chem* 244: 3855-3863.
- Cho KM, Ahn BY, Seo WT. 2008. Lactic acid fermentation of *Gamju* manufactured using medicinal herb decoction. *Korean J Food Sci Technol* 40: 649-655.
- Pyo YH. 2008. Effect of *Monascus*-fermentation on the content of GABA and free amino acids in soybean. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 1208-1213.
- Wong CGT, Bottiglieri T, Snead OC. 2003. GABA,  $\gamma$ -aminobutyric acid, and neurological disease. *Ann Neurol* 54: S3-S12.
- Inoue K, Shirai T, Ochiai H, Kasao M, Hayakawa K, Kimura M, Sansawa H. 2003. Blood-pressure-lowering effect of a novel fermented milk containing  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) in mild hypertensives. *Eur J Clin Nutr* 57: 490-495.
- Son MJ, Son SJ, Lee SP. 2008. Physicochemical properties of carrot juice containing *Phellinus linteus* extract and beet extract fermented by *Leuconostoc mesenteroides* SM. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 798-804.
- Park JS, Hwang IW, Zheng HZ, Kim SK, Chung SK. 2010. Determination of optimum hydrolysis conditions for flavonoid analysis in plant leaves. *Korean J Food Preserv* 17: 261-266.
- Aruoma OI, Cuppett SL. 1997. *Antioxidant methodology. In vivo and in vitro concepts*. The American Oil Chemists Society Press, Champaign, IL, USA. p 110-112.
- Jang HL, Hong JY, Kim NJ, Kim MH, Shin SR, Yoon KY. 2011. Comparison of nutrient components and physicochemical properties of general and colored potato. *Kor J Hort Sci Technol* 29: 144-150.
- Christiansen LN, Tompkin RB, Shaparis AB, Kueper TV, Johnston RW, Kautter DA, Kolari OJ. 1974. Effect of sodium nitrite on toxin production by *Clostridium botulinum* in bacon. *Appl Microbiol* 27: 733-737.
- Macrae R, Robinson RK, Sadler MJ. 1993. *Encyclopedia of food science food technology and nutrition*. Academic Press, New York, NY, USA. p 3240-3249.
- Choi YJ, Cheigh CI, Kim SW, Jang JK, Choi YJ, Park YS, Park H, Shim KS, Chung MS. 2009. Selection of starter cultures and optimum conditions for lactic acid fermentation of onion. *Food Sci Biotechnol* 18: 1100-1108.
- Cooney RV, Ross PD, Bartolini GL. 1986. *N*-nitrosation and *N*-nitratin of morpholine by nitrogen dioxide: Inhibition by ascorbate, glutathione and  $\alpha$ -tocopherol. *Cancer Lett* 35: 83-90.
- Shin SR, Hong JY, Yoon KY. 2008. Antioxidant properties and total phenolic contents of cherry elaeagnus (*Elaeagnus multiflora* Thunb.) leaf extracts. *Food Sci Biotechnol* 17: 608-612.
- Oh HJ, Kim CS. 2007. Antioxidant and nitrite scavenging ability of fermented soybean foods (*Chungkukjang*, *Doenjang*). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 1502-1510.
- Storch J, Ferber E. 1988. Detergent-amplified chemiluminescence of lucigenin for determination of superoxide anion production by NADPH oxidase and xanthine oxidase. *Anal Biochem* 162: 262-267.