

## 야콘 식초의 품질특성 및 항당뇨 효과

이미경<sup>1</sup> · 최사라<sup>2</sup> · 이진<sup>1</sup> · 최윤홍<sup>1</sup> · 이주혜<sup>1</sup> · 박경옥<sup>2</sup> · 권승혁<sup>1</sup> · 서권일<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>순천대학교 식품영양학과  
<sup>2</sup>S&J Bio

## Quality Characteristics and Anti-Diabetic Effect of Yacon Vinegar

Mi-Kyung Lee<sup>1</sup>, Sa-Ra Choi<sup>2</sup>, Jin Lee<sup>1</sup>, Yun-Hong Choi<sup>1</sup>, Ju-Hye Lee<sup>1</sup>,  
Kyung-Uk Park<sup>2</sup>, Seung-Hyek Kwon<sup>1</sup>, and Kwon-Il Seo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Food & Nutrition, Suncheon National University, Jeonnam 540-742, Korea

<sup>2</sup>S&J Bio Co., Ltd. Jeonnam 540-742, Korea

### Abstract

This study was performed to investigate the physicochemical properties and anti-diabetic effect of yacon vinegar by two-step fermentation. Yacon was matured at room temperature for 20 days. The sugar content of yacon juice prepared from mature yacon was approximately 14°Brix. In the first stage, yacon wine was produced from the juice at 28°C for 6 days. In the second stage, acetic acid fermentation was conducted at 30°C and 200 rpm for 6 days to produce yacon vinegar with 4.75% acidity. The major free sugars of yacon vinegar were glucose and fructose at 2,072.12 mg% and 463.95 mg%, respectively. The acetic acid content was the highest of the major organic acids at 3,881.44 mg%. The total free amino acid content was 62.88 mg% with the main free amino acids being proline,  $\gamma$ -amino-n-butyric acid and ornithine. The major minerals of yacon vinegar were Ca, K and Mg. The *in vivo* anti-diabetic activity of yacon vinegar was investigated in high-fat diet (HFD)/streptozotocin (STZ)-induced diabetic mice. Diabetic mice were administered orally with 10% yacon juice and two yacon vinegars (5% and 10%) at a dose of 7 mL/kg body weight once per day for 4 weeks. Five% yacon vinegar improved the fasting blood glucose levels and glucose tolerance test significantly compared to the diabetic control group ( $p < 0.05$ ). Yacon vinegar increased the pancreatic C-peptide concentration in a dose-dependent manner. These results show that 5% yacon vinegar has a more potent effect on ameliorating hyperglycemia than 10% yacon juice.

**Key words:** yacon, vinegar, anti-diabetic, two-step fermentation

### 서론

야콘(*Smallanthus sonchifolius*)은 남미의 에콰도르와 페루가 원산지이며, 국화과에 속하는 다년생 괴근 식물로서 생김새는 고구마와 비슷하나 특유의 단맛과 아삭거림이 있어 땅속의 배라 불린다(1,2). 야콘은 fructose, glucose, sucrose, inulin 및 fructo-oligosaccharide가 다량 함유되어 있고, 특히 fructo-oligosaccharide은 장내 유산균의 성장을 증대시켜 prebiotics로서 이용이 가능하고 열량이 낮기 때문에 당뇨병 환자나 열량을 조절해야하는 사람에게 감미제로 사용된다(3,4). 또한 inulin은 돼지감자를 비롯하여 다알리아 등 식물의 괴경에 다량 함유되어 있는 식이섬유소로서 혈청 콜레스테롤 감소, 혈중 지질저하효과 및 혈당강하효과를 가진다고 보고되고 있다(5). 따라서 야콘은 현대인에게 저칼로리 섬유식품으로서 동맥경화, 비만, 당뇨병에 효과적인 기능

성식품으로의 이용을 기대할 수 있다(6).

야콘에 대한 연구로는 야콘 분말이 흰쥐의 지질대사 및 비만억제효과에 미치는 영향(7), Yacon의 괴근과 잎 추출물의 항산화 및 항암 활성에 관한 연구(8) 및 체장염에 미치는 영향에 대한 연구가 보고되고 있다(9). Yang(10)은 야콘 괴경 추출물과 chlorogenic acid(CGA) 투여가 STZ유발 당뇨 쥐에서의 유의한 혈당 강하효과를 나타낸다고 보고하였으며, An(11)은 STZ로 유발된 당뇨 흰쥐에서 야콘 괴근과 잎 추출물 투여가 혈당의 유의적인 감소를 나타낸다고 보고하였다. 이처럼 야콘의 항당뇨 효과가 보고되어 있음에도 불구하고 국내에서는 야콘에 대한 인식 부족으로 생야콘 위주의 소비가 주를 이루고 있어 다양한 가공식품으로의 개발이 절실한 실정이다(3).

식초는 당과 에탄올이 발효되어 생성된 초산을 비롯한 각종 유기산과 다양한 당류, 아미노산류 및 에스테르를 함유하

\*Corresponding author. E-mail: seoki@sunchon.ac.kr  
Phone: 82-61-750-3655, Fax: 82-61-750-3650

고 있어 식욕증진, 피로회복, 스테미너 증진 등의 효과가 있는 조미료이자 건강식품이다(12,13). 최근에는 동맥경화, 고혈압 등의 성인병 예방효과, 콜레스테롤 저하 효과, 체지방 감소 및 식중독균의 살균효과 등이 밝혀지면서 기능성이 주목을 받고 있어 다양한 용도로 개발되고 있다(14). 따라서 천연자원을 원료로 한 양조식초의 필요성이 커지게 되었고, 소비자의 관심 또한 크게 높아지고 있어 매실, 무화과, 마늘, 배 등의 새로운 과일이나 야채 등을 이용하여 독특한 풍미를 가진 양조식초를 개발하고자 하는 시도가 활발히 이루어지고 있다(15).

따라서 본 연구에서는 2단계 발효를 통해 야콘 식초를 제조하고, 그 항당뇨 효과를 밝힘으로써 야콘 식초의 항당뇨 기능성식품으로의 활용 가능성을 제시하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 연구에 사용된 야콘(*Smallanthus sonchifolius*)는 전남 순천 승주군에서 2010년 9월에 수확한 것을 구입하여 원료로 사용하였다.

### 사용균주 및 배지조성

알코올 발효 균주는 한국생명자원센터에서 분양받은 *Saccharomyces cerevisiae*(KCTC7904)을 YPD 평판배지에 계대배양 후, YM 액체배지에서 24°C에서 24시간 정치 배양하여 사용하였고, 초산균은 경북과학대학 전통식품연구소에서 보관중인 *Acetobacter* sp. PA 97을 0.5% yeast extract, 0.5% glucose, 1.0% glycerin, 0.02%  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , 5.0% ethanol, 1.0% acetic acid의 배지 조성으로 30°C에서 72시간 배양하여 사용하였다.

### 주모 및 증초 제조

주모는 야콘을 파쇄하여 착즙한 후 *Saccharomyces cerevisiae*(KCTC7904)를 접종하여 28°C에서 48시간 배양하여 주모로 사용하였으며, 증초는 주모 제조 시 동일 방법으로 제조된 야콘 알코올 발효액을 여과한 후, 그 여액에 초산균주 *Acetobacter* sp. PA 97를 접종하여 30°C에서 200 rpm으로 72시간 진탕 배양하여 사용하였다.

### 야콘 식초 제조

야콘은 발효식초 제조에 적합한 당도 14°Brix의 야콘을 얻기 위해 상온에서 20일간 숙성시켰다. 이를 blender(CM-3000, Chaming-Art Ltd., Gunpo, Korea)로 파쇄 후 착즙한 야콘 착즙액을 원료로 하여 1단계 알코올 발효와 2단계 초산 발효를 통해 야콘 식초를 제조하였다. 1단계 알코올 발효는 숙성된 생 야콘을 파쇄하여 착즙한 후 주모 10%(v/v)를 접종하고 28°C에서 6일간 정치 배양하여 발효시켰으며, 2단계 초산발효는 야콘 알코올발효 여액에 증초 10%(v/v)를 접종하여 진탕 배양기에서 30°C, 200 rpm으로 6일간 진탕배양

하였다.

### 알코올 함량 및 당도

알코올 함량은 시료 100 mL를 취하여 증류한 다음 Gay-Lussac 주정환산표를 이용하여 15°C로 보정하여 측정하였다. 당도는 300  $\mu$ L를 취하여 당도계(PAL-3, ATAGO Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였다.

### 총산도 및 pH

총산도는 0.1 N NaOH용액으로 중화 적정하여 초산으로 환산하였으며, pH 측정은 pH meter(pH-200L, NeoMet, Seoul, Korea)를 사용하여 측정하였다.

### 유리당 및 유기산 분석

유리당 및 유기산 측정은 시료를 원심분리 시킨 후 Sep-Pak C<sub>18</sub> cartridge(Water Associate, Milford, MA, USA)에 통과시키고 0.45  $\mu$ m membrane filter로 여과하여 HPLC로 분석하였다. 유리당 분석 column은 IonPac AS11-HS analytical(4×250 mm, 9  $\mu$ m, Dionex Co., Ltd, Sunnyvale, CA, USA) 이동상은 EGD-KOH Cartridge-23 mM KOH를 사용하였고, flow rate는 1.0 mL/min, injection volume은 10  $\mu$ L, detector는 ELSD detector를 사용하였다. 유기산 분석 column은 Inertsil ODS-3V(4.6×250 mm, 5  $\mu$ m, GL Science Inc., Tokyo, Japan), 이동상은 dihydrogenphosphate와 phosphoric acid(pH 2.5)를 사용하였고, flow rate는 1.0 mL/min, injection volume은 20  $\mu$ L, detector는 RI detector를 사용하였다.

### 유리아미노산 분석

야콘 식초 10 mL sulfosalicylic acid 25 mg을 첨가하여 4°C에서 4시간 동안 방치시킨 후 원심분리 하여 단백질을 제거하고, 상정액을 0.22  $\mu$ m membrane filter로 여과하여 얻은 여액을 아미노산 자동분석기(Biochrom 20, Pharmacia Biotech, Stockholm, Sweden)를 이용하여 분석하였다. Column은 Ultrapac 11 cation exchange resin(11  $\mu$ m±2  $\mu$ m)을 사용하였고, flow rate와 buffer는 각각 ninhydrin 25 mL/hr와 pH 3.20~10.0으로 하였으며, column 온도와 reaction 온도는 각각 46°C와 88°C분로 하였고, 분석시간은 44분 동안 분석하였다.

### 무기성분 분석

식초 용액 100 mL에 분해제( $HClO_4 : H_2SO_4 : H_2O_2 = 9:2:2, v/v$ ) 25 mL를 가하여 낮은 온도에서 서서히 가열하여 완전히 분해한 후 여과시켜 100 mL로 정용하였다. 이를 시료로 하여 Inductively coupled plasma(Aton scan 25, Thermo Jarrell Ash Co., Franklin, MA, USA)를 사용하여 분석하였다. 분석조건 중 RF power는 1,300 W이며, analysis pump flow rate는 1.5 mL/min으로 하였고, gas flows는 plasma: 15, auxiliary: 0.2, nebulizer: 0.8 L/min으로 하여 분석하였다.

### 실험동물 사육

4주령의 수컷 ICR 마우스를 Biogenomics사(Biogenomics, Seoul, Korea)로부터 구입하여 사용하였다. 이들은 1주간 고형식으로 적응기간을 둔 후 고지방 식이(전체 열량의 37% 지방)를 8주간 급여하여 인슐린 저항성을 유발한 후 streptozotocin(STZ, Sigma, St. Louis, MO, USA)을 0.1 M citrate 완충용액(pH 4.3)에 녹여 체중 kg당 100 mg씩 1회 복강주사 하였다. 7일 후 혈당이 250 mg/dL인 마우스만을 사용하여 난괴법으로 당뇨대조군(control, n=10), 10% 야콘 착즙액군(10% juice, n=10), 5% 야콘 식초군(5% vinegar, n=10)과 10% 야콘 식초군(10% vinegar, n=10)으로 나누어 폴리카보네이트 사육상자에 한 마리씩 분리하여 사육하였다. 동물사육실의 환경은 항온(22±2°C), 항습(50±5%) 그리고 12시간 간격(light on 08:00~20:00)의 광주기로 일정한 조건을 유지하였다.

식은 AIN-76(16)에 준하였으며 단백질 급원은 카제인(Daejung, Siheung, Korea)을 공급하고, 탄수화물 급원은 옥수수 전분(Shindongbang CP, Ansan, Korea)을 사용하였다. 고지방 식이(high-fat diet; HFD)는 총 열량의 37%가 되도록 3% 옥수수기름(wt/wt, Cheiljedang, Seoul, Korea)과 18% 쇠기름(wt/wt, Wako, Osaka, Japan)을 공급하였다. 야콘 착즙액과 야콘 식초는 사람이 섭취하는 양을 기준으로 체중 kg당 7 mL씩 매일 일정한 시각에 4주간 경구투여 하였다. 식이와 식수는 자유롭게 섭취하도록 하였고 모든 실험 식이는 사육기간 동안 냉장 보관하였다.

체중은 매주 1회 2시간 절식 후 일정시각에 측정하였으며, 식이섭취량은 매일 일정시각에 측정된 후 급여량에서 잔량을 감하여 계산하였다.

### 혈장 및 장기 채취

사육이 끝난 실험동물은 희생 전 12시간 동안 절식시킨 후 에테르를 흡입시켜 마취시킨 다음 복부 하대정맥(inferior vena cava)으로부터 공복혈액을 채취하였다. 헤파린 처리된 혈액은 900×g(4°C)에서 15분간 원심분리 하여 혈장을 분리하였다. 실험동물의 장기조직은 혈액 채취 후 즉시 적출하여 PBS(phosphate buffered saline)용액으로 수차례 헹군 후 표면의 수분을 제거하여 칭량하였으며, 즉시 액체질소로 급냉시켜 -70°C에 보관하였다.

### 혈당 및 내당능 측정

혈당은 매주 6시간의 절식 후 꼬리 채혈하여 혈당측정기(GlucoDr supersensor, Allmedicus, Anyang, Korea)를 이용하여 glucose oxidase 방법으로 측정하였다. 내당능 검사는 실험 3주째 6시간 절식 후 글루코오스 용액을 체중 kg당 1 g씩 복강 내로 투여한 다음 0, 30, 60 및 120분경과 후에 꼬리 채혈하여 혈당을 측정하였다.

### 혈장과 췌장의 인슐린 농도 측정

혈장의 인슐린 농도는 마우스 인슐린 ELISA kit(Crystal

Chem Inc., Downers Grove, IL, USA)를 사용하여 정량하였다. 췌장조직 중의 인슐린 농도는 췌장 100 mg당 1 mL의 acid-ethanol (75% ethanol, 23.5% water와 1.5% HCl)을 넣은 후 균질화 하여 4°C에서 72시간 동안 인슐린을 추출한 후, 1,000×g에서 30분간 원심분리 하여 얻은 상층액을 희석하여 혈장과 동일하게 방법으로 측정하였다.

### 혈장과 췌장의 C-peptide 농도 측정

인슐린 관련 기능성 지표인 C-peptide는 마우스 C-peptide ELISA(U-type) kit(Shinayagi Co., Ltd., Gunma, Japan)를 이용하여 측정하였다. 췌장조직 중의 C-peptide 농도는 혈장과 동일한 방법으로 측정하였다.

### 통계처리

이화학적 성분 분석의 실험결과는 3반복 한 후, 평균±표준편차로 표시하여 나타내었다. 항당뇨 실험결과는 SPSS package 프로그램(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)으로 이용하여 실험군당 평균±표준오차로 표시하였고 각 군간의 평균치의 통계적 유의적 검정은 one-way ANOVA를 실시한 후 다군 간의 사후검정은 p<0.05 수준에서 Duncan's multiple range test로 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 야콘 식초의 제조

야콘은 fructose, glucose, sucrose, inulin 및 fructo-oligosaccharide가 다량 함유되어 있으나 수확 직후의 당도가 8°Brix 정도에 불과하여 식초 제조를 위해서는 보당이 필요하다. 그러나 본 연구에서는 보당 없이 야콘 식초를 제조하기 위해 상온에서 20일간의 숙성과정을 거쳐 당도 14°Brix에 이른 야콘을 이용하여 2단계 발효를 통해 야콘 식초를 제조하였다. Fig. 1A은 숙성된 생 야콘을 파쇄 후 착즙하여 1단계 알코올 발효를 행한 결과이다. 당도는 초기 당도 11°Brix에서 발효 1일에 큰 폭으로 감소하였고, 발효가 진행됨에 따라 점차 감소하여 발효 종료 후 4.1°Brix를 나타내었으며, 알코올 함량은 발효 1일부터 증가하기 시작하여 발효 종료 6일째에 5.2%로 당도 변화와 반비례하게 나타났다. 1단계 알코올 발효 후 그 여액에 종초 10%를 접종하고 초기산도를 1%로 조절하여 6일간 2단계 초산발효를 시키면서 2일 간격으로 알코올 함량 및 총산 변화를 확인한 결과는 Fig. 1B와 같다. 알코올 함량은 초기 5.2%에서 발효 종료 6일째에 0%로 나타났으며, 초기 산도는 1.05%에서 발효 시작일부터 차츰 증가하여 발효 6일째에 최종 산도 4.75%에 도달하였다. Lee 등(2)의 야콘 뿌리를 이용한 발효 초음료 개발에 관한 연구에서는 식초 제조를 위해 발효 초기 당도가 23°Brix가 되도록 설탕으로 보당한 후 27°C 10일간의 알코올 발효와 29°C에서 12일간의 초산발효를 수행하여 최종 산도 4.4%의 식초를 얻은 것으로 보고하였다. 따라서 본 연구결과는 보당 없이

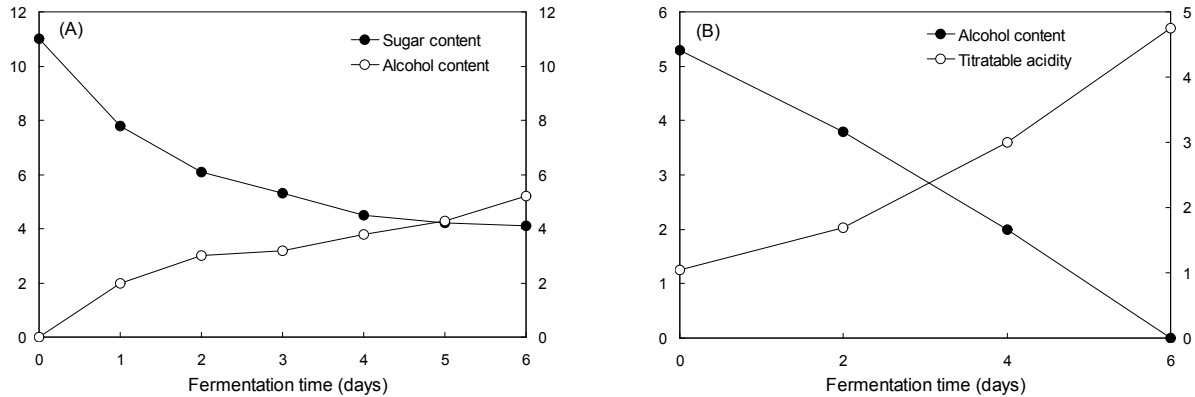


Fig. 1. Production of yacon vinegar by two-step fermentation. A: Changes of sugar and alcohol contents during alcohol fermentation of yacon juice. B: Changes of alcohol content and titratable acidity during acetic acid fermentation of yacon juice.

2단계 발효를 통해 6일만에 초산발효 기질로 적합한 5% 정도의 알코올 생성이 가능한 것으로 보아 단기간 내에 고품질의 야콘 식초 생산이 가능할 것으로 여겨진다.

#### 유리당

야콘 착즙액과 야콘 식초의 유리당을 측정된 결과는 Table 1과 같다. 야콘 착즙액의 유리당 성분은 glucose, fructose, sucrose, maltose 및 mannose로 나타났으며, 단당류인 glucose, fructose 함량이 높은 것으로 나타났다. Jo(17)의 연구에서 야콘 껍질의 유리당 확인 결과 fructose, glucose, maltose 외에 sucrose가 확인되었고, 그 함량은 fructose 834.8 mg%, glucose 655.15 mg%, sucrose 287.28 mg%로 나타났다. 이는 glucose보다 fructose의 함량이 높은 본 연구의 분석결과와 일치하였다. 발효 후 야콘 식초의 유리당 함량은 감소하였고, 특히 fructose의 경우 4,234.94 mg%에서 463.95 mg%로 큰 폭으로 감소되었다. Moon 등(18)은 식초의 원료 중 당분은 발효과정 중 초산균의 대사 작용으로 대부분 산으로 변화되고 일부는 에너지원으로 이용되어 초산발효 후 당 함량은 미량으로 나타난다고 보고한 바 있다. 야콘 식초의 총 유리당 함량은 2,661.4 mg%을 나타내었고, 그중 glucose 함량이 2,072.12 mg% 가장 높게 나타났다. 국내 시판되는 과일식초의 경우, 사과식초 829.24 mg%, 포도식초 1721.10 mg%, 감식초 3924.23 mg%의 유리당 함량을 나타내어(19),

Table 1. Changes in the contents of free sugars after acetic acid fermentation of yacon juice (mg%)

Free sugars	Samples <sup>1)</sup>	
	Juice	Vinegar
Glucose	1,655.94±4.11	2,072.12±5.85
Fructose	4,234.94±6.20	463.95±2.26
Sucrose	87.12±1.55	69.69±1.17
Mannose	97.80±3.24	55.64±1.65
Maltose	99.55±2.43	—
Total free sugars	6,175.35±3.51	2,661.4±2.73

Data values were expressed as mean±SD of triplicate determinations.

<sup>1)</sup>Juice, yacon juice extraction; Vinegar, yacon vinegar.

식초의 유리당 함량은 과실의 종류에 따라 다르게 나타나는 것으로 여겨진다. 또한 국내 시판 식초에는 glucose가 가장 많이 함유되어 있다는 보고는 본 연구 결과와 일치함을 알 수 있었다.

#### 유기산

야콘 착즙액과 야콘 식초의 유리당을 측정된 결과는 Table 2와 같다. 야콘 착즙액의 주요 유기산은 malonic acid, lactic acid, oxalic acid, acetic acid, succinic acid 및 citric acid로 총 605.01 mg%의 함량을 나타내었으며, 초산 발효 후 그 함량이 증가하여 4,885.91 mg%의 유기산 함량을 나타냈다. 야콘 식초의 주요 유기산은 acetic acid이었으며, 함량은 3,881.44 mg%로 가장 높았으며, 이어서 풍미를 향상시키는 역할을 하는 succinic acid가 787.14 mg%로 높게 나타났다. 그 외에 oxalic acid, malic acid는 발효 후 그 함량이 증가하였는데 이는 야콘 발효 후 citric acid가 증가하였고, lactic acid와 succinic acid는 감소하였다는 Lee 등(2)의 보고와 차이가 있음을 확인할 수 있었다. Seo 등(20)은 초산균의 종류에 따라 malic acid 및 succinic acid의 함량에 차이를 나타낸다고 하였다. 따라서 이러한 유기산 함량 변화의 차이는 초산균의 종류 및 발효방법에 기인한 것으로 생각되어진다.

Table 2. Changes in the contents of organic acids after acetic acid fermentation of yacon juice (mg%)

Organic acids	Samples <sup>1)</sup>	
	Juice	Vinegar
Acetic acid	60.09±1.52	3,881.44±5.58
Malonic acid	274.61±3.52	8.72±1.52
Lactic acid	175.75±1.24	112.04±2.43
Oxalic acid	84.01±0.97	88.95±0.82
Succinic acid	7.01±0.15	787.14±1.13
Malic acid	—	7.62±0.09
Citric acid	3.54±0.06	—
Total organic acids	605.01±1.24	4,885.91±1.93

Data values were expressed as mean±SD of triplicate determinations.

<sup>1)</sup>Juice, yacon juice extraction; Vinegar, yacon vinegar.

Table 3. Changes in the contents of free amino acid after acetic acid fermentation of yacon juice (mg%)

Free amino acids	Samples <sup>1)</sup>	
	Juice	Vinegar
Glutamic acid	9.44±1.05	2.94±1.15
Proline	15.78±1.34	42.93±2.42
Glycerin	0.14±0.10	0.54±0.02
Alanine	1.27±0.04	2.60±0.12
Citrulline	1.82±0.23	0.35±0.15
Valine	2.13±0.04	1.29±0.28
Cystein	0.52±0.06	0.24±0.03
Methionine	0.19±0.02	-
Cystathionine	0.04±0.01	0.25±0.54
Isoleucine	2.36±0.23	0.10±0.03
Leucine	0.65±0.01	0.20±0.14
Tyrosine	0.35±0.07	0.23±0.02
Phenylalanine	1.04±0.13	0.32±0.02
$\gamma$ -Amino-n-butyric acid	2.60±0.93	5.75±1.23
Ammonium chloride	4.39±1.35	0.44±0.09
$\delta$ -Hydroxylysine	0.18±0.01	0.03±0.01
Ornithine	0.04±0.01	3.57±1.21
Lysine	0.52±0.03	0.50±0.08
1-Methyl-L-histidine	0.06±0.02	0.08±0.04
Histidine	0.51±0.04	0.23±0.09
3-Methyl-L-histidine	0.89±0.27	-
L-Arginine	48.62±3.72	0.31±0.08
Total free amino acids	93.54±0.44	62.9±0.39

Data values were expressed as mean±SD of triplicate determinations.

<sup>1)</sup>Juice, yacon juice extraction; Vinegar, yacon vinegar.

### 유리아미노산

야콘 착즙액과 야콘 식초의 유리아미노산 변화를 분석한 결과는 Table 3과 같다. 야콘 착즙액의 유리아미노산 성분은 22종이었으며, 총 함량은 93.514 mg%로 나타났다. 주요 아미노산은 arginine, proline, glutamic acid이었으며, 그 외에는 미량으로 나타났다. Kim 등(6)의 연구에서 야콘 분말의 아미노산 함량 분석결과 glutamic acid, aspartic acid, proline 등의 아미노산이 비교적 많이 함유되어 있다고 보고해 본 연구 결과와 유사함을 알 수 있었다. 또한, 인체 대사에서 필수적인 아미노산 6종을 함유하고 있어 좋은 필수아미노산 영양원으로 이용될 수 있을 것으로 생각된다. 이를 발효한 야콘 식초의 총 유리아미노산 함량은 62.88 mg%를 나타내었다. 식초에 함유된 아미노산은 원료에서 유래되는 것으로 식초에 맛에 영향을 주며 그 종류에 따라 맛의 품질이 다르게 형성되어진다고 볼 수 있으며(21), 초산 발효과정 중 전체 아미노산의 38~60%가 감소되며, 숙성기간 중에도 아미노산은 약간 감소하는 것으로 보고되어 있다(22).

### 무기성분

야콘 착즙액과 야콘 식초의 무기성분을 ICP로 측정된 결과는 Table 4와 같다. 야콘 착즙액 무기성분 분석 결과 K 함량이 1968 mg%로 가장 많이 검출되었으며, 그 외에 P, Mg, Ca 함량이 높게 나타났다. 이는 야콘의 부위별 주요 무기성분 분석결과 잎, 줄기, 피근에서 모두 P, K, Mg 함량이

Table 4. Changes in the contents of minerals after acetic acid fermentation of yacon juice (ppm)

Minerals	Samples <sup>1)</sup>	
	Juice	Vinegar
Zn	1.6±0.02	0.5±0.01
Fe	6.16±0.09	1.9±0.05
K	1968±2.31	1922±1.53
Ca	62.98±1.56	62.96±0.86
Mg	64.84±1.38	72.86±0.86
Na	33.42±0.68	66.72±0.61
P	327.8±1.10	255.2±1.68

Data values were expressed as mean±SD of triplicate determinations.

<sup>1)</sup>Juice, yacon juice extraction; Vinegar, yacon vinegar.

높았다는 Lee 등(3)의 보고와 유사하였다. 또한 Kim 등(6)은 야콘 분말의 무기질은 K가 가장 높았으며, 이어서 Na, Ca, Mg 순으로 높게 나타났다고 보고하였다. 야콘 식초는 무기성분의 조성이나 함량에서 야콘 착즙액과 큰 차이를 나타내지 않았으며, 야콘 착즙액과 야콘 식초는 Ca, K, Mg 등의 알칼리성 원소들을 다량 함유하고 있어 알칼리성 자연식품으로서 이용화가가치가 더 높아질 것으로 기대된다.

### 체중, 식이섭취량 및 장기무게

고지방 식이와 STZ으로 유도한 제2형 당뇨병마우스에게 야콘 식초를 농도별로 4주간 급여한 후 체중, 식이섭취량 및 장기무게를 측정하여 Table 5에 나타내었다. 야콘 착즙액과 야콘 식초는 당뇨병마우스의 체중변화와 장기무게에는 유의적인 영향을 미치지 않았다. 최근 Habib 등(23)도 STZ로 유도한 당뇨 흰쥐에게 fructooligosaccharide(체중 kg당 340 mg 또는 6,800 mg)가 풍부한 야콘 가루를 90일간 급여한 결과 체중변화는 없었다고 보고하였다. 반면, 일일 식이섭취량은 야콘 식초군이 농도 의존적으로 대조군에 비하여 낮았다. 식초는 포만감을 증가시키고 위장 통과시간을 지연시키는 것으로 보고되었다(24). 이와 같이 야콘 식초는 당뇨로 인한 다식증을 완화하는 것으로 나타났다.

### 혈당 변화와 내당능 검사

야콘 식초가 제2형 당뇨병마우스의 혈당과 내당능 개선에 미치는 영향은 Fig. 2와 같다. 고혈당은 당뇨병의 복합적인 대사적 장애로 인슐린 민감성 저하, 간의 글루코오스 생산 증가, 말초조직의 글루코오스 흡수 저하를 야기할 수 있어(25,26) 당뇨병 환자의 혈당조절이 무엇보다 중요하다. 본 실험에서 야콘 착즙액과 야콘 식초 급여 4주째 혈당변화를 보였는데 5% 야콘 식초는 대조군에 비하여 유의적으로 공복 시 혈당을 낮추었으며(p<0.05) 10% 야콘 착즙액과 10% 야콘 식초군은 낮추는 경향이였다.

식후 고혈당은 인슐린 분비 저하 및 민감성 저하에 영향을 미쳐서 당독성을 유발하여 심혈관계 합병증을 일으킬 수 있다(27). 따라서 내당능 검사는 식후 혈당을 측정함으로써 간접적인 인슐린 민감성 지표로 사용된다. 본 실험에서도 글루

Table 5. Effect of yacon vinegar on body weight, food intake and organ weights in HFD/STZ-induced diabetic mice<sup>1)</sup>

	Control	10% juice	5% vinegar	10% vinegar
Body weight (g)				
Initial	36.49±0.57	35.70±0.57	36.36±1.81	36.68±0.63
Final	33.57±0.87	32.72±0.84	32.85±1.99	33.84±1.08
Food intake (g/day)	5.93±0.14 <sup>b</sup>	5.88±0.15 <sup>b</sup>	5.59±0.23 <sup>ab</sup>	5.21±0.19 <sup>a</sup>
Organ weights (mg/g)				
Liver	5.66±0.13	5.56±0.13	5.74±0.19	5.35±0.12
Kidney	1.80±0.04	1.86±0.05	1.83±0.06	1.71±0.09
Heart	0.43±0.01	0.45±0.01	0.45±0.01	0.43±0.01

<sup>1)</sup>Mean±SE. <sup>ab</sup>Means in the same row not sharing a common letter are significantly different among groups (p<0.05).

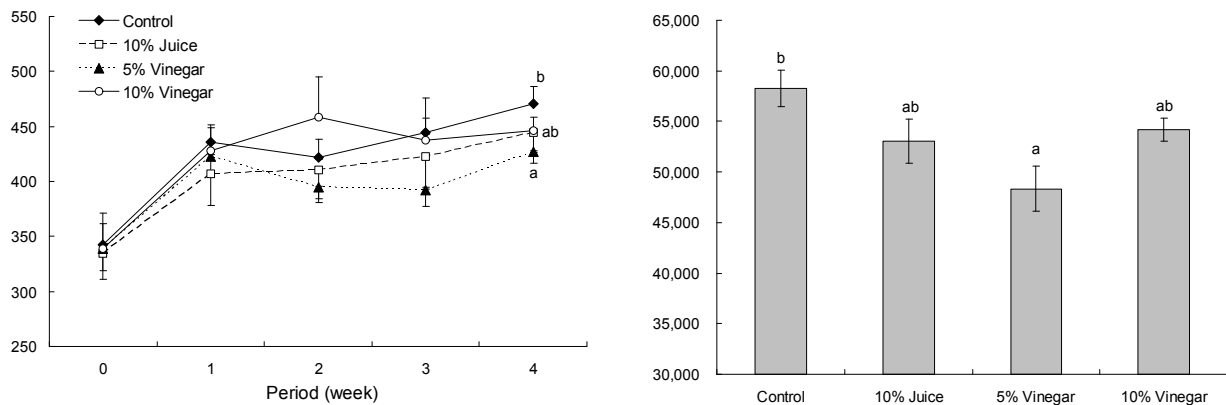


Fig. 2. Effect of yacon vinegar on fasting blood glucose levels (left) and glucose tolerance test (right) in HFD/STZ-induced diabetic mice. Values are expressed as means±SE. <sup>ab</sup>The means not sharing a common letter are significantly different among groups (p<0.05).

코오스(1 mg/g B.W.)를 복강내 투여한 후 30, 90, 120분의 혈당치를 측정하여 혈당반응 면적(AUC)을 구한 결과 5% 야콘 식초군이 대조군에 비하여 유의적으로 낮았으며(p<0.05) 10% 야콘 착즙액군과 10% 야콘 식초군은 낮은 경향을 보였으며, 이는 혈당변화와 유사한 결과였다. 일반적으로 야콘에 많이 함유되어 있는 oligofructose는 식후 혈당과 인슐린 농도를 개선하는 것으로 알려져 있다(28). Lin 등(29)은 알코올 또는 초산 발효한 Radix Ophiopogonis에서 추출한 oligosaccharide의 항당뇨 작용이 향상되는 것으로 보고하였다. 본 실험에서도 5% 야콘 식초는 야콘 착즙액보다 공복 시 혈당과 식후 혈당상승을 효과적으로 개선하는 것으로 나타났다.

#### 혈장 및 췌장 중의 인슐린과 C-peptide 함량

혈장과 췌장의 인슐린 함량은 Table 6에 나타내었다. 야콘 착즙액과 야콘 식초는 고지방 식이와 STZ으로 당뇨를

유발한 마우스의 혈장과 췌장 인슐린 함량에는 유의적인 영향을 미치는 않았다. 한편, 프로인슐린에서 인슐린과 같은 비율로 분비되는 C-peptide는 간에서 대사과정을 거치지 않을 뿐만 아니라 반감기가 길며 인슐린 항체의 영향을 받지 않으므로 C-peptide를 연속적으로 측정함으로써 당을 섭취한 후에 일어나는 인슐린의 분비시각과 양을 예측할 수 있는 지표로 많이 사용된다. 따라서 본 실험에서 혈장과 췌장의 C-peptide 농도를 측정된 결과(Table 6) 혈장의 C-peptide 농도는 실험군 간에 차이가 없었다. 이는 야콘일 발효차고 지방 식이와 STZ으로 유도한 당뇨마우스의 혈장의 인슐린과 C-peptide 농도에는 영향을 미치지 않았다는 보고(30)와 유사하였다. 반면, 췌장의 C-peptide 농도는 대조군에 비하여 야콘 식초에 농도 의존적으로 높은 것으로 나타났다(p<0.05).

이상의 결과에서 5% 야콘 식초는 제2형 당뇨마우스의 인

Table 6. Effect of yacon vinegar on plasma and pancreatic insulin and C-peptide levels in HFD/STZ-induced diabetic mice<sup>1)</sup>

	Control	10% juice	5% vinegar	10% vinegar
Plasma				
Insulin (ng/mL)	0.25±0.06	0.24±0.05	0.22±0.03	0.24±0.03
C-peptide (ng/mL)	4.05±0.54	4.47±0.81	4.04±0.56	4.20±0.93
Pancreas				
Insulin (ng/mg protein)	16.49±1.11	18.63±1.96	18.69±2.81	21.61±1.95
C-peptide (μg/mg protein)	152.75±11.15 <sup>a</sup>	153.74±15.38 <sup>a</sup>	173.23±10.27 <sup>ab</sup>	198.15±7.85 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Mean±SE. <sup>ab</sup>Means in the same row not sharing a common letter are significantly different among groups (p<0.05).

술린 민감성 개선을 통하여 혈당과 식후 혈당 개선에 효과적인 것으로 평가되었다.

## 요 약

본 연구에서는 2단계 발효를 통해 보당 없이 야콘 식초를 제조한 후 이에 대한 이화학적 성분 분석 및 항당뇨 효과를 조사하였다. 1단계 알코올 발효에서는 28°C에서 6일간 발효하여 알코올 함량 5.2%의 야콘 와인을 얻을 수 있었으며, 2단계 초산발효에서는 30°C, 200 rpm으로 6일간 발효하여 산도 4.75%의 야콘 식초를 생산할 수 있었다. 야콘 식초의 주요 유리당은 glucose와 fructose로 나타났으며, 유기산은 acetic acid가 가장 높았으며 이어서 succinic acid가 높게 나타났다. 야콘 식초의 유리아미노산 총 함량은 62.88 mg%로 proline,  $\gamma$ -amino-n-butyric acid, ornithine이 주된 아미노산으로 나타났다. 무기성분은 Ca, K, Mg와 같은 알칼리성 원소를 다량 함유하고 있는 것으로 나타났다. 제2형 당뇨병 마우스에게 야콘 식초를 4주간 경구투여 하여 혈당 강화 효과를 평가한 결과 공복 시 혈당은 5% 야콘 식초군에서 대조군에 비하여 유의적으로 낮았으며( $p < 0.05$ ) 10% 야콘 착즙액과 10% 야콘 식초군은 낮은 경향이였다. 내당능 역시 5% 야콘 식초군이 대조군에 비하여 유의적으로 개선하였다( $p < 0.05$ ). 혈장의 인슐린과 C-peptide 농도 및 췌장의 인슐린 농도는 실험군간 차이가 없었으나 췌장의 C-peptide 농도는 대조군에 비하여 야콘 식초에 농도 의존적으로 높은 것으로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 2010년도 중소기업청에서 시행한 창업보육기술포발사업의 지원에 의한 연구결과에 일부로 이에 감사드립니다.

## 문 헌

- Novel V. 1984. The lost crops of the Incas. *Ceres* 17: 37-40.
- Lee SY, Yoo KM, Moon BY, Hwang IK. 2010. A study on the development of vinegar beverage using yacon root (*Smallanthus sonchifolius*) and analysis of components changes during the fermentation. *Korean J Food Cookery Sci* 26: 95-103.
- Lee FZ, Lee JC, Yang HC, Jung DS, Eun JB. 2002. Chemical composition of dried leaves and stems and crude tubers of yacon (*Polymnia sonchifolia*). *Korean J Food Preserv* 9: 61-66.
- Goto K. 1995. Isolation and structural analysis of oligosaccharides from yacon (*Polymnia sonchifolia*). *Biosci Biotechnol Biochem* 59: 2346-2347.
- Fiordaliso M, Kok N, Desager JP, Goethals F, Deboyser D, Roberfroid M, Delzenne N. 1995. Dietary oligofructose lowers triglycerides, phospholipids and cholesterol in serum and very low density lipoproteins of rats. *Lipids* 30: 163-167.
- Kim AR, Lee JJ, Jung HO, Lee MY. 2010. Physicochemical composition and antioxidative effects of yacon (*Polymnia sonchifolia*). *J Life Science* 20: 40-48.
- Kim AR. 2009. Effects of polymnia sonchifolia powder on lipid metabolism and anti-obesity effect in rats fed a high fat-high cholesterol diet. *MS Thesis*. Chosun University, Gwangju, Korea. p 102.
- Chun JG. 2008. Anti-oxidative and anti-cancer activities of extracting roots and leaves of yacon. *MS Thesis*. Keimyung University, Daegu, Korea. p 52.
- Choi NH, Choi SH, Lim SW, Park IS. 2007. The effect of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) extract against dibutyltin dichloride-induced pancreatitis. *Anat Cell Biol* 40: 259-266.
- Yang JS. 2009. Hypoglycemic effect of yacon tuber extract and its constituent, chlorogenic acid, in streptozotocin-induced diabetic rats. *MS Thesis*. Chungbuk National University, Cheongju, Korea. p 40.
- An HJ. 2009. Antioxidative effect of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) of root and leaf in streptozotocin-induced diabetic rats. *MS Thesis*. Daejin University, Gyeonggi-do, Korea. p 57.
- Kim ML, Choi KH. 2005. Sensory characteristics of citrus vinegar fermented by *Glucoacetobacter hansenii* CV1. *Korean J Food Cookery Sci* 21: 263-269.
- Shin JS, Lee OS, Jeong YJ. 2002. Changes in the components of onion vinegars by two stages fermentation. *Korean J Food Sci Technol* 34: 1079-1084.
- Kwon SH, Jeong EJ, Lee GD, Jeong YJ. 2000. Preparation method of fruit vinegars by two stage fermentation and beverages including vinegar. *Food Ind Nutr* 5: 18-24.
- Ko YJ, Jeong DY, Lee JO, Park MH, Kim EJ, Kim JW, Kim YS, Ryu CH. 2007. The establishment of optimum fermentation conditions for *Prunus mume* vinegar and its quality evaluation. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 361-365.
- American Institute of Nutrition. 1977. Report of the American Institute of Nutrition ad hoc committee on standards for nutritional studies. *J Nutr* 107: 1340-1348.
- Jo YS. 2008. Development of functional tea by using yacon (*Polymnia sonchifolia* POEPP) leaf. *MS Thesis*. Sunchon National University, Sunchon, Korea. p 46.
- Moon SY, Chung HC, Yoon HN. 1997. Comparative analysis of commercial vinegars in physicochemical properties, minor components and organoleptic tastes. *Korean J Food Sci Technol* 29: 663-670.
- Kim GR, Yoon SR, Lee JH, Yeo SH, Jeong YJ, Yoon KY, Kwon JH. 2010. Physicochemical properties of and volatile components in commercial fruit vinegars. *Korean J Food Preserv* 17: 616-624.
- Seo JH, Jeong YJ, Kim JN, Woo CJ. 2001. Quality comparison of potato vinegars produced by various acetobacter bacteria. *Korean J Postharvest Sci Technol* 8: 60-65.
- Ko EJ, Hur SS, Choi YH. 1998. The establishment of optimum cultural conditions for manufacturing garlic vinegar. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 27: 102-108.
- Yoon HN. 1999. Chemical characterization of commercial vinegars. *Korean J Food Sci Technol* 31: 1440-1446.
- Habib NC, Honoré SM, Genta SB, Sánchez SS. 2011. Hypolipidemic effect of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) roots on diabetic rats: biochemical approach. *Chem Biol Interact* 194: 31-39.
- Ostman E, Granfeldt Y, Persson L, Björck I. 2005. Vinegar supplementation lowers glucose and insulin responses and increases satiety after a bread meal in healthy subjects. *Eur J Clin Nutr* 59: 983-988.

25. Klover PJ, Mooney RA. 2004. Hepatocytes: critical for glucose homeostasis. *Int J Biochem Cell Biol* 36: 753-758.
26. DeFronzo RA, Simonson E, Ferrannini E. 1982. Hepatic and peripheral insulin resistance: a common feature of type 2 (non-insulin-dependent) and type 1 (insulin-dependent) diabetes mellitus. *Diabetologia* 23: 313-319.
27. Hsu CS, Chiu WC, Yeh SL. 2003. Effects of soy isoflavone supplementation on plasma glucose, lipids, and antioxidant enzyme activities in streptozotocin-induced diabetic rats. *Nut Res* 23: 67-75.
28. Cani PD, Daubioul CA, Reusens B, Remacle C, Catillon G, Delzenne NM. 2005. Involvement of endogenous glucagon-like peptide 1 (7-36) amide on glycaemia-lowering effect of oligofructose in streptozotocin-treated rats. *J Endocrinol* 185: 457-465.
29. Lin WL, Su WW, Cai XY, Luo LK, Li PB, Wang YG. 2011. Fermentation effects of oligosaccharides of Radix Ophiopogonis on alloxan-induced diabetes in mice. *Int J Biol Macromol* 49: 194-200.
30. Kim IS, Lee J, Lee JS, Shin DY, Kim MJ, Lee MK. 2010. Effect of fermented yacon (*Smilax sonchifolius*) leaves tea on blood glucose level and glucose metabolism in high-fat diet and streptozotocin-induced type 2 diabetic mice. *Korean J Nutr* 43: 333-341.

(2011년 9월 20일 접수; 2011년 12월 22일 채택)