KOREAN J. FOOD COOKERY SCI.
Vol. 26, No. 1, pp. 95 ~103 (2010)

야콘 뿌리를 이용한 발효 초음료 개발 및 발효 중 성분 변화

이승연 · 유경미 · 문보경[1] · 황인경[†]
서울대학교 식품영양학과 · 생활과학연구소, [1]중앙대학교 식품영양학과

A Study on the Development of Vinegar Beverage Using Yacon Roots(*Smallanthus sonchifolius*) and Analysis of Components Changes During the Fermentation

Seung-Yeon Lee, Kyung-Mi Yoo, BoKyung Moon[1] and InKyeong Hwang[†]
Department of Food and Nutrition · Research Institute of Human Ecology, Seoul National University
[1]Department of Food and Nutrition Chung-Ang University

Abstract

The objective of this study was to develop a functional vinegar beverage using yacon roots, and examine the components' changes during fermentation. The alcohol fermentation was conducted by inoculation of *Saccharomyces cerevisiae* into yacon root juice with sugars. After 10 days of fermentation at 27℃, yacon wine contained 13% alcohol and 7.8 °Brix sugar contents. The yacon wine at 5% alcohol was fermented by *Acetobacter aceti(KCTC1010)* with 250 rpm agitation rate at 29℃ for 12 days. The acidity of yacon vinegar reached 4.4% after 12 days' fermentation. Statistically ($p<0.05$), the amount of *Acetobacter aceti*, pH, alcohol, with total polyphenol content of samples decreased with acidity, whereas individual sugar contents increased. Furthermore organic acids, total sugar, phenolic acids content, total antioxidant capacity, and color were not different among the five samples. The yacon vinegar beverage was prepared with high fructose syrup through the dilution of yacon vinegar. After making the yacon vinegar beverage, the pH, acidity, total sugar, and total microbial content were examined every week over 4 weeks' storage. There were no changes in the samples during that time.

Key words: yacon root, alcohol fermentation, acetic acid fermentation, vinegar beverage, storage

I. 서 론

야콘은 덩이뿌리를 가진 채소로 고구마와 비슷한 크기와 모양을 가지고 있으나 고구마보다 훨씬 달고 배처럼 아삭한 과육을 가지고 있다. 야콘 뿌리에는 주로 inulin type β(2→1)의 fructan 축합체인 kestose(GF_2)와 nystose (GF_3) 등 프락토올리고당(GF_2~GF_{16}) 등이 다량 함유되어 있는데 수확 직후에는 건물 기준으로 60% 이상 함유되어 있다(Itaya 등 2002, Goto 등 1995). 프락토올리고당은 인체 내에서 거의 소화를 못하는 반면 장내 유산균의 성장을 증대시킬 수 있기 때문에 prebiotics로서 이용이 가능하고 열량이 낮기 때문에 당뇨병 환자나 열량을 조절해야하는 사람들에게 감미제로 사용하기 좋다(Zardini 1991, Quemener 등 1994, Romina 등 2003). 또한 야콘 뿌리에는 chlorogenic acid를 비롯한 caffeic acid 등의 polyphenol 성분들이 항산화 활성 등의 생리활성을 가지고 있다(Yan 등 1999, Simonovska 등 2003, Valentováa 등 2003). 반면 야콘 잎은 대부분 섭취되지 않고 폐기되었지만 최근 국외 연구를 통해 야콘 잎의 물 추출물이 특징적인 항당뇨 활성을 나타내는 것으로 보고되었고, 특히 일본에서는 차를 만드는 등의 방법으로 활용되고 있다(Aybar MJ 등 2001, Baroni 등 2008).

한편 우리나라에서는 야콘 뿌리를 냉면, 국수 등의 가공식품에 사용하거나 생식 형태로 섭취하는 등 제한적으로 이용하고 있는 실정이다. 또한 야콘에 대한 국내 연구는 유기 용매별 분획 추출물의 항산화 및 항암활성에 관한 연구와 췌장염에 미치는 영향에 대한 연구(Choi NH 등 2007, Min KJ 등 2008), 야콘 잎을 이용한 기능성 차 제품 개발 및 야콘 뿌리를 이용한 잼의 제조에 관한

[†]Corresponding author: InKyeong Hwang, Department of Food and Nutrition·Research Institute of Human Ecology, Seoul National University
Tel: 02-880-5708
Fax: 02-882-5708
E-mail: ikhwang@snu.ac.kr

연구(Kim YS 2005, Shin DY 등 2007) 등 소수만이 연구 보고되어 있다. 하지만 점차 야콘의 생리 활성에 대한 관심이 증가되고 있으며 diterpene과 sesquiterpene과 같은 물질에 의한 자체 방어능력 때문에 곤충이나 질병에 의한 문제가 적고 광범위한 고도에서 생장하고 괴근을 생산할 수 있는 광지역 적응성 식물이기 때문에 기능성을 가진 친환경 유기 농산물로서의 가치가 높은 것으로 평가되고 있다(Zardini 1991).

식초는 대표적 휘발성 유기산인 acetic acid 뿐만 아니라 citric, succinic, tartaric, lactic acid 등 당분해 과정의 TCA cycle에서 볼 수 있는 유기산들이 다량 함유되어 있어 생리적 상태에 따라 필요한 물질로 쉽게 전환되어 체내 대사를 원활하게 하고 칼슘 등 미량 성분들의 체내 흡수를 향상시키는 등의 기능을 가지고 있다(Son SM 1991). 또한 간 기능 활성화 및 고혈압, 비만, 당뇨병 등에 치료효과가 있는 것으로 보고되고 있다(Shin JH 등 2002, White 2007). 이러한 식초의 기능성이 알려지면서 국내 시장에서도 식초나 초산 발효 음료가 웰빙 열풍을 타고 다양한 재료로 개발되며 소비되고 있으며 소비계층도 기존에는 건강 의식이 강한 층이 구입의 중심이 되었으나 최근에는 구입 층의 폭이 넓어지고 있다.

따라서 본 연구에서는 국내산 야콘 뿌리를 이용하여 식초 발효를 실시하고 발효 과정 중 기능성 성분 및 항산화력 변화를 측정하며 이를 희석하여 기능성 성분을 가진 유기농 발효 음료를 제조함으로써 야콘의 활용 가능성을 높이고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 재료

본 실험에 사용한 야콘 뿌리는 경기도 양평군 가을향기 농장에서 유기농으로 재배된 것을 2008년 12월 9일 제공받아 사용하였다. 껍질을 벗긴 후 녹즙기(GPT-E1303, (주)그린파워캠포)로 갈아 알코올 발효를 실시하고 나머지는 껍질 채 -80℃에 냉동 보관하였다.

2. 주모 및 종초

알코올 발효에 사용될 효모는 동결건조 분말 효모(*Saccharomyces cerevisiae*, DSM Food specialties, France)를 구입하여 사용하고 초산균은 한국생명공학 연구원 생물자원센터에서 *Acetobacter aceti(KCTC1010)*를 분양받아 shaking incubator에서 29℃, 250 rpm으로 1일 간격으로 계대 배양하여 초산 발효 시 종초로 사용하였다. 균 배양용 배지는 YPM(yeast extract 0.5%, peptone 0.3%, mannitol 2.5%) 액체배지를 사용하였다.

3. 알코올 발효

녹즙기로 간 야콘 뿌리에 100%(w/w) 가수한 후 설탕을 첨가하여 당도를 23°Brix로 맞추었다. 유해균 번식 억제 및 갈변방지를 위한 아황산염($K_2S_2O_5$)을 150 mg/kg 넣고 실온에 2시간 방치한 후에 건조효모를 500 mg/kg 농도로 첨가하여 발효를 시작하였다. 발효는 27℃ incubator(Jung Do Science SI-LINC-1008, Korea)에서 10일간 정치발효 하였다. 발효 과정 중 약 3일 간격으로 당도 및 알코올 농도의 변화를 초산발효와 같은 방법으로 측정하였다. 발효 후 거름망을 이용하여 걸러주고 원심분리(4,000 rpm×15 min)한 후 상층액만 65℃에서 30분간 멸균하여 초산 발효에 사용하였다.

4. 초산 발효

예비 실험을 통해 실험에 사용할 초산균이 자라기에 적절한 초기 조건을 찾은 결과, 산도는 0%, 알코올 농도는 5%였다. 이 조건이 만족되도록 야콘 발효주를 물로 희석하고 별도의 초산 첨가 없이 발효를 시작하였다. 초산균은 5%(v/v) 접종하였으며 29℃, 250 rpm으로 shaking incubator에서 12일간 발효하였다. 발효 중 3일 간격으로 시료를 채취하여 균수를 측정하였고 일부는 원심분리(4,000 rpm×15 min)하여 65℃에서 30분 동안 멸균한 후 영양성분, 항산화력, 색도 등의 변화를 모두 3반복 측정하였다. 발효 완료 후 식초도 원심분리 · 멸균하여 초음료 제조용으로 사용하였다.

1) 초산균 수

3일 간격으로 채취한 시료액을 희석하여 YPM(yeast extract 0.5%, peptone 0.3%, mannitol 2.5%, agar 1.5%) 고체배지에 도말하고 2~3일간 30℃에서 배양한 후 형성된 colony 수를 확인하였다. 초산균 수는 colony 수에 희석배수를 곱하고 log를 취하여 log CFU/mL 단위로 표시하였다.

2) 알코올 함량

알코올 함량은 비중법을 이용하여 측정하였다. 채취한 시료액 100 mL를 증류하여 70 mL의 액체가 정도 모아지면 증류를 멈추고 증류수로 가수하여 100 mL을 채운 후 비중계로 알코올 함량을 측정하였다. 측정값은 Gay-Lussac 주정환산표를 이용하여 온도를 보정하였다.

3) pH, 총산도 및 유기산 함량

pH는 pH meter(pH/ISE/Conductivity Meter 415P, Istec, Korea)를 이용하여 측정하였고 총산도는 중화 적정법을 이용하였다. 채취한 시료액 1 mL를 증류수로 10배 희석한 후 페놀프탈레인 지시약을 가한 다음 0.1 N NaOH 용액으로 30초 동안 엷은 분홍색이 사라지지 않을 때(pH 8.3±0.1)까지 적정하였다. 사용된 0.1 N NaOH 용액의 양

을 초산의 양으로 환산하여 나타내었다.

유기산의 분석을 위해 사용할 시료는 0.2 μm membrane filter에 통과시켜 불순물을 제거한 후 Ion-chromatography (Dionex-500, Dionex, USA)로 분석하였다. 측정 시 Electro conductivity detector를 사용하였고 column은 ICE-AS6 (9×250 mm)를, suppressor는 Anion-ICE micromembrane suppressor를 사용하였다. 용매는 0.4 mM heptafluorobutyric acid를 1 mL/min 속도로 흘려주었으며 시료의 injection volume은 20 μL이었다.

4) 총 당분량 및 당류 함량

총당분 함량을 간접적으로 측정하기 위하여 굴절당도계(H74137, Kikuchi, Japan)를 사용하였다. 당류 각각의 함량은 채취한 시료를 0.2 μm membrane filter로 여과한 다음 시료 20 μL를 HPLC에 주입하여 측정하였다. 컬럼은 carbohydrate column(4 μm, 4.6×250 mm, Water, Ireland)을 사용하였으며, tube temp. 50℃, column temp. 30℃, N_2 gas flow 2.0 L/min으로 하고 Water(A)와 Acetonitrile (B)을 이동상으로 하여 Table 1과 같은 조건으로 HPLC-ELSD (PL-ELS 2100, Dionex, USA)를 이용하여 측정하였다.

5) 총폴리페놀 및 페놀산 함량

총폴리페놀은 Folin-Ciocalteu 방법을 이용하였다. 시료액 200 μL에 200 μL 95% ethanol, 1 mL의 증류수를 가한 후 50 μL의 2N Folin-Ciocalteu 시약을 넣고 실온에서 10분간 방치하였다. 이후 200 μL의 5% Na_2CO_3 용액을 넣고 빛을 차단한 후 1시간 반응시켜 725 nm에서 흡광도를 측정하였다. Chlorogenic acid도 동일한 방법으로 실험하여 검량선을 작성한 후 시료의 결과를 chlorogenic acid의 양으로 환산하여 표시하였다.

또한 야콘 뿌리에 함유된 특징적인 페놀산인 caffeic acid와 chlorogenic acid, ferulic acid의 양을 HPLC-UVD (UVD-170S, Dionex, USA)로 측정하였다. 컬럼은 Symmetry C_{18}(5 μm, 4.6×250 mm, Water, Ireland)으로 이동상은 0.05% acetic acid in water(A), 0.05% acetic acid in acetonitrile(B)으로 Table 2와 같은 조건으로 정량하였으며 시료는 20 μL 주입하였고 325 nm 파장에서 측정하였다.

Table 1. HPLC elution gradient profile for analysis of sugars

Flow rate	1.4mL/min					
Time (min)	0	8	10	30	32	33
% of A[1)]	15	15	35	35	15	15
% of B[2)]	85	85	65	65	85	85

[1)] Solvent A, Water
[2)] Solvent B, Acetonitrile

Table 2. HPLC elution gradient profile for analysis of phenolic acids

Flow rate	1.0mL/min					
Time (min)	0	40	60	80	85	86
% of A[1)]	95	75	0	0	95	95
% of B[2)]	5	25	100	100	5	5

[1)] Solvent A, 0.05% acetic acid in Water
[2)] Solvent B, 0.05% acetic acid in Acetonitrile

6) 총항산화력

총항산화력은 Berg 등(2000)의 방법을 참고하여 각 시료의 ABTS 라디칼 소거활성을 측정한 후, ascorbic acid 당량(μg ascorbic acid/mL)으로 환산하여 표현하였다. 각각 20 μL씩 채취한 시료액과 농도별 ascorbic acid 용액에 ABTS solution 980 μL 첨가하여 37℃에서 10분간 반응시킨 후 734 nm에서 흡광도를 측정하였다.

7) 색도

시료액을 분광색차계(CM-3500d, Minolta co., Ltd., Japan)로 광원 D65-10°에서 측정하여 Hunter Lab value로 표시하였다.

5. 초음료 개발

발효 후 원심 분리하여 멸균한 야콘 발효 식초를 산도에 따라 3～11배 희석하고 고과당 시럽(High Fructose corn syrup, 대상, 한국)을 첨가하여 초음료를 제조하였다. 초음료는 산도 0.4%, 0.8%, 1.2%와 당도 6°Brix, 8°Brix, 10°Brix의 조합으로 9개의 음료를 제조하여 관능검사를 실시하였다.

1) 관능검사

관능검사는 서울대학교 식품영양학과 대학원생 18명을 패널로 하여 11점 선척도법으로 신맛, 단맛 강도를 평가하고 전체적인 기호도를 측정하였다. 기호도에서 가장 점수가 높은 음료를 선택하여 저장성 실험을 수행하였다.

2) 저장성 실험

초음료는 입구를 잘 밀봉하고 30℃ incubator에서 보관하며 일주일에 한 번씩 시료를 채취하여 pH, 산도, 당도, 색도 및 총균수를 측정하였다. pH, 산도 및 당도, 색도는 초산 발효와 같은 방법으로 수행하였고 총균수는 PCA (casein 0.5%, dextrose 0.1%, yeast extract 0.25%, agar 1.5%) 고체 배지를 사용하여 측정하였다.

6. 통계처리

본 연구의 자료 정리 및 분석은 SPSS 12.0K for Windows 프로그램을 이용하였다. 시료 간 평균차이를 알아

보기 위해 일원분산분석(one-way analysis of variance)을 하였고 유의적인 차이가 있을 경우 Duncan의 다중검정법을 $p<0.05$ 수준에서 실시하여 유의적인 차이를 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 알코올 발효

알콜 발효 10일 후 당도의 변화는 Fig. 1에서와 같다. 초기 당도 23°Brix에서 발효 10일 후 7.8°Brix로 감소하였고 알코올 농도는 0%에서 12.9%로 증가하였다. Kim DH(1999)의 연구에서와 같이 무화과를 이용한 식초 제조를 위해 발효 초기 24°Brix가 되도록 보당한 후, 27℃에서 알코올 발효를 수행하였을 때 최종 알코올 생성량이 약 13.5%까지 증가한 것과 비슷한 경향이었다.

2. 초산 발효

1) 초산 균수

발효 첫 날 7.0 log CFU/mL이었던 균수는 발효 후 3일째 되던 날 7.2 log CFU/mL, 6일째 7.3 log CFU/mL까지 높은 수를 유지하다가 9일째 4.4 log CFU/mL, 12일째 0 log CFU/mL으로 감소하였다(Fig. 3). 초산 발효 중 알코올 함량, 산도, 유기산 함량 등의 변화도 이와 비슷한 추이로 발효 후 6일까지 급격한 변화를 보이다가 그 이후 유지되거나 적은 변화를 보였다.

2) 알코올 함량

알코올 발효 직후 알코올 농도 13%(v/v)인 야콘 발효액을 5.4%로 희석하여 초산 발효 배지로 사용하였다. 3일 후 알코올 농도는 3.5%로, 6일 후 0.2%로 감소하였으며 9일 후에는 0%가 되었다(Fig. 2).

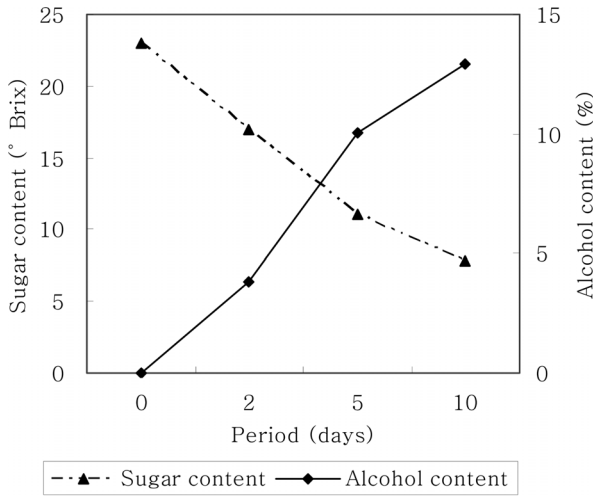


Fig. 1. Changes in alcohol and sugar contents of yacon alcoholic beverage during fermentation.

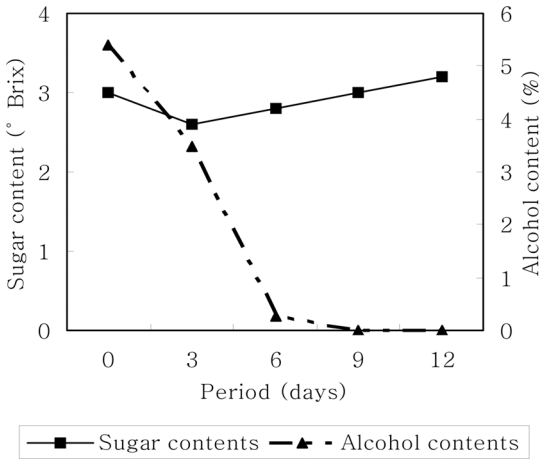


Fig. 2. Changes in alcohol, sugar contents of yacon vinegar during fermentation.

3) pH, 총산도 및 유기산 함량

총산도는 0%(v/v)로 시작하여 6일까지 4.2%로 급격히 증가하였고 그 이후 조금씩 증가하여 12일 최종 산도는 4.4%가 되었다. 총산도와 반비례하여 pH는 pH 3.2에서 pH 2.1까지 감소하는 추이를 보였다(Fig. 3). Park KS 등(1994)의 연구에 따르면 초산 발효는 정치배양보다 진탕배양 시 발효 속도가 빨랐으며 교반 속도가 빠를수록 산 생성속도 증가하는데 가장 빠른 180 rpm일 때 6일에 최고 산도에 다다랐다. 이는 매실 식초 발효 시 초기 산도를 달리하여 초산 발효하였을 때 모든 처리군에서 발효 6일째까지 산도가 증가한 것과 일치하는 결과이며(Kim MH 등 2006) 감귤 식초의 발효에서도 발효 후 6일까지 산도가 급격히 증가하고 알코올 함량은 감소하다가 그 이후 유지되거나 감소하는 결과를 보였다(Kim ML 등 2005). 반면, 양파를 이용한 초산 발효 시 100 rpm의 교반속도로 발효 8일에(Shin JS 등 2002), 유자를 이용한 식초는 150 rpm 속도로 발효 10일에 최고 산도에 이르렀다(Kang SK 등 2006). 여러 식초 발효 연구 논문에서 발효 추이는 비슷했으나 초산균의 종류, 온도, 초기 알코올 및 산도 함량 등 발효 조건에 따라 발효 속도

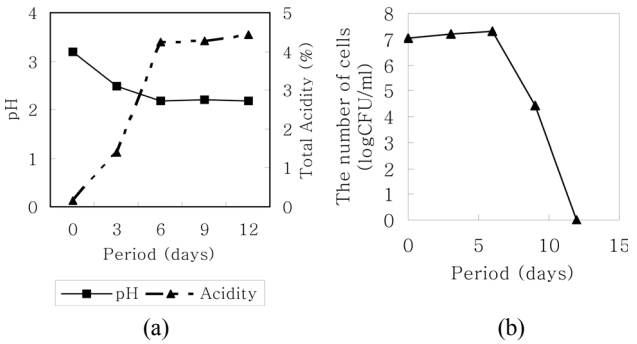


Fig. 3. Changes in pH, acidity (a), and the number of Acetobater aceti (b) of yacon vinegar during fermentation.

Table 3. Changes the individual organic acid contents of yacon vinegar during fermentation (μg/mL)

	Oxalic acid	Tartaric acid	Citric acid	Malic acid	Lactic acid	Acetic acid	Succinic acid
0 days	189.0±23.7[a,1)]	202.8±26.2[a]	49.3±2.8[a]	712.7±71.6[a]	287.7±31.3[a]	33.4±4.3[a]	660.6±68.4[a]
3 days	189.0±5.3[a]	186.7±4.9[a]	61.2±4.0[b]	615.1±8.8[b]	128.5±4.0[b]	9732.1±190.9[b]	218.7±3.9[b]
6 days	152.9±2.0[b]	91.6±0.0[b]	62.7±2.4[b]	492.7±11.4[c]	121.4±3.3[b]	31141.4±1066.1[c]	87.6±24.4[c]
9 days	151.2±0.7[b]	78.9±45.0[b]	64.6±1.9[b]	540.8±42.5[bc]	123.7±6.5[b]	32838.5 ±2086.0[c]	134.3±23.4[c]
12 days	173.0±3.2[a]	161.5±35.1[a]	75.7±2.7[c]	601.2±23.0[b]	124.7±3.0[b]	35400.7±1389.3[d]	96.1±20.7[c]
F-value	8.463**	12.139**	33.453**	13.550**	75.466**	509.824**	139.132**

[1)] Data are expressed as the mean±SD.
*significant at $p<0.05$, **significant at $p<0.05$
[a,b,c,d] Means in each column with different superscripts are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test

및 최종 생산된 총산의 함량에 차이를 보였다. 본 연구에서는 250 rpm로 비교적 빠른 속도로 교반하며 발효하였기 때문에 6일까지 빠르게 총산 함량이 증가하여 최고 산도에 도달한 것으로 생각된다.

Table 3에서 각각의 유기산 함량을 측정한 결과를 보면 acetic acid가 대부분을 차지하고 있었으며 그 다음으로 malic acid가 많이 함유되어 있었다. Acetic acid의 경우 총산도와 비슷하게 6일까지 급격히 증가했다가 낮은 증가폭으로 유지된 반면, 다른 유기산들은 매우 적은 양 함유되어 있었고 변화폭도 크지 않았다. 추이를 살펴보면 Citric acid는 증가하였으며 lactic acid와 succinic acid는 감소하였다. 그리고 malic acid와 oxalic acid, tartaric acid는 발효 후 6일까지 감소하였다가 다시 증가하는 등 뚜렷한 추이를 보이지 않았다. 이는 Seo JH 등(2001)의 연구에서 초산 발효 시 acetic acid의 함량이 급격히 증가한 것에 비해 malic acid 등의 유기산은 증가하긴 했으나 거의 변화가 없었던 것과 유사한 경향이다. 시판되는 양조, 사과, 현미식초에서 유기산을 측정하였을 때 식초 간에 malic acid, succinic acid, lactic acid의 함량의 차이는 큰 반면, citric acid, oxalic acid, tartaric acid의 함량은 식초 종류에 관계없이 함량이 비슷하다는 연구가 있었다(Yoon HN 1999). 그리고 초산균의 종류에 따라 malic acid 및 succinic acid의 함량에 차이가 있으며 이들은 식품 조리 시 풍미를 향상시키는 역할을 한다고 알려져 있다(Shin JS 등 2002).

4) 총당분량 및 당류 함량

굴절당도계로 측정한 간접적인 총 당분량은 3°Brix 정도로 $p<0.05$에서 유의적인 변화를 보이지 않았다(Fig. 2). 각각의 당류를 측정한 결과로는 fructose, glucose, sucrose와 야콘 뿌리에 특징적으로 함유되어 있는 프락토올리고당인 1-kestose, nystose가 측정되었다. Fig. 4의 크로마토그램을 보면 분자량이 더 큰 당류도 측정되었고 특히 그 안에는 1-kestose, nystose와 더불어 대표적인 프락토

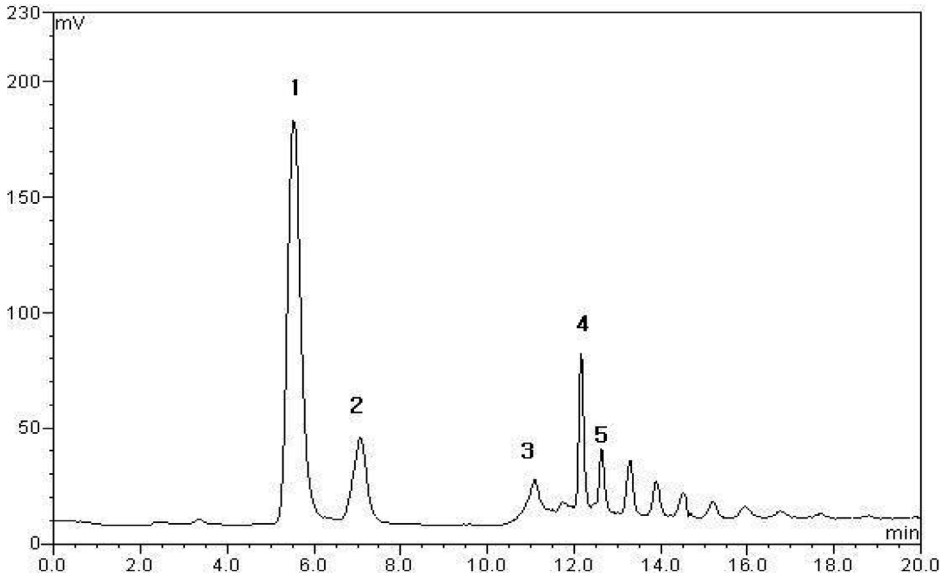


Fig. 4. HPLC profile of individual sugars in yacon vinegar(12days).
1 : Fructose, 2 : Glucose, 3 : Sucrose, 4 : 1-Kestose, 5 : Nystose

Table 4. Changes in individual sugar contents of yacon vinegar during fermentation (μg/mL)

	Fructose	Glucose	Sucrose	1-Kestose	Nystose
0 days	0.0±0.0[a]	0.0±0.0[a]	0.0±0.0[a]	47.8±21.8	66.5±12.9[a]
3 days	1349.7±107.0[b]	542.1±73.4[b]	160.1±6.3[b]	161.0±33.1	149.3±34.8[b]
6 days	1565.6±157.4[bc]	445.5±49.5[b]	188.7±8.4[c]	238.1±90.3	131.9±22.1[b]
9 days	1936.6±277.2[bd]	470.9±50.5[b]	229.2±17.7[d]	245.5±76.1	137.45±21.8[b]
12 days	2236.3±371.6[d]	494.6±70.3[b]	223.9±18.5[d]	160.7±113.2	116.1±35.7[b]
F-value	44.437**	47.916**	172.658**	3.367	4.343*

*significant at $p<0.05$, **significant at $p<0.05$

[a,b,c,d] Means in each column with different superscripts are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test

올리고당으로 알려진 1-F-fructofuranosylnystose도 존재할 것으로 추정되나 순수 물질을 구하기 어려워 정성 및 정량할 수 없었다. Fructose, glucose, sucrose의 함량은 전체적으로 증가하는 추이를 보였고 1-kestose, nystose는 증가하다가 감소하였으며 그 중 fructose의 함량이 가장 큰 폭으로 증가하였다(Table 4). 기존의 연구에 따르면 프락토올리고당은 25℃에서 15일간 저장하였을 때 20% 이상 감소할 정도로 쉽게 분해되고 반대로 환원당이 증가하는 것으로 알려져 있다.(Lachman 등 2003) 이에 비추어 보았을 때 본 연구에서도 29℃에서 12일간 발효하였으므로 저장 및 발효 과정을 거치면서 길게 연결된 fructan들이 분리되면서 단당류인 fructose와 glucose, 이당류 sucrose 및 짧은 올리고당들의 함량이 증가한 것으로 생각된다. Moon SY 등 (1997)의 연구에 따르면 야콘 식초에는 fructose 함량이 가장 많은 반면 국내 시판 식초에는 glucose가 가장 많이 함유되어 있고 다음으로 fructose가 많이 함유되어 있어 야콘 식초의 당류 구성과는 차이가 있었다.

5) 총폴리페놀, 페놀산 함량

초산 발효 과정 중 총폴리페놀의 함량은 발효 시작 시 148.6 μg/mL이었다가 발효 종료 후 89.7 μg/mL로 유의적으로 감소하였다. 반면, 페놀산 중 ferulic acid는 측정되지 않았고 caffeic acid와 chlorogenic acid의 함량은 발효 과정 중 $p<0.05$ 수준에서 유의적인 변화를 보이지 않았다(Table 5). 이는 페놀산의 pH에 따른 변화 때문일 것으로 사료된다. Friedman 등(2000)의 연구 결과를 보면 페놀산 중 caffeic acid, chlorogenic acid, gallic acids는 pH가 7 이상으로 증가할 때 변형이 일어나 감소하며 다시 복원되지 않았고 (-)-Catechin, (-)-epigalloca -techin, ferulic acid, rutin과 trans-cinnamic acid가 주로 pH에 의해 분해되는 페놀산이었다. 반면 chlorogenic acid은 열을 가하거나 낮은 pH인 사과주스에 첨가하여 2주간 냉장 보관하여도 안정하였다.

Table 5. Changes in caffeic acid and chlorogenic acid contents of yacon vinegar during fermentation (μg/mL)

	Caffeic acid	Chlorogenic acid
0 days	10.0±0.1	9.5±0.0
3 days	10.3±0.4	9.4±0.1
6 days	10.4±0.6	9.5±0.1
9 days	10.8±0.2	9.5±0.1
12 days	10.7±0.2	9.6±0.0
F-value	1.727	0.766

In each column(caffeic acid, chlorogenic acid) there were not significantly different at $p<0.05$ by ANOVA analysis

6) 총항산화력

총항산화력은 ABTS 라디칼 소거 활성능으로 측정하였을 때 발효 시작 시 148.5±10.8 μg ascorbic acid/mL에서 발효 완료 후 132.5±8.9 μg ascorbic acid/mL로 감소하는 추세를 보였지만 감소 정도가 크지 않아 Duncan의 사후검정 결과 $p<0.05$수준에서 발효 전 · 후 유의적인 차이는 없었다(Fig. 5). 한편 페놀산 화합물의 주 된 역할 중 하나가 자유 라디칼 소거 활성이라는 것은 기존의 연구들을 통해 많이 밝혀져 있다(Mùller 등 1999). 하지만 본 실험에서는 식초 발효 과정 중 총폴리페놀의 양이 유의

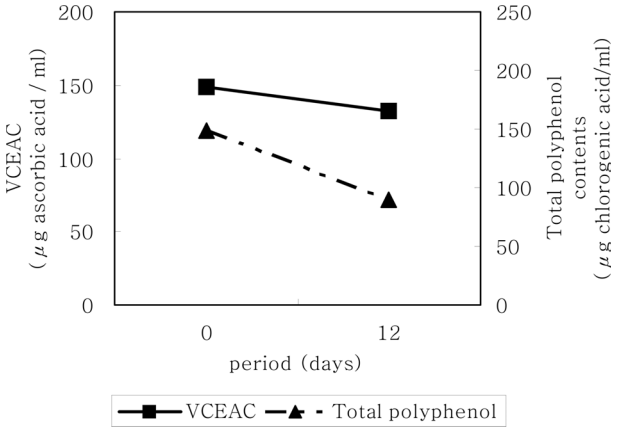


Fig. 5. Changes in total polyphenol contents, Vitamin C equivalent antioxidant capacity of yacon vinegar during fermentation.

Table 6. Sensory evaluation of yacon vinegar beverage

Acidity	0.4%			0.8%			1.2%			F-value
Sugar contents	6°Brix	8°Brix	10°Brix	6°Brix	8°Brix	10°Brix	6°Brix	8°Brix	10°Brix	
Sour taste	4.8±1.8[A)ab]	5.0±2.3[ab]	4.4±2.2[a]	8.8±2.9[cd]	7.7±1.2[ce]	6.5±2.4[be]	10.1±1.2[d]	9.1±1.1[cd]	8.5±1.5[cd]	12.077**
Sweet taste	5.1±2.5[ab]	6.6±2.0[bc]	8.8±2.7[d]	3.2±1.9[a]	6.9±2.0[bc]	7.2±2.7[cd]	3.6±2.8[a]	4.7±2.3[ab]	6.4±1.5[bc]	6.346**
Overall acceptance	7.0±1.8[ab]	7.6±2.4[ab]	8.5±2.1[ab]	4.0±2.7[cd]	6.8±3.3[ab]	7.2±2.6[ab]	2.7±2.0[c]	5.5±3.0[d]	6.8±3.1[ab]	5.030**

[A)] 11 cm line scale(0: not at all, 5.5: moderate, 11: strong)
*significant at $p<0.05$, **significant at $p<0.05$
[a,b,c,d,e] Means in each row with different superscripts are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test

적으로 감소한 것에 비하여 총항산화력은 큰 변화를 보이지 않았는데 이는 총폴리페놀의 양은 감소하였으나 caffeic acid, chlorogenic acid 함량은 유지된 것으로 보아 페놀산마다 함량 변화에 차이가 있으며 페놀산의 종류에 따라 항산화 능력에 차이가 있는 것(Kim DO 등 2002)이 하나의 이유가 될 수 있을 것이다. 또한 페놀산이 강력한 항산화물질이지만 그 외의 성분들, 특히 유기산의 다량 증가에 의한 영향이 있을 수 있을 것이라고 사료된다.

7) 색도

초산 발효 시 증가한 균체를 원심분리 하여 제거한 후 측정한 것이기 때문에 거의 물과 같은 투명한 색을 띄었으며 발효 중 유의적인 변화는 보이지 않았다(Fig. 6). 무화과를 이용한 식초로 관능평가를 실시한 연구 결과 색상은 투명도가 높은 구에서 높은 기호도를 나타내었다(Kim DH 1999) 따라서 향후 식초나 식초 음료를 상용화할 경우 적절한 청징화 과정을 거쳐야 할 것으로 생각된다. 한편 시판되고 있는 식초의 경우 제조사 및 재료에 따라 다양한 색을 가지고 있다(Moon SY 등 1997).

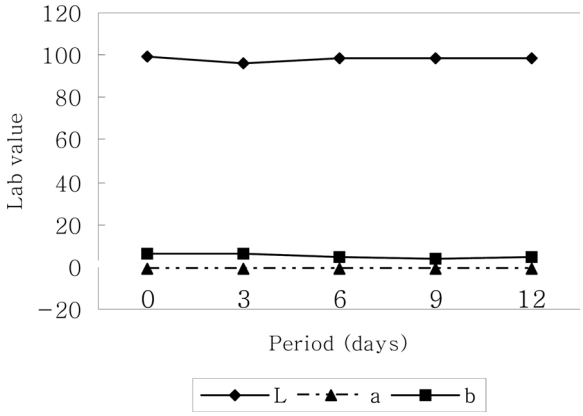
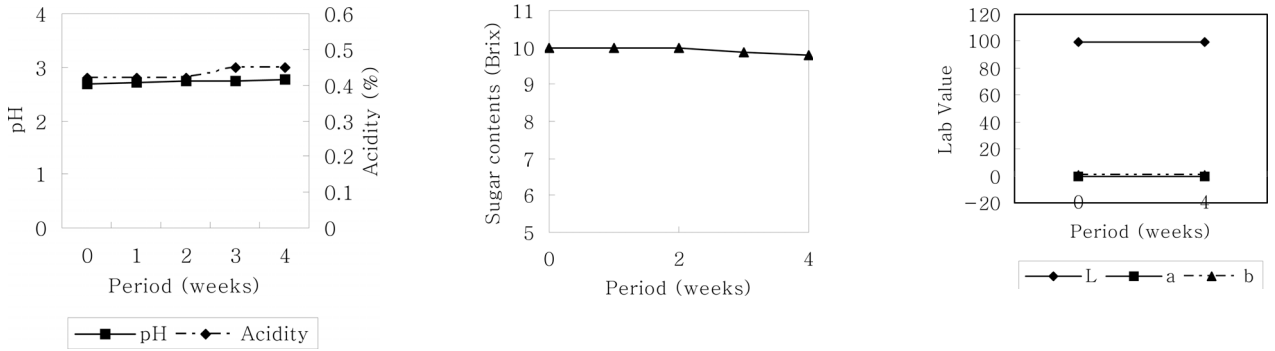


Fig. 6. Changes in color of yacon vinegar during fermentation.

3. 초음료 개발

1) 관능검사

관능검사 결과(Table 5) 신맛의 경우 같은 당도일 때 산도가 증가할수록 유의적으로 신맛 강도가 커졌고 같은 산도일 때는 당도가 증가할수록 단맛과의 상호작용으로 인해 신맛 강도가 약해지는 소멸현상을 보였다. 단맛의 경우도 마찬가지로 같은 산도일 때 당도가 증가할수록 강하게 단맛 느낀 것으로 나타난 반면, 같은 당도일 때 산도 증가에 따른 단맛의 소멸현상은 뚜렷하게 나타나지 않았다. 기호도는 단맛이 강하고 신맛이 약할수록 높게 나타났고 특히 0.4%의 산도, 10°Brix의 당도(당산비: 25)인 음료가 가장 높은 기호도를 보였다. 따라서 이 배합비의 음료를 이용하여 저장성 실험을 수행하였다. 한편 국내 시판 식초에 대한 관능평가를 실시하였을 때 맛 전



(a) (b) (c)

Fig. 7. Changes in pH, Acidity(a), sugar contents(b), and color(c) of yacon vinegar beverage(0.4% acidity, 10°Brix Sugar content) during storage(30°C, 4 weeks).

체의 기호도와 lactic acid는 음의 상관관계를 보였고 acetic acid는 양의 상관관계를 보여 Acetobacter의 정상 발효 생성물이 많이 함유된 식초가 좋게 평가된다는 연구결과도 있었다(Moon SY 등 1997).

2) 저장성 실험

30℃에서 4주간 저장성 실험을 수행한 결과, pH, 산도 및 당도, 색도에 유의적인 변화가 없었고 총균도 10^2 CFU/mL 희석 농도에서 발견되지 않았다(Fig. 7). Lee GD 등(2005)의 연구에서 참외식초를 이용하여 온도와 기간을 달리하여 저장 중 pH, 당도, 색도 등 변화를 측정하였을 때 저장시간보다는 저장온도에 영향을 많이 받았으며 30℃에서 큰 변화를 보이지 않았던 것과 비슷한 결과다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 야콘 뿌리를 이용하여 초산 발효를 실시하고 발효 과정 중 기능성 성분 및 항산화력 변화를 측정하며 이를 희석하여 기능성 성분을 가진 유기농 발효 음료를 제조함으로써 야콘의 활용 가능성을 높이고자 하였다.

초산 발효를 실시하기 위해 먼저 알코올 발효를 10일간 실시하였다. 발효 과정 중 당도가 감소하는 것과 반비례하여 알코올의 함량이 13%까지 증가하였다.

야콘 알코올 액을 원심분리하고 희석하여 초산균을 접종하고 12일간 초산 발효를 실시한 결과 6일까지 급격한 변화를 보였다. 초산 균수는 6일까지 높게 유지되다가 감소하였고 알코올 함량은 6일째 거의 0%가 되었고 pH도 감소하였으며 산도는 반비례하여 6일까지 급격히 증가하다가 이후 4.4% 정도로 유지되는 경향을 보였다.

유기산의 함량은 발효 중 전체적으로 크게 증가하였는데 특히 acetic acid의 함량과 증가폭이 컸고 다음으로 malic acid의 함량이 많았으며 succinic acid, lactic acid, tartaric acid 등이 측정되었으나 그 양이 적고 뚜렷한 경향성이 없었다. 또한 당류로는 fructose, glucose, sucrose, 1-kestose, nystose가 측정되었는데 단당류와 이당류는 전체적으로 증가하였으나 1-kestose와 nystose는 증가하다 감소하였으며 fructose의 함량과 증가폭이 컸다. 또한 총페놀산 함량의 경우 12일 발효 종료 후, 발효 전과 비교하여 148.6±3.2 μg chlorogenic acid/mL에서 89.7±2.2 μg chlorogenic acid/mL로 유의적으로 감소하였으나 총항산화력은 140 μg ascorbic acid/mL 전후로 유의적인 차이가 없었다. 야콘 뿌리에 특징적으로 함유된 페놀산인 caffeic acid, chlorogenic acid의 함량도 10 μg/mL 전후로 유의적인 변화는 보이지 않았다. 마지막으로 색도는 Hunter Lab으로 측정하였는데 마찬가지로 유의적인 변화는 없었다. 이와 같은 발효 속도나 유기산의 증가 및 총페놀함량의 감소나 당류의 변화 등을 고려하였을 때 기능성 초음료를 제조하기 위한 초산 발효 기간은 6일로 단축하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

초산 발효 종료 후 원심분리하고 멸균한 후 희석과 고과당 첨가로 산도와 당도의 배합을 달리하여 관능평가를 실시한 결과 0.4% 산도, 10°Brix의 음료가 가장 기호도가 높았다. 이를 이용하여 4주간 저장성 실험을 실시한 결과 pH, 산도, 당도 및 색도에 큰 변화가 없었다.

따라서 본 연구에서 제조한 식초 음료는 야콘 뿌리의 프락토올리고당과 페놀성분, 유기산이 함유된 기능성 음료로서 활용이 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

Andrea Marie White. The efficacy of vinegar as Adjust therapy in glucose management in adult with type 2 diabetes. Doctorate thesis. pp. 1-95

Aybar M.J., Riera A.N.S., Grau A., Sanchez S.S. 2001. Hypoglycemic effect of the water of Smallanthus sonchifolius (yacon) leaves in normal and diabetic rats. J. Ethnopharmacol 74:125-132

Breda Simonovska, Irena Vovk, Samo Andrenšček, Katerina Valentová, Jitka Ulrichová. 2003. Investigation of phenolic acids in yacon (Smallanthus sonchifolius) leaves and tubers.. J. Chromatography A 1016:89-98

Choi Nan-Hee, Choi Seong-Hun, Lim Seong-Wo, Park In-Sik. 2007. The Effect of Yacon (Smallanthus sonchifolius) Extract against Dibutyltin Dichloride-induced Pancreatitis. Korean J. anatomy 40(3):259-266

Dae-Ok Kim, Ki Won Lee, Hyong Joo Lee, and Chang Yong Lee. 2002. Vitamin C Equivalent Antioxidant Capacity (VCEAC) of Phenolic Phytochemicals. J. Agric. Food Chem. 50:3713-3717

Dong Han Kim. 1999. Studies on the Production of Vinegar from fig. J. Korean soc. Food Sci Nutr. 28(1):53-60

Dong-Young Shin, Gab-Lim Choi, Yun-Suk Cho, Byung-Sun Kwon, Hak-Jin Kim, Kyu-Hwan Hyun, June-Taeg Lim. 2007. Development of Functional Tea made by Yacon Leaf (Polymina sonchifolia PEOPP.). The Plant Resources Society of Korea symposium (2007.5):144-144

Elsa Zardini. 1991. Ethnobotanical notes on “yacon”, Polymnia sonchifolia (Asteraceae). Econ. Bot. 45:72-76

Hee Nam Yoon. 1999. Chemistry / Analysis : Chemical Characterization of Commercial Vinegars. Korean J. Food Sci. Technol. 31(6):1440-1446

Gee Dong Lee, Suk Kyung Kim, Myung Hee Lee. 2005. Quality Change of Beverage Containing Muskmelon Vinegar and Concentrated Muskmelon Juice during Storage. Korean J. Food Preserv. 12(3):223-229

Goto K., Fukai K., Hikida J., Nanjo F., Hara Y. 1995. Isolation and structural analysis of oligosaccharides from yacon (Poly-

mnia sonchifolia). Biosci. Biotechnol. Biochem. 59(12):2346-2347

Itaya N.M., De Carvalho M.A.M., Figueiredo-Ribeiro R.D.L. 2002. Fructosyl transferase and hydrolase activities in rhizophores and tuberous roots upon growth of Polymnia sonchifolia (Asteraceae). Physiol. Plant 116:451-459

Jens K.S. Mùller, Helle Lindberg Madsen, Tuula Aaltonen, Leif H. Skibsted. 1999. Dittany (Origanum dictamnus) as a source of water-extractableantioxidants. Food Chem. 64:215-219

Jin Han Shin, Choong Ho Ryu Sung Hwan Cho. 2002. Development of Vinegar 2000and Vinegar - containing Beverage from Carrots. J. Agriculture & Life science 36(1):39-46

Ji Hyung Seo, Gee Dong Lee, Yong Jin Jeong. 2001. Optimization of the Vinegar Fermentation Using Concentrated Apple Juice. J. Korean soc. Food Sci Nutr. 30(3):460-465

Jin Suk Shin, Oh Seuk Lee, Yong Jin Jeong. 2002. Changes in the Components of Onion Vinegars by Two Stages Fermentation. Korean J. Food Sci. Technol. 34(6):1079-1084

J. Lachman, E.C. Fernandez, M. Orsak. 2003. Yacon [Smallanthus sonchifolia (Poepp. et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use - a review. Plant Soil Environ. 49(6):283-290

Kateřina Valentováa, Jitka Ulrichováa. 2003. Smallanthus Sonchifolius and Lepidium Meyenii - Prospective Andean Crops for the Prevention of Chronic Disease. Biomed. Papers 147(2):119-130

Kwon-Sam Park, Myung-Suk Lee, Jong-Soo Mok and Dong-Suck Chang. 1994. Investigation of the Condition of Acetic Acid Fermentation with High Concentration Ethanol Resistant Acetobacter sp. FM-10. J. Korean Soc. Food Nutr. 23(5): 845-848

Kyung Jin Min, Jeong Un Cheon, Chun Geun Cha. 2008. Antioxidative and Anti-Cancer Activities of Extracting of Yacon. J. Fd Hyg. Safety 23(2):163-168

Mendel Friedman and Hella S. Jurgens. 2000. Effect of pH on the Stability of Plant Phenolic Compounds. J. Agric. Food Chem, 48:2101-2110

Mi Hyang Kim, Ung Kyu Choi. 2006. Acetic Acid Fermentation by Acetobacter sp. SK-7 using Maesil Juice. Krean K. Food culture 21(4):420-425

Mi Lim Kim, Kyung Ho Choi. 2005. Sensory Characteristics of Citrus Vinegar fermented by Gluconacetobacter hansenii CV1. Korean J. Food Coockery sci. 21(2):263-269

Mi Lim Kim, Kyung Ho Choi. 2006. Sensory Characteristics of Citrus Vinegar fermented by Gluconacetobacter hansenii CV1. Korean J. Food Coockery sci. 21(2):243-249

Quemener B., Thibault J.F., Cousement P. 1994. Determination of inulin and oligofructose in food products and integration in the AOAC method for measurement of total diateary fibre. Lebensm.-Wiss. Technol. 27:125-132

Robin van den Berg, Guido R.M.M. Haenen, Henk van den Berg, Wim van der Vijgh, Aalt Bast. 2000. The predictive value of the antioxidant capacity of structurally related - avonoids using the Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay. Food Chem. 70:391-395

Romina Pedreschi, David Campos, Giuiliana Noratto, Rosana Chirinos, and Luis Cisneros-Zevallos. 2003. Andean Yacon Root (Smallanthus sonchifolius Poepp. Endl) Fructooligosaccharides as a Potential Novel Source of prebiotics. J. Agric. Food Chem. 51(18):5278-5284

Seong Koo Kang, Mi Jeong Jang, Yong Doo Kim. 2006. Isolation and Culture Conditions of Acetobacter sp. for the Production of Citron (Citrus junos) Vinegar. Korean J. Food preserv. 13(3):327-362

Silmara Baroni, Fumie Suzuki-Kemmelmeier, Silvana Martins Caparroz-Assef, Roberto Kenji, Nakamura Cuman, Ciomar Aparecida Bersani-Amado. 2008. Effect of crude extracts of leaves of Smallanthus sonchifolius (yacon) on glycemia in diabetic rats Brazilian. J. Pharmaceutical Sciences 44(3): 521-529

Son SM. 1991. Study on the Alcohol Fermentation and Subsequent Vinegar Production by Immobilized Cells from Saccharified Potato starch. master´s thesis. Kon-Kuk University p. 4

Soo Yeun Moon, Hee Chul Chung and Hee Nam Yoon. 1997. Comparative Analysis of Commercial Vinegars in Physicochemical Properties, Minor Components and Organoleptic Tastes. Korean J. Food Sci. Technol. 29(4):663-670

Yan X.J., Suzuki M., Ohnishi-Kameyama M., Sada Y., Nakanishi T., Nagata T. 1999. Extraction and identification of antioxidants in the roots of yacon (Smallanthus sonchifolius). J. Agric. Food Chem. 47(11):4711-4713

Young Sook Kim. 2005. Antimicrobial Activity of Yacon K-23 and Manufacture of Functional Yacon Jam. Korean J. Food sci. Tecnol 37(6):1035-1038

2009년 6월 22일 접수; 2010년 2월 10일 심사(수정); 2010년 2월 10일 채택