

## 우리나라 재배지역별 야콘 생산성 및 기능성 프락토올리고당 평가

김수정\* · 손황배\* · 홍수영<sup>1</sup> · 남정환<sup>1</sup> · 장동철<sup>1</sup> · 김기덕<sup>1</sup> · 서종택<sup>1</sup> · 구본철<sup>1</sup> · 김율호<sup>1,†</sup>

### Environmental Evaluation of the Productivity and Functional Fructo-oligosaccharides of Yacon Cultivated in Various Regions of Korea

Su Jeong Kim<sup>1\*</sup>, Hwang Bae Sohn<sup>1\*</sup>, Su Young Hong<sup>1</sup>, Jung Hwan Nam<sup>1</sup>, Dong Chil Chang<sup>1</sup>, Ki Deog Kim<sup>1</sup>, Jong Taek Suh<sup>1</sup>, Bon Cheol Koo<sup>1</sup>, and Yul Ho Kim<sup>1,†</sup>

**ABSTRACT** The purpose of this study was to investigate the effects of environmental factors on the ecological responses, yield, and quality properties and physicochemical characteristics of yacon cultivated in various regions of Korea. Experiments were carried out in eight regions from 2010 to 2013. The temperature range in Jinbu, Bonghwa, Cheolwon, and Gangneung during the growth period of yacon cultivation was 17.5-24.6°C. The total yield and marketable yield of tuberous root in Jinbu were 4,065 and 3,196 kg/10a, respectively. The sugar content of yacon tuberous roots comprised 0.11-0.20% fructose, 0.11-0.37% glucose, 0.39-0.68% sucrose, 0.07-0.37% reducing sugar, and 7.03-9.62% fructo-oligosaccharides. The content of fructo-oligosaccharides, which is a functional substance, was the highest in yacon cultivated in Jinbu. Based on the productivity and functional fructo-oligosaccharides, the optimum areas to cultivate yacon are Jinbu and Bonghwa, which are located in the middle-highland zone (500-560 m) and have a suitable growth temperature of 18-25°C. The results of the present study indicate that temperature could be the factor with the greatest influence on the root growth of yacon.

**Keywords** : fructooligosaccharides, root crop, tuberous root

**야콘**(*Smallanthus sonchifolius* [Poepp. & Endl.] H. Robinson) 은 국화과에 속하며 Robinson (1978)과 Wells (1967)에 의해 *Smallanthus*속으로 재분류되었고(Hermann & Heller, 1997), 안데스 산맥 해발 2,000 m 고산지대가 원산지인 잉카제국 (1438~1533) 시대부터 재배되어 왔다(Brako & Zarucchi, 1993). 우리나라에는 1985년 다끼 종묘회사를 거쳐 도입되어, 1986년과 1987년 농촌진흥청 시험연구를 통해 강원, 충북 및 경북의 농가에 보급되었다. 야콘의 재배면적과 재배농가 수는 1999년 8 ha, 10여 농가에서 2009년에는 166 ha, 447농가로 각각 20배, 45배로 급속히 증가하고 있으며, 최근 면적 200 ha, 500여 농가로 추정되고 있다(Kim *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2012).

최근 서구식 비만, 당뇨, 고혈압 등과 같은 생활습관병이 국민건강에 주요 문제로 인식됨에 따라 건강 기능성작물에

대한 관심이 증가하고 있다. 특히, 야콘은 기능성 물질인 프락토올리고당의 항비만(Kim *et al.*, 2010), 항당뇨(Aybar *et al.*, 2001) 효능이 알려지면서 전세계적으로 야콘을 활용한 기능성 식품 개발이 활발히 이루어지고 있다(RDA, 2002; Kim *et al.*, 2013a). 프락토올리고당은 글루코스 1개에 프락토스가 2~10개 정도 결합한 비소화성 당으로서(Pedreschi *et al.*, 2003), 저칼로리, 비피더스균 증식, 장내세균 개선, 변비 개선 효과, 장내 부패물질 감소, 면역력 강화, 충치 원인균(*Streptococcus mutants*) 억제효과 등의 생리적인 기능성도 갖추고 있다(Asami, 1989; Kim *et al.*, 2013b).

지금까지 남미 페루와 볼리비아를 중심으로 야콘의 유전 자원 평가 및 재배방법에 관한 연구가 수행되었으며(NRC, 1989; Seminario *et al.*, 2002; INE, 2016), 체코, 독일, 이탈리아, 러시아 및 스페인 등 유럽에서 야콘의 잎과 덩이뿌리

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 고령지농업연구소 (Highland Agriculture Research Institute, NICS, RDA, Pyeongchang 25342, Korea)

\*These authors contributed equally to this work.

<sup>†</sup>Corresponding author: Yul Ho Kim; (Phone) +82-33-330-1840; (E-mail) kimyuh77@korea.kr

<Received 8 May, 2017; Revised 29 May, 2017; Accepted 8 June, 2017>

의 생산성 평가가 이루어졌다(Bredemann, 1948; Fernández *et al.*, 1997; Grau & Rea, 1997; Graefe, 2002; Havrland & Kapila, 2002). 또한, 일본에서 야콘 생산성 향상을 위한 재배 및 품종육성, 영양성분 등 체계적인 연구가 수행되고 있다(Fujino *et al.*, 2008; Tsukihashi *et al.*, 1989; Tsukihashi & Nakanishi, 2004).

이처럼 야콘은 남미 안데스의 아열대로부터 온대지방까지 재배가 가능한 광지역 적응성 작물로서 많은 연구가 전세계적으로 진행되고 있으나 우리나라에서 적응성 평가가 이루어지지 않아 재배지역별 생산성 및 기능성 성분 분석에 대한 정확한 정보가 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 야콘의 지역별 생산성과 기능성 물질인 프락토올리고당의 함량 변화를 바탕으로 적응성 검토 및 안정적 재배지대를 설정하고자 수행하였다.

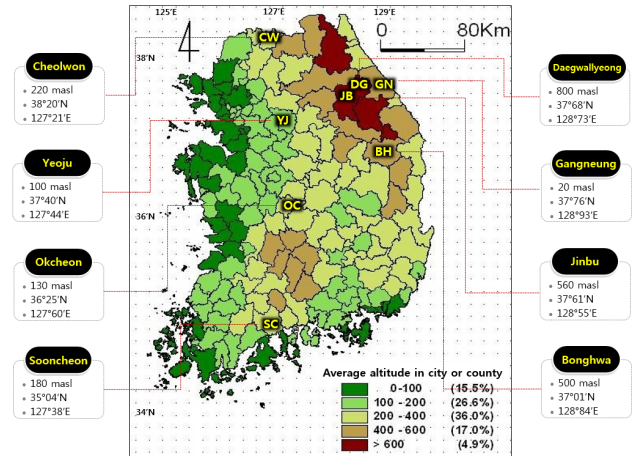
## 재료 및 방법

### 실험재료

본 연구는 주요 재배지역별 야콘의 생산성 및 생리적 특성을 평가하고자 2010년부터 2013년까지 8개 지역에서 수행하였다. 묘의 균일성을 유지하고자 야콘 관아(crown bud)를 유리온실에서 3월 상순(3월 1~10일)에 파종하고 온도를 20~25°C로 유지하면서 30일 동안 싹을 틔웠다. 어린 순 2-3매가 되었을 때 삼수를 채취해 50공 플러그트레이에 20~30일간 20~25°C 조건에서 육묘하였다. 야콘 시험포장을 준비하기 위해 4월 중·하순(4월 15~25일)에 시험포장에 유박(흡사골드 1.5 ton/10a)을 살포한 후 심경하였고, 추비는 하지 않았다. 5월 상순(5월 2~10일)에 두둑을 30 cm로 높게 하고 간격을 100 cm로 조성한 다음 잡초방지를 위해 흑색멀칭한 후, 5월 상·중순경(5월 7일~16일)에 각각의 포장에 정식하였다. 각 시험구의 재식밀도는 100 x 50 cm (기준 2,000주/10a)로 8개 지역에 심었다. 수확은 정식 후 160±9일로 10월 상·하순경(10월 8~30일)에 하였고, 일부 지역은 첫서리를 맞아 2~3일내 수확하였다. 나머지 재배법은 농촌진흥청 야콘 표준재배 양식에 준하였다(RDA, 2012).

### 재배지역의 해발고도 및 위도

시험재배 장소로 야콘이 주로 재배되는 지역을 대상으로 농가포장 또는 연구소 시험포장을 이용하였다(Fig. 1). 재배지역은 해발고도가 높은 순부터 낮은 순으로 대관령(강원도 평창군 대관령면 황계3리, 북위 37°68', 동경 128°73', 해발고도 800 m), 진부(강원도 평창군 진부면 송정리, 북위



**Fig. 1.** Eight sites of yacon cultivation in Korea. Sites are indicated by black dots with abbreviations indicating the city or county in yellow. DG, Daegwallyeong; JB, Jinbu; BH, Bonghwa; CW, Cheolwon; SC, Sooncheon; OC, Okcheon; YJ, Yeosu; GN, Gangneung.

37°61', 동경 128°55', 560 m), 봉화(강원도 봉화군 춘양면 서벽4리, 북위 37°01', 동경 128°84', 500 m), 철원(철원군 동송읍 이평리, 북위 38°20', 동경 127°21', 220 m), 순천(전라남도 순천시 승주읍 구강리, 북위 35°04', 동경 127°38', 180 m), 옥천(충청북도 옥천군 이원면 장찬리, 북위 36°25', 동경 127°60', 130 m), 여주(경기도 여주군 산북면 상품리, 북위 37°40', 동경 127°44', 100 m) 및 강릉(강원도 강릉시 두산동, 북위 37°76', 동경 128°93', 20 m) 등 모두 8곳이었다.

### 토양분석

토양의 물리화학성을 농촌진흥청 표준분석법에 준하여 분석하였다(NAAS, 2000). 각 시험구별로 토양을 채취하여 그늘에서 말린 후 2 mm 체로 쳐서 이물질을 제거한 후 분석에 이용하였다. 토양 pH, EC는 시료와 증류수의 비율을 1:5 (w/v)로 60분 진탕하여 여과(No. 2, Whatman International, Maidstone, UK)한 후 pH 측정기(pH meter Orion 3-STAR, Thermo scientific, Waltham, MA, USA)와 전기전도도(conductivity meter Orion 3-STAR, Thermo scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 측정하였고, 유기물함량은 Tyurin법, 전질소함량은 Kjeldahl (Gerhardt analytical systems, C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Königswinter, Germany) 증류법으로 분석하였다. 유효인산은 Lancaster법으로 Spectrophotometer (GBC Cintra 202, Sydney, Australia)로 720nm에서 비색측정하였다. 치환성양이온은 1 M ammonium acetate 법으로 추출 후 ICP-AES (GBC Integra XL, Sydney, Australia)

**Table 1.** Chemical characteristics of soil from eight sites of yacon cultivation in Korea.

Region (masl) <sup>z</sup>	pH (1:5)	EC (dS·m <sup>-1</sup> )	O.M. (g·kg <sup>-1</sup> )	T-N (%)	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg·kg <sup>-1</sup> )	Ex.cation (cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> )				Soil Texture
						Ca	K	Mg	Na	
DG (800 m)	5.4	0.4	15.5	0.5	123.0	2.9	0.6	1.2	0.08	Loam
JB (560 m)	5.3	0.5	12.6	0.6	653.4	4.5	0.2	1.1	0.07	Loamy sand
BH (500 m)	6.3	0.9	50.8	1.3	718.6	6.6	1.8	2.4	0.16	Silt loam
CW (220 m)	6.9	0.6	17.9	0.7	477.1	0.1	0.3	3.6	0.04	Loam
SC (180 m)	5.5	0.5	34.8	1.4	311.5	5.1	0.6	1.6	0.05	Silt loam
OC (130 m)	5.8	0.3	19.6	0.8	666.8	4.1	0.2	0.5	0.06	Loam
YJ (100 m)	6.0	0.9	25.9	0.9	610.8	5.0	0.9	1.0	0.13	Sandy loam
GN (20 m)	5.3	0.6	14.5	0.8	762.0	4.7	0.3	1.6	0.08	Sandy loam

All data are mean values of 2010 and 2012.

<sup>z</sup>masl, meters above sea level.

를 이용하여 정량하였다. 토성은 비중계를 이용한 Hydrometer 법으로 분석하였다(Table 1).

### 기상환경

기상자료 수집을 위하여 시험포장이 위치하고 있는 가까운 기상청의 자료를 이용하였는데 종관기상관측장비(Automated Synoptic Observing System, ASOS)와 자동기상관측장비(Automatic weather system, AWS)을 모두 활용하였다. 지역별로 대관령(대관령 ASOS자료), 진부(진부 AWS 자료), 봉화(봉화 ASOS 자료), 순천(순천 ASOS 자료), 옥천(대전 ASOS 자료), 여주(여주 AWS 자료), 철원(봉화 ASOS 자료) 및 강릉(강릉 ASOS 자료) 모두 8곳을 대상으로 하였다. 평년값 자료를 이용하기 위해 기상청 소속 8개소의 기상대 및 관측소에서 1971년부터 2000년까지 30년 동안 관측된 평년값 기상자료를 국가기후데이터센터(NCDSS, 2016)에서 다운받아 활용하였다. 또한, 야콘 재배기간(5~10월)의 기상자료를 활용하기 위해 기상청으로부터 8지역의 2010년부터 2013년까지 4년치 데이터를 수집하였다(KMA, 2014). 본 연구에 활용한 기상요소는 평균온도, 최고온도, 최저온도, 최고온도, 일조시수, 강수량, 서리일자 및 강수량 등 8가지를 바탕으로 최고온도와 최저온도차, 서리시기, 무상일수, 누적일조시간, 누적강수량을 엑셀로 계산하여 분석하였다(Table 2).

### 생산성 및 품질

농업과학기술 연구조사 분석기준(RDA, 2012)에 따라 야콘의 지대별 생산성 및 품질을 비교 분석하였다. 생산성과 관련 형질인 초장, 줄기수, 엽수, 잎줄기생체중, 뿌리생체중, 총수량, 상품수량, 관아수량을 2010년부터 2014년까지 4년 동안 평가하였다. 총수량(kg/10a)은 지하부 괴근의 전체 개

수와 무게를 조사하였고, 상품수량은 101 g 이상으로 병해가 없는 신선한 덩이뿌리 개수와 무게를 조사하였으며, 관아수량은 번식기관인 관아를 뿌리에서 따로 채취하여 개수와 무게를 측정하였다.

### 유리당 및 프락토올리고당 분석

유리당과 프락토올리고당 분석은 식품공전(KFDA, 2005) 방법에 따라 실시하였다. 신선한 야콘 덩이뿌리 10 g을 코닝튜브에 담고, 80% 에탄올 50 mL를 첨가하여 호모게나이저(Ultra-Turrax T25 Basic Homogenizer, IKA Co., Staufen, Germany)로 9,500 rpm으로 마쇄하여, 50 mL로 정용하였다. 여과지(No. 2, Whatman International, Maidstone, UK)를 이용해 추출물을 여과한 후 다시 HPLC 분석을 위해 멤프레인 필터(0.45 µm, Milipore, Bedford, MA, USA)를 이용하여 여과한 후 유리당과 프락토올리고당의 분석에 사용하였다. 유리당 표준물질로 프럭토스, 글루코스, 수크로스를 사용하여 0.5, 1.0, 2.0% 농도로 만들었다. 프락토올리고당의 표준물질(Fructo-oligosaccharides set, Wako, Osaka, Japan)로 케스토즈(1-kestose=GF<sub>2</sub>), 니스토즈(nystose=GF<sub>3</sub>), 프락토폴란노실니스토즈(1<sup>F</sup>-fructofuranosylnystose=GF<sub>4</sub>)를 각각 0.5, 1.0, 2.0%로 조제하였다. 액체크로마토그래피(Waters 2695 HPLC, Waters Co., Milford, MA, USA)을 이용해 굴절률 검출기(Waters 2414 Refractive Index Detector, Waters, Milford, MA, USA)로 분석하였다. 컬럼(Carbohydrate LC-NH<sub>2</sub> Φ4.6x250 mm 5 µm, Supercosil, Bellefonte, PA, USA) 온도를 30°C로 유지하였고, 이동상으로 아세토니트릴:증류수(acetonitrile:water = 70:30, v/v)을 사용하여, 유속을 1.0 mL/min로 하였다.

환원당 분석은 DNS (3,5-Dinitrosalicylic acid) 법을 이용하여 정량하였다(Choi *et al.*, 2008). 시료는 프락토올리고당

**Table 2.** Meteorological mean and normal data for eight sites of yacon cultivation in Korea.

Region (masl) <sup>z</sup>	Year	Average temp. (°C)	Maximum temp. (°C)	Minimum temp. (°C)	Different temp. <sup>w</sup> (°C)	Last frost date	First frost date	Frost free days	Daylight hours (h)	Accumulated precipitation (mm)	Planting period <sup>v</sup>	Harvesting period <sup>u</sup>
DG (800 m)	Mean <sup>y</sup>	16.0	21.1	11.0	10.1	May 3.	Sep. 29.	149	993	991	May 11.-16.	Oct 8.-18.
	Normal <sup>x</sup>	14.6	19.4	10.1	9.3	May 4.	Oct. 10.	159	991	1,318		
JB (560 m)	Mean	17.3	23.7	12.2	11.5	May 6.	Oct. 16.	163	No data	1,023	May 9.-15.	Oct 16.-19.
	Normal	16.9	23.7	11.3	12.3	Apr. 8.	Oct. 20.	195	No data	1,120		
BH (500 m)	Mean	18.5	25.1	13.0	12.1	Apr. 21.	Oct. 19.	181	923	987	May 10.-15.	Oct 19.-25.
	Normal	18.2	25.4	12.3	13.1	May 1.	Oct. 13.	165	1,023	946		
CW (220 m)	Mean	19.6	25.3	14.7	10.6	Apr. 12.	Oct. 12.	182	1,050	1,125	May 10.-15.	Oct 12.-22.
	Normal	19.0	24.8	14.1	10.7	Apr. 20.	Oct. 19.	182	1,096	1,114		
SC (180 m)	Mean	21.1	26.8	16.4	10.5	Apr. 8.	Oct. 22.	198	960	1,262	May 10.-15.	Oct 13.-30.
	Normal	20.5	26.7	15.4	11.3	Apr. 15.	Nov. 4.	203	1,075	1,156		
OC (130 m)	Mean	21.8	26.6	17.7	9.0	Apr. 9.	Oct. 20.	194	1,148	1,168	May 10.-15.	Oct 19.-30.
	Normal	20.6	26.2	16.1	10.1	Mar. 29.	Nov. 1.	217	1,182	1,058		
YJ (100 m)	Mean	20.6	26.7	15.6	11.1	Apr. 11.	Oct. 18.	190	1,065	1,453	May 10.-15.	Oct 19.-26.
	Normal	20.0	25.9	11.5	14.4	Apr. 15.	Oct. 24.	192	1,363	1,073		
GN (20 m)	Mean	20.4	24.6	16.7	7.9	Apr. 6.	Oct. 30.	207	1,035	850	May 7.-14.	Oct 21.-29.
	Normal	20.2	24.7	16.5	8.2	Mar. 18.	Dec. 1.	258	1,036	1,002		

All data values obtained from nearest National Climate Data Service System (NCDSS). (<http://sts.kma.go.kr>).

<sup>z</sup>Region (masl), region and meters above sea level (Table 1. Reference).

<sup>y</sup>“Mean” represents the 2010–2013 climate average for the cultivation period (May to October), including temperature and precipitation.

<sup>x</sup>“Normal” represents the 1971–2000 climate normals for the cultivation period (May to October); these are the Korea Meteorological Administration's latest three-decade averages of climatological variables, including temperature and precipitation. However, in Jinbu, these data have been substituted with the 1991–2000 climate normals and remain available as historical data.

<sup>w</sup>Difference between maximum and minimum temperatures.

<sup>v</sup>Planting period represents that in 2010–2013 after the last frost date.

<sup>u</sup>Harvesting period represents that in 2010–2013 before the first frost date.

분석을 위해 멤브레인 필터(0.45  $\mu\text{m}$ , Milipore, Bedford, MA, USA)로 2차 여과한 추출시료를 사용하였다. 추출시료 1 ml와 DNS 시약 1 ml을 두껍(cap)이 있는 유리 시험관에 넣고 Waterbath 95°C에서 10분 동안 중탕시켜 아이스에서 냉각시킨 다음 증류수 3 ml을 넣어 550nm에서 분광광도계(UV/Vis spectrometer Lamda 25, Perkin Elmer, Shelton, CT, USA)로 측정하였다. 표준용액은 글루코스를 사용하여 0.05, 0.10, 0.20% 농도로 하였다. 각 시험 항목에 대한 시료의 분석은 생체중으로 표기하였다.

### 통계분석

모든 분석결과는 4반복으로 수행된 평균값이며, 각 분석결과에 대한 통계분석은 SAS package 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하였고, Duncan의 다중검정으로 유의성을 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 토양 특성

야콘 주요재배지역의 토양을 분석한 결과는 다음과 같다

(Table 1). 토양 pH 범위는 5.3~6.9로써 약산성 토양이었다. 뿌리작물인 고구마의 경우 토양산도에 대한 적응성이 커 pH 4.2~8.3 범위에서는 생육 및 수량에 큰 차이가 없다고 하였으나, 야콘의 경우 6.0~6.5의 토양이 적당하고 하였다(Park *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 2011). 이러한 보고를 고려할 때 8개 지역은 모두 약산성 토양이었고, pH 5~6 범위에서 생육의 차이를 보이지 않았다. 전기전도도(EC, dS/m)는 0.3 (옥천)~0.9 (봉화)의 범위를 나타내어 전반적으로 염류집적이 거의 없는 토양으로 조사되었다. 야콘 재배시 적정 유기물 함량은 25~35 g/kg이며, 수량증대와 품질 향상에 꼭 필요하다고 하였다(Kim *et al.*, 2011). 8개 지역 유기물 함량(O.M.)은 12.6~50.8 g/kg의 범위를 보였으며 순천(34.8), 여주(25.9)는 적정 유기물 함량을 보였으나, 봉화를 제외한 다른 지역에서는 유기물 함량이 낮았다.

총 질소 함량(%)은 0.5 (대관령)~1.4 (순천) 범위를 나타내었다. 인산 함량(mg/kg)은 123.0 (대관령)~718.6 (봉화)으로 야콘 재배시 추천 함량인 300~500 mg/kg보다 넓은 범위를 보였다. 양이온의 경우 봉화에서 칼슘, 칼륨, 및 나트륨이 많았고, 마그네슘 함량은 철원이 많았다. 양이온(cmol/kg)의 경우 칼슘은 0.1~6.6, 칼륨은 0.2~1.8, 마그네

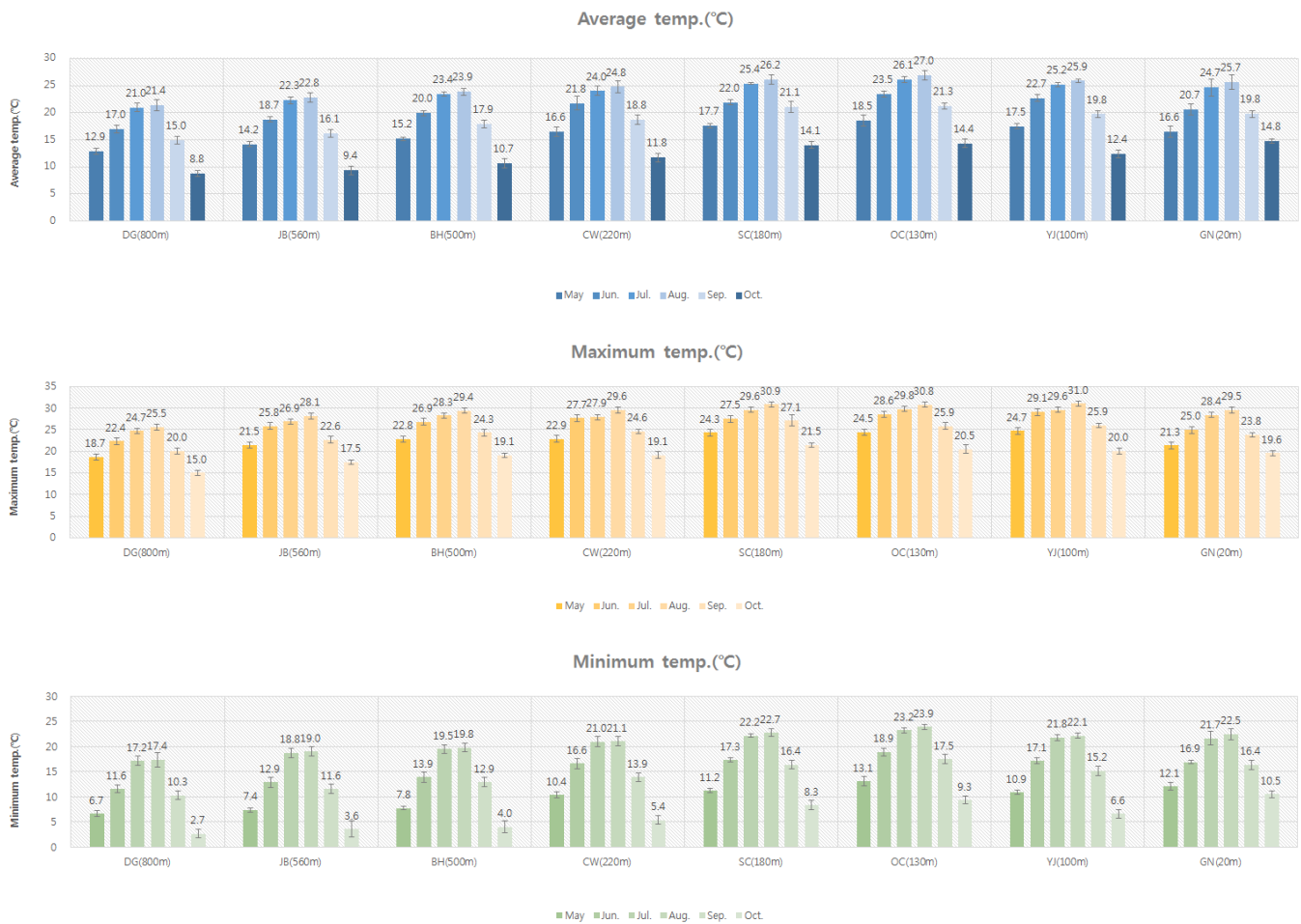


Fig. 2. Monthly average, maximum, and minimum temperature data for eight sites of yacon cultivation in Korea.

습은 0.5~3.6, 나트륨은 0.04~0.13의 범위를 나타냈다.

야콘은 여러 토양에서 재배가 가능하지만 비옥하고 배수가 잘 되는 토양이 더 적합하다고 하였다(Grau & Rea, 1997). 8개 지역의 토성을 분석한 결과, 대관령, 철원, 옥천지역은 양토(loam)였으며, 진부는 양질사토(loamy sand), 봉화, 순천은 미질양토(silt loam), 여주, 강릉 지역은 사양토(sand loam)의 토성을 나타내었다.

**기상 환경**

야콘 주요재배지역의 기상환경을 분석한 결과는 다음과 같다(Table 2). 야콘 재배기간(5~10월) 중 평균기온은 철원(19.6°C), 순천(21.1°C), 옥천(21.8°C), 여주(20.6°C), 강릉(20.4°C) 등 해발고도 20~200 m 지역이 해발고도 500~800 m인 대관령(16.0°C), 진부(17.3°C), 봉화(18.5°C)보다 3~4°C 높았다. 재배기간 중 평균온도 범위는 대관령 8.8~21.4°C, 진부 8.8~21.4°C, 봉화 10.7~23.9°C, 철원 11.8~24.8°C, 순

천 14.1~26.2°C, 옥천 14.4~27.0°C, 여주 12.4~25.9°C, 강릉 14.8~25.7°C로 지역별 차이를 보였다.

야콘의 생육은 덩이뿌리 형성기, 덩이뿌리 증가기, 덩이뿌리 최성기 등 3단계로 구분된다. 야콘은 생육환경 특히 지대나 기상조건이 수량과 품질에 미치는 영향이 커서 정식부터 수확까지의 온도가 중요하다고 하였다(Cho & Heo, 1996; Hur et al., 2007). 덩이뿌리 형성기인 8월의 평균온도를 보면, 대관령, 진부, 봉화, 철원 4지역은 21.4~24.8°C 범위를 보여 괴근 형성에 적합한 환경이었으나 순천, 옥천, 여주, 강릉 지역의 경우 25.7~27.0°C로 적정온도보다 높아 괴근형성에 불리하였다(Fig. 2).

덩이뿌리 증가기 및 최성기인 9~10월의 최고온도는 진부, 봉화, 철원, 강릉 지역은 17.5~24.6°C를 나타내어 야콘의 적정온도(18~25°C) 범위를 보여 덩이뿌리 무게 증가에 유리하였으나, 대관령은 15.0~20.0°C로 적정온도보다 낮았고, 순천, 옥천, 여주는 20.0~27.1°C로 적정온도보다 높아

**Table 3.** Mean values of agronomic characteristics of eight sites of yacon cultivation in Korea.

Region (masl)	Plant height (cm)	No. of branch (ea)	No. of leaf (ea)	Above ground biomass (g/plant)	Root biomass (g/plant)
DG (800 m)	88±5.0 b <sup>c</sup>	7±0.7 a	98±20.2 a	1,257±598 a	2,304±368 a
JB (560 m)	146±10.6 a	9±0.9 a	173±13.7 a	1,817±534 a	2,904±106 a
BH (500 m)	146±7.0 a	8±0.3 a	150±28.3 a	1,634±434 a	2,435±136 a
CW (220 m)	122±7.4 ab	9±1.7 a	20±39.7 a	1,636±536 a	2,208±72 a
SC (180 m)	123±20.6 ab	10±0.5 a	154±23.6 a	1,341±279 a	2,026±583 a
OC (130 m)	118±10.3 ab	8±0.9 a	169±56.2 a	1,368±569 a	1,525±105 a
YJ (100 m)	133±12.4 a	9±1.9 a	157±14.4 a	1,627±561 a	1,782±216 a
GN (20 m)	146±9.8 a	11±1.2 a	209±35.9 a	2,340±635 a	2,517±411 a
<i>p</i> value <sup>y</sup>	0.0180*	0.1743 <sup>NS</sup>	0.3459 <sup>NS</sup>	0.8778 <sup>NS</sup>	0.0894 <sup>NS</sup>

All data represent the average of agricultural production traits investigated from 2010 to 2013.

<sup>a</sup>Means with the same letter in a column are not significantly different according to DMRT (5%).

<sup>y</sup>The variables of yacon agricultural trait from eight sites expressed <sup>NS</sup>non-significant or \*significant at *p*<0.05.

덩이뿌리 무게 증가에 불리한 기상환경이었다.

야콘 재배 지역의 늦서리, 첫서리, 무상일수에 관한 분석 결과는 다음과 같다(Table 2). 4년간 평균 늦서리 기간은 4월 6일~5월 6일이었으며, 4년간 평균 첫서리는 대관령이 9월 29일로 가장 빨랐고, 강릉이 10월 30일로 가장 늦었다. 평년 첫서리기간은 대관령 10월 10일, 강릉이 12월 1일로 평년보다 빨랐다. 이러한 관측값은 우리나라 주요 야콘 재배지역이 정식기인 4~5월과 수확기인 10~11월에 서리피해를 받을 수 있는 기상환경임을 보여준다. 따라서, 서리 피해를 줄일 수 있는 재배연구가 필요할 것으로 생각된다.

4년 재배기간 동안 일조시간을 분석한 결과(Table 2), 봉화지역은 923시간으로 가장 적었고, 옥천지역이 1,148시간으로 가장 많았으며, 평년 1,182시간이었다.

야콘재배지의 재배기간 동안 강수량은 987~1,453 mm로 나타났다(Table 2). 재배기간동안 누적 강수량은 지역마다 차이를 보였는데 8개 지역 평균이 1,107 mm이었으며, 강릉이 850 mm로 재배기간 중 비가 가장 적게 내렸고, 여주 지역인 1,453 mm로 8지역 평균보다 1.3배 이상 강수량이 많았다. 야콘의 원산지인 남미 페루와 볼리비아 지역은 야콘이 생육하는 기간 동안 강우와 안개가 자주 있고 나머지 2~4개월은 상대적으로 상당히 건조하고 선선한 온도를 나타내었다(Franco & Rodriguez, 1997; Seminario *et al.*, 2002). 이러한 건조하고 쌀쌀한 온도는 야콘의 생육에 중요한 역할을 하며, 특히 덩이뿌리를 비대하는 데 유리한 조건을 만들어 준다고 하였다(CIP, 2016). 또한, 우기는 우리나라의 여름철 기후조건과 유사한데, 일조량이 풍부하고 자외선이 강한 조건이며 오후 또는 저녁 무렵에 한 차례 비가

와서 작물 재배에 유리하다고 하였다(CIP, 2016). 그러나, 생육기간 중에 강수량이 많으면 토양통기성이 나빠져 덩이뿌리의 비대감소를 유발, 뿌리작물의 수량이 낮아진다고 하였다(Jeong, 2003). 본 연구에서도 8개 지역 중 강수량이 다른 지역에 비해 많았던 여주지역에서 야콘의 생육이 부진하고 수량이 낮았다.

### 생육 특성

야콘 재배지역의 생장특성은 Table 3에 나타내었다. 초장은 진부, 봉화 및 강릉 등 3개 지역이 146 cm로 가장 컸고, 대관령이 88 cm로 가장 작았으며 지역간 통계적 유의성이 있는 것으로 분석되었다. 줄기수, 잎수, 지상부중 및 지하부중은 지역별 차이를 보였으나 연차간 변이가 심해 통계적으로 유의하지는 않았다.

재배지역별로 야콘의 생산성을 검토한 결과는 다음과 같다(Table 4). 야콘의 총수량은 1,648~4,065 kg/10a의 범위였으며, 진부에서 가장 높았고, 그 다음으로 봉화, 철원 순이었다. 이는 앞의 기상환경에서도 언급하였듯이 야콘 덩이뿌리 비대기에 온도가 높지 않아 비대에 적절한 온도 조건이 유지되었기 때문이다. 상품수량은 1,233~3,196 kg/10a의 범위였으며 진부지역이 상품수량 비율이 높았고 옥천과 여주지역이 낮았다. 특히 이 두 지역에서 수량이 낮은 이유는 덩이뿌리 생장기에 고온으로 덩이뿌리 비대가 충분히 이루어지지 않은 데서 기인한 것으로 분석된다.

야콘은 해발고도 10~3,500 m의 다양한 고도에서 재배가 가능하나, 일본의 경우 해발고도 500 m의 준고랭지 지역이 재배적지인 것으로 보고하였다(Kim *et al.*, 2017; Tsukihashi,

**Table 4.** Mean values of agricultural production traits from eight sites of yacon cultivation in Korea.

Region (masl)	Total yield (/10a)		Marketable yield (/10a)		Crown bud yield (/10a)	
	Number	Fresh wt. (kg)	Number	Fresh wt. (kg)	Number	Fresh wt. (kg)
DG (800 m)	21,058±1,453 ab <sup>z</sup>	2,682±212 bcd	9,567±239 abc	2,152±227abc	16,367±2,878 a	174±51 a
JB (560 m)	29,650±2,398 a	4,065±80 a	12,408±1,251 a	3,196±114 a	19,067±3,610 a	312±88 a
BH (500 m)	22,729±2,330 ab	3,288±135 ab	11,146±922 ab	2,622±166 ab	22,733±2,151 a	252±24 a
CW (220 m)	23,758±750 a	3,150±119 ab	10,742±504 ab	2,486±173 ab	12,967±1,765 a	120±20 a
SC (180 m)	22,742±6,185 ab	2,439±706 bcd	7,933±2,248 bc	1,701±498 bc	21,100±3,291 a	190±16 a
OC (130 m)	12,783±1,428 b	1,648±342 d	5,792±1,156 c	1,260±324 c	24,967±5,126 a	238±101 a
YJ (100 m)	19,875±3,099 ab	1,878±292 cd	6,058±1,127 c	1,233±321 c	25,167±8,785 a	239±73 a
GN (20 m)	24,675±3,717 a	3,058±606 abc	10,550±2,026 ab	2,324±535 ab	20,500±4,762 a	257±42 a
<i>p</i> value <sup>y</sup>	0.0554 <sup>NS</sup>	0.0032 <sup>**</sup>	0.0139 <sup>*</sup>	0.0031 <sup>**</sup>	0.3072 <sup>NS</sup>	0.2248 <sup>NS</sup>

All data represent the average of agricultural production traits investigated from 2010 to 2013.

<sup>z</sup>Means with the same letter in a column are not significantly different according to DMRT (5%).

<sup>y</sup>The variables of yacon agricultural trait from eight sites expressed <sup>NS</sup>non-significant, <sup>\*</sup>significant at *p*<0.05, or <sup>\*\*</sup>significant at *p*<0.01.

**Table 5.** Free sugar, redicigng sugar, and fructo-oligosaccharides content of tuberous root from eight sites of yacon cultivation in Korea.

Region (masl)	Fructose (%)	Glucose (%)	Sucrose (%)	Reducing sugar (%)	Fructo-oligosaccharides (%)
DG (800 m)	0.19±0.02 ab <sup>z</sup>	0.25±0.02 abc	0.49±0.13 a	0.11±0.02 b	7.81±0.50 bcd
JB (560 m)	0.13±0.03 bc	0.15±0.03 bc	0.58±0.03 a	0.07±0.01 b	9.62±1.52 a
BH (500 m)	0.113±0.03c	0.11±0.01 c	0.53±0.12 a	0.12±0.05 b	9.04±0.65 ab
CW (220 m)	0.20±0.05 a	0.37±0.22 a	0.46±0.15 a	0.28±0.16 a	7.95±1.53 bcd
YJ (100 m)	0.17±0.10 abc	0.28±0.14 ab	0.68±0.31 a	0.26±0.04 a	8.75±0.45 abc
SC (180 m)	0.15±0.03 abc	0.19±0.05 bc	0.42±0.06 a	0.37±0.11 a	7.04±1.60 d
OC (130 m)	0.12±0.05 c	0.20±0.07 bc	0.39±0.09 a	0.15±0.06 b	7.03±1.31 cd
GN (20 m)	0.13±0.06 abc	0.28±0.16 ab	0.52±0.17 a	0.27±0.10 a	8.50±0.83 abcd
<i>p</i> value <sup>y</sup>	0.0369 <sup>*</sup>	0.0090 <sup>**</sup>	0.0518 <sup>NS</sup>	0.0045 <sup>**</sup>	<0.0001 <sup>***</sup>

All data represent the average of agricultural sugar and fructo-oligosaccharides investigated from 2011 to 2012.

<sup>z</sup>Means with the same letter in a column are not significantly different according to DMRT (5%).

<sup>y</sup>The variables of yacon agricultural trait from eight sites expressed <sup>NS</sup>non-significant, <sup>\*</sup>significant at *p*<0.05, or <sup>\*\*</sup>significant at *p*<0.01.

1999). 우리나라에서도 해발고도 20 m 평지에서부터 고랭지인 800 m까지 재배가 가능하였으나 해발고도 500~600 m 지역에서 생산성이 높은 것으로 나타났다(Table 4). 이러한 결과는 평야지에서 야콘을 재배하면 여름 고온기에 고온장해가 발생하여, 덩이뿌리의 비대가 현저히 저해되어 수확량이 떨어지는 문제점이 있으나 해발고도 500 m 전후의 준고랭지에서는 고온장해가 경미하여 수확량이 많고 열근 현상이 적다고 한 보고와 일치하였다(Doo *et al.*, 2001). 여름철 고온장해가 없었던 대관령(800 m) 지역의 수량성이 준고랭지인 진부(560 m), 봉화(500 m) 보다 낮았던 원인은 생육기간 중 온도 영향이 큰 것으로 판단된다.

**유리당 및 프락토올리고당**

야콘 덩이뿌리의 당함량을 분석한 결과, 프럭토스 0.11~0.20%, 글루코스 0.11~0.37%, 수크로스 0.39~0.68%, 환원당 0.07~0.37%, 프락토올리고당 7.03~9.62%이 함유되어 있는 것으로 분석되었다(Table 5). 야콘의 탄수화물(약 12% 함유) 중 프락토올리고당(7~10%)이 대부분을 차지하였고, 나머지는 유리당인 프럭토스, 글루코스, 수크로스 등인 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 야콘에 프럭토스, 글루코스, 수크로스, 이눌린, 프락토올리고당 등이 함유되어 있으며(Goto *et al.*, 1995), 프락토올리고당이 약 3~10% 정도라는 기존의 연구결과(Itaya *et al.*, 2002)와 비슷하였다. 또한, Grau & Rea (1997)은 프럭토스 함량 1.4~2.1%, 글루코스

**Table 6.** Pearson’s correlation coefficients for environment, yacon production, and fructo-oligosaccharides factors.

Factor	Marketable yield	Average temperature	Maximum temperature	Minimum temperature	Frost free days	Fructo-oligosaccharides	Reducing sugar
Marketable yield	1.000 <sup>NS</sup>	-0.669 <sup>NS</sup>	-0.549 <sup>NS</sup>	-0.644 <sup>NS</sup>	-0.447 <sup>NS</sup>	0.833*	-0.527 <sup>NS</sup>
Average temperature		1.000	0.912**	0.980***	0.915**	-0.423 <sup>NS</sup>	0.807*
Maximum temperature			1.000	0.818*	0.800*	-0.260 <sup>NS</sup>	0.564 <sup>NS</sup>
Minimum Temperature				1.000 <sup>NS</sup>	0.923**	-0.425 <sup>NS</sup>	0.855**
Frost free days					1.000	-0.181 <sup>NS</sup>	0.703 <sup>NS</sup>
Fructo-oligosaccharides						1.000	-0.470 <sup>NS</sup>
Reducing sugar							1.000

<sup>NS,\*,\*\*,\*\*</sup>Non significance or significance at  $p<0.05$ ,  $p<0.01$ , or  $p<0.001$ , respectively.

함량 0.2~0.6%가 야콘의 덩이뿌리에 있다고 보고하였다. 이를 본 연구결과와 비교하였을 때, 프럭토스 함량은 기존 보고보다 훨씬 많고 글루코스 함량은 비슷한 경향이었다.

야콘의 해발고도별 환경조건에 따른 생산성과 프락토올리고당의 상관성을 구명하기 위해 피어슨 상관분석을 하였다(Table 6). 그 결과, 생산성과 프락토올리고당 함량과는 높은 정의 상관관계(0.833)를 보였고, 평균온도와 환원당함량과는 정의 상관관계(0.807)를 나타내었다. 이러한 결과는 야콘이 생육한 적합한 환경조건에서 생산성이 많아지고, 기능성 물질인 프락토올리고당 함량도 높은 경향이었다.

지역별 당함량 비교에서 주 성분인 프락토올리고당 함량(%)은 진부(9.62), 봉화(9.04), 여주(8.75), 강릉(8.50) 순으로 많았다. 특히 수량성이 가장 높았던 진부, 봉화 두 지역에서 야콘의 주 기능성 성분인 프락토올리고당 함량이 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 준고랭지 지역이 수량성이 높을 뿐만 아니라 기능성도 우수하여 야콘 생산의 최적지임을 의미한다. 이처럼 야콘에 7.03~9.62% 함유되어 있는 프락토올리고당은 기능성 식품 개발에 유용한 재료로 활용이 가능할 것으로 생각한다.

는 진부, 봉화, 철원, 강릉 지역이 17.5~24.6°C를 나타내어 덩이뿌리 생육에 적정온도 범위를 보였으나, 대관령의 온도는 15.0~20.0°C로 적정온도(18~25°C)보다 낮았으며, 순천, 옥천, 여주는 20.0~27.1°C로 적정온도보다 높았다.

- 야콘의 생산성을 지역별로 비교하였을 때, 진부지역이 총수량과 상품수량이 각각 4,065, 3,196 kg/10a로 다른 지역보다 가장 높았으며, 그 다음으로 봉화, 철원 순이었다.
- 야콘 덩이뿌리의 당함량을 분석한 결과, 프럭토스 0.11~0.20%, 글루코스 0.11~0.37%, 수크로스 0.39~0.68%, 환원당 0.07~0.37%, 프락토올리고당이 7.03~9.62%이 함유되어 있었다. 진부지역이 기능성 물질인 프락토올리고당 함량이 가장 높았다.
- 야콘의 국내 적응성을 평가한 결과, 생육온도인 18~25°C인 준고랭지 지역(500-560 m)인 진부 및 봉화에서 가장 안정적인 생산성을 나타내어 기상환경이 야콘의 덩이뿌리 생육에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 구명되었다.

**적 요**

본 연구는 남미 안데스 원산인 야콘을 대상으로 국내 주요 재배지의 적응성을 평가하고자 2010년부터 2013년까지 4년동안 8 지역을 대상으로 토양환경, 기상환경, 생육 및 수량 특성을 비교하였다. 주요 결과는 아래와 같다.

- 야콘 주요 재배 8지역의 토양 pH 범위는 5.3~6.9로써 약산성이었고, EC는 0.3~0.9 dS/m의 범위를 나타내어 염류집적이 거의 없는 야콘 생육에 적합한 토성이었다.
- 야콘의 덩이뿌리 최성기~증가기(9~10월)의 최고온도

**사 사**

본 연구는 국립식량과학원 고령지농업연구소 “야콘의 생산성 향상 기술 및 식품 소재화 연구(과제번호: PJ01135401)”사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

**인용문헌(REFERENCES)**

Asami, T., M. Kubota, K. Minamisawa, and T. Tsukihashi. 1989. Chemical composition of yacon, a new root crop from the Andean highlands. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 60 : 122-126 (in Japanese).  
 Aybar, M. J., A. N. Sánchez Riera, A. Grau, and S. S.



- Sánchez. 2001. Hypoglycemic effect of the water extract of *Smallantus sonchifolius* (yacon) leaves in normal and diabetic rats. *J. Ethnopharmacol.* 74 : 125-132.
- Brako, L. and J. Zarucchi. 1993. Catalogue of the flowering plants and gymnosperms of Peru. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden 45: I-XI: p. 1286.
- Bredemann, G. 1948. Über *Polymnia sonchifolia* Poepp. and Endl. (*Polymnia edulis* Wedd.), die Yacon. Erdbirne. Botan. Pecin (About *Polymnia sonchifolia* Poepp. & Endl. *Polymnia edulis* Wedd. the yacon. Bot. Oecon), (Hamburg) 1 : 65-85 (in German).
- Cho, D. H. and K. Heo. 1996. Effect of different fertilizer application on the dry matter production and leaf photosynthetic of yacon. *Korean J. Plant Res.* 9 : 274-278 (in Korean).
- Choi, H. D., H. C. Lee, S. S. Kim, Y. S. Kim, H. T. Lim, and G. H. Ryu. 2008. Nutrient components and physico-chemical properties of new domestic potato cultivars. *Korea J. Food Sci. Tehnol.* 40 : 382-388 (in Korean).
- Doo, H.S., J.H. Ryu, K.S. Lee, and S.Y. Choi. 2001. Effect of plant density on growth responses and yield in yacon. *Korean J. Crop Sci.* 46 : 407-410. (in Korean)
- Fernández, C. E., J. Michl, and H. Lipavska. 1997. Determination of saccharides content in different ecotypes of yacon (*Polymnia sonchifolia*) cultivated under conditions of the Czech Republic. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 30 : 79-87.
- Franco, P. S. and C. J. Rodriguez. 1997. Caracterización y evaluación del germoplasma de Ilacon (*Polymnia sonchifolia* Poepp. and Endl.) del INIA en el valle de Cajamarca. IX Congreso Internacional de Cultivos Andinos: Libro de resúmenes, 22-25 de abril 1997. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), Centro de Investigación en Cultivos Andinos (CICA), Asociación ARARIWA, Cusco, Peru p. 55.
- Fujino, M., T. Nakanishi, J. Ishihara, S. Ono, Y. Doi, M. Sujura, and K. Tomioka. 2008. New yacon cultivars, 'Andes no Yuki' and 'Salad Okame'. *Bulletin of the National Agricultural Research Center for Western Region.* pp. 131-143.
- Goto, K., K. Fukai, J. Hikida, F. Nanjo, and Y. Hara. 1995. Isolation and structural analysis of oligosaccharides from yacon (*Polymnia sonchifolia*). *Biosci. Biotech. Biochem.* 59 : 2346-2347.
- Graefe, S. 2002. Post-harvest compositional changes of yacon roots (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. and Endl.) as affected by storage conditions and cultivar. MS thesis, University of Kassel, Germany p. 63.
- Grau, A. and J. Rea. 1997. Yacon, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. and Endl.) H. Robinson. In: Hermann M. and J. Heller (eds.): Andean roots and tubers: Ahipca, arracacha, maca and yacon. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 21. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research. Gatersleben/ International Plant Genetic Resources Institute. Rome, Italy pp. 199-242.
- Havrland, B. and P. Kapila. 2002: Agricultural Technology Management Program 'AGRO-EXPERT'. *Agric. Trop. Subtrop.* pp. 3-14.
- Hermann, M. and J. Heller. 1997. Andean roots and tuber: Ahipca, arracacha, maca and yacon. *International Plant Genetic Resources Institute, Peru*, pp. 199-242.
- Hur, B.K., N.H. Choung, Z.H. Kim, O.J. Oh, S.G. Son, and D.Y. Kang. 2007. Effects of various composts and NPK Fertilizers application to the yacon (*Polymnia sonchifolia*) growth. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 15 : 17-20.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). 2016. <http://www.ine.gov.bo>
- International Potato Center (CIP). 2016. <http://cipotato.org>
- Itaya, N.M., M.A.M. De Carvalho, and R.D.L. Figueiredo-Ribeiro. 2002. Fructosyl transferase and hydrolase activities in rhizophores and tuberous roots upon growth of *Polymnia sonchifolia* (Asteraceae). *Physiol. Plant*, 116 : 451-459.
- Jeong, B.C. 2003. Development of early spring production system in sweetpotato by using polyethylene film mulching. Ph.D. Thesis of Mokpo National University, Korea.
- Kim, S. J., H. M. Cho, J. C. Jeong, J. Y. Choi, Y. H. Yoon, and D.C. Chang. 2011. Yacon Story. Dongwoosa. Pyeongchang, Korea. pp. 10-50 (in Korean).
- Kim, S. J., Y. I. Jin, J. H. Nam, S. Y. Hong, D. C. Chang, Y. H. Yoon, H. M. Cho, and J. C. Jeong. 2012. Domestic and overseas status and future trends of yacon production. *Korean J. Intl. Agri.* 24 : 417-424.
- Kim, S. J., Y. I. Jin, J. H. Nam, S. Y. Hong, W. B. Sohn, O. K. Kwon, D. C. Chang, H. M. Cho, and J. C. Jeong. 2013a. Comparison of nutrient composition of yacon germplasm. *Korean J. Plant Res.* 26 : 9-18.
- Kim, S. J., O. K. Kwon, S. Y. Hong, J. H. Nam, H. B. Sohn, Y. I. Jin, D. C. Chang, and H. M. Cho. 2013b. Characteristics and effects of fructooligosaccharides in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) *Korean J. Intl. Agri.* 25 : 284-289.
- Kim, S. J., W. B. Sohn, S. Y. Hong, J. H. Nam, D. C. Chang, K. D. Kim, J. T. Suh, B. C. Koo, and Y. H. Kim. 2017. Principal component analysis of the classification of yacon cultivation areas in Korea. *Korean J. Crop Sci.* 62 : 149-155.
- Kim, A. R., J. J. Lee, Y. M. Lee, H. O. Jung, and M. Y. Lee. 2010. Cholesterol-lowering and anti-obesity effects of *Polymnia sonchifolia* Poepp. & Endl. powder in rats fed a high fat-high cholesterol diet. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 39 : 210-218.
- Korea Food & Drug Administration (KFDA). 2005. Food Standard Code. Korea Food & Drug Administration Seoul,

- Korea. pp. 367-385 (in Korean).
- Lee, S. H., H. J. Park, and S. M. Cho. 2004. Analysis of dietary fibers and its biofunctional effect. *Korean J. Crop Sci.* 49 : 23-30.
- National Academy of Agricultural Science (NAAS). 2000. The standard method of soil and plant analysis. National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Korea. pp. 29-134. (in Korean)
- National Climate Data Service System (NCDSS). 2016. <http://sts.kma.go.kr>. (in Korean)
- National Research Council (NRC). 1989. Yacon. In: Lost crops of the Incas: Little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. National Academy Press, Washington D.C. pp. 114-147.
- Pedreschi, R., D. Campos, G. Noratto, R. Chirinos, and L. Cisneros-Zevallos. 2003. Andean yacon root (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. and Endl.) fructooligosaccharides as a potential novel source of prebiotics. *J. Agri. Food Chem.* 51 : 5278-5284.
- Robinson, H. 1978. Studies in the Heliantheae (Asteraceae). XII. Re-establishment of the genus *Smallanthus*. *Phytologia* 39 : 47-53.
- Rural Development Administration (RDA). 2002. New plant resources. Standard farming handbook-122 Yacon. Rural Development Administration. pp. 217-241 (in Korean).
- Rural Development Administration (RDA). 2012. Research analysis standard of agricultural science and technology. Rural Development Administration. pp. 483-489 (in Korean).
- Seminario, J., M. Valderrama, and A. Seminario. 2002. Prueba de rendimiento de dos morfotipos de yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. and Endl.) H. Robinson, propagados por esqueje y cepas. *Caxamarca.* 10 : 99-108.
- Tsukihashi, T., T. Yoshida, M. Miyamoto, and N. Suzuki. 1989. Studies on the cultivation of yacon. I. Influence of different planting densities on the tuber yield. *Japan J. Farm Work Res.* 24 : 32-38.
- Tsukihashi, T. 1999. Miraculous health vegetables Yacon - breaking blood vessels and intestines to break the origin of all sorts of diseases. *Kodomo books.* pp. 10-188 (in Japanese).
- Tsukibashi, T. and Kunio Nakanishi. 2004. Yacon - health effects and cultivation · processing · cuisine. Agriculture, Forestry and Fisheries Technology Information Association. pp. 5-151 (in Japanese).
- Wells, J.R. 1967. A new species of *Polymnia* (Compositae): Heliantheae from Mexico. *Brittonia* 19 : 391-394.