고구마 품종별 품질 특성이 푸레 점도에 미치는 영향

박민경¹ · 이형운² · 황 영¹ · 조용식¹ · 장현욱¹

¹농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부
²농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지작물연구소

Effect of Quality Characteristics of Various Cultivars of Sweet Potato on Puree Viscosity

Min Kyeong Park¹, Hyeong-Un Lee², Young Hwang¹, Yong Sik Cho¹, and Hyun Wook Jang¹

¹Department of Agrofood Resources, National Institute of Agricultural Science and

²Bioenergy Crop Research Institute, National Institute of Crop Science,
Rural Development Administration, Korea

ABSTRACT This study was conducted to analyze the effect of the quality characteristics of various sweet potato cultivars on puree viscosity. This analysis could provide the foundational data for the processing properties of each cultivar for use in the development of sweet potato processing technology. The analyzed parameters were proximate composition, color value, water absorption index, water solubility index, particle size and distribution, swelling power, total solid content, total starch, the viscosity of the puree, and the correlation analysis between the quality characteristics and viscosity. Analysis of the results of proximate composition and color values showed significant variation by cultivars ($P<0.05$). Also, analysis of various parameters that affect the flow characteristics of suspensions based on the unique characteristics of each sweet potato cultivar revealed that the swelling power, and total solid content had a significant correlation with puree viscosity ($P<0.05$). The swelling power had a negative correlation with puree viscosity. In addition, the total solid content had a positive correlation with viscosity, so the cultivars with higher concentration and polymer characteristics showed a higher viscosity of the puree. The above results can be utilized for selecting the most suitable and optimal cultivar for the puree at the sample selection stage. The identified processing properties of the sweet potatoes can provide the foundational data to better understand and develop processing technology for various cultivars.

Key words: sweet potato, physicochemical properties, puree, correlation

서 론

고구마 [*Ipomoea batatas* L.(Lam)]는 메꽃과의 다년생 초본으로 재배가 용이하고, 다양한 전분작물 중에서 단위면적당 생산량도 많아 탄수화물을 가장 많이 생산하는 작물로 알려져 있다(Kim과 Huber, 2010; Kim 등, 2018). 그리고 식이섬유, 베타카로틴, 안토시아닌, 폴리페놀, 비타민 C 등 다양한 기능 성분을 풍부하게 함유하고 있다(Teow 등, 2007; Fetuga 등, 2014). 이처럼 우수한 식량공급 자원인 고구마는 2018년 전 세계 재배면적은 8,063천 ha, 생산량은 91,945천 ton에 달해 옥수수, 벼, 밀, 감자, 콩, 카사바, 보리에 이은 세계 8대 식량 작물로 자리매김했다(FAO, 2021).

또한, 고구마는 단위면적당 생산량이 쌀, 밀, 옥수수와 같은 곡물보다 30~49% 더 많아 가공용 원료로써 이용도가 높은 작물이다(Lee 등, 2010). 하지만 고구마는 수분함량이 높고 냉해에 약하며, 저장 중에는 호흡열과 탄산가스 발생량이 많아 장기저장 및 수송이 어려워 수확 후 관리가 까다롭다는 점과 수확시기의 편중으로 인해 고구마를 활용한 가공품의 연중 생산에 제약이 있는 단점이 있다(Kim과 Ryu, 1995; Jang 등, 2013a). 따라서 고구마는 괴근 그대로 찌거나 굽는 등 생식용과 제과제빵용 가공소재, 분말, 전분, 주정, 천연색소 등 다양한 전처리기술과 가공소재가 만들어지고 있다(Lee 등, 2006; Picha, 1986). 고구마 고형물의 70%를 차지하는 전분은 호화되었을 때 점착력이 높은 특성을 가진다.

Received 29 September 2021; Revised 17 November 2021; Accepted 3 December 2021

Corresponding author: Hyun Wook Jang, Department of Agrofood Resources, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, 166 Nongsaengmyeong-ro, Iseo-myeon, Wanju-gun, Jeonbuk 55365, Korea, E-mail: jhj4676@korea.kr

Copyright © 2021 by The Korean Society of Food Science and Nutrition. All rights Reserved.

This is Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

고구마를 활용한 다양한 가공식품 중에서 고구마 껍레 (puree)는 식품공전 상, 기타식품류 중 과·채 가공품류에 속하는 것으로, 상기 과·채 가공품류는 과일류 또는 채소류를 주원료로 하여 제조 및 가공하거나 이에 식품 또는 식품첨가물을 가하여 가공한 것을 의미한다(MFDS, 2021). 이러한 껍레는 일반적으로 필름 또는 통조림 포장을 통해 저장과 수송 등이 용이하며 장기 저장이 가능해졌다(Jung 등, 1998). 또한 껍레는 그 자체뿐만 아니라 음료, 제과, 제빵 등 다양한 가공품의 중간소재로서 활용도가 좋아 생산실적이 증가하고 있다. 특히, 우수한 맛과 영양, 그리고 특유의 물성 특성으로 영유아식, 노인식, 환자식 등 특수식 용도로도 활용이 가능해 소비자 기호에 맞춘 연구개발이 필요하다.

고구마 껍레는 껍레 제조과정 중 마쇄와 과쇄 사별법, 증자방법과 효소처리 등의 가공 방법에 따라 색도, 당도, 점도 등을 포함한 물성이 크게 변화한다(Szyperski 등, 1986; Ice 등, 1980). 또한, 껍레 제조 시 원료선정부터 최종제품까지 일련의 과정 중 첫 단계인 원료선택 과정에서 고구마 품종에 따른 구조적, 물리화학적 차이 때문에 유동학적 가공적성이 각기 다르게 나타나지만 이에 대한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 식품소재로 다양하게 이용될 수 있는 국내산 고구마의 품종별 품질 특성을 분석하고, 껍레의 점도와 품질 특성 간의 상관성을 조사하여 어느 요인이 껍레 유동 특성에 어떤 영향을 미치는지 분석해 껍레 제조의 품종 선정에 있어 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

실험재료 및 분말 제조

실험에 사용한 고구마는 전라남도 무안군에 소재한 국립식량과학원 바이오에너지작물연구소에서 2019년에 수확 후 큐어링 처리 없이 저장 중인 신율미, 대유미, 증미, 진율미, 풍원미, 주황미, 호감미, 신자미, 연자미 등 9종을 제공받아 사용하였다. 품종별 고구마 동결건조 분말은 Fig. 1과 같이 고구마를 세척한 후 껍질을 제거하여 1 cm 두께로 세절한 다음 동결건조기(PVTFD30R, Ilshin Lab Co., Ltd., Gyeonggi, Korea)로 건조하였다. 건조 후 분쇄하여 100 mesh 체로 걸러 통과한 분말을 제습제를 동봉하여 -20°C 보관하면서 시료로 사용하였다.

일반성분 및 총 식이섬유

고구마 품종별 동결건조 분말의 일반성분 분석은 AOAC 법(2005)에 따라 3 반복 측정하여 분석하였다. 수분함량은 상압가열건조기(VS-4150ND, Vision Scientific Co., Ltd., Daejeon, Korea)를 이용한 105°C 상압가열건조법으로, 조회분 함량은 550°C에서 직접회화법으로 분석하였다. 조단백질 함량은 semi-micro-Kjeldahl 법으로 자동 단백질 분석기(Kjeltec 8400, Foss, Hilleroed, Denmark)를 사용하

Fig. 1. Procedure for preparation of sweet potato flours.

였고, 조지방은 Soxhlet 법으로 Soxhlet 추출기(Soxttec 2500, Foss)를 사용하여 분석하였다. 총 식이섬유 함량은 효소중량법을 이용해 시료 1 g을 α-amylase, protease, amyloglucosidase 순으로 처리하고 잔사를 세척 및 건조해 측정하였다.

총 고형분 함량

고구마 품종별 고형분 함량은 식품공전 제8.10.5(MFDS, 2021)를 참고하여 3 반복 측정하였다. 고구마 원물을 1×1×1 cm의 cube 형태로 세절한 뒤, 105°C dry oven을 이용하여 항량에 도달할 때까지 건조해 수분함량을 구하고 아래와 같이 총 고형분 함량을 산출하였다.

$$\text{Total solid content (\%)} = 100 - \text{water content (\%)}$$

분말색도

품종별 동결건조 분말의 색도는 시료를 투명한 Petri dish에 담고 색차계(Color i7, X-rite Inc., Grand Rapids, MI, USA)를 이용하여, Hunter color difference meter 방식으로 명도(L), 적색도(a), 황색도(b) 값을 3 반복 측정하여 나타내었다. 이때 사용한 표준 백색판 값은 L=94.34, a=-0.15, b=2.74였다.

입도분석 및 미세구조

고구마 동결건조 분말의 입도분석은 입도분석기(LS 13 320 Particle Size Analyzer, Beckman Coulter, Brea, CA, USA)를 이용하여 3 반복 측정하여 분석하였고, 입도 분포의 폭을 나타내는 Span value는 아래와 같은 식을 통해 구하였다. 또한, 분말의 입자 형태를 알 수 있는 미세구조 분석은 주사전자현미경(Vega3 SBH, Tescan, Brno, Czech)으로 관찰하여 분석하였다.

$$\text{Span value} = \frac{\text{Diameter at 90\%} - \text{Diameter at 10\%}}{\text{Diameter at 50\%}}$$

수분복원력, 용해도 및 팽윤력

고구마 원물의 수분복원력(water recovery)은 시료 1 g에 증류수 20 mL를 가한 뒤, 25°C에서 1시간 동안 교반하고 원심 분리하여 상등액을 제거하고 3 반복 측정하여 아래와 같은 식을 통해 구하였다.

$$\text{Water recovery (\%)} = \frac{\text{weight of rehydrated sample}}{\text{weight of the sample}} \times 100$$

고구마 분말 속 전분 입자의 팽윤력(swelling power)은 시료 0.5 g에 증류수 20 mL를 가한 후, 95°C로 준비된 shaking water bath에서 30분간 교반시켜 준다. 교반이 끝나면 냉각 후 centrifuge를 이용하여 8,000 rpm으로 30분간 원심 분리한다. 원심 분리 후 상등액을 항량된 aluminum dish에 담고 105°C dry oven에서 항량이 될 때까지 건조시킨 무게를 통해 용해도(solubility)를 계산하였다. 그리고 상등액을 제거하고 남은 침전물의 무게를 측정하여 아래와 같은 식을 통해 팽윤력을 계산하였다. 팽윤력 및 용해도는 3 반복 측정하였다.

$$\text{Solubility (\%)} = \frac{\text{weight of dissolved solids in supernatant}}{\text{weight of the sample}} \times 100$$

$$\text{Swelling power} = \frac{\text{weight of sediment}}{\text{weight of the sample} (100 - \text{solubility})} \times 100$$

총 전분 함량

시료 고구마의 총 전분 함량은 고구마 분말을 total starch assay kit(Megazyme International Ireland Ltd., Bray, Ireland)을 이용하여 AOAC Method 996.11 방법에 따라 3 반복 측정하였다. 시료 100 mg과 sodium acetate buffer (100 mM, pH 5.0) 10 mL를 잘 혼합하고 undiluted thermostable α -amylase solution(3,000 U/mL, pH 6.5) 0.1 mL를 첨가하여 끓는 물에서 15분간 반응시켰다. 반응 후 50°C로 온도 평형을 시켜준 후 amyloglucosidase(3,300 U/mL, pH 4.5) 0.1 mL를 넣고 50°C에서 30분간 반응시켰다. 반응시킨 용액을 원심 분리하고, 상정액 1 mL와 sodium acetate buffer 10 mL를 혼합한 후 상정액과 glucose standard solution, reagent blank로는 sodium acetate buffer 0.1 mL를 취하여 GOPOD reagent 3 mL를 더한 뒤 50°C에서 20분간 반응시켜 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 측정한 흡광도를 이용하여 아래의 식에 의해 총 전분의 함량을 계산하였다.

$$\text{Starch, \%} = \Delta A \times F \times EV \times \frac{D}{W} \times 0.90$$

$$EV (\text{extract volume}) = 10.2$$

$$D (\text{dilution}) = 11$$

이때 ΔA 는 시료의 흡광도와 blank 흡광도의 차, F는 100

(D-glucose의 μg)/100 μg glucose 흡광도, W는 시료의 무게(mg)이다.

아밀로오스 함량

고구마 분말 시료의 아밀로오스 함량은 amylose/amylopectin assay kit(Megazyme International Ireland Ltd.)을 이용하여 아래와 같이 3 반복 측정하였다.

전분 전처리에는 시료 20 mg과 DMSO 용액 1 mL를 혼합 후 끓는 수조에 15분간 반응시켰다. 반응 후 실온에 5분 방치하고, 95%(v/v) ethanol 2 mL를 넣은 후 4 mL를 추가해 혼합하여 원심 분리하였다. 원심 분리한 침전물에 DMSO를 넣어 반응시킨 후 즉시 Con A solvent 4 mL를 넣어 Solution A를 만들었다.

Amylose 결정 및 amylopectin 침전은 solution A 1 mL에 Con A solution 0.5 mL를 첨가하여 실온에 방치한 후 원심 분리하였다. 상정액 1 mL와 100 mM sodium acetate buffer(pH 4.5) 3 mL를 혼합하고 끓는 수조에서 5분간 가열한 후 40°C 수조에 넣어 5분간 온도 평형을 시켰다. 그리고 enzyme mixture solution 0.1 mL를 첨가하고 반응시킨 후 원심 분리하였다. 원심 분리한 상정액과 reagent blank로는 100 mM sodium acetate buffer 1 mL를 취하여 GOPOD reagent 4 mL를 더한 뒤 40°C에서 20분간 반응시켜 510 nm에서 흡광도를 측정하였다.

총 전분 결정은 solution A 0.5 mL를 100 mM sodium acetate buffer(pH 4.5) 4 mL와 혼합한 후 enzyme mixture solution 0.1 mL를 첨가하고 40°C에서 30분간 반응시켰다. 반응시킨 용액 1 mL에 GOPOD reagent 4 mL를 첨가한 후 40°C에서 20분간 반응시켜 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 측정한 흡광도를 이용하여 아래의 식에 의해 아밀로오스의 함량을 계산하였다.

$$\text{Amylose, \% (w/w)} = \frac{\text{TRIANGLE Con A supernatant}}{\text{TRIANGLE total starch aliquot}} \times 66.8$$

고구마 분말 호화점도

고구마 분말의 호화점도 특성은 rapid visco analyser (RVA-4500, Perten Instruments, Hagersten, Sweden)를 이용하여 RVA 전용 알루미늄 캔에 고구마 가루 2.98~3.00 g(수분 14% 기준)에 증류수 24.8~25.0 mL를 가해 튀레를 만들어 준 뒤, 분당 7.3°C씩 올리면서 95°C까지 가열하여 이 상태에서 6분간 유지한 후 다시 분당 5°C씩 낮추면서 50°C로 냉각시켜 10분간 유지하는 동안의 점도 변화를 측정하였다. 그리고 곡선으로부터 최고점도(peak), 최저점도(trough), 최종점도(final), 강하점도(break down), 치반점도(setback), 호화개시온도(pasting temperature)를 구하였다.

통계분석

모든 실험은 3회 반복 측정하여 군별 평균 $\pm$ 표준편차

Table 1. The proximate composition of sweet potato flours

Samples		Moisture	Crude protein	Crude fat	Crude ash	Total dietary
General sweet potato	Sinyulmi	0.17±0.03 ^{de}	5.42±0.05 ^b	0.66±0.03 ^d	3.31±0.05 ^f	4.36±0.23 ^f
	Daeyumi	0.20±0.02 ^{cd}	3.95±0.04 ^d	0.26±0.02 ^f	2.78±0.13 ^g	5.98±0.31 ^e
	Jeungmi	0.17±0.04 ^{de}	3.46±0.06 ^f	0.82±0.03 ^c	4.16±0.04 ^{de}	6.09±0.27 ^e
	Jinyulmi	0.29±0.01 ^c	4.07±0.12 ^d	0.80±0.02 ^c	4.04±0.12 ^e	9.85±0.54 ^b
Colored sweet potato	Orange	Pungwonmi	0.59±0.02 ^b	4.40±0.13 ^c	1.12±0.03 ^b	4.45±0.13 ^{bc}
		Juhwangmi	0.60±0.04 ^b	4.45±0.03 ^c	1.16±0.06 ^b	4.76±0.03 ^a
		Hogammi	0.24±0.03 ^{cd}	7.67±0.01 ^a	0.59±0.07 ^{de}	4.49±0.11 ^b
	Purple	Sinjami	0.09±0.04 ^c	3.62±0.08 ^e	1.58±0.06 ^a	3.31±0.02 ^f
		Yunjami	0.74±0.14 ^a	3.99±0.10 ^d	0.52±0.03 ^e	4.30±0.08 ^{cd}
						7.40±0.72 ^d

All values are mean±SD, n=3.

Means with different letters (a-g) within the same column are significantly different at $P<0.05$.

(mean±SD)로 표시하고, 군별 유의성은 SPSS statistical package(18.0 version, IBM, Armonk, NY, USA)를 이용해 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)으로 분석하고 평균값의 유의적 결과가 나온 변수는 사후검증(Duncan's multiple range test)을 실시하였으며, 모든 실험 결과의 유의성은 $P<0.05$ 수준에서 검증하였다. 또한, 측정 항목 간 상관관계 파악을 위해 Pearson 상관계수를 구하여 분석하였다.

결과 및 고찰

일반성분, 총 식이섬유 및 고형분 함량

고구마 품종별 동결건조 분말의 일반성분과 총 식이섬유 분석 결과는 Table 1과 같다. 고구마의 일반성분은 품종에 따라 모두 유의적인 차이를 보였다($P<0.05$). 동결건조한 고구마 분말의 수분함량은 0.09~0.74%의 범위를 나타냈다. 조단백질은 3.46~7.67% 범위를 나타내 일반고구마의 증미가 유의적으로 가장 낮은 함량을 보였고, 주황색 고구마인 호감미가 7.67%로 유의적으로 가장 높은 함량을 보였다. 조지방 함량의 경우 0.26~1.58%로 대체로 유색고구마가 일반고구마보다 유의적으로 높은 함량을 보였다. 조회분 함량은 조지방과 마찬가지로 일반고구마 대유미가 유의적으로 가장 낮은 함량을 보였고 가장 높은 함량은 주황색 고구마인 주황미가 나타났으며, 2.78~4.76%의 범위로 분석됐다. 국내산 고구마 품종별 영양성분을 분석한 연구(Ra 등, 2018)에서도 대유미의 회분 함량이 가장 낮아 본 연구와 유사한 경향을 보였다. 한국산 고구마 8품종 특성 분석 결과(Park 등, 2011)에서는 신율미의 조단백질 함량(2.72%)이 가장 낮다고 하였지만, 본 결과에서는 5.42%를 나타내 상반되는 결과를 나타냈다. 이처럼 동일 품종 간 또는 품종에 따른 특성 차이는 재배조건에 따른 고구마 성분 분석(Woo 등, 2012), 군고구마 제조를 위한 원료 특성 분석(Jang 등, 2013b) 등의 기존 보고와 같이 품종과 재배지역, 재배조건에 따른 차이로 보인다.

총 식이섬유의 경우, 유의적으로 신율미가 4.36%로 가장 낮고 주황미가 11.04%로 가장 높은 함량을 보여 품종별로 차이를 나타냈다. 식이섬유는 대장의 운동을 촉진해 변이

Table 2. Total solid content of sweet potato

Samples			Total solid content
General sweet potato		Sinyulmi	37.94±0.94 ^b
		Daeyumi	39.81±1.69 ^a
		Jeungmi	35.27±0.23 ^c
		Jinyulmi	33.80±0.62 ^d
Colored sweet potato	Orange	Pungwonmi	27.31±0.09 ^f
		Juhwangmi	22.88±0.71 ^h
		Hogammi	30.29±0.97 ^e
	Purple	Sinjami	35.57±0.39 ^c
		Yunjami	24.43±0.79 ^g

All values are mean±SD, n=3.

Means with different letters (a-h) within the same column are significantly different at $P<0.05$.

대장을 통과하는 시간을 짧게 하고 배변량을 증가시켜 변비를 예방하는 역할을 한다고 알려져 있다(Ebihara와 Nakamoto, 1998; Saltzman 등, 2001). 2016년 미국 식품공익단체에서는 고구마를 식이섬유, 칼륨, 카로티노이드 등의 좋은 공급원으로 소개하며 10대 슈퍼푸드에 선정하기도 했다(CSPI, 2021). 따라서 영양학적으로 우수한 고구마는 한국인의 1일 식이섬유 섭취기준(MOHV, 2015)인 남성 25 g, 여성 20 g 충족에도 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

고구마 원물의 총 고형분 함량은 Table 2에 나타내었다. 품종별 원물의 총 고형분 함량은 22.88~39.81%로 분석되었다. 수분을 제외한 나머지 함량을 나타내는 총 고형분 함량은 고구마 색상에 의한 차이는 보이지 않았고 품종에 따라 유의적인 차이를 보였다. 이런 차이는 입자 농도와 구조적 특성(Lopez-Sanchez 등, 2012)에 영향을 미치므로 품종별 고구마 가공에 있어서 점도와 조직감 그리고 건조시간 등과 같은 가공 특성에 영향을 줄 것으로 보인다.

분말색도

고구마 품종별 분말의 색도 측정값은 Table 3과 같으며 Fig. 2에 나타내었다. 분석 결과 L값은 39.28~84.19, a값은 0.10~18.00, b값은 -3.59~22.17로 나타났다. 명도의 경우 일반고구마가 유색고구마보다 유의적으로 높게 나타났으며, 유색고구마 중에서는 주황색 고구마가 자색고구마보다

Table 3. The color value of sweet potato flours

Samples			Hunter's color value		
			L value	a value	b value
General sweet potato		Sinyulmi	84.19±0.35 ^a	0.35±0.02 ^g	22.17±0.15 ^a
		Daeyumi	81.94±0.22 ^c	1.55±0.01 ^f	14.65±0.07 ^g
		Jeungmi	83.33±0.09 ^b	0.10±0.01 ^h	20.69±0.05 ^b
		Jinyulmi	84.19±0.19 ^a	0.13±0.01 ^h	15.23±0.03 ^f
Colored sweet potato	Orange	Pungwonmi	79.09±0.15 ^e	10.67±0.03 ^d	17.09±0.03 ^d
		Juhwangmi	71.40±0.21 ^f	18.00±0.05 ^a	16.31±0.04 ^e
		Hogammi	79.54±0.07 ^d	8.46±0.02 ^e	18.86±0.09 ^c
	Purple	Sinjami	39.28±0.22 ^h	14.13±0.05 ^b	-5.06±0.04 ⁱ
		Yunjami	50.79±0.20 ^g	13.31±0.04 ^c	-3.59±0.03 ^h

All values are mean±SD, n=3.

Means with different letters (a-i) within the same column are significantly different at $P<0.05$.

Fig. 2. Color of sweet potato flours.

높게 측정됐다. 이는 고구마 품종별 색도를 분석한 기존 보고와 유사한 경향을 보였다(Park 등, 2011; Ra 등, 2018). 색깔은 적색도와 황색도로 비교할 수 있는데, 적색도를 나타내는 a값은 유색고구마가 일반고구마에 비해 유의적으로 높은 값을 나타내고 있다. 노란색과 파란색을 나타내는 b값은 자색고구마만 음의 값을 보여 적색과 파란색에 의해 보라색이 나타남을 확인하였다.

신자미와 연자미는 같은 자색고구마임에도 유의적으로 색도 차이를 나타냈는데, 신자미 명도가 연자미보다 유의적으로 크게 낮고 적색도는 신자미가 더 높아 신자미는 어둡고 진한 자색을 띠었다. 이는 품종에 따른 안토시아닌 발현 정도의 차이에서 기인한 것으로 보이며 그 함량에도 차이가 있을 것으로 보인다.

입도분석 및 미세구조

고구마 동결건조 분말의 품종별 입도분석 결과는 Table 4와 같다. 전분을 포함한 고구마 분말의 크기 및 분포는 입자의 특성을 결정하는 요소 중 하나로, 호화 및 노화 특성, 페이스트 특성, 효소 접근성, 팽윤 특성 등에 영향을 미친다(Rasper, 1969). 품종별 평균 입자크기는 43.30~63.64 μm 로 분석되어 자색고구마인 연자미가 43.30 μm 를, 신자미는 63.64 μm 를 보여 유의적으로 가장 작고 크게 나타났다. 따라서 입자크기는 육색에 따른 차이보다는 품종에 따른 차이를 보임을 알 수 있다. 입자의 영향은 그 크기가 작을수록 표면적이 상대적으로 커져 수분을 더 빠르게 흡수해 전분의 팽윤을 돕는다고 알려져 있다(Zhang 등, 1997). 이 때문에 입자크기는 전분의 호화 및 노화 특성에도 영향을 미쳐 고구

Table 4. Particle size and distribution of sweet potato flours

(μm)

Samples			Particle size			
			Diameter at 10%	Diameter at 50%	Diameter at 90%	Mean diameter
General sweet potato		Sinyulmi	9.97±0.10 ^c	35.87±0.31 ^d	114.43±0.64 ^d	51.04±0.34 ^c
		Daeyumi	11.05±0.04 ^a	33.41±0.29 ^c	105.20±1.01 ^f	46.63±0.43 ^f
		Jeungmi	9.71±0.17 ^d	35.26±0.58 ^d	116.00±0.44 ^c	50.80±0.52 ^c
		Jinyulmi	9.07±0.18 ^f	33.02±0.85 ^c	114.33±0.50 ^d	49.19±0.61 ^{de}
Colored sweet potato	Orange	Pungwonmi	9.21±0.01 ^{ef}	35.38±0.24 ^d	108.00±0.26 ^e	48.53±0.18 ^e
		Juhwangmi	10.61±0.19 ^b	50.94±0.62 ^b	127.70±0.40 ^b	61.11±0.29 ^b
		Hogammi	8.38±0.26 ^g	37.85±0.91 ^c	108.47±0.58 ^e	49.72±0.30 ^c
	Purple	Sinjami	9.41±0.09 ^e	53.34±0.38 ^a	134.90±0.36 ^a	63.64±0.13 ^a
		Yunjami	7.74±0.11 ^h	30.23±0.08 ^f	101.20±0.80 ^g	43.30±0.17 ^g

All values are mean±SD, n=3.

Means with different letters (a-h) within the same column are significantly different at $P<0.05$.

Fig. 3. Scanning electron microscope (SEM) of sweet potato flours (500×).

마를 활용한 가공식품의 끈기, 굳기, 겔 특성 등에 관여하므로 입자크기에 대한 다각적이고 심층적인 분석이 필요할 것으로 보인다. Span value는 입도 분포의 폭을 의미하며 입자의 분포가 넓으면 수치가 크게 나타나고 작으면 수치가 작아져 대략적인 입자의 분포상태를 알 수 있는 분석값이다. 분석 결과 주황미와 신자미는 각각 2.30, 2.35로 가장 낮게, 진을미는 3.19로 가장 크게 나타나 품종별 유의적인 차이를 보였다. 따라서 주황미의 경우 중위수(diameter at 50%) $50.94 \pm 0.62 \mu\text{m}$ 를 기점으로 입자들의 분포가 다른 품종에 비해 가장 좁게 모여 있음을 확인할 수 있었다.

주사전자현미경을 통해 확인한 품종별 입자 형태는 Fig. 3에 나타났다. 주황미를 제외한 대부분 품종의 입자 형태는 구형과 타원형이었고, 일부는 다면체 구조를 나타내었다. 이는 기존에 연구된 열풍과 분무건조를 거친 고구마 분말의 입자(Gu 등, 2017)와 8품종 고구마 분말 특성(Park 등, 2011)과 유사한 경향을 보였다.

수분복원력, 용해도 및 팽윤력

품종별 고구마의 수분복원력, 용해도 및 팽윤력 결과는 Table 5에 나타내었다. 수분복원력과 용해도는 수분을 얼마

나 머금고 녹아나는지를 나타내 분말을 이용한 가공제품의 제조 적합성을 보여주는 품질 특성이다. 분석 결과 수분복원력은 $114.37 \sim 180.17\%$, 용해도는 $22.55 \sim 81.48\%$ 를 보여 품종별로 유의한 차이를 나타냈으며, 팽윤력은 품종에 따라 $10.45 \sim 16.79\%$ 의 범위를 보였다. 주황색 분질 고구마인 풍원미는 유의적으로 가장 높은 팽윤력과 용해도를 보였다. 팽윤력은 고구마 속 전분이 물을 흡수하고 열을 받으면 분자 내부의 수소결합이 끊어지고 입자가 팽창되는 정도를 말한다. 때문에 가공품의 점도와 탄성, 부피 등 제품 특성에 영향을 미친다. 그리고 친수성의 카복시기 그룹 함량이 증가할수록 수화력에 영향을 주어 팽윤력이 증가하므로(Chan 등, 2009), 본 결과에서도 수분복원력이 높은 주황미와 풍원미의 팽윤력이 유의적으로 높음을 미뤄볼 때, 높은 수분복원력으로 인한 충분한 수화작용이 팽윤력 증가에 영향을 미침을 알 수 있다. 이 밖에도 품종별 팽윤력의 차이는 전분의 구조적 결합능력과 특성에 영향을 미치는 amylose와 amylopectin의 함량 및 그 비율(Kumoro 등, 2012)에 따른 것으로 보인다. 또한, 전분 입자의 구조적 붕괴 및 열처리 시 분해 정도의 증가는 용해성과 팽윤력 증가(Tan, 1993)로 이어짐을 미뤄볼 때, 용해성과 팽윤력이 유의적으로 높은 풍원미와

Table 5. Water recovery and solubility content of sweet potato

Samples			Water recovery (%)	Solubility (%)	Swelling power
General sweet potato		Sinyulmi	$118.59 \pm 0.50^{\text{B}}$	$50.42 \pm 3.53^{\text{c}}$	$10.45 \pm 0.80^{\text{c}}$
		Daeyumi	$138.37 \pm 0.66^{\text{c}}$	$22.55 \pm 2.28^{\text{f}}$	$10.89 \pm 0.33^{\text{de}}$
		Jeungmi	$125.20 \pm 1.28^{\text{c}}$	$45.96 \pm 1.67^{\text{d}}$	$10.71 \pm 0.35^{\text{de}}$
		Jinyulmi	$138.65 \pm 0.62^{\text{c}}$	$32.41 \pm 0.25^{\text{e}}$	$12.11 \pm 0.14^{\text{cd}}$
Colored sweet potato	Orange	Pungwonmi	$146.01 \pm 0.85^{\text{b}}$	$77.49 \pm 0.96^{\text{a}}$	$16.30 \pm 0.52^{\text{a}}$
		Juhwangmi	$180.17 \pm 1.90^{\text{a}}$	$69.71 \pm 1.71^{\text{b}}$	$16.79 \pm 0.15^{\text{a}}$
		Hogammi	$130.65 \pm 0.07^{\text{d}}$	$77.69 \pm 2.60^{\text{a}}$	$13.80 \pm 1.86^{\text{b}}$
	Purple	Sinjami	$120.63 \pm 0.47^{\text{f}}$	$72.80 \pm 1.84^{\text{b}}$	$13.02 \pm 1.01^{\text{bc}}$
		Yunjami	$114.96 \pm 0.19^{\text{h}}$	$33.40 \pm 0.78^{\text{e}}$	$11.98 \pm 0.28^{\text{cde}}$

All values are mean $\pm$ SD, n=3.

Means with different letters (a-h) within the same column are significantly different at $P < 0.05$.

Table 6. Total starch and amylose contents of sweet potato flours (%)

Samples		Total starch	Amylose contents	
General sweet potato	Sinyulmi	65.37±0.19 ^a	18.33±0.63 ^c	
	Daeyumi	64.41±0.53 ^a	15.95±0.65 ^d	
	Jeungmi	61.47±0.82 ^b	20.73±0.40 ^a	
	Jinyulmi	50.51±0.49 ^d	13.93±0.67 ^e	
Colored sweet potato	Orange	Pungwonmi	48.67±0.54 ^e	16.38±0.35 ^{cd}
		Juhwangmi	33.99±0.50 ^h	18.71±0.06 ^b
		Hogammi	47.37±0.41 ^f	17.15±0.65 ^c
	Purple	Sinjami	43.27±0.70 ^g	16.44±0.73 ^{cd}
		Yunjami	49.78±0.83 ^d	15.84±0.65 ^d

All values are mean±SD, n=3.

Means with different letters (a-h) within the same column are significantly different at $P<0.05$.

주황미의 구조적 안전성은 낮은 것으로 보인다.

총 전분 및 아밀로오스 함량

9가지 품종 고구마의 동결건조 분말의 총 전분과 아밀로오스 함량은 Table 6에 나타내었다. 전분은 가공이나 식용에 상관없이 고구마 사용의 모든 형태에 있어 맛과 물성 그리고 가공적성에 영향을 준다(Han 등, 2014). 총 전분 함량은 일반고구마가 50.51~65.37%로 유색고구마보다 높은 전분 함량을 보였는데, 그중 신율미, 대유미 품종이 각각 65.37%, 64.41%로 유의적으로 가장 높았고 진율미 품종은 50.51%를 나타냈다. 자색고구마인 신자미와 연자미는 각각 43.27%와 49.78%로 중간값을 보였으며, 주황색 고구마인 주황미는 33.99%로 유의적으로 가장 낮은 값을 보였다. 기존에 연구된 고구마 육색에 따른 전분 함량 분석 결과, 주황고구마 분말이 46.4%로 가장 높고 일반고구마 43.7%, 자색고구마 42.85%의 결과와는 차이가 있었다(Kim 등, 2010). 이는 고구마 전분 함량이 품종, 산지, 수확시기 등에 따라 다양하며 40.3~76.8%의 폭넓은 분포를 보이기(Teow 등, 2007) 때문에 본 연구와의 차이도 이러한 다양한 요인에

기인한 것으로 사료된다.

고구마 품종별 아밀로오스 결과를 보면, 증미가 20.73%로 유의적으로 가장 높았고 진율미가 13.93%로 유의적으로 가장 낮았다. 전분의 아밀로오스 함량은 품종, 재배조건, 수확 후 저장기간, 토양, 측정방법 등에 따라 다소 차이를 보인다(Naivikul과 D'Appolonia, 1979). 또한, 아밀로오스 함량은 전분의 호화 및 노화 특성, 효소 가수분해, 팽윤력 등에도 영향을 준다고(Gerard 등, 2001; Lindeboom 등, 2004) 알려져 있다.

고구마 튀레 호화점도

고구마 튀레의 호화 양상을 측정한 결과는 Table 7에 나타내었다. 전분의 호화 특성은 전분 입자의 팽윤, 결정성, 아밀로펙틴의 가지사슬 분포 등에 의해 영향을 받는다(Eerlingen 등, 1971). 고구마의 주성분은 전분으로 호화 특성에 따라 동일한 가공조건에서도 품종별 점도가 달라지기 때문에 고구마를 활용한 가공식품 제조 시 호화점도 측정은 꼭 필요하다. 고구마 튀레 호화점도 특성은 고구마 품종에 따라 상이하였으나 일반적으로 보고되는 문헌상 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 초기 전분이 호화되기 시작하는 호화개시온도는 57.55~79.22°C 범위에서 나타났으며, 일반고구마의 평균 호화온도는 76.90°C(75.70~78.12°C)였고, 주황색 고구마는 63.96°C(57.55~74.43°C), 보라색 고구마는 76.56°C(73.87~79.22°C)로 나타났다. 최고점도는 46.33~584.33 cP로 나타났다. 최고점도가 높은 전분은 강하점도가 높고 약한 젤을 형성한다고 알려져 있는데(Baek 등, 2014), 최고점도와 강하점도가 가장 높은 품종은 대유미, 최고점도와 강하점도가 가장 낮은 품종은 호감미로 본 연구결과와 유사하였다. 강하점도는 최고점도와 최저점도 차이로 전분의 호화작용 시 열과 전단력에 대한 저항성을 보여주는 값이다(Ghiasi 등, 1983). 호감미가 유의적으로 가장 낮은 강하점도를 보여 저항력이 가장 높음을 알 수 있다. 최종 점도는 가열이 중지되고 cooling이 되는 단계에서 일어나는 과정으로 이때 전분 분자들이 재결합해 최저점도보다 점도

Table 7. Pasting characteristics of sweet potato flours

Samples		Viscosity (cP)					Pasting temperature (°C)	
		Peak (P)	Trough (T)	Break down (P – T)	Final (F)	Setback (F – T)		
General sweet potato	Sinyulmi	162.67±2.52 ^c	36.00±1.73 ^f	126.67±1.53 ^c	41.33±0.58 ^{ef}	5.33±1.15 ^d	75.70±0.05 ^c	
	Daeyumi	584.33±4.04 ^a	230.67±6.43 ^b	353.67±2.52 ^a	281.00±8.89 ^b	50.33±2.52 ^b	77.00±0.31 ^{bc}	
	Jeungmi	142.00±2.00 ^d	44.67±1.15 ^e	97.33±1.15 ^d	50.33±0.58 ^e	5.67±0.58 ^{cd}	76.77±0.29 ^{bc}	
	Jinyulmi	460.00±16.37 ^b	291.00±10.58 ^a	169.00±6.00 ^b	361.67±13.20 ^a	70.67±3.21 ^a	78.12±0.03 ^{ab}	
Colored sweet potato	Orange	Pungwonmi	69.00±2.00 ^g	47.67±2.52 ^{de}	21.33±0.58 ^f	50.00±1.00 ^e	2.33±1.53 ^e	57.55±0.56 ^g
		Juhwangmi	91.00±1.00 ^f	79.67±0.58 ^c	11.33±1.53 ^{gh}	81.67±2.08 ^c	2.00±1.73 ^e	73.43±1.12 ^d
		Hogammi	46.33±2.52 ^h	36.00±2.00 ^f	10.33±0.58 ^h	38.00±1.73 ^f	2.00±1.00 ^e	60.90±1.23 ^f
	Purple	Sinjami	52.67±2.08 ^h	37.33±1.53 ^f	15.33±0.58 ^g	39.00±1.00 ^f	1.67±1.15 ^e	73.87±1.97 ^d
		Yunjami	130.00±3.61 ^e	54.67±0.58 ^d	75.33±3.51 ^e	63.00±0.00 ^d	8.33±0.58 ^c	79.22±0.25 ^a

All values are mean±SD, n=3.

Means with different letters (a-h) within the same column are significantly different at $P<0.05$.

가 증가하게 된다(Kim 등, 2011). 냉각 후 노화된 최종점도는 38.00~361.67 cP를 보였으며, 호감미가 유의적으로 가장 낮은 점도를 보였고 진율미가 가장 높은 수치를 보였다. 전분의 노화 경향을 나타내는 치반점도(setback viscosity)는 값이 클수록 노화가 빠르게 진행된다(Chun 등, 2005). 대유미(50.33 cP)와 진율미(70.67 cP)를 제외하고 전체적으로 낮은 값을 나타내어 노화에는 안정적인 것으로 사료된다. 호화개시온도는 전분 입자의 구조가 얼마나 치밀한지를 나타내는 척도로 분질고구마가 점질고구마보다 약간 높은 경향을 보이는데(Oh와 Hong, 2008), 본 연구에서도 점질고구마인 주황미, 신자미보다 분질도가 높은 신율미, 대유미, 증미의 호화개시온도가 높게 나타났다.

고구마 호화점도와 품질 특성 간의 상관관계

고구마를 활용한 다양한 가공식품 중 튀레는 그 자체로 소비는 물론 제과, 제빵, 음료 등 중간소재로도 널리 이용되는 만큼 활용대상의 기호성에 부합하는 호름성을 가져야만 한다. 이런 호름성에 영향을 주는 인자를 파악하기 위해서 고구마가 가지고 있는 고유의 품질 특성과 호화점도 간의 상관관계를 Table 8에 나타냈다. 총 고형분 함량의 경우 점도와 양의 상관관계($r=0.478$, $P<0.01$)를 나타냈다. 이런 상관성은 현탁액 속 고형물 함량 증가 시 뚜렷한 물체 거동을 구분하는 기준값인 yield stress를 증가시켜 겔보기 점도가 상승했다는 연구(Espinosa 등, 2011)와 현미가루 첨가 시 겔보기 점도가 증가했다는 결과(Bang 등, 2015), 그리고 입자 농도의 증가는 현탁액 속 입자부피의 증가를 가져오고 결국 입자 간 결합능력이 강해져 점도가 높아진다는 연구 결과(Jinescu, 1974)와 유사한 경향을 보여 본 결과의 상관관계를 파악할 수 있었다.

한편, 전분의 입자크기는 전분의 화학적 특성, 팽윤력, 호화 특성 및 페이스팅 점도 특성들에 직접적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며(Noda 등, 2005; Simkova 등, 2013), 입도 특성도 튀레와 같은 현탁액의 점도를 조절한다고 알려

져 있다(Servais 등, 2002). 또한, 입자의 크기가 큰 전분은 작은 입자 전분보다 더 빨리 호화 과정을 거친다(Baek 등, 2014). 즉, 입자크기가 작을수록 큰 입자보다 같은 부피여도 더 넓은 표면적을 가지므로 입자 간 상호작용력이 증가하여 점도는 증가한다(Yoo와 Rao, 1994). 본 연구 결과에서 고구마 분말의 입자크기는 최고점도($r=-0.368$, $P<0.01$)와 강하점도($r=-0.427$, $P<0.01$)와 음의 상관관계를 가지고, 입자분포는 최고점도($r=0.467$, $P<0.05$)와 강하점도($r=0.463$, $P<0.01$)와 양의 상관관계를 보였다. 따라서 전분 입자의 형태학적 및 구조적 특성 등은 고구마 튀레의 호화점도 특성에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

고구마 분말의 총 전분 함량은 최고점도($r=0.538$, $P<0.05$)와 양의 상관관계를 보였으며, 아밀로오스 함량은 고구마 튀레의 최종점도와 음의 상관성($r=-0.570$, $P<0.05$)을 나타내었다. 아밀로오스는 전분 페이스팅 특성에 있어 전분 입자의 팽윤 과정을 억제하고(Tester와 Morrison, 1990) 최고점도를 낮추며, 팽윤된 전분 입자의 외부 저항에 대해 안전성을 높여 팽윤된 전분 입자의 붕괴를 방지하고 아밀로오스 분자들 사이의 비공유적 다중 회합을 통해 점도를 상승시킨다(Kim과 Huber, 2010). 따라서 아밀로오스가 함유된 전분들은 함유되지 않은 전분들에 비해 붕괴점도가 낮고 노화점도가 높은 특성을 가진다(Kim과 Huber, 2010). 하지만, 감자분말은 전분의 팽윤, 팽윤된 감자전분의 붕괴 및 분말에 함유된 비전분성 다당류와 같은 물질이 아밀로오스에 의한 점도 상승을 억제하는 결과(Shi와 BeMiller, 2002; Chun과 Kim, 2014)와 같이 본 연구에서도 고구마에 함유된 펙틴, 글루칸, 검류 등 고분자성 성분들(Lee 등, 1985) 때문에 유사한 결과를 나타낸 것으로 보인다.

전분의 팽윤력은 전분을 함유하는 식품의 호화, 유변학적 특성 등에 영향을 미치며(Srichuwong 등, 2005), 가공품의 점도와 탄성, 부피 등 제품 특성에 영향을 미친다고 알려져 있다. 또한, 고도로 팽윤된 입자는 전분 페이스트의 강도를 감소시킨다(Eliasson, 1986). 본 연구에서도 팽윤력과 점도

Table 8. Correlation coefficients between factors affecting quality characteristics of sweet potato puree

	Total solid content	Particle size	Span value	Total starch	Amylose	Recovery	Solubility	Swelling power	Peak viscosity	Final viscosity	Break-downs	Pasting temp.
Total solid content	1	-.424*	.187	.622**	-.022	-.484**	-.291	-.661**	.478**	.295	.591**	.288
Particle size		1	-.575**	-.723	.166	.455*	.289	.422*	-.368*	-.264	-.427*	-.081
Span value			1	.474	-.207	-.388*	-.696**	-.570**	.467**	.428*	.463*	.322
Total starch				1	-.106	-.375	-.479**	-.594**	.538**	.287	-.244	.230
Amylose					1	.113	.201	-.049	-.419	-.570**	.701**	.000
Recovery						1	.114	.629**	.107	.230	-.038**	-.200
Solubility							1	.685	-.811**	-.679	-.833	-.723**
Swelling power								1	-.459*	-.259	-.597**	-.627**
Peak viscosity									1	.925**	.944**	.476**
Final viscosity										1	.748**	.396*
Breakdowns											1	.491**
Pasting temp.												1

* $P<0.05$, ** $P<0.01$.

는 음의 상관관계($r=-0.459$, $P<0.05$)를 보였는데, 이는 전분의 팽윤력이 클수록 전분 입자 내의 결합력이 약화하고 (Leach 등, 1959) 전분 겔의 강도를 감소시켜(Eliasson, 1986) 결국에는 현탁액의 점도 저하를 일으키기 때문이다. 한편, 팽윤된 입자들 사이에 형성된 배열과 방출된 아밀로오스는 전분 페이스트 점성에 영향을 주고, 호화 중에 팽윤된 입자의 열에 대한 저항성은 전분의 강하점도 차이에 영향을 준다(Jacobs 등, 1995). 고구마 분말의 최고점도와 강하점도는 매우 높은 양의 상관관계($r=0.944$, $P<0.01$)를 보였는데, 이는 최고점도가 높은 전분은 강하점도가 높고 약한 겔을 형성함을 의미하는 연구 결과와 일치하였다(Baek 등, 2014).

결과적으로 고구마 튀레의 호화점도 특성은 분말의 입도 특성, 아밀로오스 함량, 팽윤력, 호화 특성 등이 상호 복합적으로 작용해 나타난 결과임을 알 수 있다. 따라서 튀레의 물성은 개별 입자 특성을 통한 예측보다는 다른 유동학적 매개변수를 통한 복합적인 연구가 더 필요할 것으로 보인다.

요 약

본 연구에서는 고구마 가공기술 개발에 활용될 수 있는 품종별 가공적성 파악의 기초자료를 제공하고자 고구마 품질 특성을 분석하고, 이 품질 특성이 튀레 호화점도에 미치는 영향을 조사하였다. 먼저 일반성분 및 총 식이섬유 분석 결과 품종별로 유의적인 차이를 보였으며, 특히 총 식이섬유 함량에 따른 고구마의 영양학적 효과를 기대해볼 수 있을 것이다. 그리고 고구마가 가지고 있는 고유한 특성 중 현탁액의 유동성에 영향을 줄 수 있는 여러 가지 품질 요인을 분석한 결과, 총 고형분 함량, 입자 특성 및 팽윤력 등이 고구마 튀레 점도와 유의적인 상관관계를 가진 것으로 나타났다. 총 고형분 함량은 점도와 양의 상관관계를 나타내어 고농도, 고분자의 특징을 더 가진 품종일수록 제품의 점도가 더 높아질 것으로 보인다. 또한, 팽윤력은 점도와 음의 상관관계를 가졌는데, 전분이 풍부한 고구마는 전분의 팽윤력에 의한 물성 변화와 제어가 고구마 활용 가공에 큰 영향을 미치므로 최종 제품의 유동 특성에 적합한 가공적성을 가진 품종을 선택하여 활용하는 것이 바람직해 보인다. 그리고 분말의 입자크기는 최고점도와 강하점도와 음의 상관관계를 가져 고구마 튀레의 페이스팅 점도 특성에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 결과적으로는 고구마 튀레 점도 특성은 여러 가지 품질 특성이 상호 복합적으로 작용해 발생한 결과로 호화점도 특성만으로는 연관 지어 설명하기에 한계를 가짐을 알 수 있다. 그렇지만 이상의 연구 결과는 고구마 가공기술 개발 시, 초기 시료 선정 단계에서부터 제품의 원하는 물성에 가장 근접하고 최적화된 품종을 선정함으로써 가공공정에 필요한 물리화학적 처리를 최소화하여 비용절감 및 생산성 향상을 기대해볼 수 있는 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ015142) 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- AOAC. Official methods of analysis. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists, New York, NY, USA. 2005. Chapter 4, p 33-36.
- Baek HR, Kim HR, Kim KM, Kim JS, Han GJ, Moon TW. Characterization of Korean sweet potato starches: physicochemical, pasting, and digestion properties. *Korean J Food Sci Technol*. 2014. 46:135-142.
- Bang E, Lee HJ, Kim SJ, Cho HY. Quality characteristic of high pressure processed fruits and vegetables juices for infants and preschoolers. *Food Eng Prog*. 2015. 19:329-337.
- Center for Science in the Public Interest (CSPI). 10 Best foods. 2021 [cited 2020 Jun 1]. Available from: <https://cspinet.org/eating-healthy/what-eat/10-best-foods>
- Chan HT, Bhat R, Karim AA. Physicochemical and functional properties of ozone-oxidized starch. *J Agric Food Chem*. 2009. 57:5965-5970.
- Chun A, Song J, Hong HC, Son JR. Improvement of cooking properties by milling and blending in rice cultivar Goami2. *Korean J Food Crop Sci*. 2005. 50:88-93.
- Chun IJ, Kim HS. Influence of starch characteristics on the pasting properties of potato flours prepared from yellow-fleshed potatoes. *Food Eng Prog*. 2014. 18:398-405.
- Ebihara K, Nakamoto Y. Comparative effect of water-soluble and -insoluble dietary fiber on bowel function in rats fed a liquid elemental diet. *Nutr Res*. 1998. 18:883-891.
- Eerlingen RC, Jacobs H, Block K, Delcour JA. Effects of hydrothermal treatments on the rheological properties of potato starch. *Carbohydr Res*. 1971. 297:347-356.
- Eliasson AC. Viscoelastic behaviour during the gelatinization of starch I. Comparison of wheat, maize, potato and waxy-barley starches. *J Texture Stud*. 1986. 17:253-265.
- Espinosa L, To N, Symoneaux R, Renardd CMGC, Biau N, et al. Effect of processing on rheological, structural and sensory properties of apple puree. *Procedia Food Sci*. 2011. 1:513-520.
- Fetuga G, Tomlins K, Henshaw F, Idowu M. Effect of variety and processing method on functional properties of traditional sweet potato flour ("elubo") and sensory acceptability of cooked paste ("amala"). *Food Sci Nutr*. 2014. 2:682-691.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAOSTAT. 2021 [cited 2020 Jul 2]. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/qc>
- Gerard C, Barron C, Colonna P, Planchot V. Amylose determination in genetically modified starches. *Carbohydr Polym*. 2001. 44:19-27.
- Ghiassi K, Hoesne RC, Varriano-Marston E. Effect of flour component and dough ingredients on starch gelatinization. *Cereal Chem*. 1983. 60:58-61.
- Gu YR, Chae HY, Hong JH. Physicochemical properties and hot air-dried and spray-dried powders process of sweet potato and steamed sweet potato. *J Chitin Chitosan*. 2017. 22:110-117.
- Han SK, Song YS, Ahn SH, Yang JW, Lee HU, Lee JS, et al. Physicochemical characteristics of sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) starch depending on cultivation periods. *Korean J Food Sci Technol*. 2014. 46:750-756.
- Ice JR, Hamann DD, Purcell AE. Effects of pH, enzymes and

- storage time on the rheology of sweet potato puree. *J Food Sci.* 1980. 45:1614-1618.
- Jacobs H, Eerlingen RC, Clauwaert W, Delcour JA. Influence of annealing on the pasting properties of starches from varying botanical sources. *Cereal Chem.* 1995. 72:480-487.
- Jang GY, Li M, Lee SH, Woo KS, Sin HM, Kim HS, et al. Optimization of processing conditions and selection of optimum species for sweet potato chips. *Korean J Food Nutr.* 2013a. 26:565-572.
- Jang GY, Li M, Lee SH, Woo KS, Sin HM, Kim HS, et al. Quality characteristics of sweet potato varieties baked and freeze thawed. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2013b. 42:403-409.
- Jinescu VV. Rheology of suspensions. *Int Chem Eng.* 1974. 14:397-420.
- Jung ST, Rhim JW, Kang SG. Quality properties and carotenoid pigments of yellow sweet potato puree. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 1998. 27:596-602.
- Kim HR, Kwon YH, Kim JH, Ahn BH. Quality analysis of diverse rice species for rice products. *Korean J Food Sci Technol.* 2011. 43:142-148.
- Kim HS, Huber KC. Physicochemical properties and amylopectin fine structures of A- and B-type granules of waxy and normal soft wheat starch. *J Cereal Sci.* 2010. 51:256-264.
- Kim HS, Lee CJ, Kim SE, Ji CY, Kim ST, Kim JS, et al. Current status on global sweetpotato cultivation and its prior tasks of mass production. *J Plant Biotechnol.* 2018. 45:190-195.
- Kim KE, Kim SS, Lee YT. Physicochemical properties of flours prepared from sweet potatoes with different flesh colors. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2010. 39:1476-1480.
- Kim SY, Ryu CH. Studies on the nutritional components of purple sweet potato (*Ipomoea batatas*). *Korean J Food Sci Technol.* 1995. 27:819-825.
- Kumoro AC, Retnowati DS, Budiyati CS, Manurung T, Siswanto. Water solubility, swelling and gelatinization properties of raw and ginger oil modified gadung (*Dioscorea hispida* Dennst) flour. *Res J Appl Sci Eng Technol.* 2012. 4:2854-2860.
- Leach HW, McCown LD, Schoch TJ. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chem.* 1959. 36:534-544.
- Lee JS, Ahn YS, Chung MN, Kim HS, Song YS, Shim HK, et al. A new sweet potato cultivar for use of bioethanol 'Daeyumi'. *Korean J Bread Sci.* 2010. 42:674-678.
- Lee JS, Ahn YS, Kim HS, Chung MN, Jeong BC. Making techniques of high quality powder in sweet potato. *Korean J Crop Sci.* 2006. 51:198-203.
- Lee KA, Shin MS, Ahn SY. The changes of pectic substances in sweet potato cultivars during baking. *Korean J Food Sci Technol.* 1985. 17:421-425.
- Lindeboom N, Chang PR, Tyler RT. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. *Starch.* 2004. 56:89-99.
- Lopez-Sanchez P, Chapara V, Schumm S, Farr R. Shear elastic deformation and particle packing in plant cell dispersions. *Food Biophysics.* 2012. 7:1-14.
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). Korean Food Standards Codex. 2021 [cited 2020 Jun 1]. Available from: https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_03.jsp?idx=12115
- MOHW. 2015 Dietary Reference Intakes for Koreans. Ministry of Health and Welfare, Sejong, Korea. 2015. p 184-212.
- Naivikul O, D'Appolonia BL. Carbohydrates of legume flours compared with wheat flours. II. *Starch. Cereal Chem.* 1979. 56:24-28.
- Noda T, Takigawa S, Matsuura-Enod C, Kim SJ, Hashimoto N, Yamauchi H, et al. Physicochemical properties and amylopectin structures of large, small, and extremely small potato starch granules. *Carbohydr Polym.* 2005. 60:245-251.
- Oh HE, Hong JS. Quality characteristics of Sulgidduk added with fresh sweet potato. *Korean J Food Cook Sci.* 2008. 24:501-510.
- Park SJ, Kim JM, Kim JE, Jeong SH, Park KH, Shin M. Characteristics of sweet potato powders from eight Korean varieties. *Korean J Food Cook Sci.* 2011. 27:19-29.
- Picha D. Sugar content of baked sweet potatoes from different cultivars and length of storage. *J Food Sci.* 1986. 51:845-848.
- Ra HN, Kim JS, Kim GC, Choi SY, Han SK, Chung MN, et al. Nutrient components and physicochemical properties of Korean sweet potato according to cultivars. *J Korean Soc Food Cult.* 2018. 33:597-607.
- Rasper V. Investigations on starches from major starch crops grown in Ghana: II. - Swelling and solubility patterns: amyloclastic susceptibility. *J Sci Food Agric.* 1969. 20:642-646.
- Saltzman E, Moriguti JC, Das SK, Corrales A, Fuss P, Greenberg AS, et al. Effects of a cereal rich in soluble fiber on body composition and dietary compliance during consumption of a hypocaloric diet. *J Am Coll Nut.* 2001. 20:50-57.
- Servais C, Jones R, Roberts I. The influence of particle size distribution on the processing of food. *J Food Eng.* 2002. 51:201-208.
- Shi X, BeMiller JN. Effects of food gums on viscosities of starch suspensions during pasting. *Carbohydr Polym.* 2002. 50:7-18.
- Simkova D, Lachman J, Hamouz K, Vokal B. Effect of cultivar, location and year on total starch, amylose, phosphorus content and starch grain size of high starch potato cultivars of food and industrial processing. *Food Chem.* 2013. 141:3872-3880.
- Srichuwong S, Sunarti TC, Mishima T, Isono N, Hisamatsu M. Starches from different botanical sources I: Contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility. *Carbohydr Polym.* 2005. 60:529-538.
- Szyperski RJ, Hamann DD, Walter Jr WM. Controlled alpha amylase process for improved sweet potato puree. *J Food Sci.* 1986. 51:360-363.
- Tan Y. Molecular properties of cereal based breakfast foods. *Starch.* 1993. 45:391-396.
- Teow CC, Truong VD, McFeeters RF, Thompson RL, Pecota KV, Yencho GC. Antioxidant activities, phenolic and β -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. *Food Chem.* 2007. 103:829-838.
- Tester RF, Morrison WR. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chem.* 1990. 67:551-557.
- Woo KS, Seo HI, Lee YH, Kim HY, Ko JY, Song SB, et al. Antioxidant compounds and antioxidant activities of sweet potatoes with cultivated conditions. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2012. 41:519-525.
- Yoo B, Rao M. Effect of unimodal particle size and pulp content on rheological properties of tomato puree. *J Texture Stud.* 1994. 25:421-436.
- Zhang D, Doehlert DC, Moore WR. Factors affecting viscosity of slurries of oat groat flours. *Cereal Chem.* 1997. 74:722-726.