

감자 품종에 따른 식이섬유 및 전분의 이화학적 특성

김현주^{1,*} · 최장규² · 이병원³ · 한나래¹ · 이진영¹ · 이유영¹ · 김미향¹ · 강문석¹
¹국립식량과학원 중부작물부 수확후이용과, ²국립식량과학원 고령지농업연구소,
³국립식량과학원 남부작물부 밭작물개발과

Dietary fiber content and physicochemical properties of starch isolated from potato cultivars

Hyun-Joo Kim^{1,*}, Jang Gyu Choi², Byong Won Lee³, Narae Han¹, Jin Young Lee¹,
Yu-Young Lee¹, Mihyang Kim¹, and Moon Seok Kang¹

¹Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration
²Highland Agriculture Research Institute, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration
³Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration

Abstract This study examined the dietary fiber content of potato and physicochemical characteristics of potato starch isolated from various cultivars. The total dietary fiber content of the ArirangIho cultivar was 6.30%, which was higher than that of other cultivars. The amylose content ranged from 36.76-55.75%, with Sooseon having the highest amylose content. Analysis of the degree of amylopectin polymerization revealed that all cultivars had a high proportion of DP (degree of polymerization) 13-24. The phosphate content ranged from 45.90-84.23 mg/100 g, with ArirangIho having the highest and Eunseon having the lowest phosphate content. The resistant starch content ranged from 58.94-79.87%. Geumseon showed the highest breakdown in the range of 587.45-1,129.72 RVU (rapid viscosity unit). Sooseon had the lowest gelatinization enthalpy value for potato starch in the range of 5.54-7.64 J/g. These results provide basic data for the use of potatoes in industrial applications.

Keywords: potato, cultivars, dietary fiber, starch, physicochemical characteristics

서 론

탄수화물은 인간의 생명 유지를 위한 필수적인 에너지 영양소로서 탄수화물의 저장 형태인 전분은 식물이 탄소 동화 작용으로 생산하는 포도당이 중합된 천연 고분자 물질이다. 전분은 쌀, 팥, 고구마, 감자 등과 같은 식량작물에 많이 함유되어 있으며 사람과 동물의 에너지원으로 가장 중요한 자원이라고 할 수 있다 (Chung, 2019; Chung과 Lim, 2014). 식품 및 공중보건산업 분야에서 전분은 쌀이나 빵처럼 곡물 자체로도 사용되기도 하며, 단백질 및 섬유질 등을 분리하여 전분만을 추출하여 이용하기도 한다. 산업 소재로 활용하기 위해 전분은 아밀로스와 아밀로펙틴의 비율, pH, 온도, 호화과정 중의 전분 입자의 팽윤 등에 의해 겔 형성능, 수분 결합력, 필름 형성 등에 영향을 줄 수 있다. 이러한 특성을 가진 전분을 식품 소재로서 제과, 제빵, 제과, 튀김, 제면, 육 제품, 주류 등에 이용 가능하며 비식품 분야로서는 접착제, 종이류 등 다양하게 적용하고 있다(Han과 Lee, 2014).

식이섬유는 식물성 식품원료에 포함된 성분의 하나로 주로 난소화성 탄수화물의 일종으로 고분자로 구성되었고 식물 세포벽이나 세포 간 결합물질로 존재한다. 물리화학적 특성에 따라 수용성과 불용성 식이섬유로 나뉘는데, 이에 따라 영양적인 면과 생리적인 특성이 다르게 나타난다(Oh와 Ly, 1998). 특히 식이섬유는 인체에서 소화 흡수되지 않고 수화되어 장에서 연동운동을 활발하게 하고 대장에서 불순물과 결합하여 배출되게 함으로써 성인병(비만, 당뇨병 등)을 예방하는 주요 영양성분으로 보고되고 있어(McIntosh, 2004), 식이섬유 함량이 높은 소재를 찾는 연구가 세계적으로 꾸준히 이루어지고 있다.

감자(*Solanum tuberosum* L.)는 남아메리카 안데스 중부지역이 원산지인 1년생 작물로서 쌀, 밀, 옥수수과 함께 세계 주요 식량작물 중 하나이며, 전분 함량이 타 작물에 비해 높아 전분 제조 등 산업적으로 중요한 작물로 자리 잡고 있다(Jang과 Yoon, 2012; Lee 등, 2017a). 특히 감자 전분이 다른 전분과 다른 점은 큰 전분 입자, 높은 순도, 비교적 긴 아밀로스와 아밀로펙틴 사슬 길이, 아밀로펙틴에 인산 에스터 기의 존재, 가열과 냉각 시 결정화한 점탄성의 겔을 형성하는 특성이 있다(Vasanthan 등, 1999). 이러한 특성을 가진 감자 전분은 사용 목적에 따라 다양하게 적용할 수 있으므로, 감자 원료에 대한 기초자료 확보가 중요하다고 할 수 있다. 감자 품종은 용도에 따라 식용과 가공용으로 나눌 수 있는데 현재 국내에서는 식용으로는 수미, 가공용으로는 대서 품종이 잘 알려져 있으며(Choi 등, 2008), 국내산 감자의 용도별 품종 개발을 위해 많은 연구자들이 지속적으로 노력하고 있다.

*Corresponding author: Hyun-Joo Kim, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon, Gyeonggi 16613, Korea
Tel: +82-31-695-0614
Fax: +82-31-695-0609
E-mail: tlrtod@korea.kr
Received June 7, 2022; revised August 8, 2022;
accepted August 8, 2022

최근까지 발표된 감자의 영양성분 및 이화학적 특성(Choi 등, 2008), 품종에 따른 품질 특성(Kim 등, 1989; Lee 등 2012), 아미노산 및 단백질 조성(Kwon 등, 2008) 등에 관한 연구는 추진된 바 있으나 최근 육성된 품종을 포함하여 전분 특성을 비교한 연구는 미진한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내산 감자 전분을 산업 소재로 활용하기 위한 기초자료를 확보하고자 감자 품종에 따른 식이섬유 함량을 분석하고, 전분을 추출한 후 이화학적 특성을 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료 및 전분 추출

본 연구에서 사용한 실험재료인 감자는 24품종(강선, 고운, 골든볼, 골든에그, 금선, 남선, 다미, 대광, 대백, 대서, 대지, 새봉, 서흥, 수미, 수선, 수지, 아리랑1호, 아리랑2호, 은선, 자영, 진선, 추백, 하평, 하이칩)을 사용하였고, 2020년 6월에 국립식량과학원 고령지농업연구소 시험 포장(Kangneung, Korea)에서 수확한 것을 이용하였다(Table 1). 수확한 감자의 식이섬유 함량 측정을 위해 일정한 크기로 절단한 후 동결건조를 하여 실험에 사용하였으며, 전분 특성을 분석하기 위하여 시료를 분쇄한 후 Lim 등(1999)의 방법을 변형하여 품종별로 전분을 추출하였다.

Table 1. Characteristics of potato by cultivars

Cultivars	Year	Characteristics
Arirang1ho	2018	Edible
Arirang2ho	2018	Edible
Chubaek	1999	Edible (Double crop)
Daeback	2019	Edible
Daegwang	2015	Edible
Daeji	1978	Edible (Double crop)
Daeseo	1995	Process
Dami	2014	Edible
Eunseon	2016	Process (Double crop)
Gangseon	2016	Edible (Double crop)
Geumseon	2014	Edible (Double crop)
Goldenball	2019	Edible
Golden egg	2019	Edible
Goun	2006	Process (Double crop)
Haryeong	2005	Edible
Highchip	2019	Process (Double crop)
Jayoung	2007	Edible and process, Color
Jinseon	2012	Process
Namseon	2015	Process (Double crop)
Saebong	2010	Process
Seohong	2006	Edible
Sooseon	2017	Process (Double crop)
Suji	2019	Process (Double crop)
Sumi	1978	Edible

식이섬유

시료에 MES/Tris buffer (MES 0.05 M과 Tris 0.05 M을 증류수 1 L에 용해하여 6 N NaOH로 pH 조정)를 각 40 mL씩 넣고, α -amylase 50 μ L를 가해 98°C 항온수조(DS-23SN, Dasol Scientific, Hwaseong, Korea)에서 30분 교반 후 protease 100 μ L를 넣고 60°C에서 30분 교반하였다. 그 후 0.56 N HCl 5 mL 가해 pH를 조정된 다음 amyloglucosidase 200 μ L를 넣고 60°C에서 30분 동안 교반하여 식이섬유 분석장치(Fibertec E, Foss tecator, Mulgrave, Australia)에서 여과하여 남겨진 잔사를 불용성 식이섬유로 계산하였다. 여과액에 60°C, 95% 에탄올 320 mL을 부어 1시간 정지한 다음 여과하여 남겨진 잔사를 수용성 식이섬유로 계산하였으며, 불용성과 수용성 식이섬유 함량을 더해 총 식이섬유로 환산하여 산출하였다(AOAC, 1995).

아밀로스

감자 전분의 품종별 아밀로스 함량은 Juliano(1985)의 방법에 의해 측정하였다. 시료 100 mg에 95% 에탄올 1 mL과 1 N NaOH 용액 9 mL을 첨가하여 분산시키고 100°C 항온수조에 넣어 20분간 호화시킨 후 냉각하였다. 호화액 5 mL을 100 mL 메스플라스크에 옮겨 담은 후 1 N 아세트 산 용액 1 mL과 2% I₂-KI 용액 2 mL을 첨가한 후 증류수를 이용하여 100 mL이 되도록 정용한 다음 30분 동안 정색 반응한 후 분광광도계(Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 620 nm에서 흡광도를 측정하였다. 아밀로스 정량을 위해 사용한 표준물질은 amylose from potato (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)를 사용하였다.

아밀로펙틴의 가지 사슬 길이

감자 전분 내 아밀로펙틴의 가지 사슬 길이 분포(branch chain length distribution)는 high performance anion exchange chromatography pulsed amperometric detection (HPAEC-PAD; Dionex ICS-5000, Dionex Co., Sunnyvale, CA, USA)을 이용하여 분석하였다(Lee 등, 2017b). 메탄올에 3회 세척한 시료 7 mg을 증류수 5 mL에 교반하고 3시간 동안 80°C에서 중탕하였다. 중탕한 시료 1 mL에 2% sodium azide 10 μ L, 600 mM sodium acetate buffer (pH 4.4)를 50 μ L를 교반한 후 isoamylase (1,000 unit/mL) 1 μ L 첨가하여 24시간 동안 37°C에서 반응시켰다. 반응을 마친 시료는 250 \times g으로 5분간 원심분리한 후 상층 액을 취하여 HPAEC-PAD에 주입하고 분석하였다. 150 mM NaOH/150 mM NaOH+500 mM NaOAc와 150 mM NaOH를 이동상으로 하고 Dionex CarboPac™PA1 칼럼(3 \times 250 mm, Dionex Co.)을 사용하여 분당 1 mL의 속도로 분석하였다.

인 함량

감자 품종별로 추출한 전분의 인 함량은 Kahraman 등(2015)의 방법을 변형하여 분석하였다. 시료 1 g을 700°C에서 16시간 동안 회화하고 냉각시킨 후, 10 mL 염산(25%, v/v)과 질산(29%, v/v)을 각 도가니에 첨가하고 hot plate에서 끓을 때까지 가열 후 냉각시켰다. 이후 이를 50 mL로 정용한 뒤, 1 mL를 취해 증류수 3 mL와 vanadate-molybdate 용액 1 mL를 혼합하여 10분간 상온에서 반응시킨 후 400 nm에서 흡광도를 측정하였다. 제일인산칼륨(KH₂PO₄)을 표준물질로 사용하여 표준 곡선을 그린 후, 품종별 감자전분 흡광도를 대입해 인 함량을 측정하였다.

소화성 및 저항전분

소화성 및 저항전분 함량은 McCleary 등(2002)의 방법에 따라

resistant starch Megazyme kit (Megazyme International Ltd., Wicklow, Ireland)를 이용하여 측정하였다. 즉 시료 100 mg에 amyloglucosidase (3 U/mL)가 포함된 pancreatin α -amylase (10 mg/mL) 4 mL을 첨가한 다음 37°C에 16시간 반응한 후, 침전물에 2 M KOH 용액을 첨가하여 분산 및 용해하였다. 그다음 1.2 M sodium acetate buffer (pH 3.8)와 amyloglucosidase (330 U/mL)를 첨가하여 50°C에서 30분 반응시킨 후 가수분해된 glucose 양에 따라 소화성 전분과 저항전분을 각각 환산하여 산출하였다.

호화 점도 특성

감자 전분의 품종별 호화 점도 특성은 신속점도측정기(RVA-4, Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood, Australia)를 이용하여 측정하였다. 품종별 전분 3 g을 증류수 25 mL에 분산시켜 1분간은 50°C로 유지한 후, 95°C까지 12°C/min의 속도로 가열한 다음 95°C에서 2분 30초간 유지한 후 50°C에서 12°C/min의 속도로 냉각시켜 2분간 유지하면서 점도를 측정하였다. RVA viscogram을 이용하여 최고 점도, 최저 점도, 최종 점도, 강하 점도 및 치반 점도를 산출하였으며, 점도 단위는 rapid viscosity unit (RVU)으로 표시하였다(Collado 등, 1999).

열적 특성

감자 품종별로 추출한 전분의 열적 특성은 시차 주사 열량계

(differential scanning calorimetry, TA Q1000, TA Instrument, New Castle, DE, USA)를 이용하여 측정하였다. 알루미늄 팬에 시료 9 mg과 증류수 21 mg을 넣고 밀봉한 후 4°C부터 150°C까지 5°C/min로 승온하면서 흡열 곡선을 얻었으며, 이를 통해 호화개시온도(onset temperature, T_o), 호화 정점 온도(peak temperature, T_p), 호화 종료 온도(completion temperature, T_c)를 구하고 흡열 피크의 면적으로부터 호화 엔탈피(enthalpy for gelatinization, ΔH)를 산출하였다.

통계분석

본 시험에서 얻어진 결과는 SPSS 12.0 (Statistical Package for Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 각 실험군 간의 유의성을 검증한 후 Duncan's multiple range tests에 의해 실험군 간의 차이를 5% 유의수준에서 분석하였다. 감자 품종별 식이섬유 함량 및 전분 특성 분석결과와 정규화 heatmap은 MetaboAnalyst 5.0 (Alberta, Canada, <https://www.metaboanalyst.ca>)을 이용하여 작성하였다. 품종별 각 조사 항목의 평균과 표준편차를 이용하여 정규화를 한 후 Euclidean distance measurement 및 Ward clustering algorithm 방법으로 군집 분류하여 heatmap을 작성하였으며, 각 항목의 수치는 파란색(음수)과 빨간색(양수)의 척도로 나타내었다(Pang 등, 2021). 각 조사 항목 간의 상관관계는 MetaboAnalyst 5.0을 이용하여 Pearson's correlation coefficient

Table 2. Dietary fiber contents of potato by cultivars

Cultivars	Contents (%)		
	Insoluble dietary fiber	Soluble dietary fiber	Total dietary fiber
Arirang1ho	4.08±0.56 ^{ab1)}	2.22±0.57 ^{bcd}	6.30±0.36 ^a
Arirang2ho	3.66±0.49 ^{bc}	1.52±0.19 ^{gh}	5.18±0.32 ^{bcd}
Chubaek	2.94±0.19 ^{efgh}	1.30±0.09 ^h	4.25±0.17 ^{ghi}
Daeback	3.60±0.17 ^{bcd}	1.18±0.08 ^h	4.78±0.17 ^{cdefg}
Daegwang	2.92±0.22 ^{efgh}	2.47±0.26 ^b	5.40±0.46 ^{bc}
Daeji	3.06±0.21 ^{defg}	2.15±0.15 ^{bcde}	5.20±0.36 ^{bcd}
Daeseo	2.49±0.36 ^{ghi}	1.24±0.16 ^h	3.72±0.50 ^{ij}
Dami	2.67±0.31 ^{efghi}	1.15±0.19 ^h	3.82±0.50 ^{ij}
Eunseon	2.26±0.20 ^{ijk}	1.87±0.19 ^{defg}	4.14±0.05 ^{ghij}
Gangseon	3.27±0.13 ^{cde}	2.10±0.26 ^{bcde}	5.37±0.36 ^{bc}
Geumseon	3.26±0.14 ^{cde}	2.28±0.16 ^{bc}	5.53±0.16 ^b
Goldenball	1.82±0.62 ^{jk}	3.07±0.14 ^a	4.90±0.76 ^{bcdef}
Golden egg	2.56±0.25 ^{efhi}	2.42±0.23 ^b	4.98±0.29 ^{bcde}
Goun	3.70±0.36 ^{bc}	1.36±0.38 ^h	5.05±0.23 ^{bcde}
Haryeong	2.77±0.34 ^{efghi}	1.85±0.12 ^{defg}	4.61±0.31 ^{defgh}
Highchip	1.75±0.23 ^k	2.23±0.18 ^{bcd}	3.97±0.38 ^{hij}
Jayoung	3.09±0.26 ^{def}	2.11±0.08 ^{bcde}	5.20±0.28 ^{bcd}
Jinseon	1.83±0.34 ^{jk}	1.77±0.15 ^{efg}	3.60±0.36 ^j
Namseon	4.31±0.34 ^a	1.93±0.12 ^{cdef}	6.23±0.22 ^a
Saebong	2.28±0.27 ^{ijk}	1.88±0.06 ^{defg}	4.16±0.21 ^{ghij}
Seohong	3.77±0.11 ^{abc}	1.34±0.24 ^h	5.11±0.14 ^{bcde}
Sooseon	2.36±0.20 ^{hij}	2.23±0.16 ^{bcd}	4.58±0.25 ^{defgh}
Suji	2.76±0.38 ^{efghi}	1.55±0.07 ^{fgh}	4.31±0.44 ^{fghi}
Sumi	3.01±0.09 ^{efg}	1.51±0.02 ^{gh}	4.51±0.07 ^{efgh}

^{a-k}Different letters with the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).

¹⁾Mean±standard deviation ($n=3$)

Table 3. Amylose and amylopectin chain length distribution of potato starch by cultivars

Cultivars	Amylose (%)	Amylopectin chain length distribution (%)			
		DP6-12	DP13-24	DP25-36	DP≥37
Arirang1ho	43.07±0.30 ¹⁾	22.37±0.04 ^{ij}	57.40±0.07 ^{cd}	14.46±0.11 ^{bcde}	5.78±0.22 ^{fg}
Arirang2ho	46.48±0.08 ^b	21.55±0.17 ^{jk}	56.28±0.12 ^{gh}	15.84±0.01 ^a	6.34±0.06 ^{cd}
Chubaek	38.33±0.09 ^k	25.98±0.26 ^{cd}	56.40±0.28 ^{gh}	12.71±0.33 ^{ghi}	4.92±0.34 ^l
Daeback	45.46±0.90 ^c	20.49±0.18 ^l	56.96±0.12 ^{defg}	15.98±0.37 ^a	6.58±0.07 ^{bc}
Daegwang	44.72±0.73 ^{cd}	23.39±0.23 ^{gh}	54.92±0.01 ⁱ	14.65±0.11 ^{bc}	7.05±0.14 ^a
Daeji	46.71±0.21 ^b	24.06±0.47 ^{fg}	56.56±0.30 ^{fgh}	14.04±0.09 ^{bcde}	5.35±0.08 ^{hijk}
Daeseo	42.10±0.73 ^{gh}	22.38±0.04 ^{ij}	55.96±0.04 ^h	14.88±0.04 ^b	6.79±0.04 ^{ab}
Dami	36.76±0.59 ^l	22.21±0.79 ^{ij}	58.02±0.04 ^{bc}	13.94±0.67 ^{bcdef}	5.84±0.08 ^{efg}
Eunseon	41.71±0.30 ^{hi}	27.55±0.09 ^a	54.42±0.07 ^{ij}	12.77±0.13 ^{ghi}	5.27±0.11 ^{kl}
Gangseon	41.21±0.08 ⁱ	24.96±0.78 ^{ef}	56.50±0.54 ^{gh}	12.87±0.26 ^{fghi}	5.68±0.03 ^{ghi}
Geumseon	44.83±0.08 ^{cd}	23.64±0.27 ^{gh}	56.06±0.12 ^h	14.09±0.19 ^{bcde}	6.22±0.20 ^{cd}
Goldenball	42.88±0.25 ^{fg}	22.14±0.04 ^{ij}	57.28±0.20 ^{de}	14.43±0.24 ^{bcde}	6.15±0.00 ^{de}
Golden egg	42.91±0.66 ^{fg}	23.10±0.27 ^{ghi}	57.23±0.25 ^{def}	13.57±0.04 ^{cdefgh}	6.11±0.02 ^{def}
Goun	47.21±0.12 ^b	26.34±1.04 ^{bc}	54.49±0.59 ^{ij}	13.36±0.46 ^{efgh}	5.82±0.01 ^{efg}
Haryeong	42.91±0.12 ^{fg}	24.03±0.06 ^{fg}	56.65±0.24 ^{efgh}	13.60±0.06 ^{cdefg}	5.72±0.35 ^{gh}
Highchip	42.60±0.92 ^{fg}	27.22±0.16 ^{ab}	53.90±0.17 ^j	13.48±0.17 ^{defgh}	5.40±0.16 ^{hij}
Jayoung	42.44±0.16 ^{fgh}	23.59±0.99 ^{gh}	60.00±0.89 ^a	11.96±1.95 ⁱ	4.45±0.07 ^m
Jinseon	43.91±0.84 ^c	25.10±0.12 ^{de}	56.35±0.23 ^{gh}	13.55±0.01 ^{cdefgh}	5.01±0.34 ^{kl}
Namseon	40.24±0.16 ^j	25.65±0.15 ^{cde}	55.93±0.23 ^h	12.91±0.11 ^{fghi}	5.52±0.27 ^{ghij}
Saebong	44.07±0.47 ^{de}	25.14±0.12 ^{de}	58.46±0.09 ^b	12.56±0.06 ^{hi}	3.86±0.04 ⁿ
Seohong	42.60±0.12 ^{fg}	20.75±0.37 ^{kl}	56.14±0.24 ^h	16.31±0.04 ^a	6.80±0.17 ^{ab}
Sooseon	55.75±0.36 ^a	26.05±0.02 ^{cd}	56.07±0.06 ^h	12.67±0.05 ^{ghi}	5.23±0.04 ^{ijkl}
Suji	42.78±0.21 ^{fg}	22.89±0.71 ^{hi}	58.10±0.47 ^b	13.68±0.29 ^{cdef}	5.34±0.05 ^{ijk}
Sumi	39.51±0.12 ^j	24.00±0.16 ^{fg}	55.08±0.07 ⁱ	14.55±0.04 ^{bcd}	6.37±0.04 ^{cd}

^{a-m}Different letters with the same column indicate significant differences ($p<0.05$).

¹⁾Mean±standard deviation ($n=3$)

test 방법으로 조사하였다(Pang 등, 2021).

결과 및 고찰

식이섬유 함량

국내산 감자의 품종에 따른 불용성, 수용성 및 총 식이섬유 함량을 분석결과를 Table 2에 제시하였다. 불용성 식이섬유를 분석한 결과 1.75-4.31%의 범위로 납선 품종이 가장 높은 함량을 보였다. 수용성 식이섬유는 골든볼 품종이 3.07%로 다른 품종에 비해 가장 높았으며, 서홍이 1.34%로 가장 낮았다. 불용성 및 수용성 식이섬유 함량에 근거하여 산출한 총 식이섬유 함량을 분석한 결과 아리랑1호 품종이 6.30%로 가장 높은 식이섬유 함량을 보였다. 식이섬유 함량이 높은 경향을 보인 품종을 heatmap을 이용하여 시각화한 결과 납선, 아리랑1호, 아리랑2호, 서홍 품종의 불용성 식이섬유와 총 식이섬유와의 군집 분류를 나타냈으며(Fig. 1), 불용성 식이섬유와 총 식이섬유와의 높은 상관성($r=0.744$, $p<0.001$)이 있음을 확인하였다(Fig. 2). Choi 등(2008)은 국산 고구벨리 품종의 식이섬유가 8.1%로 다른 품종에 비해 높은 함량(5.0-5.9%)을 이었다고 보고하였으며, Liu 등(2007)도 유사한 결과를 발표하였다. Jin 등(2016)이 발표한 자료에 따르면 생감자와

삶은 감자의 식이섬유 함량을 비교한 결과 감자를 삶았을 때 총 식이섬유와 불용성 식이섬유가 감소하였다는 결과를 볼 때, 추후 감자에 함유된 식이섬유를 기능성 소재로 활용하기 위하여 2차 가공에 따른 식이섬유 함량 변화 및 활용방안에 관한 연구가 지속적으로 필요하다고 판단된다.

아밀로스 함량 및 아밀로펙틴 사슬 길이 분포

국산 감자 품종별로 전분을 추출한 다음 아밀로스 함량을 측정된 결과 36.76-55.75%로 수선 품종이 높은 아밀로스 함량을 보였다(Table 3). 이는 감자 품종별 전분의 아밀로스 함량의 범위가 28.20-30.86%였다는 Lee 등(2017a)의 결과보다 높은 수치였다. Noda 등(2004a)에 따르면 감자를 조기, 적정, 만기 수확 시 아밀로스 함량의 차이를 보였으며, 일찍 수확할수록 아밀로스 함량이 높은 경향을 보였다고 보고하였다. 본 연구에서 사용한 감자 역시 수확 직후의 감자를 이용하였기 때문에 감자 수확 시기 및 저장에 따른 아밀로스 함량 변이에 관한 모니터링이 필요하다고 판단된다.

전분은 호화 온도 이상으로 가열할 때 팽윤 현상이 일어나는데, 이때 수용성 물질이 입자 바깥으로 용출된다. 전분의 팽윤은 아밀로펙틴의 특성에 의해 나타나는 것으로 알려져 있다(Gomand

Table 4. Phosphate, digestible and resistant starch contents of potato starch by cultivars

Cultivars	Phosphate (mg/100 g)	Digestible starch (%)	Resistant starch (%)
Arirang1ho	84.23±3.37 ^{al}	10.94±0.34 ^b	79.76±0.74 ^a
Arirang2ho	60.76±1.09 ^{gh}	11.14±0.20 ^b	79.87±0.33 ^a
Chubaek	57.24±1.74 ^{hi}	14.21±0.19 ^f	76.76±0.19 ^b
Daeback	72.16±0.90 ^e	12.20±0.06 ^{hi}	58.94±1.23 ^h
Daegwang	61.01±1.72 ^{gh}	14.85±0.07 ^e	71.50±0.88 ^d
Daeji	53.61±2.31 ^{ij}	13.55±0.21 ^g	66.49±1.74 ^f
Daeseo	79.25±0.62 ^{bc}	9.02±0.19 ⁿ	67.42±1.12 ^{ef}
Dami	82.36±3.03 ^{ab}	8.88±0.13 ⁿ	67.35±2.37 ^{ef}
Eunseon	45.90±1.45 ^l	16.90±0.13 ^b	76.75±0.64 ^b
Gangseon	57.20±2.13 ^{hi}	15.75±0.19 ^{cd}	53.92±0.78 ⁱ
Geumseon	65.47±0.24 ^f	11.82±0.10 ^{ji}	76.73±0.24 ^b
Goldenball	77.20±2.36 ^{cd}	11.58±0.26 ^l	59.54±1.07 ^h
Golden egg	58.97±2.10 ^h	12.11±0.19 ^{hi}	71.53±0.87 ^d
Goun	58.11±1.70 ^h	14.18±0.10 ^f	65.59±1.40 ^f
Haryeong	63.98±4.35 ^{fg}	14.18±0.13 ^f	73.22±0.20 ^{cd}
Highchip	48.37±1.46 ^{kl}	16.77±0.24 ^b	76.43±0.51 ^b
Jayoung	83.48±2.34 ^a	7.28±0.06 ^o	68.76±0.25 ^e
Jinseon	64.89±1.89 ^f	12.47±0.20 ^b	74.87±0.28 ^{bc}
Namseon	60.66±2.00 ^{gh}	16.18±0.15 ^e	68.52±1.03 ^e
Saebong	64.33±2.06 ^{fg}	10.43±0.21 ^l	75.28±1.72 ^b
Seohong	74.49±2.61 ^{de}	15.37±0.13 ^d	72.12±0.09 ^d
Sooseon	51.83±2.75 ^{jk}	14.77±0.90 ^e	62.89±1.29 ^g
Suji	76.78±1.98 ^{cd}	9.75±0.13 ^m	75.70±2.40 ^b
Sumi	72.11±0.65 ^e	18.74±0.39 ^a	75.70±0.61 ^b

^{a-n}Different letters with the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).

^lMean±standard deviation ($n=3$)

등, 2010). 따라서 전분의 기능성 소재로서의 활용 가능성을 알아보기 위해 아밀로펙틴 사슬 길이 분포 분석은 반드시 수행되어야 한다. 감자 전분의 아밀로펙틴 사슬 길이 분포도를 분석한 결과, DP13-24가 약 60% 이하로 가장 많은 비율을 차지한 반면 DP≥37의 비율의 경우 3.86-7.05%로 낮은 분포도를 보였다(Table 2). 또한, 장쇄 사슬인 DP13-24과 DP≥37과의 상관성($r=0.740$, $p < 0.001$)이 높은 것을 확인할 수 있었다(Fig. 2). 다수의 연구보고에 따르면 쌀, 밀 등과 같은 주요 식량작물에는 아밀로펙틴의 단쇄 사슬 비율이 장쇄 사슬보다 높은 것으로 알려져 있다(Cho 등 2017; Kowittaya와 Lumdubwon, 2014). 그러나 Zhu와 Hao (2018)는 뉴질랜드 마오리 감자 전분의 아밀로펙틴의 장쇄 사슬이 단쇄 사슬보다 높은 비율이었다는 연구결과와는 상이하였다. 이는 작목 및 품종에 따라 전분 구조가 상이하고, 원료의 재배 시기, 질소시비량 등과 같은 재배방법, 토양 등과 같은 환경에 의한 차이라고 판단된다(Kim 등, 2010).

인, 가용 및 저항전분 함량

감자 품종별로 추출한 전분의 인 함량과 가용 및 저항전분 함량을 분석하여 Table 4에 제시하였다. 인 함량을 분석한 결과 45.90-84.23 mg/100 g의 범위로 아리랑1호 품종이 가장 높고, 은선이 가장 낮은 함량을 보였다. Chun과 Kim(2014)이 발표한 자료에 따르면 황색 감자 전분의 인 함량은 525-1,150 ppm의 범위였

으며, 최고점도, 붕괴점도, 최종점도 및 노화점도와 높은 상관성을 보였다고 하였다. Noda 등(2004b)의 보고에 따르면 감자에 있는 인 함량은 아밀로펙틴 구조에 phosphate monoester 형태로 존재하는 인으로부터 기인하는 것으로, 이는 감자 페이스트의 peak viscosity에 영향을 미친다고 하였다. 감자 전분이 과량의 물에서 가열되면 에스터화된 인산기가 이온화되면서 아밀로펙틴 사슬 내의 결합을 약화시켜 더 높은 팽창을 일으켜 수화를 유도하는 것으로 (Kaur 등, 2007; Singh 등, 2021), 감자전분의 인 함량은 산업 소재로 활용하기 위한 용도 설정에 중요한 인자라고 할 수 있다.

저항전분은 건강한 사람의 소장에서 흡수가 잘 되지 않는 전분과 전분 분해 산물을 뜻하는 것으로 식이섬유와 같이 장내 미생물에 의해 발효되어 대장 환경에 유익하다고 알려져 있다(Englyst 등, 1992; Sajilata 등, 2006). 다이어트에 관심 있는 소비자들이 점차 증가함에 따라 식품 산업에서는 식이섬유와 함께 저항전분이 높은 원료에 대한 관심이 증가하고 있는 추세이다. 감자 전분의 품종별 저항전분 함량을 분석한 결과 58.94-79.87% 범위로 타 작목에 비해 높은 경향을 보였으며(Table 4), heatmap을 이용한 군집 분석 결과로 아밀로스 함량이 가장 높았던 수선 품종의 저항전분이 낮았음을 확인하였다(Fig. 1). 이는 아밀로스 함량이 높은 감자가 25-30%의 높은 저항전분을 함유한 반면 다른 품종의 경우 0-5%로 저항전분 함량이 낮았다는 결과(Margareta Leeman 등, 2006)와 유사한 경향이었다. 또한, 본 연구에서 감자를 수확

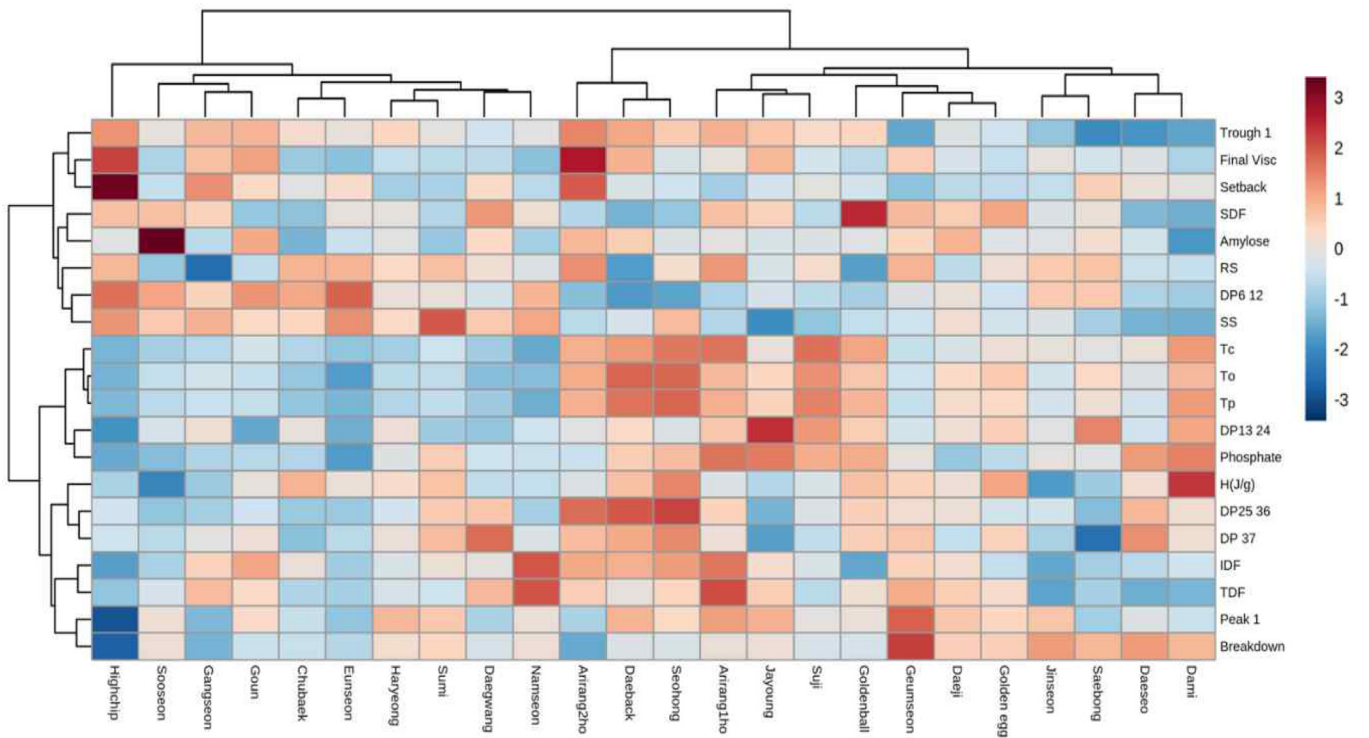


Fig. 1. Normalized response of dietary fiber contents and starch characteristics from various cultivars of potato. The level of individual parameters corresponds to the color scale. A color gradient from blue to red represents a low to high level of the normalized response.

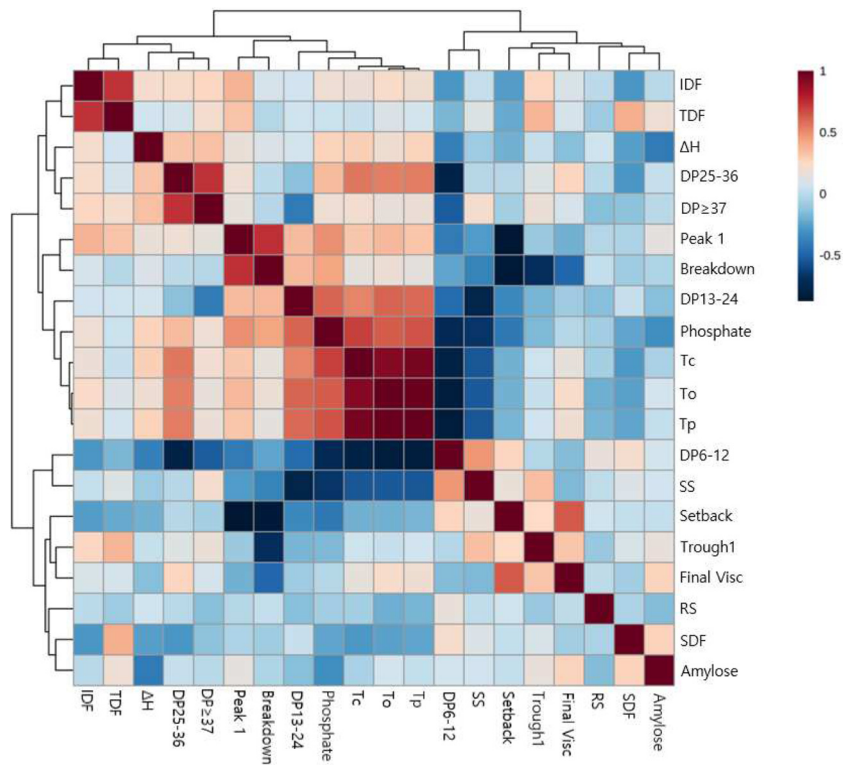


Fig. 2. Pearson's correlation coefficient (*r*) matrices from dietary fiber and starch characteristics from various cultivars of potato; blue and red colors indicate negative and positive correlations between individual parameters.

Table 5. Pasting characteristics of potato starch by cultivars

Cultivars	Pasting characteristics (unit: RVU ¹⁾)				
	Peak viscosity	Through viscosity	Break down ²⁾	Final viscosity	Set back ³⁾
Arirang1ho	1,233.39±6.35 ^{b4)}	416.30±16.44 ^{cd}	817.08±10.97 ^{fg}	395.80±9.94 ^f	-837.58±12.09 ^m
Arirang2ho	1,057.06±5.61 ^l	469.61±10.46 ^a	587.45±15.74 ^k	547.44±8.56 ^{ab}	-353.22±21.97 ^a
Chubaek	1,085.83±8.07 ^k	3,415.22±25.29 ^{hi}	740.61±27.55 ⁱ	339.28±1.75 ^{kl}	-739.89±9.18 ^{fg}
Daeback	1,208.83±10.77 ^{cd}	431.53±27.48 ^{bc}	777.31±17.42 ^h	450.67±15.59 ^{cd}	-758.17±23.30 ^{ghi}
Daegwang	1,056.36±6.52 ^l	271.94±13.56 ^k	787.75±9.87 ^{gh}	361.86±1.04 ^{hij}	-694.50±5.91 ^e
Daeji	1,187.25±10.83 ^{de}	370.25±17.72 ^{fgh}	817.00±7.91 ^{fg}	382.39±2.51 ^{fghi}	-804.86±10.28 ^l
Daeseo	1,115.11±25.15 ^j	132.00±2.38 ^{mn}	983.11±23.89 ^b	387.97±8.36 ^{fg}	-727.14±17.90 ^f
Dami	1,088.92±13.35 ^k	155.28±28.69 ^{lm}	933.64±27.42 ^c	352.58±9.49 ^{jk}	-736.33±4.32 ^{fg}
Eunseon	1,028.69±4.90 ^{mn}	321.28±1.88 ^{ij}	707.42±3.30 ^j	329.19±7.38 ^l	-699.50±12.15 ^e
Gangseon	1,015.00±4.63 ⁿ	405.64±9.86 ^{cde}	609.36±13.62 ^k	438.69±18.35 ^{de}	-576.31±22.87 ^c
Geumseon	1,291.86±6.29 ^a	162.14±5.23 ^l	1,129.72±5.71 ^a	427.56±7.84 ^e	-864.31±2.05 ⁿ
Goldenball	1,131.22±4.63 ^{hij}	358.55±3.85 ^{gh}	769.33±6.51 ^{hi}	360.72±8.29 ^{ik}	-770.50±3.71 ^{ij}
Golden egg	1,166.14±10.38 ^{ef}	349.33±24.03 ^h	850.14±23.68 ^{de}	368.47±12.16 ^{ghij}	-797.67±13.60 ^{kl}
Goun	1,154.31±6.12 ^{fgh}	411.55±1.18 ^{cd}	742.75±6.12 ⁱ	462.61±1.54 ^c	-691.70±6.95 ^{de}
Haryeong	1,204.94±19.83 ^{cd}	364.05±29.88 ^{fgh}	840.89±13.22 ^{def}	367.92±19.66 ^{ghij}	-837.03±3.74 ^m
Highchip	874.40±1.79 ^o	454.64±4.39 ^{ab}	419.75±5.46 ^l	521.17±21.32 ^b	-509.61±2.98 ^b
Jayoung	1,212.64±10.16 ^{bc}	390.81±12.86 ^{def}	821.84±20.65 ^{ef}	445.58±4.23 ^{cde}	-767.06±11.94 ^{lji}
Jinseon	1,187.89±13.30 ^{de}	178.78±5.01 ^l	932.45±8.94 ^c	396.58±17.36 ^f	-807.97±6.05 ^l
Namseon	1,135.39±14.29 ^{ghij}	314.31±12.54 ⁱ	821.08±24.96 ^{ef}	329.91±15.36 ^l	-805.47±29.50 ^l
Saebong	1,048.31±16.29 ^{lm}	155.86±12.51 ⁿ	932.44±27.80 ^c	378.42±4.93 ^{fghi}	-669.89±20.87 ^d
Seohong	1,159.41±3.32 ^{fg}	382.50±14.51 ^{efg}	776.92±17.19 ^h	383.84±21.29 ^{fgh}	-775.59±19.41 ^{ijk}
Sooseon	1,140.78±15.78 ^{ghi}	320.64±3.92 ^{ij}	820.14±16.62 ^{ef}	351.64±9.57 ^{jk}	-789.14±8.56 ^{jkl}
Suji	1,122.42±2.24 ^{ij}	352.14±10.19 ^h	770.28±10.52 ^{hi}	378.11±9.99 ^{fghi}	-744.30±12.22 ^{fgh}
Sumi	1,184.58±39.15 ^{de}	316.14±12.21 ⁱ	868.45±2900 ^d	360.11±6.14 ^{ijk}	-841.14±9.96 ^{mn}

^{a-m}Different letters with the same column indicate significant differences ($p<0.05$).

¹⁾Rapid visco unit

²⁾Peak viscosity minus through viscosity

³⁾Final viscosity minus peak viscosity

⁴⁾Mean±standard deviation ($n=3$)

한 직후의 상태를 분석하여 저항전분 함량이 높게 측정된 것으로 판단되며(Noda 등, 2004a), 추후 저장에 의한 저항전분 함량 변화 및 2차 가공에 따른 저항전분 함량을 비교 분석할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

호화 점도 특성

감자 전분의 품종별 호화 점도 특성을 분석하기 위하여 신속 점도 측정계로 측정된 결과를 Table 5에 제시하였다. 식량작물의 호화 점도는 전분 함량과 구조(아밀로스 함량, 아밀로펙틴 가지 사슬 길이) 등에 따라 차이가 있는 것으로 보고되고 있다(Cho 등, 2017). 최고 점도와 최저 점도의 차이로서 전분의 열과 전단력에 대한 저항성과 가공 중의 안정성을 확인하는 지표로 사용하는 강하 점도를 분석한 결과 587.45-1,129.72 RVU 범위로 금선이 가장 높고 아리랑2호가 다른 품종에 비해 낮았다. 치반 점도는 최종 점도에서 최고 점도를 뺀 값으로 치반 점도와 최종 점도의 상관성($r=0.640$, $p<0.001$) (Fig. 2)을 확인할 수 있었다. 또한, 치반 점도 값은 전분의 노화 속도를 나타내며 수치가 낮을수록 전분의 노화가 지연되는 것으로 알려져 있는데, 감자 전분의 치

반 점도는 -864.31- -353.22 RVU 범위로 나타났으며 하이칩이 가장 높고, 금선이 낮았다. 감자전분은 조, 수수, 녹두 등과 같은 다른 전분에 비해 온도가 상승함에 따라 급격히 점도가 증가하는 경향을 보였는데, 이는 호화 중 아밀로스와 복합체를 이루어 팽윤을 억제하는 지질의 결여, 점성이 강한 큰 분자량의 아밀로스 존재 및 *o*-phosphate기에 의해 팽윤력이 증가하는 것으로 보고되고 있으며, 본 연구결과도 유사한 경향을 보였다(Choi 등, 2008; Kim 등, 2020; Swinkels, 1985; Woo 등, 2019). Heatmap을 이용한 군집 분석 결과 금선, 대지, 골든에그, 진선, 새봉, 대서, 다미가 다른 품종에 비해 강하 점도가 높은 그룹으로 분류되었으며, 이들 중 금선, 대지, 골든에그, 진선 품종의 치반 점도 값이 낮은 경향을 보였다(Fig. 1). 추후 이들 품종을 이용하여 볶음, 튀김, 찜 등 2차 가공에 따른 감자 품질 분석 등을 통해 식품군에 따른 적합한 품종 선정을 위한 후속 연구가 필요하다고 판단된다.

열적 특성

감자 전분의 품종별 열적 특성을 비교하기 위해 시차 주사 열량계를 이용하여 호화개시온도, 호화 정점 온도 및 종료 온도를

Table 6. Thermal properties of potato starch by cultivars

Cultivars	To (°C)	Tp (°C)	Tc (°C)	△H (J/g)
Arirang1ho	64.05±0.13 ^{cd1)}	67.75±0.11 ^d	76.12±0.12 ^a	6.45±0.27 ^{bcdef}
Arirang2ho	64.25±0.10 ^c	67.70±0.08 ^d	75.04±0.19 ^b	6.45±0.14 ^{bcdef}
Chubaek	61.72±0.31 ⁱ	64.81±0.35 ^{jk}	72.38±0.26 ^{fgh}	6.97±0.41 ^{abcd}
Daeback	65.21±0.04 ^a	68.73±0.04 ^{ab}	75.46±0.27 ^b	6.87±0.47 ^{abcd}
Daegwang	61.57±0.32 ^{jk}	65.02±0.16 ^l	72.05±0.23 ^{hi}	6.26±0.76 ^{bcdef}
Daeji	63.48±0.20 ^f	66.73±0.16 ^{ef}	73.17±0.28 ^{de}	6.57±0.42 ^{bcde}
Daeseo	62.83±0.22 ^g	65.92±0.30 ^g	73.58±0.47 ^c	6.62±0.60 ^{bcde}
Dami	64.03±0.10 ^{cd}	68.09±0.17 ^c	75.45±0.23 ^b	7.64±0.14 ^a
Eunseon	60.93±0.20 ^l	64.49±0.21 ^{kl}	71.74±0.27 ^{ji}	6.55±0.14 ^{bcde}
Gangseon	62.63±0.35 ^{gh}	65.72±0.35 ^{gh}	72.45±0.78 ^{fgh}	6.04±0.43 ^{def}
Geumseon	62.51±0.08 ^{ghi}	65.70±0.08 ^{ghi}	72.71±0.05 ^{efg}	6.76±0.17 ^{abcd}
Goldenball	63.83±0.21 ^{de}	67.65±0.06 ^d	75.26±0.14 ^b	6.87±1.09 ^{abcd}
Golden egg	63.75±0.27 ^{def}	66.86±0.16 ^{ef}	73.68±0.10 ^e	7.05±0.96 ^{abc}
Goun	62.43±0.08 ^{hi}	65.66±0.09 ^{ghi}	73.10±0.07 ^{cde}	6.53±0.18 ^{bcde}
Haryeong	62.22±0.18 ⁱ	65.34±0.25 ⁱ	72.06±0.25 ^{hi}	6.64±0.14 ^{bcde}
Highchip	61.32±0.17 ^k	64.57±0.11 ^{kl}	71.39±0.36 ^{jk}	6.13±0.42 ^{cdef}
Jayoung	63.51±0.19 ^{ef}	67.04±0.08 ^e	73.60±0.21 ^c	6.20±0.37 ^{cdef}
Jinseon	62.63±0.02 ^{gh}	65.93±0.08 ^g	73.51±0.78 ^c	5.69±0.21 ^{ef}
Namseon	61.54±0.15 ^{jk}	64.30±0.21 ^l	71.10±0.17 ^k	6.28±0.24 ^{bcdef}
Saebong	63.48±0.18 ^f	66.57±0.15 ^f	73.36±0.13 ^{cd}	6.06±0.70 ^{def}
Seohong	65.21±0.11 ^a	68.95±0.13 ^a	76.05±0.10 ^a	7.22±0.23 ^{ab}
Sooseon	62.39±0.22 ^{hi}	65.51±0.43 ^{hi}	72.18±0.38 ^{ghi}	5.54±0.21 ^f
Suji	64.67±0.24 ^b	68.51±0.14 ^b	76.20±0.18 ^a	6.42±0.80 ^{bcdef}
Sumi	62.35±0.11 ^{hi}	65.61±0.25 ^{ghi}	72.88±0.32 ^{def}	6.86±0.09 ^{abcd}

^{a-l}Different letters with the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).

¹⁾Mean±standard deviation ($n=3$)

분석한 다음 흡열 반응을 기초로 한 호화엔탈피 값을 산출하였다(Table 6). Heatmap을 이용한 군집 분석결과 아리랑2호, 대백, 서흥 품종이 호화 개시 온도, 호화 정점 온도 및 종료 온도가 높은 그룹을 보인 반면 하이칩, 수선, 강선, 고운, 추백, 은선, 하령, 수미, 대광, 남선 품종은 낮은 그룹을 형성한 것을 확인할 수 있었다(Fig. 1). 시차 주사 열량곡선 상의 호화엔탈피는 전분 결정성 내에 존재하는 이중나선 구조가 붕괴되는데 필요한 에너지로 결정성의 양과 관련이 있는 것으로 보고되고 있다(You 등, 2014). 분석결과 5.54-7.64 J/g의 범위로 수선이 가장 낮았고, 다미가 다른 품종에 비해 높은 값을 보였다. 이는 국내산 가공용 감자 품종인 은선, 고운, 진선, 남선, 새봉의 호화엔탈피 값이 5.54-7.64 J/g였다는 Choi 등(2020)의 결과보다는 낮은 수치였다. 호화엔탈피 값이 높으면 전분 입자가 호화되는데 저항을 가지며 구조를 무정형으로 하는데 많은 에너지가 필요로 한다고 보고하였다(Kim 등, 1989). Choi 등(2020)의 발표자료에 따르면 호화 관련 온도와 아밀로펙틴 장쇄 사슬 비율이 높은 상관성을 보이면 감자 칩 및 감자튀김과 같은 가공 제품에의 이용성이 높다고 하였다. 또한, 아밀로펙틴이 높은 전분이 많은 결정성을 가지는 것으로 알려져 있어(Cheetham과 Tao, 1998) 본 시험 결과 아밀로스 함량이 높았던 수선이 낮은 호화엔탈피를 가지는 주요 원인이 된 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 감자를 산업소재로서의 이용가능성을 높이기 위한 기초자료를 확보하기 위해 국내에서 육성된 감자 24품종을 이용하여 식이섬유 함량을 비교 분석한 다음, 품종별로 전분을 추출하여 이화학적 특성을 관찰하였다. 감자 원료의 총 식이섬유 함량을 분석한 결과 아리랑1호 품종이 6.30%로 가장 높은 식이섬유 함량을 보였다. 감자 품종별로 전분을 추출한 다음 아밀로스 함량을 측정된 결과 36.76-55.75%로 수선 품종이 가장 높았고, 아밀로펙틴 가지사슬길이 분포가 DP13-24가 약 60% 이하로 가장 많은 비율을 보였다. 인 함량을 분석한 결과 45.90-84.23 mg/100 g의 범위로 아리랑1호 품종이 가장 높고, 은선이 가장 낮았다. 감자 전분에 함유된 저항전분 함량은 58.94-79.87% 범위로 아리랑2호가 가장 높은 함량을 보였다. 호화 점도 특성을 분석한 결과, 강하점도의 경우 587.45-1,129.72 RVU 범위로 금선이 가장 높았고, 치반 점도는 -864.31- -353.22 RVU 범위로 금선이 가장 낮았다. 감자 전분의 품종별 호화엔탈피 값을 분석한 결과, 5.54-7.64 J/g의 범위로 수선이 가장 낮았고, 다미가 다른 품종에 비해 높은 값을 보였다. 본 연구결과를 통해 국내산 감자전분의 산업소재로서 다양하게 이용하기 위한 기초자료로 이용될 수 있을 것으로 판단되며, 보다 많은 자료 확보를 위해 재배 및 저장 조건

등에 따른 전분 특성에 관한 연구가 지속적으로 진행되어야 한다고 생각된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 AGENDA 연구사업(과제번호: PJ01196302)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

- AOAC. Official methods of analysis. 16th ed. Association of Official Analysis Chemists, Washington DC, USA (1995)
- Cheetham NWH, Tao L. Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: an X-ray powder diffraction study. *Carbohydr. Polym.* 36: 277-284 (1998)
- Cho DH, Park HY, Lee SK, Park JY, Choi HS, Woo KS, Kim HJ, Sim EY, Won YJ, Lee DH, Oh SK. Differences in physicochemical and textural properties of germinated brown rice in various rice varieties. *Korean J. Crop Sci.* 62: 172-183 (2017)
- Choi HD, Lee HC, Kim SS, Kim YS, Lim HT, Ryu KH. Nutrient components and physicochemical properties of new domestic potato cultivars. *Korean J. Food Sci. Technol.* 40: 382-388 (2008)
- Choi I, Chun J, Choi HS, Park J, Kim NG, Lee SK, Park JH, Jeong KH, Nam JH, Cho K. Starch characteristics, sugars and thermal properties of processing potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars developed in Korea. *American J. Potato Res.* 97: 308-317 (2020)
- Chun IJ, Kim HS. Influence of starch characteristics on the pasting properties of potato flours prepared from yellow-fleshed potatoes. *Food Eng. Prog.* 18: 398-405 (2014)
- Chung HJ. Development and industrial application of low-calorie food ingredients derived from starches. *Food Sci. Ind.* 52: 358-374 (2019)
- Chung HJ, Lim ST. Relationship between starch digestibility and its structure. *Food Sci. Ind.* 47: 21-32 (2014)
- Collado LS, Mabesa RC, Corke H. Genetic variation in the physical properties of sweet potato starch. *J. Agric. Food Chem.* 47: 4195-4201 (1999)
- Englyst HN, Kingman SM, Cummings JH. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46: S33-S50 (1992)
- Gomand SV, Lamberts L, Visser RGF, Delcour JA. Physicochemical properties of potato and cassava starches and their mutants in relation to their structural properties. *Food Hydrocoll.* 24: 424-433 (2010)
- Han JS, Lee SM. Improvement of surimi seafood using modified food starches. *Food Sci. Ind.* 47: 33-38 (2014)
- Jang HL, Yoon KY. Biological activities and total phenolic content of ethanol extracts of white and flesh-colored *Solanum tuberosum* L. potatoes. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 1035-1040 (2012)
- Jin YX, Kim SM, Kim SN, Kim HR, Kim SC, Hwang J, Choi Y. Food composition of raw and boiled potatoes. *Korean J. Food Cook. Sci.* 32: 517-523 (2016)
- Juliano BO. Polysaccharide, proteins, and lipids of rice. pp. 59-120. In: *Rice chemistry and technology*. Juliano BO, Fairchild HD (ed). The American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN, USA (1985)
- Kahraman K, Koxsel H, Ng PKW. Optimisation of the reaction conditions for the production of cross-linked starch with high resistant starch content. *Food Chem.* 174: 173-179 (2015)
- Kaur A, Singh N, Ezekiel R, Guraya HS. Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. *Food Chem.* 101: 643-651 (2007)
- Kim KA, Kim SM, Jung LH. Comparison of physicochemical properties of several Korean potato starches. *Korean J. Soc. Food Sci.* 5: 53-62 (1989)
- Kim HR, Kim MJ, Yang YH, Lee KJ, Kim MR. Effect of grain size on the physicochemical & nutritional properties of beef porridge. *Korean J. Food Cul.* 25: 70-75 (2010)
- Kim HJ, Woo KS, Lee BW, Lee JY, Lee YY, Kim MY, Kim M, Lee B. Starch characteristics of foxtail millet and sorghum cultivars grown in Korea. *Korean J. Food Sci. Technol.* 52: 220-225 (2020)
- Kowittaya C, Lumdubwong N. Molecular weight, chain profile of rice amylopectin and starch pasting properties. *Carbohydr. Polym.* 108: 216-223 (2014)
- Kwon OY, Kim MY, Son CW, Liu XW, Kim HC, Yoon WK, Kim HM, Kim MR. Protein and amino acid composition of domestic potato cultivars. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 37: 117-123 (2008)
- Lee J, Choi M, Kang J, Chung Y, Jin YI, Kim M, Lee Y, Chang YH. Physicochemical, structural, pasting, and rheological properties of potato starch isolated from different cultivars. *Korean J. Food Sci. Technol.* 49: 360-368 (2017a)
- Lee YJ, Jeong JC, Yoon YH, Hong SY, Kim SJ, Jin YI, Nam JH, Kwon OK. Evaluation of quality characteristics and definition of utilization category in Korean potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. *Korean J. Crop Sci.* 57: 271-279 (2012)
- Lee S, Lee EJ, Chung HJ. Structural and physicochemical characterization of starch from Korean rice cultivars for special uses. *Korean J. Food Sci. Technol.* 49: 1-7 (2017b)
- Lim ST, Lee JH, Shin DH, Lim HS. Comparison of protein extraction solutions for rice starch isolation and effects of residual protein content on starch pasting properties. *Starch* 51: 120-125 (1999)
- Liu Q, Tarn R, Lynch D, Skjold NM. Physicochemical properties of dry matter and starch from potatoes grown in Canada. *Food Chem.* 105: 897-907 (2007)
- Margareta Leeman A, Karlsson ME, Eliasson AC, Björck, IME. Resistant starch formation in temperature treated potato starches varying in amylose/amylopectin ratio. *Carbohydr. Polym.* 65: 306-313 (2006)
- McCleary BV, McNally BV, Rossiter P. Measurement of resistant starch by enzymatic digestion in starch and selected plant materials: collaborative study. *J. AOAC Int.* 85: 1103-1111 (2002)
- McIntosh GH. Experimental studies of dietary fiber and colon cancer-an overview. pp. 165-178. In: *Dietary fibre: Bio-active carbohydrates for food and feed*. Van Der Kamp JW, Asp NG, Jones JM, Schaafsma G (ed). Wageningen Academic Press, Wageningen, Netherlands (2004)
- Noda T, Tsuda S, Mori M, Takigawa S, Endo CM, Hashimoto N, Yamauchi H. Properties of starches from potato varieties grown in Hokkaido. *J. Appl. Glycosci.* 51: 241-246 (2004a)
- Noda T, Tsuda S, Mori M, Takigawa S, Matsuura-Endo, C, Saito K, Mangalika WHA, Hanaoka A, Suzuki Y, Yamauchi H. The effect of harvest dates on the starch properties of various potato cultivars. *Food Chem.* 86: 119-125 (2004b)
- Oh HI, Ly SY. A Study on nutritional characteristics of common Korean dietary fiber rich foo. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 27: 296-304 (1998)
- Pang Z, Cong J, Zhou G, de Lima Morais DA, Chang L, Barrette M, Gauthier C, Jacques PÉ, Li S, Xia J. *MetaboAnalyst 5.0*: narrowing the gap between raw spectra and functional insights. *Nucleic Acid Res.* 49: 388-396 (2021)
- Sajilata MG, Singhal RS, Kulkarni PR. Resistant starch- A review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 5: 1-17 (2006)
- Singh R, Kaur S, Aggarwal P. Exploration of potato starches from non-commercial cultivars in ready to cook instant non cereal, non glutinous pudding mix. *LWT-Food Sci. Technol.* 150: 111966 (2021)
- Swinkels JJM. Composition and properties of commercial native starches. *Starch/Strke* 37: 1-5 (1985)
- Vasanthan T, Bergthaller W, Driedger D, Yeung J, Sporns P. Starch from Alberta potatoes: wet-isolation and some physicochemical properties. *Food Res. Int.* 32: 355-365 (1999)
- Woo KS, Lee J, Lee BW, Lee YY, Lee B, Kim HJ. 2019. Starch characteristics of mung bean cultivars grown in Korea. *Korean J. Food Cook Sci.* 35: 125-131 (2019)
- You SY, Lee EJ, Chung HJ. Study of molecular and crystalline structure and physicochemical properties of rice starch with varying amylose content. *Korean J. Food Sci. Technol.* 46: 682-688 (2014)
- Zhu F, Hao C. Molecular structure of Maori potato starch. *Food Hydrocoll.* 80: 206-211 (2018)