

타락죽의 효소저항전분 함량과 *in vitro* 전분 및 단백질 분해율에 대한 가열조건의 영향

이귀주* · 임승택¹ · 윤현성¹

고려대학교 가정교육과, ¹고려대학교 생명공학원

Effect of the Cooking Condition on Enzyme-resistant Starch Content and *in vitro* Starch and Protein Digestibility of *Tarakjuk* (Milk-rice Porridge)

Gui-Chu Lee*, Seung-Taik Lim¹, and Hyun-Sung Yoon¹

Department of Home Economics Education, Korea University

¹Graduate School of Biotechnology, Korea University

Cooking condition of *Tarakjuk* (milk-rice porridge) was established based on gelatinization temperature using differential scanning calorimetry (DSC) of roasted Ipum rice flour, which has highest enzyme-resistant starch (RS) content. Effect of cooking temperature and time on DSC characteristics, crystallinity with X ray diffractogram, RS content, *in vitro* starch digestibility (IVSD), amino acid composition, and *in vitro* protein digestibility (IVPD) of *Tarakjuk* were determined. *Tarakjuk* was cooked at 50, 56.5, 64, and 69°C for various durations. Rice flour ingredient used was Ipum, previously roasted at 185°C for 25 min. *Tarakjuk* cooked at 50 and 56.5°C showed two thermal transitions between 63.7-125.2°C as determined by DSC, corresponding to endotherms of starch gelatinization (63.7-73.8°C) and melting of amylose-lipid complex (AM-lipid complex, 97.7-125.2°C), whereas that cooked at 64 and 69°C showed only AM-lipid complex melting transition between 96.9-127.6°C. As cooking temperature increased, RS content of *Tarakjuk* decreased, whereas IVSD increased. Total amino acid content was between 11,558-15,601 mg/100 g, depending on cooking condition used. Compared with conventionally made control, contents of essential amino acids, such as lysine and tryptophane, were higher at 50 and 56.5°C, and IVPD showed higher increase. Results reveal degree of gelatinization in *Tarakjuk* with high RS content as well as low IVSD and high IVPD, which are important from physiological and nutritional point of view, can be produced by controlling cooking condition.

Key words: DSC, enzyme-resistant starch, *in vitro* starch digestibility, *in vitro* protein digestibility, *Tarakjuk* (milk-rice porridge)

서 론

한국의 전통 궁중음식인 타락죽(駝酪粥)은 조리서에 따라서 그 제조방법이 조금씩 차이를 보이고 있는데, 멥쌀가루를 볶아서 우유를 넣어 가열하는 한 전통적인 제조방법에서는(1) 멥쌀가루를 볶는 온도와 시간 그리고 우유와 혼합하여 가열하는 온도와 시간은 완성된 타락죽의 품질특성에 중요한 영향을 미치는 요인이 되고 있다. 타락죽의 주요 재료인 쌀은 최근 1인당 연간 소비량이 감소하는 추세에 있으나(2), 아직도 우리의 주식으로서 전분과 단백질의 주요한 공급원이다. 그러나 쌀의 가공은 이들 전분 및 단백질의 영양가와 생체이용율에 영향을 주

는 것으로 알려지고 있다(3-5).

전분은 소장에서 완전히 소화되어 흡수되는 유용한 탄수화물로 생각되어져 왔으나, 소화효소에 분해되지 않고 소장을 거쳐 대장에서 장내 미생물군에 의해 발효되는 일련의 전분분획이 존재한다는 것이 알려져 왔으며, 이를 효소저항전분(enzyme-resistant starch, RS)이라 부른다(6). RS는 물리적으로 포획되어 효소의 접근이 어려운 전분 분획(RS₁), 부적절한 조리로 인하여 소화되지 않아서 효소작용에 필요한 표면의 미세기공이 부재하는 전분입자(RS₂), 그리고 노화된 전분(RS₃)으로 존재하며, 각각의 비율이 식품에 따라 다른데, 보통 가공식품에서는 노화된 전분이 RS의 주요 공급원을 구성하고 있는 것으로 알려지고 있다(7). 가공 시 RS의 형성은 식품의 성분조성, 가공방법, amylose 함량 등에 따라 다르게 나타나는 것으로 보고되고 있다(8). 기술적으로 RS는 식이섬유의 한 성분을 이루고 있으며 대장에서 발효되어 butyrate와 같은 단쇄지방산을 생성하며 이들 대사산물은 장의 pH를 감소시킴으로써 식이섬유와 같은 생

*Corresponding author: Gui-Chu Lee, Home Economics Education, Korea University, Ahnam-dong, Sungbuk-gu, Seoul 136-701, Korea
Tel: 82-2-3290-2323
Fax: 82-2-927-7934
E-mail: gcl6@korea.ac.kr

리활성을 나타내는 것으로 알려지고 있다. 따라서 RS가 높은 식품은 대부분의 건강한 성인에게 이로운 것으로 생각되어지고 있으며, RS 형성은 섬유질이 풍부한 건강기능성 식품을 만드는 새로운 도구가 되고 있다. RS의 또 다른 영양적인 중요성은 전분분해속도 및 소장에서의 흡수속도 나아가 낮은 당지수(glycemic index)와 관련되고 있는 것이다(9).

일반적인 호화 및 부분호화는 전분의 호소에 의한 가수분해를 촉진시키나, 지방산 및 지질의 존재 하에서 열처리하는 호소에 의한 전분의 분해율을 감소시키는 것으로 보고되고 있다(10). 보리전분은 실온 부근에서 지질과 현저한 상호작용을 일으키지 않으나 호화온도 부근에서의 가열처리는 호소저항성인 amylose-lipid 복합체(AM-lipid 복합체)의 형성을 촉진시키며 보리전분의 소화흡수율을 감소시킨다고 한다(11). 한편 열처리에 의해 단백질 분해율은 증가하는 것으로 보고되었는데 이는 변성으로 인해서 단백질 구조가 열려서 단백질에 대한 호소의 접근성이 증가하고 또한 호소 저해제의 구조적 붕괴를 초래하기 때문이다(12).

본 연구에서는 먼저 RS 함량이 가장 높은 볶음조건에서 볶은 일품 멥쌀가루의 호화온도를 DSC로 측정하여 타락죽의 가열조건을 설정하고자 한다. 그리고 설정된 가열조건을 사용하여 타락죽의 DSC 특성과 X선회절도에 의한 결정성, RS 함량과 *in vitro* 전분분해를 그리고 아미노산 조성과 *in vitro* 단백질 분해율에 대한 가열온도와 시간의 영향을 측정함으로써 타락죽을 제품화하기 위한 기초를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용한 멥쌀은 2002년 수확된 일품벼(19% amylose)로서 도정한 멥쌀은 농촌진흥청 작물시험장으로부터 공급 받았으며, 그밖에 우유(서울우유)와 소금(정제염, 해표)은 시장에서 구입하였다. porcine α -amylase, maltose 및 3,5-dinitrosalicylic acid(DNS), porcine pancreatic trypsin(Type IX-S, 15,200 units/mg protein), bovine pancreatic chymotrypsin(Type II, 51 units/mg powder), porcine intestinal peptidase(102 units/g powder), pepsin(871 units/mg protein)은 Sigma Chemical Co.(St. Louis, MO, USA)로부터, amyloglucosidase(AMG E), glucose oxidase-peroxidase kit(GOD-POD kit)은 Megazyme(Megazyme Int. Ireland Ltd., Ireland)로부터 구입하였다.

멥쌀가루의 전처리 및 볶음

일품 멥쌀 1kg을 수세, 침지하여 체에 받쳐 물기를 제거한 후 방앗간에서 물과 소금을 넣지 않고 뿔었다. 습식제분한 멥쌀가루는 전보(13)에서와 같이 네모난 팬에 고르게 퍼서 열풍건조기(조선과학기계제작소, 한국)에서 40°C에서 5시간 동안 건조, 체(355 μ m, No. 45)에 내린 쌀가루를 대조구로 하였다. 건조한 멥쌀가루는 원형의 팬에 얇게 퍼서 열풍건조기에서 145, 165 그리고 185°C에서 각각 25와 40분간 볶은 다음, 실온에 방치, 냉각하여 체(180-355 μ m, No. 80-45)에 내려 비닐백에 넣어 실험에 이용되기 전까지 냉동(-20°C) 보관하였다.

타락죽 가열조건의 설정

타락죽의 가열조건은 Table 1로부터 RS 함량이 가장 높게 나타난 185°C에서 25분간 볶은 일품 멥쌀가루(건물당 조단백질 7.04, 조지방 0.09, 조회분 0.20%)의 호화특성을 DSC로 측정

Table 1. Enzyme-resistant starch content of roasted rice flour

Roasting temp. (°C)	Roasting time (min)	Enzyme-resistant starch (% on dry basis)
Control ¹⁾		16.20 \pm 0.83 ^{bc,2)}
145	25	17.47 \pm 1.44 ^{ba}
	40	14.52 \pm 1.71 ^c
165	25	18.34 \pm 0.36 ^a
	40	16.31 \pm 1.71 ^{bc}
185	25	18.93 \pm 1.15 ^a
	40	15.91 \pm 1.42 ^{bc}

¹⁾Control rice flour was dried at 40°C for 5 hours in a drying oven.
²⁾Values are means (standard deviation) of three replicates. Means with different letters within the column are significantly different at $p < 0.05$.

결과(Table 2)로부터 호화최대온도(Tp)인 56.5°C를 중심으로, 50, 56.5, 64 그리고 69°C에서 가열하였으며, 각 가열온도에서 가열 시간은 예비실험을 통하여 타락죽이 형성되는 시간을 기반으로 하여 설정하였다(Table 3).

타락죽의 제조

타락죽은 185°C에서 25분 볶은 일품 멥쌀가루 15g을 400 mL 비커에 넣고 우유 150g을 가하여 잘 저어서 분산시킨 다음 5분간 실온에 방치하고, 멥쌀가루-우유 혼합물이 담긴 비커를 전보(13)에서와 같은 장치를 이용하여 고정된 후 타락죽을 저어주면서 타락죽의 내부온도가 각각 Table 1과 같이 되도록 water bath 온도를 조절하여 가열하였다. 대조구 타락죽은 100°C로 조절된 hot plate(Schott Laboratory Stirrer, Schott-Gerate GmbH, Germany) 위에서 10분간 끓여서 제조하였다. 완료 5분 전에 0.5g의 소금을 넣고 가열한 후 타락죽을 완성, 실온에서 냉각 즉시 동결건조(Freeze dryer, Ilsin, Korea) 하여 체(180-355 μ m)에 친 후 다음 실험에 사용하였다.

DSC 특성

타락죽의 호화특성은 시차주사열량기(DSC, Seiko Instrument, DSC 6100, Chiba, Japan)를 사용하여 전보(13)에서와 같은 조건에서 측정하였으며, 이로부터 얻은 DSC thermogram 으로부터 호화개시온도(To), 호화최대온도(Tp), 호화종결온도(Tc) 및 엔탈피(ΔH)를 측정하였다.

X선회절도

타락죽의 X선 회절양상은 동결건조(Freeze dryer, Ilsin, Korea)한 타락죽을 분쇄하여 체(180-355 μ m)에 친 후 X-ray diffractometer(X'pert-APD, Philips, USA)를 사용하여 전보(13)에서와 같은 조건에서 회절각도(2 θ) 5-60° 범위에서 회절시켜 분석하였다.

호소저항전분 (RS) 함량의 측정

멥쌀가루와 타락죽의 RS 함량은 Goni 등(14)의 방법을 이용하여 측정하였다. 시료 100 mg을 50 mL 원심분리용 시험관에 넣고 0.02 M KCl-HCl 완충용액(pH 1.5) 10 mL를 넣고 vortex를 사용하여 혼합한 후, 단백질과 전분을 제거하기 위하여 먼저 0.2 mL의 펩신용액(1 g pepsin/10 mL KCl-HCl 완충용액)을 넣고 진탕 water bath에서 40°C에서 60분간 진탕배양 하였다. 그리고 진탕배양한 시료를 상온으로 식힌 후, 0.1 M Tris-maleate 완충용액(pH 6.9) 9 mL와 α -amylase 용액(40 mg α -amylase/mL of Tris-maleate 완충용액) 1 mL를 넣고 vortex로 혼합한 후, 진

Table 2. The enzyme-resistant starch content and differential scanning calorimetry characteristics of *Tarakjuk* with different cooking condition

Cooking temp. (°C)	Cooking time (min)	Enzyme-resistant starch content (%)	Amylopectin melting transition				Amylose-lipid complex melting transition			
			To ¹⁾	Tp ¹⁾	Tc ¹⁾	ΔH ¹⁾	To ¹⁾	Tp ¹⁾	Tc ¹⁾	ΔH ¹⁾
Control ²⁾	10	5.42 ± 0.49 ^{bc,3)}	---	---	---	---	100.1 ± 2.1	111.9 ± 0.8	124.7 ± 3.4	14.22 ± 1.12
50	240	10.16 ± 2.14 ^a	63.7 ± 0.2	66.4 ± 0.2	72.3 ± 3.4	3.41 ± 1.04	97.7 ± 3.3	108.4 ± 2.4	122.3 ± 4.9	9.43 ± 0.67
	300	9.42 ± 2.14 ^a	64.2 ± 0.1	66.8 ± 0.2	69.8 ± 1.1	2.23 ± 0.76	100.7 ± 0.5	110.8 ± 1.3	124.7 ± 1.2	8.42 ± 0.38
56.5	120	6.75 ± 0.43 ^b	67.6 ± 0.2	69.9 ± 0.2	73.8 ± 2.7	1.01 ± 0.55	99.5 ± 1.3	109.4 ± 0.8	125.2 ± 2.9	10.80 ± 1.82
	240	5.95 ± 0.19 ^{bc}	68.4 ± 1.2	70.9 ± 0.4	74.2 ± 1.8	0.85 ± 0.20	99.3 ± 2.0	106.9 ± 3.8	118.9 ± 2.9	5.81 ± 2.57
64	60	4.68 ± 0.71 ^{bc}	---	---	---	---	99.8 ± 0.8	107.4 ± 1.5	117.5 ± 1.7	5.36 ± 0.58
	120	5.15 ± 0.43 ^{bc}	---	---	---	---	100.3 ± 2.1	108.8 ± 1.6	121.8 ± 2.5	9.49 ± 1.02
69	30	3.43 ± 0.92 ^c	---	---	---	---	100.6 ± 2.1	111.4 ± 0.8	127.6 ± 3.4	10.34 ± 1.12
	60	4.22 ± 1.03 ^{bc}	---	---	---	---	96.9 ± 3.9	105.4 ± 3.1	122.5 ± 3.0	12.14 ± 3.21
Rice flour ⁵⁾			49.57 ± 0.2	56.50 ± 0.3	65.73 ± 0.5	11.70 ± 0.12	---	---	---	---

¹⁾To, Tp and Tc are transition temperatures (T, °C) for onset, peak and completion temperature, respectively. ΔH are transition enthalpy (J/g freeze-dried powder of *Tarakjuk*). Values are means (standard deviation) of 3 replicates.

²⁾Control *Tarakjuk* is conventionally prepared by boiling the roasted rice flour with milk on a hot plate for 10 min.

³⁾Values are means (standard deviation) of 3 replicates on dry matter basis. Means with different letters within the same column are significantly different at *p*<0.05.

⁴⁾Not detected.

⁵⁾Rice flour was roasted at 185°C for 25 min in a drying oven and DSC characteristics of this roasted rice flour was from reference (13).

Table 3. Cooking condition of *Tarakjuk*

Cooking temp. (°C)	Cooking time (min)
Control	10
50	240, 300
56.5	120, 240
64	60, 120
69	30, 60

탕 water bath에서 37°C에서 16시간 진탕배양 하였다. 진탕배양한 시료를 원심분리(15 min, 3000 g)한 후 상등액을 버리고, 잔사에 증류수 3 mL를 넣어 시료를 적신 후, 4 M KOH 용액 3 mL를 넣어 vortex로 혼합하고 상온에서 30분간 진탕배양 하여 분산시켰다. 2 M HCl 용액 5.5 mL와 0.4 M Na-acetate 완충 용액 3 mL를 넣은 후, amyloglucosidase 0.1 mL를 넣고 vortex로 혼합하고 60°C에서 45분간 진탕배양 하였다. 진탕배양 후 원심분리하고 유리된 glucose는 상등액 0.1 mL에 GOD-POD kit을 넣고 전체 용량이 3.2 mL가 되게 하여 water bath에서 37°C에서 30분간 배양한 후, spectrophotometer(UV/VIS Spectrophotometer, Shimazu Model, UV-2401 (PC)S, Tokyo, Japan)를 사용하여 500 nm에서 흡광도를 측정하였고, glucose 함량에 0.9를 곱하여 시료 내 RS 함량을 구하였다.

***In vitro* 전분 분해율 (IVSD)**

타락죽의 IVSD는 Singh 등(15)의 방법으로 측정하였다. porcine α-amylase를 이용하여 진탕배양기(Model, HB-201S, 한일 과학)에서 37°C에서 2시간 전분을 분해 한 후, 유리된 환원당을 3, 5-dinitrosalicylic acid(DNS) reagent와 반응시킨 후 540 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 표준물질로 maltose를 사용하여 건물당 mg maltose/g으로 나타내었다.

아미노산조성 분석

동결 건조한 타락죽 0.52-0.86 mg를 Pico-Tag workstation에서

6 N HCl과 함께 110°C에서 24시간 가수분해한 다음 PITC (phenylisothiocyanate)를 사용하여 유도체를 만들고, 시료를 완전히 건조한 후 HPLC(Hewlett Packard 1100 Series)를 사용하여 전보(13)에서와 같은 분석조건에서 분석하였다.

***In vitro* 단백질 분해율 (IVPD)**

타락죽의 IVPD는 Hsu 등(16)의 방법에 의해 측정하였다. 50 mL의 현탁액(시료 6.25 mg/mL)을 37°C에서 저어주면서 0.1 N HCl 또는 NaOH 용액을 넣어서 pH 8.0으로 맞추었다. 1.6 mg trypsin, 3.1 mg chymotrypsin, 1.3 mg peptidase/mL로 구성된 혼합효소액은 ice bath에 담가 두고 시료에서와 같은 방식으로 pH 8.0으로 맞추었다. 시료 현탁액을 37°C에서 저어 주는 동안 5 mL의 혼합효소액을 넣어서 단백질을 37°C에서 10분간 저어주면서 분해시킨 후 분해액의 pH를 측정하여 IVPD(%)를 계산하였다.

결과분석

모든 분석은 3번 반복실험 하였으며 실험결과와 통계적 분석은 SAS 통계 프로그램(17)을 이용하여 평균과 표준편차를 구하였고, ANOVA와 Duncan's multiple range test로 시료간의 유의적인 차이를 검증하였다.

결과 및 고찰

타락죽 가열조건의 설정

타락죽의 가열조건은 RS 함량이 가장 높은 볶은 일품 멥쌀 가루를 DSC로 측정한 호화온도에 기반하여 설정하였다. 이를 위하여 먼저 볶음조건을 달리한 일품 멥쌀가루의 RS 함량을 측정하였는데, Table 1에 나타난 바와 같이 대조구의 RS 함량은 건물당 16.2%이었으며 볶음시간이 25분일 때에는 볶음온도가 증가함에 따라서 RS 함량은 증가하여 185°C에서는 18.93%로서 가장 높았으나 145 및 165°C에서 볶은 멥쌀가루의 RS 함량과는 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 볶음시간이 40분일

때에는 각 볶음온도에서의 RS 함량은 대조구보다 감소하였으나 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이로부터 본 연구에서는 가열조건을 달리한 타락죽을 제조하기 위하여 멥쌀가루는 RS 함량이 가장 높게 나타난 185°C에서 25분 볶은 일품 멥쌀가루를 사용하였다. 한편 지방산 및 지질의 존재 하에서 호화온도 부근에서의 가열처리는 호소 저항성인 AM-lipid 복합체 형성을 촉진시키며 보리전분의 분해율을 감소시킨다고 하였는데(11), 따라서 가열조건은 이 볶음조건에서 볶은 멥쌀가루를 DSC로 측정된 호화최대온도(Table 2)를 중심으로 50, 56.5, 64 그리고 69에서 각각 30과 60분, 60과 120분, 120과 240분, 240과 300분으로 설정하였고(Table 3) 재래식으로 10분간 끓여서 만든 타락죽을 대조구로 하였다.

RS 형성은 식품가공의 한 결과인 것처럼 보여 지고 있으며, 가공과정 중 일어나는 전분의 호화 및 뒤 이온 노화의 정도가 RS 형성에 한 중요한 요인이 되고 있다(8). RS 형성에 대한 가공방법의 영향을 보면 Parchure 등(4)은 쌀 및 아마란스 자연전분의 RS 함량은 각각 6.29와 5.58%이었으나, 가공 시 건물당으로 표시할 때 pressure cooking이 가장 높은 증가를 나타내었으며 그 다음은 boiling이라고 한 반면, roasting, extrusion cooking 및 drum drying과 같은 가공처리는 RS 함량을 감소시켰다고 하였다. 볶은 전분에서 RS 함량의 감소는 볶음과정 중 dextrinization 과정이 시작되는 것에 기인한다고 한다.

일반적으로 쌀의 RS 함량은 낮은 것으로 보고되었으나(4-5), 본 연구에서는 대조구의 RS 함량이 16.2%로 높게 나타났는데, 이것은 대조구가 습식제분한 멥쌀가루를 40°C에서 5시간 오븐 건조시킨 멥쌀가루로서 수분의 존재 하에서 열처리를 받았기 때문인 것으로 생각된다. Ahmed 등(18)은 전분의 건조방법에 따른 결정성의 변화에 대한 연구에서 20°C에서의 진공건조와 40°C에서의 오븐건조에 의해 전분분자 내 규칙성이 증가하였다고 하였는데, 이러한 규칙성의 증가는 annealing 과정에 기인한다고 하였다. 한편 Osorio-Diaz 등(19)도 콩가루를 55°C에서 24시간 오븐건조하면 RS 함량을 증가시켰다고 하였다. 비교적 높은 수분이 존재하는 상태에서 호화온도 이하의 온도에서 가열하는 annealing은 일부 결정형영역의 부분적인 용융과 수소결합의 증가를 초래하면서 무정형영역 내 전분의 재배열을 허용하면서 전분입자 내 구조적 변화를 일으킨다(20). 따라서 본 연구에서 대조구 멥쌀가루의 높은 RS 함량은 40°C에서 5시간 오븐건조 과정 중 α -amylase에 저항성인 쌀 전분분자의 규칙성의 증가로 인한 것으로 생각되어진다. 또한 전분질 식품의 열처리는 전분의 화학적 변형 및 분해를 초래하는데, 적은 수분함량 하에서는 전분의 α -1,4 결합이 끊어져 과당류 및 α -1,6 결합을 포함한 고분자 화합물을 생성한다. 이들은 전분 및 다른 다당류 내 수산기(OH)와 반응하여 transglycosidation을 통하여 새로운 가지구조를 형성하는데, 그러한 결합은 전분분해효소에 의해 분해되지 않는다(21). 따라서 가공식품의 RS 함량을 고려할 때에는 이러한 화학적 변형전분이 가해질 우려가 있다고 한다. 또한 본 연구에서 사용한 Goni 등(14)의 방법에 의해서 측정된 RS 함량은 RS₁과 RS₂과 RS₃를 포함하는 전체 RS 함량을 측정하게 되어, 노화된 RS₃ 전분 분획 측정(22)에 의한 RS 함량보다는 높은 것으로 생각되어진다.

타락죽의 DSC 특성과 X선회절도

가열조건을 달리한 타락죽의 DSC 특성을 측정한 결과는 Table 2와 같다. 50와 56.5°C에서 가열한 타락죽은 63.7-73.8°C와 97.7-125.2°C의 온도범위에서 두개의 열전이를 나타내었

며, 가열온도 64와 69°C에서는 96.9-127.6°C의 온도범위에서 한 개의 열전이를 나타내었다. amylose-lipid 복합체(AM-lipid 복합체) 용융은 보통 85-135°C의 고온범위에서 일어나는 것으로 보고되고 있으므로(23), 97.7-125.2°C 혹은 96.9-127.6°C 범위에서의 열전이는 아마도 멥쌀전분의 아밀로오스와 우유의 지질 성분 사이에 형성된 AM-lipid 복합체 결정의 용융에 기인하는 것으로 생각되며, 63.7-73.8°C에서의 열전이는 아밀로펙틴 용융인 것으로 생각되어진다. 한편 가열온도가 50와 56.5°C일 때 나타난 호화상전이를 위한 To, Tp 그리고 Tc는 가열온도와 시간이 증가함에 따라서 모두 증가하는 경향을 나타내어, Tp는 66.4에서 70.9°C로 증가하였고, 반면 호화엔탈피는 3.41에서 0.85 J/g으로 감소하는 것으로 나타났다.

Lauro 등(10)은 보리전분 입자에 대한 예열처리의 영향을 DSC로 측정한 결과, 자연 보리전분의 Tp가 63.9°C인 것에 비해서 7% 보리전분 현탁액을 50°C로 예열처리 시에는 Tp가 66.5°C로 증가하였으나 호화엔탈피는 자연전분과 동일하게 나타난 결과로부터 annealing이 일어난 것으로 생각된다고 하였다. 또한 55°C에서는 Tp가 69.9°C로 더욱 증가하였으나 호화엔탈피는 감소하였는데 이는 전분이 부분호화 되었음을 나타낸다고 하였고, 60°C에서는 거의 완전히 호화되었으며 Tp는 76.0°C이라고 하였다. 또한 Lauro 등(11)은 보리전분 현탁액의 부분호화 시 lysophospholipid(LPL)이 첨가되면 호화엔탈피는 LPL을 첨가하지 않을 때보다 유의적으로 낮지 않은 엔탈피 값으로 감소하였다고 하였다. 따라서 본 연구에서 타락죽을 50°C에서 가열 시 Tp는 증가하고 호화엔탈피는 감소한 것으로부터 타락죽 내 전분은 부분 호화된 반면, 56.5°C에서 가열 시에는 낮은 호화엔탈피로부터 전분이 거의 완전히 호화 되었다고 생각되어진다.

한편 타락죽의 가열과정 중 우유 지방과 amylose 사이에 형성된 AM-lipid 복합체 열전이를 위한 To, Tp 그리고 Tc는 재래식으로 끓여 만든 대조구가 각각 100.1, 111.9 그리고 124.7°C이었으며, 용융엔탈피는 14.22 J/g이었다. 그러나 가열조건에 따라서 호화특성은 뚜렷한 변화를 나타내지는 않았으며, 대조구 보다는 낮은 것으로 나타나 대조구에서 AM-lipid 복합체가 가장 많이 형성된 것으로 생각된다. 지질은 amylose의 나선형 공간에서 지질의 탄화수소 부분과 포접화합물을 형성하는데 0.54%의 지질은 이론적으로 약 3.24%의 amylose와 결합할 수 있다(24). 한편 본 연구에서 185°C에서 25분 볶은 멥쌀가루는 지질 함량이 0.09%로서 너무 낮아서 DSC 측정에 의해 감지될 수 있는 AM-lipid 복합체 형성을 방해한 것으로 생각 된다(Table 2). 또한 Lauro 등(11)은 보리전분 현탁액을 54°C에서 예열처리 시 LPL을 첨가하면 전분의 지질 함량은 0.93에서 3.13%, lipid-complexed amylose(LAM) 함량은 7.4에서 22.1%로 각각 증가하였으며, AM-lipid 복합체의 용융엔탈피는 1.1에서 4.5 J/g으로 증가하였다고 하였다. 그러나 실온에서 LPL을 첨가하면 지질과 LAM 함량은 유의적으로 증가하지 않았다고 하였다.

가열조건을 달리한 타락죽 내 전분의 X선회절도는 Fig. 1과 같다. 이 등(13)은 볶음조건을 달리한 일품 멥쌀가루의 X선회절도에 의한 결정성의 변화에 대한 연구에서, 185°C에서 25분 볶은 멥쌀가루는 2θ 값이 16-19°에서 한 개의 피크를 나타내는 B형 패턴을 나타내었으며, 또한 회절각도 15.46와 23.02°에서도 피크를 나타내었다고 하였다. 그러나 본 연구에서 185°C에서 25분 볶은 멥쌀가루로 만든 타락죽 내 전분은 가열온도 64와 69°C에서는 전분의 결정성이 상실되어 피크가 broad해지는 패턴을 나타낸 반면, 50와 56.5°C에서는 각각 4와 2시간 가열 시 일부 회절각도에서 피크가 존존하는 것으로 나타났다.

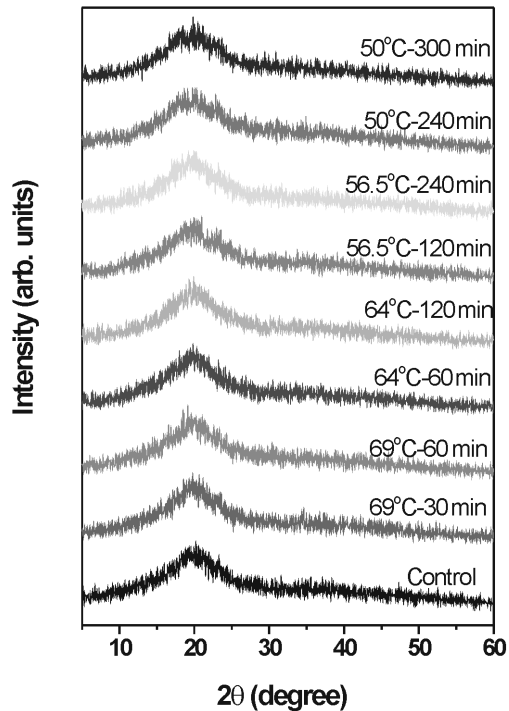


Fig. 1. X-ray diffractogram of *Tarakjuk* made with rice flour roasted at 185°C for 25 min at different cooking condition.

타락죽의 RS 함량과 *in vitro* 전분분해율 (IVSD)

가열조건을 달리한 타락죽의 RS 함량을 측정된 결과는 Table 2와 같다. 50과 56.5°C에서 가열한 타락죽은 가열시간에 따라서 각각 10.16과 9.42% 그리고 6.75와 5.95%를 나타내었으며, 이는 타락죽을 재래식으로 10분간 끓여서 제조한 대조구의 RS 함량인 5.42%보다 높았다. 반면, 64와 69°C의 가열온도에서는 가열시간에 따라서 각각 4.68와 5.15% 그리고 3.43와 4.22%로 대조구의 RS 함량보다 낮았다. 이로부터 타락죽의 RS 함량은 가열온도가 50 < 56.5 < 대조구 < 64 < 69°C의 순서로 감소하는 경향을 나타내어 가열온도에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다.

전분의 노화과정을 포함하는 어떤 식품가공 기술은 RS 형성을 초래하는 것으로 알려지고 있는데, Mangala 등(25)은 쌀의 RS 함량은 매우 낮았으나 냉각을 수반하는 가열에 의해 증가될 수 있다고 하였다. 이로부터 쌀을 parboiling, popping, roller drying, extrusion cooking, autoclaving 하였을 때 RS 형성은 autoclaving 시 가장 현저하였으며, 반복된 가열 및 냉각 시 RS 함량은 5배 증가하여 RS 형성이 식품가공의 한 결과인 것으로 보여 진다고 하였다. Tova 등(26)은 자연 상태의 black, red, lima bean의 RS 함량은 각각 2.2, 1.7, 2.0%이었으나 이들을 수증기 가열하면 18.9, 21.2, 30.7%로 증가하였으며, 따라서 수증기 가열이 콩과류에서 RS를 생성하는 효과적인 방법이라고 하였다. 또한 90분 이상 장기간 수증기 가열 뿐 아니라 단기간의 dry pressure에 의한 가열은 콩의 total starch(TS) 함량을 2-3% 감소시켰는데, 이것은 건열 과정 중에 저수분에서의 가열과 같은 조건에서 일어나는 transglycosidation 반응(21)이 일어난 결과이며, 장기간 수증기 가열 과정 중 TS 함량의 감소는 transglycosidation 변화가 장기 습열가열에 의해서도 일어남을 제시하고 있다고 하였다.

한편 autoclaving 시 형성된 쌀의 RS는 ¹³C NMR과 GC-MS

분석에 의하면 amylose로부터 유래한 선상의(1→4) α-D-glucan인 것으로 나타났으며(27), RS 분획 내 amylose 집합체의 존재는 DSC 측정에 의해 155°C 부근에서의 열전이에 의해 나타나고 있다(23). 본 연구에서는 순차적인 효소적 분해에 의해 RS 함량을 측정된 결과 가열조건을 달리한 타락죽에서 RS가 존재하는 것으로 나타났으나, 타락죽 내 RS의 농도는 본 연구에서 사용한 DSC 측정에 의해서 열전이가 일어나기에는 너무 낮은 것으로 생각된다. 한편 Holm 등(28)은 AM-lipid 복합체가 *in vitro*에서 α-amylase에 의해 분해가 덜 되었으나 다량을 가하면 3시간 후에 완전히 가수분해 되었으므로 RS는 AM-lipid 복합체 형성으로 기인한 것일 수 없다고 하였다. 또한 Szczodrak 등(29)은 AM-lipid 복합체의 존재는 전분 노화 시 amylose 회합에 영향을 주어 RS 형성과 경쟁적인 기구가 존재한다고 하였는데, 본 연구에서는 RS 형성과 AM-lipid 복합체 형성 사이에 경쟁적인 상호관계를 나타내지 않았다.

또한 Czuchajowska 등(30)은 RS 내 amylose 분획의 결정성은 자연전분에 존재하는 결정구조보다 결정성이 낮아서, X선 회절도에 의하면 작고 혹은 보다 완전하지 않은 결정성인 빈약한 B형 패턴을 나타내었는데 이로부터 RS가 결정성 영역 및 결정성이 낮은 영역을 포함하고 있음을 나타내고 있으며, 이들의 비율은 전분질시료의 열처리에 따라 다르다고 하였다. 한편 본 연구에서는 가열온도 50와 56.5°C에서 각각 4와 2시간 가열 시 일부 회절각도에서 피크가 잔존하는 것으로 나타나 이 가열조건에서 가열한 타락죽의 RS 함량과 관계가 있는 것으로 생각된다.

한편 가열조건을 달리한 타락죽을 α-amylase를 사용하여 *in vitro* 전분분해율(IVSD)을 측정된 결과는 Table 4와 같다. 50°C에서 4 및 5시간 가열 시 건조분말 타락죽의 IVSD는 각각 104.36과 103.99 mg maltose/g이었고, 56.5°C에서 2 및 4시간 가열 시에는 각각 124.16와 120.16 mg maltose/g을 나타내었는데, 모두 대조구의 IVSD인 142.7 mg maltose/g보다 낮았다. 반면, 69°C에서 30과 60분 가열 시 타락죽의 IVSD는 각각 188.11과 151.79 mg maltose/g이었고, 64°C에서 1과 2시간 가열 시에는 각각 168과 151.79 mg maltose/g을 나타내었으며 모두 대조구보다 높았다. 이로부터 타락죽의 IVSD는 50 < 56.5 < 대조구 < 64 < 69°C의 순서로 증가하였고, 각 가열온도에서는 가열시간이 증가함에 따라서 감소하였으나 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났다.

전분분해율은 조리 시 소화정도, amylose/amylopectin 비율, 전분입자의 크기, 전분과 단백질의 상호작용, amylose/지질 복합체 형성, 그리고 RS 함량 비율 등에 의존한다(31). Lauro 등(10)은 보리전분의 DSC 측정에 의한 소화정도가 IVSD에 미치는 영향에 대한 연구에서 부분호화가 일어난 것으로 생각되는 보리전분은 IVSD가 자연전분보다 증가하였다고 하였다. 이로부터 부분호화된 보리전분 입자의 α-amylase에 의한 전분분해율의 증가는 DSC 측정에 의한 호화된탈피의 감소와 관련이 있다고 하였다. 또한 Lauro 등(11)은 보리전분의 부분호화 시 LPL을 첨가하면 α-amylase에 의한 전분분해 과정 중 용해성 탄수화물의 형성을 감소시켰는데, 이러한 변화는 AM-lipid 복합체 형성 및 잔류 LPL에 의한 효소저항성의 증가로 설명된다고 하였다.

따라서 본 연구에서 가열조건을 달리한 타락죽의 IVSD의 차이는 첫째로 타락죽 내 전분의 소화정도의 차이에 기반하여 설명될 수 있다고 생각된다. DSC로 측정된 타락죽의 소화특성(Table 2)으로부터 전분이 부분호화된 것으로 생각되는 가열온

Table 4. Effect of cooking condition on *in vitro* starch and protein digestibility of *Tarakjuk* made with the roasted rice flour

Cooking temp. (°C)	Cooking time (min)	Starch digestibility (mg maltose/g freeze-dried powder)	Protein digestibility (%)
Control	10	142.70 ± 10.80 ^{a,1)}	81.59 ± 0.42 ^a
50	240	104.36 ± 7.91 ^c	84.31 ± 2.01 ^{bc}
	300	103.99 ± 13.10 ^c	83.10 ± 0.11 ^c
56.5	120	124.16 ± 11.03 ^{dc}	85.44 ± 1.91 ^b
	240	120.16 ± 15.73 ^c	84.52 ± 0.69 ^{bc}
64	60	168.20 ± 8.19 ^{bc}	84.47 ± 0.70 ^{ba}
	120	151.75 ± 9.35 ^{dc}	84.41 ± 1.78 ^{ba}
69	30	188.11 ± 5.11 ^{ba}	83.55 ± 1.13 ^{ba}
	60	151.79 ± 17.66 ^{bc}	83.18 ± 0.10 ^{ba}

¹⁾Values are means (standard deviation) of three replicates. Means with different letters within the column are significantly different at $p < 0.05$.

도 50°C에서는 타락죽 내 전분은 부분적으로 α -amylase에 의해 잘 분해되지 않는 결정형영역을 갖는 약간 팽윤된 전분 입자를 포함하며, 56.5°C에서는 전분이 거의 완전히 소화되었고, 64와 69°C에서는 전분이 완전히 소화되어 효소에 의한 분해를 받기가 용이하므로 가열온도가 증가함에 따라서 타락죽의 IVSD가 증가하는 것으로 생각되어진다. 또한 재래식으로 끓여 만든 대조구 타락죽의 IVSD가 64와 69°C에서 가열한 타락죽보다 낮게 나타났는데, Holm 등(32)은 광학현미경으로 끓인 밀을 관찰한 결과 팽윤된 전분입자를 둘러싸고 있는 수많은 집합체가 발견되었으며, *in vitro*에서 α -amylase와 1시간 배양 후에도 이들 집합체가 그대로 존재하였으나 이들 집합체를 pepsin과 배양 후에는 존재하지 않았다고 보고하였다. 이로부터 전분의 소화 정도가 전분의 효소작용에 대한 용이성을 증가시키는 유일한 요인이 아니며 식품 내에 단백질 매트릭스와 같은 기계적인 장벽이 *in vitro*에서 전분의 효소적 분해작용을 제한한다고 하였다.

한편 본 연구에서 가열조건을 달리한 타락죽의 IVSD는 타락죽의 RS 함량(Table 2)과 음의 상관관계를 나타내어, RS 함량이 증가하면 IVSD는 감소하는 것으로 나타났다. 또한 AM-lipid 복합체 형성은 효소저항성으로 인하여 낮은 전분 이용율의 원인이 된다고 보고되었는데(11), 본 연구에서는 멥쌀가루와 우유의 혼합 및 가열처리에 의한 amylose와 우유 지방과의 AM-lipid 복합체 형성과 IVSD 사이에 비례적인 상관관계는 나타나지 않았다.

RS는 발효과정 중 형성된 대사산물이 colon의 건강유지에 기여하며, 특히 고농도의 butyrate는 colon에 기생하는 미생물군의 주요 에너지 공급원이다(10). 또한 RS는 낮은 전분분해속도와 관련이 있으며, 느린 속도의 전분 가수분해는 낮은 당지수와 관련이 있으므로(11), 따라서 가열조건을 조절하여 생리적으로 이로우며 영양적으로도 중요한 RS를 보다 많이 함유하는 타락죽을 제조할 수 있다고 생각된다.

타락죽의 아미노산 조성 및 *in vitro* 단백질 분해율 (IVPD)

가열조건을 달리한 타락죽의 아미노산 조성 및 총아미노산 함량을 측정된 결과는 Table 5와 같다. 타락죽의 총아미노산 함량은 가열조건에 따라서 11558-15601 mg/100 g을 나타내었으며 56.5°C에서 120분 가열 시 가장 높았고 60°C에서 60분 가열 시 가장 낮았다. 아미노산 조성은 glutamine과 glutamic acid가 가장 높았으며 그 다음으로 leucine, asparagine과 aspartic acid, valine, alanine 등이 주요성분을 이루었고 tryptophane이 제한 아미노산으로 나타났다. 개별 필수아미노산 및 비필수아미노산

함량은 가열온도 56.5°C에서 일반적으로 높게 나타났으며 특히 lysine과 tryptophane 함량은 가열온도 50와 56.5°C에서 재래식으로 끓여 제조한 타락죽보다 높았다. Rama(33)는 chickpea 종자의 조리온도와 시간을 증가시키면 lysine의 유용성을 감소시켰다고 하였다.

한편 가열조건을 달리한 타락죽의 *in vitro* 단백질 분해율 (IVPD)을 측정된 결과는 Table 4와 같다. 재래식으로 끓여 제조한 대조구의 IVPD는 81.59%이었으며, 가열온도에 따라서 IVPD는 83.10-85.44%를 나타내어 증가하였으며 56.5°C에서 최대치를 나타내었다. 열처리에 의한 IVPD의 증가는 변성으로 인한 단백질 구조의 변화와 효소저해제의 불활성화에 의한(12). 한편 RS가 조리된 수수에서 단백질 분해율을 감소시킨다고 하였는데, 이는 조리된 죽의 냉각이 RS 형성을 초래하고 수수단백질과 복합체를 형성하므로써 효소에 의해 분해되기 어렵게 한다고 한다(34). 한편 본 연구에서 타락죽 제조 시 멥쌀가루에 대한 우유의 비율(15:150, w/w)이 컸으므로, 열처리에 의한 우유 단백질의 변화도 IVPD에 영향을 미칠 것으로 생각된다. Garcia-Risco 등(35)은 우유의 카세인 micelles을 파괴시키는 물리적, 화학적, 효소적 처리는 단백질 분해율을 증가시킨다고 하였는데, 멥쌀가루와 우유의 혼합물을 동시에 저어주면서 가열하여 제조하는 타락죽은 우유의 카세인 micelle의 크기를 감소시킴으로써 IVPD의 증가에 관여하는 것으로 생각된다.

요 약

RS 함량이 가장 높은 붉은 일품 멥쌀가루를 사용하여 DSC로 소화온도를 측정하여 타락죽의 가열조건을 설정하였다. 이로부터 설정된 가열조건을 이용하여 타락죽의 differential scanning calorimetry(DSC) 특성과 X선회절도에 의한 결정성, 효소저항전분(enzyme-resistant starch, RS) 함량과 *in vitro* 전분분해율(IVSD) 그리고 아미노산 조성 및 *in vitro* 단백질 분해율(IVPD)에 대한 가열온도와 시간의 영향을 측정된 결과는 다음과 같다. 가열조건을 달리한 타락죽은 185°C에서 25분 붉은 일품 멥쌀가루를 사용하여 50, 56.5, 64 그리고 69°C에서 각각 30과 60분, 60과 120분, 120과 240분, 240과 300분 가열하여 제조하였고, 재래식으로 10분간 끓여서 만든 타락죽을 대조구로 하였다. DSC로 측정된 결과 50와 56.5°C에서 가열한 타락죽은 63.7-125.2°C의 온도범위에서 두개의 열전이를 나타내었는데, 이들은 각각 아밀로펙틴의 용융(63.7-73.8°C)과 AM-lipid 복합체의 용융(97.7-125.2°C)에 해당한다. 반면, 가열온도 64와 69°C에

Table 5. Effect of cooking condition on the total amino acid content of *Tarakjuk* made with roasted rice flour

Amino acid	Control	Cooking temperature					
		50°C		56.5°C		69°C	
		Cooking time (min)					
		240	300	120	240	30	60
CYA ¹⁾	585	605	401	621	576	443	357
ASX ²⁾	1159	1205	981	1458	1225	1005	846
GLX ²⁾	3205	2990	2895	3438	3057	2886	2616
SER	709	706	593	764	671	668	617
HIS	424	441	392	474	411	385	358
GLY	389	392	375	426	360	382	365
ARG	398	374	365	400	343	369	305
THR	615	649	591	705	618	587	538
ALA	584	609	545	685	584	544	481
PRO	1376	1328	1476	1275	1225	1384	1426
TYR	48	36	30	37	35	42	35
VAL	977	980	887	1130	979	882	747
MET	135	139	124	154	134	128	107
ILE	1422	1384	1269	1507	1356	1306	1130
LEU	1377	1404	1270	1494	1350	1285	1137
PHE	520	534	462	568	522	487	425
TRP	27	129	180	208	146	30	32
LYS	33	159	222	257	180	37	39
Total	13,984	14,062	13,059	15,601	13,770	12,850	11,558

¹⁾CYA means the sum of cysteine and cysteic acid.

²⁾ASX and GLX mean the sum of asparagine & aspartic acid and glutamine & glutamic acid, respectively.

서는 96.9-127.6°C에서 AM-lipid 복합체 용융을 위한 한 개의 열전이를 나타내었다. 또한 AM-lipid 복합체 열전이를 위한 용융엔탈피는 가열조건에 따라서 대조구의 14.22J/g보다 낮은 것으로 나타나 대조구에서 AM-lipid 복합체 형성이 가장 많은 것으로 생각된다. X선회절도에 의하면 타락죽은 가열온도 50와 56.5°C에서는 일부 회절각도에서 피크가 잔존하였다. 타락죽의 RS 함량은 가열온도가 증가할수록 50 > 56.5 > 대조구 > 64 > 69°C의 순서로 감소한 반면, IVSD는 50 < 56.5 < 대조구 < 64 < 69.5°C의 순서로 증가하였다. 타락죽의 총아미노산 함량은 가열조건에 따라서 11,558-15,601 mg/100 g을 나타내었으며 56.5°C에서 120분 가열 시 가장 높았다. Lysine과 tryptophane과 같은 필수 아미노산 함량은 가열온도 50와 56.5°C에서 재래식으로 끓여 제조한 타락죽보다 높았다. 한편 타락죽의 IVPD는 모두 대조구보다 증가하였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 유망 여성과학자 도약 연구지원(과제번호, R04-2001-000-00142-0(2002))에 의해 수행되었으며 지원에 깊이 감사드립니다.

문헌

- Lee GC. A study on the traditional daily food of Seoul. Asian Comp. Folklore 20: 233-250 (2001)
- Korea Ministry of Agriculture and Forest. Per capita consumption of cereals per year. Available from: <http://www.maf.go.kr>. Accessed May 26, 2003.
- Sagum R, Arcot J. Effect of domestic processing methods on the starch, non-starch polysaccharides and *in vitro* starch and protein digestibility of three varieties of rice with varying levels of amylose. Food Chem. 70: 107-111 (2000)
- Parchure AA, Kulkarni PR. Effect of food processing treatments on generation of resistant starch. Int. J. Food Sci. Nutr. 48: 257-260 (1997)
- Devi K, Geervani P. Rice processing: Effect on dietary fibre components and *in vitro* starch digestibility. J. Food Sci. Technol. 37: 315-318 (2000)
- Asp NG, van Amelsvoort JMM, Hautvast JGA. Nutritional implications of resistant starch. Nutr. Res. Rev. 9: 1-31 (1996)
- Englyst HN, Kingman SM, Cummings JH. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. Eur. J. Clin. Nutr. 46: S33-S50 (1992)
- Mangala SL, Udayasankar K, Tharanathan RN. Resistant starch from processed cereals: The influence of amylopectin and non-carbohydrate constituents in its formation. Food Chem. 64: 391-396 (1999)
- Skrabanja V, Liljebreg HGM, Hedley CL, Freft I, Bjorck IME. Influence of genotype and processing on the *in vitro* rate of starch hydrolysis and resistant starch formation in peas (*Pisum sativum* L.). J. Agric. Food Chem. 47: 2033-2039 (1999)
- Lauro M, Suortti T, Autio K, Linko P, Poutanen K. Accessibility of barley starch granules to α -amylase during different phases of gelatinization. J. Cereal Sci. 17: 125-136 (1993)
- Lauro M, Poutanen K, Forsell P. Effect of partial gelatinization and lipid addition on α -amylolysis of barley starch granules. Cereal Chem. 77: 595-601 (2000)
- Negi A, Boora P, Khetarpaul N. Starch and protein digestibility of newly released moth bran cultivars: Effect of soaking, dehulling, germination and pressure cooking. Nahrung 45: 251-254 (2001)
- Lee GC, Kim SJ, Koh BK. Effect of roasting condition on the physicochemical properties of rice flour and the quality character-

- istics of *Tarakjuk*, Korean J. Food Sci. Technol. 35: 905-913 (2003)
14. Goni I, Garcia-Diz E, Manas E, Saura-Calixto F. Analysis of resistant starch: A method for foods and food products. Food Chem. 56: 445-449 (1996)
 15. Singh U, Kherdeka MS, Jambunathan R. Studies on Desi and Kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars: The levels of amylase inhibitors, levels of oligosaccharides and *in vitro* starch digestibility. J. Food Sci. 47: 510-513 (1982)
 16. Hsu HW, Vavak DL, Satterlee LD, Miller GA. A multienzyme technique for estimating protein digestibility. J. Food Sci. 42: 1269-1273 (1977)
 17. SAS Institute, Inc. SAS User's Guide. Statistical Analysis Systems Institute, Cary, NC, USA, (1990)
 18. Ahmed M, Belfast JL. Effect of various drying procedure on the crystallinity of starch isolated from wheat grains. Starch 30: S78-79 (1978)
 19. Osorio-Diaz P, Bello-Perez LA, Sayago-Ayerdi SG, Benitez-Reyes M del P, Tovar J, Paredes-Lopez O. Effect of processing and storage time on *in vitro* digestibility and resistant starch content of two bran (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. J. Sci. Food Agric. 83: 1283-1288 (2003)
 20. Krueger BR, Knutson CA, Inglett GE, Walker CE. A differential scanning calorimetry study on the effect of annealing on gelatinization behavior of corn starch. J. Food Sci. 52: 715-718 (1987)
 21. Siljestrom M, Westerlund E, Bjorck I, Holm J, Asp NG. The effects of various thermal processes on dietary fibre and starch content of whole grain wheat and white flour. J. Cereal Sci. 4: 315-323 (1986)
 22. Saura-Calixto F, Goni I, Bravo I, Manas E. Resistant starch in foods: Modified method for dietary fiber residues. J. Food Sci. 58: 642-645 (1993)
 23. Sievert D, Pomeranz Y. Enzyme-resistant starch I: Characterization and evaluation by enzymatic, thermoanalytical, and microscopic methods. Cereal Chem. 66: 342-347 (1989)
 24. Morrison WR. Lipids in cereal starches-a review. J. Cereal Sci. 8: 1-15 (1988)
 25. Mangala SL, Mahadevamma NGM, Tharanathan RN. Resistant starch from differently processed rice and ragi (*Finger millet*). Eur. Food Res. Technol. 209: 32-37 (1999)
 26. Tovar J, Melito C. Steam-cooking and dry heating produce resistant starch in legumes. J. Agric. Food Chem. 44: 2642-2645 (1996)
 27. Mangala SL, Tharanathan BN. Structural studies of resistant starch derived from processed (autoclaved) rice. Eur. Food Res. Technol. 209: 38-42 (1999)
 28. Holm J, Bjorck I, Ostrowska S, Eliasson AC, Asp NG, Larsson K, Lundquist I, Lund DL. Digestibility of amylose-lipid complexes *in vitro* and *in vivo*. Starch 35: 294-297 (1983)
 29. Szczodrak J, Pomeranz Y. Starch-lipid interactions and formation of resistant starch in high-amylose barley. Cereal Chem. 69: 626-632 (1992)
 30. Czuchajowska Z, Sievert D, Pomeranz Y. Enzyme-resistant starch IV: Effect of complexing lipids. Cereal Chem. 68: 537-542 (1991)
 31. Holm J, Asp NG, Bjorck I. Factors affecting enzymatic degradation of cereal starches *in vitro* and *in vivo*. pp. 169-187. In: Cereal in a European Context. Morton ID (ed). Ellis Horwood, Chichester, UK (1987)
 32. Holm J, Bjorck I, Sjoberg NG, Asp LB, Lundquist I. Starch availability *in vitro* and *in vivo* after flaking, steam-cooking and popping of wheat. J. Cereal Sci. 3: 193-206 (1985)
 33. Rama RG. Effect of heat on the proteins of groundnut and bengal gram. Ind. J. Nutr. Diet. 11: 268-272 (1974)
 34. Bach KKE, Munck L. Dietary fibre contents and composition of sorghum and sorghum-based foods. J. Cereal Sci. 3: 153-164 (1985)
 35. Garcia-Risco MR, Ramos M, Lopez-Fandino R. Modifications in milk proteins induced by heat treatment and homogenization and their influence on susceptibility to proteolysis. Int. Dairy J. 12: 679-688 (2002)

(2004년 8월 9일 접수; 2004년 10월 12일 채택)