

효소저항전분의 물리적 성질에 대한 아밀로오스 함량의 효과

문세훈 · 백무열* · 신말식
전남대학교 식품영양학과, *국방과학연구소

Effect of Amylose Content on the Physical Properties of Resistant Starches

Sae-Hun Mun, Moo-Yeol Baik and Mal-Shick Shin
Department of Food and Nutrition, Chonnam National University
*Agency for Defense Development

Abstract

Effect of amylose content on the physical properties of resistant starches (RS) from autoclaved maize starches (with starch:water=1:3.5, at 121°C) which were repeated up to 4 times heating-cooling cycles, were investigated by water uptake, scanning electron microscope (SEM) and differential scanning calorimetry (DSC). Amylose content of waxy maize starch (Amioca), common maize starch (PFP), high amylose starch (Amaizo, Amylomaize VII) were 0%, 29%, 50%, and 72%, respectively. Yield of RS increased as amylose content increased. Water uptake of all kinds of native starch was higher than that of RS, but lower than that of autoclaved starch. By SEM, RS showed some small particles on surface but the size of particles was different with amylose content. Single endothermic transition peak exhibited at 40~70°C in autoclaved Amioca and PFP (crystalline melting of amylopectin) and at 132~169°C in autoclaved Amaizo and Amylomaize VII (crystalline melting of amylose) by DSC. RS from all kinds of autoclaved starches except Amioca showed single endothermic peak over 155°C but the enthalpy was not related to amylose content.

Key word: resistant starch, amylose content, physical properties, maize starch

서 론

최근식이섬유소와 유사한 성질을 갖는 효소저항전분(RS, Enzyme-resistant starch)이 보고되고 있어 이를 이용한 기능성 식품으로의 응용에 관심이 모아지고 있다.

Englyst 등⁽¹⁾이 구분한 효소저항전분 중, type III인 노화 전분이 RS 전분의 대부분을 차지하며, 노화전분은 충분한 물이 있는 조건에서 호화된 전분이 저장되는 과정에서 결정화에 의해 효소에 대해 저항성을 갖게 된다^(2,3). 이러한 효소저항전분의 생성은 전분의 종류⁽⁴⁾, 아밀로오스 함량⁽⁴⁾, 수분함량, 가열온도, 가열-냉각 횟수^(5,7), 첨가물질^(8,9)에 따라 다를 뿐 아니라 저장기간, 저장온도, 아밀로오스의 사슬길이에 따라서도 영향을 받는다고 보고되고 있다^(10,12). 특히 아밀로펙틴보다는

아밀로오스가 더 큰 영향을 주고, 수분함량이 약 67% 일때 가장 좋은 수율을 보이며 가열-냉각 횟수가 증가할수록, 148°C가 넘지 않는 범위안에서 온도가 증가할수록 효소저항전분의 생성율이 높아진다고 한다^(5,6). 효소의 종류나 분리방법에 따라 수율이 다르다고 알려졌는데, 효소를 이용하여 간단히 노화도를 측정할 수 있는 Tsuge 등⁽¹³⁾의 방법보다 효소-중량법(enzymatic-gravimetric method)⁽¹⁴⁾으로 분리했을 때의 수율이 낮아 α -아밀라아제만 사용하여 분리된 노화전분중 일부만이 순수한 효소저항전분으로 생각되었다. 이런 효소저항전분에 대한 관심은 1980년대 말부터 증가되어 여러가지 분리방법이나 가열조건, 분석기기를 사용하여 연구결과가 발표되어왔고, 최근에는 구조나 형성기전, 영양 생리적 활성에 대해서도 관심을 가지고 실험이 진행되고 있다. 그러나 우리나라에서는 전분과 전분질 식품을 이용한 노화 특성을 밝히는 실험이 일부 진행되고 있을 뿐 효소저항전분에 관한 실험은 거의 없고, 옥수수 빵에 첨가하여 텍스처 특성을 측정한다

Corresponding author: Mal-Shick Shin, Department of Food and Nutrition, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

논문뿐이다⁽¹⁵⁾. 그러므로 본 연구에서는 효소저항전분의 생성조건과 분리방법을 비교, 수율을 증가시킬수 있는 조건을 확립하고 특성을 확인하여 이를 식품산업에 응용하기 위하여 전보⁽¹⁶⁾에 이어 아밀로오스 함량이 다른 옥수수 전분으로부터 형성된 효소저항전분을 분리하고, 이의 흡수력, 형태학적 특성, 열적특성 등 물리적 성질을 비교하였다.

재료 및 방법

재료

아밀로오스 함량이 다른 옥수수 전분, 찰옥수수 전분(Amioca), 보통 옥수수 전분(PFP), 고아밀로오스 옥수수 전분(Amaizo, Amylomaize VII)을 American Maize Products Co. (Hammond, IN)에서 구하였으며, total dietary fiber assay kit는 Sigma Chemical Co. (St Louis, Mo. U.S.A)에서 구입하여 사용하였다.

일반성분과 아밀로오스 함량 측정

일반성분은 A.O.A.C. 방법⁽¹⁷⁾에 따라 수분은 상압가열건조법(105°C), 회분은 직접회화법(550°C), 조단백질은 micro-Kjeldahl법, 지방질은 Soxhlet법으로 분석하였으며, 총지방질은 99% 메탄올로, 조지방질은 에테르로 측정하였다. 아밀로오스 함량은 Williams 등⁽¹⁸⁾의 방법에 따라 정량하였고, 이때 표준곡선은 Montgomery와 Senti 방법⁽¹⁹⁾으로 분리하여 얻은 옥수수 전분의 아밀로오스와 아밀로펙틴을 사용하여 작성하였다.

효소저항전분의 생성

Sievert와 Pomeranz 등⁽⁶⁾의 방법을 수정하여 효소저항전분(RS)을 형성시켰다. 아밀로오스 함량이 다른 옥수수 전분과 물을 1:3.5의 비율로 조절하여 멸균병에 넣고 혼합한 다음 121°C autoclave(Vision Co LTD., Korea)에서 1시간 호화시켰다. 호화액을 실온까지 냉각시킨 후 4°C에서 1일간 저장하였고, 가열-냉각 사이클을 4회까지 반복한 다음, 냉동건조기(Freeze dryer, Il-Sin Engineering Co.)에서 냉동 건조시켰다. 건조된 시료는 마쇄기로 마쇄하고 100메쉬체를 통과시킨 다음, 데시케이터에 보관하면서 시료로 사용하였다.

효소저항전분의 분리

RS의 분리는 효소-중량법⁽¹⁴⁾을 변형하여 사용하였다. 시료 1 g과 pH 6.0 인산완충용액 50 mL를 비이커에 넣고 heat-stable α-amylase 0.1 mL를 넣은 다음, 끓

는 수조에서 30분간 반응시킨 후 실온까지 냉각시켜 0.275 N NaOH로 pH를 7.5로 조정하였다. 이 용액에 50 mg protease를 1 mL 인산완충용액에 분산시킨 용액 0.1 mL를 첨가하여 60°C에서 30분동안 흔들면서 반응시켰고, 다시 실온까지 냉각시켜 0.325 N HCl로 pH가 4.3이 되도록 조정하고 amyloglucosidase 0.3 mL를 첨가한 후 60°C에서 30분간 흔들면서 반응시켰다. 총 용액의 알코올 농도가 80%가 되게 에탄올을 첨가하여 Whatman No.1 여과지로 여과한 후 아세톤으로 세척하고 불용성 잔사를 실온에서 하루 방치하여 건조시켰고, RS의 생성율은 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{효소저항전분 생성율(\%)} = \frac{\text{불용성 잔사의 무게(g)}}{\text{시료의 무게(g)}} \times 100$$

흡수력의 측정

생전분과 가열-냉각 처리한 옥수수 전분(AMS, autoclaved maize starch), RS의 흡수력은 Bemiller와 Pratt⁽²⁰⁾의 방법을 변형하여 실험하였다. 농도를 알고 있는 blue dextran 용액 7 mL에 시료 1 g을 넣고 40°C 항온 수조에서 30분간 흔들면서 흡수시키고 3000 rpm에서 5분간 원심분리하였다. Blue dextran 여과액의 흡광도를 640 nm에서 분광 광도계(8452A Hewlett-Packard, U.S.A)로 측정하고 흡수력을 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{흡수된 물의 양(mL)} = 7(1 - A_s/A_0)$$

여기서 A_0 는 blue dextran 용액의 흡광도이며, A_s 는 시료를 첨가한 후 blue dextran 용액의 흡광도이다.

주사전자현미경을 이용한 형태학적 특성

AMS와 RS의 표면 관찰은 각각의 시료에 아세톤을 가하여 입자를 분산시키고 금으로 도금시켜 전도성을 갖게 한 다음, 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, JEOL JSM-5400, Japan)을 사용하여 가속전압 25 kV, Phototime 85초, 2000배의 배율로 관찰하였다.

시차주사열량기에 의한 특성 측정

AMS와 RS의 시차주사열량기에 의한 특성은 Kim 등⁽¹¹⁾의 방법을 이용하여 시차주사열량기(Mettler TA-4000 System DSC 300U.K.)로 측정하였다. 시료를 밀봉이 되는 스테인레스 스틸 팬에 적정량 칭량하고 microsyringe를 사용하여 물과 전분의 비가 2:1이 되게 하고 총 시료양이 10 mg이 되게 하여 팬을 밀봉하였다. 시료의 수분이 평형상태에 이르게 하기 위하여 하

룻밤 실온에서 방치한 후 20°C에서 200°C까지 10°C/분으로 가열하였다. 얻어진 흡열피크의 초기전이온도(T_0)와 종료전이온도(T_c) 및 엔탈피(ΔH)를 구하였다.

결과 및 고찰

일반성분과 아밀로오스 함량

시료로 사용한 옥수수 전분의 일반성분은 Table 1에 나타내었다. 아밀로오스 함량은 Amioca 0%, PFP 29%, Amaizo 50%, Amylomaize VII 72% 이었으며, 아밀로오스 함량이 높을수록 총지방질 함량과 단백질 함량은 더 높아져 총지방질은 0.39~1.04%, 단백질 함량은 0.14~0.57%를 나타내었다.

효소저항전분의 생성

AMS로부터 RS를 분리하여 측정된 수율은 Table 2와 같이, 가열-냉각 싸이클 횟수가 증가하면 증가하였으며, 그 증가 정도는 1회 처리하였을 때 가장 높았고, 그 이후에는 완만하였다. 4회 반복한 경우 얻어진 수율은 찰옥수수 전분(Amioca), 보통 옥수수 전분(PFP), 고아밀로오스 옥수수 전분(Amaizo, Amylomaize VII)이 각각 0%, 15.6%, 24.6%, 37.9%로 아밀로오스 함량이 증가하면 수율도 증가하였다. 아밀로오스 함량에 따라 전분이 완전히 호화하는데 필요한 물

의 양이 달라지는데, Amioca나 PFP는 물이 50% 정도가 있어도 완전히 호화된다. 그러나 Amaizo나 Amylomaize VII는 실험결과 전분과 물의 비율이 1:3.5가 되어야 충분히 호화가 이루어 짐을 알수 있었다. Sievert와 Pomeranz⁽⁶⁾도 121°C에서 물을 78% 첨가하여 가열하는 경우 RS의 수율이 높아졌는데, 이는 높은 온도와 충분한 물이 있는 조건에서 생전분의 구조가 완전히 붕괴하게 되고 결정형을 이루고 있던 아밀로오스가 자유로운 상태가 되어 노화시 재결합이 쉽게 이뤄질 수 있었기 때문이라고 하였다⁽⁶⁾. 본 실험은 아밀로오스 함량이 다른 전분을 사용하여 비교하였으므로 물을 많이 필요로 하는 Amylomaize VII을 기준으로 물의 비율을 결정하였다. 아밀로오스 함량이 다른 전분을 사용할 때 전분과 물의 비율을 적절히 조절하는 실험을 현재 진행중에 있다.

흡수력의 비교

생전분, AMS, RS의 흡수력을 비교한 결과는 Fig. 1과 같다.

호화온도 이하에서 전분입자의 수분 흡수는 전분입자의 표면에 있는 구멍을 통하여 무정형 부분으로 흡수되는데, 생전분의 경우는 PFP, Amaizo, Amylomaize VII간에 큰 차이가 없었다. AMS는 생전분의 수분흡수력보다 3배 정도 높았는데, 결정형 부분이 호화로 인해 무정형 상태로 됨으로써 호화에 의한 흡수력의 증가로 생각되었다. 그러나 RS의 경우 아밀로오스 함량과는 관계없이 생전분보다 수분 흡수력이 낮았고, 전분의 종류에 따른 차이는 뚜렷하지 않았다. 다른식이섬유소와 비슷한 영양 생리활성을 가지는 RS는 수분흡수력이 낮아, 낮은 수분 흡수력을 이용해야 하

Table 1. Proximate composition of maize starches

	Moisture (%)	Lipid (%)		Protein (%)	Ash (%)
		Crude	Total		
Amioca	10.11	0.16	0.39	0.14	0.09
PFP	10.57	0.19	0.73	0.23	0.17
Amaizo	10.40	0.25	1.04	0.41	0.15
Amylomaize VII	10.36	0.13	1.03	0.57	0.15

Table 2. Yield (%) of resistant starch from maize starches after four autoclave-cooling with starch : water ratio (1:3.5) at 121°C

Autoclaving/cooling cycle	Amioca	PFP	Amaizo	Amylomaize VII
1	trace	6.1±0.00 ¹⁾	16.8±0.03	28.3±0.02
2	trace	9.4±0.01	23.6±0.00	32.3±0.03
3	trace	11.9±0.00	25.3±0.04	34.2±0.01
4	1.8±0.00	15.6±0.03	24.6±0.01	37.9±0.02

¹⁾Values are average and standard deviation of three determinations.

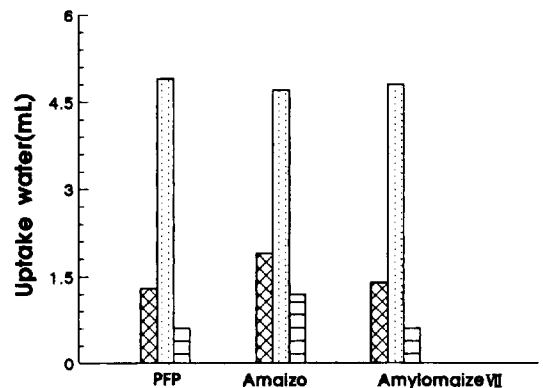


Fig. 1. Water uptake of native (⊗), autoclaved (⊞) and resistant (□) maize starches treated at 40°C water bath for 30 min.

는 식품개발에 중요한 성분으로 그 기능을 할 수 있을 것으로 보며, 같은 조건에서 여러 종류의 식이 섬유소와 수분 흡수력을 비교한 실험도 진행되어야 한다.

형태학적 특성

주사전자현미경으로 AMS의 표면을 관찰한 결과는 Fig. 2와 같았고, RS의 표면 형태는 Fig. 3과 같았다. 가열-냉각 과정을 거쳐 노화된 전분 겔을 냉동 건조함으로써 수분이 제거되었으므로 부분적으로 구멍이 관찰되었지만, 표면 상태는 전분에 따라 달랐으며, 생전분 입자는 보이지 않아 가열 과정에서 완전히 호화되었

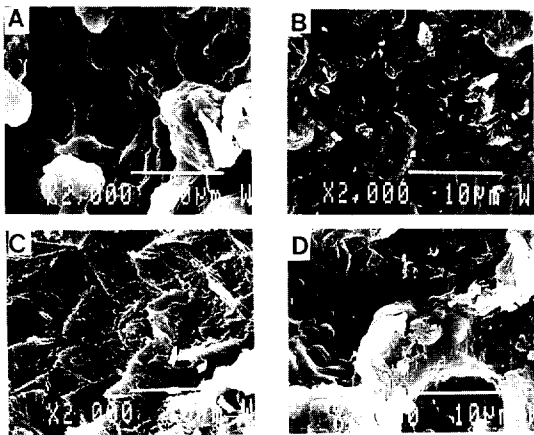


Fig. 2. Scanning electron microphotographs of maize starches after four autoclaving-cooling cycle at 121°C with starch/water ratio (1:3.5). A: Amioca, B: PFP, C: Amaizo, D: Amylomaize VII.

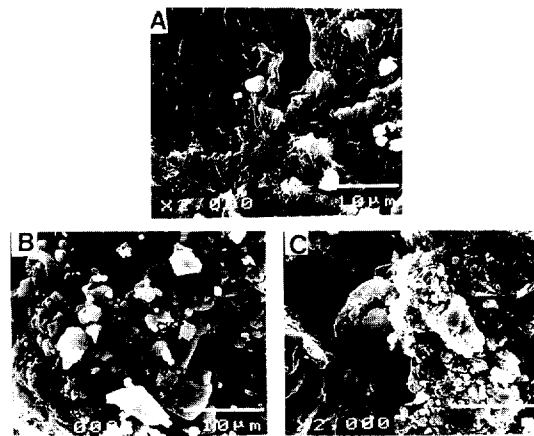


Fig. 3. Scanning electron microphotographs of resistant starches isolated after four autoclaving-cooling cycle at 121°C with starch/water ratio (1:3.5). A: PFP, B: Amaizo, C: Amylomaize VII.

음을 알 수 있었다. Amioca는 완전히 매끄러운 표면을 보였지만 나머지는 약간 거칠었으며, Amaizo와 Amylomaize VII은 그물망 구조를 관찰할 수 있었다.

Amaizo와 Amylomaize VII으로 부터 분리한 RS에는 표면에 작은 알갱이들이 많이 붙어 있었다. 이들 입자의 크기는 10~80 μm 범위였으며, 다소 작은 입자들이 많았고 Amaizo의 경우는 막대 모양의 입자도 관찰할 수 있었다. 반면, PFP에서는 70~100 μm 정도의 큰 입자들을 관찰할 수 있었고, 작은 입자들은 아주 드물었다. 아밀로오스 함량이 다른 옥수수 전분으로 부터 분리한 각각의 RS의 형태가 다른 것은 이들의 아밀로오스 함량 차이로 노화시 결정화 정도나 결정 구조가 달라지기 때문이라고 생각된다. RS는 결정화된 아밀로오스로 알려졌지만 아직 어떤 구조를 이루는지는 알지 못하며, 단지 X-선 회절도에 의해 B형 구조를 갖는다고 알려져 있다. 일부 micelle 구조나 lamella 구조가 제안⁽¹⁰⁾되고 있으나 확인된 바 없다. 본 실험실에서 실험과정중에 분리된 RS 결정이 성장되면 막대모양의 결정을 이루는 것을 관찰하였으므로 이에 관하여 계속 연구 중에 있다.

시차주사열량기에 의한 특성

AMS와 RS의 DSC thermogram은 Fig. 4와 같고, 이로부터 구한 특성값은 Table 3, 4와 같다.

찰전분인 Amioca와 보통수준의 아밀로오스를 함유한 PFP의 경우는 일반적인 노화전분에서 보여지는 노화된 아밀로펙틴의 용융에 의한 단일 흡열곡선을 나타내었고, 피크온도는 각각 51.3°C, 49.6°C로 41.0~65.9°C 범위에 속하였다. 호화된 전분이 노화되면서 아밀로펙틴의 결정화도 진행되는데, 결정화된 아밀로펙틴의 용융피크는 40~70°C에서 나타나며, 이때의 엔탈피는 노화도와 상관이 있음이 밝혀져 이를 이용하고 있다. Fig. 4에서 보듯이, 아밀로오스 함량이 낮은 Amio-

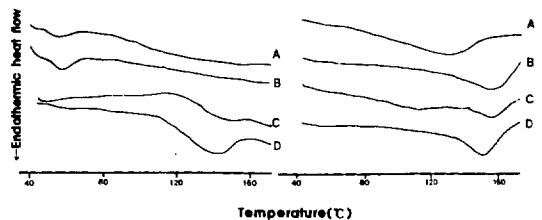


Fig. 4. Differential scanning calorimetry thermogram of four autoclaving-cooling cycled maize starches (left) and resistant starches isolated from four autoclaving-cooling cycled maize starches (right). A: Amioca, B: PFP, C: Amaizo, D: Amylomaize VII.

Table 3. DSC data of four autoclaving-cooling cycled maize starches

Autoclaved starches	Melting endotherm		
	To (°C) ¹⁾	Tc (°C) ²⁾	ΔH (J/g)
Amioca	41.0	63.9	2.7
PFP	41.8	65.9	4.2
Amaizo	142.5	160.7	1.3
Amylomaize VII	131.9	168.8	8.7

¹⁾T_o: onset temperature.²⁾T_c: conclusion temperature.

ca나 PFP에서는 아밀로펙틴의 결정화가 노화에 주를 이루는 반응으로 생각되었으나, 아밀로오스 함량이 높은 Amaizo와 Amylomaize VII의 경우에는 40~70°C의 흡열곡선은 없고, 132°C~169°C의 흡열곡선이 나타났으며, 피크온도는 각각 148.5°C, 147.6°C로, 이 경우는 아밀로오스의 결정화가 주 원인인 것으로 생각되었다. 엔탈피는 아밀로오스 함량이 가장 많은 Amylomaize VII이 8.7 J/g으로 가장 높았지만 아밀로오스 함량과는 직선적인 관계를 나타내지 못하였다. Sievert와 Pomeranz⁽⁶⁾는 아밀로오스 함량이 높을수록 엔탈피가 증가되었으며, 가열-냉각 횟수가 증가할수록 엔탈피가 증가하고, 분리한 RS가 AMS 보다 더 높은 엔탈피를 나타냈다고 보고하였다. Matsukura 등⁽²¹⁾에 의해 제안된 노화 전분 구조에서도 아밀로오스간의 결합과 아밀로오스-아밀로펙틴의 바깥 사슬간의 회합이 이루어진다고 하였는데, 155°C 근처에서 나타나는 흡열곡선이 아밀로오스와 아밀로오스, 아밀로오스와 아밀로펙틴의 결합에 의해 나타나기 때문에 아밀로오스 함량이 높을수록 높은 엔탈피를 보일 것으로 생각되었다.

RS의 thermogram에서도 단일 흡열피크를 보였으며, 대체적으로 아밀로오스 함량과는 관계없이 130°C 이상의 온도에서 흡열곡선을 나타냈다(Fig. 4). 아밀로오스 함량이 낮은 Amioca는 낮은 수율을 보였으나 RS의 흡열피크는 뚜렷하게 나타났으며, 온도범위는 다른 3 종류의 전분보다 낮았다. Amaizo와 Amylomaize VII은 거의 같은 온도범위인 134°C~165°C에서 피크를 보여 RS의 결정이 비슷한 것으로 생각되었다. 그러나 엔탈피는 차이를 보였으며, Amylomaize VII이 가장 높았다. 아밀로오스 함량에 따라 DSC에 의해 나타나는 결정의 용융피크로는 결정성이나 구조를 설명하기 어려우므로, 형성된 RS의 결정성 구조나 이를 이용해 특성이 좋은 RS를 생성하는 조건을 확립하는데는 다른 방법으로 더 많은 실험을 진행해야 할 것으로 생각되었다.

Szczodrak와 Pomeranz⁽²²⁾는 아밀로오스 함량이 높은

Table 4. DSC data of resistant starches isolated from four autoclaving-cooling cycled maize starches

Autoclaved starches	Melting endotherm		
	To (°C) ¹⁾	Tc (°C) ²⁾	ΔH (J/g)
Amioca	108.3	136.8	4.1
PFP	137.3	167.1	8.8
Amaizo	141.5	165.4	5.1
Amylomaize VII	134.3	163.0	11.8

¹⁾T_o: onset temperature.²⁾T_c: conclusion temperature.

보리 전분으로부터 분리된 효소저항전분이 시차주사 열량기에 의해 158°C에서 흡열피크를 보이며 가열-냉각 사이클 횟수가 12회까지 증가하면 가장 높은 엔탈피를 얻을 수 있다고 하여 가열-냉각 과정이 효소저항전분의 성질을 변화시킨다고 하였다. 반면, Eerlingen 등⁽¹⁰⁾은 효소저항전분을 분리하기 위해 pancreatic α-amylase와 amyloglucosidase를 사용하여 찹옥수수 전분을 시간과 온도조건을 달리하여 저장하고 각각의 시료를 시차주사열량기로 측정했는데, 아밀로펙틴의 노화범위에 따라 다양한 피크와 엔탈피를 얻었으며, 모든 시료가 40°C에서 80°C 범위에서 피크를 나타냈으나 온도와 엔탈피가 높을수록 효소에 대한 예민도는 감소했다고 보고하여 아밀로펙틴도 RS로서의 효과가 있음을 보고하였다. 즉 본 실험결과 아밀로오스 함량이 높은 전분으로 처리하면 RS의 수율은 증가하지만 형성된 RS의 물리적 특성은 아밀로오스 함량에 따라 큰 영향을 받지 않는 것으로 생각되어 우리나라에서 처럼 고아밀로오스 전분의 생산이 없는 경우에도 고아밀로오스 전분에서 얻은 RS와 성질이 같은 RS의 생성이 가능함을 확인할 수 있었다.

요 약

효소저항전분의 물리적 성질에 대한 아밀로오스 함량의 효과를 알아보기 위해 아밀로오스 함량이 다른 옥수수 전분인 Amioca, PFP, Amaizo, Amylomaize VII을 사용하여(전분:물=1:3.5) 121°C로 가열-냉각 사이클 4회까지 반복하고 가열-냉각된 옥수수 전분(AMS)과 분리된 효소저항전분(RS)의 흡수력, 형태학적 특성, 열적 특성 등의 물리적 특성을 비교하였다. Amioca, PFP, Amaizo, Amylomaize VII의 아밀로오스 함량은 각각 0%, 29%, 50%, 72%였으며, 아밀로오스 함량이 많을수록 RS 수율이 높았고, 흡수력은 RS<생전분<AMS 순이었다. 주사전자현미경에 의하면 RS의 표면에는 작은 알갱이들이 보였으며, 그 크기는 전분의

아밀로오스 함량에 따라 달랐다. AMS 경우, Amaizo와 Amylomaize VII은 아밀로오스의 용융피크라고 생각되는 155°C 근처에서 흡열피크를 나타낸 반면, Amioca와 PFP는 아밀로펙틴의 용융피크인 40~70°C에서 피크를 나타내었으며, Amioca를 제외한 모든 RS는 155°C 근처에서 흡열피크를 나타내었으나 엔탈피는 아밀로오스 함량과 상관이 적었다.

감사의 글

이 연구는 1996년도 한국과학재단 핵심과제 연구비(과제번호 961-0605-046-1)에 의한 결과이며, 이에 감사드립니다.

문헌

- Englyst, H.N., Kingman, S.M. and Cumming, J.H.: Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutri.*, **46**, 833 (1992)
- Russell, P.L., Berry, C.S. and Greenwell, P.: Characterisation of resistant starch from wheat and maize. *J. Cereal Sci.*, **9**, 1 (1989)
- Eerlingen, R.C., Crombez, M. and Delcour, J.A.: Enzyme-resistant starch. I. Quantitative and qualitative influence of incubation time and temperature of autoclaved starch on resistant starch formation. *Cereal Chem.*, **70**, 339 (1993)
- Leloup, V.M., Colonna, P. and Ring, S.: Physico-chemical aspects of resistant starch. *J. Cereal Sci.*, **16**, 253 (1992)
- Berry, C.S.: Resistant starch: Formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzymes during the determination of dietary fibre. *J. Cereal Sci.*, **4**, 301 (1986)
- Sievert, D. and Pomeranz, Y.: Enzyme-resistant starch. I. Characterization and evaluation by enzymatic, thermoanalytical, and microscopic methods. *Cereal Chem.*, **66**, 342 (1989)
- Sievert, D., Czuchajowska, Z. and Pomeranz, Y.: Enzyme-resistant starch. III. X-ray diffraction of autoclaved amylo maize VII starch and enzyme-resistant starch residues. *Cereal Chem.*, **68**, 86 (1991)
- Eerlingen, R.C., Cillen, G. and Delcour, J.A.: Enzyme-resistant starch. IV. Effect of endogenous lipids and added sodium dodecyl sulfate on formation of resistant starch. *Cereal Chem.*, **71**, 170 (1994)
- Sievert, D., Czuchajowska, Z. and Pomeranz, Y.: Effects of complexing lipids. *Cereal Chem.*, **68**, 537 (1991)
- Eerlingen, R.C., Deceuninck, M. and Delcour, J.A.: Enzyme-resistant starch. II. Influence of amylose chain length on resistant starch formation. *Cereal Chem.*, **70**, 345 (1993)
- Kim, J.-O., Kim, W.-S., and Shin, M.-S.: A comparative study on retrogradation of rice starch gels by DSC, X-ray and alpha-amylase methods. *Starch*, **49**, 71 (1997)
- Zhang, W. and Jackson, D.S.: Retrogradation behavior of wheat starch gels with differing molecular profiles. *J. Food Sci.*, **57**, 1428 (1992)
- Tsuge, H., Tatsumi, E., Ohtani, N., and Nakazima, A.: Screening of α -amylase suitable for evaluating the degree of starch retrogradation. *Starch*, **44**, 29 (1992)
- American Association of Official Analytical Chemical Change in Method: Total dietary fiber in foods, enzymatic gravimetric method, First action, *J. Assoc. Anal. Chem.* **68**, 399 (1985)
- 조아라, 안승요: 효소 저항성 전분의 첨가가 옥수수빵의 텍스처 특성에 미치는 영향. 한국조리과학회지, **12**, 207 (1996)
- 이신경, 문세훈, 신말식: 가열방법에 따른 효소저항전분의 생성. 한국농화학회지, **40**, 게재예정 (1997)
- Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis, 15th ed., Washington, D.C. (1990)
- Williams, P.C., Kuzina, F.D. and Hlynka, I.: A rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours. *Cereal Chem.*, **47**, 411 (1970)
- Montgomery, E.M. and Senti, F.R.: Separation of amylose from amylopectin of starch by an extraction-sedimentation procedure. *J. Polymer Sci.*, **28**, 1 (1958)
- Bemiller, J.N. and Pratt, G.W.: Sorption of water, sodium sulfate, and water-soluble alcohols by starch granules in aqueous suspension. *Cereal Chem.*, **58**, 517 (1981)
- Matsukura, U., Matsunaga, A., and Kainima, K.: Structure studies on retrograded normal and waxy corn starches. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.*, **30**, 106 (1983)
- Szczodrak, J. and Pomeranz, Y.: Starch and enzyme-resistant starch from high-amylose barley. *Cereal Chem.*, **68**, 589 (1991)

(1997년 2월 24일 접수)