

약산처리 옥수수전분으로 효소저항전분의 생성

이신경 · 문세훈 · 신말식*
전남대학교 식품영양학과

Enzyme-Resistant Starch Formation from Mild Acid-Treated Maize Starches

Shin-Kyung Lee, Sae-Hun Mun, Mal-Shick Shin
Department of Food and Nutrition, Chonnam National University

Abstract

Yields of enzyme-resistant starch (RS) from three kinds of maize starches (Amioca, normal starch and Amylo-maize VII) which were treated with 1 N HCl for 24 hr and physicochemical characteristics were investigated. Hydrolysis rate of maize starches decreased with increasing amylose content. Maximum wavelength (λ_{max}) and iodine affinity were decreased by the acid treatment. The yields of RS increased with acid treatment up to 12 hr and then decreased. The yield of for 12 hr acid-treated Amioca increased 8 times more than untreated sample, but those of normal starch and Amylo-maize VII slightly increased. Using SEM, acid-treated and autoclaved maize starches showed gel like structure, but RS had round and rod shape small particles. X-ray diffraction patterns of autoclaved starches showed amorphous structure in Amioca and B-type in normal starch and Amylo-maize VII, and those of RS showed all completely crystalline structure.

Key words: mild acid-treated maize starch, enzyme-resistant starch, amylose content, characteristics

서 론

효소저항전분은 체내 전분가수분해 효소에 의해서도 소화되지 않는 전분으로 3가지 형태로 나누며, type I은 부분적으로 도정된 낱알이나 종자에서 발견되는 것으로 저항성을 갖는 부분이 낱알에 끼어있는 상태로 존재하여 효소가 접근하지 못하는 전분(physically inaccessible starch), type II는 생감자나 바나나에서 발견되는 생입자(native granule), type III는 노화된 전분으로 보통 효소저항전분은 type III를 말하며 노화전분에 속하는 효소저항전분에 대한 관심이 증가되고 있다^(1,3). 효소저항전분의 수율은 전분의 종류⁽⁴⁾, 아밀로오스 함량⁽⁵⁾, 가열시의 수분함량, 가열 온도, 가열-냉각 횟수^(1,2,6), 첨가물질^(7,8) 등에 의해 영향을 받는데, 아밀로오스 함량이 높은 전분으로 충분한 수분함량 조건에서 가열온도나 가열횟수를 증가 시킬수록 효소저항전분의 생성율도 증가된다고 보고되고 있다⁽²⁾.

옥수수는 70% 이상의 전분을 함유하고 있어 전분 생산할 수 있는 중요한 자원이고⁽⁹⁾ 가격도 저렴할 뿐만 아니라 다른 곡류와는 달리 아밀로오스 함량을 다양하게 조절된 품종이 개발되어 성질이 다른 전분을 여러 방면에 이용할 수 있다. 효소저항전분의 제조에 있어 아밀로오스 함량이 50~70%인 고아밀로오스 옥수수전분으로 처리하면 효소저항전분의 수율이 보통 옥수수전분보다 높지만, 아직 우리나라에는 고아밀로오스를 함유한 옥수수의 재배도 이루어져 있지 않을 뿐만 아니라 고가인 고아밀로오스 옥수수전분을 수입하여 사용하기에는 어려움이 많다. 그러므로 보통 수준의 아밀로오스를 함유한 옥수수전분으로 효소저항전분의 수율을 높일 수 있는 방법의 모색이 필요하다.

현재 식품 산업에서 전분의 역할은 다양한데 각 용도에 맞는 물리화학적 성질을 갖도록 여러가지 방법으로 전분을 변성시켜 사용하고 있다. 그 중 산처리 방법은 산처리 정도에 따라 생성물이 달라지고 전분 입자의 구조를 변화시킬 수 있으므로 많이 사용되고 있으나 무정형 부분이 가수분해된 산처리 전분⁽¹⁰⁾은 오히려 전분의 노화를 촉진할 수 있을 것으로 생각되었다.

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

우선, 전보⁽¹¹⁾에서는 일반적으로 사용되어지고 있는 전분의 산처리 방법인 2.2 N HCl로 아밀로오스 함량이 다른 옥수수전분을 산처리하여 전분의 특성과 효소저항전분의 수율을 비교한 결과, 아밀로오스 함량에 따라 전분의 산처리 양상이 각각 달랐으며, 산 가수분해가 심하게 일어나 효소저항전분의 수율이 오히려 감소하였다.

그러므로 본 연구에서는 온화한 조건인 약산으로 산가수분해 정도를 조절함으로써 산처리된 전분의 노화를 촉진시키고 기능성 식품소재인 효소저항전분의 수율을 증가시킬 수 있을 것으로 생각되어 아밀로오스 함량이 다른 옥수수 전분을 1 N HCl로 24시간까지 약산처리를 하여 산처리 전분의 특성과 효소-중량법으로 효소저항전분의 수율을 비교하였고, 분리된 효소저항전분의 특성을 알아보았다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용한 옥수수 전분은 전보⁽¹¹⁾와 같이 찰옥수수 전분인 Amioca, 고아밀로오스 옥수수 전분인 Amylomaize VII을 American Maize Products Co. (Hammond, IN)에서 NMS (normal maize starch)는 삼양제닉스에서 구하여 시료로 사용하였고, 각각의 아밀로오스 함량은 각각 0%, 72.8% 및 28.7%였다.

약산처리 및 산가수분해율 측정

전분의 산처리는 Biliaderis 등⁽¹²⁾의 방법에 따라 전분 1 g에 1 N HCl 40 mL를 가하여 35°C 항온수조에서 실시하였으며 0, 4, 8, 12, 24시간 후에 시료를 꺼내 약산처리전분을 분리하고 산 가수분해율을 측정하였다.

페놀-황산법⁽¹³⁾에 따라 전분의 가수분해율을 측정하였고, 이로부터 겔보기 1차 반응속도상수를 다음 식으로 구하였다⁽¹²⁾.

$$\kappa = \frac{2.303}{t} \times \log \frac{100}{100-X}$$

t=가수분해시간 (hr)

X=가수분해율 (%)

약산처리 전분의 요드 반응과 최대 흡수파장

약산처리 전분의 요드 반응은 Williams 등⁽¹⁴⁾의 방법에 따라 분광광도계 (8452A Diode array spectrophotometer, Hewlett-packard Asia LTD., USA)로 680 nm에서 흡광도를 측정하였고, 최대흡수파장도 측정하였다.

효소저항전분의 형성 및 분리

Sievert와 Pomeranz의 방법⁽²⁾을 변형하여 전보⁽⁶⁾에서와 같은 방법으로 실시하였다. 효소저항전분의 형성 조건은 약산처리전분과 물의 비율을 1:3.5로 하였고 121°C에서 1시간 호화시켰으며, 가열-냉각 과정을 4회까지 반복하였다.

효소저항전분의 분리는 AOAC에 의한 효소-중량법⁽¹⁵⁾을 변형하여 사용하였다.

효소저항전분의 형태 비교

효소저항전분의 형태 및 표면 구조는 주사전자현미경(scanning electron microscope, JEOL JSM-5400, Japan)을 사용하여 가속전압 25 kV, Phototime 85초, 2000배의 배율로 관찰하였다.

효소저항 전분의 X-선 회절도 양상

X-선 회절도는 X-ray diffractometer (D/Max 1200, Rigaku Co, Japan)를 이용하여 target: Cu-K α , filter: Ni, viltage: 20 mA, full scale range: 2000 cps, scanning speed: 8°/min 조건에서 실시하였다.

결과 및 고찰

전분의 약산처리에 의한 가수분해 특성

아밀로오스 함량이 다른 옥수수전분을 1 N HCl로 35°C에서 산처리시 가수분해율은 Fig. 1과 같이 산처리 시간에 따라 가수분해율은 직선적으로 증가하여 김 등⁽¹⁶⁾이 쌀전분을 1 N HCl로 산처리시 가수분해율이 직선적으로 증가하였다고 보고하여 본 실험과 같은 경향을 나타내었다. 12시간 산처리시 가수분해율은 0.54~1.08%, 24시간 처리시에는 1.03~2.15%로 찰옥수수전분인 Amioca가 나머지 두전분보다 급격한 가수분해율을 나타냈으며 시간이 길어질수록 보통 옥수수전분과 고아밀로오스 전분과의 가수분해율의 차이가 증가하였다.

Fig. 1로부터 구한 24시간까지의 가수분해 속도상수는 Table 1과 같이 4.31~9.06 $\times 10^{-4}$ hr⁻¹로 아밀로오스 함량이 증가할수록 가수분해 속도가 감소함을 알 수 있었다. 이는 아밀로오스 함량이 다른 옥수수전분을 2.2 N HCl로 산처리시 아밀로오스 함량이 높을수록 산 가수분해에 대한 강한 저항성을 보인 전보⁽¹¹⁾와 같은 결과였으며, Biliaderis 등⁽¹²⁾에 의하면 산가수분해 속도상수는 주로 전분 입자의 구성 및 결정성에 영향을 받으며, 호화온도나 branching 정도를 표시하는 아밀로펙틴의 짧은 사슬 대 긴 사슬의 비가 κ 값과 중요

한 상관관계가 있다고 하였다.

Pessa 등⁽¹⁷⁾은 0.1~1 M HCl로 옥수수전분을 산처리 하여 HPLC로 분석하였을 때 amylopectin, intermediate

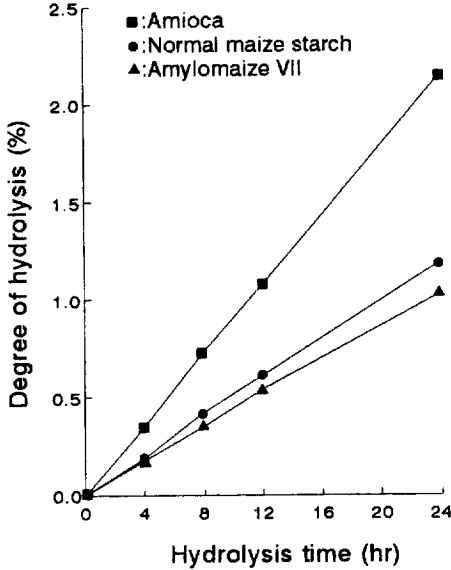


Fig. 1. Degree of hydrolysis of maize starch with 1 N HCl at 35°C.

Table 1. Acid hydrolysis rate constant (κ) of acid-treated maize starches with 1 N HCl at 35°C

Starches	$\kappa \times 10^{-4} \text{hr}^{-1}$
Amioca	9.06
Normal maize starch	4.99
Amylomaize VII	4.31

fraction, amylose 순으로 fraction되었고, 산처리 4시간까지는 amylose 함량변화가 매우 적게 일어나 초기에는 아밀로펙틴이 가수분해되고 아밀로오스는 큰 영향을 받지 않는다고 하였다. 김 등⁽¹⁶⁾의 보고에서도 1 N HCl로 쌀전분을 산처리시 산처리 3시간까지는 아밀로펙틴의 분해가 일어나고 24시간 이후에는 아밀로펙틴이 완전히 분해되고 아밀로오스 부분의 분자량도 감소하였다고 하여 약산처리에 의한 전분 구성성분의 변화는 아밀로오스보다는 아밀로펙틴의 변화로 여겨진다.

약산처리전분의 요드반응과 최대흡수파장

약산처리전분의 요드 반응과 최대흡수파장의 변화는 Table 2와 같다.

생전분의 최대흡수파장은 찰옥수수전분인 Amioca는 542 nm, NMS와 Amylomaize VII은 610 nm으로 직선상의 긴 사슬구조인 아밀로오스를 함유한 경우 요드와의 반응에서 높은 λ_{max} 를 나타내었으며 모든 전분에서 산 가수분해가 진행됨에 따라 λ_{max} 가 감소하였다.

최고흡수파장에서의 흡광도는 가수분해가 진행됨에 따라 Amioca와 Amylomaize VII은 각각 감소하였지만 보통 옥수수전분인 NMS는 약간 증가하였고, 680 nm에서의 흡광도도 Amioca와 Amylomaize VII은 감소하였지만 보통 옥수수전분인 NMS의 변화는 거의 없어 약산처리로 변화된 전분의 구조는 전분의 종류에 따라 다른 경향을 보였다. 산처리로 인한 전분의 요드반응의 감소는 전분 중 α -1,4결합으로 연결된 직선 구조를 가진 분자의 사슬 길이가 분해되어 짧아짐으로써 요드와의 친화력이 감소하는 것으로 생각되었

Table 2. Iodine affinity of native and acid-treated maize starches with 1 N HCl at 35°C

Starches	Hydrolysis period (hr)	Extent of hydrolysis (%)	λ_{max}	Absorbance at	
				λ_{max}	680 nm
Amioca	0	0	542	0.1541	0.0995
	4	0.35	540	0.1329	0.0470
	8	0.73	540	0.1219	0.0412
	12	1.08	536	0.1219	0.0401
	24	2.15	532	0.1115	0.0339
Normal maize starch	0	0	610	0.3947	0.3378
	4	0.19	608	0.4026	0.3354
	8	0.42	608	0.4018	0.3250
	12	0.61	606	0.3958	0.3235
	24	1.19	596	0.4161	0.3227
Amylomaize VII	0	0	610	0.9062	0.7467
	4	0.18	608	0.7966	0.6374
	8	0.35	602	0.7960	0.6331
	12	0.54	598	0.7914	0.6263
	24	1.03	596	0.7675	0.5891

다. 김 등⁽⁶⁾은 약산처리한 쌀전분의 요드반응 결과, 625 nm에서의 흡광도가 산처리 1시간까지, 최대흡수 파장은 2시간까지 증가하다가 그 이후에는 가수분해 시간에 따라 흡광도가 각각 감소하였으며 이러한 산처리 초기에 요드 반응 값이 증가하는 것은 전분의 α -1,6결합이 산에 의해 가수분해되어 상대적으로 α -1,4결합이 증가한 것으로 설명하였고, 산처리 시간을 120시간까지 증가시킬수록 요드와의 반응값과 최대흡수파장은 각각 감소하여 본 실험과 같은 결과였다.

약산처리전분의 효소저항전분 수율

약산처리한 전분으로 가열-냉각 사이클을 4번 반복하여 형성한 효소저항전분의 수율은 Fig. 2와 같다.

산처리 시간에 따른 효소저항전분의 수율은 12시간 산처리했을 때까지 증가하여 Amioca, NMS, Amylomaize VII 각각 14.9%, 33.5%, 52.3%로 무처리전분으로 얻은 수율인 1.8%, 20.8%, 37.9%보다 모두 증가하였으나 24시간 처리시켰을 때는 오히려 감소하였다. 전분의 종류에 따른 증가정도는 찰옥수수전분이 약 8배, 보통 전분은 1.6배, 고아밀로오스 전분은 1.4배 증가하였으며, 실제 수율은 모두 약 13% 증가하였다. 이는 산처리에 의해 생전분내의 무정형부분이 일부 가수분해되어 결정화가 증가되며, 결정성이 증가된 전분을 가열-냉각 과정을 반복시켰을 때 강한 결합을 갖는 효소저항전분을 형성하여 효소에 대한 저항성이 커져 수율이 증가된 것으로 여겨진다.

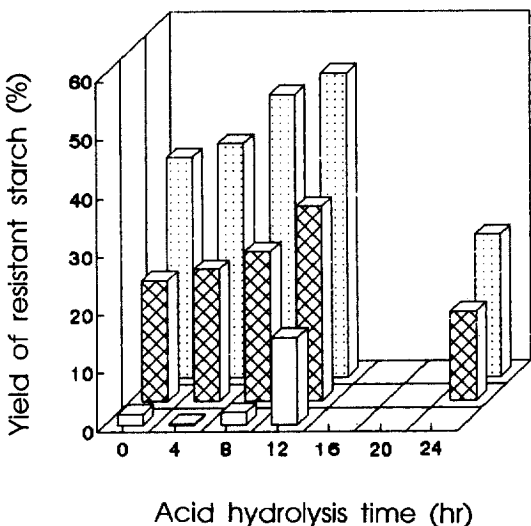


Fig. 2. Yield(%) of resistant starch from acid-treated maize starches treated four autoclaving-cooling cycles. □: Amioca, ■: Normal maize starch, ▨: Amylomaize VII.

2.2 N HCl로 산처리시켰을 때나⁽¹¹⁾ 약산인 1 N HCl로 24시간 산처리시 효소저항전분의 수율이 감소한 반면, 약산으로 12시간 처리했을 때까지는 아밀로오스 함량이 다른 3종류의 옥수수전분 모두에서 효소저항전분의 수율이 증가되어, 산처리를 약한 조건으로 단시간 처리하면 효소저항전분의 수율이 증가하나 산처리 정도가 커지면 가수분해가 많이 진행됨으로 효소저항전분의 수율이 감소됨을 알 수 있었다.

또한, 아밀로오스 함량이 거의 없는 찰전분은 가열-냉각 과정을 거쳐 효소저항전분을 형성했을 때 수율이 낮았으나, 약산처리를 함으로써 효소저항전분의 수율을 증가시킬 수 있는 좋은 방법으로 확인되었고, 가공식품에 찰전분을 많이 이용하는 점을 감안한다면 찰전분을 약산으로 처리함으로써 기능성 소재인 효소저항전분을 함유한 찰전분 원료를 산업체에 제공할 수 있을 것으로 생각되었다.

효소저항전분의 형태 변화

효소저항전분의 수율이 높았던 12시간 산처리된 전분으로 형성된 효소저항전분 생성전분의 형태는 Fig. 3과 같고, 분리된 효소저항전분은 Fig. 4와 같다.

가열-냉각 과정을 거친 전분 겔의 표면 형태는 아밀로오스 함량에 따라 호화와 노화가 다르게 진행되어 표면형태가 달랐고, 전보⁽⁶⁾에서 산처리하지 않은 Amioca의 표면 형태가 완전히 매끄러운 표면을 보이며 부분적으로 구멍이 관찰되었으나, 산처리한 전분의 경우는 강한 결정형의 표면형태를 나타내었으며, NMS와 Amylomaize VII은 산처리하지 않은 전분과 같이 표면에 실이 얽혀진 그물망과 같은 형태를 나타내었다.

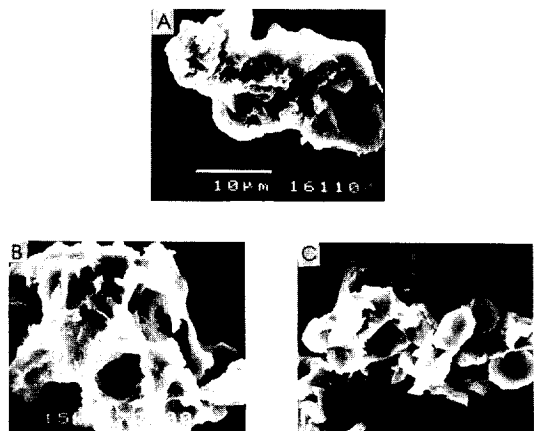


Fig. 3. Scanning electron microphotographs of four autoclaving-cooled acid-treated maize starches. A: Amioca, B: Normal maize starch, C: Amylomaize VII.

분리한 효소저항전분은 NMS의 경우 막대 모양의 강한 결정들이 많이 생성되었으며, Amylomaize VII은 작은 알갱이와 막대 모양의 입자들을 관찰할 수 있었고 표면은 거칠고 매우 불규칙한 모양을 나타내었다. 이는 전보⁽⁶⁾에서 아밀로오스 함량이 다른 전분을 효소저항전분을 분리하고, 분리된 전분의 형태를 관찰한 결과 표면에 작은 알갱이들이 붙어 있는 큰 입자들이 관찰된 것과는 달랐으며, 이는 약산에 의해 일부 잘려진 전분이 가열-냉각을 반복하고 효소저항전분을 분리하였을 때 막대모양의 입자를 형성하기에 적합하였을 것으로 여겨지고, 산처리에 의해 효소저항전분의 형태가 다른 것은 노화시 결정화 정도나 결정 구조가 달라지기 때문으로 생각된다. 효소저항전분의 구조에 대해서는 아직 밝혀져 있지 않았으나 micelle구조와

Table 3. Yield (%) of resistant starch from acid-treated maize starches repeated 4 autoclaving-cooling cycles

Starches	Acid hydrolysis time (hr)				
	0	4	8	12	24
Amioca	1.8	0.1	2.1	14.9	-
Normal maize starch	20.8	22.8	25.8	33.5	15.3
Amylomaize VII	37.9	40.3	48.6	52.3	24.6

lamellar 구조로 제안된 바⁽¹⁸⁾ 있다.

효소저항전분의 X-선 회절도

12시간 산처리전분으로 형성된 효소저항전분 생성 전분과 분리된 효소저항전분의 X-선 회절도는 Fig. 5, 6과 같다. 산처리한 Amioca전분은 산처리하지 않은 전분의 효소저항전분 생성전분과 같이 무정형이었으며, NMS와 Amylomaize VII은 2θ=17°, 20°, 23° 근처의 피크가 나타났다. Sievert 등⁽¹⁹⁾의 연구에서도 가열-냉각 과정을 거친 옥수수전분들의 경우 X-선 회절도에 의해 B형을 나타내었으며 사이클 수가 증가할수록 피크 강도도 증가하였다고 보고하였다.

분리된 효소저항전분의 X-선 회절도 양상은 공통적으로 17.0°, 23.5°, 29.5°, 30.5°, 34.0°, 35.5°, 38.5°에서 피크를 나타내어 형성전분과는 달리 무정형 부분이 효소저항전분을 분리시 사용되어진 효소에 의해 완전히 가수분해되고 강한 결정형 구조를 갖는 부분만이 분리됨을 알 수 있었다. 그러나, 일정한 위치에 피크를 갖는 효소저항전분의 결정단위체가 어떤 형태를 이루는지에 대해서는 더 연구가 되어야 할것으로 생각되었다.

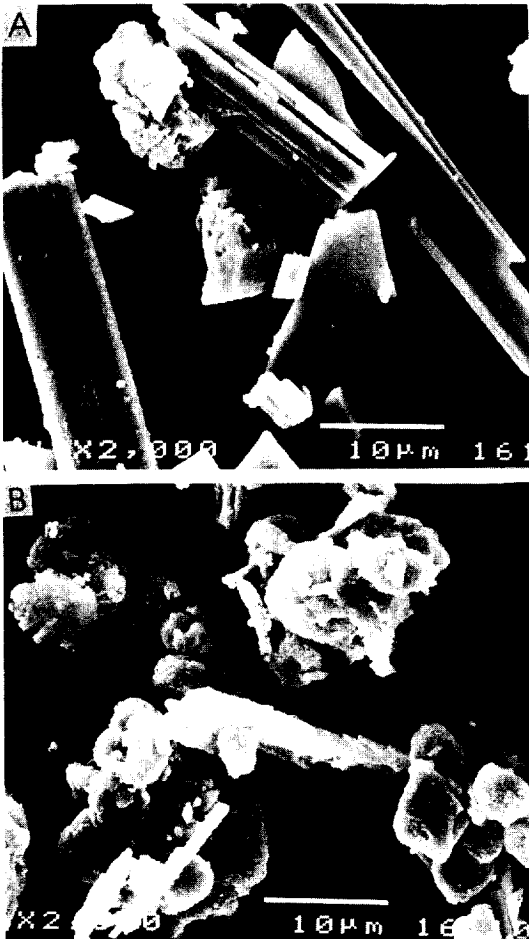


Fig. 4. Scanning electron microphotographs of resistant starches isolated from acid-treated and four autoclaving-cooling cycled maize starches. A: Normal maize starch, B: Amylomaize VII.

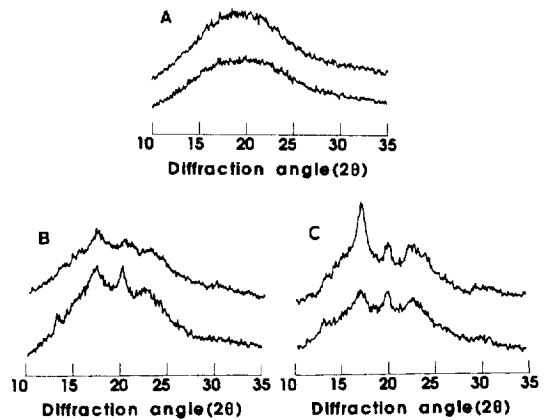


Fig. 5. X-ray diffraction patterns of four autoclaving-cooling cycled untreated (down) and acid-treated maize (up) starches. A: Amioca, B: Normal maize starch, C: Amylomaize VII.

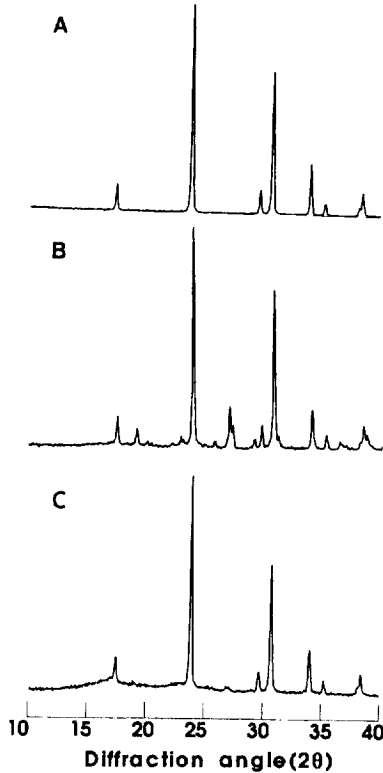


Fig. 6. X-ray diffraction patterns of resistant starches isolated from four autoclaving-cooling cycled acid-treated maize starches. A: Amioca, B: Normal maize starch, C: Amylomaize VII.

요 약

아밀로오스 함량이 다른 옥수수 전분을 1 N HCl로 산처리하여 약산처리 전분의 특성과 효소저항전분의 수율 및 특성을 비교한 결과 아밀로오스 함량이 증가할수록 산가수분해율은 감소하였고 산처리가 진행됨에 따라 최대흡수파장(λ_{max})와 요드친화력이 각각 감소하였다. 산처리 기간에 따른 효소저항전분 수율은 12시간 산처리했을 때까지 모든 시료에서 증가하였으나, 24시간 처리시켰을 때는 오히려 감소하였으며, 찰전분의 수율 증가정도는 12시간 처리시 8배로 다른 전분에 비해 높은 증가를 나타내었다. 약산처리된 효소저항전분 생성전분의 형태는 그물망과 같은 형태를 보였으며, 분리된 효소저항전분은 작은 알갱이와 막대모양의 입자를 관찰할 수 있었다. 효소저항전분 생성전분의 X-선 회절도는 Amioca의 경우 무정형이었으며, 다른 전분은 $2\theta=17^\circ, 20^\circ, 23^\circ$ 근처의 피크가 나타났고, 분리된 효소저항전분은 형성전분과는 다른

경향을 보여 완전한 결정구조를 나타내었다.

감사의 글

이 연구는 1996년도 보건복지부 보건의료기술 연구 과제(과제번호 HMP-96-F-3-1-15)에 의한 결과이며 이에 감사드립니다.

문 헌

- 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**(4), 342 (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**(3), 339 (1993)
- Russell, P.L., Berry, C.S. and Greenwell, P.: Characterisation of resistant starch from wheat and maize. *J. Cereal Sci.*, **9**, 1 (1989)
- 이신경, 문세훈, 신말식 : 분리방법에 따른 효소저항전분의 수율 비교. 한국식품과학회지, **29**(2), 383 (1997)
- 문세훈, 백무열, 신말식 : 효소저항전분의 물리적 성질에 대한 아밀로오스 함량의 효과. 한국식품과학회지, **29**(3), 516 (1997)
- 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**(2), 170 (1994)
- Czuchajowska, Z., Sievert, D. and Pomeranz, Y.: Enzyme-resistant starch. IV. Effects of complexing lipids. *Cereal Chem.*, **68**(5), 537 (1991)
- 최성관 : 옥수수정련기술과 전분화학. 한국전분당협회 (1996)
- Robin, T.P., Macia, C., Charbonniere, R. and Guilbot, A.: Lintnerized starches gel filtration and enzymatic studies of insoluble residue from prolonged acid treatment of potato starch. *Cereal Chem.*, **51**, 389 (1974)
- 이신경, 신말식 : 아밀로오스 함량이 다른 옥수수전분의 산처리 특성 및 효소저항전분의 수율. 한국농화학회지, accepted (1997)
- Biliaderis, C.G., Grant, D.R. and Vose, J.R.: Structural characterization of legume starches. II. Studies on acid treated starches. *Cereal Chem.*, **58**, 502 (1981)
- Dubois, M., Gilles, K.A., Mamilton, J.K., Rebers, P.A. and Smith, F.: Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, **28**, 350 (1956)
- 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)

15. A.O.A.C.: *Official Methods of Analysis.*, 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Total dietary fiber in foods, enzymatic-gravimetric method, Washington, D.C., p.1105 (1990)
16. 김성곤, 김관, 신말식, 이신영, 변시명, 이에랑 : 쌀전분의 노화과정 중 전분 구조의 변화 연구, 국방과학연구소보고서 (1995)
17. Pessa, E., Suortti, T., Autio, K. and Poutanen, K.: Molecular weight characterization and gelling properties of acid-modified maize starches. *Starch*, **44**, 64 (1992)
18. 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)
19. 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)

(1997년 9월 24일 접수)