

고사리 (*Pteridium aquilinum*) 뿌리 전분의 이화학적 특성에 관한 연구

제 2 보 : 전분의 물리적 특성

曹 哉 銑 · 金 成 坤* · 李 啓 璠** · 權 泰 完***

慶熙大學校 食糧資源研究所, *檀國大學校 食品營養學科, **서울大學校農科大學, ***韓國科學技術院
(1981년 3월 30일 수리)

Physico-chemical Properties of Bracken (*Pteridium aquilinum*) Root Starch

II. Physical Properties

Jae-Sun Jo, Sung-Kon Kim*, Ke-Ho Lee** and Tai-Wan Kwon***

Research Institute of Food Development, Kyunghee Univ., Seoul 131, *Department of Food & Nutr., Tankook Univ., Seoul 110, **Department of Food Science & Technology, Seoul National Univ., Suwon 170, ***Korea Advanced Institute of Science & Technology, Seoul 131

(Received March 30, 1981)

Abstract

The gelatinization phenomena of bracken root starch were examined by means of the loss of birefringence, degree of digestibility by amylase and X-ray diffraction. These results indicated that gelatinization temperature of the starch was 55~60°C and over 95% of starch were gelatinized at the temperature between 60 and 70°C. The swelling power of the bracken root starch was much less steeper than that of potato or tapioca starch. Amylograph data on the various starch concentrations showed the pasting temperature of 62~68°C, peak height of 80~840 Brabender unit (BU) and peak after cooling to 50°C of 110~555 BU. According to the information obtained from amylograph data, the bracken root starch showed low set back.

The rate of retrogradation of the starch as tested by Texturometer was slower and faster than that of potato and tapioca starches, respectively.

서 론

전분은 천연의 다른 고분자유기화합물과 마찬가지로 여러가지 물리적인 특성때문에 그 용도가 다양하다. 화합물을 구성하는 단위구조에 따라 그 특성이 결정되겠지만 고분자 물질이기 때문에 일일이 그 특성에 대한 메카니즘을 알기란 어려운 일이다. 그래서 물리적

인 시험방법으로 그 특성을 관찰하고 있다.

전분의 물리적 특성을 관찰하는 방법으로 糊化의 평가방법⁽¹⁾, 호화에 영향을 미치는 친수성 고분자물질의 역할, 지방질 및 기타 금속이온의 상호작용⁽²⁻⁶⁾, 전분의 老化 및 노화에 영향을 미치는 수분, 온도, pH, 그리고 각종 첨가제의 영향들에 대하여 많은 연구가 이루어졌다^(1,7,8). 이와 같은 전분의 물리적 특성에 관한 연구는 최근 texturometer⁽⁹⁾ 등 새로운 측정기구들

을 개발하여 사용하므로써 객관성이 있는 자료를 얻을 수 있게 되었고 전분의 기능적 특성을 활용하는 연구에 많은 도움을 주고 있다.

본 연구는 前報⁽¹⁰⁾에 이어서 고사리뿌리 전분의 제반 특성을 밝히는 연구의 일환으로 물리적인 특성을 시험하였다.

재료 및 방법

재 료

고사리뿌리 전분 제조용 시료는 제주도 한라산(북계주군 구좌면 월정리 및 남계주군 남원면 한남리 야산) 일대에서 채취한 고사리뿌리로 부터 전보⁽¹⁰⁾에서와 같은 방법으로 추출조제하여 사용하였다.

방 법

(1) 평윤, 용해도 및 흡수도⁽¹¹⁻¹³⁾

75 ml의 증류수에 1g의 시료전분을 넣어 분산시킨 다음 50°C에서 10°C간격으로 90°C까지 온도별로 항온수조에서 저어주면서 30분씩 가열한후에 전체 무게가 200g이 되도록 증류수로 채운것을 2000 rpm에서 15분간 원심분리하여 여기서 분리되는 투명한 상등액은 따로 취하여 증발건조시키고 칭량하는 한편 원심분리하여 얻은 침전물을 칭량하여 다음과 같이 용해도 및 평윤도를 각각 계산하였다.

$$\text{용해도}(\%) = \frac{\text{가용성물질}(g)}{\text{전조시료}(g)} \times 100$$

$$\text{평윤력}(\%) = \frac{\text{침전물}(g)}{\text{전조시료}(g)} \times 100$$

한편 흡수도는 75 ml의 증류수에 5g의 전분을 분산시키고 1시간 진탕교반한 후에 원심분리(2500 rpm, 15분)하여 여액은 버리고 남은 침전물의 증량증가량을 백분율로 환산하여 흡수도를 구하였다.

(2) 호화특성⁽¹⁴⁻¹⁶⁾

전분의 호화특성의 지표가 되는 부굴절성의 소실, X-선회절상, α-아밀라아제 작용특성등은 다음과 같이 실험하였다.

가. 부굴절성의 소실

5%의 전분현탁액을 50°C에서부터 70°C까지 온도를 점차 올리면서 광학 및 편광현 미경으로 평윤 및 부굴절성의 소실양상을 관찰하였다.

나. X-선 회절상

5%전분현탁액을 50°C에서부터 5°C 간격으로 65°C까지 각각 20분간씩 항온수조에서 가열처리한 후 즉시 메탄올과 에테르로 탈수건조시켜 감압메시케이더에 저장하면서 전보⁽¹⁰⁾의 방법으로 X-선회절상을 통하여 결정성의 변화를 관찰하였다.

다. α-아밀라아제 소화시험

X-선 회절상을 구할때 사용한것과 동일하게 온도별로 처리된 전분 100 mg씩을 취하고 여기에 8 ml의 물을 가하여 진동식 교반기로 잘 현탁시킨 후 그중 2 ml을 취하여 2M-아세트산 완충용액(pH 4.8) 1.6 ml과 0.4 ml의 물을 가하고 여기에 시판 α-아밀라아제용액(1 ml/ml, 12,000단위) 1 ml을 가하여 37°C에서 반응시킨후 그중 반응액 0.5 ml을 취하고 10 ml의 1/40 N-HCl로 반응을 정지시킨후 원심분리(3,000 rpm, 10분)하여 얻어지는 상등액의 환원당을 정량하여 다음식에 의거 호화도를 계산하였다.

호화도(%) =

$$\frac{\text{각 온도별 처리시료의 효소반응후의 환원당}}{100^\circ\text{C에서 생성된 환원당}} \times 100$$

(3) Amylogram 특성치

전분의 가열에 따른 점도변화는 Brabender-amylograph를 이용하여 시험하였다. 즉, 시료전분을 3~6%의 현탁액으로 만들고 최종용적이 500 ml가 되도록 증류수를 가한 다음 amylograph의 컵에 옮기고 1.5°C/min의 가열속도로 25°C에서부터 95°C까지 가열하고 95°C의 온도로 15분간 유지하였다가 1.5°C/min의 속도로 50°C까지 다시 냉각하면서 amylograph에 나타난 특성치를 Medcalf⁽¹⁷⁾의 방법에 따라 분석하고, pasting temperature는 측정된 amylogram에서 10 BU일때의 온도로 표시하였다.

(4) 전분질의 rheological properties

50%의 전분수용액을 100°C로 30분간 가열하여 겔을 만들되 이때 수분의 증발을 막기 위하여 가열용기를 밀봉하였다. 형성된 겔은 냉각시킨후 두께를 10 mm로 일정하게 하여 texturometer를 사용하여 다음과 같은 조건으로 측정하여 특성치를 구하였다.

Sample height, 10 mm; plunger, 18 mm lucite; platform, flat; clearance, 3 mm; voltage, 2 volts; hardness, height of first peak/voltage; cohesiveness, area of second curve/area of first curve; gumminess, hardness×cohesiveness×100.

(5) 전분의 노화특성

50%전분 현탁액을 밀봉가능한 플라스틱접시에 취하여 밀봉후 95°C로 30분간 가열하여 겔을 만든후 20분간 실온에서 냉각하고 2, 21 및 30°C에서 각각 저장하면서 경시적으로 시료를 채취하여 texturometer를 써서 다음과 같은 조건으로 그 경도를 측정하였다.

Chart speed, 750 mm/min; sample height, 8 mm; plunger, nickel needle dia, 3 mm; clearance, 3 mm; platform, flat; voltage, 2 volt.

10~20회 측정된 경도의 평균치를 Avrami⁽¹⁸⁾ 및

Cornford⁽¹⁸⁾ 등의 식에 의하여 노화과정을 분석하였다.

결과 및 고찰

전분의 용해도, 팽윤도 및 흡수도

전입자의 흡수등 미셀구조의 치밀도를 간접적으로나마 관찰하기 위하여 물에 분산시킨 전분용액을 가볍게 가열후 원심분리하므로써 용해된 전분을 측정한 결과는 Fig. 1과 같다. 즉, 90°C까지 가열하는 동안 20% 정도의 용해도를 나타낼 뿐 감자나 타피오카(tapioca) 등 다른 지하전분에 비해서 용해도가 현저히 떨어짐을 알 수 있다.

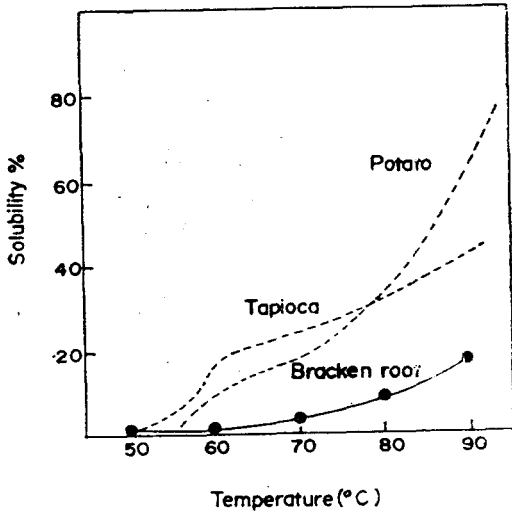


Fig. 1. Solubility of bracken root starch and other starches⁽¹²⁾

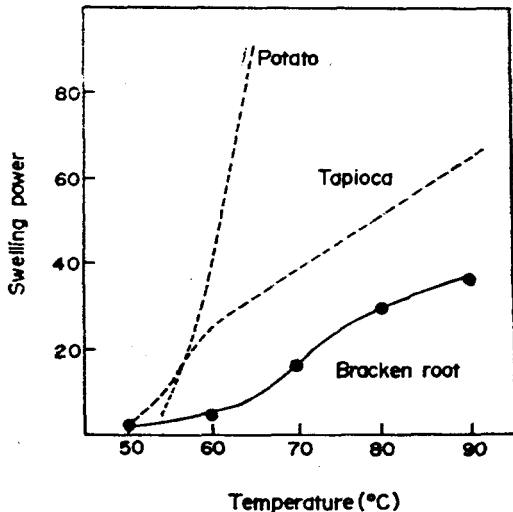


Fig. 2. Swelling power of bracken root starch and other starches⁽¹²⁾

한편, 현탁액을 원심분리해서 얻어진 침전물의 흡수에 의한 중량증가로 부터 계산된 전분의 팽윤력을 가열온도별로 표시하면 Fig. 2와 같다. 즉, 온도가 상승함에 따라 타피오카 전분의 경우와는 달리 그 상승속도가 대단히 느려서 60°C의 경우 감자전분의 약 1/12, 타피오카전분의 약 1/6에 불과하나 60°C이상에서는 상승속도가 약간 증가하다가 80°C이상에서는 다시 완만한 증가양상을 보였다. 일반적으로 천연전분은 분자내의 linear fraction인 아밀로오스가 서로 평행으로 치밀하게 결합되어 있는바, 일단 가열을 하게 되면 활발하게 움직이는 물분자가 서로 결합되어 있는 사슬간에 들어가 치밀하던 구조를 파괴함으로써 팽윤이 일어나며 따라서 본 시료전분의 결합력은 감자나 타피오카전분보다 강하게 결합되어 있음을 추정할 수 있다. 또 Fig. 2에서 보는바와 같이 서서히 팽윤이 일어나고 곡류전분은 팽윤이 2단계로 약한 부분과 그렇지 않은 부분으로 구분되나 고사리전분은 single stage pattern을 보여 주고 있다.

상온에서 시료전분을 물에 분산시켜 원심분리하여 얻은 침전물의 수분흡수에 의한 중량증가로부터 계산된 흡수율은 111%였으며 이는 감자전분등 다른 전분

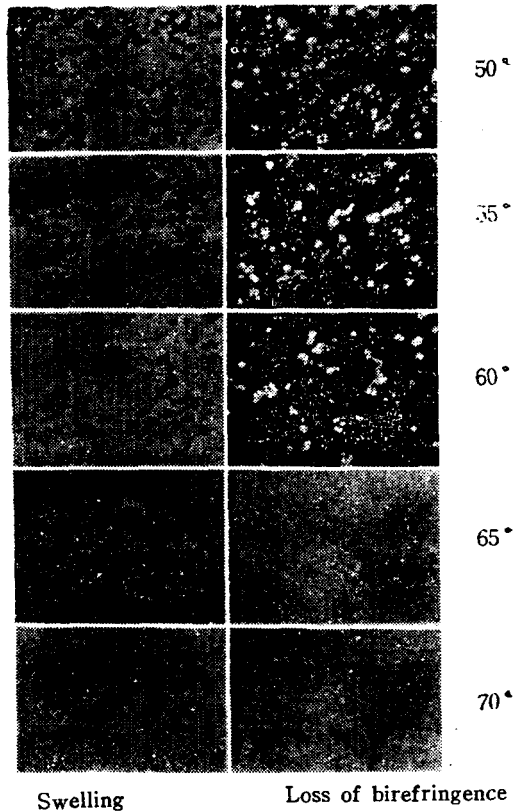


Fig. 3. Morphological changes of bracken root starch granule on heating

에 비하면 적은 편이다.

호화특성

전분입자의 가열온도에 따른 팽윤과 복굴절성의 소실을 광학 및 편광현미경으로 관찰한 결과는 Fig. 3과 같다. 즉, 50°C로 가열시에는 생 전분의 경우와 큰 차이가 없이 약간 팽윤될 뿐이나, 55°C에서는 부분적으로 호화되기 시작하여 상당수의 복굴절성을 잃고 60°C에서는 약 70%이상, 65°C에서는 약 50%, 그리고 70°C에서는 완전히 소실되었다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 동일시료의 전분에서도 전분입자에 따라서 호화개시온도가 55°C부터 65°C까지 거의 10°C이상의 차이를 보이고 있다. 이와같은 차이는 전분입자의 크기, 전분입자의 손상 및 그 구조적인 차이등에 기인된 것으로 생각된다⁽²⁰⁾.

아밀라아제 소화시험을 통한 호화도를 보기 위하여 5%의 전분시료를 온도를 달리하여 가열처리한 시료에 아밀라아제를 작용시켜 분해정도를 측정한 결과는 Fig. 5와 같다. 즉, 50~55°C에서 호화가 시작되어 55~65°C에서는 호화도가 급격히 높아지고 70°C에서는 95%이상 호화된 것을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 같은 방법으로 측정된 쌀, 밀, 옥수수 및 감자전분

의 경우보다 호화온도가 낮은 편이며 호화도가 급격히 증가하는 온도구간이 60~70°C인 감자⁽²⁰⁾에 비하면 고사리뿌리 전분은 7~8°C정도나 낮은 것을 알 수 있다.

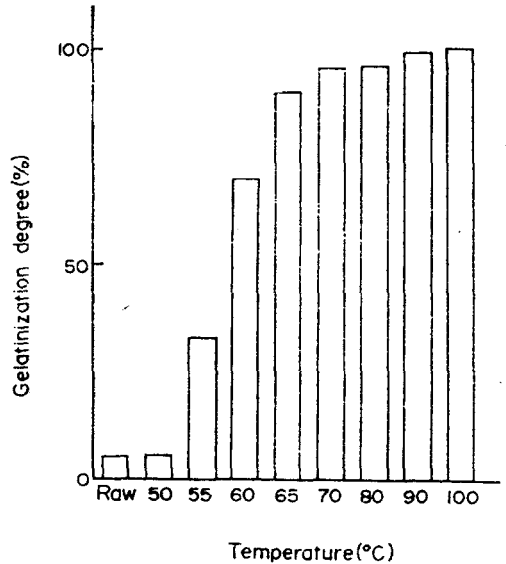


Fig. 5. Gelatinization degree determined by amylase digestibility for bracken root starch treated at various temperatures

Amylogram 특성

3~6%의 전분현탁액의 가열에 따른 점도변화를 측정된 결과는 Fig. 6과 같고 amylogram으로부터 얻은 amylogram특성치는 Table 1과 같으며 농도에 따른 특성치변화는 Fig. 7과 같다. 즉, 전분의 농도가 증가할수록 pasting temperature는 약간 낮아지는 경향이 있는데 이들 pasting temperature가 호화도 측정에서의 호화개시 온도인 55~60°C보다 높은것은 amylogram에서 10 BU일때의 온도를 나타내기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 점도상승초기의 양상을 살펴보기 위하여 0.5% carboxymethylcellulose를 5% 전분현탁액에 첨가하여 살펴본 amylogram도 singlestage로 상승하여 고사리뿌리전분의 점도 상승은 감자전분등 저하전분과 같은 양상이었다. 초기의 점도상승단계를 지나서 그 점도가 급상승하는 온도범위는 60~70°C이며 최고점도는 농도의 차이에 따라서 80 BU에서부터 840 BU까지 현저한 차이를 나타내었다. 다음에 점도가 최고에 달했을때의 온도는 농도가 증가할수록 95°C에서 75°C로 저하되었다. 한편 95°C의 온도를 그대로 유지하면서 점도변화를 통하여 안정도를 보면 전분의 농도가 5%이하의 경우는 약간 감소할 뿐이었고 이것을 다시 50°C까지 냉각하는 동안에도 점도에 큰 변화없이 안정성을 보여주었다. 고사리뿌리전분의 최고점도는

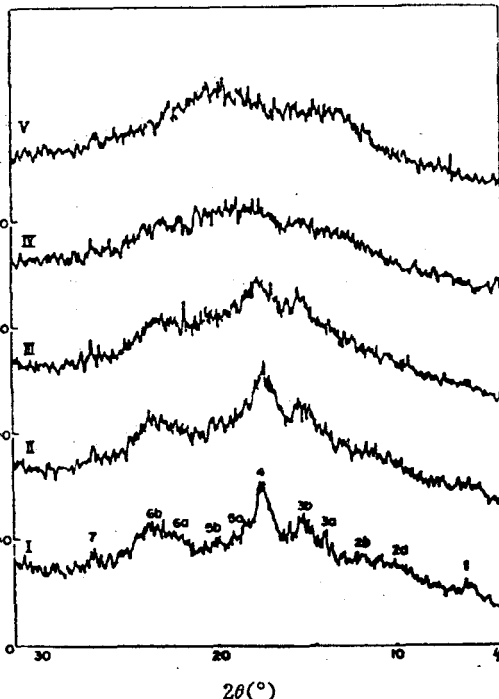


Fig. 4. X-ray diffraction patterns of bracken root starch heated at various temperatures

I, raw; II, 50°C; III, 55°C; IV, 60°C; V, 65°C

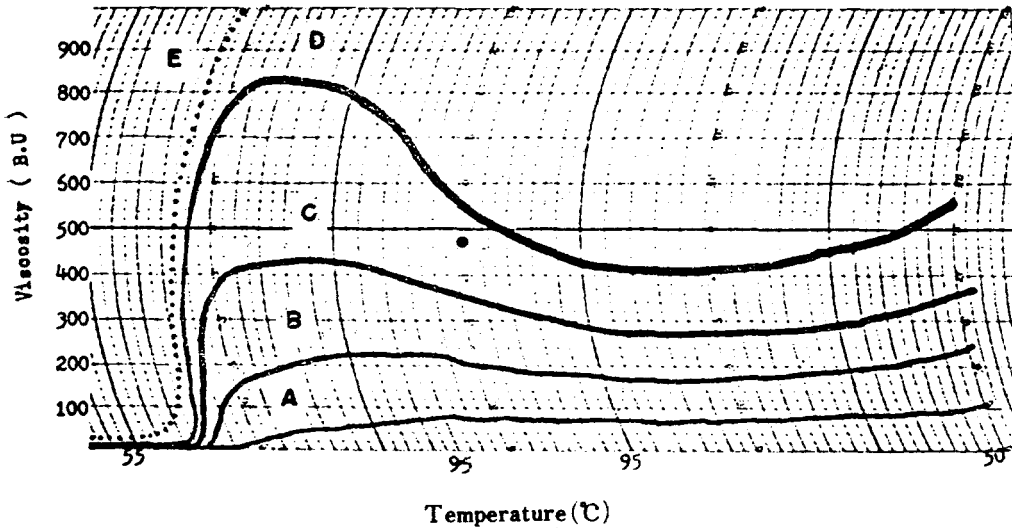


Fig. 6. Amylograms of bracken root starch

A : 3%, B : 4%, C : 5%, D : 6%, E : 5% starch with 0.5% CMC

Table 1. Amylograph data on bracken root starch

Sample	Pasting temp. (°C)	Peak height (B.U.)	Temp. at peak height (°C)	Peak height at 95°C (B.U.)	Peak height at 95°C after 15 min (B.U.)	Peak height at 50°C (B.U.)
A (3%)	68.5	80	95.0	80	75	110
B (4%)	64.0	230	88.0	230	175	235
C (5%)	62.5	435	80.5	390	285	375
D (6%)	61.5	840	76.0	690	435	555
E*	57.5	1610	73.0	940	520	650

*5% starch+0.5% CMC

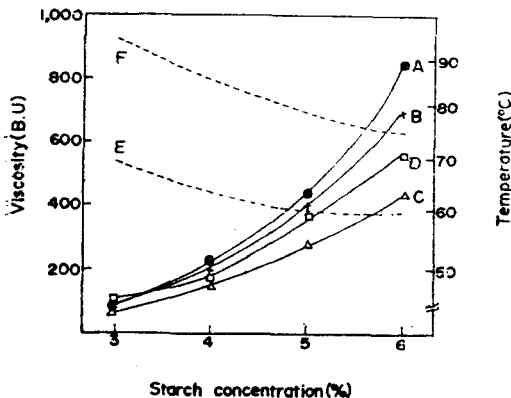


Fig. 7. Graphical analysis of amylograph data

A; peak height, B; peak height at 95°C, C; peak height at 95°C after 15 min. hold, D; peak height at 50°C, E; pasting temperature, F; temperature at peak height

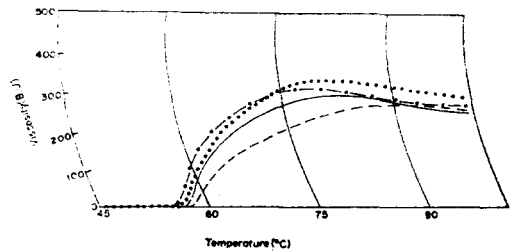


Fig. 8. Amylograms of bracken root starch treated with several chemicals

....., Defatted starch; - - -, $K_2S_2O_8$ treated; —, $Ca(OH)_2$ treated; - · - ·, NaOH treated

전분농도가 4.5%인 경우 대략 330 BU인데 비해서 감자전분은 약 900 BU이어서 감자전분의 약 1/3밖에 되

지 않으나 고구마전분과는 거의 같은 점도를 나타내고 있다⁽²¹⁾.

전분의 추출 또는 정제시에 일반적으로 사용되고 있는 NaOH, Ca(OH)₂ 및 potassium metabisulfite가 점도에 미치는 영향을 살펴본 amylograph는 Fig. 8과 같다. 즉, Ca(OH)₂와 potassium metabisulfite는 영향을 미치지 않았으나 NaOH는 가열중 점도증가를 억제하였다.

요컨대 pasting temperature가 다른 전분에 비해서 다소 높아서 60°C이상에서 점도가 상승하기 시작하지만 그 이후 60~70°C에서 점도가 급상승함은 다른 전분의 경우와 비슷하고 점도는 감자전분의 1/2, 곡류전분의 2배에 달하고 특히 일단 호화된 paste의 안정성이 크다는것이 다른 전분과 다른점이다.

전분젤의 rheology특성

고사리뿌리 전분젤의 rheology 특성을 알기 위하여 50%전분현탁액을 가열 호화시켜 젤을 만든다음 texturometer를 사용하여 그 특성을 살펴본 결과는 Fig. 9 및 Table 2와 같다. 먼저 경도는 쌀 전분보다는 약하지만 감자나 밀 전분에 비해서는 현저하게 높았다. 응집성은 다른 전분에 비해서 큰 차이가 없으나 gumminess는 경도의 경우와 마찬가지로 감자나 밀 전분의 2배였다.

고사리뿌리 전분이 다른 전분젤의 rheology특성에 미치는 영향을 보기 위하여 밀 전분과 쌀 전분에 대하

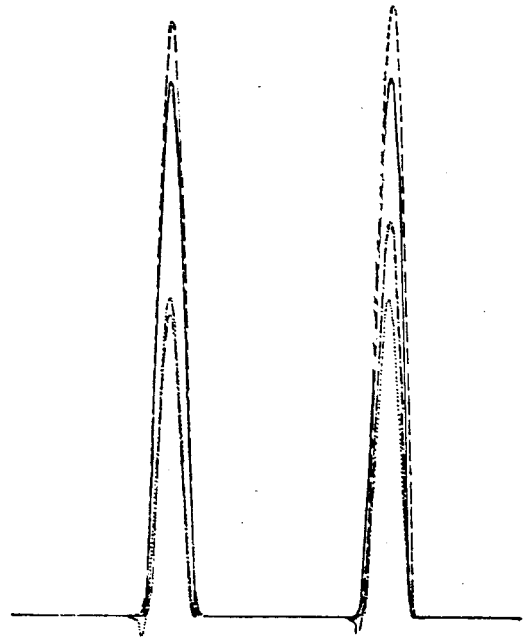


Fig. 9. Texturograms of several starch gels Sample: bracken root starch(—), red bean starch(- - -), wheat starch(- · - · -), potato starch(.....) Sample height, 8 mm; plunger, 18 mm lucite; platform, flat; clearance, 3 mm; voltage, 0.5 volt

Table 2. Textural parameters of several starches

Starch gel*	Hardness	Cohesiveness	Gumminess
Bracken root starch	12.5	0.890	1,113
Potato root starch	7.3	0.914	667
Wheat root starch	9.2	0.725	667
Red bean starch	14.2	0.895	1,271
Wheat+5% BRS**	7.1	0.642	456
Red bean+5% BRS	13.7	0.936	1,282

*50% moisture basis,

**Bracken root starch

여 각각 5%에 상당하는 고사리 전분을 첨가하여 실험한 결과는 Fig. 10 및 Table 3와 같다. 즉, 쌀 전분의 경도를 약간 감소시키고 응집성을 약간 증가시키지만 큰 영향을 주지 않았다. 한편 밀 전분의 경우는 고사리전분의 첨가에 따라서 경도가 9.2로부터 7.1로 감소하고 응집성이 약간 저하되었으며 이들 두 수치에 비례하는 gumminess도 약 30%나 낮아졌다. 즉 밀 전분에 고사리뿌리 전분을 첨가하면 다소 부드러워지는것을 알 수 있다.

고사리뿌리 전분의 노화특성

수분 50%의 전분젤을 각 온도별로 저장하면서 전분의 노화, 즉, 결정화와 유의적인 상관 관계가 있는 젤의 경도를 측정 한 결과는 Fig. 11과 같고 측정 한 경도로부터 계산된 노화특성치는 Fig. 12,13 및 Table 3과 같다. Fig. 11에서 저장 시간에 따른 경도변화를 보면 전분젤의 경도는 저장 온도가 낮아질수록 높아지는데 이는 고사리뿌리 전분의 노화가 negativ temperature

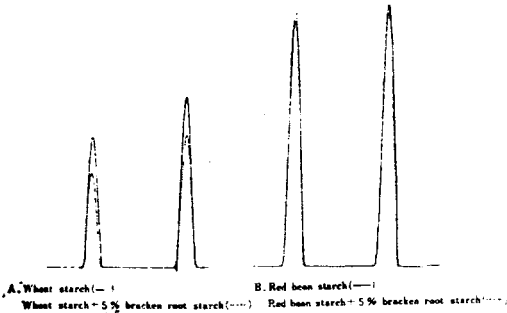


Fig. 10. Texturograms of composite starch gels
Testing conditions are same as Fig. 9.

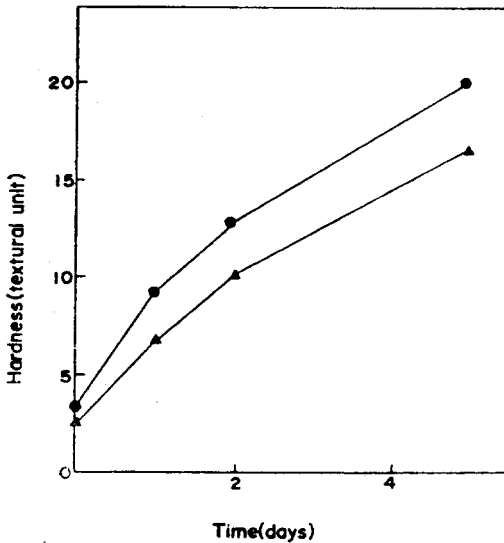


Fig. 11. Aging of bracken root starch gels at 21°C(▲) and 30°C(○)

coefficient를 가지고 있음을 증명하는 것으로 밀전분(19, 22, 23) 및 타피오카 전분(26)과 동일한 결과이다. Fig. 12 및 Table 3에서 Avrami 지수를 보면 21°C 및 30°C에서 저장한 시료는 각각 0.97 및 0.90으로서 모두 1.0에 가까운 값인데 이것은 전분의 노화, 즉, 결정화 양상이 instantaneous nucleation으로 진행되며 棒狀으로 결정이 이루어지며 다른 전분들과도 같은 양상으로 노화가 진행됨을 알 수 있다. Fig. 13에서 계산된 k 의 逆數로 표시되는 time constant를 Table 3에서 보면 고사리뿌리 전분의 노화속도는 밀 전분보다 느리고 타피오카 전분보다 빠른 중간정도임을 알 수 있다. 이와같은 현상은 밀 전분 및 타피오카 전분의 아밀로오스 함량이 각각 25%(26) 및 18%(27)인데 고사리뿌리 전분의 경우 22%로 그 중간의 값을 나타내는 것으로 보아 노화속도는 아밀로오스 함량과 밀접한 관계가 있음을 알

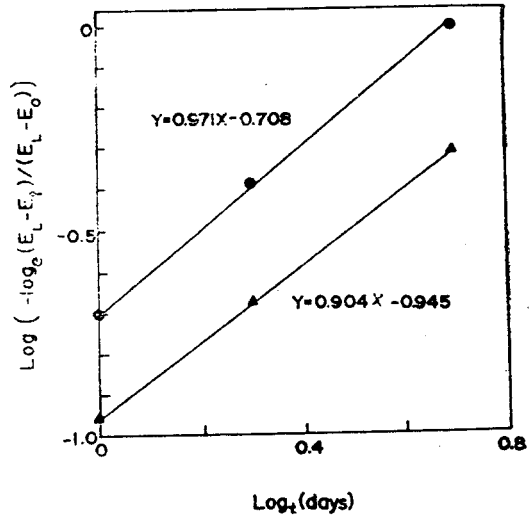


Fig. 12. Plot of $\log\left(-\log\frac{E_L - E_t}{E_L - E_0}\right)$ against \log_t of bracken root starch gels at 21°C(---) and 30°C(—)

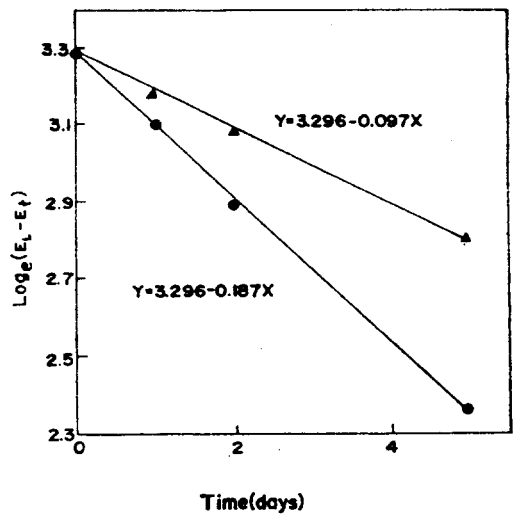


Fig. 13. Plot of $\log_e(E_L - E_t)$ against time of bracken root starch gels at 21°C(---) and 30°C(—)

수 있다. 그리고 전분질의 저장온도가 21°C보다 30°C일 때 노화속도가 느린데 그 메카니즘은 아직도 연구중이지만 다음과 같이 그 일부를 설명하고 있다. 즉, differential thermal analysis (DTA)를 이용한 밀 전분질의 노화에 따른 결정구조형성에 관한 연구에서 Collwell 등(28)은 고온에 저장된 전분질은 DTA 최대 peak가 고온으로 이전됨을 발견하였다. Smother 및

Table 3. Comparison of the Avrami exponent and time constant of bracken root starch and other starches

Sample	Avrami exponent			Time constant		
	2°C	21°C	30°C	2°C	21°C	30°C
Bracken root starch		0.97	0.90		5.35	10.31
Red bean starch		0.97			3.25	
Red bean+BRS ^o		1.03			4.08	
Wheat starch ⁽²²⁾		0.98	1.02		3.80	5.47
Tapioca ⁽²³⁾	1.0	1.07	0.96	1.78	11.60	56.18
Yam ⁽²⁴⁾	1.8	1.30	1.50	0.21	0.28	0.43

*Red bean starch 95 bracken root starch 5

Chiang⁽²⁹⁾에 의하면 일반 고분자물질에서 보다 불완전한 대칭결정체 (less symmetrically perfect crystals)는 완전대칭결정체 (perfect crystalline structure)보다 낮은 온도에서 퍼크를 보인다고 보고하였다. 이 사실을 근거로 Collwell은 밀 전분이 고온에서 더 완전한 대칭결정체를 형성하기 때문에 저장온도가 높아갈수록 노화속도가 느리다고 추정하였다. 고사리뿌리 전분의 노화도 여기에 적용될 수 있는지는 앞으로 밝혀야 할 과제이다.

한편 고사리뿌리 전분이 팔 전분의 노화에 미치는 영향을 보기 위하여 팔 전분에 5%의 고사리 전분을 첨가하여 만든 겔에 대하여 위와 같은 방법으로 노화특성치를 구한 것은 Table 3과 같다. 즉, 이들 전분의 Avrami 지수는 팔 전분은 0.97이고 혼합전분은 1.031로서 거의 1에 가까우며 따라서 일반 전분의 경우와 비슷한 결과였다. 노화속도의 지표가 되는 time constant는 팔 전분의 3.25에 비해서 혼합전분은 4.08로서 팔 전분겔의 노화를 억제하였다.

요 약

고사리뿌리 전분의 이화학적인 특성연구의 일환으로 실시된 물리적 특성시험 결과는 다음과 같다.

전분입자의 미셀구조의 결합력을 보기 위한 흡수도, 팽윤력, 용해도 시험결과 감자 전분이나 타피오카 전분보다 강한 결합을 하고 있으며 곡류전분보다는 약하며 팽윤력이 single-stage pattern을 이루고 있었다.

가열에 의한 전분입자의 복굴절성 상실, α -아밀라아제에 의한 소화성 및 X-선 회절등으로 전분의 호화과정을 살펴본 결과 55~60°C에서 호화가 시작되고 60~70°C에서는 95%이상 호화되었다.

또한 3~6%전분용액의 가열에 따른 점도변화를 amy-

ograph를 사용하여 실험한 결과 pasting temperature 62~68°C, 최고점도 80~840 BU, 50°C로 냉각후의 점도는 110~555 BU였다. 따라서 다른 전분에 비해서 점도가 낮으나 setback이 현저히 느렸다.

수분함량 50%의 전분겔의 경도는 팔 전분보다는 약하고 감자나 밀전분에 비해서는 현저히 높았다. 전분겔의 저장중 노화속도는 밀 전분보다는 느리고 타피오카 전분보다는 빨랐다.

고사리뿌리 전분은 팔 전분겔특성에 큰 변화를 주지 않지만 노화를 억제하였고 밀 전분겔에 첨가시에는 겔의 경도가 저하되어 부드러워지는 경향을 보였다.

문 헌

1. 櫻井芳人, 滿田久輝, 柴崎一雄(篇): 食品保藏, 朝倉書店, p. 356 (1966)
2. Watson, C. A. and Johnson, J. A.: *J. Food Sci.*, **30**, 450 (1965)
3. 古川三郎, 大場健吉: 澱粉工誌, **13**, 75 (1966)
4. 高岡研一, 二國二郎: 日本農藝化學會誌, **26**, 186 (1952)
5. Scott Blair, G. W.: *Foodstuffs, their plasticity, fluidity and consistency*, North Holland Pub. Co., p. 12 (1953)
6. Leach, H. W.: *Starch, Chemistry and Technology*, Whistler, R. L. and Paschall, E. F. (ed.), Academic Press., p. 289 (1965)
7. Bear, R. S. and French, D.: *J. Am. Chem. Soc.*, **63**, 2298 (1941)
8. Collison, R.: *Starch and Its Derivatives*, Radley, J. A. (ed.), 4th Ed., Chapman and Hall p. 194 (1968)

9. 岡部元雄 : 調理科學(日本), 4(3), 156 (1971)
10. 조재선 : 한국식품과학회지, 10(1), 57 (1978)
11. Leach, H. W., McCover, L. D. and Schoch, T. J. : *Cereal Chem.*, 36(11), 534 (1959)
12. Yamazaki, W. T. : *Cereal Chem.*, 30, 242 (1953)
13. Metcalf, L. D. and Schmitz, A. A. : *Anal. Chem.*, 33, 363 (1961)
14. Schoch, T. J. and Maywald, E. C. : *Anal. Chem.*, 28, 382 (1956)
15. 外山忠男 : 檜作進, 二國二郎 : 澱粉工誌(日本), 13, 70 (1966)
16. 竹田千重乃, 檜作進 : 日本農藝化學會誌, 48, 663 (1974)
17. Medcalif, D. G. and Gilles, K. A. : *Cereal Chem.*, 42, 558 (1965)
18. Avrami, M. : *J. Chem. Phys.*, 9, 177 (1941)
19. Cornford, S. J., Axford, D. W. E., and Elton, G. A. H. : *Cereal Chem.*, 41, 216 (1964)
20. 檜作進 : 食品工業(日本), 12, 89 (1969)
21. 鈴木繁男 : “덴뿌런핸드브싱”, 二國二郎篇, 朝倉書店, p. 387 (1966)
22. Kim, S. K. and D. A'ppolonia, B. L. : *Cereal Chem.*, 51 150 (1977)
23. McIver, R. G., Axford, D. W. E., Colwell, K. H. and Elton, G. A. H. : *Sci. Food Agri.*, 19, 560 (1968)
24. Brennan, J. G. and Sodah-Ayernor, G. : *die Stärke*, 25(8), 276 (1973)
25. Kim, S. K., Ciacco, C. F. and D'appolonia, B. L. : *J. Food Sci.*, 41, 1249 (1976)
26. Medcalif, D. G. and Gilles, K. A. : *Cereal Chem.*, 42, 558 (1965)
27. Higginbotham, R. S. and Morrison, G. A. : *J. Textile Inst.*, 40, T201 (1949)
28. Colwell, K. H., Axford, D. W. E., Chamberlain, N. and Elton, G. A. H. : *J. Sci. Fd. Agri.*, 20, 550 (1969)
29. Smothers, W. J. and Chiang, Y. : “*Handbook of Differential Thermal Analysis*” Chemical Pub. Co., Inc., New York, p. 57 (1966)