

## 마이크로파 가열에 의한 고구마의 가공 특성

금준석 · Juan L. Silva\* · 한 억  
한국식품개발연구원 쌀이용연구센터

### Effects of Microwave Heating on Processing of Whole Sweetpotatoes

Jun-Seok Kum, Juan L. Silva\* and Ouk Han

Rice Utilization Research Center, Korea Food Research Institute

\*Department of Food Science and Human Nutrition, Mississippi State University, U.S.A.

#### Abstract

Whole, peeled sweetpotatoes were subjected to four different processes: 15 min microwave heating followed by 15 min baking (1), 90 min baking (2), 15 min microwave heating (3), and 15 min boiling followed by 15 min microwave heating (4). Samples of green and cured roots were used in the study. Scanning electron photomicrographs revealed that cured roots contained larger numbers of starch granules in the parenchyma cells than green roots, most of them compounded. The starch in cooked green roots was gelatinized while for cured roots it was mostly hydrolyzed into dextrins and sugars. Starch in process (3) roots was mostly gelatinized while in process (1) and process (2) roots gelatinized starch appeared in little quantity, thus it was primarily converted to dextrins and sugars. The process (4) resulted in little conversion of starch. The process (1) product resulted in a similar product to the process (2) product.

#### I. 서 론

일반가정에서 고구마 수요의 감소는 소비자들이 간편하게 먹을 수 있는 편식 형태의 제품 개발이 전무하기 때문이다<sup>1)</sup>. 또한 현재 소비자들의 기호도는 가공된 군고구마 형태를 선호하는데 일반가정에서 준비하기에는 어려운 점이 많다. 고구마는 일반적으로 수확 후 바로 소비자에게 공급이 되며 일정한 조건하에서 저장(curing) 후 공급이 되면 저장성을 증진시킬 수 있다<sup>2)</sup>. 또한 탄수화물의 분해, 수분함량의 감소, 및 아밀라아제 활성의 증가 등의 생화학적 변화가 저장 중에 이루어진다<sup>3)</sup>. 고구마를 군고구마 형태로 가공하였을 때 탄수화물의 분해, 향미성분의 증가, 조직감의 변화, 및 갈색화 반응 등이 일어나<sup>4)</sup> 소비자의 기호에 적합한 형태로 되지만 이러한 방법은 약 90분 정도의 시간을 요구하게 되어 편식품을 찾는 소비자나 산업화하기에는 어려운 점이 많다. 그러므로 마이크로파를 이용하여 가열시간을 줄일 수 있는 방법이 모색되어야 한다. 그러나 마이크로파 가열은 갈색화 반응을 유도하기에는 어려운 점이 많기 때문에<sup>5)</sup> 가열방법을 혼합하여 가열시간을 줄임과 동시에 소비자의 기호에 맞는 제품 개발의 필요성이 절실하다<sup>6)</sup>. 따라서 본 연구에서는 여러가지의 가공방법을 이용하여 군고구마 형태의 제품과 유사한 형태를 제조하여 미세구조를 관찰하였다.

#### II. 재료 및 방법

##### 1. 재료

본 실험에 사용한 재료는 산지에서 수확한 고구마를 2 그룹으로 나누어 한 그룹은 7일 동안 30°C 및 85~90% 상대습도를 가진 저장고에서 저장한 후(curing) 가공실험을 하였고 다른 그룹은 수확 후(green) 바로 가공실험을 하였다.

##### 2. 방법

고구마를 회전하는 세척기에서 수세한 후 스팀(100°C)으로 3분간 가열하여 손으로 박피하였다. 모양이 일정하고 250+2g의 무게를 가진 박피한 고구마(2개)를 무작위로 선정된 후 다음의 4가지 가열방법으로 가공하였다.

1) 1400 W의 출력과 2450 MHz 주파수의 전자레인지 를 이용하여 15분 동안 최대출력으로 가열한 후 176°C에서 다시 15분간 오븐가열하였다.

2) 176°C 온도에서 90분 동안 오븐가열하였다.

3) 전자레인지에서 15분 동안 최대출력으로 가열하였다.

4) 15분 동안 끓임(boiling) 후 전자레인지에서 15분 동안 최대출력으로 재가열하였다.

위의 방법들로 고구마를 가공한 후 대조구로서 (2)의 방법이 사용되었으며, 가공된 고구마는 1시간 동안 실온에서 냉각시킨 후 미세구조 관찰을 위해 2°C 냉장고에

저장하였다.

3. 미세구조관찰기

가공한 고구마를 반으로 절단한 후 중심부위에서 2 mm의 입방체를 만들어 pH 6.8인 2% glutaraldehyde와 0.05 M Na cacodylate 용액에 넣어 얼음속에서 30분간 전처리를 한 다음 2시간마다 용액을 3회 교환한 후 24 시간 동안 4℃에서 조직을 고정화하였다. 고정화한 시료를 다시 pH 6.8인 phosphate buffer 용액으로 8회 씻어낸 후 2% OsO<sub>4</sub> 용액에서 24시간 동안 방치한 후 다시 buffer 용액으로 씻어낸 다음 30, 50, 70, 95, 및 100% 알코올용액 순으로 탈수시켰다. 탈수시킨 시료는 액체 질소 안에서 냉동시킨 후 절단하여 임계점건조기(critical point dryer, model E-3000))를 이용하여 건조시켰다. 건조한 시료는 gold-polladium으로 coating한 후 Scanning electron microscope, SEM, (Hitachi HHS-2R)을 이용하여 500배율에서 미세구조를 관찰하였다.

4. 조직감 측정

CS-1 standard shear cell을 장치한 Food Texture Test System(model FTC, U.S.A.)을 이용하여 shear force(N)를 측정하였다. 측정조건은 drive speed : 30 cm/min, chart speed : 30 cm/min, transducer range : 1/30, load range : 0~500 g으로 하였다.

5. 색도 측정

색차계(Hunter/Labscan 6000 0/45, spectrophotometer)로 측정하여 Hunter의 L, a 및 b값을 측정한 후, Hue값, SI값 및 La값을 계산하여 비교하였다. 이때 표준 색판으로는 D33C-327(L=58.0, a=36.8, b=34.2)을 사용하였다.

6. 관능검사

12명의 훈련된 관능검사 요원에 의해 오븐가열을 한 고구마를 대조군으로 하여 7점 비교검사를 하였다.

III. 결과 및 고찰

저장한 고구마와 저장하지 않은 고구마의 단면을 절단하여 미세구조를 관찰한 결과는 Figs. 1-1과 1-2에 각각 나타내었다. 수확 후의 고구마는 많은 전분(S) 입자들이 모여있는 것을 볼 수가 있으며 이러한 입자들은 대체적으로 복합적(compounded) 양상을 띄우고 있다<sup>8)</sup>. 반면에 저장을 한 고구마(Fig. 1-2)에서는 parenchyma cell안에 전분입자들이 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 저장 동안에 효소작용에 의해 전분이 덱스트린과 당으로 변화된 것을 의미한다<sup>9)</sup>. 또는 SEM 준비를 위해 에탄올에서 탈수시킬 때 당이 빠져나갈 가능성도 있다. 고구마를 (2)의 방법으로 가열하였을 때 저장하지 않은 고구마(Fig. 1-3)에서는 많은 양의 전분을 발견한 반면

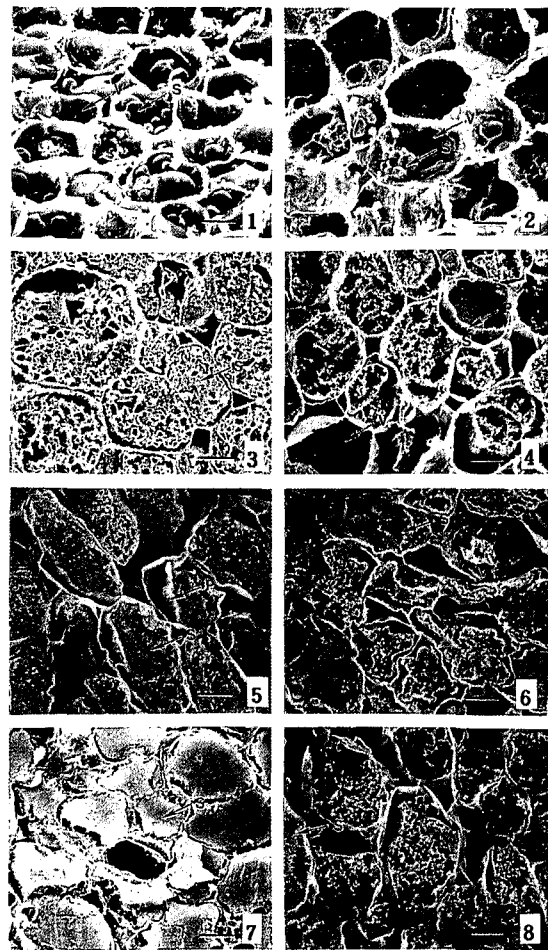


Fig. 1. Scanning electron micrographs (SEM) of a cross-section of parenchyma cells of sweetpotatoes. In all micrographs: S=starch, V=void space, P=plasmolema; 1. Raw, Green 2. Raw, Cured 3. Green, Baking 4. Cured, Baking 5. Cured, Microwave heating 6. Cured, Boiling/Microwave heating 7. Green, Microwave heating/Baking 8. Cured, Microwave heating/Baking

저장한 고구마(Fig. 1-4)에서는 전분의 양이 감소하고 그 결과로 많은 구멍(V)을 볼 수가 있다. 이 결과는 호화된 전분들이 다시 맥아당이나 덱스트린으로 분해된 결과이다<sup>10)</sup>. 이러한 분해과정에서 저장한 고구마가 저장하지 않은 고구마보다 단맛과 촉촉한 맛이 증가한다고 보고 하였다<sup>3)</sup>. Fig. 1-4의 결과에서 세포벽과 plasmolema(P)가 분리되어 있는 모습을 볼 수가 있고 또한 middle lamella가 적은 것은 저장과 가열도중 발생한 결과이다. Walter<sup>9)</sup>에 의하면 저장한 고구마는 가열도중 전분의 72~99

%가 분해되는 반면 저장하지 않은 고구마는 약 65% 정도만 분해된다고 보고하였다. Fig. 1-4에서 보인 middle lamella는 대부분이 세포안에 있는 chloroplasts에서 온 지질과 단백질로 구성되어 있다<sup>8)</sup>. (3)의 방법으로 가열한 고구마는(Fig. 1-5) 세포안에 호화된 전분들로 구성이 되어있고 이러한 호화된 전분은 당으로 분해되지 않았음을 보여주었다. 이는 급격한 온도 상승으로 효소의 불활성화가 빨리 일어나고 이로인해 전분이 당으로 분해되는 시간이 감소하는 것을 의미한다. 또한 뚜렷하게 plasmolema(P)가 분리되는 것을 볼 수가 있다. 이러한 결과, 제품에서 건조하고 단맛이 감소하게 된다. 고구마를 (4)의 방법으로 가열하였을 때 약간의 구멍(V)이 나타남으로 전분이 당으로 분해된 증거를 나타내나 아직도 많은 양의 전분이 존재하고 있다(Fig. 1-6). 이는 (2)의 방법보다 가열속도가 약 3배정도 빠르며 그 결과 효소의 불활성화가 일어나고 전분의 분해가 중지하게 된다. 저장하지 않은 고구마를 (1)의 방법으로 가열한 후에는 전분(S)이 당으로 전환되지 않고 세포안에 그대로 존재하고 있다(Fig. 1-

7). 이는 저장하지 않은 고구마는 많은 양의 전분을 함유하고 있으며 아밀레이스가 작용하기 전에 불활성화되기 때문이다. 이로 인해 매우 건조한 입촉감과 밋밋한 맛을 갖게 된다. 그러나 저장한 고구마를 (1)의 방법으로 가열한 결과는 (Fig. 1-8) 많은 구멍(V)이 보임으로 Fig. 1-4와 유사한 미세구조 모습을 보였다. 조직감 측정결과(Table 1), 가공방법에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다. 단, (2)의 방법이 가장 작은 값을 나타낸 것은 전분의 함량이 감소함으로 일어나는 현상과 일치한다. 색도 측정결과(Table 1), 가공방법에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다. 관능검사 결과(Table 2), 모든 처리구에서 마이너스 값을 얻음으로 대조구인 (2)의 방법이 가장 좋은 것으로 나타났으며, (3)의 방법이 대조구와 비교하여 가장 큰 차이를 나타내었고, (1)의 방법이 가장 작은 차이를 나

**Table 1. Effect of processing treatment on texture and color of whole sweetpotatoes**

Treatment	Attribute			
	Peak Force(N)	HUE <sup>x</sup> Angle	SI <sup>y</sup>	La <sup>z</sup>
(1)	4.45 <sup>ns</sup>	50.83 <sup>ab</sup>	32.88 <sup>a</sup>	999.00 <sup>a</sup>
(2)	2.69	50.04 <sup>b</sup>	33.12 <sup>a</sup>	999.67 <sup>a</sup>
(3)	4.68	54.15 <sup>ab</sup>	31.34 <sup>ab</sup>	853.33 <sup>ab</sup>
(4)	4.92	50.36 <sup>ab</sup>	32.23 <sup>a</sup>	923.67 <sup>a</sup>
Mean	4.19	51.35	32.39	943.92
CV (%)	42.92	5.25	5.05	11.80
LSD (0.05)	3.20	4.77	3.21	167.28

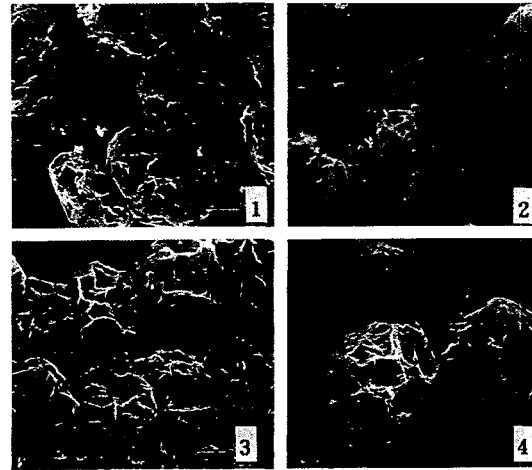
<sup>abc</sup>Means within columns not followed by a common letter differ (p<0.05).

<sup>ns</sup>Not significant (p<0.05).

<sup>x</sup>HUE Angle = tan<sup>-1</sup>(b/a) (measure color).

<sup>y</sup>SI = Saturation index = (a<sup>2</sup> + b<sup>2</sup>)<sup>1/2</sup> (chromaticity).

<sup>z</sup>La = L × a (measure orange color and brightness).



**Fig. 2. Scanning electron micrographs (SEM) of intact parenchyma cells of cured sweetpotato.**

1. Baking
2. Microwave heating
3. Boiling/Microwave heating
4. Microwave heating/Baking

**Table 2. Effect of processing treatment on sensory ratings of whole sweetpotatoes as compared to conventionally baked sweetpotatoes. (2)= control**

Treatment	Attribute				
	Appearance	Mouthfeel	Toughness	Sweetness	Flavor
	-----Sensory rating <sup>x</sup> -----				
(1)	-2.4 <sup>b</sup>	-2.5 <sup>b</sup>	-1.6 <sup>b</sup>	-1.4 <sup>b</sup>	-1.5 <sup>b</sup>
(3)	-4.8 <sup>a</sup>	-4.6 <sup>a</sup>	-2.6 <sup>ab</sup>	-3.1 <sup>a</sup>	-3.0 <sup>a</sup>
(4)	-4.2 <sup>a</sup>	-3.9 <sup>ab</sup>	-3.3 <sup>a</sup>	-3.2 <sup>a</sup>	-2.6 <sup>ab</sup>
Mean	-3.8	-3.7	-2.5	-2.6	-2.4
CV(%)	42.1	52.8	59.1	64.9	65.3
LSD (0.05)	1.34	1.62	1.24	1.39	1.32

<sup>abc</sup>Means within columns not followed by a common letter differ (p<0.05).

<sup>x</sup>On a ± 7 point rating scale from multiple comparison with a baked sweetpotato as the reference product.

타내었다. 특히 (1)의 방법은 촉촉함과 단맛에 있어서 가장 작은 차이를 보여주었다. 이 결과는 단맛과 촉촉한 맛의 증가로 (1)의 방법이 (2)의 방법으로 가열한 고구마(Fig. 1-4)와 가장 유사한 제품으로 판명되었다.

단면구조 이외에 전분입자의 표면구조를 살펴 본 결과 (2)의 방법으로 가열한 고구마(Fig. 2-1)는 (3)의 방법으로 가열한 고구마(Fig. 2-2)의 작고 주름진 모습에 비해 주름이 약간 퍼진 표면구조를 보여주었다. (4)의 방법으로 가열한 고구마(Fig. 2-3)는 가장 주름진 표면을 보여주었다. (1)의 방법으로 가열한 고구마(Fig. 2-4)는 Fig. 2-1과 유사한 구조를 나타내었다.

본 연구에서는 소비자 기호에 맞는 군고구마 제품의 형태를 갖춘 동시에 가열시간을 감소시킬 수 있는 방법을 제시하였다. 본 연구 결과 가열온도가 점진적으로 증가하면 전분이 호화된 후 alpha-아밀라아제에 의해 텍스트린으로, beta-아밀라아제에 의해 맥아당으로 분해된다<sup>11)</sup>. 이는 제품에 단맛과 촉촉한 맛을 가미하게 된다. 그러므로 (1)의 가열 방법은 시간을 (2)의 방법보다 2/3(67%) 정도 감소시키며 구조적 특성이 유사한 제품을 만드는 최선의 방법이다. (4)의 가열방법은 전분의 분해는 이루어지나 끓이는 동안 단맛이 감소하고<sup>12)</sup> 세포의 붕괴가 증가하게 된다. 앞으로 (1)의 가열방법의 최적조건을 구하는 연구가 이루어져야 하며 또한 이화학적 특성과 관능적 평가의 연구도 진행되어야 한다.

#### IV. 결 론

박피한 고구마를 4가지 가열방법 : (1) 마이크로파(15분)/오븐 가열법(15분), (2) 오븐 가열법(90분), (3) 마이크로파 가열법(15분), (4) 끓임(15분)/마이크로파 가열법(15분)에 의해 가공하였다. 본 실험에 사용한 고구마는 수확직 후(green)의 고구마와 저장 후(cured)의 고구마를 사용하였다. 미세구조 관찰 결과 저장한 고구마는 수확직 후의 고구마보다 전분입자의 수가 많았으며 형태는 복합적 양상을 보여주었다. 또한 가공 후 저장한 고구마와 수확 직후의 고구마를 비교할 때 저장한 고구마에서 호화된 전분이 텍스트린과 당으로 쉽게 분해되는 것을 볼 수가 있다. (3)의 방법은 호화된 전분이 존재하나 (1)과

(2)의 방법은 호화된 전분이 텍스트린과 당으로 분해되어 미세한 양의 호화전분만 관찰할 수 있었다. (4)의 방법은 전분의 분해가 일어나지 않았고 (1)의 방법으로 가열한 고구마는 (2)의 방법으로 가열한 고구마와 유사하였다. 즉, (1)의 방법은 가열시간을 줄임과 동시에 품질은 (2)의 방법과 유사한 제품을 만드는 최선의 방법으로 판명되었다.

#### 참고문헌

1. Silva, J.L.: Bull 340 p. 27, Mississippi State University Agr For Exp Stn., Miss. State, M.S. (1990).
2. Artschwager, E. and Starrett, R.C.: Suberization and wound periderm formation in sweet potato and gladiolus as affected by temperature and relative humidity. *J. Agric. Res.* 43: 353 (1931).
3. Edmond, J.B., Ammerman, G.R.: Sweet Potatoes: Production, Processing, Marketing, p. 216, AVI Publishing Co., Westport, CT. (1971).
4. SCS.: Bull 249, p. 15, USDA-SEA-Ar, Athens, GA (1980).
5. Mudgett, R.E.: Microwave food processing. *Food technol.* 43(1): 117 (1989).
6. Decareau, R.V. and Peterson, R.A.: Microwave Process Engineering, p. 76, Horwood LTD., Winchester, UK (1986).
7. Chaboy, J.F.: *Scanning Electron Microscopy* 3: 279 (1979).
8. Patel, A.R., Patel, M.R., and Patel, N.R.: Morphology of some legume and tuber starches grafted with polyacrylonitrile. *Starch/Starke* 37: 160 (1986).
9. Walter, W.M. Jr.: Effect of curing on sensory properties and carbohydrate composition of baked sweet potatoes. *J. Food Sci.* 52: 1026 (1987).
10. Picha, D.H.: HPLC determination of sugars in row and baked sweet potatoes. *J. Food Sci.* 50: 1189 (1985).
11. Shen, M.C. and Sterling, C.: Change in starch and other carbohydrates in baking Ipomoea batatas. *Starch/Starke* 33: 261 (1981).
12. Saran, M.A., El-Wakil, F.A. and Mordi, M.K.S.: Chemical changes in sweetpotatoes during cooking. *Egypt J. Food Sci.* 3: 25 (1975).