

## 초음파를 이용한 무증자 저 상품용 감자와 고구마의 알코올 발효 비교

김철희\* · 한재건\* · 김 영\* · 정향숙\* · 오성호\* · 정명훈\* · 정경환\*\* · 최근표\*\*\* · 박옥연\*\*\* · 이현용\*\*\*\*†

\*강원대학교 바이오산업공학부, \*\*충주대학교 식품생명공학부, \*\*\*강원도립대학 식품가공제과제빵과, \*\*\*\*강원대학교 생명공학연구소

### Comparison of Alcohol Fermentation of Low Quality Potatoes and Sweet Potatoes with Ultrasonification Process

Cheol Hee Kim\*, Jae Gun Han\*, Ling Jin\*, Hyang Sook Jung\*, Sung Ho Oh\*, Myung Hoon Jeong\*, Kyung Hwan Jung\*\*, Geun Pyo Choi\*\*\*, Uk Yeon Park\*\*\*, and Hyeon Yong Lee\*\*\*\*†

\*College of Bioscience & Biotechnology, Kangwon National Univ., ChunCheon 200-701, Korea.

\*\*Department of Food and Biotechnology, Chungju National University, Chungju 380-702, Korea.

\*\*\*Department of Food Processing & Bakery, Gangwon Provincial University, Gangneung 210-800, Korea.

\*\*\*\*Research Institute of Bioscience and Biotechnology, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea.

**ABSTRACT :** This study was performed to compare alcohol fermentation ability and saccharification of potatoes and sweet potatoes. Cooperated with ultrasonification process is not contain pass through cook process, but contain process using ultrasonification instead cook process. In result of sugar contents measurements sweet potato and potato was highest of a family at 6 hours fermentation, and it showed the highest sugar contents as each 11.5 brix, 10.4 brix. In result of alcohol contents measurements of sweet potato and potato, highest of a family in 4 days, and it showed th highest alcohol contents as each 8.2, 6.0%. Finally complex enzymes II process revealed similar activities like cook process.

**Key Words :** Potato, Sweet Potato, Alcohol Fermentation, Saccharification, Ultrasonification

## 서 언

고구마는 열대 및 아열대 지방에서 재배되는 작물로 재배가 용이하고 단위 면적당 수확량이 많아서 쌀이나 옥수수의 대용 식으로 소비되고 있다. 또한, 고구마는 천연 식이섬유, 무기물을 다량 함유하고 있으며 비타민 A의 전구체인 β-carotene의 영양성과 생리활성이 확인되면서 편의식품, 기호식품 또는 건강보조식품의 재료로 다양하게 이용되고 있다 (Kim 1995; Shin *et al.*, 1993; Suh *et al.*, 1998; Jung *et al.*, 1998).

감자는 저온성 작물로 생육기간이 짧고 단위 면적당 생산량이 높을 뿐만 아니라 전분질 이외에 칼륨, 인, 마그네슘 등의 무기질과 비타민 B군 및 비타민 C가 풍부하여 서구에서는 오래 전부터 주식으로 이용해 왔다 (Shin *et al.*, 1994). 국내에서 감자는 강원도와 제주도에서 주로 생산되고 있으나 수분 함량이 높아 저장에 어려움이 많다. 감자를 이용한 제품으로 감자탕, 국수, 수제비, 떡 등이 있으나 감자의 효율적 소비가 어려운 실정이며, 가공식품 역시 potato chip, french fride

potato, potato flour 등 일부 항목에 국한되어 소비자의 다양한 기호성을 충족시키지 못하고 있다 (Kim *et al.*, 1996).

감자나 고구마와 같은 작물들은 일부 가공 식품을 제외한 대부분의 농산물은 수확 후에도 살아있는 생명체에서 당연히 발생하는 호흡 등과 같은 생명현상에 의한 생리적 손실과 수확, 수송, 저장, 유통과정에서 불가피하게 초래되는 물리적 손실을 피할 수가 없다 (Ahn, 2004). 또한 상품성이 저하된 감자나 고구마의 경우 제한된 범위에서만 활용할 수 있어서, 이들의 문제점을 보완하기 위해 고구마와 감자의 다양한 활용에 대한 연구가 필요한 실정이다.

이들 활용 방법의 하나로 고구마와 감자에 있는 전분을 이용한 알코올 발효인데, 현재 감자와 고구마의 알코올발효는 대부분 증자 과정을 거쳐 효소 처리를 하는 복잡한 과정을 거쳐 공정상의 에너지 절감을 위해 많은 노력을 하고 있으며, 수율 또한 낮아 알코올발효에 있어 문제점이 지적되고 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 증자를 하지 않은 감자와 고구마를 기질로 알코올발효력이 우수한 균주의 개발과

†Corresponding author: (Phone) +82-33-250-6455 (E-mail) hyeonl@kangwon.ac.kr  
Received April 28, 2008 / Revised October 3, 2008 / Accepted February 4, 2009

개발이 필수적으로 요구되고 있다.

알코올 발효 균주에 관한 개발은 glucoamylase를 분비하는 효모의 개발 (Kim *et al.*, 1988), 연료용 알코올 균주 개발 (Jones *et al.*, 1994), 고농도 알코올 내성 균주의 개발 (Park *et al.*, 1992) 등이 감식초 제조를 위하여 알코올 발효력과 탄닌 내성이 우수한 효모를 감과실에서 분리하여 그 특성에 관한 연구 등 다양한 분야의 활용을 위한 균주의 분리 동정에 관한 연구가 되어 있다.

초음파는 화학반응에 적용할 경우 기포내의 고온의 가스가 순간적으로 방출되면서 라디칼의 생성률이 높아지고 또한 기포가 깨어지는 순간이 생성된 충격파로 인한 높은 압력의 영향으로 분자 간에 보다 강한 충돌이 일어나 반응도가 커지며 polymer의 경우에는 핵 중합 반응물이 크게 증대된다. 초음파 조사 시 공동화 현상뿐만 아니라 전도매체를 진동시키면, 용존산소나 기포를 액외로 방출시키는 탈기현상을 일으키므로 이들이 서로 액체와 상호작용하면서 상승작용을 일으키게 된다 (Seong *et al.*, 2002). 전분의 경우 초음파를 가한 경우 전분 입자가 뭉치는 현상이 없어지고 전분 입자의 평균 지름이 감소하는 경향을 나타내었다 (Kim, 2004).

따라서 본 연구에서는 상품성이 없는 감자와 고구마를 이용하여 알코올발효를 복잡한 증자과정 없이 간단하게 하기 위해서 증자 없이 초음파로 1차 처리 후 알코올발효능이 좋은 *Zygosaccharomyces fermentati* 균주를 이용하여 감자와 고구마의 알코올 생산능을 비교하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료

본 연구에 사용한 감자는 2005년도 강원도에서 생산된 감자와 전라남도에서 생산된 고구마를 시장에서 구입하여 이용하였으며, 효소제로는 양조용으로 시판되고 있는 누룩 (대현농산), 조효소제 (도일산업사) 및 glucoamylase (Daiwa Kasei Co., Japan)를 사용하였다.

### 2. 주모

전통식품연구소에 보관중인 *Zygosaccharomyces fermenti* KTF53을 맥아 추출물 배지 (10brix, pH6)에 감자와 고구마 80°C에서 6시간 압착 추출액을 10~15% (w/v)를 첨가해 48시간 배양하여 주모로 사용하였다.

### 3. 혼합효소제 조건

누룩과 조효소제는 자체에 일부의 전분질을 함유하고 있어 최종 당의 생성량이 많고, 정제효소와 glucoamylase는 당화력은 약하지만 짧은 시간 내에 당화가 완료되어 당화가 진행되지 않는다. 그러나 발효시간, 온도 등의 조건에 의해 실제 효

율 면에서 차이가 큰 것으로 보고되어, 감자와 고구마 전분의 경우 단일 효소제의 사용보다는 2종 이상의 효소제를 혼합하여 당화시키는 것이 적합하다 (Jeong *et al.*, 2000).

감자와 고구마 각각 500 g에 150%의 가수 후 혼합효소제로써 조효소제 25 g과 누룩 80 g을 혼합효소제 I, 조효소제 40 g과 glucoamylase 0.3 g을 혼합효소제 II를 첨가 후 60°C에서 6시간 동안 당화 후 당함량을 측정하였다.

### 4. 알코올함량 측정

발효액을 원심분리하여 얻은 상정액을 증류한 다음 증류액을 alcohol hydrometer로 측정하여 Gay Lussac table로 온도 보정하여 환산하였다 (Strehaino *et al.*, 1983).

### 5. 감자 및 고구마 당화 및 알코올 발효

감자와 고구마의 증자 여부에 따른 당화력을 비교하기 위하여, 감자와 고구마를 2 mm 두께로 slice하여 121°C에서 15분간 가압증자처리한 군과 같은 방법으로 slice 하여 60 kHz에서 10분간 3회 초음파 추출한 군을 각각 건조시켜 준비하였다.

준비한 각각의 시료에 각각 150%의 가수 상태에서 조효소제 25 g과 누룩 80 g을 혼합한 혼합효소제 I, 조효소제 40 g과 glucoamylase 0.3 g을 혼합한 혼합효소제 II를 넣고, 60°C에서 3시간 동안 2 l jar에서 발효 시킨 후 당함량을 측정하였다. 또한 각각의 감자와 고구마 당화액 3 l 에 감자와 고구마 추출액을 이용한 주모 250 ml 씩 넣은 후 25°C, 150 rpm으로 4일 동안 5 l 발효조 (한국발효기)에서 알코올발효 시켜 알코올함량과 그 수득율을 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 당화력 비교

고구마와 감자 전분의 당화 공정을 확립하기 위하여 고구마와 감자를 slice하여 증자군과 초음파 처리한 무증자군으로 각각 분리하여 산업적으로 양조용 효소제로 널리 이용되고 있는 조효소제, 정제효소, glucoamylase를 사용하여 60°C에서 6시간 당화하면서 당함량의 변화를 조사한 결과이다.

Fig. 1은 고구마의 당함량을 측정된 결과로 모두 6시간에서 당의 생성이 가장 높았으며, 증자한 것 중에 조효소제와 glucoamylase를 혼합한 혼합효소제II를 사용한 것이 가장 높은 당함량을 나타내었으며, 증자를 하지 않은 군은 증자군보다 높은 당함량을 보이지는 않았지만 증자군과 비교하였을 때 상대적으로 높은 수치를 나타내었다.

Fig. 2는 감자의 당함량을 측정된 결과로 고구마와 마찬가지로 6시간에서 당의 생성이 가장 높았으며, 증자한 것 중에 혼합효소제II를 사용한 것이 가장 높은 당함량을 나타내었다. 고구마와 마찬가지로 증자를 하지 않은 군은 증자군보다 높은

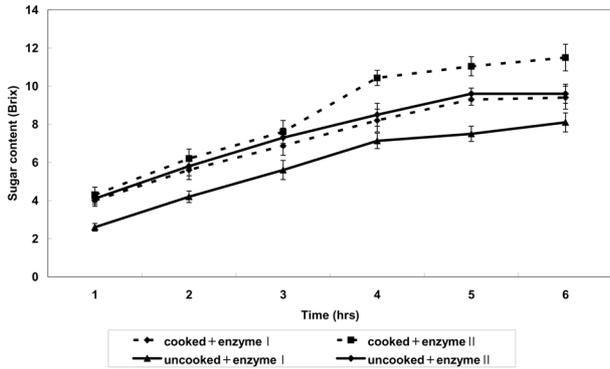


Fig. 1. Changes of sugar contents during fermentation of sweet potatoes.

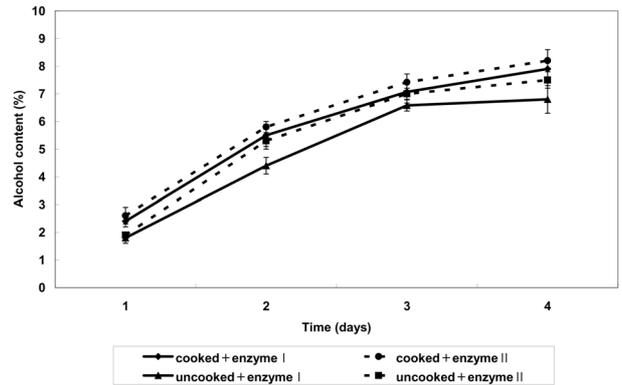


Fig. 3. Changes of alcohol contents during alcohol fermentation of sweet potatoes.

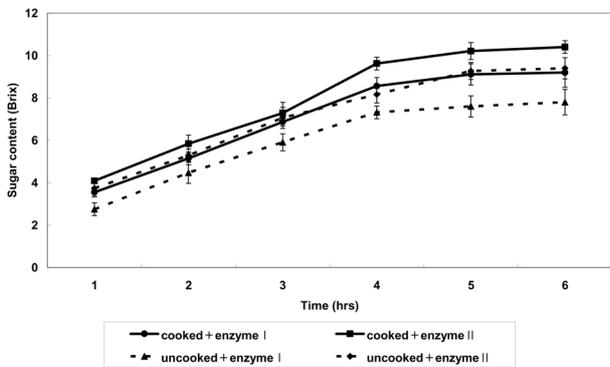


Fig. 2. Changes of sugar contents during fermentation of potatoes.

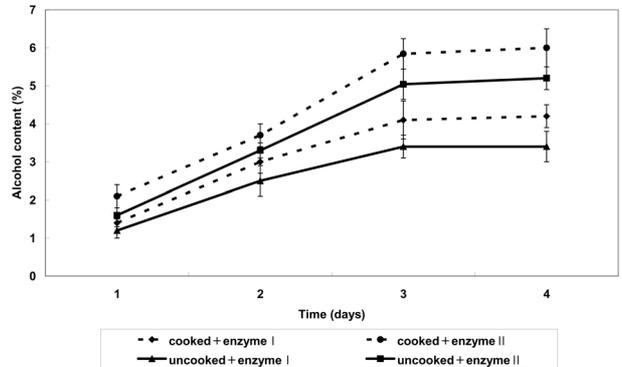


Fig. 4. Changes of alcohol contents during alcohol fermentation of potatoes.

당함량을 보이지는 않았지만 증자군과 비교하였을 때 상대적으로 높은 수치를 나타내었다.

위 결과를 통하여 감자와 고구마 전분을 당화 공정을 확립하기 위해서 혼합효소제II를 사용하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 또한 증자를 하지 않은 군이 증자군과 비교하여 높은 당함량을 나타내는 것은 증자하지 않은 군에 1차적으로 초음파 처리를 하여 감자와 고구마의 전분 입자가 분해되어 당화력에 영향을 미친 것으로 사료된다.

## 2. 알코올함량 비교

감자와 고구마의 알코올함량 비교는 감자와 고구마를 2 mm 두께로 slice하여 121°C에서 15분간 가압증자처리한 군과 같은 방법으로 slice 하여 60 kHz에서 10분간 3회 초음파 추출한 군을 각각 건조시켜 준비한 후 각각에 혼합효소제I, II를 첨가하고 60°C에서 3시간동안 당화시킨 후 알코올발효하여 알코올함량을 조사한 결과이다.

Fig. 3은 고구마의 알코올함량을 측정된 결과로 4일째에서 알코올의 생성이 가장 높았으며, 증자한 것 중에 혼합효소제II를 사용한 것이 8.2%로 가장 높은 알코올함량을 나타내었다. 증자를 하지 않은 군은 증자군보다 높은 알코올함량을 보이지

는 않았지만 증자군과 비교하였을 때 상대적으로 높은 수치를 나타내었다.

Fig. 4는 감자의 알코올함량을 측정된 결과로 4일째에서 알코올의 생성이 가장 높았으며, 증자한 것 중에 혼합효소제II를 사용한 것이 6%로 가장 높은 알코올함량을 나타내었다. 증자를 하지 않은 군은 증자군보다 높은 알코올함량을 보이지는 않았지만 증자군과 비교하였을 때 상대적으로 높은 수치를 나타내었다.

Table 1은 각 군의 당함량과 알코올함량을 종합적으로 비교하기 위해 나타낸 것이다. 앞에서의 결과에서 증자한 것 중에 혼합효소제II를 사용한 것이 가장 높은 당함량과 알코올함량을 보여주었다. 그러나 1차적으로 초음파 처리를 한 후 증자를 하지 않은 군은 증자를 한 군과 비교하여 높은 당함량과 알코올함량을 나타내었다. 이것은 초음파 처리를 할 경우 감자와 고구마의 전분이 뭉침 현상이 없어지고 전분 입자가 분해되어 영향을 미친 것으로 사료된다.

이상의 결과를 종합해 보면 감자와 고구마의 당·알코올발효를 증자 과정을 거치지 않고 1차적으로 초음파 처리 후 발효를 실시할 경우 증자를 한 것에 비해 높은 함량을 보이지는 않았지만, 비교적 높은 함량을 나타내었다. 이에 증자 과정을

**Table 1.** Comparison of alcohol and sugar contents in according to fermentation broth process.

	Sweet potato				Potato			
	Cooked		Uncooked		Cooked		Uncooked	
	Enzyme	Enzyme	Enzyme	Enzyme	Enzyme	Enzyme	Enzyme	Enzyme
Sugar (Brix)	9.4±0.5	11.5±0.7	8.1±0.5	9.6±0.6	9.2±0.7	10.4±0.3	7.8±0.6	9.4±0.5
Alcohol (% , v/v)	7.9±0.3	8.2±0.4	6.8±0.5	7.5±0.3	4.2±0.3	6.0±0.5	3.4±0.4	5.2±0.3

거치는 복잡한 공정과 시간, 에너지 등을 고려한다면, 에너지 절감과 공정의 단순화를 통하여 시간, 에너지 및 경비 절감에 많은 도움이 될 것이다.

따라서 본 연구에서 1차 초음파 처리 공정을 거쳐 발효를 실시한 공정을 통해서 증자과정을 거치지 않은 새로운 공정으로 기존의 증자를 통한 알코올발효 공정을 대체할 수 있을 것으로 기대되며, 초음파 처리 무증자 공정의 당 · 알코올 함량을 더 높일 수 있도록, 공정의 최적화를 위한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 상품성이 없는 감자와 고구마를 이용하여 효율적인 알코올 생산 공정을 확립하고자 기존의 공정과 달리, 증자 없이 감자와 고구마를 초음파로 전처리하고 *Zygosaccharomyces fermentati* KTF53 균주를 이용하여 알코올 발효하는 공정을 시행하고 당 및 알코올 생산능을 비교하였다.

고구마와 감자의 당함량 측정에서 발효 6시간 경과 시 당의 생성량이 가장 높았으며, 혼합효소제II를 사용한 것이 고구마와 감자에서 각각 11.5 brix와 10.4 brix로 가장 높은 당함량을 나타내었다. 이는 증자한 군과 비교하였을 때 당이나 알코올 함량에서 유사한 수치를 나타낸 것이다.

고구마와 감자의 알코올함량을 측정할 결과는 발효 4일째에 알코올의 생성량이 가장 높았으며, 증자한 것 중에 혼합효소제II를 사용한 것이 고구마와 감자에서 각각 8.2%와 6.0%로 가장 높은 알코올함량을 나타내었다. 이는 당함량 측정에서와 마찬가지로 증자한 군의 알코올 생성량과 유사한 정도의 생성능이다.

이상의 결과를 통해 증자 없이 초음파 전처리를 이용한 감자와 고구마의 알코올 발효 공정이 증자 공정과 비교하여 시행이 용이한 공정으로 당과 알코올 함량에서 유의적인 감소효과를 보이지 않음을 확인할 수 있다. 이는 초음파 처리를 할 경우 감자와 고구마의 전분이 뭉침 현상이 없어지고 전분 입자가 분해되기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 사료작물을 이용한 알코올 생산의 효율적인 발효를 위해 초음파 전처리를 통한 무증자 발효 공정의 지속적인 연구가 요구된다.

### 감사의 글

본 연구는 2008년 농촌진흥청에서 시행한 현안기술연구사업 (200802A01036002)의 지원에 의해 수행된 것으로 이에 심심한 사의를 표합니다.

### LITERATURE CITED

**Jeong YJ, Seo JH, Yoon SR, Lee JM, Lee GD, Kim OM and Bang KW.** (2000). Liquefaction and saccharification conditions of potatoes for alcohol fermentation using potato. *Korean Journal of Postharvest Science Technology*. 7:94-98.

**Jones AM and Ingledeu WM.** (1994). Fuel alcohol production : Optimization of temperature for efficient very-high-gravity fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*. 60:1048-1051.

**Jung ST, Rhim JW and Kang SG.** (1998). Quality properties and carotenoid pigments of yellow sweet potato puree. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*. 27:596-602.

**Kim HS and Lee YE.** (1996) Physicochemical properties of crosslinkde potato starch. *Korean Journal of Food Science and Technology*. 28:573-579.

**Kim JS.** (1995). Preparation of sweet potato drinks and its quality characteristics. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*. 24:943-947.

**Kim JY.** (2004). Alcoholic hydrolysis and ultrasonication for granular size reduction of waxy rice starch. Korea University, Seoul., Master's Thesis.

**Kim YH and Seu JH.** (1988). Culture condition for glucoamylase production and ethanol productivity of heterologous transformant of *Saccharomyces cerevisiae* by glucoamylase gene of *Saccharomyces diastaticus*. *Korean Journal of Microbiology and Biotechnology*. 16:494-498.

**Park YM, Kim CH and Rhee SK.** (1992). Selection of an ethanol tolerant *Clostridium thermohydrosulfuricum* strain. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2:226-229.

**Seong KL, Song YI and Song HS.** (2002). A study on the dye wasterwater treatment using in the ultrasonic process(1). *Journal of Korean Technology Society of Water and Waste Water Treatment*. 10(3):85-97.

**Shin YS, Lee KS and Kim DH.** (1993). Studies on the preparation of yogurt from milk and sweet potato or pumpkin. *Korean Journal of Food Science and Technology*. 25:666-671.

**Shin YS, Sung HJ, Kim DH and Lee KS.** (1994). Preparation of yogurt added with potato and its characteristics. *Korean Journal of Food Science and Technology*. 26:266-271.

**Strehaiano P, Mota M and Goma G.** (1983). Effect of inoculum on kinetics of alcoholic fermentation. *Biotechnology Letters*. 5:135-149.

**Suh HJ, Chung SH, Choi YM, Bae SH and Kim YS.** (1998). Changes in sugar content of sweet potato by different cooking methods. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*. 14:182-187.

**Ahn YS.** (2004). Sweet potato harvest and the safe storage technology. Rural Development Administration Agricultural technology 10th Press. Suwon, Korea. p. 4-5.