KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL. Vol. 47, No. 6, pp. 797~800 (2015)
http://dx.doi.org/10.9721/KJFST.2015.47.6.797

KOREAN JOURNAL OF
한국식품과학회지
FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY

©The Korean Society of Food Science and Technology

연구노트

생밀가루 첨가에 따른 쌀전분 페이스트의 노화지연 연구

배인영 · 이준우[1] · 김홍술[1] · 김경미[2] · 한귀정[2] · 김명환[3] · 전수진[4] · 이현규[1,*]
극동대학교 식품발효학과, [1]한양대학교 식품영양학과, [2]농촌진흥청 국립농업과학원, [3]단국대학교 식품공학과,
[4]Department of Human Nutrition, Food and Animal Sciences, University of Hawaii

Behavior of Retrogradation Retardation in Rice Starch Paste by Raw Wheat Flour Addition

In Young Bae, Jun Woo Lee[1], Hong Sul Kim[1], Kyung Mi Kim[2], Gwi Jung Han[2], Myung Hwan Kim[3], Soo Jin Jun[4], and Hyeon Gyu Lee[1,*]
Department of Food & Fermentation, Far East University
[1]Department of Food and Nutrition, Hanyang University
[2]National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration
[3]Department of Food Engineering, DanKook University
[4]Department of Human Nutrition, Food and Animal Sciences, University of Hawaii

Abstract The effect of raw wheat flour on starch retrogradation retardation was investigated in a rice starch paste model. Specifically, in terms of amylase activity present in the wheat flour, the retardation effect was investigated depending on reaction temperature (40, 60, and 80°C), incubation time (0, 20, 40, and 60 min), and wheat flour addition levels (0-10%). An increase in wheat flour concentration resulted in a rapid decrease in the elastic modulus (G') as the incubation time increased. The G' changes of the rice starch pastes were furthermore fitted by the first order reaction for the reaction rate estimation on the temperature basis. The experimental reaction rate of the paste sample incubated with 10% wheat flour at 40°C exhibited good agreement with the predicted value. This result implied that the first order reaction kinetics could be suitable to predict the changes in the G' as a function of incubation temperature and wheat flour concentration.

Keywords: rice starch paste model, retrogradation-retardation technology, raw wheat flour, amylase reaction rate

서 론

최근 고도의 산업화와 핵가족화로 간편한 식사대용품에 대한 선호와 웰빙 붐으로 한국의 전통식품인 떡에 대한 관심이 증가하고 있다(1). 그 중 멥쌀가루를 찐 후 쳐서 만들어지는 둥글고 긴 모양의 가래떡에 대한 대중의 인지도가 가장 높게 조사된 바 있다. 가래떡의 중요한 품질특성인 부드럽고 말랑말랑한 식감은 제조 직후의 신선한 상태에서는 유지된다. 그러나 짧은 저장기간에 의해서도 단단하게 변화하는 전분의 노화현상이 산업화의 문제점이 되고 있다(2). 떡의 노화지연을 위하여 효소, 유화제, 검류, 올리고당 등을 첨가하거나 저장조건을 다양화하는 등의 연구들이 보고되었으나 충분한 노화지연효과를 나타내지는 못하고 있다(3-5). 최근 농촌진흥청에서는 다양한 수분 첨가량, 온도, 펀칭시간 및 곡물 전분의 상호작용을 실험 변수로 하여 상온에서 제조 48시간 후에도 제조 직후의 식감을 유지하는 떡 굳음방지기술을 개발하였다(6). 특히, 상기 특허기술 중 생밀가루 첨가가 쌀전분의 노화를 지연시켜 저장 후에도 가래떡의 식감을 유지할 수 있는 주요 공정임을 확인하였다(7). 즉, 생밀가루를 첨가한 가래떡의 경도는 실온에서 3일까지 유지된 반면, 멸균 처리한 밀가루를 첨가한 가래떡은 저장 1일 후 단단하게 굳음을 보고하였다. 결과적으로 상기 특허에서 적용한 생밀가루 첨가 공정은 생밀가루에 존재하는 아밀라제의 효소적 전분 가수분해를 통하여 전분의 노화가 지연되는 핵심공정임을 입증하였다. 그러나 가래떡의 노화지연에 대한 생밀가루 내 아밀라제의 반응조건에 따른 작용기작에 대한 연구는 전무한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 생밀가루 첨가 후 반응조건에 따른 아밀라제의 전분 가수분해작용을 검토하고자 진행되었다. 즉, 가래떡 제조공정을 단순화한 쌀전분 페이스트에 떡 굳음방지기술의 핵심공정인 생밀가루를 첨가한 다음, 다양한 반응온도와 시간에서의 아밀라제 효소반응을 조사하였다. 이 때, 쌀전분 페이스트의 탄성변화를 측정함으로써 효소반응조건에 따른 전분 가수분해의 kinetics 측면을 검토하였다.

재료 및 방법

시약 및 재료

쌀전분은 KRS-2 (Matsutani Co. Ltd., Sungnam-city, Korea)를 사용하였고, 밀가루는 중력분(CJ Cheiljedang, Seoul, Korea)을 구입하여 사용하였다.

*Corresponding author: Department of Food and Nutrition, Hanyang University, Seoul 04763, Korea
Tel: 82-2-2220-1202;
Fax: 82-2-2292-1226;
E-mail: hyeonlee@hanyang.ac.kr
Received November 30, 2015; revised December 11, 2015; accepted December 11, 2015

쌀전분 페이스트 제조

쌀전분은 5% (w/w) 농도로 증류수에 분산시켜 100°C에서 25분간 교반하면서 가열한 후, 65°C까지 냉각시켜 준비하였다. 호화된 쌀전분 페이스트에 생밀가루를 다양한 농도(0, 2.5, 5.0, 10%; w/w of rice starch)로 첨가하여 5분간 균일하게 혼합하였다. 생밀가루가 첨가된 쌀전분 페이스트는 다양한 온도조건(40, 60, 80°C)에서 60분 동안 저장하면서 생밀가루 내 아밀라제 효소반응을 유도하였고, 일정 반응시간(0, 20, 40, 60분)에 시료를 취하여 탄성계수(G')를 측정하였다.

탄성 측정

쌀전분 페이스트의 G'는 serrated parallel plate geometry (35 mm diameter, 1 mm gap)가 장착된 controlled strain rheometer (RheoStress RS1, Thermo Haake, Karlsruhe, Germany)를 이용하여 20°C에서 측정하였다. 측정조건은 1.0 Hz에서 strain sweep (data not shown)을 실시하여 변형력과 변형율 사이의 선형관계가 나타나는 1.0%를 변형율로 결정하였다. 0.1-10 Hz 범위 내에서 frequency sweep에 의하여 저장탄성계수(storage modulus, G')를 측정하고, 시료당 3회 반복 측정한 것의 평균값을 나타내었다.

효소반응 kinetics

쌀전분 페이스트의 저장온도와 생밀가루 내 아밀라제 효소반응시간에 따른 G'의 변화는 식(1)과 같이 산출하였다.

$$-\frac{dG'}{dt} = kG' \quad (1)$$

여기서 k는 반응속도상수(min^{-1}), t는 반응시간(min)이다.

온도와 시간에 따른 생밀가루 내 아밀라제 효소반응의 반응속도는 식(2)와 식(3)을 사용하였다.

$$-\int_{G'_0}^{G'} \frac{dG'}{G'} = k\int_{t_0}^{t} dt \quad (2)$$

$$\ln\frac{G'}{G''_0} = -kt \quad (3)$$

결과 및 고찰

떡 굳음방지기술을 적용한 가래떡 제조공정을 단순화한 쌀전분 페이스트에 생밀가루 5%를 첨가한 후 다양한 온도에서 저장하면서 반응시간을 다르게 측정한 G'의 변화는 Fig. 1(A)와 같다. 반응온도 40°C와 60°C에서는 쌀전분 페이스트의 G'이 반응시간이 증가함에 따라 감소하였다. 반응온도 60°C에서 쌀전분 페이스트의 G'은 40°C에서 반응한 경우보다 낮은 값을 보여 생밀가루 내 아밀라제의 효소반응은 60°C에서 더욱 활발하게 나타남을 알 수 있었다. 그러나 80°C에서 반응한 쌀전분 페이스트의 G'은 생밀가루를 첨가함에도 불구하고 일정하게 유지되었다. 이는 생밀가루 내 아밀라제 효소가 불활성화되어 전분을 가수분해하지 못함을 의미한다(8). Table 1(A)는 생밀가루 5% 첨가 후 반응온도에 따른 쌀전분 페이스트의 G' 반응속도상수를 나타낸다. 40°C와 60°C의 반응온도에서 반응속도상수는 각각 0.0315 min^{-1}와 0.0415 min^{-1}로 40°C보다 60°C에서 아밀라제 반응이 빠르게 진행되었다. 그러나 80°C에서는 반응속도상수가 0 min^{-1}으로 나타나 효소적 가수분해가 진행되지 않음을 확인할 수 있었다.

아밀라제 효소의 활성이 가장 활발하다고 보고된 반응온도 60°C

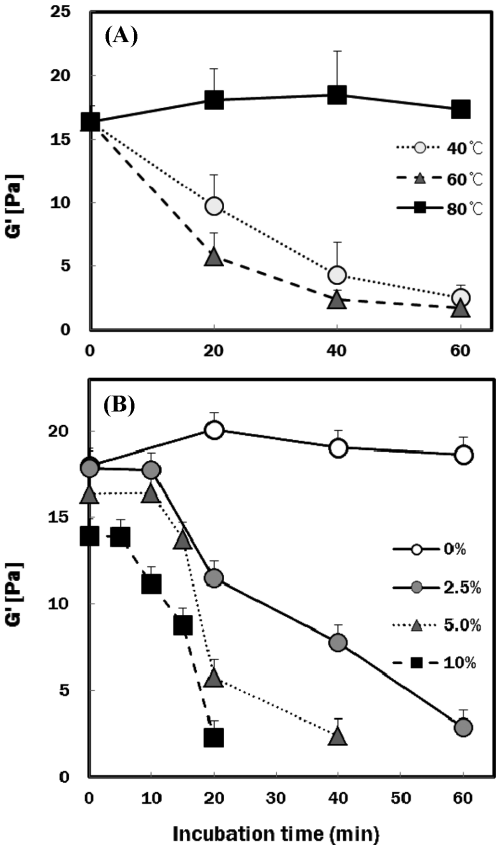

Fig. 1. Changes in the elastic modulus (G') of 5% gelatinized rice starch pastes as a function of incubation time ((A) incubation temperature and (B) addition levels of wheat flour).

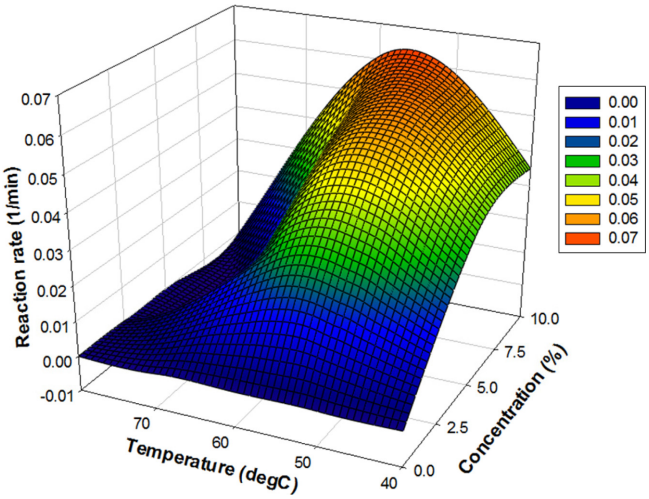

Fig. 2. 3D graphical model to predict the reaction rate based on the raw wheat flour concentration and reaction temperature.

에서 쌀전분 페이스트의 G' 변화에 대한 생밀가루 첨가량의 영향을 조사한 결과는 Fig. 1(B)와 같다. 생밀가루를 첨가하지 않은 쌀전분 페이스트의 G'은 반응시간 60분 동안 일정하게 유지되었다. 그러나 생밀가루를 첨가한 쌀전분 페이스트의 G'은 생밀가루 첨가농도와 반응시간에 의존적으로 감소하였다. 더욱이 생밀가루 10% 첨가한 경우에는 반응시간 20분만에 급격하게 G'이 감소하여 40분 이 후부터는 측정이 불가하였다. 반면, 생밀가루 2.5%와

Table 1. First order reaction rates estimated from the G' changes of rice starch pastes ((A) incubation temperature and time, (B) addition levels of raw wheat flour and incubation time, and (C) experiment and prediction values at 10% raw wheat flour and 40°C incubation temperature for the 3D graphical model validation)

(A)

Temperature (°C)	Time (min)	G'	$\ln(G'/G'_0)$	k (min^{-1})	R^2
40	0	16.353	0.000	0.0315	0.99
	20	9.695	-0.523		
	40	4.335	-1.328		
	60	2.492	-1.881		
60	0	16.353	0.000	0.0415	0.94
	20	5.766	-1.042		
	40	2.383	-1.926		
	60	1.739	-2.241		
80	0	16.353	0.000	0.000	1.00
	20	18.090	0.101		
	40	18.520	0.124		
	60	17.370	0.060		

(B)

Wheat flour concentration (%)	Time (min)	G'	$\ln(G'/G'_0)$	k (min^{-1})	R^2
0	0	17.973	0.000	0.000	1.00
	20	20.070	0.110		
	40	19.040	0.058		
	60	18.633	0.036		
2.5	0	17.850	0.000	0.0266	0.92
	10	17.760	-0.005		
	20	11.487	-0.441		
	40	7.758	-0.833		
	60	2.873	-1.827		
5	0	16.353	0.000	0.0415	0.94
	20	5.766	-1.042		
	40	2.383	-1.926		
	60	1.739	-2.241		
10	0	13.943	0.000	0.061	0.65
	5	13.875	-0.005		
	10	11.165	-0.222		
	15	8.754	-0.466		
	20	2.252	-1.823		

(C)

Time (min)	G'	$\ln(G'/G'_0)$	Experiment		Prediction
			k (min^{-1})	R^2	k (min^{-1})
0	14.210	0.000	0.035	0.83	0.034
20	3.269	-1.469			
40	1.729	-2.106			
60	1.701	-2.123			

5%를 첨가한 경우에는 각각 반응시간 40분과 60분까지 G'이 감소하여 아밀라제 효소의 전분 가수분해가 진행되고 있음을 나타내었다. 따라서 생밀가루 첨가량을 증가시킴으로써 공정에서의 반응시간을 줄일 수 있음을 기대할 수 있었다. 반응온도 60°C에서 생밀가루 첨가량에 따른 쌀전분 페이스트의 G' 반응속도상수는 Table 1(B)와 같다. 즉, 생밀가루 첨가량이 2.5, 5, 10%로 증가함에 따라 반응속도상수는 0.027, 0.042, 0.061 min^{-1}로 증가하였다. 한편, 생밀가루 무첨가 쌀전분 페이스트의 경우에는 반응속도상수가 0 min^{-1}으로 측정되어 아밀라제 반응이 일어나지 않음을 확인하였다.

이상의 결과로부터 쌀전분 페이스트의 생밀가루 첨가량, 반응온도 및 반응속도 간 3D graphical model (Fig. 2)을 얻었고, 10%의 생밀가루를 첨가하여 40°C에서 반응한 경우의 G' 반응속도상수를 예측하였다(Table 1(C)). 3D graphical model로부터 도출된 반응속도상수 예측값은 0.034 min^{-1}, 실제 실험을 통하여 얻은 반응속도상수는 0.035 min^{-1}로 분석되어 0.83의 결정계수(R^2)를 보였다.

요 약

가래떡 제조공정을 단순화한 쌀전분 페이스트에 생밀가루(0-10%; w/w of rice starch) 첨가 후 반응조건(40-80ºC, 0-60분)에 따른 아밀라제의 전분 가수분해작용을 탄성(*G'*) 변화를 측정함으로써 조사하였다. 생밀가루 내 효소 반응속도상수는 40, 60, 80ºC에서 각각 0.0315, 0.0415, 0.0000 min^{-1}으로 40ºC보다 60ºC에서 아밀라제 반응이 빠르게 진행되고, 80ºC에서는 불활성화되었다. 한편, 60ºC에서 아밀라제 반응속도상수는 생밀가루 첨가량이 2.5, 5, 10%로 증가함에 따라 0.027, 0.042, 0.061 min^{-1}로 증가하였고, 무첨가 시 0.000 min^{-1}을 보여 효소반응이 일어나지 않음을 확인하였다. 이상과 같이, 가래떡 제조공정을 단순화한 쌀전분 페이스트의 *G'*변화를 측정함으로써 쌀전분의 노화지연에 효과적인 생밀가루 내 아밀라제 효소반응속도를 예측할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ008540)의 지원에 의한 연구결과로 이에 감사 드립니다.

References

1. Kum JS. Globalism and commercialization of Korean traditional rice products. Food Ind. Nutr. 6: 11-22 (2001)
2. Kang HJ, Kim SH, Lim JK. Effect of trehalose on moisture and texture characteristics of instant *baekseolgi* prepared by microwave oven. Korean J. Food Sci. Technol. 42: 304-309 (2010)
3. Song JC, Park HJ. Effect of starch degradation enzymes on the retrogradation of a Korean rice cakes. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 32: 1262-1269 (2003)
4. Kim SS, Chung HY. Effects of carbohydrate materials on retarding retrogradation of a Korean rice cake (*karedduk*). J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 36: 1320-1325 (2007)
5. Seo NS, Roh SA, Auh JH, Park JH, Kim YR, Park KH. Structural characterization of rice starch in rice cake modified by *Thermus scotoductus* 4-α-glucanotransferase (TSáGTase). J. Food Sci. 72: C331-C336 (2007)
6. Park HY, Han SY, Han GJ. Application of retrogradation-retardation technology to Korean rice cake, *garaedduk* made from non-waxy rice. Food Sci. Technol. Res. 18: 371-374 (2012)
7. Lee JW, Kim HS, Bae IY, Lee KY, Kim MH, Han GJ, Lee HG. Antistaling of rice starch in a gel model system and Korean rice cake: The role of wheat flour in retrogradation-retardation technology. Food Sci. Biotechnol. 23: 781-786 (2014)
8. Osman AM. The advantages of using natural substrate-based methods in assessing the roles and synergistic and competitive interactions of barley malt starch-degrading enzymes. J. I. Brewing 108: 204-214 (2002)