

Avrami Kinetics에 적용한 트레할로스와 변성 전분 혼합 사용 떡의 노화 억제 분석

김상숙* · †정혜영

*한국식품연구원 유통연구단, 경원대학교 식품영양학과

Retarding Retrogradation of Korean Rice Cakes(*Karedduk*) with a Mixture of Trehalose and Modified Starch Analyzed by Avrami Kinetics

Sang Sook Kim* and †Hae Young Chung

*Korea Food Research Institute, Sunnam 463-746, Korea

Dept. of Food and Nutrition, Kyungwon University, Sunnam 461-701, Korea

Abstract

Retarding retrogradation of Korean rice cakes(*Karedduk*) with a mixture of trehalose and Sun-Tender added, after 0, 24, and 48 hr of storage at 5 °C, was analyzed by Avrami kinetics. A central composite design was used for arrangement of treatment. The two independent variables selected for retarding retrogradation analysis were amounts of trehalose(x) and Sun-Tender(y). Trehalose was added at 0, 3, 6, 9, and 12% levels, and Sun-Tender added at 0, 0.3, 0.6, 0.9, and 1.2% levels, to dry rice flour. The Avrami exponent(n) for the mixtures of 9% trehalose and 0.3% Sun-Tender, and 9% trehalose and 0.9% Sun-Tender were lower than in the control. The time constant($1/k$) for the mixture of trehalose and Sun-Tender was higher than in the control. The effect of retarding retrogradation of Korean rice cakes with added mixtures of trehalose and Sun-Tender showed an increasing trend as the amount of trehalose increased. These results suggest that adding a mixture of 9% trehalose and 0.3% Sun-Tender, or 9% trehalose and 0.9% Sun-Tender to Korean rice cakes(*Karedduk*) is effective for retarding retrogradation.

Key words: trehalose, Sun-Tender, rice cakes, retrogradation, Avrami kinetics.

서론

쌀 가공식품은 저장하는 동안 전분의 아밀로오스와 아밀로펙틴의 분자 사슬 간에 상호작용이 증가하여 재결정과 응집이 일어나는 물리적 변화로 전분의 노화가 진행되며, 전분 함유 물질은 단단해지는 것과 함께 질감이 좋지 않게 되는 현상으로 쌀 가공제품의 품질을 저하시킨다(Hoseney RC 1986; Atwell 등 1988; Kim DH 1992; Radhika 등 1994; van Soest 등 1994; Roferos & Juliano 1997).

전분의 노화를 억제하기 위하여 첨가하는 각종 첨가물에 대한 연구에서 Katsuta 등(1992)은 쌀 전분 겔의 점탄성 측정

에서 올리고당이 포도당이나 설탕보다 노화 억제에 효과적이라고 하였으며, 쌀가루에 대하여 이소말토올리고당 1, 2, 5% 첨가 수준별 쌀가루 겔의 노화도 조사에서 첨가 수준이 증가함에 따라 노화도가 감소하였다(Choi & Shin 1996). 올리고당의 일종인 maltitol 첨가량에 따른 가래떡의 노화 정도를 DSC를 이용하여 측정한 연구(Park 등 2003)에서는 maltitol 첨가량이 증가함에 따라 엔탈피가 감소하여 전분의 노화가 억제되는 경향을 나타내었다. 또한, 펜토산(Kim & D'Appolonia 1977), 식이섬유(Lee & Moon 1994), 셀룰로오스(Kohyama & Nishinari 1992), 염류(Russell & Oliver 1989; Lee 등 1993), 유화제(Miura 등 1992, Katsuta 등 2002, Kim & Chung 2007c), 밀가

† Corresponding author: Hae Young Chung, Dept. of Food and Nutrition, Kyungwon University, San 65, Bokjung-dong, Soojung-gu, Sunnam-si, Gyunggi-do 461-701, Korea. Tel: +82-31-750-5970, Fax: +82-31-750-5974, E-mail: hychung@kyungwon.ac.kr

루(Kim & Chung 2009) 등이 전분의 노화를 억제하는 것으로 알려졌다. 이들 결과를 토대로 노화 억제에 효과적인 물질들을 쌀 가공제품에 적정 수준으로 복합 배합하여 적용하는 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 노화 억제에 효과적이라고 알려진 여러 가지 단일 물질들을 혼합 사용하여 노화 억제 가능성을 분석하는 연구가 절실히 요구된다.

본 연구에서는 노화 억제 기술 개발에 대한 기초 자료를 얻어 객관적인 평가 자료로 활용하고자 당류 물질 첨가 수준별 떡의 텍스처 특성(Kim & Chung 2007a)에서 노화 억제 효과가 있는 것으로 나타난 트레할로스과 찹옥수수 변성 전분인 썬텐더를 중심합성계획법에 따라 혼합 사용하여 가래떡을 제조하였으며, 5°C 저장 0, 24 및 48시간 후 텍스처 특성 중 경도 변화를 Avrami 이론에 적용하여 노화 특성 분석을 하였다.

재료 및 방법

1. 재료

본 실험에서 가래떡 제조 시에 사용한 쌀가루는 2003년산 경기 추청미로 3시간 침지한 후 roll mill(Kyungchang machine, Kyunggi Kwangjoo, Korea)을 사용하여 습식방법에 의해 제분하였으며, 쌀가루 제조 후 사용 전까지 폴리에틸렌 봉지에 포장하여 냉동(-20°C) 보관하였다. 가래떡에 첨가된 당류 물질 트레할로스는 삼양제넥스(Seoul, Korea), 변성 전분 썬텐더는 보락(주)(Kyunggi Whasung, Korea)에서 구입하였다.

2. 실험 계획

떡의 제조는 쌀가루(300 g)에 따라 수분 함량을 43%로 조정하였고, 쌀가루 기준으로 트레할로스는 0, 3, 6, 9 또는 12% 농도로 첨가하고, 썬텐더는 0, 0.3, 0.6, 0.9 또는 1.2% 농도로 혼합 사용하여 전기찜기(SO2-6166, Shanghai SEB Electric Appliances Co., Shanghai, China)에 40분간 증자한 후 녹즙기(DC-502, Donga industry, Seoul, Korea)를 이용하여 제조하였다. 트레할로스와 썬텐더의 혼합조건에 사용한 실험 계획법은 Gacula (1993)의 two factor composite design에 의한 중심합성계획법(central composite design)에 따라 실험 설계를 하였다. Table 1과 같이 각 요인들의 첨가 수준을 -2, -1, 0, 1, 2의 5단계로 부호화하여 중심합성계획법에 따라 9구간으로 설정하여 실험을 실시하였고(Table 2), 그 실험군의 결과값을 무첨가군과 비교 분석하였다.

3. 저장 중 Rigidity Modulus(E)의 변화 측정

제조된 가래떡을 5°C 냉장 보관하면서 0, 24 및 48시간 경과 후 rigidity modulus(E)를 Texture Analyzer(model TA-XT2, Stable Micro System Ltd., Haslemere, England)를 사용하여

Bourne(1978)에 의해 기술된 방법으로 측정하였으며, pre-test speed 5.0 mm/sec, post-test speed 10.0 mm/sec, test speed 1.7 mm/sec, distance format 25% strain의 조건으로 분석하였다(Kim & Chung 2007b). 떡을 지름×높이=12.5×15 mm 크기로 자른 후 TPA(texture profile analysis) 방법에 의해 두 번 압착하였을 때 얻어진 곡선으로부터 얻어진 경도(hardness) 값으로 rigidity modulus(E)의 변화를 측정하였다.

4. 반응속도론적 노화도 분석

가래떡의 조직감 특성 중 경도 변화를 Kim 등(1976)에 의해 기술된 Avrami 방정식에 적용하였고, Kim & Chung(2007b)과 같은 방법으로 노화 특성 분석을 하였다.

경도의 변화로

$$\theta = e^{-kt^n} \quad (1)$$

θ = 일정시간 후 결정화 되지 않는 부분

k = 속도상수(rate constant)

n = 결정화 mode에 따라 1~4의 값을 갖는 Avrami 지수

t = 저장시간

$$\frac{E_L - E_t}{E_L - E_0} = e^{-kt^n} \quad (2)$$

E_0 = 초기(0시간)의 경도

E_t = t 시간 경과 후의 경도

E_L = 이론적으로 도달할 수 있는 최고의 경도

가래떡의 이론적 최고 경도(limiting modulus)는 5°C에서 4일간 저장 후 경도로 얻었다.

식 (2)에서 자연로그와 상용로그를 취하면 다음과 같다.

$$\ln(E_L - E_t)/(E_L - E_0) = -kt^n \quad (3)$$

$$\log\{-\ln(E_L - E_t)/(E_L - E_0)\} = \log k + n \log t \quad (4)$$

Avrami 지수(n)는 log로 표시된 식 (4)에서 $\log\{-\ln(E_L - E_t)/(E_L - E_0)\}$ (y축)을 $\log t$ (x축)에 대하여 좌표로 나타낸 그래프의 기울기로 구하였다.

식 (2)에서 자연로그를 취하면 다음과 같다.

$$\ln(E_L - E_t) = -kt^n + \ln(E_L - E_0) \quad (5)$$

속도상수(k)는 방정식 (5)로부터 $\ln(E_L - E_t)$ 와 시간 t 를

축으로 한 그래프의 기울기로 구하였으며, 시간상수(1/k)는 속도상수(k)의 역수를 사용하였다.

5. 통계분석

본 실험은 3회 반복 실험하였으며 실험군간 차이검증은 SAS(Statistical Analysis System, ver. 8.2)를 이용하여 분산분석을 실시하였다. 분산분석 결과, 실험군간 차이가 있는 특성의 경우, 실험군의 평균값 간의 차이수준 여부를 결정하기 위해 SNK(Student Newman Keul)의 다중비교 방법을 사용하였다. 또한 Avrami 방정식에 따라 산출한 시간상수(1/k)에 대한 첨가물 트레할로스와 썬텐더의 혼합 효과는 SigmaPlot® 9.0 software(SigmaPlot® 9.0 User's Guide, Richmond, USA)를 사용하여 회귀분석을 실시하였다. 독립변수는 혼합 사용에서 중요한 변수로 고려되는 트레할로스(x)와 썬텐더(y) 2개의 요인으로 설정하였고, 반응변수는 시간상수(1/k)로 설정하여 반응표면분석법(response surface methodology, RSM)을 이용하여 contour plot으로 나타내었다.

결과 및 고찰

1. 경도 변화를 Avrami Kinetics에 적용한 Avrami 지수(n)

트레할로스와 변성 전분인 썬텐더의 혼합 사용에 의한 떡의 노화 특성을 분석하기 위하여 트레할로스와 썬텐더를 two factor composite design(Table 1, 2)에 의한 중심합성계획법에 따라 쌀가루 기준으로 트레할로스는 0, 3, 6, 9 또는 12% 농도로 첨가하고 변성 전분인 썬텐더는 0, 0.3, 0.6, 0.9 또는 1.2%

Table 1. Levels of addition based on central composite design

Variable	Symbol	Coded-variables				
		-2	-1	0	1	2
Trehalose(%)	x	0	3	6	9	12
Sun-Tender(%)	y	0	0.3	0.6	0.9	1.2

Table 2. Experimental design of mixture conditions of Korean rice cakes

Experiment number	Trehalose		Sun-Tender	
	Code	%	Code	%
1	-1	3	-1	0.3
2	1	9	-1	0.3
3	-1	3	1	0.9
4	1	9	1	0.9
5	-2	0	0	0.6
6	2	12	0	0.6
7	0	6	-2	0
8	0	6	2	1.2
9	0	6	0	0.6

농도로 혼합 사용하였고, 쌀가루에 따라 수분 함량을 43%로 조정(Kim & Chung 2007c)하여 제조한 가래떡을 5°C 냉장 보관하면서 제조시간 0, 24 및 48시간 경과 후 가래떡의 경도의 변화를 Avrami 방정식에 따라 실험군의 떡을 무첨가군 떡과 비교하여 노화 특성 분석을 하였다. 효과적인 노화 억제 물질의 기준은 무첨가군과 비교하여 Avrami 지수(n)는 낮은 값으로 판단하였다. 트레할로스와 썬텐더를 혼합 첨가하여 제조한 가래떡을 5°C 냉장 보관하면서 제조시간 0, 24 및 48시간 경과 후 가래떡의 경도의 변화를 Avrami 방정식에 따라 $\log\{-\ln(E_L - E_t)/(E_L - E_0)\}$ 와 $\log t$ 를 축으로 나타낸 그래프는 Fig. 1에 있으며, 무첨가군(control)을 포함한 트레할로스와 썬텐더가 혼합 첨가된 가래떡의 Avrami 지수(n)는 Table 3에 나타나 있다.

본 실험의 무첨가군 떡의 결정화 형태를 나타내는 Avrami 지수(n) 값은 1.708을 보였으며, 실험군의 경우 Table 3에 나타난 바와 같이 1.228에서 2.552 범위에 있었다. 떡의 노화에 대한 다른 연구(Song & Park 2003a; Song & Park 2003b; Shin & Song 2004)에서는 Avrami 지수(n)가 0.90~1.27 범위로 거의 1.0에 가까운 값을 나타내었다. 이들 실험 조건은 저장시

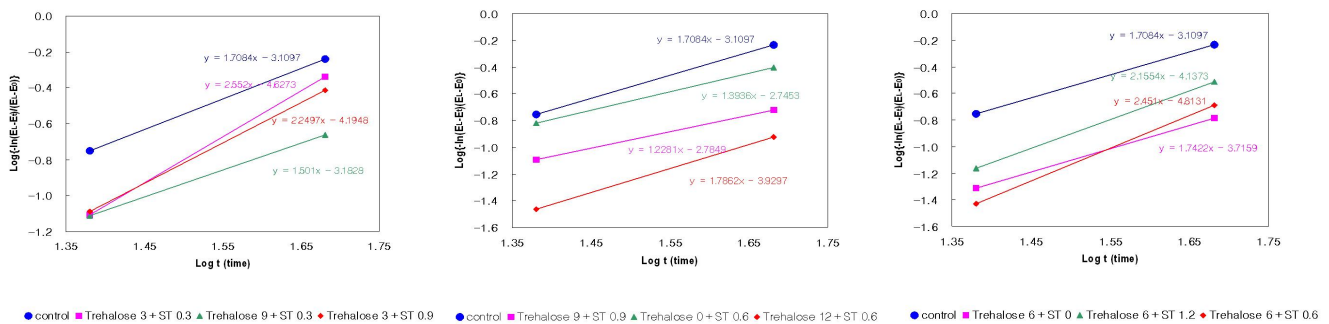


Fig. 1. Plot $\log\{-\ln(E_L - E_t)/(E_L - E_0)\}$ vs $\log t$ for Korean rice cakes with a mixture of trehalose and Sun-Tender after 0, 24 and 48 hr of storage at 5°C.

Table 3. Avrami exponent(*n*), rate constant(*k*) and time constant(1/*k*) of Korean rice cakes

Samples		Avrami equation analysis		
Trehalose (%)	Sun-Tender (%)	Avrami exponent (<i>n</i>) ¹⁾	Rate constant (<i>k</i>) ²⁾	Time constant (hr) (1/ <i>k</i>)
0	0	1.708	1.21×10 ⁻²	82.64
3	0.3	2.552	0.96×10 ⁻²	104.17
9	0.3	1.501	0.46×10 ⁻²	217.39
3	0.9	2.250	0.81×10 ⁻²	123.46
9	0.9	1.228	0.40×10 ⁻²	250.00
0	0.6	1.394	0.83×10 ⁻²	120.48
12	0.6	1.786	0.25×10 ⁻²	400.00
6	0	1.742	0.34×10 ⁻²	294.12
6	1.2	2.155	0.64×10 ⁻²	156.25
6	0.6	2.451	0.42×10 ⁻²	238.10

¹⁾ Values obtained from slop of plot $\log\{-\ln(E_L - E_t)/(E_L - E_0)\}$ vs $\log t$.

²⁾ Values obtained from slop of plot $\ln(E_L - E_t)$ vs time.

간이 본 연구와 다르게 시간(hour)이 아니고 일(day)에 대하여 Avrami 지수(*n*) 값을 구하였기 때문에 설명될 수 있으며, 이러한 값은 본 실험에서 사용된 5°C 냉장 보관에 의한 급속한 결정핵(결정체) 형성에 기인하였다고 판단된다. 또한 노화 과정에서 전분의 결정화 현상은 분자들이 덩어리를 형성하기까지는 매우 불안정하지만 그 이상에서는 일정한 크기로 증가한다고 하였다(Song & Park 2003a; Song & Park 2003b; Shin & Song 2004).

본 실험에서는 트레할로스와 썬텐더가 혼합 사용의 경우, 트레할로스 9%와 썬텐더 0.9% 농도로 혼합 첨가한 수준과 트레할로스 9%와 썬텐더 0.3% 농도로 혼합 첨가한 수준에서 *n*값이 각각 1.228과 1.501으로 가장 낮았으며, 트레할로스

6%와 썬텐더 0.6% 농도로 혼합 첨가한 경우와 트레할로스 3%와 썬텐더 0.3% 농도로 혼합 첨가한 수준에서 *n*값이 각각 2.451과 2.552으로 가장 높았다(Table 3). 따라서 트레할로스와 썬텐더가 혼합 사용의 경우 트레할로스 9%와 썬텐더 0.3% 농도로 혼합 첨가한 수준과 트레할로스 9%와 썬텐더 0.9% 농도로 혼합 첨가한 수준에서 저장 중 떡의 노화 억제에 효과가 있는 것으로 나타났다.

Kim & Chung의 연구(2007b)에서도 여러 가지 종류의 당류 첨가물 중 트레할로스 10%와 5% 첨가 수준에서 Avrami 지수(*n*) 값이 각각 2.004과 2.429로 나타나 트레할로스 10% 첨가된 떡이 트레할로스 5% 첨가된 떡보다 노화 억제 효과가 큰 것으로 나타났으며, 이는 트레할로스와 썬텐더의 혼합 효과에서 트레할로스 9% 첨가가 트레할로스 6% 또는 3% 첨가보다 효과적이고 트레할로스의 함량이 높을수록 노화 억제 효과가 있다는 것을 설명하여준다.

2. 경도 변화를 Avrami Kinetics에 적용한 시간상수(1/*k*)

트레할로스와 변성 전분인 썬텐더의 혼합 첨가에 의한 떡의 저장시간 0, 24 및 48시간 경과에 따른 가래떡의 경도의 변화를 Avrami 방정식에 따라 $\ln(E_L - E_t)$ 와 시간 *t*를 축으로 한 그림은 Fig. 2에 있다. 이런 결과로 속도상수(*k*)는 $\ln(E_L - E_t)$ 와 시간 *t*를 축으로 한 그래프에서 구하였으며 (Fig. 2), 시간상수(1/*k*)는 속도상수(*k*)의 역수를 사용하였다. 효과적인 노화 억제 물질의 기준은 무첨가군과 비교하여 시간상수(1/*k*)는 높은 값으로 판단하였다. 무첨가군(control)을 포함한 트레할로스와 썬텐더가 혼합 첨가된 가래떡의 시간상수(1/*k*)는 Table 3에 나타나 있다.

Table 3에 나타난 바와 같이 노화의 속도를 나타내는 시간상수(1/*k*)는 무첨가군 떡의 경우 82.64였고, 실험군의 경우는 104.17에서 400.00 범위에 있었다. 무첨가군보다 Avrami 지수(*n*) 값은 낮고 시간상수(1/*k*) 값은 높은 실험군은 트레할로스 9%와 썬텐더 0.9% 혼합 첨가와 트레할로스 9%와 썬텐더

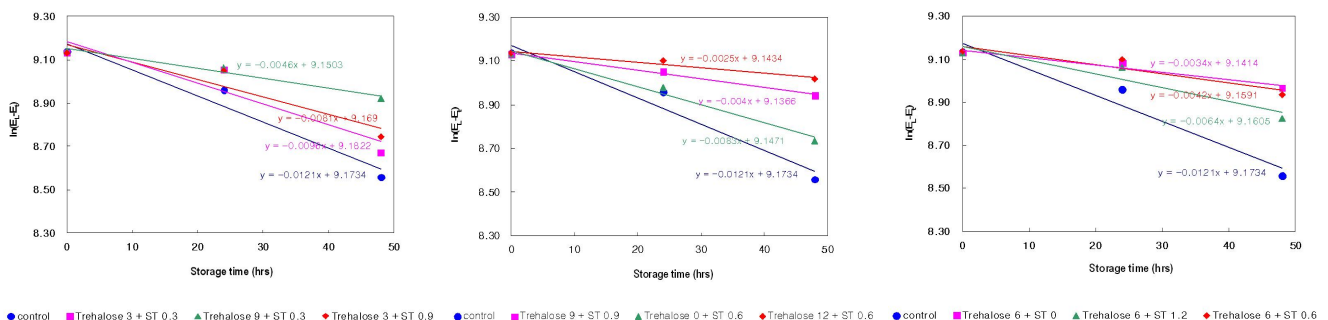


Fig. 2. Plot $\ln(E_L - E_t)$ vs time for Korean rice cakes with a mixture of trehalose and Sun-Tender after 0, 24 and 48 hr of storage at 5°C.

0.3% 혼합 첨가한 경우이었다. 가래떡의 경도의 변화를 Avrami 방정식에 따라 노화 특성 분석한 연구(Kim & Chung 2007b)에서 노화의 속도를 나타내는 시간상수($1/k$)는 무첨가군 떡의 경우 43.29였고, 실험군의 경우는 37.45에서 238.10 범위에 있었고 트레할로스 10% 첨가된 떡은 시간상수($1/k$)가 238.10으로 노화의 진행 속도가 가장 낮았다. 트레할로스는 5% 첨가군 떡은 시간상수가 78.13으로 나타나 트레할로스 10% 첨가된 떡이 트레할로스는 5% 첨가군 떡보다 무첨가군에 비해 노화 억제 효과가 큰 것으로 나타났다.

첨가물 혼합 첨가에서 중요한 변수로 고려되는 인자인 트레할로스(x)와 썬텐더(y) 2개의 요인을 독립변수로 설정하였고 시간상수($1/k$)를 반응변수로 하여 시간상수($1/k$)에 대한 트레할로스와 썬텐더의 혼합 효과는 Fig. 3에 나타나 있다. 회귀분석을 실시하여 본 결과, 적합한 정도를 설명하는 결정계수 R^2 는 0.8121로 높은 값이므로 추정된 혼합 효과는 적합하다는 것을 나타내었다. 또한 이때의 시간상수($1/k$)에 대한 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$z = 110.3378 + 13.8464x - 28.7526y + 0.8234x^2 - 15.0312y^2$$

$$(R^2=0.8121)$$

(z: 시간상수($1/k$), x: 트레할로스, y: 썬텐더)

시간상수($1/k$)에 대한 트레할로스와 썬텐더의 혼합 효과에서는 반응표면분석법으로 나타낸 contour plot에서 트레할로스의 함량이 높을수록 시간상수가 높아져 떡이 굳는데 더

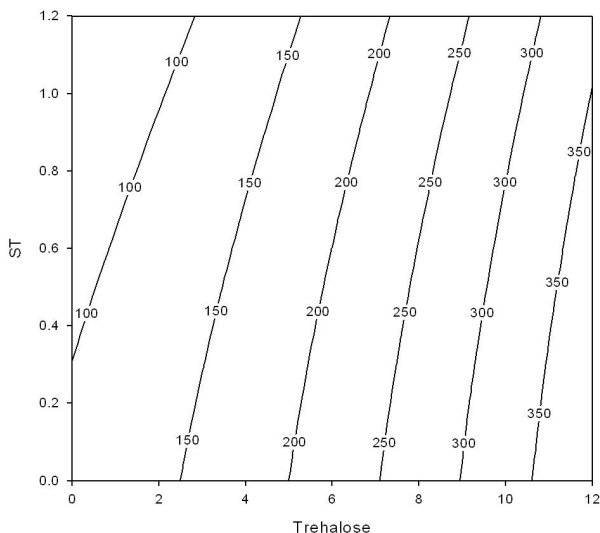


Fig. 3. Response surface plots illustrating effect of trehalose and Sun-Tender on time constant($1/k$) of Korean rice cakes with a mixture of trehalose and Sun-Tender after 0, 24 and 48 hr of storage at 5°C. x=Trehalose, y=ST(Sun-Tender).

많은 시간이 걸리며, 노화상수($1/k$)에 대한 썬텐더의 영향은 크지 않은 것으로 나타나 썬텐더보다 트레할로스가 떡의 노화 억제에 효과적이었다(Fig. 3). 결론적으로 트레할로스와 썬텐더의 혼합 사용 경우 트레할로스 9%와 썬텐더 0.3% 농도로 혼합 첨가한 경우와 트레할로스 9%와 썬텐더 0.9% 농도로 혼합 첨가한 수준에서 저장 중 떡의 굳기를 억제시키는 것으로 나타나 노화 억제에 효과가 있는 것으로 나타났다.

요약 및 결론

트레할로스와 변성 전분인 썬텐더의 혼합 사용 떡의 노화 특성 분석을 위하여 중심합성계획법에 따라 쌀가루 기준으로 트레할로스는 0, 3, 6, 9 또는 12% 농도로 첨가하고 변성 전분인 썬텐더는 0, 0.3, 0.6, 0.9 또는 1.2% 농도로 혼합 사용하여 제조한 가래떡을 5°C 저장 0, 24 및 48시간 후 텍스처 특성 중 경도의 변화를 Avrami 방정식에 따라 실험군의 떡을 무첨가군 떡과 비교하여 노화 특성 분석을 하였다. 효과적인 노화 억제 물질의 기준은 무첨가군과 비교하여 Avrami 지수(n)는 낮은 값으로, 시간상수($1/k$)는 높은 값으로 판단하였다. Avrami 지수(n)는 트레할로스와 썬텐더가 혼합 사용의 경우 트레할로스 9%와 썬텐더 0.9% 농도로, 트레할로스 9%와 썬텐더 0.3% 농도로 혼합 첨가한 수준에서 n 값이 각각 1.228과 1.501으로 낮게 나타났다. 노화의 속도를 나타내는 시간상수($1/k$)는 무첨가군 떡의 경우 82.64였고, 실험군의 경우는 104.17에서 400.00 범위에 있었다. 트레할로스의 함량이 높을수록 시간상수($1/k$)가 높았으며, 썬텐더의 양은 크게 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 따라서 트레할로스와 썬텐더의 혼합 사용의 경우 트레할로스 9%와 썬텐더 0.3% 농도로 혼합 첨가한 경우와 트레할로스 9%와 썬텐더 0.9% 농도로 혼합 첨가한 수준에서 저장 중 떡의 노화 억제에 효과가 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 농림부에서 시행한 농림기술개발 사업의 연구비 지원으로 수행된 연구결과물의 일부로 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Atwell WA, Hood LF, Lineback DR, Varriano-Marston E, Zobel HF. 1988. The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *Cereal Foods World* 33:306-311
- Bourne MC. 1978. Texture profile analysis. *Food Technol* 32:

62-72

- Choi CR, Shin MS. 1996. Effects of sugars on the retrogradation of rice flour gels. *Kor J Food Sci Technol* 28:904-909
- Gacula MC. 1993. Product optimization. In: Design and Analysis of Sensory Optimization. pp.105-236. Food & Nutrition press, Trumbull, CT, USA.
- Hoseney RC. 1986. Principles of Cereal Science and Technology. pp.54. The American Association of Cereal Chemists, Inc. Minnesota, USA.
- Katsuta K, Nishimura A, Miura M. 1992. Effects of saccharides on stabilities of rice starch gels. II. Oligosaccharides. *Food Hydrocolloids* 6:399-408
- Katsuta K, Tsutsui K, Maruyama E, Makoto M. 2002. Anti-firming efficacy of food emulsifiers on rice starch gel. *J Appl Glycosci* 49:145-152
- Kim SK, Ciacco CF, D'Appolonia BL. 1976. A research note - kinetic study of retrogradation of cassava starch gels. *J Food Sci* 41:1249-1250
- Kim SK, D'Appolonia BL. 1977. Effect of pentosans on the retrogradation of wheat starch gels. *Cereal Chem* 54:150-160
- Kim DH. 1992. Food Chemistry. pp.300-307. Tamgudang, Seoul, Korea.
- Kim SS, Chung HY. 2007a. Texture properties of a Korean rice cake (*Karedduk*) with addition of carbohydrate materials. *J Kor Soc Food Sci Nutr* 36:1205-1210
- Kim SS, Chung HY. 2007b. Effects of carbohydrate materials on retarding retrogradation of a Korean rice cake (*Karedduk*). *J Kor Soc Food Sci Nutr* 36:1320-1325
- Kim SS, Chung HY. 2007c. The texture and descriptive sensory characteristics of a Korean rice cake (*Karedduk*) with added emulsifier. *Kor J Food Nutr* 20:427-432
- Kim SS, Chung HY. 2009. The effects of wheat flour addition on retarding retrogradation in Korean rice cakes (*Karedduk*). *Kor J Food Nutr* 22:185-191
- Kohyama K, Nishinari K. 1992. Cellulose derivatives effects on gelatinization and retrogradation of sweet potato starch. *J Food Sci* 57:128-131
- Lee SY, Lee SG, Kim KJ, Kwon IB. 1993. Effects of alum on the physiochemical properties. *Kor J Food Sci Technol* 25:355-359
- Lee YH, Moon TW. 1994. Composition, water-holding capacity and effect on starch retrogradation of rice bran dietary fiber. *Kor J Food Sci Technol* 26:288-294
- Miura M, Nishimura N, Katsuta K. 1992. Influence of addition of polyols and food emulsifiers on the retrogradation rate of starch. *Food Structure* 11:225-236
- Park JW, Park HJ, Song, JC. 2003. Suppression effect of maltitol on retrogradation of Korean rice cake (*Karedduk*). *J Kor Soc Food Sci Nutr* 32:175-180
- Radhika RK, Subramanian R, Zakiuddin AS, Bhattacharya KR. 1994. Viscoelastic properties of rice-flour pastes and their relationship to amylose content and rice quality. *Cereal Chem* 71:548-552
- Roferos LT, Juliano BO. 1997. Chemometrics of grain quality of raw and cooked Philippine milled rice. *Phil Agric* 80: 211-236
- Russell PL, Oliver G. 1989. The effect of pH and NaCl content on starch gel aging. *J Cereal Sci* 10:123-138
- Shin AC, Song JC. 2004. Suppression functions of retrogradation in Korean rice cake (*Garaeduk*) by various surfactants. *J Kor Soc Food Sci Nutr* 33:1218-1223
- Song JC, Park HJ. 2003a. Effects of starch degradation enzymes on the retrogradation of a Korean rice cakes. *J Kor Soc Food Sci Nutr* 32:1262-1269
- Song JC, Park HJ. 2003b. Functions of various hydrocolloids as anticaking agents in Korean rice cakes. *J Kor Soc Food Sci Nutr* 32:1253-1261
- van Sorest JJG, de Wit D, Tournois H, Vliegthart JFG. 1994. Retrogradatration of potato starch as studied by Fourier transform infrared spectroscopy. *Starch* 46:453-457

(2010년 2월 8일 접수; 2010년 3월 2일 채택)