J Korean Soc Food Sci Nutr
44(9), 1339~1346(2015)

한국식품영양과학회지
http://dx.doi.org/10.3746/jkfn.2015.44.9.1339

자일리톨·수크랄로스 혼합 첨가 백설기의 이화학적·관능적 품질 특성

조혜리 · 서정희
강원대학교 식품영양학과

Physicochemical and Sensory Properties of *Baekseolgi* Prepared with Different Combinations of Xylitol and Sucralose

Hyeri Jo and Jeonghee Surh
Department of Food and Nutrition, Kangwon National University

ABSTRACT In a previous study, *baekseolgi* with xylitol or sucralose was comparable to *baekseolgi* with sugar in terms of all sensory characteristics. However, the hardness of sucralose *baekseolgi* increased considerably during storage while that of xylitol *baekseolgi* remained unchanged. To improve the physical limitations observed in sucralose *baekseolgi*, a combination of sucralose and xylitol were substituted for sugar when preparing *baekseolgi* (SL0~SL100, SLn; *baekseolgi* where sugar was replaced with n% sucralose and 100-n% xylitol based on relative sweetness to sugar). All SLn *baekseolgi* samples were not significantly different from sugar *baekseolgi* in terms of sensory properties. The moisture content was not different between sugar and xylitol *baekseolgi* (SL0), but decreased significantly as the amount of sucralose increased ($P<0.01$), which correlated with cohesiveness of *baekseolgi*. Texture profile analysis revealed that hardness of SLn *baekseolgi* increased without any noticeable change in moisture content after storage at 4°C for 7 days. In addition, the hardness after storage was the highest in sucralose *baekseolgi* (SL100), which was comparatively lower in SL0~SL80 containing xylitol presumably due to the hygroscopic characteristics of xylitol. In particular, SL20 was found to be comparable to sugar *baekseolgi* in terms of moisture and cohesiveness during storage. The results showed that the combination of xylitol and sucralose could be a potential sugar substitute in terms of not only sensory characteristics but also physicochemical properties.

Key words: xylitol, sucralose, sugar substitute, hardness, sensory property

서 론

고열량 식품의 과잉 섭취로 인한 비만, 당뇨병 등의 증가와 건강 지향적 소비자 트렌드가 공존함에 따라 저칼로리 기능성 식품에 대한 관심이 꾸준히 높아지고 있다(1-3). 전통적으로 가장 널리 사용된 고열량 감미료인 설탕이 비만, 당뇨 등 생활습관병(lifestyle diseases)의 위해 식이요소로 인지됨에 따라 저열량 대체 감미료와 이를 사용한 식품에 대한 관심도 아울러 증가되고 있는 실정이다(4). 가공식품에 적용 가능한 대체 감미료로는 단맛을 제공하는 저칼로리 소재이면서 동시에 설탕의 이화학적 기능성을 보유하거나 혹은 개선시킨 소재가 바람직하다(5). 이는 설탕이 단맛 부여 이외에도 하이드록실기(hydroxyl group, -OH)에서 기인한 흡습성으로 제품의 보습성을 높여 보존 기간을 연장시킬 수 있고 전분 호화 및 노화의 영향인자로 제품의 최종 물성을 조절할 수 있으며, 갈변반응의 기질로 색소 및 향미를 생성하여 관능적 특성 및 기호도에 영향을 줄 수 있기 때문이다(5). 이에 따라 선행연구에서는 열처리 가공식품의 품질 특성에 부정적 영향 없이 설탕을 대체할 수 있는 감미료를 찾고자 시도하였다(6). 이를 위해 레시피가 간단하여 기전 예측이 수월한 백설기를 대상 식품으로 선정하여 대체감미료를 첨가한 백설기를 제조한 후 이화학적·관능적 특성 및 저장 중 경도 변화를 탐색하였다. 그 결과 사용된 6종의 대체감미료(포도당, 에리스리톨, 자일리톨, 스테비오사이드, 아스파탐, 수크랄로스) 중 자일리톨과 수크랄로스로 제조된 백설기가 평가된 모든 관능적 특성에서 설탕 첨가군과 유의적 차이를 나타내지 않아 설탕 대체제로서의 높은 가능성을 시사해주었다. 그러나 자일리톨 백설기와 달리 수크랄로스 백설기는 저장 기간이 경과함에 따라 경도가 큰 폭으로 증가하는 물성적 한계를 나타내었다(6).

자일리톨은 당도가 설탕과 유사하여 1:1 동량의 비율로 대체되므로 칼로리 감소 효과는 고감미료에 비해 크지 않으나 충치균인 *Streptococcus mutans*의 성장을 저해함으로써 충치 예방에 효과가 있고(5), 특히 혈당지수(glycemic index)가 매우 낮아 당뇨병 환자에게 안전하게 사용될 수

Received 15 May 2015; Accepted 16 July 2015
Corresponding author: Jeonghee Surh, Department of Food and Nutrition, College of Health Science, Kangwon National University, Samcheok, Gangwon-do 25949, Korea
E-mail: jsurh@kangwon.ac.kr, Phone: +82-33-540-3314

있는 당알코올(sugar alcohol) 감미료로 알려져 있다(7). 한편 수크랄로스는 설탕 분자의 하이드록실기 3개가 염소(chlorine, -Cl)로 치환된 구조로 설탕의 600배에 달하는 강한 단맛을 제공하는 고감미 소재이며, 체내에서 소화되지 않는 난소화성 무칼로리 합성 감미료이다(8). 수크랄로스는 시간 경과에 따른 단맛 변화가 설탕과 가장 유사하며, 넓은 범위의 pH와 온도에서 안정하여 열처리 가공식품에 적용이 뛰어난 감미료로 알려져 있다. 한편 수크랄로스는 보습성이 뛰어난 자일리톨과는 달리 흡습성이 전혀 없어(non-hygroscopic) 제품의 물성을 건조하게 할 수 있지만 높은 감미로 소량 사용에 의한 비용 절감 효과를 기대할 수 있다.

본 연구에서는 이화학적·관능적 측면에서 설탕과 가장 유사한 특성을 나타낸 자일리톨과 수크랄로스를 열처리 가공식품의 설탕 대체재로 제안했던 선행연구(6)를 토대로 두 감미료의 혼합 사용을 시도해보았다. 구체적으로 자일리톨과 수크랄로스를 혼합 사용할 경우 단독 사용에서 관찰된 백설기의 바람직한 이화학적·관능적 특성이 유지될 수 있는지를 확인하고자 하였고, 수크랄로스 백설기에서 관찰된 저장 중 경도 증가의 물성적 한계가 흡습성 소재인 자일리톨의 혼합 사용으로 일부 개선될 수 있는지를 살펴보고자 하였다. 이를 통해 궁극적으로는 개별 감미료의 장점이 서로의 한계점을 보완함으로써, 설탕 대체 시 품질 특성에 부정적 영향이 없는 열처리 가공식품의 제조 가능성을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 쌀가루는 강원도 횡성산 멥쌀을 물에 3시간 침지한 후 30분 동안 물을 빼고 제분한 것으로, 백설기 제조 전 20 mesh 체에 2회 내려 사용하였다. 백설기 제조에 사용된 감미료인 설탕(Cheil Jedang Corp., Incheon, Korea), 자일리톨(자일리톨 100%, Danisco BV, Seoul, Korea), 수크랄로스(No Calorie Sweetener, Kirkland, Cumberland Packing Corp., Brooklyn, NY, USA)는 시중에서 구입하여 사용하였다. 제조사에 따르면 수크랄로스를 함유한 감미료는 덱스트로스(dextrose), 말토덱스트린(maltodextrin), 수크랄로스를 주성분으로 하였으며, 제조사가 제공한 설탕과의 교환단위(conversion chart)에 따르면 본 제품 24 g은 설탕 1 cup(200 g)과 동일한 단맛을 제공하는 것으로 표기되어 있었다. 그 외 소금(YoungJin Green Food Co., Hanam, Korea)과 생수(Coca-Cola, Pyeongchang, Korea)를 시중에서 구입하여 실험에 사용하였다.

자일리톨과 수크랄로스 상대당도 결정 실험

자일리톨의 상대당도는 10% 설탕 용액(A)을 제조하고, 선행연구(6)에서 사용된 동일 제조사의 동일 자일리톨 제품을 구입한 후 선행연구에서 결정된 자일리톨의 상대당도인 98%를 그대로 적용하여 10% 설탕 용액과 동일한 단맛을 제공하는 10.2% 자일리톨 용액(B)을 제조하였다. 이후 관능검사 경험이 있는 22명의 식품영양학과 학생들을 패널로 선정하여 A와 B 시료의 단맛에 대한 차이식별 검사를 단순차이 검사(simple paired difference test)로 실시하였다. 동일 시료 쌍(AA, BB)과 다른 시료 쌍(AB, BA) 각각을 22명의 패널에게 제시하여 모든 패널이 4쌍씩 평가하게 하고 정답과 오답의 횟수를 기록하였다. 그 결과 A와 B 시료는 단맛에 대한 유의적 차이를 나타내지 않았으며, 따라서 자일리톨의 상대당도를 선행연구와 동일하게 98%로 결정하여 실험에 사용하였다. 한편 수크랄로스의 경우는 별도의 상대당도 결정 실험 없이 제조사가 제공해 준 교환단위 정보에 따라 1 cup 설탕 기준으로 24 g의 해당 감미료를 사용하기로 결정하였다.

백설기 제조

본 실험에서 제조된 백설기의 배합비는 선행연구를 기초로 하여(6) Table 1과 같이 설정하였다. 쌀가루 대비 10% 설탕을 첨가한 백설기(Sugar군)를 기준으로 하여 자일리톨과 수크랄로스의 비율을 달리하여 설탕 대체 백설기를 제조하였다. 즉 설탕을 모두 자일리톨로만 대체한 SL0군(수크랄

Table 1. Formula for the *baekseolgi* prepared with different combinations of xylitol and sucralose

		SL0	SL20	SL40	SL60	SL80	SL100	Sugar
% substitution to sugar	Sucralose	0	20	40	60	80	100	–
	Xylitol	100	80	60	40	20	0	–
	Sugar	–	–	–	–	–	–	100
Rice flour (g)[1)]		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Water (mL)		50	50	50	50	50	50	50
Sucralose (g)[2)]		0.00	2.40	4.80	7.20	9.60	12.00	–
Xylitol (g)[3)]		102.04	81.63	61.22	40.82	20.41	0	–
Sugar (g)		–	–	–	–	–	–	100
Sweetener (%)[4)]		10.2	8.4	6.6	4.8	3.0	1.2	10.0

[1)]Rice was added with salt (1.3% of rice amount) when pulverizing.
[2)]As stated by supplier, 12 g of sucralose substitutes for 100 g of sugar, from which the amount of sucralose was calculated.
[3)]Relative sweetness of xylitol to sugar was determined at 98%, by which the amount of xylitol was calculated.
[4)]It was calculated as the total percentage of sugar or sugar substitutes to the rice flour content.

로스 : 자일리톨=0:100), 감미도 기준으로 설탕 양의 20%는 수크랄로스, 나머지 80%는 자일리톨로 대체한 SL20군(수크랄로스 : 자일리톨=20:80), 그 외 SL40군(수크랄로스 : 자일리톨=40:60), SL60군(수크랄로스 : 자일리톨=60:40), SL80군(수크랄로스 : 자일리톨=80:20)과 설탕을 모두 수크랄로스로만 대체한 SL100군(수크랄로스 : 자일리톨=100:0) 등 총 7종의 백설기를 제조하였다. 이에 따라 각 백설기에 첨가된 자일리톨과 수크랄로스의 양은 상대당도를 반영하여 결정되었으며, 쌀가루 대비 감미료의 총 첨가율(%)은 SL0군 10.2%, SL20군 8.4%, SL40군 6.6%, SL60군 4.8%, SL80군 3.0%, SL100군 1.2%, Sugar군 10.0%였다.

백설기 제조는 최종 제품에서 감미료가 균일하게 분포될 수 있도록 다음과 같이 2가지로 구분하여 재료를 혼합하였다. Sugar군, SL0군, SL20군, SL40군과 같이 전체 배합비 중 감미료 첨가량이 상대적으로 높은 경우는 기존 백설기와 동일한 순서로 재료를 배합하였다. 즉 체로 2번 거른 쌀가루 1 kg에 분량의 설탕 혹은 혼합감미료를 넣고, 쌀가루+설탕(혼합감미료) 혼합물을 잔여 가루 없이 모두 체로 1회 내려주었다. 본 실험에서 사용된 쌀가루는 쌀 무게의 1.3%에 해당하는 소금이 가해진 후 제분되었으므로 백설기 제조 시 별도의 소금을 첨가하지 않았다. 이후 쌀가루 대비 5% 물(50 g)을 첨가하고 내용물이 균일하게 혼합될 수 있도록 가볍게 비벼준 후 1회 더 체로 내려주었다. 한편 전체 배합비 중 감미료가 차지하는 비율이 상대적으로 낮은 SL60군, SL80군, SL100군은 쌀가루와 감미료의 균일한 혼합을 위해 해당 감미료를 먼저 물에 분산시킨 후 쌀가루와 섞어 체로 내려주었다. 재료 혼합이 끝난 후 면보를 깔아놓은 찜틀(직경 21.3 cm, 높이 5.5 cm)에 준비된 혼합물을 담고, 증기가 오르기 시작한 찜통에서 중불로 40분간 쪘다. 이후 찜틀을 꺼내어 면보를 덮은 상태로 실온(온도 22.1°C, 습도 30.0% RH)에서 10분간 뜸을 들인 후 면보를 제거하고 30×30×30 mm의 크기로 썰어 시료로 사용하였다.

백설기의 수분 함량, 수용성 고형분 함량, pH 및 색도 측정, 물성평가(Texture Profile Analysis, TPA), 관능검사는 제조 당일 실시하였다. 한편 백설기의 저장 중 수분 및 경도 변화 측정을 위해 30×30×30 mm의 크기로 잘라진 각 군의 백설기를 폴리비닐(선형 저밀도 폴리에틸렌, linear low density polyethylene)로 포장하고, 이를 냉장온도(4°C)에서 보관하면서 분석에 사용하였다.

백설기의 수분, 수용성 고형분, pH

수분 함량은 AOAC 방법에 준하여 105°C 건조기(OF-12, Jeio Tech, Kimpo, Korea)를 이용한 상압가열건조법으로 분석하였다(9). 백설기의 pH와 수용성 고형분 함량(soluble solid content)을 측정하기 위해 시료 1 g에 증류수 19 mL를 첨가한 후 균질기(Wise Mix HG-15, Daihan Scientific, Seoul, Korea)를 사용하여 회전속도 12,500 rpm(교반봉: 내경 21 mm, 외경 25 mm)으로 40초 동안 백설기가 충분하게 갈려 균질화될 수 있도록 하였다. 이후 원심분리기(5810R, Eppendorf, Hamburg, Germany)로 3,061×*g*에서 20분 동안 원심분리 하였고 상층액을 취해 pH(pH meter725P, Istek, Seoul, Korea)와 굴절률(refractometer, PR201, Atago, Tokyo, Japan)을 측정하였다. 증류수에 의한 희석배수는 측정된 값에 별도로 반영하지 않았으며, 수용성 고형분 함량은 당의 농도(Degrees Brix, °Brix)로 나타내었다.

백설기의 색도 측정

완성된 백설기의 명도(L, lightness), 적색도(a, redness), 황색도(b, yellowness)는 색차계(CR400, Konica Minolta Sensing, Osaka, Japan)를 사용하여 측정하였다. 표준 백색판을 이용하여 calibration 한 후 L값은 0(검정색)에서 100(흰색)까지, a값은 -80(녹색)에서 100(적색)까지, b값은 -70(청색)에서 70(황색)까지의 범위에서 백설기의 색도를 측정하였다.

관능검사

자일리톨과 수크랄로스의 비율을 달리하여 제조된 백설기에 대한 관능평가는 강원대학교 식품영양학과 재학생 중 관능검사 경험이 있는 22명을 패널로 선정하여 실험 목적과 백설기의 품질 특성에 대하여 사전 교육을 실시한 후 5점 평점법(5-point scaling)으로 실시하였다. 사전 교육은 관능검사지에 기재된 각 관능적 특성에 해당하는 용어의 정의와 한국인들이 인지하는 기호도가 높은 백설기의 일반적 품질 특성(백설기 표면 및 내부의 입자가 미세하고, 촉촉하고 부드러운 정도가 높으며, 가루처럼 부드럽게 부서져 씹을 때 비교적 힘이 적게 들어가는 백설기)에 대한 설명을 포함하여 실시하였다. 백설기 제조 1시간 후 각 군별로 백설기(30×30×30 mm) 1개씩을 생수와 함께 제시하였으며, 평가항목은 백설기의 관능적 평가영역과 그 특성에 대한 개인적 기호도 영역으로 구분하여 구성하였다. 품질평가를 위한 관능적 특성들은 선행연구(6)와 동일하게 색(color, 밝은 흰색이다~황색이다), 조직의 거친 정도(coarseness, 백설기 표면 및 내부의 입자가 거칠고 미세한 정도), 촉촉한 정도(moistness, 백설기의 외관 및 시식 시 수분을 함유하고 있는 정도), 부드러운 정도(softness, 백설기를 앞니로 씹었을 때 단단하고 부드러운 정도), 씹히는 정도(chewiness, 백설기 조직의 조밀한 정도), 부착성(adhesiveness, 백설기 시식 시 입천장이나 혀에 들러붙는 정도), 단맛(sweetness), 뒷맛(aftertaste, 백설기를 먹었을 때 뒷맛으로 텁텁하거나 쓴맛이 느껴지는 정도)으로 선정하였다. 각 특성이 약한 경우를 1점으로 하고 그 특성이 강한 경우를 5점으로 하여 평가하였다. 각 특성에 대한 기호도와 종합적 기호도(overall acceptability)는 '매우 나쁘다'를 1점으로 하고 '매우 좋다'를 5점으로 하여 평가하였다.

백설기의 texture 측정

백설기의 물성(TPA)은 Texture Analyzer(Instron 5542, Instron, Norwood, MA, USA)를 사용하여 2회 반복 압착실험(two-bite compression test)으로 측정하였다. 직경 11 mm의 원형 probe를 사용하여 test speed 3.3 mm/s로 1 cycle에서는 23 mm 깊이까지, 그리고 2 cycle에서는 25 mm 깊이까지 시료를 압착하는 조건으로 측정하였다. 결과는 측정 후 얻어진 force-time curve로 나타내었으며, 자일리톨과 수크랄로스 대체비율에 따른 응집성(cohesiveness)의 변화를 함께 모니터링 하였다.

백설기의 저장 중 변화

시간 경과에 따른 백설기의 변화를 관찰하기 위해 냉장온도(4°C)에서 보관 중인 백설기 시료에 대해 저장 후 1, 3, 7일째에 수분 함량을 추가로 측정하였으며, 마지막 7일째에는 Texture Analyzer(Instron 5542, Instron)를 사용하여 물성을 함께 평가하였다. 수분 정량 및 물성 측정에 사용된 방법은 위와 동일하였다.

자료의 통계처리

7종 백설기들의 품질 특성은 각 시료당 백설기의 서로 다른 부위를 총 3회 반복 실험(색도의 경우에는 6회 반복)하여 평가되었다. 이후 통계처리 프로그램 SAS(version 9.1 for windows, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 결과를 평균값과 표준편차로 나타내었으며, ANOVA, Duncan's multiple range test로 각각의 특성에 대해 유의적인 차이가 있는지를 검증하였다.

결과 및 고찰

백설기의 수분, 수용성 고형분, pH

백설기 제조 시 쌀가루 대비 10% 비율로 첨가된 설탕양을 모두 자일리톨로 대체하여 제조된 SL0 백설기는 제조 직후 수분 함량이 59.99%로 Sugar군(59.99%)과 유의적으로 다르지 않았다. 그러나 자일리톨 대체율을 감소시키고 수크랄로스 대체율을 증가시킬수록 백설기의 수분 함량은 유의적으로 감소하여($P<0.01$) 설탕을 모두 수크랄로스로 대체한 SL100 백설기에서는 55.15%의 가장 낮은 수분 함량을 나타내었다(Table 2). 이 결과는 자일리톨과 수크랄로스의 상반된 물 결합 특성에서 기인한 것으로 해석된다. 즉 설탕과 자일리톨은 물 분자와 수소결합을 형성할 수 있는 하이드록실기가 많아 높은 친수성과 흡습성을 나타내는 반면, 수크랄로스는 흡습성이 낮아 제품을 건조하게 만드는 특성이 있다(10,11). 실제로 자일리톨과 수크랄로스의 혼합 사용을 시도한 본 연구에서 감미도 기준으로 설탕량의 20%까지를 수크랄로스로 대체한 백설기는 그 수분 함량이 Sugar군과 유의적으로 다르지 않았다. 그러나 40% 이상을 수크랄로스로 대체한 모든 군(SL40~SL100)들에서는 수분 함량이 Sugar군과 유의적 차이를 나타냄으로써, 이 농도 이상의 대체는 제품의 화학적 조성에 영향을 줄 수 있음을 시사해주었다.

Table 2. Chemical compositions of the *baekseolgi* prepared with different combinations of xylitol and sucralose

Samples	Moisture (%)	Soluble solid (°Brix)	pH
SL0	59.99±1.18[a1)2)]	0.38±0.01[b]	6.40±0.05[a]
SL20	58.86±0.30[ab]	0.38±0.01[b]	6.38±0.03[ab]
SL40	57.98±0.96[bc]	0.39±0.01[b]	6.38±0.03[ab]
SL60	57.12±0.75[c]	0.38±0.01[b]	6.37±0.02[ab]
SL80	57.00±0.02[c]	0.38±0.01[b]	6.35±0.02[bc]
SL100	55.15±0.23[d]	0.38±0.01[b]	6.31±0.02[c]
Sugar	59.99±0.24[a]	0.58±0.01[a]	6.32±0.03[c]
Significance	$P<0.01$	$P<0.001$	$P<0.01$

[1)]The value was expressed as the average±standard deviation of triplicates.
[2)]Values with different letters in the same column are significantly different at $P<0.001$ for soluble solid and $P<0.01$ for moisture and pH.

백설기를 물에 분산시킨 후 측정한 수용성 고형분 함량은 Sugar군이 0.58°Brix로 유의적으로 가장 높았으며, 자일리톨·수크랄로스 혼합 첨가 백설기는 0.38~0.39°Brix를 나타내어 자일리톨과 수크랄로스의 혼합 비율에 관계없이 설탕보다 유의적으로 낮은 값을 나타내었다($P<0.001$). 이는 설탕에 비해 자일리톨과 수크랄로스의 낮은 용해도에 의한 결과로 해석되었으나 이후 관능검사에서 백설기의 단맛에 유의적 차이를 주는 정도는 아닌 것으로 나타났다.

백설기의 설탕을 모두 수크랄로스로 대체한 SL100군은 Sugar군과 pH 값이 유의적으로 다르지 않았다. 그러나 수크랄로스 대체율을 감소시키고 자일리톨 대체율을 증가시킬수록 pH는 6.31에서 6.40으로 유의적이지만($P<0.01$) 매우 미미한 증가를 나타내었다(Table 2). 설탕을 아스파탐으로 대체했던 선행연구에서 백설기의 pH가 다소 큰 폭으로 감소한 결과(6)와 비교하면 이러한 변화는 대체감미료의 pKa값과 연관될 것으로 해석된다. 아스파탐의 pKa가 4.5~6.0인 것에 비해 자일리톨과 수크랄로스는 그 값이 각각 13.7과 12.5로 매우 높아 백설기 제조 조건 하에서 자일리톨·수크랄로스 혼합 첨가 백설기는 수소이온 해리 및 그로 인한 pH의 유의적 변동은 거의 없을 것으로 해석되었다.

백설기의 색도

설탕을 자일리톨이나 수크랄로스로 대체한 6종 백설기의 명도(L)는 81.42~86.76으로 Sugar군 76.68보다 유의적으로 높았다(Table 3). 명도, 적색도(a), 황색도(b) 값을 모두 반영하여 Sugar군과의 색 차이를 산출한 ΔE값 역시 4.74~10.08의 범위로 나타나(Table 3), 자일리톨·수크랄로스 혼합 첨가 백설기는 Sugar군과 기계적으로 측정된 색 특성에서 차이가 있음이 확인되었다. 이는 Maillard 갈변반응의 유무로 해석될 수 있다. 즉 비환원당의 일종인 설탕은 조리 중

Table 3. Color characteristics of the *baekseolgi* prepared with different combinations of xylitol and sucralose

Samples	L (lightness)	a (redness)	b (yellowness)	DE[1)]
SL0	83.71±4.08[ab2)3)]	-1.36±0.09	6.41±0.46	7.04
SL20	83.17±3.80[ab]	-1.35±0.11	7.04±0.60	6.50
SL40	81.42±3.24[b]	-1.38±0.14	6.49±0.57	4.74
SL60	85.98±2.98[a]	-1.46±0.06	7.06±0.27	9.31
SL80	83.74±3.69[ab]	-1.37±0.08	6.82±0.57	7.06
SL100	86.76±1.75[a]	-1.44±0.06	6.89±0.41	10.08
Sugar	76.68±2.45[c]	-1.45±0.16	6.68±0.54	–
Significance	$P<0.001$	NS[4)]	NS	

[1)]DE, the total color difference between Sugar and SLx *baekseolgi* was calculated as $[(L_{SLx}-L_{Sugar})^2+(a_{SLx}-a_{Sugar})^2+(b_{SLx}-{}_{Sugar})^2]^{1/2}$.
[2)]The value was expressed as the average±standard deviation of six times replication.
[3)]Values with different letters in the same column are significantly different at $P<0.001$.
[4)]NS means that the values are not significantly different at $P<0.05$.

포도당과 과당으로 분해되는 과정을 거쳐 카보닐(carbonyl)기가 회복됨으로써 Maillard 반응이 진행된 것으로 보인다. 그러나 당의 카보닐기가 알코올(alcohol)로 치환된 구조인 자일리톨과 열처리에 안정한 수크랄로스는 아미노(amino)기와 카보닐기 사이의 화학반응인 Maillard 갈변반응에 참여할 작용기(functional group)가 없으므로 Maillard 갈변반응이 거의 진행되지 않은 것으로 볼 수 있다(10,12). 한편 자일리톨과 수크랄로스의 대체 비율에 따른 비례적 색 변화는 관찰되지 않았다.

백설기의 관능적 특성

선행연구에서 자일리톨 백설기와 수크랄로스 백설기는 평가된 모든 관능적 특성과 종합적 기호도에서 설탕 첨가 백설기와 유의적으로 다르지 않아 관능적 특성에 영향을 주지 않으면서 설탕을 대체할 수 있는 감미료로 제시되었다(6). 본 연구에서는 설탕 첨가 백설기(Sugar군)와 자일리톨과 수크랄로스의 대체 비율이 다른 6종의 백설기(SL0~SL100)를 제조한 후 관능평가를 실시하였다. 그 결과 제조된 백설기 모두는 각 관능적 특성 및 종합적 기호도에서 Sugar군 백설기와 유의적 차이를 나타내지 않았다(Table 4, 5). 다양한 비율의 자일리톨과 수크랄로스로 대체된 백설기들은 Sugar군과 달리 Maillard 갈변반응이 일어나지 않아 색차계로 측정한 색 특성에서 전체적으로 높은 명도 값을 나타내었다(Table 3). 그러나 관능검사에서는 2.0~2.5 사이의 좁은 분포를 나타냄으로써(Table 4) 기계적으로 확인

Table 4. Sensory characteristics of the *baekseolgi* prepared with different combinations of xylitol and sucralose

Samples	Color	Coarseness	Moistness	Softness	Chewiness	Adhesiveness	Sweetness	Aftertaste
SL0	2.5±0.9[1)]	2.8±1.0	3.0±1.1	3.0±1.3	3.4±1.1	2.9±1.2	2.4±0.9	2.0±1.3
SL20	2.5±0.8	2.9±1.2	2.8±0.7	3.0±1.2	3.1±0.9	2.7±1.0	2.6±1.1	2.2±1.2
SL40	2.2±0.8	3.0±1.0	2.8±1.2	3.0±1.2	2.7±1.0	2.7±1.1	2.6±1.0	2.1±1.2
SL60	2.1±0.5	3.6±1.0	2.8±1.3	2.7±1.2	3.0±0.8	2.5±1.1	2.9±1.0	1.9±1.0
SL80	2.3±0.7	3.1±1.1	2.4±1.2	2.7±1.2	3.4±1.0	2.6±1.2	2.4±0.9	2.1±1.4
SL100	2.3±0.8	3.1±0.8	2.1±1.0	2.7±0.9	3.0±0.8	2.5±1.0	2.4±0.9	2.0±1.0
Sugar	2.0±0.6	3.2±1.0	2.8±1.2	2.8±1.0	3.0±1.0	2.7±0.9	3.0±1.1	2.1±1.3
Significance	NS[2)]	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Sensory characteristics of the *baekseolgi* were assessed using the scoring difference test of 5-point numerical scale, i.e., ranging from 1 (when the characteristic was weak) to 5 (when it was strong).
[1)]The value was expressed as the average±standard deviation.
[2)]NS means that the values are not significantly different at $P<0.05$.

Table 5. Preference responses to the sensory characteristics of the *baekseolgi* prepared with different combinations of xylitol and sucralose

Samples	Color	Coarseness	Moistness	Softness	Chewiness	Adhesiveness	Sweetness	Aftertaste	Overall acceptability
SL0	3.6±0.5[1)]	3.2±0.8	2.9±0.8	3.0±1.2	2.7±0.9	3.1±0.8[abc2)]	3.2±0.8	3.1±1.0	3.2±0.8
SL20	3.3±0.8	3.3±0.8	3.0±0.8	3.2±0.8	3.2±1.0	2.8±0.8[c]	3.0±0.8	3.0±0.9	2.8±0.9
SL40	3.8±0.6	3.2±1.0	3.2±1.1	3.3±1.0	3.3±1.0	3.4±1.0[ab]	3.4±0.7	3.3±0.8	3.2±1.1
SL60	3.6±0.6	2.7±1.1	3.1±1.2	3.2±1.1	3.0±0.9	3.0±0.9[bc]	3.2±0.8	3.4±0.9	3.0±0.9
SL80	3.7±0.7	3.2±1.0	2.6±1.0	3.0±1.0	2.7±0.8	3.1±0.9[abc]	3.3±0.8	3.6±0.7	2.8±1.0
SL100	3.6±0.7	3.2±0.9	2.4±0.9	3.4±0.8	3.0±0.9	3.6±0.6[a]	3.5±0.8	3.4±0.9	3.0±1.0
Sugar	3.9±0.6	3.1±0.9	3.2±1.1	3.1±0.9	3.1±0.9	3.0±0.8[bc]	3.4±0.9	3.1±0.8	3.4±0.8
Significance	NS[3)]	NS	NS	NS	NS	$P<0.05$	NS	NS	NS

Preferences to the *baekseolgi* and its characteristics were assessed using the scoring difference test of 5-point numerical scale, i.e., ranging from 1 (dislike extremely) to 5 (like extremely).
[1)]The value was expressed as the average±standard deviation.
[2)]Means with different letters in the same column are significantly different at $P<0.05$.
[3)]NS means that the values are not significantly different at $P<0.05$.

된 색 차이가 관능적 인지 수준 이하인 것으로 해석되었다. 또한 수크랄로스 대체 비율이 증가될수록 백설기의 수분 함량이 낮아졌던 결과(Table 2)와 동일하게 백설기의 관능적 특성 중 수분 함량과 연관된 촉촉한 정도, 부드러운 정도, 들러붙는 정도 역시 수크랄로스 함량이 높을수록 낮아지는 경향을 나타내었으나 Sugar군과의 유의적 차이는 아니었다(Table 4). 수크랄로스는 흡습성이 낮아 백설기를 상대적으로 건조하게 하므로 저작 시 잘 부스러지는 특성을 부여할 수 있다. 들러붙는 정도가 가장 낮았던 SL100 백설기는 이 관능적 특성에 대한 기호도에서 다른 백설기에 비해 유의적으로 높은 결과를 보였다($P<0.05$, Table 5). 이는 부착성이 낮은 백설기가 선호되었던 선행연구 결과(6)와 일치한다. 감미료의 상대당도를 반영하여 동일한 강도의 단맛을 줄 수 있는 양으로 대체하여 제조된 자일리톨·수크랄로스 혼합 첨가 백설기들은 Sugar군 백설기에 비해 단맛 특성이 유의적이지는 않으나 낮은 특성을 보였다(Table 4). 이는 수용성 고형분 함량이 Sugar군보다 유의적으로 낮았던 결과로 일부 해석될 수 있으며(Table 2), 자일리톨과 수크랄로스 사이에 인지할 수준의 단맛 상승작용은 없었음을 시사해준다. 자일리톨·수크랄로스 혼합 첨가 백설기의 종합적 기호도는 2.8~3.2의 좁은 분포를 보였으며, Sugar군 백설기(3.4)와 유의적 차이를 나타내지 않았다(Table 5). 이 결과는 자일리톨과 수크랄로스가 상대적 대체 비율에 관계없이 백설기의 관능적 특성에 유의적 영향을 주지 않으면서 설탕을 대체할 수 있음을 보여준다.

백설기의 texture

제조 직후 자일리톨 100%(SL0) 혹은 수크랄로스 100%(SL100) 백설기는 Sugar군 백설기에 비해 상대적으로 높은 경도(hardness)를 나타내었으나(Fig. 1A), 자일리톨과 수크랄로스가 혼합 첨가된 백설기들(SL20~SL80)은 상대적으로 낮은 경도를 보여주었다(Fig. 1B). 특히 SL20군과 SL80군은 뚜렷한 경도 감소를 보여주었으며, Sugar군과 유사한 texture 프로파일을 나타내었다(Fig. 1B). 이는 자일리톨과 수크랄로스의 혼합 첨가 시 두 감미료 사이의 상호작용이 백설기의 전체적 물성에 영향을 줄 수 있음을 시사한다. 그러나 제조 직후에 관찰된 이러한 기계적 경도 차이는 관능적 측면에서는 인지 수준 이하인 것으로 평가되었다(Table 4, 5).

한편 관능 평가에서 자일리톨 함량이 상대적으로 높은 백설기들은 '부드러운 정도'에 있어 유의적 수준까지는 아니나 다소 높은 결과를 보여주었다(Table 4). 관능적 측면에서 백설기의 '부드러운 정도'는 백설기를 앞니로 씹었을 때 단단하고 부드러운 정도를 평가한 것으로, 기계적으로 측정된 물성들 중 경도 이외에 응집성과도 연관될 것으로 해석되었다. 실제로 자일리톨 단독 백설기인 SL0군의 응집성은 Sugar군과 유의적으로 다르지 않았으며, 자일리톨 대체율을 감소시키고 수크랄로스 대체율을 증가시킬수록 백설기

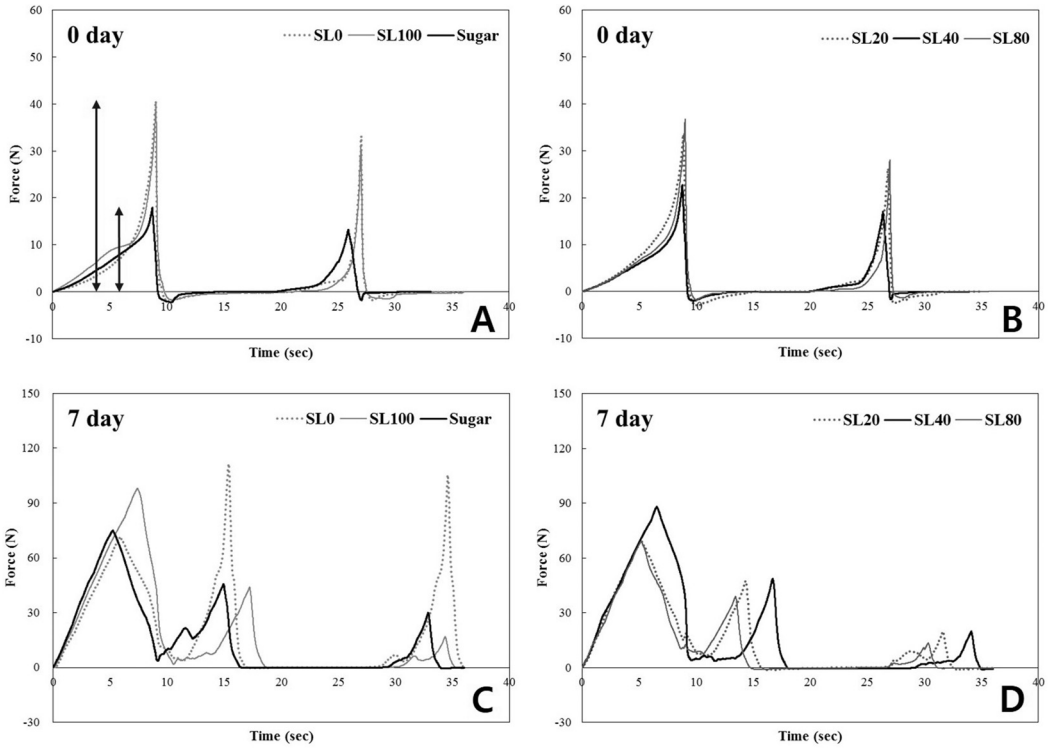

Fig. 1. Texture profile curves for the *baekseolgi* prepared with different combinations of xylitol and sucralose. Texture was measured at the same day as the *baekseolgi* was prepared (A and B), and after storing at 4°C for 7 days (C and D). Vertical arrows designate hardness, the maximum force of first peak obtained during two-bite compression test.

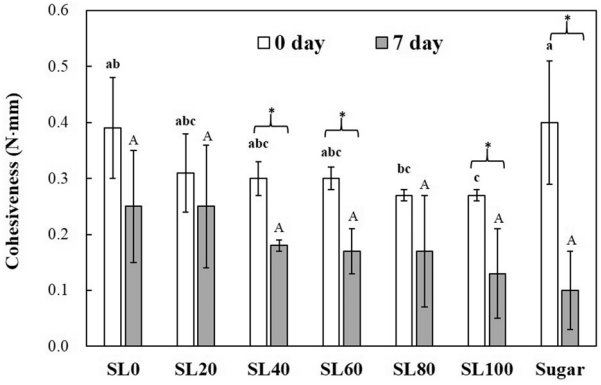

Fig. 2. Cohesiveness of the *baekseolgi* prepared with different combinations of xylitol and sucralose. Open and closed bars represent values obtained right after *baekseolgi* preparation (open bar) and following storage at 4°C for 7 days (closed bar), respectively. Asterisk (*) represents significant difference in the values between 0 and 7 day at $P<0.05$.

의 응집성은 감소하는 현상을 나타내었다(Fig. 2). 이는 자일리톨과 수크랄로스 대체율에 따른 백설기의 수분 함량 변화와 정확히 일치하는 결과로(Table 2), 자일리톨과 수크랄로스의 수분보유력 차이가 백설기의 기계적 물성 중 경도보다는 오히려 응집성에 영향을 주었음을 시사한다.

백설기의 저장 중 수분 함량과 texture 변화

제조 직후 백설기의 수분 함량은 자일리톨 백설기와 Sugar군 백설기 사이에 유의적으로 다르지 않았으며, 자일리톨 대체율을 감소시키고 수크랄로스를 증가시킬수록 수분 함량이 유의적으로 감소하는 경향을 보여주었다(Table 2, 6). 이후 가속화된 노화조건인 4°C 냉장온도에서 백설기를 7일까지 저장하였을 때 백설기의 수분 함량은 모든 군들에서 제조 직후의 상태를 그대로 유지한 것으로 나타났다(Table 6).

제조 직후에 비해 4°C 냉장온도에서 7일간 저장된 백설기들은 모두 경도가 뚜렷이 증가하였으며(Fig. 1C, 1D), 응집성은 감소하는 현상을 나타내었다(Fig. 2). 저장 중 수분 함량은 유의적으로 변하지 않았으므로(Table 6), 이 결과는 저장 중 백설기 내부에서 진행된 전분의 노화로 일부 설명될 수 있다. 즉 백설기를 찌는 동안 전분의 호화로 전분 분자들이 용출되어 교질상으로 존재하다가 4°C 냉장온도에서 시간이 경과함에 따라 용출된 전분 분자들끼리 다시 가까워져 수소결합을 통해 결정성 구조를 형성함으로써(12) 백설기의 물성을 변화시킨 것으로 해석할 수 있다. 실제로 7종 백설기는 모두 수분 함량이 50~60% 범위로 4°C 냉장온도에서 전분 분자들 간 재결합을 촉진시키기에 충분한 정도의 수분을 보유하고 있었다(Table 6). 한편 수크랄로스 100%로 대체된 SL100군 백설기는 저장 7일 후 그 경도가 자일리톨 100%(SL0) 혹은 자일리톨과 수크랄로스가 혼합 첨가된 백설기들(SL20~SL80)보다 다소 높은 경향을 나타내었다(Fig. 1C, 1D). 이 결과는 수크랄로스 백설기에서 관찰된 저장 중 경도 증가 현상이 자일리톨의 혼합 사용으로 일부 개선될 수 있음을 시사해준다. 실제로 자일리톨의 하이드록실기들은 아밀로스(amylose)와 아밀로펙틴(amylopectin) 전분 분자와 직접 수소결합을 함으로써 전분분자 상호 간의 수소결합을 방해하여 결정성 구조 형성을 감소시킬 수 있는 것으로 알려져 있다(13). 일례로 Winkelhausen 등(14)은 자일리톨 쿠키가 실온에서 3개월간 저장된 후에도 경도 등 물성의 변화가 유의적이지 않았음을 보고한 바 있다. 한편 저장 7일째 백설기의 응집성은 자일리톨 대체율을 감소시킬수록 유의적이지는 않으나 낮아지는 경향을 보여주었다(Fig. 2). 이는 제조 직후와 동일한 현상으로 저장 7일째에도 자일리톨·수크랄로스 백설기의 수분보유력 차이는(Table 6) 백설기의 응집성에 영향을 주었음을 시사한다. 특히 수분 함량이 Sugar군과 유의적 차이를 나타내기 시작하는 SL40군부터는 저장 후 응집성이 제조 직후와 대부분 유의적 차이를 나타내었다(Table 6, Fig. 2). 이 결과들은 설탕 대체재로 자일리톨과 수크랄로스를 혼합 사용할 경우 감미도 기준으로 40% 이상의 수크랄로스 대체는 제품의 저장 중 물성 변화에 영향을 줄 수 있음을 시사해준다.

요 약

선행연구는 자일리톨과 수크랄로스가 백설기의 관능적 특성 및 제조 직후 물성에 유의적 영향 없이 설탕을 대체할 가능성을 보여주었다. 본 연구에서는 설탕을 자일리톨로 대체 시 비용 상승과 수크랄로스로 대체 시 저장 중 경도 증가

Table 6. Changes in the moisture content of the *baekseolgi* prepared with different combinations of xylitol and sucralose depending on the storage time at 4°C

Storage time (day)	SL0	SL20	SL40	SL60	SL80	SL100	Sugar	Significance
0	59.99±1.18[a1)2)]	58.86±0.30[ab]	57.98±0.96[bc]	57.12±0.75[c]	57.00±0.02[c]	55.15±0.23[d]	59.99±0.24[a]	$P<0.01$
1	61.19±1.81[a]	59.40±0.13[ab]	57.65±0.01[bc]	56.26±1.65[c]	56.15±0.17[c]	55.47±0.96[c]	60.03±0.04[a]	$P<0.01$
3	60.00±0.71[a]	59.27±0.62[ab]	57.48±1.14[bc]	57.51±0.82[bc]	56.55±0.24[c]	56.18±0.93[c]	60.47±1.19[a]	$P<0.01$
7	59.92±0.94[ab]	58.41±0.33[bc]	56.19±1.16[d]	57.10±0.31[cd]	56.70±0.35[cd]	55.59±0.99[d]	60.85±0.19[a]	$P<0.01$
Significance	NS[3)]	NS	NS	NS	NS	NS	NS	

[1)]The value was expressed as the average±standard deviations of triplicates.
[2)]Means with different letters in the same row are significantly different at $P<0.01$.
[3)]NS means that the values in the same column were not significantly different at $P<0.05$.

의 한계를 극복하고자 두 감미료의 혼합 사용을 시도하였다. 설탕 백설기(Sugar군)를 대조군으로, 설탕에 대한 자일리톨과 수크랄로스의 대체 비율을 달리하여 제조된 SL0(수크랄로스 : 자일리톨=0:100), SL20, SL40, SL60, SL80, SL100 (수크랄로스 : 자일리톨=100:0) 군을 실험군으로 하여 총 7종의 백설기를 제조하였다. 자일리톨 백설기(SL0)는 수분 함량이 대조군과 유의적으로 다르지 않았으나 자일리톨 대체율을 감소시키고 수크랄로스 대체율을 증가시킬수록 백설기의 수분 함량은 유의적으로 감소하였다($P<0.01$). 이는 수크랄로스의 무흡습성에서 기인한 것으로 해석되었으며, 제조 직후 및 저장 중 백설기의 응집성 변화와 비례적 관계를 보였다. 대조군에 비해 자일리톨과 수크랄로스를 사용한 실험군 백설기들은 모두 수용성 고형분 함량이 유의적으로 낮았으며($P<0.001$), Maillard 갈변반응의 부재로 기계적 명도가 유의적으로 높았다($P<0.001$). 그러나 이러한 이화학적 변화들은 단맛 및 색 특성에 대한 관능 평가에서는 관능적 인지 수준 이하의 차이로 나타났다. 특히 자일리톨·수크랄로스 혼합 첨가 백설기들은 제조 직후 자일리톨과 수크랄로스의 상대적 대체비율에 관계없이 관능적 특성 및 기호도 평가에서 Sugar군과 유의적으로 다르지 않았다. 한편 백설기를 4°C 냉장온도에서 7일간 저장했을 때 모든 군에서 수분의 유의적 변화 없이 경도 증가를 나타내었으며, 이는 냉장온도에서 가속화된 전분의 노화 현상으로 해석되었다. 특히 경도 증가 현상이 수크랄로스 백설기(SL100)에서 가장 크게 나타나고 자일리톨을 함유한 백설기들(SL0~SL80)에서는 상대적으로 낮게 관찰됨으로써 수크랄로스 백설기에서 관찰된 저장 중 경도 증가의 물성적 한계가 흡습성 소재인 자일리톨의 혼합 사용으로 일부 개선될 수 있음이 확인되었다. 특히 자일리톨 대체율이 높은 SL20군은 수크랄로스를 함유하고 있음에도 불구하고 저장 후 수분보유력 및 응집성이 Sugar군과 유의적 차이를 나타내지 않음으로써 관능적 측면뿐 아니라 화학적·물리적 특성에서도 설탕을 효과적으로 대체해주었다. 본 연구는 자일리톨과 수크랄로스가 각각 설탕 대체재로서 지닌 한계점인 비용 상승과 저장 중 물성 변화를 각 감미료의 장점인 보습성과 경제성으로 각각 보완해줌으로써 자일리톨과 수크랄로스의 혼합 사용이 설탕 대체재의 대안이 될 수 있음을 시사해주었다.

REFERENCES

1. Malik VS, Hu FB. 2012. Sweeteners and risk of obesity and type 2 diabetes: the role of sugar-sweetened beverages. *Curr Diab Rep* 12: 195-203.
2. Kroger M, Meister K, Kava R. 2006. Low-calorie sweeteners and other sugar substitutes: a review of the safety issues. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 5: 35-47.
3. Cooper JM. 2012. Product reformulation－Can sugar be replaced in foods? *Int Sugar J* 114: 642-645.
4. Shankar P, Ahuja S, Sriram K. 2013. Non-nutritive sweeteners: review and update. *Nutrition* 29: 1293-1299.
5. Ghosh S, Sudha ML. 2012. A review on polyols: new frontiers for health-based bakery products. *Int J Food Sci Nutr* 63: 372-379.
6. Ryu D, Kim DB, Lee KH, Son DS, Surh J. 2012. Influences of sugar substitutes on the physicochemical and sensory properties and hardness of *baksulgi* during storage. *Korean J Food Sci Technol* 44: 568-576.
7. Foster-Powell K, Holt SH, Brand-Miller JC. 2002. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *Am J Clin Nutr* 76: 5-56.
8. Chattopadhyay S, Raychaudhuri U, Chakraborty R. 2014. Artificial sweeteners－a review. *J Food Sci Technol* 51: 611-621.
9. AOAC. 1990. *Official methods of analysis*. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA. Method 984.13.
10. Oh SH, Choi HS. 2002. *Sweeteners handbook*. Hyoil Books, Seoul, Korea. p 13-277.
11. Byun SH, Lee CH. 1997. Studies on physicochemical properties of erythritol, substitude sugar. *Korean J Food Sci Technol* 29: 1089-1093.
12. BeMiller JN, Huber KC. 2008. Carbohydrates. In *Food Chemistry*. Damodaran S, Parkin KL, Fennema OR, eds. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. p 84-154.
13. Kim HY, Noh KS. 2008. Effect of trehalose on the shelf-life of *Backsulgies*. *Korean J Food Cookery Sci* 24: 912-918.
14. Winkelhausen E, Jovanovic-Malinovska R, Velickova E, Kuzmanova S. 2007. Sensory and microbiological quality of a baked product containing xylitol as an alternative sweetener. *Int J Food Prop* 10: 639-649.