

알룰로스 대체 비율에 따른 스펀지케이크의 품질특성

이혜원 · 신정규^{1,2*}

전주대학교 조리·식품산업학과, ¹전주대학교 식품·생명융합기술 ICC, ²전주대학교 한식조리학과

Quality Properties of Sponge Cake According to Replacement Ratio of Allulose

Hye-Won Lee and Jung-Kue Shin^{1,2*}

Department of Culinary & Food Industry, Jeonju University

¹*Food & Bio Convergence Technology ICC, Jeonju University*

²*Department of Korean Cuisine, Jeonju University*

Abstract

In this study, the quality properties were compared by replacing allulose with a ratio of 0%-100% instead of sugar used in sponge cake. There was no significant difference in specific gravity, pH, and degree Brix of the dough according to the allulose content, but the brightness decreased and the redness, and yellowness increased as the allulose content increased. The volume of the sponge cake decreased as the content of allulose increased. Symmetry was uniform in the cakes replaced with allulose compared to 100% sugar. There was no significant difference in baking loss and moisture content. Hardness, gumminess and chewiness increased as the replacement rate of allulose increased, and adhesiveness was highest in 100% allulose. In the hedonic evaluation, 100% sugar and allulose 25% samples showed no difference, and the other samples were evaluated lower than the control. The maximum replacement ratio of allulose for sponge cake is considered to be 50%.

Keywords: allulose, sugar replacer, sponge cake, quality properties

서 론

우리나라는 최근 당류의 과잉 섭취에 따른 국민건강대책으로 2016년 4월 식품의약품안전처에서 ‘당류저감종합계획’을 발표하였다. 우리나라의 당류 섭취는 음료, 빵·과자류, 설탕, 가공유 및 발효유 등의 가공식품을 통한 섭취가 가장 높으며, 특히 최근 과일류나 원재료성 식품들에 의한 당류 섭취는 감소하고 있지만 가공식품에 의한 섭취는 증가하고 있다. 식품업계에서는 ‘당류저감종합계획’에 따라 생산하고 있는 기존제품이나 신규제품의 당류를 저감해야하는 실정이다(Yoon, 2018).

식생활의 서구화로 국내의 빵 소비는 빠르게 증가하는 추세이다. 젊은 층 뿐만 아니라 노년층까지 빵을 섭취하게 되어 베이커리 전문점의 매출 규모가 2012년 3조 9,689억 원에서 2016년 5조 9,388억 원으로 49.6% 증가하였으며,

국민 1인당 연간 빵류 소비량은 2012년 기준 약 78개에서 2016년 90개로 12개가 늘어 4일에 한 번 빵 1개를 소비하는 것으로 나타났다(FIS, 2018; Food Safety Korea, 2018; Lee, 2020).

설탕은 물에 대한 친수성을 가지고 있으며 달걀 단백질 변성 억제와 착색의 역할을 한다. 설탕은 제과 공정에서 달걀 거품을 낼 때 첨가된 설탕이 달걀에 있는 수분을 흡착해 기포가 터지지 않게 유지시키는 작용을 한다. 스펀지 케이크를 오븐에서 구우면서 증발되는 수분을 반죽 내 설탕이 흡착하여 붙잡는 역할을 통해 케이크 수분력이 유지 되도록 한다. 또한 설탕의 흡습성은 제과제빵 공정에 있어서 물에 분산된 형태로 존재하는 단백질의 응집에 의한 변성을 억제하는 역할을 하기도 하며, 갈변화 반응을 통해 생기는 고유의 풍미로 제품의 기호도를 상승시키기도 한다(Nakamura & Kimura, 2017; Jung, 2018). 이러한 이유로 제과제빵 공정에서 단순히 설탕함량을 줄이게 되면 밀가루 내에 있는 전분의 호화온도가 떨어지고 글루텐 단백질 형성이 증가되어 쿠키와 같은 제품의 경우 경도가 감소되어 부정적인 영향을 미친다(Kweon et al., 2009). 따라서 제품 제조시 단순히 설탕의 함량을 줄이는 것이 아니라 설탕의 역할을 할 수 있는 대체당을 사용하여 칼로리는 낮으

*Corresponding author: Jung-Kue Shin, Department of Korean Cuisine, College of Culture and Tourism, Jeonju University, 303 Cheonjam-ro, Wansan-gu, Jeonju, 55069. Republic of Korea
Tel: +82-63-220-3081; Fax: +82-63-220-3264
E-mail: sorilove@jj.ac.kr
Received July 24, 2022; revised August 11, 2022; accepted August 12, 2022

면서 설탕을 넣었을 때와 품질이 비슷한 제품을 만들어야 한다.

최근 국내에서 연구되어 상용화된 알룰로스(Allulose)는 과당 이성질체로서 자연계에 희귀하게 존재하는 당으로 설탕의 70% 감미를 가지고 있으며, 건포도, 무화과 등에 존재하는 저칼로리의 천연당이다(Kim et al., 2016). 알룰로스는 갈변화 반응(maillard reaction)을 일으켜 제과, 제빵처럼 설탕을 사용하면서 가열 공정이 포함되어 있는 식품에 사용하기 적합한 당이기도 하다. 그러나 입안에 단맛이 길지 않고 점도가 낮아 올리고당, 설탕, 식이 섬유 등과 함께 사용하여 맛과 질감을 보완하는 것이 좋다(Jung, 2018). 알룰로스는 일반 당류와 달리 대사작용을 하지 않고 소장에서 흡수되어 소변으로 배출되기 때문에 열량이 0-0.2 kcal/g 수준이며(Lida et al., 2010), 식품의약품안전처도 알룰로스의 열량을 0 kcal/g으로 인정하였고, 2020년 1월 1일부터 미국 FDA는 첨가당 표시 대상 품목에서 알룰로스를 제외하기도 하였다(MFDS, 2016). 현재 알룰로스에 관한 연구는 곤약젤리와 양갱 제품에 관한 연구(Kim et al., 2019a; Kim et al., 2019b), 파운드 케이크, 머핀, 쿠키에의 적용(Young et al., 2016; Hwang & Lee, 2018; Hwang & Lee, 2019) 등의 연구가 이루어지고 있으나 아직 연구된 분야가 다양하지 못한 실정으로 많은 제품에 대한 적용 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 전란을 사용하여 만든 공립법을 적용한 스펀지케이크의 제조에 다량 쓰이는 설탕 대신 대체 당류로서 알룰로스의 대체율에 따른 물리적 품질 특성 및 감각적 기호도 평가를 통해 제품 개발의 가능성을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에서 사용된 재료는 박력분(CJ Cheiljedang Co., Yangsan, Korea), 알룰로스(CJ Cheiljedang Co., Ansan, Korea), 설탕(CJ Cheiljedang Co., Incheon, Korea), 달걀(NJwellfarm Co., Anseong, Korea), 버터(Anchor Butter, Fonterra Co., Auckland, New Zealand), 소금(Hansusalt Co., Ulsan, Korea)을 사용하였다. 분말형태의 알룰로스(결정과당 100%)는 제조사로부터 직접 제공받아 사용하였으며, 나머지 재료는 시중 대형마트에서 구입하였다.

스펀지케이크 제조

알룰로스의 대체비율에 따른 제품의 특성 차이를 비교하기 위하여 한국산업인력공단에서 주관하는 제과기능사시험의 버터 스펀지케이크(공립법) 배합비를 참고하여 예비실험을 하였다. 실험결과 100%까지 대체 가능하여 알룰로스의 설탕 대체량을 0%, 25%, 50%, 75%, 100%로 설정하

였다. 알룰로스의 설탕 대체비율에 따른 스펀지케이크의 배합비율은 Table 1과 같다. 알룰로스와 설탕이 갈변화 반응을 일으킬 때 향과 맛 등의 기호도 평가에서 차이가 있는지 알아보기 위하여 바닐라향은 사용하지 않았다. 알룰로스는 설탕 중량을 100%로 기준으로 대체하였으며, 제조 공정은 Fig. 1에 나타내었다. 믹싱볼에 달걀, 설탕, 소금을 넣고 40회 혼합한 후 수조(Waterbath, HB-205SW, Hanbak Co., Bucheon, Korea)에 증탕하여 혼합물의 온도를 40±1°C로 유지하였다. 달걀을 흰자와 노른자 구분없이 전란을 사용하여 공립법(form type)으로 진행했으며 달걀의 기포성을

Table 1. Ingredients content of sponge cake according to allulose concentration

Ingredient (g)	control	AL25	AL50	AL75	AL100
Wheat flour	375	375	375	375	375
Allulose	0	112.5	225	337.5	450
Sugar	450	337.5	225	112.5	0
Whole Egg	675	675	675	675	675
Butter	75	75	75	75	75
Salt	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75
Total	1578.75	1578.75	1578.75	1578.75	1578.75

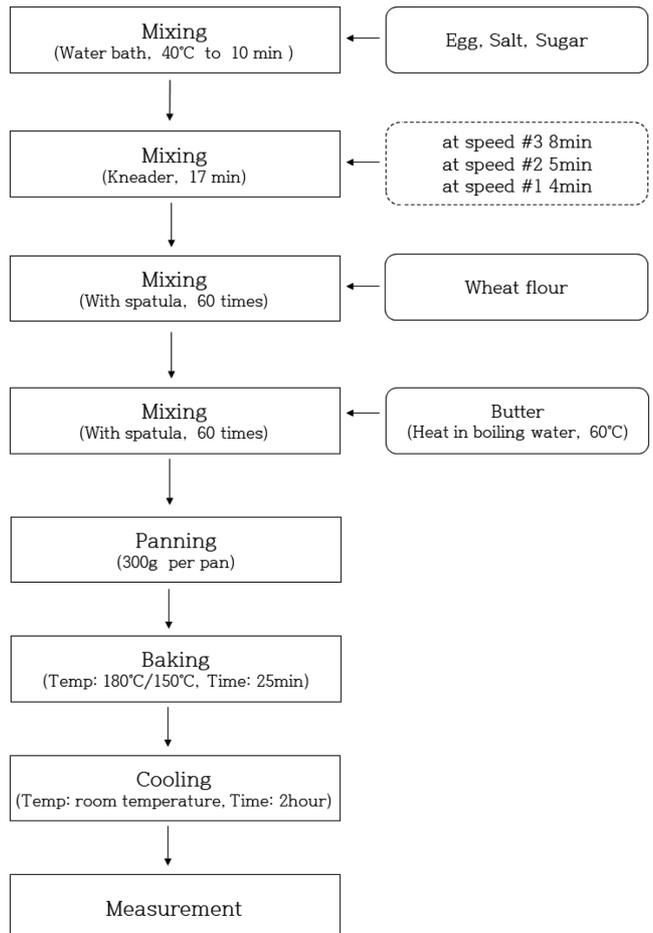


Fig. 1. Manufacturing procedure of sponge cake.

향상시키고 설탕과 소금의 용해성을 증가시키기 위하여 핫믹싱 방법을 사용하였다. 박력분은 10 mesh 체에 2번 제치고, 버터는 60±1°C로 중탕하였다. 중탕한 달걀, 설탕, 소금은 혼합기(A200C, Hobart Co., Troy, OH, USA)에 넣고 3단에서 8분, 2단에서 5분, 1단에서 4분간 교반하여 거품을 형성하였다. 박력분을 넣고 고무주걱으로 60회, 버터를 넣고 60회 혼합한 케이크 반죽을 18 cm pan에 300 g씩 팬닝하여 윗불 180°C, 아랫불 150°C으로 예열한 오븐(JSOF-150, JS Research Co., Gongju, Korea)에서 25분간 구운 다음 실온에서 2시간 방냉 후 시료로 사용하였다.

비중

반죽의 비중(specific gravity)은 물의 무게에 대한 케이크 반죽의 무게비를 나타낸 것으로 AACC method 10-15 (AACC, 2000)에 따라 비중컵을 이용하여 케이크 제조 과정 중 밀가루와 버터를 투입 후 반죽의 무게를 넣고 수평으로 깎아서 측정하여 아래의 식으로 계산하였다.

$$\text{Specific gravity} = \frac{\text{반죽을 담은 컵의 무게(g)} - \text{빈컵의 무게(g)}}{\text{물을 담은 컵의 무게(g)} - \text{빈 컵의 무게(g)}}$$

pH

반죽의 pH (Docu-pH meter, Satorius, Göttingen, Germany)는 반죽 5 g에 증류수 45 ml를 필터백(B01348WA, Nasco Whirl-Pak Co., Fort Atkinson, WI, USA)에 넣고 스토마커(Bag mixer 400VW, Interscience Co., Saint Nom, France)로 2분간 speed 3으로 교반한 후 비커에 넣어 상온에서 측정하였다.

비용적

비용적(specific volume, mL/g) 값은 반죽 1 g이 차지하는 부피로, 케이크의 부피에 대한 무게의 비로 계산하였다. 스펀지케이크를 구운 후 실온에서 2시간 방냉 후 무게를 재고, 종자치환법으로 조를 이용해 부피를 측정하여 비용적 값을 산출하였다.

수분함량

스펀지케이크를 구워 낸 후 2시간 동안 방냉 후 시료를 채취하여 수분측정기(MA35M-000230V1, Satorius Co., Göttingen, Germany)를 이용하여 수분함량을 측정하였다. 시료는 케이크의 속(crumb)의 중간 부분에서 2g을 채취하고 식품공전에 따라 수분측정기는 105°C에서 향량이 될 때까지 건조되도록 설정하여 측정하였다.

굽기 손실률

케이크의 굽기 손실률은 굽기 전 반죽의 중량과 굽고 난

후의 케이크의 중량 차이를 이용하여 계산하였다.

$$\text{굽기 손실률(\%)} = \frac{\text{굽기 전 케이크 반죽의 무게(g)} - \text{굽고 난 후 케이크의 무게(g)}}{\text{굽기 전 케이크 반죽의 무게(g)}} \times 100$$

색도

케이크의 크러스트(crust)와 크럼(crumb)의 색도는 색차계(CM-5, Konica Minolta Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 L값(명도, Lightness), a값(적색도, Redness), b값(황색도, Yellowness)을 측정하였으며, 표준 백판 값은 L=96.85, a=0.02, b=1.68이었다. 크러스트(crust)는 케이크의 위에 표면에서 중심 부분을 측정하였으며 크럼(crumb)은 옆면의 높이를 측정하여 가운데 부분을 절단 후 옆면의 중심 부분을 색차계를 이용해 측정하였다.

외관특성

케이크의 외관 특성은 AACC method 10-91(AACC, 2000) 방법을 참고하여 케이크 중심 부분을 절단하여 보여지는 크럼(crumb) 부분 양 끝을 A와 E로 표시하고 C를 중심선으로 표시하였다. A와 C사이에 B선을 C와 E사이에 D선을 표시하고 부피 지표(volume index), 대칭성(symmetry), 균일성(uniformity)을 Fig. 2와 같은 공식으로 계산하였다. 케이크의 외형을 카메라(NEX-5R, Sony, Tokyo, Japan)로 촬영하여 관찰하였으며, 시료와 카메라의 높이와 거리를 일정하게 유지하기 위해 삼각대를 이용하여 촬영하였다. 케이크의 외형을 촬영하기 위해 검은 배경에서 조명이 터지지 않도록 촬영하였다.

조직감

케이크의 조직감은 시료를 2.5×2.5×2.5 cm의 정사각형으로 자른 다음 Texture Analyzer (TX-XT2, Stable Micro Systems Co., Vienna, UK)를 이용하여 경도(Hardness), 부

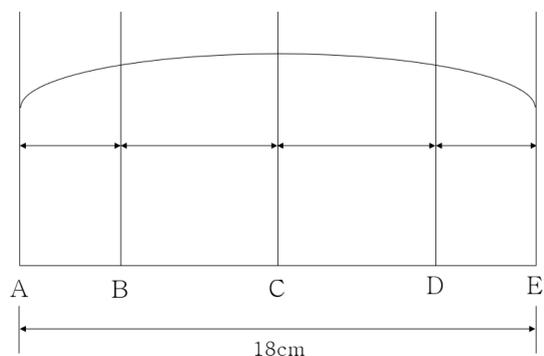


Fig. 2. Measurement method of volume, symmetry and uniformity index of sponge cake according to allulose concentration. Volume index = B + C + D, Symmetry = 2C - B - D, Uniformity = B - D.

착성(Adhesiveness), 탄력성(Springiness), 응집성(Cohesiveness), 검성(Gumminess), 씹힘성(Chewiness), 복원성(Resilience)을 측정하였다. 사용한 probe는 SMS P/50이며 측정 조건은 pretest speed 10.0 mm/sec, test speed 1.0 mm/sec, post-test speed 1.0 mm/sec, distance 10.0 mm, time 2.0 sec, trigger force 3.0 g, sample size 2.5 × 2.5 × 2.5 cm로 하였다.

기호도 평가

스펀지케이크의 감각적 평가는 전주대학교에 재학 중인 20대 남학생 18명, 여학생 32명을 대상으로 실시하였다. 평가항목은 외관(Appearance), 색(color), 향(Flavor), 조직감(Texture), 맛(Taste), 전반적인 기호도(Overall acceptability)로 나누어 평가하였으며, 기호도 평가지는 9점 척도(1점 매우 나쁘다, 9점 매우 좋다)로 이루어졌다. 시료는 난수표를 사용하여 세자리 난수 번호를 접시에 부착하여 무작위로 섞어 흰색 접시에 시료별로 하나씩 5개를 동시에 담아 제공하여 비교평가를 할 수 있게 진행하였다. 스펀지케이크는 당일 제조한 후 1시간 방냉하고, 2×2×2 cm의 크기로 동일하게 자르고 패널마다 무작위 순으로 제공하였으며, 시료 평가 사이에 입을 헹글 수 있도록 생수를 제공하였다. 본 연구는 전주대학교 생명윤리위원회의 승인(jjIRB-190507-HR-2091-0502)을 받아 진행하였다.

통계분석

모든 실험은 3회 이상 반복하였으며, 일원분산분석(ANOVA), Duncan 다중범위검정(Duncan's multiple range test)으로 유의성을 분석하였다. 모든 통계분석의 유의수준은 $p < 0.05$ 였으며, SPSS version 25.0 (IBM Co., New York, NJ, USA)를 사용하였다.

결과 및 고찰

비중, pH

알룰로스의 대체 비율을 달리하여 만든 스펀지케이크 반죽의 비중과 pH를 측정한 결과는 Table 2와 같다. 비중은 공기의 혼입 상태를 반영하는 것으로 제품의 품질에 영향을 준다. 선행연구에 따르면 비중이 크면 부피가 줄어들고 기공이 조밀하여 씹힘성이 떨어지며, 비중이 작으면 약하고

부서지기 쉬운 상태가 만들어진다고 보고하고 있다(Yang et al. 2003). 본 실험에서 시료들의 비중은 $0.33 \pm 0.02 - 0.35 \pm 0.02$ 범위를 나타냈으며, 알룰로스 대체량에 따른 유의적인 차이는 보이지 않았고, 스펀지케이크의 최적 비중이 0.35으로 보고한 Hwang & Kim (1999)의 연구 결과와 비슷한 값을 보였다. Kim (2019)는 쌀가루를 이용하여 엘로우 레이어 케이크 반죽의 비중이 알룰로스의 함량에 따라 유의적인 차이가 있는 것으로 보고하여, 밀가루를 사용한 스펀지케이크 반죽의 비중이 알룰로스 함량에 따라 유의적 차이를 나타내지 않은 본 연구와는 다른 연구 결과를 보였다. 이는 사용된 달걀의 함량과 당의 비율 차이에 따른 것으로 판단된다. 본 실험은 설탕 배합량이 달걀 대비 60-70%이고, Kim (2019)은 설탕 배합량이 달걀 대비 100% 이상이다. 설탕의 배합량은 달걀 대비 60-70%일 경우 기포가 쉽게 부서지지 않고 안정되며 공기를 적당히 머금고 있는 윤기 있는 단단한 거품이 만들어지며, 부피가 큰 풍성한 거품이 형성된다. 100% 이상 대체하게 될 경우 기포막이 단단하여 쉽게 부서지지 않고 점성이 강하며 묵직하고 치밀한 거품이 만들어지기 때문에 비중의 차이를 보인 것으로 생각된다(Nakayama & Kimura, 2017). pH 측정 결과는 $7.37 \pm 0.16 - 7.45 \pm 0.03$ 을 보였으며 시료간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 습식제분 쌀가루 및 알룰로스를 대체한 엘로우 레이어 케이크의 품질특성 연구결과 알룰로스의 함량에 따라 pH는 유의적인 차이가 없는 것으로 나타나 비슷한 경향을 보이고 있다(Kim, 2019).

비용적

알룰로스의 대체 비율을 달리하여 만든 스펀지케이크의 비용적을 측정한 결과는 Table 3과 같다. 알룰로스 대체량에 따른 무게는 변화는 없었지만 부피는 알룰로스의 대체 비율이 높을수록 적은 부피를 나타내었다. 설탕만 사용한 스펀지케이크(control)의 비용적은 4.60 ± 0.46 이었으며, AL25 4.01 ± 0.01 , AL50 3.87 ± 0.01 , AL75 3.32 ± 0.02 , AL100 3.30 ± 0.03 으로 알룰로스 대체량이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 설탕과 알룰로스를 50%(w/w)의 당용액으로 만든 후 밀가루와 1:1로 섞어 가열한 후 DSC를 사용하여 호화 특성을 본 Young et al. (2016)의 연구 결과에서 물은 65.87°C , 알룰로스 용액은 78.33°C , 설탕 용액은 97.33°C 에 호화가 시작되었다. 이러한 호화 온도의 차이에 의해 알룰

Table 2. Specific gravity, pH of sponge cake batter according to allulose content

	control ¹⁾	AL25 ²⁾	AL50	AL75	AL100
Specific gravity	0.34 ± 0.02 ^{3)NS}	0.35 ± 0.02	0.34 ± 0.03	0.33 ± 0.02	0.34 ± 0.02
pH	7.45 ± 0.03 ^{NS}	7.43 ± 0.07	7.40 ± 0.08	7.37 ± 0.16	7.41 ± 0.11

¹⁾control: control with sugar 100%

²⁾AL25-AL100: various concentration of allulose, AL25: allulose 25% + sugar 75%, AL50: allulose 50% + sugar 50%, AL75: allulose 75% + sugar 25%, AL100: allulose 100%

³⁾Mean±SD

Table 3. Weight, volume and specific volume of sponge cakes according to allulose content

	control ¹⁾	AL25 ²⁾	AL50	AL75	AL100
Weight (g)	268.73±3.08 ^{3)NS}	268.04±0.49	271.41±1.44	271.37±1.37	269.70±2.83
Volume (mL)	1,237.33±2.51 ^a	1,074.67±2.08 ^b	1,051.00±3.61 ^c	901.67±10.41 ^d	884.67±13.61 ^e
Specific volume (g/mL)	4.60±0.46 ^a	4.01±0.01 ^b	3.87±0.01 ^c	3.32±0.02 ^d	3.30±0.03 ^d

¹⁾control: control with sugar 100%

²⁾AL25-AL100: various concentration of allulose, AL25: allulose 25% + sugar 75%, AL50: allulose 50% + sugar 50%, AL75: allulose 75% + sugar 25%, AL100: allulose 100%

³⁾Mean±SD

^{a-e}Means with different letters are significantly different within the same row at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test

로스를 사용하였을 경우 설탕을 사용하였을 때보다 호화가 빨리 일어나면서 전분의 호화 과정 중 생기는 팽창 현상에 의한 기공 형성이 상대적으로 부족하여 부피가 작아지는 것으로 보인다고 하였다(Lee, 2010, Lee & Oh, 2010). 본 연구에서도 선행연구 결과와 유사하게 알룰로스 대체량이 높아질수록 스펀지케이크 비용적이 감소하는 결과를 보였다.

수분함량, 굽기 손실률

알룰로스의 대체 비율을 달리하여 만든 스펀지케이크의 수분함량과 굽기 손실률은 Table 4와 같다. 설탕과 알룰로스의 비율에 따른 수분함량은 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 알룰로스의 대체량에 따라 머핀을 제조한 연구에서도 알룰로스의 대체량에 따른 수분함량의 유의차가 없는 것으로 나타났다(Hwang & Lee, 2018). 그러나 유의적인 차이는 없지만 control 33.67±3.28, AL25 33.96±0.77, AL50 34.14±0.75, AL75 34.62±0.69, AL100 34.87±1.03으로 알룰로스의 대체량이 높을수록 증가하는 경향을 보였는데, 이는 설탕보다 알룰로스의 흡습량이 더 높은 것이 원인으로 판단된다(Lee & Shin, 2021). 굽기 손실률은 시료간의 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 범위는 10.40±0.63%-10.94±0.33%로 나타났다. 굽는 과정에서 열이 가해지면 반죽에 있는 수분이 팽창하여 수증기로 변하고 반죽에 형성되어 있는 기포로 빠져나가게 되어 굽기 손실률이 발생하게 된다(Ahn & Kim, 2007). 알룰로스는 수분 흡습량이 설탕보다 높아 알룰로스의 대체량이 증가할수록 굽기 손실률이 증가할 것으로 예측할 수 있으나 알룰로스 대체량에 의해 유의적인 차이를 보일 정도의 수분 흡습은 없는 것으로 생각된다. Hwang & Lee (2018), Kim

(2019)의 알룰로스로 대체한 머핀과 옐로우 레이어 케이크의 품질 특성 연구에 의하면 알룰로스로 대체한 시료군과 대체하지 않은 시료군 모두 굽기손실율에서 유의적인 차이가 없는 것으로 보고되어 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다.

색도

알룰로스의 대체 비율을 달리하여 만든 스펀지케이크의 crust와 crumb의 색도는 Fig. 3, Fig. 4와 같다. Crust의 명도(L) 값은 대조군이 37.51±0.52로 가장 밝았으며 AL25, AL50, AL75, AL100 순으로 알룰로스의 함량이 증가함에 따라 감소하였다. 알룰로스로 대체한 시료 간의 L값의 범위는 25.80±0.40-29.85±0.80으로 설탕을 단독으로 사용했을 때보다 어두워졌다. 적색도(a) 값은 대조군이 13.87±0.24로 가장 높았으며, 알룰로스가 대체된 시료 군에서는 함량이 늘어남에 따라 감소하는 경향을 보였으며, AL75와 AL100은 8.23±0.23, 5.26±0.60으로 유의차가 없는 것으로 나타났다. 황색도(b) 값은 대조군이 13.48±0.25로 가장 높았으며 알룰로스의 함량이 증가할수록 감소하는 경향을 보이고 있으며, AL75과 AL100은 8.41±0.20, 5.28±0.32로 유의차가 없는 것으로 나타났다. Crust의 색도 측정 결과 명도 값, 적색도 값, 황색도 값 모두 알룰로스 함량이 높아짐에 따라 대체적으로 감소하는 추세를 보였다. 설탕 대신 알룰로스로 대체하여 파운드케이크를 연구결과 crust의 색도 측정 결과 알룰로스를 50% 대체한 시료가 control에 비해 L값과 b값은 감소하고 a값은 증가한다고 하였다(Hwang & Lee, 2019). L값의 감소는 알룰로스의 열적 특성으로 설탕에 비해 쉽게 갈변되는 특징에 의한 것으로 본 연구에서도 같은 경향을 보였다. 그러나 a, b값은 모두 감소하는 본

Table 4. Baking loss rate of sponge cakes according to allulose content

	control ¹⁾	AL25 ²⁾	AL50	AL75	AL100
Moisture contents (%)	33.67±0.49 ^{NS}	33.96±0.77	34.14±0.75	34.62±0.69	34.87±1.03
Baking loss (%)	10.86±0.60 ^{3)NS}	10.94±0.33	10.77±0.97	10.40±0.63	10.68±0.67

¹⁾control: control with sugar 100%

²⁾AL25-AL100: various concentration of allulose, AL25: allulose 25% + sugar 75%, AL50: allulose 50% + sugar 50%, AL75: allulose 75% + sugar 25%, AL100: allulose 100%

³⁾Mean±SD

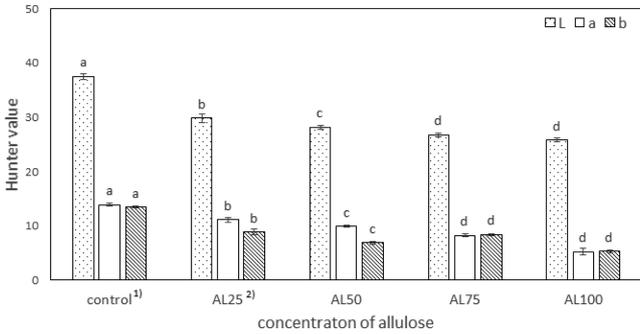


Fig. 3. Color value of crust on sponge cakes according to allulose content. ¹⁾control: control with sugar 100%; ²⁾AL25-AL100: various concentration of allulose. AL25: allulose 25% + sugar 75%, AL50: allulose 50% + sugar 50%, AL75: allulose 75% + sugar 25%, AL100: allulose 100%. ^{a-d}Different letters indicate significant difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

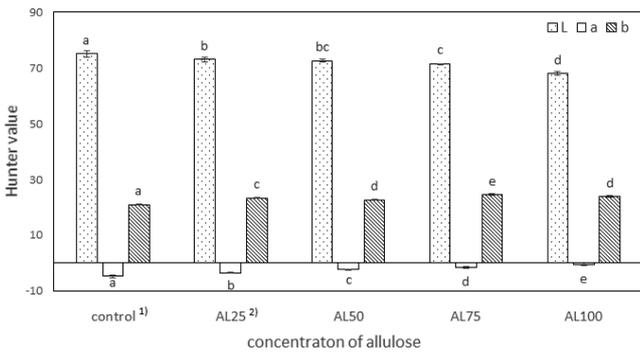


Fig. 4. Color value of crumb in sponge cakes according to allulose content. ¹⁾control: control with sugar 100%; ²⁾AL25-AL100: various concentration of allulose. AL25: allulose 25% + sugar 75%, AL50: allulose 50% + sugar 50%, AL75: allulose 75% + sugar 25%, AL100: allulose 100%. ^{a-c}Different letters indicate significant difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

연구와는 다른 결과를 보였는데 이는 배합 비율에 있어서 당과 달걀의 함량이 높은 본 연구의 배합비율에 의해 마이알 반응(maillard reaction)이 더 커졌기 때문으로 판단된다(Hwang & Kim, 1999). Crumb의 명도는 대조군이 75.08 ± 1.20로 가장 높게 나타났으며 AL25-AL75는 72.97 ± 0.74, 72.58 ± 0.45, 71.48 ± 0.10으로 감소하는 추세를 보였으며 AL100은 67.95 ± 0.66으로 급격하게 떨어졌다. 적색도는 control이 -4.78 ± 0.09로 가장 낮게 나왔으며 AL25-AL100은 -3.58 ± 0.18, -2.42 ± 0.09, -1.62 ± 0.39, -0.51 ± 0.35로 증가하는

경향을 보였다. 황색도는 AL75가 가장 높게 나왔으며 알룰로스를 대체한 시료의 황색도는 22.57 ± 0.21-24.49 ± 0.46으로 나타났다. Control은 20.89 ± 0.45로 가장 낮게 나타났다. Crumb의 명도는 알룰로스의 함량이 늘어남에 따라 감소하고 적색도는 알룰로스의 함량이 증가함에 따라 증가하고 있으며, 황색도는 알룰로스를 대체한 시료들이 설탕만을 사용한 시료보다 높게 나타났다. 알룰로스만을 사용한 AL100% 스펀지케이크는 짙은 갈색으로 마이알 반응이 많이 일어난 것을 알 수 있다. 이는 환원당인 알룰로스가 비환원당인 설탕에 비해 마이알 반응을 촉진하여 짙은 갈색이 나타난 것으로 생각된다(Kweon et al., 2009, Baek et al., 2008).

외관특성

알룰로스의 대체 비율을 달리하여 만든 스펀지케이크의 부피(Volume) 지표, 대칭성(Symmetry), 균일성(Uniformity)을 측정된 결과는 Table 5와 같다. 부피 지표는 control이 153.50 ± 3.28으로 가장 높게 나타났으며 알룰로스의 대체량이 증가할수록 AL25 146.33 ± 1.16, AL50 129.67 ± 2.52, AL75 121.67 ± 4.62, AL100 110.33 ± 4.51으로 부피 지표가 낮아지는 것으로 나타났다. 알룰로스를 대체한 다른 연구에서도 알룰로스의 대체 비율이 높아질수록 낮은 부피 지표를 나타내 본 연구와 유사한 결과를 나타냈다(Kim, 2019; Hwang & Lee, 2018). Fig. 5에서 보면 알룰로스의 함량이 증가함에 따라 높이가 낮아지는 것을 알 수 있는데, 이러한 결과는 부피와 연관지어 볼 수 있다. 알룰로스의 함량이 높아질수록 기포의 안전성이 떨어졌기 때문에 부피가 줄어들고 이로 인하여 스펀지케이크의 높이도 낮아지는 것으로 생각된다(Shin & Roh, 2010). 대칭성(Symmetry)은 케이크 모양의 균형을 나타내는 지표로 0에 가까울수록 대칭의 균형이 완벽한 것을 의미한다. Control이 5.50 ± 0.50으로 가장 높은 값을 보여 대칭성이 낮은 것으로 나타났으며, 알룰로스 대체된 시료들의 대칭성 범위는 1.33 ± 0.58-3.00 ± 1.74로 유의적인 차이는 없었으나 control에 비해 대칭성이 높은 것으로 나타났다. 균일성(Uniformity)은 스펀지케이크 좌우의 대칭성을 나타내는 것으로 0에 가까울수록 균일하다. 시료 간에 유의적인 차이는 보이지 않았지만, 알룰로스와 설탕을 혼합한 AL25-AL75의 균일성 값은 -0.33 ± 0.58-

Table 5. Volume, symmetry and uniformity index of sponge cakes according to allulose content (unit: mm)

index	control ¹⁾	AL25 ²⁾	AL50	AL75	AL100
Volume	153.50 ± 3.28 ^a	146.33 ± 1.16 ^b	129.67 ± 2.52 ^c	121.67 ± 4.62 ^d	110.33 ± 4.51 ^e
Symmetry	5.50 ± 0.5 ^a	1.67 ± 1.53 ^b	3.00 ± 1.74 ^b	1.83 ± 1.44 ^b	1.33 ± 0.58 ^b
Uniformity	0.83 ± 1.26 ^{3)NS}	-0.33 ± 0.58	-0.33 ± 0.58	-0.17 ± 1.04	1.00 ± 1.00

¹⁾control: control with sugar 100%

²⁾AL25-AL100: various concentration of allulose, AL25: allulose 25% + sugar 75%, AL50: allulose 50% + sugar 50%, AL75: allulose 75% + sugar 25%, AL100: allulose 100%

³⁾Mean ± SD

^{a-e}Means with different letters are significantly different within the same row at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test

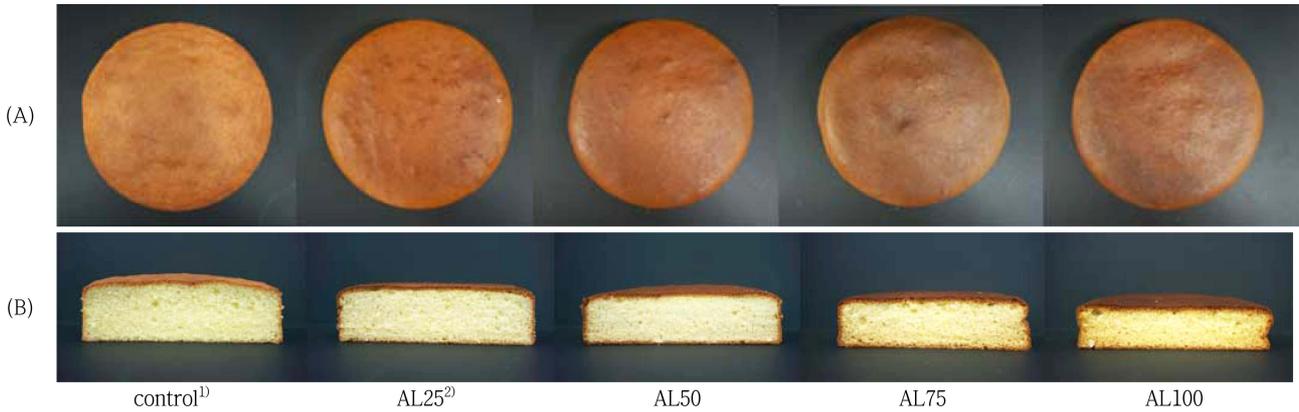


Fig. 5. The surface and cross section of sponge cakes according to allulose content. ¹⁾control: control with sugar 100%; ²⁾AL25-AL100: various concentration of allulose, AL25: allulose 25% + sugar 75%, AL50: allulose 50% + sugar 50%, AL75: allulose 75% + sugar 25%, AL100: allulose 100%.

0.17±1.04로 control 0.83±1.26, AL100 1.00±1.00로 알룰로스와 설탕을 혼합하여 사용했을 때 보다 좌우의 치우침 없이 균일했다. Kim (2019)의 연구 결과 대칭성에서 알룰로스를 25% 대체한 시료군이 높게 나왔으며 나머지 시료간에 유의차는 없다고 하였으며, 균일성은 시료들 간에 유의차가 없는 것으로 나타났다. Lee (2010)와 Lee & Oh (2010)의 연구결과 스펀지 케이크에 설탕, 에리스톨, 솔비톨, 자일리톨을 대체한 경우에도 균일성은 유의적인 차이를 보이지 않아 본 연구와 같은 경향을 나타내었다. 케이크의 외형은 Fig. 5에 나타내었다. Crust의 색과 모양을 위에서 관찰한 사진은 (A)에 crumb는 crust의 중심부를 기준으로 절단하여 색과 내부 조직을 관찰한 모습은 (B)와 같다. Crust는 대조군이 색이 가장 밝고 알룰로스의 비율이 높아질수록 높이가 낮아지고 색이 어두워진 것을 확인할 수 있다. Crust에서 대조군은 약간의 주름이 보이는데 이것은 굽는 과정에서 충분히 팽창했다가 가라앉았기 때문이다. 알룰로스로 대체된 스펀지케이크에서는 주름은 보이지 않고 crust가 두껍게 형성되었다. AL75부터는 crust와 crumb가 분리되는 현상이 일어났다. Crumb는 알룰로스의 함량이 증가함에 따라 부피가 점차 낮아지고 색은 어두워지는

현상을 보였다.

조직감

알룰로스의 대체 비율을 달리하여 만든 스펀지케이크의 경도(Hardness), 부착성(Adhesiveness), 탄력성(Springiness), 응집성(Cohesiveness), 검성(Gumminess), 씹힘성(Chewiness), 복원성(Resilience)을 측정된 결과는 Table 6과 같다. 경도(Hardness)는 설탕을 단독으로 사용한 control이 111.95±7.11로 가장 낮았으며 AL75가 257.26±16.9로 가장 높았다. 대조군과 AL25는 팽창한 후에도 부푼 형태 그대로를 유지하고 있는 것으로 보아 설탕이 달걀 단백질과 결합하여 안정된 기포를 형성하는데 중요한 역할을 하고 있는 것으로 생각된다. AL75은 부풀었다 가라앉거나 잘 부풀지 않았으며, AL100은 부풀지 않았으며 다른 시료들보다 팽창성이 가장 낮게 나왔다. 팽창성이 낮은 제품일수록 기공이 작아 경도가 높게 측정된 것으로 생각된다. AL100은 예외적으로 기공이 안정적으로 형성되지 않은 것으로 생각된다. 부착성(Adhesiveness), 응집성(Cohesiveness), 복원성(Resilience)은 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 탄력성(Springiness)은 AL25가 가장 높게 나왔으며 AL50,

Table 6. Texture properties of sponge cakes according to allulose content

	Sample				
	control ¹⁾	AL25 ²⁾	AL50	AL75	AL100
Hardness, N	111.95±7.11 ^{3)d}	125.42±4.0 ^d	137.10±6.79 ^c	257.26±16.9 ^a	169.76±12.04 ^b
Adhesiveness, J	-0.15±0.12 ^{4)NS}	-0.23±0.18	-0.17±0.14	-1.03±0.93	-0.86±1.12
Springiness	0.96±0.01 ^{ab}	1.02±0.09 ^a	0.98±0.02 ^{ab}	0.94±0.02 ^b	0.94±0.03 ^b
Cohesiveness	0.71±0.05 ^{NS}	0.77±0.05	0.76±0.04	0.74±0.03	0.78±0.05
Gumminess, J	79.82±7.52 ^d	96.69±7.83 ^c	103.71±9.66 ^c	191.18±16.01 ^a	132.05±7.15 ^b
Chewiness, J	76.75±7.42 ^d	98.76±13.83 ^c	102.14±9.88 ^c	178.94±12.90 ^a	124.82±9.48 ^b
Resilience	0.34±0.03 ^{NS}	0.41±0.07	0.40±0.06	0.37±0.05	0.40±0.03

¹⁾control: control with sugar 100%

²⁾AL25-AL100: various concentration of allulose, AL25: allulose 25% + sugar 75%, AL50: allulose 50% + sugar 50%, AL75: allulose 75% + sugar 25%, AL100: allulose 100%

³⁾Mean±SD

^{a-e}Means with different letters are significantly different within the same row at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test

Table 7. Consumer acceptance of sponge cake according to allulose content

	Sample				
	control ¹⁾	AL25 ²⁾	AL50	AL75	AL100
Appearance	7.22±1.92 ^{3)a}	6.36±1.48 ^b	6.34±1.75 ^b	4.4±1.69 ^c	4.76±1.78 ^c
Crust color	6.78±2.02 ^a	5.36±1.82 ^c	6.64±1.48 ^{ab}	5.42±1.75 ^c	5.96±1.68 ^{bc}
Crumb color	7.52±1.73 ^a	6.56±1.49 ^b	6.16±1.66 ^b	3.84±1.83 ^c	4.12±1.73 ^c
Flavor	6.74±1.72 ^a	6.3±1.71 ^{ab}	5.88±1.72 ^b	4.76±1.79 ^c	4.8±1.41 ^c
Texture: Softness	6.98±1.79 ^a	5.72±1.83 ^{bc}	6.14±1.78 ^b	5.74±2.24 ^{bc}	5.20±2.24 ^c
Texture: Moistness	6.48±1.95 ^a	6.02±1.70 ^{ab}	5.60±1.87 ^b	5.62±1.96 ^b	5.32±2.10 ^b
Texture: Elasticity	6.14±1.73 ^{4)NS}	6.02±1.69	5.64±1.77	5.76±1.66	5.88±2.01
Taste: Sweetness	6.62±1.64 ^a	6.32±1.74 ^a	6.32±1.45 ^a	5.94±1.79 ^a	4.28±1.74 ^b
Taste: Aftertaste	6.66±1.82 ^a	6.32±1.73 ^a	6.26±1.52 ^a	5.32±1.94 ^b	4.40±2.11 ^c
Overall acceptability	7.34±1.57 ^a	6.5±1.57 ^b	6.22±1.58 ^b	5.12±1.89 ^c	4.12±1.81 ^d

¹⁾control: control with sugar 100%

²⁾AL25-AL100: various concentration of allulose, AL25: allulose 25% + sugar 75%, AL50: allulose 50% + sugar 50%, AL75: allulose 75% + sugar 25%, AL100: allulose 100%

³⁾Mean±SD

^{a-d)}Means with different letters are significantly different within the same row at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test

control 순으로 나타났으며 AL75와 AL100이 가장 낮게 나타났다. 검성(Gumminess)과 씹힘성(Chewiness)은 경도와 비슷한 경향으로 AL75가 가장 높고 AL100, AL50, AL25, control 순이었다.

기호도 평가

알룰로스의 대체 비율을 달리하여 만든 스펀지케이크의 기호도 평가 결과는 Table 7과 같다. 전반적인 기호도를 보았을 때 control이 가장 높았고 알룰로스의 함량이 높아 질수록 전반적인 기호도가 떨어지는 것으로 나타났다. 외관은 육안으로 보았을 때 객관적인 기호도를 평가하였다. 기공이 균일하고 색상이 가장 밝은 control이 7.22±1.92로 가장 높은 기호도를 보였으며 AL25 6.36±1.48, AL50 6.34±1.75로 control과 유의적인 차이가 있는 것으로 보였다. AL75 4.4±1.69, AL100 4.76±1.78로 낮은 기호도를 나타냈다. Crust와 crumb의 색상 또한 control이 기호도가 가장 높게 평가되었다. Crust의 색상은 AL100이 세 번째로 좋은 평가를 받은 것으로 보아 색이 진해진 것에 기호도가 크게 영향을 미치지 않은 것으로 생각된다. Crumb도 control이 기호도가 높았으며 AL75, AL100은 낮은 기호도를 나타내었다. Crumb은 색상이 밝을수록 높은 평가가 나온 것으로 보아 명도가 낮고 적색도가 높아질수록 기호도가 떨어지는 것으로 나타났다. 향은 control이 높은 기호도를 나타냈고 알룰로스의 함량이 늘어날수록 향에 대한 기호도가 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 알룰로스에서 maillard reaction이 일어났을 때 설탕과 다른 알룰로스의 고유의 향이 익숙하지 않아 기호도가 떨어지는 것으로 생각된다. 부드러운 식감과 촉촉한 식감, 탄성에서도 control이 높은 기호도를 나타냈지만 알룰로스 대체된 시료군의 범위가 6.14±1.73-5.64±1.77사이로 큰 차이를 보이지

않았다. 알룰로스의 함량이 증가함에 따라 부피가 감소하여 시료들 간에 유의차가 클 것으로 예상했으나 기호도 평가 결과 그 차이는 크지 않았다. 단맛의 정도는 control 6.62±1.64, AL25 6.32±1.74, AL50 6.32±1.45로 유의차가 없는 것으로 나타났다. 알룰로스가 설탕의 70%정도의 감미를 가지고 있는 것을 생각하여 보았을 때 제과에 적용시 50%까지는 단맛이 떨어질 것으로 추측했으나, 큰 차이를 느끼지 못하는 것으로 나타났다. 먹고 난 다음에 입안에서 느껴지는 후미 또한 control-AL25까지는 유의차가 없는 것으로 나타났으며 AL75, AL100은 낮게 평가되었다. 알룰로스의 단맛은 대부분 단당류이기 때문에 입안에서 단맛이 오래 남지 않아 기호도가 낮게 평가된 것으로 생각된다. 스펀지케이크 제조시 설탕의 25%까지 대체 가능하다고 생각되며 본 연구의 전반적인 기호도를 보았을 때 최대 50%까지도 가능할 것으로 판단된다.

요 약

스펀지케이크에 사용되는 설탕을 알룰로스 0%-100%의 비율로 대체하여 품질 특성을 비교하였다. 알룰로스 함량에 따른 반죽의 비중, pH, Brix는 유의적인 차이가 없었으나, 색도는 알룰로스 함량이 증가함에 따라 L값은 감소하고 a, b값은 증가하는 경향을 보였다. 스펀지케이크 제조 후 색도에서 crust의 경우 알룰로스 함량이 증가함에 따라 L, a, b값 모두 감소하였으며, crumb의 경우에는 알룰로스 함량에 따라 L값은 감소하고 a값은 증가하는 경향을 보였으며, b값은 알룰로스 대체된 시료구가 높게 나타났으나 함량에 따른 경향을 보이지 않았다. 케이크의 부피는 알룰로스의 함량이 증가할수록 감소하였다. 대칭성지표에서 설탕 100%에 비하여 알룰로스 대체된 케이크들이 균일한

것으로 나타났다. 굽기 손실률과 수분함량에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 경도는 알룰로스의 대체 비율이 높을수록 증가하였으며, 검성과 씹힘성 또한 대체율이 증가할수록 증가하였다. 점착성은 알룰로스 100%에서 가장 높은 값을 보였으며, 나머지 시료들 간의 유의차가 없었다. 탄성, 씹힘성은 모든 시료에서 유의적인 차이를 보이지 않았다. 기호도 평가 결과 설탕 100%와 알룰로스 25%만 차이를 보이지 않았고, 나머지는 모두 낮은 평가를 받았다. 스펀지케이크에 알룰로스 대체 비율은 최대 50%까지 가능하다고 판단된다.

References

- Ahn MS, Kim CH. 2007. The quality characteristic of sponge cake with varied levels whey protein isolate. *Korean J. Food Cookery Sci.* 23: 41-49.
- Baek SH, Kwon SY, Lee HG, Baek HH. 2008. Maillard browning reaction of D-psicose as affected by reaction factors. *Food Sci. Biotechnol.* 17: 1349-1351.
- FIS (Food Information Statistics System). 2018 Market Report of Category: Bakery. Available: <https://www.atfis.or.kr/home/board/FB0027.do?act=read&bpoId=2969&bcaId=0&pageIndex=3>. Accessed July 24, 2022.
- Food Safety Korea. Available: <https://www.atfis.or.kr/article/M001010000/view.do?articleId=3086&page=3&searchKey=&searchString=&searchCategory=>. Accessed Mar. 09, 2020.
- Hwang JY, Lee SM. 2018. Studies on the characteristics of muffins prepared with allulose. *Korean J. Food Nutr.* 31: 195-201.
- Hwang JY, Lee SM. 2019. Studies on the physicochemical properties of pound cakes made by substituting tagatose, allulose and fructose for sucrose. *J. East Asian Soc. Diet Life* 29: 228-237.
- Hwang YK, Kim SY. 1999. Effects of the amount of egg and specific gravity on the quality of t, Yamada T, Yoshikawa Y, Miyazato S, Kishimoto Y, Okuma K, Tokuda M, Izumori K. 2010. Failure of D-psicose absorbed in the small intestine to metabolize into energy and its low large intestinal fermentability in humans. *Metab. Clin. Exp.* 59: 206-214.
- Jung KH. 2018. Sugar reducing materials and applied technology of processed foods. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 23: 5-9.
- Kim DH, Kim SJ, Kim MR. 2019a. Physicochemical properties and antioxidant activities evaluation of allulose yanggaeng containing *Enteromorpha prolifera*. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 48: 977-986.
- Kim DH, Kim SJ, Kim MR. 2019b. Physicochemical properties and antioxidant activities of allulose konjac jelly added with *Enteromorpha prolifera*. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 48: 967-976.
- Kim JY. 2019. Quality characteristics of yellow layer cake with wet-milled rice flour and allulose. MS thesis, Kunsan University, Jeollabuk, Korea.
- Kim YH, Kim SB, Kim SJ, Park SW. 2016. Market and trend of alternative sweeteners. *Korean J. Food Sci. Technol.* 49: 17-28.
- Kweon M, Slade, L, Levine H, Martin R, Souza E. 2009. Exploration of sugar functionality in sugar-snap and wire-cut cookie baking: implications for potential sucrose replacement or reduction. *Cereal Chem.* 86: 425-433.
- Lee HW. 2020. Quality characteristics of sponge cake and dacquoise using allulose. MS thesis, Jeonju University, Jeonju, Korea.
- Lee HW, Shin JK. 2021. Physicochemical properties of allulose mixture according to replacement ratio of sugar. *Food Eng. Prog.* 25: 155-160.
- Lee JK. 2010. Quality characteristics of sponge cakes with various sugar alcohols. MS thesis, Catholic University, Seoul, Korea.
- Lee JK, Oh MS. 2010. Quality characteristics of sponge cakes with various sugar alcohols. *J. Korean Soc. Food Culture* 25: 615-624.
- Lustig RH, Schmidt LA, Brindis CD. 2012. Public health: The toxic truth about sugar. *Nature* 482: 27-29.
- Lustig RH. 2010. Fructos: metabolic, hedonic, and societal parallels with ethanol. *J. Am. Diet Assoc.* 110: 1307-1321.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). Dry reduction method (2.1.1.1). Available from: http://www.foodsafetykorea.go.kr/food-code/01_03.jsp?idx=11003. Accessed Apr. 25, 2021.
- Nakayama HN, Kimura MK. 2017. Baking is Science. Turning Point. Seoul, Korea. pp 264-273.
- Shin GM, Roh HS. 2010. Bakery Material Science. Shin Kwang Publisher. Seoul, Korea.
- Yang HY, Cho YJ, Oh SS, Park KH. 2003. Effects of ratio and temperature of soybean oil or butter on the quality of sponge cake. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35: 856-864.
- Yoon EK. 2018. Current status of korean sugar intake and reduction policy. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 23: 10-13.
- Young M, Jeon SJ, Kweon M. 2016. Study on applicability of allulose as a sucrose replacer in cookie making. *J. East Asian Soc. Diet Life* 26: 450-456.

Author Information

이혜원: 전주대학교 석사

신정규: 전주대학교 교수