

# 저칼로리 저감미도 대체감미료 시장 및 동향

Market and trend of alternative sweeteners

김양희, 김성보, 김수진, 박승원\*

Yang Hee Kim, Seong-Bo Kim, Su Jin Kim, and Seung-Won Park\*

CJ제일제당 소재연구소

CJ CheilJedang, Life Ingredient and Material Research Institute

## Abstract

The concerns over obesity and obesity-related health problems are increasing as many consumers relate these health problems with sugar. The demand for sugar reduction is also rising and regulatory movement by governments including Korea is driven to reflect such demand. For the past decades, there have been diverse development and marketing of various sweeteners to substitute sucrose and high fructose corn syrup. Low caloric alternative sweeteners can be divided into high intensity sweeteners that have greater sweetness potency compared to sucrose, and low intensity sweeteners such as polyols, oligosaccharides and rare sugars that have less sweetness potency. This paper discusses representa-

tive low caloric alternative sweeteners, their market and trend.

Key words: sugar reduction, alternative sweeteners, low calorie, low-intensity sweetener

## 서론

지난 반세기 동안 고도의 산업화와 함께 생명공학, 의학·의료기술의 비약적인 발전에 따라 현대인의 건강하고 행복한 삶에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 최근 들어 건강에 가장 중요한 부분을 차지하는 식품도 단순히 영양 및 감각에 영향을 주는 1, 2차적인 기능의 제공에서 여러 생리활성 성분에 의한 ‘생체조절 기능’ 및 ‘건강증

\* Corresponding Author: Seung-Won Park  
CJ CheilJedang, Life Ingredient and Material Research Institute,  
CJ Blossom Park, 56, Gwanggyo-ro, Yeongtong-gu, Suwon, Gyeonggi 16495, Korea  
Tel: +82-31-8099-1500  
Fax: +82-31-8099-2903  
E-mail: sw.park@cj.net

진'을 나타내어 질병예방 및 건강향상에 도움을 주는 3차적인 기능을 나타내는 기능성 식품으로 그 패러다임이 바뀌고 있다. 대표적으로 충치 예방 효과로 널리 알려진 '자일리톨'에 대한 소비자의 폭발적인 반응만 보더라도 현대인의 건강한 삶에 대한 관심과 열의가 대단히 크다는 것을 알 수 있다.

세계보건기구(WHO)가 당 섭취에 따른 질병(비만) 우려에 따라 일일 당 섭취량을 기존 일일 50 g에서 25 g으로 낮출 것을 권고하였으며, 선진국을 중심으로 정부 주도하에 다양한 당류 섭취량을 줄이기 위한 정책이 활발히 논의 중에 있다(1). 우리 국민의 당류 섭취량은 지속 증가 추세로 13년 가공식품으로부터 당류 섭취량은 44.7 g, 에너지 섭취분율은 8.9%로 당류섭취권고기준(첨가당 섭취량이 1일 에너지 섭취량의 10% 이내)에 근접하였고, 3~29세 연령층은 권고기준을

넘어섰으며, 섭취량이 연평균 3.5% 수준으로 지속적으로 증가하고 있다. 뿐만 아니라 어린이·청소년·장년층의 총 당류 섭취량은 적정섭취량 이내이지만 가공식품을 통한 섭취량은 이미 기준을 초과하였다. 이에, 국내 식품의약품안전처는 2016년 “제 1차 당류 저감 종합계획”을 수립하였고, 이에 따라 가공식품의 당류 표시 의무화 및 당류 저감화 성분 및 기술 보급 개발 추진 계획을 적극 추진하기로 하였다(2).

또한, 미국을 중심으로 비만·당뇨 우려에 따라 고과당시럽(high fructose corn syrup) 시장은 연평균 20만톤 수준으로 지속적으로 감소하고 있다. 미국 고과당 시장은 2001년부터 감소 추세에 있고, 2030년에는 전체의 30%까지 감소될 것으로 예상되며, 이를 대체하기 위한 새로운 대체감미료 소재의 잠재 시장은 최소 1조 원 규모로 성장할 것으로 전망되고 있다(3).

표 1. 국가별 설탕관련 세금

지역	규제명	내용
미국	미국인 식생활 지침 권고사항(DGAC)	2015 미국인 식생활 지침에 포함 일일 칼로리의 10%이하로 첨가당 섭취 권고
	Sugar-Sweetened Beverage tax	음료 내 첨가당 4.2 g당 \$0.01세금 부과 현재 보건 분과 위원회 검토중
	버클리시 Tax on Sugar-Sweetened Beverages	음료 내 첨가당 28 g당 \$0.01세금 부과 75%찬성으로 법안 가결 (14년 11월)
	버몬트시	첨가당 함유 음료 6%주세 (15년 7월 시행) 주세가 식품에 부과된 첫 사례
	샌프란시스코시 Proposed Warning Label	첨가당 함유 음료의 옥외광고에 경고문구 ("첨가당 함유 음료는 비만, 당뇨, 충치의 원인이 됨") 샌프란시스코 감리위원회 승인 (15년 6월)
멕시코	Tax on Sugar-Sweetened Beverages	첨가당 함유 음료 리터당 \$0.07과세 (14년 1월)
캐나다	식품 표기 사항 개정안	첨가당 함량 별도 표기안은 기각, 영양성분 표시에 일일권고 섭취량대비 함량 표기
인도네시아	Sugar Tax	첨가당 함유 음료에 부과계획: RP2~3,000/L (US\$0.18~0.31/L)
영국	Sugar tax	16년 3월 16일 첨가당 함유 음료에 최고 20% 설탕세 부과 발표 (18년 4월 시행예정)



국제적으로도 당류 저감화 트렌드는 권고 형태를 벗어나 구체적인 세금 규제화(첨가당 함유 음료에 경고 문구 및 Sugar Tax 부과 등)를 통한 적극적인 정책 입안으로까지 발전 중이어서 향후 지속적으로 강화될 것으로 전망되고 있다(표 1). 이러한 정부 주도의 당류 저감화 정책에 대하여 미국 대형 음료회사들은 2025년까지 음료 제품 내 칼로리를 20%까지 점진적으로 줄여나갈 것

을 선언하였다. 이에 따라 기존의 설탕·고과당과 가까운 맛을 구현할 수 있는 대체감미료 소재에 대한 지속적인 관심이 증가하고 있으며, 이는 하나의 큰 트렌드로 자리 잡고 있다.

그러나 당류저감 정책을 가공식품 업체가 현재 시판중인 제품에 반영하는 데에 있어 여러 가지 기술적 허들이 존재하고 있다. 식품의약품안전처의 주관으로 수차례 진행된 산업체와의 간

표 2. 대표적인 감미료의 특성

		감미도 <sup>1)</sup>	열량 (kcal/g) <sup>2)</sup>	Glycemic Index
당류	설탕	1	4	68
	포도당	0.7	4	100
	과당	1.2~1.4	4	19
	유당	0.2~0.4	4	43
당알콜	솔비톨	0.5~0.6	2.4	9
	말티톨	0.8~0.9	2.4	26~36
	에리스리톨	0.4~0.6	0	2
	자일리톨	0.7~0.8	2.4	7~13
올리고당/식이섬유	프락토올리고당	0.6~0.7	3	25~40
	이소말토올리고당	0.4~0.5	2.4	25~40
	난소화성말토덱스트린	<0.2	2	0~10
	폴리덱스트로스	<0.2	2	0~10
	치커리식이섬유	<0.2	2	0~10
기능성당	물엿	0.3~0.6	4	100
	자일로스	0.4~0.6	4	17
	타가토스	0.8~0.9	1.5	3
	알룰로스	0.5~0.7	0	3
	팔라티노스	0.4~0.5	4	32~44
고감미료	트레할로스	0.4~0.6	4	70
	스테비아추출물	200~400	0	0
	나한과추출물	200~300	0	0
	감초추출물	200	0	0
	아스파탐	150~200	0	0
	사카린	200~300	0	0
	아세설팜칼륨	100~200	0	0
수크랄로스	600	0	0	

<sup>1)</sup> 감미도 : 설탕 기준 상대 감미도 (설탕=1)

<sup>2)</sup> 열량 : 무수물 기준 표시값, 국내기준

표 3. 대체감미료 시장

	(\$ million)				
	2012년	2013년	2014년-E	2019년-P	CAGR % (2014-2019)
고과당	3,111.0	3,173.2	3,236.7	3,573.6	2.0
고감미료	5,250.0	5,512.5	5,788.1	7,387.3	5.0
저감미도 감미료	2,177.8	2,353.7	2,513.8	3,394.1	6.2
합계	10,538.8	11,039.4	11,538.6	14,355.0	4.5

E: estimated; P-projected

Source: US-FDA, FSANZ, UK-FSA, EFSA, Health Canada, and Markets Analysis

담회 청취 의견 중 주요한 기술적 허들은 설탕·고과당 등의 당류는 단맛 이외의 제품 물성, 저장성 등에 중요한 역할을 수행하므로, 단순히 첨가량을 줄이는 것은 기술적으로 매우 어려운 점, 당류는 특히 음료의 맛과 향의 변화를 야기하므로 당류를 줄이면서 제품의 맛을 유사하게 구현하기 어려운 점, 원가 상승으로 인한 시중 제품의 판가 상승이 불가피함 등으로 요약될 수 있다. 이러한 현실적 한계점을 고려하면, 아직까지 업계에서는 설탕·고과당을 대체할 수 있는 실질적인

솔루션 부재라는 기술적 허들이 존재하고 있으므로, 기존 제품의 저감보다는 당류저감형 신제품의 품목을 증가시켜 소비자가 이를 선택하도록 하는 방향으로 제품 개발의 방향을 수립하고 있다. 그러나 가공식품은 ‘기호성’이 매우 중요하므로, 설탕·고과당을 대체하면서도 고유의 맛과 향을 유사하게 구현하기 위한 솔루션이 제공되어야 실질적인 정책의 효과를 기대할 수 있을 것이다. 따라서 향후 설탕·고과당의 단맛 이외에 물성·저장성 등의 식품가공특성 및 양질의 관능특성을 부여할 수 있는 저칼로리 대체당 소재의 적절한 활용은 매우 중요하다.

설탕·고과당을 대체하여 식품의 칼로리를 낮추기 위한 대표적인 방법으로는 고감미도의 감미성분(이하 고감미료)을 사용하는 방법이 있다. 고감미료의 경우 극소량만 사용해도 설탕·고과당과 유사한 감미도를 나타내기 때문에 칼로리가 거의 제로에 가깝다는 장점을 가지고 있어 다양한 제품의 칼로리 저감을 위하여 사용되고 있다. 그러나 이러한 고감미료는 단독 사용할 경우 소비자가 느끼는 맛의 기호도가 낮아 실제로는 다양한 종류의 저칼로리 저감미도 당류 혹은 당알콜류와 혼합감미제 형태로 사용하고 있다. 대표적인 혼합감미료 제품으로는 Cargill사에서 판매하고 있는 트루비아(Truvia®)가 있다. 이는 천연 고감미료인 스테비아 제품으로, 당알콜인 에리스리톨과 혼합된 성분으로 구성되어 있다.

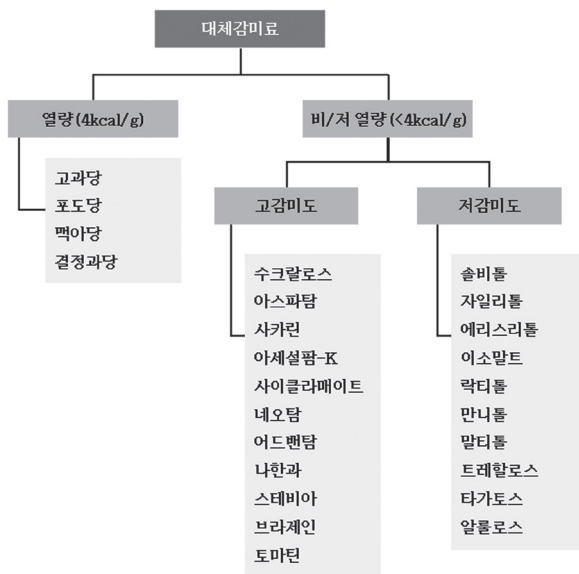


그림 1. 대체감미료 분류



따라서, 다양한 식품의 당류저감(칼로리 저감)을 위하여 감미도 대체를 위한 고감미료의 적용 이외에도 식품의 물성 및 관능적 측면에서 다양한 종류의 저칼로리 저감미도 대체감미료의 특성에 대한 이해는 매우 중요하다. 이에, 본 고에서는 저칼로리 저감미도 대체감미료의 기본 특성 및 시장 동향 등에 대한 정보를 제공하고자 한다.

## 1. 감미료 제품군의 분류 및 시장 동향(4)

대체감미료는 크게 칼로리와 감미도를 기준으로 하여 구분할 수 있다(그림 1). 칼로리를 기준으로 하여 열량성(caloric)과 비열량성(non-caloric) 또는 저열량성(low-caloric)으로 분류할 수 있으며, 비열량성/저열량성 감미료는 크게 감미도에 따라 고감미료(HIS, high intensity sweetener)와 저감미도 감미료(LIS, low intensity sweetener)로 구분할 수 있다. 대표적인 고감미료는 수크랄로스, 사카린, 스테비아, 아스파탐 등이 있으며, 저감미도 감미료는 솔비톨, 자일리톨, 만니톨과 같은 당알콜류와 트레할로스, 타가토스 등이 있다.

대체감미료가 전체 감미료 시장에서 차지하는 비중은 고감미료 4%, 저감미도 감미료 3% 고과당 7%로 86%를 차지하는 설탕에 비하여 매우 낮은 수준이다(2012년 기준). 그러나 이들 대체감미료 시장은 매우 빠르게 증가하고 있으며, 고과당의 증가추세에 비하여 낮은 칼로리를 가지고 있는 고감미료와 저감미도 감미료의 성장률은 매우 높다(표 3). 연평균성장률(CAGR)이 다른 제품군에 비해 상대적으로 높은 저감미도 감미료 시장은, 2019년까지 매년 약 6.2%씩 증가할 것으로 예상되고 있다. 이는 당류저감(칼로리 저감)에 대한 트렌드에 맞춰, 기존 단순 고감미료 중심의 제로 칼로리 음료제품에서 다양한 가공식품으로 제품의 물성과 풍미를 조절하는 데에 필요한 저감미도 감미료의 사용도가 증가하고 있음을 보여준다고 할 수 있다.

저감미도 저칼로리 감미료는 크게 당알콜, 올리고당, 희소당으로 나눌 수 있다. 이 중 현재 국내·외에서 식품원료로 등록되어 사용되고 있는 대표적인 몇 가지 감미료 소재의 기본적인 특성에 대하여 살펴보고자 한다.

## 2. 당알콜

당알콜은 과일이나 채소에 존재하는 물질로, 알도오스(aldose)의 알데하이드기(aldehyde group)가 수산화기(hydroxyl group)로 치환된 것이며, 알디톨(alditol)로 불리기도 한다. 대부분 감미도가 설탕보다 낮아, 일반적으로 부족한 감미도를 맞추기 위하여 다른 감미료와 혼합하여 사용되고 있다. 또한, 제품의 질감(texture)과 수분을 유지하고 청량감을 부여하는 등 다양한 목적으로 사용할 수 있다.

당알콜은 체내에서 소화 흡수가 완전하게 이루어 지지 않아 설탕에 비해 열량이 낮으며, 당알콜 섭취 시 혈당 수치가 거의 증가되지 않고 인슐린의 분비 유도가 없어 당뇨나 비만환자와 같은 식이조절이 필요한 사람들에게 권장될 수 있다. 또한 올리고당과 유사하게 장내미생물의 정상화를 돕는 프리바이오틱스(prebiotics)의 기능도 보고되었다. 그러나 당알콜류는 다량 섭취 시 완하 효과(laxative effect)와 부글거림, 부푼, 복부팽만감과 같은 위장관 불편현상이 발생한다고 알려져 있어, 일회 섭취량의 제한이 있다.

대부분의 당알콜은 고온 고압조건에서 촉매를 이용한 화학적 반응을 통하여 산업적으로 생산되고 있다. 그러나 이러한 방법은 가혹한 반응조건과, 수율이 낮은 문제점을 가지고 있어, 최근에는 미생물 발효를 이용한 생산법이 개발되고 있다.

당알콜은 설탕과 달리 카라멜화 현상(caramelization) 일으키지 않는 특징을 가지고 있으며, 열과 pH에 안정한 특성을 보이고 있다.

## 2.1 에리스리톨(Erythritol)

에리스리톨은 과일(배, 멜론 등), 야채, 버섯 및 발효식품 등에 소량 존재하는 당알콜로, 감미도는 0.4~0.6이다. 열량은 0~0.2 kcal/g로 당알콜류 중 가장 낮으며, 낮은 GI값을 가지고 있다.

에리스리톨은 벨기에 Cerestar사(현재 Cargill)에 의해 미생물대사를 이용한 다양한 당알콜 개발을 통하여 제조방법이 개발되었으며, 1993년 일본에서 상업생산이 시작되었다(5). 다른 당알콜류와 달리 촉매에 의한 화학합성이 아니라 포도당을 원료로 한 발효법을 통하여 제조되고 있으며, 효모(osmophilic yeast) 및 젖산균(lactobacillus) 등을 이용한 발효법이 사용되고 있다(6-8). 에리스리톨은 화학합성 시 반응경로가 매우 복잡하고, 생산비용이 높아 미생물 발효를 통하여 생산되고 있다. 미생물 발효를 통한 에리스리톨의 생산수율 향상을 위해 부반응산물인 글리세롤 생산을 최소화 시키는 것이 중요하다(9).

에리스리톨은 섭취량의 약 90% 이상이 소장에서 빠르게 흡수되어 24시간 이내 대부분 소변으로 배출되고, 소변으로 배출되지 않은 에리스리톨도 장내 미생물이 대사에 이용할 수 없어 당알콜 중 가장 낮은 칼로리를 가지고 있다(10). 또한, 당알콜류 중 혈당상승에 가장 적은 영향을 주는 것으로도 알려져 있다(11).

에리스리톨은 온도 및 pH에 높은 안정성을 보이고, 마이야르(Maillard) 반응을 일으키지 않으며, 흡습성이 낮은 특징을 가지고 있다. 또한, 식품에 적용 시 부드러운 청량감, 식품의 부피감을 부여하는 특징을 가지고 있다(12).

## 2.2 자일리톨(Xylitol)

충치예방용 껌을 통하여 널리 알려진 자일리톨은 소비자가 가장 잘 알고 있는 대표적인 당알콜로 다양한 과일과 채소등에 소량 존재하며, 인체 내 포도당 대사과정 중 중간산물로 존재하는

물질이다. 감미도는 0.7~0.8, 열량은 2.4 kcal/g으로 설탕보다 낮으며, 청량감이 높고 용해도가 좋아 다른 식품들과 잘 섞이는 특징을 가지고 있다.

자일리톨은 핀란드의 핀슈가에 의하여 1972년에 개발 되었으며, 거의 세계 모든 지역에서 식품첨가물로 허가를 받은 물질이다. 일반적으로 자작나무에서 자일란을 추출하고, 이를 가수분해하여 자일로스를 생산, 자일로스의 고온, 고압, 수침반응에 의하여 제조를 하지만(13), 효모나 대장균을 이용한 발효법을 통한 제조도 가능하다(14).

자일리톨은 체내에서 50%정도 흡수되며, 일부는 간접적으로 장내 미생물에 의하여 발효되어 분해된다(15). 흡수된 자일리톨은 glucuronic acid-pentose phosphate shunt pathway를 통해서 간에서 대사된다(16).

가장 널리 알려진 자일리톨의 기능성은 비우식성 및 충치·프라그 감소효과로 치아재생에 도움을 준다는 것이며, 이에 대한 기능성을 인정받아, 다양한 구강위생용품 및 의약품에 사용되고 있다(17).

## 2.3 말티톨(Maltitol)

말티톨은 포도당과 솔비톨로 구성된 이당 당알콜로, 감미도가 0.8~0.9이며 당알콜 중 가장 설탕과 유사한 단맛을 가지고 있다. 효소를 이용하여 말토오스 또는 말토오스-포도당 시럽을 제조한 후 이를 고온·고압 조건에서 니켈촉매 하에 수소첨가반응을 통하여 제조한다.

말티톨은 포도당과 솔비톨로 가수분해되어 소장에서 천천히 흡수되며, 소장에서 흡수되지 않은 말티톨은 대장 내 미생물에 의하여 대사되는 특징을 가지고 있다(15,18).

열 안정성이 높아 카라멜화 및 브라우닝(browning)이 일어나지 않고, pH에 대한 안정성도 높아 가공식품의 색, 향 및 신선도 유지에 우수한 특성을 나타낸다. 설탕과 매우 유사한 용해도와 흡습



표 4. 올리고당의 종류 및 특징

식품유형	법적규격	중합도	주요성분	원료물질
프락토올리고당		DP3-5	kestose, nystose 등	원당
이소말토올리고당		DP2-7	isomaltose, pannose 등	맥아당
갈락토올리고당	각 올리고당으로서 10%이상 말토올리고당은 40%이상	DP3-5	raffinose, stachyose 등	유당
말토올리고당		DP3-10	maltotriose, maltotetraose 등	말토오스
자일로올리고당		DP2-6	xylobiose, xylotriose 등	자일란
겐티오올리고당		DP2	gentiobiose, cellobiose	포도당

성을 가지고 있으며, 다른 당알콜에 비해 청량감이 낮고, 낮은 흡습성과 고온에서 낮은 안정성을 보인다. 또한 다른 당알콜과 다르게 크리미한 식감을 부여하는 기능이 있어 지방 대체제로도 사용이 가능하다(19).

### 3. 올리고당

올리고당은 단당류인 포도당, 과당, 갈락토스 등이 2개에서 많게는 10개 정도 결합된 탄수화물 중합체로(표 4), 다양한 과일과 야채에 소량 함유되어 있다. 올리고당의 감미도는 0.4~0.7이며, 난소화성 특성에 기인하여 설탕보다 칼로리가 낮다. 충치예방효과 및 장내유익균의 증식을 돕는 프리바이오틱스 효능으로 설탕의 대체제로 권장되고 있으며, 기능성 식품의 소재로서 많은 주목을 받고 있다. 특히 음료와 유제품 산업에서 올리고당의 수요가 크게 증가하고 있다(20).

올리고당의 특성은 올리고당의 분자량, 구성 단당류의 종류와 연결 구조에 따라 달라지며, 또한 원료물질과 이를 추출하는 방법과도 밀접한 관련이 있다(21). 올리고당을 생산하는 방법으로는 식물로부터 직접적인 추출, 천연 다당류의 가수분해 및 가수분해효소(hydrolase) 또는 당전이 효소(glycosyltransferase)와 같은 효소를 이용하는 방법이 있으며, 최근에는 대부분 효소공법을 이용하여 올리고당을 대량생산 하고 있다. 대표적인 상업용 올리고당으로는 프락토올리고당과 갈락토올리고당, 이소말토올리고당이 있다.

#### 3.1 프락토올리고당(Fructooligosaccharide)

프락토올리고당은 야채나 과일(양파, 바나나, 아스파라거스, 치커리 뿌리 등)에 함유되어 있는 올리고당으로, 감미도는 0.6~0.7 이다. 설탕을 구성하는 과당부분에 1~3개의 과당이 추가로 결합된 형태를 가지고 있으며, 그 구성성분은 1-케스토스(1-Kestose), 니스토스(Nystose), 1-F 프락토피라노실니스토스(1-F Fructofuranosyl nystose)이다. 난소화성물질인 프락토올리고당은 인체 내에서 소화효소에 의해 분해되지 않아 거의 칼로리가 없으나, 장내 미생물이 이를 발효에 이용하여 단쇄지방산(SCFA, short-chain fatty acids)을 생성하고 이것이 장으로 흡수되어 약 3kcal/g 열량을 낸다.

프락토올리고당은 엔도이눌레이즈(endoinulinase) 효소를 이용하여 이눌린(inulin)을 가수분해하여 얻거나 원당(설탕)을 원료로 베타-프락토피라노시데이즈( $\beta$ -fructofuranosidase)의 당전이 반응을 통하여 생산되고 있다(22).

프락토올리고당은 마이야르 반응을 일으키지 않으며, 중성 조건에서 안정하지만, 산성조건에서 가열하게 되면 가수분해가 촉진되는 성질이 있다.

#### 3.2 갈락토올리고당(Galactooligosaccharide)

갈락토올리고당은 갈락토스를 주성분으로 하는 올리고당의 총칭이며, 3~5개의 당이 결합된

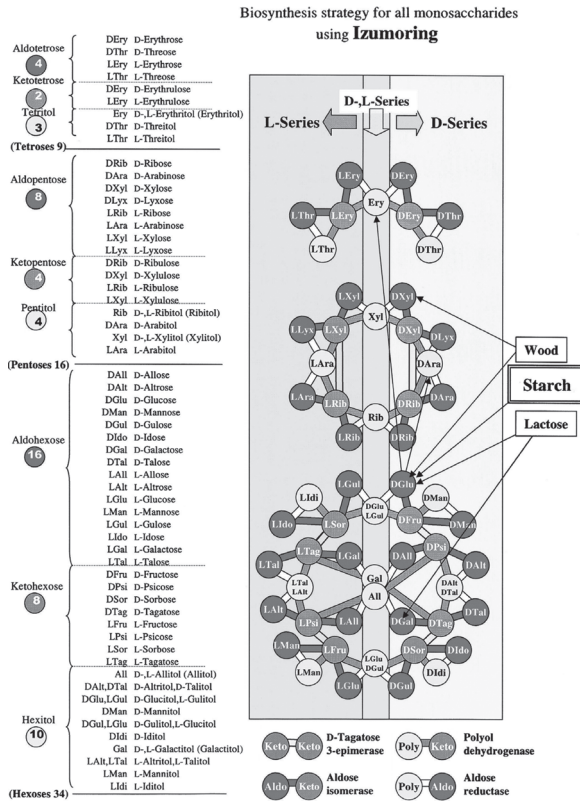


그림 2. 단당류 합성 경로 (Izumoring)

형태로 모유에 포함되어 있는 성분이다. 갈락토올리고당은 프락토올리고당과 유사하게 체내에서 거의 분해 흡수되지 않고 대장까지 도달하여 장내에서 서식하고 있는 유익균인 비피더스균 및 유산균을 선택적으로 증식시키고 유해균의 성장을 억제하는 탁월한 프리바이오틱스 효능을 보인다.

기존의 화학적 공법을 통한 갈락토올리고당 생산은 가혹한 공정조건과 낮은 생산수율로 인하여 대량생산이 어려워, 현재는 유당을 원료로 당전이효소(glycosyltransferase) 또는 배당체 가수분해효소(glycoside hydrolase)를 사용하는 효소반응을 통하여 생산하고 있다(23).

갈락토올리고당은 설탕과 유사한 체적특성(bulk property)을 가지고 있어 설탕을 대체하는

증량제(bulking agent)로 사용할 수 있으며, 특히 넓은 범위의 온도와 pH에서 안정하여 다양한 식품에 사용되고 있다.

### 3.3 이소말토올리고당(Isomaltooligosaccharide)

이소말토올리고당은 포도당이  $\alpha$ -(1,6)-glucose의 결합구조로, 이소말토즈(isomaltose), 판노즈(panose), 이소말토트리오스(isomaltotriose), 이소말토펜토오스(isomaltopentose) 등의 포도당 올리고머로 구성되어 있다. 미소, 사케, 간장과 같은 다양한 발효식품과 꿀에 소량 존재하며, 감미도는 0.4~0.5로 다소 단맛이 부족하나 감칠맛을 부여하여 다양한 가공 식품에 사용되고 있다.

이소말토올리고당은 옥수수, 밀 및 쌀과 같은 곡물 유래 전분 성분에 효소를 처리하여 생산한다. 알파-아밀레이스( $\alpha$ -amylase)와 풀루라네이즈(pullulanase)를 이용하여 전분을 액화시킨 후, 알파-글루코시데이스( $\alpha$ -glucosidase)에 의한 당전이 반응으로 이소말토올리고당을 생성한다(24).

다른 난소화성 올리고당과 달리 이소말토올리고당은 소화효소에 의해 일부분이 분해되고 나머지는 인체에 흡수되어 약 2.4 kcal/g 열량을 나타내며, 상대적으로 소화기관에 자극이 적고, 설사 등의 부작용이 거의 없는 것으로 알려져 있다(25). 또한 열과 산에 강하고 보습성과 방부성이 우수하며, 설탕과 유사한 낮은 점성을 가지고 있다.

### 4. 희소당

희소당(rare sugar)은 자연계에 매우 소량 존재하는 단당류로 포도당, 과당, 갈락토스 등과 같은 일반 단당류를 원료로 사용하여 제조가 가능하며, 우리가 널리 알고 있는 자일리톨 역시 희소당의 범주에 포함된다. 희소당은 체내에서 일반 단당류와는 다른 대사를 보이며, 다양한 생리활성을 가지고 있어, 기능성 감미료 외에도 의약





용 소재로서도 이용이 가능한 차세대 소재로 떠오르고 있다.

일본 가가와 대학의 이즈모리 교수는 일반 단당류와 희소당의 상관관계와 이를 기반으로 한 생물학적 합성경로를 이즈모링(Izumoring, 그림 2)이라는 그림으로 알기 쉽게 설명하였다(26). 이즈모링은 일반 단당류로부터 합성 가능한 약 50가지 정도의 희소당을 포함하고 있으며, 각 물질의 전환 효소에 대한 정보를 담고 있다.

그러나 희소당의 대량생산과 소재에 대한 소비자의 인지도 등 식품소재로의 적용을 위해서는 해결해야 할 부분들이 남아있다.

#### 4.1 타가토스(Tagatose)

타가토스는 유제품에 존재하는 희소당으로, 갈락토스의 이성질체이며, 설탕과 유사한 물리화학적 성질을 보인다. 타가토스는 감미도 0.8~0.9로 대체감미료 중 가장 설탕과 유사한 단맛을 가지고 있으나, 열량은 1.5 kcal/g으로 설탕의 38% 수준이다. 또한, 정장효과, 풍미증진효과가 있어 다이어트 제품의 저칼로리화, 당뇨병 환자용 식품(저혈당 치료 효과, 미국에서 제약 3상 임상실험 성공), 껌, 초콜릿의 무설탕 제품 등 기능성 식품에 광범위하게 사용될 수 있으며, 설탕의 직접 대체품으로 탁상감미료(table-top sweetener)로도 사용될 수 있다. 이와 더불어 화장품, 의약품 제제의 증량제(bulking agent), 여러 가지 광학활성 화합물의 합성을 위한 중간체 등 용도가 매우 다양하다.

그러나 타가토스는 자연계에 미량으로 존재하는 희소당이기에 대량수득에 그 한계가 있다. 기존에 타가토스는 갈락토스로부터  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 촉매로 한 화학적 이성화법으로 고수율 생산이 가능하였으나, 회수 및 정제가 어렵고 공정이 복잡하여 고순도의 제품을 얻기가 여의치 않으며, 화학공정의 특성상 부산물이 발생하는 문제가 있었다(27). 이 후 이러한 문제점을 보완하기 위한

생물공정을 이용한 타가토스 제조 연구가 진행되었으며, CJ제일제당은 생물공정을 이용한 타가토스를 세계 최초로 선보였다. 최근에는 원료인 유당의 가격 및 수급불안정성의 문제로 원료를 변경하여 타가토스를 생산하고자 하는 시도가 보고되고 있다(28,29). 국내외에서 식품원료로 사용되고 있는 타가토스는 국내에서 식후혈당조절기능에 대하여 건강기능식품원료로도 인정받았다(30).

타가토스는 비충치유발성, 간에서의 글리코젠 합성 촉진, 소장에서 탄수화물 흡수 억제, 대장에서 유익균 증식의 기능성을 보인다 알려져 있다. 타가토스의 인체시험결과 섭취한 식후 혈당 상승 억제 효과가 있음이 확인되었고, 특히, 내당능 또는 초기 당뇨병환자의 경우 그 효과가 극명하게 나타났다(31). 또한, 타가토스는 락토바실러스 GG(*Lactobacillus* GG) 또는 락토바실러스 카제이(*Lactobacillus casei*) 등 특정 기능성 유산균의 선택적 프리바이오틱스로 작용하여, 장내 유익균의 증식을 도와주는 작용을 한다(32).

타가토스는 맛 특성의 보완이 필요한 고감미료 기반의 복합감미제 개발에 중요한 기반소재로써 활용이 가능하며, 고감미료와 혼합하여 사용할 경우 시너지 효과를 나타낸다는 것이 확인되었다. 대표적인 천연 고감미료인 리바우디오사이드 A(Rebaudioside A, 이하 RebA)는 자체의 쓴맛(bitter taste)이 있어, 에리스리톨과 같은 당알콜과 혼합하여 사용되고 있다. 이를 타가토스로 대체하여 RebA와 혼합하여 사용하면, 에리스리톨 대비 RebA가 가지고 있는 쓴맛의 강도가 약해지는 효과가 있다(33). 또한, 널리 사용되고 있는 고감미료인 수크랄로스과 혼합하는 경우 단맛의 상승효과가 나타난다. 타가토스와 RebA로 구성된 혼합감미료를 커피믹스와 같은 제품에 적용 시 설탕 대비 동등이상의 맛과 품질 상승효과를 얻을 수 있다(34).

타가토스는 과당과 설탕의 중간정도의 점도를 가지고 있으며, 설탕 대비 수분활성도가 낮고 일

반적인 습도조건에서 흡습현상이 없어 고화나 변패에 안정적인 특징을 가지고 있다.

#### 4.2 알룰로스(Allulose, Psicose)

과당의 이성질체인 알룰로스는 저칼로리의 천연 당류로, 건포도, 무화과 등에 소량 존재한다. 감미도는 0.5~0.7로 열량은 0~0.2 kcal/g이며, 혈당상승억제 및 체지방감소효과를 가진다고 알려져 있다.

알룰로스는 초기에 일본을 중심으로 개발되어 왔으며, 과당을 원료로 하여 화학전환공법을 이용하여 상용화가 추진되었다(35). 그러나 화학전환을 통하여 생산 가능한 알룰로스의 이론적 전환수율은 10%미만으로 낮고, 알룰로스 외 다양한 종류의 기타당을 포함하고 있어 고순도의 알룰로스를 확보하는데 한계가 있었다. 이에, 최근에는 알룰로스를 생산하기 위한 다양한 생물전환반응에 대한 연구가 진행되고 있다. 과당을 알룰로스로 전환하는 다양한 미생물 유래의 효소가 보고되고 있으며, 이를 이용한 생물공정(효소반응)을 통하여 전환율을 25~30% 수준까지 높일 수 있게 되었다(36~40). 또한, 효소가 가지고 있는 기질특이성으로 인하여 기타 부산물이 발생하지 않아, 일반적인 당 분리정제기술 통하여 고순도의 알룰로스가 실제 상업적으로 생산이 가능하게 되었다. 고순도알룰로스는 CJ제일제당이 한국과 미국에서 최초로 식품원료로 인정받았다. 최근 CJ제일제당, 삼양사와 더불어 일본의 마쓰다니, 미국의 Tate & Lyle, ADM 등 글로벌 식품소재회사들이 알룰로스 제품을 출시하거나 출시를 공표하였으며, 그 시장규모는 지속적으로 확장될 것으로 보인다. 알룰로스의 시장조사 자료에 따르면, 미국 내 알룰로스 시장은 2020년 기준 직접 판매 규모로 약 247 million USD 수준까지 성장이 예상되고 있다(41).

알룰로스의 기능성을 밝히기 위한 다양한 인체 및 동물시험 연구결과가 발표되었다. 현재까

지 보고된 알룰로스의 주요한 기능은 혈당상승억제작용과 체지방감소를 통한 비만억제효과이다. 동물 및 인체대상의 시험에서 알룰로스를 말토덱스트린이나 과당과 같은 다른 당류와 함께 섭취한 경우, 혈중 포도당과 인슐린 농도가 알룰로스 농도와 반비례하여 증가하며, 알룰로스 식이는 혈당반응(glycemic response)을 감소시킨다(42). 또한, 알룰로스는 일반 당류와 같은 대사작용을 하지 않는다는 것이 동물 및 인체시험을 통하여 확인되었다. 섭취한 알룰로스는 대부분 소장에서 흡수되어 소변으로 배출되며, 대부분의 장내 미생물이 이용하지 못하는 것으로 확인되었다(43). 이러한 이유로 알룰로스의 열량은 0~0.2 kcal/g로 보고되었다. 국내 식품의약품안전처에서는 알룰로스의 열량을 0 kcal/g로 인정하였으며, 당류저감화를 위한 대체 감미료로 제안되고 있다(3).

최근에는 알룰로스의 항비만 기능성 메커니즘이 보고되었다. 알룰로스를 섭취한 쥐의 해부학·혈액학·유전학적 분석을 통하여, 항비만 메커니즘의 정확한 경로와 주요 효과가 규명되었다. 페어피딩(Pair-feeding)을 통해 식이비만을 유도한 쥐에서 알룰로스의 항비만 기능성 평가를 실시한 결과, 알룰로스는 지질흡수관련 유전자의 발현을 제어하여 분변지질 배설을 증가시킴을 확인하였다. 특히, 알룰로스는 지방세포에서 지방합성은 감소시키는 반면, 지방산화는 증가시켜 식이비만 유도 쥐의 체중, 체지방량 및 혈장 지질농도를 완전 정상화 시킨다는 사실이 밝혀졌다(44).

알룰로스의 용해도, 수분활성도, 점도 등의 이화학적 특성은 과당과 매우 유사하여 기존 식품 가공에 적용이 용이하다.

#### 결론

비만과 당뇨와 같은 성인병이 칼로리의 과잉 섭취로부터 기인함에 따라, 식이 칼로리를 감소

하기 위한 소비자의 요구가 증가하고 있다. 일반인의 식이조사 결과에 따르면, 가공식품 중 음료를 통한 칼로리 섭취량이 높고, 음료의 칼로리를 구성하는데 있어 당류가 큰 비중을 차지하고 있다. 지난 수십 년간 설탕·고과당을 대체하기 위한 다양한 종류의 감미료 개발과 판매가 이루어져 왔다. 크게 설탕보다 단맛이 강한 고감미료와 단맛은 약하나 기능성을 지닌 저감미도 감미료(당알콜, 올리고당, 희소당)로 구분되는 저칼로리 대체감미료 중 본 원고에서는 저감미도 대체감미료에 대하여 살펴보았다.

최근, 미국에서는 알룰로스과 같은 저칼로리 비대사성 당류를 제품 내 영양성분 표기 시 당(sugar) 카테고리에서 제외하려는 움직임이 있다. 인간에게 이로운 기능을 하는 기능성 대체감미료가 당류에서 제외되는 법규적 제도가 확정된다면, 대체감미료 시장은 기존 예상보다 매우 빠른 속도로 성장할 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. WHO. Healthy diet. Available from: <http://www.who.int/media-centre/factsheets/fs394/en/>. Accessed Sep. 1, 2016
2. 식품의약품안전처. 당류 저감 종합계획 (2016)
3. Sugar and Sweeteners Yearbook Tables. Available from: <http://www.ers.usda.gov/data-products/sugar-and-sweeteners-yearbook-tables.aspx>. Accessed Sep. 1, 2016
4. Market and Markets. Sugar substitute market. (2014)
5. Helen M. Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology. Wiley-Blackwell, Oxford (2006)
6. Koh ES, Lee TH, Lee DY, Kim HJ, Ryu YW, Seo JH. Scale-up of erythritol production by an osmophilic mutant of *Candida magnoliae*. Biotechnol. Lett. 25: 2103-2105 (2003)
7. Yang SW, Park JB, Han NSR, Y. W., Seon JH. Production of erythritol from glucose by an osmophilic mutant of *Candida magnoliae*. Biotechnol. Lett. 21: 887-890 (1999)
8. Jeya ML, K. M., Tiwari MK, Kim JS, Gunasekaran P, Kim SY, Kim IW, Lee JK. Isolation of a novel high erythritol-producing *Pseudozyma tsukubaensis* and scale-up of erythritol fermentation to industrial level. Appl. Microbiol. Biotechnol. 83: 225-231 (2009)
9. Moon HJ, Jeya M, Kim IW, Lee JK. Biotechnological production of erythritol and its applications. Appl. Microbiol. Biotechnol. 86: 1017-1025 (2010)
10. Munro IC, Bernt WO, Borzelleca JF, Flamm G, Lynch BS, Kennepohl E, Bär EA, Modderman J. Erythritol: an interpretive summary of biochemical, metabolic, toxicological and clinical data. Food Chem. Toxicol. 36: 1139-1174 (1998)
11. Ishikawa M, Miyashita M, Kawashima Y, Nakamura T, Saitou N, Modderman J. Effects of oral administration of erythritol on patients with diabetes. Regul. Toxicol. Pharmacol. 24: 303-308 (1996)
12. Byun SH, Lee CH. Studies on physicochemical properties of erythritol, substitute sugar. Korean J. Food Sci. Technol. 29: 1089-1093 (1997)
13. Malaja AJ, Hamalainen L, US. Process for making xylitol US Patent 4,008, 285 (1977)
14. Park YC, Oh EJ, Jo JH, Jin YS, Seo JH. Recent advances in biological production of sugar alcohols. Curr. Opin. Biotechnol. 37: 105-113 (2016)
15. Livesey G. Health potential of polyols as sugar replacers, with emphasis on low glycaemic properties. Nutri. Res. Rev. 16: 163-191 (2003)
16. Natah SS, Hussien KR, Tuominen JA, Koivisto VA. Metabolic response to lactitol and xylitol in healthy men. Am. J. Clin. Nutr. 65: 947-950 (1997)
17. Makinen KK. Sugar alcohol sweeteners as alternatives to sugar with special consideration of xylitol. Med. Princ. Pract. 20: 303-320 (2011)
18. Grabitske HA, Slavin JL. Gastrointestinal effects of low-digestible carbohydrates. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 49: 327-360 (2009)
19. Grembecka M. Sugar alcohol—their role in the modern world of sweeteners: a review. Eur. Food Res. Technol. 241 (2015)
20. Mussatto SI, Mancilha IM. Non-digestible oligosaccharides: a review. Carbohydrate Polymers 68: 587-597 (2007)
21. Kang OL, Ghani M, Hassan O, Rahmati S, Ramli N. Novel agaro-oligosaccharide production through enzymatic hydrolysis: physicochemical properties and antioxidant activities. Food Hydrocolloid. 42: 231-316 (2014)
22. Crittenden RG, Playne MJ. Production, properties and applications of food-grade oligosaccharides. Trends Food Sci. Tech. 7: 353-361 (1996)
23. Meyer TSM, Miguel ASM, Fernández DER, Ortiz GMD. Biotechnological production of oligosaccharides—applications in the food industry. Food Produc. Indust. 2: 25-78 (2015)
24. Kaneko T, Kohmoto T, Kikuchi H, Shiota M, Iino H, Mitsuoka T. Effects of isomaltoligosaccharides with different degrees of polymerization on human faecal bifidobacteria. Biosci. Biotechnol. Biochem. 58: 2288-2290 (1994)
25. Oku T, Nakamura S. Digestion, absorption, fermentation, and

- metabolism of functional sugar substitutes and their available energy. *Pure Appl. Chem.* 74: 1253-1261 (2002)
26. Granström TB, Takata G, Tokuda M, Izumori K. Izumoring: a novel and complete strategy for bioproduction of rare sugars. *J. Biosci. Bioeng.* 97: 89-94 (2004)
  27. Beadle JR, Saunders JP, Wajda TJ. Process for manufacturing tagatose. European Patent 0518874 (1996)
  28. Yang SJ, Kim YH, Kim SB, Park SW, Park IH, Kim MH, Lee YM. Manufacturing method for tagatose. Korea Patent: 10-1550796 (2015)
  29. Oh DK, Lee SH, Hong SH. A production method of tagatose from fructose by combinatorial enzyme reactions and composition for production of tagatose. Korea Patent: 10-1480422 (2015)
  30. 식품의약품안전처. 기능성원료 인정 (제2011-37호). (2011)
  31. Ensor M, Williams J, Smith R, Banfield A, Lodder RA. Effects of three low-doses of D-tagatose on glycemic control over six months in subjects with mild type 2 diabetes mellitus under control with diet and exercise. *J. Endocrinol. Diabetes Obes.* 2: 1057 (2014)
  32. Koh JH, Choi SH, Park SW, Choi NJ, Kim YH, Kim SH. Synbiotic impact of tagatose on viability of *Lactobacillus rhamnosus* strain GG mediated by the phosphotransferase system (PTS). *Food Microbiol.* 366: 7-13 (2013)
  33. Lim J. Consumer testing report (2011)
  34. Lee YM, Kang MW, Kim YJ, Kim SB, Park SW. Low caloric coffee mix composition prepared by using D-tagatose. Korean Patent 10-1366404 (2014)
  35. 식품의약품안전처, 제2015-6호 (2015).
  36. Takeshita K, Suga A, Takada G, Izumori K. Mass production of D-psicose from D-fructose by a continuous bioreactor system using immobilized D-tagatose 3-epimerase. *Biochem. Eng.* 90: 453-455 (2000)
  37. Kim HJ, Hyun EK, Kim YS, Lee YJ, Oh DK. Characterization of an *Agrobacterium tumefaciens* D-psicose 3-epimerase that converts D-fructose to D-psicose. *Appl. Environ. Microb.* 72: 981-985 (2006)
  38. Mu W, Chu F, Xing Q, Yu S, Zhou L, Jiang B. Cloning, expression, and characterization of a D-psicose 3-Epimerase from *Clostridium cellulolyticum* H10. *J. Agri. Food. Chem.* 59: 7785-7792 (2011)
  39. Zhu Y, Men Y, Bai W, Li X, Zhang L, Sun Y, Ma Y. Overexpression of D-psicose 3-epimerase from *Ruminococcus* sp. in *Escherichia coli* and its potential application in D-psicose production. *Biot. Lett.* 34: 1901-1906 (2012)
  40. Mu W, Zhang W, Fang D, Zhou L, Jiang B, Zhang T. Characterization of a D-psicose-producing enzyme, D-psicose 3-epimerase, from *Clostridium* sp. *Biot. Lett.* 35: 1481-1486 (2013)
  41. Frost & Sullivan. Market Research (2016)
  42. Iida T, Kishimoto Y, Yoshikawa Y, Hayashi N, Okuma K, Tohi M, Yagi K, Matsuo T, Izumori K. Acute D-psicose administration decreases the glycemic responses to an oral maltodextrin tolerance test in normal adults. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 54: 511-514 (2008)
  43. Iida T, Hayashi N, Yamada T, Yoshikawa Y, Miyazato S, Kishimoto Y, Okuma K, Tokuda M, Izumori K. 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 (2010)
  44. Han Y, Han HJ, Kim AhC, J. Y;l, Park YB, Jung UJ, Choi MS. D-allulose supplementation normalized the body weight and fat-pad mass in diet-induced obese mice via the regulation of lipid metabolism under isocaloric fed condition. *Mol. Nutr. Food Res.* 60: 1695-1706 (2016)