

# 설탕 대체재 연구 동향

Research trend in sugar alternatives

박호영, 최희돈, 김윤숙\*

Ho-Young Park, Hee-Don Choi, and Yoonsook Kim\*

한국식품연구원

Korea Food Research Institute

## Abstract

The recent much attention has been given to weight gain of the population and its consequences on the occurrence of diet-related diseases in developed countries. Sugar is considered to be the main culprit of these phenomena. Food manufacturers attempt to provide the consumer with reduced energy products with non-nutritional sugars. Some studies also showed that consumers preferred foods prepared with natural additives rather than chemical ones, due to health reasons. This article reviews issues related to sugar alternatives, as well as their use, health benefits and risks.

Key word: natural sweetener, sugar alternative, non-

nutritive sweetener, obesity, glycemic index

## 1. 서론

감미료는 단맛을 내기 위해 식품에 사용하는 조미제품 및 식품첨가물의 총칭이며, 식품산업에 필수불가결한 첨가물이다. 전 세계 감미료시장 규모는 700억 달러인데, 이 중 설탕시장이 전체의 85% 이상(600억 달러)을 차지한다(1). 이 밖에 천연감미료의 일종인 고과당옥수수시럽(high-fructose corn syrup)이 70억 달러, 나머지 30억 달러는 남미 식물에서 추출하는 고당도 천연 감미료인 ‘스테비아추출물’(2억 달러)와 기타 인공감미료가 차지하고 있는 실정이다.

문제는, 설탕은 문명의 발달과 함께 성장해온

\* Corresponding Author: Yoonsook Kim  
Division of Functional Food Research, Korea Food Research Institute,  
Gyeonggi 13539, Korea  
Tel: +82-31-780-9281  
Fax: +82-31-709-9876  
E-mail: kimyus@kfri.re.kr

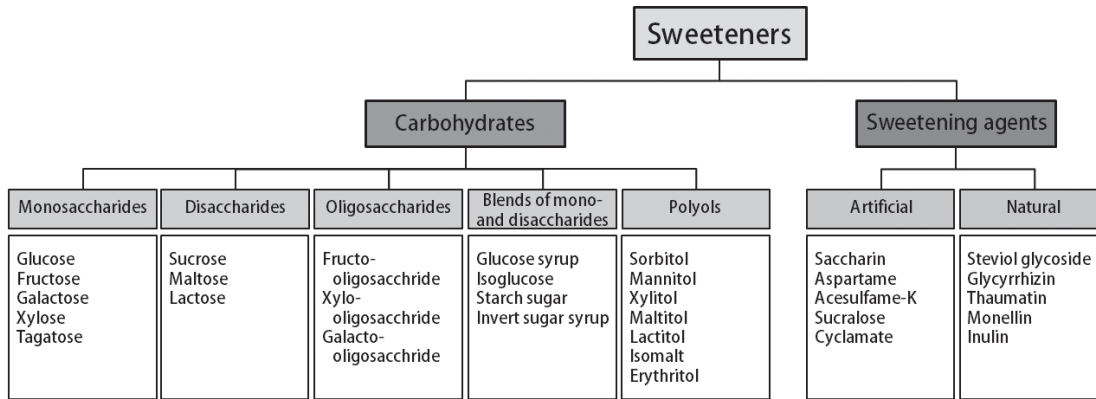


그림 1. 감미료의 분류(6)

대표적인 천연감미료지만 비만을 비롯한 성인병 유발원으로 낙인 찍혔다는 점이다. 미국 투자은행 모간스탠리는 설탕이 비만과 당뇨 등을 일으켜 근로자들의 생산성을 떨어뜨린다고 설탕 섭취량이 많은 나라일수록 경제가 망가지기 쉽다고 경고하기도 했다(2). 세계 보건기구(WHO, World Health Organization)의 2013년 보고서에서, 2008년 전세계적으로 성인 세 사람 중 한사람은 과체중이며, 남성 중 10%, 여성 중 14%는 비만이라고 발표하였다. 비만인구수가 전 세계적으로 일관된 경향을 나타내지는 않지만, 성인 유럽인구 50%는 과체중이라고 보고되고 있다(3).

2015년 국민건강영양조사를 분석한 결과 한국 성인 남성 62.7%가 과체중이거나 비만이었고, 여성은 47.5%인 것으로 조사됐다(4). 이러한 수치들은 남녀 각각 체질량지수 25, 30 kg/m<sup>2</sup>를 넘어서는 것으로서 19세 이상 성인 1,294만 명 가운데 4.8%(188만 6,000명)가 고도비만이었다. 체질량지수 25 kg/m<sup>2</sup>를 넘어서면 비전염성 만성질환인 2형 당뇨병과 심혈관질환, 허혈성 심질환, 암 등과 같은 질병의 발병률이 높아지게 된다(5).

비만과 관련한 만성질환은 일부 그릇된 식습관과 신체 활동 감소, 과음 및 흡연과 밀접한 관계를 가지고 있는데, 주요한 원인 중 하나로 과도한 설탕 섭취가 지목된다. 이러한 설탕을 대체할 수

있는 기능성 감미료의 개발이 필수적으로 요구되고 있으며 지속적인 연구가 수행 중이다. 더욱이 설탕을 전량 수입해야 하는 우리나라의 실정에서는 설탕을 대체할 수 있는 천연감미료의 개발은 의학적 가치뿐만 아니라 경제적 가치도 매우 크다고 할 수 있다. 설탕을 대체할 수 있는 천연감미료가 안전성, 맛과 더불어 낮은 혈당지수(glycemic index, GI) 특성으로 건강에 이바지할 수 있다면 높은 경제적 부가가치 역시 창출될 수 있을 것으로 전망된다.

## 2. 감미료의 분류

현재까지 개발된 감미료는 제조 방식에 따라 천연감미료와 인공감미료로 구분되며, 천연감미료는 다시 사용되는 원료의 특성에 따라 당질계 감미료와 비당질계 감미료로 분류된다(그림 1). 당질계 감미료는 포도당, 과당 등을 포함하는 단당과 설탕과 엿당 등을 포함하는 이당 및 이들의 혼합물, 올리고당류가 있다. 소비톨, 마니톨, 자일리톨 등의 당알콜류들 역시 당질계 감미료에 포함되어 있다. 비당질계 감미료는 배당체 형태의 스테비올 글리코사이드와 글리시리진, 단백질 형태의 타우마틴, 모넨린 등의 천연감미료와 사카린, 아스파탐, 아세설팜-K, 수크랄로스

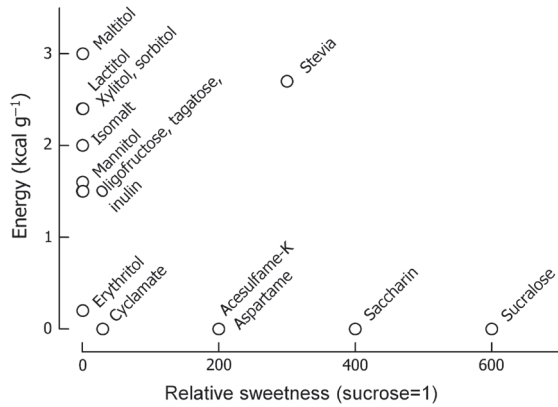


그림 2. 감미료의 열량과 상대 감미도(설탕의 감미 = 1) (6)

등의 합성 감미료를 포함하고 있다. 일반적으로 인공감미료와 천연감미료를 포함하는 비영양감미료(non-nutritive sweetener)는 우수한 감미도를 나타낸다(그림 2). 이 중에서 인공감미료는 대부분 저칼로리 고감도 감미료로서 설탕 대체제로서 가능성이 높으나 인체에 대한 영향이 확실하지 않은 단점이 있다(6).

### 3. 비영양감미료

#### 3.1. 비영양감미료 연구 동향

설탕을 대체하기 위한 비영양감미료 개발에 대한 요구가 증대되고 있다. 설탕 섭취에 의해 야기될 수 있는 비만, 당뇨, 심장질환 및 발암가능성 등의 건강 적신호에 대처하기 위함이다. 네오탐(neotame)과 같은 인공감미료들은 대체로 설탕보다 수천 배 단맛이 강해서 적은 양으로 설탕의 단맛을 대신할 수 있는 장점을 가지고 있어 “다이어트”와 연관된 제품에 사용되고 있다. 하지만, 안전과 건강에 미칠 수 있는 영향을 고려하여 식품첨가물로서의 사용량에 제한을 두고 있다.

미국심장협회(AHA, American Heart Association)와 미국당뇨협회(ADA, American Diabetes Association)가 공동으로 발행한 자료에 의하면

비영양감미료들이 적정 체중 유지에 도움을 주어 대사증후군과 관련한 비만 및 당뇨와 관련한 혈당조절을 개선할 수 있음을 시사했다(7). 하지만 장기적인 안전성과 부족한 열량을 보완하기 위한 생리적 변화에 있어서는 조심스러운 입장을 견지하고 있다. 더불어 AHA는 설탕을 통한 일일 칼로리 섭취량이 성인 남성과 여성 모두 각각 150 칼로리와 100 칼로리를 초과하지 않도록 권고하고 있다.

소아 및 청소년의 경우 인공감미료와 같은 비영양감미료가 설탕과 마찬가지로 감미식품에 대한 욕구를 증가시켜 그릇된 식습관이 형성될 수 있기 때문에 안전성에 대한 우려에 더해 FDA는 개별 비영양감미료에 대한 일일섭취허용량(acceptable daily intake)을 설정했다(표 1). 미국 소아과협회는 몇몇 유아행동실험의 결과를 예로 들어 비영양감미료의 사용에 대해 공식적인 사용 권고를 하지 않았다(8).

비영양감미료의 이용이 청소년을 대상으로한 임상연구에서 체중조절에 긍정적인 영향을 미치는 것이 확인되었다. 만 5세에서 11세 까지 641명의 아동을 대상으로 18개월간 매일 250 ml 가량의 설탕음료와 비슷한 당도의 인공감미료를 첨가한 무설탕음료를 비교 섭취한 결과 무칼로리 음료를 섭취한 아동은 체중 감량이 있음이 확인되었다(9). 과체중의 비만증세의 224명 청소년을 대상으로 2년에 걸쳐 수행한 또다른 연구에서는 첫째에는 비영양감미료에 의한 체질량지수 변화에 영향이 없었으나, 그 이듬해에는 체질량지수 조절 효능이 입증되었다(10).

#### 3.2. 비영양감미료에 의한 비만과 질병 발병

혈당지수(Glycemic Index, GI)는 식후에 탄수화물의 흡수속도를 나타내는 지표로써 포도당이 기준이 되는데, 혈당지수가 70 이상이면 high GI, 56~69이면 medium GI, 55이하이면 low GI 세 개의 그룹으로 나눈다. 일반적으로 높은 혈당지수

표 1. 감미료별 FDA 규정 상태 및 일일섭취허용량(12)

Sweetener	Regulatory Status	Examples of Brand Names	Acceptable Daily Intake (ADI) <sup>a</sup>
Accesulfame Potassium (Ace-K)	Approved as a sweetener and flavor enhancer in foods generally (except in meat and poultry) <b>21 CFR 172.800</b>	Sweet One® Sunett®	15
Advantame	Approved as a sweetener and flavor enhancer in foods generally (except in meat and poultry) <b>21 CFR 172.803</b>		32.8
Aspartame	Approved as a sweetener and flavor enhancer in foods generally <b>21 CFR 172.804</b>	Nutrasweet® Equal® Sugar Twin®	50
Neotame	Approved as a sweetener and flavor enhancer in foods generally (except in meat and poultry) <b>21 CFR 172.829</b>	Newtame®	0.3
Saccharin	Approved as a sweetener only in certain special dietary foods and as an additive used for certain technological purposes <b>21 CFR 180.37</b>	Sweet and Low® Sweet Twin® Sweet'N Low® Necta Sweet®	15
Luo Han Guo fruit extracts (SGFE)	SFGE containing 25%, 45% or 55% Mogroside V is the subject of GRAS notices for specific conditions of use <b>GRAS Notice Inventory</b>	Nectresse® Monk Fruit in the Raw® PureLo®	NS <sup>b</sup>
Certain high purity steviol glycosides purified from the leaves of <i>S. rebaudiana</i>	≥95% pure glycosides Subject of GRAS notices for specific conditions of use <b>GRAS Notice Inventory</b>	Truvia® PureVia® Ehliten®	4 <sup>c</sup>
Sucralose	Approved as a sweetener in foods generally <b>21 CFR 172.831</b>	Splenda®	5

<sup>a</sup> milligrams per kilogram body weight per day (mg/kg bw/d).

<sup>b</sup> NS means not specified. A numerical ADI may not be deemed necessary for several reasons, including evidence of the ingredient's safety at levels well above the amounts needed to achieve the desired effect (e.g., as a sweetener) in food.

<sup>c</sup> ADI established by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA).

표 2. 감미료의 혈당지수 (glycemic index) (11)

Sweetener	Type	Glycemic index
Glucose	Sugar	100
Sucrose	Processed sugar	65
Honey	Natural sugar	50
Coconut palm <sup>a</sup> sugar	Natural sugar	35
Brown rice <sup>b</sup> syrup	Modified sugar	25
Fructose	Sugar	25
Agave <sup>c</sup> syrup	Modified sugar	15
Xylitol	Sugar alcohol	12
Erythritol	Sugar alcohol	1
Inulin	Sugar fiber	1
Brazzein <sup>d</sup>	Natural sweetener	0
Glycyrrhizin <sup>e</sup>	Natural sweetener	0
Monk fruit (Luo Han Guo) <sup>f</sup>	Natural sweetener	0
Steviol glycoside	Natural sweetener	0

<sup>a</sup>Derived from the coconut palm (*Cocos nucifera*)

<sup>b</sup>Derived from rice (*Orza* spp.)

<sup>c</sup>Latin binomial: *Agave* spp

<sup>d</sup>A sweet protein derived from oubli berry (*Pentadiplandra brazzeana*)

<sup>e</sup>Derived from licorice (*Glycyrrhiza* spp.)

<sup>f</sup>Latin binomial: *Siraitia grosvenorii*

를 가진 음식물의 섭취는 대사기능과 식욕 조절에 부정적인 영향을 미치고 2형 당뇨병, 심혈관 질환의 발생률을 높이는 것으로 알려져 있다. 혈당지수가 낮은 식품으로 식이를 개선하면 식후 혈당과 인슐린 반응이 낮아지고, 혈중 지질이 개선되며, 인슐린 민감성이 향상된다(11). 그러므로 혈당지수가 높은 식품 대신 낮은 식품을 섭취함으로써 위와 같은 만성질환의 발병률을 낮출 수 있을 것으로 기대된다. 개발되고 있는 대부분의 천연감미료들은 열량과 더불어 혈당지수를 중요한 지표로 삼고 있으며 대부분은 low GI에 속한다(표 2).

AHA-ADA 공동 발표자료에 의하면, 비영양감미료의 체질량지수 조절 기능에도 불구하고 일부 임상연구 결과 인공감미료를 포함하는 식품 섭취가 오히려 비만을 야기할 수 있다고 경고하

였다. 동물을 대상으로 수행한 연구에서 사카린 식이가 식욕의 절제 신호를 차단하고 과식을 조장하여 영양대사불균형이 초래됨에 따라 결과적으로 비만, 대사질환 등을 야기하게 된다는 결과를 제시했고(13), 아스파탐을 당뇨병 모델 마우스에 3달간 식이한 결과 공복혈당이 증가하는 연구결과도 보고되었다(14).

더불어, University of Texas Health Science Center at San Antonio의 Hazuda 교수가 474명의 65~74세 노인을 대상으로 9년 반 동안 추적 조사한 연구에 의하면 다이어트 소다를 지속적으로 섭취한 경우 복부지방과 복부둘레 증가율이 각각 3배, 1.7배 증가하였고 하루에 2명 이상 다이어트 소다를 섭취하는 노인은 복부둘레 증가율이 최고 5배에 달하였다(15). 이는 다이어트 소다에 들어가는 인공감미료가 인체에서 설탕이 들어 온 것



으로 오인하지만 실제로 설탕은 들어오지 않기 때문에 오히려 체내에서 지방을 더 축적하는 현상이 생기기 때문이라고 설명을 하고 있다. 저칼로리 음료를 섭취하는 것보다 보통의 설탕이 들어 있는 음료를 적당량 섭취하는 것이 나은 식습관이 될 수 있음을 예시한다.

더불어 인공감미료의 사용과 관련된 다양한 임상연구를 분석한 결과 인공감미료의 사용이 체중 증가나 청소년의 대사장애에 미치는 영향이 뚜렷하다고 단정할 수는 없었다. 그러나, 분명한 것은 가공식품에 사용되는 인공감미료의 사용량 증가가 전세계적으로 증가하고 있는 비만과 당뇨병 증가와 무관하지 않다는 것이다.

## 4. 천연감미료

### 4.1. 천연감미료 동향

시장조사 전문기관 Mintel에 따르면 지난 2009년 280개에 불과했던 스테비아 함유 음료·식품은 2013년 2274개까지 급증했다. 스테비아는 파라과이 지역에 자생하는 허브의 일종으로, 설탕보다 300배 단 맛을 내면서도 칼로리는 현격하게 낮아 설탕을 대체하는 천연감미료로 각광받고 있는 제품이다. 미국 Kraft사 역시 자사 음료에 포함됐던 인공감미료 수크랄로스 대신 스테비아를 사용하겠다고 밝힌 바 있다. 수크랄로스는 설탕보다 600배 달지만 칼로리가 없어 한때 주목받기도 했지만, 스테비아와는 달리 천연 성분이 아니어서 점차 퇴출되는 분위기이다. 대표적인 탄산음료 제조사인 Pepsi사와 Coca Cola사는 각각 'TRUE'와 'Life' 브랜드를 선보이면서 기존 콜라의 설탕량을 대폭 줄이는 대신 스테비아를 첨가하는 방법을 택하였다. 이처럼 천연감미료의 대표주자 격인 스테비아가 인기를 얻으면서 다른 식물들을 활용한 천연감미료들도 속속 등장하고 있다.

천연감미료는 설탕을 대체할 목적으로 식물이

나 여타 천연물로부터 얻을 수 있는 감미 소재를 의미하는데, 대표적으로 벌꿀, 스테비아추출물, 아가베 시럽 등이 상업적으로 많은 소비가 되고 있다. 이외에도 뉴질랜드의 BioVittoria사는 개여주를 활용하여 설탕보다 300배 단맛을 내는 천연감미료를 상용화하여 FDA로부터도 승인을 받았고, 서아프리카 토속 과일인 오블리(oubli)에서 추출된 단맛의 단백질 브라제인을 활용한 감미료 브랜드 'Cweet' 역시 상용화를 목표로 FDA의 승인을 기다리고 있다. 영국 Tate & Lyle사는 인공감미료인 수크랄로스 판매를 통한 수익성이 급격하게 떨어지면서 옥수수 전분으로부터 알룰로스(allulose) 혹은 psicose) 감미료를 개발하여 시판 중에 있으나, 이를 두고 천연감미료인지 아닌지 여부에 대한 논란은 지속되고 있다. CJ제일제당은 효소를 이용한 제조기법을 개발하여 알룰로스와 더불어 타가토스(tagatose)를 대량생산하고 있다.

### 4.2. 천연감미료의 이용

건강과 웰빙이 우리 먹거리의 대표적인 키워드로 자리를 잡으면서 저칼로리의 비영양 천연감미료가 설탕의 자리를 빠르게 잠식하고 있으며, 2025년 경에는 2015년 저칼로리 감미료 시장 규모가 2배 이상 확대될 것이라는 전망을 내놨다. 보고서는 2015년 글로벌 저칼로 감미료 마켓이 총 114억 달러 규모일 것으로 추정했으며, 반면 합성 감미료 마켓은 매출과 연평균 성장률 측면에서 하향세를 피해가지 못할 것이라고 단언했다(16).

식물체에서 얻을 수 있는 대표적인 20 여종의 고감미 성분들은 테르페노이드류(terpenoid)나 스테로이드류(steroid 또는 isoprenoid), 플라보노이드류, 단백질류 등으로 대표할 수 있다(표 3).

#### 4.2.1. 꿀(Honey)

감미료 중 가장 오래된 사용기록이 있는 소재



표 3. 식물로부터 추출이 가능한 고감미 성분

Compound type/name	Plant name	Sweetness potency	Reference
<b>● MONOTERPENE</b>			
Perillartine	<i>Perilla frutescens</i> L. Britton	370	(17)
<b>● SESQUITERPENES</b>			
<b>Bisabilane</b>			
(+)-Hernandulcin	<i>Lippa dulcis</i> Trev. (Verbenaccae)	1,500	(17)
<b>● DITERPENES</b>			
<b>Diterpene acid</b>			
4 $\beta$ ,10 $\alpha$ -Dimethyl-1,2,3,4,5,10-hexahydrofluorene-4 $\alpha$ ,6 $\alpha$ -dicarboxylic acid	Pine tree	1,300-1,800	(17)
<b>ent-Kaurene glycosides</b>			
Rebaudioside A	<i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni	242	(17)
Stevioside	<i>S. rebaudiana</i>	210	(17)
<b>Labdane glycoside</b>			
Baiyunoside	<i>Phlomis betonicoides</i> Diels (Labiatae)	500	(17)
<b>● TRITERPENES</b>			
<b>Cucurbitane glycoside</b>			
Mogroside V	<i>Siraitia grosvenorii</i> (Cucurbitaceae)	250-425	(17)
<b>Cycloartane glycoside</b>			
Abrusoside A	<i>Abrus precatorius</i> L. (Leguminosae)	30	(18)
<b>Dammarane glycoside</b>			
Cyclocarioside A	<i>Cyclocarya paliurus</i> (Juglandaceae)	200	(19)
<b>Oleanane glycosides</b>			
Glycyrrhizin	<i>Glycyrrhiza glabra</i> L. (Leguminosae)	93-170	(17)
Albiziasaponin B	<i>Albizia myriophylla</i> (Leguminosae)	600	(20)
<b>Secodammarane glycoside</b>			
Pterocaryoside A	<i>Pterocarya paliurus</i> (Juglandaceae)	50	(21)
<b>● STEROIDAL SAPONINS</b>			
Osladin	<i>Polypodium vulgare</i> L. (Polypodiaceae)	500	(22)
Polypodoside A	<i>Polypodium glycyrrhiza</i> (Polypodiaceae)	600	(23)
Telosmoside A15	<i>Telosma procumbens</i> Merr. (Asclepiadaceae)	1,000	(24)
<b>● PHENYLPROPANOIDS</b>			
trans-anethole	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill. (Umbelliferae)	13	(25)
trans-Cinnamaldehyde	<i>Cinnamomum osmophleum</i> Kanehira (Lauraceae)	50	(26)
<b>● DIHYDROISOCOUMARIN</b>			
Phyllodulcin	<i>Hydrangea macrophylla</i> (Saxifragaceae)	400	(17)
<b>● FLAVONODS</b>			
<b>Dihydrochalcone glycoside</b>			
Neohesperidine dihydrochalcone	<i>Citrus aurantium</i> L. (Rutaceae)	1,000	(17)



인 꿀은 단맛 뿐만 아니라 건강에 유익한 기능을 가지고 있기 때문에 기능성식품으로 분류 되기도 한다. 천연의 꿀은 벌꿀을 의미하지만 당밀을 가공한 인공 꿀도 생산되고 있다. 주로 과당과 포도당으로 구성된 벌꿀은 소량의 단백질과 미네랄, 미량원소, 아미노산, 효소, 폴리페놀 등을 함유하고 있다. 이러한 구성성분들로 하여금 항산화 효능, 항균작용, 면역 조절 기능을 기대할 수 있다(27). 동물실험 연구 결과, 벌꿀을 식이한 랫드는 설당을 식이한 랫드 보다 체중 증가가 적었고 비만도나 혈중 지질 및 렙틴 함량이 낮은 것이 보고되었다(28).

#### 4.2.2. 아가베 시럽 또는 넥타(Agave Syrup or Nectar)

아가베를 이용한 시럽 또는 넥타는 주로 멕시코산 청색용란(*Agave tequilana*)을 이용하여 제조하며, 특히 벌꿀을 기피하는 채식주의자의 대안으로 각광받고 있다. 아가베 시럽의 혈당지수는 19~35 사이로 100인 포도당의 약 1/3 이하 수준인데다 열량 역시 설탕의 절반 수준이다. 반면, 당도는 설탕의 1.5배로 적은량을 첨가하여도 단맛을 낼 수 있는 좋은 소재이며, 메이플 시럽처럼 특유의 맛과 냄새가 없어 거부감이 낮다. 용해도가 높고 쉽게 굳지 않아 활용도가 높으며, 특히 제빵 시 첨가하였을 때 촉촉함이 오래 지속된다. 다만, 아가베 시럽 제조 공정에 따라 과당 함량이 55~90% 가량을 차지하는데, 고과당옥수수시럽과 같이 건강에 대한 우려 또한 높다(29).

#### 4.2.3. 프럭탄(Fructan)

이눌린과 프럭토올리고당을 포함하는 난소화성 프럭탄은 과당이  $\beta$ -(2,1)-과당결합으로 연결된 중합체로써 직선형 또는 원형의 형태를 띤다. 식품 중 대표적인 프럭탄인 이눌린은 치커리 뿌리나 돼지감자 열매가 주요한 생산원이며 추출 후  $\beta$ -(2,1)-과당 결합 중합도는 2개에서 60여 개에 달한다. 보통 이눌린의 중합도는 작물에 따라 양상이 다르지만, 재배 기후나 수확 시기도 영향을 미

친다. 과당의 중합도(degree of polymerization)가 2~8개인 프럭토올리고당은 주로 효소처리과정을 거치며, 그 이상의 장쇄프럭탄은 대량 추출 후 막분리 공정을 거쳐 얻게 된다. 1990년대 중반 이래에는 설탕에  $\beta$ -프럭토폴라노시데이스( $\beta$ -fructofuranosidase)를 이용한 과당전이 작용을 통해 프럭탄을 생합성 하는 공정이 개발되어 이용되고 있다. 이눌린과 같은 프럭탄들은 섭취 후에도 소장에서 거의 소화·흡수되지 않고 대장에 도달하여 장내미생물의 발효원으로 이용되기 때문에 프리바이오틱스로서 가치를 지니고 있는데, 실제로 시험관 및 동물실험을 통해서도 유익균인 비피더스균의 증식을 돕는 것으로 확인되었다. 더불어 혈중 콜레스테롤과 트리아실글리세롤의 함량을 낮추고 무기질의 흡수를 촉진하며 대장암을 예방할 수 있는 긍정적인 이용성이 부각되고 있다. 예로써 의사이자 작가인 Ray Sahelian은 위장간 건강을 위한 식이보충제로서 이눌린을 한 티스푼씩 식품에 첨가할 것을 권장하였다(11).

#### 4.2.4. 당알콜류(Sugar alcohols)

저칼로리 감미료 소재로써 휴잉껌에서 무설탕제과에 이르기까지 다양하게 활용되고 있는 당알콜류 중 일부는 천연에서 추출하거나 효소를 이용한 생물공정에 의해 제조된다(표 4). 당알콜류들은 천연에 존재하지만 식품산업에 이용되는 당알콜류는 에리트리톨을 제외하고 설탕을 전구체로 이용하여 가수분해 공정을 거치는 발효공정에 의해 제조된다(30). 이들은 설탕보다 단맛이 적어 고감미 제재와 함께 이용된다. 당알콜류들은 구강세균이 이용하기 어려워 충치 예방에 좋고, 소비톨이나 마니톨, 말티톨, 에리트리톨, 자일리톨과 같은 몇몇 당알콜류들은 설탕보다 칼로리가 낮고 혈당 조절 기능이 있지만, 일일 기준으로 성인 40~50 g, 아동 30 g 이상 섭취시 설사를 동반하는 장관질환이 야기될 수 있기 때문에 유럽에서는 10% 이상의 당알콜을 함유하는



표 4. 당알코올류의 특징 (30)

Sugar alcohol	Formula	Systematic name	Synonyms	Functional classes
Erythritol	$C_4H_{10}O_4$	(2R,3S)-1,2,3,4-Butanetetrol	- Erythrite - Mesoerythritol - Tetrahydroxybutane	Flavor enhancer Humectant Sweetener
Isomalt	$C_{12}H_{24}O_{11}$	6-O-alpha-D-glucopyranosyl-, mixed with 1-O-alpha-D-glucopyranosyl-D-mannitol	- Hydrogenated isomaltulose - Isomaltitol	Anti-caking agent Bulking agent Glazing agent Stabilizer Sweetener Thickener
Lactitol	$C_{12}H_{24}O_{11}$	4-O-beta-D-Galactopyranosyl-L-glucitol	- Lactit - Lactobiosit - Lactositol	Emulsifier Sweetener Thickener
Maltitol	$C_{12}H_{24}O_{11}$	4-O-alpha-D-Glucopyranosyl-D-glucitol	- D-Maltitol - Dried maltitol syrup - Hydrogenated glucose syrup - Hydrogenated high maltose content glucose syrup - Hydrogenated maltose - Maltitol syrup powder	Bulking agent Emulsifier Humectant Stabilizer Sweetener Thickener
Mannitol	$C_6H_{14}O_6$	D-Mannitol	- Mannite - D-Mannitol	Anti-caking agent Bulking agent Humectant Stabilizer Sweetener Thickener
Sorbitol	$C_6H_{14}O_6$	D-Glucitol	- D-Glucitol - D-Glucitol syrup - Sorbit - D-sorbitol - Sorbol	Bulking agent Humectant Sequestrant Stabilizer Sweetener Thickener
Xylitol	$C_5H_{12}O_5$	D-erythropentitol	-	Emulsifier Humectant Stabilizer Sweetener Thickener



식품의 경우 경고문구를 부착하고 있다. 이를 개선할 수 있는 비정상 위장관증세가 없는 당알콜인 이소말톨로스가 개발되기도 하였다. 더불어, 당알콜들은 마이알반응에 참여하지 않기 때문에 설탕 대신 제빵에 이용하는 경우 밝은 색상을 유지할 수 있으며 점도를 높여주고 노화를 억제하여 보습력이 향상되는 효과가 있다.

#### 1) 에리트리트(Erythritol)

에리트리트는 당알콜류 중 유일하게 제로 칼로리로 표기가 가능한 감미료로 최근 성장하고 있다. 당알콜류 중 유일하게 발효공법을 통해 생산돼 천연 이미지를 지녔다는 점도 성장에 한몫을 했다. 당도는 설탕의 80%로, 충치 예방 효과가 있으나 다른 당알콜과 마찬가지로 과다섭취 시 메스꺼움을 유발한다는 보고가 있다. 에리트리트는 미생물(*Moniliella pollinis*, *Trichosporonoides megachilensis*, *Candida lipolytica*)에서 얻어진 발효액을 여과 정제, 결정화, 수세를 거친 다음 건조하여 얻어지는데, 내열성이 뛰어나 200℃에서 1시간을 가열 하여도 분해되지 않고 흡습성도 낮아서 유통에 용이한 장점이 있다(31).

#### 2) 아이소말트(Isomalt)

1957년 팔라티노스의 명칭으로 개발된 아이소말트는 무취의 흡습성이 적은 백색의 결정 감미료로써 당알콜의 내열성, 내산성, 내알칼리성, 난발효성을 두루 갖추고 있다. 융점이 145~150℃로서 설탕의 182℃보다 상당히 낮는데, 160℃까지 가열하여도 거의 분해되지 않고 잔존률이 96%가량으로 다른 당류보다 열안정성이 크다. 상온에서 용해도는 설탕의 약 50%이고 70℃ 이상에서 설탕 대비 90% 이상 용해도를 갖는다. 흡습성이 적기 때문에 쿠키 등의 제과류 제조에 용이하다. 아이소말트를 생산하기 위하여 초기 물질인 설탕을 이소말톨로스로 전환하고 이렇게 전환된 이소말톨로스를 다시 수소첨가 반응에 의해 아이소말트로 전환하는 2단계 공정이 요구되는데,

이소말톨로스 전환수율을 향상시키기 위한 방법으로는 변이처리에 의한 역가 증가, bio-reactor법의 공정 최적화 등이 연구되고 있다(32).

#### 3) 마니톨(Mannitol)

마니톨은 소비톨의 입체이성질체인 핵시톨이며, 만노스의 수소첨가로 얻는 당알콜이다(33). 사탕무우, 샐러리, 올리브, 해조류와 같은 식품체에 천연적으로 존재한다. 마니톨은 상쾌하고 부드러운 단맛을 가지고 있으며 설탕 당도의 절반이나 소비톨과 같은 청량감은 적다. 소비톨과 유사하나 용해도가 차이가 있으며 흡습성이 없어 굳지 않는다. 이러한 특징으로 식품에 사용은 적고 주로 제약 부형제로 이용된다.

#### 4) 자일리톨(Xylitol)

자일리톨은 산업적으로는 자일란에서 생산되는 당알콜로써 1960년대에 개발되었으나 옥수수 속대 부산물을 이용하면서 물량이 확대되었고 국내에는 2003년 이후 ‘충치예방’ 기능성에 대한 새로운 대안 제시를 하며 껌 시장에서 빠르게 성장해 대표적인 기능성 당으로 자리매김하였다. 또, 설탕과 유사한 단맛을 내며 30℃에서 수용도가 비슷하기 때문에 설탕 대체재로 각광을 받고 있다. 쿠키 제조 시 설탕대체재로써 자일리톨을 사용하는 경우 연도와 바삭감이 감소되는 단점이 있지만 보존성이 향상되는 결과가 확인되었다(6). 다만, 기능성을 위한 이용량과 충치예방 효과에 회의적인 연구결과들도 보고되고 있다(34).

#### 5) 말티톨(Maltitol)

말티톨은 포도당과 소비톨로 구성된 이당이다. 효소를 이용하여 맥아당을 제조한 후 이를 고온, 고압의 니켈 촉매하에 환원시켜 생산하는 당알콜로서 식품에 보습성을 부여할 수 있으며 열, 산, 알칼리 등에 안정하여 가공식품 적용이 가능하다(35). 예를 들어, 제과류에 말티톨을 첨가하

면 단맛을 유지하며 강도가 증가하는 결과를 예상할 수 있다.

#### 4.2.5. 스테비올글리코사이드(Steviol glycosides)

스테비아는 남아메리카의 파라과이·아르헨티나·브라질 등의 국경 산간지에서 자라는 국화과 식물로 스테비아 잎에 감미성분이 함유되어 있다는 것이 1908년 Rebaudi에 의해 보고되고 이듬해 Dietrich가 감미물질을 스테비올글리코사이드라고 명명하였다. 이어 스테비아에서 감미도가 더 높은 레바우디오사이드 A의 발견은 기존의 스테비올글리코사이드와 더불어 스테비아의 이용 가치를 증진하고 있다. 일반적으로 스테비아 잎에는 무게의 6~7% 정도 감미물질인 스테비올글리코사이드가 들어 있는데 이를 추출해 감미료로 사용한다. 특히 스테비올글리코사이드의 감미는 설탕의 200~300배에 달한다.

2008년 FDA가 스테비아 추출물을 천연감미료로 사용 승인하였으며, EU 역시 2011년 식품첨가물로의 이용을 허용했다. Pepsi, Coca Cola사가 스테비아 감미료 Purevia와 Truvia를 각각 출시했으며, 스테비아를 첨가한 음료와 주스의 출시가 늘고 있는 추세다. 하지만 지난 2015년 FDA는 리바우디오사이드 A와 스테비올글리코사이드는 GRAS를 유지한 채 스테비아 전잎의 이용에 대한 GRAS 항목을 배제하고 식품 첨가물에 이용을 제한하였다(36). 우리나라에는 1973년에 일본으로부터 도입되었고 지난 10년간 국내에서도 스테비아 활용에 대한 관심이 높아져서 수요가 점차 증가하고 있는 추세다.

스테비아에 함유되어 있는 감미 성분인 스테비올글리코사이드와 레바우디오사이드 A는 저칼로리의 감미료로 설탕의 사용량을 줄이는 식품첨가물로 이용이 활발하며, 근래에 스테비아의 항산화 활성이 녹차의 5배 이상인 것으로 보고되었으며 체내에서 활성산소종(ROS) 소거 능력이 탁월하여 기능성 소재로서의 가치도 각광받고 있다. 남미 원산지에서는 저혈당이나 당뇨

병에 이용하고 있다고 한다(37).

#### 4.2.6. 타가토스(Tagatose)

타가토스는 우유, 치즈, 사과 등에 미량 존재하는 단당으로서 과당의 네번째 탄소의 입체화학 구조가 바뀐 입체이성질체이다. 시판되는 타가토스는 유당을 포도당과 갈락토스로 분해한 후, 효소를 이용해 갈락토스의 이성화 단계를 거쳐 제조하는데, 단맛은 설탕의 약 92%로 유사하지만 혈당지수가 낮으며 FDA에서 2003년 사용이 승인되었다. 제2형 당뇨병 환자에게 항비만, 항고혈당 설탕대체제로 이용이 연구되고 있다. 성인 2형 당뇨병환자를 대상으로 하는 임상3상 연구에서 14개월간 타가토스를 꾸준히 섭취한 결과 식후 혈당과 인슐린 수치가 감소하였고 체중과 지질 수치 개선이 확인되었다(38).

타가토스의 소장에서 흡수율은 15~20%로 낮으며 대부분은 대장에서 장내세균에 의해 발효되어 단쇄지방산의 형태로 장관세포에 의해 흡수되어 대사된다.

여타 낮은 소화율을 갖는 당류들과 마찬가지로 타가토스 역시 설사 등의 위장장애가 우려되지만, 섭취 후 간 내 글리코겐 대사를 조절하기 때문에 식후 혈당 조절에 도움을 주는 기능성을 갖춘 건강기능식품으로 인정받았다. 더불어, 타가토스는 항산화 효과 및 프리바이오틱 효능도 보고되고 있다. 다만, 과당 대사장애나 설탕분해효소 결핍증을 가진 사람의 경우 소비톨이나 이소말톨로스와 마찬가지로 타가토스의 사용이 제한되어야 한다.

#### 4.2.7. 개여주(Monk fruit) 추출액

우리나라에서 개여주(*Siraitia grosvenori*)로 불리우는 과일로서 남중국과 북태국 지방이 원산지인 다년생 덩굴식물로 중국에서 스님이 재배하였다고 영어로 monk fruit으로도 불리우며 중국에서는 라한과(Luo Han Guo)로 불리운다. 개여주의 단맛은 트리테르펜 글리코시드계에서 오며



당도가 설탕의 300배에 달한다. 1990년대에 개여 주는 감미료로 사용되었으나 2000년 초 Tate & Lyle사가 개여주 공급업체인 Bio Vittoria사와 공동 연구 개발하여 천연감미제로 시장에 진출하였고, Kellogg's사의 곡물가공제품과 Nestle사의 Milo 제품에 이용되고 있다. McNeil Nutritionals사가 개여주에 에리트리톨과 설탕, 당밀을 혼합하여 개발한 Nectresse™ 제품은 당뇨병 환자에게 제공되고 있다(39).

#### 4.2.8. 단백질계 비당질 감미료

식물에서 추출되는 감미성분의 단백질들이 다양하게 발견되고 이용되고 있다. 이들은 보통 설탕 대비 고감미를 보유하고 있으며 일부는 자체적인 단맛과 더불어 혀의 수용체를 조절하여 신맛을 단맛으로 느끼게 하는 기능을 포함하고 있다. 단백질적 특성으로 pH 안정성이 낮고 50℃ 이상으로 가열했을 때 단맛과 신맛 조절기능이 현저히 낮아지기 때문에 주로 비열처리 식품에 응용되며, 아직 안전성이 검증되지 않은 것은 사용에 제약이 있다.

##### 1) 브라제인 (Brazzein)

브라제인은 서아프리카 고산지대의 오블리 열매(*Pentadiplandra brazzeana* Baillon)에서 추출한 54개의 아미노기를 보유한 6.5 kDa 크기 단백질로서 감미소재 단백질 중 가장 작은 크기이다. 낮은 열량에 설탕 대비 500~2,000배의 단맛을 보유하고 있다. pH 범위 2.5~8.0, 98℃에서 2시간 열처리를 해도 안정성을 지니고 있고 높은 수용성(>50 mg/mL)의 특징을 가지고 있어 활용도가 높다(40). 아스파탐이나 스테비아와 혼합할 경우 특유의 후미 특유의 쓴맛이 감소된다. Natur Research Ingredients사는 2009년 Cweet 브랜드를 런칭하였다. Nectar사는 옥수수 1톤으로 1~2 kg의 브라제인을 생산하는 기술을 개발하였고 *Escherichia coli*를 이용한 재조합 단백질 생산 기술역시 2000년 개발되었다(41).

##### 2) 미라쿨린 (Miraculin)

서아프리카에서 생육하는 식물인 Miracle fruit (*Synsepalum dulcificum*)에서 얻어지는 분자량이 44 kDa에 달하는 고분자 단백질로서 감미는 없지만 혀의 미뢰세포에 결합하여 산성 물질로부터 해리된 수소이온이 결합하는 것을 방해하는 것으로 보고되었으며 신맛을 조절하는데 감미제로서의 역할을 한다(42). 미라쿨린이라는 신규단백질에 대한 기작과 안전성이 확보되지 않았고 대량생산이 쉽지 않기 때문에 FDA의 승인과 제품 출시에는 아직 시기상조이다.

##### 3) 모넨린 (Monellin)

1969년 서아프리카의 다우림 지대에 생육하는 serendipity berry (*Dioscoreophyllum cumminsii*)의 열매로부터 얻었으며 A형과 B형이 각각 44개와 50개의 아미노산으로 구성된 분자량 10 kDa 정도의 단백질이며, 설탕의 800~2,000배에 달하는 단맛을 가지고 있다(43). 아직 미국과 유럽에서는 사용이 허가되지 않았으며, 일본에서는 규제대상에 등록되어 있다.

##### 4) 타우마틴 (Thaumatococin)

타우마틴은 서아프리카의 열대 다우림 지대에 자생하는 Marantaceae과에 속하는 다년생 식물인 *Thaumatococcus daniellii*에서 최초로 발견한 207개의 아미노산으로 구성된 단백질로서 1970년대 Tate & Lyle사가 추출하였고 후에 Unilever사에서 타우마틴I과 타우마틴II 단백질을 분리하고 미생물을 이용하여 발현하는 기술을 개발하였다. 열량이 낮고 무취, 쓴맛이 없는 감미를 나타내고, 설탕 대비 2,000~3,000배의 단맛을 나타내며 풍미 증진제로서의 이용 역시 가능하다(44).

##### 5) 쿠쿨린 (Curculin)

말레이시아산 *Curculigo latifolia* (Hypoxidaceae) 열매에 들어있는 아미노산114개로 구성된 단백질이다. 1990년대에 발견되었고 미라쿨린과 같

이 미각을 조절하여 신맛을 단맛처럼 느끼게 하는 작용이 있어 쿠쿨린을 섭취 후 신음식을 먹으면 단맛을 느낄 수 있으나, 그 자체로도 설탕 대비 400~2,000배에 달하는 단맛을 지니고 있다(45). 모넨린과 마찬가지로 국가별로 사용에 제한이 있다.

#### 4.2.9. 글리시리진(Glycyrrhizin)

한방에서 오랫동안 이용되어온 감초(*Glycyrrhiza* spp.)에 함유되어 있는 감미 성분인 글리시리진은 감초 뿌리에 글리시리즈산(glycyrrhizic acid)의 소듐염 형태로 6~14% 존재하는 비당질, 고감미의 저 칼로리 감미료이다(46). 백색 혹은 담황색 분말로써 물에 잘 녹고 묽은 알코올, 글리세린, 프로필렌 글리콜 등에도 녹으나 에테르, 클로로포름, 유지 등에는 녹지 않는다. 설탕보다 200배 정도 감미가 있으며 분해온도가 212~217°C로 열에 안정하며 갈변반응을 일으키지 않는 비착색 감미료이다. 또 발포성이 있으며 유화, 분산을 돕고 생선비린내 억제, 초콜릿 블루밍 방지, 거품안정화, 항산화 효과 등 다양한 기능과 가공적성을 가지고 있다. 다만, 수용액 상태에서 가열 시 단맛이 상실되는 단점이 있다.

### 5. 결론

현대인의 건강과 삶에 가장 큰 비만과 대사성 질환을 극복하기 위한 방법으로 소비자가 택할 수 있는 방법은 운동과 더불어 설탕의 섭취 제한 등이 있을 것이고 생산자는 단맛을 줄이거나 단맛을 유지하는 첨가제 개발이 가능 할 것이다. 그러나 인간은 대부분 ‘단맛’에 대한 욕구가 있고 일상생활 중 즐거움을 줄 수 있는 대표적인 요소임에 틀림없기 때문에 실제로 설탕을 사용한 수많은 종류의 제과와 음료, 음식이 주변에 널려있다. 물론, 설탕의 섭취 제한이 모두에게 해당되는 것은 아니지만, 설탕을 천연감미료로 대체함으로써 여러 대사증후군 지표가 개선되는 연구

가 다수 발표되었다.

더불어, 현대 소비자들의 건강과 식품성분에 대한 관심과 지식이 증대되면서 식품업계의 사용빈도가 급증한 키워드가 ‘천연’이다. 하지만, 가공식품에 천연을 접목하기 위해서는 연구자와 생산자의 노력과 적지 않은 비용 투자가 필요한데, 천연의 범주에 맞는 소재와 가공방법을 고안하고 설탕에 비해 상대적으로 낮은 기호성과 가공적성 역시 식물에서 추출하는 천연감미료가 앞으로 보완해야 할 점으로 지목된다. 효율적인 천연감미료 발굴과 생산 공정 개발과 더불어 산업분야에의 적용과 연구 개발에 지속적인 관심과 투자가 이루어진다면 우리나라도 앞으로 다가오는 고부가가치의 천연감미료 시장에 강자로 떠오를 수 있을 것이다.

### 참고문헌

1. Azevedo PF, Chaddad FR, Farina EMMQ. The food industry in Brazil and the United States: the effects of the EFAA on trade and investment. INTAL-ITD, New York, United States. pp. 21-34 (2004)
2. Morgan Stanley, Sustainable economics: The bitter aftertaste of sugar (2015)
3. World Wealth Organization. Global health observatory data. Available from: [http://www.who.int/gho/ncd/risk\\_factors/obesity\\_text/en/](http://www.who.int/gho/ncd/risk_factors/obesity_text/en/). Accessed Aug. 11, 2016.
4. 통계청. 국민건강영양조사 (2015)
5. Malik VS, Popkin BM, Bray GA, Després JP, Hu FB. Sugar-sweetened beverages, obesity, type 2 diabetes mellitus, and cardiovascular disease risk. *Circulation* 121: 1356-1364 (2010)
6. Struck S, Jaros D, Brennan CS, Rohm H. Sugar replacement in sweetened bakery goods. *Int. J. Food Sci. Tech.* 49: 1963-1976 (2014)
7. Gardner C, Wylie-Rosett J, Gidding SS, Steffen LM, Johnson RK, Reader D, Lichtenstein AH. Nonnutritive Sweeteners: current use and health perspectives. *Circulation* 126: 509-519 (2012)
8. American Academy of Pediatrics. Healthy Living: Sweeteners and Sugar Substitutes. Available from: <https://www.healthychildren.org/English/healthy-living/nutrition/Pages/Sweeteners-and-Sugar-Substitutes.aspx>. Accessed Aug. 11, 2016.
9. de Ruyter JC, Olthof MR, Seidell JC, Katan MB. A trial of sugar-free or sugar-sweetened beverages and body weight in children. *N. Engl. J. Med.* 367: 1397-1406 (2012)





10. Ebbeling CB, Feldman HA, Chomitz VR, Antonelli TA, Gortmaker SL, Osganian SK, Ludwig DS. A randomized trial of sugar-sweetened beverages and adolescent body weight. *N. Engl. J. Med.* 367: 1407–1416 (2012)
11. Horowitz S. Sugar alternatives and their effects on health. *Altern. Complement. Ther.* 19: 33–39 (2013)
12. Swithers SE, Martin AA, Davidson TL. High-intensity sweeteners and energy balance. *Physiol. Behav.* 100: 55–62 (2010)
13. Food and Drug Administration. Additional information about high-intensity sweeteners permitted for use in food in the United States. Available from: <http://www.fda.gov/Food/IngredientsPackagingLabeling/FoodAdditivesIngredients/ucm397725.htm#SummaryTable>. Accessed Aug. 10, 2016.
14. Kuk JL, Brown RE. Aspartame intake is associated with greater glucose intolerance in individuals with obesity. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 41: 795–798 (2016)
15. University of Texas Health Science Center at San Antonio. Related studies point to the illusion of the artificial. Available from: <https://www.sciencedaily.com/releases/2011/06/110627183944.htm>. Accessed Aug. 10, 2016.
16. Visiongain. Low-calorie sweeteners market forecast 2015–2025 (2015)
17. Kinghorn AD, Soejarto DD, Inglett GE. Sweetening agents of plant origin. *Crit. Rev. Plant Sci.* 4: 79–120 (1986)
18. Choi YH, Hussain RA, Pezzuto JM, Kinghorn AD, Morton JF. Abrusosides A–D, four novel sweet-tasting triterpene glycosides from the leaves of *Abrus precatorius*. *J. Nat. Prod.* 52: 1118–1127 (1989)
19. Yang DJ, Zhong ZC, Xie ZM. Studies on the sweet principles from the leaves of *Cyclocarya paliurus* (Batal.) Iljinskaya. *Yao Xue Xue Bao* 27: 841–844 (1992)
20. Yoshikawa M, Morikawa T, Nakano K, Pongpiriyadacha Y, Murakami T, Matsuda H. Characterization of new sweet triterpene saponins from *Albizia myriophylla*. *J. Nat. Prod.* 65: 1638–1642 (2002)
21. Kennelly EJ, Cai L, Long L, Shamon L, Zaw K, Zhou BN, Pezzuto JM, Kinghorn AD. Novel highly sweet secodammarane glycosides from *Pterocarya paliurus*. *J. Agric. Food Chem.* 43: 2602–2607 (1995)
22. Nishizawa M, Yamada H. Intensely Sweet Saponin Osladin: Synthetic and Structural Study. *Adv. Exp. Med. Biol.* 405: 25–36 (1996)
23. Kim J, Pezzuto JM, Soejarto DD, Lang FA, Kinghorn AD. Polypodside A, an Intensely Sweet Constituent of the Rhizomes of *Polypodium glycyrrhiza*. *J. Nat. Prod.* 51: 1166–1172 (1988)
24. Huan VD, Ohtani K, Kasai R, Yamasaki K, Tuu NV. Sweet pregnane glycosides from *Telosma procumbens*. *Chem. Pharm. Bull.* 49: 453–460
25. Hussain RA, Poveda LJ, Pezzuto JM, Soejarto DD, Kinghorn AD. Sweetening agents of plant origin: phenylpropanoid constituents of seven sweet-tasting plants. *Econ. Bot.* 44: 174–182 (1990)
26. Kinghorn AD, Soejarto DD. Intensely sweet compounds of natural origin. *Med. Res. Rev.* 9: 91–115 (1989)
27. Bogdanov S. Nutritional and functional properties of honey. *Vopr. Pitan.* 79: 4–13 (2010)
28. Nemoseck TM, Carmody EG, Furchner-Evanson A, Gleason M, Li A, Potter H, Rezende LM, Lane KJ, Kern M. Honey promotes lower weight gain, adiposity, and triglycerides than sucrose in rats. *Nutr. Res.* 31: 55–60 (2011)
29. Willems JL, Low NH. Major carbohydrate, polyol, and oligosaccharide profiles of agave syrup. Application of this data to authenticity analysis. *J. Agric. Food Chem.* 60: 8745–8754 (2012)
30. Grembecka M. Sugar alcohols—their role in the modern world of sweeteners: a review. *Eur Food Res Technol.* 241: 1–14 (2015)
31. Baolingbao Biology Co. Ltd. GRAS determination for the use of erythritol from *Yarrowia lipolytica* in select foods. FDA. (2011)
32. Sentko A, Willibald-Ettle I. Isomalt. pp. 177–204. In: Sweeteners and sugar alternatives in food technology. Mitchell H (ed). Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK (2006)
33. Bhatt S, Mohan A, Srivastava SK. Challenges in enzymatic route of mannitol production. *I.S.R.N. Biotechnol.* 2013: 914187 (2013)
34. Reuters. Natural sweetener xylitol may not prevent tooth decay: study. Available from: <http://www.nydailynews.com/life-style/health/natural-sweetener-xylitol-not-prevent-tooth-decay-study-article-1.2162938>. Accessed Aug. 10, 2016.
35. Kearsley MW, Deis RC. Maltitol and maltitol syrups. pp. 223–248. In: Sweeteners and sugar alternatives in food technology. Mitchell H (ed). Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK (2006)
36. Food Navigator–USA. FDA warning letter reminds industry whole stevia leaf is not GRAS or an approved food additive. Available from: <http://www.foodnavigator-usa.com/Regulation/FDA-tells-industry-whole-stevia-leaf-isn-t-GRAS-approved-food-additive>. Accessed Aug. 10, 2016.
37. Brandle JE, Telmer PG. Steviol glycoside biosynthesis. *Phytochemistry* 68: 1855–1863 (2007)
38. Lu Y, Levin GV, Donner TW. Tagatose, a new antidiabetic and obesity control drug. *Diabetes Obes. Metab.* 10: 109–134 (2008)
39. Monk Fruit Corp. Company history. Available from: <http://monkfruitcorp.com/our-history/>. Accessed Aug. 10, 2016.
40. Izawa H, Ota M, Kohmura M, Ariyoshi Y. Synthesis and characterization of the sweet protein brazzein. *Biopolymers* 39: 95–101 (1996)
41. Assadi-Porter FM, Aceti DJ, Cheng H, Markley JL. Efficient

- production of recombinant brazzein, a small, heat-stable, sweet-tasting protein of plant origin. *Arch. Biochem. Biophys.* 376: 252-258 (2000)
42. Ito K, Asakura T, Morita Y, Nakajima K, Koizumi A, Shimizu-Ibuka A, Masuda K, Ishiguro M, Terada T, Maruyama J, Kitamoto K, Misaka T, Abe K. Microbial production of sensory-active miraculin. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 360: 407-411 (2007)
43. Kohmura M, Mizukoshi T, Nio N, Suzuki EI, Ariyoshi Y. Structure-taste relationships of the sweet protein monellin. *Pure Appl. Chem.* 74: 1235-1242 (2002)
44. Green C. Thaumatin: a natural flavour ingredient. *World Rev. Nutr. Diet.* 85: 129-132 (1999)
45. Yamashita H, Theerasilp S, Aiuchi T, Nakaya K, Nakamura Y, Kurihara Y. Purification and complete amino acid sequence of a new type of sweet protein taste-modifying activity, curculin. *J. Biol. Chem.* 265: 15770-15775 (1990)
46. Lindley MG. Natural high-potency sweeteners. pp. 185-212. In: *Sweeteners and sugar alternatives in food technology*. Mitchell H (ed). Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK (2006)