

자일로올리고당을 함유한 설탕이 건강한 성인의 Glycemic Index (GI)와 혈당에 미치는 효과*

경명옥^{1**} · 최한샘^{2**} · 정상원¹ · 이경선¹ · 조성은¹ · 서승우¹ · 최근범¹ · 양창근³ · 유상호⁴ · 김유리^{2†}

대한제당(주) 중앙연구소,¹ 이화여자대학교 식품영양학과,² (주)TS 푸드앤시스템,³ 세종대학교 식품공학과⁴

Effects of xylooligosaccharide-sugar mixture on glycemic index (GI) and blood glucose response in healthy adults*

Kyung, Myungok^{1**} · Choe, HanSaem^{2**} · Jung, Sangwon¹ · Lee, Kyungsun¹ · Jo, SungEun¹ · Seo, Sheungwoo¹ · Choe, Keunbum¹ · Yang, Chang-Kun³ · Yoo, Sang-Ho⁴ · Kim, Yuri^{2†}

¹R&D Center, TS Corporation, Incheon 400-201, Korea

²Department of Nutritional Science and Food Management, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea

³TS Food & System, Seoul 135-921, Korea

⁴Department of Food Science & Technology, BK21 Plus Team, and Carbohydrate Bioproduct Research Center, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

ABSTRACT

Purpose: The objective of this study was to investigate the effects of xylooligosaccharide (XOS)-sugar mixture on glycemic index (GI) and blood glucose in human subjects. **Methods:** Randomized double-blind cross-over studies were conducted to examine the effect of sucrose with 14% xylooligosaccharide powder (Xylo 14) and sucrose with 20% xylooligosaccharide powder (Xylo 20) on GI and postprandial glucose response at 15, 30, 45, 60, 90, and 120 min. **Results:** GIs of Xylo 14 and Xylo 20 were 60.0 ± 23.5 classified within medium GI range, and 54.3 ± 17.7 within low GI range, respectively. Xylo 14 and Xylo 20 showed significantly lower area under the glucose curve (AUC) for 0-15 min ($p = 0.0113$), 0-30 min ($p = 0.0004$), 0-45 min ($p < 0.0001$), 0-60 min ($p < 0.0001$), 0-90 min ($p < 0.0001$), and 0-120 min ($p = 0.0001$). In particular, compared with glucose, the blood glucose levels of Xylo 14 and Xylo 20 were significantly lower at every time point between 15 and 120 min. **Conclusion:** The results of this study suggested that Xylo 14 and Xylo 20 had an acute suppressive effect on GI and the postprandial glucose surge.

KEY WORDS: xylooligosaccharide (XOS), sugar, GI (glycemic index), area under the curve (AUC), blood glucose.

서론

현대인들은 고지방 및 당분을 과잉 섭취하고 신체활동이 부족하여 비만, 당뇨병, 고혈압 및 고지혈증 등의 만성질환을 유발할 가능성이 높다.¹ 특히, 단백질이나 지방 위주의 식사를 주로 하는 서구의 식습관과 달리, 우리나라 사람들은 당질 위주

의 식사를 많이 하므로 당질 섭취 조절이 필요하다. 이러한 이유로 식사 중 탄수화물의 섭취를 조절하는 효과에 대한 연구들이 발표되었으며, 설탕 등의 감미료 섭취 조절에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.

단맛을 내기 위해 사용하는 설탕은 세계에서 가장 많이 생산되는 천연 감미료로 다양한 식품에 적용되고 있다. 설탕은 감미질과 감미도가 모두 우수하여 감미료를 평가할 때 기준지

Received: May 10, 2014 / Revised: Jun 10, 2014 / Accepted: Aug 1, 2014

*This research was supported by High Value-added Food Technology Development Program (Project number: 313024-03-1-CG000), Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Republic of Korea.

†To whom correspondence should be addressed.

tel: +82-2-3277-4485, e-mail: yuri.kim@ewha.ac.kr

**Equal contribution as the first author.

© 2014 The Korean Nutrition Society

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

표로 사용된다. 2012년 세계 설탕 생산량은 약 176백만 톤으로 설탕의 소비량과 가격이 지속적으로 상승하고 있으며, 이에 따라 설탕을 대체할 수 있는 다양한 대체 감미료의 개발이 진행되고 있다.² 대체 감미료의 대표적인 예로는 포도당, 과당, 고과당 등의 전분당과 사카린, 아스파탐, 아세설팜K, 수크랄로스, 스테비오사이드 등의 고감미 감미료가 개발되어 사용되고 있다. 하지만 설탕의 관능적 특성 및 물리적 특성을 동일하게 구현할 수 없는 실정이다. 음료산업에서는 액상과당을 사용하여 일시적으로 설탕의 수요를 대체하였으나, Bray 등³과 Ferder 등⁴의 연구에서는 액상과당은 포도당과 과당이 혼합된 형태로 존재하여 체내에서 별도의 소화과정 없이 바로 흡수되기 때문에 혈당을 급격히 상승시키고, 이에 따라 비만 및 대사질환의 주요 원인으로 작용하고 있어 설탕을 대체할 감미료로 사용하기에 부적합하다. 고감미 감미료의 장점은 설탕의 수백배에 달하는 감미도를 가지며, 에너지원으로는 이용되지 않는 것이나 반면에 지속적으로 섭취할 경우 대사과정에서 교란이 발생하여 비만 및 제2형 당뇨병 및 심혈관 질환을 초래할 수 있으므로 사용시 주의를 기울여야 한다.^{5,6} 또한, 고감미 감미료로 오랫동안 사용해온 아스파탐은 pH 3~5에서 비교적 안정하나 그 이외의 범위에서는 분해되었으며,⁷ 아스파탐 용액을 60~100°C 조건에서 가열할 경우 온도가 높아질수록 아스파탐의 분해속도가 증가한다고 보고하였다.⁸ 설탕 대체용으로 개발된 감미료들의 이러한 관능적 또는 기능적 문제점들로 인해 설탕을 완전히 대체하지 못하고 있고 여전히 설탕이 대표 감미료로 많이 사용되고 있다. 따라서 설탕을 보다 건강하게 섭취할 수 있도록 도움을 주는 기능성 설탕에 대한 연구가 필요한 실정이다.

혈당지수 (Glycemic index, GI)는 식후 탄수화물의 흡수속도를 나타내기 위하여 고안된 것으로 표준식품과 비교식품을 유용성 탄수화물 기준으로 동량 섭취하고, 혈당의 반응 정도를 수치화 한 것이다.⁹ GI 수치가 70 이상이면 High GI, 56~69이면 Medium GI, 55 이하이면 Low GI 식품으로 분류한다. Willett W 등¹⁰의 선행연구에 따르면 제2형 당뇨병 환자들의 경우 GI가 낮은 식품으로 섭취형태를 바꾸었을 때 혈당과 관련된 지표들이 개선되고 혈관합병증 감소에 도움을 주는 것으로 보고되었다.^{10,11} High GI 식품을 섭취하면 Low GI 식품에 비하여 식욕이 촉진되고 인슐린 분비가 많아져 비만의 위험이 증가한다.¹¹ 반면에 Low GI 식품을 섭취하면 식후 혈당이 천천히 상승하므로 인슐린 반응이 낮아져 비만 및 제2형 당뇨병과 같은 질병의 위험성을 줄여 줄 수 있기 때문에 최근에는 식품의 GI 수치에 대한 관심이 증가하고 있다.¹²⁻¹⁵

최근에는 설탕에 L-arabinose 혹은 D-xylose를 10% 이하로 첨가하여 체내 sucrase의 작용을 억제함으로써 혈당의 상

승을 감소시키는 기능성 설탕에 대한 연구가 보고되고 있다. 국내에는 D-xylose가 첨가된 설탕 제품이 출시되었다.^{3,16-18} Moon 등¹⁷은 D-xylose를 5%만 첨가하여도 설탕의 감미도 및 감미질이 동일하게 유지되고 제품의 단가를 낮출 수 있는 XyloSugarTM (자일로슈가TM)의 경우 GI가 49이며, D-xylose를 10% 첨가한 설탕과 혈당저감효과가 같다고 보고하였다. 단당류인 D-xylose를 첨가한 설탕은 일반 설탕과 비교하여 GI 수치를 최대 27.5% 낮출 수 있지만, D-xylose는 별도의 소화과정 없이 소장에서 쉽게 흡수되기 때문에¹⁹ 지속적인 혈당저감 효과를 유지하기 어려울 것으로 사료된다.

자일로올리고당 (Xylooligosaccharide)은 hemicellulose에서 추출한 xylan을 효소에 의해 가수분해하여 xylose가 2~10개인 β -1,4 xyloside로 결합된 당류 혼합물로, 설탕 반정도의 감미도를 지니며, 산성에서도 안정하다는 특징이 있다.²⁰ 자일로올리고당은 자연적으로 과일, 야채, 대나무, 꿀, 우유 등에 존재하는 물질이다. 다른 올리고당에 비해 하루에 0.7~7.5 g의 비교적 적은 양으로 유효섭취량을 충족시키며 장내 유익균 증식, 유해균 억제 및 배변활동에 도움을 줄 수 있어 건강기능식품 개별인정형 원료로 등록되어 있다.²¹ 자일로올리고당은 사람의 위나 소장에서 분해되지 않으며¹¹ 체내로 흡수되어 에너지원으로 이용될 수 없어 소장 내에서 체류하는 시간이 길어짐에 따라 혈당저감효과를 나타낼 수 있을 것으로 판단된다. 대장에서는 *Bifidobacterium* 및 *Lactobacillus* 등과 같은 유익균들이 자일로올리고당을 선택적으로 이용하기 때문에 대장내 유익균 개체를 증가시켜 장 건강에 도움 준다.^{9,22} 하지만 자일로올리고당은 감미도가 설탕의 절반 수준으로 낮고, 제품 단가가 높으며, 점도가 높은 액상으로 운반 및 저장에 불편한 점이 있어 앞서 언급한 우수한 기능성이 있음에도 불구하고 다양한 식품군에 적용되기 어려운 문제점이 있다.

이에 본 연구에서는 설탕의 감미도 및 기능적 특성을 유지할 수 있도록 설탕을 80% 이상으로 유지한 상태에서 자일로올리고당을 첨가하여 만든 기능성 설탕이 건강한 성인의 GI와 식후 혈당에 미치는 영향을 연구하고자 한다.

연구방법

재료 및 시약

본 임상시험에서는 표준식품인 무수결정포도당 (Daesang, Korea)과 비교식품의 원료인 정백당 (TS Corporation, Korea) 및 분말 자일로올리고당 (Samick Chemical, Korea)을 사용하였다. 분말 자일로올리고당은 액상 자일로올리고당을 분말화하는 과정에서 말토덱스트린이 30% 함유되도록 제조된 제품이다. Glycemic Index (GI) 측정을 위해 혈당측정기 (Lifescan,

Milpitas, CA, USA)와 혈당측정시험지 (Lifescan, Milpitas, CA, USA)를 이용하였다.

피험자 선정

본 연구는 국내 GI test 전문기관인 (주) 네오뉴트라에 의뢰하여 진행하였으며, 국제 임상시험관리기준에 준하여 임상시험 실시기관인 한림대학교성심병원의 임상시험심사위원회 (IRB)의 승인을 받아 수행되었다 (IRB No. 2013-S034). 피험자 선정기준은 만 19~35세의 건강한 성인남녀로 혈액화학적 검사인 Aspartate aminotransferase (AST), Alanine aminotransferase (ALT), Total cholesterol, Blood glucose가 임상시험 실시기관의 정상치 내에 포함된 사람 중 각종 병력 및 질환, 약물복용, 임신여부 등의 제외기준을 통과한 피험자 12명 (남 6명, 여 6명)을 확보하여 표준식품과 비교식품을 섭취하도록 하였다 (Table 1). 본 임상시험에서는 Wolever 등²³과 Brouns 등²²의 연구 결과에서 GI를 측정하는 대부분의 실험에서는 10명 이상의 피험자 수를 설정하면 적절한 검정력과 정확성을 가질 수 있다고 제시한 결과를 바탕으로 탈락을 약 20%를 고려하여 총 12명의 피험자를 선정하였다. 임상시험 종료 후 결과 분석의 신뢰도를 높이기 위하여 설정된 기준에 따라 GI \pm 2SD를 벗어난 피험자 1명을 제외하여 최종 평가 피험자 수는 11명으로 선정되었다.²⁴

임상시험식품 섭취방법

본 임상시험은 무작위배정, 공개, 단회섭취 시험으로 디자인하였다. 피험자는 포도당, 자일로올리고설탕 14 (Xylo 14), 자일로올리고설탕 20 (Xylo 20)을 1주에 한 가지씩 섭취하였으며, 2번 반복하여 총 6주간 실험에 참여하였다. 식품의 섭취 순서에 따라 1군 [ABC: 포도당 (A)-Xylo 14 (B)-Xylo 20 (C)] 또는 2군 [CAB: Xylo 20 (C)-포도당 (A)-Xylo 14 (B)] 또는 3군 [BCA: Xylo 14 (B)-Xylo 20 (C)-포도당 (A)]으로 나누어 대상자 배정을 1 : 1 : 1의 비율로 동일하게 하였으며, SAS sys-

tem으로 무작위 배정번호를 부여하여 피험자에게 섭취하도록 하였다. 비교식품 (Xylo 14, Xylo 20)은 식품공전의 기타설탕 규격인 설탕도 측정법에 따라 당도 86% 이상을 충족시키는 조건으로 설정하였으며,²⁵ 설탕도를 이용한 당도 측정결과 Xylo 14는 93%, Xylo 20은 89%로 나타났다 (Data not shown). 표준식품 및 비교식품은 식이섬유를 제외한 유용성 탄수화물 50 g을 기준으로 산정하여 정제수 250 ml에 녹여 섭취하도록 하였다. 비교식품의 식이섬유 분석은 식품공전 기준에 따라 수행되었으며, 한국식품연구소에 의뢰하여 시험성적서를 발급받았다. 임상시험을 위해 사용한 표준식품 및 비교식품의 구성은 Table 1에 제시되었다.

GI 측정 실험

피험자 선정 기준을 통과한 12명의 피험자는 12시간 금식 및 금주상태로 임상시험에 참여하였고, 혈당 측정치의 신뢰도를 높이기 위해 실험 전 날 식이를 평소와 동일하게 유지하도록 하였다. 또한, 시험기간 동안 혈당에 영향을 미치는 약물 및 건강기능식품을 복용하지 않도록 교육하였다. 피험자의 혈당 안정도를 확인하기 위하여 임상시험 식품 섭취 전 30분과 0분에 혈당을 측정하여 차이가 5 mg/dl 미만인 경우에 시험을 실시하였다. 섭취 시작 0분을 시작으로 15, 30, 45, 60, 90, 120분에 혈당측정기를 이용하여 혈당을 측정하였으며, 동일 시간에 2회 반복 측정하였다. 피험자들은 시험이 끝날 때까지 제한된 공간에서 안정된 상태를 유지하도록 하였으며, 독서나 영화감상과 같은 가벼운 신체동작을 허용하였다.

GI의 계산

GI의 산출 방법은 현재 가장 많이 사용되며, 'Food and Agriculture Organization (1998)'에서 권유하는 방법인 Incremental Area Under the Curve (IAUC)를 사용하였다. IAUC는 혈당 측정 후 0분대의 혈당수치를 기준으로 반응곡선의 기준선 위 영역만을 이용하는 방법으로 GI의 표준편차 값이 가장 낮아 높은 정확도를 가지고 있다.²⁶ 산출된 표준식품 및 비교식품의 IAUC를 이용하여 각 피험자의 비교식품 GI를 계산한 공식은 아래와 같다.

$$\text{Glycemic Index (GI)} = \frac{\text{IAUC of test food}}{\text{IAUC of glucose}} \times 100$$

통계분석

본 자료의 통계처리는 SAS statistical software V9.3 (SAS Institute, Cary, NC)을 이용하여 실시하였다. 세 그룹간의 AUC와 혈당의 비교는 반복측정 분산분석 (Repeated Measures ANOVA)과 사후검정 (Tukey's multiple test)을 이용하여 $p < 0.05$, $p < 0.01$ 수준에서 통계적으로 유의한 차이를 검증하였다.

Table 1. Test food compositions in the clinical trial

	Glucose	Xylo 14	Xylo 20
Glucose (%)	100	-	-
Sucrose (%)	-	86	80
Xylooligosaccharide powder (%)	-	14	20
Xylooligosaccharide (%)	-	7	10
Maltodextrin (%)	-	4.2	6
Total carbohydrate (%)	100	99.4	99.3
Fiber (%)	-	2.7	4.5
Digestible carbohydrate (%)	100	96.7	94.8
Intake (g)	50.0	51.7	52.7

Xylo 14, sucrose with 14% xylooligosaccharide powder; Xylo 20, sucrose with 20% xylooligosaccharide powder

결 과

일반사항 및 혈액검사 결과

임상시험 대상자들의 나이, 성별, Body mass index (BMI)와 혈액검사로 알아본 AST, ALT, Total cholesterol, Blood glucose 수치를 Table 2에 제시하였다. 총 11명의 대상자가 실험에 참여하였으며, 남자 (5명)와 여자 (6명)의 검사 내용을 각각 제시하였다. 대상자 중 남자의 평균 나이는 22.3 ± 2.2 세였고, 여자의 평균 나이는 24 ± 3.1 세였다. BMI는 남녀 각각 $21.7 \pm 3.0 \text{ kg/m}^2$, $22.6 \pm 2.8 \text{ kg/m}^2$ 로 대부분의 대상자들이 정상범위에 속하였다. 혈액검사를 통해 알아본 AST 수치는 남자 $18.3 \pm 4.3 \text{ U/L}$, 여자 $14.7 \pm 2.1 \text{ U/L}$ 로 모든 대상자가 정상범위 (남자: $0\sim 40 \text{ U/L}$, 여자 $0\sim 32 \text{ U/L}$)에 속해있으며 ALT 수치 역시 남녀 각각 $17.2 \pm 7.6 \text{ U/L}$, 여자 $10.5 \pm 1.7 \text{ U/L}$ 로 정상범위 (남자: $0\sim 41 \text{ U/L}$, 여자 $0\sim 33 \text{ U/L}$)를 벗어나는 대상자

Table 2. Baseline characteristics of the subjects in the clinical trial
n = 11

Variables	Man (n = 5)	Women (n = 6)
Age (yr)	22.3 ± 2.2^1	24 ± 3.1
BMI ²⁾ (kg/m ²)	21.7 ± 3.0	22.6 ± 2.8
AST ³⁾ (U/L)	18.3 ± 4.3	14.7 ± 2.1
ALT ⁴⁾ (U/L)	17.2 ± 7.6	10.5 ± 1.7
Total cholesterol (mg/dL)	168.8 ± 21.2	175.7 ± 19.1
Fasting blood glucose (mg/dL)	94.8 ± 3.7	91.2 ± 5.6

1) Mean \pm SD 2) BMI: Body mass index 3) AST: Aspartate aminotransferase 4) ALT: Alanine aminotransferase

Table 3. Glycemic indices of Xylo 14 and Xylo 20
n = 11

Variables	Xylo 14	Xylo 20
GI	60.0 ± 23.5^1	54.3 ± 17.7
CV ²⁾	39.2	32.7

1) Mean \pm SD 2) CV: Coefficient of variation
Xylo 14, sucrose with 14% xylooligosaccharide powder; Xylo 20, sucrose with 20% xylooligosaccharide powder

Table 4. Blood glucose areas under curve (AUC) in subjects after ingestion of Glucose, Xylo 14, and Xylo 20
n = 11

	Glucose (n = 11)	Xylo 14 (n = 11)	Xylo 20 (n = 11)	p-value
AUC (mg · min/dl)				
Initial glucose level (mg/dl)	87.2 ± 4.7	89.8 ± 5.4	88.2 ± 5.4	0.923
0-15 min	$269.0 \pm 91.6^{1)2) a}$	151.4 ± 108.8^b	151.7 ± 93.8^b	0.0113
0-30 min	667.3 ± 185.9^a	404.7 ± 189.3^b	377.2 ± 153.0^b	0.0009
0-45 min	1192.7 ± 293.4^a	757.0 ± 255.5^b	684.1 ± 182.6^b	< 0.0001
0-60 min	1682.9 ± 409.9^a	1077.1 ± 321.1^b	960.2 ± 227.0^b	< 0.0001
0-90 min	2452.3 ± 688.2^a	1486.6 ± 443.5^b	1333.1 ± 333.4^b	< 0.0001
0-120 min	2892.7 ± 914.7^a	1644.9 ± 494.4^b	1488.2 ± 394.3^b	< 0.0001

1) Mean \pm SD 2) Values not sharing the same superscript letter are statistically significantly by Repeated Measures ANOVA test followed by Tukey's multiple range test.
Xylo 14, sucrose with 14% xylooligosaccharide powder; Xylo 20, sucrose with 20% xylooligosaccharide powder

는 없었다. 총 콜레스테롤 결과는 남자가 $168.8 \pm 21.2 \text{ mg/dl}$, 여자가 $175.7 \pm 19.1 \text{ mg/dl}$ 로 나타났으며 공복 시 혈당은 대상자 중 남자 $94.8 \pm 3.7 \text{ mg/dl}$, 여자 $91.2 \pm 5.6 \text{ mg/dl}$ 로 나타나 모든 대상자가 $74\sim 106 \text{ mg/dl}$ 의 정상범위를 벗어나지 않았다. 흡연 여부에 대한 조사에서는 총 11명의 대상자 중 단 한 명만이 흡연을 한다고 응답하였다 (data not shown).

자일로올리고당을 함유한 설탕이 GI에 미치는 효과

임상시험 대상자들이 섭취한 Xylo 14과 Xylo 20의 IAUC를 통해 GI를 산출한 결과는 Table 3에 제시되어 있다. 선행연구의 결과에 따르면 순수한 설탕의 GI수치는 68이며²⁷ 이와 비교해 보았을 때 Xylo 14의 GI는 순수한 설탕과 비교하여 11.8%가 낮은 60.0 ± 23.5 였고, Xylo 20의 GI는 순수한 설탕에 비해 20.1% 낮은 54.3 ± 17.7 를 나타내었다. 이는 GI level로 보았을 때 Xylo 14과 Xyl 20은 각각 Medium GI, Low GI로 분류할 수 있으며 이로써 순수한 설탕에 비해 비교식품인 Xylo 14 또는 Xylo 20의 탄수화물 흡수속도가 낮아 혈당 강하에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

자일로올리고당을 함유한 설탕이 area under the curve (AUC)에 미치는 효과

Glucose와 Xylo 14, Xylo 20을 섭취한 각각의 그룹의 혈중 glucose 농도의 AUC를 계산하여 비교한 결과는 Table 4에 제시되어 있다. 혈중 glucose 농도는 대상자가 식품을 섭취한 후 0분, 15분, 30분, 45분, 60분, 90분, 120분에 각각 측정하였으며 이 측정치를 바탕으로 0~15분, 0~30분, 0~45분, 0~60분, 0~90분, 0~120분의 총 6구간으로 나누어 계산하였다.

자일로올리고당을 함유한 설탕을 섭취한 후 측정된 결과에서 모든 구간이 표준식품에 비해 통계적으로 유의한 차이를 보였는데, 0~15분 ($p = 0.0113$), 0~30분 ($p = 0.0009$), 0~45분 ($p < 0.0001$), 0~60분 ($p < 0.0001$), 0~90분 ($p < 0.0001$), 0~120분 ($p = 0.0001$)이었다. 이 결과를 표준식품인 glucose와 비교하여 그 농도 차이를 계산해 보았을 때 Xylo 14 섭취 후에

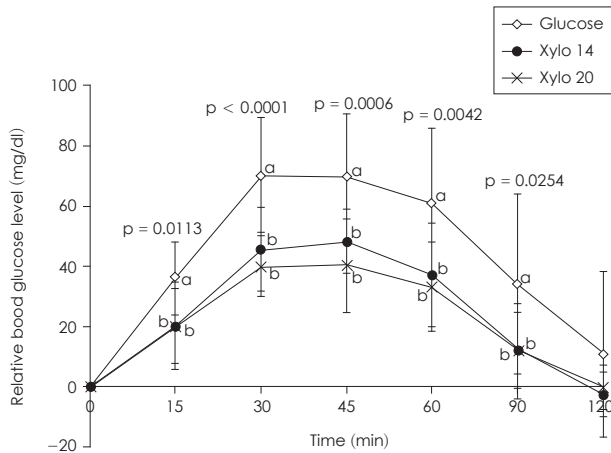


Fig. 1. Mean blood glucose responses after administration of control food (glucose) and test food (Xylo 14 and Xylo 20). Each value is the mean \pm SD. Time points with a p-value indicate a significant difference between groups. Xylo 14, sucrose with 14% xylooligosaccharide powder; Xylo 20, sucrose with 20% xylooligosaccharide powder.

는 각 구간당 43.7% (0~15분), 39.3% (0~30분), 36.5% (0~45분), 36.0% (0~60분), 34.9% (0~90분), 43.1% (0~120분)의 감소율을 보였으며, Xylo 20 섭취 후에는 각 43.6% (0~15분), 43.5% (0~30분), 42.6% (0~45분), 42.9% (0~60분), 45.6% (0~90분), 48.5% (0~120분)씩 감소하는 결과를 나타냈다.

자일로올리고당을 함유한 설탕이 혈당에 미치는 효과

Fig. 1은 Xylo 14과 Xylo 20 섭취 후 혈당 농도의 변화를 시간의 흐름에 따라 측정된 결과의 평균값을 나타낸 것으로 0분과 120분을 제외한 모든 구간에서 유의적인 차이를 나타내었다. 본 임상시험의 결과에 따르면 총 11명의 피험자들은 대부분의 경우 표준식품인 glucose를 섭취한 후 급격한 혈당 상승을 보였으며, 세 그룹에서 모두 섭취 후 30~45분 사이의 혈당이 가장 높은 것을 알 수 있었다. 120분이 경과한 후 측정된 표준식품인 glucose의 혈당 수치는 정상상태까지 미치지 못하는 혈당치를 나타내었다. 또한 표준식품인 glucose와 비교식품인 Xylo 14, Xylo 20을 섭취한 후 가장 가파른 혈당의 변화폭을 보인 것은 glucose를 섭취한 후였고, 가장 완만한 혈당의 변화폭을 보인 것은 Xylo 20을 섭취한 후였으나, Xylo 14과 Xylo 20 사이에 통계적 유의성은 없었다.

고 찰

본 연구에서는 선정된 건강한 성인 남녀 11명을 대상으로 임상시험 기준에 준하여 표준식품 (glucose)과 비교식품 (Xylo 14, Xylo 20)의 섭취에 따른 혈당상승의 변화를 측정하는 임상시험을 실시하였다.

다양한 탄수화물 식품의 GI는 음식의 식후 혈당의 반응정

도를 나타내며,⁹ 비교식품 50 g을 섭취한 후 혈당의 반응곡선 면적을 표준식품인 흰 빵이나 포도당 50 g을 섭취한 후의 혈당반응곡선 면적으로 나누어 100을 곱하여 계산한다.²⁶ 본 연구에서는 Fig. 1에서 나타나듯이 자일로올리고당이 함유된 설탕을 섭취하였을 때 급격한 혈당상승이 억제되고 이후 2시간 동안 혈당이 천천히 감소해 공복혈당 수준으로 돌아갔는데, 이는 선행연구 결과에서 제시한 High GI 식품이 가지고 있는 위험성을 감소시키는 효과가 있는 것으로 사료된다. Roberts 등²⁸은 GI가 70 이상인 High GI 식품을 섭취하면 2시간 이내에 혈당이 높은 정점을 나타내게 되고 이러한 혈당상승을 조절하기 위하여 길항호르몬이 분비되어 공복혈당보다 현저히 낮아지게 되므로 저혈당의 위험성을 보고하고 있다. 또한, High GI 식품을 섭취하면 혈당이 빠르게 상승하여 인슐린 분비가 촉진되고, 결과적으로 체지방 축적이 증가하여 비만의 위험이 크다고 보고되고 있다.^{12,29} 일본에서 진행하였던 cohort 연구에서는 High GI 식품을 섭취했을 때 여성들에게서 뇌졸중으로 인한 사망률의 위험이 증가하는 것을 발견하였으며,³⁰ Medium GI 식품인 설탕의 경우도 glucose보다는 초기 혈당의 상승폭은 작지만 Low GI 식품인 D-xylose가 5% 함유된 설탕보다는 높은 것으로 나타났다.^{17,18}

Korg-Mikkleson 등¹⁶이 발표한 중재연구에서는 4%의 L-arabinose를 첨가한 75 g의 설탕 대체 감미료 섭취 시 체내에서 sucrase의 작용이 억제되어 혈당 최대치와 인슐린 최대치가 각각 11%와 33%의 감소효과를 나타내는 것으로 보고되었다. 5 g 또는 7.5 g의 xylose를 첨가한 설탕을 이용한 실험에서는 D-xylose 첨가 설탕을 경구로 섭취하였을 때 혈당과 인슐린 증가가 감소하는 경향을 보였고 당의 흡수도 지연되는 효과를 나타냈으며,³ D-xylose를 이용 하였을 때도 L-arabinose의 *in vitro* 실험에서와 유사한 결과를 나타냈다.^{31,32} 식품에 천연으로 존재하는 물질을 이용해 전분과 설탕의 흡수를 저해하는 효과를 시험한 동물실험에서는 L-arabinose가 식후 혈당을 감소시키는 효과를 나타낸 것이 발견 되었다.³³ 선행된 연구에서는 단당류를 탄수화물과 혼합하여 섭취할 경우 식후 혈당 저감효과에 대하여 규명하였으나, 본 연구에서는 D-xylose가 2~7개 결합되어 prebiotics로 잘 알려진 자일로올리고당을 7% 혹은 10% 설탕과 혼합하여 섭취할 경우에도 혈당 저감효과가 나타난다는 사실을 확인하였다.

표준식품과 비교식품의 IAUC를 통해 GI를 산출한 결과 Xylo 14는 60.0 \pm 23.5로 Medium GI 식품으로 나타났으며, Xylo 20은 54.3 \pm 17.7로 Low GI 식품으로 나타났다. 선행된 많은 연구에서 순수한 설탕은 Medium GI로 분류하고 있으며, Foster-Powell 등²⁷은 순수한 설탕의 GI를 68로 보고하였다. 이를 기준으로 Xylo 14와 Xylo 20의 혈당상승 저감효과를

산출하면 각각 11.8%와 20.1%가 낮은 것으로 나타났다. 이는 Moon 등¹⁷이 연구한 D-xylose를 5%와 10% 적용한 설당을 섭취하였을 때 산출된 GI 수치가 각각 49, 50인 경우보다 혈당 저감효과가 낮은 수준이다. 하지만, D-xylose는 Yuasa 등³⁴의 연구에서와 같이 섭취 후 대부분이 소장에서 흡수되는 반면 자일로올리고당은 β -1-4-linkage로 결합된 중합체로 소장에서 분해되지 않고 대장으로 이동하기 때문에 D-xylose보다 장내에서 체류하는 시간이 길어지게 된다.^{35,36} 따라서 이들 자일로올리고당을 함유한 설당 섭취 시 자일로올리고당이 소장에서 체류하는 동안 설당분해 효소인 sucrase를 지속적으로 저해할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 자일로올리고당의 1일 유효섭취량이 0.7~7.5 g으로 다른 올리고당과 비교하여 적은 섭취량으로 prebiotics 기능을 나타내므로 D-xylose보다 더 장점이 있다고 할 수 있다. 그러나 이 연구에서는 Xylo 14와 Xylo 20의 농도차이에 의한 혈당저감에 차이가 나지 않아서 Xylo 14의 적은 양으로도 혈당저감 효과가 충분함을 알 수 있었다.

본 연구에 사용된 분말 자일로올리고당은 D-xylose가 2~7개 결합된 올리고당이 전체의 약 50%를 차지하고 있으므로 이들 자일로올리고당함유 설당을 설당이 적용되는 식품군에 적용한다면 혈당 저감효과를 나타냄과 동시에 7~10 g 이상을 섭취하면 자일로올리고당의 1일 유효섭취량을 충족시킬 수 있는 것으로 사료된다.

본 연구에서 사용한 분말 자일로올리고당은 건조보조제로 널리 적용되고 있는 말토덱스트린이 30% 첨가되어 있는데, 말토덱스트린은 High GI 식품으로 표준식품인 포도당과 동일하게 분류되고 있어 비교식품의 GI 수치를 높이는 역할을 한 것으로 사료된다.³⁷ Lee 등³⁸과 Park 등³⁹은 체내에서 소화효소로 분해되기 어려운 고분자 물질인 식이섬유를 섭취할 경우 체내 혈당상승의 억제 및 콜레스테롤 흡수를 저해한다고 보고하고 있다. 본 연구에서 섭취한 Xylo 14와 Xylo 20에는 말토덱스트린이 각각 4.2%와 6.0% 함유되어 있는데, 이들의 양을 기준으로 이론적 GI를 산출하면 각각 4.3과 6.3으로 본 임상시험에서 비교식품의 GI 수치를 상승시키는 역할을 한 것으로 판단된다. 말토덱스트린을 혈당 상승에 영향을 주지 않는 난소화성 말토덱스트린과 같은 식이섬유로 대체할 경우 Xylo 14와 Xylo 20의 이론상 GI는 55.7과 48이 되므로 순수한 설당의 GI 68과 비교하면 각각 18.2%와 29.4% 혈당상승 저감 효과를 나타낼 수 있다. 앞서 언급한 내용들과 같이 다당류의 지연된 소화작용의 특성을 이용하여 심장병, 당뇨, 게실염, 암 등의 질병을 예방하거나 치료하는데 도움이 될 수 있다는 보고가 나오고 있으며, 특히 *Bifidobacterium*과 같은 유익균의 성장에 도움이 될 수 있다고 보고되고 있다.²⁰ 따라서 향후 식이섬유인 난소화성 말토덱스트린이 첨가된 자일로올리고당 함유 설당의

GI와 혈당저감효과에 대한 연구가 후속적으로 필요할 것이다.

요 약

본 연구는 자일로올리고당을 설당에 적용하여 임상시험을 통해 자일로올리고당 첨가량에 따른 설당의 GI 저감효과와 혈당저감효과를 확인하였다. 건강한 성인 남녀 11명을 대상으로 표준식품인 포도당과 비교하여 분말 자일로올리고당을 14% 함유한 Xylo 14과 분말 자일로올리고당을 20% 함유한 Xylo 20을 섭취 후 표준식품과 비교식품의 IAUC를 통해 GI를 산출한 결과 Xylo 14는 60.0 ± 23.5 로 Medium GI 식품으로 나타났으며, Xylo 20은 54.3 ± 17.7 로 Low GI 식품으로 나타났다. 순수한 설당의 GI 68과 비교하면 각각 11.8%와 20.1% 혈당상승 저감효과를 나타낼 수 있었다. AUC는 15~90분까지 모든 구간에서 유의적인 차이 ($p < 0.05$)를 나타내었다. 따라서 Xylo 14와 Xylo 20은 혈당 저감효과를 나타냄과 동시에 7~10 g 이상 섭취하면 자일로올리고당의 1일 유효섭취량도 만족시킬 수 있으므로 기능성 설당으로서의 활용이 기대된다.

References

1. Yoo H, Kim Y. A study on the characteristics of nutrient intake in metabolic syndrome subjects. *Korean J Nutr* 2008; 41(6): 510-517.
2. United States Department of Agriculture. Sugar: world markets and trade. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture; 2013.
3. Bae YJ, Bak YK, Kim B, Kim MS, Lee JH, Sung MK. Coconut-derived D-xylose affects postprandial glucose and insulin responses in healthy individuals. *Nutr Res Pract* 2011; 5(6): 533-539.
4. Ferder L, Ferder MD, Inserra F. The role of high-fructose corn syrup in metabolic syndrome and hypertension. *Curr Hypertens Rep* 2010; 12(2): 105-112.
5. Yang Q. Gain weight by "going diet?" Artificial sweeteners and the neurobiology of sugar cravings: *Neuroscience* 2010. *Yale J Biol Med* 2010; 83(2): 101-108.
6. Swithers SE. Artificial sweeteners produce the counterintuitive effect of inducing metabolic derangements. *Trends Endocrinol Metab* 2013; 24(9): 431-441.
7. Prudel M, Davidková E, Davídek J, Kmínek M. Kinetics of decomposition of aspartame hydrochloride (Usal) in aqueous solutions. *J Food Sci* 1986; 51(6): 1393-1397.
8. Kim WJ, Chung NY. Effect of temperature and pH on thermal stability of aspartame. *Korean J Food Sci Technol* 1996; 28(2): 311-315.
9. Jenkins DJ, Wolever TM, Taylor RH, Barker H, Fielden H, Baldwin JM, Bowling AC, Newman HC, Jenkins AL, Goff DV. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am J Clin Nutr* 1981; 34(3): 362-366.
10. Willett W, Manson J, Liu S. Glycemic index, glycemic load, and risk of type 2 diabetes. *Am J Clin Nutr* 2002; 76(1): 274S-280S.
11. Brand-Miller JC, Holt SH, Pawlak DB, McMillan J. Glycemic in-

- dex and obesity. *Am J Clin Nutr* 2002; 76(1): 281S-285S.
12. Miller JC. Importance of glycemic index in diabetes. *Am J Clin Nutr* 1994; 59(3 Suppl): 747S-752S.
 13. Hodge AM, English DR, O'Dea K, Giles GG. Glycemic index and dietary fiber and the risk of type 2 diabetes. *Diabetes Care* 2004; 27(11): 2701-2706.
 14. Park S, Woo MH, Choue R. Dietary quality and self-management status according to the glycemic control in the elderly with type 2 diabetes. *Korean J Food Nutr* 2008; 21(4): 530-535.
 15. Brouns F, Björck I, Frayn KN, Gibbs AL, Lang V, Slama G, Wolever TM. Glycaemic index methodology. *Nutr Res Rev* 2005; 18(1): 145-171.
 16. Krog-Mikkelsen I, Hels O, Tetens I, Holst JJ, Andersen JR, Bukhave K. The effects of L-arabinose on intestinal sucrase activity: dose-response studies in vitro and in humans. *Am J Clin Nutr* 2011; 94(2): 472-478.
 17. Moon S, Lee K, Kyung M, Jung S, Park Y, Yang CK. Study on the proper D-xylose concentration in sugar mixture to reduce glycemic index (GI) value in the human clinical model. *Korean J Food Nutr* 2012; 25(4): 787-792.
 18. Lee K, Moon S, Jung S, Park YJ, Yoon S, Choe K, Yang C. Glycemic index of sucrose with D-xylose (XF) in humans. *Curr Top Nutraceutical Res* 2013; 11(1/2): 35-40.
 19. Mäkeläinen H, Juntunen M, Hasselwander O. Prebiotic potential of xylo-oligosaccharides. In: Charalampopoulos D, Rastall RA, editors. *Prebiotics and Probiotics Science and Technology*. New York : Springer Verlag; 2009. p.245-258.
 20. Imaizumi K, Nakatsu Y, Sato M, Sedarnawati Y, Sugano M. Effects of xylooligosaccharides on blood glucose, serum and liver lipids and cecum short-chain fatty acids in diabetic rats. *Agric Biol Chem* 1991; 55(1): 199-205.
 21. Ministry of Food and Drug Safety (KR). Xylooligosaccharide [Internet]. Cheongwon: Ministry of Food and Drug Safety; 2009 [cited 2014 Apr 21]. Available from: <http://www.foodnara.go.kr/hfoodi/main/sub.jsp?pageCode=260&viewType=view&searchType=strSubject&keyword=&pageStr=9&intIdx=329>.
 22. Crittenden R, Karppinen S, Ojanen S, Tenkanen M, Fagerström R, Mättö J, Saarela M, Mattila-Sandholm T, Poutanen K. In vitro fermentation of cereal dietary fibre carbohydrates by probiotic and intestinal bacteria. *J Sci Food Agric* 2002; 82(8): 781-789.
 23. Wolever TM, Vorster HH, Björck I, Brand-Miller J, Brighenti F, Mann JI, Ramdath DD, Granfeldt Y, Holt S, Perry TL, Venter C, Xiaomei Wu. Determination of the glycaemic index of foods: interlaboratory study. *Eur J Clin Nutr* 2003; 57(3): 475-482.
 24. NeoNutra Co., Ltd. Clinical study report (Protocol No.: Xy1 T). Randomized, open-label, single-dose and crossover clinical study to measure of glycemic index of XylooligoSugar and Xylooligo Sweet on healthy adults. Seoul: NeoNutra Co., Ltd.; 2013.
 25. Ministry of Food and Drug Safety (KR). Korean food standards codex [Internet]. Cheongwon: Ministry of Food and Drug Safety; 2013 [cited 2014 Jul 20]. Available from: http://fse.foodnara.go.kr/residue/RS/jsp/menu_02_01_03.jsp?idx=26.
 26. Wolever TM, Jenkins DJ. The use of the glycemic index in predicting the blood glucose response to mixed meals. *Am J Clin Nutr* 1986; 43(1): 167-172.
 27. Foster-Powell K, Holt SH, Brand-Miller JC. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *Am J Clin Nutr* 2002; 76(1): 5-56.
 28. Roberts SB. High-glycemic index foods, hunger, and obesity: is there a connection? *Nutr Rev* 2000; 58(6): 163-169.
 29. Ludwig DS. Dietary glycemic index and obesity. *J Nutr* 2000; 130(2S Suppl): 280S-283S.
 30. Oba S, Nagata C, Nakamura K, Fujii K, Kawachi T, Takatsuka N, Shimizu H. Dietary glycemic index, glycemic load, and intake of carbohydrate and rice in relation to risk of mortality from stroke and its subtypes in Japanese men and women. *Metabolism* 2010; 59(11): 1574-1582.
 31. Shibamura K, Degawa Y, Houda K. Determination of the transient period of the EIS complex and investigation of the suppression of blood glucose levels by L-arabinose in healthy adults. *Eur J Nutr* 2011; 50(6): 447-453.
 32. Seri K, Sanai K, Matsuo N, Kawakubo K, Xue C, Inoue S. L-arabinose selectively inhibits intestinal sucrase in an uncompetitive manner and suppresses glycemic response after sucrose ingestion in animals. *Metabolism* 1996; 45(11): 1368-1374.
 33. Preuss HG, Echard B, Bagchi D, Stohs S. Inhibition by natural dietary substances of gastrointestinal absorption of starch and sucrose in rats and pigs: 1. Acute studies. *Int J Med Sci* 2007; 4(4): 196-202.
 34. Yuasa H, Kuno C, Watanabe J. Comparative assessment of D-xylose absorption between small intestine and large intestine. *J Pharm Pharmacol* 1997; 49(1): 26-29.
 35. Kabel MA, Kortenoeven L, Schols HA, Vragen AG. In vitro fermentability of differently substituted xylo-oligosaccharides. *J Agric Food Chem* 2002; 50(21): 6205-6210.
 36. Grootaert C, Delcour JA, Courtin CM, Broekaert WF, Verstraete W, Van de Wielea T. Microbial metabolism and prebiotic potency of arabinoxylan oligosaccharides in the human intestine. *Trends Food Sci Technol* 2007; 18(2): 64-71.
 37. Livesey G, Tagami H. Interventions to lower the glycemic response to carbohydrate foods with a low-viscosity fiber (resistant maltodextrin): meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Clin Nutr* 2009; 89(1): 114-125.
 38. Lee MY, Kim MK, Shin JG, Kim SD. Dietary effect of hemicellulose from soy fiber on blood glucose and cholesterol content in streptozotocin-induced diabetic rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2004; 33(7): 1119-1125.
 39. Park MY, Kim KH, Jeong KS, Kim HA. Effect of supplementation of dietary sea tangle on the renal oxidative stress in diabetic rats. *Korean J Food Cult* 2007; 22(1): 140-148.