

자일로바이오스 첨가 비율이 다른 설탕이 건강한 성인의 혈당지수와 혈당반응에 미치는 영향*

이정숙^{1**} · 김아름^{1**} · 남혜경¹ · 경명옥² · 서승우² · 장문정^{1†}
국민대학교 식품영양학과,¹ 대한제당(주) 중앙연구소²

Effect of varying levels of xylobiose in sugar on glycemic index and blood glucose response in healthy adults*

Lee, Jung-Sug^{1**} · Kim, A-Reum^{1**} · Nam, Hyekeyoung¹ · Kyung, Myungok² · Seo, Sheungwoo² · Chang, Moon-Jeong^{1†}

¹Department of Food & Nutrition, Kookmin University, Seoul 02707, Korea
²R&D Center, TS Corporation, Incheon 22300, Korea

ABSTRACT

Purpose: The objective of this study was to compare the effects of three different levels of xylobiose containing sucrose on glycemic indices based on oral glucose tolerance test (OGTT) and blood glucose response in healthy adults. **Methods:** Healthy adults (six male and five female participants, n = 11) underwent 14~16 hr of fasting. Subsequently, all participants took 50 g of available carbohydrates from glucose, sucrose containing 7% xylobiose (XB 7), sucrose containing 10% xylobiose (XB 10), or sucrose containing 14% xylobiose (XB 14) every week on the same day for 8 weeks. Finger prick blood was taken before and 15, 30, 45, 60, 90, and 120 min after starting to eat. **Results:** We observed reduction of the glycemic response to sucrose containing xylobiose. The glycemic indices of XB 7, XB 10, and XB 14 were 57.0, 53.6, and 49.7, respectively. The GI values of XB 7 were similar to those of foods with medium GI, and the GI values of XB 10 and XB 14 were similar to those of foods with low GI. The postprandial maximum blood glucose rise (Cmax) of XB 14 was the lowest among the test foods. XB 7, XB 10, and XB 14 showed significantly lower areas under the glucose curve (AUC) for 0~30 min, 0~60 min, 0~90 min and 0~120 min compared to glucose. **Conclusion:** The results of this study suggest that sucrose containing xylobiose has an acute suppressive effect on GI and postprandial maximum blood glucose rise. In addition, levels of xylobiose in sugar may allow more precise assessment of carbohydrate tolerance despite lower glycemic responses in a dose-dependent manner.

KEY WORDS: xylobiose (XB), glycemic index (GI), blood glucose, healthy adults

서 론

경제성장과 더불어 식생활의 서구화 및 다양화로 인하여 세계적으로 당류 섭취 증가 추세에 대한 우려가 제기되면서 가공식품에 사용되는 첨가당의 사용과 설탕의 섭취를 줄이려는 경향이 나타나고 있다. 현재 우리나라의 당류 섭취 기준을 보면 총 당류는 1일 열량의 10~20%이고, 가공식품으로 섭취하는 첨가당은 하루 열량의 10% 이내로 설

정하고 있는데, 이는 성인이 하루에 총 2,000 kcal를 섭취하는 경우 당류 섭취 기준은 200 kcal로 이를 당으로 환산하면 50 g으로 무게가 3 g인 각설탕 16~17개에 해당한다.¹ 액상 가공식품의 단맛을 내는데 많이 이용하는 당은 주로 포도당과 과당이 혼합된 액상과당의 형태로 첨가하여 사용하고 있으며, 모든 연령대에서 여러 가공식품 중 특히 음료수를 통해 가장 많이 당을 섭취하는 것으로 나타나고 있다.² 가공식품으로부터 당류 섭취량이 하루 열량의 10%를

Received: September 19, 2016 / Revised: October 4, 2016 / Accepted: October 7, 2016

*This research was supported by High Value-added Food Technology Development Program (Project number: 313024-03-3-HD020), Ministry for Food, Agriculture, Forestry, Republic of Korea.

**These authors contributed equally to this work.

†To whom correspondence should be addressed.

tel: +82-2-910-4776, e-mail: cmoon@kookmin.ac.kr

© 2016 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.

초과한 사람은 그렇지 않은 사람보다 비만 위험이 39%, 고혈압은 66%, 당뇨병 위험은 41%씩 높은 것으로 보고하고 있다.³

패스트푸드, 인스턴트 식품을 비롯한 가공식품 섭취의 증가는 건강을 위협하는 만성질환의 증가로 이어지게 되므로 최근에는 식품으로부터 영양소와 맛의 충족뿐만 아니라 건강의 유지와 질병의 예방 및 치료를 기대하는 식품의 기능에 관심이 집중되고 있다.⁴ 감미료로 폭 넓게 사용되고 있는 식품인 올리고당은 생체 내 소화 효소에 의해 가수분해되지 않는 난소화성 당으로 장내 세균에 의해 대사된다.⁵ 현재 생산 판매되고 있는 올리고당은 갈락토올리고당, 프락토올리고당, 이소말토올리고당, 말토올리고당, 대두올리고당, 자일로올리고당 등이 있다. 이들 올리고당들의 생리적 특성이 다르고, 건강기능적인 특성이 밝혀지면서 식품산업에서 다양하게 이용되고 있을 뿐 아니라 설탕의 대체물질로 그 활용성이 증가하고 있다. 자일로올리고당은 자연계에 존재하는 목재, 볏짚 및 보리짚 등에 포함되어 있는 헤미셀룰로오스인 Xylan의 가수분해로 생성되는 올리고당으로 주된 구성성분은 D-자일로오스 (D-Xylose, X1) 두 개가 β-1,4 결합한 자일로바이오스 (xylobiose, X2)와 세 개에서 일곱 개가 결합한 자일로트라이오스 (xylotriose, X3)~자일로헵타오스 (xyloheptaose, X7)로 구성되어 있으며, X2~X3의 함량이 가장 많다.⁶ 자일로올리고당의 감미도는 설탕의 40% 정도로, 비피도박테리아의 증식 인자로 작용하는 유효섭취량이 0.7~7.5 g/day의 소량으로 식품의 풍미에 큰 영향을 미치지 않고 기능성을 발휘할 수 있다고 보고되고 있다.⁷

자일로올리고당을 구성하는 X2~X7은 모두 생리활성을 지니고 있으나, D-자일로오스 2개가 결합한 이당류인 자일로바이오스가 비피도박테리아의 증식 효과 및 생리활성이 가장 우수한 것으로 보고되고 있어⁸⁻¹² 기능성 감미료로서 자일로바이오스에 대한 관심이 높아지고 있다. 자일로바이오스는 주로 자일로올리고당에서 정제하여 얻을 수 있으며, D-자일로오스에 효소를 처리하여 자일로바이오스를 합성하는 연구도 시도되고 있다.^{13,14}

Kyung 등¹⁵은 자일로올리고당을 함유한 설탕의 섭취 시 혈당 상승을 낮출 수 있다고 보고하였고, D-자일로오스를 함유한 설탕 섭취 시에도 혈당과 인슐린 상승을 억제하는 효과가 있으며,^{16,17} D-자일로오스 함유 설탕이 일반 설탕에 비해 혈당지수를 27.5% 낮추는 효과가 있다고 보고하고 있다.¹⁸ 제 2형 당뇨 마우스 모델을 이용한 동물실험에서 5% 자일로바이오스 함유 설탕 제공 시 혈당 강하 효과뿐만 아니라 혈중 지질 수준의 개선 및 염증성 매개인자의 발현을 억제하는 효과가 있는 것으로 보고하고 있다.¹⁹ 이

와 같이 다양한 연구에서 자일로올리고당 또는 D-자일로오스는 정장작용, 혈당강하 효과뿐만 아니라 혈중 지질 수준을 개선하는 효과가 있는 것으로 보고된 바 있으나 순수한 자일로바이오스를 설탕에 첨가할 경우 혈당상승 억제 효과에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

혈당지수 (glycemic index, GI)는 당뇨병뿐만 아니라 비만과의 관련성에 관한 다양한 연구들이 수행되면서 GI에 대한 관심은 계속 증가하고 있다. GI는 식후 탄수화물의 흡수 속도를 나타내기 위해 고안된 것으로 식품 내 탄수화물의 조성에 따라 차이를 보이는데, 식이섬유의 함량이 높을 경우 GI수준이 낮고 혈당 반응이 더 느리게 나타나 당뇨병 발생의 위험을 감소시키는 것으로 보고되고 있다.²⁰⁻²² GI 값이 높은 식품을 섭취하였을 경우 식욕이 촉진되고 인슐린의 분비량이 많아져서 식욕조절과 체내 대사에 부정적인 영향으로 체지방 증가를 초래할 수 있다.²³ 반면에 낮은 GI 식품의 섭취는 혈액 내 혈당 및 인슐린의 농도를 낮게 유지시키게 되어 비만, 당뇨 및 심혈관질환의 예방과 증상 완화에 도움을 줄 수 있는 것으로 보고되어 있다.^{24,25} 설탕의 GI는 68로 중 GI (55 < GI < 70)에 해당하는 식품으로 비만, 당뇨 등 대사질환자들에게 섭취를 제한하고 있고,²⁶ 설탕의 과잉 섭취에 대한 우려와 더불어 식품의약품안전처의 ‘당 저감화 사업’으로 인해 당 섭취를 줄이려는 경향을 보이고 있으며³, 좀더 건강한 당을 섭취하려는 욕구 또한 증가하고 있는 추세이다. 이러한 추이에 동승하여 설탕을 보다 더 건강하게 섭취하는데 도움을 줄 수 있는 기능성 대체 감미료에 대한 다양한 연구의 필요성이 요구되고 있다.

그러므로 본 연구는 자일로바이오스의 함유 비율을 달리한 설탕 섭취가 혈당 변화 및 GI에 미치는 영향의 분석을 통해 자일로바이오스 함유 설탕이 기능성 감미료로서의 활용성 규명과 GI 저감 개선에 필요한 자일로바이오스 함유 설탕의 적정 수준을 파악하고자 하였다.

연구방법

재료 및 시약

본 연구에 사용된 시료는 포도당 (Daesang, Korea), 설탕 (TS Corporation, Korea), 자일로올리고당 (Shandong Longlive Bio-Technology Co., Ltd, China)에서 정제한 순도 98% 이상의 자일로바이오스를 사용하였다. 본 연구에 사용된 시료는 자일로바이오스 7% 함유 설탕 (XB 7), 자일로바이오스 10% 함유 설탕 (XB 10), 자일로바이오스 14% 함유 설탕 (XB 14) 이었다. 자일로바이오스의 1일 유효섭취량에 관한 근거 자료는 존재하지 않으나, 선행 연구에서 자일로올리고당의 1일 유효 섭취량의 범위를 0.7~7.5

g/day로 선정하고 있다.⁷ 본 연구에서는 자일로올리고당의 유효 섭취량을 기준으로 하여 성인이 설당을 평균 50 g/day 섭취하는 것으로 간주하였을 때 자일로바이오스의 최대 함유 비율은 15%가 된다. 따라서 설당에 자일로바이오스의 유효한 함유 비율을 확인하기 위해 7%, 10%, 14%로 조정하여 유효한 섭취 범위를 선정하고자 하였다. 순수한 설당의 GI는 선행연구^{26,27}에서 제시되고 있으므로 본 연구에서는 순수한 설당의 GI는 측정하지 않았다. GI 측정을 위한 혈당측정기와 혈당측정시험지는 Lifescan (Lifescan, Inc., Milpitas, CA, USA) 제품을 사용하였다.

피험자 선정

본 연구는 국제 임상시험기준에 준하여 임상시험 실시 기관인 국민대학교 IRB 심의절차를 거쳐 승인을 받은 후, 국민대학교 게시판의 모집 공고를 보고 참여의사를 밝힌 사람을 대상으로 면담을 통해 동의를 얻은 후 수행하였다 (kmu-201601-hr-096).

피험자는 만 19~29세의 건강한 성인 남녀로 혈액 화학적 검사인 aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT), 총콜레스테롤, 혈당과 Inbody 측정기 (Inbody 720, BioSPACE Co., Korea)를 통해 체중과 체지방을 측정 후 정상치 내에 포함된 사람 중에서 혈압, BMI 및 연구 참여자 본인과 직계 부모, 조부모의 각종 병력 (당뇨, 심혈관계 질환, 고혈압, 갑상선 질환 여부), 복용하는 약물, 여성 참여자의 경우 임신 또는 실험 기간 동안 임신가능성이 있는지의 여부 등의 제외 기준을 통과한 대상자 15명 (남 8명, 여 7명)을 확보하여 표준식품 (포도당)과 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14)을 섭취하도록 하였다 (Table 1).

본 연구에서는 Wolever 등²⁸과 Brouns 등²⁹이 GI를 측정하는 대부분의 실험에서 10명 이상의 피험자 수를 선정하면 적절한 검정력과 정확성을 가질 수 있다고 제시한 연구 결과를 바탕으로 탈락률을 고려하여 총 15명의 대상자를 선정하였고, 8주간의 임상시험 기간 동안 1명이 자진탈락하여 종료자는 총 14명이었다. 임상시험 종료 후 결과 분석의 신뢰도를 높이기 위해 시료별로 1차 혈당반응값 (IAUC)의 분포와 GI값의 분포를 적용하여 이상점 (outlier)에 해

당하는 3명을 제외하였다. 총 14명의 종료자 중 이상점에 해당하는 대상자 3명을 제외한 11명 (남 6명, 여 5명)을 최종 평가의 대상으로 선정하였다.

임상시험식품 섭취방법

본 연구는 무작위 배정, 공개, 2회 섭취시험으로 디자인 하였다. 시험기간 동안 혈당에 영향을 미치는 약물 및 건강기능성 식품을 섭취하지 않도록 교육하였다. 연구대상자는 포도당, XB 7 (자일로바이오스 7% 함유 설당), XB 10 (자일로바이오스 10% 함유 설당), XB 14 (자일로바이오스 14% 함유 설당)을 1주일에 한 가지씩 섭취하였으며, 2번 반복하여 총 8주간 실험에 참여하였다.

식품의 섭취 순서는 1군 [ABCD: 포도당 (A)-XB 7 (B)-XB 10 (C)-XB 14 (D)], 2군 [BCDA: XB 7 (B)-XB 10 (C)-XB 14 (D)-포도당 (A)], 3군 [CDAB: XB 10 (C)-XB 14 (D)-포도당 (A)-XB 7 (B)], 4군 [DABC: XB 14 (D)-포도당 (A)-XB 7 (B)-XB 10 (C)]으로 나누어 각 실험군에 대상자 배정을 무작위 배정 번호를 부여하여 실험군을 구성한 후 각 실험군의 연구대상자에게 배정된 식품섭취순서에 따라 실험시료를 섭취하도록 하였다. 연구시험식품의 섭취 용량은 GI 연구의 기본 항목인 유용성 탄수화물 50 g을 함유하도록 산정하여 정제수 250 mL에 녹여 섭취하도록 하였다.

GI 측정 실험

피험자 선정기준을 통과한 대상자는 14시간 이상 금식 및 금주, 보충제 복용 금지 상태로 임상시험에 참여하였으며, 혈당 측정치의 신뢰도를 높이기 위해 실험 전날 식사는 평소와 유사하도록 하였다. 시료 섭취 전 30분과 0분에 혈당을 측정하여 차이가 5 mg/dL 미만인 경우 실험을 실시하여 피험자의 시료 섭취 전 혈당안정도를 유지하도록 하였다. GI 측정을 위해 시료 섭취 직전에 측정된 혈당치를 baseline으로 하였고, 섭취 후 15, 30, 45, 60, 90, 120분에 혈당측정기로 동일 시간대에 2번 반복하여 혈당을 측정하였다.

혈당 측정은 채혈 침을 장착하여 손가락 끝에서 손가락을 주물러 혈액을 모은 뒤 소량 (2방울 정도)을 채혈하여 혈당 측정 시험지의 끝부분에 혈액을 떨어뜨려서 혈당을 2번 반복 측정하였다. 대상자들은 실험이 끝날 때까지 제한된 실험실 공간에서 안정된 상태를 유지하도록 하였으며, 독서 및 음악 감상 등과 같은 가벼운 신체활동을 허용하였다.

GI의 계산

GI의 계산은 food and agriculture organization에서 권유

Table 1. Test food composition in the clinical trial

	Glucose	XB 7 ¹⁾	XB 10 ²⁾	XB 14 ³⁾
Glucose	100%	-	-	-
Sucrose	-	93%	90%	86%
Xylobiose	-	7%	10%	14%

1) XB 7: sucrose with 7% xylobiose 2) XB 10: sucrose with 10% xylobiose 3) XB 14: sucrose with 14% xylobiose

하는 방법인 incremental area under the curve (IAUC)를 사용하였다. IAUC는 baseline의 혈당수치를 기준으로 반응 곡선의 기준선 위 영역만을 이용하는 방법으로 GI의 표준편차 값이 가장 낮아서 높은 정확도를 가지고 있다.^{28,29} 임상시험식품에 사용한 표준식품 (포도당)과 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14) 섭취 후의 혈당 변화곡선에서 각각의 IAUC를 계산하여 비교하였다.²⁹

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

또한 15, 30, 45, 60, 90, 120분 간격으로 혈당반응곡선의 아래면적 (area under the curve, AUC)값³⁰을 구하여 시간 대별로 표준식품 (포도당)과 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14)의 차이를 비교하였다.

통계분석

모든 자료의 통계 처리는 SPSS 21 및 SAS 9.4를 이용하였다. IAUC와 AUC 계산은 SPSS 21을 활용하였고, 이외의 자료 분석은 SAS 9.4를 활용하였다. 실험 4군 간의 AUC와 혈당의 비교는 반복측정 분산분석 (repeated measures ANOVA) 후 사후 검정 (Duncan's 다중검정)을 실시하였다. 모든 자료의 유의성 검증은 유의수준 $\alpha = 0.05$ 을 기준으로 하였다.

결 과

일반사항 및 혈액검사 결과

임상시험 대상자들의 연령, 성별, 체질량지수 (body mass index, BMI)와 혈액검사를 통해 알아본 AST, ALT, 혈중 총콜레스테롤, 공복 시 혈당 수치를 Table 2에 제시하였다. 실험 대상자 중 남자의 평균연령은 22.3 ± 0.5 세 이었고, 여자의 평균연령은 22.0 ± 0.7 세 이었다. BMI는 남녀 각각 $22.2 \pm 2.2 \text{ kg/m}^2$, $20.4 \pm 0.5 \text{ kg/m}^2$ 이었고, 체지방비율은

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

Variables	Man (n=6)	Women (n=5)	Total (n=11)
Age (yr)	22.3±0.5 ¹⁾	22.0±0.7	22.2±0.6
BMI ²⁾ (kg/m ²)	22.2±2.2	20.4±0.5	21.4±1.8
Body fat percent (%)	14.9±3.2	27.4±2.4	20.6±7.1
AST ³⁾ (U/L)	22.5±5.6	22.2±5.7	22.4±5.3
ALT ⁴⁾ (U/L)	18.7±7.8	16.7±7.5	17.9±7.3
Total cholesterol (mg/dL)	169.7±16.3	179.4±17.0	174.2±16.5
Fasting blood glucose (mg/dL)	89.6±10.9	86.3±7.7	88.1±9.3

1) Mean ± SD 2) BMI: body mass index 3) AST: aspartate aminotransferase 4) ALT: alanine aminotransferase

남자 $14.9 \pm 3.2\%$, 여자 $27.4 \pm 2.4\%$ 로 대상자들 모두 정상 범위에 속하였다.

AST 수치는 남자 $22.5 \pm 5.6 \text{ U/L}$, 여자 $22.2 \pm 5.7 \text{ U/L}$ 로 정상 범위에 해당하였고, ALT 수치 또한 남자 $18.7 \pm 7.8 \text{ U/L}$, 여자 $16.7 \pm 7.5 \text{ U/L}$ 로 정상 범위에 속하였다. 혈중 총콜레스테롤은 남자 $169.7 \pm 16.3 \text{ mg/dL}$, 여자 $179.4 \pm 17.0 \text{ mg/dL}$ 로 나타났으며, 공복 시 혈당은 남자 $89.6 \pm 10.9 \text{ mg/dL}$, 여자 $86.3 \pm 7.7 \text{ mg/dL}$ 로 나타나 대상자 모두 정상 범위에 속하였다.

자일로바이오스 함유 설탕이 GI에 미치는 효과

임상시험 대상자들이 섭취한 XB 7, XB 10, XB 14의 IAUC를 통해 GI를 산출한 결과는 Table 3과 같다. XB 7의 GI는 57.0 ± 18.6 , XB 10의 GI는 53.6 ± 14.9 , XB 14의 GI는 49.7 ± 9.7 로 XB 7의 GI가 가장 높았고, XB 14의 GI가 가장 낮았으나 통계적으로 유의적인 차이는 아니었으며, 자일로바이오스 함량이 높을수록 GI는 감소하는 추이를 보였다.

자일로바이오스 함유 설탕이 혈당 반응에 미치는 영향

표준식품 (포도당) 및 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14)을 섭취한 후의 혈당 변화는 Table 4와 같다. Baseline의 혈당은 포도당 $88.5 \pm 5.4 \text{ mg/dL}$, XB 7 $90.0 \pm 3.4 \text{ mg/dL}$, XB 10 $88.9 \pm 5.1 \text{ mg/dL}$, XB 14 $89.0 \pm 4.2 \text{ mg/dL}$ 로 정상 혈당의 수준이었으며, 실험식품에 따른 차이는 없었다. 표준식품 (포도당)과 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14) 섭취 후 15분에서 혈당 상승은 포도당 $34.2 \pm 13.3 \text{ mg/dL}$, XB 7 $36.2 \pm 11.7 \text{ mg/dL}$, XB 10 $34.6 \pm 13.1 \text{ mg/dL}$, XB 14 $27.9 \pm 12.8 \text{ mg/dL}$ 로 XB 14가 가장 낮은 수준이었으나, 각 실험식품에 따른 유의적인 차이는 보이지 않았다. 표준식품과 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14) 섭취 후 30분에서 혈당이 가장 높았고, 섭취 후 30분과 45분에 혈당상승 값은 비교식품 3종 모두 표준식품보다 유의적으로 적었으며, XB 7, XB 10, XB 14 섭취군간에 차이는 없었다. 섭취 후 60분 경과 후에는 포도당 > XB 14 > XB 7 > XB 10 순으로 낮아졌고, 여전히 포도당 섭취가 가장 높은 혈당 상승값을 보여, 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14)에 비해 유의적으로 높은

Table 3. Glycemic indices of XB 7, XB 10 and XB 14 (n = 11)

Variables	XB 7 ³⁾	XB 10 ⁴⁾	XB 14 ⁵⁾
GI	57.0 ± 18.6 ^{1)NS}	53.6 ± 14.9	49.7 ± 9.7
CV ²⁾	32.6	27.8	19.6

1) Mean ± SD 2) CV: coefficient of variation 3) XB 7: sucrose with 7% xylobiose 4) XB 10: sucrose with 10% xylobiose 5) XB 14: sucrose with 14% xylobiose NS, Not significant at $\alpha = 0.05$

수준이었다. 섭취 90분 경과 후에도 포도당의 혈당 상승값이 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14)에 비해 유의적으로 높았으며, XB 7, XB 14의 혈당 상승값은 각각 -2.1 ± 8.0 mg/dL, -3.4 ± 5.6 mg/dL로 음의 값을 보였다. 섭취 120분 경과 후 모든 실험군에서 baseline 아래로 혈당값이 떨어졌으며, XB 14가 -6.6 ± 3.5 mg/dL로 가장 낮았다.

혈당 상승의 값을 기준으로 하여 섭취 후 최대 혈당상승값 (maximal postprandial glucose rise, Cmax)은 포도당 55.3 ± 6.2 mg/dL, XB 7 43.9 ± 8.9 mg/dL, XB 10 42.3 ± 15.4 mg/dL, XB 14 40.0 ± 7.0 mg/dL로 XB 7, XB 10, XB 14의 Cmax는 포도당의 Cmax에 비해 유의적으로 낮았다. XB 7, XB 10, XB 14 사이에서 Cmax 값에는 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 자일로바이오스 함량이 높을수록 Cmax 값이 낮아지는 경향을 보이고 있어 설탕 내 자일로바이오스의 함량이 높을수록 급격한 혈당의 상승을 억제하는 효과가 있는 것으로 사료된다.

표준식품과 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14) 섭취 후 15, 30, 45, 60, 90, 120분 경과 시 혈당반응곡선의 아래 면적

(area under the curve, AUC)값을 비교한 결과는 Table 5와 같다. AUC_{0-15} 분에서 XB 14가 209.5 ± 96.0 로 가장 낮은 값을 보였으나 통계적으로 유의적인 차이는 아니었다. AUC_{15-30} 분에도 XB 14가 487.8 ± 130.5 로 포도당 662.9 ± 131.8 에 비해 유의적으로 낮은 수준이었다. AUC_{30-45} 분에도 XB 14가 가장 낮은 AUC 값을 보여 포도당에 비해 유의적으로 낮은 수준이었으나, XB 7, XB 10과는 유의적인 차이를 보이지 않았다. AUC_{45-60} 분에는 XB 7이, AUC_{60-90} 분과 AUC_{90-120} 분에는 XB 10이 가장 낮은 AUC 값을 보였으나, XB 7, XB 10, XB 14와는 유의적인 차이를 보이지 않았고, 포도당의 AUC 값에 비해 유의적으로 낮았다.

혈당 측정 시간대별 AUC 값을 누적한 결과 AUC_{0-60} 분, AUC_{0-90} 분, AUC_{0-120} 분에서의 AUC 값은 포도당 > XB 7 > XB 10 > XB 14의 순으로 XB 14의 AUC 값이 가장 낮았고, 포도당이 가장 높은 값을 보여 두 시료 사이에 유의적인 차이를 보였다 (Table 5). 표준식품과 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14)의 AUC값을 분석한 결과 포도당에 비해 자일로바이오스 함유 설탕의 혈당 반응이 낮은 추이를 보였

Table 4. The changes in blood glucose variables of the test food (n = 11)

Variables	Glucose	XB 7 ²⁾	XB 10 ³⁾	XB 14 ⁴⁾
Baseline glucose (mg/dL)	88.5 ± 5.4^{NS}	90.0 ± 3.4	88.9 ± 5.1	89.0 ± 4.2
Mean changes in blood(mg/dL)				
at 15 min	$34.2 \pm 13.3^{1)NS}$	36.2 ± 11.7	34.6 ± 13.1	27.9 ± 12.8
at 30 min	54.2 ± 7.2^a	39.9 ± 9.9^b	39.3 ± 14.5^b	37.1 ± 8.4^b
at 45 min	39.7 ± 12.9^a	20.9 ± 9.8^b	19.8 ± 16.4^b	21.0 ± 10.5^b
at 60 min	27.0 ± 12.8^a	3.3 ± 7.0^b	2.1 ± 6.6^b	5.0 ± 9.8^b
at 90 min	14.9 ± 9.1^a	-2.1 ± 8.0^b	1.6 ± 8.4^b	-3.4 ± 5.6^b
at 120 min	-1.3 ± 18.2	-5.6 ± 7.1	-5.0 ± 5.1	-6.6 ± 3.5
Cmax (maximal postprandial glucose rise)	55.3 ± 6.2^a	43.9 ± 8.9^b	42.3 ± 15.4^b	40.0 ± 7.0^b

1) Mean \pm SD 2) XB 7: sucrose with 7% xylobiose 3) XB 10: sucrose with 10% xylobiose 4) XB 14: sucrose with 14% xylobiose

NS: Not significant at $\alpha = 0.05$

a b: Values not sharing the same superscript letter are significantly different by Repeated Measures ANOVA test followed by Duncan test.

Table 5. Area under the curve (AUC) values in subjects after ingestion of Glucose, XB 7, XB 10 and XB 14 in each group of the test food (Unit : mg/dL/h)

Variables	Glucose	XB 7 ²⁾	XB 10 ³⁾	XB 14 ⁴⁾
AUC_{0-15} min	$256.4 \pm 99.4^{1)NS}$	271.7 ± 88.0	259.6 ± 98.5	209.5 ± 96.0
AUC_{15-30} min	662.9 ± 131.8^a	571.2 ± 126.0^{ab}	554.7 ± 172.1^{ab}	487.8 ± 130.5^b
AUC_{30-45} min	704.2 ± 111.6^a	456.3 ± 116.6^b	444.0 ± 205.0^b	435.8 ± 101.1^b
AUC_{45-60} min	500.1 ± 180.0^a	194.7 ± 91.4^b	211.1 ± 82.3^b	211.1 ± 114.9^b
AUC_{60-90} min	628.6 ± 296.0^a	156.0 ± 94.0^b	142.3 ± 79.6^b	171.4 ± 67.1^b
AUC_{90-120} min	372.6 ± 242.1^a	186.6 ± 135.7^b	163.7 ± 71.2^b	166.0 ± 102.3^b
AUC_{0-30} min	919.3 ± 227.1^a	842.9 ± 204.2^{ab}	814.3 ± 258.6^{ab}	697.3 ± 220.4^b
AUC_{0-60} min	$2,123.5 \pm 235.9^a$	$1,493.9 \pm 312.1^b$	$1,469.3 \pm 453.1^b$	$1,344.2 \pm 225.4^b$
AUC_{0-90} min	$2,752.2 \pm 416.8^a$	$1,649.9 \pm 287.9^b$	$1,611.6 \pm 478.0^b$	$1,515.5 \pm 239.1^b$
AUC_{0-120} min	$3,124.7 \pm 567.6^a$	$1,836.6 \pm 280.8^b$	$1,775.3 \pm 505.5^b$	$1,681.6 \pm 290.8^b$

1) Mean \pm SD 2) XB 7: sucrose with 7% xylobiose 3) XB 10: sucrose with 10% xylobiose 4) XB 14: sucrose with 14% xylobiose

NS: Not significant at $\alpha = 0.05$

a b: Values not sharing the same superscript letter are significantly different by Repeated Measures ANOVA test followed by Duncan test.

고, 자일로바이오스 함량이 높을수록 혈당의 급격한 상승을 억제하는 효과가 더 큰 것으로 사료된다.

고 찰

본 연구는 자일로바이오스 함유 비율이 다른 설탕이 혈당지수 (glycemic index)의 저감 효과를 나타낼 수 있는 자일로바이오스 함유 설탕의 적정 수준을 파악하기 위해 만 19~29세 건강한 성인남녀를 대상으로 임상실험을 수행하였다. 본 연구 결과 실험 대상자들의 GI 수치는 XB 7 57.0, XB 10 53.6, XB 14 49.7로 나타나, 설탕 내 자일로바이오스 함량이 높을수록 GI가 낮아졌으나 통계적으로 유의적인 차이는 아니었다. 선행연구^{26,27}에서 순수한 설탕의 GI를 68로 보고하고 있는데, 본 연구의 XB 7, XB 10, XB 14의 GI 수치는 57 이하의 값을 보여 설탕의 GI 보다 낮은 수준이었다. 일반적으로 GI가 70 이상이면 고 (high) GI로, 56~69이면 중 (medium) GI로, 55 이하이면 저 (low) GI로 분류한다. 분류 기준에 의하면 순수한 설탕은 68로 중GI에 해당하며, 본 연구에서 XB 7은 설탕과 같은 중GI로 분류할 수 있으나, XB 7의 GI는 57로 설탕보다 낮은 뿐만 아니라, 중GI에 해당하는 식품 중 낮은 수준의 GI를 지닌 식품으로 분류할 수 있을 것이다. XB 10, XB 14는 각각 55 미만의 수치를 보여 저GI에 해당하는 식품이었다. 건강한 사람과 당뇨병환자에서 혈당 반응을 감소시키는 것은 건강에 유익하다. 자일로올리고당이 당뇨 쥐에서 혈당을 개선하는 효과는 주로 자일로바이오스 때문인 것으로 보고하였는데,^{31,32} 자일로바이오스가 6% 함유된 식이를 5주간 섭취시킬 경우 혈당, 콜레스테롤 및 중성지방을 낮추는 효과가 있는 것으로 나타났다.

D-자일로오스를 함유한 설탕의 GI 수치를 분석한 Moon 등의 연구¹⁸에서 D-자일로오스 5% 또는 10% 첨가 설탕은 저GI 식품으로 분류되었으며, 본 연구의 XB 10, XB 14가 이와 유사한 혈당 저감 효과가 있었다. 선행연구에서 14%, 20% 분말 자일로올리고당을 첨가한 설탕의 경우 GI 수치가 저GI에 해당하였는데,²⁷ 본 연구에서 자일로바이오스 10% 이상일 경우 저GI에 해당하는 것으로 분석되었다. 이 선행연구에서 사용된 자일로올리고당 함유 설탕은 난소화성 말토덱스트린이 5~7% 첨가되어 난소화성 말토덱스트린에 의한 혈당 상승을 억제하는 효과도 있었을 것으로 사료되나 본 연구에서는 자일로바이오스에 의한 효과였음을 고려할 때 D-자일로오스, X2~X7이 혼합된 자일로올리고당 함유 설탕에 비해 자일로바이오스 함유 설탕의 혈당 상승 억제가 더욱 효과적임을 알 수 있었다.

표준식품 (포도당)과 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14) 섭

취 후 시간대별 혈당 변화를 보면 시료 섭취 30분에 표준식품인 포도당이 54.2 mg/dL였고, 비교식품 3종은 40 mg/dL 이하의 변화를 보여 섭취 직후 혈당 상승이 억제되었다. 표준식품 (포도당)에 비해 XB 7은 26%, XB 10은 27%, XB 14는 31% 정도 낮아 자일로바이오스 함유 설탕 섭취 시 혈당의 급격한 상승을 억제하는 효과가 있었다. 그러나 자일로바이오스 함량의 차이에 따른 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14)간에는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 표준식품 (포도당)과 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14) 섭취 후 45분 이후부터 상승한 혈당이 낮아지는 추이를 보였는데, 45분과 60분대 모두 표준식품인 포도당보다 자일로바이오스 함유 설탕인 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14)이 유의적으로 더 낮았다. 가장 높은 혈당을 보인 30분대에 비해 60분대 혈당의 감소율을 보면 포도당은 50%, XB 7은 92%, XB 10은 94%, XB 14는 86%로 나타나 포도당의 경우 60분대 상승 혈당의 50% 정도 감소한 반면 자일로바이오스 함유 설탕을 섭취한 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14)군은 85% 이상의 감소를 보여 정상 혈당에 준하는 수준이었다. 포도당의 경우 120분대에 시료 섭취 전의 수준으로 회복되었으나, 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14)군은 90분대에 시료 섭취 전 수준이거나 그 이하로 떨어져 포도당에 비해 혈당 감소 속도가 빨라 혈당이 정상수준으로 회복되는데 걸리는 시간 역시 짧아지는 것으로 나타났다. 건강한 성인을 대상으로 설탕 50 g에 D-자일로오스를 5 g, 7.5 g 섭취한 후 혈당 변화를 본 선행연구¹⁶에서 설탕에 비해 D-자일로오스를 첨가한 설탕 섭취 시 섭취 15, 30, 45분대의 혈당이 유의적으로 낮았고, 60분대에는 설탕과 D-자일로오스 첨가량이 다른 설탕의 혈당 차이는 존재하지 않았다. 본 연구에서는 설탕 대신 표준식품으로 포도당을 이용하여 비교하였으나, 선행연구와 마찬가지로 자일로바이오스 섭취 시 15분대에는 표준식품 (포도당)과 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14) 사이에 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 30, 45분대에는 선행연구와 유사하게 표준식품 (포도당) 섭취 시보다 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14)에서 혈당이 유의적으로 낮았다. 본 연구와 유사하게 D-자일로오스를 5% 또는 10% 함유한 설탕을 섭취한 후의 혈당 변화를 본 Moon 등의 연구¹⁸에서도 모든 시간대에서 포도당보다 5% 또는 10% D-자일로오스 함유 설탕의 혈당 변화가 유의적으로 낮았고, D-자일로오스 함유 비율에 따른 차이는 보이지 않았다. 자일로올리고당을 함유한 설탕을 섭취한 후의 혈당 변화를 본 선행연구^{15,27}에서도 포도당에 비해 분말 자일로올리고당을 14~20% 함유한 설탕이 혈당의 변화가 유의적으로 낮은 것으로 보고한 반면, 자일로올리고당의 함유 비율에 따른 혈당 변화에는 유의적인 차이를 보이지 않아 본

연구 결과와 유사하였다. 또한 혈당 변화의 Cmax 값을 보면 표준식품 (포도당)이 55.3 mg/dL로 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14)에 비해 유의적으로 높은 수준이었으며, XB 14가 40.0 mg/dL로 가장 낮은 값을 보여 자일로바이오스 함량이 증가할수록 섭취 후 최대 혈당상승값이 낮아졌다. 분말 자일로올리고당을 14%, 20% 함유한 설탕 섭취 후의 혈당 변화를 본 선행연구²⁷에서 혈당 변화의 Cmax 값은 표준식품 63.7 mg/dL, 14% 자일로올리고당 함유 설탕 46.3 mg/dL, 20% 자일로올리고당 함유 설탕 46.1 mg/dL로 표준식품에 비해 비교식품에서 유의적으로 낮은 Cmax 값을 보였고, 자일로올리고당의 함유 비율에 따른 차이를 보이지 않았다.

표준식품과 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14)의 혈당 변화에 따른 AUC를 보면 0~15분을 제외한 시간대별 AUC는 표준식품 (포도당)에 비해 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14)의 AUC가 유의적으로 낮았으며, 0~120분까지의 AUC 역시 포도당에 비해 XB 7은 41.2%, XB 10은 43.2%, XB 14는 46.2%로 유의적으로 적은 면적 값을 보였다. 자일로올리고당이나 D-자일로오스 섭취 후의 혈당 변화를 측정 한 선행연구^{15,16}에서도 표준식품에 비해 비교식품 섭취 시 0~120분대 AUC가 21~48% 정도 낮은 것으로 보고하고 있어 본 연구결과와 유사한 결과를 보였다. 그러나 본 연구결과와 마찬가지로 선행연구에서도 비교식품의 농도 차이에 따른 AUC에는 차이를 보이지 않았다.

단당류인 D-자일로오스는 설탕과 함께 섭취할 경우 혈당상승 억제효과가 나타나지만, Imaizumi 등의 연구결과³²에서와 같이 소장에서 촉진 확산에 의해 흡수되기 때문에 지속적인 혈당저감 효과를 유지하기 어려울 것으로 사료된다. 반면, Okazaki 등¹²은 자일바이오스가 침샘, 췌장, 위액, 소장소화효소에 의해 가수분해 되지 않으며, 경구 섭취 후 24시간 이내에 자일로바이오스는 대변과 소변으로 배설되지 않는다고 보고하여, 자일로바이오스는 장내 머무르는 시간이 길어 혈당 저감효과를 유지할 수 있을 것으로 판단된다. Frost 등³³은 장내에서 프로피온산 또는 단쇄지방산의 생성은 glucagon-like peptide 1 (GLP1)의 생성을 촉진하고 GLP1은 인슐린 합성을 촉진하며, Delzenne 등³⁴은 장내 단쇄지방산으로 인한 GLP1 생성이 간에서 glycogen 생성을 촉진시킨다고 보고하였다. 자일로바이오스는 D-자일로오스나 다른 올리고당에 비해 소장 내에서 흡수되지 않고, 대장에서 비피도박테리아가 자일로바이오스를 선택적으로 이용하여 프로피온산 또는 단쇄지방산을 생산하여 당 대사에 영향을 주었을 것으로 생각된다.

GI가 70 이상인 고GI 식품 섭취는 혈당을 빠르게 상승시

켜 인슐린 분비가 촉진되고, 결과적으로 체지방 축적이 증가하여 비만의 위험이 크다고 보고하고 있으며, 식이 중 GI 증가는 당뇨병 발생의 위험이 증가한다고 하였다.^{25,35} 특히 Hodge 등²⁵은 GI가 10 unit 증가 시 Type 2 당뇨병 발생의 위험이 1.32 (95% CI : 1.05~1.66)로 증가한다고 보고하고 있다. 또한 일본에서 진행된 Cohort 연구³⁶에서도 고GI 식품 섭취 여성들의 경우 뇌졸중으로 인한 사망률의 위험이 증가하는 것으로 보고하였다. 따라서 GI가 높은 식품의 섭취에 따른 당뇨병, 비만 등의 발병을 예방하기 위하여 GI를 낮추기 위한 연구가 진행되고 있으며, 그 중 GI가 68인 설탕의 GI를 저감하기 위한 연구들이 보고되고 있다. 중GI 식품인 설탕에 D-자일로오스를 5% 함유하거나 분말 자일로올리고당을 14% 또는 20% 함유할 경우 혈당의 상승을 저감화하는 효과뿐만 아니라 설탕의 GI를 낮추는 것으로 나타났다.^{18,27,37} 본 연구에서 설탕에 자일로바이오스를 10%, 14% 첨가한 XB 10과 XB 14가 저GI 식품으로 분류되었다. Kim 등¹⁹이 당뇨 유발 마우스를 대상으로 자일로바이오스 5% 함유 설탕 섭취 시에도 혈당, 혈중 인슐린 농도뿐만 아니라 당화혈색소의 농도 역시 감소하는 것으로 보고하고 있다. 그러므로 본 연구에 활용한 XB 10과 XB 14는 선행연구와 같이 당뇨뿐만 아니라 비만 및 심혈관계 질환을 예방하는 효과가 있을 것으로 사료된다. 뿐만 아니라 동물실험에서 자일로바이오스 섭취 시 혈중 지질 수준의 개선 이외 TNF- α , IL-1 β 등의 염증성 매개물질의 발현을 억제하는 효과가 있는 것으로 보고하고 있다.¹⁹

XB 7은 설탕과 같은 중GI에 해당하였으나, XB 10, XB 14는 저GI에 해당하였고, Cmax뿐만 아니라 시간대별 AUC 역시 XB 14가 가장 낮은 값을 보였다. 그러나 XB 10과 XB 14 모두 저GI 식품에 해당하였으므로 비용적인 측면을 생각한다면 설탕에 자일로바이오스 14% 첨가보다는 자일로바이오스 10% 첨가가 더 적절한 것으로 보인다.

설탕은 중GI 식품으로 과다 섭취 시 건강에 부정적인 영향을 미칠 수 있으므로 적절한 수준의 섭취를 권장하고 있다. 설탕에 자일로바이오스 10% 첨가만으로도 저GI 식품으로 분류될 수 있으므로 당뇨 및 비만 예방, 저GI 식이가 요구되는 사람에게 활용이 가능할 것이다. 그러므로 자일로바이오스와 같은 GI 저감 효과가 있는 성분을 첨가한 기능성 설탕의 개발을 고려할 필요가 있다.

요 약

본 연구는 8주 동안 건강한 성인 남녀 11명을 대상으로 자일로바이오스 함유 비율이 다른 설탕 3종의 혈당 반응 및 GI 분석을 통해 혈당 저감 효과를 확인하였다. XB 7 (자

일로바이오스 7% 함유 설탕), XB 10 (자일로바이오스 10% 함유 설탕), XB 14 (자일로바이오스 14% 함유 설탕)은 표준식품 (포도당)에 비해 섭취 후 최대 혈당 상승값이 유의적으로 낮았다. XB 7, XB 10 및 XB 14의 GI는 각각 57.0, 53.6, 49.7로 나타나 XB 7은 중GI 식품으로, XB 10, XB 14는 저GI 식품으로 분류되었고, 순수한 설탕의 GI 68에 비해 낮았다. AUC는 30~90분 사이에서 표준식품 (포도당)에 비해 비교식품 (XB 7, XB 10, XB 14)에서 유의적으로 낮았다. 따라서 자일로바이오스를 함유한 설탕은 혈당 상승을 억제하는 효과가 있는 것으로 나타나고 있으며, 자일로바이오스 7% 함유보다는 자일로바이오스 10% 이상 함유 시 기능성 설탕으로의 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

References

1. Ministry of Health and Welfare (KR). Adequate intake of sugars per day. Sejong: Ministry of Health and Welfare; 2015.
2. Latulippe ME, Skoog SM. Fructose malabsorption and intolerance: effects of fructose with and without simultaneous glucose ingestion. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2011; 51(7): 583-592.
3. Ministry of Food and Drug Safety (KR). The first comprehensive plan for the sugar reduction ('16 - '20). Osong: Ministry of Food and Drug Safety; 2016.
4. Choi EH, Kim HY, Kim YH, Kim WK, Oh SJ, Kim SH. Effects of selected oligosaccharides on fecal microflora and lipid constitution in rats. *Korean J Nutr* 1999; 32(3): 221-229.
5. Hidaka H, Eida T, Takizawa T, Tokunaga T, Tashiro Y. Effects of fructooligosaccharides on intestinal flora and human health. *Bifidobact Microflora* 1986; 5(1): 37-50.
6. Fujikawa S, Okazaki M, Matsumoto N, Koga K. Properties and production of xylooligosaccharide. *J Jpn Soc Starch Sci* 1990; 37(2): 69-77.
7. Lee OS, Rhee IK. The production of xylooligosaccharides with microbial xylanase. *Food Ind Nutr* 2001; 6(1): 21-24.
8. Chapla D, Pandit P, Shah A. Production of xylooligosaccharides from corn cob xylan by fungal xylanase and their utilization by probiotics. *Bioresour Technol* 2012; 115: 215-221.
9. Okazaki M, Fujikawa S, Matsumoto N. Effect of xylooligosaccharide on the growth of bifidobacteria. *Bifidobact Microflora* 1990; 9(2): 77-86.
10. Zhan FX, Wang QH, Jiang SJ, Zhou YL, Zhang GM, Ma YH. Developing a xylanase XYNZG from *Plectosphaerella cucumerina* for baking by heterologously expressed in *Kluyveromyces lactis*. *BMC Biotechnol* 2014; 14(1): 107.
11. Degnan BA, Macfarlane GT. Comparison of carbohydrate substrate preferences in eight species of bifidobacteria. *FEMS Microbiol Lett* 1991; 68(2): 151-156.
12. Okazaki M, Koda H, Izumi R, Fujikawa S, Matsumoto N. In vitro digestibility and in vivo utilization of xylobiose. *J Jpn Soc Nutr Food Sci* 1991; 44(1): 41-44.
13. Guerfali M, Gargouri A, Belghith H. *Talaromyces thermophilus* beta-D-xylosidase: purification, characterization and xylobiose synthesis. *Appl Biochem Biotechnol* 2008; 150(3): 267-279.
14. Rizzatti AC, Jorge JA, Terenzi HF, Rechia CG, Polizeli ML. Purification and properties of a thermostable extracellular beta-D-xylosidase produced by a thermotolerant *Aspergillus phoenicis*. *J Ind Microbiol Biotechnol* 2001; 26(3): 156-160.
15. Kyung M, Choe H, Jung S, Lee K, Jo S, Seo S, Choe K, Yang CK, Yoo SH, Kim Y. Effects of xylooligosaccharide-sugar mixture on glycemic index (GI) and blood glucose response in healthy adults. *J Nutr Health* 2014; 47(4): 229-235.
16. 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.
17. Seri K, Sanai K, Matsuo N, Kawakubo K, Xue C, Inoue S. L-arabinose selectively inhibits intestinal sucrose in an uncompetitive manner and suppresses glycemic response after sucrose ingestion in animals. *Metabolism* 1996; 45(11): 1368-1374.
18. 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.
19. Kim E, Lim E, Jung S, Yoo SH, Kim Y. Xylobiose ameliorates hyperglycemia and dyslipidemia via regulating hepatic lipogenic genes in db/db mice. *FASEB J* 2016; 30(1 Suppl): 692.10.
20. Meyer KA, Kushi LH, Jacobs DR Jr, Slavin J, Sellers TA, Folsom AR. Carbohydrates, dietary fiber, and incident type 2 diabetes in older women. *Am J Clin Nutr* 2000; 71(4): 921-930.
21. Montonen J, Knekt P, Järvinen R, Aromaa A, Reunanen A. Whole-grain and fiber intake and the incidence of type 2 diabetes. *Am J Clin Nutr* 2003; 77(3): 622-629.
22. Riccardi G, Rivellese AA, Giacco R. Role of glycemic index and glycemic load in the healthy state, in prediabetes, and in diabetes. *Am J Clin Nutr* 2008; 87(1): 269S-274S.
23. Ludwig DS. Dietary glycemic index and obesity. *J Nutr* 2000; 130(2S Suppl): 280S-283S.
24. Brand-Miller JC, Holt SH, Pawlak DB, McMillan J. Glycemic index and obesity. *Am J Clin Nutr* 2002; 76(1): 281S-285S.
25. 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.
26. 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.
27. Nam H, Kyung M, Seo S, Jung S, Chang MJ. Effect of different levels of xylooligosaccharide in sugar on glycemic index and blood glucose response in healthy adults. *J Nutr Health* 2015; 48(5): 389-406.
28. 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.
29. 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.
30. Raz I, Weiss R, Yegorchikov Y, Bitton G, Nagar R, Pesach B. Effect of a local heating device on insulin and glucose pharmacoki-

- netic profiles in an open-label, randomized, two-period, one-way crossover study in patients with type 1 diabetes using continuous subcutaneous insulin infusion. *Clin Ther* 2009; 31(5): 980-987.
31. Crane RK, Forstner G, Eichholz A. Studies on the mechanism of the intestinal absorption of sugars. X. An effect of Na⁺ concentration on the apparent Michaelis constants for intestinal sugar transport, in vitro. *Biochim Biophys Acta* 1965; 109(2): 467-477.
 32. 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.
 33. Frost GS, Brynes AE, Dhillo WS, Bloom SR, McBurney MI. The effects of fiber enrichment of pasta and fat content on gastric emptying, GLP-1, glucose, and insulin responses to a meal. *Eur J Clin Nutr* 2003; 57(2): 293-298.
 34. Delzenne NM, Cani PD, Neyrinck AM. Modulation of glucagon-like peptide 1 and energy metabolism by inulin and oligofructose: experimental data. *J Nutr* 2007; 137(11 Suppl): 2547S-2551S.
 35. Barclay AW, Petocz P, McMillan-Price J, Flood VM, Prvan T, Mitchell P, Brand-Miller JC. Glycemic index, glycemic load, and chronic disease risk--a meta-analysis of observational studies. *Am J Clin Nutr* 2008; 87(3): 627-637.
 36. 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.
 37. 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.