

## 자일로올리고당 함유비율이 다른 설탕이 건강한 성인의 혈당지수와 혈당반응에 미치는 영향\*

남혜경<sup>1</sup> · 경명옥<sup>2</sup> · 서승우<sup>2</sup> · 정상원<sup>2</sup> · 장문정<sup>1†</sup>  
국민대학교 식품영양학과,<sup>1</sup> 대한제당(주) 중앙연구소<sup>2</sup>

## Effect of different levels of xylooligosaccharide in sugar on glycemic index and blood glucose response in healthy adults\*

Nam, Hyekyoung<sup>1</sup> · Kyung, Myungok<sup>2</sup> · Seo, Sheungwoo<sup>2</sup> · Jung, Sangwon<sup>2</sup> · Chang, Moon-Jeong<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Department of Food & Nutrition, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

<sup>2</sup>R&D Center, TS Corporation, Incheon 22300, Korea

### ABSTRACT

**Purpose:** In the present study, we aimed to evaluate the effect of sucrose containing 2 different levels of xylooligosaccharide on the glycemic index (GI) and blood glucose response in healthy adults. **Methods:** Healthy adults (4 male participants and 6 female participants, n = 10) were randomized to receive glucose, sucrose, sucrose containing 7% xylooligosaccharide active elements (Xylo 7), or sucrose containing 10% xylooligosaccharide active elements (Xylo 10). Each participant was administered one of these materials once a week for 8 weeks and an oral glucose tolerance test was performed. **Results:** We found a reduction in the glycemic response to sucrose that included xylooligosaccharide active elements (Xylo 7 and Xylo 10). The glycemic indices of sucrose, Xylo 7 and Xylo 10 were 68.9, 54.7, and 52.5, respectively. The GI values of Xylo 7 and Xylo 10 were similar to that of foods with low GI. The percentage reduction of GI value caused by sucrose containing xylooligosaccharide active elements was significantly different and dose-dependent as compared to that caused by sucrose alone ( $p < 0.05$ ). The reduction in the glycemic response to Xylo 7 and Xylo 10 was 21% and 24%, respectively, as compared to the glycemic response to sucrose. The attenuation of the glycemic response to Xylo 10 tended to be higher than that for Xylo 7 when the percentage of body fat was increased. **Conclusion:** These results demonstrated that xylooligosaccharide active elements may be effective in protecting humans against overconsumption of sucrose.

**KEY WORDS:** xylooligosaccharide active element, blood glucose, glycemic index, healthy adults.

## 서 론

감미료는 소득증가, 가공식품의 발달로 인해 소비가 증가되고 있는 식품이며, 그 중 설탕과 고과당 시럽이 주로 소비되고 있다.<sup>1</sup> 설탕은 전 세계적으로 오랜 기간 널리 사용한 천연 감미료로 다양한 식품에 단맛을 제공할 뿐만 아니라 감미질과 감미도가 우수하여 감미료 평가의 지표로 사용된다. 우리나라의 국민 1인당 1년간 설탕류 공급량은 연간 14.0 kg으로 1일 61.85 g이었으며 1인 1일당 에너지 공급량 중 237.5 kcal를 공급하여 총 에너지의 8.1%를 공

급하였고, 이중 가공식품으로부터의 총당류 에너지 섭취 비율은 7.1% 수준이었다.<sup>2,3</sup> 총당류 섭취 급원은 가공식품이 56.8%를 차지하였는데 주로 탄산음료, 과일음료, 에너지와 비타민음료, 커피믹스 등 설탕 함유 음료의 형태로 섭취가 이루어지고 있다.<sup>4</sup> 최근에는 단당류인 포도당과 과당의 액상혼합물인 액상과당이 주로 가공식품, 시리얼, 음료수, 제과제빵에 쓰이고 있으며, 1980년대 이후부터 스프나 과일통조림, 시리얼, 요거트, 젤리, 조미료, 사탕, 그리고 패스트푸드 등 다양한 가공식품에 첨가되고 있다. 첨가당의 소비는 연령대와 상관없이 음료수를 통해 가장 많이 섭취

Received: September 24, 2015 / Revised: October 7, 2015 / Accepted: October 12, 2015

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

†To whom correspondence should be addressed.

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

© 2015 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.

하는 것으로 나타났으며, 음료수에 가장 많이 첨가된 당은 액상과당이였다.<sup>5</sup>

현대인들은 경제적인 성장과 생활수준의 향상으로 식생활의 서구화되면서 가공식품의 섭취는 증가하는 반면, 신체 활동은 부족하여 당뇨, 고혈압, 고지혈증 등의 만성질환의 유병률이 증가하고 있으며 이러한 질환은 식생활 및 활동량 등 생활습관과 관련되어 있어 생활습관병으로 간주되고 있다.<sup>6</sup> 고지방식이나 당분의 과다섭취를 통한 열량의 과다섭취 등 식사 구성성분 등이 만성질환의 위험요인으로 제시되고 있다. 특히 최근에 식사 중 탄수화물 섭취 비율의 차이가 만성 질환 발병 위험도에 미치는 영향에 대한 연구들이 발표되었는데, 고탄수화물을 함유한 열량의 과다 섭취는 비만을 비롯한 대사증후군, 제 2형 당뇨의 위험도를 증가시킨다고 하였으며,<sup>7</sup> Yoo 등은 대사증후군을 갖고 있는 대상자가 정상군에 비해 탄수화물 섭취량이 유의적으로 높았다고 보고하고 있다.<sup>8</sup> 탄수화물 섭취량과 인슐린 저항성으로 인한 당뇨, 심혈관계 질환의 위험도는 명확하게 규명된 것은 없으나 미국 여성을 중심으로 수행한 대단위 전향적 연구에서 설탕과 탄수화물 섭취량은 당뇨 위험도와 관련이 없는 것으로 보고하였고, 동일한 연구대상에서 고혈당지수식품, 정제된 곡류의 섭취과다가 당뇨의 위험도와 관련있다고 보고되었다.<sup>9</sup> 반면 de Koning 등의 연구에서 남자의 경우 설탕함유 음료 섭취량과 제 2형 당뇨 위험도 증가와 관련성이 있다고 보고된 바 있다.<sup>10</sup> 설탕은 음식의 에너지 밀도를 높여 에너지 과다 섭취를 유발하여 비만의 위험도를 증가시킬 수 있을 가능성이 제시되고 있는 반면, 최근 미국의 NHANES (national health examination survey I, II, III)에서 설탕의 섭취량은 50% 감소한 반면 액상과당의 섭취량 증가추세와 비만의 유병률 증가와 유사한 경향이 있다고 보고하고 있다.<sup>11,12</sup>

가공식품에 사용되는 첨가당의 과잉섭취에 대한 우려가 제기되고 설탕의 사용 및 섭취를 줄이려는 경향과 함께 웰빙을 추구하는 현대사회에서 설탕이 갖는 부정적인 기능을 보완하기 위해 칼로리 저하, 충치예방, 저GI 감미료 등이 개발되어 사용되고 있다.<sup>13</sup> 기능성 올리고당은 난소화성 물질로 자일로올리고당, 프락토올리고당, 이소말토올리고당, 갈락토올리고당 등이 있으며, 이들 올리고당은 장내 소화효소에 의해 분해되지 않고 장내 미생물에 의해 발효되는 다당류로  $\beta$ -glycoside결합에 의해 포도당, 갈락토오스, 과당 같은 단당류가 2~9개 정도를 포함한 감미를 지닌 수용성 물질로 알려져 있다.<sup>14</sup> 자일로올리고당은 식물의 헤미셀룰로오스의 주요 구성성분인 xylan을 가수분해하는 과정에서 생성되는 올리고당으로 자일로오스 2~7개가  $\beta$ -1,4 결합으로 구성된 올리고당이다. 자일로올리고당

의 감미도는 설탕의 40%정도이며, 식품의 pH가 산성이거나 가열처리 공정 시에도 다른 올리고당 보다 분해되는 정도가 낮아서 내열성과 보존성이 우수하고, 비피도박테리아의 증식인자로 작용하는 유효첨가량이 1일 0.7 g의 소량으로 식품의 풍미에 큰 영향을 미치지 않고 기능성을 발휘할 수 있다고 보고되었다.<sup>15</sup> 자일로올리고당은 식사로 섭취하였을 때 소화되지 않는 식품성분으로 대장에서 여러 유익균의 성장과 활성을 선택적으로 자극하여 건강을 개선시키는 프리바이오틱의 효과를 갖는 것으로 보고되었고,<sup>16</sup> Hsu 등<sup>17</sup>은 자일로올리고당이 혈중 중성지방 농도를 감소시키고 장내 비피도박테리아 증식을 증가시켰다고 보고하였다. 최근 설탕에 D-자일로오스를 10% 이하로 첨가하여 섭취시 체내 수크라아제 활성을 억제하여 혈당의 상승을 감소시켰다는 연구가 보고되었고,<sup>18</sup> 자일로올리고당을 7% 함유한 설탕이 일반 설탕 비해 GI값을 낮추었다는 연구결과가 보고된 바 있다.<sup>19</sup>

혈당지수 (glycemic index, GI)는 식후 탄수화물의 흡수속도를 나타내기 위해 고안된 것으로 표준식품과 비교식품을 유용성 탄수화물 기준으로 동량의 탄수화물을 섭취하고, 혈당의 반응 정도를 수치화하여 탄수화물의 섭취 반응 정도를 나타내는 것으로 사용되고 있다.<sup>20</sup> GI값이 70 이상이면 고GI, 56~59이면 중GI, 55 이하면 저GI 식품으로 분류한다. 제 2형 당뇨 환자들이 GI가 낮은 식품을 섭취하였을 때 혈당과 관련된 지표들이 개선되고, 혈관합병증 등의 감소에 도움을 주는 것으로 보고되었다.<sup>21</sup> 또한 고GI 식품을 섭취하면 식욕이 촉진되고 인슐린 분비가 많아져 비만의 위험이 증가하고, 상대적으로 낮은 GI 식품을 섭취할 경우 혈당이 천천히 상승하여 인슐린 반응이 낮아져 비만이나 제 2형 당뇨와 같은 질환의 위험도를 줄여줄 수 있다고 보고된 바 있다.<sup>22</sup> 따라서 GI가 낮은 식품에 대한 관심이 증가하고 있고 설탕을 보다 건강하게 섭취할 수 있도록 도움을 주는 기능성 대체 감미료 올리고당에 대한 여러 측면의 연구도 진행 중이다.

따라서 본 연구는 자일로올리고당의 함유 비율을 달리 한 설탕의 섭취가 혈당변화 및 혈당지수에 미치는 영향을 분석하고, 혈당지수에 영향을 주는 자일로올리고당의 첨가 적정농도 및 혈당지수 관련 건강기능성을 평가할 목적으로 실시하였다.

## 연구방법

### 재료 및 시약

본 연구에 사용된 시료는 포도당 (무수결정포도당, Daesang, Korea), 백설탕 (TS Corporation, Korea)과 식품

공전에 올리고당으로 등재되어 있는 분말 자일로올리고당 (Samin Chemical, Korea)을 사용하였다. 분말 자일로올리고당의 유효 구성성분은 자일로펜타오스 (X5)-자일로헵타오스 (X7) 8%, 자일로테트라오스 (X8) 8%, 자일로트리오스 (X3) 14%, 자이로바이오스 (X2) 20%, 자일로오스 (X1) 11%, 난소화성 말토덱스트린 30% 였다. 연구에 사용된 시료는 자일로올리고당의 유효성분 7% 함유설탕 (Xylo 7), 자일로올리고당의 유효성분 10% 함유설탕 (Xylo 10) 이었다. 분말 자일로올리고당 유효성분을 함유한 설탕 및 설탕섭취군에 사용된 설탕은 food grade로 순도 99% 이상 제품이었다. GI 측정을 위한 혈당측정기와 혈당측정시험지는 Lifescan, Milpitas, CA, USA제품을 사용하였다.

### 피험자 선정

본 연구는 국제 임상시험기준에 준하여 임상시험 실시기관인 국민대학교 IRB 심의절차를 거쳐 승인을 받은 후, 국민대학교 게시판의 모집 공고를 보고 참여의사를 밝힌 사람을 대상으로 면담을 통해 동의를 얻은 후 수행하였다 (IRB No. KMU-201501-BR-046-R1-P1). 피험자는 만 19세~30세의 건강한 성인남녀로 혈액 화학적 검사인 aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT), 총콜레스테롤, 혈당과 Inbody 측정기 (Inbody 720, BioSPACE, Co, Korea)를 통해 체중과 체지방을 측정 한 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 실험기간 동안 임신가능성이 있는지의 여부 등의 제외기준을 통과한 대상자 15명 (남 7명, 여 8명)을 확보하여 표준식품과 비교식품을 섭취하도록 하였다. 본 연구에서는 Wolever 등<sup>23</sup>과 Brouns 등<sup>24</sup>의 연구에 의해 GI를 측정하는 대부분의 실험에서 10명 이상의 피험자 수를 선정하면 적절한 검정력과 정확성을 가질 수 있다고 제시한 연구결과를 바탕으로 탈락률 20%를 고려하여 총 15명의 대상자를 선정하였고, 8주간의 임상시험 종료자

는 총 13명이었다. 임상시험 종료 후 결과 분석의 신뢰도를 높이기 위해 설정된 기준에 따라  $GI \pm 2SD$ 를 벗어난 대상자 3명을 제외하여 최종평가 대상자의 수는 10명이었다

### 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, 백설탕, Xylo 7 (자일로올리고당 유효성분 X2~X7 7% 함유 설탕), Xylo 10 (자일로올리고당 유효성분 X2~X7 10% 함유 설탕) 을 1주일에 한 가지씩 섭취하였으며, 2번 반복하여 총 8주간 실험에 참여하였다. 식품의 섭취 순서는 1군 [ABCD: 포도당 (A)-백설탕 (B)-Xylo 7 (C)-Xylo 10 (D)], 2군 [BCDA: 백설탕 (B)-Xylo 7 (C)-Xylo 10 (D)-포도당 (A)], 3군 [CDAB: Xylo 7 (C)-Xylo 10 (D)-포도당 (A)-백설탕 (B)], 4군 [DABC: Xylo 10 (D)-포도당 (A)-백설탕 (B)-Xylo 7 (C)]으로 나누어 대상자 배정을 무작위 배정번호를 부여하여 연구대상자에게 섭취하도록 하였다. 연구시험식품의 섭취용량은 GI 연구의 기본 항목인 유용성 탄수화물 50 g을 기준으로 산정하여 정제수 250 mL에 녹여 섭취하도록 하였다. 연구시험을 위해 사용한 식품의 구성은 Table 1에 제시되었다.

### GI 측정 실험

피험자 선정기준을 통과한 15명의 대상자는 12시간 금식 및 금주, 보충제 복용금지 상태로 임상시험에 참여하였으며, 혈당 측정치의 신뢰도를 높이기 위해 실험 전날 식사를 평소와 동일하게 유지하도록 하였다. 시료섭취 전에 측정할 혈당치를 baseline으로 하였으며, 섭취 후 15, 30, 45, 60, 90, 120분에 혈당측정기를 사용하여 동일 시간대에 2번 반복 측정하였다. 혈당측정은 채혈침을 장착하여 손가락 끝에서 손가락을 주물러 혈액을 모은 뒤 소량 (1방울 정도)를 채혈하여 혈당 측정 시험지의 끝부분에 혈액을 떨어뜨려서 혈당을 측정하였다. 대상자들은 실험이 끝날 때까지

**Table 1.** Test food composition in the clinical trial

|  | Glucose | Sucrose | Xylo 7 <sup>1)</sup> | Xylo 10 <sup>2)</sup> |
|--|---------|---------|----------------------|-----------------------|
| Glucose (g)                                  | 50      | -       | -                    | -                     |
| Sucrose (g)                                  |         | 50      | 46.6                 | 44.3                  |
| Xylooligosaccharide powder <sup>3)</sup> (g) |         |         | 7.6                  | 11.1                  |
| Active elements X2~X7 (g)                    |         |         | 3.8                  | 5.5                   |
| Resistant Maltodextrin (g)                   |         |         | 2.3                  | 3.3                   |
| Others (g)                                   |         |         | 1.5                  | 2.3                   |
| Intake                                       | 50      | 50      | 54.2                 | 55.4                  |

1) Xylo 7: sucrose with 14% xylooligosaccharide powder (active element X2~X7 7%) 2) Xylo 10: sucrose with 20% xylooligosaccharide powder (active element X2~X7 10%) 3) Xylooligosaccharide powder: 50% active elements X2~X7 and 30% resistant maltodextrin

지 제한된 실험실 공간에서 안정된 상태를 유지하도록 하였으며, 독서 및 음악 감상 등과 같은 가벼운 신체활동을 허용하였다.

## GI의 계산

GI의 계산은 Food and Agriculture Organization에서 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 낮아서 높은 정확도를 가지고 있다. 임상시험식품에 사용한 표준식품 (포도당)과 비교식품 (백설탕, Xylo 7, Xylo 10) 섭취후의 혈당 변화곡선에서 각각의 IAUC를 계산하여 비교하였다.

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

## 통계분석

모든 자료의 통계처리는 SPSS ver 21을 이용하여 실시하였다. 실험 4군 간의 IAUC와 혈당의 비교는 반복측정 분산분석 (Repeated Measures ANOVA) 후 사후 검정 (Scheffe의 다중검정)을 이용하여  $p < 0.05$  수준에서 통계적으로 유의적인 차이를 검증하였다. 체지방률과 GI값은 상관관계를 분석하였다.

## 결 과

### 일반사항 및 혈액검사 결과

임상시험 대상자들의 연령, 성별, body mass index (BMI)와 혈액검사를 통해 알아본 AST, ALT, 혈중 총콜레스테롤, 혈당 수치를 Table 2에 제시하였다. 실험 대상자 중 남자의 평균연령은  $24.0 \pm 2.7$ 세였고, 여자의 평균연령은  $23.8 \pm 3.5$ 세였다. BMI는 남녀 각각  $22.0 \pm 1.2 \text{ kg/m}^2$ ,  $19.2 \pm 0.8 \text{ kg/m}^2$ 로 대상자들이 모두 정상범위에 속하였다. 혈

**Table 2.** Baseline characteristics of the subjects in the clinical trial (n = 10)

| Variables                              | Man (n = 4)         | Women (n = 6)    |
|--|---------------------|------------------|
| Age (yr)                               | $24.0 \pm 2.7^{1)}$ | $23.8 \pm 3.5$   |
| BMI <sup>2)</sup> (kg/m <sup>2</sup> ) | $22.0 \pm 1.2$      | $19.2 \pm 0.8$   |
| AST <sup>3)</sup> (U/L)                | $17.0 \pm 1.5$      | $15.9 \pm 2.9$   |
| ALT <sup>4)</sup> (U/L)                | $12.0 \pm 3.6$      | $9.5 \pm 1.7$    |
| Total cholesterol (mg/dl)              | $161.0 \pm 21.4$    | $151.7 \pm 15.5$ |
| Fasting blood glucose (mg/dl)          | $80.5 \pm 10.6$     | $84.3 \pm 7.8$   |

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

액검사를 통해 알아 본 AST 수치는 남자  $17.0 \pm 1.5 \text{ U/L}$ , 여자  $15.9 \pm 2.9 \text{ U/L}$ 로 정상범위에 해당하였고, ALT 수치 또한 남자  $12.0 \pm 3.6 \text{ U/L}$ , 여자  $9.5 \pm 1.7 \text{ U/L}$ 로 정상범위에 속하였다. 총콜레스테롤은 남자가  $161.0 \pm 21.4 \text{ mg/dl}$ , 여자는  $151.7 \pm 15.5 \text{ mg/dl}$ 로 나타났으며, 공복 시 혈당은 실험 대상자 중 남자가  $80.5 \pm 10.6 \text{ mg/dl}$ , 여자는  $84.3 \pm 7.8 \text{ mg/dl}$ 로 나타나 대상자 모두 정상범위에 속하였다.

### 자일로올리고당을 함유한 설탕이 GI에 미치는 효과

임상시험 대상자들이 섭취한 Xylo 7, Xylo 10의 IAUC를 통해 GI를 산출한 결과를 Table 3에 제시하였다. 연구 참여 대상자 10명에 대한 순수한 설탕의 GI값은 평균  $68.9 \pm 9.4$ 로 나타났다. Xylo 7의 GI는 최소 38.1에서 최대 68.3까지 분포되었으며 실험대상자 10명의 Xylo 7의 GI 수치는  $54.7 \pm 10.3$ 으로 계산되었다. Xylo 10의 GI는 최소 34.1에서 최대 69.8까지 분포되었으며 실험대상자 10명의 Xylo 10의 GI 수치는  $52.5 \pm 11.3$ 이었다. 따라서 순수한 설탕에 비해 비교식품인 Xylo 7는 설탕의 GI값에 비해 21% 감소하였고, Xylo 10은 24% 감소하였으며. Xylo 10의 GI값이 통계적으로 유의하게 가장 낮았다 ( $p < 0.05$ ). 그러므로 GI값으로 보았을 때 Xylo 7, Xylo 10은 모두 저 (Low) GI로 분류될 수 있으며, 순수한 설탕에 비해 비교식품인 Xylo 7, Xylo 10은 혈당상승을 감소시키는데 도움을 줄 수 있다고 사료된다.

### 자일로올리고당을 함유한 설탕이 혈당 반응에 미치는 영향

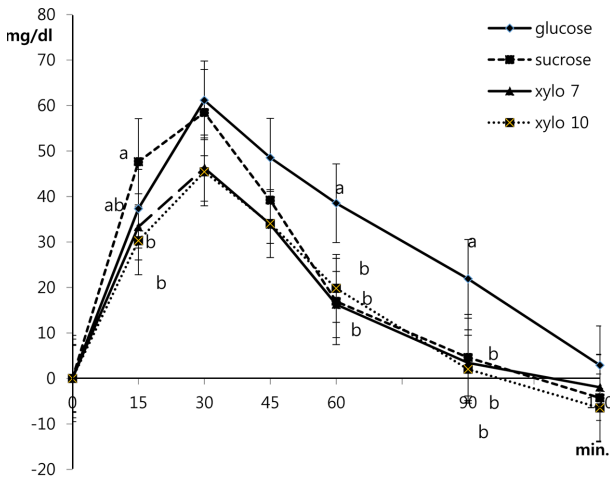
Fig. 1과 Table 4에 제시한 바와 같이 실험 식품 섭취 후 15분 지점에서 혈당상승은 설탕 섭취시 포도당에 비해 혈당상승량이 높은 편이었는데, Xylo 7과 Xylo 10의 경우 혈당상승량이 통계적으로 유의하게 낮았고, Xylo 10의 경우 혈당상승이 가장 낮았다. 표준식품, 비교식품 모두 섭취 후 30분에서 혈당이 가장 높게 나타났으며, 섭취 후 30분과 45분에 혈당상승 값은 Xylo 7과 Xylo 10을 섭취하였을 때 포도당과 설탕섭취에 비해 섭취 후 혈당상승량이 적었으며

**Table 3.** Glycemic indices of Xylo 7 and Xylo 10 (n = 10)

| Variables        | Sucrose                | Xylo 7 <sup>4)</sup> | Xylo 10 <sup>5)</sup> |
|------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| GI               | $68.9 \pm 9.4^{1)a2)}$ | $54.7 \pm 10.3^b$    | $52.5 \pm 11.3^b$     |
| CV <sup>3)</sup> | 13.60                  | 18.85                | 21.51                 |

1) Mean  $\pm$  SD 2) Values not sharing the same superscript letter are significantly different by Repeated Measures ANOVA test followed by Scheffe's test. 3) CV: coefficient of variation

4) Xylo 7: sucrose with 14% xylooligosaccharide powder (active element X2-X7 7%) 5) Xylo 10: sucrose with 20% xylooligosaccharide powder (active element X2-X7 10%)



**Fig. 1.** Mean blood glucose responses after administration of control food (glucose) and test food (sucrose, Xylo 7 and Xylo 10). Each value is the mean  $\pm$  SD. Different alphabets at same time are significant ( $p < 0.05$ ) between groups. Xylo 7: sucrose with 14% xylooligosaccharide powder (active element X2-X7 7%), Xylo 10: sucrose with 20% xylooligosaccharide powder (active element X2-X7 10%)

Xylo 7과 Xylo 10 섭취로 인한 차이는 없었다. 섭취 후 60 분에는 설탕 > Xylo 7 순으로 낮아졌고 포도당 섭취군의 경우 통계적으로 유의하게 가장 높았다 ( $p < 0.05$ ). 식품

섭취 후 120분이 경과한 후 혈당 상승 값은 설탕은  $-4.3 \pm 6.4$  mg/dL 감소하였고, 비교식품인 Xylo 7은  $-2.0 \pm 8.5$  mg/dL, Xylo 10은  $-6.5 \pm 4.7$  mg/dL로 모두 음의 값을 나타내었으며, 섭취 90분 후에도 혈당 상승치는 설탕 > Xylo 7 > Xylo 10 순으로 낮아져 섭취 후 120분간의 혈당반응을 보았을 때 Xylo 7과 Xylo 10의 혈당 상승 저감효과가 설탕에 비해 큰 것으로 나타났으며 특히 섭취 30분 이내에 혈당 상승 저감 효과가 빨리 나타났음을 알 수 있었다 (Table 4).

Fig. 2에 제시한 바와 같이 Xylo 7의 섭취후 GI는 대상자의 체지방률과 관련성이 없었으나, Xylo 10 섭취후 대상자의 통계적인 유의성은 없었으나 체지방률이 높을수록 GI 값이 낮아지는 경향이였다.

### 고찰

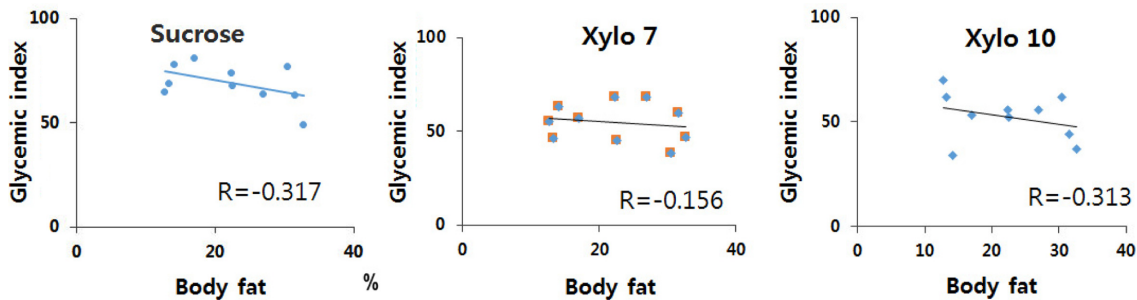
본 연구는 19~30세에 해당하는 건강한 성인 남녀 10명을 대상으로 임상시험 기준에 준하여 표준식품 (포도당)과 백설탕, 그리고 자일로올리고당 유효성분 비율을 달리하여 첨가한 설탕 섭취에 따른 혈당상승의 변화를 측정하는 임상시험을 실시하였다. 자일로올리고당의 1일 유효섭취량은  $0.7\sim 7.5$  g/day으로<sup>15</sup> 본 연구에서 사용한 Xylo 7,

**Table 4.** The changes in blood glucose variables

(n = 10)

| Variables                                | Glucose                           | Sucrose                      | Xylo 7 <sup>4)</sup>         | Xylo 10 <sup>5)</sup>        |
|--|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Baseline glucose (mg/dL)                 | 81.1 $\pm$ 4.3                    | 80.1 $\pm$ 3.4               | 81.7 $\pm$ 4.7               | 83.4 $\pm$ 4.2               |
| Mean changes in blood                    |                                   |                              |                              |                              |
| at 15 min                                | 37.3 $\pm$ 10.8 <sup>1)2)ab</sup> | 47.6 $\pm$ 13.4 <sup>a</sup> | 33.3 $\pm$ 10.4 <sup>b</sup> | 30.3 $\pm$ 17.6 <sup>b</sup> |
| at 30 min                                | 61.2 $\pm$ 23.2 <sup>3)ns</sup>   | 58.5 $\pm$ 15.7              | 46.3 $\pm$ 9.7               | 45.4 $\pm$ 15.0              |
| at 45 min                                | 48.5 $\pm$ 21.9 <sup>ns</sup>     | 39.2 $\pm$ 22.4              | 33.9 $\pm$ 14.7              | 34.1 $\pm$ 18.6              |
| at 60 min                                | 38.5 $\pm$ 12.5 <sup>a</sup>      | 16.9 $\pm$ 11.5 <sup>b</sup> | 16.3 $\pm$ 12.5 <sup>b</sup> | 19.8 $\pm$ 13.6 <sup>b</sup> |
| at 90 min                                | 21.9 $\pm$ 19.1 <sup>a</sup>      | 4.6 $\pm$ 11.1 <sup>b</sup>  | 3.4 $\pm$ 7.4 <sup>b</sup>   | 2.0 $\pm$ 7.1 <sup>b</sup>   |
| at 120 min                               | 2.9 $\pm$ 13.6 <sup>a</sup>       | -4.3 $\pm$ 6.4 <sup>ab</sup> | -2.0 $\pm$ 8.5 <sup>ab</sup> | -6.5 $\pm$ 4.7 <sup>b</sup>  |
| Cmax (maximal postprandial glucose rise) | 63.7 $\pm$ 19.1 <sup>a</sup>      | 61.0 $\pm$ 12.6 <sup>a</sup> | 46.3 $\pm$ 9.7 <sup>b</sup>  | 46.1 $\pm$ 14.8 <sup>b</sup> |

1) Mean  $\pm$  SD 2) Values not sharing the same superscript letter are significantly different by Repeated Measures ANOVA test followed by Scheffe's test. 3) NS: not significant at  $\alpha = 0.05$  4) Xylo 7: sucrose with 14% xylooligosaccharide powder (active element X2-X7 7%) 5) Xylo 10: sucrose with 20% xylooligosaccharide powder (active element X2-X7 10%)



**Fig. 2.** Correlation between percent body fat and glycemic index of Xylo 7 and Xylo 10. Xylo 7: sucrose with 14% xylooligosaccharide powder (active element X2-X7 7%), Xylo 10: sucrose with 20% xylooligosaccharide powder (active element X2-X7 10%)

Xylo 10 시료는 자일로올리고당에 난소화성 말토덱스트린을 첨가하여 분말화한 것으로 섭취허용량 범위내였다. 자일로올리고당 함유 비율은 선행연구<sup>19</sup>에서 수행한 함유 비율과 동일한 비율이었으나 선행연구에서는 말토덱스트린을 사용하였고 본 연구에서는 난소화성 말토덱스트린을 첨가하여 분말화 하였다.

본 연구 결과 실험 대상자들이 섭취한 순수한 설탕의 GI 수치는  $68.9 \pm 9.4$ 로 나타나 Foster-Powell 등<sup>25</sup>이 보고한 순수한 설탕의 GI 수치 68과 거의 동일한 값을 보여주었다. Xylo 7을 섭취한 대상자의 GI 수치는 54.7, Xylo 10을 섭취한 실험대상자의 GI 수치는 52.5로 순수한 설탕의 GI값에 비해 비교식품인 Xylo 7, Xylo 10의 GI 수치는 모두 통계적으로 유의하게 낮게 나타났다. 선행연구에서 GI 수치가 70 이상이면 고 (High)GI, 56~69이면 중 (Medium)GI, 55이하면 저 (Low)GI로 분류하는데, 본 연구에서 자일로올리고당의 유효성분 X2~X7의 비율 증가시 GI값은 비례하여 감소되었으며, Xylo 7과 Xylo 10은 순수한 설탕에 비해 모두 저 (Low)GI에 포함된 것으로 나타내었다. Kyung 등<sup>19</sup>은 자일로올리고당을 말토덱스트린으로 분말화 시킨 설탕의 GI값이 유효성분 X2~X이 7%였을 때  $60.0 \pm 23.5$ 로 중GI 식품에 속하였고, 10%의 자일로올리고당을 첨가한 설탕은  $54.3 \pm 17.7$ 로 저GI 식품에 속하였다고 보고하였는데, 본 연구에서 말토덱스트린을 난소화성 말토덱스트린으로 대체하여 사용하였을 때 모두 저 GI 식품군에 속하게 되었다. Lee 등<sup>26</sup>의 연구에서 5%의 D-자일로오스를 첨가한 설탕의 GI값이 59.6으로 설탕 GI의 76.8%였다고 보고하였는데 본 연구에서는 자일로올리고당을 첨가한 설탕은 일반설탕 GI 대비 Xylo 7, Xylo 10 각각 80.6%, 77.2%였다. Kyung 등<sup>19</sup>은 자일로올리고당 분말화시 말토덱스트린을 사용하였고, 난소화성 말토덱스트린으로 대체시 이론적으로 Xylo 7의 혈당지수를 55.7, Xylo 10의 혈당지수를 48로 예측한 바 있는데 본 연구에서 난소화성 말토덱스트린을 사용한 Xylo 7은 54.7로 예측치보다 약간 낮았으며, Xylo 10의 경우 52.5로 예측치보다 약간 높았다. Xylo 7은 말토덱스트린을 사용하여 제조하였을 때 중GI 식품이었던 것에서 난소화성 말토덱스트린을 사용하여 제조하였을 때, 저GI 식품에 속하게 되어 혈당 상승 저감화 효과를 개선한 것으로 나타났으며, Xylo 10의 경우 말토덱스트린을 사용하였던 선행연구에 비해서도 낮아져 (54.3 vs 52.5), 혈당 상승 저감화 효과가 커짐을 알 수 있었다.

자일로올리고당은 장관내에서 비피도박테리아 균총과, 단쇄지방산 생성을 증가시키는 것으로 알려져있는데, Venter 등<sup>27</sup>은 프로피온산 보충 섭취가 공복 시 혈당을 유의하게 감소시키고, 당내용력, 인슐린 민감성을 개선시켰

다는 보고가 있다.<sup>27</sup> Lecerf 등<sup>28</sup>은 건강한 성인에서 1일 5g의 자일로올리고당만을 섭취시킨 대상자는 대변내 비피도박테리아와 부티르산의 함량을 증가시키고, 아세트산과 p-크레솔 함량은 감소시킨 반면 동일한 양의 자일로올리고당과 이눌린 혼합물을 섭취한 대상자는 대변내 아세트산과 크레솔 함량 감소 없이 단쇄지방산과 프로피온산 농도를 상승시켜 자일로올리고당과 함께 식이섬유를 섭취하였을 때 건강에 유의한 상승효과가 있다고 보고한 바 있다. Rodrigues-Cabezas 등은 프락토올리고당과 저항전분의 혼합섭취가 장내 미생물균총의 변화, 락토바실러스 비피도박테리아, 대변량 증가의 변화를 유도하였음을 관찰하였다.<sup>29</sup> 본 연구에서 올리고당을 분말화 시키는 데 사용된 난소화성 말토덱스트린은 수용성 식이섬유와 생리적 기능이 유사하며 인체 내 소화효소에 의해 강한 저항성을 갖고 있어 대변의 양을 증가시키고, pH 감소, 심혈관계 질환 발병 위험도 감소, 혈당 저하 등의 효과가 있으며, 장내 유익한 균의 성장을 촉진하여 장 건강에 유익할 뿐 아니라 다른 수용성 식이 섬유에 비해 점도가 낮고, 느리게 발효되어 효과적으로 식후 혈당과 인슐린 수준을 낮춘다.<sup>30</sup> 장내 발효속도의 차이는 탄소사슬길이의 차이로 인해 발생하는 데 올리고당은 대장의 앞부분에서 빨리 발효되는 반면 저항전분과 같은 난소화성 물질은 장의 뒷부분에서 느리게 분해된다. 저항전분과 프락토올리고당의 혼합 섭취시 프락토올리고당이나 저항전분 단독 섭취에 비해 대장 내 발효생산물 2배 증가하고, 빨리 발효되는 성분은 대장의 앞부분, 느리게 발효되는 성분은 대장 뒷부분에서 주로 발효되어 대장 전체의 환경조건을 개선하는 효과가 있어 상승효과를 갖는 것으로 보고된 바 있다.<sup>31</sup> Seri 등<sup>32</sup>은 자연 식품에 존재하는 오탄당인 D-자일로오스는 설탕과 함께 섭취할 경우, 소장에서 수크라아제를 저해하여 설탕이 포도당, 과당으로 분해되지 않고 배출되게 함으로써 설탕의 흡수를 막아 섭취한 설탕의 칼로리를 낮추는 효과와 더불어 혈당치의 상승 및 혈중 인슐린의 상승을 억제하고 궁극적으로 비만, 당뇨 등의 부작용을 예방할 수 있다고 보고하였다. Bae 등<sup>33</sup>은 설탕에 10% (w/w) D-자일로오스를 첨가한 설탕과 15% (w/w) D-자일로오스를 첨가한 설탕이 GI를 21.4% 낮추고, 인슐린 분비도 21.3% 낮추었다고 보고하였는데, 본 연구에서도 실험 대상자가 섭취한 비교식품인 Xylo 7과 Xylo 10의 유효성분내에는 자일로오스가 각각 1.5%와 2.2%가 들어있어 이의 영향도 있었을 것으로 본다.

자일로올리고당을 함유한 설탕을 섭취한 후 혈중 포도당 농도변화를 시간의 흐름에 따라 측정된 결과를 Fig. 1과 Table 4에 나타내었다. 본 연구의 GI 측정에 참가한 10명

의 대상자들은 실험 식품 섭취 후 상승된 혈당이 시간의 흐름에 따라 섭취 전 정상 혈당치로 회복되는데 걸리는 혈당 농도변화의 추이는 실험 대상자간에 다르게 나타났는데 일반 백설탕에 비해 Xylo 7과 Xylo 10의 경우 섭취 15분에 각각 30%, 36.3%로 순수한 설탕의 혈당 상승 값에 비해 비교식품인 Xylo 7과 Xylo 10은 유의적으로 낮게 상승하는 것으로 나타났다. 섭취 120분 경과 후 설탕섭취군은 baseline에 비해 -4.3 mg/dL의 혈당이 감소하였으나 Xylo 10 섭취군은 가장 크게 감소 (-6.5 mg/dL)하였으며, Moon 등<sup>18</sup>이 보고한 혈당 변화의 추이와 비슷한 경향을 보여주었다. 또한 본 연구에서 자일로올리고당 7% 함유 설탕 섭취 시 체지방률에 따른 GI 반응이 차이가 없었으나 유의적이지는 않았으나 자일로올리고당을 10% 함유한 설탕 섭취 시 체지방률이 높을수록 GI값이 낮아지는 경향이 있었다 (Fig. 2). Alles 등<sup>34</sup>은 제 2형 당뇨병환자에서 1일 15 g씩 20일간 프락토올리고당 섭취가 혈당에 영향을 주지 않았다고 보고하였는데 비해 Sheu 등은 자일로올리고당을 1일 4 g씩 8주간 섭취시켰을 때 혈당이 유의하게 감소하였다고 보고한 바 있다.<sup>35</sup> 반면, 1일 3.8 g 자일로올리고당의 섭취가 노인에서 공복 시 혈당에 영향을 주지 않았다는 보고도 있다.<sup>36</sup> 또 다른 연구에서 자일로올리고당과 프락토올리고당 섭취는 당뇨유발 쥐에서 고혈당을 감소시켰다고 보고하였고,<sup>37</sup> 사람을 대상으로 한 연구에서<sup>38</sup> 당뇨병전에 있는 대상자에 자일로올리고당은 섭취 후 혈당상승을 억제하는 경향을 보인 반면 정상인에서는 이 효과가 없었다고 보고하여 자일로올리고당의 효과는 섭취하는 연령, 질병상태에 따라 그 반응의 차이가 있을 가능성을 제시하고 있다.

전분, 설탕 등은 생리적 특성이 동일하여 소화흡수되어 포도당으로 전환되나 섭취 후 혈당반응은 단당류의 결합 정도에 의해 영향을 받게 된다. GI는 탄수화물 섭취량과 영양소 소화율이나 인슐린 분비에 영향을 주는 다른 식이요인에 의해 영향을 받는다.<sup>39</sup> GI와 당뇨의 관련성에 대한 연구를 보면 Murakami 등<sup>40</sup>은 건강한 여성을 대상으로 한 연구에서 혈당지수가 높은 식사의 섭취수준 증가에 따라 공복기 혈당과 당화혈색소가 증가함을 보고하였으며, GI가 높은 식품을 섭취한 여성의 경우도 체내 대사과 식욕조절에 부정적인 영향을 미치고, 체중증가 및 2형 당뇨병 발생률을 높였다.<sup>41</sup> 과체중이면서 당뇨인 대상자가 GI가 높은 식품을 섭취하는 것 대신에 GI가 낮은 식품으로 대체하여 섭취하면 혈당과 인슐린 반응이 낮아지고 혈청지질이 개선되어 인슐린 민감성이 향상됨을 보고하였다.<sup>42</sup> 자일로올리고당을 함유한 설탕을 섭취하였을 때 시간의 흐름에 따라 순수한 설탕에 비해 혈당 상승이 억제되고 섭취 후 2

시간 동안 빠르게 공복 혈당 수준으로 회복되었다. 따라서 본 연구의 비교식품인 Xylo 7, Xylo 10은 저 GI식품으로 혈당 상승을 낮추는데 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서 자일로올리고당 함유량의 차이는 7%, 10%를 함유하였을 때 전체적인 GI값은 낮아졌으나 체지방률로 보았을 때 자일로올리고당 10%를 함유한 설탕의 GI값이 체지방률이 높은 비만군에서 정상체중인 대조군에 비해 낮게 나타나는 경향이 있었다. Lee 등<sup>26</sup>은 5%의 D-자일로오스를 함유한 설탕섭취로 인한 GI값이 체지방률이 높은 비만군에서 더 효과적으로 GI값을 낮추었으며 일반 설탕 섭취의 GI값은 체지방률에 따른 차이가 없었다고 보고하였다. 자일로올리고당은 프락토올리고당이나 이소말토올리고당에 비해 이당류분해효소를 억제하는 효과가 커 소화흡수를 억제하여 혈당을 낮추는 효과가 있는 것으로 보고된 바 있으며,<sup>43</sup> D-자일로오스도 수크리아제의 활성을 억제하는 효과가 있었으며, 특히 비만군에서 D-자일로오스의 흡수가 지연되었음을 관찰하였다고 보고하였다.<sup>25</sup> 다량의 자일로올리고당이 장내 머무르면 지속적으로 이당류 분해효소의 활성을 억제하여 GI값을 낮출 수 있을 것으로 사료된다.

대사후증군 발병율은 급격히 증가하고 있고, 특히 제 2형 당뇨병은 성인기 이후 노년기 건강에 있어서 우선적으로 고려되는 질병이다. 당뇨를 예방하고 치료하는 데 있어서 많은 관심을 받는 것은 GI의 역할이다. GI는 식후 혈당농도에 영향을 주는 탄수화물의 영향력을 구분하는 것으로 저GI 식품은 식후 혈당과 인슐린 농도의 상승을 억제하기 때문에 당뇨병환자에서 특히 혈당과 인슐린 민감도, 인슐린 분비를 개선하는 효과가 있다고 보고되고 있다. 다른 연구에서 Sahyoun 등<sup>44</sup>은 노인에서 GI, 혈당부하가 제 2형 당뇨병유발과 관련성이 없다고 보고하기도 하였지만 이 연구는 다른 연구들에 비해 탄수화물의 섭취기간이 짧았고, 실험대상자수가 적었다는 제한점이 있었다. 많은 연구에서 고GI식품이 당뇨위험인자라고 결론을 내리기는 어렵지만, 저GI식품은 식후 혈당과 인슐린 농도를 낮추고 인슐린 민감도를 개선시킨다는 점에서 섭취가 권장되고 있다.

설탕 또는 단순당류의 과다 섭취는 구강건강과 다른 중요한 영양소 섭취에 영향을 줄 수 있다는 점에서 적정수준으로 섭취하는 것이 필요하다. 또한 자일로올리고당과 같은 GI 저감화 효과가 있는 성분을 첨가하여 설탕에 건강기능성을 부여하여 활용하는 것도 고려해 볼 수 있다.

## 요 약

본 연구는 8주 동안 건강한 성인남녀를 대상으로 설탕과

자일로 올리고당 함유비율이 다른 설탕 2종의 혈당 반응을 통한 GI를 비교하여 혈당 저하 효과를 확인하였다. 설탕의 GI는 68.9로 기존의 선행연구에서의 GI와 유사하였다. Xylo 7 (Xylooligosaccharide X2~X7 7% 함유), Xylo 10 (Xylooligosaccharide X2~X7 10% 함유)은 포도당이나 설탕에 비해 섭취 후 최대 혈당 상승량이 낮았으며, Xylo 7 과 Xylo 10은 통계적으로 유의하게 최대 혈당 상승량이 적었다. Xylo 7와 Xylo 10의 GI는 각각 54.7, 52.5으로 모두 저GI식품에 해당하여 일반 설탕과 비교하여 혈당상승을 유의하게 억제하였다. 또한 체지방률이 높을수록 Xylo 10의 섭취는 GI를 더 낮추는 경향이 있었다. 따라서 자일로올리고당 유효성분 X2~X7을 함유한 설탕은 혈당상승을 억제하는 건강 기능성을 갖춘 것으로 사료된다.

## Reference

- Bray GA, Nielsen SJ, Popkin BM. Consumption of high-fructose corn syrup in beverages may play a role in the epidemic of obesity. *Am J Clin Nutr* 2004; 79(4): 537-543.
- Korea Rural Economic Institute. Food balance sheet 2012. Seoul: Korea Rural Economic Institute; 2013.
- Song S, Lee JE, Song WO, Paik HY, Song Y. Carbohydrate intake and refined-grain consumption are associated with metabolic syndrome in the Korean adult population. *J Acad Nutr Diet* 2014; 114(1): 54-62.
- Shin HL. Consumer attitude survey: beverage purchasing behaviors and preference [dissertation]. Seoul: Sejong University; 2010.
- 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.
- Chen MS, Kao CS, Chang CJ, Wu TJ, Fu CC, Chen CJ, Tai TY. Prevalence and risk factors of diabetic retinopathy among noninsulin-dependent diabetic subjects. *Am J Ophthalmol* 1992; 114(6): 723-730.
- Malik VS, Popkin BM, Bray GA, Després JP, Hu FB. Sugar-sweetened beverages, obesity, type 2 diabetes mellitus, and cardiovascular disease risk. *Circulation* 2010; 121(11): 1356-1364.
- Yoo H, Kim Y. A study on the characteristics of nutrient intake in metabolic syndrome subjects. *Korean J Nutr* 2008; 41(6): 510-517.
- Colditz GA, Manson JE, Stampfer MJ, Rosner B, Willett WC, Speizer FE. Diet and risk of clinical diabetes in women. *Am J Clin Nutr* 1992; 55(5): 1018-1023.
- de Koning L, Malik VS, Rimm EB, Willett WC, Hu FB. Sugar-sweetened and artificially sweetened beverage consumption and risk of type 2 diabetes in men. *Am J Clin Nutr* 2011; 93(6): 1321-1327.
- Salmerón J, Manson JE, Stampfer MJ, Colditz GA, Wing AL, Willett WC. Dietary fiber, glycemic load, and risk of non-insulin-dependent diabetes mellitus in women. *JAMA* 1997; 277(6): 472-477.
- Dallongeville J, Charbonnel B, Després JP. Sugar-sweetened beverages and cardiometabolic risk. *Presse Med* 2011; 40(10): 910-915.
- Alonso S, Setser C. Functional replacements for sugars in foods. *Trends Food Sci Technol* 1994; 5(5): 139-146.
- Fiordaliso M, Kok N, Desager JP, Goethals F, Deboysier D, Roberfroid M, Delzenne N. Dietary oligofructose lowers triglycerides, phospholipids and cholesterol in serum and very low density lipoproteins of rats. *Lipids* 1995; 30(2): 163-167.
- Lee OS, Rhee IK. The production of xylooligosaccharides with microbial xylanase. *Food Ind Nutr* 2001; 6(1): 21-24.
- Akpinar O, Erdogan K, Bostanci S. Enzymatic production of xylooligosaccharide from selected agricultural wastes. *Food Bioprod Process* 2009; 87(2): 145-151.
- Hsu CK, Liao JW, Chung YC, Hsieh CP, Chan YC. Xylooligosaccharides and fructooligosaccharides affect the intestinal microbiota and precancerous colonic lesion development in rats. *J Nutr* 2004; 134(6): 1523-1528.
- Moon SH, Lee KS, Kyung MG, Jung SW, Park YJ, Yang CK. Study on the proper D-xylo concentration in sugar mixture to reduce glycemic index (GI) value in the human clinical model. *Korean J Food Nutr* 2012; 25(4): 787-792.
- 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.
- 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.
- 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.
- Brand-Miller JC, Holt SH, Pawlak DB, McMillan J. Glycemic index and obesity. *Am J Clin Nutr* 2002; 76(1): 281S-285S.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Venter CS, Vorster HH, Cummings JH. Effects of dietary propionate on carbohydrate and lipid metabolism in healthy volunteers. *Am J Gastroenterol* 1990; 85(5): 549-553.
- Lecerf JM, Dépeint F, Clerc E, Dugenet Y, Niamba CN, Rhazi L, Cayzele A, Abdelnour G, Jaruga A, Younes H, Jacobs H, Lambrey G, Abdelnour AM, Pouillart PR. Xylo-oligosaccharide (XOS) in combination with inulin modulates both the intestinal environment and immune status in healthy subjects, while XOS alone only shows prebiotic properties. *Br J Nutr* 2012; 108(10): 1847-1858.
- Rodríguez-Cabezas ME, Camuesco D, Arribas B, Garrido-Mesa N, Comalada M, Bailón E, Cueto-Sola M, Utrilla P, Guerra-Hernández E, Pérez-Roca C, Gálvez J, Zarzuelo A. The combina-



- tion of fructooligosaccharides and resistant starch shows prebiotic additive effects in rats. *Clin Nutr* 2010; 29(6): 832-839.
30. Flickinger EA, Wolf BW, Garleb KA, Chow J, Leyer GJ, Johns PW, Fahey GC Jr. Glucose-based oligosaccharides exhibit different in vitro fermentation patterns and affect in vivo apparent nutrient digestibility and microbial populations in dogs. *J Nutr* 2000; 130(5): 1267-1273.
  31. Younes H, Coudray C, Bellanger J, Demigné C, Rayssiguier Y, Rémésy C. Effects of two fermentable carbohydrates (inulin and resistant starch) and their combination on calcium and magnesium balance in rats. *Br J Nutr* 2001; 86(4): 479-485.
  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. 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.
  34. Alles MS, de Roos NM, Bakx JC, van de Lisdonk E, Zock PL, Hautvast GA. Consumption of fructooligosaccharides does not favorably affect blood glucose and serum lipid concentrations in patients with type 2 diabetes. *Am J Clin Nutr* 1999; 69(1): 64-69.
  35. Sheu WH, Lee IT, Chen W, Chan YC. Effects of xylooligosaccharides in type 2 diabetes mellitus. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)* 2008; 54(5): 396-401.
  36. Chung YC, Hsu CK, Ko CY, Chan YC. Dietary intake of xylooligosaccharides improves the intestinal microbiota, fecal moisture, and pH value in the elderly. *Nutr Res* 2007; 27(12): 756-761.
  37. Gobinath D, Madhu AN, Prashant G, Srinivasan K, Prapulla SG. Beneficial effect of xylo-oligosaccharides and fructo-oligosaccharides in streptozotocin-induced diabetic rats. *Br J Nutr* 2010; 104(1): 40-47.
  38. Yang J, Summanen PH, Henning SM, Hsu M, Lam H, Huang J, Tseng CH, Dowd SE, Finegold SM, Heber D, Li Z. Xylooligosaccharide supplementation alters gut bacteria in both healthy and pre-diabetic adults: a pilot study. *Front Physiol* 2015; 6: 216.
  39. Ebbeling CB, Ludwig DS. Treating obesity in youth: should dietary glycemic load be a consideration? *Adv Pediatr* 2001; 48: 179-212.
  40. Murakami K, Sasaki S, Takahashi Y, Okubo H, Hosoi Y, Horiguchi H, Oguma E, Kayama F. Dietary glycemic index and load in relation to metabolic risk factors in Japanese female farmers with traditional dietary habits. *Am J Clin Nutr* 2006; 83(5): 1161-1169.
  41. Salmerón J, Manson JE, Stampfer MJ, Colditz GA, Wing AL, Willett WC. Dietary fiber, glycemic load, and risk of non-insulin-dependent diabetes mellitus in women. *JAMA* 1997; 277(6): 472-477.
  42. Wolever TM, Jenkins DJ, Vuksan V, Jenkins AL, Wong GS, Josse RG. Beneficial effect of low-glycemic index diet in overweight NIDDM subjects. *Diabetes Care* 1992; 15(4): 562-564.
  43. Joo GJ, Rhee IK, Kim SO, Rhee SJ. Effect of dietary xylooligosaccharide on indigestion and retarding effect of bile acid movement across a dialysis membrane. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 1998; 27(4): 705-711.
  44. Sahyoun NR, Anderson AL, Tylavsky FA, Lee JS, Sellmeyer DE, Harris TB; Health, Aging, and Body Composition Study. Dietary glycemic index and glycemic load and the risk of type 2 diabetes in older adults. *Am J Clin Nutr* 2008; 87(1): 126-131.