

설탕에 대한 Glycemic Index(GI) 저감효과가 있는 D-Xylose의 적정 농도에 관한 연구

[†]문성현 · 이경선 · 경명옥 · 정상원 · 박윤제* · 양창근
대한제당 중앙연구소, *차의과학대학교 바이오산업융합학과

Study on the Proper D-Xylose Concentration in Sugar Mixture to Reduce Glycemic Index (GI) Value in the Human Clinical Model

[†]Sunghyun Moon, Kyungsun Lee, Myungok Kyung, Sangwon Jung, Yunje Park* and Chang-kun Yang

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

*Dept. of Applied Bioscience, CHA University, Seoul 135-081, Korea

Abstract

The objective of this study was to investigate the proper concentration of D-xylose which is expected to reduce the GI (Glycemic index) value of sucrose in the human body. When subjects took a sucrose mixture containing 5% and 10% D-xylose, the blood glucose levels were lowered by approximately 27.5% and 25.9%, respectively, compared to those of sucrose. The GI values of sucrose mixtures containing 5% and 10% D-xylose were 49.3 and 50.4, respectively. The reduction in GI value was not dependent on the D-xylose concentration, as the GI value of sucrose mixture containing 5% D-xylose (XyloSugar) was similar to that of sucrose mixture containing 10% D-xylose (XyloSugar10). D-xylose is not only more expensive but also less sweet than sucrose. So, low concentration of D-xylose has the advantage in the price and taste. It was determined that the proper concentration of D-xylose expected to reduce GI value of sucrose was 5% (w/w).

Key words: D-xylose, sucrase, inhibition effect, GI (Glycemic index), XyloSugar, XyloSugar10

서 론

설탕은 인류가 오래 전부터 사용해온 감미료로서 가장 널리 이용되고 있다. 그러나 최근 설탕의 과잉 섭취에 대한 우려가 제기되고 있고, 설탕의 사용 및 섭취를 줄이려는 경향이 전세계적으로 있으며, 설탕이 함유된 음료에 비만세를 부과하려는 움직임도 있다(Denis Campbell, 2011). 반면에, 설탕이 비만이나 과체중의 원인이 아니며, 사람들을 살찌게 만드는 것은 설탕보다 고지방 식품 때문이라는 연구 결과가 있으며 (Parnell 등 2008), 설탕의 섭취를 줄였음에도 불구하고, 비만 인구는 늘었다는 보고가 있어(Barclay 등 2011) 건강에 대한 설탕의 부정적인 인식은 분분한 상태이다. 설탕의 대응으로

sorbitol, maltitol 등을 포함하는 당알콜과 aspartame, acesulfame K 등의 인공감미료를 사용하고 있으나, 당알콜계 물질은 과잉 섭취 시 소화장애를 유발하고, aspartame은 페닐케톤뇨증 환자의 섭취가 제한되는 등의 문제점을 내포하고 있으며, 감미질이나 물성면에 설탕에 못 미쳐 그 용도가 제한적이다 (Homer 1984; Nam 등 1989; Pong 등 1991; Park 등 1992, Nelson 2000).

혈당지수(Glycemic index, GI)는 식후에 탄수화물의 흡수속도를 반영하기 위하여 제안된 것으로, 기준이 되는 식품과 비교하려는 특정 식품의 식후 혈당의 반응 정도를 나타낸다 (Jenkins 등 1981). 측정식품 속에 포함된 탄수화물 50 g을 섭취한 후 혈당의 반응곡선 면적을 표준식품인 흰 빵이나 포도

[†] Corresponding author: Sunghyun Moon, R&D Center, TS Corporation, Incheon 400-201, Korea. Tel: +82-32-770-1432, Fax: +82-32-770-1603, E-mail: msheve@ts.co.kr

당 50 g을 섭취한 후에 나타나는 혈당반응곡선 면적으로 나눈 후 100을 곱하여 계산한다. GI 수치가 70 이상이면 high GI, 56~69이면 medium GI, 55이하이면 low GI 세 개의 그룹으로 나눈다. GI가 높은 식품을 섭취하면 GI가 낮은 식품에 비하여 식욕이 촉진되고, 인슐린 분비가 많아져 체지방 증가를 초래한다(Ludwig 2000). High GI 식품을 low GI 식품으로 대체하면 식후 혈당과 인슐린 반응이 낮아지고(Wolever 1991; Brand Miller 1994), 혈청 지질이 개선되며(Jenkins 등 1995), 인슐린 민감성이 향상된다고 보고되었다(Wolever 등 1992). 높은 GI를 가진 식품의 섭취는 대사나 식욕 조절에 부정적인 영향을 미치며, 체중 증가, 2형 당뇨병(Salmeron 등 1997), 심혈관 질환의 발생률을 높이는 것으로 알려져 있다(Luis 등 2000; Frost 등 1999). 그러므로 GI가 높은 식품 대신 낮은 식품을 섭취함으로써 위와 같은 만성질환의 발병률을 낮출 수 있을 것으로 기대된다.

인체가 설탕을 섭취하게 되면 소장 용모세포의 표면에 존재하는 설탕 가수분해효소인 sucrase에 의해 포도당과 과당으로 분해되고, 분해된 당당류는 빠르게 혈액 내로 흡수된다(Stanik & Marcus 1980). 혈액 내로 흡수된 포도당은 인슐린의 분비를 촉진하고, 분비된 인슐린에 의해 포도당은 글리코겐 형태로 전환되어 체내에 축적되게 된다. 이러한 탄수화물 대사는 체내 에너지 공급원을 안정적으로 공급하기 위한 중요한 대사 기작으로 여러 가지 원인에 의해 탄수화물 대사가 적절히 수행되지 않으면 비만 혹은 대사 질환을 야기할 수 있다(Hauri 등 1982; Toeller 1994; Bischoff 1995).

탄수화물 대사를 조절하기 위해 α -glucosidase의 활성을 억제하는 방법이 오래 전부터 연구되어 왔다(Puls & Keup 1975; Saito 등 1998). 그 중 자연에 존재하는 천연의 오타당인 D-xylose는 L-arabinose와 마찬가지로 설탕과 함께 섭취할 경우, 소장에서 sucrase를 저해하여 설탕이 포도당, 과당으로 분해되지 않고 배출되게 함으로써 설탕의 흡수를 막아 섭취한 설탕의 칼로리를 낮추는 효과와 더불어 혈당치의 상승 및 혈중 인슐린 농도의 상승을 억제하고, 궁극적으로는 비만, 당뇨병 등의 부작용을 예방할 수 있는 것으로 보고되고 있다(Seri 등 1996; Yoon 2003). 최근에는 L-arabinose와 D-xylose를 인체에 적용한 결과가 보고되고 있다. 4%(w/w) L-arabinose를 첨가한 설탕은 혈중 포도당 peak를 11% 낮춘다고 보고되었으며(Krog-Mikkelsen 등 2011), 설탕에 10%(w/w) D-xylose를 첨가한 경우, 혈당 및 인슐린의 급격한 상승을 억제한다고 보고되고 있으며(Asano 등 1996), 또한 10%(w/w) D-xylose를 첨가한 설탕과 15%(w/w) D-xylose를 첨가한 설탕도 GI(glycemic index)를 21.4% 낮추고, 인슐린 분비도 21.3% 낮춘다고 보고되고 있다(Bae 등 2011). 그러나, L-arabinose는 국내 식품 공전 및 첨가물 공전에 등록되지 않은 물질로 국내 식품산업에 사용할 수 없

으며, D-xylose는 기질 대비 10%(w/w) 미만의 낮은 농도에서 인체에 적용한 결과는 없다. 따라서 기질 대비 10%(w/w) 미만의 농도에서 설탕의 GI 저감효과를 확인할 필요가 있으며, 만약 10%(w/w) 미만의 농도에서도 10%(w/w) D-xylose와 유사한 GI 저감효과가 있다면 D-xylose의 사용량을 줄일 수 있고, 설탕 본연의 맛을 유지할 수 있는 기능성 감미료가 될 것이다.

이에 본 연구에서는 혈당 지수(Glycemic index, GI) 측정 실험을 통해 인체에서 D-xylose가 10%(w/w) 이하의 농도에서 설탕의 GI 저감효과를 확인하고, 적절한 D-xylose의 농도를 제안하고자 한다.

재료 및 방법

1. 재료 및 시약

본 연구에서 사용된 포도당은 무수결정포도당(Samyang, Korea), 자일로스는 D-xylose(Samin Chemical, Korea), 설탕은 백설탕(TS Corporation, Korea)을 사용하였으며, 모두 food grade로 순도 99% 이상의 제품을 사용하였다. GI 측정에 사용된 혈당 측정기, 혈당 측정 시험지는 ONETOUCH Ultra(한국 존슨앤드존슨 메디칼㈜)를 이용하였다.

2. 피험자 선정

GI test는 국내 GI test 전문가인 (주)네오뉴트라에 용역 의뢰하여 수행하였다. 건강한 성인 남녀 각각 5명(평균연령, 남: 28.0세, 여: 25.4세)을 대상으로 하였고, Body Mass Index는 23 kg/m² 이하였으며, 피험자는 AST(Aspartate Aminotransferase), ALT(Alanine Aminotransferase), Total Cholesterol, Blood Glucose 항목에 대한 Screening Test(Table 1) 외 각종 병력, 질환, 약물 복용, 임신 여부 등 (주)네오뉴트라 선별기준을 통과한 10명이 선정되었다((주)네오뉴트라 2012). 인체장기 중 간(liver)은 포도당 및 기타 탄수화물 대사, 단백질 합성, 지질 대사, 약물 대사 등을 담당하며, 혈당지수(Glycemic index, GI)는 식후에 탄수화물의 흡수속도를 반영하기 위하여 제안된 방법이므로 탄수화물의 대사 이상 유무를 확인하기 위해 간 기능 검사의 대표적인 지표인 AST(Aspartate Aminotransferase), ALT(Alanine Aminotransferase)를 측정하여 피험자를 선정하였다.

3. GI 측정 실험

피험자는 표준식품 및 비교식품 섭취 실험 전까지 12시간 이상 금식하였고, 실험 data의 안정성과 신뢰도를 높이기 위해 실험 전날 저녁의 식이를 동일하게 유지하도록 하였다. 피험자는 실험 전날 금주하였고, 실험이 완료될 때까지 금연하였다. 피험자의 혈당 안정도를 확인하기 위해 섭취 전 30분, 0분에 혈당을 측정하여 차이가 4 미만인 경우에 식품의

Table 1. Results of screening test

Contents	AST ¹⁾	ALT ²⁾	Total cholesterol	Blood glucose
Testee				
Standard range	M: 0~40 U/ℓ F: 0~32 U/ℓ	M: 0~41 U/ℓ F: 0~33 U/ℓ	0~199 mg/dℓ	74~106 mg/dℓ
Female A	19	12	187	80
Female B	17	14	124	89
Female C	19	11	128	91
Female D	20	12	169	85
Female E	16	10	183	87
Male A	23	18	160	91
Male B	26	21	148	79
Male C	24	17	170	94
Male D	33	41	153	83
Male E	20	19	188	84

¹⁾ AST: Aspartate aminotransferase. ²⁾ ALT: Alanine aminotransferase.

섭취를 시작하였다.

표준식품 및 비교식품은 2주에 걸쳐 일주일 간격으로 총 2회에 걸쳐 시행하였으며, 표준식품의 경우 포도당 50 g을 정제수 250 ml에 녹여 5~10분 이내에 섭취하도록 하였다. 섭취 시작 0분을 시작으로 15, 30, 45, 60, 90, 120분에 각각 혈당을 측정하였다. 혈당 측정은 손가락 끝에서 혈액을 채취하여 측정하였으며, 채혈기에 멸균된 채혈침을 장착하여 채혈준비를 하고, 혈당 측정 시험지를 혈당 측정기에 삽입한 뒤 채혈기로 손가락 끝에서 채혈하였으며, 손가락을 주물러 혈액을 모은 뒤 혈당 측정 시험지의 끝부분에 혈액을 떨어뜨려서 혈당수치를 확인하였다.

비교식품은 5% D-xylose 첨가 설탕(XyloSugar)과 10% D-xylose 첨가 설탕(XyloSugar10)으로, XyloSugar의 조성은 설탕 47.5 g과 D-xylose 2.5 g이었으며, 이를 정제수 250 ml에 녹여 같은 방법으로 섭취 후 혈당을 측정하였으며, XyloSugar10의 조성은 설탕 45 g과 D-xylose 5 g이었으며, 이를 정제수 250 ml에 녹여 같은 방법으로 섭취 후 혈당을 측정하였다.

4. GI의 계산

GI의 산출 방법은 가장 많이 사용되는 방법인 Incremental AUC method를 사용하였다(쥬네오뉴트라 2012). AUC(Area Under The Curve) 산출 방법은 Total AUC, Incremental AUC_{cut}, Incremental AUC, Incremental AUC_{min}, net incremental AUC 총 5가지의 방법이 있으며, Incremental AUC method는 반응곡선의 기준선 위 영역만을 이용하는 방법으로 5가지 방법 중 GI의 표준편차 값이 가장 낮아 높은 정확도를 가지고 있으며, 0분대의 혈당수치를 기준선으로 기준선 위의 면적만을 계

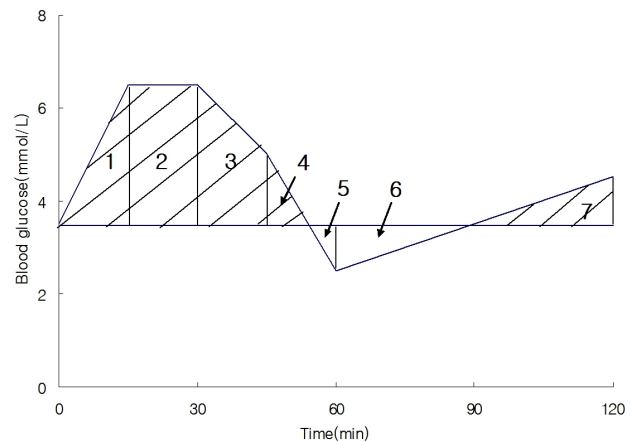


Fig. 1. Calculation of incremental AUC. The area over the baseline under the curve, ignoring area beneath the curve.

산하여 합산한다(Fig. 1에서 1, 2, 3, 4, 7 부분 면적 합계). 표준식품 및 비교식품 섭취 후의 혈당 변화 곡선에서 각각 Incremental AUC를 계산한 후 두 값을 다음의 식에 대입하여 비교 식품의 GI를 산출하였다.

$$\frac{\text{비교 식품 50 g 섭취 후의 AUC}}{\text{표준 식품 50 g 섭취 후의 AUC}} \times 100 = \text{GI}$$

5. 통계분석

모든 실험결과는 Minitab 14 프로그램을 이용하여 평균과 표준편차를 구하였으며, 분산분석(ANOVA) 및 student t-test를 이용하여 $p < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이를 검증하였다.

결과 및 고찰

XyloSugar와 XyloSugar10 섭취 후 혈중 포도당 농도의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 본 연구 결과에 의하면 GI 측정에 참가한 10명의 피험자는 포도당을 섭취한 후 혈액 내 포도당 농도 변화의 추이가 서로 다른 것을 확인할 수 있었다(data not shown). 대부분의 경우, 포도당 섭취 시 혈당 상승폭이 높으며, 섭취 후 30분 내지 45분의 혈당이 가장 높고, 120분이 되면 상승된 혈당이 정상상태로 회복되거나 또는 회복하지 못한 경우도 있는 반면, 혈당 상승폭이 높지 않고 빠른 시간에 섭취 전의 혈당치로 회복되는 경우도 있었다. 이는 GI 측정 실험에 참가한 피험자들의 탄수화물 소화 및 흡수율이 각기 다르다는 것을 의미하며, 이러한 차이는 생물학적 다양성으로 혈당 반응 정도가 개인별 차이에 기인한다고 볼 수 있다. 따라서 신뢰할 만한 GI 수치를 위해 최소 10명 이상의 피험자를 대상으로 진행하며, 개인별 혈당 반응 실험을 2회에 걸쳐 실시하는 이유가 여기에 있다고 할 수 있다. 그러나 이러한 개인간의 차이에도 불구하고, 피험자 모두에서 XyloSugar와 XyloSugar10을 섭취한 경우 혈액 내 포도당 농도의 최고점이 낮게 유지되는 결과를 보였으며, 시간에 따른 혈액 내 포도당 농도의 변화 또한 완만한 변화를 보이는 것으로 확인되었으며, 이는 Seri 등(1996)의 동물실험 결과와 Bae 등(2011)의 인체실험 결과와 유사하다. XyloSugar의 GI 수치를 산출한 결과, 최소 30.6에서 최대 72.1까지 분포하였고, 피험자 10명의 GI 수치는 49.3으로 계산되었으며, XyloSugar10의 GI 수치는 최소 23.6에서 최대 79.6까지 분포하였고, 피험자 10명의 GI 수치는 50.4로 계산되었다. 순수한 설탕의 GI 수치는

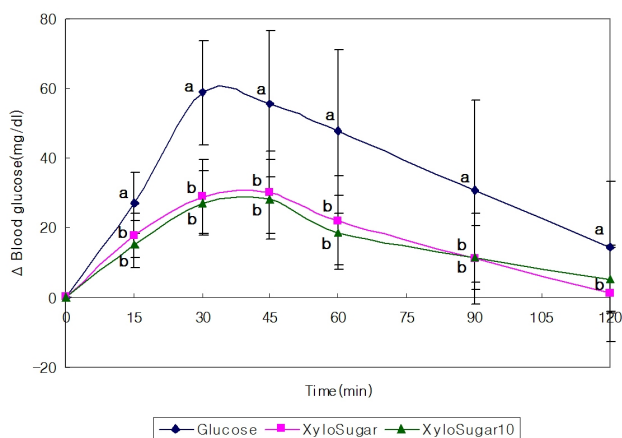


Fig. 2. Mean blood glucose responses after ingestion of the control (glucose 50 g) and test solution [XyloSugar (sucrose 47.5 g, xylose 2.5 g) and XyloSugar10 (sucrose 45 g, xylose 5 g)]. Values with differences letters (a, b) at the same time point are significantly different (ANOVA and student *t*-test, **p*<0.05).

Table 2. GIs of XyloSugar and XyloSugar10

Subject	XyloSugar	XyloSugar10
Female A	38.50	23.63
Female B	32.94	37.78
Female C	54.27	49.69
Female D	72.09	78.92
Female E	44.81	33.67
Male A	51.50	62.84
Male B	46.18	37.06
Male C	70.82	45.57
Male D	30.58	54.96
Male E	51.42	79.55
Average	49.31	50.37
Standard deviation (S.D.)	13.35	17.88
Coefficient of variation (C.V.)	27.06	36.00

68로 보고되어 있으며(Foster-Powell 등 2002), XyloSugar는 순수한 설탕의 GI에 비해 약 27.5% 낮았으며, XyloSugar10은 약 25.9% 낮았다(Table 2).

XyloSugar는 설탕의 절대량이 5% 적기 때문에 설탕의 절대량을 반영한 이론적인 GI 수치는 64.6으로 계산되었고, 이론적인 GI 수치에 비해 23.7% 낮았다. XyloSugar10도 설탕의 절대량이 10% 적기 때문에 설탕의 절대량을 반영한 이론적인 GI 수치는 61.2로 계산되었고, 이론적인 GI 수치에 비하여 17.7% 낮았다. XyloSugar의 혈당상승폭과 XyloSugar10의 혈당상승폭은 섭취 후 15~120분 모두에서 통계학적으로 유의적인 차이를 보이지 않았으며(Fig. 2), XyloSugar의 GI와 XyloSugar10의 GI 역시 통계학적으로 유의적인 차이가 없었다(Fig. 3). D-xylose 농도가 10%에서 5%로 감소되어도 GI에 영향을 미치지 않았으며, GI가 D-xylose의 농도에 따라 의존적으로 감소하지는 않는 것으로 확인되었다(Fig. 3). XyloSugar10의 GI 저감 효과율 25.9%는 Bae 등(2011)이 보고한 10% D-xylose를 첨가한 설탕의 GI 저감 효과율인 21.4%와 유사하였다. 서로 다른 실험에서 10% 가량의 D-xylose 첨가가 유사한 GI 저감 효과를 나타냈으므로, XyloSugar의 GI 저감 효과율 27.5%는 신뢰성 있는 결과로 판단된다. 추가적인 GI 측정 실험 결과, 3%(w/w) D-xylose 첨가 설탕의 경우 GI 저감효과가 미미하였다(data not shown). D-xylose의 sucrose 저해 형식은 uncompetitive 방식이며, 상세하게는 sucrose가 설탕의 과당을 해리한 후 포도당과 공유결합한 중간상태에 결합하여 저해하는 것으로 알려져 있으며(Seri 등 1996; Yoon 2003), 이는 D-xylose가 효소 기질 결합체와 1:1 반응을 한다는 증거이다. Human sucrose의 분자량은 130 kDa이며(Ziambaras 등 1996), 반면에 D-xylose는 150 Da으로 sucrose에 비해 D-xylose의 분자량은 0.1%밖에

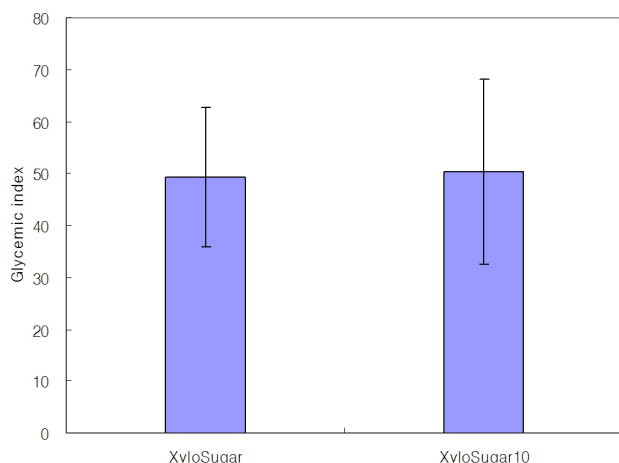


Fig. 3. GIs of XyloSugar and XyloSugar10. GIs of XyloSugar and XyloSugar10 were 49.3 and 50.4, respectively.

되지 않는다. Sucrase와 D-xylose는 소장에서 1:1 반응을 하고, 분자량 차이가 크기 때문에, 소장 내에는 sucrase 분자보다 5%(w/w) D-xylose의 첨가로 인한 D-xylose 분자가 더 많이 존재할 것이므로, 5%(w/w) 이상의 D-xylose는 과량이어서 XyloSugar와 XyloSugar10의 GI 저감효과는 유사한 것으로 추정된다. 이러한 결과는 5%(w/w) D-xylose를 첨가한 설탕의 동물실험 결과와 유사하며(Asano 등 1996), 설탕의 GI를 27.5% 가량 낮출 수 있는 D-xylose의 적정 농도는 5%(w/w)로 판단된다.

Lee & Shin(2002), Lee 등(2009)의 연구에 의하면 체내에서 혈당을 낮추는 역할을 하는 물질들은 곡물의 추출물 및 식이 섬유가 보고되고 있으며, 다양한 식품에 직접 응용할 수 있는 단일물질은 L-arabinose와 D-xylose가 보고되고 있다(Asano 등 1996). Low GI 식품은 혈액 내 혈당 및 인슐린의 농도를 낮게 유지시키는데 도움을 준다고 알려져 있다. 이전의 연구결과에 의하면 low GI 식품은 당뇨, 비만 및 심혈관계 질환의 예방 및 증상 호전에 도움을 줄 수 있는 것으로 보고되고 있다(Brand-Miller 등 2002; Hodge 등 2004). 설탕은 medium GI 식품으로 알려져 있으며, 당뇨, 비만 등 대사질환자들은 섭취를 제한하고 있다. 그러나 본 연구 결과에 의하면 XyloSugar와 XyloSugar10은 GI 수치가 유사하게 계산되었으며, 둘 다 GI가 55 이하로 low GI 식품으로 분류될 수 있으며, 이는 당뇨, 비만 등 low GI 식이가 요구되는 사람에게 적합한 제품으로 사용 가능하다는 것을 의미한다.

요 약

본 연구의 목적은 설탕의 Glycemic index(GI) 저감효과를 기대할 수 있는 D-xylose의 적정 농도를 조사하는 것이다. 그

결과, 5% D-xylose 첨가 설탕의 GI는 일반설탕의 GI 수치인 68에 비해 약 27.5% 낮은 49.3이었으며, 10% D-xylose 첨가 설탕의 GI는 약 25.9% 낮은 50.4로 확인되었다. D-xylose 첨가 설탕의 GI는 D-xylose의 농도 증가에 따라 의존적으로 감소하지는 않는 것으로 확인되었으며, 5% D-xylose 첨가 설탕(XyloSugar)의 GI 저감효과가 10% D-xylose 첨가 설탕(XyloSugar10)의 GI 저감효과와 차이가 없음을 확인하였다. D-xylose는 설탕에 비해 고가일 뿐만 아니라 감미도도 설탕보다 낮다. 그러므로 D-xylose의 농도가 낮을수록 가격, 맛에 있어서 장점이 있다. 따라서 설탕의 GI 저감효과를 기대할 수 있는 D-xylose의 적정 농도는 5%(w/w)로 판단된다.

참고문헌

- Asano T, Yoshimura Y, Kunugita K. 1996. Sucrase inhibitory activity of D-xylose and effect on the elevation of blood glucose in rats. *J Jpn Soc Nutr Food Sci* 49:157-162
- Bae YJ, Bak YK, Kim BS, Kim MS, Lee JH, Sung MK. 2011. Coconut-derived D-xylose affects postprandial glucose and insulin responses in healthy individuals. *Nutr Res Pract* 5:533-539
- Barclay AW, Brand-Miller J. 2011. The Australian paradox: A substantial decline in sugars intake over the same timeframe that overweight and obesity have increased. *Nutrients* 3:491-504
- Bischoff H. 1995. The mechanism of α -glucosidase inhibition in the management of diabetes. *Clin Invest Med* 18:303-31
- Brand-Miller JC, Haholt S, Pawlak DB, McMillan J. 2002. Glycemic index and obesity. *Am J Clin Nutr* 76:281-285
- Brand Miller JC. 1994. Importance of glycemic index in diabetes. *Am J Clin Nutr* 59:747S-752S
- Campbell D. 2011. Experts call for 10% 'fat tax' on soft drinks to prevent obesity. *The Guardian*. Wednesday 21 December 2011 16.59 GMT
- Foster-Powell K, Holt SH, Brand-Miller JC. 2002. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *Am J Clin Nutr* 76:5-56
- Frost G, Leeds AA, Doré CJ, Madeiros S, Brading S, Dornhorst A. 1999. Glycaemic index as a determinant of serum HDL-cholesterol concentration. *Lancet* 353:1045-1048
- Hauri H, Wacker H, Rickli E, Meier B, Quaroni A, Semenza G. 1982. Biosynthesis of sucrase-isomaltase. *J Biol Chem* 257: 4522-4528
- Hodge AM, O'dea K, English DR, Giles GG. 2004. Glycemic index and dietary fiber and the risk of type 2 diabetes.

- Diabetes Care* 27:2701-2706
- Homler BE. 1984. Properties and stability of aspartame. *Food Technol* 38:50-55
- Jenkins DJ, Jenkins AL. 1995. Nutrition principles and diabetes. A role for "lente carbohydrate?" *Diabetes Care* 18:1491-1498
- Jenkins DJ, Wolever TM, Taylor RH, Barker H, Fielder H, Baldwin JM, Bowling AC, Newman HC, Jenkins AL, Goff DV. 1981. Glycemic index of food: A physiological basis for carbohydrate exchange. *Am J Clin Nutr* 34:362-366
- Kim KY, Nam KA, Kurihara H, Kim SM. 2008. Potent α -glucosidase inhibitors purified from the red alga *Grateloupia elliptica*. *Phytochemistry* 69:2820-2825
- Krog-Mikkelsen I, Hels O, Tetens I, Holst JJ, Andersen JR, Bukhave K. 2011. The effects of L-arabinose on intestinal sucrase activity: Dose-response studies *in vitro* and in humans. *Am J Clin Nutr* 94:447-453
- Lee C, Shin JS. 2002. The effect of dietary fiber content of rice on the postprandial serum glucose response in normal subject. *Korean J Food & Nutr* 15:173-177
- Lee MH, Lee JS, Lee TH, Koo JG, Lee YC, Jeong SW, Nahmngung B, Yang HC. 2009. Effects of added buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) extract on starch hydrolysis *in vitro* and glucose responses in healthy subjects. *Korean J Food & Nutr* 22:625-632
- Ludwig DS. 2000. Dietary glycemic index and obesity. *J Nutr* 130:280S-283S
- Liu S, Willett WC, Stampfer MJ, Hu FB, Franz M, Sampson L, Hennekens CH, Manson JE. 2000. A prospective study of dietary glycemic load, carbohydrate intake, and risk of coronary heart disease in US women. *Am J Clin Nutr* 71:1455-1461
- Matsui T, Yoshimoto C, Osajima K, Oki T, Osajima Y. 1996. *In vitro* survey of α -glucosidase inhibitory food components. *Biosci Biotechnol Biochem* 60:2019-2022
- Nam SJ, Kim KO. 1989. Characteristics of Sikhye (Korean traditional drink) made with different amount of cooked rice and malt and with different sweeteners. *Korean J Food Sci Technol* 21:197-202
- Nelson AL. 2000. Sweeteners: Alternative. Properties of High Intensity Sweeteners. pp.17-29. Eagan Press, St. Paul, MN, USA
- Nelson AL. 2000. Sweeteners: Alternative. Special Topics. pp. 91-95. Eagan Press, St. Paul, MN, USA
- Oki T, Matsui T, Osajima Y. 1999. Inhibitory effect of α -glucosidase inhibitors varies according to its origin. *J Agric Food Chem* 47:550-553
- Park SM, Lee SR. 1992. Estimation of the total dietary intake of saccharin by Korean population. *Korean J Food Sci Technol* 24:563-567
- Parnell W, Wilson N, Alexander D, Wohlers M, Williden M, Mann J, Gray A. 2008. Exploring the relationship between sugars and obesity. *Public Health Nutr* 11:860-866
- Pong L, Johnson JM, Barbeau We, Stewart DL. 1991. Evaluation of alternative fat and sweetener systems in cupcakes. *Cereal Chem* 68:552-555
- Puls W, Keup U. 1975. Inhibition of sucrase by Tris in rat and man, demonstrated by oral loading tests with sucrose. *Metabolism* 24:93-98
- Saito N, Sakai H, Sekihara H, Yajima Y. 1998. Effect of an α -glucosidase inhibitor (voglibose), in combination with sulphonilureas, on glycaemic control in type 2 diabetes patients. *J Int Med Res* 26:219-232
- Salmerón J, Manson JE, Stampfer MJ, Colditz GA, Wing AL, Willett WC. 1997. Dietary fiber, glycemic load, and risk of non-insulin-dependent diabetes mellitus in women. *JAMA*. 277:462-467
- Seri K, Sanai K, Matsuo N, Kawakubo K, Xue C, Inoue S. 1996. L-Arabinose selectively inhibits intestinal sucrase in an uncompetitive manner and suppresses glycemic response after sucrose ingestion in animals. *Metabolism* 45:1368-1374
- Stanik S, Marcus R. 1980. Insulin secretion improves following dietary control of plasma glucose in severely hyperglycemic obese patients. *Metabolism* 29:346-350
- Toeller M. 1994. α -Glucosidase inhibitors in diabetes: Efficacy in NIDDM subjects. *Eur J Clin Invest* 24:31-35
- Wolever TM, Jenkins DJ, Jenkins AL, Josse RG. 1991. The glycemic index method ology and clinical implication. *Am J Clin Nutr* 51:846-854
- Wolever TM, Jenkins DJ, Vuksan V, Jenkins AL, Wong GS, Josse RG. 1992. Beneficial effect of low-glycemic index diet in overweight NIDDM subjects. *Diabetes Care* 15:562-564
- Ziambaras T, Rubin DC, Perlmutter DH. 1996. Regulation of sucrase-isomaltase gene expression in human intestinal epithelial cells by inflammatory cytokines. *J Biol Chem* 271:1237-1242
- (주)네오뉴트라. 2012. Glycemic index (GI) 연구 보고서 - '자일로스, 자일로스, 자일로스' -

접 수 : 2012년 8월 30일
 최종수정 : 2012년 10월 31일
 채 택 : 2012년 11월 5일