

## 식품소재로서의 Xylooligosaccharide의 물리화학적 특성

박윤제 · 이지완 · 이창승 · 류보경 · 양창근  
대한제당(주) 중앙연구소

### Physicochemical Properties of Xylooligosaccharide as Food Material

Youn-Je Park, Ji-Wan Lee, Chang-Seung Lee, Bo-Kyung Rhew and Chang-Kun Yang  
Research and Development Center, TS Corporation

Physicochemical properties including viscosity, temperature and pH stability, color turbidity and moisture retention power of xylooligosaccharide(XO) as food material were investigated to apply to food process. The viscosity of 70 bx XO was 930 cP at 20°C and 90 cP at 60°C, which was higher than that of sugar but lower than that of other oligosacchrides. XO remained stable after heat treatment for 1hr at 100°C and pH 2.5 to 8.0 indicating excellent heat and pH stability. The pH of XO was measured 5.0±0.1 and the color turbidity of XO was very low at pH 2.5-4.0. The color turbidity of XO increased as pH increased, but it was not high enough to affect food process. When heated with 1% glycine the color turbidity of XO was very low and changed little with pH changes. To measure moisture retention power XO was stored at 25°C and 75% relative humidity for 71 day. XO retained more than 95% of the original weight; whereas sugar lost 28%. These results suggest that XO has useful physicochemical properties for various food process to improve the functionality of food.

Key words : xylooligosaccharide, property

### 서 론

Xylooligosaccharide는 그 기능성이 다른 올리고당보다 뛰어나다고 알려져 있으나<sup>(1)</sup> 지금까지 일본에서만 생산되어 오던 중 최근 대한제당(주) 중앙연구소에서 개발을 완료한 기능성 올리고당이다<sup>(2)</sup>.

일반적으로 올리고당은 전분, 설탕, 유당 등으로부터 효소를 이용하여 생산하는데, glucose, fructose 등과 같은 단당류가 2~10개씩 glycosidic 결합에 의해 구성된 탄수화물로서 수용성이며 식품에 여러 가지 기능성을 부여해주는 특성을 가지고 있다. 특히 올리고당은 저칼로리 식품으로 비만, 성인병 등을 예방하기 위한 대체감미료로서 뿐 아니라 충치예방 효과 및 대표적인 장내 유용미생물인 bifidus의 증식인자로 알려져 있다<sup>(3)</sup>. 올리고당은 대부분 난소화성으로 사람의 장관에서 소화흡수 되지 않고 장내 서식하는 bifidus에 의해 선택적으로 이용됨으로써 증식을 촉진하는데 이를 통해 장내 유해 대사물 감소, 변비 방지, 간기능 보호, 혈청콜레스테롤 감소, 혈압 강하, 혈당치 개선, 항암효과 등과 같은 질병예방

및 건강유지 역할을 하는 기능성 식품소재로 이용되고 있다. 이와 같은 기능성으로 인해 올리고당은 국민 식생활의 향상과 건강 관심도의 증대에 따라 그 인식이 확대되고 있으며 음료, 과자, 카라멜, 초콜릿, 쿠키, 케이크, 빵, 통조림, 아이스크림, 잼, 젤리, 요구르트, 주류 등에 이용되고 있다<sup>(4)</sup>. 또한, 그 수요가 점차 증가하고 있어 새로운 종류의 기능성 올리고당이 지속적으로 연구 개발되고 있다<sup>(5)</sup>.

한편 xylooligosaccharide 역시 다른 올리고당과 마찬가지로 효소를 이용하여 생산하는데<sup>(6)</sup>, 이것의 원료는 식물체 hemicellulose의 주된 구성성분인 xylan으로서 comcob와 같은 천연 식물체로부터 추출하여 얻는다. Xylooligosaccharide는 이 xylan을 기질로 하여 효소로 분해하여 얻은 올리고당으로서 주된 구성성분은 xylose 두개가 β-1,4 결합한 xylobiose와 세개 결합한 xylotriose로 알려져 있다<sup>(7)</sup>. Xylooligosaccharide는 그 감미도가 설탕의 약 40%정도로 알려져 있으며 다른 올리고당과 같이 장내 유해미생물의 생육억제 및 bifidus균의 증식인자<sup>(8)</sup>, 장내균총 개선, 변성 개선, 난소화성 및 담즙산 흡수 지연 효과<sup>(9)</sup> 등의 기능성이 확인된 바 있고, 특히 bifidus 활성이 다른 올리고당보다 10~30배 가량 높아 일일 유효 섭취량이 소량으로도 충분하다는 장점이 있다<sup>(9)</sup>.

Xylooligosaccharide는 그 우수성에도 불구하고 현재 일본에서만 고가로 시판 중에 있으며 국내에서도 최근 시제품이 생산되고 있다<sup>(2)</sup>. 본 연구에 사용된 xylooligosaccharide는 자연계에 존재하는 comcob으로부터 xylan을 얻고<sup>(10)</sup> 미생물로

Corresponding author : Youn-Je Park, Department of Biotechnology, Research and Development Center, TS Corporation, 6-14, 1Ka, Buk-sung-Dong, Chung-Ku, Incheon 400-201, Korea  
Tel : 82-32-770-1442  
Fax : 82-32-770-1603  
E-mail : tsbiol@soback.kornet.net

부터 효소인 xylanase를 얻은 다음<sup>(11)</sup>, xylan을 원료로 하여 효소반응을 통해 제조한 물질이다. 이 올리고당에 대하여 한국화학연구소와 공동으로 유전독성과 급성독성을 평가한 결과 이들이 복귀돌연변이를 유발하지 않고<sup>(12)</sup> LD<sub>50</sub>값은 암수 모두 10,000 mg/kg을 상회하는 것으로 보고한 바 있다<sup>(13)</sup>. 또한, 랫트에 xylooligosaccharide를 13주간 반복 경구투여한 아 급성 독성시험에서도 최대 무작용량이 3000 mg/kg 이상으로 나타나 설탕이나 포도당과 유사한 안전성이 확보된 것으로 보고한 바 있고<sup>(14)</sup>, 확보된 안전성을 근거로 xylooligosaccharide를 식품으로 사용하기 위하여 1998년 11월에 식품공전에 등재하여 현재 식품으로 이용중이다<sup>(15)</sup>.

그러나, xylooligosaccharide의 기능성과 안전성은 밝혀진 상태이나 다양한 식품소재로 응용하기 위한 물리화학적 특성에 대한 연구는 아직 미미한 실정이다. 일반적으로 올리고당은 다른 가공식품의 기능성을 증진시키기 위하여 가공시 첨가되는데, 주류나 음료, 과자 등에 많이 사용되고 있고 점도 및 내열성, 착색성 등의 물리화학적 특성이 가공특성으로 중요하다. 또한, 올리고당이 bifidus 증식인자로 이용됨에 따라 유산균 음료에 많이 첨가되는데 유산균 음료는 pH가 낮으므로 pH에 대한 안정성 및 pH의 변화에 따른 착색성 등이 중요하다. 이에 본 연구는 국내에서 개발된 xylooligosaccharide의 기능성식품소재로서의 용도개발과 제품화 및 응용을 목적으로, 효소를 이용하여 생산한 xylooligosaccharide의 점도, 내열성 및 pH 안정성, 착색성, 수분보습력 등의 식품소재로서 필요한 각종 특성을 조사, 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 효소반응 및 xylooligosaccharide 제조

본 연구에 사용한 효소인 xylanase를 얻기 위하여 *Clostridium thermocellum* 유래의 xylanase 유전자<sup>(11)</sup>가 삽입된 재조합 균주 *Bacillus subtilis* DB104/pJX18을 50 L 발효기(Korea Fermentor Co. Korea)에서 배양 후, 배양액을 원심분리 한 다음 한외여과막 10,000인 한외여과기를 이용하여 농축하여 효소액으로 사용하였다. 기질인 xylan은 건조 corncob을 7.5% NaOH 수용액을 이용하여 추출한 다음 중화, 세척 후 건조하여 사용하였다<sup>(10)</sup>.

효소반응을 위하여 기질인 건조 xylan을 5%(w/v) 농도로 만든 다음 10 unit/mL 농도의 효소액을 첨가한 후 55°C, pH 5.4에서 150 rpm으로 교반하며 4시간동안 반응하였다<sup>(16)</sup>. 반응액은 8,000 rpm에서 15분간 원심분리하여 침전물을 제거한 후 한외여과기(Proflux M12, Amicon, USA)를 이용하여 탈색여과하고<sup>(17)</sup>, 여과액을 이온교환수지를 이용하여 정제한 후 rotary evaporator(EL131, Buchi, Switzerland)를 이용하여 70 brix로 농축한 후 4°C에 냉장보관하며 실험에 사용하였다.

### 올리고당의 성분분석

제조한 올리고당의 성분분석을 위하여 당농도는 brix meter (RA-120, 東都電子, Japan)를 이용하여 측정하였고, 고형분 함량과 총당은 각각 105°C 건조법 및 DNS법으로<sup>(11)</sup> 측정하였다. 올리고당의 정성분석은 carbohydrate analysis column을

**Table 1. Analytical conditions for xylooligosaccharide by HPLC**

System	Waters HPLC system (Model 510)
Column	Carbohydrate analysis column (4.6×250mm, Waters)
Detector	RI detector (R401)
Mobile phase	75% Acetonitrile (Fisher, Co.)
Flow rate	1.4 mL/min
Injection volume	10 μL

이용하여 HPLC(Model 510, Waters, USA)로 분석하였고, HPLC 분석조건은 Table 1에 나타내었다.

### 점도측정

고형분 농도가 70%인 xylooligosaccharide 용액에 대하여 시료를 항온수조에서 10, 20, 30, 40, 50 및 60°C의 온도로 각각 맞춘 후 온도별로 점도를 측정하였다. 점도계는 Viscotester 점도계(VT-04, RION CO., LTD., Japan)를 이용하여 측정하였다.

### 내열성 및 pH 안정성

Xylooligosaccharide 시료를 10% 고형분 농도로 희석한 후 1 N HCl과 1 N NaOH를 이용하여 pH를 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5 및 8.0으로 각각 조정하고 100°C에서 1시간동안 처리한 후 급냉하여 잔존하는 올리고당의 함량을 HPLC로 분석하였다(Table 1). 잔존율은 아래와 같이 원료당액의 올리고당 함량을 100으로 하여 열처리한 당액내에 함유된 올리고당의 함량을 환산하여 구하였다.

$$\text{잔존율(Stability, \%)} = \frac{\text{열처리 후의 올리고당의 함량}}{\text{원료 당액의 올리고당 함량}} \times 100$$

### Xylooligosaccharide의 착색성

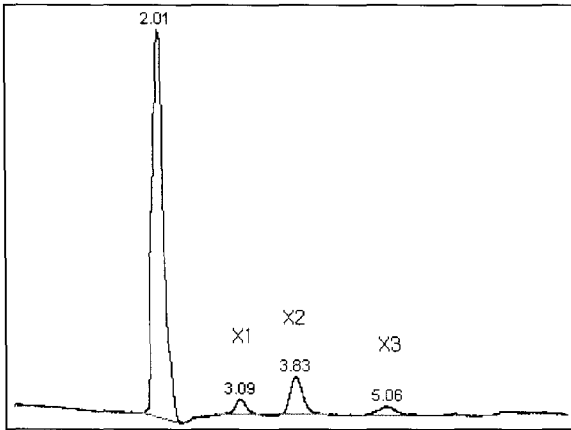
Xylooligosaccharide 시료를 10% 고형분 농도로 희석한 후 pH 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5 및 8.0으로 각각 조정하고 100°C에서 3시간동안 처리한 후 급냉하여 착색성을 측정하였다. 시료의 색도는 분광광도계(UV-260, Shimadzu, Japan)를 이용하여 420 nm에서 흡광도를 측정하여 결정하였다.

### Xylooligosaccharide의 아미노산 존재하에서의 착색성

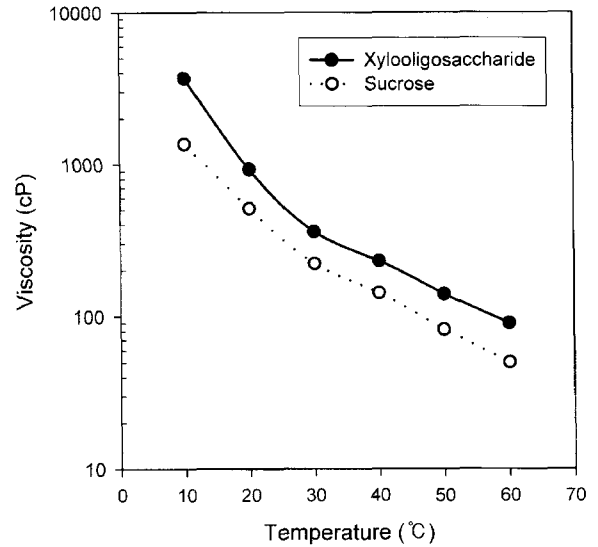
Xylooligosaccharide 시료를 1% 고형분 농도로 희석한 후 아미노산의 일종인 Glycine(Sigma, USA) 1%를 첨가하고 pH를 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5 및 8.0으로 각각 조정하고 100°C에서 3시간 처리한 후 급냉하여 420 nm에서 흡광도를 측정하였다.

### 수분보습력

70% 고형분 농도의 xylooligosaccharide와 같은 농도의 설탕 시료를 각각 25°C에서 상대습도 75% chamber에 넣어 보관하면서 시간경과에 따른 무게변화를 측정하여 시료의 수분보습력을 비교하였다. 수분보습력은 초기 무게에 대한 비율로 계산하였다.



**Fig. 1. HPLC Chromatogram of xylooligosaccharide produced by the enzymatic hydrolysis of xylan**  
 Xylanase of 10 unit/mL was reacted with 5%(w/v) xylan at 55°C, pH 5.4 for 4h. X1; xylose, X2; xylobiose, X3; xylotriose.



**Fig. 2. Effect of temperature on viscosity of 70 bx xylooligosaccharide and sucrose**

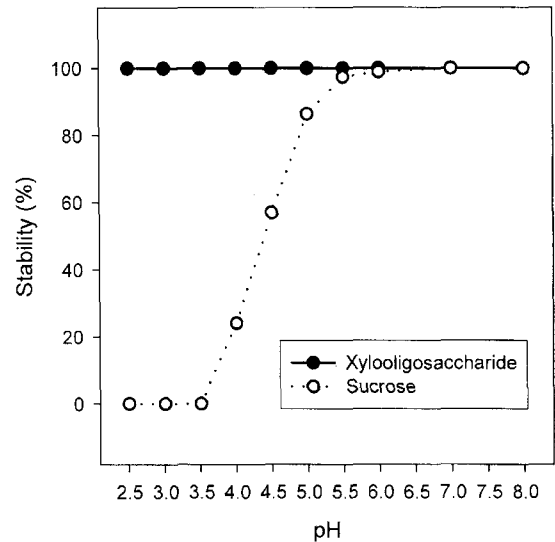
**결과 및 고찰**

**Xylooligosaccharide의 제조 및 HPLC 분석**

재조합 균주 *B. subtilis* DB104/pJX18로부터 생산한 *Clostridium* 유래의 재조합 xylanase를 corncob에서 추출한 xylan을 기질로 하여 반응한 결과, 효소의 가수분해로 인해 생성되는 xylooligosaccharide는 그 성분이 주로 xylobiose, xylotriose로 나타났다(Fig. 1). 특히, 그 기능성이 우수하다고 알려진 xylobiose의 함량이 70% 이상을 나타내었는데<sup>(18)</sup>, 이러한 결과는 일본의 Suntory사에서 *Trichoderma* sp. 유래의 xylanase로 반응하여 생산한 xylooligosaccharide가 58%의 xylobiose를 함유하고 있는 것에 비해 더 높은 값을 나타내어 전체 반응물의 기능성도 우수할 것으로 보인다<sup>(1)</sup>. 생성물의 성분 중 당류인 xylose도 존재하였는데 이는 반응 시간이 증가할수록 그 함량이 증가하는 경향을 보였다. 또한, 주 성분인 xylobiose와 xylotriose도 그 성분비가 시간에 따라 변화하여 반응시간에 따라 증가하던 xylotriose가 일정시간 이후 감소하고 xylobiose가 점차 증가하였는데 이러한 현상은 반응시간이 오래될수록 생산된 xylotriose등이 당류와 이당류로 분해됨으로써 일어나는 것으로 보인다.

**점도측정**

온도에 따른 70Bx xylooligosaccharide의 점도변화는 Fig. 2와 같다. 온도에 따른 변화를 볼 때 20°C에서 930 cp의 높은 값을 나타내었으나 온도 증가에 따라 급격한 점도 감소를 보여 60°C에서는 90 cp의 값을 보였다. 이러한 xylooligosaccharide의 점도는 같은 조건에서 측정된 설탕의 점도가 20°C에서 481 cp, 60°C에서 39 cp의 점도를 나타내는데 비해 약 2배 정도 높은 점도를 가지고 있었으나<sup>(16)</sup> 온도의 증가에 따른 점도의 감소경향은 비슷하게 나타났다. 또한 유사한 조건에서 측정된 이소말토올리고당, 프락토올리고당, 대두갈락토올리고당의 점도와 비교해 볼 때는 약간 낮은 점도를 나타내었다<sup>(3,5,19)</sup>. 또, 일본의 xylooligosaccharide 제품과 비교해 볼 때 더 낮은 점도를 나타내었는데 이는 본 연구에 사용된 xylooligosaccharide가 성분 중에 점성이 낮은 이당류인 xylo-

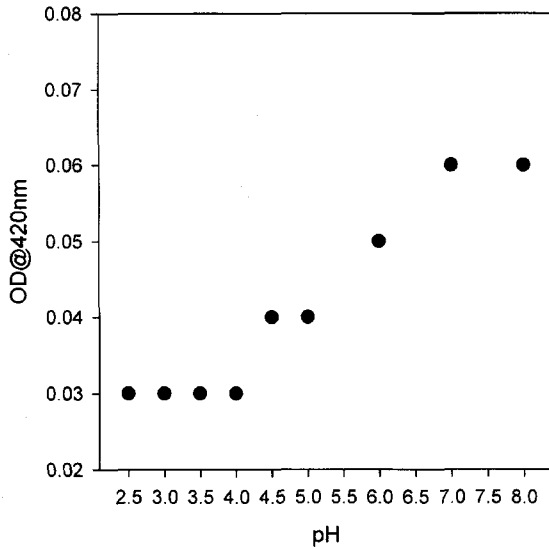


**Fig. 3. Effect of pH and temperature on the stability of xylooligosaccharide and sucrose**  
 10 bx samples were treated at 100°C for 1 h.

biose의 함량이 상대적으로 많은 것에 기인한 것으로 생각된다<sup>(4)</sup>. 이상의 결과에서 xylooligosaccharide를 식품소재로서 사용할 경우, 고온조건에서는 고점도에 의한 식품 가공의 어려움을 피할 수 있을 것으로 보이며, 식품의 물성변화를 거의 유발시키지 않고 다양하게 응용될 수 있을 것으로 판단된다.

**내열성 및 pH 안정성**

Xylooligosaccharide의 내열성을 pH 2.5~8.0에서 1시간 동안 100°C로 처리한 결과는 Fig. 3과 같다. Xylooligosaccharide의 내열성은 100°C에서 1시간동안 처리 후에도 전혀 분해없이 그대로 유지되었고, pH에 대하여도 시험에 사용된 모든 pH에서 잔존율이 우수하여 안정성이 매우 높은 것으로 나타난 반면, 설탕은 pH 5.5 이하에서 분해되기 시작하다가 pH 3.5 이하에서 완전히 분해되어 안정성이 낮은 것으로 나



**Fig. 4. Color turbidity of xylooligosaccharide at various pH**  
Xylooligosaccharide of 10 bx was treated at 100°C for 3 h and color turbidity was measured at 420 nm.

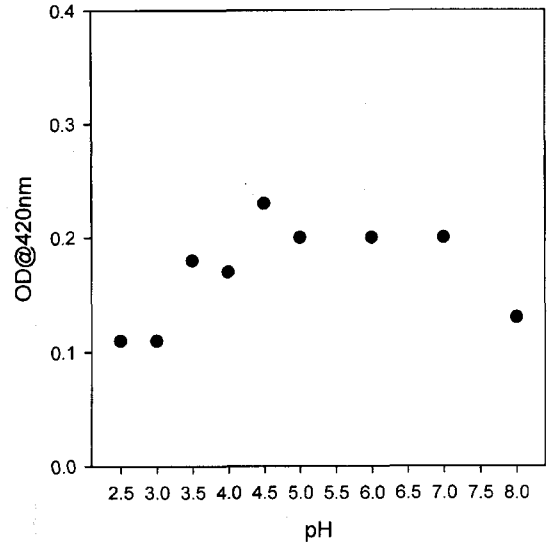
타났는데, 이러한 결과는 일본의 Suntory사의 결과와 매우 유사하였다<sup>(4)</sup>. 그러므로 xylooligosaccharide를 식품소재로서 사용할 경우 pH가 낮은 유산균 음료 같은 식품에도 첨가가 가능하여 넓은 범위의 pH에 해당하는 다양한 식품에 사용이 가능하며, 온도에 대해서도 매우 안정하여 식품의 처리공정 중에서도 안정하게 잔존하므로 설탕을 이용하기 어려운 다양한 열처리식품에 사용할 수 있을 것으로 생각된다<sup>(19)</sup>.

#### Xylooligosaccharide의 착색성

Xylooligosaccharide의 pH에 따른 착색성의 변화는 Fig. 4와 같다. Xylooligosaccharide의 기본 pH는  $5.0 \pm 0.1$ 인데 HCl, NaOH를 이용하여 pH를 변화시킨 후 열처리한 결과 pH에 따른 착색성의 변화는 pH 2.5~4.0의 범위에서는 나타나지 않았다. 또, pH 4.5에서 약간의 착색성이 나타났으나 큰 차이를 보이지는 않았고, pH 7.0~8.0의 범위에서는 초기 색가의 2배에 가까운 착색성을 보였다. 이러한 pH에 따른 착색성의 변화는 당류가 가진 착색성의 일반적인 특성으로서 일본 제품과 매우 비슷하였고, 산성조건에서는 착색성이 거의 없다가 중성범위에서 착색성이 급증하는 설탕의 흡광도 변화 경향과도 유사하였다<sup>(16)</sup>. 따라서 xylooligosaccharide를 이용하여 식품을 가공할 경우 pH가 높을 경우 착색현상에 유의할 필요가 있으나 중성에서의 xylooligosaccharide의 착색정도가 식품가공에 영향을 줄 정도로 크지 않고 대부분의 식품이 약산성의 pH를 나타내고 있기 때문에 식품가공 중 xylooligosaccharide의 첨가에 의한 식품의 착색효과는 미미할 것으로 생각된다<sup>(4)</sup>.

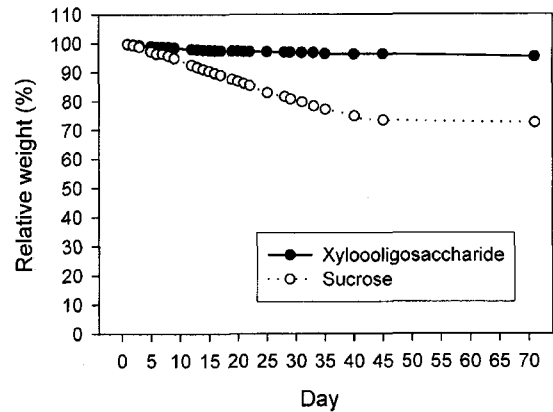
#### Xylooligosaccharide의 아미노산 존재하에서의 착색성

Xylooligosaccharide의 아미노산 공존하에서의 착색성의 변화는 Fig. 5와 같다. 일반적으로 당 중의 hydroxyl기와 아미노산의 아미노기와 반응하면 식품이 갈변되는 Maillard 반응이 일어나게 되는데 식품 중 아미노산이 존재할 경우 xylo-



**Fig. 5. Color turbidity of xylooligosaccharide with amino acid at various pH**

1 bx xylooligosaccharide reacted with 1% glycine was treated at 100°C for 3h and color turbidity was measured at 420 nm.



**Fig. 6. Changes of the weight of xylooligosaccharide and sucrose for 71 day**

70 bx samples were stored 25°C, 75% RH and moisture loss of samples were measured.

ligosaccharide가 식품 가공 중의 Maillard 반응에 의한 갈변에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 식품내에 xylooligosaccharide의 일반적인 첨가량이 1% 미만인 것을 고려하여 1%의 xylooligosaccharide와 아미노산 중 하나인 glycine 1%를 반응시켜 본 결과 pH에 따라 약간의 착색성 차이를 보이는 하였으나 착색성이 매우 낮게 나타났는데, 이러한 결과는 일본의 Suntory사의 xylooligosaccharide의 특성과 유사한 결과이며 전체적으로 xylooligosaccharide에 의한 착색이 식품가공에 크게 영향을 미치는 수준은 아니라고 판단된다<sup>(4)</sup>.

#### Xylooligosaccharide의 수분보습력

25°C, 75% 상대습도의 저장조건에서 xylooligosaccharide와 설탕의 중량변화를 71일간 관찰하였다. 그 결과 xylooligosaccharide는 71일까지도 그 중량이 95% 이상을 유지하였으나 같은 농도의 설탕의 경우 8일째에 중량이 95% 이하로 감소

하였다(Fig. 6). 또한, xylooligosaccharide는 시간에 따른 증량의 감소율이 큰 차이없이 일정한 경향이었으나 설탕은 40일째까지 초기증량의 72%까지 감소 후 일정하게 유지되는 경향을 나타내었다. 이는 xylooligosaccharide가 설탕에 비해 저장기간 중 수분손실이 적어 수분보습력이 훨씬 뛰어나다는 것을 알 수 있었으며 수분보습력이 중요한 제과, 제빵 등에 응용될 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 실험 결과들을 관찰한 결과 xylooligosaccharide는 그 물리화학적 특성상 점도가 설탕보다 높으나 다른 올리고당류보다는 약간 낮으며 내열성 및 pH 안정성을 가지고 있을 뿐만 아니라 착색성 및 아미노산 존재하에서의 착색성이 식품가공에 영향을 없을 정도이고 수분보습력도 뛰어나다. 이러한 결과들로 보아 xylooligosaccharide는 식품 소재로서 다양한 식품가공 공정에 적용할 수 있는 물성을 가지고 있다고 보여지며 식품에 첨가할 경우 기능성을 증진하는데 유용할 것으로 사료된다.

## 요 약

Xylan과 xylanase의 효소반응 후 생성되는 xylooligosaccharide를 식품에 적용하기 위해 점도, 내열성 및 pH 안정성, 착색성, 수분보습력 등의 기본적인 물리화학적 특성을 조사하였다. 70 bx xylooligosaccharide의 점도는 20°C에서 930cP, 60°C에서 90 cp로 설탕보다 높았으나, 다른 올리고당류보다는 약간 낮은 특성을 나타내었으며, pH 2.5-8.0 범위에서 100°C로 1시간 동안 열처리한 후에도 전혀 분해되지 않고 안정하게 잔존하여 내열성과 pH 안정성을 가지고 있음을 알 수 있었다. Xylooligosaccharide의 pH는 5.0±0.1로서 pH 2.5-4.0에서는 그 착색성이 매우 낮았으며, pH가 증가할수록 착색성이 높아지는 경향을 보였으나, 식품가공에 영향을 미치는 수준은 아니었다. Glycine 1%가 함유된 아미노산 공존하에서의 착색성도 매우 낮았으며 pH에 따라 크게 차이를 보이지 않았다. 수분보습력을 조사하기 위하여 71일간 25°C, 75% 상대습도에서 xylooligosaccharide를 저장 후 측정된 결과 95% 이상의 증량을 유지하고 있어 28%가 감량된 설탕보다 수분손실이 훨씬 적어 수분보습력이 훨씬 큰 것을 알 수 있었다. 이러한 결과로 볼 때 xylooligosaccharide는 식품에 사용하기에 적합한 물성을 가지고 있어 기능성 증진 효과를 나타내고자 하는 다양한 식품에 응용 가능할 것으로 판단된다.

## 문 헌

1. Kunimasa, K. and Shigeaki, F. Xylooligosaccharides. Japanese Technology Reviews 3:131-143 (1991)
2. Oh, H.-G., Lee, J.-W., Lee, C.-S., Park, Y.-J., Lee, U.-T., Yang, C.-K. and Yoon, S.-W. Production of xylooligosaccharide from the corncob xylan using the *Clostridium thermocellum* xylanase from recombinant *Bacillus subtilis*. p. 332. In: Proceedings of the

- International Symposium on Probiotic Researches on Lactic Acid Bacteria. The Korean Society for Applied Microbiology, Seoul, Korea (1998)
3. Kim, J.R., Yook, C., Kwon, H.-K., Hong, S.-Y., Park, C.-K. and Park, K.-H. Physical and physiological properties of isomaltooligosaccharides and fructooligosaccharides. Korean J. Food Sci. Technol. 27: 170-175 (1995)
4. 菓子総合技術センター. 飲料品機能性素材有効利用技術シリーズ, No. 12. 三勇社, 東京 (1992)
5. Kim, B.-J., Song, C.-M., Ha, S.-D., Hwang, S.-H., Kim, H.-J., Bae, S.-K. and Kong, J.-Y. Physicochemical properties of agarooligosaccharides for using as food stuffs. Korean J. Food Sci. Technol. 32: 284-190 (2000)
6. Visser, J., Beldman, G., Kusterws, M.A. and Voragen, A.G.J. Xylans and xylanases. Elsevier, Amsterdam, Netherlands (1992)
7. Shigeaki, F., Masako, O., Nobuya, M. and Kunimasa, K. Properties and production of xylooligosaccharide. Denpun Kagaku 37: 69-77 (1990).
8. Masako, O., Shigeaki, F. and Nobuya, M. Effect of xylooligosaccharide on the growth of bifidobacteria. Bifidobact. Microfl. 9: 77-86 (1990)
9. Joo, G.J., Rhee, I.-K., Kim, S.-O. and Rhee, S.-J. Effect of dietary xylooligosaccharide on indigestion and retarding effect of bile acid movement across a dialysis membrane. Korean J. Food Sci. Technol. 27: 705-711 (1998)
10. Lee, J.-W., Park, Y.-J., Oh, H.-G., Lee, C.-S., Lee, U.-T., Yang, C.-K. and Yoon, S.-W. Xylan extraction from corncob. pp. 466-469. In: Proceedings of KSBB Spring Scientific Meeting. The Korean Society for Biotechnology and Bioengineering, Seoul, Korea (1999)
11. Koo, B.-J., Oh, H.-G., Cho, K.-H., Yang, C.-K., Jung, K.-H. and Ryu, D.-Y. Purification and characterization of *Clostridium thermocellum* xylanase from recombinant *Escherichia coli*. J. Microbiol. Biotechnol. 6: 414-419 (1996)
12. Oh, H.G., Park, Y.-J., Lee, U.T., Lee, J.W., Lee, C.S., Rhew, B.K., Yang, C.K., Yoon, S.W. and Kang, B.H. Bacterial reverse mutation assay of xylooligosaccharide. J. Food Hyg. Safety 14: 259-264 (1999)
13. Park, Y.-J., Oh, H.G., Lee, U.T., Lee, J.W., Lee, C.S., Rhew, B.K., Yang, C.K., Yoon, S.W. and Kang, B.H. Acute oral toxicity of xylooligosaccharide in rats. J. Food Hyg. Safety 14(3): 255-258 (1999)
14. Park, Y.-J., Lee, U.T., Lee, J.W., Lee, C.S., Rhew, B.K., Yang, C.K., Yoon, S.W. and Kang, B.H. Subacute toxicity of xylooligosaccharide in rats. J. Food Hyg. Safety. 15: 151-166 (2000)
15. Korea Food Industry Association. Food Code. Seoul, Korea (1998)
16. Meade, G.P. and Chen, J.C.P. Cane Sugar Handbook, 10th ed. John Wiley & Sons, New York, USA (1977)
17. Park, Y.-J., Oh, H.-G., Lee, J.-W., Lee, C.-S., Lee, U.-T., Rhew, B.-K., Yang, C.-K. and Yoon, S.-W. Effects of ultrafiltration on the production of xylooligosaccharides. Korean J. Food Sci. Technol. 32: 312-316 (2000)
18. Masako, O., Hirofumi, K., Reiko, I., Shigeaki, F. and Nobuya, M. *In vitro* digestibility and *in vivo* utilization of xylobiose. J. Jpn. Soc. Food Nutr. 44: 41-44 (1991)
19. Shin, H.-H., Choi, H.-T. and Choi, D.-W. Study on production and properties of galactooligosaccharide from soybean arabinogalactan. Korean J. Food & Nutr. 10: 497-502 (1997)