

이소말토올리고당과 프락토올리고당의 물리적 성질 및 생리학적 특성

김정렬·육철·권혁건*·홍성용·박찬구·박경호
두산기술원, *두산종합식품

Physical and Physiological Properties of Isomaltooligosaccharides and Fructooligosaccharides

Jeong-Ryul Kim, Cheol Yook, Hyuk-Kon Kwon*, Sung-Yong Hong,
Chan-Koo Park and Kyung-Ho Park

Doosan Technical Center, *Doosan Foods Co.

Abstract

Physical and physiological properties of isomaltooligosaccharide (IMO), fructooligosaccharide (FO) and sucrose were investigated. The viscosity and moisture retention power of IMO were similar to those of FO. IMO had an excellent heat and pH stability compared with FO and sucrose. To investigate the effect of oligosaccharides on the growth of mice, each sample was administered orally to mice for 2 weeks. Weight change, moisture content of feces, weight of appendix and the ratio of *Bifidobacterium* to total microorganisms in the feces were examined. There were no significant differences in the weight increases and the efficiency of feeds. Moisture content of feces was highest in the IMO feeding group, and IMO promoted selectively the growth of *Bifidobacterium*. On the other hand, FO group showed bigger cecum than other groups.

Key words: isomaltooligosaccharide, fructooligosaccharide, property, *Bifidobacterium*.

서 론

이소말토올리고당(Isomaltooligosaccharides, IMO)은 파노스, 이소말토스, 이소말토트리오스 등을 주성분으로 하여 포도당이 1,6 결합을 한 올리고당의 혼합물을 말하여⁽¹⁾ 장내 유용균으로 대표되는 비피더스균의 증식인자로써 알려져 있다^(2,3). 장내의 비피더스균은 영양, 면역, 노화, 장내 부패물질 억제, 비타민 합성 등 숙주의 건강과 밀접한 관계를 갖고 있다^(4,5). 비피더스균을 증식시키기 위해 비피더스 균 및 비피더스 생육 촉진물질을 식품에 첨가한 식품이 판매되고 있으며 비피더스의 촉진물질로서 여러 종류의 올리고당이 개발되고 있다^(6,7). 올리고당은 대부분 난소화성으로 소장에서 분해되지 않고 대장까지 도달하여 장내 서식하는 비피더스 균에 선택적으로 이용됨으로써 증식을 촉진⁽⁸⁾하는 데, 과다복용시는 설사를 유발하는 것으로 알려져 있다⁽⁹⁾. 그에 반해 이소말토올리고당은 난소화성과 소화성의 중간 위치에 있으므로 장관에 대한 자극이 약하여 최대 무작용량이 설탕과 유사한 수준인 1.5 g/kg 정도로 안전성이 뛰어난 것으로 알려져 있다^(10,11). 최근에는 국내에도 올리고당 및 비피더스균에 대한 인식이 확대됨에 따라 음료, 유제품, 장류

등 다양한 종류의 식품에 올리고당이 첨가되고 있다^(12,13). 그러나 국내에서 올리고당의 물성 및 생리학적 특성에 대한 연구는 미미하며, 일본의 연구 논문들도 물리적인 성질 및 생리학적 특성을 다른 종류의 올리고당과 비교한 예는 매우 드물다. 본 연구에서는 상업적으로 가장 보편화되어 있는 올리고당인 이소말토올리고당과 프락토올리고당의 물리적인 성질 및 생리학적 특성^(14,15)을 비교 연구하였다.

재료 및 방법

재료

이소말토올리고당은 두산종합식품(종가집올리고당)의 제품을 사용하였으며 설탕 및 프락토올리고당(순도 50%)은 시판품을 사용하였다. 각 시료의 당조성을 Table 1에 나타내었다.

임상 실험용 동물은 화학연구소에서 분양받은 SD계(Sprague Dawley), 체중 160~190g인 수컷 쥐로 군당 다섯마리씩 사용하였으며, 사료는 실험동물용 사료(삼양사료, rat mouse용)를 사용하였다.

점도 측정

고형분 농도가 75%인 시료를 water bath에서 20, 40, 60, 80°C의 온도로 각각 맞춘 후 Brookfield 점도계

Corresponding author: Jeong-Ryul Kim, Doosan Technical Center, 39-3, Sonbok-Ri, Yongin-Gun, Kyonggi-Do

Table 1. The sugar composition of oligosaccharides used in the experiments (%)

	Isomalto-oligo-saccharides	Fructo-oligo-saccharides	Sucrose
Glucose	22.0	21.5	
Fructose	3.0	2.3	
Sucrose		16.0	100.0
Maltose	14.5		
Maltotriose	6.2		
Branched Disaccharide	6.1		
Branched Trisaccharide	23.1		
Higher Isomalto-oligosaccharide	25.1		
Kestose		29.2	
Nystose		24.5	
Higher Fructo-oligosaccharide		6.5	

(Brookfield Engineering lab. Inc. LVT, USA)를 이용하여 측정하였다.

내산성

시료를 10% 고형분 농도로 희석한 후 pH를 3, 4로 조정하고 상온 및 60~120°C (20°C 간격)에서 각각 15분간 유지시킨 후 급냉하여 잔존하는 올리고당의 함량을 HPLC(Shimazu, 일본)로 분석하였다. HPLC용 column은 Polyamine-II(YMC, 일본)를 사용하였고 64% acetonitrile-water 용액을 용매로하여 1.0 ml/min의 속도로 흘러주어 분석하였다. 잔존율은 아래와 같이 원료 당액의 올리고당의 함량을 100으로 하여 열처리한 당액 내에 함유된 올리고당의 함량을 환산하여 구하였다.

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

내열성

시료를 10% 고형분 농도로 희석한 후 pH를 5.5로 조정하고, 120~180°C 에서 각각 30분, 한시간 처리한 후 급냉하여 잔존 올리고당 함량을 HPLC로 분석하였다. 잔존율은 내산성과 같은 방법으로 구하였다.

수분 보습력

70% 고형분 농도의 시료를 105°C 에서 건조항량된 증발접시에 담아 상대습도 75%의 dessicator에 넣어 저장하면서 무게 변화를 측정하여 시료의 수분보습력을 비교하였다.

올리고당이 *Streptococcus mutans* 배양액의 pH에 미

Table 2. Effect of oligosaccharides on growth of mice

	Control	IMO	FO	Sucrose
weight increase(g)	149.6 ± 4.60	147.4 ± 6.83	145.4 ± 5.94	152.6 ± 7.20
Feed consumption(g)	384.4 ± 11.64	400.0 ± 15.60	380.5 ± 14.85	398.8 ± 15.50
Feed efficiency ¹⁾	0.379 ± 0.003	0.368 ± 0.004	0.382 ± 0.006	0.383 ± 0.012
Weight of cecum (% of B/W)	0.318 ± 0.014	0.298 ± 0.008	0.374 ³⁾ ± 0.005**	0.310 ± 0.006
Moisture content of feces(%)	54.3 ± 1.84	59.9 ²⁾ ± 2.13*	57.9 ± 3.11	53.8 ± 2.16

¹⁾Feed efficiency = weight increase/feed consumption

²⁾means significantly different in the level of 95%

³⁾means significantly different in the level of 99%

치는 영향

구강 내에서 *Streptococcus mutans*가 증식하게 되면 pH가 낮아지게 되어 충치 형성을 가속화 하게 된다. 올리고당을 사용하였을 때 *S. mutans*에 의한 pH 저하가 억제되는가를 알아보기 위하여 본배양용 PYF배지에 시료를 0.5% 첨가한 후 *S. mutans* KCTC 3065를 BHI 배지 (Brain-Heart-Infusion medium)⁽¹⁶⁾에 접종하여 30°C 에서 배양하면서 경시적으로 pH 변화를 관찰하였다.

Bifidobacterium의 생육 효과

Bifidobacterium longum KCTC 3215와 *Bifidobacterium animalis* KCTC 3126을 각각 100 ml serum bottle 중의 TPG배지(Trypticase-Phytone-Glucose medium)⁽¹⁷⁾에서 2일간 배양하여 본배양용 seed를 제조하였다. 본 배양에서는 500 ml serum bottle 중의 당검색용 배지인 PYF 배지에 시료를 각각 0.5% 첨가하여 seed를 5%(v/v) 접종하였고 배양용기의 head space는 질소로 치환하였다. 37°C 에서 배양하면서 일정시간별로 일회용 주사기로 sampling하여 spectrophotometer로(Bekman, USA) 600 nm에서 흡광도를 측정하여 생육곡선을 작성하였다.

쥐 사육 효과

쥐를 metabolic cage에 한마리씩 격리 사육하면서 물과 사료는 자유급식하였고, 대조군, 이소말토올리고당, 프락토올리고당, 설탕 투여군으로 구별하여 시료를 4 g/kg 체중씩 경구투여 하였으며 대조군은 생리실험수를 같은 양 투여하였다. 체중과 사료섭취량은 2~3일마다 오전 10시에 측정하여 이로부터 사료 효율을 산출하였다. 이때 분변도 같이 채취하여 함수율을 측정하였으며 투여 18일째 되는 날에는 18시간 동안 절식하여 맹장을 채취하여 무게를 측정하였다.

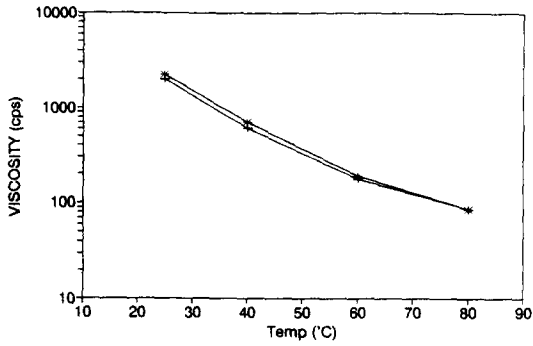


Fig. 1. Changes in viscosity measured at various temperature

+-+, IMO; *-**, FO

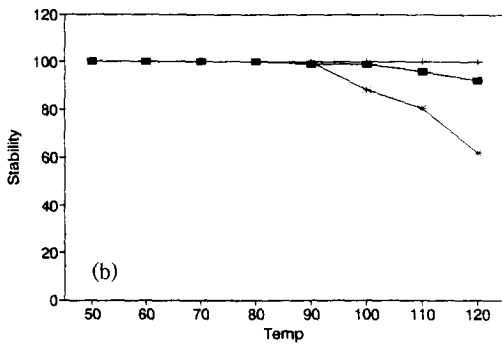
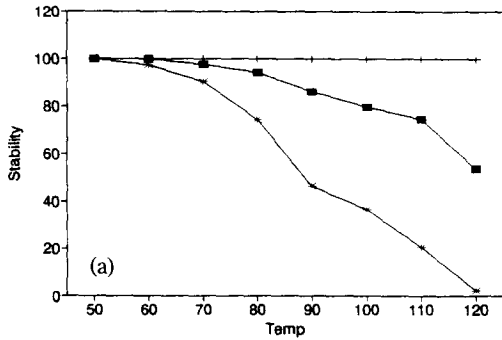


Fig. 2. pH stability of oligosaccharides at different temperature

(a) pH 3, 15 mins (b) pH 4, 15 mins

■-■, Sucrose; +-+, IMO; *-**, FO

Bifidus 증식효과

쥐 배설물을 채취하여 총균수 및 Bifidobacteria 균수를 측정하여 Bifidus 증식효과를 비교하였다. 시료를 경구 투여한지 일주일 및 이주일 후에 쥐의 항문을 자극하여 배설물을 인위적으로 채취하여 멸균 saline에 일정농도로 희석한 후 총균수는 BL 한천배지에, Bifidobacterium 수는 Bifidobacterium 선택용 배지인 BS 한천배지(Bifi-

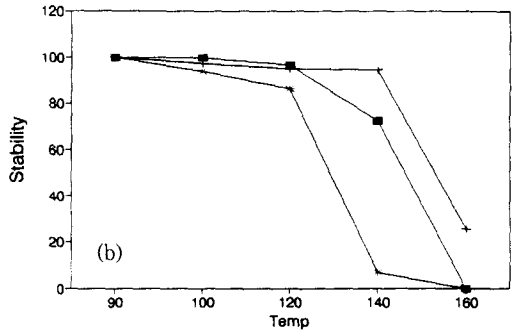
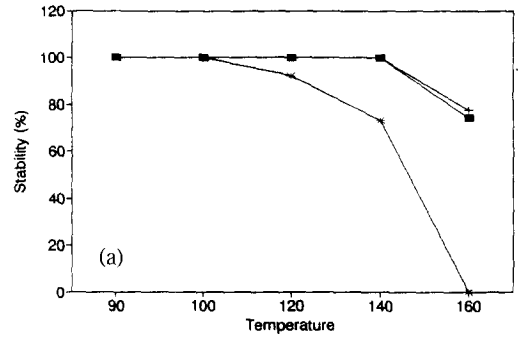


Fig. 3. Heat stability of oligosaccharides at different temperatures

(a) pH 5.5, 30 mins (b) pH 5.5, 60 mins

■-■, Sucrose; +-+, IMO; *-**, FO

us selective agar medium)를 사용하여 anaerobic jar 에서 37°C 3일간 배양한 후 측정하였다⁽¹⁸⁾.

결과 및 고찰

점도

온도에 따른 이소말토올리고당의 점도 변화는 Fig. 1과 같다. 이소말토올리고당은 프락토올리고당과 거의 같은 점도를 나타내었다. 프락토올리고당은 비슷한 분자량의 물엿보다는 낮고 설탕보다는 조금 높은 점도를 갖는 것으로 알려져 있다.

산 안정성

pH 3과 4에서 15분 유지하였을 때, 각 온도별 올리고당의 잔존율은 Fig. 2와 같다. pH 3, 120°C 에서 이소말토올리고당은 전혀 분해되지 않았으며, 이에 반해 설탕은 40% 가량 분해되었고, 프락토올리고당은 완전히 분해되었다. pH 4, 120°C 에서도 이소말토올리고당은 전혀 분해되지 않았으며, 설탕은 7% 분해된 반면, 프락토올리고당은 40% 정도가 분해된 것으로 나타났다.

열 안정성

100°C 이상의 고온으로 가열시 올리고당의 잔존율을

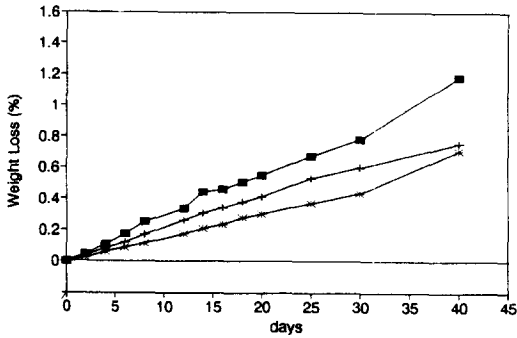


Fig. 4. Effect of oligosaccharides on moisture loss (humidity: 75% sugar concentration: 70%)

■—■, Sucrose; +—+, IMO; *—*, FO

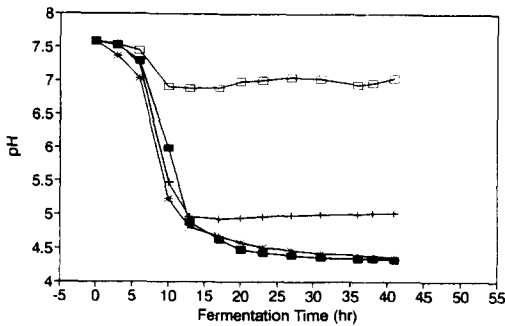


Fig. 5. Changes of pH in the culture media containing different sugar during the growth of *S. mutans*

■—■, Sucrose; +—+, IMO; *—*, FO; □—□, Control

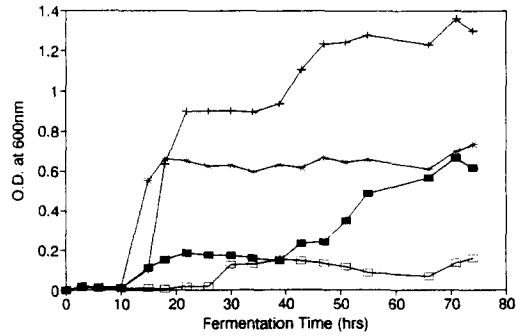
Fig. 3에 나타내었다. 140°C, 1시간 가열하였을 때 이소말토올리고당은 5% 가량 분해되었고, 설탕은 30%, 프락토올리고당은 94%가 분해되었으며 산 안정성에서 보여준 결과와 일치하였다.

수분 보습력

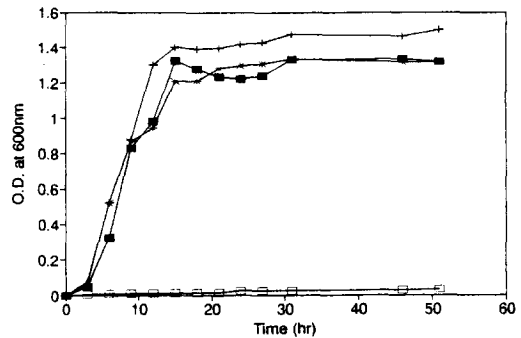
75% 습도의 저장조건에서 당액의 중량 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 설탕에 비하여 올리고당이 수분보습의 효과가 높았으며 이소말토올리고당 보다는 프락토올리고당의 경우가 수분 보습효과가 높았다. 프락토올리고당은 저장 초기에 이소말토올리고당보다 수분 손실이 적었으나 시간이 경과하면서 이소말토올리고당과 유사한 수분 손실을 보여주었다. 40일 경과시 설탕이 1.2%(w/w)의 가장 큰 중량의 감소를 보여주었고, 이소말토올리고당은 0.75%(w/w), 프락토올리고당은 0.72%가 감소하였다.

올리고당이 *Streptococcus mutans* 배양액의 pH에 미치는 영향

충치의 원인은 구강 내의 *S. mutans*가 불용성 글루



(a) The growth curve of *B. longum*



(b) The growth curve of *B. animalis*

Fig. 6. Growth curves of Bifidobacteria in the culture media containing different sugar

■—■, Sucrose; +—+, IMO; *—*, FO; □—□, Control

칸을 형성 충치균이 치아에 부착하는 단계와 형성된 글루칸에 부착된 균이 구강내 pH를 낮추어 에나멜질의 탈회를 일으키는 기작으로 나뉜다. 이소말토올리고당은 불용성 글루칸의 생성 및 침착을 억제하여 충치를 예방한다고 알려져 있다¹⁹⁾. 한편 구강 내의 pH는 5.0 이하로 떨어지면 에나멜질의 용해도가 급격히 상승하여 치아 부식의 원인이 된다²⁰⁾. 충치균으로 알려진 *S. mutans*를 각종 당을 함유한 배지에서 배양하면서 pH의 변화를 살펴본 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 아무 당원도 첨가하지 않은 대조구는 균이 성장하지 못하여 pH 감소를 보여주지 않았으며 이소말토올리고당을 함유한 배지에서는 pH가 발효 15시간까지는 설탕 및 프락토올리고당과 유사하게 감소하여 초기 pH 7.5에서 pH 5 정도로 낮아졌으나 그 이후부터는 더이상 pH의 감소가 진행되지 않아 pH 5.0을 유지하였다. 반면 프락토올리고당과 설탕 첨가구는 발효 15시간 이후에도 계속 pH가 떨어져 4.3까지 도달하였다. 따라서 이소말토올리고당은 불용성 글루칸의 억제하여 충치를 예방하는 기능 이외에도, 구강 내에서 균의 증식에 따른 pH의 저하를 억제하는 효과가 있는 것으로 보이며 이 두가지 기작에

Table 3. Changes in the ratio of *Bifidobacterium* to total microorganisms in the feces of mice fed different oligo-saccharides (unit: %)

	After 1 week	After 2 weeks
Control	0.29	0.86
Isomaltooligo-saccharides	1.39	2.98
Fructooligo-saccharides	0.80	2.71
Sucrose	0.70	1.60

의해 충치를 예방하는 효과를 나타내는 것으로 보인다.

*Bifidobacterium*의 생육효과

Fig. 6에 각 시료에서의 *B. longum* 및 *B. animalis*의 생육 곡선을 나타내었다. *B. animalis*의 경우 각 시료에서의 생육 곡선은 비슷한 형태를 보여주었다. 배양 3 시간부터 급격히 증가하다가 15시간 경과시 정체기에 접어들어 50시간에 이르기 까지 매우 완만하게 증가하였다. 그러나 정체기에서의 균수는 차이를 보여주었으며 이소말토올리고당의 경우가 설탕 및 프락토올리고당 첨가구 보다 약 15% 높은 균체의 증식을 보였다. 올리고당의 이용성 면에서 *B. animalis*는 프락토올리고당과 이소말토올리고당 간에 큰 차이를 보여주지 않았다.

한편 *B. longum*의 경우는 각 시료마다 균의 생장유형이 다르게 나타났다. 설탕 첨가구는 발효초기에는 성장하지 못하다가 25시간이 경과 후부터 서서히 증가하기 시작하여 70시간에 OD(optical density)가 0.6까지 증가하였다. 이는 *B. longum*이 설탕을 잘 이용하지 못하고 서서히 분해하여 생육하기 때문으로 생각된다. 프락토올리고당 첨가구는 배양 10시간 경과시 급격히 증가하여 18시간에 OD가 0.7까지 증가한 후 더 이상 증가하지 못하고 정체되었다. 이는 *B. longum*이 프락토올리고당에 들어있는 포도당 및 과당의 당당류를 이용하여 증식하였으나, 이들이 다 고갈되고 난 후 남아있는 올리고당은 잘 이용하지 못하였기 때문에 성장이 정체된 것으로 풀이된다. 이소말토올리고당의 경우는 10시간에 증가하기 시작하여 30시간 만에 OD가 0.9까지 증가하였고 일시 정체되었다가 40시간 부터 다시 증가하여 70시간에는 OD가 1.3까지 도달하였다. 초기에는 이소말토올리고당 내에 들어있는 포도당을 이용하여 1차 증식하였고 이들이 고갈되어 잠시 정체기를 보였다가 올리고당이 *B. longum*에 의해 잘 분해되어 이용하기 좋은 포도당이 생성되면서 다시 급격히 증가한 것으로 추측된다.

결과적으로 *B. animalis*는 이소말토올리고당과 프락토올리고당을 모두 잘 이용하는 것으로 나타났으나, 인간의 장내에 생육하는 대표적인 *Bifidus*균인 *B. longum*은 프락토올리고당 보다는 이소말토올리고당을 잘 이용하는 것으로 보인다.

쥐 사육 효과

체중 증가에는 설탕 첨가구가 가장 높은 평균값을 주었으나 시료에 따른 유의차가 없었으며 사료섭취량, 사료효율에 있어서도 차이가 없었다(Table 2). 그러나 맹장의 무게에 있어서는 프락토올리고당 섭취군이 99% 유의 수준에서 다른 실험군의 맹장무게 보다 평균 18% 가량 크게 나와 프락토올리고당을 섭취한 쥐가 맹장의 이상 비대 현상을 일으킨다는 金子의 결과와⁽¹¹⁾ 일치하였다. 金子 등은 프락토올리고당 섭취군의 경우 대조군에 비해 맹장의 무게가 약 3.4배 가량 높아진 것으로 보고 하였다. 맹장의 무게가 다른 시료에 비해 크게 증가한 것은 맹장에서 프락토올리고당의 분해가 활발히 진행된 때문으로 풀이된다. 또한 金子 등은 프락토올리고당이 난소화성 올리고당으로써 에너지원이 되기 어려운데도 사료효율이 높게 나타났는데 이는 맹장의 무게 증가로 인한 결과라고 보고하였다. 분변의 함유율에 있어서는 IMO 섭취 군이 95% 유의수준에서 평균 6% 가량 높게 나타나 분변 함유율이 59.9%였으며 IMO의 섭취가 변비 개선의 효과^(10,11)가 있음을 시사하였다. 프락토올리고당의 경우는 평균 4% 가량 높은 57.9%의 값을 나타내었으나 유의차는 없었다. 또한 *Bifidus*군 증식효과를 비교하기 위해 측정된 분변 중의 *Bifidobacterium* 비율은 섭취 일주일 후 대조군 0.29%에 비해 설탕 급식군 0.7%, 프락토올리고당 급식군이 0.8%로 높게 나타났으며 이소말토올리고당은 1.39%로 가장 높았다(Table 3). 섭취 2 주일 후에는 대조군도 조금 증가하여 0.86%의 값을 보였고 설탕이 1.6%, 프락토올리고당이 2.71%로 증가하였고 이소말토올리고당은 2.98%로 증가하여 이소말토올리고당이 *Bifidus*균을 증식시키는 효과가 큼을 보여주고 있다.

요 약

이소말토올리고당(IMO)의 물리적 특성과 생리적 특성에 관하여 프락토올리고당(FO) 및 설탕과 비교 연구하기 위하여 열 안정성, pH 안정성, 수분 보습력 및 점도 등을 조사하였으며 올리고당이 첨가된 사료를 어린 쥐에 정구투여 사육하면서 체중 변화, 분변 함유율 및 사육 후의 맹장 무게 등을 관찰하였다. 그리고 사육한 쥐의 배설물로부터 전체 장내 세균 중 *Bifidobacterium*의 비율을 측정하였다. 점도와 수분보습력에 있어서 두 올리고당은 설탕보다 높았으며 두 올리고당 간에는 큰 차이가 없었다. 열 및 pH 안정성에 있어서는 프락토올리고당은 열 및 pH에 불안정한 반면 이소말토올리고당은 pH 3, 120°C에서 안정하였다. 어린 쥐의 사육 실험 결과 체중 변화 및 사료 효율은 각 군 간에 유의차를 나타내지 않았고 분변의 수분 함유율은 이소말토올리고당이 가장 높아 변비 개선에 효과가 있음을 시사하였다. 한편 프락토올리고당 투여구의 쥐에서 맹장이 평균 18% 정도 비대해졌다. 분변내 *Bifidobacterium*의 비율은 IMO 첨가

사료군에서 가장 높아 이소말토올리고당의 *Bifidus*군 증식효과가 우수한 것으로 나타났다.

문헌

1. Kanno, T.: 분지올리고당의 특성과 이용. 별책 Food chemical, 식품화학신문사, 동경, 93 (1992)
2. Kohomoto, T., Fukui, F., Takaku, H., Machida, Y., Arai, M. and Mitsuoka, T.: Effect of isomaltooligosaccharides on human fecal flora. *Bifidobacteria Microflora.*, 7, 61 (1988)
3. Kohomoto, T., Fukui, F., Takaku, H., Machida, Y. and Mitsuoka, T.: Dose-responce of isomaltooligosaccharides for increasing fecal *Bifidobacteria*. *Agric. Biol. Chem.*, 55, 2157 (1991)
4. 本間 道, 光岡知足: 비피더스균. 아쿠르트 본사, 東京, 110 (1979)
5. 光岡知足: 장내세균의 세계. 叢文社, 東京, 15 (1980)
6. Oku, T., Tokunaga, T. and Hosoya, N.: Nonedigestability of a new sweetner, neosugar in the rat. *J. Nutr.*, 114, 1574 (1984)
7. Sakai, S.: 올리고당 개발의 현황과 전망. *Food Chemical*, 2, 21 (1993)
8. 光岡知足: 장내 flora와 식물인자. 學會出版센타, 東京, 15 (1984)
9. 金子俊之, 河本高伸, 菊池弘惠, 福井史生, 高久 肇: 이소말토올리고당의 쥐의 이용성과 혈청지질에 대한 영향.

日農化會誌, 66, 1211 (1992)

10. 河本高伸, 福井史生, 高久 肇, 高居百合子, 渡邊智子: 이소말토올리고당의 위장증상과 排便·便性に 미치는 영향. *臨床營養*, 80, 53 (1992)
11. 金子俊之, 河本高伸, 菊池弘惠: 이소말토올리고당 섭취가 정상인의 便性狀과 消化腸症狀에 미치는 영향. *臨床營養*, 82, 789 (1993)
12. 菅野智榮: 이소말토올리고당의 機能特性和 그 이용. *澱粉科學*, 37, 87 (1990)
13. 허경택: 올리고당-기능성 식품의 선두주자. 유한문화사, 59 (1992)
14. 橋本昌義: 올리고당의 축산에의 이용. *FEEDING*, 31, 13 (1991)
15. 渡邊直久, 坂本博史, 川名隆重, 内田健, 鈴木正紀, 志村武雄: 새끼 돼지에 생균제 및 이소말토올리고당 병용의 효과. *試驗畜産의 研究*, 43, 1071 (1989)
16. Catalogue of strains. 한국과학기술원, 121 (1989)
17. Catalogue of strains. 한국과학기술원, 193 (1989)
18. 박종현, 유진영, 신옥호, 신현경, 이성준, 박관화: 분지올리고당이 장내 주요 세균의 생육에 미치는 영향. *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 20, 237 (1992)
19. 菅野智榮: 이소말토올리고당의 새로운 기능 특성. *Food Chemical*, 9, 61 (1989)
20. Yamada, T.: 치석의 pH 변화와 충치. *Food Chemical*, 4, 38 (1994)

(1994년 10월 11일 접수)