

프락토올리고당의 생리 기능성

우 동 호

(주) 삼양제넥스

1. 프락토올리고당이란

프락토올리고당은 설탕의 과당 (fructose) 잔기에 1-3개의 과당이 결합된 당류의 혼합물로서 그 구성성분은 1-케스토스 (1-Kestose, GF2), 니스토스 (Nystose, GF3), 1-F 프락토퉀라노실니스토스 (1-F Fructofuranosyl nystose)이다 (그림 1).

프락토올리고당은 바나나, 양파, 아스파라거스, 우엉, 마늘, 벌꿀, 치커리 뿌리 등과 같은 야채나 버섯, 과일류에 함유되어 있는 천연 물질로서 이미 섭취 역사가 오랜 물질이다 (표 1). 특히 양파는 함유하고 있는 프락탄 (Fructan) 가운데 96%가 프락토올리고당으로 가장 높은 함량을 보인다. 마늘과 치커리 뿌리는 프락토올리고당 함량이 낮다. 서양의 경우 이러한 천연식품으로부터 하루 섭취하는 평균 프락토올리고당의 양은 대략 1g이다.

1950년대 탄수화물 저장 식물을 대상으로 프락토올리고당 합성 및 합성 효소에 대한 연구가 시작되었다. Bhatia 등(1)은 *Agave vera curz* (용설란 속 식물) 줄기에 존재하는 효소를 분리하여 설

당과 반응시켜 프락토올리고당의 생성을 확인하였고, Allen 등(2)은 사탕무 잎 추출물 내 효소를 이용하여 생물학적 전이 반응으로 프락토올리고당을 생성할 수 있음을 보여주었다. 이 후 1979년 전이 효소에 의한 효소처리를 통하여 설탕으로부터 프락토올리고당을 대량 생산하는 방법을 개발하였으며 1984년 일본 메이지 제과가 다른 나라들 보다 앞서 이 방법을 통하여 프락토올리고당의 생산을 개시하였다.

프락토올리고당은 설탕으로부터 생성된 성분으로서 그 구조도 설탕과 유사하여 두 물질의 물리 화학적 특성이 유사하게 나타난다. 하지만 프락토올리고당은 설탕과 달리 난소화성이므로 그 생리적인 특성은 매우 다르다. 특히 장내 유익균에 의해 대사되어 다양한 건강 기능성을 나타낸다는 것이 입증되어 일본에서는 프락토올리고당 함유 제품을 장의 상태를 조절하는 식품과 미네랄의 흡수를 촉진시키는 식품으로 인정하여 특정보건용식품으로 분류한 바 있다.

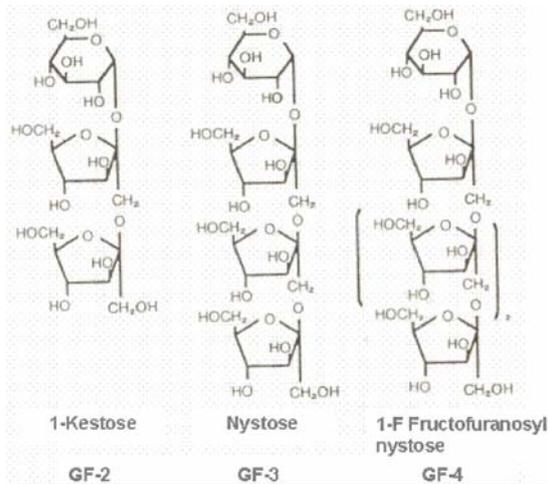


그림 1. 프락토올리고당의 구조식

표 1. 식품 내 프락토올리고당 함량

Substance	% Fructan DS	GF2	GF3	GF4	GF5-6	Total
Onion	25-40	61%	25%	10%	3%	100%
Wheat(Trit. Aest.)	1-4	30%	13%	6%	50%	100%
Chicory	15-20	4%	5%	5%	16%	30%
Jerusalem Artich.	16-20	presence of DP<9				60%
Garlic	25-35	presence of DP<9				10-20%

DS : Dry substance : DP : degree of polymerisation.

2. 프락토올리고당의 시장 상황

1) 일본시장

1983년 일본 메이지 제과는 세계에서 처음으로 프락토올리고당 생산에 뛰어들어 이후 올리고당의 건강기능성을 적극적으로 홍보하며 시장을 키워나갔다. 일본 내 2003년 수요량은 약 4000톤 정도이며 이 가운데 메이지사의 과자, 테이블 슈가로서의 수요가 약 700톤, 국내외 판매가 약 2000톤, 미국을 중심으로 한 수출이 약 1000톤 가량이며 동물사료용도로서 약 300톤의 수요가 있었다.

메이지사에서는 55% 함량의 액상제품인 메이올리고G와 95% 함량의 메이올리고P (분말, 액상) 등 5종류가 있으며 일반식품용으로는 G타입, 건강식

품분야에는 고순도 타입의 P제품으로 나누어 사용하고 있다.

메이지 제과에서는 정장작용에 이어 칼슘, 마그네슘 등의 미네랄 흡수 촉진작용 연구를 진행하여 특정보건용식품으로 인정받아 테이블 슈가인 '메이올리고W'를 발매하였다. 네슬레의 '마일로'또한 같은 기능성을 인정받아 특정보건용식품으로 판매하고 있다. 이후, 미네랄 흡수촉진작용과 장관면역 부활작용의 연구와 홍보를 통해 시장 확대를 도모하고 있다.

1991년 특정보건용식품법이 시행되면서 올리고당을 기능성분으로 한 제품의 개발이 활발했으며 초기에는 전체 품목 수 중 1/3을 차지하였다. 이후 올리고당을 기능성분으로 한 특정보건용식품은 03년 기준 66.8억엔 정도의 규모를 보이며 계속하여 안정된 시장을 보였다. 이 가운데 프락토올리고당을 주성분으로 한 특정보건용식품은 '장의 상태를 조절하는 식품'과 '미네랄의 흡수를 돕고 장의 상태를 조절하는 식품', '뼈 건강을 염려하는 분을 위한 식품' 등으로 그 기능성을 인정받았으며 테이블 슈가를 비롯하여 두부, 정과(錠菓) 등의 형태로 판매되고 있다.

표 2. 올리고당 사용 특정보건용식품 시장

	기능성	관련 성분	1999	2001	2003
품목수	정장작용	올리고당	53	61	61
		올리고당, 식이섬유	-	1	1
	미네랄	올리고당	1	1	3
	미네랄, 정장작용	올리고당	-	1	1
	합계		54	64	66
판매액 (억엔)			91.9	56.2	66.8

표 3. 프락토올리고당 사용 특정보건용식품 사례

제품사진	제품명	제조사	식품 형태	섭취량
	일본올리고의 프락토올리고당	일본올리고(주)	테이블슈가	1일 15g
	Go-Sign stick	(株)日健總本社	테이블슈가	1일 2포 (2.5g×2)
	오나카니야사시쿠올리 고토후	(株)丸美屋	두부	1일 1모 섭취 (프 락토올리고당 3g 섭취에 해당)
	메이올리고W 시럽/과립	明治製菓(株)	테이블슈가	시럽 : 1일 10-15g 과립 : 2~3포 (2.5g×2~3)
	마일로	네슬레(주)	맥아음료	1일 30g 섭취

2) 국내시장

국내에서의 올리고당 연간 생산량은 2004년말 기준으로 이소말토, 말토, 프락토, 갈락토올리고당 합산시 약 16,000톤 규모로 약 90억원 정도의 시장을 형성하고 있다. 이 가운데 프락토올리고당은 약 3,000톤 가량이 생식, 발효유, 유가공품, 사료 등에 사용되고 있다.

올리고당은 유제품, 제과, 음료 등에 기능성 강조, 감미질 개선, 물성 개선의 목적으로 사용되고 있으나 기능성 당류 시장에서의 점유율이 크지 않고 생산량도 최근 몇 년 동안 정체 상태이다. 그러나 건강에 대한 관심이 높아지고 있는 추세에서 프락토올리고당이 건강기능식품 기준 규격형 추가 고시를 통해 그 기능성이 인정되면서 프락토올리고당을 필두로 한 전체 올리고당의 향후 수요가 대폭 증가될 것으로 전망하고 있다.

표 4. 프락토올리고당 제품별 특성

특성	프락토올리고당	
	액상	분말
성상	액상	분말
함량	50% 이상	90% 이상
칼로리	2.9	2.1
감미도	60	30
점성	물엿과 비슷	설탕과 비슷
열안정성	140C까지 안정 160C 이상에서 가열시 15분간 약 15%가 분해	
내산성	가수분해가 일어나 단당류가 생길 수 있음 100C에서 15분간 가열시 pH5 이상에서는 안정	
갈변성	비환원성 당질로서 마일라드 반응을 통한 착색 출발 물질을 생성하지 않음 단당류를 포함하고 있는 액상의 경우 가열을 통한 착색이 발생할 수 있음.	가열시에도 마일라드 반응이 진행되지 않음
보습성	솔비톨과 비슷	물엿과 비슷
발효성	효모에 의해 발효됨	
저장, 보관상 주의	저온에서 장기간 보관시 글루코스 결정이 생길 수 있음 (가열하면 용해됨)	고순도 액상을 장기간 보관시 니스토스 결정이 생길 수 있음 (가열시 용해) 분말의 경우 개봉 후에는 방습이 필요

3. 프락토올리고당의 물성

프락토올리고당은 설탕을 원료로 하여 식품 등급의 fungal fructosyltransferase와 반응하여 제조하는 난소화성 당질로서, 이미 많은 식품에 적용되고 있다.

Bx 50~60의 설탕액을 반응한 후, 탈색탈염처리를 행하고 Bx 75까지 농축하여 프락토올리고당을 주성분으로 하는 액상제품을 제조하며 더 나아가 이온교환크로마토그래프를 통해 포도당과 설탕을 제거하여 고순도 프락토올리고당을 생산한다.

이와 같이 프락토올리고당은 액상뿐 아니라 고순도 분말제품도 생산되므로 식품에 다양한 용도로 응용이 가능하다. 특히, 설탕 및 단당류가 없는 분말제품 (함량 90% 이상)의 경우에는 당뇨병 환자용 식품이나 여러 제형의 건강기능식품의 개발에 용이하다.

프락토올리고당 각 제품의 특징은 표 4와 같다.

고순도 프락토올리고당은 청량감 없이 설탕과 비슷한 맛을 가지지만 감미도는 30% 정도이다. 수분장력은 설탕에 비해 크며 비환원당으로서 마일라드 반응을 일으키지 않는다. 중성인 조건에서 안정하며 일반적으로 pH5 이상을 유지하는 것이 바람직하다. 특히 산성인 환경에서 가열하면 프락토올리고당의 가수분해가 촉진되므로 주의하여야 한다.

4. 프락토올리고당의 소화

프락토올리고당은 소장에서 소화되지 않는다. Kestose와 nystose는 동물과 사람의 췌장(5), 그리고 소장 점막 균질액(5-7)에서도 가수분해 되지 않는다. 동물 실험 결과 프락토올리고당을 장기간 섭취할 경우에도 가수분해는 일어나지 않았다(5). 쥐를 대상으로 프락토올리고당을 복강투여했을 때, 프락토올리고당은 분해되지 않고 빠르게 소변으로 배출되었는데(5) 이는 프락토올리고당이 체내 에너지로 사용되지 않는다는 것을 뒷받침 한다.

섭취한 프락토올리고당 중 어느 정도가 대장에 도달하는지 알아보기 위해 6명의 건강한 성인 지원자를 대상으로 실험을 실시한 결과 섭취량의 90%가 회장에서 발견되었다(7). 게다가 프락토올리고당의 구성비 또한 섭취 당시와 동일했다. 이는 프락토올리고당이 소장에서 소화되지 않고 그대로 통과함을 보여주는 결과이다.

프락토올리고당은 장내 미생물에 의해 주로 단쇄지방산과 CO₂로 발효된다. 대장에서 흡수된 단쇄지방산 중 일부는 대장에서 대사되며, 나머지는 간과 말초조직에서 대사된다(8). 셀룰로즈, 펙틴, 락툴로스 등과 같은 장내에서 발효 가능한 물질과 비교할 때 프락토올리고당은 높은 함량의 propionic, butyric acid를 생산한다(8-9).

5. 프락토올리고당의 건강 기능성

프락토올리고당은 물리화학적으로 설탕과 유사하지만, 생리적 특성은 매우 다르다. 프락토올리고당은 위산에 의해 분해되지 않으며 설탕과는 다르게 소장 내 소화효소에 의해 가수분해되지 않고 대장에 도달한다. 이 후 프락토올리고당은 대장 내 비피더스균, 유산균과 같은 장내 유익균에 의해 대사되어 단쇄지방산 (Short chain fatty acid)을 생성한다.

프락토올리고당의 중요한 기능은 대장에서 Clostridium perfringens 등과 같은 유해균의 성장을 억제하면서 비피더스균의 증식을 촉진하는 것이다. 이는 장내 pH 감소, 유기산 증가, 대소변 내 최종 질소 화합물 생성 감소, 박테리아 효소활성 및 변형 감소 등과 연관이 있다. 이러한 기능과 함께 배변활동에도 유익한 효과를 가지며 이에 대한 영향은 인체시험을 통해 이미 확인되었다. 또한 미네랄 흡수 촉진에 기여한다는 결과도 인체시험을 통해 관찰된 바 있다.

이외 혈당조절 효과, 혈중 지질 개선효과에 대한 연구가 계속되고 있으며 동물 모델 시험에서는 대장 내 butyrate 농도와 부분 면역 시스템 작동체를 통한 대장 종양 발생을 감소 가능성을 시사한 결과가 발표된 바 있다.

이와 같이 프락토올리고당은 건강기능성에 대한 연구가 가장 많이 수행된 올리고당 중 하나이며 이의 잠재적 기능성과 관련해서도 지속적인 주목을 받고 있는 소재이다.

1) 장내 유익균의 증식 및 유해균 성장 억제

장내에는 몸에 좋은 효과를 주는 유익균과 나쁜 영향을 미치는 유해균이 공존하고 있다. 유익균 중 제 1의 균이라 할 수 있는 비피더스균은 유해균의 증식을 억제하는 역할을 한다. 그러나, 유류

중심의 편식, 환경의 변화, 스트레스, 운동부족 등의 원인과 함께 노화에 따라 비피더스균의 수가 줄어드는 경향이 있다(10). 이에 따라 유해균의 세력이 강해지면 장내에서 부패물질이 생성, 배출되어 건강에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있다(그림 2).

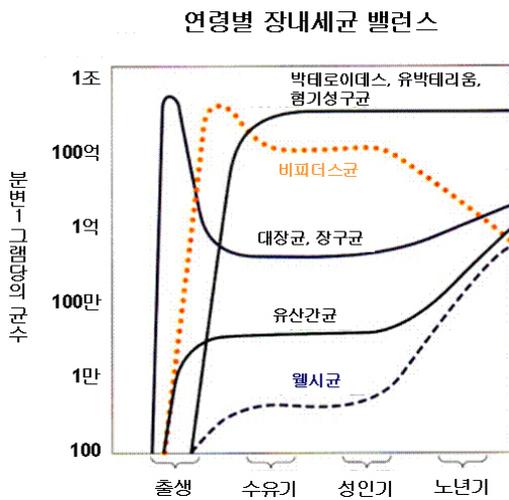


그림 2. 연령별 장내세균 파라미터

장 건강을 위하여 장내 유익균을 직접 섭취함으로써 정장작용을 기대할 수 있으나 일반적으로 비피더스균을 일반 식품으로 직접 섭취하여 몸에 정착시키기는 어렵다고 알려져 있다. 따라서, 프락토올리고당으로 장내 이미 존재하고 있는 자신의 유익균을 증식시키는 것이 효과적이다.

섭취한 프락토올리고당은 위산과 소화효소에 의해 분해되지 않고 대장에 도달하여 장내 비피더스균만이 선택적으로 이용하게 된다. 이러한 기작은 유익균 증식에 기여하며 유해균을 억제하는 작용을 한다. 따라서 프락토올리고당을 섭취하면 장내 비피더스균의 증식을 통하여 장내 균총 개선, 병원균의 침입 방지, 장내 부패 억제, 비타민B군 생

산 등 인체에 유용한 효과를 줄 수 있다(10).

그림 3은 프락토올리고당 섭취시 장내 균총의 변화를 나타낸다. 프락토올리고당 섭취 전 5% 가량이던 비피더스균이 섭취 8일 이후 25%까지 증가하며, 섭취 중단 8일 후 그 양이 12.6%까지 감소하였다(11). 이는 장내 유익균 증식 효과는 프락토올리고당 섭취 기간동안 유효하다는 것을 보여준 결과로서 섭취 중단시 섭취 이전의 균총 상태로 돌아갈 수 있음을 뜻한다. 따라서 장내 유익균의 세력을 강하게 하기 위해서는 꾸준한 섭취가 필수적임을 알 수 있다.

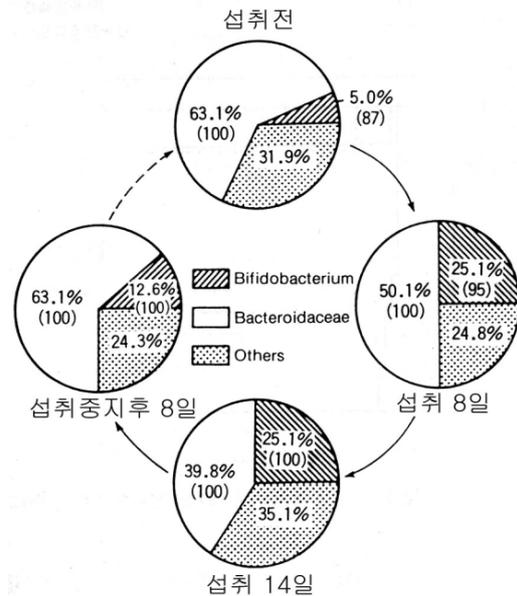


그림 3. 프락토올리고당 섭취시 장내 균총의 변화 (약 8 g/day, 14일간 섭취, n=23, 평균연령 73세)

프락토올리고당 섭취를 통한 장내 유익균 증식 및 유해균 효과는 이미 유아를 비롯, 성인, 노인층에서도 확인된 바 있으며 대표적인 연구 결과는 표 5와 같다.

표 5. 프락토올리고당의 장내 유익균 증식 및 유해균 성장억제 관련 인체시험 자료

참고문헌	시험대상	섭취형태	섭취량 및 방법	결과
Williams CH et al. (1994) ¹²	건강한 성인 10명 (남5, 여5, 20~40세)	Neosugar 정제 (1g)+음용수 (3g)	4g/d, 14일 (아침 정제, 저녁 음용수로 공급 일상식사)	Total anaerobes↔, Total aerobes ↑, bifidobacteria ↑, Lactobacilli ↑
Gibson GR et al. (1995) ¹³	건강한 성인 8명 (남7, 여1, 21~48세)	(1) 프락토올리고당 (n=2~6) (2) Inulin (n=2~6)	15g/d, 15일	(1), (2) 모두 Bifidobacteria ↑ ↑, Bacteroides, Clostridia & Fusobacteria, Cocci ↓, Total bacteria↔
Bouhnik Y et al. (1996) ¹⁴	건강한 성인 20명 (남10, 여10, 22~39세)	프락토올리고당 정제 형태로 매 식사 후 섭취	12.5g/d, 12일 (섭취 전 12일, 섭취 12일, 섭취 후 12일 미 식사 후 섭취 일상식사)	Bifidobacteria ↑ ↑, Total anaerobes↔, pH↔
Bouhnik Y et al. (1999) ¹⁵	건강한 성인 40명 (남18, 여22, 18~22세)	프락토올리고당	2.5, 5, 10, 20g/d, 7일	Total anaerobe, Bifidobacteria ↑, pH↔
Tuohy KM et al. (2001) ¹⁶	건강한 성인 31명 (18~50세)	프락토올리고당 함유 비스킷 (20%)	6.6g/d, 21일 (crossover 각 21일 일상식사)	Bifidobacteria ↑ ↑, Other bacterial group↔ 섭취 중단시 원래 수준으로 복귀
Guigoz Y et al. (2002) ¹⁷	양로원 거주 노인 19명	프락토올리고당	4g/d, 3주 (식후 2회 섭취)	Bifidobacteria ↑ ↑ 섭취 중단시 원래 수준으로 복귀
Moro G et al. (2002) ¹⁸	영아 90명	프락토올리고당 우유에 넣어 섭취	0.8g/dl, 0.4g/dl	Bifidobacteria ↑ ↑, Lactobacilli ↑ ↑

프락탄 (Fruktan)의 사슬 길이와 비피더스균 증식효과와의 관계를 알아보기 위한 연구가 건강인을 대상으로 실시된 바 있다. 8명씩 3군으로 나누어 프락토올리고당과 이눌린을 일주일 동안 하루 10g씩 섭취하도록 한 후 placebo군 (10g/d 말토덱스트린)과 비교하였다(3). 그 결과 대변 내 비피더스균 성장이 프락토올리고당 섭취군에서 유의적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었으나 이눌린이나

placebo군에서는 뚜렷한 효과가 없었다. 2주간 매일 프락토올리고당을 15g, 이눌린을 25g을 섭취하도록 한 후 대변의 b-galactosidase 활성을 측정한 결과(3)에서도 프락토올리고당 섭취군의 활성은 증가하였으나 이눌린은 그렇지 못했다. 이러한 결과들은 장쇄 프락탄에 비하여 프락토올리고당이 효소 유도과 비피더스균 성장에 더 강력한 성분임을 시사하는 것이라 볼 수 있다.

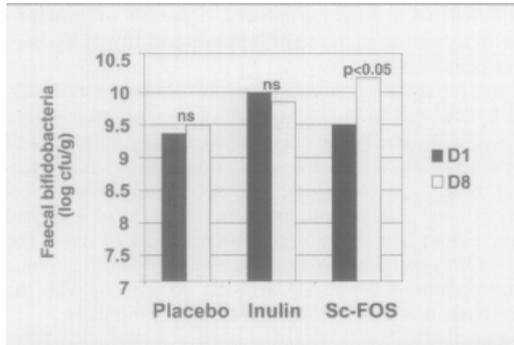


그림 4. 비피더스균 증식 영향에 대한 비교
8일간 일일 프락토올리고당, 이눌린, 말
토덱스트린10g 섭취시 비교

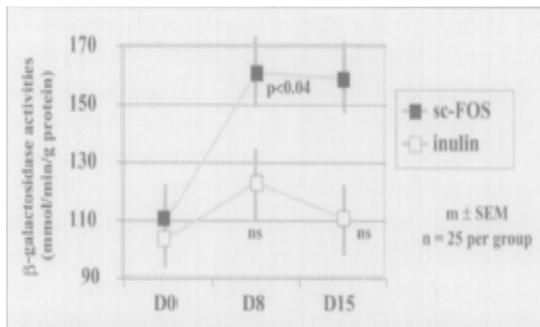


그림 5. 일일 프락토올리고당 10g, 이눌린 15g 섭
취시 b-galactosidase 활성 비교

프락토올리고당은 특히 비피더스균이 현저하게 적은 사람에게서 상당한 증식효과를 보이며(16) 건강한 성인의 경우에도 그 결과는 명확히 나타난다. 섭취를 중지하면, 균총이 원래의 상태로 돌아가는 경향을 보이는데(11) 이는 프락토올리고당이 유익균 증식에 직접적인 요인임을 입증하는 것이다.

프락토올리고당은 동물에게도 같은 건강기능성을 나타내어, 장내 유익균 증식을 통한 감염증 방지와 동물의 변취개선을 목적으로 사료에 첨가하기도 하며 일본과 유럽에서 그 사용이 확대되고 있다(11).

(1) 배변원활

최근 식생활의 변화와 운동 부족 등으로 인하여 배변활동에 문제를 겪는 사람들이 계속적으로 늘어나고 있다. 규칙적이지 못한 배변습관과 이에 따른 불쾌감 등에 따라 하제 사용의 빈도도 높아지는 추세를 보인다. 장내에서 변의 체류시간이 길면 유해균이 증식하고, 건강에 좋지 않은 영향을 줄 수 있는 유해물질이 장에 흡수될 가능성이 높아져 여러 생활 습관병의 위험요인이 될 수 있다. 그러나 배변을 위해 하제의 남용하는 것은 오히려 배변기능을 떨어뜨리며 장내 유익균의 수도 저하시켜 결국 더 심한 결과를 초래하게 된다. 따라서 배변을 원활히 할 수 있도록 돕는 가운데 장내 유익균을 증식시켜 유해균의 성장을 억제하는 것이 건강에 매우 중요하다 할 수 있다.

프락토올리고당은 원활한 배변을 할 수 있도록 도와주며 장내환경을 건강한 상태로 유지시켜 줌으로서 일시적인 배변을 유도하는 하제와 달리 근본적으로 장 건강을 지켜줄 수 있는 식품이다.

프락토올리고당의 배변활동에 대한 영향은 정장 작용에 기인한 것이다. 장내 균총의 변화를 통한 단쇄지방산의 생성, 부패물질의 감소와 장의 연동 운동 촉진, 장내 삼투압을 통한 변의 수분 증가 등이 배변에 영향을 주는 것으로 알려져 있다(11).

배변현상은 정신적, 육체적 상황에 따라 크게 좌우되므로 배변활동에 도움을 받기 위한 프락토올리고당의 섭취량은 개인마다 다를 것이다. 이 가운데 1주에 배변횟수가 3~6회 정도인 사람을 대상으로 했을 때 그 증세가 개선됨을 확인할 수 있었다(11).

또한, 프락토올리고당은 장내 유익균의 증식을 통해 유해균의 성장을 억제시켜 암모니아 계열 화합물의 생성을 막아주므로, 변취를 개선시키고, 장 건강을 유지시키는 역할을 한다.

프락토올리고당의 섭취와 배변활동의 관계를 보기 위한 연구가 다양한 계층을 상대로 이루어졌으며 그 결과들은 표 6과 같다.

표 6. 프락토올리고당 섭취와 배변활동

참고문헌	시험대상	섭취형태	섭취량 및 방법	결과
Gibson GR et al. (1995) ¹³	건강한 성인 8명 (남7, 여1, 21~48세)	(1) 프락토올리고당 (n=2~6) (2) inulin (n=2~60)	15g/d, 15일	(1), (2) 모두 배변량, 질소, 에너지 ↑, SCFA ↔
Chen HL et al. (2000) ¹⁹	60세 이상 만성변비 경험 있는 노인 5명	Synthetic inulin type (40%)	3~10g/d (섭취전 30일: 전반 15일 변비약 복용, 섭취 30일)	배변 빈도수 ↑↑, 배변량 ↑↑, 배변무게 ↑↑, pH ↓↓, SCFA ↑↑, 변의 수분량 ↔
Tuohy KM et al. (2001) ¹⁶	건강한 성인 31명 (18~50세)	프락토올리고당 함유 비스킷 (20%)	6.6g/d, 21일 (crossover 각 21일 일상 식사)	배변 빈도수 ↔, pH ↔
Moro G (2002) ¹⁸	영아 90명	프락토올리고당 우유에 넣어 섭취	0.8g/dl, 0.4g/dl	pH ↓↓, 배변 빈도수 ↑ (고용량 군에서), 배변경도 ↓↓ (용량의존적); 부작용 없음

(2) 칼슘흡수 촉진

우리의 몸을 지지하는 뼈는 전 생애 동안 파괴와 형성을 되풀이하며 끊임없는 변화를 겪는다. 뼈의 유기물질과 무기물질의 총량 (골질량)은 20대에서 최고를 기록하며, 그 이후에는 나이가 들어감에 따라 감소한다. 더욱이 그 감소량은 여성이 남성의 약 3배이고, 70대가 되면 약 30퍼센트나 감량된다고 한다. 골질량의 감소는 호르몬의 변화와 운동, 섭취식품의 영양 등과 연관이 있으므로 꾸준한 운동과 올바른 영양섭취를 통하여 골질량을 최대한 높이고 또한 감소를 억제하여 장래 골다공증 등의 리스크를 낮추어야 할 것이다(10). 특히 이전에는 폐경기 이후 여성에서만 발생한 골다공증이 요즘은 지나친 다이어트의 영향으로 2~30대의 여성들에게도 발생하는 예가 점점 증가하고 있다.

골다공증과 칼슘과의 연관성은 이미 널리 알려진 사실로서 일상생활에서 칼슘의 섭취가 중요한

방법으로 주목받고 있으나 실제 그 섭취량은 권장량의 60% 수준에 그치고 있다(20).

표 7. 칼슘 영양권장량에 대한 계절별 평균 섭취 비율 (단위 : %)

연령 계절	연령								
	전국	1~2	3~6	7~12	13~19	20~29	30~49	50~64	65≤
봄	65.3	120.8	73.2	67.5	51.5	61.7	65.1	65.4	55.6
여름	65.2	113.6	72.8	70.5	53.8	54.4	68.0	64.5	52.1
가을	64.6	108.6	78.0	64.1	51.6	61.8	65.6	65.8	52.6

특히 칼슘은 섭취 후 평균 30% 정도만이 흡수되며, 나머지 70% 가량은 배출되어 흡수가 어려운 영양소 중 하나이다. 따라서 뼈 건강을 위해서는 적정량의 칼슘 섭취도 중요하지만 얼마나 효율적으로 흡수되는가 또한 매우 중요한 요인이다(10). 이에 따라 프락토올리고당 섭취가 미네랄 흡수

를 도와준다는 연구가 수행되었으며 대표적인 인체시험 결과는 아래 표에 정리된 바와 같다 (표 8).

동물을 대상으로 한 많은 실험에서 프락토올리고당 섭취를 통하여 칼슘 흡수가 촉진되고 골밀도가 증가한다는 결과를 보여주었다(21-22). 이러한 결과는 프락토올리고당의 대사과정에서 생성된 단쇄지방산에 의해 장내가 산성화되어, 미네랄 성분

의 용해도가 증가함으로써 대장 내 흡수도가 높아진 것으로 설명할 수 있다.

따라서, 프락토올리고당의 섭취는 성장기 어린이의 골밀도 증가, 노화에 따른 골질환에 대한 예방효과를 기대할 수 있으며, 폐경기 여성의 골질환 개선효과를 얻을 수 있다.

표 8. 프락토올리고당 섭취와 칼슘흡수 촉진

참고문헌	시험대상	섭취형태	섭취량 및 방법	결과
van den Hduvel (1999) ²³	건강한 청소년 12명 (남, 14~16세)	Inulin type fructans	5g X 3/d (in orange juice)	일일 15g의 프락토올리고당 섭취시 사춘기 남자의 칼슘 흡수 증가
Uenishi (2002) ²⁴	건강한 여대생 8명 (20~22세)	프락토올리고당 함유 맥아음료 (3g/200ml)	3g/d (in malt drinks)	Urinary total calcium ↑, urinary ratio of ⁴⁴ Ca/ ⁴³ Ca ↑
Fukushima (2002) ²⁵	(1) Test-1 건강한 여대생 8명 (20~22세) (2) Test-2 건강한 여대생 5명 (20~22세)	(1) 1.9g 프락토올리고당 + 맥아음료 (2) 1.5g 프락토올리고당 + 맥아음료	(1) 1.9g X 2/d (in liquid malt drinks) (2) 1.5g X 2/d (in powder malt drinks)	Urinary ratio of ⁴⁴ Ca/ ⁴³ Ca ↑ 과량 섭취시 (6can or 90g/serving)을 통한 안전성 시험에서도 설사나 그 이외의 임상증후를 발견하지 못함
Ohta (1999) ²⁶	건강한 성인 10명 (남자)	프락토올리고당(in togurt flavor tablets)	3g/d (in yogurt flavor tablets)	Urinary Ca ↑ Ca/creatinine ratio ↑ Bone resorption marker에 유의적인 변화 없었음
Coudray (1997) ²⁷	건강한 남학생 9명 (19~24세)	(1) Inulin (2) Sugar veet fibres (hemicellulose + cellulose + pectin + lignin) Bread 와 liiquid food 형태로 공급	(1) 18g dietary fibres (basal diet) + 40g inulin/d (2) 18g dietary fibres (basal diet) + 40g sugar beet fibres/d	(1) (2) 모두 Ca absorption ↑ Ca balance ↑ urinary excretion에는 유의적인 변화 없었음 Mg, Fe, Fe의 absorption 및 balance에는 유의적인 변화 없었음
van den Hduvel (1998) ²⁸	건강한 성인 12명 (남, 20~30세)		Basal diet + 15g/d, 21일	Urinary ⁴⁴ Ca/ ⁴³ Ca ratio 변화 없음 Fecal pH, SCFAs간의 변화 없음
Tahiri (2001) ²⁹	건강한 성인 11명 (여, 53~65세)	sc-FOS???	4일간 5g/d 섭취 후 35일간 5g/d	Mg absorption ↑ Mg urinary excretion ↑ ²⁵ Mg balance ↑ Bone turnover marker↔

(3) 저칼로리

프락토올리고당은 소장에서 소화 흡수되지 않고 대장에 도달하여 에너지화 되기 어려우므로 칼로리 섭취 제한에 유용하다. 이와 같이 사람의 소화 효소에 의해 분해되지 않는 이유는 독특한 분자 형태의 결합방식에 있다.

당성분은 일반적인 탄수화물의 칼로리인 4 kcal/g을 내지만, 프락토올리고당은 2 kcal/g (고형물기준)에 해당하는 열량을 내며, 이는 일본 영양표시기준으로 설정되어 있다. 이러한 프락토올리고당의 에너지는 대장균 내 장내세균의 대사를 통해 생성된 초산, 프로피온산, 낙산 등의 유기산이 장관경로에서 흡수되어 발생하는 것이다(11).

일본에서는 프락토올리고당의 칼로리에 대한 정확한 기준이 마련되어 있지만, 아직 국내에서는 올리고당류를 일반 당류와 동일하게 4 kcal/g으로 표시하도록 되어있어 정확한 칼로리 기준이 정해져 있지 않은 상태이다.

(4) 혈당에 대한 영향

건강인과 당뇨병환자를 대상으로 프락토올리고당 섭취시 혈당, 인슐린, 혈중 과당 반응을 관찰한 연구가 시행된 바 있다(30). 결과 25 g 프락토올리고당 섭취시에도 식후 혈장 반응은 크게 변화하지 않는 것으로 나타났다.

Yamashita 등은 혈당에 대한 프락토올리고당의 영향을 알아보기로 제 2형 당뇨병자 18명을 대상으로 14일간 하루 8 g씩 섭취하도록 하였으며, 그 결과 프락토올리고당을 섭취한 기간 동안 공복혈당이 유의적으로 15 mg/dl 감소함을 확인하였다. 최근 12명의 건강인을 대상으로 한 이중맹검 교차 실험9에서는 1개월간 매일 20 g의 프락토올리고당을 섭취했을 때 간에서의 당생성이 감소하는 것으로 나타났다.

프락토올리고당이 당대사에 어떠한 기작으로 작

용하는 지는 아직 불분명하지만 단쇄지방산의 기능과 연관성이 있을 수 있을 것으로 논의되고 있다. 생성된 단쇄지방산 중 특히 프로피온산은 쥐와 건강한 사람을 대상으로 한 실험에서 간의 당대사에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 최근 정상쥐를 대상으로 4주간 프로피온산(sodium propionate 7.8 g/100g food)이 풍부한 사료를 공급했을 때 공복혈당이 감소하였다(32). 건강인에게 장기간 프로피온산(7.5 g sodium propionate/d, 78 mmol propionate/d)에 해당을 섭취하도록 한 실험(33)에서도 공복혈당이 감소하였으며 포도당 견딤 검사(glucose tolerance test) 동안 최대 인슐린 분비량 또한 줄어든 것으로 나타났다. 또한 Todesco 등(34)도 6명의 건강인에게 7일간 프로피온산 (9.9 g sodium propionate/d)를 보충하였을 때 공복혈당이 감소함을 확인하였다. 프로피온산은 gluconeogenesis이며 젖산으로부터의 gluconeogenesis를 저해하고 간세포에서의 당분해를 촉진한다(35). 프로피온산은 Krebs Cycle 중 succinyl CoA 단계로 들어간다. 프로피온산의 gluconeogenesis의 저해 작용은 이의 중간물인 methylmalonyl CoA, succinyl CoA와 연관이 있는데 이들은 pyruvate carboxylase의 특이 저해제로서 역할을 한다(36). 게다가 프로피온산은 phosphofructokinase의 주요 대사 저해제인 간의 citrate를 감소시켜 해당작용을 증진시킨다(37). 결국, propionate는 gluconeogenesis의 실제 속도와 관계가 깊은 것으로 알려진 혈장 지방산 농도를 감소시킴으로써 간접적으로 간의 당대사에 영향을 미친다(38).

이러한 결과들은식이섬유가 위장에서의 (공복감 감소, 식이 탄수화물의 흡수 및 소화 지연) 작용뿐만 아니라 발효 부산물 또한 당 대사에 영향을 줄 수 있음을 시사한다.

그러나 아직 프락토올리고당의 섭취가 혈당을 저하시킬 수 있다고 단언하기는 힘들며 이를 입증하기 위해서는 다양한 연구가 수행되어야 할 것이다.

프락토올리고당이 혈당 조절기능이 있는 지는 아직 연구 중에 있으나, 혈당에 영향을 주지 않는 소재임은 분명하다. 프락토올리고당은 소장에서 효소에 의해 분해되지 않으므로 인슐린을 소비하지 않으며 체내 흡수되지 않으므로 혈당치 상승도 보이지 않는다(39). 또한, 장내 발효시 생성된 유기산이 흡수될 때에도 혈당치 상승은 일어나지 않는다. 따라서 단당이 거의 함유하지 않은 고순도 프락토올리고당은 당뇨병자가 안심하고 사용할 수 있는 당질이다.

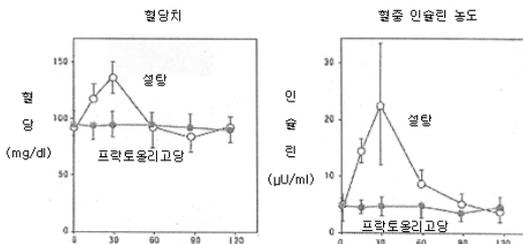


그림 6. 프락토올리고당 섭취시 혈당치와 혈중 인슐린 농도의 변화

(5) 혈청지질개선

프락토올리고당이 혈중 LDL-콜레스테롤을 저하시킨다는 연구 결과가 발표된 바 있다. 소위 나쁜 LDL-콜레스테롤을 저감시키는 한편, 좋은 HDL-콜레스테롤은 저하시키지 않는다는 것이다. 이러한 작용은 비피더스균이 생성하는 유기산류와 관련이 있다.

인슐린 비의존형 당뇨병환자 18명에게 프락토올리고당 액상 8 g (프락토올리고당으로서 3.3 g)을 대조군은 같은 열량에 해당하는 설탕 5 g을 2주간 섭취토록 한 뒤, 혈중 지질 변화를 관찰한 결과 프락토올리고당 섭취군에서 혈청 LDL-콜레스테롤 수치가 유의적으로 감소함을 확인할 수 있었다(40).

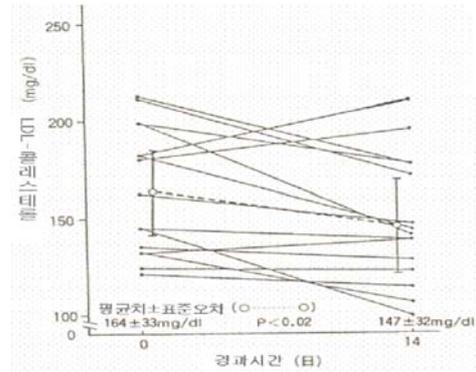


그림 7. 프락토올리고당이 혈청 지질에 미치는 영향

또한 실험에 참가한 18명 중 14명에게서는 높은 수치를 보이던 혈당치가 유의적 감소했음을 관찰할 수 있었다.

이외에도 프락토올리고당의 혈중 지질에 대한 영향을 연구한 사례가 다수 있었으며 그 가운데 대표적인 인체시험 결과를 표 9에 정리하였다.

이러한 현상은 프락토올리고당 섭취시 발생하는 propionate와 연관이 있을 수 있다. 동물실험 결과 프로피온산은 3-hydroxy-3-methyl-glutaryl-CoA (HMG-CoA) 합성효소(43)와 환원효소(44) 모두를 저해함으로써 콜레스테롤 합성을 낮추는 것으로 나타났다. 이러한 효과는 제2형 당뇨병자(31,45)와 고지혈증 외래환자(45-46)를 대상으로 관찰한 경우 확인할 수 있었다. 그러나 고지혈이 없는 건강인의 경우 프락토올리고당 섭취시 아무런 효과가 나타나지 않았다(9).

위의 표와 같이 프락토올리고당 섭취가 혈중지질에 변화를 준다는 결과가 있는 반면, LDL-콜레스테롤에 영향을 미치지 않는다는 연구도 있다. 이는 실험 대상 및 섭취방법의 차이에 기인한 것으로 보인다. 따라서 정확한 결과를 얻기 위해서는 프락토올리고당 분말을 여러 식품에 첨가하는 형식으로 실험을 진행하여 특별히 다른 식품을 섭취해야 하는 방법이 아닌 피험자의 일상적인 식사를 통한 효과를 측정하는 방식으로 접근해야 체중

표 9. 프락토올리고당 섭취와 혈중 지질 개선

참고문헌	시험대상	시험 디자인	섭취량	섭취방법 및 기간	시험결과
Yashashati et al. (1984) ³¹	비인슐린의존성당뇨병자 18명 (남8, 여10)	Double blind, parallel	하루 8g	커피 드링크, 커피 젤리에 첨가한 형태로 2주간 섭취	TC LDL-C
Hidaka et al. (1991) ⁴¹	고지혈증 12명 (남)	Double blind, parallel	하루 8g	과자류에 첨가한 형태로 5주간 섭취	TC
Luo et al. (1996) ⁹	정상인 12명 (남)	Double blind, cross-over	하루 20g	100g 비스킷에 첨가한 형태로 4주간 섭취	NS
Alles et al. (1999) ⁴²	Type II 당뇨 20명 (남9, 여11)	single blind, cross-over	하루 15g	3주간 섭취	NS

증가 및 추가 보충 식품으로 인한 지질 변화를 최소화 하여 정확한 결과를 도출할 수 있을 것이다.

(6) 난충치성

프락토올리고당은 Streptococcus mutans에 의해 소화되지 않으므로, 유산의 생성 또한 설탕에 비교하여 적다. 또한 불용성 글루칸 생성도 지극히 일부 만이 생성되는 것으로 확인되었다(47). 따라서 프락토올리고당은 충치의 원인이 되기 어려우므로 난충치성 당질이라 할 수 있다.

표 10. 프락토올리고당을 기질로한 S. mutans에 의한 유산생성

균주 (혈청형)	유산생성 (설탕 100 기준)	
	설탕	고순도 프락토올리고당
OMZ61	100	50
BHT	100	23
PS14	100	10~44
B13	100	23
LM7	100	42
OMZ175	100	42
6715	100	23

(7) 케양성 대장염

소화관에 케양이 발생시, 정상에 소화흡수를 할 수 없는 크롬병환자에 대해 투여에는, 30 g/d의 투여를 60일간 계속할 때 체중혈장프레알부민치의 회복을 확인할 수 있었다(48). 또한 동물실험에서는 케양이 경감하는 것을 관찰하였다.

위와 같은 사실로부터, 프락토올리고당은 케양성 대장염에 대해 단기치료효과를 기대할 수 있다.

(8) 병원균 침입 저해

비피더스균은 여러 병원균의 성장을 억제함이 *in vitro* 상에서 확인된 바 있다. 이러한 현상은 여러 가지 기작에 따라 나타나며 이를 'Bifidobacterium barrier'라고 한다.

최근 올리고당이 병원균에 대한 세포 수용체로서 작용한다는 사실에 힘입어 위장관 (gastrointestinal, GI) 병원균에 직접적으로 작용하는 올리고당 베이스의 치료약을 개발 중이다(49). 올리고당은 충분히 식품에 활용 가능하므로 이를 일상 식사에서 섭취할 경우에도 올리고당이 병원균과 세포 수용체와의 결합을 저해하여 콜로니 생성을 막는 효과가 있을 것으로 예상된다. 이러한 잠재적 기능성에 대해서는 현재 연구 중에 있다.

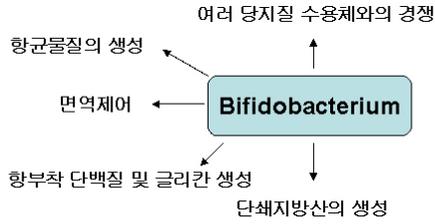


그림 8. Bifidobacterium barrier.(비피더스균이 장내 병원균 존속을 저해하는 기작을 나타냄)

5. 프락토올리고당의 섭취 안전성 (프락토올리고당 섭취시 가스 발생 현상)

프락토올리고당은 양파, 아스파라거스, 밀 등을 포함한 식품에 존재하는 천연물질로서 예로부터 일반적인 식생활을 통하여 섭취해 온 성분이다. 일반 당류와는 다르게 소장에서 소화되지 않아 체

내에 흡수되지 않는다. 따라서 프락토올리고당은 혈당치가 높거나 체중을 걱정하는 사람들이 사용할 만한 안전한 당질이며 장내 유익균의 증식을 도모하여 여러 건강 기능성을 제공한다.

이러한 천연물 유래의 프락토올리고당을 일반 식생활을 통하여 섭취할 경우 최대 1 g/d 이하 정도로 알려져 있다(3). 따라서 프락토올리고당의 건강 기능성을 기대한다면 일반 식사와 더불어 일정량의 보충이 필요하다.

건강기능식품에 사용되는 프락토올리고당은 그 성분이 일반식품에 비해 상당히 농축된 형태로 볼 수 있으므로, 여러 안전성 시험을 거친 후 사용되고 있다. 이미 예로부터의 섭취 역사가 있는 소재로서 그 안전성은 매우 높으며 급성독성, 만성독성, 변이원성 시험 또한 거쳐 그 안전성이 입증되었다. 또한 1984년 일본에서 발매된 이래 많은 상

표 11. 프락토올리고당 섭취실험시 나타난 불편사항

참고문헌	섭취대상	일일 섭취량	섭취기간	발생현상
Br. J. Nutr. 86, 341-348 (2001) ¹⁶	31명 (여성 17, 남성14)	FOS 6.6g + 구아검 가수분해물 3.4g (비스켓에 함유된 형태로 섭취)	21일	배에서 소리나는 현상 ('심각' 18.38% 증가) 과 가스로 인한 복부팽만 현상이 나타남 ('심각' 8.96% 증가)
	기능적 변비 환자 20명	5-10g (메이올리고 과일 1-2봉)	28일 희망자에 한해 28일 이상 제공	10명 복부 팽만 개선, 3명 증가 복통 1명, 복명 6명
Br. J. Nutr. 78, 215-222 (1997) ⁵⁰	64명의 건강한여성	이눌린 14g (저지방 스프레드에 첨가한 형태)	4주	가스로 인한 복부팽만을 비롯한 위장 관련 증세 증가 대부분 가벼운 복부팽만을 겪었으나 12%는 '심각'한 수준으로 답함
Am. J. Clin. Nutr. 46, 61-65 (1987) ⁵¹	10명의 건강한 지원자	15g (5g씩 3번 나누어 섭취)	12일	복통, 트림, 복부팽창, 가스로 인한 팽만 증상이 유의적으로 증가 복부팽만을 제외한 증상은 없거나 가벼운 수준
J. Nutr. 129, 113-116 (1999) ¹⁵	40명의 건강한 지원자 (남자 18, 여자 22)	2.5, 5, 10, 20g	1주씩 섭취	10g 섭취시부터 방귀, 복명, 복통, 소화이상 등의 증세 호소. 5g 섭취는 문제 없음
Nutr. Res. 20, 1725-1733 (2000) ¹⁹	60세 이상의 건강한 노인 5명	10g (중국음식에 함유된 형태로 공급)	3일 주기로 30일간	섭취소가 낮은 식단에 10g 첨가시 부작용 없이 변비 개선

품에 작용되어 장기간 사용되었지만, 안전성에 대해서 문제가 없었으며 현재 미국이나 유럽을 비롯한 세계 여러 국가에서 식품원료로서 사용하고 있다.

그러나, 어떠한 식품도 과하게 먹는 것은 좋지 않듯이 건강상 유익한 프락토올리고당도 과도하게 섭취할 경우 다소의 불편감을 경험할 수 있다. 이는 소장에서 소화되지 않은 프락토올리고당이 대장에서 발효될 때 발효 부산물로서 가스가 발생하기 때문이다. 이에 따라 배에 가스가 차는 현상이 발생할 수 있으며 장내 세균의 발효능이 한도를 넘을 경우에는 설사가 발생할 수도 있다.

표 11은 프락토올리고당 인체시험시 피험자의 불편 사항을 정리한 것이다.

프락토올리고당 과다 섭취시 위장과 관련하여 불편한 사항은 복명, 복부 팽창과 헛배부름 등이 있으며 가장 흔하게 나타나는 현상은 가스로 인한 복부 팽만 현상으로서 이를 제외한 증상들은 대부분 없거나 가벼운 경우가 많으며 특히 개인에 따라서는 오히려 복부 팽만이 개선되었다는 결과도 있었다.

이와 같이 프락토올리고당의 적정 섭취량은 환경, 성별, 섭취시 상태 등에 따라 다르며 같은 증상도 개인에 따라 다르게 느낄 수 있다.

프락토올리고당은 장내 유익균의 성장과 발효를 촉진시키는 역할을 하는데 이산화탄소와 수소는 발효시 피할 수 없는 생성물이다. 따라서 프락토올리고당을 섭취한 사람들에게서 가벼운 복부 팽만 현상이 자주 나타나는 것이다. 프락토올리고당 과다 섭취시 장내 삼투압에 의해 일시적인 설사를 유발할 수 있으나 발생 가능성은 적어, 잘 제어된 연구에서는 설사 유발을 보기 어렵다(11).

현재 건강기능식품공전 상 프락토올리고당의 하루 섭취량은 3~8 g으로 섭취시 불편함을 느낄 수 준은 아니나 그 반응은 개인차가 크므로 만일 불편함이 느껴지면 섭취량을 줄이는 것이 좋다.

6. 프락토올리고당의 이용

Probiotics를 적용할 경우 각 제품에서의 배양활성 등에 주의를 기울여야 하지만 프락토올리고당과 같은 prebiotics의 경우에는 이러한 문제점을 갖지 않는다. 또한 프락토올리고당은 감미가 적고 무색 식품 원료로서 다양한 식품에의 적용이 가능하다.

프락토올리고당의 응용이 가능한 분야는 다음과 같다.

표 12. 프락토올리고당을 응용한 제품

분야	주된 제품 예
건강식품	탁상감미료, 타블렛, 드링크, 과립
저온유통	유음료, 요구르트, 아이스크림, 빵
음료	커피, 홍차
과자	초콜렛, 캔디, 껌, 비스킷
식품	분유, 씨리얼, 스프
사료	비육(肥育)용사료, 애완동물 사료

유통기한이 짧은 저온유통상품에 대해서는 산성 음료에도 프락토올리고당의 이용이 가능하다. 그러나 산성식품에 적용시에는 프락토올리고당을 넣은 후 가열시간을 가급적 짧게 하는 것이 좋다. 또한 제품내 수분이 특별히 높은 경우에는 유통기한이 짧은 제품에 적용하는 것이 바람직하다.

7. 참고문헌

1. Bhatia IS, Satyanarayna MN, Srinivasan M. Transfructosidase from *Agave vera curz* Mill. *Biochem J.* 61:171-174 (1955)
2. Allen PJ, Bacon JS. Oligosaccharides formed from sucrose by fructose-transferring enzyme of higher plants. *Biochem. J.* 63:200-206 (1956)

3. Bornet FRJ, Brouns F, Tashiro Y, Duvillier V. Nutritional aspects of short chain fructooligosaccharides: natural occurrence, chemistry, physiology and health implications. *Digest Liver Dis.* 34: S111-120 (2002)
4. (財)日本建康·栄養食品協會 市場現況
<http://www.jhnfa.org>
5. Oku T, Todunaga T, Hosoya N. Nondigestibility of a new sweetener fructo-oligosaccharide (Neosugar) in rat. *J. Nutr.* 114:1574-1581 (1984)
6. Tsuji Y, Yamada K, Hosoya N. Digestion and absorption of sugars and sugar substitutes in rat small intestine. *J Nutr Sci Vitaminol.* 32:93-100 (1986)
7. Molis C, Flourie B, Ouarme F, Gailing MF, Lartigue S, Guibert A. Digestion, excretion and energy value of fructooligosaccharides in healthy humans. *Am J Clin Nutr.* 64:323-328 (1996)
8. Bornet F, Alamowitch C, Slama G. Short chain fatty acids and metabolic effects in humans. In: Philips GO, Weldlock DJ, Williams TE, editors. *Gums and stabilizers for food industry.* 7th ed. Oxford: Oxford University Press; p. 217-229 (1994)
9. Luo J, Rizkalla S, Alamowitch C, Boussairi A, Blayo A, Barry JL, et al. Chronic consumption of short-chain fructooligosaccharides by healthy subjects decreased basal hepatic glucose production but had no effect on insulin-stimulated glucose metabolism. *Am J. Clin. Nutr.* 63:939-945 (1996)
10. (財)日本建康·栄養食品協會 特定保健用食品 9 (2004)
11. フラクトオリゴ糖 In:早川幸男 editor. *オリゴ糖の新知識.* 食品化学新聞社 48-64 (1998)
12. Williams CH, Witherly SA, Buddington RK. Influence of dietary neosugar on selected bacterial groups of the human faecal microbial. *Microbial Ecology in health and disease.* 7:91-97 (1994)
13. Gibson GR, Beatty ER, Wang X, Cumming JH. Selective stimulation of bifidobacteria in the human colon by oligofructose and inulin. *Gastroenterology.* 108:975-982 (1995)
14. Bouhnik Y, Flourie B, Riottot M, Bisetti N, Gailing MF, Guibert A, Bornet F, Rambaud JC. Effects of fructo-oligosaccharides ingestion on fecal bifidobacteria and selected metabolic indices fo carcinogenesis in healthy humans. *Nutr Cancer.* 26:21-29 (1996)
15. Bouhnik Y, Vahedi K, Achour L, Affar A, Salfati J, Pochart P, Marteau PH, Flourie B, Bornet F, Bornet F, Rambaud JC. Short-chain fructo-oligosaccharide administration dose-dependently increases fecal bifidobacteria in healthy humans. *J. Nutr.* 129:113-116??? (1999)
16. Tuohy KM, Kolida S, Lustenberger AM, Gibson GR. The prebiotic effects of biscuits containing partially hydrolysed guar gum and fructo-oligosaccharides- a human volunteer study. *Br. J. Nutr.* 86:341-348 (2001)
17. Guigoz Y, Rochat F, Perruisseau- Carrier G, Rochat I, Schiffrin EJ. Effects of oligosaccharide on the faecal flora and nonspecific immune system in elderly people. *Nutr. Res.* 22:13-25 (2002)
18. Moro G, Minoli I, Mosca M, Fanaro S,

- Jelinek J, Stahl B, Boehm G. Dosage-related bifidogenic effects of galacto- and fructooligosaccharides in formula-fed term infants. *J. Pediatric Gastroenterology Nutr.* 34:291-295 (2002)
19. Chen HL, Lu YH, Lin JJ, Ko LY. Effect of fructooligosaccharide on bowel function and indicators of nutritional status in constipated elderly men. *Nutr. Res.* 20: 1725-1733 (2000)
 20. 한국보건산업진흥원. 2002년도계절별 국민영양조사II
 21. Ohta A, Ohtsuki M, Baba S, Adachi T, Sakata T, Sakaguchi E. Calcium and magnesium absorption from the colon and rectum are increased in rats fed fructooligosaccharides. *J Nutr.* 125:2417-2424 (1995)
 22. Morohashi T, Sano T, Ohta A, Yamada S. True calcium absorption in the intestine is enhanced by fructooligosaccharide feeding in rats. *J Nutr.* 128:1815-1818 (1998)
 23. Heuvel E, Muys T, Dokkum W, Schaafsma G. Oigofructose stimulates calcium absorption in adolescents. *Am. J. Clin. Nutr.* 69:544-548 (1999)
 24. Uenishi K, Ohta A, Fukushima Y, Kagawa Y. Effects of malt drink containing fructooligosaccharides on calcium absorption and safety of long-term administration. *Nutr. Dietetics* 60:11-18 (2002)
 25. Fudushima T, Jun CH, Kegai K, Ohta A, Sakai K, Uenishi K, Kagawa Y. Calcium absorption of malt drinks containing fructooligosaccharides and safety in humans. *J. Nutr. Food* 5 (2002)
 26. Ohta A, Sakai K, Takasaki M, Tokunaga M, Todunaga T. The advantagesof calcium supplement tablet (candy) containing fructooligosaccharides for the healthy human being. *J. Nutr. Food* 2:37-43 (1999)
 27. Coudray C, Bellanger J, Castiglia-Delavaud C, Remesy C, Vermorel M, Rayssiguier Y. Effect of soluble or partly soluble dietary fibres supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. *Eur. J. Clin. Nutr.* 51:375-380 (1997)
 28. Heuvel E, Schaafsma G, Muys T, Dokkum W. Nondigestible oligosaccharides do not interfere with calcium and nonheme-iron absorption on young, healthy men. *Am. J. Clin. Nutr.* 67:445-451 (1998)
 29. Tahiri M, Tressol JC, Arnaud J, Bomet F. Five-seeek intake of short-chain fructo-oligosaccharides increases intestinal absorption and status of magnesium in postmenopausal women. *Journal of bone and mineral research* 16 (2001)
 30. Drevon T, Bomet F. Les fructo-oligosaccharides, Actilight. In: Lesucres, les sucres, les edulcorants et les glucides de charge cans les I.A.A.Ed. TEC & DOC Lavoisier 313-338 (1992)
 31. Yamashita K, Kawai K, Itakura M. Effects of fucto-oligosaccharides on blood glucose and serum lipids in diabetic subjects. *Nutr. Res.* 4:961-966 (1984)
 32. Boillot J, Alamowithc C, Berger AM, Luo J, Burzzo F, Bomet FRJ. Effects of dietary propionate on hepatic glucose production,

- whole-body glucose utilization, carbohydrate and lipid metabolism in normal rats. *Br. J. Nutr.* 73:241-251 (1995)
33. Venter CS, Vorster HH, Cummings JH. Effects of dietary propionate on carbohydrate and lipid metabolism in healthy volunteers. *Am. J. Gastroenterol.* 85:549-553 (1990)
34. Todesco T, Rao AV, Vosselo O, Jenkins DJA. Propionate lowers blood glucose and alters lipid metabolism in healthy subjects. *Am. J. Clin. Nutr.* 54:860-865 (1991)
35. Anderson JW, Bridges SR. Short chain fatty acid fermentation products of plant fiber affect glucose metabolism of isolated rat hepatocytes (41958). *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine.* 177:372-376 (1984)
36. Baird GD, Lomax MA, Symonds HW, Shaw DR. Net hepatic and splanchnic metabolism of lactate, pyruvate and propionate in dairy cow in vivo in relation to lactation and nutrient supply. *Biochem. J.* 186:47-57 (1984)
37. Blaird JD, Cook DE, Lardy HA. Interaction of propionate and lactate in the perfused rat liver. Effects of glucagons and oleate. *J. Biol. Chem.* 248:3608-3614 (1973)
38. Foley JE. Rationale and application of fatty acid oxidation inhibitors in treatment of diabetes mellitus. *Diabetes Care* 15:773-781 (1992)
39. 山田和彦 : 消化と吸収, 13(2), 88 (1990)
40. 山下龜次郎 : 第2回 Neosugar-研究會報告 (Neosugar-研究會, 東京) (1984) 39
41. Hidaka H, Tashiro Y, Eida T. Proliferation of bifidobacteria by oligosaccharides and their useful effect on human health. *Bifidobacteria Microflora.* 10:65-79 (1991)
42. Alles MS, de Roos NM, Bakx JC, van de Lisdonk E, Zock PL, Hautvast SGAJ. Consumption of fructooligosaccharides does not favourably affect blood glucose and serum lipid concentrations in patients with type 2 diabetes. *Am. J. Clin. Nutr.* 69:64-69 (1999)
43. Bush RS, Milligan LP. Study of the mechanism of inhibition of ketogenesis by propionate in bovine liver. *Can. J. Anim. Sci.* 51:121-127 (1971)
44. Rodwell VW, Nordstrom JL, Mitschelen JJ. Regulation of HMG CoA reductase. *Adv. Lipid Res.* 14:1-74 (1976)
45. Mitsuoka T, Hata Y, Takahashi Y. Effects of long term intake of Neosugar on intestinal flora and serum lipid. *Proceedings of the 3rd Neosugar Conference, Tokyo, (1986)*
46. Hata Y, Hara T, Oikawa T, Tamanoto M, Hirose N, Nagashima T. Effects of fructo-oligosaccharides (Neosugar) on hyperlipemia. *Geriatric Med.* 21:156-167 (1983)
47. 平澤正知 : 第 2回 Neosugar-研究會報告 (Neosugar-研究會, 東京) (1984) 21
48. 梅本善哉ら: 消化と吸収, 17(1), 48 (1994)
49. Mensink RP, Katan MB. Effect of dietary trans fatty acids in high density and low density lipoprotein cholesterol levels in healthy subjects. *N. Engl. J. Med.* 323:439-445 (1990)

50. Pedersen A, Sandstrom B, van Amelsvoort JMM. The effect of ingestion of inulin on blood lipids and gastrointestinal symptoms in healthy females. *Br. J. Nutr.* 78:215-222 (1997)
51. Stone-Dorshow T, Levitt MD. Gaseous response to ingestion of a poorly absorbed fructooligosaccharide sweetener. *Am. J. Clin. Nutr.* 46:61-65 (1987)

