

국내외기술정보

비피더스균과 올리고당의 관계

임 상 등
축산물이용연구부

1. 머리말

인간은 생명유지와 일상생활을 영위하기 위하여 필히 음식을 섭취하지 않으면 안된다. 종래의 식품학, 영양학 분야는 식품을 영양소로서 생리기능적으로 식생활 설계를 실시하였으나 최근에는 경제환경의 성숙과 함께 식품가공기술, 유통기술의 발전에 의해 가공식품, 조리식품, 페스트푸드 등의 이용이 급증하여 이에 대한 요구도 높아져 왔다. 이에 즈음하여 음식을 섭취에 관한 정보도 다양화하여 영양소 충족형의 식생활에서 부터 식습관에 기인한 영양장애나 성인병 예방을 목적으로한 건강지향형으로 변화되었다. 이러한 사회적 요구로서 건강유지에 부가가치를 둔 식품수가 많이 개발, 상품화되고 있다.

특히 설탕의 과잉섭취는 충치, 비만, 성인병 증가를 초래하므로써 건강유지에 부가가치를 지닌 올리고당이 설탕대용 감미료로서 여러종 개발되고 있다. 이것은 신규당질관련 효소의 연구개발등 소위 biotechnology 및 그 주변기술의 진보에 따라 가능하게 된 것이다. 설탕은 식품공업에 있어서 용해가 잘되고 달며 에너지원으로 되기 쉽고 쉽게 이용되

어 왔지만 신규개발 올리고당은 설탕과는 다른 기능특성이나 생리학적 특성 즉, 단맛이 있으면서 저에너지성으로서 마치 건강유지에 부가가치를 둔 것으로 명확해져 있다.

특히, 후생성에서 허가된 특정보건용 식품의 올리고당 사용식품이 많은 것은 장내균총의 정상화 즉, 비피더스균 우세균총화에 동반하는 便性이나 장내환경 개선효과를 강조하는 것이 많다. 이 특정보건용 식품의 등장이전 부터 장내균총은 光岡이 대표적으로 연구한 비피더스균에 장내균총의 개선, 장내유해물질의 생성억제, 便性의 개선, 간기능의 개선등 노화예방에 관계가 있는 기능이 해명되고 소비자에게 있어서는 그 정보가 접근되고 있다.

여기서는 비피더스균의 생육인자로서 각종 체조질 기능을 발현할 수 있는 올리고당에 대해서 비피더스균과의 관계부터 해설코자 한다.

2. 올리고당의 종류

일반적으로 올리고당은 단당이 글리코사이드 결합에 의해 탈수축합된 중합도 2개에서 10개의 소당류이다.

최근에 개발된 비피더스균 생육인자로 알려진 올리고당은 천연물로 부터 추출되거나 화학적으로 제조 또는 전이효소나 가수분해 효소의 전이반응을 이용하여 제조된다. 이것들은 거의 대부분이 소화 효소에 의해 소화되지 않거나 소화되어도 극히 소화되기 어려운 난소화성이기 때문에 설탕에 비해 저에너지 값을 갖는다. 또한 그 환원성은 환원력이 있는 것과 없는 것이 알려지고 있다.

표 1은 기 개발된 것이나 상품화된 주요 올리고당을 나타낸 것으로서 새로운 형태의 올리고당은 인간에 있어서 미지물질 뿐만아니라 천연식품에 함

유되어 있는 것이 많다. 올리고당에는 구성당이 동종의 것으로 부터 이루어진 이소말토올리고당, 크실로올리고당 등의 효모올리고당과 구성당이 이종의 것으로 부터 이루어진 갈락토올리고당, 대두올리고당(Raffinose, Stachyose), fructo올리고당, 락츄로스, 락토수크로스, Raffinose, Palatinose올리고당 등의 헤테로올리고당 2군으로 대별된다.

올리고당의 공업적 제법에는 설탕, 유당, 맥아당을 원료로 하여 미생물 유래 효소 전이작용에 따라 재구성된 것, 전분등의 다당류에 새로이 가수분해 효소를 작용시켜 생성된 것, 천연물에 의해 추출,

표 1. 올리고당의 종류

종 류	소 화 성	감 미 도	제 법
Isomaltoligo당 Isomaltose(G_{α} 1-6G), Isomaltotriose(G_{α} 1-6 G_{α} 1-6G), Panose(G_{α} 1-6 G_{α} 1-4G) 등의 혼합물	부분소화성	약 50	효소변환
Xylooligo당 Xylose 2-5개 중합($Xy_{1\beta}$ 1-4 $Xy_{1\beta}$ 1-)된 것의 혼합물	난 소화성	약 50	효소변환
Galactooligo당 Galactosylactose(Gal_{β} 1-6(Gal) n_{β} 1-4G, Gal_{β} 1-6(Gal) n_{β} 1-4Gal)등이 중합도 3-6 혼합물과 Galactosylactose (Gal_{β} 1- 4 Gal_{β} 1-4G) 2종이 있다.	난 소화성	20-40	효소변환
대두oligo당 Raffinose(Gal_{β} 1-6 G_{α} 1-2F), Stachyose(Gal_{β} 1-6 Gal_{β} 1- 6 G_{α} 1-2F)의 혼합물	난 소화성	약 70	추출정제
Fructooligo당 Kestose($G_{1\alpha}$ 1-2 F_{α} 1-2F), Nistose(G_{α} 1-2 F_{α} 1-2 F_{α} 1-2F), Fructosylnistose(G_{α} 1-2 F_{α} 1-2 F_{α} 1-2FI-2F)등의 혼합물	난 소화성	30-60	효소변환
Lactulose(Gal_{α} 1-4F)	난 소화성	60-70	화학변환
Lactosucrose(Gal_{α} 1-4 G_{α} 1-2F)	난 소화성	35-60	효소변환
Raffinose(Gal_{β} 1-6 G_{α} 1-2F)	난 소화성	20-40	추출정제
Palatinoseoligo당 Palatinose(G_{α} 1-6F)의 2-4量體의 혼합물	부분소화성	약 30	화학변환

감미도는 설탕을 100으로한 상대 감미도 올리고당 혼합물에는 정제상태에 따라 포도당, 설탕등이 함유된 감미도는 증가하지만, 중합도가 높은 것의 함유비율이 높게 될 수록 낮다.

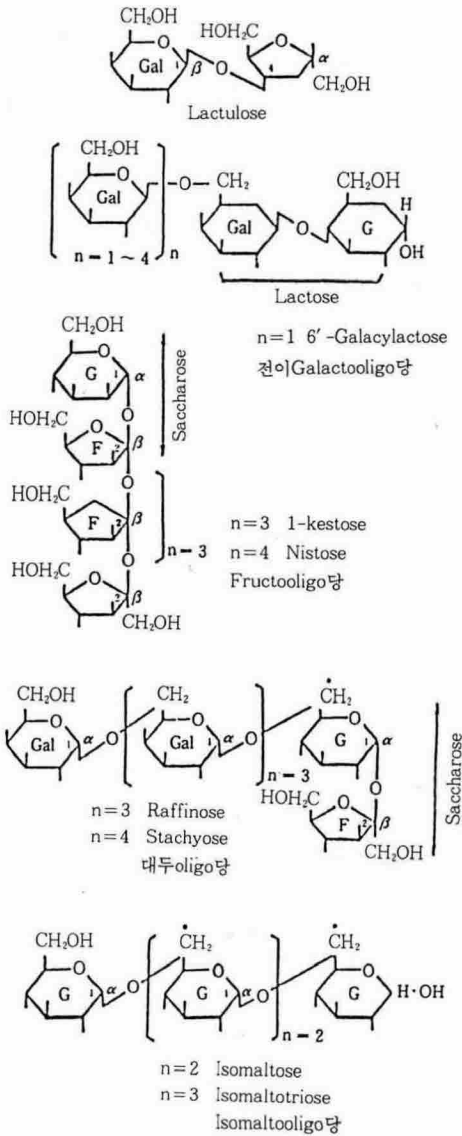


그림 1. 주요 올리고당 구조식

농축, 정제된 것이 있다. 그 밖에 락츄로스처럼 화학변환에 의한 것도 있다.

신규 올리고당의 감미도는 설탕을 100으로 할 경우 반 정도이거나 그 이하이며, 그 중에는 1/5, 1/10인 것도 있다. 일반적으로 중합도가 높으면 감미도는 낮다. 또한 설탕과 비교하여 저감도라는

이점과 가공적성(점성, 침투성, 저흡수성등)에서부터 body감, 保質性, 包接性등의 품질향상이 기대될 수 있다. 특히 건강유지를 목적으로서 기대되는 체조절기능은 장내균총개선(정장작용)에 의한 장내 환경개선효과(便性개선효과, 변비에방, 變異原物質의 생성억제)를 들 수 있고 기타 難蝕性(충치예방), 난소화성(저에너지), 인슈린 분비 非刺激性등의 기능성이 있다.

3. 비피더스균 생육인자로서 올리고당

혐기배양법이 확립된 이래 장내미생물의 연구는 단지 분류학적, 생태학적 연구에 그치지 않고 장내 미생물과 건강에 관한 과학적 연구도 진행되어 여러가지 작용들이 밝혀졌다. 비피더스균의 유용성은 모유영양아가 비피더스균총을 형성하는 것을 단서로 연구가 지금에 이르고 있다.

비피더스균 증식인자의 연구는 주로 인유중 증식 촉진인자의 탐색부터 시작되어 현재까지 Lacto-N-tetraose 등 수십종의 N-acetylglycosamin 함유 올리고당이 제시되었다. 또한, 유단백질이나 기타 단백질 유래 펩타이드나 우유유래 당단백질, 글리코펩타이드나 유케이신 유래cystine 혹은 cysteine 잔기를 갖는 펩타이드가 알려지고 있다. 그 밖에는 당근으로 보여진 pantechin 이 잘 알려져 있다.

그렇지만, 이것은 *in vitro* 에서의 증식인자로는 이루어지지만 *in vivo* 에서의 비피더스균 증가등 비피더스 균총 형성에 관해서 과학적 증명은 불충분한 것이 많다.

in vivo 에 있어서 비피더스균 증식인자로서의 탄소원은 경구적 섭취에 의존하는 것이 판명된 이래 난소화성에서 선택적으로 비피더스균에 이용된 올리고당이 개발될 수 있었다.

표 2는 당질의 장내구성균에 의한 *in vitro* 에서의 이용성을 표시하였는데 난소화성 올리고당은 비피더스균에 선택적으로 이용된다. 또한, 이 형태의 올리고당 *in vivo* 시험 즉 사람에게 투여한 시험에서도 똑같이 장내 비피더스균의 증식을 촉진하고

표 2. 올리고당의 *in vitro* 에 있어서 장내세균 이용성

균 종	Isomal- tooligo 당	Xylo- oligo당	Galac- tooligo 당	대두 oligo당	Fruc- tooligo 당	Lactu- lose	Lacto- sucrose	Raf- finose	Parati- nose oligo당
<i>Bifidobacterium</i>									
<i>B.adolescentis</i>	++	++	++	++	++	++	++	++	++
<i>B.bifidum</i>	-	-	++	-	-	++	-	-	-
<i>B.longum</i>	++	±	++	++	++	++	++	++	++
<i>B.infantis</i>	+	++	++	++	++	++	++	++	+
<i>B.breve</i>	++	-	++	++	+	++	++	++	++
<i>Lactobacillus</i>									
<i>L.acidophilus</i>	±	-	++	±	+	++		±	-
<i>L.casei</i>	-	-	++	-	-	++	-	-	-
<i>L.fermentum</i>		-	+		-	+			
<i>L.salivarius</i>	-	±	++	++	++	++	-	++	-
<i>Eubacterium</i>									
<i>E.lentum</i>	-	-	-	-	-	-	-	±	-
<i>E.limosum</i>	-	-	-	-	-	-	-	±	-
<i>Propionibacterium</i>									
<i>P.acnes</i>	-	-	-	-		-		±	-
<i>Bacteroides</i>									
<i>B.distasonis</i>	+	+	+	+	±	++	++	±	±
<i>B.fragilis</i>	++	±	++	+	++	++	++	+	-
<i>B.melaninogenicus</i>	+	±		-	++	-		-	-
<i>B.ovatus</i>	±	+	+	-	++	++		-	
<i>B.thetaiotaomicron</i>	+	+	++	++	++	++	++	±	±
<i>B.vulgatus</i>	+	-	+	-	++	++	++	±	-
<i>Clostridium</i>									
<i>C.butyricum</i>	-	-	-	+	++	++	+	+	±
<i>C.difficile</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>C.paraputrificum</i>	++	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>C.perfringens</i>	±	-	-	-	-	++	++	-	-
<i>C.ramosum</i>	++								
<i>C.sporogenes</i>		-	-	-		++		-	-
<i>Escherichia</i>									
<i>E.coli</i>	-	-	++	-	-	++	-	-	-
<i>Klebsiella</i>									
<i>K.pneumoniae</i>	±	±	++	-	++	-		-	-
<i>Streptococcus</i>									
<i>S.faecalis</i>	++	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Peptococcus</i>									
<i>P.prevotii</i>	-	-	-	±	-	-		±	-
<i>Peptostreptococcus</i>									
<i>P.parvulus</i>	-	-	-	-	++	-		-	-
<i>Veilonella</i>									
<i>V.alcalescens</i>	-	-	-	-	-	-		-	
<i>Megasphaera</i>									
<i>M.elsdenii</i>		+	-		-	-	-		-

비피더스 우세균총을 형성, 유지한 것이 과학적으로도 증명되고 있다.

똑같이 난소화성의 당질로서식이섬유가 있는데 그 이용성은 일부 식이섬유가 일부 비피더스균주에 제한되기 때문에 비피더스균의 증식은 관계가 없는 것으로 생각되고 있다.

4. 올리고당이 장내환경에서의 생리작용

비피더스균에 선택적으로 이용된 올리고당은 난소화성이기 때문에 대장에 그대로 도달하고 대장에서 비피더스균의 증식에 기여하는 것으로 되어 있다.

일반적으로 장내 비피더스균의 증가에 따라 정장작용에서부터 변비개선 혹은 변성개선등의 효과도 있지만 그 메카니즘은 그림 2에 도시되어 있다.

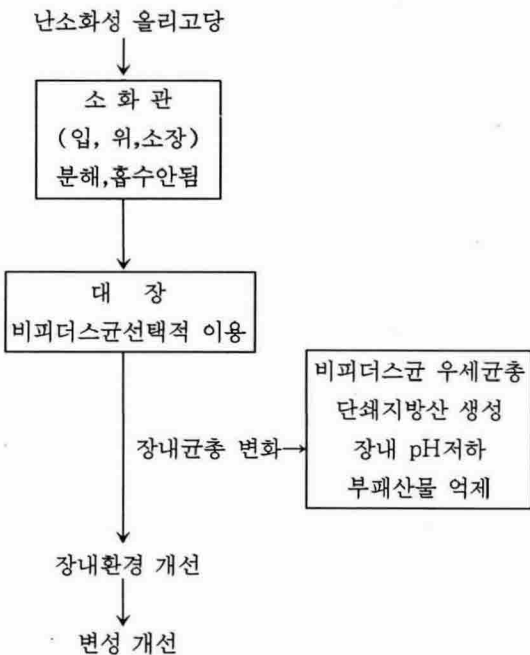


그림 2. 올리고당과 비피더스균과의 관계

즉, 대장내에서 올리고당은 비피더스균에 선택적으로 이용되어 장내균총내에서의 점유율이 높아지는 것과 동시에 그 대사산물인 유산, 초산이 생성

되어 장내 pH가 저하된다. 그때 생성된 초산, 유산은 웰치균(*Clostridium perfringens*)이나 대장균(*Escherichia coli*)등 대표하는 부패균의 발육억제를 갖는 것으로 알려지고 있으며, 이것은 장내 pH의 저하에 의하여 indole, phenol, skatol, nitrosoamin류등 변이원성 부패물질의 생성억제를 의미한 것이다. 그 결과 변이원생성에 관여한 glucuronidase, azoreductase, nitroreductase 등의 효소활성도 저하된다.

또한, 장관내에는 비피더스균이외의 장내균총 구성균 유래의 유산, 초산, 프로피온산, 낙산등의 단쇄지방산이 증가한다. 이 단쇄지방산은 대장환경내에서 기능을 갖는 동시에 대장에서 흡수되어 생체에 여러가지 작용을 제공하는 것으로 알려지고 있다. 이 생리기능으로서는 腸部刺激症, 분변량 및 장내액체의 흡수제어, 항암성, 結腸에너지원, 결장에 있어서 나트륨 흡수촉진, 간 탄수화물 대사에 제어등을 들 수 있지만, 특히 앞의 두 작용에 의하여 장관의 연동운동이 활발하게 되어 배변이 촉진된다. 이 때문에 변의 장내 체류시간이 단축되고 분변중의 수분량이 증가하며, 변량이 증가하고 배변횟수도 개선되는 등의 효과로 나타난다.

일반적으로 난소화성 올리고당을 섭취할 경우 복부팽만감에 괴로워하는 사람을 보게된다.

이것은 비피더스균이외의 가스발생균이 올리고당을 이용하여 생산한다고 생각되었다. 그러나 현재는 오히려 비피더스균의 증가에 수반되는 유산, 초산의 증가에 의하여 장관내에서의 중화시 탄산가스의 발생에 기인하는 사실, 또한 *Megasphaera*등이 乳酸資化性 세균에 의해 탄산가스나 메탄가스가 생성된다는 보고가 있는 사실로 미루어 장내균총 개선의 증거로 포착해도 좋을 것으로 생각된다.

5. 올리고당의 장내균총 개선효과

5.1 이소말토 올리고당

이소말토올리고당은 isomaltose, isomaltotriose,

panose등을 구성당으로 하고있다. 이소말토 올리고당은 소장 이소말타제의 작용을 부분적으로 받아들인다. 그렇지만 金子는 이소말토 올리고당을 1일당 10g 섭취를 1주간 이상 계속할 경우 비피더스균의 점유율이 상승하는 것과 동시에 분변중의 유기산 증가, pH저하, 부패산물의 감소등 장내환경 개선효과가 나타난 것을 보고하고 있다(그림 3).

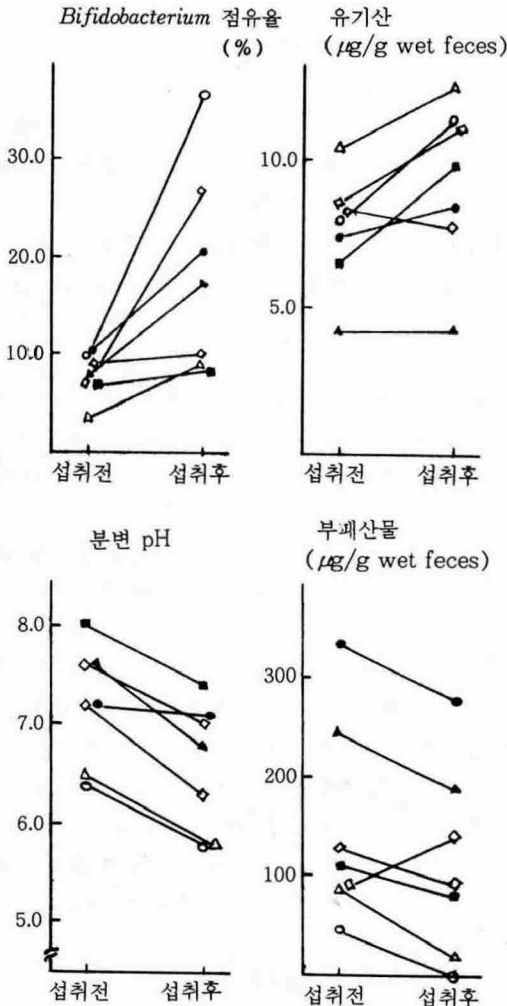


그림 3. 이소말토 올리고당 10g/일 섭취에 따른 장내환경(비피더스균 점유율, 유기산, 분변 pH 및 부패산물)의 변화

이것은 이소말토 올리고당의 소화성은 완만하여 소화되었다 하더라도 부분소화성이며 대장에 있어서 비피더스균에 이용되고 있는 것을 나타내고 있다. 또한 이소말토 올리고당 섭취와 더불어 배변량, 배변횟수 증가나 배변감 개선도 보고되고 있다.

5.2 락츄로스

락츄로스는 이성화유당으로도 불리어 일찍부터 비피더스균 증식인자로서 알려져 있으며, 갈락토스와 fructose가 β-1,4결합된 2당류로서 난소화성이다. 락츄로스의 비피더스균 증식효과는 발견 이래 유아에서의 보고가 많이 있고, 유아용 조제분유에 이용되어 왔다. 寺田에 따르면 건강인에는 1일당 3g섭취에 의하여 비피더스균 우세균종이 되고 동시에 개선을 나타내는 분변 pH, indole, phenol 등의 부패산물이 감소하였음을 보고하고 있다(그림 4).

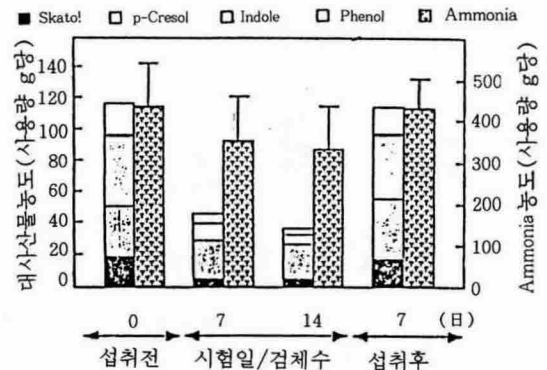


그림 4. 건강 성인에 있어서 락츄로스 섭취시 장내 부패대사산물에 미치는 영향

5.3 갈락토올리고당

Galactooligo당은 유당을 원료로 곰팡이와 효모 유래의 β-galactosidase를 작용시켜 생성되는 전

이올리고당으로 β -1,6결합과 β -1,4결합을 기본으로 한 2종이 알려져 있고 어느것이나 난소화성이다.

Tanaka는 β -1,6결합을 기본으로한 galactooligo당 3g/일을 비피더스균의 일종인 *Bifidobacterium breve*에 투여한 결과 galactooligo 당 투여시 비피더스균의 증가에 따라서 대장균의 감소가 인정된 것 뿐만아니라 분변중의 암모니아, 뇨중 Indican의 감소가 인정되고 있다(그림 5).

또한 β -1,4결합을 기본으로 한 galactooligo당에서도 비피더스균의 장내 증식작용 등이 보고되고 있다.

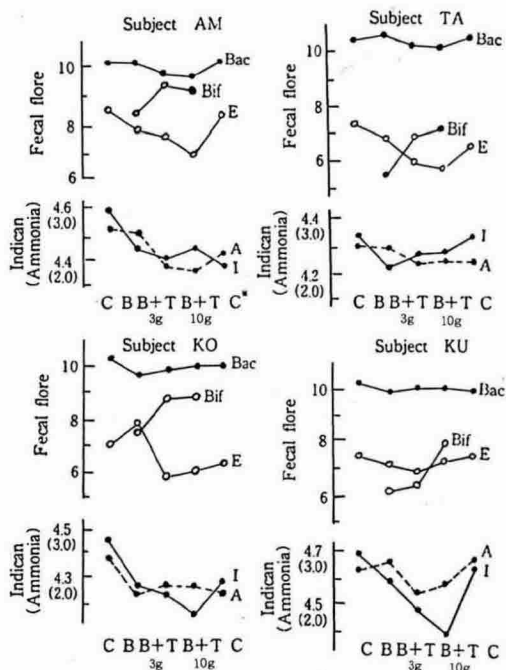


그림 5 건강성인의 분변균총, 분변암모니아, 뇨중 Indican에 미치는 전이올리고당(TOS)의 영향

*C : before control, B : *B.breve* administration 10⁹/day, B+T : *B.breve* 10⁹/day+ TOS 3g/day, or 10g/day, C : after control. Bac : Bacteroidaceae, Bif : Bifidobacterium, E : Enterobacteriaceae

5.4 대두올리고당, Raffinose

대두올리고당은 대두중에 함유하는 stachyose, raffinose를 유효성분으로한 난소화성 올리고당으로 *B. bifidum* 을 제외하는 비피더스균이 선택적으로 이용한다. 또한, raffinose는 糖菜(사탕무우) 당 정제과정에서 분리 생성된다. 和田은 1일당 3g 섭취하면 비피더스균 우세균총이 되는 것과 동시에 분변중의 단쇄지방산 증가나 암모니아 감소를 보고하였다.

역시 동시에 분변중의 발암물질 생성에 관련한 β -glucuronidase 나 nitroreductase 활성저하도 인정되며, 올리고당에 의해 비피더스균 우세균총화에 따라 전체적으로 장내 환경이 개선되었다(그림 6).

또한, 대두올리고당 성분인 Raffinose에서도 Benno에 의하면 비피더스균의 증가와 유해균인 lecithinase 음성 *Clostridium* 과 Bacteriodaceae의 감소, 분변 pH저하가 보고되고 있다.

5.5 Fructooligo당

설탕을 원료로 하여 효소의 전이작용을 이용하여 생성되는 1-kestose, nistose, fructosylnistose등을 유효성분으로 한 난소화성 올리고당이다. fructooligo당은 개발당초부터 비피더스균 증식인자로서 주목이 집중되었으며, 여러 임상시험에 있어서 비피더스균 우세균총 형성에 의한 분변중의 부패물질의 감소, 변성개선등이 보고되고 있다. 특히 徳永은 건강한 정상인에 있어서 1일당 1g이상 섭취에 의해 비피더스균의 증가 및 유해균의 감소를 인정하였고 3g 섭취에 의해 장내 부패물질의 감소, 단쇄지방산의 증가등 장내환경 개선이나 변통변성상 개선을 보고하고 있다. 또한 Kawaguchi 등은 비피더스균 감소에 따른 장내 이상발효나 유화수소에 기인한다고 생각되는 자가중독에 비피더스균과 fructooligo당 동시투여가 효과가 있다고 보고하고 장내환경의 정상화에 중요한 의미가 있는 것을 시사하고 있다.

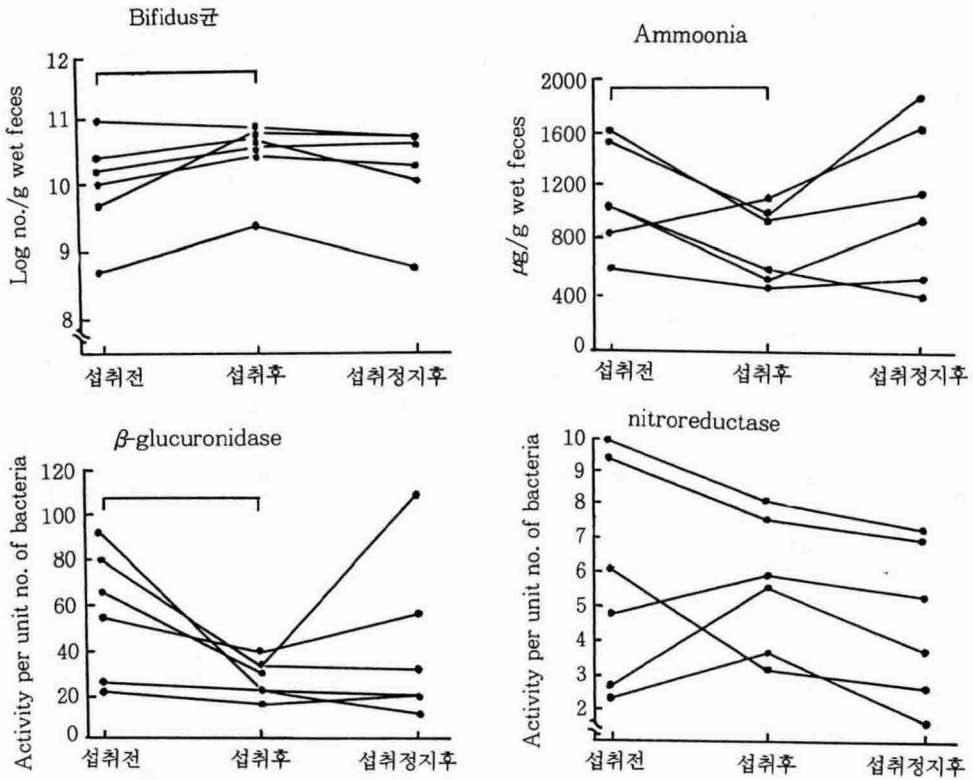


그림6 고령자 분변중 비피더스균, 암모니아, β-glucuronidase, nitroreductase 활성에 미치는 대두유래 올리고당(3g/일) 투여 영향
*P<0.05, **P<0.01

5.6 기타 올리고당

표1에 나타난 기타 올리고당은 상술된 것과 같이 비피더스균 증식인자로서 장내균총의 비피더스 우세균총화를 돕고 부패물질의 감소등 장내환경 개선효과와 변성개선효과를 과학적으로 나타내고 있다.

inulin이나 cellose 부분분해물인 inulooligo당이나 cellooligo당에서는 그 화학구조로 보아 상술에 올리고당과 같은 효과가 기대되지만 적어도 중합도2의 것에는 인정되지 않는 것으로 미루어 중합도 3이상의 것인 것으로 생각된다.

6. 비피더스균 증식과 올리고당 섭취량

건강한 정상인에 있어서 난소화성 올리고당 섭취에 의한 비피더스균 증가에 관해서는 각종 올리고당간에는 약간의 차는 인정되고 약 0.5-2g으로 보고되고 있다. 그러나 장내균총의 비피더스균 우세균총화 만으로는 장내환경 개선이나 변성개선의 지표로서의 분변 pH의 저하, 분변의 함수량의 증가, 단쇄지방산의 증가, 장내부패물질의 감소, 배변횟수의 증가에는 관계가 없다. 따라서 올리고당 제조회사에서는 3-5g 섭취에 의해 장내균총개선에 따른 변성개선 효과가 있다고 하고 있다.

또한 이소말토올리고당과 같이 부분소화성이 있는

것은 8-10g으로 되어있다.

장내환경에서의 비피더스균 증식에 사람이 1일당 섭취하는 음식물내에 겨우 수g의 올리고당으로 가능하다고 하는 것은 불가사의한 점이 있지만 많은 과학적인 보고에서 의심의 여지가 없다. Yazawa 등은 난소화성 당질에 의한 *in vivo* 에서의 비피더스균의 증식을 검토해 본 결과 당류는 경구투여가 필수적인 것을 보고하고 있다. 따라서 장내에서의 비피더스균 증식에는 난소화성의 올리고당이 糖源 역할을 다하는 것이 된다. 그 의미를 해석한다면 올리고당의 종류가 다르다고 하더라도 과학양론적으로 올리고당의 섭취량과 그것을 資化하는 비피더스균의 생육은 서로 같은 것이 되며 어느쪽의 올리고당에서도 유효성 발현을 위해 양적인 차는 없는 것으로 추정된다. 그렇지만 상당히 낮은 양적설정을 표시하고 있는 올리고당에 있어서 사견을 이야기하자면 과학양론적으로 다른 올리고당과 같이 취급하기에는 무리가 있기 때문에 비피더스균의 단순한 糖源으로서가 아닌 이론구축을 위한 새로운 생리기능의 해명이 필요하다고 생각된다.

한편, *in vivo* 의 연구에서는 많은 지원자가 필요하다. 사람의 장내균총은 대략 같은 경향을 갖지만 개인간에는 상세하게 검토하면 상당한 차가 있다. 그 때문에 동일조건하에서의 시험이 불가능하며 또한 연구보고 중에는 통계상에 있을 수 없는 편차치나 평균치가 표시되고 있는 예가 있다. 따

라서 이 분야에서의 표준적 연구모델 제시가 요망된다.

7. 결론

일본의 비피더스균 연구는 세계에 자랑하는 것으로 올리고당의 개발에서도 선구적인 역할을 하고 있다. 비피더스균에 관한 식품은 올리고당 뿐만이 아니고 생균에서 부터 유제품에 이르기 까지 다양하다. 이것은 어느쪽도 장내에서의 비피더스균의 역할로서 취급한 정장작용에 따른 여러가지 보건효과를 기대하여 개발된 것이 적지 않다. 여기에서는 주로 비피더스균 증가에 의해 장내환경 개선 및 변성개선효과를 취급했지만 올리고당에는 비피더스균 우세균총화 뿐만아니고 여기에 따른 발암위험을 낮추거나 장관면역, 더욱이 장관환경이 산성화에 있어서는 Ca 흡수 촉진과 혈청지질개선 또는 B₁, B₂, B₆, B₁₂, K, 엽산, 니코틴산, 펜토탄산, 바이오틴산 등 장관에서의 비피더스균에 의한 비타민 공급등 많은 생리기능이 유추된다.

특정 보건용 식품이 허가된 그 중에는 많은 올리고당 사용식품이 있으며 앞으로 비피더스균의 연구는 물론 올리고당의 생리기능이 과학적으로 증명되어 인류건강 유지에 기여할 것을 바랄 뿐이다.

출처 : *New Food Industry*; 37(3), 23~32(1995)