

## 올리고당의 건강 증진 효과

김 석 중

농산물이용연구부

과거 8년 동안 일본에서 개발된 기능성 식품 시장은 1995년까지 45억 달러에 이르며, 연 8.0%의 성장이 예상된다. 이 중 올리고당은 잘 알려진 기능성 식품 소재로서 1990년 일본에서는 9종의 올리고당이 약 18만 톤(4억 6천만 달러) 생산되었다. 그리고 올리고당을 함유하는 상품수도 1991년에 450여 가지에 이르며, 음료, 쿠키, 시리얼, 캔디, 빵, 아이스크림, 조미료, 사료등에 다양하게 이용되고 있다. 이같은 올리고당의 이용은 그의 두드러진 정장 효능에 기인한 것으로 본고에서는 장(腸)에서의 유해 발효산물 생성 및 올리고당의 섭취에 의한 유용한 효과등에 대하여 기술한 것이다.

### 1. 유해 발효산물의 영향

장내균총은 100여 종으로  $10^{14}$ 의 세균으로 구성되어 있으며, 매우 다양한 대사 과정들을 수행하면서, 숙주의 건강 상태에 영향을 미치고 있다. 이들 중에서 유익한 균(bifidobacteria, lactobacilli등)은 숙주에게 유익한 대사 산물을 생산하나, 유해한 균(*Clostridium perfringens*, staphylococci등)의 경우는 그 반대로 숙주에게 해가 된다(Fig 1).

본고의 주제인 올리고당의 건강증진 효능을 살펴

보기에 앞서 장내에서 일어나는 유해한 발효의 결과 및 그 영향에 대하여 먼저 살펴보면 다음과 같다.

#### 1.1 유해 물질의 종류 및 양

대장에서 생성되는 유해 물질로는 암모니아와 아민(간 독소), 니트로소아민(발암원), 페놀과 크레졸(발암 촉진자), 인돌과 스카톨(발암원), 에스트로젠(발암 가능 물질 또는 유암 촉진자), 2차 담즙산(발암원 또는 대장암 촉진자), 아글리콘(돌연변이원)등이 있는데, 장내세균중 *Escherichia coli*와 Clostridia는 암모니아, 아민, 니트로소아민, 페놀, 인돌, 아글리콜, 2차 담즙산을, bac-teroidacea와 *Streptococcus faecalis*는 니트로소아민, 아글리콜, 2차 담즙산을, proteus는 암모니아, 아민, 인돌을 생산한다.

이같은 유해 대사 산물들의 양은 대변의 40-50%가 미생물 덩어리임을 감안할 때 무시할 수 없는 양으로 300g의 대변에는 186mg의 암모니아, 1.4mg의 페놀, 12.2mg의 p-크레졸, 8.5mg의 인돌, 3.3mg의 스카톨이 함유되어 있으며, N-디메틸니트로소아민은 70kg의 사람에게서 하루에 0.067-0.67mg이 생성되는데 이는 랫트에서의 최소 발암 가능 농도의 1/10-1/100에 해당하는 양이다.

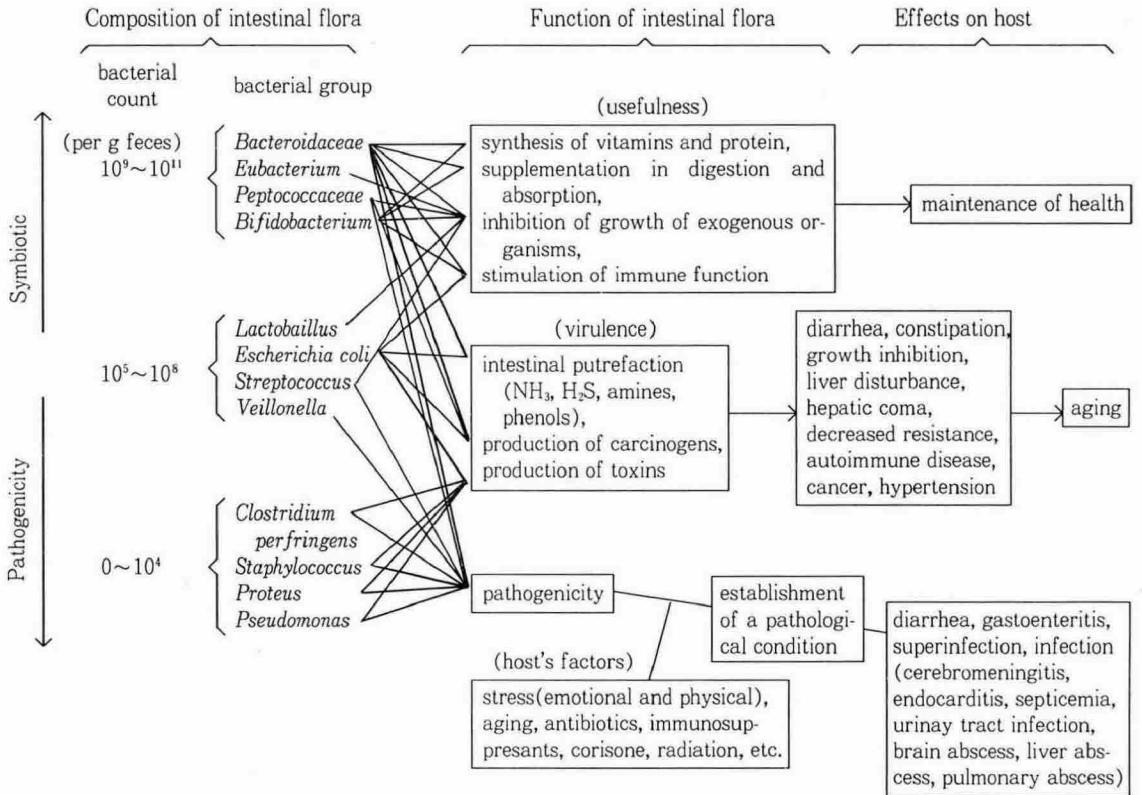


Fig. 1. Relationships between intestinal flora and host

1.2 유해 산물 생성에 관여하는 효소

유해 산물은 유해 세균의 효소에 의해 생성되는데, 효소의 형성은 세균 및 장내에서의 생태에 의해 결정된다. Azoreductase와  $\beta$ -glucuronidase의 경우는 clostridia에서 가장 활성이 높고 그 다음이 bacteroidacea, eubacteria, peptostreptococci이고, bifidobacteria에서는 거의 활성이 없으며,  $\beta$ -glucosidase의 경우는 clostridia에서 가장 높고, 그 다음이 bifidobacteria, bacteroidacea, eubacteria, peptostreptococci 순이다.

1.3 발암의 가능성

고지방 식이는 담즙산의 분비를 촉진시키는데, 많은 장내세균 학자들은 과잉으로 생산된 2차 담즙산과

스테로이드가 대장암 증가와 관련이 있다고 추정하고 있다.

서구 스타일의 식생활의 경우 과도한 육식은 유해 세균 효소에 의한 유해산물(니트로소아민등)의 생성을 증가시키며, 이는 대장암유발 가능성과 부분적으로 관련이 된다. 유암 또한 고지방식이, 육식의 결과 증가된 담즙산 분비에 의해 에스트로젠이 과다 생성된 결과로 여겨지고 있다.

1.4 노화와 성인병의 원인

장내 bifidobacteria는 노령에서 장내의 소화액 분비가 감소함에 따라 그 수가 줄어드는 것으로 알려져 있다. 이러한 경향은 고령에서 특히 두드러지는데, 이들의 감소는 노화, 면역능 약화, 암이나 관절염등의 성인병을 일으키는 원인들 중의 하나로 여겨지고 있

다. 또한 호르몬 장애를 일으켜 건강에 영향을 주는 정신적 스트레스도 장내의 균총을 변화 (bifidobacteria 감소, 유해균 증가) 시킨다.

한편, 장내 세균이 없는 germ-free 마우스는 일반 대조구보다 평균 수명이 50% 더 긴데, 이것은 0.5% 항산화제를 먹인 C3H 마우스의 평균 수명이 20% 증가한 것에 비해서 훨씬 높은 수치로서 이는 장내 균총의 유해 효과가 프리라디칼산화의 유해 효과보다 큰 것을 의미한다.

## 2. 올리고당과 bifidobacteria

### 2.1 올리고당

올리고당은 학술용어로는 ‘單糖이 2 내지 10개 가량(분자량으로는 300-2,000가량)이 화학 결합한 분자구조를 갖는 당류’의 총칭으로, 예로부터 섭취해 온 설탕, 유당, 맥아당 등도 실은 올리고당이다. 그러나 1970년대 접어들면서 설탕의 섭취가 증가하여 비만, 성인병, 충치등의 문제가 발생하게 되고 이같은 단점을 개선할 목적으로 일본을 중심으로 새로운 기능성 올리고당이 개발되어 왔으며 최근에는 올리고당하면 주로 기능성 올리고당으로 인식되고 있다.

### 2.2 올리고당의 종류

올리고당의 종류로서 프락토올리고당(1-ketose, nystose, 1<sup>F</sup>-fructosyl nystose), 이소말토올리고당, 갈락토올리고당(4'-β-galactosyl lactose), 크실로올리고당(xylobiose, xylotriiose), 락츄로오스, 대두올리고당(raffinose, stachyose), 자연적으로는 존재하지 않는 트랜스갈락토실올리고당(isoga-lactobiose, galactosucrose, lactosucrose)등 많은 종류가 있는데, Fig. 2는 1993년 까지 일본에서 식품소재로 시판되고 있는 올리고당들의 구조이다.

### 2.3 Bifidobacteria

1900년 유아의 대변에서 처음 발견된 bifidobacteria는 그람 양성균의 구부러진 혐기성 간균(Fig. 3)으로서 특이한 당대사 결과 주 대사산물로서 초산과

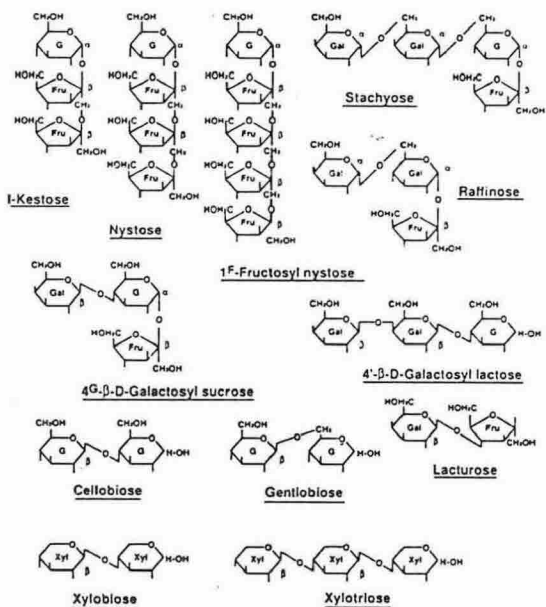


Fig. 2. Chemical structures of some commercially available oligosaccharides

유산을 생산하는데, 이들은 유아 장내균총의 85-99%를 차지하며 건강한 성인에서는 3-4번째의 큰 집단으로 10<sup>9</sup>-10<sup>10</sup>균/g변 정도로 출현한다. 그러나 연령이 증가함에 따라 bifidobacteria는 감소하는 반면, clostridia가 크게 증가하고, lactobacilli, streptococci, enterobacteria-ceae등도 증가한다. 그리고 장의 연동운동의 이상, 암, 수술, 간이나 신장 질환, 악성 빈혈, 방사선 치료, 스트레스, 노화, 면역계 이상, 항생제 투여등에 의해 비정상적인 균총 즉, 소장에서의 세균 증가, enterobacteriaceae와 streptococci등 호기성균의 증가, Clostridium perfringens의 발생, bifidobacteria의 감소 또는 소멸등의 현상이 나타난다. 이같은 생태적 증거로부터 bifidobacteria는 인간의 건강 유지를 위해 장에 존재하여야 하고 유익한 장내세균인 lactobacilli보다 더 중요하여, 이들의 감소나 소멸은 건강치 못한 상태를 나타낸다고 하겠다.

### 2.4 비피더스 인자

비피더스 인자는 숙주에 의해 대사되지 않고 대장

이나 맹장까지 도달하여 bifidobacteria에 의해 우선적으로 대사되는 탄수화물이나 탄수화물 함유 화합물을 말하며 인체에 유익한 bifidobacteria의

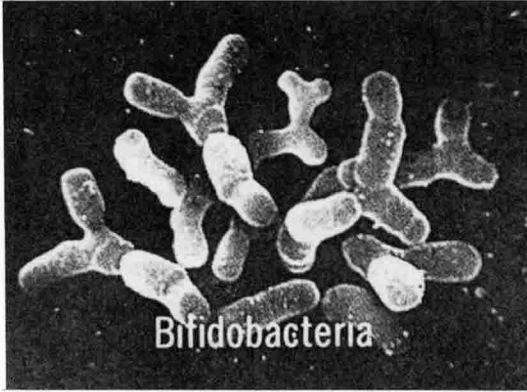


Fig. 3. Scanning electron micrographs of bifidobacteria

성장을 촉진시킨다. 올리고당은 대표적인 비피더스인자로서 이들의 건강 증진 효능은, 인체에 유익한 bifidobacteria균은 증가시켜 그들의 길항 작용에 의해 부패균의 활성화와 유해 발효산물의 생성을 줄이는 것에 기인한 것이다. 이같은 올리고당이 bifidobacteria 자체보다 식품 산업에서 중요한 이유는 이 장내세균이 산소, 전단력, 열, 산에 대해 매우 약하므로 이 균체를 식품 형태로 섭취하기 어렵기 때문이다.

### 3. 올리고당 섭취의 이점

#### 3.1 Bifidobacteria의 증식과 유해균의 감소

올리고당의 섭취는 bifidobacteria는 증식시키지만 *Clostridium perfringens* 등의 유해균은 감소시킨다. 그 예로서 2-10g/day씩 몇 주동안 섭취후에 bifidobacteria는 평균 7.5배 증가하고 *Clostridium perfringens*는 81% 감소된다. Bifidobacteria는 단쇄지방산(주로 초산과 유산을 3:2의 비율로)과 항생물질을 생산하여 외부 병원균의 성장과 유해 균총의 과잉 성장을 억제하는데, 초산과 유산은 *Salmonella*, *E. coli* 등에 대한 억제 효과가 알려져 있으며,

*Bifidobacterium bifidum*에서 생산되는 항생물질인 bifidin은 *Sigella dysenteriae*, *Salmonella typhosa*, *Staphylococcus aureus*, *E. coli* 등에 효과가 있다. 또한 *Bifidobacterium infantis*에서 생성되는 고분자 물질은 *Shigella flexneri* 5503-01, *S. faecalis*, *E. coli* 등에서 효과가 인정되었다.

#### 3.2 유해 대사물과 효소의 감소

인간과 *in vitro* 대변 배양 실험에서 3.0-6.0g/day의 올리고당 섭취가 장내 독성 물질과 유해한 효소를 약 3주 내에 평균 44.6%와 40.9% 감소시켰다.

#### 3.3 병원성 및 내인성 설사의 방지

올리고당이나 bifidobacteria의 섭취가 병원성과 내인성 설사를 방지하는 것은 유해균의 감소와 같은 기작에 의해서이다. 설사중인 6세 환자에게 프락토올리고당 8.0g/day 공급시 8일 후에 대변 조건이 정상화되었으며, 항생제 투여후 발병하는 소아성 설사 환자에게 bifidobacteria균( $10 \times 10^{10}$  *B. breve* cells/g)을 3.0g/day 섭취시에 3-7일 내에서 증상이 모두 개선되었다. 독일에서는 *B. longum*, *Lactobacillus gasseri*, *E. coli*를 동결 건조한 Omniflora가 위장과 장의 질환에 권해지고 있는 실정이다. 그리고 모유를 먹는 유아가 조제유를 먹는 아이보다 감염에 강하고 건강하다는 사실도 장내 세균에서 bifidobacteria가 모유의 경우는 99%, 조제유는 50%인 것에 기인한 것이다.

#### 3.4 변비의 방지

Bifidobacteria는 단쇄지방산을 생성하여 장의 연동운동을 자극하고, 삼투압에 의해 대변의 수분 함량을 증가시키므로써 변비를 막는다. 사람을 대상으로 한 조사에서 올리고당을 3.0-10.0g/day 섭취시에 1주내에 변비가 해소되었으나, 심한 증세에는 효과가 없었다.

### 3.5 간기능 보호

올리고당, bifidobacteria의 섭취에 의한 유해 대사 산물의 감소는 간이 해독 기능을 수행하는데 있어서 부담을 줄여 준다. 예를 들면, 3.0g/day의 대두 올리고당을 간 혼수상태 및 변비증상이 있는 간경변 환자(non-A, non-B)에게 투여시 두 증상이 5일 후에 개선되었다. 또 문맥 고혈압이 없는 만성간염 또는 간경변환자 12명과 문맥 고혈압이 심한 간경변환자 8명에게 *B. bifidum*을 고농도로 함유한 우유(Engalan forte)를 80일간 투여시 두 그룹에서 혈청, 소변중의 유독대사물이 정상치로 감소하였고 식욕증진, 몸무게증가등 환자들의 일반적인 건강상태도 향상되었다.

### 3.6 혈청 콜레스테롤의 감소

올리고당 섭취는 혈청 콜레스테롤을 감소시키는데, 6.0-12.0g/day의 올리고당을 2주-3달동안 섭취시 총 혈청 콜레스테롤이 20-50dL까지 감소되었으며, 혈청 콜레스테롤의 증가도 억제되었다. 여성의 경우에는 남성과 달리 총 콜레스테롤에 대한 HDL-콜레스테롤의 비가 증가되었다.

혈청 콜레스테롤의 감소는 장내균총의 변화에 기인한 것으로 여겨지는데, 사람에게 존재하는 *Lactobacillus acidophilus*의 12개 변종들은 *in vitro*조사에서 콜레스테롤을 소화시키는 것으로 알려졌고 *L. acidophilus* 2056은 소장벽을 통한 콜레스테롤 미셀의 흡수를 억제한다. Bifidobacteria의 나이아신(니코틴산)형성 능력도 또한 이 현상에 기여한다고 생각된다.

### 3.7 혈압의 감소

올리고당의 섭취는 혈압을 낮추는데, 프락토올리고당 11.5g/day를 5주 동안 46명의 고지혈증 환자에게 투여시 최소혈압을 6mmHg까지 감소시켰으나 혈당치는 크게 감소하지 않았다. 또 대두올리고당 3.0g

/day를 1주 동안 28-48살의 건강한 남성들에게 투여시 평균 최소혈압을 6.3mmHg까지 감소시켰다. 대변에서 전체균중 bifidobacteria가 차지하는 비율은 최소혈압과 역의 관계에 있다.

### 3.8 혈당치 개선작용

비의존성 당뇨병 환자의 담낭 수축능에 대한 프락토올리고당의 섭취 효과를 조사하기 위해서 13명의 환자에게 10g/day로 4주간 투여시 3/4가 개선 효과를 보였는데 이는 장내 발효에 의해 생성된 프로피온산, 낙산이 장의 연동운동을 항진한 결과로 알려져 있다. 8주 동안 계속 투여시 혈당치는 유의적으로 감소하였으며, 올리고당은 당뇨병 환자를 위한 감미료로서 이용이 가능할 것으로 생각된다.

### 3.9 항암효과

동물실험 결과, bifidobacteria는 항암효과를 가지는 것으로 조사되었는데 그 효과는 procar-cinogen의 직접적인 제거나 간접적인 제거 또는 인체 면역능을 증진시킴으로써 가능하다.

Procarcinogen의 직접적인 제거의 예로서 bifidobacteria는 니트로소아민의 변이원성을 제거할 수 있다. *B. breve*는 육류의 훈연에서 발생하는 발암원에 대하여 흡수 특성이 높고, 마우스 실험의 경우는 분비된 발암원과 procacinogenic 효소가 *B. breve* 4006과 프락토올리고당 투여 후에 감소하였다.

간접적인 경우는 procacinogen의 근원이나 이들의 형성에 관여하는 효소를 bifidobacteria가 제거하는 것이다. 예를 들면, 마우스에 *E. coli*, *Enterococcus faecalis*, *Clostridium paraputrificum*등의 장내 세균이 존재시 간암이 많이 발생하나, *B. longum*이 존재하면 암의 증식이 상당히 억제된다.

인체의 면역 기능을 증진시킨 경우의 예로서, *B. infantis*의 세포벽에 항암성분이 함유되어 있는데 이 세포벽 분획을 암세포에 투여시 억제 효과를 나타냈으며, IgA 항체를 증진시켜 면역기능을 활성화시키는 경우도 있다.

### 3.10 영양소의 생산 및 흡수

Bifidobacteria는 비타민 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>, 니코틴산, 엽산을 생산하는데 대사물 100ml당 B군 비타민을 120.3 μg까지 합성해서 분비하지만 비타민 K는 생산하지 않는다. 그리고 장에서 흡수되는 아미노산도 합성할 수 있다.

한편, bifidobacteria에 의한 발효 유제품의 산성화 및 소량의 단백질 가수분해는 유당 과민증을 개선하고 체내에 흡수되는 칼슘양을 증가시키며 소화능을 증진시킨다.

### 4. 올리고당의 섭취량과 부작용

유효한 올리고당의 일일 섭취량은 순수한 형태로 프락토올리고당은 3.0g, 갈락토올리고당은 2.0-2.5g, 대두올리고당은 2.0g, 크실로올리고당은 0.7g이다. 설사를 유발하지 않는 대두올리고당의 최대 섭취량은 남자의 경우 0.64g/kg, 여자의 경우는 0.96g/kg이고 설사를 유발하는 프락토올리고당의 최소 섭취량은 남자 44g/kg, 여자 49g/kg이다.

독성조사에서 갈락토올리고당의 급성독성은 랫트의 경우 LD<sub>50</sub>>15g/kg이고, 4.0g/kg의 올리고당을 35-180일간 계속 공급한 비급성, 만성독성 조사에서도 안전하였다. 프락토올리고당의 아만성, 만성독성, 발암성 조사시 2.17g/kg까지 유의적인 부작용은 없었다.

3.0g의 대두올리고당을 함유한 탄산음료수 100ml를 2주 동안 매일 섭취하였을 때 장내가스의 증가나 설사가 일어나지 않은 것으로 보아 올리고당의 섭취로 인한 가스생성에 대해서는 걱정할 필요가 없는 듯하다. 이것은 이 경우 사용된 대두 올리고당의 양이 적고, 가스 생성을 증가시킬 수 있는 탄수화물과 같은 시너지스트가 없기 때문인 것 같다.

### 5. 올리고당과 식이섬유

올리고당이 소화액에 의해 소화되지 않는다는 점에서 수용성 식이섬유로 인식될 수 있으며 건강에 대한 효과 역시 닮았지만, 식이섬유가 지니는 점도의 증진, 수분 보유능, 불림효과(bulking effect)와 같은 물리

적인 특성을 나타내지는 않는다. 올리고당이 건강에 기여하는 방식은 bifidobacteria의 성장인자로서 작용하여 발효를 통해 이루어지는 것이다. 식이섬유의 경우 점성, 흡착에 의한 효능외에 발효에 의해서도 건강에 기여하나 이 경우 자세한 연구가 부족하여 올리고당과 비교하기는 아직 어려운 실정이다.

올리고당이 식이섬유에 비해 장점은 일일 요구량이 적고(대개 3g/kg), 그 요구량에서 설사를 유발하지 않으며, 약간의 단맛도 지니고, 나쁜 조직감이나 맛이 없으며, 점성도 없고, 미네랄과 결합하지 않으며, 물리적으로 안정하여 가공 식품 및 음료등에 첨가하기 쉽다는 점등이다.

### 6. 올리고당의 천연물 소재

몇몇의 천연 식품에 올리고당이 있는 것으로 알려져 있는데, 프락토올리고당은 양파, 마늘, 우엉, 아스파라거스, 치커리뿌리, 뚝탄지괴경 등에서, 대두올리고당은 대두에서 발견된다. 그러나 식이습관으로 볼 때 천연 식품 형태로 올리고당의 일일 요구량을 섭취하기는 어렵다. 미국의 경우 천연물로 하루에 섭취되는 프락토올리고당의 평균량은 0.8g/kg/60kg 정도이므로 성인, 스트레스가 많은 사람, 건강한 소화기능을 유지하고 싶은 사람들은 추가적인 올리고당의 섭취가 도움이 될 것이다.

현재, 프락토올리고당은 미국에서는 ZeaGen Corp.가 시판하고 있으며, 1990년에 FDA는 일본의 Soya Oligosaccharides Japan, Inc.가 제출한 대두 올리고당에 대한 GRAS승인 신청을 받아 들었다.

### 참 고 문 헌

1. Hideo Tomomatsu, *Food Technol.*, October, 61-65(1994)
2. H.Wayne Modler, *Inter. Dairy J.*, 383-407 (1994)
3. 瀧沢登志雄, *食品と開発*, 28, 21-24(1993)
4. David B. Hughes and Dallas G.Hoover, *Food Technol.*, April, 74-80(1991)
5. Tomotari Mitsuoka, *J.Ind. Microbiol.*, 6, 263-268(1990)