

## 요구르트 젖산균의 특성과 스타터 선발시의 고려사항

### 소 명 환

부천전문대학 식품영양과

(전화: 032-610-3442, Fax: 032-610-3440)

#### 목 차

1. 요구르트의 종류
2. 요구르트에 이용되는 주요 젖산균의 특성
  - 1) *St. thermophilus*
  - 2) *Lac. bulgaricus*
  - 3) *Lac. acidophilus*
  - 4) *Bifidobacterium*
3. 스타터 선발시에 고려해야 할 주요 특성
  - 1) 제품의 생산 및 유통관리에 관련된 특성
  - 2) 제품의 관능적인 면에 관련된 특성
  - 3) 제품의 기능성 증진에 관련된 특성

### 1. 요구르트의 종류

요구르트(yoghurt)는 유즙을 젖산균으로 발효시켜 부드러운 조직과 시큼한 맛을 갖게 한 젤상의 응고 유제품이며, 분류기준에 따라 다음과 같이 여러 종류로 나눌 수 있다.

○ 제조과정과 물성에 따른 분류

- ① Set yoghurt
- ② Stirred yoghurt
- ③ Fluid yoghurt

○ 가미방법에 따른 분류

- ① Plain yoghurt
- ② Fruit yoghurt

- ③ Flavored yoghurt
- 변형요구르트 또는 특수요구르트
  - ① Pasteurized yoghurt
  - ② Concentrated yoghurt
  - ③ Frozen yoghurt
  - ④ Dried yoghurt
  - ⑤ Therapeutic yoghurt

## 2. 요구르트 제조에 이용되는 주요 젖산균의 특성

요구르트의 기본적인 젖산균은 *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*(이하 *Lac. bulgaricus*라고 함)와 *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*(이하 *St. thermophilus*라고 함)이지만, 요즘은 기본적인 균종 외에 Bifidobacteria와 *Lactobacillus acidophilus*를 보충하여 제조하는 경우도 있다.

### 1) *Streptococcus thermophilus*

#### (1) 형태적 특성

우유에서 분리되며, 직경 0.7~0.9 $\mu$ m의 구형이다. 액체배지에서 45 $^{\circ}$ C로 배양하면 긴 사슬형이고, 30 $^{\circ}$ C에서는 짧은 사슬 또는 쌍구형이다. 한천배지상에서 배양하면 pin-point형의 아주 작은 집락을 형성한다.

#### (2) 생리적인 특성

이 균종은 증식 온도가 높아 최적온도 40~45 $^{\circ}$ C, 최저온도 20 $^{\circ}$ C, 최고온도 50 $^{\circ}$ C이며, 53 $^{\circ}$ C에서는 증식하지 못한다. 그 이름에도 불구하고 thermophilic 미생물은 아니다. Thermophilic 미생물들은 55 $^{\circ}$ C에 배양하여 평판계수가 가능한 미생물들이지만, 본 젖산균은 이 온도에서 자라지 못한다. 한편 pasteurization 과정에서는 죽지 않으므로 thermoduric 미생물에 해당된다. 이 균종의 어떤 균주는 80 $^{\circ}$ C에서 15분간의 가열에서도 죽지 않는다. 일반적으로 항생물질에 대하여 내성이 약하나 어떤 균주는 높은 내성을 보이기도 한다.

*St. thermophilus*의 어떤 균주는 우유에서 점질물질을 생성한다. 점질물질 생산능력은 인공배지에서 계속 배양할 때는 쉽게 상실되기도 하는데, 이 능력을 유지시키기 위해서는 agar 배지에서 agar 배지로 직접 이식하지 말고 우유배지를 거친 후에 agar 배지로 이식하여야 한다.

#### (3) 생화학적 특성

*St. thermophilus*는 호모발효를 하는 젖산균이며, 당으로부터 85~98%의 젖산과

소량의 다른 부산물들을 생산한다. 우유에서 배양하면 0.7~0.8%의 L(+)형의 젖산을 생산하며, 1.0%의 젖산을 생산하는 균주도 있다. 이 젖산균이 생산하는 부산물들의 함량과 조성은 균주의 특성과 배양조건에 따라 다르다. 우유에 배양하면 formic acid, acetic acid, propionic acid, butyric acid, isovaleric acid, caproic acid 등의 휘발성산과, acetoin, 소량의 acetaldehyde, acetone, ethanol을 생산한다. 또 어떤 균주는 diacetyl을 생산하기도 한다.

단백질 분해활성이 대단히 약하기 때문에 우유에 배양하면 유리 아미노산은 이 균의 대수증식기에 거의 소모된다. 어떤 균주는 다른 미생물들에 대하여 길항적인 것도 있다.

## 2) *Lactobacillus bulgaricus*

### (1) 형태적 특성

Bulgaria지방 요구르트의 대표적인 젖산균이며, 단독 혹은 사슬형으로 존재하는 좁고 긴 막대형이다. 우유에서의 평균 크기는  $0.8\sim 1.0\mu\text{m}\times 4\sim 6\mu\text{m}$ 이다. 젊고 활발한 상태일 때는 주로 단독 또는 쌍으로 존재한다. 이 단계에서는 granule이 보이지 않으며, 배양시간이 더욱 경과하여 20~24시간 이후가 되면 세포가  $15\sim 30\mu\text{m}$ 로 길어지고 granule이 보이게 된다. 배지와 배양온도가 이 젖산균의 형태에 영향을 미친다. 우유에서 22℃에서 배양하면 긴 filament 형으로 자라고 불규칙한 모양을 나타내며, 때에 따라서는 그 길이가  $500\mu\text{m}$ 가 될 때도 있다. Agar plate에서는 세포가 처음부터 불규칙한 형태를 나타낸다. MRS agar에서 42℃로 48시간 배양하면 직경 1~2mm인 연한 회색의 집락을 형성한다. Peptone과 methylene blue가 함유된 whey agar에서 배양하면 5~7일에 등근 청색 집락을 형성하는데, rough형과 smooth형이 비슷한 비율로 나타난다.

### (2) 생리적 특성

이 젖산균은 전형적인 우유 미생물로 원래 요구르트에서 분리되었다. Thermobacterium에 속하며, 증식온도 범위가 높은 것이 특징이다. 최적온도 40~43℃, 최저온도 22℃, 최고온도 52.5℃이며, 최고온도가 60℃인 균주도 있다. 비록 thermoduric 미생물은 아니지만 어떤 균주는 75℃에서 20~30분간 가열에도 견딘다.

Bile salts의 존재하에서나 2%의 NaCl을 함유하는 액체배지에서 거의 증식하지 않는다. 그러나 어떤 균주는 2%의 NaCl에 견디고, 0.4%의 phenol 존재하에서도 증식한다.

일반적으로 *Lac. bulgaricus*는 *St. thermophilus*보다 항생물질에 대하여 강한 저항성을 보인다. 그러나 항생물질에 대한 저항성은 균주에 따라 크게 다르다.

*Lac. bulgaricus*의 어떤 균주는 우유에서 capsule 또는 점질물을 생성한다.

Capsule 생산능력이 없는 균주도 우유에서 생육에 부적합한 조건으로 배양하면 capsule 생산능력을 갖는 경우가 있다.

### (3) 생화학적 특성

*Lac. bulgaricus*는 glucose, fructose, galactose, lactose를 발효하지만, maltose, saccharose, cellobiose, trehalose, mannose, salicin, amygdalin은 발효하지 못한다.

호모발효를 하는 젖산균이며, 우유에서 1.7%의 D(-)형 젖산을 생산하고, 소량의 부산물로서 carbonyl 화합물, ethanol, 휘발산을 생산한다. Carbonyl 화합물중에는 요구르트의 중요한 향기성분인 acetaldehyde가 가장 많이 생산되고, 그 다음이 acetone, butanone-2, 극미량의 acetoin이다. 지방산으로는 acetic acid, propionic acid, butyric acid, isovaleric acid, caproic acid, caprylic acid, capric acid 등을 아주 미량 생산한다.

우유에서는 mild한 단백질 분해활성을 나타내어 모든 유리아미노산들을 비교적 많이 축적한다. 어떤 균주는  $H_2S$ 를 생산하고, 또 어떤 균주는 아미노산에서부터 암모니아와 유기산을 생산한다. 우유에서 약한 lipase 활성을 나타내어 미량의 유리 지방산도 생산시킨다. 대부분의 균주가  $NAD^+$  oxidase의 작용으로  $H_2O_2$ 를 생산한다. 또 많은 균주가 부패미생물과 병원성 미생물에 대하여 길항작용을 나타낸다.

비타민 요구성은 pantothenic acid, niacin은 일반적으로 필수적이고, riboflavin, folic acid, 비타민  $B_{12}$ 는 특수한 균주에는 필수적이고, thiamine, pyridoxin, biotin, p-aminobenzoic acid는 요구하지 않는다.

## 3) *Lactobacillus acidophilus*

### (1) 형태적 특성

*Lac. acidophilus*는 장내세균으로 우유를 먹는 소아의 대변에서 분리되며, 사람과 동물의 장, 입, 질에서 서식한다. 간균으로 길이는  $1\sim 4\mu m$ 이고, 필라멘트형일 때도 가끔 있다. 집락은 천천히 형성되며, 작은 rough형이다.

### (2) 생리적 특성

최적 증식온도는  $35\sim 38^\circ C$ , 최고 증식온도는  $48^\circ C$ 이며,  $20\sim 22^\circ C$ 에서는 자라지 않는다. 대부분의 배지에서 빈약하게 자라며, 가장 좋은 배지는 우유이지만 우유에서 배양할 때에도 yeast extract, peptone, 또는 다른 증식촉진제가 첨가되지 않으면 천천히 자란다. 인공배지에서는 tomato juice와 whey가 증식촉진제로 첨가된다.

2% 및 4%의 bile salts의 존재하에서 자라고, 2%의 NaCl을 함유하는 액체배지에서도 자라며, 0.5%의 phenol 존재하에서도 자란다. *Lac. acidophilus* 중 사람의 장관(소장 상부) 기원인 것은 사람의 장내에서 증식하지만, 다른 동물의 장관 기원인 것은 그렇지 않다.

### (3) 생화학적 특성

Glucose, fructose, galactose, lactose 뿐만 아니라 maltose, saccharose, cellobiose, trehalose, mannose, salicin, amygdalin도 발효할 수 있다. 대부분의 균주가 starch도 발효한다. 우유에서 배양하면 0.9% 정도의 DL형 젖산을 생산하나 균주에 따라 0.30~1.9%로 다양하다.

비타민 요구성은 calcium pantothenate, folic acid, niacin, riboflavin은 필수적이지만, pyridoxal, thiamine, 비타민 B<sub>12</sub>는 요구하지 않는다.

### (4) 인체에서의 기능

사람의 장내에서 생존하는 젖산균이며, 생균로서 매일 10<sup>8</sup>~10<sup>9</sup> cfu 섭취하면 장내균총을 개선하여 장질환의 예방과 치료에 효과가 있는 것으로 인정되고 있어 요구르트 제조시에 보충용 균주로 사용하기도 한다.

## 4) *Bifidobacterium*

### (1) 형태 및 주요 균종

*Bifidobacteria*는 사람을 비롯한 여러 동물의 장내에 서식하는데, Gram 양성, 비운동성, 비아포성 부정형 간균이다. 현재 25종이 알려져 있으며, 9종은 사람으로부터, 13종은 동물로부터, 3종은 꿀벌로부터 분리한 것이다. 사람으로부터 분리한 균종은 *Bif. bifidum*, *Bif. longum*, *Bif. infantis*, *Bif. breve*, *Bif. adolescentis*, *Bif. angulatum*, *Bif. catenulatum*, *Bif. pseudocatenulatum*, *Bif. dentium*이다. 동일 균종 내에서도 여러 종류의 biotype이 있어 분류학적으로 매우 복잡하다.

### (2) 생리적 특성

최적 증식온도는 37~41℃, 최고 증식온도는 43~45℃, 최저 증식온도는 25~28℃이다. 최적증식 pH는 6.5~7.0이고, pH 5.5 이하에서는 증식이 억제되며, 4.5~5.0과 8.0~8.5에서는 증식하지 않는다. 당을 발효하여 탄산가스의 발생없이 L(+)형 젖산과 acetic acid를 2:3의 비율로 생산하고, 소량의 formic acid, ethanol, succinic acid도 생산한다.

우유에서 증식과 산생산은 매우 느리며, 인공배지에서 반복해서 이식배양하면 증식 속도와 산생산 속도가 빨라지거나 느려지는 균주도 있다. 이들의 산생산 능력은 균주 특성에 따라 크게 다르다. *Bif. bifidum*, *Bif. longum*은 우유에서 37~41℃로 18~96시간 배양하면 산이 생산되어 우유가 응고되는데, 이 때의 pH는 4.3~4.7이고, 생균수는 10<sup>8</sup>~10<sup>9</sup>/ml가 된다. 그러나 냉장고에 1~2주 보관하면 생균수가 2 log-cycle 정도 감소한다.

우유에 배양할 때에 lactulose, raffinose, stachyose, oligosacchrides( $\beta$ -ethyl-N-acetyl-D-glucosamine 등), yeast extract, yeast autolysate, cysteine,

pepsine, pepsine-digested milk, whey protein 등을 첨가하면 증식과 산생산이 빨라진다.

편성 혐기성이지만 산소에 어느 정도 내성이 있는데 내성의 정도는 균종과 균주에 따라 상당히 다르다. 대부분의 균종이 riboflavin과 pantothenic acid를 요구하며, 다른 비타민들의 요구성은 균종과 균주에 따라 다르다.

### (3) 분포

사람에 있어서 Bifidobacteria의 분포는 연령과 식이에 따라 달라지는 것으로 알려져 있다. 모유를 먹는 어린이에서는 *Bif. bifidum*, *Bif. infantis*, *Bif. breve*가 우점종이고, 조제분유를 먹는 어린이에서는 *Bif. longum*, *Bif. breve*가 우점종이다. 한편 성인에서는 *Bif. longum*과 *Bif. adolescentis*가, 노인에서는 *Bif. adolescentis*가 우점종이다.

장내균총 중에서 Bifidobacteria가 차지하는 비율은 나이를 먹을수록 점차 감소하며, 같은 나이의 어린이에서도 모유를 먹는 어린이가 조제분유를 먹는 어린이보다 이 균의 비율이 높다. 모유를 먹는 어린이의 대장내에는 Bifidobacteria가 대변 1g 당  $10^9 \sim 10^{11}$ 으로 장내균총의 99%를 차지한다.

### (4) 인체에서의 기능

사람의 대장에 부착하여 서식하는 대표적인 정상 장내세균이며, 장내에서 유기산을 생산하여 장내용물의 pH는 산성측으로 기울게 한다. 특히 젖산보다 acetic acid를 더 많이 생산하여 유해미생물을 강력히 억제한다.

따라서 Bifidobacteria가 대장에 왕성하게 증식하면 병원성 미생물의 증식과 부패산물(indole, skatole, phenol, nitrosamine, 암모니아 등) 생산이 억제되어, 각종 질환의 예방과 치료에 효과를 나타낸다. 또 면역을 증강시키는 효과와 혈청 cholesterol을 낮추어 주는 효과도 인정되어 스타터에 이 미생물을 포함시킨 다양한 발효유 제품들이 점점 많이 나타나고 있다.

## 3. 스타터 선발시에 고려해야 할 주요 특성

### 1) 제품의 생산 및 유통관리에 관련된 특성

#### (1) 증식온도

젖산균은 증식온도에 따라 고온성, 중온성 및 저온성으로 구분할 수 있는데, 공장 에서 요구르트를 제조할 때에는 고온성 젖산균을 선발하여 사용하면 여러가지로 유리하다. 고온성 젖산균을 사용하여 40~45℃에서 우유를 발효시키면 발효에 유해한 중온성 및 저온성 미생물의 증식을 억제할 수 있고, 산생산 속도도 빨라 발효소요 시간도 단축된다.

고온성 젖산균들은 20℃ 이하에서는 증식이 중지되므로 발효말기에 요구르트를

생각시킬 때나 제품을 유통시킬 동안에 추가적인 산생산을 야기시키지 않는 장점도 있다.

고온성 젖산균들은 저온살균에서 사멸하지 않은 균주가 많으므로 이러한 균주를 선택하여 저온살균 요구르트를 제조하면 저장성을 현저히 높일 수도 있다.

*Lac. bulgaricus*와 *St. thermophilus*의 어떤 균주는 저온살균에도 죽지 않아 저온 살균 요구르트를 만드는 데 이용될 수 있다.

그러나 가정에서 요구르트를 제조할 때에는 저온성 내지 중온성 젖산균이 유리할 때도 있다. 이러한 젖산균을 사용하면 별도의 보온기계 없이도 실온에서 손쉽게 요구르트를 생산할 수 있기 때문이다. 또 이러한 젖산균들은 모두 산생산 한계치가 높지 않아 요구르트의 산도로 적절한 경우가 많다.

*Lac. bulgaricus*, *Lac. jugurti*, *Lac. helveticus*, *Lac. acidophilus*, *Lac. casei* subsp. *rhamnosus*, *St. thermophilus* 등은 고온성 젖산균에 해당되고, *Lactococcus* 속과 *Leuconostoc* 속은 중온성 내지 저온성 젖산균이다.

## (2) 우유에서의 증식 및 젖산 생산

젖산균의 종류는 수 없이 많지만 우유에서 잘 자라고 유당으로부터 젖산을 잘 생산하는 균종은 그리 많지 않다. 유즙 유래의 젖산균들만이 이러한 특성이 강하고, 식물 유래의 젖산균들(*Lac. plantarum*, *Leu. mesenteroides*)과 동물장관 유래의 젖산균들(*Lac. acidophilus*, *Enterococcus* 속, *Bifidobacterium* 속)은 이러한 능력이 매우 약하거나 거의 없다.

유즙 유래의 젖산균들 중에서도 우유에서의 산생산 능력이 지나치게 높은 균종을 스타터로 사용하면 제품 제조시에 적절한 산도관리가 어려워 좋지 않다.

요구르트에 적절한 신맛을 주기 위해서는 총산함량이 젖산으로 환산하여 mild 한 제품은 0.85~0.95%이고, 약간 신 제품은 0.95~1.20%이다. 우유에서 배양할 때 *Lactococcus*속의 젖산균과 *St. thermophilus*의 산생산 한계치는 젖산으로 0.7~0.9%이고, *Lac. bulgaricus*와 *Lac. lactis*는 1.7% 내외이다. 그러나 *Lac. helveticus*와 *Lac. jugurti*는 2.7% 내외이고 산생산 속도도 너무 빨라서 좋지 않다.

*Bifidobacteria*와 *Lac. acidophilus*는 우유에 배양할 때에 증식과 산생산이 매우 느리지만 우유에서 비교적 잘 증식하는 균주도 있다. *Bifidobacteria*는 일반적으로 산소에 의하여 생육이 심하게 억제되지만 어떤 균주는 산소에 대한 내성이 강하여 특별한 혐기배양시설 없이 우유에서 잘 증식하는 균주도 있다.

따라서 요구르트 제조시에 보충용으로 사용할 *Bifidobacteria*와 *Lac. acidophilus*를 선발할 때에 위의 점들을 잘 고려하여 우수한 균주를 택하는 것이 무엇보다 중요하다. 또 *Bifidobacteria*의 어떤 균주는 증식상태가 불안정하여 우유배지나 다른 합성배지에서 계대배양을 하면 증식속도와 산생산능력이 급격히 떨어지는 경우도 있으므로 이러한 균주는 피해야 한다.

### (3) 혼합 배양시의 상호관계

발효유를 제조할 때에 목적에 따라 젖산균을 두 종류 이상 혼합 배양할 필요가 있다. 이 때 상호 간에 길항관계(antagonism)인지, 무관한 관계인지, 공생관계(symbiosis)인지를 고려하여야 한다.

요구르트 젖산균인 *St. thermophilus*와 *Lac. bulgaricus*는 공생관계를 유지하므로 혼합 사용하면 발효 소요시간을 2~3시간 단축시킬 수 있다. 그렇다고 *St. thermophilus*와 *Lac. bulgaricus*의 모든 균주가 공생관계를 유지하는 것은 아니다.

생산관리적인 관점에서 보면 이들 두 젖산균의 공생관계가 꼭 필요한 것은 아니며, 오히려 좋지 못할 수도 있다. 공장에서 요구르트를 제조할 때에 배양 소요시간을 2~3시간 단축시키는 것이 별 의미가 없으며, 산생산이 촉진되면 냉각과정에서 산이 계속 생산되어 제품이 지나치게 시어질 위험성이 높아지기 때문이다.

Bifidobacteria와 *Lac. acidophilus*가 보충된 제품을 제조할 경우에도 보충될 균들과 기본적인 젖산균들(*St. thermophilus*, *Lac. bulgaricus*)과의 상호 관계를 검토하여 길항관계가 아니고 공생관계에 있는 균주를 선택하여야 한다.

Bifidobacteria는 우유에 단독 배양할 때보다 *St. thermophilus*, *Lac. acidophilus*, *Lac. casei*의 적절한 균주와 혼합배양을 하면 배양환경이 쉽게 혐기성으로 되고, 아미노산, 비타민 등 영양성분을 공급받아 단독배양 때보다 증식과 산생산이 현저히 촉진되기도 한다.

또 *Lac. bulgaricus*는 우유에 배양하면 40~50 ppm의 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 생산하는데 이는 타 젖산균(특히 Bifidobacteria)의 사멸을 촉진시킨다. 따라서 Bifidobacteria를 보충한 요구르트를 제조할 때에는 기본적인 젖산균에 *Lac. bulgaricus*를 사용하지 않거나 사용할 경우에는 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>의 생산능력이 낮은 균주를 택하여 사용하여야 한다.

### (4) 제품에서 높은 생균수의 유지

요구르트는 제품중에 젖산균의 생균수가 높게 유지되기를 바라고 있다. 특히 장내에서 생균의 유익한 효과를 기대하는 제품일수록 그러하다. 우리나라 식품위생법에는 액상요구르트는 10<sup>7</sup>cfu/ml, 농후요구르트는 10<sup>8</sup>cfu/ml 이상의 생균수를 유지하도록 규정하고 있다. 또 Bifidobacteria 및 *Lac. acidophilus*가 생균으로서 유익한 효과를 나타내는 데 필요한 최소의 균수는 제품 1ml당 10<sup>5</sup>~10<sup>6</sup>인 것으로 생각하고 있다. 따라서 제품의 전 유통기간을 통하여 위의 요구보다 높은 생균수가 유지될 수 있도록 해 주어야 하는데, 이것이 그렇게 간단한 문제는 아니다.

제품의 제조조건과 보관조건도 물론 중요하지만 제품중에서 쉽게 사멸되지 않는 균주를 선택하는 것이 무엇보다 중요하다. 특히 Bifidobacteria를 보충용 균주로 사용할 경우에는 내산소성이 높은 균주를 선택하여야 한다. 또 Bifidobacteria는 천연 상태에서는 내산성이 낮지만 산성조건에서 적응시키면 내산성이 이외로 높은 균주



를 얻을 수도 있으므로 이러한 균주를 사용할 필요가 있다. *Lac. acidophilus*도 내산성이 높은 균주를 선택할 필요가 있다.

Bifidobacteria를 함유한 제품에 *Lac. bulgaricus*가 높은 수준으로 공존하면 유통 중의 pH 저하와 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 때문에 Bifidobacteria의 생존수 유지가 어려우므로 이러한 균주의 사용은 가급적 피하는 것이 좋다.

#### (5) 항생제에 대한 감수성

소의 유방염 치료를 위하여 사용하는 항생제가 우유로 배출될 수가 있으며, 이로 인하여 젖산균의 증식이 억제되어 요구르트 제조가 불가능하게 되는 경우가 있다. 요구르트 제조에 이용되는 대부분의 젖산균들이 항생물질에 민감한데, *Lac. bulgaricus*나 *Lac. acidophilus*보다 *St. thermophilus*가 특히 더 민감하다. 항생물질에 대한 감수성도 물론 균주에 따라 큰 차이가 있으므로 내성이 강한 균주를 선발할 필요가 있다.

*Pediococcus acidilactici*는 항생물질에 대한 내성이 *St. thermophilus*보다 훨씬 높아 요구르트 제조시에 이 젖산균을 보충하면 항생제가 어느 정도 함유된 우유에서 별지장 없이 양질의 요구르트를 제조할 수 있다.

또 항생제 치료를 받고 있는 사람용으로 항생제에 높은 내성을 가진 젖산균의 개발과 이를 이용한 특수 요구르트가 필요할 수도 있다. 그러나 이러한 제품은 병원성 미생물에 항생물질 내성을 전달할 우려가 있어 공중보건학적인 관점에서 문제시되고 있다.

## 2) 제품의 관능적인 면에 관련된 특성

### (1) 발효형태 및 젖산의 configuration

요구르트의 제조시에는 호모발효 젖산균을 사용하여야 한다. 응고물의 심부에 가스가 있거나 내부에 유청공간이 있는 것은 좋지 않다. 헤테로발효 젖산균을 사용하면 제품중에 가스가 생산되어 외관이 좋지 못하며, 또 젖산 이외의 발효산물이 너무 많이 생산되어 맛과 향이 깨끗하지 않기 때문이다.

*St. thermophilus*, *Lac. bulgaricus*, *Lac. acidophilus*, *Lactococcus*, *Pediococcus* 등은 대표적인 호모발효 젖산균이고, *Leuconostoc*, *Bifidobacterium*은 헤테로발효 젖산균이다.

또 젖산균이 생산한 젖산의 configuration도 고려하여야 한다. L(+)형의 젖산은 인체내에서 쉽게 대사되지만 D(-)형의 젖산은 쉽게 대사되지 않으며, 신맛도 L(+)형보다 D(-)형이 더 예리하게 느껴져 못하기 때문이다. *St. thermophilus*와 *Lac. bulgaricus*의 혼합 스타터로 발효시킨 신선한 요구르트는 60% 정도의 L(+) 젖산과 40% 정도의 D(-) 젖산을 함유하고 있다. 그러나 D(-)형이 L(+)형보다 2배 이상으로 되면 맛이 좋지 못하다.

*St. thermophilus*, *Lactococcus*, *Lac. casei*, *Bifidobacteria*는 L(+)형의 젖산을, *Lac. bulgaricus*, *Lac. lactis*, *Leu. citrovorum*, *Leu. dextranicum*은 D(-)형의 젖산을, *Lac. acidiphilus*, *Lac. jugurti*, *Lac. helveticus*, *Lac. plantarum*, *Lac. brevis*, *Pediococcus*는 DL형 젖산을 각각 생산하므로, 젖산균의 균종을 잘 선택하면 젖산의 이성질체 함량비율을 적절히 조정할 수 있다.

## (2) 카르보닐 화합물과 휘발산의 생산

요구르트 발효시에 젖산균이 카르보닐 화합물과 휘발산을 생산하는데, 이들은 소량이지만 제품의 향미에 중요한 역할을 한다. 카르보닐 화합물의 함량 순위는 acetaldehyde, acetone, diacetyl, acetoin이고, 휘발산의 함량순위는 acetic acid, formic acid, caproic acid, caprylic acid, capric acid, butyric acid, propionic acid, isovaleric acid이다.

### ① Acetaldehyde

요구르트 발효시에 acetaldehyde의 생산량은 다른 휘발성 화합물들보다 훨씬 많으며, 요구르트에서 대단히 중요한 성분이다. Acetaldehyde의 함량이 20~40ppm이고, pH가 4.4~4.0일 때 요구르트의 향과 맛이 가장 좋은 것으로 알려지고 있다.

현재 우리나라에서 많이 생산되고 있는 과일 또는 과즙이 가미된 요구르트에서는 과일의 향이 중요한 역할을 하기 때문에 acetaldehyde의 향이 중요하게 인식되지 못하고 있다. 그러나 장차 외국에서와 같이 무가미요구르트(plain yoghurt)를 제조할 경우에는 이의 역할이 대단히 중요하다.

균주에 따라 현저한 차이가 있긴 하지만 acetaldehyde 생산의 주역을 담당하는 것은 *Lac. bulgaricus*이다. *St. thermophilus*는 극히 소량의 acetaldehyde만을 생산하여 요구르트의 향미에는 실제적인 기여를 하지 못한다. 그러나 *Lac. bulgaricus*와 *St. thermophilus*를 혼합배양할 때에는 *Lac. bulgaricus*를 단독배양할 때보다 훨씬 많은 양의 acetaldehyde가 생산된다. *Lactococcus* 속의 젖산균들도 어느 정도의 acetaldehyde를 생산하는데, 이의 생산은 초기에는 증가했다가 후기에 ethanol의 증가와 더불어 감소한다.

또 젖산균은 포도당에서 뿐만 아니라 threonine에서도 acetaldehyde를 생합성할 수 있는데, threonine aldorase가 이 작용을 촉진한다. Threonine aldorase의 활성은 *Lac. bulgaricus*와 *St. diacetylactis*는 대단히 높고, *Lactococcus lactis*와 *Lactococcus cremoris*도 제법 높지만, *Enterococcus faecium*과 *Pediococcus pentosaceus*에는 거의 없다. 균종뿐만 아니라 균주에 따른 차이도 대단히 크므로 스타터의 선정시에 이 점들을 잘 고려하면 좋은 결과를 얻을 수 있다.

### ② Diacetyl과 acetoin

Diacetyl과 acetoin은 0.5~0.9ppm의 소량으로도 요구르트의 향기성분으로 중요한 역할을 한다. 이들의 생산에 중요한 역할을 하는 것은 *St. thermophilus*이며, *Lac.*

*bulgaricus*는 이들의 생산능력이 매우 낮다. 그러나 균주에 따라 차이가 매우 크므로 균주를 잘 선택하여야 한다.

Butter 제조에 이용되는 *St. diactylactis*는 이들의 생산능력이 매우 높으며, 요구르트 제조시에 *St. diactylactis*를 스타터에 보충하고 온도관리를 적절히 하면 diacetyl과 acetaldehyde의 생산량을 현저히 높일 수 있다.

### ③ Acetone

Acetone은 *Lac. bulgaricus*에 의하여 생산되며, 요구르트에서는 중요한 향기성분이 되지 못한다. *Lac. bulgaricus*의 어떤 균주는 acetaldehyde보다 acetone을 더 많이 생산하기도 하는데, acetone 생산량이 너무 높아 acetaldehyde/acetone의 비율이 0.4~1.0 사이일 때는 요구르트 향으로서 좋지 못하다. 반면 acetone보다 acetaldehyde를 더 많이 생산하여 acetaldehyde/acetone의 비율이 2.5~3.0일 때 아주 좋은 요구르트의 독특한 향기를 나타낸다.

### ④ 휘발산

요구르트 발효시에 acetic acid, formic acid, caproic acid, caprylic acid, capric acid, butyric acid, propionic acid, isovaleric acid 등의 휘발산이 생산된다. 이들은 carbonyl 화합물과의 균형을 유지하여 요구르트에 독특한 향기를 부여한다. 휘발산은 *Lac. bulgaricus*와 *St. thermophilus*의 유당대사, 유지방분해 및 아미노산 대사의 결과로 생산되며, 균종과 균주에 따라 이의 생산량이 달라진다.

*Lac. acidophilus*와 *Bifidobacterium*은 젖산보다도 더 많은 양의 acetic acid를 생산하여 요구르트의 맛과 향에 좋지 못한 영향을 미친다. 그러므로 위의 젖산균들을 보충용 스타터로 사용할 때에는 이점을 잘 고려하여야 한다.

## (3) 단백질 분해력

젖산균들은 타 미생물들에 비하여 단백질 분해활성이 매우 낮으며, 이들의 단백질분해활성은 균종에 따라 큰 차이가 있다. 일반적으로 장간균의 젖산균인 thermobacteria(*Lac. bulgaricus*, *Lac. lactis*, *Lac. jugurti*, *Lac. helveticus*, *Lac. acidophilus* 등)가 가장 높고, 그 다음이 streptobacteria(*Lac. casei*)이며, 젖산구균인 *St. thermophilus*, *Lactococcus lactis*, *Leuconostoc lactis* 등은 매우 낮다.

젖산균의 단백질분해활성과 젖산생산 간에는 상당한 상관관계가 있다. *Lactobacillus*의 많은 균주들은 젖산 생산량이 두드러지게 높으며, 이들은 단백질분해활성도 또한 높게 나타나고 있다.

요구르트 스타터를 선발할 때에 단백질 분해활성이 높은 젖산균을 선택해야 할지의 여부는 제품의 특성에 따라 다르며, 이것은 스타터 선택에 있어서 대단히 중요한 점이다.

단백질 분해활성이 높은 균주를 사용하면, ①발효시에 산생산 속도가 빠르고, 산생산량이 많아지며, ②제품의 물성에서 겔상인 요구르트는 조직이 연해지고, 액상인

요구르트는 단백질의 안전성이 낮아져 침전이 발생되기 쉬우며, ③제품에는 아미노산의 맛이 가미되기도 하나, 맛과 향이 깨끗하지 못하며 경우에 따라서는 약간의 쓴맛을 나타낼 수도 있다.

따라서 액상요구르트를 제조할 때에 단백질분해활성이 높은 *Lac. helveticus*나 *Lac. bulgaricus*를 사용하면 발효는 단시일(1일)에 완료되나 제품에 침전이 발생되므로 안정제를 사용하여야 하고, 맛과 향이 복잡하여 첨가한 향이 깨끗이 살아나지 않는다. 반면에 단백질분해활성이 낮은 *Lac. casei*를 사용하면 발효는 장기간(5일)이 소요되나 제품에 침전이 발생하지 않고 맛과 향이 깨끗하여 첨가한 향이 잘 살아난다.

농후요구르트일 경우에 과일, 과즙, 향으로 가미한 flavored yoghurt를 제조하고자 한다면 단백질분해활성이 높지 않은 *St. thermophilus*를 주균종에 포함시키고, plain yoghurt를 제조하고자 한다면 단백질분해활성이 높은 *Lac. bulgaricus*를 주균종에 포함시키는 것이 좋을 것이다.

특별한 목적이 있어 두 균주를 혼합해서 해용해야 할 경우에 한 균주가 단백질분해활성이 매우 낮은 균주라면 다른 한 균주는 단백질분해활성이 높은 균주로 하여 공생효과를 나타낼 수 있게 하는 것도 고려해 볼 점이다.

#### (4) 아미노산 분해능

어떤 종류의 젖산균은 아미노산에 작용하여 암모니아와 유기산을 생산한다. 이것은 아미노산의 탈아미노반응(deamination) 또는 산화적 탈아미노·탈탄산반응(oxidative deamination and decarboxylation)의 결과이다. Alanine, glycine 또는 serine으로부터는 암모니아와 탄산가스 이외에 acetic acid도 생산된다. Threonine으로부터는 propionic acid가, valine으로부터는 isobutylic acid가, isoleucine으로부터는 isovaleric acid가, leucine으로부터는 valeric acid가 각각 생산되며 동시에 모든 반응에서 암모니아와 탄산가스가 생산된다.

위의 반응으로 생성되는 암모니아는 비록 소량일지라도 요구르트의 향미를 크게 손상시키며 이 때 생산된 유기산도 생산량이 많아지면 향미에 나쁜 영향을 미친다.

위와 같은 아미노산 분해능력은 일반적으로 *St. thermophilus*보다 *Lac. bulgaricus*가 더 강하며, 젖산균의 균주특성에 따라 크게 다르다.

또 *Lac. bulgaricus*나 *Lactococcus*와는 달리 *St. thermophilus*는 우유에 소량 존재하는 urea를 분해하여 암모니아를 발생하기도 하므로 urea 분해능이 약한 균주를 선택할 필요가 있다.

#### (5) 점질물질 생산

요구르트의 consistency, viscosity, texture 등의 물리적인 특성도 젖산균 스타터의 특성에 영향을 받는다. Set yoghurt는 유청분리가 없는 부드러운 겔상의 조직을

가지며, 입자나 덩어리가 없고, 손가락으로 떠낼 때에 응고물이 깨끗이 부서져야 한다. 또 stirred yoghurt에서도 응고물이 적절한 점성을 유지하고, 휘저을 때 조직이 거칠게 부서지지 않아야 한다.

요구르트 제조시에 점질물질이 적절히 생산되는 것은 조직 특성상 대단히 중요하다. 요구르트에 점질물질이 존재하면 유청분리가 억제되고, 응고될 때 조직이 부드러워지져 손가락으로 뜨거나 휘저을 때 응고물이 깨끗이 부서지고, 거친 입자가 생성되지 않는다. 그러나 점질물질 생산이 너무 지나치면 좋지 않다.

젖산균의 점질물질 생산은 젖산균의 균종과 균주 및 배양조건에 따라 대단히 다르므로 적절한 스타터를 선발하는 것이 대단히 중요하다.

*St. thermophilus*와 *Lac. bulgaricus*의 어떤 균주는 우유에서 점질물질을 생성하는데, 두 균주를 혼합배양할 때 점질물질 생산이 촉진되는 균주도 있고 억제되는 균주도 있다. *Lactococcus lactis*는 점질물질 생산능력이 있는 균주가 많으며 이를 요구르트 스타터에 보충하여 좋은 효과를 얻는 경우도 있다.

### 3) 제품의 기능성 증진에 관련된 특성

#### (1) 비타민의 생산 및 소모

젖산균은 증식에 여러 종류의 비타민을 요구하며 대수증식기에 많은 비타민을 흡수한다. 반면에 어떤 종류의 비타민은 생합성하여 증가시키기도 하는데, 균종과 균주의 특성에 따라 상당히 다르다. 그러므로 요구르트 스타터로서 비타민의 생합성능력이 좋은 것을 선택할 필요가 있다.

① 비타민 B<sub>1</sub>(thiamine) 및 비타민 B<sub>2</sub>(riboflavin)는 요구르트 발효중에 젖산균이 흡수하여 그 함량이 감소되는 경우도 있고, 생합성으로 현저히 높아지는 경우도 있으며, 뚜렷한 변화가 없는 경우도 있다. 이와 같은 현상은 요구르트 제조에 사용되는 젖산균의 균종과 균주의 특성에 따라 다르기 때문이다.

② Niacin(nicotinic acid)과 pantothenic acid는 요구르트 발효중에 젖산균이 흡수하여 함량이 다소 감소한다. *Acidophilus milk*, *bioghurt*, *sour milk*에서도 같은 경향이다.

③ 비타민 B<sub>6</sub>(pyridoxine)와 biotin도 요구르트 발효중에 젖산균이 흡수하여 그 함량이 감소한다. 그러나 biotin은 *sour milk*와 *sour cream*에서는 증가하고, *acidophilus milk*에서는 변화가 없다.

④ 비타민 B<sub>12</sub>는 요구르트 발효중에 젖산균(특히 *Lac. bulgaricus*)이 흡수하여 현저히 감소한다. *Bioghurt*, *acidophilus milk*, *sour milk*, *sour cream*에서도 젖산균이 흡수하여 감소한다. 발효유제품 제조시에 스타터로 *Leuconostoc*을 보충하면 비타민 B<sub>12</sub>의 감소를 막을 수 있다.

⑤ Folic acid(folacin)는 요구르트 발효중에 젖산균의 생합성으로 현저히 증가한다. *Bioghurt*, *acidophilus milk*, *sour cream*에서도 젖산균의 생합성으로 현저히 증

가한다.

### (2) 장내에서의 생존 또는 증식성

요구르트 제조에 사용되는 *Lactobacillus*, *Streptococcus* 및 *Bifidobacterium*의 균주는 수 없이 많다. 이 미생물들이 요구르트를 섭취하는 사람에게 생균으로서 질병 예방 또는 질병치료 효과를 나타내기 위해서는 몇가지 대단히 중요한 특성을 지니고 있어야 한다.

우선 위액의 산성하에서 어느 정도 생존할 수 있어야 하고, 담즙에 대해서도 내성을 갖고 있어서, 섭취된 균이 생존상태로 장관을 통과할 수 있어야 한다. 이보다 더 바람직한 특성은 생존상태로 장관에 도달한 젖산균이 장내에 정착하여 장관세포와 공생관계를 유지하면서 계속 증식하는 일이다. 불행하게도 요구르트의 기본적인 젖산균인 *Lac. bulgaricus*와 *St. thermophilus*는 사람의 소화관을 생존상태로 통과하기도 어렵고, 장내에서 증식하지도 못하는 것으로 알려지고 있다.

한편, *Lac. acidophilus*, *Lac. casei* subsp. *rhamnosus* 및 Bifidobacteria 중에는 사람의 장내에서 서식하는 균주가 많다. 동물의 장내에도 위의 젖산균들이 서식하지만 이들은 숙주 특이성이 강하여 사람의 장내에서는 정착하기 어렵다. 그러므로 *Lac. acidophilus*, *Lac. casei* subsp. *rhamnosus* 및 Bifidobacteria 등을 스타터로 선발할 때에는 반드시 사람 장관 유래의 균주 중에서 선발하여야 한다.

### (3) 인체에서의 건강증진 능력

#### ① 유해 미생물의 억제 능력

젖산균은 대사산물로서 유기산류(젖산, acetic acid, formic acid, citric acid, benzoic acid), H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, bacteriocins 등을 생산하여 다른 미생물들의 증식을 억제할 수 있다.

유기산 중에서도 젖산보다 acetic acid가 더 강력한 억제효과를 나타낸다. Bifidobacteria와 *Lac. acidophilus*는 발효성 당으로부터 젖산보다 acetic acid를 더 많이 생산하며, 소량의 formic acid도 생산하므로 장내에서 유해 미생물억제에 대단히 중요하다. 휘발산 및 다른 항균성 물질의 생산능력은 균종과 균주에 따라 다르므로 스타터 선발시에 이들을 잘 고려할 필요가 있다.

#### ② 혈청 콜레스테롤 감소 능력

장내에 서식하는 *Lac. acidophilus*, *Lac. casei*, *Enterococcus faecalis*, Bifidobacteria 등은 혈청 콜레스테롤치를 낮게 해주는 효과가 인정되고 있다. 또 이들 균주는 담즙에 대한 내성이 높을 뿐만 아니라 담즙산 탈포합(bile deconjugation) 작용을 나타낸다. 위의 젖산균들이 혈청 콜레스테롤치를 낮추어 주는 과정이 콜레스테롤을 젖산균이 흡수하여 제거하는 과정과, 생합성을 조절하는 두가지 과정인 것으로 알려지고 있지만 아직 그 메카니즘이 확실히 밝혀진 상태는 아니다.

그러나 담즙산이 탈포합되어 유리상태가 되면 용해성이 낮아져 체내로 재흡수되지 않고, 췌산균의 세포벽이나 장내용물중의 섬유소와 결합하여 체외로 배출되며, 배출된 담즙산을 생합성으로 보충하기 위하여 전구체인 혈청 콜레스테롤이 소모되는 것만은 확실하다.

또한 탈포합된 유리 담즙산은 포합담즙산보다 미생물 억제능력이 훨씬 강하므로 장내에서 담즙에 내성이 약한 유해 미생물들을 더욱 강력히 억제한다. 그러므로 췌산균을 선발할 때에 담즙산 탈포합 능력이 강한 췌산균을 선택하는 것이 좋은 것으로 보고 있다.

### ③ 기타 특성

이 외에도 장관 면역계의 활성화 능력, 발암 억제능력, 유독성물질 분해능력, 유독성물질 생성여부 등도 균주 선발시에 중요한 고려 대상이 된다.

- 끝 -