

특 집

전통발효 식품과 유전공학 기술

조 동 옥
 생물공학연구부

우리나라의 전통발효 식품은 분류의 기준에 따라서 여러가지 형태로 구분할 수 있으나, 사용원료를 기준으로 했을 때 김치류(발효채소), 장류(발효 대두 단백질), 젓갈, 식혜류(발효생선), 주류, 식초류(발효 곡류, 과일) 및 기타 식품(감미료 등)으로 분류할 수 있다. 전통발효 식품의 일반적인 제조공정은 주원료에 적당한 부재료를 첨가, 혼합하고 원료나 공기 중에서 유입된 천연 미생물군에 의한 발효과정을 거치게 된다. 전통발효는 몇가지 특징을 갖게 되는데, 첫째는 자연접종이라는 점이고, 둘째는 발효의 특징이 microflora에 의한 복합발효 방식이며, 셋째는 발효가 환경의존성일 수밖에 없다는 점이다. 전통발효 식품을 개발하기 위해서 여러가지 접근방식이 있을 수 있지만, 전통발효 식품에 필수적인 요인이 되는 미생물 즉 starter culture를 개선 또는 개발하는 것이 유전공학 기술이 응용될 수 있는 중요한 분야가 될 수 있을 것이다. 이러한 개발 가능성의 예로서는 발효에 필요한 효소의 생성능을 개선하거나, 종균의 기질 범위를 확대하여 보다 경제적인 발효과정을 개발한다거나, 발효에 참여하는 유용 미생물의 생육을 촉진하고 발효 식품의 품질에 좋지 않은 영향을 미치거나 수명을 단축시키는 미생물의 생육을 억제하는 등 발효식품의 품질을 개

선하는데 다양하게 응용될 수 있는 가능성이 있다고 할 수 있다. 따라서 본고에서는 전통발효 식품의 발효에 관여하는 젖산균(lactic acid bacteria), 곰팡이(fungi), 효모(yeast) 등에 적용될 수 있는 유전공학기술에 대해서 살펴 보기로 하겠다.

1. 젖산균(Lactic acid bacteria)

전통발효에 관여하는 젖산균으로는 *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* 그리고 *Streptococcus*균 등을 들 수가 있다. 젖산균 중에서 유전자 조작기술이 연구, 적용되어온 대표적인 예로서 *Lactococcus*를 꼽을 수 있다. *Lactococcus*에는 중요한 기능을 가진 plasmid들이 존재하는데 그 기능의 예로서 lactose 및 citrate metabolism, proteolytic system, bacteriocin 생성능 및 bacteriophage에 대한 저항력 등을 들 수 있다. 또한 이러한 plasmid들은 균주의 개선을 위해 사용되는 유전자 조작기술인 유전자의 전이(gene transfer)에 필요한 유용한 plasmid cloning vector들을 개발하는데에도 사용되어 왔다. 이외에도 *Lactococcus*는 접합(conjugation), 형질도입(transduction) 등의 자연적인 유전자 전이(gene transfer) system이

적용될 수 있으며, 시험관내에서(*in vitro*) 원형질(protooplast)을 만든 다음, 재생(regeneration)시킨 후, electrophoration기법을 사용한 형질전환(transformation)을 통하여 새로운 균주를 개발시킬 수도 있다.

이러한 젓산균의 형질개선(strain improvement)을 위한 유전공학기술의 적용 중에서 우리의 전통식품 개발에 응용될 수 있는 기능성의 한 예를 들어 본다면, 김치의 시어짐에 중요한 역할을 하는 균으로 알려진 *Lactobacillus plantarum*의 생육을 선택적으로 억제하는 bacteriocin을 생성하는 균주를 젓산균들 중에서 분리하여 유전자 조작을 통해 그 균의 bacteriocin 생성능을 높인 다음, 김치제조시 또는 숙성 중 인위적으로 첨가하여 김치의 수명을 연장시키는 방법을 들 수 있겠다.

2. 곰팡이(Fungi)

발효식품에 사용되는 fungal starter culture에는 대표적으로 *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Actinomucor*, *Neurospora* 및 *Monascus* 등을 들 수 있다. 이들이 발효식품에서 유용한 starter culture로 이용되기 위해서는 독성이 없고, 항생물질을 생산하지 않고, 적당량의 단백질 및 지방 분해 효소를 생산하고, 병원성 및 식중독 세균의 생육을 저지하고, 바람직하지 않은 이취(off-flavor)를 생성하지 않아야 한다. 하지만 fungal starter culture중에는 미량이나 마 2차 대사산물(secondary metabolite)인 mycotoxin을 생성하는 것들이 있는데 유전자 조작 기술을 사용하여 이러한 특정 대사산물의 생성을 억제하여 독성이 없는 균주를 개발할 수 있다. 곰팡이에 의해 발효되는 식품은 대부분 pH가 높는데, 이러한 높은 pH에서는 병원성균이나 독성이 있는 균들의 생육이 가능하게 된다. 이런 경우에는 biopreservative기능을 가진 유전자를 형질전환(transformation)의 방법을 통해서 fungal starter culture

에 유입시켜 유해한 균의 생육을 억제시킬 수 있다. 좀 더 실질적인 예로서 세포융합의 방법을 사용하여 간장 양조용 Koji균의 신품종을 만드는 기술을 들 수 있다. 간장 양조용 Koji균 중에서 서로 다른 성질을 갖는 2종류의 균을 융합시켜 신품종을 만들어 장유의 맛을 향상시키겠다는 것인데 1986년도에 일본 기꼬망사에서 융합조건과 융합 후의 처리, 배양 조건 등 기초기술을 확립했다. 기꼬망사는 개발한 기술을 기초로 단백질 분해 능력이 우수한 균과 글루타민을 글루탐산으로 변화시키는 능력이 우수한 균의 융합을 시도하여 양쪽의 중간적 성질을 가진 잡종을 만드는 데 성공했다.

3. 효모(Yeast)

효모, 그중에서도 특히 *Saccharomyces*는 전통적으로 제빵과 양조공업 등에서 가장 중요한 미생물로 알려져 왔으며 우리나라의 전통민속주의 제조 등에서도 중요한 역할을 하는 미생물이라 할 수 있다. 이러한 중요성 때문에 효모는 유전학적 연구에 사용된 최초의 미생물의 하나였다. 효모의 유전적 형질을 개선 시키기위해 사용될 수 있는 방법으로는 selection, hybridization, rare mating, mutation 등의 전통적인 방법과 최근의 DNA 재조합 기술을 응용한 protoplast fusion 및 transformation 등의 방법을 들 수 있다. 다른 미생물들과 마찬가지로 효모의 cell들도 다른 특정 효모의 유전자나 foreign DNA에 의해 transformation이 가능하다. Transformation을 효율적으로 수행하기 위해서 주로 *Saccharomyces*에서 사용될 수 있는 여러 종류의 cloning vector들이 개발 되었는데 이들은 YIp(yeast integrated plasmid), YEp(yeast replicating plasmid), YCp(yeast centromeric plasmid) 및 YLp(yeast linear plasmid) 등이다. 유전자 조작을 통해 형질이 개선된 효모의 예를 들어 보면 제빵에 사용되는 *Saccharomyces cerevisiae* 중에서 효

소의 생성능이 개선(higher levels of maltose permease, maltase)된 균주가 있고, 전분(starch)을 유일한 탄소원으로 하여 자랄 수 있게한 *Saccharomyces cerevisiae* 균주의 개발 등이 있다. 그러나 효모에 관한 유전학적 연구의 동향에도 불구하고 그것들의 실제적인 응용에는 몇가지 제한인들이 있다. 산업계에서는 주로 시행착오적인 연구에 의해 이미 만족할만한 효모균주를 가지고 있는 경우가 있고, 또한 유전적으로 새로운 균주는 쉽게 육종되지 않으며, 실제로 발효식품의 산업화에 이용되는 대부분의 형질들은 복잡하여 한단계의 형질 개선만으로는 큰 효과를 초래할 수 없다는점 등이다.

4. 안정성 고찰

마지막으로 genetically modified microorganism 이나, 그러한 미생물에 의해 생산된 제품을 사용하는 것에 대한 안정성(safety assessment) 및 환경에 미치는 영향을 고려해 보아야 하겠다. 최근 FAO/WHO의 공동협의회에서, 유전공학기술에 의해 생산된 food products의 안정성 평가에 대한 guide line을 발표하였다. 그중에서 특히 미생물에 의해 생산되는 food 및 food ingredient에 대한 안정성 평가를 위한 조건들 중에서 중요한 몇가지를 살펴보면 다음과 같다. 첫째로 유전자 조작을 위해 사용된 미생물에 대한 분류학적(taxonomical), 유전적(genotypical)근거가 확실하여야하며, 둘째로 유전형질의 개선을 위해 사용된 유전물질(genetic material)은 그 특성이 잘 규명 되어 있는 것이어야 하고 어떠한 종류의 독성도 없는 것이어야 한다. 셋째로 gene transfer에 사용된 cloning vector는 새로운 host에 정착후 다른 미생물로 transfer되지 않는 것이어야하며, 넷째로 genetically modified된 미생물 자체의 안정성은 새로 유입된 유전자에 의한 최종산물의 안정성 그리고 genetic modification이 식품의 영양에 나쁜 영향을 미치지 않는가의 여부

및 기타 biological containment에 의해 평가한다. 현재까지 genetically modified microorganism에 의해 생산된 제품중, 효소 rennet는 1990년 FDA에 의해 그 사용이 승인되었고, starter culture로는 baker's yeast로 사용되는 *Saccharomyces cerevisiae*가 1990년 영국에서 그 사용이 공식적으로 승인된 예가 있다. 우리의 전통발효식품의 개발을 위해 유전공학기술이 적용될 수 있는 가능성은 많으나, 이러한 개발은 유전공학기술을 이용해 개발된 제품의 안정성, 그에 대한 법적 사회적 규제 및 소비자의 호응도를 고려하여 추진되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 식품산업에서 유전공학의 이용 및 전망. 1990. p. 25~56, 한국식품연감
2. FAO/WHO, in "Report of a joint FAO/WHO Consultaton," Geneva, 1991, p. 59.
3. Geisen R. 1993. Fungal starter cultures for fermented foods : molecular aspects. Trends in Food Science and Technology. Vol.4 : 251~256.
4. Harlander S.K. 1990. The application of gene technology to improve organisms. Food Biotechnology. Vol.4 : 515~526.
5. Harlander S.K. 1993. Genetic enginnering of foods : a US perspective. Trends in Food Science and Technology. Vol.4 : 301~305.
6. Teuber M. 1990. Strategies for genetic modification of *Lactococci*. Food Biotechnology. Vol.4 : 537~546.
7. Teuber M. 1993. Genetic engineering techniques in food microbiology and enzymology. Food Reviews International. Vol.9 : 389~409.