

육 발효 미생물

李 成 基

강원대학교 축산대학 교수

I. 육 발효 미생물의 역사

고기는 단백질, 지방, 무기물 등과 같은 영양가를 풍부히 지녔고 Aw(수분활성도)가 0.99로 매우 높아 미생물이 이용할 수 있는 훌륭한 영양원이다. 그러므로 다른 식품보다 미생물에 쉽게 오염될 수 있고 또 부패되기 쉽다. 고기에 있어서 미생물의 오염은 공기가 있을 때 pseudomonadineae나 저온성 enterobacteriaceae 와 같은 그람음성균이 부패에 관여한다. 이들은 대부분 산소를 요구하며 소금과 아질산염에 예민할 뿐 아니라 카탈레이스 양성균이 많다. 그러나 발효육제품은 염지에 의해 소금, 비타민 C, 아질산염이 첨가되고 혼연이나 발효를 통하여 산소가 부족하게 되며 pH가 떨어지므로써 차츰 호기성 미생물은 줄어들고 젖산균이 왕성히 성장하여 우점하게 된다. 그러므로 인류는 일찍이 고기의 저장 목적으로 소금 등에 절이는 염지작업을 해 둠으로써 그 속에 젖산균이 번식하는 이른바 자연발효를 시켜 온 것이다.

염지된 육제품에 대한 최초의 문헌은 B.C. 약 900-1000년 경에 Homer의 Odyssey에서 기술한 바에 의하면 양창자에 피와 지방을 넣어 연기에 그을렸다는 기록이 있다. 그후 B.C. 5세기에 로마에서는 염지 육제품이 일반화 되어서 관청의 엄격한 위생관리하에 소규모의 식육판매가 성행되었다고 한다. 그러나 이러한 육제품의 제조는 대부분 저장목적에서 출발한 발효육제품으로 저장중 자연히 오염된 유익한 미생물을 이용하였던 것이다. 오늘날 발효육제품의 모태는

지중해 연안 지연으로 오랜기간동안 제조기술이 전수되어 내려온 것이다. 그들은 발효가 되는 주 원인이 미생물이라는 사실을 알지 못하고 단순히 경험적으로 자연발효를 실시하여 왔으며 그 관습에 익숙하여 최근까지 그리스와 같은 나라에서는 사타터미생물을 법적으로 못쓰게 한 경우도 있었다.

발효의 원인 물질이 미생물이라는 사실이 밝혀지고 고기내에서 그들의 작용도 함께 밝혀진 이후 발효 소시지에 필요한 미생물만 접종하여 발효시키고자 하는 시도가 1920년대 부터 시작되었으나 스타터 미생물로써 본격적인 연구와 실용화는 1940년대와 1950년대에 걸쳐 완성되었다.

그 후로도 스타터 미생물은 제품의 균일화와 공정 단축, 대량생산을 통한 생산비 절감 등의 목적으로 끊임없이 연구되고 개발되었다. 그러나 젖산균을 스타터 미생물로 개발하기 위해 lyophilization을 시켜야 하는데 이때 살아남은 균종이 없어 번번히 실패를 했었다. 다행히 1940년에 미국의 Jansen과 Paddock 이 *Pediococcus cerevisiae*를 lyophilization시키는데 성공하여 최초로 특허를 낸 이후로 오래동안 summer sausage, thuringer, cervelat 등에 이용해 왔었다.

이에 반해 발효육의 원산지라 할수 있는 유럽지역에서는 그들의 전통적인 자연발효법으로 부드럽고 독특한 발효육 제품만을 생산하고자 고집하였기 때문에 단시간 강하게 발효시키는 스타터 미생물의 개발과 이용면에서 뒤늦게 시작하였다. 유럽식 발효육제품의 제조방법은 당함량이 적고 질산염 함량이 많은

염지육을 낮은 온도에서 장기간 발효시키기 때문에 산생성균보다 질산염 환원능력이 있는 카탈레이스 양성균을 스타터 미생물로 개발하는데 관심을 보였다. 즉, 1955년에는 Niinivaara가 산생성용 젓산균 대산 향기와 맛 생선에 기여하는 micrococci를 스타터 미생물로 개발하는데 성공하였다. 1980년대 이후에는 *Staph. carnosus*도 많이 사용하고 있으며 *L. plantarum*이 *P. cerevisiae*보다 낮은 20-22°C에서도 생육할 수 있다는 장점을 이용하여 이균과 Micrococcaceae를 혼합하여 널리 사용하고 있다.

젓산균외에도 단백질, 지방의 분해효소가 있어 향기와 정미성분을 생성하는 곰팡이와 효모도 발효중 표면에 붙어 자연히 이용하여 왔고 근래에는 스타터 미생물로도 개발되었다. 발효육제품에 효모나 곰팡이의 이용은 국가별로 사용빈도가 현저히 다른데 예를 들면 건조소시지에 스타터 곰팡이를 루마니아, 이탈리아, 불가리아 등이 90% 이상, 헝가리, 스위스는 70% 이상을 사용하나 기타 지역은 적게 사용하거나 거의 사용하지 않는 나라도 많다. 이들을 단독으로 사용하는 경우도 많지만 최근에는 젓단균과 혼합하여 사용하는 경향이 늘고 있다.

II. 육 발효 미생물의 특성

발효육제품 제조중에 생육하는 유익한 미생물로서 크게 젓산균을 포함한 박테리아, 곰팡이, 효모로 나눌 수 있으나 직접적으로 발효작용에 관여하는 젓산균(유산균)을 가장 널리 사용하고 있다. 발효육제품에 이용할 수 있는 훌륭한 스타터 미생물의 조건은 소금 6%와 아질산염 100ppm에서 견딜 수 있어야 하고 성장온도는 27-43°C가 좋으며 대사과정에서 이취나 독소를 생성하지 않을 뿐 아니라 균 자체가 단백질 및 지방분해효소를 강력히 분해하지 않는 것이 바람직하다. 또한 반 호기성 상태에서도 성장할 수 있어야 하고 이산화탄소, 아질산염, 혼염, 소금 및 낮은 pH에서도 생존할 수 있어야 한다는 것이다.

고기에 주로 이용하는 젓산균으로 Family Micrococcaceae에 속하는 genus micrococci, staphylococci나 Lactobacillaceae에 속하는 streptococci, lactobacilli, 그리고 Streptococcaceae에 속하는 pediococci 등으로 분류할 수 있다.

Pediococci는 그람양성균으로 endospore를 형성치 않는 대부분의 카탈레이스 음성균으로 질산염을 아질산염으로 환원하지 못하는 단점은 있지만 약간의 호기성에서도 잘 자라는 장점이 있다. 발효과정이 homofermentation으로 D-form의 젓산도 생성하나 대부분 L-form의 젓산을 생성한다. 고기발효에 포도당이나 과당을 이용하나 sorbitol이나 전분은 이용하지 못한다. *P. cerevisiae*는 젓산균 미생물로서 최초로 lyophilization에 성공한 이후로 오래동안 발효육제품에 사용하여 왔다. 근래에는 *P. acidilactici*나 *P. pentosaceus* 등도 많이 사용하고 있다. 이와같이 pediococci는 lactobacilli보다 lyophilization에 저항성이 강하고 homofermentation을 하는 큰 장점때문에 실제로 산업계에서 동결건조나 농축동결형태의 스타터 미생물로 더 많이 이용하고 있다.

Lactobacilli는 pediococci보다 낮은 25-30°C에서 잘 자라고 이 보다 낮은 온도에서도 자랄 수 있기 때문에 자연발효 육제품에서도 만히 우점하는 균이다. 그러므로 비교적 낮은 온도에서 장기간 숙성시킬 필요가 있는 건조소시지에 용에 적합하다. 예외적인 보고는 있으나 대부분 이들은 고기 제품내에서 질산염을 환원시키지 못하고 카탈레이스 음성이며 단백질이나 지방분해 효소가 없어서 발효자체는 강력히 진행되지만 선택이나 숙성에는 크게 기여하지 못하는 것으로 알려지고 있다.

Micrococcaceae도 유럽지역의 건조소시지에 가장 널리 이용하는 스타터 미생물로서 micrococci, staphylococci 등이 있다. Micrococcaceae는 그람 양성균으로 5% 소금용액에서도 잘 자라며 아질산염에 저항성이 강하고 질산염을 아질산염으로 환원하여 육색고정에 기여한다. 이 균이 생선하는 질산염을 환원효소는 pH 5.6에서 가장 활력이 높으나 pH 5.2가 되면 활력이 저하되므로 고기의 초기발효 또는 pH가 대체로 높은 건조소시지에서 효과가 크다. 또한 카탈레이스 역가가 있기 때문에 자연 발효육제품내 일부균이 생성하는 과산화수소(H₂O₂)를 파괴하여 고기의 변색을 방지한다. 원래 관산화수소는 고기내에서 육색소와 작용하여 choleglobin을 생성하여 표백 또는 변색시키는 작용을 하는데 streptobacterium이나 *L. viridescence* 등이 대표적인 균이다. 뿐만 아니라 Micrococcaceae는 고기내에서 단백질 또는 지방분해효소

를 생성하여 alcohole, diacethyl, ketones, carbonyl, 초산, 유리아미노산, 핵산관련물질 등을 생성하여 발효육제품만이 갖는 독특한 감칠맛과 향기증진에 기여한다. 특히 단백질 성분의 분해는 잘 성숙된 건조 소시지와 발효햄의 pH 증가 원인이 되기도 한다.

특별히 고기 발효용 미생물에 국한되지 않지만 일반적으로 식품에 이용되는 젖산균들은 균종에 따라 건강에 유익하다고 알려지고 있다. 젖산균이 장내에서 유해한 균의 증식을 억제시키고 유기산을 생성하여 장관운동을 증식시켜 변비를 개선하고 장관 각부위의 기능저하를 방지한다. 또 장내 pH를 저하시켜 장내 유해물인 암모니아, H₂S 등의 흡수를 방지하고, 부패균에 의한 indole, skatole, phenol 등의 독소물질 성장을 억제한다. 장내 pH가 저하되면 Cu⁺⁺, Fe⁺, 비타민 등의 영양분 흡수가 촉진되는 경우도 있다고 한다. 이외에도 과학적으로 완전히 밝혀지지 않은 것도 있지만 발암물질의 생성을 억제, 면역증강효과 인정, 성장촉진물질 존재, bacteriocin과 같은 항균물질 분비 등을 한다고 한다.

III. 자연발효 미생물

염지육을 저장시킬 때 미생물이 오염되어 자연적으로 생태계를 이루어 생육 변화를 하게 된다. 자연발효시킬때 지역에 따라 다르지만 당을 적게 고 소금과 질산염을 많이 넣으며 때로는 훈연을 시키지 않은 경우가 있다. 이러한 염지육은 10-20℃의 비교적 저온과 RH 75-95%에 두어 장기간 저장하게 된다. 저장중 젖산균이 당을 이용하여 산을 생성하는 이른바 발효가 진행되고 이어서 여러가지 효소들이 관여하여 단백질, 지방등이 분해되는 숙성기간과 수분감소로 Aw가 저하되는 건조기간이 동시에 끊임없이 진행되는 것이다. 여기에는 박테리아, 효모, 곰팡이등이 생육 또는 소멸되는데 인간에게 유해한 미생물의 성장이 억제되고 유익한 미생물이 성장하도록 염지육 처리와 숙성 환경을 조절해야 하는 기술이 필요하다.

자연발효는 자연 미생물에 의해 매우 서서히 산형성이 진행되고 따라서 산에 예민한 미생물이 오래동안 생존하게 된다. 다시 말하면 단시간에 다량의 젖산 생성을 막기 위해 산형성 전구 물질인 당을 거의

넣지 않거나 소량 넣어 비교적 저온에서 장기간 발효시켜 한다. 자연 발효시 D-form과 L-form의 젖산이 거의 동량 비율로 생성되며 subgenus인 streptobacterium에 의해 초산도 생성된다. 제조방법이나 제품 종류에 따라 다르나 건조소시지인 경우 젖산 대 초산 비율이 약 7 : 1 정도가 된다. 이외에도 butyric acid나 propionic acid도 50-200u mole / kg이 생성된다. 이균은 15℃ 이하에서 잘 성장하며 호기적 상태에서 retrofermentation도 하므로 pyruvate에서 초산을 생성하거나 가스등을 생성하며 또 ribose와 같은 pentose에서 초산이나 젖산을 생성한다.

자연발효 육제품에 서식하는 미생물의 분포는 제품이나 연구자 미다 보고가 매우 다르다. 통상 자연 발효육제품에 산생용으로 lactobacilli(특히 L. plantarum)가 우점한다고 알려지고 있지만 1980년대 이후에는 25℃이하의 자연발효에서 L. sake, L. curvatus 등이 우점한다는 보고도 있다. 숙성에 중요한 역할을 하는 균으로는 Micrococccaceae를 들수있다. 지금까지는 자연 발효육제품에서 micrococci가 숙성에 주로 관여하는 것으로 정설화 되어왔으나 최근의 연구 보고에 의하면 staphyococci인 것으로 새로히 밝혀졌다. 독일이나 프랑스의 자연 건조소시지에 staph. xylosus나 staph. saprophyticus 등이 다량 함유하고 있으며 일부 독일산 건조소시지에서는 staph simulans나 M. varians도 많이 발견되고 있다.

IV. 스타터 미생물

발효 육제품용 스타터 미생물을 자연발효중에 번식하는 균을 선발한 것이다. 박테리아는 산생성을 주목적으로 하는 Lactobacillaceae와 숙성에 주로 관여하는 Micrococccaceae가 있다(표 1). 산생성용으로 pediococci는 P. cerevisiae가 최초로 상업용 스타터 미생물로 개발된 이후 미국을 중심으로 여러나라에서 오래동안 사용하였고 근래에는 P. acidilactici와 P. pentosaceous가 널리 쓰이고 있다. lactobacilli도 L. plantarum을 중심으로 많이 사용되어 왔고 L. acidophilus 나 L. fermenti 등도 사용된 바 있다. 발효능력은 약하나 숙성용으로 M. aurantiacus가 유럽에서 최초로 개발된 후로 M. varians 등이 주로 이용되어 왔다. 1980년대 이후로는 독일 등에서 staph. carnosus

A) Bacteria	D. klockeri
Fam. : Lactobacillaceae	D. hansenii
Lactobacillus	D. canterellii
L. plantarum	D. pfaflii
L. acidophilus	Debaryomyces sp.
L. casei	Fam. : Enterobacteriaceae
L. fermenti	Escherichia sp.
L. brevis, buchneri	Aerobacter sp.
Lactobacillus sp.	Alcaligenes sp.
Streptococcus	Fam. : Achromobacteriaceae
Str. lactis	Achromobacter sp.
Str. diacetylactis	Flavobacterium sp.
Str. acidilactici	Fam. : Pseudomonadaceae
(Str. faecalis)	Pseudomonas sp.
Pediococcus	Vibrio
P. cerevisiae	V. costicolus
P. acidilactici	V. halo(de)nitrificans
P. pentosaceus	Fam. : Corynebacteriaceae
Fam. : Micrococcaceae	Corynebacterium sp.
Micrococcus	C) Molds
M. aurantiacus M. 53	Penicillium
M. candidus	P. expansum
M. varians	P. miczynskii
M. epidermidis	P. simplicissimum
M. conglomeratus	P. nalgiovensis
M. aquatilis	P. camembertii
Micrococcus sp. P 4	P. candidum
Micrococcus sp.	P. roqueforti
Micrococcus lactis	Scopulariopsis
Staph. carnosus	Scopulariopsis sp.
B) Yeasts	
Debaryomyces	

를 점차 많이 이용하는 경향이 있다. 이와같이 스타터 미생물의 종류에 따라 최종 육제품이 특징도 현저히 달라질 수 있다. 산생성용 젖산균을 주로 쓰는 미국식 제조방식은 21-46°C의 비교적 높은 온도에서 단시간에 많은 양의 젖산을 생성하여 pH 4.7-5.0에 도달하는 방법을 쓰고 있는 반면 유럽식은 산생성력이 약한 Micrococcaceae 등을 접종하여 24°C이하의 비교적 낮은 온도에서 최종 pH가 5.2-5.6이 되도록 서서히 오랜시간 건조시키면서 숙성시키는 것이 특징이다.

곰팡이와 효모는 상대습도 75%이상에서만 성장할 수 있고 단백질 및 지방효소를 분비하기 때문에 숙성

에 관여하여 맛을 개선시키고 색태유지에 이바지한다. 이들은 염저항성이 강하나 주로 표면에 서식하기 때문에 훈연이 약하거나 훈연시키지 않은 발효육에 주로 사용한다. 그러나 이들중 일부는 mycotoxin 등 발암물질을 생성하거나 생성가능성이 있기 때문에 아직 위생적인 면에서 상당부분이 과학적으로 밝혀지지 않은 면도 있기 때문에 스타터 미생물로 실용화되고 있는 것은 많지 않다. 효모로는 genus Debaryomyces가 염저항성이 강하고 향기 및 색택에 기여하기 때문에 많이 쓰이고 있고 이중 D. hansenii는 젖산균류와 혼합하여 사용하기도 한다. 곰팡이인 경우에는 penicillium을 주로 사용하고 있으나 일부 미생물의 위생적 문제가 아직 남아있다. P. nalgiovensis는 발효육제품에서 mycotoxin을 생성치 않았다는 보고도 있고 P. caembertii는 숙성에 기여하나 15°C이상 숙성시 건조말기에 mycotoxin이 발견되었다는 보고도 있다. 독일에서는 흰곰팡이용으로 P. candidum을 파란곰팡이로 P. roqueforti를 건조소시지에 쓸수 있도록 1978년에 인정한 바 있다.

V. 맺는 말

육발효는 고기자체가 균일성이 없는 식품이고 살균할 수 없는 점에서 미생물 생육의 일관성이 약하고 스타터 미생물에 관한 기술도 상대적으로 뒤져왔다. 그럼에도 불구하고 점차 상업화, 대량화 함에 따라 스타터 미생물의 개발과 보급이 이루어져왔다. 우리나라에서도 전통적으로 내려온 생선 식혜, 김치속에 넣은 고기덩이나 해산물 등 발효식품이 있었지만 육류를 주종으로 하는 서구형태의 발효제품이 없었다. 그러므로 향후 발효육제품의 보급과 우리 실정에 맞는 새로운 발효육제품의 개발이 필요하다. 뿐만 아니라 스타터 미생물의 자체 개발기술과 보급이 이루어져야 하며 bacteriophage 근절문제도 연구되어야 한다. 또한 산업계에서는 다양한 발효육제품을 개발하기 위해 적합한 생리적 특성을 지닌 스타터 미생물을 선택도 매우 중요하므로 관심을 가져야 할 것이다. 끝으로 우리나라에서도 스타터 미생물과 우리의 입맛에 맞는 발효육제품의 개발과 보급이 활발히 이루어지길 기대한다.