

특집 : 한방 · 발효식품의 기능성

발효식품의 건강기능성 증진효과

박 건 영

부산대학교 식품영양학과

Increased Health Functionality of Fermented Foods

Kun-Young Park

Dept of Food Science and Nutrition, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

서 론

우리 선조들은 발효기술을 통해 음식의 맛과 저장성을 증진하여 김치와 된장, 간장 등의 장류, 젓갈, 막걸리 등을 개발하여 전통 식품을 후손들에게 남겼다. 그런데 최근에 와서 이 한국 전통 발효식품이 건강에 좋다는 것이 과학적으로 증명되고 있다. 2006년 미국 Health잡지가 뽑은 세계적인 건강식품 5가지 중 3가지가 발효식품이며 김치(한국)와 장류(일본) 그리고 요구르트(그리스)가 선정되어 국제적으로도 발효식품은 건강식품으로 인식되고 있다. 그리고 세계적으로도 대부분의 나라에서 과거에서부터 자연 발생적으로 발효식품이 개발되어 3,500여종의 발효식품이 있는 것으로 알려져 있다. 발효란, 미생물 특히 유용한 미생물인 probiotics가 당질을 이용하여 발효 산물로 알코올, 유기산, CO₂ 등을 생성하는 것이다. 발효식품은 큰 분자의 영양소를 작은 분자로 분해하여 소화에도 좋으며, 유기산 등이 생성되는 산성 식품으로 김치 같은 경우는 식중독균 및 병원균의 성장을 억제한다. 또한 맛과 조직감을 좋게 하며, 무엇보다도 건강기능성을 증진시키는 효과를 갖는다.

우리나라의 발효식품은 주로 자연 발효에 의해 생산된다. 추수를 마친 가을에 긴 겨울을 지나기 위해 음식을 준비하는 과정에서 김치가 만들어졌고 장류도 만들어 졌다고 한다. 그리고 삼면이 바다이기에 발효 시 부패균이나 유해균이 자라지 못하게 소금을 많이 사용하였다. 발효를 하는 용기로는 옹기(항아리)가 개발되었고, 장기간 저장과 유산균 발효를 위해 소금이 첨가된 김치, 장류, 젓갈 등의 발효식품이 주를 이루었다.

발효의 주역할을 하는 발효 미생물은 주로 probiotics균으로 유산균, 고초균, 황국균 등이 있다. 이들 균들이 기질

식품을 발효하여 소화 및 건강에 유리한 발효산물을 생성하고, 이들 균들이 정장작용을 하는 등 결국 발효식품은 한국인들의 건강 유지에 중요한 역할을 한다. 발효는 재료의 맛과 향미, 조직감을 증진시키고 유산, 초산과 같은 여러 유기산을 생성하여 부패성균이나 식중독균 등의 병원성균이 잘 자라지 못하게 하므로 건조식품같이 식품의 저장성을 증진시키며 안전성을 확보하는 역할도 한다.

식품 발효 과정을 통해 독성물질 파괴, 소화성 증진 효과를 가지며, 우리 몸에 필수적인 비타민 등이 생성되어 영양학적 가치가 높아진다. 발효에 참여하는 주요 미생물들은 식용이 가능한 유용한 균들이며 탄수화물, 지질, 단백질 등을 분해하는 가수분해효소 및 기타 효소를 생성한다. 그러나 자연발효 중에는 유해균 및 이들의 유해 대사산물 등이 생성될 수 있어 이에 대한 주의도 필요하다고 하겠다.

발효식품의 우수성은 기질(발효 재료)로부터 오는 건강 기능물질, 즉 파이토케미칼을 소화시키기 좋게 또는 활성을 더 높이는 역할을 하므로 결국 건강기능성이 증진된다는 것이다. 김치의 경우도 갓 담근 것보다 적당히 익었을 때(pH 4.2) 항산화, 항암, 항비만, 면역 증강 등의 기능이 높아졌으며(1), 된장의 경우는 이소플라본인 genistin이 aglycone 형태의 genistein으로 되면서 항돌연변이 및 항암효과 등이 증진되는 것을 알 수 있다(2). 본 연구실의 연구에 의하면 6개월 발효된 된장보다는 2년간 발효된 된장의 항암활성이 더 높았다(3). 그 외에도 간장, 젓갈 등도 발효과정을 거치는 동안 건강기능성은 더욱 증가되어 대부분의 파이토케미칼이 발효과정을 거치는 동안 기능성이 더 좋은 물질로 전환되거나 기능성 발효산물 생성 등에 의해 맛도 좋아지며, 건강에 더 좋은 식품으로 전환되는 것으로 보인다(4-6).

발효식품의 분류

식품군에 따른 분류

발효의 재료가 되는 식품군에 따라서 발효식품을 분류할 수 있다(7,8). 먼저 우유를 이용한 발효식품은 치즈, 요구르트, 버터밀크, 사우어크림, dahi, kumis, kefir, acidophilus 우유 등이 있다.

육류를 이용한 발효식품으로는 살라미, 페퍼로니, 초리조, 튜링커, 소세지, pickled meat, nahm 등이 있다. 곡류를 이용한 제품으로는 빵, 팬케이크, 크래커, 피자, nun, idli, sour rice 등이 있으며, 과채류를 이용한 제품으로는 염장 과일, 염장채소, 올리브, 사우어크라우트, 김치, 아차르(achar) 등이 있다.

한편 콩을 이용한 제품으로는 발효두유, 템페, sufu, 간장, 미소, 나토, 된장, 청국장, 고추장 등이 있다. 그리고 생선류를 이용한 제품으로는 bagoong, fish sauses, 염장생선, 젓갈, tarama, paak, marnoni 등이 있고, 전분류를 이용한 감자, 카사바, 고구마, 바나나를 이용한 발효제품이 있으며, 음료로는 맥주, 포도주, 막걸리, 커피, 코코아, 보이차 등이 있다. 기타로는 발효달걀과 식초 등이 있다.

발효 미생물에 따른 분류

발효에 작용하는 미생물의 종류에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다. 유산균이 작용하는 발효식품에는 채소류로 김치와 사우어크라우트가 대표적이며, 육류로는 소시지(salami, cervelat), 유제품류로는 발효유(sour cream, yogurt, leban), 치즈(cheddar, gouda) 등이 있다(9). 효모가 작용하는 발효식품은 맥주, 과일주, 위스키, 막걸리, 청주, 약주, 빵 등이 있다. 초산균은 주로 알코올을 발효시켜 식초를 만든다. 유산균과 세균, 효모, 곰팡이가 복합적으로 작용하여 발효하는 발효식품은 우유를 이용한 치즈, 발효유(kefir, koumiss)가 있으며, 콩을 이용한 된장, 간장, 고추장 등이 있다.

발효방법

발효식품을 제조하는데 관여하는 미생물들은 다음과 같이 3가지 방법에 의해 발효가 이루어지게 된다(10). 보통의 일반적인 방법은 자연발효(natural fermentation)로 원재료에 있었던 미생물을 이용하여 발효하는 방법이다. 환경적 조건을 만들어 원하는 균을 자라게 하여 좋은 맛을 내도록 한다. 김치 같은 경우는 소금에 절이는 동안 부패균들은 거의 제거되고 내염성이 있으며 배추 잎 사이에 자연적으로 존재하는 유산균이 발효에 참여한다. 또한 유산균에 의해 처음에는 Leuconostoc속 균이 발효에 참여하다가 pH가 낮아지면서 Lactobacillus속 균이 주발효균으

로 참여하여 자연발효가 이루어진다. 하지만 발효의 결과가 일정하지 않아 일정한 제품을 만들기 어렵고, 통제가 어려워 toxin이 생성되어 food borne disease를 일으킬 가능성이 있다. 다음은 Back stopping이라는 발효 방법이 있는데 이는 발효로부터 생성된 내용물을 스타터로 사용하여 발효를 하는 방법이다. 이 방법 역시 같은 품질특성을 보유하기가 어렵고, 일정한 제품의 맛을 갖기가 어려우며 food borne disease를 일으키기 쉽다. 이러한 자연발효의 단점 때문에 최근에는 스타터를 사용한 발효방법이 보고되고 있다. 스타터 사용 발효방법(controlled fermentation)이란 열처리한 원재료에 10^6 cells/mL 또는 그 이상의 순수 단일 혹은 혼합균주를 스타터로 사용하여 스타터 균주가 잘 자라는 조건을 선택하여 발효시키는 발효방법이다. 이는 일정하고 원하는 특성을 가진 제품을 제조할 수 있고, food borne disease의 발생을 최소화할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그리고 또한 우수한 기능을 가진 스타터 즉, 맛과 기능성은 높이고 biogenic amine 등 다른 유해물질을 생성하지 않는 균 등을 잘 선택, 사용하면 고 품질의 제품을 제조할 수 있다. 그러나 자연발효에 비해 또 다른 좋은 균주의 성장이 없어 미묘한 발효의 맛을 내기는 어려운 면이 있다.

발효에 영향을 미치는 조건

발효식품의 맛, 건강기능성 및 저장성 등에 영향을 주는 인자들은 다음과 같다.

원재료

발효에 참여하는 원재료의 품질 및 재료 배합비는 최종 발효식품의 기능성에 큰 영향을 끼친다. 김치에서 주재료로 사용되는 배추를 유기농으로 재배된 것을 사용하면 김치의 항 돌연변이 및 항암활성이 일반 농 배추를 사용한 것보다 훨씬 높아진다(11). 또한 김치 재료에 부재료로 초피 등을 사용하고 재료 배합비를 다르게 하여 제조하여도 항암기능성 및 저장성이 증진된다(12). 또한 청국장 제조 시 사용되는 콩의 종류에 따라 항돌연변이 및 항암 활성이 달라지는데 해콩을 쓰는 것이 묵은 콩을 사용하는 것보다 기능성이 더 우수하며, 우리 콩 중 만리콩을 사용하는 것이 미국 수입 콩 US No.1보다 인체 AGS 위암세포의 성장을 억제하는 활성이 유의적으로 더 높았다(13). 그래서 유기농 재료 등과 기능성 물질이 많은 원재료를 사용 또는 재료 배합비 조절 등(14,15)을 하는 것이 최종 발효식품의 건강기능성을 높이는 데 중요한 요인이라 할 수 있다.

발효미생물

발효에 참여하는 미생물 종류에 따라 발효식품의 맛,

기능성, 저장성 및 안전성에 영향을 끼친다. 김치 발효에 관여하는 미생물의 종류는 다양한데, *Leuconostoc mesenteroides*와 *Lactobacillus plantarum*이 대표적인 역할을 하며, 이들 균주 자체도 probiotic 역할을 하지만 이들이 발효에 참여하므로 맛과 숙성도 및 기능성에도 중요한 역할을 한다고 하겠다(16). 우리나라의 발효식품은 자연 발효에 의해 주로 제조되지만 일정한 맛과 안전성(biogenic amines 및 mycotoxins 등이 오염되지 않게 함)과 기능성 증진 또는 저장성 등을 위해 발효에 참여하는 좋은 미생물의 사용이 매우 중요하다고 하겠다. 김치를 비롯한 우리나라 발효식품에서 주요 균주를 분리 동정하여 그 균의 probiotic 효과를 측정하고 효소활성 등을 잘 검토하여 기능성과 맛이 가장 우수한 발효식품을 제조하기 위한 스타터를 사용하는 노력을 해야 하리라고 본다.

온도, 습도 및 pH

각 발효 미생물들은 그 기질에서 가장 적당한 온도, 습도 및 pH 환경을 요구한다. 적당한 온도에서 성장해야 좋은 맛과 높은 기능성을 가진 발효 제품이 만들어질 수 있다. 김치의 경우는 김장 김치로 겨울의 저온에서 제조 발효될 때 가장 맛있고, 저장성이 있으며 기능성도 높다. 연구에 의하면 5°C에서 발효될 때 김치의 맛에 영향을 주는 *Leuconostoc mesenteroides*균이 잘 자랄 수 있다고 한다. 한편 고온 20~25°C에서 발효되면 *Lactobacillus plantarum*균이 잘 자라서 많이 시어지지만 한다(17). 메주가 발효될 때 적당한 습도도 필요하며 pH 환경에 따라서도 발효 미생물의 성장이 영향을 받으므로 이러한 조건들을 잘 조정해 주어야만이 기능성과 맛이 우수한 발효 제품이 만들어질 수 있다.

공기

김치 유산균은 통성혐기성균이며, 청국장이나 메주 발효에 참여하는 고초균이나 황국균은 호기성균이다. 미생물의 특성에 따라 발효용기 또는 발효환경을 다르게 조절해야 한다. 우리나라는 발효를 위한 용기로 웅기(항아리)를 전통적으로 사용해 왔다. 김치 발효 시 사용되는 웅기는 약간의 다공질을 제공하므로 통성혐기성균인 김치 유산균의 성장에 중요한 역할을 한다. 그래서 김치를 담글 때는 포기를 차곡히 넣고 적당히 압력을 가해 누르고 위에 우거지를 깔고 돌로 엮어 놓음으로써 항아리와 항아리 입구에서부터 공기를 차단하므로 김치 발효가 잘 이루어지게 된다.

본 연구실의 실험에서 김치를 유리병, 플라스틱, 스테인레스스틸 용기에서 발효한 것보다 웅기에서 발효하면 맛, 기능성, 조직감 등이 현저히 증가하였다. 유리병은 특히

공기를 통하게 하지 못해 김치 등 발효 제품의 품질이 감소하였다(18).

메주를 사용해 된장과 간장을 발효할 때도 다른 어떤 용기보다 적당히 숨을 쉬는 웅기를 사용하면 발효제품의 기능성 및 품질이 높아지는 것으로 나타났다. 그러므로 발효 미생물에 따라 적당한 공기의 유통 조건은 발효에서 중요한 조건이라 할 수 있다.

발효에 관련하는 주요 미생물

세균류

유산균, 비피더스균, 바실러스속균 등을 들 수 있다. 발효에 참여하는 유산균은 주로 당을 분해하여 유산 등 유기산을 생성하고 G+ 통성혐기성균이며, 주로 probiotic균들이다. 주요 유산균으로는 *Leuconostoc* sp., *Lactobacillus* sp., *Lactococcus* sp., *Pediococcus* sp., *Streptococcus* sp.가 이에 속한다. 김치에서 발견되는 주요 발효 유산균은 *Leu. mesenteroides*, *Leu. citrinum* 및 *Lac. plantarum*, *Lac. sakei* 등이다(16). 요구르트에 사용되는 대표적 균주는 *Lac. bulgaricus*와 *Strep. thermophilus*인데 최근에는 *Bifidus* 균들을 많이 이용한 요구르트가 생산되고 있다. *Bifidobacterium* sp.도 G+균이지만 편성혐기성균이며 유산과 초산을 각각 2:3으로 생산한다. 고초균인 *Bac. subtilis*는 강력한 protease와 amylase, 그리고 lipase 등을 생산하므로 메주, 청국장 발효에서 중요한 역할을 하며 호기성균으로 내열성 포자를 형성하는 특징을 갖는다.

효모

효모로는 *Saccharomyces* sp.가 가장 유용한 균주로 사용된다. 빵 효모는 Baker's yeast라 하는데 *Sacch. cerevisiae*가 가장 많이 사용된다. 맥주 효모로는 Brewer's yeast로 *Sacch. calshbergensis*가 주로 이용되고 있으며, 청주에 사용되는 효모는 Sake yeast라 하여 *Sacch. sake*가 주 발효균으로 관여하고 있다. 포도주는 주로 자연발효를 많이 하지만 자연적으로 포도에 존재하는 *Sacch. cerevisiae*와 스타터로 *Sacch. ellipsoideus*가 사용된다. 효모는 영양가가 높기에 식용으로도 사용되어 food yeast라고 하며 사료효모로도 이용되는데 fodder yeast라고 한다.

곰팡이

발효에 사용되는 곰팡이 속은 *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Mucor*, *Penicillium*, *Monascus* 속 등이 주로 사용된다. 장류발효시 사용되는 주 곰팡이는 *Asp. oryzae*로 황국균이라고도 한다. *Asp. niger*와 *Asp. sojae*도 사용되고 있다. 그러나 비슷한 morphology를 가진 *Asp. flavus*가 있다. 이

곰팡이는 aflatoxin이라는 mycotoxin을 생성해 간암을 일으킬 수 있는 발암물질을 생산하여 위협할 수 있으므로 오염이 되지 않도록 해야 한다. 우리나라 메주 또는 막걸리 제조를 위한 누룩에도 여러 종류의 곰팡이들이 관여하고 있는데 *Aspergillus*(누룩곰팡이)속뿐 아니라 *Rhizopus*(거미줄곰팡이), *Mucor*속(털곰팡이)류가 누룩의 자연발효에 참여하고 있다. *Mucor rouxi*는 알콜 발효 시 관여하는 것으로 알려져 있다. *Penicillium*속 중에는 blue cheese를 생산하는데 사용되는 *Pen. roqueforti*가 유명하다. *Monascus*속(빨간곰팡이) 중 특히 *Monascus purpureus* (19)은 홍국균으로 콜레스테롤의 합성을 저해하는 monacolin K를 생성한다. 이 홍국균을 이용한 기능성 쌀을 비롯한 여러 제품이 판매되고 있다.

발효에 관여하는 Probiotic 미생물

Probiotic 균주는 동물이나 사람의 건강에 이롭거나 이익을 주는 미생물의 총칭으로 현재까지 잘 알려져 있는 probiotic 미생물은 Table 1에 소개한 바와 같다(20).

Probiotic 균주는 발효에도 관여할 수 있으며 균체 자체로도 다음과 같은 건강기능성을 나타낼 수 있다.

1. 장내 병원성 균에 대한 보호효과를 가지는데 이 경우 대표적인 probiotic 균주인 유산균과 비피더스균은 산을 생성하며 또한 bacteriocin 등을 생산하므로 장의 pH를 감소시키고 병원균들의 성장을 억제 또는 제거하게 된다.
2. 특수한 식품 영양소를 대사시키기 위해 도움을 주는 효소를 공급한다. 예로 유당불내증을 예방하는 효과를 가져 우유 속의 유당을 분해하는 효소를 분비하여 유당불내증을 예방한다.
3. 장에서 유해한 식품 성분 및 대사산물을 해독한다. 특히 대장에서 발암물질 및 콜레스테롤을 제거하는 효과가 있으며, 장내 발암물질을 파괴하여 암을 예방한다.
4. 장에서 면역계를 자극한다.
5. 장의 연동작용을 증가시킨다. 이 경우 변비예방과 동시에 설사의 예방과 치료에도 효과를 나타낸다.
6. 혈청 콜레스테롤 농도를 낮추고 대장암과 장내 질병

을 예방하는 효과를 갖는다.

7. 알레르기 질병을 감소시키는 효과가 있다.

우리나라 주요 발효식품의 발효에 의한 건강 기능성 증진 효과

김치

김치는 한국을 대표하는 전통발효식품으로 김치의 종류는 200종류가 넘지만 김치 중 70% 이상이 배추김치이다. 배추김치는 배추를 주원료로 하고 무, 고춧가루, 마늘, 생강, 파 등 채소 및 양념에 있는 당이 자연적으로 발효에 참여하는 유산균들을 주 발효균으로 하여 발효시킨 채소 발효식품이다. 발효시 특히 저온에서 발효시키면 맛과 건강기능성이 우수한 김치가 되며 발효 중 비타민 B₁ 및 B₂ 등이 생산되고, 재료로부터의 식물화합물(phytochemicals)들이 발효과정을 거치는 동안 활성 성분으로 더 분해되어 기능성을 높인다(21). Probiotic균인 유산균들은 10⁴ CFU/g에서 10⁸⁻⁹ CFU/g까지 증가하므로 유산균이 가지는 기능과 유산균에 의해 분해된 aglycones들과 유산균들의 대사산물 등에 의해 건강기능성이 증진된다. 김치의 암 예방 및 항암 기능성은 김치가 가장 적당히 익었을 때(pH 4.3, 산도 0.6~0.8) 가장 효과가 크다(22,23).

Fig. 1은 김치를 5°C에서 발효시키면서 발효기간에 따른 4-NQO(4-nitroquinoline-1 oxide) 발암물질에 대한 일 반김치와 이에 젓갈을 첨가한 김치를 메탄올로 추출하여

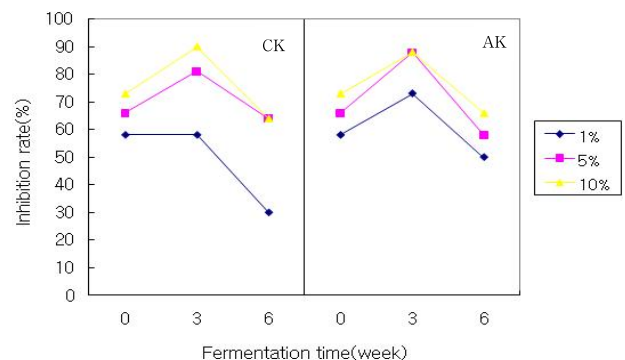


Fig. 1. SOS response of methanol extracts from kimchi samples (Control, CK and Anchovy added, AK) against 4-nitroquinoline-1-oxide (4-NQO, 0.02 µg/assay) (22).

Table 1. Probiotic bacterial, yeast and mold strains

<i>Lactobacillus</i> sp	<i>Lab. acidophilus</i> , <i>Lab. plantarum</i> , <i>Lab. casei</i> , <i>Lab. rhamnosus</i> , <i>Lab. brevis</i> , <i>Lab. bulgaricus</i> , <i>Lab. fermentum</i> , <i>Lab. helveticus</i>
<i>Bifidobacterium</i> sp	<i>B. bifidum</i> , <i>B. longum</i> , <i>B. infantis</i> , <i>B. brevis</i> , <i>B. adolescentis</i>
Other bacteria	<i>Strep. thermophilus</i> , <i>Lac. lactis</i> , <i>Ent. faecium</i> , <i>Leu. mesenteroides</i> , <i>Ped. acidilactici</i> , <i>Bac. subtilis</i>
Yeasts	<i>Sacch. boulardii</i> , <i>Sacch. cerevisiae</i>
Mold	<i>Asp. oryzae</i>

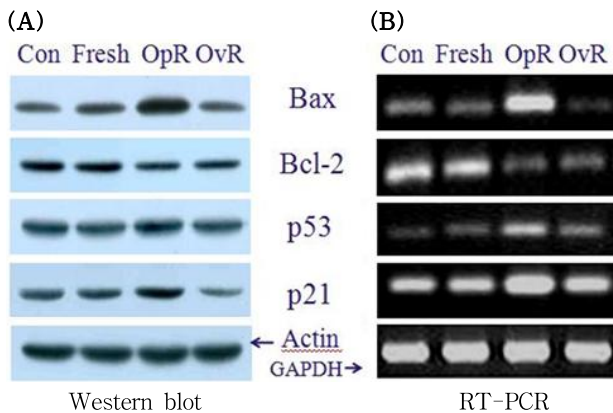


Fig. 2. Western blot analysis (A) and RT-PCR results (B) of Bax, Bcl-2, p53 and p21 of fresh, optimally ripened (OpR) and over ripened kimchi (OvR) extracts in HT-29 human colon carcinoma cells.

SOS response에 의한 항돌연변이 효과를 측정된 결과이다(22). 첨가 농도 1~10%에 따라 항돌연변이 기능이 증가하였는데, 갓 담근 김치보다는 5°C에서 3주 발효한 김치(적당히 익은 김치)의 항돌연변이 활성이 일반 김치와 젓갈 첨가 김치에서 비슷하게 나타났고, 6주(과숙한 김치) 발효한 김치는 감소하는 것을 보여주고 있다. 따라서 채소 발효에 있어서는 적당히 익은 발효균의 활성이 가장 높았으므로 적당한 발효시간이 항돌연변이 기능을 높이는 데 중요한 점이라고 할 수 있다.

Fig. 2에서도 비슷한 효과를 나타내었다. 김치는 HT-29 인체 대장암 세포에서 항암효과를 나타냈는데, 항암기작 중 apoptosis와 세포주기에 관여하는 Bax, Bcl-2, p53, p21 유전자의 mRNA와 단백질의 발현을 각각 RT-PCR과 Western blot으로 측정된 결과이다(23). 그림에서 보는 바와 같이 Bax유전자는 mRNA 및 단백질 발현에 있어 적당히 익은 김치(OpR)가 가장 높고, Bcl-2 유전자 발현은 OpR김치가 가장 낮게 나타나 암세포의 apoptosis를 가장 많이 유도함을 보이고, 세포주기에 관여하는 p53(tumor suppressor gene) 및 p21(cyclin dependent kinase inhibitor)의 발현도 OpR이 가장 많이 발현되므로 암세포의 성장을 많이 억제하는 것으로 나타나 항암 효과가 가장 높았다. 결국 김치의 재료도 좋지만 이것이 적당히 발효될 때 그 항암 기능성은 더욱 증진되며 과도하게 발효될 때는 오히려 기능이 감소함을 알 수 있다. 김치의 항산화 및 항노화 기능 등 다른 기능들도 적당히 익은 김치가 가장 효과가 컸다(23).

된장

된장은 콩을 메주로 제조하여 옹기에서 채래식으로 제조된 된장의 항암효과를 비교하였다. 콩은 배추보다 발효기간이 길어 최소한 3~6개월 발효하여 일반적으로 제품

Table 2. Antitumor activities of methanol extracts from *doenjang* prepared with different fermentation times in tumor bearing Balb/c mouse with sarcoma-180 cell (3)

Sample	Tumor weight (g)	Inhibition rate (%)
S-180+PBS	5.8±0.3 ^a	—
S-180+3 MD	5.4±0.2 ^a	7
+6 MD	4.7±0.3 ^b	19
+24 MD	3.6±0.2 ^c	38

3 MD, 3-month fermented *doenjang*; 6 MD, 6-month fermented *doenjang*; 24 MD, 24-month fermented *doenjang*; PBS, phosphate buffered saline; S-180, sarcoma-180.

^{a-c}Means with different letters are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

화한다. 된장의 건강기능성 중 항암 및 항전이 기능성을 검토해 보았다(3). 3달, 6달, 그리고 24달(2년) 발효된 된장을 메탄올로 추출하여 Balb/c 마우스를 이용하여 서혜부에 살코마-180 cell을 이식시켜 항암효과를 측정된 결과는 Table 2와 같다. 3달 발효한 된장은 7% 억제율을 보였는데 통계적으로는 PBS를 처리한 대조군과 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 6달 발효한 된장은 19%의 저해율을 보이며, 통계적으로 유의성을 나타내면서 항암효과를 보였다($p < 0.05$). 그러나 24개월 발효한 된장은 38% 저해율로 6개월 된장보다도 더 많이 마우스에서 암세포의 성장을 억제하는 것으로 나타났다.

한편 Table 3은 된장의 항전이 효과를 측정된 결과로 Balb/c마우스에 colon 26-M3.1 암세포를 투여하여 암세포의 폐로의 전이를 억제하는 실험을 한 결과이다. 처리 농도에 따라 차이가 있지만, 3개월 발효된 된장은 1 mg을 마우스에 투여하였을 때 58%의 전이억제효과를 나타내었다. 6개월 발효된 된장은 72%, 24개월 발효된 된장은 82%의 전이억제효과를 나타내므로 된장의 경우는 24개월까지 발

Table 3. Inhibitory effect of methanol extracts from *doenjang* prepared with different fermentation times on tumor metastasis produced by colon 26-M3.1 cells in Balb/c mice (3)

Treatment	Dose (mg/mouse)	Route	No. of lung metastases (inhibition, %)	
			Mean ± SD	Range
Control		SC	43±1 ^a	42~44
3 MD	0.5	SC	30±1 ^b (30)	21~39
	1	SC	18±4 ^{bc} (58)	15~20
6 MD	0.5	SC	14±1 ^c (67)	13~15
	1	SC	12±3 ^c (72)	10~14
24 MD	0.5	SC	10±4 ^c (77)	7~12
	1	SC	7±3 ^c (82)	5~9

3 MD, 3-month fermented *doenjang*; 6 MD, 6-month fermented *doenjang*; 24 MD, 24-month fermented *doenjang*; PBS, phosphate buffered saline; SC, subcutaneous; SD, standard deviation

^{a-c}Means with different letters are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

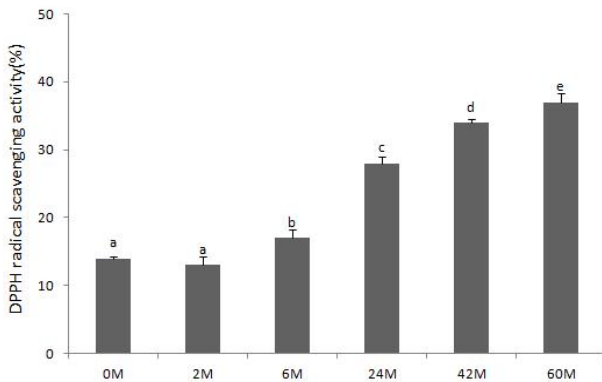


Fig. 3. DPPH radical scavenging activity of soy sauce with different fermented periods. 0M: unfermented, fresh soy sauce, 2M: fermented for 2 months, 6M: fermented for 6 months, 24M: fermented for 2 years, 42M: fermented for 3 and a half years, 60M: fermented for 5 years. ^{a-d}Means with the different letters are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

효기간이 증가할수록 항전이활성이 더 증가되었다(3).

된장의 콩은 발효하는데 걸리는 시간이 김치의 배추보다 더 느리므로 적당한 기능을 나타내는 데까지 더 많은 발효시간을 요한다고 하겠다. 그러므로 발효 대상 식품이나 약제의 특성에 따라 가장 기능이 높아지는데 소요되는 시간이 다르다고 할 수 있다.

간장

간장은 재래식 간장을 비롯하여 산분해간장, 양조간장, 또한 이를 혼합한 진간장 등이 있다. 최근에는 대두로 간장을 제조하는 대신 참깨로 간장을 제조한 참깨간장이 있다. 본 실험실에서는 발효를 하여 제조된 양조간장의 발효기간에 따른 항산화효과를 DPPH방법을 이용하여 측정하였다(4). Fig. 3에서 보는 바와 같이 대두로 발효한 간장은 2개월까지는 큰 차이를 나타내지 않았으나 6개월 발효한 간장은 항산화효과가 통계적으로 유의성($p < 0.05$)을 가지며 증가하였다. 그러나 24개월, 42개월 및 60개월(5년)된 간장은 항산화효과가 현저히 증가하는 것을 볼 수 있다.

Song(24)은 Balb/c 마우스를 이용하여 AOM/DSS로 유도된 colitis-associated colon cancer(CAC)에서 간장의 항암효과를 연구하였다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 간장을 125 mg/kg 투여하거나 500 mg/kg 투여했을 때 큰 차이가 없었다. 산분해간장(화학간장)은 대장암을 억제하는 효과가 없었지만, 양조간장(FSS)은 유의적으로 암을 억제하는 효과를 나타내었다. 그러나 참깨(탈지 참깨박)를 이용하여 제조한 참깨간장은 양조간장보다도 더 큰 항암효과를 나타내어 발효 과정과 발효에 이용하는 기질(발효원료)이 항암기능성에서 중요한 역할을 한다고 하겠다. 물론 발효에 참여하는 스타터의 종류에 따라서도 발효식품의 맛과 기능성 등은 크게 영향을 받는다고 하겠다. 참깨

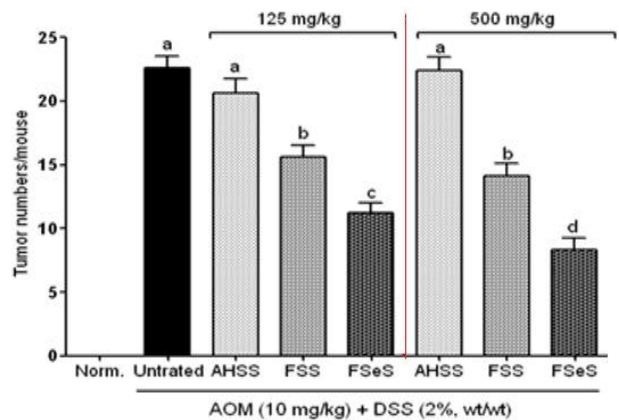


Fig. 4. Antitumor effects of sauces on AOM/DSS induced colitis-associated colon cancer (CAC) in male Balb/c mice. Norm: normal, AHSS: acid hydrolyzed soy sauce, FSS: fermented soy sauce, FSeS: fermented sesame sauce. Data represent mean \pm SD ($n = 10$ mice/group). ^{a-d}Means with the different letters are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range tests.

간장이 발효될 때 탈지 참깨박에 있던 sesaminol diglucoside, sesaminol triglucoside 등은 감소 또는 거의 없어지면서 sesamin과 sesaminol monoglucoside로 전환되면서 항암기능이 증가되는 것으로 나타났다.

젓갈

젓갈류 특히 멸치젓갈은 김치의 양념, 간장대용 무침, 절임 등에 이용되고 김치제조 시 멸치젓갈은 맛과 염도를 맞추어주는 김치의 주요 부재료이다. 젓갈에는 고농도의 소금(20~30%)이 사용되고, 젓갈에 사용하는 천일염은 발암물질과 함께 존재하면 보돌연변이 활성을 나타낸다. 발효되지 않은 젓갈은 고농도의 소금에 의해 돌연변이 발생을 돕는 활성(보돌연변이)을 나타낼 수 있지만 발효를 거친 멸치젓갈은 오히려 항돌연변이 활성을 갖는다(5,6). *In vivo* 실험계인 *Drosophila* wing spot test system을 이용하여 천일염과 멸치젓갈 추출물이 화학적 돌연변이원에 의한 체세포 염색체 돌연변이 유발에 미치는 영향을 조사하였다(5). 멸치 및 멸치젓갈 추출물이 MNNG의 체세포 돌연변이 유발에 미치는 영향을 Table 4에 소개하였다. 생멸치, 6개월간 숙성된 멸치 및 12개월 발효 멸치액젓은 small *mwh* spots의 출현빈도가 각각 16%, 35%, 45%의 항돌연변이 효과를 보였고, large *mwh* spots는 MNNG 단독처리군과 비슷했다. 그러나 소금에 절이고 발효하지 않은 멸치젓은 small *mwh* spots와 large *mwh* spots의 출현빈도가 각각 16%와 74%의 보돌연변이 효과를 보였다. Jung(6)의 연구에서도 SOS chromotest를 이용한 실험에서 소금에 절이고 발효하지 않은 생멸치 추출물은 보돌연변이 활성을 보였고, 발효한 경우는 항돌연변이 활성이 있었는데 12개월 발효한 멸치액젓이 6개월간 발효한 멸치

Table 4. Effects of the methanol extracts (1%) from anchovy and fermented anchovy on the mutagenicity induced by N-methyl-N'-nitro-N-nitrosoguanidine (MNNG, 3 mg/mL) in the *Drosophila melanogaster* wing spot test system (*mwh*/+)

Treatment	Exposure dose		Frequency per wing (number) of		
	MNNG (mg/mL)	No. of wings	Small <i>mwh</i> spots (1~2 cells)	Large <i>mwh</i> spots (>2 cells)	Total <i>mwh</i> spots
0	3	112	0.69 (77)	0.42 (47)	1.10 (124)
Raw anchovy	3	59	0.58 (34)	0.41 (24)	0.98 (58) [16.6] ⁴⁾
Ray anchovy + salt ¹⁾	3	60	0.80 (48)	0.73 (44)	1.53 (92) [-58.9]
6 months FAL ²⁾	3	60	0.45 (27)	0.47 (28)	0.92 (55) [26.6]
12 months FAJ ³⁾	3	60	0.38 (23)	0.42 (25)	0.80 (48) [43.3]

¹⁾Raw anchovy : salt=80 : 20. ²⁾Fermented anchovy liquid. ³⁾Fermented anchovy juice.

⁴⁾Inhibition (%): Based on the control-corrected frequencies of clone formation per 24,400 cells, approximate number of cells examined per wing (clone/wings/24,400), the percentages of inhibition by samples were calculated as follows [(MNNG alone - MNNG plus sample)/MNNG alone] × 100.

액보다 높은 항돌연변이 활성을 보였다. 이러한 내용의 결과는 특히 소금이 많이 들어가는 젓갈의 경우 충분한 발효과정을 거치는 것이 필수적이라 할 수 있다.

결론

발효 과정을 거치게 되면 음식을 오래 저장하고, 맛과 조직감을 좋게 하며, 건강기능성을 증진시키는 효과가 있다. 발효에 참여하는 probiotic 균주 자체도 정장작용, 면역증강 작용 등 여러 기능을 하지만 이들이 발효에 참여하여 소화하기 좋은 음식으로 만들고, 당 부위가 제거되어 aglycone이 되는 등 발효과정을 통해 기능성 물질을 더 많이 만들게 된다. 특히 소금을 이용한 발효가 많은 우리나라 식품은 소금 자체가 발암물질이 존재하면 보돌연변이 활성을 보이지만, 이것이 발효되는 과정을 통해 소금의 유해 기능이 억제되어 항돌연변이 활성을 보이므로, 우리나라 식품은 발효와 발효과정이 매우 중요하며 또한 이러한 발효를 통해 건강기능성이 더 증진될 수 있다. 어떤 식품과 약제이든 probiotic 미생물을 이용한 발효제품은 21세기의 건강기능식품으로 대두될 수 있으리라 생각된다. 발효과정을 통해 건강기능성은 더 증진되므로 좋은 재료, 좋은 발효미생물, 발효 조건, 발효 방법 등을 잘 조절하면 고품질의 건강기능식품의 개발이 이루어지리라 본다.

참고문헌

- Park KY, Rhee SH. 2005. Functional foods from fermented vegetable products: Kimchi (Korean fermented vegetables) and functionality. In *Asian Functional Food*. Shi J, Ho CT, Shahidi F, eds. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. Ch 13, p 341-380.
- Park KY, Jung KO. 2005. Fermented soybean products as functional properties of deonjang (fermented soybean paste). In *Asian Functional Food*. Shi J, Ho CT, Shahidi F, eds. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. Ch 20, p 555-596.
- Jung KO, Park SY, Park KY. 2006. Longer aging time increases the anticancer and antimetastatic properties of doenjang. *Nutrition* 22: 539-545.
- Shao LN. 2009. Studies on physicochemical changes and cancer preventive effects of fermented soy sauces during ripening period. *MS thesis*. Pusan National University, Busan, Korea.
- Lee HJ, Jung KO, Jeon SH, Park KY, Lee WH. 2000. Effects of salt and fermented anchovy extract on the somatic mutagenicity in *Drosophila* wing spot test system. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 29: 1139-1144.
- Jung KO. 2000. Studies on enhancing cancer preventive (anticancer) effects of kimchi and safety of salts and fermented anchovy. *PhD dissertation*. Pusan National University, Busan, Korea.
- Campbell-Platt G. 1987. *Fermented foods of the world*. Butterworths, London, UK.
- Prajapati JB, Nair BM. 2003. The history of fermented foods. In *Handbook of Fermented Functional Foods*. Farnworth ER, ed. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. Ch 1, p 1-25.
- Lee SB, Ko KH, Yang JY, Oh SH. 2001. *Fermented foods*. Hyoil Publishing Co, Seoul, Korea.
- Ray B. 2004. *Fundamental food microbiology*. 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. p 183-208.
- Choi WY, Park KY. 1998. Brining property and antimutagenic effects of organic Chinese cabbage kimchi. *J Food Sci Nutr* 3: 287-291.
- Park KY, Cho EJ, Rhee SH. 1998. Increased antimutagenic and anticancer activities of Chinese cabbage kimchi by changing kinds and levels of sub-ingredient. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 27: 625-632.
- Park KY, Jung KO, Kwon EY. 2003. Development of a functional chungkookjang (soybean paste fermented for 2-4 days) with anti-AGS human gastric cancer cell properties. *Nutraceut Food* 8: 54-60.
- Kwon EY, Jung KO, Moon SH, Park KY. 2002. Studies on enhancing chemopreventive effect of chungkookjangs.

- J Korean Assoc Cancer Prev* 7: 200-209.
15. Choi WY, Park KY. 2000. Increased preservative and antimutagenic activities of kinchi with addition of green tea leaves. *J Food Sci Nutr* 5: 189-193.
 16. Park KY, Kim BK. 2012. Lactic acid bacteria in vegetable fermentation. In *Lactic Acid Bacteria, Microbiological and Functional Aspects*. 4th ed. Lantinen S, Ouwehand AC, Salminen S, Von Wright A, eds. CRC Press. Ch 10, p 187-211.
 17. Lim CR, Park HK, Han HU. 1989. Reevaluation of isolation and identification of gram-positive bacteria in kimchi. *Korean J Microbiol* 27: 404-414.
 18. Jeong JK, Kim YW, Choi HS, Lee DS, Kang SA, Park KY. 2011. Increased quality and functionality of kimchi when fermented in Korean earthenware (onggi). *Int J Food Sci Technol* 46: 2015-2021.
 19. Heber D, Yip I, Ashley JM, Elashoff DA, Elashoff RM, Go VLW. 1999. Cholesterol-lowering effects of a proprietary Chinese red-yeast-rice dietary supplement. *Am J Clin Nutr* 69: 231-236.
 20. Lee YK, Salminen S. 1995. The coming of age of probiotics. *Trends Food Sci Technol* 6: 241-245.
 21. Cheigh HS, Park KY. 1994. Biochemical, microbiological and nutritional aspects of kimchi (Korean fermented vegetable products). *Crit Rev Food Sci Nutr* 34: 175-203.
 22. Park KY, Baek KA, Rhee SH, Cheigh HS. 1995. Antimutagenic effect of kimchi. *Foods Biotechnol* 4: 141-145.
 23. Kim BK. 2009. Antiaging effects and anticancer mechanisms of kimchi during fermentation. *PhD dissertation*. Pusan National University, Busan, Korea.
 24. Song JL. 2012. Anticancer effects of fermented sesame sauce. *PhD dissertation*. Pusan National University, Busan, Korea.