

콜레스테롤 식이를 섭취한 토끼에서 김치재료의 항산화 효과

권명자 · 송영선* · 송영옥[†]

부산대학교 식품영양학과 및 김치연구소

*인제대학교 식품영양학과

Antioxidative Effect of *Kimchi* Ingredients on Rabbits Fed Cholesterol Diet

Myung-Ja Kwon, Young-Sun Song* and Yeong-Ok Song[†]

Dept. of Food Science and Nutrition and Kimchi Research Institute,
Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

*Dept. of Food Science and Nutrition, Inje University, Kimhae 621-749, Korea

Abstract

The antiatherogenic effect of kimchi ingredients was studied in terms of antioxidative effect against Newzealand white rabbits that fed 1% cholesterol. Experimental groups was fed 8% *Baechu* (*Brassica pekiinensis*), or 1% red pepper (*Capsium annum*), or 1% garlic (*Allium sativum*) for 12 weeks. Blood samples were drawn every 2 weeks to analyze vitamin E, POV, and TBARS. Hepatic antioxidative enzyme activity, vitamin E, and carotene concentration also were measured. Plasma TBARS and POV level were markedly lowered in both red pepper and garlic-fed rabbits ($p < 0.05$) compared to control. Hepatic POV and protein carbonyl values were lowered in the rabbits fed kimchi ingredients compared to control ($p < 0.05$). Plasma vitamin E concentration was increased in the rabbits fed red pepper and garlic compared to control ($p < 0.05$). Hepatic vitamin E concentration was increased in red pepper and garlic-fed rabbits compared to control. For the hepatic antioxidative enzyme activity, catalase activity was significantly increased in red pepper and garlic-fed rabbits compared to control. Therefore, *Baechu*, red pepper, and garlic exert an antioxidative effect against rabbits fed 1% cholesterol for 3 months.

Key words: vitamin E, POV, TBARS, *Baechu*, red pepper, garlic, rabbit

서 론

Low density lipoprotein(LDL)산화는 초기 동맥경화성 병변의 형성과 진전에 주요한 역할을 하며 산화된 LDL이 산화가 안된 LDL보다 대식세포에 의해 더 잘 포획되어 foam cell을 형성하여 동맥경화를 유발한다(1). 또한 생체내에서 과산화지질은 세포의 구성성분인 단백질, RNA, 그리고 DNA와 작용하여 항산화 효소가 존재하는 미토콘드리아등의 기능 이상과 생화학적 변화를 일으키며 이로 인해 동맥경화를 비롯한 퇴행성 질환을 촉진시키는 물질로 주목 받고 있다(2). 이중 malondialdehyde(MDA)는 지질과산화의 주요 부산물로 *in vivo*에서 발생하는 LDL의 지질과산화에 MDA-modified LDL에 대한 항체가 발견되면서 LDL의 산화 유발자로 알려지고 있다(3). 과산화지질이 지니고 있는 반응

성이 큰 유리기는 지질의 산화시 생성될 뿐만 아니라 생체내 대사과정 중에서도 생성된다. 생체는 superoxide dismutase(SOD), catalase, glutathione peroxidase, 그리고 비타민 E와 β -carotene 등의 항산화제가 존재하며 생성되는 유리기를 제거하여 생체 항상성을 유지하고 있다.

김치는 한국고유의 전통발효식품이며 특히 배추김치는 한국인이 가장 많이 상용하는 김치이다(4). 권 등(5)의 연구에서 흰쥐에 동결건조한 김치분말을 3, 5, 그리고 10% 농도로 식이에 공급하였을 때 혈중 콜레스테롤 농도는 대조군에 비해 떨어짐을 관찰한 바 있고 특히 혈중 중성지방은 김치섭취수준에 의존적으로 떨어졌고, 김치 섭취량이 높을수록 SOD와 glutathione-peroxidase의 활성이 높아졌다고 보고하였다. 김치의 재료로는 배추, 무 뿐만 아니라 마늘, 고춧가루, 젓갈 등의 양념과

[†]To whom all correspondence should be addressed

미나리, 부추, 당근, 파 등의 녹색채소류들이 다양하게 사용되고 있다. 십자화과 채소에 속하는 배추는 플라보노이드, 페놀화합물, 황황화합물 등이 풍부하게 함유되어 있고 이들 성분들에 관한 항산화 효과가 알려져 있으며(6) 양념으로 사용되는 마늘(7), 생강(8), 고춧가루(9)에서도 강력한 항산화 물질의 존재가 밝혀지고 있다.

본 연구는 김치의 동맥경화 예방효과를 연구하기 위한 일환으로 동맥경화가 비교적 용이하게 발생할 수 있는 토끼에 1% 콜레스테롤을 식이에 첨가하고 여기에 배추김치 재료인 배추, 고추, 마늘을 김치담금시 재료 배합비에 기준하여 8%, 1%, 그리고 1% 비율로 사료에 각각 첨가하여 항산화측면에서 김치재료의 동맥경화 예방효과에 관한 영향을 살펴보고자 하였다.

재료 및 방법

식이제조 배추는 김해산지서 출하된 “가락신종 1호”로 포기당 중량이 2.5kg내외의 것이었고, 고추는 경북 안동 일직농협조합에서 가공한 안동청결 고춧가루, 그리고 마늘은 남해에서 재배된 육쪽마늘을 구입하여 동결건조하여 분말화하여 사용하였다. 실험 식이는 고휘형 사료(rabbit chow pellet, Purina Co., Korea)를 분말로 만든 뒤(정상대조군), 동맥경화를 유발하기 위해 여기에 1% 콜레스테롤(w/w)을 혼합하였으며(대조군), 이 식이에 동결 건조한 배추, 고춧가루, 마늘을 각각 8, 1, 1%(w/w)를 첨가하여 배추군, 고춧가루군, 그리고 마늘군 식이를 제조하였다. 배추, 고춧가루, 마늘의 식이의 첨가비율은 김치 담금시 보편적으로 사용하는 재료 배합비(배추 : 고추 : 마늘 = 8 : 1 : 1)에 준하였다(12). 김치재료를 첨가한 토끼 식이의 일반성분(9,10) 및 총식이섬유 함량(11)을 측정하였다. 단백질, 지방, 수분, 탄수화물의 함량은 대조군은 각각 0.24, 2.05, 8.95, 57.1%, 배추첨가군은 0.24, 2.44, 8.45, 57.1%, 마늘첨가군은 0.24, 2.11, 8.6, 57.6%, 그리고 고추첨가군은 0.276, 2.11, 8.8, 54.2%로 각군간에 유의적인 차이는 없었고, 에너지 수준도 차이가 없었다.

동물사육

김치재료별 동맥경화 예방효과를 살펴보기 위하여 동맥경화를 쉽게 유발하는 토끼(Newzealand white rabbit)를 대한실험동물센터에서 분양받아 각군당 6마리씩 총 4군으로 하여 12주간 실험하였다.

사료와 물은 자유로 먹게 하였고 모든 사료는 4°C 냉장보관하여 신선하게 공급하였고 실험기간 동안 사

육질의 온도는 20°C, 상대습도는 55%를 유지하며 명암은 12시간 간격으로 조절하였다. 실험식이 시작일을 기준으로 1주마다 동물저울로 체중을 달아 체중의 변화 상태를 측정하였고, 실험식이 시작일로부터 2주 간격으로 토끼의 후이개 정맥에서 채혈하여 혈장의 과산화물가와 비타민 E 농도를 측정하였다.

실험동물의 처리 및 시료 수집

토끼는 희생 전 24시간 절식시킨 후, sodium pentobarbital(50mg/kg)을 후이개정맥에 주사하여 마취시킨 후 개복하였다. 헤파린으로 처리한 멸균주사기를 이용하여 복부하대정맥에서 약 50ml 정도 채혈하였다. 그리고 각 장기를 떼어서 지방을 제거하고 각 장기의 무게를 측정하였다. 생리식염수로 혈액을 제거한 뒤, 바로 액체 질소에 넣어 얼린 후 -70°C 냉동고에 보관하면서 시료로 사용하였다.

LDL 산화능 측정

혈장을 sequential fixed ultracentrifugation로 분리한 LDL 분획은 10mM phosphate buffered saline(pH 7.4)로 24시간 동안 투석하였고, cupric sulfate(5μM)를 첨가하여 37°C에서 24시간 동안 반응시켜 LDL을 산화시켰다. LDL 반응액에 25% TCA와 TBA를 첨가시켜 95°C에서 50분간 반응시킨 후, 4,000rpm에서 15분간 원심분리하여 상등액을 취해 532nm에서 흡광도를 측정하였고 1,1,3,3-tetramethoxypropan(TMP)을 사용하여 작성한 표준곡선에 비교하여 thiobarbituric acid reactive substances(TBARS)으로 나타내었다.

과산화생성물 함량 측정

간과 혈장의 TBARS 함량(14)은 혈장 및 간균질액에 정지액 3ml을 넣고 20분간 95°C에서 방치한 후, 3,000rpm에서 20분간 원심분리시킨 다음 상등액을 535nm에서 흡광도를 측정하였다. 간과 혈장의 POV 함량 측정(15)은 다음과 같다. 혈장의 POV 함량은 혈장에 acetic acid : chloroform(3 : 2/v : v)를 넣고, 냉장상태의 KI를 첨가하여 혼합한 뒤 암실에 5분간 방치하고 여기에 cadmium acetate를 첨가하여, 3,000rpm에서 10분간 원심분리한다. 상등액을 353nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준 검량곡선은 cumene hydroperoxide로 작성하였다. 간의 POV 함량은 간 균질액을 5ml의 chloroform : methanol(2 : 1) 혼합액과 섞은 후 1,000g에서 5분간 원심분리해서 chloroform층을 취해 시험관에 옮기고 45°C의 진공회전증발기로 건조시켰다. 이후는 혈장과 동일한

방법으로 하여 측정하였다. 간조직의 protein carbonyl 함량(14)은 360~390nm 사이에서 나타나는 흡광도를 측정하여 분자흡광계수($21 \times 10^{-5} \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)를 이용해서 나타내었다.

간조직의 항산화효소계 측정

간조직에 10배의 냉장보관한 50mM phosphate buffer (pH 7.4)를 첨가하여 glass teflon homogenizer로 균질화한다. 간균질액을 3,000rpm에서 10분간 원심분리하여 얻은 세포질 획분과 그 상층액을 table top 원심분리기를 이용하여 13,000rpm에서 20분간 원심분리하여 미토콘드리아 획분을 얻었다. 세포질 획분에서는 catalase, glutathione peroxidase 측정용 시료로 사용하였고, 미토콘드리아 획분에서는 그 상층액은 Cu,Zn-SOD를, 침전물은 Mn-SOD 측정용 시료로 사용하였다. Cu,Zn-SOD, Mn-SOD 활성은 Oyanagui의 방법(17)으로 측정하였으며, Superoxide dismutase 1 NU(Nitrate Unit)는 측정계에서 생성되는 Superoxide에 의한 반응이 검체중의 Superoxide dismutase에 의해 50% 저해될 경우의 검체량(ID₅₀)을 나타낸다. Catalase는 Aebi의 방법(15)으로 3,000rpm에서 10분간 원심분리하여 얻은 간 추출액의 상등액에 50mM phosphate buffer(pH 7.0)를 가한뒤 30mM H₂O₂용액을 첨가하여 240nm에서 1분간 흡광도 변화를 측정하였다. Glutathione peroxidase (GSH-px)활성은 Lawrence와 Burk의 방법(16)으로 측정하였다.

항산화 영양소의 분석

혈장 비타민 E 농도는 Desai의 방법(13)을 사용하여 비타민 E 표준용액으로 표준곡선을 작성한 뒤 562nm에서 시료의 흡광도를 측정함으로써 비타민 E 농도를 측정하였다. 간조직의 비타민 E는 간조직 1g에 5배의 isotonic KCl을 glass teflon homogenizer로 균질화한 다음 KOH를 첨가하여 saponification한 뒤 hexane을 첨가하여 지질을 추출한 것을 시료로 하여 혈장에서 비

타민 E 측정법과 동일한 방법으로 측정하였다. Carotene 농도 측정은 Oliver(18)의 방법으로 간에서 추출한 지방을 시료로 하며 그리고 표준곡선을 작성하기 위해 농도를 달리한 β-Carotene(Sigma Chemical Co., USA)에 1.8ml chromagen reagent를 첨가한 후 450nm에서 흡광도를 측정하였다.

통계분석

Statistical Analysis Software(SAS institute)를 이용하여 실험결과는 평균± 표준편차로 나타내었고 각 군간의 유의성은 one-way ANOVA 로 사전검정한 후 Scheffe's test로 사후검정하였다.

결과 및 고찰

체중 증가량 및 장기무게

토끼의 체중 증가량 및 장기 무게는 Table 1에 나타내었다. 사육 초기의 각 군간의 토끼의 평균 체중은 2kg 정도였으며 사육 12주 후에는 모든군에서 체중이 증가하였고 체중에 대한 각 군간에 유의적인 차이는 없었다. 심장 무게는 희생전 각군의 토끼의 체중에 유의성이 없음에도 불구하고 대조군에 비해 김치재료를 섭취한 군에서 심장무게가 가벼웠으며, 특히 마늘군에서는 대조군에 비해 30% 정도 가벼웠다(p<0.05). 간의 무게는 각 군간의 유의성은 없었으며 의견상으로 모든 군에서 간의 색깔이 열으면서 간이 부어있는 지방간 현상이 관찰되었다. 서(19)는 토끼에게 고형식에 2% 콜레스테롤을 첨가하여 12주간 사육한 실험에서 콜레스테롤을 첨가군의 간 색깔이 대조군에 비해 누런 색을 띠면서 부어 있었다고 보고하였다. 사람의 경우 정상적인 간의 지질량은 3~5%(이중 50~60%가 인지질)로 10~12%를 초과하면 조직학적으로 간세포내의 지방적이 확인되고, 동시에 간이 커진다고 보고되고 있으며 이때 간에 축적되는 것은 대부분 중성지방으로 식이성 지방의 과잉섭취로 간에서의 중성지방 합성은 증가하며, 인

Table 1. Initial and gain body weight, and heart and liver weight of rabbit fed kimchi ingredient diet for 12 weeks (g)

Group	Initial body wt	Gain body wt	Heart wt	Liver wt
Control	1567.00±128.01 ¹⁾	830.00±169.85 ^{a2)}	5.40±0.95 ^a	89.30±16.55
Baechu ³⁾	1576.00±68.29	832.00±51.15 ^a	5.10±0.44 ^a	78.46±16.48
Red pepper	1526.00±77.87	718.00±22.27 ^b	4.47±0.14 ^{bc}	78.17±19.71
Garlic	1575.00±76.32	786.00±26.25 ^{ab}	3.78±0.28 ^c	80.70± 8.74

¹⁾Values are means±SD(n=6).

²⁾Different superscripts in the same column are significantly different at p<0.05.

³⁾Baechu: Chinese cabbage

지질과 VLDL의 합성은 저하하여 지방간이 형성된다고 보고하였다(20). 본 실험에서도 이러한 현상이 관찰되었는데 1% 콜레스테롤 식이를 한 대조군의 간의 총 지방량은 9.29%이고, 배추군은 8.51mg/g, 고춧가루군은 7.81%, 마늘군은 6.58%으로 총 지방량은 각 군간에 유의적인 차이($p < 0.05$)를 나타내지만, 간의 총 지방량 수준이 정상 대조군의 간지방 함량이 3.19%였음을 감안해 볼 때 대조군을 비롯한 김치재료 모두에서 정상적인 간의 지질수준을 크게 초과하였기 때문에 모든군에서 지방간으로 진단되어 있었음을 짐작할 수 있었다.

LDL의 산화 민감도

사육 12주째 분리한 토끼 혈장의 LDL을 CuSO_4 로 산화시켜 TBARS 값을 측정하였을 때 각군의 TBARS 값은 산화 초기에 대조군이 23.32 ± 3.32 , 배추군이 23.35 ± 4.23 , 고춧가루군이 23.27 ± 3.98 , 그리고 마늘군이 24.48 ± 2.69 TBARS(10^{-5}M)로 시간이 경과함에 따라 TBARS 값은 증가하나 그 증가 정도는 초기에 비해 5시간 경과 후에 대조군은 8.4%, 배추군은 8%, 고춧가루군은 7.9% 그리고 마늘군은 1% 정도 증가하여 특히 마늘군이 LDL 산화 민감도가 다른군에 비하여 낮았다(Fig. 1). 관상성심장질환자(젊은 남성 35명)의 LDL 산화를 Cu^{2+} 존재 하에 측정하였을 때 병환의 정도와 이들의 LDL 산화민감도 사이에는 양의 상관성이 관찰되었고, 30대 남성에 있

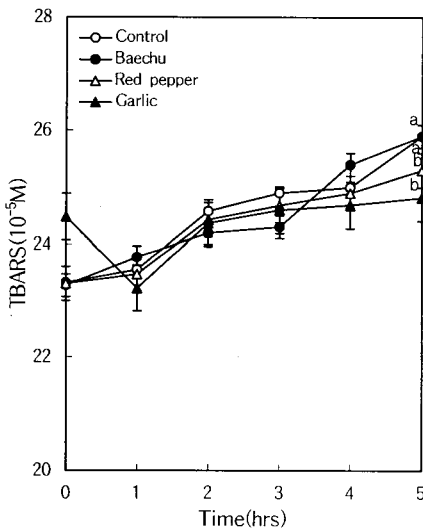


Fig. 1. TBARS of oxidized LDL of rabbit fed kimchi ingredient diet for 12 week. TBARS of oxidized LDL of cholesterol free diet group at 7hrs was $24.66 \times 10^{-5}\text{M}$. Values with different superscript are significantly different at $p < 0.05$.

어서 산화 LDL에 대한 autoantibodies가 동맥경화의 진행도와 비례 관계가 있음을 발견하였고 antimalondi-aldehyde-LDL-reactive immunoglobulin이 혈장 내에 증가하는 것은 *in vivo*에서 산화 LDL 생성률이 증가하기 때문이라고 하였다(21). 또한 말초혈관경화질환(peripheral vascular disease)을 가진 환자는 산화 LDL에 대한 autoantibodies의 역가가 증가한다고 보고하였다(22). 그리고 LDL 산화과정 중 생성되는 MDA나 4-OH-nonenal과 같은 지질 과산화반응 생성물은 apo B 100의 유도체에서 발생된다고 하였다(23). Watanabe heritable hyperlipidemic rabbits(WHHR)와 인체에서 복합적인 동맥경화성 플라그가 관찰되었는데, 여기에 MDA-LDL에 대한 autoantibodies가 관찰되었다고 한다(23). 따라서 본 실험에서는 김치재료인 고춧가루군과 마늘군이 대조군에 비해 산화된 LDL의 TBARS값의 변화가 적었던 것은 고춧가루와 마늘중의 항산화물질에 의한 작용으로 LDL의 산화를 억제시킨 것으로 생각된다.

혈장 및 간에서의 산화정도

혈중 TBARS값은 사육 초기는 대조군 2.75 ± 0.44 , 배추군 2.37 ± 0.04 , 고춧가루군 2.09 ± 0.09 , 마늘군 2.23 ± 0.46 nmol/ml plasma으로 각 군간에 유의적인 차이는 없었으나 사육 12주째의 TBARS 값은 대조군 2.82 ± 0.63 , 배추군 3.47 ± 1.07 , 고춧가루군 1.78 ± 0.18 , 마늘군 1.35 ± 0.80 nmol/ml plasma으로 대조군에 비해 배추군은 23% 높았고, 고춧가루군은 37%, 그리고 마늘군은 52% 낮았다(Fig. 2, $p < 0.05$).

12주 사육 후 토끼 간의 TBARS 값 및 POV 농도 그리고 protein carbonyl value는 Table 2에 나타내었다. 간의 TBARS값은 대조군에 비해 배추군 38%, 고춧가루군 40%, 그리고 마늘군 51% 정도 낮았다. 간 조직의 POV 농도는 대조군에 비해 배추군 55%, 고춧가루군 67%, 그리고 마늘군은 59% 낮았다($p < 0.05$). 간의 protein carbonyl value는 대조군에 비해 배추군 47%, 고춧가루군 23%, 그리고 마늘군 15% 정도 낮았다.

생체내에서의 과산화지질은 세포의 구성성분인 단백질, RNA, 그리고 DNA와 작용하여 항산화 효소가 존재하는 미토콘드리아 등의 기능이상과 생화학적 변화를 일으키며 이로 인해서 동맥경화를 비롯한 퇴행성 질환을 촉진시키는 물질로 주목받고 있다(24). 이(25)의 우육김치모델에서 우육지방질의 산화에 미치는 김치의 영향을 살펴본 결과 김치는 우육지방질의 산화 반응을 억제하는 효과가 있었으며 항산화효과는 농도의존적이라고 하였다. 수컷 SD rats에 김치를 3, 5, 그리

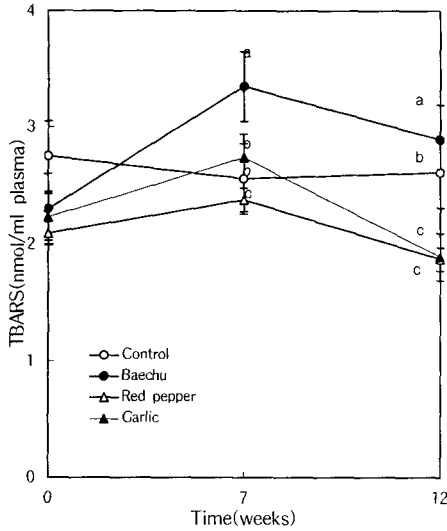


Fig. 2. Changes in plasma thiobarbituric acid reactive substances(TBARS) value of rabbit fed kimchi ingredient diet for 12 weeks.
 TBARS value of cholesterol free diet at 12 week was 1.90 ± 0.60 nmol/ml plasma.
 Values with different superscript are significantly different at $p < 0.05$.

Table 2. Concentration of thiobarbituric acid reactive substances(TBARS), peroxide values(POV), and protein carbonyl values in the liver of rabbits fed kimchi ingredient for 12 weeks

Group	TBARS (nM/g tissue)	POV (μ M/g Liver)	Protein carbonyl (μ M/mg protein)
Control	$20.85 \pm 4.76^{a,1)}$	33.24 ± 12.40^a	1.46 ± 0.26^a
Baechu	12.97 ± 3.22^{ab}	14.84 ± 2.41^b	0.83 ± 0.19^b
Red pepper	12.48 ± 0.32^{ab}	10.98 ± 0.58^b	1.09 ± 0.31^b
Garlic	10.72 ± 0.71^b	13.68 ± 1.77^b	1.14 ± 0.46^b

¹⁾ Values are means \pm SD (n=6).

TBARS, POV, and protein carbonyl value of cholesterol free diet group were 15.89 ± 1.68 nM/g tissue, 51.74 ± 8.63 μ M/g liver, and 0.627 μ M/mg protein.

^{a-c} Different superscripts in the same column are significantly different ($p < 0.05$)

고 10% 첨가한 식이로 6주간 사육하였을 때 TBARS 값은 각 군간에 유의적인 차이가 없었으나 5% 김치섭취군에서 대조군에 비해 낮았으며 protein carbonyl value는 각 군간에 유의적인 차이는 없었지만 김치섭취군이 대조군에 비해 그 값이 낮았다고 보고하였다(26) 본 실험에서도 김치 재료인 배추, 고춧가루, 마늘을 첨가한 군에서는 대조군보다 간과 혈장 과산화지질 함량이 유

의적으로 낮았는데, 이는 김치재료가 가지는 항산화물질인 폴리페놀화합물, 플라보노이드류, 비타민 C, 비타민 E, 베타 카로틴 그리고 알리신 등에 의한 작용으로 생각된다.

항산화계에 미치는 영향

항산화 효소계에 미치는 영향

간의 catalase 함량은 대조군에 비해 배추군은 19% 감소, 고춧가루군은 19%, 그리고 마늘군은 106% 증가하였다(Table 3). GSH-px 활성은 각 군간의 유의적인 차이는 없었다. Cu,Zn-SOD활성은 대조군에 비해 배추군 25%, 고춧가루군 35% 증가, 그리고 마늘군은 42% 감소하였다. Mn-SOD 함량은 대조군에 비해 배추군은 별 차이를 보이지 않았으며, 고춧가루군은 29% 증가하였지만, 마늘군은 43% 감소함을 관찰하였다. 생체는 내인적 혹은 외인적으로 정상적인 대사과정 중에도 반응성이 큰 유리기(free radical)를 생성하며 유리기에 의한 산화적 스트레스는 동맥경화의 발생 또는 노화에도 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되고 있다(27). 일반적으로 생체에는 산화적 스트레스로부터 자신을 보호하기 위해 radical을 제거할 수 있는 항산화제나 항산화 효소계가 존재하는데 노화가 진행됨에 따라 이런 기능들이 저하된다고 한다(27). 수컷 SD rats에 김치를 식이에 3, 5, 그리고 10% 첨가하여 6주간 사육하였을 때 간 조직의 catalase활성은 각 군간에 유의적인 차이를 보이지 않았고 SOD 활성은 대조군에 비해 김치군에서 농도 의존적으로 높았고($p < 0.05$), 특히 10% 김치군에서는 대조군에 비해 거의 2배에 가까운 활성 증가가 나타났으며 GSH-px활성은 각군에서 김치의 섭취가 증가함에 따라 증가하였다고 보고하였다(26). 한편, 본 실험에서는 1% 콜레스테롤 식이로 병리적인 상태를 유발하였기 때문에 콜레스테롤을 전혀 첨가하지 않았던 군의 GSH-px 활성이 41.92 ± 4.04 U/mg protein/min, Cu,Zn-SOD활성은 0.93 ± 0.75 NU/mg protein 임에 비해 SOD와 GSH-px 활성이 높았다. 그러나 이 중에서도 김치 재료인 배추나 고춧가루를 섭취한 군에서는 대조군에 비해 그 활성이 더 높았다. 이는 배추나 고춧가루의 생리활성 물질이 효소의 활성을 증가시켰기 때문으로 생각되며, 특히 대조군에 비해 마늘 섭취군의 SOD 활성이 떨어진 것은 마늘이 가지는 항산화 물질이 SOD가 작용하기에 앞서 산화물질이 제거되었기 때문에 높은 활성을 가질 필요가 없었기 때문이며 고추나 마늘에서는 GSH-px활성이 낮았던 것도 같은 이유에 의한 것으로 생각된다.

Table 3. Cu,Zn-SOD, Mn-SOD, catalase and glutathione peroxidase(GSH-px) activities in liver tissue of rabbits fed control or kimchi ingredient diet

Group	Cu,Zn-SOD (NU/mg protein)	Mn-SOD (NU/mg protein)	Catalase (U/mg protein)	GSH-px (U/mg protein)
Control	1.43±0.23 ^{a,1)}	0.14±0.04	0.035±0.004 ^{bc}	41.92±4.04
Baechu	1.65±0.53 ^a	0.15±0.01	0.031±0.005 ^c	58.05±13.40
Red pepper	1.78±0.69 ^a	0.18±0.07	0.043±0.004 ^b	57.23±22.37
Garlic	0.77±0.22 ^b	0.08±0.05	0.076±0.006 ^a	53.92±14.48

¹⁾Values are means±SD(n=6).

The activities of Cu,Zn-SOD, Mn-SOD, catalase, and GSH-px for cholesterol free diet group were 0.93±0.75, 0.15±0.05 NU/mg protein, 0.065±0.006 U/mg protein, and 41.92±4.04 U/mg protein/min.

^{a-c}Values in columns without common superscripts are significantly different(p<0.05).

항산화 영양소의 영향

비타민 E 농도

실험 시작시 각 군의 혈장 비타민 E 농도는 대조군 0.43±0.13, 배추군 0.4±0.01, 고춧가루군 0.41±0.14, 마늘군 0.36±0.02µg/ml plasma으로 각 군간에 유의적인 차이는 없었고, 사육기간이 경과함에 따라 각군의 비타민 E 농도는 초기보다 증가하였는데, 대조군은 완만히 증가한데 비해 고춧가루나, 마늘군은 급격히 증가하는 양상을 보였다. 특히 사육 12주째에 대조군의 혈장 비타민 E 농도는 0.86±0.08, 배추군 1.22±0.27, 고춧가루군 1.50±0.48, 그리고 마늘군은 1.51±0.37µg/ml plasma로 대조군에 비해 배추군은 30%, 고춧가루군은 75%, 마늘군은 76% 정도 증가하였다(Fig. 3). 간 조직의 비

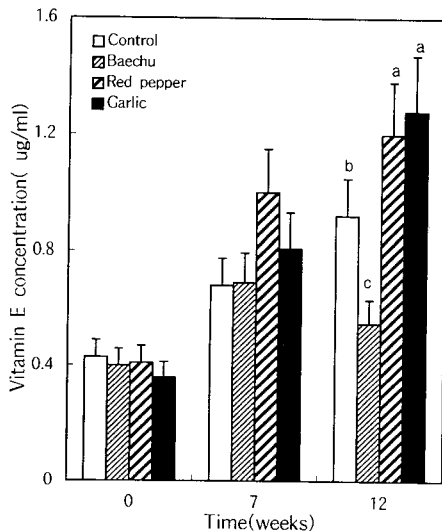


Fig. 3. Changes in plasma vitamin E concentration of rabbit fed kimchi ingredient diet for 12 weeks. Plasma vitamin E concentration of cholesterol free diet group at 12 week was 1.01±0.13µg/ml. Values with different superscript are significantly different at p<0.05.

타민 E 농도는 대조군에 비해 배추군 82%, 고춧가루군 175%, 그리고 마늘군은 18%정도 높았다(Table 4, p<0.05). 비타민 E는 조직, 혈장과 LDL속에 가장 풍부하게 존재하는 지용성 항산화제로 과산화 유리기를 제거함으로써 산화를 방지하여 지질과산화물 초기에 방어하는 역할을 한다. 또한 비타민 E는 LDL의 주요한 항산화제로 LDL 산화 동안 제일 먼저 소비되는 항산화제이다. *In vitro*에서 LDL내의 항산화 물질을 제거하면 LDL 과산화가 가속화되는데, 이것은 *in vivo*에서도 고도의 산화적 스트레스를 받게 되면 항산화제가 고갈되게 되고 *in vitro*에서 보고된 것처럼 LDL 산화가 가속화된 것이라고 보고하였다(23). 서(19)는 콜레스테롤 식이를 한 토끼가 대조군에 비해 혈장 비타민 E 농도가 더 낮음을 보고하였는데 이는 대조군에 비해 보다 많은 산화적 스트레스가 주어졌기 때문이라고 보고하였다. 그리고 Matz 등(28)은 토끼에 비타민 E를 첨가시 β-VLDL의 conjugated diene이 비타민 E 무첨가시보다 현저히 감소하였다고 보고하였다. 심각한 관상동맥 질환을 가진 환자군과 지질이상증후군 및 고혈압, 당뇨병, 동맥경화증이 있는 군과 이러한 문제가 전혀 없는 대조군과의 혈중 비타민 E 효율을 비교한 결과 환자군

Table 4. Liver vitamin E and carotene concentration of rabbits fed kimchi ingredient diet^{1,2)} or control

Group	Vitamin E (µg/g liver)	Carotene (mg/g liver)
Control	0.12±0.01 ^{b,1)}	0.81±0.12
Baechu	0.20±0.00 ^b	0.92±0.13
Red pepper	0.33±0.17 ^a	0.82±0.08
Garlic	0.11±0.01 ^b	0.84±0.04

¹⁾Values are means±SD(n=6).

Vitamin E and carotene concentration of cholesterol free diet group were 0.051±0.005 and 1.21±0.18.

^{a,b}Values in rows without common superscripts are significantly different(p<0.05).

에서 비타민 E 효율이 $9.59 \pm 4.2 \text{ min lag phase/n mol vitamin E}$, 대조군은 $30.2 \pm 7.6 \text{ min lag phase/n mol vitamin E}$ 로 동맥경화 환자에서는 LDL 산화속도가 빨라 유도기가 9분 밖에 되지 않은 반면 대조군에서는 LDL 산화 유도기가 30분으로 약 4배 이상 길었으며 동맥경화 환자에 있어서 LDL 산화를 조절하는데 있어 비타민 E가 주된 역할을 한다고 보고하였고(21), 비타민 E는 LDL 산화를 방지하여 동맥경화 등의 발생을 억제한다는 연구결과들도 보고되고 있다(29,30). 따라서 본 실험에서 대조군에 비해 김치재료 첨가군의 혈장비타민 E 농도가 높은 것은 김치재료인 배추나 고춧가루, 마늘에 항산화성 물질이 혈장지질 산화를 억제함으로써 혈장비타민 E를 절약하는 작용이 있기 때문이라고 생각된다.

간의 carotene 농도

Carotene 농도는 대조군에 비해 배추군 13%, 고춧가루군 1%, 마늘군은 3% 정도 높았을 뿐 각군간에 유의적 차이는 나타나지 않았다(Table 4). 과일과 채소에서 분리된 carotenoid는 40개 이상으로 이 중에서 가장 많이 연구가 된 것이 β -carotene, α -carotene, lycopene, crocetin, β -cryptoxanthin, halocyananthin, canthaxanthin, 그리고 methyl-carotenoate이다. 먹을 수 있는 carotenoid의 25%를 차지하는 β -carotene은 지용성 항산화제로 유리기를 제거할 수 있고 singlet oxygen을 소거할 수 있다고 알려져 있다(29). Jialal 등(29)은 경구 섭취한 β -carotene이 LDL의 산화적 변형을 저해하는 것을 관찰하였으나 Gey와 Puska(30)는 이러한 LDL 산화 억제효과를 관찰하지 못하였다고 보고하였으며 콜레스테롤을 섭취한 토끼에게 동맥경화를 완화시키기 위하여 carotenoid crocetin을 근육주사하였을 때 동맥경화의 심각성은 감소되었으나 혈청 콜레스테롤과 중성지방 농도에는 변화가 없었다고 보고하였다. Salonen 등(22)은 1년 동안 follow-up 연구를 통해 혈장수준의 β -carotene 농도를 측정하였을 때 혈장 β -carotene 농도가 증가할수록 경동맥의 두께를 감소시키는 것을 관찰하였다. Physician's Health study에서는 동맥경화증으로 판정 받은 경험이 있는 333명의 남성에서 매일 50mg의 β -carotene을 공급한 결과 심장 혈관계 질환과 뇌혈관질환의 발병을 54%나 감소시킴을 관찰하였으나, 이 연구의 최종결과는 β -carotene을 섭취한 동맥경화증의 남성에 있어서 이러한 결과가 관찰되지 않았다고 보고하였다(31). 한편, 본 연구에서는 β -carotene 농도는 각 군간에 유의적인 차이를 보이지 않았다.

요 약

1% 콜레스테롤 식이를 섭취한 토끼에서 김치재료의 항산화효과를 알아보기 위하여 배추, 고춧가루, 마늘을 김치 담금시의 재료 배합비인 배추 8%, 고춧가루 1%, 마늘 1% 비율로 첨가하여 3개월간 사육하면서 사육기간에 따른 혈중 과산화물가의 변화 및 혈중 비타민 E 농도와 간의 항산화효소의 활성 및 항산화영양소인 비타민 E와 카로틴 농도의 변화를 측정하였다. LDL 산화는 시간이 경과함에 따라 TBARS값은 증가하나 그 증가 정도는 김치재료중 마늘이 가장 낮았다. 혈장 TBARS 및 POV의 사육기간별 함량은 대조군에 비해 배추, 고춧가루, 마늘군에서 증가수준이 감소하였고, 대조군에 비해 고추, 마늘군에서 과산화지질이 적게 생성되었다($p < 0.05$). 간에서의 POV 함량 및 protein carbonyl value는 대조군에 비해 김치재료군에서 낮았다($p < 0.05$). 혈장비타민 E 농도는 대조군에 비해 고춧가루와 마늘군에서 높았고 간의 비타민 E 농도는 대조군에 비해 배추군과 고춧가루군에서 높았다($p < 0.05$). 간에 존재하는 항산화효소계를 살펴본 결과 Cu,Zn-SOD와 Mn-SOD는 대조군에 비해 배추, 고춧가루군에서 그 활성이 높았으나, 통계적으로 유의하지 않았고, Catalase는 대조군에 비해 고춧가루, 마늘군에서 활성이 높았다($p < 0.05$). 이상의 결과로부터 김치담금시 사용되는 배추, 마늘, 고춧가루는 콜레스테롤 식이를 섭취한 토끼에서 항산화 효과가 나타났으며 특히 동맥경화발생과 직접적인 관계가 있는 LDL 산화를 억제하는 효과는 마늘군에서 현저하였다.

감사의 글

이 연구는 1995년도 농림수산부에서 시행한 농림수산특정연구사업의 연구비 지원에 의한 결과이며, 이에 감사드립니다.

문 헌

1. Esterbauer, H., Gebicki, J., Pohl, H. and Jurgens, G. : The role of lipid peroxidation and antioxidants in oxidative modification of LDL. *Free Radic Biol Med.*, **13**, 341d(1992)
2. Morel, D. W., Hessler, J. R. and Chisolm, G. M. : Low density lipoprotein cytotoxicity induced by free radical peroxidation of lipids. *J. Lipid Res.*, **24**, 1070(1983)
3. Fogelman, A. M., Shechter, I., Sieger, J., Hook, M., Child, J. S. and Edward, P. A. : Malondialdehyde alteration of low density lipoprotein leads to cholesteryl

- ester accumulation in human monocyte-macrophages. *Proc Natl Acad Sci. USA*, **77**, 2214(1980)
4. 백희영, 문현경, 최영선, 안윤옥, 이홍규, 이승욱 : 한국인의 식생활과 질병, 서울대학교출판부, p.358(1997)
 5. 권명자, 송영욱, 송영선 : 흰쥐에서 김치식이 조직과 분변의 지질조성과 Apo단백 및 Thyroxine 농도에 미치는 영향. *한국식품영양과학회지*, **26**, 507(1997)
 6. 이영욱, 최홍식 : 우육지방질의 산화에 미치는 김치의 항산화 작용에 관한 연구. *한국식품영양과학회지*, **24**, 1005(1995)
 7. Block, E., Lyer, R., Grisoni, S., Saha, C., Belman, S. and Lossing, F. : Lipoxigenase inhibitors from the essential oil of garlic. *J. Am. Chem. Soc.*, **110**, 7813(1988)
 8. 백숙은 : 생강 추출획분의 대두유 및 흰쥐 간 마이크로솜 지질과산화 억제 효과. *한국조리과학회지*, **11**, 365(1995)
 9. 이치호, 정구용, 임성천, 최도영, 김천제, 최병규 : 베이컨 육에 있어서 capsaicin 및 oleoresin의 항산화작용에 관한 연구. *한국식품과학회지*, **26**, 496(1994)
 10. AOAC : *Official methods of analysis*. Association of official analytical chemists. Washington, D.C., p.79(1990)
 11. Prosky, L., Asp, N. C., Furda, J., Devries, J. W., Schweizer, T. F. and Harland, B. F. : Determination of total dietary fiber in foods and food products. Collaborative study. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, **66**, 677(1985)
 12. 구영조, 최신양 : 김치의 과학기술. 한국식품개발연구원, p.137(1990)
 13. Indrajit, D. D. : *Methods in enzymology*. Academic Press, Vol. 105, p.138(1980)
 14. Buege, J. A. and Aust, S. D. : Microsomal lipid peroxidation. *Methods Enzymol.*, **52**, 302(1978)
 15. Aebi, H. : *Catalase in vitro in method in enzymology*. Academic press, Vol. 105, p.121(1984)
 16. Lawrence, R. A. and Burk, F. : Glutathione peroxidase activity in selenium-deficient rat liver. *Biochem Biophys. Res. Comm.*, **71**, 952(1976)
 17. Oyanagui, Y. : Reevaluation of assay methods and establishment of kit for superoxide dismutase activity. *Anal. Biochem.*, **4**, 290(1948)
 18. Oliver, L. K. : Colorimetric analysis of vitamin A and carotene. In "*Methods in enzymology*" Academic Press, Vol. 67, p.195(1984)
 19. 서진아 : 고콜레스테롤식이 토끼의 혈장콜레스테롤 대사와 조직변화에 미치는 영향. 경북대학교 식품영양학과 석사학위논문(1997)
 20. 藤田拓男 : 必修内科学. 改訂版 3版, 南江堂, p.556(1991)
 21. Elena, M., Roberto, C., Germano, M., Renata, C., Domenico, A. and Adalberto, G. : LDL oxidation in patients with severe carotid atherosclerosis : A study of *in vitro* and *in vivo* oxidation markers. *Arteriosclerosis and Thrombosis*, **14**, 1892(1994)
 22. Salonen, J. T., Nzononen, K., Parviainen, M., Kantola, M., Korpela, H. A. and Salonen, R. : Low plasma β -carotene, vitamin E and selenium levels associated with accelerated carotid atherogenesis in hypercholesterolemic eastern Finnish men. *Circulation*, **87**, 1(abs)(1993)
 23. Esterbauer, H., Rotheneder, M. D., Striegl, G. and Waeg, G. : Role of vitamin E in preventing the oxidation of LDL. *Am. J. Clin. Nutr.*, **53**, 314s(1991)
 24. Freeman, B. A. and James, D. C. : Biology of disease. Free radicals and tissue injury. *Lab. Invest.*, **47**, 412(1982)
 25. 이영욱 : 김치의 항산화성 특성과 항산화성 물질에 관한 연구. 부산대학교 식품영양학과 박사학위논문(1996)
 26. 류승희 : 김치 및 김치재료의 *in vitro*와 *in vivo*에서의 항산화효과. 인제대학교 식품영양학과 석사학위논문(1997)
 27. Reiter, R. J. : Oxidative process and antioxidative defense mechanism in the aging brain. *FASEB J.*, **9**, 526(1996)
 28. Matz, J., Andersson, T. M., Ferns, G. A. and Anggard, E. K. : Dietary vitamin E increases the resistance to lipoprotein oxidation and attenuates endothelial dysfunction in the cholesterol-fed rabbits. *Atherosclerosis*, **110**, 241(1994)
 29. Jialal, I., Norkuk, E. P., Cristol, L. and Grundy, M. L. : β -Carotene inhibits the oxidative modification of low density lipoprotein. *Biochem Biophys. Acta*, **1086**, 134(1991)
 30. Gey, K. F. and Puska, P. L. : Plasma vitamins E and A inversely related to mortality from ischemic heart disease in cross-cultural epidemiology. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **570**, 268(1989)
 31. ATBC Cancer Prevention Study Group : The α -tocopherol, β -carotene lung cancer prevention study, Initial results from a controlled trial, *N. Engl. J. Med.*, **330**, 1029(1994)

(1998년 8월 26일 접수)