

## 김치가 노화촉진쥐 뇌의 유리기 생성 및 항산화효소 활성에 미치는 영향

김종현\* · 류재두\*\* · 이한기\*\*\* · 박정희\*\*\* · 문갑순\*\*\*\* · 최홍식 · 송영옥<sup>†</sup>

부산대학교 식품영양학과 및 김치연구소, \*마산대학 식품영양과  
\*\*마산대학 임상병리과, \*\*\*마산대학 간호과, \*\*\*\*인제대학교 식품과학부

### The Effect of *Kimchi* on Production of Free Radicals and Anti-oxidative Enzyme Activities in the Brain of SAM

Jong-Hyen Kim\*, Jae-Du Ryu\*\*, Han-Gi Lee\*\*\*, Jeng-Hee Park\*\*\*,  
Gap-Soon Moon\*\*\*\*, Hong-Sik Cheigh and Yeong-Ok Song<sup>†</sup>

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

\*Dept. of Food and Nutrition, \*\*Dept. of Clinical Pathology, and

\*\*\*Dept. of Nursing, Masan College, Masan 630-729, Korea

\*\*\*\*School of Food Science, Inje University, Kimhae 621-749, Korea

#### Abstract

This study was performed to investigate the effect of *kimchi* intake on antiaging characteristics in the brain of scnescence-accelerated mouse (SAM) in terms of free radical production and anti-oxidative enzymes. Two hundreds twenty SAM (20 mice) were divided into four groups and fed *kimchi* diet for 12 months. Experimental groups were *kimchi* free AIN-76 diet (control) group, Korean cabbage *kimchi* diet (KCK)group, 30% mustard leaf added Korean cabbage *kimchi* diet (MKCK) group, and mustard leaf *kimchi* diet (MLK) group. Concentrations of total free radical, OH radical and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> of control group increased up to 123%, 262% and 174% of initial value (p<0.05) after one year. Increase in free radical production in *kimchi* groups due to aging was decreased by *kimchi* feeding. Among *kimchi* groups, MKCK and MLK groups showed greater inhibiting effect against free radical production than KCK. The concentration of TBARS in the brain of control group also significantly increased up to 362% of initial value as aged (p<0.05) and production of TBARS in *kimchi* groups were decreased. When the activities of Cu,Zn-SOD, Mn-SOD, GSH-px and catalase of *kimchi* groups were compared to those of control at the same experimental period, anti-oxidative enzyme activities of *kimchi* groups were lower than those of control (p<0.05). But GSH/GSSG in *kimchi* groups were higher compared to control. In conclusion, decrease in free radical production and increase in anti-oxidative enzyme activities were observed from *kimchi* groups suggesting that *kimchi* might have important role on retarding aging. Among *kimchi* variety tested in this experiment, MKCK and MLK seem to have greater effect on inhibiting free radical production and increasing anti-oxidative enzyme activities than KCK.

Key words: *kimchi*, brain, SAM, free radical, anti-oxidative enzyme

#### 서 론

노화는 유리기에 의한 생체손상으로 인해 유발되며 포유류에서 발생하는 유리기 반응은 대부분 산소대사 과정에서 발생하는 활성산소(<sup>1</sup>O<sub>2</sub>, ·O<sub>2</sub><sup>-</sup>, ·OH radical, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 등에 의한 것으로 알려져 있다(1-3). 산소대사 과정 중 이용되는 산소의 3-5%는 전자전달계의 효소를 통하지 않고 직접 전자 1개를 받음으로써 superoxide radical이 되어 더 이상 전자전달계에 참여하지 않고 미토콘드리아 바깥으로 빠져 나온다. Superoxide radical은 자동적으로 보다 반응성이 강한 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 또는 ·OH radical로 전환된다. 이러한 유리기들은 질환 발병, 노

화와 관련이 있는데 유리기가 DNA와 교차결합을 하면 신체의 돌연변이와 필수적인 효소의 출현 손실이 나타날 수 있으며, 세포질의 미세소관에 대한 세포적 손상을 유발시킬 수 있다(4). 일반적으로 노화에 의해 생체내 각 조직에 유리기 반응산물이 증가하는데, 그 대표적인 것이 lipofucin과 지질 과산화물로서 이들은 노화의 지표로 이용되고 있다(5).

유리기는 미토콘드리아 밖으로 빠져나올 수 있기 때문에 미토콘드리아 밖의 항산화 물질의 중요성이 부각되고 있다. 특히 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>는 비교적 안정성이 크며 전기적으로 중성을 나타내므로 미토콘드리아의 구조막을 쉽게 통과해서 세포질로 침투할 수 있어 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 제거하는 catalase, glutathione per-

<sup>†</sup>Corresponding author. E-mail: yosong@pusan.ac.kr  
Phone: 82-51-510-2847, Fax: 82-51-583-3648

oxidase(GSH-px) 그리고 glutathione-reductase(GSH-red) 등은 세포질내에서 유리기 반응을 억제하는데 중요한 역할을 한다(6). 항산화 효소 중 superoxide dismutase(SOD)와 catalase는 생체물질을 산화시키는 활성산소, 즉 superoxide radical과 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 초기단계에서 제거하는 효소로서 생체 물질이 산화되기 전에 이를 막아준다. 그리고 GSH-px는 유리기에 의해 산화된 지질을 제거한다. SOD와 catalase는 지질, 단백질 및 핵산의 산화를 모두 막을 수 있으나 GSH-px는 지질과산화만을 막을 수 있어, 주로 과산화물에 의한 산화로부터 세포막지질과 hemoglobin을 보호한다. Ansari 등(7)은 SAM의 뇌와 간에서 가령에 따른 항산화계의 변화와 TBARS를 측정하였을 때 가령에 따라 유리기에 의한 손상이 증가되면서 이를 억제하기 위해 체내 항산화효소인 SOD계가 self-protective mechanism으로 증가하였고, SOD의 작용에 따라 생성된 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 제거하기 위해 GSH-px 및 catalase가 작용하므로 가령에 따라 이들 효소가 고갈되어 노화에 따라 항산화능이 전반적으로 감소되고 TBARS 농도가 증가하였다고 보고하여 유리기의 생성 정도와 항산화효소계의 활성이 노화의 중요한 지표임을 나타내었다.

김치는 주재료인 배추, 갯깁만 아니라 첨가되는 마늘, 고춧가루 등의 재료에 함유되어 있는 플라보노이드, 베타카로틴, 페놀 물질 등에 의해 항산화 효과를 가진다고 보고되어 있으며(8,9), 김치를 동물에게 섭취시켰을 때 혈중 지질 농도 저하(8,10,11) 및 간의 항산화효소 활성을 증가시키고(8,10), 갯깁치를 섭취한 누드마우스의 피부에서 유리기 생성을 억제시켰다고 보고되고(12) 있어 김치가 노화를 억제할 수 있을 것으로 예상하지만 김치가 노화 억제에 미치는 영향에 대한 장기별 연구는 보고된 바가 없다.

따라서 본 연구는 김치가 노화 억제에 미치는 영향을 살펴 보기 위하여 여러 종류의 김치식을 노화촉진쥐인 SAMP8에게 1년간 섭취시키면서 동물의 모든 기능을 관장하는 뇌에 있어서 유리기 생성 및 항산화 효소의 활성 변화를 살펴보았다. 뇌세포는 태아기에 분화된 후에는 다시 재생되지 않는 특수 세포로서 유리기에 의해 세포가 손상되는 경우 복구될 수 없고, 이에 따라 세포수의 감소에 따른 기능 이상을 초래하여 노화가 촉진될 수 밖에 없는 중요한 장기이다. 본 연구에 사용된 김치의 종류는 배추김치, 항노화성이 강조된 배추갯깁치 그리고 항산화성이 높은 갯깁치를 사용하였다.

## 재료 및 방법

### 김치식이 및 시료준비

AIN-76 마우스 식이를 대조군으로 하여 배추김치(13), 배추갯깁치(14), 갯깁치(15)를 담귀 pH 4.0±0.1 사이에 도달하였을 때 동결건조한 다음 이를 식이 중량의 5% 수준이 되도록 첨가하여 실험식을 제조하였다. 첨가된 김치의 양은 생김치로 50 g(배추김치 수분 90%)에 해당된다. 4주령이 된

노화촉진쥐(senescence accelerated mouse: SAM)에게 실험식을 1년간 섭취시키면서, 식이 섭취 6개월 후 및 12개월 후에 희생하여 노화관련 특성을 살펴보았다. 실험 식이 제조 및 동물사육은 Kim 등(16)과 동일하게 하였다.

### 유리기 및 TBARS 농도측정

총유리기 농도측정은 Thomas의 방법(17), H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 함량측정은 Phillip 등(18)의 방법 그리고 hydroxyl radical은 Barry & John의 방법(19)을 사용하였다. TBARS 분석은 Punched & Kelly의 방법(20)으로 측정하였다.

### GSH 및 GSSG 함량 측정

Gaitonide의 방법(21)을 사용하여 fluorescence microplate reader FL500을 사용하여 형광도를 excitation 345 nm, emission 425 nm에서 측정하였다.

### 항산화 효소계 측정

Cu,Zn-SOD, Mn SOD활성의 측정은 Oyanagui(22)의 방법을 사용하였으며, catalase 활성측정은 Aebi(23)의 방법, GSH-px 활성측정은 Lawrence & Burk(24)의 방법으로 측정하였다.

### 통계처리

모든 실험의 분석결과는 Statistical Analysis System(SAS)으로 통계처리하였으며, 평균과 표준편차를 구하였다. 군별 및 연령별 유의성 검증은 one-way Anova 및 Duncan's multiple range test를 사용하였다.

## 결과 및 고찰

### 유리기 농도

뇌에서 발생한 총유리기, hydroxyl radical과 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 농도에 대해 Table 1에 나타내었다. 뇌의 총유리기 농도는 가령에 따라 증가하여 식이 섭취 6개월 후에는 식이섭취 전(0개월)에 비해 14% 증가하였고 12개월에는 23% 증가하여 Kim 등(16)이 보고한 간에서와 같이 가령에 따라 증가되었다(p<0.05). 김치가 뇌의 총유리기 농도에 미치는 영향을 살펴보았을 때 김치섭취는 간의 경우와 같이 총유리기 농도를 유의적으로 낮추었다(p<0.05). 김치 종류별 총유리기 생성 억제 효과를 살펴본 결과 6개월 식이 섭취 후에는 배추김치, 배추갯깁치 그리고 갯깁치의 총유리기 농도가 대조군에 비해 3%, 17% 그리고 4% 감소하였고, 이중 배추갯깁치의 총유리기 생성 억제 효과가 김치군 중에서 가장 현저하였다(p<0.05). 12개월식이 후 배추김치, 배추갯깁치 그리고 갯깁치의 총유리기 농도는 0.252±0.01, 0.244±0.01 그리고 0.238±0.01 fluorescence/mg protein/min으로 대조군에 비해 5%, 8% 그리고 10% 감소하였고, 갯깁치군과 배추갯깁치군의 총유리기 농도가 배추김치군보다 낮았다(p<0.05).

뇌의 OH radical 농도는 가령에 따라 증가하여 6개월에는

**Table 1. Concentrations of total free radical, OH radical and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in brain of SAM fed various kimchi diet for 12 months**

Feeding period	Group <sup>1)</sup>	Total free radical	OH radical	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
		(fluorescence/mg protein/min)	(nM/mg protein)	(uM/mg protein)
0 mon		0.215±0.02 <sup>2)</sup>	0.065±0.00	0.233±0.12
6 mon	Control	0.246±0.00 <sup>3)</sup>	0.096±0.04	0.357±0.08 <sup>a</sup>
	KCK	0.239±0.04 <sup>a</sup>	0.068±0.01	0.272±0.08 <sup>b</sup>
	MKCK	0.205±0.03 <sup>b</sup>	0.072±0.05	0.161±0.01 <sup>d</sup>
	MLK	0.236±0.04 <sup>a</sup>	0.071±0.01	0.188±0.08 <sup>c</sup>
12 mon	Control	0.265±0.03 <sup>a</sup>	0.170±0.03 <sup>ab</sup>	0.407±0.09 <sup>a</sup>
	KCK	0.252±0.00 <sup>ab</sup>	0.187±0.02 <sup>a</sup>	0.302±0.10 <sup>b</sup>
	MKCK	0.244±0.00 <sup>b</sup>	0.157±0.02 <sup>b</sup>	0.286±0.09 <sup>c</sup>
	MLK	0.238±0.00 <sup>b</sup>	0.175±0.01 <sup>ab</sup>	0.201±0.11 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>Control diet was prepared following AIN-76 guidelines for mouse experiment.  
 KCK: Korean cabbage kimchi group was fed control diet containing 5% of freeze-dried Korean cabbage kimchi.  
 MKCK: Mustard leaf added Korean cabbage kimchi group was fed control diet containing 5% of freeze-dried mustard leaf (30%) added Korean cabbage kimchi.  
 MLK: Mustard leaf kimchi group was fed control diet containing 5% of freeze-dried mustard leaf kimchi.  
<sup>2)</sup>Data are mean±standard deviation.  
<sup>3)</sup>Data in column at the same feeding period were significantly different analyzed by one way ANOVA followed Duncan's multiple range test at p<0.05.

0개월에 비해 48% 증가하였고 사육 12개월 후에는 162%로 유의적으로 증가하였다(p<0.05). 김치식이 뇌의 OH radical 농도에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 김치 종류로 비교해 보았을 때 6개월에서 배추김치, 배추갓김치 그리고 갓김치군은 대조군에 비해 29%, 25%, 그리고 26% 감소하여 OH radical 생성을 유의적으로(p<0.05) 억제하였으나, 12개월에서는 배추갓김치군에서만 약 8% 정도 억제 효과가 나타났다.

뇌의 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 농도는 가령에 따라 증가하여 6개월, 12개월의 대조군 농도는 0개월에 비해 각각 53%와 74% 정도 유의적으로(p<0.05) 증가하였으며 김치식이에 의한 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 생성은 대조군에 비해 억제되었다. 6개월 동안 배추김치, 배추갓김치, 그리고 갓김치 식이를 섭취시켰을 때 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 농도는 대조군에 비해 24%, 55% 그리고 47% 감소하였고(p<0.05), 이들 김치 중 배추갓김치군의 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 농도 억제 능력이 가장 우수하였다. 12개월 후 배추김치, 배추갓김치, 그리고 갓김치군의 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 농도는 0.302±0.10, 0.286±0.09 그리고 0.201±0.11 nM/mg protein으로 대조군에 비해 26%, 30% 그리고 51% 감소하여(p<0.05) 역시 갓김치군의 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 농도가 가장 낮아 갓김치의 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 생성 억제능력이 가장 큰 것으로 나타났다.

뇌에서 총유리기, OH radical 및 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 생성량은 가령에 따라 모두 증가하였고 김치를 섭취시킨 군에서 이들 유리기의 생성이 억제되었다. 김치종류로는 배추갓김치와 갓김치의 유리기 생성 억제 효과가 배추김치군에 비해 좋았다.

**GSH, GSSG, GSH/GSSG 비율의 변화**

가령에 따른 대조군의 뇌의 GSH의 농도는 6개월에 비해 12개월 식이 섭취 후에 6% 정도 유의적으로 증가하였으나(p<0.05), 김치섭취에 따른 군간의 차이는 유의적이지 않았다(Table 2). 이에 반해 산화된 GSSG의 농도는 6개월에 비해 12개월에 26% 정도 증가하여(p<0.05) GSH 농도가 상승한 것보다 GSSG의 농도가 현저하게 상승함을 관찰하였다. 김치섭

취군의 GSSG 농도는 대조군에 비해 낮았으며 12개월의 갓 김치군, 배추갓김치군 그리고 배추김치군의 GSSG 농도는 대조군에 각각 11%, 12% 그리고 4% 낮았다(p<0.05). 김치군에 있어 GSH 농도는 가령에 따라 다소 상승하였고 이에 반해 GSSG 농도는 낮아진 결과를 살펴보았을 때 김치에 GSSG를 GSH로 환원시키는 GSH-red의 활성을 증가시키는 활성물질이 있을 것으로 생각된다. 뇌의 GSH/GSSG는 가령에 따라 감소하여 노화에 의해 산화가 진행됨을 알 수 있었고 김치가 미치는 영향을 살펴보았을 때 김치군에서 GSH/GSSG가 대조군에 비해 증가하여 뇌의 산화를 억제함을 관찰하였다. 김치종류 중에서는 배추김치 및 배추갓김치의 효과가 큰 것으로 나타났다.

Farooqui 등(25)은 흰쥐의 간, 신장, 심장, 폐, 뇌 및 비장의 균질액의 지질과산화물의 농도가 나이에 따라 증가하며, 이는 GSH의 양이 감소하기 때문이라고 보고하였고, Ji 등(26)은 흰쥐의 간의 균질액에서 GSH-red의 활성이 증가함에 따

**Table 2. Concentrations of GSH, GSSG and GSH/GSSG ratio in brain of SAM fed various kimchi diet for 12 months**

Feeding period	Group <sup>1)</sup>	GSH	GSSG	GSH/GSSG
		(intensity)	(intensity)	
6 mon	Control	58.88±2.67 <sup>2)</sup>	133.88± 6.55	0.44±0.01 <sup>b3)</sup>
	KCK	64.75±8.20	130.75± 4.66	0.50±0.07 <sup>a</sup>
	MKCK	57.50±4.18	126.13± 8.21	0.46±0.01 <sup>ab</sup>
	MLK	62.13±3.55	128.88±10.67	0.48±0.02 <sup>a</sup>
12 mon	Control	62.50±2.35	168.75± 5.46 <sup>a</sup>	0.37±0.01 <sup>b</sup>
	KCK	64.50±1.94	162.75± 4.32 <sup>b</sup>	0.40±0.01 <sup>a</sup>
	MKCK	61.38±4.33	148.88± 5.09 <sup>c</sup>	0.41±0.02 <sup>a</sup>
	MLK	60.63±5.29	150.00± 2.74 <sup>c</sup>	0.40±0.04 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>See the legend of Table 1.  
<sup>2)</sup>Data are mean±standard deviation.  
<sup>3)</sup>Data in column at the same feeding period were significantly different analyzed by one way ANOVA followed Duncan's multiple range test at p<0.05.

라 지질과산화 산물이 감소하였다고 보고하였다. Yang 등 (27)은 GSH-px의 활성 및 GSH/GSSG이 과산화적 손상억제에 중요한 역할을 한다고 보고했다. 본 실험결과 김치를 섭취했을 때 대조군에 비해 GSH, GSH/GSSG는 증가하고 GSSG는 감소함을 보였으며 따라서 김치는 노화과정에서 생성되는 과산화물을 억제하는 중요한 역할을 하리라 기대된다.

#### Cu,Zn-SOD, Mn-SOD 활성

뇌의 Cu,Zn-SOD 활성은 가령에 의해 감소하여 식이 섭취 6개월 및 12개월의 대조군의 활성이 식이섭취 전(0개월)에 비해 각각 41%와 28% 감소하였으며 (Table 3) 김치섭취에 의해서는 식이 섭취 6개월과 12개월 실험결과 대조군에 비해 유의적으로 ( $p < 0.05$ ) 높았다. 김치종류에 의한 영향을 살펴본 결과 6개월에서 갓김치, 배추갓김치, 그리고 배추김치군의 Cu,Zn-SOD 활성은 대조군에 비해 15%, 13% 그리고 6% 증가하여 갓김치군과 배추갓김치군의 Cu,Zn-SOD 활성이 배추김치군보다 높았으며, 이러한 현상은 간에서 관찰된 결과와 유사하였다 ( $p < 0.05$ ). 12개월에서는 김치종류에 따른 유의차는 보이지 않았다

Mn-SOD 활성 역시 가령에 따라 감소하였는데 6개월 및 12개월 후의 활성이 0개월에 비해 45% 그리고 39% 감소하였다. 김치가 뇌의 Mn-SOD 활성에 미치는 영향을 살펴본 결과 김치섭취에 의해 Mn-SOD 활성이 유의적으로 ( $p < 0.05$ ) 증가하였으며, Cu,Zn-SOD와 마찬가지로 식이 섭취 6개월 후보다 노화가 진행된 12개월 후에 Mn-SOD의 활성이 높아졌다. 김치종류별로 활성을 비교해 보았을 때 12개월 사육 후 갓김치, 배추김치 그리고 배추갓김치의 Mn-SOD 활성은 대조군에 비해 37%, 15% 그리고 3% 증가하여 유의적인 차이를 나타내었다 ( $p < 0.05$ ).

#### GSH-px 활성

GSH-px 활성은 가령에 따라 감소하였는데 특히 사육 6개월 사이에 효소의 활성이 약 35% 감소하였고 이 이후는 활성에 큰 변화가 없었다 (Table 3). 김치가 뇌의 GSH-px 활성에 미치는 영향을 살펴본 결과 김치섭취에 뇌의 GSH-px 활성

이 유의적으로 증가하였다 ( $p < 0.05$ ). 이러한 현상은 김치종류별로 그 효과에 차이가 있었는데 6개월 사육 후 배추갓김치, 갓김치, 그리고 배추김치군의 GSH-px 활성은 대조군에 비해 73%, 73% 그리고 39% 증가하여 김치섭취에 의해 GSH-px 활성의 증가가 현저하였으며 배추갓김치군과 갓김치군의 활성이 배추김치군에 비해 유의적으로 높았다 ( $p < 0.05$ ). 김치에 의한 GSH-px 활성의 증가는 12개월 후에도 관찰되었고 김치 종류별로 유의적인 차이가 있었으나 6개월의 결과만큼 현저하지는 않았다.

#### Catalase 활성

뇌의 catalase 활성은 사육 6개월까지는 큰 변화가 없었으나 12개월 후에는 사육 초기에 비해 활성이 약 44% 감소하여 노화에 따른 활성 저하가 현저하였다 ( $p < 0.05$ , Table 3). 김치가 뇌의 catalase 활성에 미치는 영향을 살펴본 결과 김치섭취에 의해 catalase 활성이 유의적으로 증가하였고 ( $p < 0.05$ ), 김치종류 중에서는 6개월 실험결과 배추갓김치, 갓김치, 그리고 배추김치군의 catalase 활성이 대조군에 비해 115%, 90% 그리고 50% 높아 배추갓김치군의 활성이 가장 높았다 ( $p < 0.05$ ). 12개월 사육 후에도 김치종류별 catalase 활성 증가 효과는 유의적으로 나타났으며 ( $p < 0.05$ ), 역시 갓김치군과 갓침가 김치의 효과가 현저하였다.

노화에 따른 항산화계 효소의 활성은 증가 또는 감소 혹은 변화하지 않는다는 상반된 결과가 보고되고 있다. Park 등 (28)은 흰쥐 뇌조직의 GSH-px 활성은 성장중인 어린 쥐들에게서 약간씩 증가하였으며 SOD의 활성은 성장기간에 따른 변화는 적었다고 보고하였다. 반면, Youdim과 Deans (29)은 노화된 Wistar male rat의 간과 심장의 SOD 수준은 유의적으로 감소했으나, 신장에서는 감소하지 않았으며, GSII-px는 간에서는 유의적으로 증가했으나, 신장에서는 감소했고, 심장에서는 유의적인 변화가 없었다고 보고하였다. William 등 (30)은 체내 항산화제 농도는 노화에 따라 유효하게 감소하지 않으며, 따라서 노화에 따른 산화적 스트레스의 증가는 산화계 발생의 증가에 기인할 것이라 주장했다. 쥐의 경우

Table 3. Activity of Cu,Zn-SOD, Mn-SOD, GSH-px and catalase in brain of SAM fed various kimchi diet for 12 months

Feeding period	Group <sup>1)</sup>	CuZn-SOD	Mn-SOD	GSH-px	Catalase
		NU/mg protein	NU/mg protein	mU/mg protein	mU/mg protein
0 mon		45.15 ± 6.9 <sup>2)</sup>	19.68 ± 0.63	18.80 ± 1.01	33.30 ± 6.01
6 mon	Control	26.45 ± 0.42 <sup>3)</sup>	10.85 ± 0.29	12.22 ± 6.46 <sup>b</sup>	33.10 ± 15.20 <sup>b</sup>
	KCK	28.01 ± 1.04 <sup>ab</sup>	11.39 ± 0.13	17.04 ± 3.72 <sup>ab</sup>	49.56 ± 23.26 <sup>ab</sup>
	MKCK	29.78 ± 2.56 <sup>a</sup>	11.77 ± 0.34	21.20 ± 4.71 <sup>a</sup>	71.33 ± 37.07 <sup>a</sup>
	MLK	30.30 ± 1.98 <sup>a</sup>	11.88 ± 0.49	21.09 ± 12.41 <sup>a</sup>	62.80 ± 44.3 <sup>ab</sup>
12 mon	Control	32.44 ± 2.76	12.03 ± 0.73 <sup>b</sup>	12.70 ± 3.06 <sup>b</sup>	18.68 ± 6.98 <sup>b</sup>
	KCK	36.73 ± 5.01	13.79 ± 2.07 <sup>a</sup>	14.45 ± 3.95 <sup>b</sup>	25.49 ± 6.70 <sup>ab</sup>
	MKCK	41.31 ± 14.23	12.44 ± 0.63 <sup>a</sup>	16.97 ± 2.82 <sup>a</sup>	32.18 ± 10.69 <sup>a</sup>
	MLK	40.52 ± 6.24	16.43 ± 1.86 <sup>a</sup>	16.63 ± 3.13 <sup>a</sup>	31.82 ± 10.20 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>See the legend of Table 1.

<sup>2)</sup>Data are mean ± standard deviation.

<sup>3)</sup>Data in column at the same feeding period were significantly different analyzed by one way ANOVA followed Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .

GSH-px 활성은 젊은 쥐보다 노화된 쥐에서 더욱 증가되었으나, 사람의 경우는 노인 인구층의 적혈구 GSH-px수준이 젊은 층보 다 낮았다는 상반된 보고도 있다(31). 이와 같이 가령에 따른 항산화계 효소의 활성화에 관해서는 연구자에 따라 상반된 보고가 많으므로 항산화계 효소 활성화에 관한 실험에서는 그 효소활성과 연관되어 있는 항산화 물질 또는 과산화반응 등과 관련지어 결론을 내리는 것이 타당하리라 생각된다. Jeong (32)도 노화에 의해 항산화능이 항상 저하되는 것은 아니기 때문에 생성된 활성산소를 얼마만큼 원활히 제거할 수 있게 항산화능을 증가시킬 수 있는가가 중요하다고 하였다.

본 실험결과 가령에 따른 항산화계 효소활성의 변화는 생체내에서 가장 먼저 발생하는 유리기인 superoxide radical에 대항하는 Cu,Zn-SOD, Mn-SOD의 변화에 비해 superoxide radical이 전환되어 이차적으로 발생한 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 제거할 수 있는 GSH-px나 catalase의 활성 저하가 가령에 의해 현저하게 일어남으로서 노화를 억제하지 못한 것으로 나타나 노화억제에 기여하는 항산화제로 SOD계 효소보다는 GSH-px나 catalase 활성이 더 중요하리라 여겨진다. Mavelli 등(33)은 SOD 활성이 40% 정도 감소되어도 GSH-px나 catalase의 활성이 정상수준을 유지하고 있으면 산화적 손상으로부터의 피해를 보호할 수 있지만, SOD 활성이 정상 혹은 증가되어 있어도 GSH-px나 catalase 활성이 저하되어 있으면 적혈구의 산화적 손상을 방어하지 못한다고 보고하여 본 연구 결과와 일치하였다. 또한 Kiozumi 등(34)은 식이 제한과 노화에 따른 생쥐의 간 효소 활성 및 지질과산화 수준의 변화에 관한 보고에서 노화를 촉진시킨다고 알려진 유리기에 의한 조직 손상은 catalase 활성의 증가로 억제되었다고 보고하였고, Park(35)은 적혈구를 광산화에 의해 용혈시켰을 때 SOD에 의한 용혈 억제효과는 나타나지 않았으나 catalase 및 GSII-red는 적혈구 파괴를 억제하는 효과가 현저하였다고 보고하였다. Lee와 Lec(36)도 가열유를 투여한 쥐에서 SOD가 증가하였으나 GSH-px가 감소하므로써 과산화지질의 양이 증가하였다고 보고하였다. 이상의 연구 결과들을 종합해보면 산화적 손상을 억제시키기 위해서는 GSH-px나 catalase가 직접적으로 작용할 것으로 생각된다.

한편, 김치식은 항산화효소계 활성화에 영향을 미쳐 Cu, Zn-SOD, Mn-SOD, GSH-px, catalase 활성 모두 대조군에 비해 김치섭취군에서 유의적으로 증가하였다. 즉 노화에 따라 발생된 유리기양은 대조군에 비해 김치섭취시 유의적으로 감소되었고, 유리기를 제거하기 위해 발생된 SOD계 효소 활성은 김치섭취군에서 유의적으로 증가되었다. 또한 SOD계 효소의 작용으로 인해 발생된 과산화수소를 제거하기 위한 catalase나 GSH-px 수준도 김치를 섭취한 군에서 유의적으로 높아 유리기를 제거하는 효과가 탁월하였다. 김치종류별로 살펴보면 배추갓김치군과 갓김치군이 배추김치군에 비해 유리기의 발생이 적었고 항산화 효소계의 활성화는 높았다. 따라서, 김치섭취는 뇌에서의 유리기 생성은 억제시킬 뿐만

아니라, 또한 상대적으로 적게 발생된 유리기를 제거하기 위해 SOD, catalase, GSH-px 그리고 GSH/GSSG와 같은 항산화 관련 기능을 유의적으로 향상시키므로써 노화 억제 기능을 발휘한다고 생각된다. 갓김치 또는 갓 첨가 배추김치에서 항노화 기능이 높게 나타난 것은 갓에 첨가되어 있는 페놀물질, 클로로필, 카로티노이드 등의 항산화물질 때문일 것으로 사료된다.

TBARS 농도

뇌의 TBARS 농도는 가령에 의해 현저히 상승되어 사육 6개월과 12개월의 대조군의 농도가 사육 전에 비해 23%와 262%로 증가되었다(p<0.05, Table 4). Ansari 등(7)은 SAM의 뇌와 간에서 가령에 따른 항산화계의 변화와 TBARS를 측정하였을 때 가령에 따라 유리기에 의한 손상이 증가되면서 이를 억제하기 위해 체내 항산화효소인 SOD계가 self-protective mechanism으로 증가하였고, SOD의 작용에 따라 생성된 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 제거하기 위해 GSH-px 및 catalase가 작용하므로 가령에 따라 이들 효소가 고갈되어 노화에 따라 항산화능이 전반적으로 감소되고 TBARS 농도가 증가하였다고 하였다고 보고하여 본 실험의 결과와 잘 일치하였다. 김치가 뇌의 TBARS 농도에 미치는 영향을 살펴본 결과 유의적으로 억제하였고(p<0.05), 김치종류별로는 6개월에 배추갓김치, 갓김치, 그리고 배추김치군이 대조군에 비해 78%, 66% 그리고 20% 감소하여 구간 유의차이(p<0.05)를 보였다. 사육 12개월 후의 김치 종류별 TBARS 농도를 살펴보면, 대조군에 비해 배추갓김치, 배추김치, 그리고 갓김치군이 61%, 55% 그리고 51% 감소하여 배추갓김치군의 TBARS 생성 억제 효과가 가장 컸다.

본 실험에서 김치섭취 시 TBARS 발생이 억제된 이유는 김치를 섭취하지 않은 대조군보다 유리기 생성량이 적었고, 유리기 생성량은 적는데 반해 김치섭취 시 효소적 및 비효소적 항산화계 활성화는 증가되어, 결과적으로 발생된 유리기를

Table 4. Concentration of TBARS production in brain of SAM fed various kimchi diet for 12 months

Feeding period	Group <sup>1)</sup>	TBARS
		(nM/100 mg tissue)
0 mon		63.11 ± 4.09 <sup>2)</sup>
	Control	77.77 ± 3.79 <sup>3)</sup>
	KCK	61.95 ± 5.24 <sup>a</sup>
6 mon	MKCK	17.48 ± 2.57 <sup>c</sup>
	MLK	26.58 ± 3.11 <sup>b</sup>
	Control	228.50 ± 6.65 <sup>a</sup>
12 mon	KCK	103.86 ± 4.15 <sup>c</sup>
	MKCK	89.78 ± 5.56 <sup>d</sup>
	MLK	112.22 ± 4.82 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>See the legend of Table 1.

<sup>2)</sup>Data are mean ± standard deviation.

<sup>3)</sup>Data in column at the same feeding period were significantly different analyzed by one way ANOVA followed Duncan's multiple range test at p<0.05.

효과적으로 제거할 수 있었기 때문으로 여겨진다.

## 요 약

본 연구는 김치가 노화와 직접적인 관련이 있는 유리기 생성 및 항산화 효소활성에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 배추김치, 배추갓김치 그리고 갓김치를 식이중량의 5% 첨가하여 실험식이를 제조하고 이를 노화촉진취인 SAMP8에게 1년간 섭취시켰다. 총유리기, OH radical, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 농도 그리고 TBARS 농도 모두 가령에 따라 증가하였으며, 김치섭취시 유의적으로 감소되었다(p<0.05). 김치군에 있어서 생성된 유리기를 제거하기 위해 항산화계 효소인 SOD, catalase, GSH-px 그리고 GSH/GSSG는 모든 김치군에서 유의적으로 증가하였다(p<0.05). 따라서 김치섭취는 먼저 가령에 의해 생성되는 유리기의 생성을 억제시키면서, 둘째 이를 제거하기 위한 항산화계 효소 활성은 더욱 활성화시키므로써 항노화 기능을 발휘한다고 생각된다. 김치종류 중에서는 배추갓김치와 갓김치가 배추김치보다 유리기 생성을 억제하고, 항산화계 활성을 증진시킨 것으로 보아 이들의 항노화 효과가 클 것으로 생각된다.

## 감사의 글

본 연구는 교육부의 향토산업기반 거점 전문대학 육성 연구비 및 1999년 농림수산부의 농림수산물 특장연구사업 연구비 지원의 일부로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

## 문 헌

1. Yang, J.S. : A study on the oxygen free radical related substances in senescence accelerated mouse. *M.D. Thesis*, Seoul National Univ., Seoul, Korea (1989)
2. Harman, D. : The aging process. *Proc Natl Acad Sci. USA*, **78**, 7124-7128 (1981)
3. Harman, D. : Free radical theory of aging - The free radical disease-. *Aging*, **7**, 111-131 (1984)
4. Turrens, J.F. and Boveris, A. : Generation of superoxide anion by the NADH dehydrogenase of bovine heart mitochondria. *Biochem. J.*, **191**, 421-427 (1980)
5. Richard, G.C. : Antioxidants and aging. *Am. J. Clin Nutr.*, **53**, 373s-379s (1991)
6. Hyun, S.C., Sung, S.K., Woong, C., Seong, H.K., Sung, J.J., Rhyna, H., Young, H.C., Young, J.L., Chan, W.P., Kwang, W.L. and Yoo, H.S. : Age-related changes of mRNA expression of amyloid precursor protein in the brain of senescence-accelerated mouse. *Comp. Biochem. Physiol.*, **112B**, 399-404 (1995)
7. Ansari, K.A., Kaplan, E. and Shoeman, D. : Age-related changes in lipid peroxidation and protective enzymes in the central nervous system. *Growth Dev. Aging*, **53**, 117-121 (1989)
8. Kwon, M.J. : Antiatherogenic effect of *baechu kimchi*. *M.D. Thesis*, Pusan National Univ., Busan, Korea (1998)
9. Hwang, J.H. : Antioxidative activities of anthocyanins from

- red leaf mustard (*Brassica juncea* Coss. var. *integrifolia*). *M.D. Thesis*, Pusan National Univ., Busan, Korea (2002)
10. Kim, H.J. : Antiatherogenic effect of solvent fraction of cabbage *kimchi* in rabbit. *M.S. Thesis*, Pusan National Univ., Busan, Korea (2000)
11. Hwang, J.W. : The effect of solvent fraction of *kimchi* on plasma lipid concentration of rabbit fed cholesterol diet. *M.S. Thesis*, Pusan National Univ., Busan, Korea (1999)
12. Ryu, B.M. : Effect of *kimchi* on inhibition of skin aging of hairless mouse. *M.D. Thesis*, Pusan National Univ., Busan, Korea (2000)
13. Cho, E.J. : A study on the standardization of ingredient ratios of Chinese cabbage *kimchi* and anticarcinogenic effect. *M.S. Thesis*, Pusan National Univ., Busan, Korea (1999)
14. Song, Y.O. and Moon, G.S. : Development of *kimchi* with differentiated taste and functional quality. Final report, Part I, Kimchi Research Institute at Pusan National University, Busan, Korea (2000)
15. Hyun, Y.A. : Preparation methods and fermentation characteristics of mustard leaf *kimchi*. *M.S. Thesis*, Pusan National Univ., Busan, Korea (2000)
16. Kim, J.H., Kwon, M.J., Lee, S.Y., Ryu, J.D., Moon, G.S., Cheigh, H.S. and Song, Y.O. : The effect of *kimchi* intake on production of free radicals and anti-oxidative enzyme activities in the liver of SAM. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **31**, 109-116 (2002)
17. Thomas, P., Herberl, D.G. and James, P.K. : Production of reactive oxygen by mitochondria from normoxic and hypoxic rat heart tissue. *Free Radical. Biol. Med.*, **13**, 289-297 (1992)
18. Phillip, C.C., Benon, H. and Bielski, J. : Enzyme-catalyzed free radical reactions with nicotinamide adenine nucleotides. *J. Biol. Chem.*, **249**, 1317-1319 (1974)
19. Barry, H. and John, M.C. : Formation of a thiobarbituric acid-reactive substance from deoxyribose in the presence of iron salts. *FEBS LETTERS*, **128**, 347-352 (1981)
20. PUNCHARD, N.A. and Kelly, F.J. : *Free Radicals*. IRL press, New York, Tokyo, p.125-128 (2000)
21. Gaitonide, M.K. : A spectrophotometric method for the direct determination of cysteine in the presence of other naturally occurring amino acids. *Biochem. J.*, **104**, 627 (1967)
22. Oyanagui, Y. : Reevaluation of assay methods and establishment of kit for superoxide dismutase activity. *Anal. Biochem.*, **41**, 290-291 (1948)
23. Aebi, H. : Catalase *in vitro*. In *Methods in Enzymology*. Academic press, Orlando, Florida, Vol. 105, p.121-126 (1984)
24. Lawrence, R.A. and Burk, F. : Glutathione peroxidase activity in selenium-deficient rat liver. *Biochem. Biophys. Res. Comm.*, **71**, 952-958 (1976)
25. Farooqui, M.Y.H., Day, W.W. and Zamorano, D.M. : Glutathione and lipid peroxidation in the aging rat. *Comp. Biochem. Physiol.*, **88B**, 177-180 (1987)
26. Ji, L.L., Dillon, D. and Wu, E. : Alteration of antioxidant enzymes with aging in rat skeletal muscle and liver. *Am. J. Physiol.*, **258**, R918-R923 (1990)
27. Yang, S.Y., Choi, K.O., Sohn, S.H., Ahn, B.W., Lee, M.W. and Kim, Y.P. : Changes in oxidative status and antioxidant activity of rat skin homogenates with age. *Gerontol.*, **2**, 111-117 (1992)
28. Park, M.H., Choi, K.W., Chang, K.S. and Cho, S.H. : Effect of dietary fish oil on lipid peroxidation in rat liver and brain during postnatal development. *Nutritional Sciences*, **20**, 111-121 (1987)
29. Youdim, K.A. and Deans, S.G. : Dietary supplementation of thyme (*Thymus vulgaris* L.) essential oil during the life time

- of the rat: its effects on the antioxidant status in liver, kidney and heart tissues. *Mechanisms of Aging and Development*, **109**, 163-175 (1999)
30. William, C., Rajindar, O. and Sohal, S. : Extention of life-span by over-expression of superoxide dismutase and catalase in *Drosophila melanogaster*. *Science*, **263**, 1128-1130 (1994)
  31. Liu, J. and Mori, A. : Age-associated changes in superoxide dismutase activity, thiobarbituric acid reactivity and reduced glutathione level in the brain and liver in senescence accelerated mice (SAM): a comparison with ddY mice. *Mechanism of Aging and Development*, **71**, 23-30 (1993)
  32. Jeong, H.Y. : Aging·Free radical·Arteriosclerosis. *Life Science*, **1**, 2-14 (1991)
  33. Mavelli, I., Ciriolo, M.R., Rotilio, G., De Sole, P., Castorino, M. and Stabile, A. : Superoxide dismutase, glutathion peroxidase and catalase in oxidative hemolysis -A study of Fanconi's anemia erythrocytes. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **106**, 286-290 (1982)
  34. Kiozumi, A., Weindruch, R. and Walford, R.L. : Influences of dietary restriction and age on liver enzyme activities and lipid peroxidation in mice. *J. Nutr.*, **117**, 361-367 (1987)
  35. Park, S.N. : Effects of flavonoids and phenolic compounds on biological mechanisms associated with reactive oxygen species. *M.D. Thesis*, Seoul National Univ., Seoul, Korea (1989)
  36. Lee, K.S. and Lee, S.J. : Effects of heated oil on lipid peroxidation in rat liver. *Nutritional Sciences*, **20**, 15-24 (1987)

(2001년 11월 17일 접수; 2002년 1월 10일 채택)