

감마선 조사 전 홍삼추출물 투여가 생쥐 신장에서 항산화 효소활성과 지질과산화 수준에 미치는 영향

김동조 · 장재철
군산대학교 화학과
(1993년 11월 15일 접수)

The Effects of Red Ginseng Extracts on Antioxidant Enzyme Activities and Lipid Peroxidation of the Kidney in γ -Postirradiated Mice

Dong-Jo Kim and Che-Chul Chang

Department of Chemistry, Kun San National University, Kunsan, Korea

(Received November 15, 1993)

Abstract □ The effects of red ginseng extracts (5.5 mg/mouse; i.p.) on the activities of antioxidant enzymes (superoxide dismutase, catalase and peroxidase) and lipid peroxidation were studied in the cytosol fraction of kidney. The experiments were carried out with whole-body irradiated (6.0 Gy, ^{60}Co) and non-irradiated ICR mice. In the red ginseng extract-treated and irradiated mice, the activities of Cu,Zn-SOD, Mn-SOD, catalase and peroxidase were significantly enhanced by 27.8, 31.9, 17.9 and 15.0%, respectively, but the contents of malondialdehyde were considerably decreased (81.0%) after 21 days, compared with those of non-treated mice. The enhanced activities of antioxidant enzymes inhibited the increase of malondialdehyde product resulted from the ionizing radiation. These results suggest that red ginseng extracts probably play an important role in radioprotective effect.

Key words □ Red ginseng, SOD, catalase, peroxidase, lipid peroxidation.

서 론

동물체에 전리 방사선이 조사되면 신체적, 유전적인 방사선 장애가 발생되며, 이러한 장애는 산소에 의하여 촉진되는 것으로 알려져 있다¹⁾. $\cdot\text{OH}$ 의 형성에 필요한 O_2^- 은 전리 방사선에 의해 발생되어 세포, 조직, DNA 등의 장애 및 괴사에 결정적 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 생체에서 방사선 조사 등의 외적요인^{2,3)}에 의하여 생성된 유리기들이 세포막의 불포화 지방산을 포함한 지질에 작용하면 여러 연쇄반응을 통하여 지질의 과산화 반응이 촉진되고^{4,5)}, 지질과산화의 최종 산물인 malondialdehyde(MDA)의 함량이 증가되어 세포의 산화적 손상이나 세포막 구성물질들의 절단과 중합을 야기시킴으로써 본래의

세포막 특성이 변화되어 돌연변이와 유전병, 암 유발 등 여러 질병의 발생빈도가 증가되고^{6,7)}, 생체의 노화도 촉진⁸⁾되는 것으로 보고된 바 있다. Free radical의 유해에 대하여 생체는 자신을 보호할 수 있는 기능을 가지고 있는데, 그 방어기전은 활성 산소의 발생을 억제하는 기능⁹⁾과 생성된 활성 산소들을 제거하는 기능이 있는데 catalase, peroxidase, glutathione peroxidase들은 지질 hydroperoxide(ROOH)나 H_2O_2 를 분해시키므로써 alkoxyl radical($\text{RO}\cdot$)이나 hydroxyl radical($\cdot\text{OH}$)과 같은 지질과산화를 유도하는 활성 산소의 생성을 억제시키며^{10,11)}, superoxide dismutase(EC 1.15.1.1, SOD)나 tocopherol¹²⁾ 등은 free radical을 제거하는 기능을 가지고 있다¹³⁾. 특히, SOD는 세포내에 생성된 O_2^- 를 H_2O_2 로 전환시키는

효소로서¹⁴⁾ 알려져 있다.

한편, SOD 등 항산화 효소들의 활성 변화와 지질 과산화와의 상호 관련성에 대한 많은 연구에서 지질 과산화의 생체내 수준이 SOD 활성과 밀접한 관계가 있는 것으로 밝혀졌으며⁷⁾, 실험동물에 구리결핍 식이¹⁵⁾, caffeine 투여⁴⁾, paraquat 투여¹⁶⁾ 등을 처리했을 때 지질과산화 수준은 생체내 free radical의 생성 증가 및 SOD 등 항산화 효소들의 활성 감소로 인해 촉진되는 것으로 밝혀졌다. 방사선에 의한 손상으로부터 생체를 보호할 수 있는 물질로서는 cystamine과 cystein 등^{17, 18)}이 알려져 있다. 방사선에 대한 저항성, DNA, 단백질, 조혈 장기 그리고 세포막 등에 관한 연구가 시도되어, 방사선 방어기전은 방사선 조사로 생성되는 유리기들의 작용을 억제하거나 유리기들에 의한 장애의 회복 작용을 증강시키는 효과라고 밝혀지고 있으며^{19, 20)}, 최근에는 SOD나 인삼 등 생약의 방사선 방호작용에 대한 연구가 진행되고 있다. 오 등²¹⁾은 노화촉진 쥐에 인삼의 항산화 성분인 ginsenoside Rb₂를 투여하였을 때 ginsenoside Rb₂가 SOD 등의 항산화 물질의 생성을 촉진하여 지질과산화 산물인 MDA의 함량을 감소시키며, 활성 산소에 의한 조직의 공격을 방어하는 작용을 가지고 있다고 보고하였다. 본 실험실에서도 방사선과 인삼추출물의 관계를 밝히기 위한 연구로서 장²²⁾은 방사선만을 조사한 생쥐에서 적혈구, 백혈구 그리고 혈소판 등이 현저히 감소한 반면 인삼투여 및 방사선 처리군은 보다 빨리 회복된다고 보고하였고, 김²³⁾은 방사선 조사 후 홍삼추출물 투여군에서는 LDH를 제외한 ACP, ALP, GOT, GPT의 효소 활성이 방사선 조사 후 생리적 식염수 투여군에 비하여 보다 빠르게 회복되었음을 보고한 바 있다. 최근에는 감마선 조사 후 홍삼추출물 투여시 생쥐 간에서 각종 효소의 활성도를 측정하였으며²⁴⁾, 감마선 조사 전 투여된 홍삼이 생쥐간의 항산화 억제제와 지질과산화에 미치는 영향²⁵⁾ 등을 연구하였다.

한편, 인체조직 중 방사선 감수성은 1~17 범위의 수치로 나타내며 크게 3부분으로 구분하는데 가장 민감한 부분은 조혈기와 생식선이며, 중간정도는 간(10), 신장(9)과 같은 조직이며, 감수성이 낮은 것은 연골 계통으로 알려져 있다²⁶⁾.

이에 본 연구에서는 위와 같은 연구를 토대로 하여 방사선 감수성이 조직들중의 중간 정도인 신장을 이

용하여 감마선 조사 전 홍삼추출물의 투여가 생쥐 신장에서 항산화 물질인 Cu,Zn-SOD, Mn-SOD, catalase 및 peroxidase의 활성도와 이들과 관련이 있는 지질과산화의 최종 산물인 malondialdehyde(MDA) 함량과의 상호 관련성을 비교하여 인삼의 방사선 방호와 회복작용에 미치는 영향을 검토하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

시약 : Superoxide dismutase, sodium deoxycholate, potassium cyanide, peroxidase, thiobarbituric acid, sodium dodecyl sulfate, xanthine, ABTS[2,2'-azino-bis(3-ethyl-benzthiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt], 1,1,3,3-tetramethoxypropane, sucrose, ethylenediaminetetraacetic acid(EDTA), xanthine oxidase, cytochrome c, bovine serum albumin 등은 Sigma사 제품을 사용하였으며, 그외의 일반 시약들은 특급 또는 1급을 사용하였다.

실험동물 : 실험동물은 녹십자(주) 지정 사육소에서 분양받은 ICR계의 수컷 생쥐를 실험동물용 사료(제일제당 마우스용)로 일주일간 사육, 적응시킨 후, Table 1과 같이 분류하여 실온이 20~26°C로 유지되는 사육실에서 물과 식이를 자의로 먹게하여 사육한 것 중 체중이 20~25 g의 생쥐를 사용하였다.

2. 실험방법

실험동물 처리 : 실험군은 Table 1과 같이 생리적

Table 1. Experimental design

Group*	Amount of Ginseng extract injected (mg/mouse)	Amount of irradiation (Gy/mouse)
Control	—	—
Ginseng (GIN)	5.5	—
SAL+RAD	—	6.0
GIN+RAD	5.5	6.0

*Control : Saline (SAL : 0.1 ml) was intraperitoneally (i.p.) injected.
 Ginseng : Red ginseng extract (0.1 ml) was only i.p. injected.
 SAL+RAD : Saline (0.1 ml) was i.p. injected at 24 hr before irradiation.
 GIN+RAD : Red ginseng extract (0.1 ml) was i.p. injected at 24 hr before irradiation.

식염수 투여군을 대조군으로 하여 홍삼추출물 투여군, 생리적 식염수 투여 후 방사선 조사군 그리고 홍삼추출물 투여 후 방사선 조사군 등 4가지로 분류하였으며, 홍삼추출물 투여는 한국전매공사에서 제조 시 판하는 고려 홍삼정을 구입하여 생리적 식염수에 녹인 후 마리당 5.5 mg/0.1 ml씩 복강내로 주사하였다. 감마선 조사는 생리적 식염수 또는 홍삼추출물 투여 24 시간 후에 ⁶⁰Co gamma선원을 이용하여 6.0 Gy(1.10 Gy/min)를 1회 전신 조사하였다.

이와 같이 감마선을 조사한 후 1, 3, 7, 14일, 그리고 21일째에 실험군당 16시간 절식시킨 생쥐를 5마리씩 경추 탈구로 희생시켜 신장을 적출하여 무게를 잰 다음, sucrose/EDTA(0.25 M/1 mM) 냉용액에 넣어 세절하고 세번 수세하여 혈액을 제거하였으며, 상기 용액 내에서 마쇄기로 분쇄(10,000 rpm, 3분)한 후 10% 균질액을 만들어 원심분리(1,000 x g, 5분)하여 얻어진 상등액을 취해 효소활성 및 지질과산화 함량의 측정시료로 사용하였으며, 이상의 모든 조작은 4°C 이하에서 실시하였다.

효소활성도 측정 : SOD 활성도는 Crapo 등²⁷⁾의 방법에 의하여 측정하였다. Catalase 활성도 측정은 Aebi 방법²⁸⁾에 따라 측정하였으며, peroxidase의 활성도는 Putter와 Becker 방법²⁹⁾으로 측정하였다.

측정시료의 단백질 농도는 bovine serum albumine을 표준단백질로 하여 Lowry법³⁰⁾에 의하여 측정하였다. 측정시료의 과산화지질의 정량은 Ohkawa 방법³¹⁾을 사용하여 thiobarbituric acid 반응물질을 측정하였다.

본 실험의 모든 결과는 각 실험군의 평균과 표준편차를 계산하여 student t-test에 의하여 실험군간의 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 효소의 활성도 변화

홍삼추출물이 방사선 방호작용에 미치는 영향을 알아보기 위해 생쥐에 홍삼추출물을 투여하고 24시간 후에 감마선을 조사하여 신장에서 항산화 효소인 SOD, catalase 그리고 peroxidase 활성도를 측정한 결과는 다음과 같다.

감마선을 조사하지 않은 생쥐에서 홍삼추출물의 투여는 catalase를 제외한 Cu, Zn-SOD, Mn-SOD 그

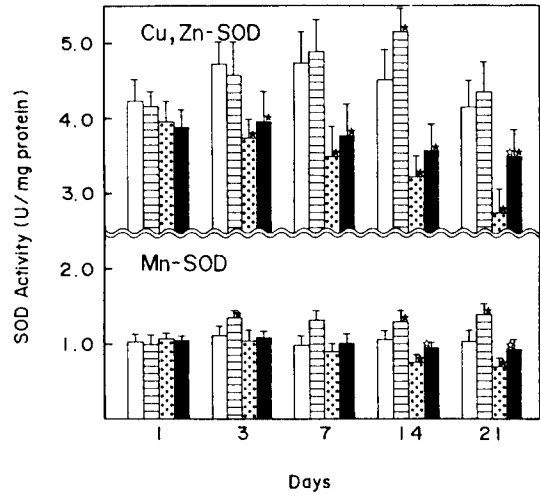


Fig. 1. The changes in superoxide dismutase activities in mouse kidney after treatment with red ginseng extract and/or radiation.

□, Control; ▨, red ginseng extract-treated; ▤, irradiated; ■, red ginseng extract-treated and irradiated.

★, p<0.05 against control.

☆, p<0.05 against irradiated group.

리고 peroxidase는 대조군에 비하여 초기에 그 활성이 약간 감소한 후 점차 증가하여 1주일 후에는 Cu, Zn-SOD, Mn-SOD, peroxidase 그리고 catalase 모두 대조군 보다 높은 활성도를 나타냈다. SOD를 제외한 catalase나 peroxidase는 대조군에 대하여 유의적인 차이는 없었으며, 홍삼추출물 투여로 인하여 초기에 활성이 감소되는 이유는 확실하지는 않으나 대부분의 방사선 방호제들은 SOD를 포함한 대부분의 효소활성에 대하여 직접적인 저해효과가 있다는 보고¹⁷⁾를 고려하여 볼 때 홍삼추출물의 투여는 초기에는 SOD 작용을 억제한 것으로 보이나 항산화 효소들의 활성이 빠르게 회복되는 것으로 보아 효소들이 비활성화된 것은 아니라고 생각된다.

감마선을 조사한 생쥐에서의 Cu,Zn-SOD 활성은 Fig.1과 같이 생리적 식염수 투여 후 방사선 조사군과 홍삼추출물 투여 후 방사선 조사군 모두 감마선 조사 후 1일부터 감소하여 생리적 식염수 투여 후 방사선 조사군은 21일에 Cu,Zn-SOD 활성이 대조군의 65.8%로 최저치를 보였으나, 홍삼추출물 투여 후 방사선 조사군은 14일에 최저치(78.9%)를 보임으로써 생리적 식염수 투여 후 방사선 조사군 보다 그 감소 폭이

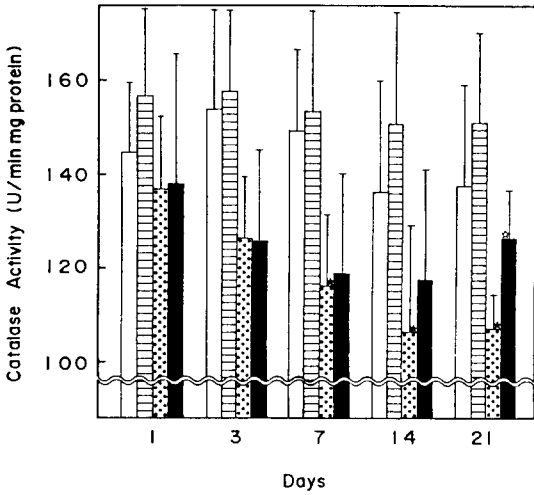


Fig. 2. The changes in catalase activities in mouse kidney after treatment with red ginseng extract and/or radiation. Bar symbols are the same as described in Fig. 1.

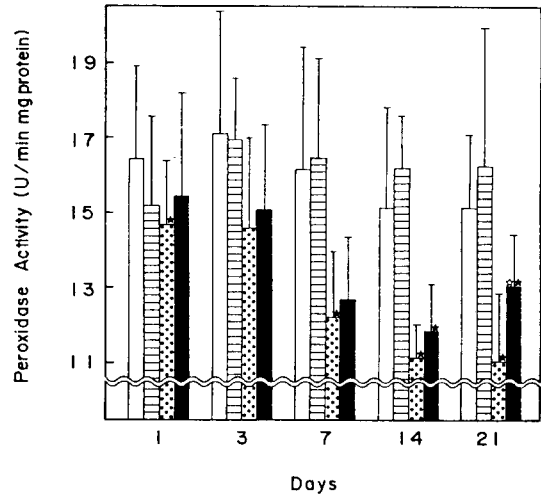


Fig. 3. The changes in peroxidase activities in mouse kidney after treatment with red ginseng extract and/or radiation. Bar symbols are the same as described in Fig. 1.

적었으며, 그 후 점차 회복하는 경향을 보여 21일에는 생리적 식염수 투여 후 방사선 조사군 보다 27.8%의 높은 활성 증가를 나타냈다. Mn-SOD 활성은 Cu,Zn-SOD의 활성도 변화와 유사한 경향을 보였으며, 생리적 식염수 투여 후 방사선 조사군, 홍삼추출물 투여 후 방사선 조사군 모두 21일에 각각 대조군 활성도에 비해 67.0%, 88.3%로 회복하는 경향을 보였으며, 홍삼추출물 투여군이 생리적 식염수 투여군보다 그 활성이 31.9% 높았다.

생체내의 H₂O₂를 H₂O와 O₂로 분해하는 catalase나 peroxidase의 활성변화는 생리적 식염수 투여 후 방사선 조사군 모두 초기부터 감소하였으며, 대조군에 대하여 14일에 catalase는 77.8% 그리고 peroxidase는 73.3%로 가장 낮은 활성을 보였고, 감마선 조사 전 홍삼추출물 투여군에서는 초기에는 그 활성이 감소하여 대조군에 대하여 catalase는 7일에 79.4%, peroxidase는 14일에 78.3%로 최저치를 보인 후 점차로 증가하는 현상을 보여 21일에는 생리적 식염수 투여 후 방사선 조사군 보다 catalase는 17.9%, peroxidase는 15.0%의 활성 증가를 보였다(Fig 2, 3).

Krizala 등¹⁷⁾은 흰쥐에 반 치사선량의 감마선을 조사시켰을 때 간이나 골수에서의 SOD 활성은 장기간 현저히 감소하였으나 골수세포당 SOD 활성은 증가되었다고 보고하였다. 반면, 0.5 Gy의 X선을 조사받은

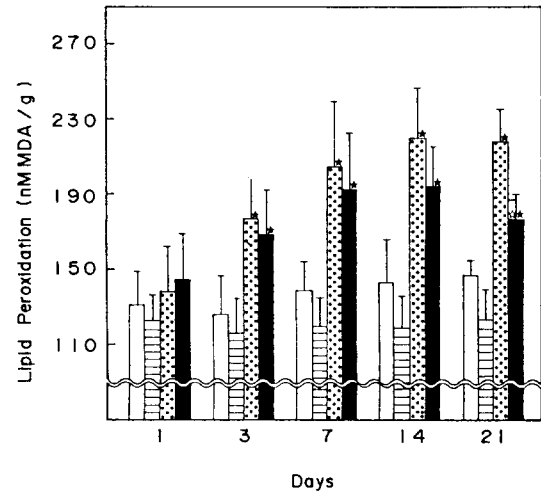


Fig. 4. The changes in lipid peroxidation value in mouse kidney after treatment with red ginseng extract and/or radiation. Bar symbols are the same as described in Fig. 1.

흰쥐의 간이나 뇌에서의 SOD 활성은 대조군에 대하여 초기에 유의성 있게 증가하였으며, 이러한 증가는 장기간 계속되고, 이는 O₂⁻의 생성증가에 따른 생체의 방어기전에 의한 결과라는 상반된 주장²⁾이 있는데, 그 이유는 조사 선량의 차이 때문이라 생각된다. 또한 Balevska 등¹⁵⁾은 흰쥐에 구리 결핍식을 먹인 후,

Cu, Zn-SOD 활성이 저하된 이유는 구리 결핍으로 인한 결과이며, catalase와 glutathione peroxidase의 활성이 저하된 이유는 hemoglobin 합성능 등이 저하되었기 때문이라 주장하였다. 본 실험에서 급성 방사선 장애로 인한 항산화 효소들의 활성 저하는 장기간 계속되는 것으로 보이는데 이는 방사선 조사로 인하여 신장의 기간 세포들이 파괴되었기 때문이며, 감마선 조사 전 홍삼추출물의 투여군에서 항산화 효소들의 활성도 감소율이 적고 빠르게 회복되는 것은 방사선 조사로 생성이 증가된 free radical들을 인삼의 항산화 활성 성분에 의해 생성이 촉진된 항산화 효소들이 제거하며, Takeda 등³²⁾의 주장과 같이 방사선에 손상된 기관들의 회복능력을 인삼성분이 강화시켜 주었기 때문이라 생각된다. 그리고 방사선 조사에 대하여 SOD보다는 catalase나 peroxidase의 활성이 빠르게 회복되는 것으로 보아 방사선 장애에 대한 생체의 방어기전에 있어서 H_2O_2 나 hydroxyl radical을 제거하는 catalase나 peroxidase의 작용이 O_2^- 를 H_2O_2 로 전환하는 SOD의 작용보다 우선하는 것을 시사한다 하겠다.

2. 항산화 효소의 활성변화가 지질과산화 수준에 미치는 영향

방사선 조사로 인하여 생성된 free radical의 비효소적 반응에 의하여 야기되는 세포막 지질과산화의 최종 산물인 MDA 함량변화는 방사선을 조사하지 않은 생쥐에서 홍삼추출물의 투여로 신장에서의 MDA 함량이 방사선 조사 후 초기부터 감소하는 경향을 보여 21일에는 대조군의 83.7%로 감소되었으나, 유의적인 차이는 없었다. 그러나 방사선을 조사한 생쥐에서의 MDA 함량은 방사선 조사 전의 생리적 식염수 투여군이나 홍삼추출물 투여군 모두 1일부터 증가하여 대조군에 대하여 생리적 식염수 투여군은 14일에 최고치(154.2%)를 보였으나, 홍삼추출물 투여군은 7일에 최고치(138.8%)를 보인 후 점차 감소하는 경향을 보여 21일에는 생리적 식염수 투여군의 81.9%로 유의성 있는 차이를 나타내었다. 이러한 결과는 인삼의 항산화 활성성분이 3-methylcholanthrene (MCA) 등으로 유발된 생쥐의 피부암 진전을 감소시켰으며, 이는 인삼의 과산화수소산이 발암과정 중 free radical로 야기되는 여러 반응을 억제시켰다는 김 등³³⁾의 주장과 비슷한 경향이었다. 생체에서의 지질과산화는 항산화 효소들의 활성변화와 밀접한 관계가 있는

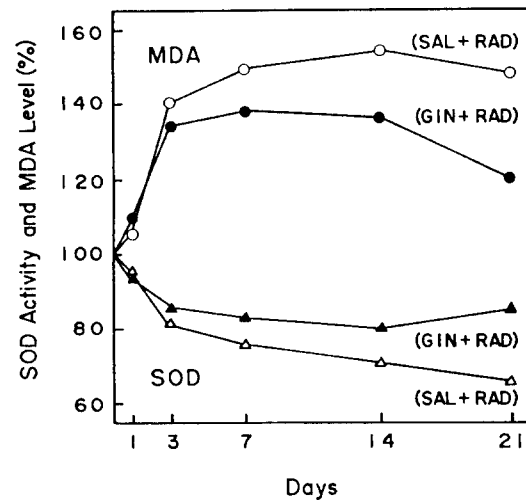


Fig. 5. Changes in SOD activity and lipid peroxidation as affected by irradiation and red ginseng extracts pretreatment.

것으로 밝혀지고 있는데, Yamaoka 등²⁾은 흰쥐에 0.5~2.0 Gy의 X선을 전신 조사하였을 때 뇌와 간에서의 SOD 활성은 30~50% 증가하였으며, lipid peroxidase의 수준은 20~30% 감소되었다고 보고하였으며, 오 등²¹⁾은 노화 촉진 마우스(SAM)에 ginsenoside Rb₂를 투여한 결과 간에서의 MDA 함량이 감소됨을 관찰하고, 이는 SOD 및 catalase와 같은 항산화 효소들의 활성증가에 기인한 것이라고 주장한 바 있다.

본 실험에서도 Fig. 5와 같이 방사선 조사로 인하여 SOD 활성도는 초기부터 점차 감소하였으나 MDA 함량은 SOD 활성변화와 비슷한 경향으로 증가됨을 보였으며, 홍삼추출물 투여 후 감마선 조사군에서도 생리적 식염수 투여군에 비하여 SOD 활성도의 감소 폭이 둔화되었고, 회복시기도 빠르게 나타남에 따라 MDA 함량도 SOD 활성변화와 비슷한 경향으로 회복됨을 나타냈는데 이는 홍삼추출물에 항산화 활성 성분이 존재하는 것을 시사한다. 또한, catalase나 peroxidase 활성변화가 MDA 함량에 미치는 영향도 SOD와 비슷한 양상을 보였다(Fig. 6, 7). 본 실험에서 감마선 조사 후에 MDA 함량이 증가되었는데 이는 항산화 효소들이 활성이 저하된 것을 볼때 방사선 조사로 생성이 촉진된 O_2^- 나 H_2O_2 를 항산화 효소들이 제거하지 못함에 따라 이러한 유리기들이 산소 존재 하에 생체내 여러 반응이 촉진되므로서 생성된 hyd-

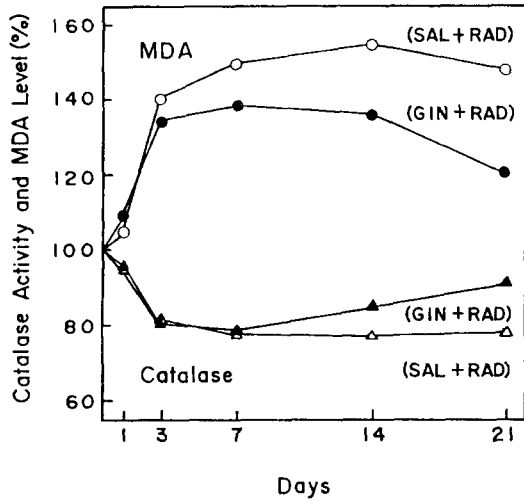


Fig. 6. Changes in catalase activity and lipid peroxidation as affected by irradiation and red ginseng extracts pretreatment.

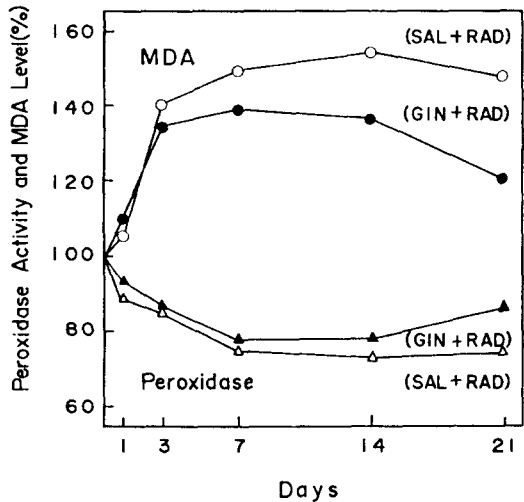


Fig. 7. Changes in peroxidase activity and lipid peroxidation as affected by irradiation and red ginseng extracts pretreatment.

roxyl radical에 의한 것으로 생각되며, 이러한 결과는 간 종양에서 SOD 활성감소는 산화적 스트레스를 야기시킬 수 있고 세포막내 지질과산화를 유발시킬 수 있다는 Bartoli 등의 가설과 일치되는 것이라 하겠다.

요 약

생쥐에 5.5 mg의 홍삼추출물을 투여한 후 6.0 Gy의 감마선을 전신 조사하여 생쥐 신장에서의 항산화 효소들(superoxide dismutase, catalase, peroxidase)의 활성도와 지질과산화 수준의 변화를 측정 비교하여 이들의 상호 관련성과 인삼성분이 방사선 방어작용에 미치는 영향을 검토하였다. 방사선 조사로 인하여 superoxide dismutase, catalase 그리고 peroxidase의 활성은 계속적으로 감소하였으나 홍삼추출물 투여군은 방사선 조사 후 21일에 생리적 식염수 투여군보다 Cu, Zn-SOD(27.8%), Mn-SOD(31.9%), catalase(17.9%) 그리고 peroxidase(15.0%)의 활성이 증가되었으며, 또한 방사선 조사로 인하여 상승되는 지질과산화의 함량이 억제되었다(81.0%). 이러한 결과는 인삼성분이 방사선 조사로 인하여 생성이 촉진된 free radicals를 제거시킴으로서 지질과산화물의 생성을 억제시켰거나 방사선에 의하여 손상된 기관들의 회복능력을 강화시킨 결과로 보이며, 이는 인삼이 방사선 장애에 대하여 회복 또는 방호효과가 있음을 보여주는 것이라 생각된다.

인 용 문 헌

1. Tubiana, M., Dutreix, J. and Wambersie, A. : In *Radiobiology*, Hermann, ed., Paris (186).
2. Yamaoka, K., Edamatsu, R. and Mori, A. : *Free. Radic. Biol. Med.*, **11**, 299 (1991).
3. Matsunaga, K. and Furchgott, R.F. : *J. Pharmacol. Exp. Ther.*, **259**, 1140 (1991).
4. Diluzio, N.R. : *Fed. Proc.*, **32**, 1875 (1973).
5. Klimek, J., Schaap, A.P. and Kimura, T. : *Biochem. Biophys. Acta*, **752**, 127 (1983).
6. Schraufstatter, I., Hyslop, P.A., Jackson, J.H. and Cochrane, C.G. : *J. Clin. Invest.*, **82**, 1040 (1988).
7. Bartoli, G.M., Giannattasio, B.G., Palozza, P. and Cittadini, A. : *Biochem. Biophys. Acta*, **966**, 214 (1988).
8. Muscaris, C., Caldarera, C.M. and Guarnieri, C. : *Basic. Res. Cardiol.*, **85**, 172 (1990).
9. Fridovich, I. : *J. Biol. Chem.*, **264**, 7761 (1989).
10. Halliwell, B. : *Cell. Biol. Int. Rep.*, **6**, 529 (1982).
11. Greenwald, R.A. and Cohen, G. eds. : *Oxygen Radicals and their Scavenger System*. New York. Elsevier Science Publishing Co, p.173 (1983).

12. Combs, G.F.Jr. and Scott, M.L. : *J. Nutr.*, **104**, 1297 (1974).
13. Misra, H.P. and Fridovich, I. : *J. Biol. Chem.*, **249**, 2151 (1974).
14. McCord, J.M., Keele, B.B.Jr. and Fridovich, I. : *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, **68**, 1024 (1971).
15. Balevska, P.S., Russavanov, E.M. and Kassabanova, T.A. : *J. Biochem.*, **13**, 489 (1981).
16. Hassan, H.M. and Fridovich, I. : *J. Biol. Chem.*, **253**, 8143 (1978).
17. Krizala, J., Stocklasova, A., Kovarova, H. and Ledvina, M. : *Radiat Res.*, **91**, 507 (1982).
18. Lipecka, K., Lipinski, S. and Kanski, M. : *Stud. Biophys.*, **68**, 52 (1978).
19. Lavell, F., McAdam, M.E., Fielden, M.E., Roberts, P.B., Puget, K. and Michelson, A.M. : *Biochem. J.*, **161**, 3 (1977).
20. Krizala, J., Kovarova, H., Kratochvilova, V. and Ledvina, M. : *Biological and Clinical Aspects of Superoxide and Superoxide Dismutase*. Bannister, W.H. and Bannister, J.V. Elsevier/Noth-Holland. New York/Amsterdam/Oxford, p. 327 (1980).
21. 오미현, 정해영, 양한석, 김규원, 정한영, 오우라히코 끼치, 요코자와다카모 : *한국생화학회지*, **25**(5), 492 (1992).
22. 장재철 : *군산대학교 자연과학연구소 논문집*, **5**, 199 (1990).
23. 김동윤 : *군산대학교 석사학위 논문* (1991).
24. Chun, C. and Chang, J.C. : *Kor. J. Ginseng. Sci.*, **17**(1), 29 (1993).
25. Park, Y.S., Kim, Y.G., Chang, J.C. and Kim, D.Y. : *Kor. Biochem. J.*, **26**(2), 184 (1993).
26. Eric, J.H. : *Radiobiology for the Radiologist*, Lippincott, New York, p. 91 (1990).
27. Crapo, J.D., McCord, J.M. and Fridovich, I. : *Methods in Enzymology*, **53**, Academic Press, New York, p. 382 (1978).
28. Aebi, H.E. : *Methods of Enzymatic Analysis*. Bergmeyer, H.U. ed. Third edition. Vol. 3. Verlag. Chemi. Weinheim, p. 273 (1982).
29. Putter, J. and Becker, R. : *Methods of Enzymatic Analysis*. Bergmeyer, H.U. ed., Third edition. Vol. 3. Verlag. Chemi. Weinheim, p. 286 (1982).
30. Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.J. : *J. Biol. Chem.*, **193**, 265 (1951).
31. Okawa, H., Ohishi, N. and Yagi, K. : *Analytical Biochem.*, **95**, 351 (1979).
32. Takeda, A., Yonezawa, M. and Katoh, N. : *J. Radiat. Res.*, **22**, 323 (1981).
33. Kim, H.Y., Lee, Y.H. and Kim, S.I. : *Kor. Biochem. J.*, **22**(1), 12 (1989).