

음양곽의 예쁜꼬마선충 내의 항산화 효과

김준형 · 안창완 · 김영지 · 노윤정 · 김수진 · 황인현 · 전 훈 · 차동석 · 신태용 · 김대근*
우석대학교 약학대학

Anti-oxidative Effect of Epimedii Herba in *Caenorhabditis elegans*

Jun Hyeong Kim, Chang Wan An, Yeong Jee Kim, Yun Jeong Noh, Su Jin Kim, In Hyun Hwang, Hoon Jeon, Dong Seok Cha, Tae-Yong Shin and Dae Keun Kim*
College of Pharmacy, Woosuk University, Jeonju, Jeonbuk 55338, Korea

Abstract – To know the anti-oxidative effect of Epimedii Herba (Berberidaceae), the methanol extract of this plant was investigated by using a *Caenorhabditis elegans* model system. The methanol extract of this plant showed relatively significant DPPH radical scavenging and superoxide quenching activities. The ethyl acetate soluble fraction of Epimedii Herba (EHE), which showed the most potent DPPH radical scavenging and superoxide quenching activities, was tested on its effects on superoxide dismutase (SOD), catalase, intracellular ROS, and oxidative stress tolerance in *Caenorhabditis elegans*. Furthermore, in order to verify that regulation of stress-response genes is responsible for the increased stress tolerance of the EHE treated *C. elegans*, we checked SOD-3 expression using a transgenic strain. As a result, the EHE increased SOD and catalase activities of *C. elegans*, and reduced intracellular ROS accumulation in a dose-dependent manner. Besides, EHE-treated CF1553 worms showed higher SOD-3::GFP intensity than that of non-treated controls.

Keywords – Epimedii Herba, *Caenorhabditis elegans*, Anti-oxidative effect, SOD, ROS

인간의 수명을 연장하기 위한 노력은 꾸준히 지속되고 있으며, 이에 대해서 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 노화와 관련된 많은 연구 중에서 아직도 많은 논란이 있으나 free radical 이론이 많은 부분에서 설득력을 가지고 있으며 이에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다.^{1,3)} 그 과정에서 hydroxyl radical($\cdot\text{OH}$), superoxide radical($\cdot\text{O}_2$), peroxy radical($\cdot\text{RO}_2$) 등과 같은 활성산소종(reactive oxygen species, ROS)이 세포의 구성 성분에 산화적 스트레스를 가하여 세포에 악영향을 끼쳐 세포 손상을 일으키고 노화를 촉진할 수 있다는 가능성이 제시되었으며, 세포 내의 미토콘드리아에서 호흡 대사과정 중 생성되는 일부 산소는 반응성이 높은 활성산소종이 될 수 있음이 보고되었다.^{4,5)} 나이가 증가할수록 세포 안에서 핵산, DNA, 단백질, 지질 등과 반응하는 활성산소종이 증가하고 이는 세포막의 손상과 더불어 미토콘드리아 등의 구조를 변형시켜 기능장애를 일으키고 노화, 심장질환, 암, 관절염 및 퇴행성 질환을 초래할 수 있다.^{6,7)} 이러한 활성산소종의 생성을 억제하거나 생성된 활성산소종을

소거하기 위한 생체 내의 방어기전으로 superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase, catalase 등의 효소가 존재하며,^{8,9)} 항산화 물질로는 영양소로서 항산화 작용이 우수한 vitamin A, C 및 E를 비롯하여 glutathione, uric acid, carotenoid 및 flavonoid 등과 같은 polyphenol성 물질이 알려져 있다. 노화가 진행될수록 oxidative stress로부터 인체를 보호하는 방어기전은 불완전해지기 때문에 건강을 유지하기 위해서는 외부에서 공급되는 vitamin A, C, E, carotenoid, polyphenol과 같은 항산화제의 공급이 필요하며, 부작용이 적고 강한 활성을 가지는 새로운 천연물 유래의 항산화제 개발이 필요하다.^{9,10)}

본 연구에서는 저자 등이 보신장양(補腎壯陽), 거풍제습(祛風除濕)의 효능이 있어 양위불거(陽痿不舉), 소변임력(小便淋瀝), 요슬무력(腰膝無力), 사지불인(四肢不仁) 등을 치료하는데 이용되어¹¹⁾ 온 음양곽(Epimedii Herba, Berberidaceae)의 methanol 추출물의 항산화 효능을 예쁜꼬마선충(*Caenorhabditis elegans*)을 이용하여 확인해 보고자 실험을 실시하였다. 음양곽 추출물의 용매 분획들로부터 DPPH free radical 및 superoxide 소거능을 측정하여 가장 강한 항산화능을 나타낸 ethyl acetate 분획에 대하여 선충 내의 항산화

*교신저자(E-mail): dkkim@woosuk.ac.kr
(Tel): +82-63-290-1574

효소인 SOD와 catalase의 활성과 세포 내의 활성산소종의 축적 억제 능력을 측정하였다. 또한, juglone으로 유도된 oxidative stress에 대한 저항능력을 확인하고 이와 관련된 선충 내의 oxidative stress에 저항하는 단백질의 증가여부를 SOD-3을 포함한 형질 전환 선충 CF1553을 이용하여 SOD 발현 유전자의 증가 여부를 확인하여 몇 가지 지견을 얻었다.

재료 및 방법

실험재료 - 실험에 사용한 음양곽은 2017년에 보화당(전주)에서 구입하여 김대근교수가 검증한 후 실험에 사용하였으며, 표준품은 우석대학교 약학대학 생약표본실에 보관하고 있다(WS-17-006).

추출 - 음양곽 600 g을 분쇄하여 methanol로 가끔 진탕하면서 50°C에서 5시간씩 2회 추출하였다. 그 추출액을 수욕상에서 감압농축하여 methanol 엑스 약 87 g을 얻었으며, 이 methanol 엑스를 증류수로 현탁시키고 상법에 따라 동량의 *n*-hexane(10.6 g), methylene chloride(5.2 g), ethyl acetate(6.3 g) 및 *n*-butanol(6.4 g)의 순으로 용매 분획하여 각각의 분획물을 얻었다.

DPPH free radical 소거활성 측정¹²⁾ - 시료를 ethanol로 용해하여 96 well plate에 각 농도 별로 조제한 용액에 13 μ M의 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH)을 일정량씩 가하였다. 10초간 진탕한 후 25°C에서 30분간 방치한 후 microplate reader를 이용하여 520 nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조약물은 L-ascorbic acid를 사용하였다. 항산화 효과는 시료를 첨가하지 않은 대조군의 흡광도와 비교하였다. 각 시료에 대하여 3회 반복하여 측정하였다.

Xanthin유래 superoxide 소거활성 측정¹³⁾ - Xanthine/xanthine oxidase에 의해 생성된 superoxide radical은 Thuong등의 방법에 따라 측정하였다. Nitro blue tetrazolium(NBT, 100 μ M), xanthine(250 μ M)을 포함하는 phosphate buffer(pH 7.8, 20 mM)와 시료를 함께 혼합하였다. 5분 후 xanthine oxidase(0.05 U/mL) 100 μ L를 넣고, 37°C에서 30분간 배양시킨 후 570 nm에서 흡광도를 측정하였다. Superoxide radical 소거 활성은 시료와 대조군의 NBT의 환원 정도를 비교하였다.

예쁜꼬마선충의 배양¹⁴⁾ - 예쁜꼬마선충(*Caenorhabditis elegans*, wild type)은 *Escherichia coli* OP50을 도말한 nematode growth medium(NGM) agar plate에서 배양하였다(20°C). 시료는 DMSO를 용매로 한 stock solution 상태로 멸균된 NGM plate(50°C)에 첨가되었으며, 최종 DMSO농도는 모든 상태에서 0.1%(v/v)를 유지하였다.

선충 체내의 항산화 효소 활성 측정^{15,16)} - 시료를 농도별로 조제한 plate에 성장 단계가 동일한 N2 선충을 배양하였다. 성체가 된 후 4일째에 선충을 모아 M9 buffer로 3회

세척 후 분쇄하여 효소활성 측정에 사용하였다(homogenization buffer: 10 mM Tris-HCl, 150 mM NaCl, 0.1 mM EDTA, pH 7.5). SOD 활성은 Ibrahim등의 방법을 응용하여 측정하였다. 먼저 10 mM phosphate buffer(pH 8.0)를 용매로 반응혼합물(1.6 mM xanthine과 0.48 mM NBT) 0.49 mL를 만든 뒤 농도별 시료 10 μ L와 37°C에서 5분간 pre-incubation시켰다. 그 후 xanthine oxidase 100 μ L(0.05 U/mL)을 첨가하고 37°C에서 20분 동안 incubation시킨 다음 69 mM SDS로 반응을 멈추고 570 nm에서 흡광도를 측정하였다. Catalase activity는 Aebi의 방법을 응용하여 25 mM H₂O₂에 농도별 시료 50 μ L를 3분 동안 반응시키고 240 nm에서 흡광도를 측정하였다.

선충 세포 내 활성산소종(ROS) 분석¹⁷⁾ - 선충 세포 내 활성산소종은 2',7'-dichlorodihydro fluorescein diacetate (H₂DCF-DA)를 사용하여 측정하였다. 성장 단계가 동일한 N2 선충을 시료를 농도별로 제조한 plate에서 배양하였다. 성체가 된 후 4일째 50 μ M juglone을 함유한 M9 buffer에 넣고 2시간 노출시킨 뒤 96 well plate에 담긴 50 μ L M9 buffer에 5마리씩 옮겼다. 마지막으로 50 μ M H₂DCF-DA 50 μ L를 첨가한 뒤 여기 485 nm, 방출 535 nm에서 흡광도를 각각 측정하였다.

Oxidative stress 저항성 평가¹⁸⁾ - 성장 단계가 동일한 선충을 각각의 농도별 plate에서 배양하여 사용하였다. Oxidative stress에 의한 내성은 기존 방법을 약간 변형하여 평가하였으며, 성체가 된 후 7일째에 일시적으로 선충을 1 mM juglone이 함유된 M9 buffer가 담긴 96 well plate에 옮기고 시간 별로 생존율을 확인하였다.

형질전환 선충 내 SOD-3::GFP 형광 측정 - 형질 전환된 선충으로 SOD-3::GFP를 포함한 CF1553을 농도별로 투여된 배지에 배양하였다. 성체가 된 후 4일째에 사용하였으며, 선충은 sodium azide(4%)로 마취시켰고 GFP 발현은 형광실체 현미경(Olympus, Japan)으로 관찰하였다. 발현강도를 정량, 분석하기 위해 현미경을 이용한 사진 촬영과 ImageJ 소프트웨어를 사용하여 분석하였다. 모든 실험은 3회 반복하였다.

통계 분석 - 통계 자료의 값은 평균값±표준오차(mean ± S.E.M.)로 표시하였다. 그룹 간의 통계적 유의성 검정은 Student's t-test를 통해서 분석하였고 선충의 연속적인 생존도는 Log-rank test분석 방법을 이용하였다. p값은 * p <0.05, ** p <0.01, *** p <0.001일 때 유의성이 있는 것으로 간주하였다.

결 과

DPPH radical 소거능 - 음양곽 분획 중에서 DPPH radical 소거 효과는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 ethyl acetate

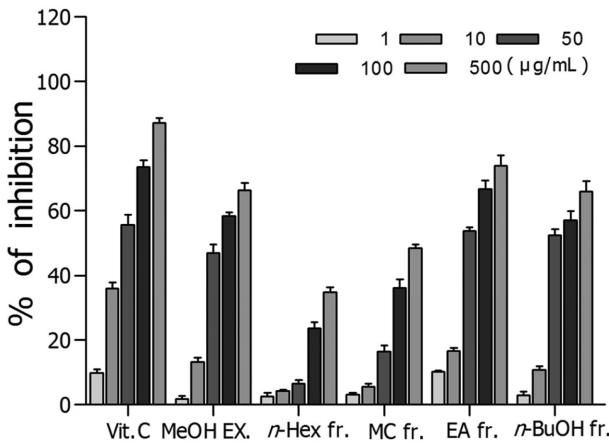


Fig. 1. DPPH radical scavenging effects of the methanol extract and its fractions of Epimedii Herba.

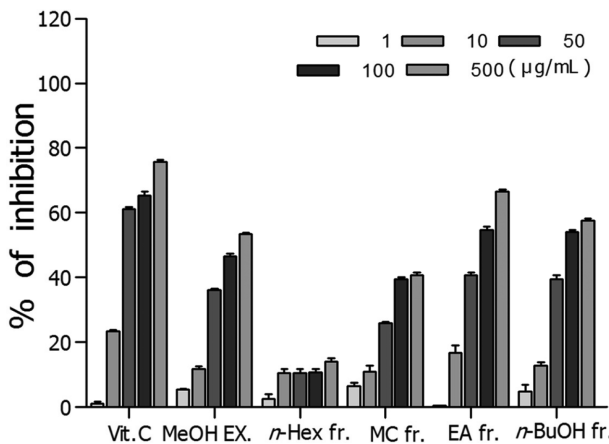


Fig. 2. Xanthine-originated superoxide quenching activities of the methanol extract and its fractions of Epimedii Herba.

분획의 IC₅₀ 값이 81.2 µg/mL로 대조군인 비타민 C(IC₅₀; 39.2 µg/mL)보다는 낮았으나 분획물 중 가장 높은 DPPH free radical 소거 효과를 나타냈다(Fig. 1).

Xanthine 유래 superoxide 소거 활성 - NBT의 환원 정도를 비교하는 superoxide quenching 활성에서는 음양곽의 ethyl acetate 분획의 IC₅₀ 값(175.2 µg/mL)이 비타민 C의 IC₅₀(69.3 µg/mL) 값보다는 낮았지만 농도 의존적으로 superoxide 소거 활성을 나타냈다(Fig. 2).

선충 체내의 항산화 효소 SOD 및 catalase 활성증가 효능 - Xanthine을 기질로 xanthine oxidase의 효소반응 과정 중에 생성되는 superoxide anion을 활용하여 SOD의 활성을 측정된 결과, Fig. 3A에서와 같이 음양곽 ethyl acetate 분획 투여군은 SOD의 활성을 농도 의존적으로 증가시켰으며, ethyl acetate 분획 500 µg/mL 투여군은 대조군과 비교하여 SOD 활성을 약 22.1% 정도 증가시켰다 (***p*<0.001). 강한 반응성을 가진 ROS인 hydrogen peroxide를 체내에서 대사시키는 catalase의 활성은 Fig. 3B에서 나타난 바와 같이 ethyl acetate 분획 500 µg/mL 투여군이 대조군에 비해 catalase 활성을 약 22.2% 증가시켰다 (***p*<0.01)(Fig. 3).

선충 세포 내 ROS 감소 효능 - 음양곽의 ethyl acetate 분획의 농도별 세포 내 활성산소종의 감소 효능을 알아보기 위해 H₂DCF-DA와 선충 내부의 활성산소종을 반응시켜 형광을 관찰하였다. 활성산소종 형광의 감소 폭은 대조군과 비교하여 ethyl acetate 분획 500 µg/mL 투여군에서 약 17.3% (***p*<0.001) 활성산소종을 감소시키는 것으로 확인되었다(Fig. 4).

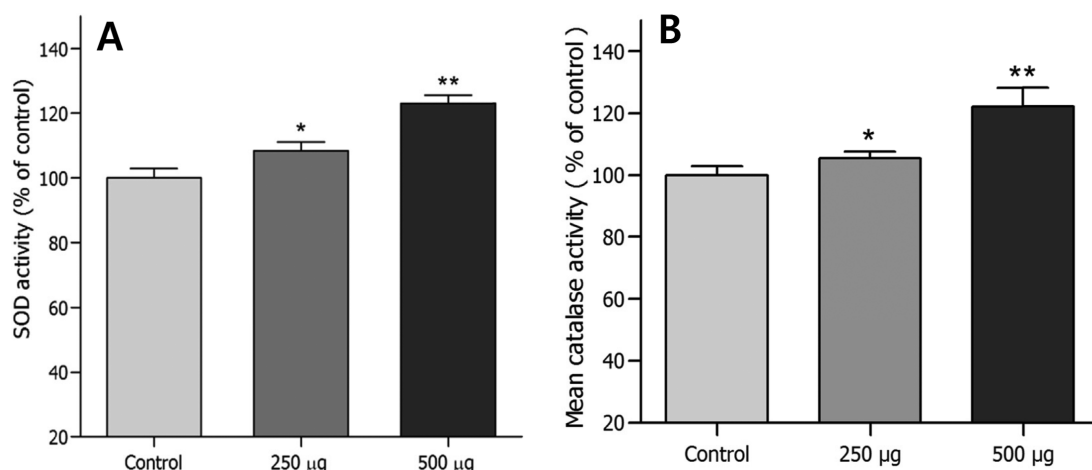


Fig. 3. Effects of the ethyl acetate fraction of Epimedii Herba on the antioxidant enzyme activity of wildtype N2 nematodes. (A) The enzymatic reaction of xanthine with xanthine oxidase was used to generate •O₂- and the SOD activity was estimated spectrophotometrically through formazan formation by NBT reduction. SOD activity was expressed as a percentage of the scavenged amount per control. (B) Catalase activity was calculated from the concentration of residual H₂O₂, as determined by a spectrophotometric method. Catalase activity was expressed in U/mg protein. Data are expressed as the mean ± S.E.M. of three independent experiments (N=3). Differences compared to the control were considered significant at **p*<0.05 and ***p*<0.01 by one-way ANOVA.

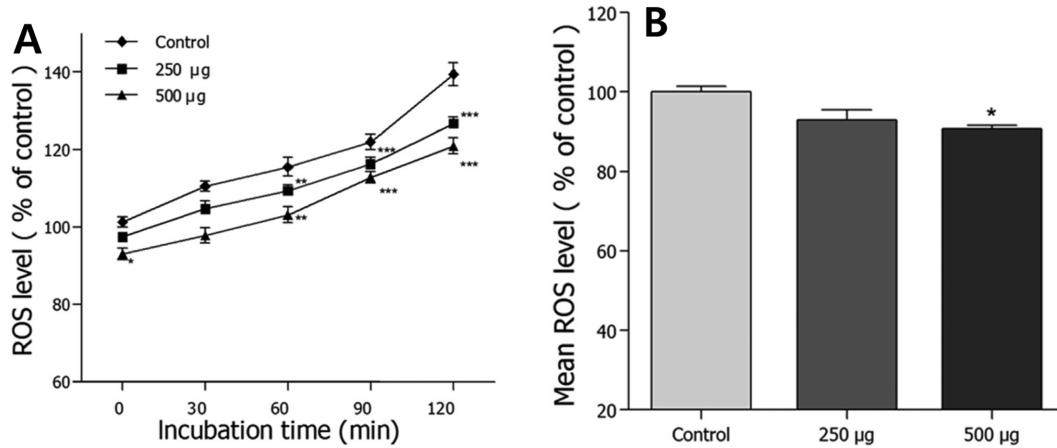


Fig. 4. Effect of the ethyl acetate fraction of Epimedii Herba on the intracellular ROS accumulation of wild-type N2 nematodes. The worms were incubated with 50 µM juglone for 2 h, and subsequently treated with the fluorescent probe H2-DCF-DA. Intracellular ROS accumulation was quantified spectrometrically at excitation 485nm and emission 535 nm. Plates were read 30 min for 120 min. Data are expressed as the mean ± S.E.M. of three independent experiments (N=3). Differences compared to the control were considered significant at * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ and *** $p < 0.001$ by one-way ANOVA.

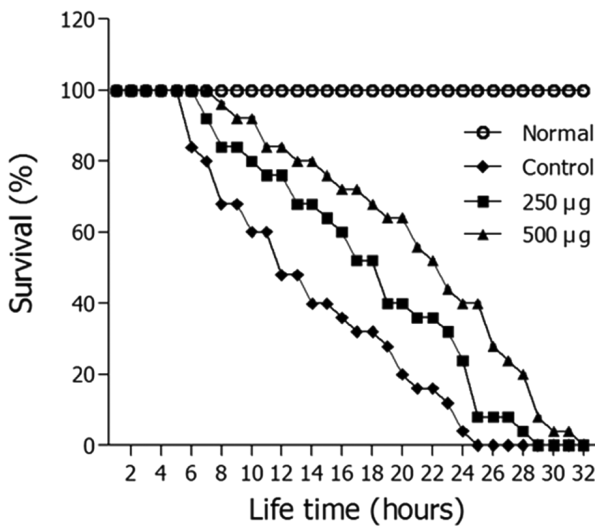


Fig. 5. Effect of the ethyl acetate fraction of Epimedii Herba on the stress tolerance of wild-type N2 nematodes. For the oxidative stress assays, worms were transferred to 96-well plate containing 1 mM of juglone liquid culture, and then their viability was scored. Statistical difference between the curves was analyzed by log-rank test. All experiments were done in triplicates.

Oxidative stress 저항성 증가 효능 – Ethyl acetate 분획이 선충의 산화적 스트레스 조건에서 선충의 생존율에 미치는 영향을 확인하였다. 선충에 산화적 스트레스를 유도하기 위해서 1 mM juglone이 함유된 M9 buffer가 담긴 96 well plate에서 배양한 대조군 선충의 최고 생존시간은 25시간이었으나, ethyl acetate 분획 500 µg/mL 농도에서는 생존시간을 32시간으로 증가시켰다. 대조군의 평균 생존시간이 13.9±1.3 시간이었으나 500 µg/mL 농도 처리군은 평균 생존 시간을 21.4±1.4시간으로 54.1%의 생존 시간을 향상시켰다(*** $p < 0.001$) (Fig. 5, Table I).

형질 전환 선충 내 SOD-3의 발현 증가 효능 – 음양곽의 ethyl acetate 분획이 선충 내에서 oxidative stress에 저항하기 위한 단백질의 증가여부를 확인하기 위해서 SOD 발현 유전자의 증가 여부를 확인하였다. SOD-3을 포함한 형질 전환 선충 CF1553을 사용하여 실험한 결과 음양곽의 ethyl acetate 분획을 투여한 선충군이 처리되지 않은 선충군에 비해 상당히 높은 SOD-3::GFP 발현율(16.6%, ** $p < 0.01$)을 보여주었다(Fig. 6).

Table I. Effect of ethyl acetate fraction of Epimedii Herba on the oxidative stress tolerance of *C. elegans*

Stress condition	Concentration	Mean lifespan (h)	Maximum lifespan (h)	Change in mean lifespan (%)	Log-rank test
1 mM Juglone	Control	13.9 ± 1.3	25	-	-
	250 µg/mL	17.9 ± 1.3	29	28.7	* $p < 0.05$
	500 µg/mL	21.4 ± 1.4	32	54.1	*** $p < 0.001$

Mean lifespan was presented as mean ± S.E.M data. Change in mean lifespan was compared with control group (%). Statistical significance of the difference between survival curves was determined by log-rank test using the Kaplan-Meier survival analysis. Differences compared with the control were considered significant at * $p < 0.05$ and *** $p < 0.001$.

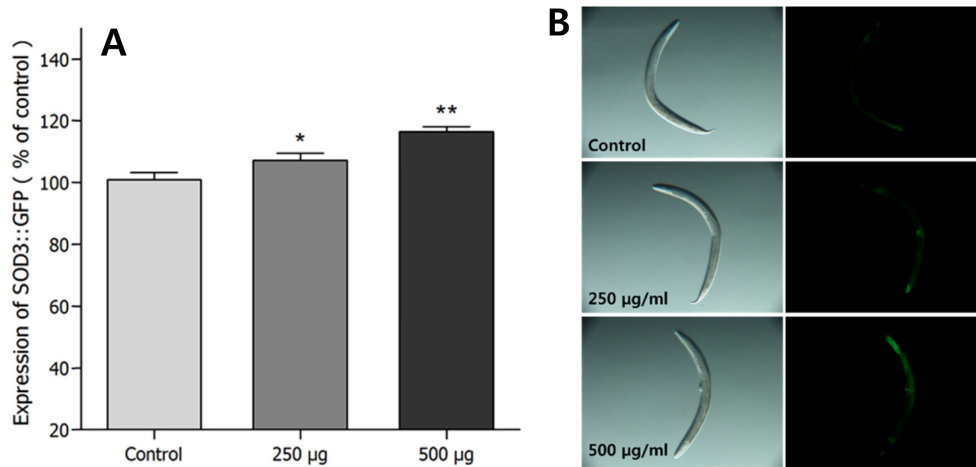


Fig. 6. Effect of the ethyl acetate fraction of Epimedium Herba on the expression of SOD-3 was determined using transgenic nematodes. Mean GFP intensity of CF1553 mutant was represented as mean \pm S.E.M. of the values obtained from 25 to 30 animals per each experiment. The GFP intensity was quantified using image software by determining average pixel intensity. Images of SOD-3::GFP expression of CF1553 worms in the presence or absence of the ethyl acetate fraction. Data are expressed as the mean \pm standard deviation of three independent experiments (N=3). Differences compared with the control were considered significant at $p < 0.05$ and $**p < 0.01$ by one-way ANOVA.

고찰

음양곽의 ethyl acetate 분획은 DPPH radical과 superoxide 소거활성 시험에서 농도의존적으로 강한 항산화 활성을 보여 주었다. 이러한 결과는 음양곽의 함유성분으로 알려진 다수의 flavonoid 성분과 같은 polyphenol성 화합물들에 의한 것으로 생각되며, 음양곽 추출물의 항산화 효능들과 잘 부합되는 결과로 판단된다.¹⁹⁻²¹⁾ 예쁜꼬마선충 내의 항산화 효소인 SOD 및 catalase의 활성을 확인해 본 결과 음양곽의 ethyl acetate 분획은 농도 의존적으로 SOD 및 catalase의 활성을 높이는 것으로 확인되어 활성산소종에 의해 야기되는 oxidative stress로부터 방어하는 기전에 도움이 될 것으로 생각된다.²²⁾ 또한 juglone으로 발생시킨 선충의 oxidative stress에 대한 저항능력을 확인한 결과, 같은 oxidative stress 조건하의 대조군과 비교하여 음양곽의 ethyl acetate 분획 처리군의 생존율이 농도 의존적으로 크게 증가하였다. 이를 확인할 수 있는 기전 중의 하나로써, 형질전환된 GFP-fused transgenic strain CF1553을 이용한 oxidative stress 저항성 확인실험에서 저항성 지표인자로서 SOD-3::GFP 형광 발현율을 살펴 본 결과, 형광 발현율이 농도 의존적으로 증가됨이 확인되어 oxidative stress에 저항하는 단백질의 발현이 상당히 증가되었음이 확인되었다. 인체 내의 미토콘드리아에서 필요 이상으로 생성된 활성산소종과 각종 스트레스, 세포 손상 등에 의해 생성되는 활성산소종은 체내의 항산화 화제를 소멸시켜 oxidative stress를 야기시키며, 노화와 관련된 각종 퇴행성 질환을 비롯한 각종 암 발생 및 염증 생성 등에 관련성이 있음이 보고되어 있다.²³⁾ 음양곽과 관련된 연구 중에 flavonoid 성분들의 항산화 효과 등에 관한 보

고들은 위와 같은 내용과 상당한 관련성이 있을 것으로 사료된다.^{24,25)} 음양곽의 ethyl acetate 분획이 체내의 SOD나 catalase 등의 항산화 효소의 활성을 증가시키고, 활성산소종의 축적을 억제하며 oxidative stress에 대한 저항력을 높여 주는 효능은 암이나 염증성 질환 등의 예방 및 치료 효능과 더불어 항노화나 수명연장 등에 긍정적인 영향을 줄 수 있을 것으로 추측되며, 차후 단일 물질 수준에서의 항산화 활성 및 기전의 확인이 필요할 것으로 사료된다.

결론

음양곽의 ethyl acetate 분획은 DPPH radical과 superoxide 소거활성 시험에서 강한 항산화력을 보여 주었으며, 예쁜꼬마선충 내의 항산화 효소인 SOD 및 catalase의 활성이 음양곽 ethyl acetate 분획 투여에 의해 농도 의존적으로 높아졌다. 또한 선충 세포 내의 ROS의 발생량은 음양곽 ethyl acetate 분획 투여군에서 농도의존적으로 감소하는 효과를 보여 주었으며, juglone을 처리한 oxidative stress 반응 관련 실험에서는 음양곽 ethyl acetate 분획 투여군의 생존율이 농도 의존적으로 증가하는 것을 확인하였다. 이와 관련하여 예쁜꼬마선충의 mutant인 GFP-fused transgenic strain CF1553을 이용한 oxidative stress 저항성을 확인한 결과, oxidative stress에 저항성이 있는 단백질의 발현이 증가되었음을 형광 발현 정도를 측정하여 확인하였다. 이러한 결과로 볼 때 음양곽의 ethyl acetate 분획은 항산화 및 이와 관련된 질병의 예방 및 치료를 위한 자원으로서의 가치가 충분히 있을 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 2017년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(NRF-2017R1D1A3B03032146)로 이에 감사 드립니다.

인용문헌

- Harman, D. (1992) Free radical theory of aging: history. *EXS*. **62**: 1-10.
- de Paulet, A. C. (1990) Free radicals and aging. *Ann. Biol. Clin. (Paris)* **48**: 323-330.
- Ashok, B. T. and Ali, R. (1999) The aging paradox: free radical theory of aging. *Exp. Gerontol.* **34**: 293-303.
- Cedikova, M., Pitule, P., Kripnerova, M., Markova, M. and Kuncova, J. (2016) Multiple roles of mitochondria in aging processes. *Physiol. Res.* **65**(Supplementum 5): S519-S531.
- den Endea, W. V., Pesheva, D. and Garab, L. D. (2011) Disease prevention by natural antioxidants and prebiotics acting as ROS scavengers in the gastrointestinal tract. *Trends in Food Sci. Technol.* **22**: 689-697.
- Niki, E., Yamamoto, Y., Komuro, E. and Sato, K. (1991) Membrane damage due to lipid oxidation. *Am. J. Clin. Nutr.* **53**: 201S-205S.
- Sarkar, D. and Fisher, P. B. (2006) Molecular mechanisms of aging-associated inflammation. *Cancer Lett.* **236**: 13-23.
- Sohal, R. S., Agarwal, A., Agarwal, S. and Orr, W. C. (1995) Simultaneous overexpression of copper- and zinc-containing superoxide dismutase and catalase retards age-related oxidative damage and increases metabolic potential in *Drosophila melanogaster*. *J. Biol. Chem.* **270**: 15671-15674.
- Scandalios, J. G. (2005) Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. *Braz. J. Med. Biol. Res.* **38**: 995-1014.
- Branen, A. L. (1975) Toxicological and biochemistry of butylated hydroxyanisole and butylated hydroxytoluene. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **52**: 59-63.
- Hong, M.-J., Lee, B.-C., Ahn, Y.-M. and Ahn, S.-Y. (2011) The effects of Epimedium Herba on a hypothyroidism rat model induced by PTU(6-Propyl-2-thiouracil). *Journal of Pharmacopuncture* **14**: 13-22.
- Yoshida, T., Mori, K., Hatano, T., Okumura, T., Uehara, I., Komagoe, K., Fujita, Y. and Okuda, T. (1989) Studies on inhibition mechanism of autooxidation by tannins and flavonoids. V: Radical scavenging effects of tannins and related polyphenols on 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical. *Chem. Pharm. Bull.* **37**: 1919-1921.
- Thuong, P. T., Kang, H. J., Na, M., Jin, W., Youn, U. J., Seong, Y. H., Song, K. S., Min, B. S. and Bae, K. (2007) Antioxidant constituents from *Sedum takesimensense*. *Phytochemistry* **68**: 2432-2438.
- Brenner, S. (1974) The genetics of *Caenorhabditis elegans*. *Genetics* **77**: 71-94.
- Mekheimer, R. A., Sayed, A. A. and Ahmed, E. A. (2012) Novel 1,2,4-triazolo[1,5-a]pyridines and their fused ring systems attenuate oxidative stress and prolong lifespan of *Caenorhabditis elegans*. *J. Med. Chem.* **55**: 4169-4177.
- Aebi, H. (1984) Catalase in vitro. *Method. Enzymol.* **105**: 121-126.
- Kim, H. N., Seo, H. W., Kim, B. S., Lim H. J., Lee, H. N., Park, J. S., Yoon, Y. J., Oh, J. W., Oh, M. J., Kwon, J., Oh, C. H., Cha, D. S. and Jeon, H. (2015) *Lindera obtusiloba* extends lifespan of *Caenorhabditis elegans*. *Nat. Prod. Sci.* **21**: 128-133.
- Lee, E. Y., Shim, Y. H., Chitwood, D. J., Hwang, S. B., Lee, J. and Paik, Y. K. (2005) Cholesterol-producing transgenic *Caenorhabditis elegans* lives longer due to newly acquired enhanced stress resistance. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **328**: 929-936.
- Su, X. D., Li, W., Ma, J. Y. and Kim, Y. H. (2017) Chemical constituents from *Epimedium koreanum* Nakai and their chemotaxonomic significance. *Nat. Prod. Res.* doi.org/10.1080/14786419.2017.1405412.
- Han, F. and Lee, I. S. (2017) A new flavonol glycoside from the aerial parts of *Epimedium koreanum* Nakai. *Nat. Prod. Res.* doi: 10.1080/14786419.2016.1239092.
- Zhang, W., Chen, H., Wang, Z., Lan, G. and Zhang, L. (2013) Comparative studies on antioxidant activities of extracts and fractions from the leaves and stem of *Epimedium koreanum* Nakai. *J. Food Sci. Technol.* **50**: 1122-1129.
- Liu, L., Zuo, Z., Lu, S., Liu, A. and Liu, X. (2017) Naringin attenuates diabetic retinopathy by inhibiting inflammation, oxidative stress and NF-κB activation in vivo and in vitro. *Iran J. Basic Med. Sci.* **20**: 813-821.
- Fariás, J. G., Molina, V. M., Carrasco, R. A., Zepeda, A. B., Figueroa, E., Letelier, P. and Castillo, R. L. (2017) Antioxidant therapeutic strategies for cardiovascular conditions associated with oxidative stress. *Nutrients* doi: 10.3390/nu9090966.
- Wang, T., Zhang, J. C., Chen, Y., Huang, F., Yang, M. S. and Xia, O. P. G. (2007) Comparison of antioxidative and anti-tumor activities of six flavonoids from *Epimedium koreanum*. *Zhongguo Zhong Yao Za Zhi.* **32**: 715-718.
- Li, H. F., Guan, X. Y., Yang, W. Z., Liu, K. D., Ye, M., Sun, C., Lu, S. and Guo, D. A. (2012) Antioxidant flavonoids from *Epimedium wushanense*. *Fitoterapia* **83**: 44-48.

(2017. 11. 29 접수; 2017. 12. 10 심사;
2017. 12. 12 게재확정)