

쑥부쟁이 추출물의 라디칼 소거활성 평가

김민정¹, 김지현¹, 이상현², 조은주¹, 김현영^{3*}

¹부산대학교 식품영양학과, ²중앙대학교 식물시스템과학과, ³경남과학기술대학교 식품과학부

Determination of Radical Scavenging Activity of *Aster yomena* (Kitam.) Honda

Min Jeong Kim¹, Ji Hyun Kim¹, Sanghyun Lee², Eun Ju Cho¹, Hyung Young Kim^{3*}

¹Department of Food Science and Nutrition, Pusan National University

²Department of Integrative Plant Science, Chung-Ang University

³Department of Food Science, Gyeongnam National University of Science and Technology

요 약 본 연구에서는 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), hydroxyl radical ($\cdot\text{OH}$), 그리고 superoxide radical (O_2^-) 소거능 실험을 통해 쑥부쟁이의 항산화 효과를 평가하였다. 쑥부쟁이는 에탄올로 추출한 뒤, n-hexane, methylene chloride (CH_2Cl_2), ethylacetate (EtOAc), 그리고 n-butanol (n-BuOH)로 분획하였다. DPPH 라디칼 소거능 실험에서 모든 추출 및 분획물이 10-100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 농도에서 농도 의존적으로 라디칼 소거능이 증가하였으며, 특히 EtOAc 분획물은 가장 강한 DPPH 라디칼 소거능을 나타내었다. 또한 쑥부쟁이는 50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 농도에서 80% 이상의 $\cdot\text{OH}$ 라디칼 소거율을 보였다. 특히 EtOAc 분획물은 0.03 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에서 IC50 값을 나타내어 추출물과 분획물 중 가장 강한 $\cdot\text{OH}$ 라디칼 소거능을 보여주었다. 또한, EtOAc 분획물은 O_2^- 라디칼 소거능에서도 가장 강한 소거활성을 보였다. 이러한 결과는 쑥부쟁이가 산화스트레스로 인한 질병을 예방하는 천연 항산화제로서의 활용 가능성이 있음을 보여준다.

Abstract In this study, we investigated the antioxidative effects of AY by measuring 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), hydroxyl radical ($\cdot\text{OH}$), and superoxide radical (O_2^-) scavenging activities in vitro. AY was extracted with ethanol and then partitioned with n-hexane, methylene chloride (CH_2Cl_2), ethylacetate (EtOAc) and n-butanol (n-BuOH). In the DPPH radical scavenging assay, AY at concentrations of 10 to 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ dose-dependently increased inhibition of DPPH oxidation, with the EtOAc fraction of AY showing the highest DPPH radical scavenging activity fractions. The $\cdot\text{OH}$ radical scavenging activities of the extract and four fractions of AY increased by over 80% at a concentration of 50 $\mu\text{g}/\text{mL}$. In particular, the IC50 value of the EtOAc fraction was 0.03 $\mu\text{g}/\text{mL}$, which was the lowest value among all fractions. We also found that the EtOAc fraction of AY was better at O_2^- radical scavenging than other fractions. Taken together, these results suggest that AY, especially the EtOAc fraction, can be used as a natural antioxidant against free radicals.

Keywords : Free radical, Oxidative stress, Antioxidant, *Aster yomena*, in vitro

1. 서론

자유라디칼(free radical)은 홀전자를 가진 분자로, 일반적으로 불안정하기 때문에 체내에서 세포에 손상을 가

한다. 대표적인 자유라디칼로는 활성산소(reactive oxygen species, ROS)와 활성질소(reactive nitrogen species, RNS)가 있다[1]. 일반적으로 자유라디칼은 체내 감염원에 대한 방어 시스템과 세포 신호 전달 체계를 통해 생

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. NRF-2016R1D1A1B03931593)

*Corresponding Author : Hyung Young Kim(Gyeongnam National Univ. of Science and Technology)

Tel: +82-55-751-3277 email: hykim@gntech.ac.kr

Received June 14, 2018

Revised (1st June 28, 2018, 2nd July 5, 2018)

Accepted September 7, 2018

Published September 30, 2018

성된다. 그러나 자유라디칼이 고농도로 존재하게 되면 이들은 세포 내 지질, 단백질, 그리고 DNA를 공격하여 물리적인 손상을 초래할 수 있다. 이와 같은 자유라디칼의 생성량과 항산화 방어 시스템의 불균형으로 인하여 산화적 스트레스가 유발된다. 이와 같은 ROS와 RNS는 암, 심혈관질환, 신경퇴행성질환과 같은 만성퇴행성 질환뿐만 아니라 노화에서도 중요한 역할을 하는 것으로 여겨진다[2]. 이러한 산화적 스트레스를 막기 위한 방법 중 하나로 항산화제가 이용되고 있으나, 합성된 항산화제에서 독성 또는 부작용이 일어난 사례가 보고되고 있다. 이러한 이유로 최근 천연자원으로부터 유래한 항산화제를 탐색하는 추세이다[3].

쑥부쟁이는 국화과에 속하는 여러해살이식물로, 주로 동아시아와 시베리아에 분포한다. 쑥부쟁이는 예로부터 기침, 천식, 곤충자상에 사용되었으며, 항비만, 항염증 및 항천식 효과를 가지고 있다고 보고 되어 있다[4-6]. 또한, 쑥부쟁이에는 asteryomenin, esculetin, 4-O-β-D-glucopyranoside-3-hydroxy methyl benzoate, caffeic acid, isoquercitrin, isorhamnetin-3-O-glucoside 및 apigenin 등의 활성물질이 함유되어 있다고 보고되고 있으며[7], 이 중에는 항산화 활성을 나타내는 물질도 포함되어 있다 [8,9]. 그러나 쑥부쟁이의 활성물질이 아닌 쑥부쟁이를 추출물과 분획물을 이용한 항산화 활성 평가 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 *in vitro* 라디칼 소거실험을 통하여 쑥부쟁이를 추출물과 분획물의 항산화 효과를 측정하였으며, 천연 항산화제로서의 쑥부쟁이의 가능성을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료

실험에 사용한 쑥부쟁이(*Aster yomena* (Kitam.) Honda: AY) 잎은 전라남도 구례에서 채집하여 사용하였다.

2.2 추출 및 분획

쑥부쟁이 잎 1,645 g을 MeOH을 이용하여 가열하여 추출하였다. 추출용매와 함께 가열해 끓이면서 동시에 환류 냉각을 시키는 온침법을 이용하였으며, 총8회 실시하여 393.9 g의 MeOH을 추출물을 얻었고, 얻어진 MeOH 추출물로 분획을 실시하였다. 분획은 *n*-hexane,

CH₂Cl₂, EtOAc, 그리고 *n*-butanol, 비극성용매에서 극성용매의 순으로 진행하였고, 그 결과로 *n*-hexane 분획물(179.5 g), CH₂Cl₂, 분획물(4.4 g), EtOAc 분획물(4.2 g), *n*-butanol 분획물(21.8 g)을 얻었다[10].

2.3 시약

1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH)와 2-deoxyribose는 Sigma chemical Co. (St Louis, MO, USA)에서, ethyl alcohol은 Duksan Co. Ltd.(Ansan, South Korea)에서 구입하였다. FeSO₄·7H₂O는 Daejung Chemicals & Metals Co. Ltd.(Gyeonggi-do, South Korea), EDTA disodium salt dehydrate과 phosphoric acid는 Samchun Pure Chemical Co. Ltd.(Gyeonggi-do, South Korea), Hydrogen peroxide (H₂O₂)는 Junsei Chemical Co. (Tokyo,Japan)에서 구입하여 사용하였다. Thiobarbituric acid(TBA)는 Acros Organics(New Jersey, USA), trichloroacetic acid(TCA)는 Kanto Chemical Co. Inc.(Tokyo, Japan)에서 구입하였고, Phenezine methsulfate (PMS), NADH disodium salt, 그리고 nitrotetrazolium blue chloride (NBT)는 Bio Basic Inc.(Toronto, Canada)에서 구입하였다.

2.4 DPPH 라디칼 소거능

DPPH 라디칼 소거능은 Hatano 등[11]의 방법에 따라 측정하였다. 각 농도별 (10, 50, 100 µg/mL)로 ethanol에 희석한 시료 100 µL와 60 µM DPPH 용액 100 µL를 96 well plate에 분주하여 실온에서 30분간 반응시킨 후, 540 nm에서 흡광도를 측정한다. DPPH 라디칼 소거능은 다음 식에 따라 계산하였다.

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = 100 - [(A_s - A_b) \times 100 / A_c]$$

A_s는 농도별 시료를 첨가한 실험군, A_b는 blank를 첨가한 대조군, A_c는 시료를 첨가하지 않은 대조군의 흡광도 값을 뜻한다.

2.5 ·OH 라디칼 소거능

·OH 라디칼 소거능은 Chung 등[12]의 방법으로 측정하였다. 10 mM FeSO₄·7H₂O-EDTA 200µL, 10 mM 2-deoxyribose 200µL, 10 mM hydrogen peroxide 200 µL, 그리고 각 농도별 시료 1400 µL를 혼합하여 4시간 동안 37°C에서 배양하였다. 배양된 혼합액에 1.0%

thiobarbituric acid 1 mL와 2.8% trichloroacetic acid 1 mL를 넣은 후 20분간 끓여 식힌 뒤, 490 nm에서 흡광도를 측정하였다. ·OH 라디칼 소거능은 다음 식에 따라 계산하였다.

$$\cdot\text{OH radical scavenging activity (\%)} = 100 - [(A_s - A_b) \times 100 / A_c]$$

A_s는 농도별 시료를 첨가한 실험군, A_b는 blank를 첨가한 대조군, A_c는 시료를 첨가하지 않은 대조군의 흡광도 값을 뜻한다.

2.6 O₂⁻ 라디칼 소거능

O₂⁻ 라디칼 소거능은 Nishikimi 등[13]의 방법에 따라 측정하였다. 각 농도별 시료 500 µL, 0.1 M Tris-HCl 100 µL, 0.1 mM PMS 200 µL, 0.5 mM NBT 200 µL, 그리고 0.5 mM NADH 400 µL를 혼합한 후, 실온에 10 분간 반응시켜 560nm에서 흡광도를 측정한다. O₂⁻ 라디칼 소거능은 다음 식에 따라 계산하였다.

$$\text{O}_2^{\cdot-} \text{ radical scavenging activity (\%)} = 100 - [(A_s - A_b) \times 100 / A_c]$$

A_s는 농도별 시료를 첨가한 실험군, A_b는 blank를 첨가한 대조군, A_c는 시료를 첨가하지 않은 대조군의 흡광도 값을 뜻한다.

2.7 통계처리

대조군과 각 시료들로부터 얻은 실험 결과들은 평균 ± 표준편차로 나타내었고, Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)를 이용하여 각 실험 결과로부터 ANOVA (analysis of variance)를 구한 후 Duncan's multiple test (P<0.05)를 이용하여 각 군의 평균 간의 유의성을 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 DPPH 라디칼에 대한 썩부쟁이의 항산화 효과

DPPH radical 소거 활성법은 화학적으로 유도되는 비교적 안정한 radical로서 시료의 free radical 소거 능력이나 수소 공여능력을 평가하는 방법이다. DPPH는 cystein, glutathion과 같은 함황아미노산과 L-ascorbic acid 및 Butylated hydroxyanisole 등에 의해 환원되어

탈색되므로 다양한 천연소재로부터 항산화 능력을 알아 보기 위한 측정법으로 가장 쉽고 널리 알려진 방법이다 [7,14]. 짙은 자색을 띠는 diphenylpicrylhydrazyl이 항산화 화제에 의해 diphenylpicrylhydrazine으로 환원되면서 구조적인 변화로 인해 색깔이 사라지는 것을 540 nm의 파장에서 분광흡광계를 이용하여 관찰한다. 썩부쟁이 추출물 및 분획물의 항산화 활성을 알아보기 위하여 썩부쟁이 추출물 및 분획물(n-hexane, CH₂Cl₂, EtOAc 및 n-BuOH)의 DPPH 라디칼 소거 효과를 확인한 결과 (Fig.1), 모든 썩부쟁이 추출 및 분획물이 10-100 µg/mL 농도에서 DPPH 라디칼 소거 효과를 나타내는 것으로 확인되었다. 특히, 썩부쟁이 EtOAc 분획물은 8.95 ± 0.78 µg/mL 농도에서 DPPH를 50% 소거하여 가장 강한 소거 효과를 보였다.

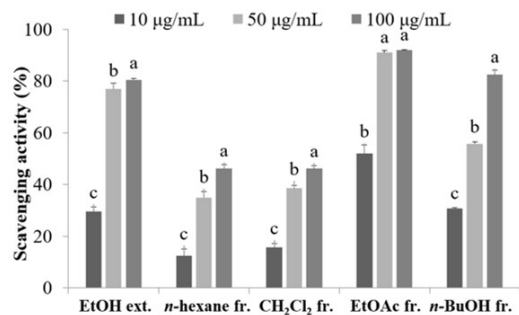


Fig. 1. DPPH radical scavenging activity of *Aster yomena* (Kitam.) Honda. Values are mean ± SD. ^{a-c}Means with the different letters are significantly different (P<0.05) by Duncan's multiple range test.

3.2 ·OH 라디칼에 대한 썩부쟁이의 항산화 효과

자유라디칼은 세포가 호기성 환경에 노출되어있는 한 미토콘드리아의 산소전달계 내에서 끊임없이 생성된다 [15]. ·OH은 활성산소종 중에서 가장 반응성이 크고 인접한 생체 분자에 심각한 손상을 야기하는 것으로 알려져 있다. Macrophages와 leukocytes의 phagocytosis 또한 ·OH 생성 원인이 되며, 이러한 ·OH는 fenton 반응에 의해 O₂⁻와 H₂O₂로부터 생성되며, 활성질소종인 ONOO⁻의 분해에 의해 생성되기도 한다[12]. 썩부쟁이 추출 및 분획물의 ·OH 라디칼 소거 효과는 Fig. 2에 나타내었다. 썩부쟁이 추출 및 분획물은 50 µg/mL 농도에서 모두 80% 이상의 ·OH 라디칼 소거 효과를 나타내어 ·OH 라디칼에 대한 강력한 항산화 효과를 가지는 것을 확인하

였다. 산화적 스트레스는 체내에서 자유라디칼과 항산화 방어 시스템 간의 균형이 깨어진 상태에서 발생한다. 이러한 불균형은 자유라디칼의 과생성, 또는 산화적 스트레스 보다 적은 항산화제의 섭취량 등으로 인해 발생할 수 있다[16]. 이전의 많은 연구들은 자유라디칼이 질병의 발생에 기여한다는 사실을 보여주고 있다. 따라서 쑥부쟁이의 이러한 라디칼 소거 효과는 체내에서 발생하는 산화적 스트레스를 줄여줄 것으로 기대된다.

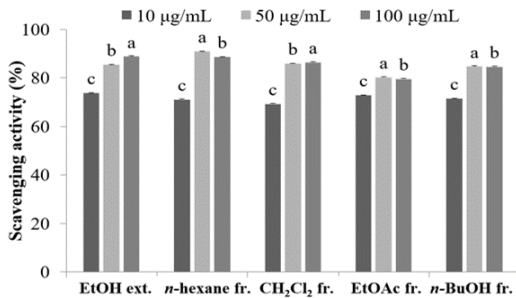


Fig. 2. 'OH radical scavenging activity of *Aster yomena* (Kitam.) Honda. Values are mean ± SD. ^{a-c}Means with the different letters are significantly different ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test.

3.3 O₂⁻ 라디칼에 대한 쑥부쟁이의 항산화 효과

O₂⁻는 활성산소 중 가장 먼저 생성되고 반응성이 약하지만 일부 분자를 직접 공격할 수 있다. 예를 들어, O₂⁻는 ·OH보다 훨씬 느리기는 하나 glutathione peroxidase를 불활성화시킬 수 있으며 부분적으로 catalase를 불활성화시킬 수 있다. 또한 O₂⁻는 DNA를 직접적으로 변형시키지는 못하지만 반응을 촉진할 수 있을 정도의 transition metals이 존재할 때 hydroxyl radicals 형성을 촉진한다. Fig. 3은 쑥부쟁이의 O₂⁻ 라디칼 소거 효과를 보여주고 있다. 쑥부쟁이 추출물과 CH₂Cl₂, EtOAc, n-BuOH 분획물은 농도 의존적으로 O₂⁻ 라디칼을 소거하는 것으로 나타났다. 한편 n-hexane 분획물은 100 µg/mL 농도에서 소거능이 나타나지 않았는데, 이는 희석한 시료 용액이 불투명한 혼탁액 상태였기 때문이라고 판단된다. EtOAc 분획물은 시료를 중 가장 강한 O₂⁻ 라디칼 소거 효과를 보였는데, 49.26 ± 0.25 µg/mL 농도에서 IC₅₀ 값을 나타내었다. 산화적 스트레스가 지속될 경우, 염증 반응 역시 지속될 수 있고, 만성적인 염증상태에서 활성화된 백혈구는 돌연변이를 야기하며, 그 결과 암으로 진행될 수 있다[17,18]. 또한 산화적 스트레스는

알츠하이머성 치매와 같은 신경퇴행성 질환을 초래할 수 있는데, 이는 불포화지방산을 많이 포함하는 뇌가 산화적 스트레스에 취약하기 때문이다[19,20]. 이러한 쑥부쟁이의 O₂⁻ 소거 효과는 자유라디칼에 산화스트레스 상태를 개선시킬 수 있다고 사료된다.

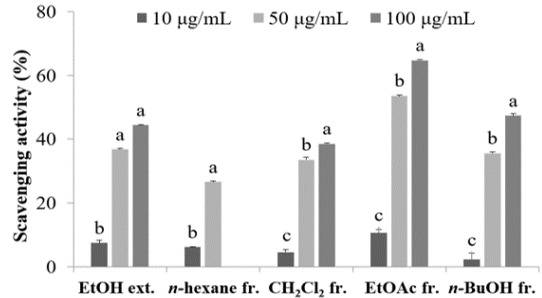


Fig. 3. O₂⁻ radical scavenging activity of *Aster yomena* (Kitam.) Honda. Values are mean ± SD. ^{a-c}Means with the different letters are significantly different ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test.

4. 결론 및 요약

질병과 노화에서의 자유라디칼의 역할이 드러남에 따라 항산화제에 대한 관심이 높아졌고, 그에 따라 식품과 의약품에서 천연 또는 합성 항산화제를 사용하는 추세이다[21]. 그러나 고온에서의 불안정성과 몇몇 합성 항산화제에서 유해성이 발견되어 합성 항산화제 사용에 우려가 제기되었다[22]. 그러므로 천연 소재로부터 항산화제를 찾아내는 것이 세계적인 추세이며, 항산화 효과를 가진 다양한 식물들이 약용 및 식품첨가물로서 이용하기 위해 연구되어지고 있다[23-25].

본 연구에서는 DPPH, 'OH, 그리고 O₂⁻ 라디칼 소거 실험을 이용하여 쑥부쟁이의 천연 항산화제로서의 이용 가능성을 검토하였다. 그 결과, 쑥부쟁이 추출물 및 네 가지 분획물(n-hexane, CH₂Cl₂, EtOAc 및 n-BuOH)은 DPPH 라디칼 소거능 실험에서 모든 추출 및 분획물이 10-100 µg/mL의 농도에서 농도 의존적으로 라디칼 소거능이 증가하였으며, 특히 EtOAc 분획물은 가장 강한 DPPH 라디칼 소거능을 나타내었다. 또한 쑥부쟁이는 50 µg/mL 농도에서 80% 이상의 'OH 라디칼 소거율을 보였으며 EtOAc 분획물은 0.03 µg/mL에서 IC₅₀ 값을 나타내어 추출물과 분획물 중 가장 강한 'OH 라디칼 소

거능을 보여주었다. 또한, EtOAc 분획물은 O₂⁻ 라디칼 소거능에서도 가장 강한 소거활성을 보였다. 이러한 결과는 썩부쟁이가 산화스트레스를 줄여주는 천연 항산화제로서의 잠재적인 가능성이 있음을 시사한다.

References

- [1] M. Valko, D. Leibfritz, J. Moncol, M. T. D. Cronin, M. Mazur, J. Telser, "Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease", *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, Vol.39, No.1 pp.44-84, 2007.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.biocel.2006.07.001>
- [2] K. B. Beckman, B. N. Ames, "The Free Radical Theory of Aging Matures", *Physiological Reviews*, Vol.78, No.2 pp.547-581, 1998.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1152/physrev.1998.78.2.547>
- [3] A. L. Branen, "Toxicology and biochemistry of butylated hydroxyanisole and butylated hydroxytoluene", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, Vol.52, No.2 pp.59-63, 1975.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/BF02901825>
- [4] M. H. Han, J. S. Jeong, J. W. Jeong, S. H. Choi, S. O. Kim, S. H. Hong, C. Park, B. W. Kim, Y. H. Choi, "Ethanol extracts of *Aster yomena* (Kitam.) Honda inhibit adipogenesis through the activation of the AMPK signaling pathway in 3T3-L1 preadipocytes", *Drug Discoveries & Therapeutics*, Vol.11, No.5 pp.281-287, 2017.
DOI: <https://dx.doi.org/10.5582/ddt.2017.01046>
- [5] H. J. Kang, J. S. Jeong, N. J. Park, G. B. Go, S. O. Kim, S. H. Honh, C. Park, B. W. Kim, Y. H. Choi, "An ethanol extract of *Aster yomena* (Kitam.) Honda inhibits lipopolysaccharide-induced inflammatory responses in murine RAW 264.7 macrophages", *BioScience Trends*, Vol.11, No.1 pp.85-94, 2017.
DOI: <https://dx.doi.org/10.5582/bst.2016.01217>
- [6] J. H. Sim, H. S. Lee, S. Lee, D. E. Park, K. Oh, K. A. Hwang, S. K. Ye, H. R. Kim, "Anti-asthmatic activities of an ethanol extract of *Aster yomena* in an ovalbumin-induced murine asthma model", *Journal of Medicinal Food*, Vol.17, No.5 pp.606-611, 2014.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1089/jmf.2013.2939>
- [7] A. R. Kim, Q. Jin, H. G. Jin, H. J. Ko, E. R. Woo, "Phenolic compounds with IL-6 inhibitory activity from *Aster yomena*", *Archives of Pharmacal Research*, Vol.37, No.7 pp.845-851, 2014.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s12272-013-0236-x>
- [8] İ. Gülçin, "Antioxidant activity of caffeic acid (3,4-dihydroxycinnamic acid)", *Toxicology*, Vol.217, No.2-3, pp.213-220, 2006.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.tox.2005.09.011>
- [9] C. G. Silva, R. J. Raulino, D. M. Cerqueira, S. C. Mannarino, M. D. Pereira, A. D. Paneka, J. F. M. Silva, F. S. Menezes, E. C. A. Eleutherio, "In vitro and in vivo determination of antioxidant activity and mode of action of isoquercitrin and *Hyptis fasciculata*", *Phytomedicine*, Vol.16, No.8 pp.761-767, 2009.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.phymed.2008.12.019>
- [10] A. Y. Kim, H. M. Shin, J. S. Kim, H. J. Shim, K. W. Nam, K. A. Hwang, H. S. Youn, "Anti-inflammatory Effects of *Aster yomena* Extracts by the Suppression of Inducible Nitric Oxide Synthase Expression", *Biomedical Science Letters*, Vol.23, No.2 pp.104-110, 2017.
DOI: <https://dx.doi.org/10.15616/BSL.2017.23.2.104>
- [11] T. Hatano, R. Edamatsu, M. Hiramatsu, A. Mori, Y. Fujita, T. Yasuhara, T. Yoshida, T. Okuda, "Effects of the Interaction of Tannins with Co-existing Substances. VI. : Effects of Tannins and Related Polyphenols on Superoxide Anion Radical, and on 1, 1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl Radical", *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, Vol.37, No.8 pp.2016-2021, 1989.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1248/cpb.37.2016>
- [12] S. K. Chung, T. Osawa, S. Kawakishi, "Hydroxyl Radical-scavenging Effects of Spices and Scavengers from Brown Mustard (*Brassica nigra*)", *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, Vol.61, No.1, pp.118-123, 1997.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1271/bbb.61.118>
- [13] N. Nishikimi, N. A. Rao, K. Yagi, "The occurrence of superoxide anion in the reaction of reduced phenazine methosulfate and molecular oxygen", *Biochemical and Biophysical Research Communications*, Vol.46, No.2, pp.849-854, 1972.
DOI: [https://dx.doi.org/10.1016/S0006-291X\(72\)80218-3](https://dx.doi.org/10.1016/S0006-291X(72)80218-3)
- [14] I. I. Koleva, T. A. van Beek, J. P. H. Linssen, A. de Groot, L. N. Evstatieva, "Screening of Plant Extracts for Antioxidant Activity: a Comparative Study on Three Testing Methods", Vol.13, No.1, pp.8-17, 2002.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1002/pca.611>
- [15] L. J. Machlin, A. Bendich, "Free radical tissue damage: protective role of antioxidant nutrients", *The FASEB Journal*, Vol.1, No.6, pp.441-445, 1987.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1096/fasebj.1.6.3315807>
- [16] B. A. Freeman, J. D. Crapo, "Biology of disease: free radicals and tissue injury", *Lab Invest*, Vol.47, No.5, pp.412-426, 1982.
- [17] R. O. Poyton, K. A. Ball, P. R. Castello, "Mitochondrial generation of free radicals and hypoxic signaling", *Trends in Endocrinology & Metabolism*, Vol.20, No.7, pp.332 - 340, 2009.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.tem.2009.04.001>
- [18] S. Suman, P. K. Sharma, G. Rai, S. Mishra, D. Arora, P. Gupta, Y. Shukla, "Current perspectives of molecular pathways involved in chronic inflammation-mediated breast cancer", *Biochemical and Biophysical Research Communications*, Vol.472, No.3, pp.401-409, 2016.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.bbrc.2015.10.133>
- [19] R. A. Floyd, "Antioxidants, oxidative stress, and degenerative neurological disorders", *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, Vol.22, No.3, pp.236-245, 1999.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1046/j.1525-1373.1999.d01-140.x>
- [20] A. Y. Lee, J. M. Choi, M. H. Lee, J. Lee, S. Lee, E. J. Cho, "Protective effects of perilla oil and alpha linolenic acid on SH-SY5Y neuronal cell death induced by hydrogen peroxide", *Nutrition Research and Practice*, Vol.12, No.2, pp.93-100, 2018.

DOI: <https://dx.doi.org/10.4162/nrp.2018.12.2.93>

- [21] V. Lobo, A. Patil, A. Phatak, N. Chandra, "Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health", *Pharmacognosy Reviews*, Vol.4, No.8 pp.118-126, 2010. DOI: <https://dx.doi.org/10.4103/0973-7847.70902>
- [22] A. M. Papas, "Diet and antioxidant status", *Food and Chemical Toxicology*, Vol.37, No.9-10, pp.999-1007, 1999. DOI: [https://dx.doi.org/10.1016/S0278-6915\(99\)00088-5](https://dx.doi.org/10.1016/S0278-6915(99)00088-5)
- [23] L. C. Lee, H. R. Kim, J. Kim, Y. S. Jang, "Antioxidant Property of an Ethanol Extract of the Stem of *Opuntia ficus-indica* var. *Saboten*", Vol.50, No.22, pp.6490 - 6496, 1999. DOI: <https://dx.doi.org/10.1021/jf020388c>
- [24] A. Kunwar, K. I. Priyadarsini, "Free radicals, oxidative stress and importance of antioxidants in human health", *Journal of Medical and Allied Sciences*, Vol.1, No.2, pp.53-60, 2011.
- [25] M. Nikoo, J. M. Regenstein, H. A. Gavlighi, "Antioxidant and antimicrobial activities of (-)-epigallocatechin-3-gallate (EGCG) and its potential to preserve the quality and safety of foods", *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Vol.17, No.3 pp.732-753, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12346>

김민정 (Min Jeong Kim) [정회원]



- 2013년 2월 : 부산대학교 식품영양학과 (학사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 부산대학교 대학원 식품영양학과 (석사과정)

<관심분야>
식품영양

김지현 (Ji Hyun Kim) [정회원]



- 2010년 2월 : 동의대학교 식품영양학과 (학사)
- 2014년 2월 : 부산대학교 식품영양학과 (석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 식품영양학과 (박사과정)

<관심분야>
식품영양

이상현 (Sanghyun Lee) [정회원]



- 1988년 2월 : 경북대학교 농학과 (농학, 석사)
- 1997년 2월 : 서울대학교 약학과 (약학박사)
- 2005년 3월 : 인제대학교 바이오헬스소재연구센터 (연구교수)
- 2005년 9월 ~ 현재 : 중앙대학교 생명자원공학부 식물시스템과학과 (교수)

<관심분야>
식물활성성분분리

조은주 (Eun Ju Cho) [정회원]



- 1994년 2월 : 부산대학교 식품영양학과 (석사)
- 1996년 2월 : 부산대학교 식품영양학과 (박사)
- 1999년 4월 : 일본 토야마의약과대학교 객원연구원
- 2004년 ~ 현재 : 부산대학교 식품영양학과 (교수)

<관심분야>
식품영양, 기능성식품

김현영 (Hyung Young Kim) [정회원]



- 1994년 2월 : 부산대학교 식품영양학과 (석사)
- 2002년 2월 : 부산대학교 식품영양학과 (박사)
- 2008년 ~ 현재 : 경남과학기술대학교 식품영양학과 (교수)

<관심분야>
식품영양, 항산화기능성탐색