무(Raphanus sativus L.)의 활성산소종 생성 억제를 통한 항산화 효능

확경아¹·황혜정^{1,2}·황유진¹

¹농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부 ²고려대학교 식품생명공학과

Antioxidant Effect of *Raphanus sativus* L. through the Suppression of Reactive Oxygen Species Production

Kyung-A Hwang¹, Hye-Jeong Hwang^{1,2}, and Yu Jin Hwang¹

¹Department of Agrofood Resources, National Institute of Agricultural Sciences, RDA
²Department of Food and Biotechnology, Korea University

ABSTRACT Radish (*Raphanus sativus* L.) is a root vegetable native to southeast and central Asia and has been traditionally used in the treatment of constipation, indigestion, and stomach disorders. Radish is classified into various cultivars according to their shape and color. The main ingredients of white radish that are commonly known are flavonoids, arvelexin, and glucosinolate. In addition, red radish contains anthocyanin. These ingredients have been reported to have antidiabetic, anticancer, and antioxidant effects, but no research has yet compared the antioxidant activity of white and red radish. Therefore, in this study, the antioxidant effects of Ganghwa turnip (RG) and Jeju winter radish (RJ) were investigated. Evaluation of DPPH and ABTS radical scavenging activity, the major indicators of antioxidant activity, confirmed significant antioxidant effects at a 200 μg/mL concentration of RG and RJ. Also, the production of the inflammatory substance nitric oxide was reduced 55% by RG and 52% by RJ at 200 μg/mL. Besides, it was confirmed that the production of reactive oxygen species, a major factor in oxidative stress, was also reduced in a dose-dependent manner. It was further confirmed that the antioxidant enzyme gene expressions such as those of Cu/Zn-superoxide dismutase (SOD), Mn-SOD, glutathione peroxidase, and catalase were increased by RG and RJ extracts. In conclusion, radish has excellent antioxidant function and radish can be developed as a functional food for health in the future.

Key words: radish extracts, antioxidant, functional food, LPS, RAW 264.7

서 론

최근 미세먼지, COVID-19와 같은 환경변화로 현대인들은 건강수명 연장 등 건강관리를 위한 생활환경 개선, 기능성 식품 소비 등 건강 증진에 힘쓰고 있으며, 식품 관련 업계에서는 일상에서 쉽게 접근할 수 있는 다양한 기능성 원료를 발굴하기 위한 관련 연구도 활발히 진행되고 있다. 특히, 현대인들은 환경 및 식생활 변화 등 외부 요인으로 인한 과도한 산화스트레스 상태에 놓여있으며 산화스트레스는 질병유병률을 높이는 주요 원인으로 보고되고 있다(Im 등, 2021; Choi 등, 2021). 생체 내 정상세포의 생화학 반응이나 화학물질 및 운동, 과도한 스트레스 같은 환경요인에 노출되어

산화스트레스가 과도하게 발생하면 활성산소종(reactive oxygen species, ROS)이라는 물질이 생성되며 활성산소종에는 peroxide, superoxide, hydroxyl radical 등과 같은 여러 종류의 화합물이 존재한다(Lee 등, 2017). 활성산소화합물이 체내에 생성되면 이를 제거하기 위해 superoxide dismutase(SOD), glutathione peroxidase(GPx), catalase 같은 항산화계 효소를 생성시킴으로써 항산화 시스템이 작동되어 체내를 보호한다. 그러나 항산화 방어 시스템으로도 제거할 수 없을 만큼 활성산소종이 과도하게 생성되면 산화스트레스 상태로 전환되고 지속적인 산화스트레스는 단백질 분해, 세포막 및 DNA 손상으로 염증이 유발되어 암, 관절염, 파킨슨병, 심장병 등 각종 질환 발생의 원인이 된다

Received 21 July 2021; Revised 1 October 2021; Accepted 8 October 2021

Corresponding author: Kyung-A Hwang, Department of Agrofood Resources, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, 166, Nongsaengmyeong-ro, Iseo-myeon, Wanju-Gun, Jeonbuk 55365, Korea, E-mail: kah366@korea.kr

Author information: Hye-Jeong Hwang (Researcher)

Copyright © 2021 by The Korean Society of Food Science and Nutrition, All rights Reserved.

This is Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

(Park 등, 2010; Jiang, 2005).

무(Raphanus sativus L.)는 십자화과에 속하는 뿌리채소 로 국내 과채류 생산의 60%를 차지하는 채소류 중 하나이다 (Jung 등, 2008). 무는 생육 기간이 짧으며 수분 및 섬유질이 풍부하고 비타민 A, C의 함량이 높아 영양학적으로도 우수 하여 국내뿐만 아니라 전 세계적으로 재배되고 널리 소비되 는 농산물이다(Oh 등, 2019; Huh 등, 2003). 또한, 무는 소화 작용을 촉진하고 항염, 항산화, 지혈 작용 등 다양한 생리활성을 지닌 것으로 알려져 있다(Jung 등, 2004). 무는 파종 및 수확시기에 따라 봄무, 여름무, 가을무, 겨울무(월동 무)로 나뉘며 항균, 항암, 항비만 등의 작용에 탁월한 글루코 시놀레이트(glucosinolates) 기능 성분이 가장 풍부한 것으 로 보고되고 있으며(Yi 등, 2016), 이 중 가을무에서 글루코 시놀레이트 함량이 제일 높은 것으로 알려져 있다. 하지만 가을무 외에 제주 월동무에 대한 연구는 재배법에 따른 제주 월동무 생육에 미치는 영향(Moon 등, 2017), 세척 시기 및 수확 후 처리에 따른 저장 품질 변화(Kim 등, 2015)가 존재 하며 강화 순무는 키토산 첨가 순무 피클 이화학 및 관능적 특성(Son 등, 2003), 강화 순무의 화학적 특성 및 효소 활성 (Kim 등, 2007), 순무잎의 플라보노이드 성분 분석(Hertog 등, 1992) 등 이화학적 및 성분 분석에 관한 연구가 대부분 이며, 기능성에 관한 연구와 서로 다른 지역의 특산 무의 기능성을 비교한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 최근 현대인들의 건강에 관한 관심의 증대로 질병 예방 및 건강 지향적으로 변화하고 있는 사회적 트렌드에 발맞춰 국민의 소비 및 섭취량이 많은 국산 농산물 월동무와 순무의 항산화 효능에 대해 평가하고, 향후기능성 식품소재 개발을 위한 기초자료로 활용 및 제공하고자 한다.

재료 및 방법

재료 및 시약

본 연구에서 사용된 순무와 월동무는 각각 강화도(영농조합법인 영인팜)와 제주도(농업회사법인 제주 한스에코팜)에서 재배된 것을 구입하였다. 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH), 2,2-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate)(ABTS), potassium peroxodisulfate, hydrochloric acid(HCl), 2,4,6-tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ), sodium acetate anhydrous, acetic acid, iron(III) chloride hexahydrate(FeCl₃·6H₂O), iron(II) sulfate heptahydrate(FeSO₄·7H₂O), lipopolysaccharide(LPS), 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl tetrazolium bromide(MTT), dimethyl sulfoxide(DMSO)는 Sigma-Aldrich Co.(St. Louis, MO, USA)에서 구입하였고, Dulbecco's modified eagle medium(DMEM), fetal bovine serum(FBS), penicillin-streptomycin(P/S), phosphate buffed saline(PBS)은 Gibco(Waltham, MA, USA) 제품을

사용하였으며, 2',7'-dichlorodihydrofluorescein diacetate(DCFDA)는 Abcam(Cambridge, MA, USA) 제품을 구입하여 사용하였다.

추출물 제조

실험에 사용된 순무와 월동무는 이물질을 물로 깨끗이 수세하고 세절하여 60°C에서 24시간 열풍건조(DS-240BC, Doo Sung Co., Ltd., Gwangju, Korea) 후 분쇄기로 분쇄하여 추출물 제조에 사용하였다. 분쇄된 순무 및 월동무 중량의 20배수 70% 에탄올을 넣고 상온에서 24시간 교반(SMHS-6, DAIHAN Co., Wonju, Korea)하여 1차 추출 후잔량의 동량 용매를 넣어 1차 추출과 동일한 조건으로 2차추출을 진행하였다. 추출물은 여과지(No.1, Whatman International Ltd., Maidstone, UK)로 거른 후 여과액을 감압 농축(EYELA CCA-1110, Rikakikai Co., Tokyo, Japan)하여 동결건조 후 -20°C에서 냉동 보관하며 실험에 사용하였다. 추출물의 수율은 순무는 12%, 월동무는 26%였다.

DPPH 라디칼 소거능 측정

DPPH 라디칼 소거능 측정은 Blois(1958) 방법에 따라 측정하였다. DPPH 시약은 에탄올에 희석하여 0.15 mM로 만들어 사용하였고 순무와 월동무 추출물은 70% 에탄올에 농도별(50, 100, 200 μg/mL)로 희석하여 사용하였다. 이후 DPPH 용액과 시료를 혼합하여 암실에서 30분간 반응시킨다음 분광광도계(SpectraMax M2e, Molecular Devices, LLC, San Jose, CA, USA)를 이용하여 518 nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조군은 시료 대신 70% 에탄올을 사용하였고, 라디칼 소거능은 백분율(%)로 나타내었다.

$$\begin{array}{c} \text{DPPH radical scavenging} \\ \text{activity (\%)} = \left(1 - \frac{\text{ABS}_{\text{sample}}}{\text{ABS}_{\text{control}}}\right) \times 100 \end{array}$$

ABTS 라디칼 소거능 측정

ABTS 라디칼 소거능 측정은 Re 등(1999)의 방법에 따라 수행하였다. 7 mM ABTS 시약과 2.45 mM potassium persulfate는 각각 1:1로 혼합한 후 상온의 암실에서 12시간 동안 방치시켜 ABTS 라디칼을 생성시켰다. ABTS 라디칼이 생성된 용액은 732 nm에서 흡광도 값이 0.7±0.02가되도록 에탄올로 희석하여 사용하였으며, 시료는 70% 에탄올에 농도별(50, 100, 200 μg/mL)로 희석하여 사용하였다. 농도가 조정된 ABTS 용액과 농도별로 희석한 시료를 혼합하여 실온에서 10분간 반응시킨 후 분광광도계(Spectra Max M2e, Molecular Devices, LLC)를 이용하여 732 nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조군은 시료 대신 70% 에탄올 처리하였고, 라디칼 소거능은 백분율(%)로 나타내었다.

ABTS radical scavenging =
$$\left(1 - \frac{ABS_{sample}}{ABS_{control}}\right) \times 100$$

세포배양

마우스 대식세포인 RAW 264.7세포는 한국세포주은행 (Seoul, Korea)에서 분양받아 실험에 사용하였다. RAW 264.7세포는 10% FBS, 1% P/S를 포함하고 있는 DMEM을 이용하여 37°C, 5% CO₂ 환경의 배양기에서 배양하였다. 배양액은 2일 간격으로 교체해주고 세포 밀도가 80~90% 상태일 때 계대하여 유지배양 및 실험에 사용하였다.

세포독성 측정

시료의 세포에 대한 생존율은 MTT 방법을 사용하였다. RAW 264.7세포를 96-well plate에 분주하여 2시간 안정화 후 순무 및 월동무 추출물을 농도별(50, 100, 200 μ g/mL)로 처리하여 incubator(37° C, 5% CO_{2})에서 24시간 배양하였다. 또한, LPS를 처리한 염증 유발 세포에 시료를 처리하였을 때 세포 보호 효능을 확인하기 위해 세포를 부착시킨 96-well plate에 시료를 처리하고 1시간 후 LPS(1 μ g/mL)를 처리해 incubator(37° C, 5% CO_{2})에서 24시간 배양하였다. 배양 완료 후 5 mg/mL의 MTT를 첨가하여 4시간 재배양하고 생성된 formazan dye를 DMSO로 용해시켜 흡광도(450 nm)를 측정하였다.

Nitric oxide(NO) 생성량 측정

RAW 264.7세포를 96-well plate에 분주하여 2시간 배양 후 순무 및 월동무 추출물을 농도별로 처리하고 1시간 후 LPS를 처리하여 24시간 배양하였다. 배양 완료 후 상등액은 griess reagent(Promega, Madison, WI, USA)를 사용하여 다음과 같은 방법을 이용해 NO 생성량을 측정하였다. 세포배양 상등액 50 μL에 sulfanilamide 시약 50 μL를 첨가한 후 10분 동안 상온에서 암반응 시키고, 반응시킨 상등액에 추가로 NED 용액 50 μL를 첨가하여 10분간 암반응후 흡광도(540 nm)를 측정하였다. Sodium nitrite를 표준물질로 사용하여 표준곡선을 나타내었고 이를 통해 NO 생성량을 계산하였다.

Intracellular ROS 억제 활성 측정

RAW 264.7세포를 6-well plate에 분주하여 2시간 동안 배양한 후 순무 및 월동무 추출물을 농도별로 처리하였으며,

산화스트레스 유발을 위해 추출물 처리 1시간 뒤에 LPS($1\mu g/mL$)를 처리하여 24시간 배양하였다. 배양 완료 후 $1\times buffer로$ 세척하고 $20\mu M$ DCFDA를 각 well에 분주하여 빛을 차단한 상태에서 $37^{\circ}C$ 에서 30분 반응하였다. 반응 후 $1\times buffer로$ 세척한 뒤 형광현미경(Leica, Microsystems, Wetzlar, Germany)을 이용하여 측정하였다.

항산화 효소 mRNA 발현량 측정

RAW 264.7세포는 12-well plate에 분주하여 2시간 동안 배양한 후 순무 및 월동무를 농도별(50, 100, 200 μg/mL)로 처리하고 1시간 뒤 LPS를 각 well에 분주하여 24시간 배양하였다. 배양한 세포의 total RNA는 RNeasy mini kit(Qiagen, Hilden, Germany)을 이용하였고, cDNA는 reverse transcription system kit(Promega)을 사용하여 합성하였다. 합성한 cDNA는 SYBR Green mix(Gendepot, Katy, TX, USA)를 사용하여 항산화 효소인 Cu/Zn-SOD, Mn-SOD, GPx, catalase mRNA 발현정도를 real-time PCR detection system(CFX96TM, Bio-Rad, Hercules, CA, USA)으로 분석하였다. 모든 실험결과는 GAPDH를 internal control로 사용하여 보정하였으며 실험에 사용된 유전자의 염기서열은 Table 1과 같다.

통계 분석

모든 실험은 3회 이상 실시하여 얻은 결과를 평균±평균오차(Mean±SEM)로 나타내어 통계 프로그램 SPSS(25.0.0, IBM Co., Armonk, NY, USA)로 분석하였다. 실험군 간의 유의적 차이는 one-way analysis of variance(ANOVA)로 분석되었으며 P<0.05인 경우 유의성이 있는 것으로 판단하여 Duncan's multiple range 사후 분석을 수행하였다.

결과 및 고찰

무 추출물의 라디칼 소거능

자유라디칼 DPPH와 양이온 라디칼 ABTS는 항산화 활성을 측정하는 데 가장 기본적인 연구 방법으로 두 라디칼은 각각 결합도가 다르고 전자공여도가 달라 항산화능의 차이를 비교 분석할 수 있다. 따라서 순무와 월동무의 DPPH,

Table 1. Sequence of primers used for real time PCR

Target gene	Primer	Sequence $(5' \rightarrow 3')$	
Mn-SOD	Forward	GGGTTGGCTTGGTTTCAATAAGGAA	
	Reverse	AGGTAGTAAGCGTGCTCCCACACAT	
Cu/Zn-SOD	Forward	CAGCATGGGTTCCACGTCCA	
	Reverse	CACATTGGCCACACCGTCCT	
Catalase	Forward	AAGACAATGTCACTCAGGTGCGGA	
	Reverse	GGCAATGTTCTCACACAGGCGTTT	
Glutathione peroxidase	Forward	CTCGGTTTCCCGTGCAATCAG	
	Reverse	GTGCAGCCAGTAATCACCAAG	
GAPDH	Forward	GAGCCAAAAGGGTCATCATC	
	Reverse	TAAGCAGTTGGTGGTGCAGG	

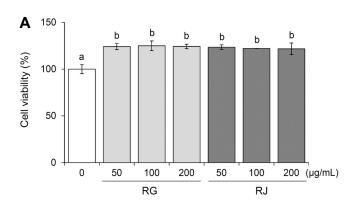
Sample	Concentration (µg/mL)	DPPH radical scavenging activity (%)	ABTS radical scavenging activity (%)
Ganghwa turnip (RG)	50 100 200	11.164 ± 0.206^{c} 19.486 ± 0.726^{c} 31.717 ± 0.135^{a}	17.946 ± 3.461^{bc} 21.932 ± 2.166^{abc} 31.439 ± 0.677^{a}
Jeju winter radish (RJ)	50 100 200	$10.236\pm1.018^{\rm f} \\ 18.133\pm0.677^{\rm d} \\ 28.341\pm1.022^{\rm b}$	13.910±1.812 ^c 17.538±3.682 ^{bc} 26.894±3.369 ^{ab}

Table 2. DPPH and ABTS radical scavenging activity of RG and RJ extracts

ABTS를 측정한 결과, DPPH 라디칼 소거 활성은 순무 200 μg/mL에서 31.717%, 월동무 200 μg/mL에서 28.341%로 나타났으며 이는 두 추출물의 고농도에서 가장 높은 라디칼 소거 활성을 나타낸 것으로 확인할 수 있었다. 또한 ABTS 라디칼 소거능을 평가한 결과, 농도 의존적으로 라디칼 소거 활성이 증가한 것을 확인하였고 고농도에서 순무 31.439%, 월동무 26.894%로 ABTS 라디칼을 소거하였다(Table 2). DPPH와 ABTS 라디칼 소거 활성은 모든 농도에서 월동무보다 순무의 소거능이 더 우수한 것을 확인할 수 있었다. 이는 Park 등(1999)이 순무의 전자공여 작용을 평가한 결과 순무가 높은 전자공여 작용을 통해 DPPH 라디칼을 소거함으로써 산화를 억제한다는 결과와 유사한 결과이다.

무 추출물의 세포독성 평가

RAW 264.7세포에서 순무 및 월동무의 세포독성 여부를 확인하기 위해 각 추출물을 50, 100, 200 μg/mL 농도별로처리하여 세포 생존율을 측정한 결과 대조군 생존율 대비모든 시료의 농도에서 80% 이상의 세포 생존율을 확인하였다(Fig. 1A). 또한, LPS 처리로 산화스트레스가 유도된 세포에 시료를 처리하였을 때 LPS 처리군과 시료 처리군 모두세포독성을 나타내지 않았다(Fig. 1B). 따라서 이후 실험에서 순무 및 월동무 추출물은 50, 100, 200 μg/mL 농도로실험을 수행하였다.



무 추출물의 NO 생성량 억제 평가

활성산소 중 하나인 NO는 L-arginine이 NO 합성효소 (NOS; nitric oxide synthase)에 의해 생성되는 물질로 정 상적인 상태에서 혈관 확장, 혈소판 응집 등 생리적인 기능 을 조절하는 주요한 역할을 하지만, 그 생성량이 정상 범위 를 벗어나게 되면 염증 유발 및 세포독성 등을 발생시켜 질 병을 초래하는 것으로 보고되고 있다(Kim 등, 2004; Jeong 등, 2012). 따라서 순무 및 월동무 추출물이 NO 생성량에 미치는 영향을 평가한 결과, LPS 처리에 의해 NO가 29 μM 생성되었고 순무와 월동무 농도에 따라 NO 생성량이 감소 하는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 순무의 200 μg/mL에서 NO 생성률이 LPS 처리군 대비 55% 감소함에 따라 시료 중 가장 높은 NO 억제 활성을 나타내었고 대조군보다 더 낮 은 수준으로 NO 생성량이 감소하는 것을 확인하였다(Fig. 2). 이 같은 연구결과는 Lee 등(2009)이 보고한 무 추출물 의 열처리에 따른 총 폴리페놀 함량 증가 및 항산화 활성 증진에 대한 연구결과와 유사하게 무 추출물이 항산화 성분 을 함유함에 따라 NO 생성량 억제에 효능이 있어 산화스트 레스 및 염증을 개선시켜줄 수 있는 것으로 생각된다.

무 추출물의 ROS 억제 활성능

산화스트레스의 주요 인자인 ROS는 생체 내 조직에 손상을 주어 신체 대사 과정 및 생화학 반응에 변화를 일으켜 생체 시스템을 교란시키는 물질로 우리 체내에서는 ROS를

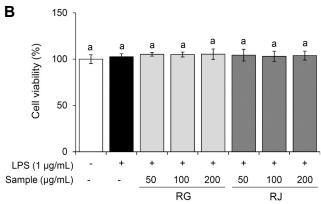


Fig. 1. Effects of RG and RJ extracts on cell viability treatment (A) with or (B) without LPS in RAW 264.7 cells. The data shown are representative of triplicate experiments. Values are expressed as mean±SEM. Different letters represent groups that are significantly different from each other by ANOVA at P<0.05. RG, Ganghwa turnip; RJ, Jeju winter radish; ANOVA, analysis of variance.

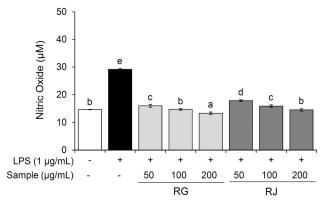


Fig. 2. Effects of RG and RJ extracts on nitric oxide production in LPS induced RAW 264.7 cells. The data shown are representative of triplicate experiments. Values are expressed as mean ±SEM. Different letters represent groups that are significantly different from each other by ANOVA at *P*<0.05. RG, Ganghwa turnip; RJ, Jeju winter radish; ANOVA, analysis of variance.

제거하기 위한 항산화 방어시스템을 통해 체내 항상성을 유지한다. 즉, 항산화 연구에서는 ROS를 주요 지표로 사용하며 순무와 월동무의 ROS 억제 활성능을 DCFDA로 염색하여 형광현미경으로 관찰한 결과, LPS에 의해 ROS가 대조군보다 다량 생성된 것을 확인할 수 있었고 각 시료의 농도에따라 현저하게 감소하는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3A).이후 ROS의 생성량을 형광광도계로 측정하여 나타낸 결과, LPS 처리군의 ROS 생성량이 100%일 때, 200 µg/mL의순무는 14%, 월동무 고농도군(200 µg/mL)은 19%의 ROS생성량을 나타내어 전반적인 감소세를 확인할 수 있었다.

또한, ROS 생성량 억제 효능에 있어 두 시료 간에 유의적인 차이가 확인되었고 월동무보다 순무가 ROS 생성량을 감소 시키는 데 효과적인 것을 확인하였다. 이와 같은 결과는 무 추출물이 세포 내 ROS 생성량을 현저히 감소시켜 산화스트 레스를 억제시킴으로써 질병을 예방 및 개선시킬 수 있을 것으로 생각된다(Fig. 3B).

무 추출물의 항산화 효소 유전자 발현

순무 및 월동무의 산화스트레스 억제 기전을 확인하기 위 해 항산화 효소 mRNA 발현량을 측정한 결과, LPS 처리군 은 대조군 대비 항산화 효소 Cu/Zn-SOD와 Mn-SOD의 발 현량이 40%, 30% 감소하였다. 이러한 결과는 산화·환원 반응의 불균형으로 산화스트레스가 발생되어 과도한 ROS 의 생성으로 항산화 효소 활성이 억제되고 항산화 시스템은 불활성화되었다는 보고(Payabvash 등, 2006)와 유사하며, LPS를 경구 투여한 쥐의 간조직 내 항산화 효소 활성이 감 소된 연구결과(Balkan 등, 2005)와 일치한다. 산화스트레 스 유발에 의해 발현량이 감소한 Cu/Zn-SOD의 mRNA 발 현은 순무 75% 및 월동무 50% 증가하였고, Mn-SOD의 mRNA 발현은 순무 67%, 월동무 33%로 시료 처리에 의해 항산화 효소 발현량이 유의적으로 증가한 것을 확인하였다. 또한, GPx와 catalase mRNA 발현 역시 각 시료의 농도 의존적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 4). 이처 럼 항산화 효소인 SOD, GPx, catalase는 세포 내 산화스트 레스를 억제시켜 항산화 효능을 지니는 효소로 이 효소들의 활성을 증진하기 위한 연구는 활발하게 진행되고 있다. 특

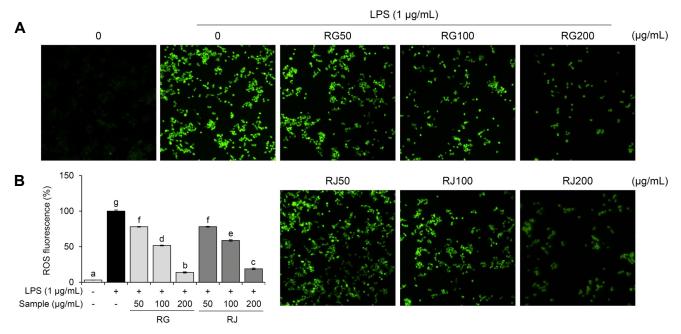


Fig. 3. Effects of RG and RJ extracts on intracellular ROS in LPS induced RAW 264.7 cells. (A) The ROS detection was performed using a fluorescence microscopy. (B) ROS production was analyzed by flowcytometry. The data shown are representative of triplicate experiments. Values are expressed as mean \pm SEM. Different letters represent groups that are significantly different from each other by ANOVA at P<0.05. RG, Ganghwa turnip; RJ, Jeju winter radish; ANOVA, analysis of variance.

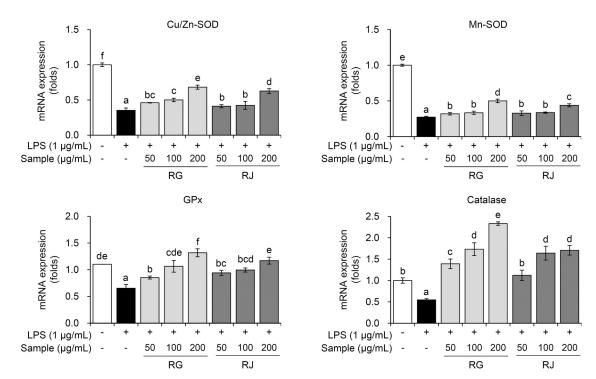


Fig. 4. Effects of RG and RJ extracts on expression of antioxidant mRNA in LPS induced RAW 264.7 cells. The data shown are representative of triplicate experiments. Values are expressed as mean±SEM. Different letters represent groups that are significantly different from each other by ANOVA at P<0.05. RG, Ganghwa turnip; RJ, Jeju winter radish; ANOVA, analysis of variance.

히, 염증, 질병 등 염증 상태에서 다량 생산되는 superoxide 는 SOD에 의해 제거되어야 하지만 SOD의 활성이 저하되며 조직의 손상을 초래한다. 또한, GPx와 catalase는 superoxide가 SOD에 의해 전환된 물질인 과산화수소를 물과 산 소로 분해시켜 활성산소로부터 생체를 보호하는 역할을 하 는 효소이다(Asimakis 등, 2002; Imai와 Nakagawa, 2003; Deisseroth와 Dounce, 1970). 결론적으로 무 추출물은 라 디칼 소거, ROS 생성 억제, 항산화 효소 유전자 발현 증진으 로 항산화 효능을 나타냈으며 이는 무가 함유하고 있는 유효 성분 중 십자화과 채소에 많이 함유된 글루코시놀레이트 화 합물에 의한 것으로 이 성분은 항산화, 항암 등의 생리활성 을 지닌 것으로 알려져 있다(Vicas 등, 2013; Becker와 Juvik, 2016). 또한, 순무는 적색무로 안토시아닌 성분을 다 량 함유하고 있어 월동무보다 더 높은 항산화 효능을 나타내 는 것으로 확인된다(Park 등, 1999; Tena 등, 2020). 따라 서 순무 및 월동무는 ROS 생성 억제 및 항산화 효소의 활성 을 증가시켜 산화스트레스와 세포 손상을 억제할 수 있을 것으로 생각되며 주요 기능 성분의 차이에 따른 순무의 항산 화 활성이 더 좋은 것을 확인하였다.

요 약

본 연구에서는 순무와 월동무의 항산화 효능을 비교 분석하였다. DPPH와 ABTS의 라디칼 소거능 측정 결과, 순무와 월동무 모두 200 μg/mL에서 항산화 활성이 가장 우수한 것으로 분석되었다. 그리고 산화 및 염증 유발의 원인인 NO 생성량이 시료 농도 의존적으로 감소하였으며 특히, 순무의 200 μg/mL에서 가장 높은 NO 생성 억제율을 나타내었다. 또한, 산화스트레스의 주요 지표 intracelluar ROS와 항산화 효소 유전자 발현 역시 순무 및 월동무 추출물에 의해 조절됨으로써 두 무 추출물이 항산화 활성에 효능이 우수한 것으로 판단된다. 본 연구 결과를 통해 순무 및 월동무 추출물이 항산화 활성이 우수하다는 것을 확인함으로써 이후 항산화 관련 기능성 원료로 활용될 수 있을 것으로 기대되며 항산화 관련 작용기전 규명을 위한 동물실험 등 추가적인 연구를 계속 수행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ01514401)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

Asimakis GK, Lick S, Patterson C. Postischemic recovery of contractile function is impaired in SOD2^{+/-} but not SOD1^{+/-} mouse hearts. Circulation. 2002. 105:981-986.

Balkan J, Parldar FH, Dogru-Abbasoglu S, Aykac-Toker G, Uysal M. The effect of taurine or betaine pretreatment on hepatotoxicity and prooxidant status induced by lipopolysaccharide treatment in the liver of rats. Eur J Gastroenterol Hepatol.

- 2005. 9:917-921.
- Becker TM, Juvik JA. The role of glucosinolate hydrolysis products from *Brassica* vegetable consumption in inducing antioxidant activity and reducing cancer incidence. Diseases. 2016. 4:22. https://doi.org/10.3390/diseases4020022
- Blois MS. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. Nature. 1958. 181:1199-1200.
- Choi JH, Hwang JW, Lee SG, Heo SH, Kang H. Antioxidant effect of hot water extracts from 3 types Indonesia plants (*Hibiscus* petals, *Moringa Oleifera* gymnosperm, and *Nipa Fruticans Wurmb*). Journal of Naturopathy. 2021. 10:42-47.
- Deisseroth A, Dounce AL. Catalase: physical and chemical properties, mechanism of catalysis, and physiological role. Physiol Rev. 1970. 50:319-375.
- Hertog MGL, Hollman PCH, Katan MB. Content of potentially anticarcinogenic flavonoids of 28 vegetables and 9 fruits commonly consumed in the Netherlands. J Agric Food Chem. 1992. 40:2379-2383.
- Huh YJ, Cho YJ, Kim JK, Park KH. Effects of radish root cultivars on the *Dongchimi* fermentation. Korean J Food Sci Technol. 2003. 35:7-14.
- Im PR, Hwang HJ, Im JY, Hwang YJ, Nam DG, Choe JS, et al. Inhibitory effects of *Zingiber officinale* roscoe roots, stems, and leaves on oxidative stress through free radical scavenging activity. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2021. 50:128-135.
- Imai H, Nakagawa Y. Biological significance of phospholipid hydroperoxide glutathione peroxidase (PHGPx, GPx4) in mammalian cells. Free Radic Biol Med. 2003. 34:145-169.
- JeongHR, Sung MS, Kim YH, Ham HM, Choi YM, Lee JS. Anti-inflammatory activity of Salvia plebeia R. Br. leaf through hemeoxygnase-1 induction in LPS-stimulated RAW 264.7 macrophages. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2012. 41:888-894.
- Jiang WY. Therapeutic wisdom in traditional Chinese medicine: a perspective from modern science. Trends Pharmacol Sci. 2005. 26:558-563.
- Jung M, Lee G, Chae HJ. *In vitro* biological activity assay of ethanol extract of turnip. J Korean Soc Appl Biol Chem. 2004. 47:67-71.
- Jung UJ, Baek NI, Chung HG, Bang MH, Jeong TS, Lee KT, et al. Effects of the ethanol extract of the roots of *Brassica rapa* on glucose and lipid metabolism in C57BL/KsJ-db/db mice. Clin Nutr. 2008. 27:158-167.
- Kim HR, Lee JH, Kim YS, Kim KM. Chemical characteristics and enzyme activities of Icheon Ge-Geol radish, Gangwha turnip, and Korean radish. Korean J Food Sci Technol. 2007. 39:255-259.
- Kim JK, Lee JS, Park MH. Quality change of winter and spring radishes treated with different washing time and postharvest handling. Proceeding of Korean Society For Horticultural Science. 2015 Oct 28-Oct 31. Yeosu, Korea. p 88-89.

- Kim JY, Jung KS, Jeong HG. Suppressive effects of the kahweol and cafestol on cyclooxygenase-2 expression in macrophages. FEBS Lett. 2004. 569:321-32.
- Lee CE, Jeong HH, Cho JA, Ly SY. In vitro and in vivo anti-oxidative and anti-inflammatory activities of Acer tegmentosum Maxim extracts. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2017. 46:1-9.
- Lee SH, Hwang IG, Lee YR, Joung EM, Jeong HS, Lee HB. Physicochemical characteristics and antioxidant activity of heated radish (*Raphanus sativus* L.) extracts. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2009. 38:490-495.
- Moon AK, Kim SH, Shin YS, Yang SH, Oh SJ, Ko MH, et al. Effect on growth of winter-type radish seeded very late in vinyl mulching cultivation period in Jeju. Proceeding of Korean Society For Horticultural Science. 2017 Oct 11-Oct 14. Incheon, Korea. p 55-56.
- Oh S, Moon KH, Song EY, Wi SH, Koh SC. Photosynthesis, productivity, and mineral content of winter radishes by soiltype on Jeju island. Kor J Hortic Sci Technol. 2019. 37:167-177.
- Park DJ, Kim SG, Yoon MK, Park SY, Kim YH, Lee SJ, Choi YW. Effects of extracts from raw and black garlic on anticancer, antioxidant, antiinflammatory and whitening. Proceeding of Korean Society For Horticultural Science. 2010 May 28-May 29. Yongin, Korea. p 39-40.
- Park YK, Kim HM, Park MW, Kim SR, Choi IW. Physicochemical and functional properties of turnip. J Korean Soc Food Sci Nutr. 1999. 28:333-341.
- Payabvash S, Ghahremani MH, Goliaei A, Mandegary A, Shafaroodi H, Amanlou M, et al. Nitric oxide modulates glutathione synthesis during endotoxemia. Free Radic Biol Med. 2006. 12:1817-1828.
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radic Biol Med. 1999. 26:1231-1237.
- Son EJ, Oh SH, Heo OS, Kim MR. Physicochemical and sensory characteristics of turnip pickle added with chitosan during storage. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2003. 32:1302-1309.
- Tena N, Martin J, Asuero AG. State of the art of anthocyanins: antioxidant activity, sources, bioavailability, and therapeutic effect in human health. Antioxidants. 2020. https://doi.org/10.3390/antiox9050451
- Vicas SI, Teusdea AC, Carbunar M, Socaci SA, Socaci C. Glucosinolates profile and antioxidant capacity of Romanian Brassica vegetables obtained by organic and conventional agricultural practices. Plant Foods Hum Nutr. 2013, 68:313-321.
- Yi G, Lim S, Chae WB, Park JE, Park HR, Lee EJ, et al. Root glucosinolate profiles for screening of radish (*Raphanus sativus* L.) genetic resources. J Agric Food Chem. 2016. 64:61-70.