

과채수 복합추출물을 염수로 활용한 된장의 항산화 특성

김도희¹ · 강명화^{2,3*}

¹호서대학교 식품영양학과 석사, ²호서대학교 식품영양학과 교수, ³호서대학교 기초과학연구소 교수

Antioxidant Properties of Doenjang Prepared Using Fruit and Vegetable Complex Extracts

Do-Hee Kim¹ and Myung-Hwa Kang^{2,3*}

¹Master, Dept. of Food & Nutrition, Hoseo University, Asan 31499, Republic of Korea

²Professor, Dept. of Food & Nutrition, Hoseo University, Asan 31499, Republic of Korea

³Professor, Research Institute of Bacal Sciences, Hoseo University, Asan 31499, Republic of Korea

ABSTRACT

This study investigated the antioxidant properties of Doenjang prepared using fruit and vegetable complex extracts composed of apple, beet, and carrot at different mixing ratios. Fruit and vegetable complex extracts (FCEs) were used as brine for Doenjang preparation, and antioxidant properties were evaluated by measuring total anthocyanin content, total phenolic compounds, total flavonoid content, electron donating activity, SOD-like activity, ABTS radical scavenging activity, and reducing power. Among the fruit and vegetable complex extracts, FCEs1 (apple 50%, beet 30%, carrot 20%) showed the highest anthocyanin and total phenolic compound contents. However, in Doenjang prepared using the extracts, relatively higher antioxidant activity was observed in FCEs2 (apple 30%, beet 50%, carrot 20%). Total flavonoid content and electron donating activity were highest in FCEs1 and the corresponding Doenjang, whereas SOD-like activity was highest in FCEs2 in the extracts but in FCEs1 in the Doenjang. In contrast, ABTS radical scavenging activity and reducing power showed relatively higher values in FCEs2 and the corresponding Doenjang. These results suggest that the mixing ratio of fruit and vegetable complex extracts influences the antioxidant properties of Doenjang differently depending on the evaluation indices. Overall, the use of fruit and vegetable complex extracts as brine in Doenjang fermentation may enhance antioxidant activity and has potential for the development of functional fermented soybean paste products.

Key words: Doenjang, fruit and vegetable complex extracts, antioxidant properties, phenolic compounds, fermentation

서론

된장은 우리나라의 대표적인 전통 발효식품으로 대두를 주원료로 하여 미생물의 복합적인 발효 과정을 통해 독특한 맛과 향을 형성하며, 풍부한 영양소와 다양한 생리활성을 지닌 식품으로 알려져 있다. 발효 과정에서 대두 단백질이 아미노산으로 분해되면서 감칠맛이 형성되고, 소금의 짠맛과 당류의 단맛이 조화를 이루어 된장 특유의 풍미를 형성한다 (Kim MJ & Lee HS 1990; Yang SH 등 1992). 또한, 된장은 항산화, 항암 및 혈청 콜레스테롤 저하 등 다양한 생리활성이 보고되어 건강에 유익한 식품으로 알려져 있으며 (Santiago LA 등 1992; Kennedy AR 1995; Shin ZI 등 1995), 이러한 기능성은 암, 심혈관계 질환 및 골다공증 등 다양한 만성질환의 예방에 긍정적인 영향을 미칠 수 있는 것으로 보고되고 있다 (Messina M 1995).

최근에는 된장의 기능성을 향상시키기 위한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 예를 들어 상황버섯 추출물(Rhee CH 등 2008), 유자즙(Shin JH 등 2008), 자작나무 수액(Shin OM 2005), 인삼 농축액(Jang SM 등 2000) 등을 첨가하여 기능성을 강화한 된장이 개발된 바 있다. 또한 감초, 겨자 및 키토산(Lim SI 등 2010), 강황(Kim DH & Kim S 2019), 염생식물(Choi BY 등 2018), 오징어 내장(Seo JH & Jeong YJ 2001) 등 다양한 기능성 소재를 이용하여 된장의 생리활성을 향상시키고자 하는 연구가 보고되고 있다. 그러나 이러한 연구들은 대부분 기능성 소재를 된장에 직접 첨가하는 방식에 집중되어 있으며, 된장 제조 과정에서 사용되는 염수 자체의 기능성을 개선하려는 연구는 상대적으로 부족한 실정이다.

전통적으로 된장 제조에서 염수는 소금을 용해하여 짠맛을 부여하는 역할을 하는 것으로 인식되어 왔다. 그러나 염수 자체에 기능성 성분을 부여할 수 있다면 된장의 기능성과 품질을 동시에 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 최근에는 과일과 채소에 함유된 항산화 성분을 활용하여 발효식품의

* Corresponding author : Myung-Hwa Kang, Tel: +82-41-540-5973, Fax: +82-41-548-0670, E-mail: mhkang@hoseo.edu

기능성을 강화하려는 연구가 시도되고 있으며, Kim DH 등 (2022)은 채소수를 첨가하여 제조한 된장에서 항산화 활성이 증가하는 경향을 보고하였다. 이러한 결과는 염수의 조성이 발효식품의 기능성에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

사과(*Malus domestica*), 비트(*Beta vulgaris* L.) 및 당근(*Daucus carota* L.)은 다양한 항산화 성분을 함유한 대표적인 과채류로 알려져 있다. 사과는 유기산, 비타민, 식이섬유 및 폴리페놀 화합물이 풍부하여 항산화 활성 및 만성질환 예방에 도움이 되는 것으로 보고되었으며(Manach C 등 2005; Hyson DA 2011), 비트는 betacyanin과 betaxanthin과 같은 색소 성분을 함유한 항산화 식품으로 알려져 있다. 또한 당근은 β -carotene과 같은 carotenoid 성분이 풍부하여 항산화 및 항암 작용을 나타내는 것으로 보고되고 있다(Diplock AT 1991; Kim MH 2012).

따라서 본 연구에서는 사과, 비트 및 당근을 이용하여 기능성을 지닌 과채수 복합추출물을 제조하고 이를 된장 제조 과정의 염수로 활용하여 발효 과정 중 나타나는 항산화 특성 변화를 분석하고자 하였다. 특히 사과, 비트 및 당근의 혼합 비율을 달리한 과채수를 제조하여 항산화 활성의 변화를 비교하고, 된장 제조에 적용 가능한 최적의 과채수 혼합 비율을 탐색하고자 하였다. 이를 통해 전통 발효식품인 된장의 기능성 변화에 미치는 영향을 분석하고, 새로운 제조 방법의 적용 가능성을 평가하기 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험재료

된장 제조에 사용된 메주는 일품농산물(Ilpum Agricultural Products, Hanam, Korea)에서 구입하였다. 천일염(CJ CheilJedang, Seoul, Korea), 대추(Fruzen Corp., Boeun, Korea), 사과(Brix Farm, Cheongsong, Korea), 당근(Geumseong Agricultural Corp., Jeju, Korea), 비트(Haetsalae Agricultural Corp., Seogwipo, Korea), 생수(Jeju Special Self-Governing Province Development Corp., Jeju, Korea), 건고추(Bonghwa Agricultural Cooperative Joint Business Corp., Bonghwa, Korea) 및 숯(Solbat On Gama, Chilgok, Korea)은 온라인 매장에서 구입하였다. 발효 용기는 유리뚜껑이 포함된 20 L 용기 항아리(Yesanonggi, Yesan, Korea)를 사용하였다.

2. 과채수 제조

사과는 껍질을 제거하지 않고 사용하였으며, 당근과 비트는 껍질을 제거한 후 약 3 × 3 cm 크기로 절단하여 사용하였다. 본 연구에서 사용한 과채수의 혼합 비율은 사과, 비트 및 당근에 함유된 주요 항산화 성분의 특성과 예비 실험 결과를 고려하여 설정하였다. 사과, 비트 및 당근의 혼합 비율을 달리

한 세 가지 조성(FCEs1, FCEs2, FCEs3)을 설정하고(Table 1), 생수 500 mL를 첨가한 후 믹서기(HDBL-EAB1GR; Happycall Co., Ltd, Gimhae, Korea)를 이용하여 균질화하였다. 균질화된 혼합물은 면포를 이용하여 1차 여과하였다.

여과액은 침전물을 가라앉힌 후 상층액을 회수하였으며, 침전물은 원심분리기(MF 550, Hanil Science Industrial, Daejeon, Korea)를 이용하여 3,000 rpm에서 5 min 동안 원심분리하였다. 이후 감압여과기(HJD 260HV, Hanjin Air Tech, Gyeonggi-do, Korea)를 이용하여 2차 여과한 과채수를 된장제조에 사용하였다.

최종 여과액은 동결건조기(FD 5508, Ilshin Lab Co., Yangju, Korea)를 이용하여 -65°C 에서 4일간 동결건조하였다. 이렇게 얻어진 과채수 동결건조 분말은 1 mg/mL 농도로 희석하여 항산화 활성 분석에 사용하였다.

3. 된장 제조

된장 제조 전날, 2차 여과한 과채수(fruit and vegetable complex extract; FCE)와 생수를 1:3 (v/v) 비율로 희석한 후 천일염을 첨가하여 18% 염수를 제조하였다(PAL-03S, Atago, Tokyo, Japan).

20 L의 용기 항아리는 열탕 소독 후 건조하여 사용하였다. 메주와 염수는 1:4 (w/v)의 비율로 혼합하였으며, 20 L 용기 기준으로 메주 4 kg에 염수 16 L를 첨가한 후 홍고추 1개, 대추 2개 및 불에 달군 숯 1조각을 첨가한 후 항아리 뚜껑을 닫아 발효를 진행하였다.

발효는 저온 인큐베이터(IL-21, JEIO TECH, Gyeonggi-do, Korea)를 이용하여 30°C 에서 40일간 숙성·발효하였다.

본 연구에서 설정한 발효 기간은 전통적인 된장 제조 과정에서 장가르기가 이루어지는 시점을 고려하여 설정하였다. 즉, 메주와 염수를 혼합하여 일정 기간 발효를 진행한 후 장가르기를 실시하는 전통적인 공정을 반영하여 약 40일의 발효 기간을 적용하였다(Lee JY & Mok CK 2010). 발효 40일 후, 장가르기를 실시하여 얻은 고형분을 실험 시료로 사용하였다.

4. 된장 추출물 제조

염수 추출은 된장과 물을 1:10(w/v) 비율로 혼합한 후 환류 냉각 장치를 이용하여 수행하였다. 즉, 시료와 용매를 둥근바

Table 1. Mixing ratios of fruit and vegetable complex extracts (FCEs)

Sample	Apple (%)	Beet (%)	Carrot (%)
FCEs1	50	30	20
FCEs2	30	50	20
FCEs3	40	40	20

다플라스크(round-bottom flask)에 넣고 환류냉각기(glass reflux condenser; Daihan Scientific Co., Ltd, Wonju, Korea)를 연결한 후, 가열장치(heating mantle; WHM12014, DAIHAN Scientific Co., Ltd, Wonju, Korea)를 사용하여 90~100°C에서 2시간 동안 환류 조건에서 추출하였다.

추출액은 원심분리기(MF 550, Hanil Science Industrial, Daejeon, Korea)를 이용하여 3,000 rpm에서 5 min 동안 원심 분리한 후, 상층액을 회수하였다. 이후, 감압여과기(HJD 260HV, Hanjin Air Tech, Gyeonggi-do, Korea)를 이용하여 여과하였다.

여과액은 감압농축기(N-1000, EYELA, Tokyo, Japan)를 이용하여 농축한 후, -65°C에서 4일간 동결건조하였다. 동결건조된 된장 추출물 분말은 1.0 mg/mL 농도로 용해하여 항산화 활성 측정에 사용하였다.

5. 총 안토시아닌 함량 측정

총 안토시아닌 함량은 Fuleke T & Francis FJ(1968)의 방법을 이용하여 측정하였다. 동결건조된 과채수 분말 및 된장 시료 10 g에 추출용액(ethanol : distilled water : acetic acid=85 : 13 : 2, v/v/v) 50 mL를 첨가한 후 4°C에서 24 h 동안 암조건에서 추출하였다.

추출액을 여과하여 50 mL로 정용한 후 520 nm에서 UV-visible 분광광도계(UV-1800, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 흡광도를 측정하였다.

총 안토시아닌 함량은 다음 식에 따라 계산하였다.

$$\text{총 안토시아닌 함량(mg/100 g)} = \text{흡광도 값} \times (50/\text{시료량 (g)}) \times \text{희석배수} \times 1.54$$

6. 총 페놀성 화합물 함량 측정

총 페놀성 화합물 함량은 Folin-Denis 방법을 이용하여 측정하였다(Singleton VL 등 1999). 과채수 및 된장 추출물 0.1 mL에 2% Na₂CO₃ 2 mL와 Folin-Ciocalteu 시약(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 2 mL를 첨가한 후 실온에서 30 min 반응시켰다. 흡광도는 750 nm에서 측정하였다. Catechin(Sigma-Aldrich, Steinheim, Germany)을 표준물질로 사용하여 검량선을 작성하였으며, 검량식은 $y=0.0043x+0.021$ ($R^2=0.998$)이었다. 모든 실험은 3회 반복하여 수행하였다.

7. 총 플라보노이드 함량 측정

총 플라보노이드 함량은 Kim EJ 등(2012)의 방법을 이용하여 측정하였다. 과채수 및 된장 추출물 0.5 mL에 diethylene glycol 5 mL와 1 N NaOH 0.5 mL를 첨가한 후 37°C 수욕상에서 1 h 반응시켰다. 흡광도 420 nm에서 측정하였다. Rutin을

표준물질로 사용하여 검량선을 작성하였으며, 검량식은 $y=0.0051x+0.018$ ($R^2=0.997$)이었다.

8. 전자공여능 측정

전자공여능은 과채수 및 된장 추출물 0.5 mL에 0.2 mM DPPH(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 용액 3 mL를 혼합한 후, 암소에서 30분간 반응시켰다. 이후, 517 nm에서 UV-visible 분광광도계(Shimadzu UV-1800, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 흡광도를 측정하였다. 모든 실험은 3회 반복하여 수행하였고, 전자공여능은 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{전자공여능(\%)} = 100 - (A / B) \times 100$$

A: Absorbance of the sample

B: Absorbance of the control (without sample)

9. SOD 유사활성 측정

SOD 유사활성은 Marklund S & Marklund G(1974)의 방법에 따라 측정하였다. 과채수 및 된장 추출물 0.2 mL에 Tris-HCl buffer(50 mM, pH 8.5) 3 mL와 0.2 mM pyrogallol (Sigma-Aldrich, Steinheim, Germany) 0.2 mL를 첨가하여 혼합한 후, 25°C에서 10분간 반응시켰다. 1 N HCl(Daejung Chemicals & Metals, Siheung, Korea)을 첨가해 반응을 정지시킨 후, UV-visible 분광광도계(Shimadzu UV-1800, Shimadzu, Kyoto, Japan)로 420 nm에서 흡광도를 측정하였다. 모든 실험은 3회 반복하여 수행하였고, SOD 유사활성은 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{SOD-like activity(\%)} = (1 - B / A) \times 100$$

A: Absorbance of the control (without sample)

B: Absorbance of the sample

10. ABTS Radical 소거능 측정

ABTS radical 소거능 측정은 7.4 mM ABTS(Sigma-Aldrich, Steinheim, Germany) 용액과 2.6 mM potassium persulfate (Yakuri Pure Chemicals, Kyoto, Japan) 용액을 동량으로 혼합한 후, 실온의 암조건에서 24시간 반응시켜 생성된 ABTS 용액을 사용하였다. 생성된 ABTS 용액은 phosphate-buffered saline(PBS, pH 7.4)로 희석하여 734 nm에서 흡광도가 0.70±0.03이 되도록 조정하였다.

이 용액 950 µL에 과채수 및 된장 추출물 50 µL를 첨가하여 혼합한 후, 실온의 암조건에서 10분간 반응시킨 뒤, UV-visible 분광광도계(Shimadzu UV-1800, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이

용하여 734 nm에서 흡광도를 측정하였다(Kim JS & Lee JH 2020). 모든 실험은 3회 반복하여 수행하였다.

ABTS radical 소거능은 다음 식에 따라 계산하였다.

$$\text{ABTS radical 소거능(\%)} = 100 - (A / B) \times 100$$

A: Absorbance of the sample

B: Absorbance of the control (without sample)

11. 환원력 측정

환원력 측정은 과채수와 된장 추출물 1 mL에 200 mM sodium phosphate buffer(pH 6.6) 1.25 mL와 1% potassium ferricyanide(Duksan Pure Chemicals, Gyeonggi-do, Korea) 1.25 mL를 첨가해 50°C에서 20분간 반응시켰다. 이후, 10% trichloroacetic acid(Daejung Chemicals & Metals, Gyeonggi-do, Korea) 1.25 mL를 첨가하여 4°C에서 10분간 반응시킨 뒤, 상등액 2.5 mL를 취하고 증류수 5 mL와 0.1% ferric chloride (Kokusen Chemical Works, Yokohama, Japan) 1.25 mL를 혼합하여 반응시켰다. 흡광도는 UV-visible 분광광도계(Shimadzu UV-1800, Shimadzu, Kyoto, Japan)로 700 nm에서 측정하였다(Yen GC & Duh PD 1994). 환원력 정량을 위한 검량선은 BHT(Kanto Chemical, Tokyo, Japan)를 표준물질로 사용하여 $y=0.0038x+0.015(R^2=0.997)$ 이었다. 모든 실험은 3회 반복하여 수행하였다.

12. 통계 분석

모든 실험은 3회 반복 수행하였으며, 평균±표준편차(mean±SD)로 나타내었다. 통계 분석은 SPSS statistics(ver. 25.0, SPSS Inc., Armonk, NY, USA)를 이용하였다. 군 간 차이는 one-way ANOVA를 이용하여 분석하였으며, 사후 검정은 Duncan's multiple range test를 실시하였다. 과채수와 된장 추출물 간 차이는 Student's *t*-test로 분석하였으며 $p<0.05$ 수준에서 유의성을 검증하였다. 각 항목 간 상관관계는 Pearson correlation analysis를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 안토시아닌 함량

과채수 및 이를 이용하여 제조한 된장의 안토시아닌 함량 측정 결과는 Table 2에 나타내었다. 과채수의 안토시아닌 함량은 FCEs1, FCEs2 및 FCEs3에서 각각 7.51±0.03, 6.54±0.00 및 2.39±0.00 mg/100 g으로 나타났으며, 이를 이용하여 제조한 된장에서는 각각 0.58±0.09, 1.27±0.10 및 0.18±0.01 mg/100 g

Table 2. Anthocyanin content of fruit and vegetable complex extracts and Doenjang

Sample	Anthocyanin content (mg/100 g)		T-value ⁴⁾
	Juice	Doenjang	
FCEs ¹⁾ 1	7.51±0.03 ^{2)a3)}	0.58±0.09 ^b	104.221 ^{***}
FCEs2	6.54±0.00 ^b	1.27±0.10 ^a	71.309 ^{***}
FCEs3	2.39±0.00 ^c	0.18±0.01 ^c	301.666 ^{***}
F-value	41,351.865 ^{***}	97.447 ^{**}	

¹⁾ FCEs: fruit and vegetable complex extracts; FCEs1 (apple 50%, beet 30%, carrot 20%), FCEs2 (apple 30%, beet 50%, carrot 20%), and FCEs3 (apple 40%, beet 40%, carrot 20%).

²⁾ Values are mean±S.D. (n=3).

³⁾ Different superscript letters within the same column indicate significant differences at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

⁴⁾ T-values indicate the significance of differences between juice and Doenjang within the same FCEs.

** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

으로 나타났다. 과채수 혼합 비율에 따른 안토시아닌 함량은 과채수($p<0.001$)와 된장($p<0.01$) 모두에서 유의적인 차이를 보였다.

안토시아닌은 pH, 온도, 산소 및 효소 작용에 의해 쉽게 분해되는 불안정한 색소로 알려져 있으며(Castañeda-Ovando A 등 2009; He J & Giusti MM 2010), 발효 과정 중 생성되는 유기산, 당 및 pH 변화 등의 영향으로 함량이 감소할 수 있다(Hwang ES & Ki KN 2013).

한편, 과채수에서 가장 높은 안토시아닌 함량을 보였던 FCEs1이 이를 이용하여 제조한 된장에서는 상대적으로 낮은 값을 나타내어, 단순한 비례적 감소로 설명하기 어려운 것으로 판단된다. 본 연구는 발효 환경은 동일하나 조성이 달라 단순한 비례 관계로 설명되기 어려운 양상을 보인다(He J & Giusti MM 2010; Patras A 등 2010; Hur SJ 등 2014).

특히, 초기 함량이 높은 시료일수록 산화 및 효소 반응의 기질로 더 많이 작용하여 상대적으로 큰 감소를 보였을 가능성이 있으며, 원료 조성에 따른 안토시아닌 구조적 차이 및 단백질과의 결합 또는 흡착이 영향을 미쳤을 것으로 판단된다(He J & Giusti MM 2010; Ozdal T 등 2013).

따라서 본 연구 결과는 안토시아닌 함량 변화가 단순한 농도 의존적 감소가 아니라 발효 과정 중의 화학적 분해, 구조적 안정성 및 매트릭스 상호작용에 의해 복합적으로 영향을 받는 것으로 해석된다.

2. 총 페놀성 화합물 함량

과채수와 된장의 총 페놀성 화합물 함량 측정 결과는

Table 3에 나타내었다. 과채수의 총 페놀성 화합물 함량은 FCEs1, FCEs2 및 FCEs3에서 각각 15.23 ± 0.01 , 15.03 ± 0.02 및 14.98 ± 0.02 mg CE/g으로 나타났으며, 된장에서는 각각 11.27 ± 0.00 , 11.78 ± 0.02 및 11.46 ± 0.04 mg CE/g으로 측정되었다. 과채수를 이용하여 제조한 된장의 총 페놀성 화합물 함량은 모든 처리구에서 유의적으로 감소하였다($p < 0.001$). 또한, 과채수와 된장 모두에서 혼합 비율에 따른 차이가 통계적으로 유의하게 나타났다.

페놀성 화합물은 식물성 식품에 널리 존재하는 주요 항산화 물질로 알려져 있으며(Rice-Evans CA 등 1997), 본 연구에서 과채수의 높은 총 페놀성 화합물 함량은 과일과 채소 유래의 다양한 폴리페놀 성분에서 기인한 것으로 판단된다. 특히, FCEs1에서 상대적으로 높은 함량이 나타난 것은 사과가 다양한 폴리페놀 화합물을 함유하는 원료로 보고된 바 있으며(Tsao R 등 2003), FCEs1에서 사과의 혼합 비율이 높았던 점이 영향을 미친 것으로 보인다.

한편, 된장 발효 과정에서 총 페놀성 화합물 함량이 감소한 것은 발효 중 미생물의 대사활동 및 산화 반응에 의해 페놀성 화합물이 분해되거나 다른 형태로 전환되었기 때문으로 추정된다(Hur SJ 등 2014). 또한, 이러한 변화는 발효 조건 및 원료 조성에 따라 달라질 수 있으며, 단순한 비례 관계로 설명되기 어려운 변화를 보일 가능성이 있다(Patras A 등 2010; Shahidi F & Yeo JD 2016).

따라서 본 연구 결과는 과채수가 된장으로 발효되는 과정에서 총 페놀성 화합물 함량이 감소할 수 있으며, 이는 발효 과정 중의 미생물 작용과 화학적 변화에 영향을 받는 것으로

해석된다.

3. 총 플라보노이드 함량

과채수와 이를 이용하여 제조한 된장의 총 플라보노이드 함량 측정 결과는 Table 4에 나타내었다. 과채수의 총 플라보노이드 함량은 FCEs1, FCEs2 및 FCEs3에서 각각 16.01 ± 0.20 , 15.46 ± 0.00 및 14.37 ± 0.19 mg RE/g으로 나타났다. 한편, 된장의 총 플라보노이드 함량은 각각 11.38 ± 0.06 , 10.62 ± 0.13 및 11.07 ± 0.86 mg RE/g으로 측정되었다.

된장의 총 플라보노이드 함량은 FCEs1($p < 0.01$), FCEs2($p < 0.001$) 및 FCEs3($p < 0.05$) 모두에서 과채수에 비해 유의적으로 감소하는 경향을 보였다. 과채수 간에는 총 플라보노이드 함량의 차이가 통계적으로 유의하게 나타났으나($p < 0.01$), 된장 간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

플라보노이드는 식물성 식품에 널리 존재하는 주요 폴리페놀 화합물로서 항산화 활성, 항염증 작용 및 다양한 생리활성을 나타내는 것으로 알려져 있다(Middleton E Jr 2000; Pietta PG 2000; Heim KE 2002). 본 연구에서 과채수의 총 플라보노이드 함량이 높은 것은 과일과 채소에 존재하는 다양한 플라보노이드 화합물이 추출된 결과로 판단된다. 특히 사과, 비트 및 당근 등 과채류에는 quercetin, kaempferol과 같은 플라보놀류, catechin 및 epicatechin과 같은 플라바놀류, luteolin 및 apigenin과 같은 플라본류가 함유되어 있는 것으로 보고되어 있다. 또한, 비트 및 일부 적색 과채류에는 cyanidin 등 안토시아닌계 화합물이 존재하여 총 플라보노이드 함량 증가에 기여할 수 있다. 따라서 본 연구에서 확인된

Table 3. Total phenolic content of fruit and vegetable complex extracts and Doenjang

Sample	Total phenolic content (mg CE ² /g)		T-value ⁵⁾
	Juice	Doenjang	
FCEs ¹⁾ 1	15.23 ± 0.01 ³⁾⁴⁾	11.27 ± 0.00 ^c	354.640 ^{***}
FCEs2	15.03 ± 0.02 ^b	11.78 ± 0.02 ^a	180.555 ^{***}
FCEs3	14.98 ± 0.02 ^c	11.46 ± 0.04 ^b	120.392 ^{***}
F-value	127.118 ^{**}	269.633 ^{***}	

¹⁾ FCEs: fruit and vegetable complex extracts.

²⁾ CE: catechin equivalents.

³⁾ Values are mean \pm S.D. (n=3).

⁴⁾ Different superscript letters within the same column indicate significant differences at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

⁵⁾ T-values indicate the significance of differences between juice and Doenjang within the same FCEs.

** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

Table 4. Total flavonoid content of fruit and vegetable complex extracts and Doenjang

Sample	Total flavonoid content (mg RE ² /g)		T-value ⁵⁾
	Juice	Doenjang	
FCEs ¹⁾ 1	16.01 ± 0.20 ³⁾⁴⁾	11.38 ± 0.06 ^a	20.682 ^{**}
FCEs2	15.46 ± 0.00 ^b	10.62 ± 0.13 ^a	53.778 ^{***}
FCEs3	14.37 ± 0.19 ^c	11.07 ± 0.86 ^a	5.273 [*]
F-value	53.319 ^{**}	1.071 ^{NS}	

¹⁾ FCEs: fruit and vegetable complex extracts.

²⁾ RE: rutin equivalents.

³⁾ Values are mean \pm S.D. (n=3).

⁴⁾ Different superscript letters within the same column indicate significant differences at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

⁵⁾ T-values indicate the significance of differences between juice and Doenjang within the same FCEs.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, NS: Not significant.

과채수의 총 플라보노이드 함량이 높은 것은 다양한 플라보노이드 화합물들이 복합적으로 추출된 결과로 사료된다.

특히, 사과 함량이 높은 FCEs1에서 총 플라보노이드 함량이 가장 높게 나타났으며, 사과가 플라보노이드 화합물을 함유하는 대표적인 과일로 보고된 바(Tsao R 등 2003), FCEs1에서 사과의 혼합 비율이 상대적으로 높았던 점이 영향을 미친 것으로 판단된다.

한편, 발효식품에서는 발효 과정 중 플라보노이드 함량이 증가하거나 감소하는 등 다양한 변화가 보고되고 있다. Park JW 등(2007)은 발효 기간 증가에 따라 대두 발효식품에서 총 플라보노이드 함량이 증가할 수 있음을 보고하였으나, 본 연구에서는 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 발효 과정 중 미생물의 효소 활성에 의해 플라보노이드 화합물이 분해되거나 구조적으로 변형되었기 때문으로 판단된다. 실제로 발효 과정에서는 미생물의 대사 및 효소 작용에 의해 플라보노이드가 배당체에서 아글리콘 형태로 전환되거나, 분해 및 재결합 등의 생물전환(biotransformation)이 일어나는 것으로 보고되어 있다(Huynh NT 등 2014). 또한, 발효 조건(온도, pH, 시간) 및 미생물의 종류에 따라 플라보노이드 및 페놀 화합물의 함량이 증가하거나 감소하는 등 상이한 변화를 나타낼 수 있는 것으로 보고되어 있다(Hur SJ 등 2014; Adebo OA & Gabriela Medina-Meza I 2020).

따라서 본 연구 결과는 발효 조건 및 원료 조성에 따른 차이에 기인한 것으로 해석된다.

4. 전자공여능(Electron Donating Activity)

과채수와 이를 이용하여 제조한 된장의 전자공여능 측정 결과는 Table 5에 나타내었다. FCEs1의 경우 과채수의 전자공여능은 21.03±0.01%였으나, 된장에서는 38.96±0.01%로 크게 증가하였다. FCEs2는 과채수에서 18.77±0.01%, 된장에서 20.52±0.02%로 나타났으며, FCEs3의 경우 과채수의 전자공여능은 21.09±0.01%, 된장은 22.92±0.02%로 측정되었다.

모든 처리구에서 된장 제조 후 전자공여능은 유의적으로 증가하는 경향을 보였으며($p<0.001$), 과채수와 된장 간에도 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p<0.001$). 또한 과채수 간에는 전자공여능의 차이가 유의하게 나타났으며($p<0.001$), 된장 간에서도 유의한 차이가 관찰되었다($p<0.001$).

전자공여능의 증가는 발효 과정 중 생리활성 성분의 변화와 관련이 있을 가능성이 있다. 발효는 미생물에 의한 대사 과정으로, 미생물 효소에 의해 식품 내 항산화 물질이 분해되거나 새로운 항산화 성분이 생성되어 항산화 활성이 증가할 수 있는 것으로 알려져 있다(Vuong QV 등 2011). 특히, 발효 과정에서 단백질 및 페놀성 화합물이 분해되면서 항산화 활성을 나타내는 저분자 화합물이나 펩타이드가 생성될

Table 5. Electron donating activity of fruit and vegetable complex extracts and Doenjang

Sample	Electron donating activity (%)		T-value ⁴⁾
	Juice	Doenjang	
FCEs ¹⁾ 1	21.03±0.01 ^{2)bc3)}	38.96±0.01 ^a	-1,603.261 ^{***}
FCEs2	18.77±0.01 ^c	20.52±0.02 ^c	-156.078 ^{***}
FCEs3	21.09±0.01 ^a	22.92±0.02 ^b	-115.107 ^{***}
F-value	69,957.333 ^{***}	709,660.765 ^{***}	

1) FCEs: fruit and vegetable complex extracts.

2) RE: rutin equivalents.

3) Values are mean±S.D. (n=3).

4) Different superscript letters within the same column indicate significant differences at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

5) T-values indicate the significance of differences between juice and Doenjang within the same FCEs.

*** $p<0.001$.

수 있으며, 이는 발효 식품의 기능성 증가와 관련이 있는 것으로 보고되어 있다(Korhonen H & Pihlanto A 2006; Hubert J 2008; Hur SJ 등 2014).

Kim DH 등(2022)은 채소수를 첨가한 된장에서 항산화 활성 변화가 나타날 수 있음을 보고하였으며, Vuong QV 등(2011)은 녹차 추출물을 첨가한 두부에서 전자공여능이 변화하는 경향을 보고하였다. 이러한 선행 연구는 식물성 원료 또는 추출물의 조성에 따라 발효식품의 항산화 특성이 달라질 수 있음을 시사한다.

본 연구에서는 과채수의 혼합 비율에 따른 항산화 특성의 차이를 비교한 결과, 초기 과채수에서 높은 함량을 보였던 FCEs3이 된장에서는 상대적으로 낮은 값을 나타내는 경향이 관찰되었다. 이는 발효 과정 중 pH 변화, 산화 및 미생물 효소 작용에 의해 항산화 성분의 분해 또는 전환이 일어나며, 초기 함량이 높은 시료일수록 이러한 반응의 기질로 더 많이 작용하여 상대적으로 큰 감소를 보였을 가능성이 있다. 또한 메주 단백질 및 식이성분과의 결합 또는 흡착에 의해 분석 가능한 유리형 성분이 감소했을 가능성도 고려된다(He J & Giusti MM 2010; Hur SJ 등 2014; Shahidi F & Yeo JD 2016).

5. SOD 유사활성(SOD-Like Activity)

과채수와 이를 이용하여 제조한 된장의 SOD 유사활성을 측정한 결과는 Table 6에 나타내었다. FCEs1의 경우 과채수의 SOD 유사활성은 20.08±1.04%였으나, 된장으로 제조한 후 34.65±0.04%로 유의적으로 증가하였다($p<0.01$). 반면 FCEs2에서는 과채수의 SOD 유사활성이 45.19±0.16%로 가

Table 6. SOD-like activity of fruit and vegetable complex extracts and Doenjang

Sample	SOD-like activity (%)		T-value ⁴⁾
	Juice	Doenjang	
FCEs ¹⁾ 1	20.08±1.04 ^{2)bc3)}	34.65±0.04 ^a	-19.812 ^{**}
FCEs2	45.19±0.16 ^a	32.61±0.37 ^c	44.232 ^{**}
FCEs3	22.10±3.90 ^b	33.73±0.16 ^b	-4.210 ^{NS}
F-value	71.443 ^{**}	38.798 ^{**}	

¹⁾ FCEs: fruit and vegetable complex extracts.

²⁾ Values are mean±S.D. (n=3).

³⁾ Different superscript letters within the same column indicate significant differences at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

⁴⁾ T-values indicate the significance of differences between juice and Doenjang within the same FCEs.

^{**} $p<0.01$, NS: Not significant.

장 높게 나타났으나, 된장에서는 32.61±0.37%로 유의적으로 감소하였으며, 가장 낮았다($p<0.01$). FCEs3의 SOD 유사활성은 과채수 22.10±3.90%, 된장 33.73±0.16%로 나타났으나, 두 처리구 간 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

또한 과채수 간 SOD 유사활성은 통계적으로 유의한 차이를 보였으며($p<0.01$), 된장 간에서도 유의한 차이가 나타났다($p<0.01$).

SOD 유사활성은 활성산소를 제거하는 항산화 효소인 superoxide dismutase와 유사한 기능을 나타내는 항산화 활성을 의미하며, 식품의 항산화 능력을 평가하는 지표로 널리 사용된다. Hong HD 등(1998)은 시판 사과 착즙액과 당근 착즙액의 SOD 유사활성이 각각 14.6%와 30%로 나타났다고 보고하였다. 이러한 결과와 비교할 때 본 연구에서 사용된 과채수 및 과채수를 이용하여 제조한 된장의 SOD 유사활성은 비교적 높은 수준으로 나타났으며, 특정 과채수 조성이 SOD 유사활성에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

또한 Kim MH(2012)는 비트, 맨드라미 및 홍갓 추출물의 SOD 유사활성을 비교한 결과 비트 추출물에서 높은 활성이 나타났다고 보고하였으며, 이는 본 연구에서 과채수의 혼합 비율에 따라 SOD 유사활성에 차이가 나타난 결과와 관련이 있을 가능성을 시사한다.

한편 Jung HJ & Oh IK(2022)은 유산균 발효를 통해 생성된 파인애플 발효물의 SOD 유사활성이 증가하는 경향을 보고하였으며, 이는 본 연구에서 FCEs1의 된장 제조 후 SOD 유사활성 변화가 관찰된 결과를 설명하는 데 참고될 수 있다. 또한, Hong HD 등(1998)은 사과주스에 첨가된 딸기 착즙액, 당근 농축액, 무 착즙액 등의 비율에 따른 SOD 유사활

성 변화를 보고하였으며, 이는 본 연구에서 사용된 과채수의 조성 차이에 따른 항산화 활성 변화와 유사한 경향을 나타내는 것으로 판단된다.

따라서 본 연구 결과는 과채수를 활용한 된장 발효 과정에서 항산화 활성의 변화가 과채수의 조성 및 발효 조건에 따라 달라질 수 있음을 시사하며, 발효 과정에서 생성되는 생리활성 물질이 SOD 유사활성에 영향이 있음을 보여준다.

6. ABTS Radical 소거능(ABTS Radical Scavenging Activity)

과채수와 이를 이용하여 제조한 된장의 ABTS 라디칼 소거능을 측정된 결과는 Table 7에 나타내었다. FCEs1의 경우 과채수의 ABTS radical 소거능은 17.28±1.09%였으나, 된장으로 제조한 후 35.93±0.05%로 유의적으로 증가하였다($p<0.01$). FCEs2의 ABTS radical 소거능은 과채수 17.49±0.14%, 된장 45.52±0.14%로 유의적인 증가($p<0.001$)가 관찰되었다. FCEs3의 ABTS radical 소거능은 과채수 12.89±1.83%, 된장 34.87±0.06%로 유의적으로 증가하였다($p<0.01$).

이러한 결과는 과채수를 이용하여 된장을 제조한 후 ABTS 라디칼 소거능이 전반적으로 증가하였음을 보여주며, 발효 과정에서 항산화 활성 물질이 생성되거나 활성도가 증가했을 가능성을 시사한다.

Kim MJ 등(2014)은 사과 껍질, 포도 껍질 등 과채류 부산물의 항산화 활성을 보고한 바 있으며 본 연구에서는 껍질을 포함한 사과, 비트와 당근은 과육을 사용하였기 때문에 직접적인 비교에는 한계가 있으나 본 연구에서 FCEs2가 비교적 높은 ABTS 라디칼 소거능이 나타난 것은 폴리페놀 화합물

Table 7. ABTS radical scavenging activity of fruit and vegetable complex extracts and Doenjang

Sample	ABTS radical scavenging activity (%)		T-value ⁴⁾
	Juice	Doenjang	
FCEs ¹⁾ 1	17.28±1.09 ^{2)bc3)}	35.93±0.05 ^b	-24.188 ^{**}
FCEs2	17.49±0.14 ^a	45.52±0.14 ^a	-203.181 ^{***}
FCEs3	12.89±1.83 ^b	34.87±0.06 ^c	-13.142 ^{**}
F-value	8.871 ^{NS}	7,822.508 ^{***}	

¹⁾ FCEs: fruit and vegetable complex extracts.

²⁾ Values are mean±S.D. (n=3).

³⁾ Different superscript letters within the same column indicate significant differences at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

⁴⁾ T-values indicate the significance of differences between juice and Doenjang within the same FCEs.

^{**} $p<0.01$, ^{***} $p<0.001$, NS: Not significant.

을 함유한 사과 및 안토시아닌이 풍부한 비트의 적절한 혼합 비율에 따른 결과로 사료된다.

또한 Min JY 등(2018)은 레드비트 추출물의 ABTS 라디칼 소거능을 분석한 결과 250 µg/mL 농도에서 약 42.1%의 소거능을 보였다고 보고하였다. 이러한 결과는 본 연구에서 FCEs2 처리구의 된장에서 높은 소거능이 나타난 결과와 비교할 때 특정 과채수 성분이 항산화 활성에 중요한 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

이와 유사하게 Zhong 등(2021)은 프로바이오틱스로 발효한 블루베리 주스에서 ABTS 라디칼 소거능을 포함한 항산화 활성이 증가하는 경향을 보고하였다. 또한 Park JW 등(2017)은 녹차와 홍삼을 첨가한 발효 음료에서 발효 시간이 증가함에 따라 ABTS 라디칼 소거능이 증가하는 경향을 보였다고 보고하였다. 이러한 연구들은 식물성 원료를 첨가한 발효식품에서 발효 과정 동안 특정 항산화 지표, 특히 ABTS 라디칼 소거능이 증가할 수 있음을 보여준다.

따라서 본 연구 결과는 과채수를 활용한 된장 발효 과정에서 ABTS가 증가할 수 있음을 보여주며, 이는 발효 과정 중 미생물 대사에 의해 다양한 생리활성 물질이 생성되기 때문으로 판단된다(Korhonen H & Pihlanto A 2006; Hur SJ 2014; Guo Q 등 2023). 이러한 결과는 과채수를 활용한 된장이 기능성 발효식품 개발에 적용 가능한 기초 자료가 될 것으로 생각된다.

7. 환원력(Reducing Power)

과채수와 이를 이용하여 제조한 된장의 환원력 측정 결과는 Table 8에 나타내었다. 과채수의 환원력은 FCEs1, FCEs2 및 FCEs3에서 각각 0.99±0.00, 1.04±0.00 및 0.95±0.00 mg BHT

Table 8. Reducing power of fruit and vegetable complex extracts and Doenjang

Sample	Reducing power (mg BHT ²⁾ equivalent/g)		T-value ⁵⁾
	Juice	Doenjang	
FCEs ¹⁾ 1	0.99±0.00 ^{3)b4)}	0.99±0.00 ^b	0.000 ^{NS}
FCEs2	1.04±0.00 ^a	1.02±0.00 ^a	5.000 [*]
FCEs3	0.95±0.00 ^c	1.01±0.01 ^{ab}	-8.485 [*]
F-value	136.500 ^{**}	9.333 ^{NS}	

¹⁾ FCEs: fruit and vegetable complex extracts.

²⁾ BHT: butylated hydroxytoluene equivalents.

³⁾ Values are mean±S.D. (n=3).

⁴⁾ Means sharing a common superscript letter are not significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

⁵⁾ T-values indicate the significance of differences between juice and Doenjang within the same FCEs.

* $p<0.05$, ** $p<0.01$, NS: Not significant.

equivalent/g으로 나타났다. 된장의 환원력은 각각 0.99±0.00, 1.02±0.00 및 1.01±0.01 mg BHT equivalent/g으로 측정되었다.

과채수 간에는 환원력의 차이가 통계적으로 유의하게 나타났으며($p<0.01$), FCEs2에서 가장 높은 값을 보였다. 반면, 된장 간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 과채수와 된장 간 비교에서는 FCEs1 처리구에서 유의한 차이가 나타나지 않았으나, FCEs2에서는 된장 제조 후 환원력이 유의적으로 감소하였고($p<0.05$), FCEs3에서는 유의적으로 증가하였다($p<0.05$).

환원력은 항산화 물질이 전자를 공여하여 산화성 중간체를 환원시키는 능력을 나타내는 지표로, 식품의 항산화 활성을 평가하는 데 널리 사용된다. 일반적으로 환원력이 높을수록 항산화 활성이 우수한 것으로 평가된다(Bursal E & Gülçin I 2011). 본 연구에서는 과채수에서 FCEs2가 가장 높은 환원력을 나타내었으며, 이는 총 페놀성 화합물 함량과 ABTS 라디칼 소거능이 높게 나타난 결과와 관련이 있을 가능성을 시사한다.

한편, 된장에서는 FCEs2가 가장 높은 환원력을 나타냈으나 처리구 간 유의한 차이는 없었다. 이는 발효 과정에서 미생물의 효소 작용에 의해 결합형 페놀성 화합물이 유리형으로 전환되거나, 저분자 항산화 물질 및 환원성 물질이 생성되면서 처리구 간 차이가 부분적으로 완화되었기 때문으로 추정된다(Hur SJ 등 2014; Shahidi F & Yeo JD 2016). 특히, FCEs3에서 된장 제조 후 환원력이 증가하는 경향을 보였는데, 이는 발효 과정 중 생성된 생리활성 물질의 영향일 가능성을 시사한다.

따라서 본 연구 결과는 과채수의 혼합 비율과 발효 과정이 된장의 환원력에 영향을 미칠 수 있음을 보여주며, 과채수를 염수로 활용한 된장 제조가 항산화 특성 향상에 기여할 수 있음을 시사한다.

8. 상관관계 분석

과채수와 이를 이용하여 제조한 된장의 항산화 지표 간 상관관계 분석 결과는 Table 9에 나타내었다. 과채수의 총 페놀성 화합물과 총 플라보노이드 화합물 간에는 높은 정의 상관관계가 나타났으며($r=0.861$, $p<0.05$), 환원력과 SOD 유사활성 간에도 유의적인 양의 상관관계($r=0.874$, $p<0.05$)가 확인되었다. 된장의 ABTS 라디칼 소거능은 과채수의 SOD 유사활성과 높은 상관관계($r=0.976$, $p<0.01$)를 나타냈다. 또한, 된장의 전자공여능은 과채수의 총 페놀성 화합물과 높은 상관관계($r=0.942$, $p<0.01$)가 확인되었다.

한편, 일부 항산화 지표 간에는 음의 상관관계도 관찰되었다. 이는 항산화 평가지표마다 측정 원리와 반응 기전이 상이하여 서로 다른 결과를 나타낼 수 있기 때문으로 해석된다(Prior RL 등 2005). 또한 발효 과정 중 항산화 물질의 분해,

Table 9. Correlation coefficients among antioxidant parameters of fruit and vegetable complex extracts and Doenjang

Factor	FCEsTPC	FCEsTFC	FCEsEDA	FCEsSLA	FCEsRP	FCEsABTS	DTFC	DTPC	DEDA	DSL A	DRP	DABTS
FCEsTPC	1	0.861*	0.288	-0.386	0.104	0.568	-0.653	0.482	0.942**	0.674	-0.808	-0.222
FCEsTFC		1	-0.206	0.100	0.570	0.787	0.665	0.254	0.665	0.254	-0.510	0.271
FCEsEDA			1	-0.985**	-0.912*	-0.512	-0.552	0.582	0.582	0.867*	-0.354	-0.998**
FCEsSLA				1	0.874*	0.471	-0.870*	-0.694	-0.694	-0.888*	0.026	0.976**
FCEsRP					1	0.783	0.957**	-0.462	-0.208	-0.604	-0.636	0.936**
FCEsABTS						1	-0.089	-0.367	0.327	-0.058	-0.700	0.563
DTFC							1	-0.682	-0.859*	-0.976**	-0.468	0.882*
DTPC								1	0.564	0.556	0.420	-0.560
DEDA									1	0.878*	-0.689	-0.525
DSL A										1	-0.045	-0.836*
DRP											1	0.641
DABTS												1

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

FCEs: fruit and vegetable complex extracts.

D: Doenjang.

TPC: Total phenolic content.

TFC: Total flavonoid content.

EDA: Electron donating activity.

SLA: SOD-like activity.

RP: Reducing power.

ABTS: ABTS radical scavenging activity.

전환 및 재조합이 동시에 일어나면서 항산화 지표 간 상반된 경향이 나타날 수 있는 것으로 보고되어 있다(Hur SJ 등 2014).

과채수의 혼합 비율에 따라 항산화 지표별로 상이한 경향이 나타났으며, 총 플라보노이드 함량과 전자공여능 및 된장의 SOD 유사활성은 FCEs1에서 상대적으로 높았고, 총 페놀성 화합물 함량, ABTS 라디칼 소거능 및 환원력은 FCEs2에서 높은 값을 보였다. 이는 항산화 평가지표 간 차이를 반영하는 결과로 해석된다(Prior RL 등 2005).

또한 발효 과정에서는 *Bacillus* spp., *Aspergillus* spp. 및 젖산균 등이 관여하며, 이들이 생성하는 β -glucosidase, esterase 및 protease 등의 효소에 의해 결합형 페놀성 화합물이 유리 형태로 전환되거나 저분자 페놀성 화합물 및 펩타이드가 생성될 수 있는 것으로 보고되어 있다(Hur SJ 등 2014; Shahidi F & Yeo JD 2016).

본 연구는 과채수 혼합 비율에 따른 항산화 특성의 차이를 비교하는 데 초점을 두었으며, 일반 염수를 이용한 된장을 대조군으로 포함하지 않았다는 한계가 있다. 따라서 향후 연구에서는 대조군을 포함한 비교 실험을 통해 과채수 활용에 따른 기능성 변화를 보다 명확히 규명할 필요가 있다.

요 약

본 연구에서는 사과, 비트 및 당근의 혼합 비율을 달리하여 제조한 과채수를 염수로 활용하여 된장을 제조하고, 이에 따른 항산화 특성 변화를 분석하였다.

연구 결과, 과채수의 안토시아닌 및 총 페놀성 화합물 함량은 사과 50%, 비트 30%, 당근 20%로 구성된 FCEs1에서 가장 높게 나타났다. 그러나 이를 염수로 활용하여 제조한 된장에서는 사과 30%, 비트 50%, 당근 20%로 구성된 FCEs2에서 상대적으로 높은 항산화 활성이 나타났다.

총 플라보노이드 함량과 전자공여능은 FCEs1 및 이를 활용한 된장에서 가장 높은 값을 보였으며, SOD 유사활성은 과채수에서는 FCEs2에서 가장 높았으나 된장에서는 FCEs1에서 높은 활성을 나타냈다. 반면 ABTS 라디칼 소거능과 환원력은 FCEs2 및 이를 활용한 된장에서 상대적으로 높은 활성을 보였다.

이러한 결과는 과채수 혼합 비율이 항산화 지표에 따라 서로 다른 영향을 미칠 수 있음을 보여주며, 동일한 혼합 비율이 모든 지표에서 일관된 결과를 나타내지 않을 수 있음을

시사한다. 종합적으로 과채수의 혼합 비율은 된장의 항산화 특성에 영향을 미치는 요인으로 판단되며, 본 연구는 과채수 활용에 따른 항산화 특성 변화를 이해하기 위한 기초 자료를 제공한다.

REFERENCES

- Adebo OA, Gabriela Medina-Meza I (2020) Impact of fermentation on the phenolic compounds and antioxidant activity of whole cereal grains: A mini review. *Molecules* 25(4): 927.
- Bursal E, Gulcin İ (2011) Polyphenol contents and *in vitro* antioxidant activities of lyophilised aqueous extract of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Food Res Int* 44(5): 1482-1489.
- Castañeda-Ovando A, Pacheco-Hernández ML, Páez-Hernández ME, Rodríguez JA, Galán-Vidal CA (2009) Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chem* 113(4): 859-871.
- Choi BY, Gil NY, Mun JY, Yeo SH, Kim SY (2018) Changes in the physicochemical characteristics of low-salt Doenjang by addition of halophytes. *Food Sci Preserv* 25(7): 819-829.
- Diplock AT (1991) Antioxidant nutrients and disease prevention: An overview. *Am J Clin Nutr* 53(1 Suppl): 189S-193S.
- Fuleki T, Francis FJ (1968) Quantitative methods for anthocyanins. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. *J Food Sci* 33(1): 72-77.
- Guo Q, Chen P, Chen X (2023) Bioactive peptides derived from fermented foods: Preparation and biological activities. *J Funct Foods* 101: 105422.
- He J, Giusti MM (2010) Anthocyanins: Natural colorants with health-promoting properties. *Annu Rev Food Sci Technol* 1: 163-187.
- Heim KE, Tagliaferro AR, Bobilya DJ (2002) Flavonoid antioxidants: Chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *J Nutr Biochem* 13(10): 572-584.
- Hong HD, Kang NK, Kim SS (1998) Superoxide Dismutase-like Activity of Apple Juice Mixed with Some Fruits and Vegetables. *Korean J Food Sci Technol* 30(6): 1484-1487.
- Hubert J, Berger M, Nepveu F, Paul F, Dayde J (2008) Effects of fermentation on the phytochemical composition and antioxidant properties of soy germ. *Food Chem* 109(4): 709-721.
- Hur SJ, Lee SY, Kim YC, Choi I, Kim GB (2014) Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods. *Food Chem* 160:346-356.
- Huynh NT, Van Camp J, Smagghe G, Raes K (2014) Improved release and metabolism of flavonoids by steered fermentation processes: A review. *Int J Mol Sci* 15(11): 19369-19388.
- Hwang ES, Ki KN (2013) Stability of the anthocyanin pigment extracted from aronia. *Korean J Food Sci Technol* 45(4): 416-421.
- Hyson DA (2011) A comprehensive review of apples and apple components and their relationship to human health. *Adv Nutr* 2(5): 408-420.
- Jang SM, Lee JB, An H, Rhee CH, Park HD (2000) Change of microorganisms, enzyme activity and physiological functionality in Korean soybean paste with various concentrations of ginseng extract during fermentation. *Food Sci Preserv* 7(3): 313-320.
- Jung HJ, Oh IK (2022) Improvement of antioxidant activity and change in functional ingredients upon lactic acid fermentation in domestic pineapple. *Korean J Food Sci Technol* 54(5): 531-538.
- Kennedy AR (1995) The evidence for soybean products as preventive agents. *J Nutr* 125(3 Suppl): 733S-743S.
- Kim DH, Kim S (2019) Effect of turmeric on the physicochemical characteristics of Doenjang during fermentation. *Food Sci Preserv* 27(1): 7-16.
- Kim DH, Shin YJ, Kang MH (2022) A study on the antioxidant effect of Doenjang prepared with vegetable water. *Korean J Food Nutr* 35(2): 96-105.
- Kim EJ, Choi JY, Yu MR, Kim MY, Lee SH, Lee BH (2012) Total polyphenols, total flavonoid contents, and antioxidant activity of Korean natural and medicinal plants. *Korean J Food Sci Technol* 44(3): 337-342.
- Kim JS, Lee JH (2020) Correlation between solid content and antioxidant activities in Umbelliferae salad plants. *Prev Nutr Food Sci* 25(1): 84-92.
- Kim MH (2012) Antioxidant and antibacterial activity of extracts from *Brassica juncea* Czerniak et Coss., *Celosia cristata* L., and *Beta vulgaris* L. *J Korean Soc Food Cult* 27(6): 719-729.
- Kim MJ, Kim YG, Kim HS, Cheong C, Jang KH, Kang SA (2014) Effects of Antioxidant Activities in Ethanol Extract of Apple Peel, Grape Peel, and Sweet Potato Peel as Natural Antioxidant. *The Korea Academia-Industrial cooperation Society* 15(6): 3766-3773.
- Kim MJ, Lee HS (1990) Studies on the changes of taste compounds during soy paste fermentation. *Korean J Soc Food Sci* 6(4): 1-8.
- Korhonen H, Pihlanto A (2006) Bioactive peptides: Production and functionality. *Int Dairy J* 16(9): 945-960.

- Lee JY, Mok CK (2010) Changes in physicochemical properties of low-salt soybean paste (Doenjang) during fermentation. *Food Eng Prog* 14(2): 153-158.
- Lim SI, Song SM (2010) Fermentation properties of low-salted Doenjang supplemented with licorice, mustard, and chitosan. *Korean J Food Sci Technol* 42(3): 323-328.
- Manach C, Mazur A, Scalbert A (2005) Polyphenols and prevention of cardiovascular diseases. *Curr Opin Lipidol* 16(1): 77-84.
- Marklund S, Marklund G (1974) Involvement of the superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. *Eur J Biochem* 47(3): 469-474.
- Messina M (1995) Modern applications for an ancient bean: Soybeans and the prevention and treatment of chronic disease. *J Nutr* 125(3 Suppl): 567S-569S.
- Middleton E Jr, Kandaswami C, Theoharides TC (2000) The effects of plant flavonoids on mammalian cells: Implications for inflammation, heart disease, and cancer. *Pharmacol Rev* 52(4): 673-751.
- Min JY, Park HY, Kim Y, Hong JS, Choi HD (2018) Antioxidant activity and stability of natural pigment extracted from red beetroot (*Beta vulgaris* L.). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 47(7): 725-732.
- Ozdal T, Capanoglu E, Altay F (2013) A review on protein-phenolic interactions and associated changes. *Food Res Int* 51(2): 954-970.
- Park JW, Lee YJ, Yoon S (2007) Total flavonoids and phenolics in fermented soy products and their effects on antioxidant activities determined by different assays. *J Korean Soc Food Cult* 22(3): 353-358.
- Patras A, Brunton NP, O'Donnell C, Tiwari BK (2010) Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods. *Trends Food Sci Technol* 21(1): 3-11.
- Pietta PG (2000) Flavonoids as antioxidants. *J Nat Prod* 63(7): 1035-1042.
- Prior RL, Wu X, Schaich K (2005) Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *J Agric Food Chem* 53(10): 4290-4302.
- Rhee CH, Kim BS, Shin MK, Woo CJ, Kim JH, Kwon KY, Park HD (2008) Changes in enzyme activity and physiological functionality of Doenjang prepared with extracts of *Phellinus linteus*. *Food Sci Preserv* 15(5): 736-742.
- Rice-Evans C, Miller N, Paganga G (1997) Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends Plant Sci* 2(4): 152-159.
- Santiago LA, Hiramatsu H, Mori A (1992) Japanese soybean paste miso scavenges free radicals and inhibits lipid peroxidation. *J Nutr Sci Vitamino* 138(3): 297-304.
- Seo JH, Jeong YJ (2001) Quality characteristics of Doenjang using squid internal organs. *Korean J Food Sci Technol* 33(1): 89-93.
- Shahidi F, Yeo JD (2016) Insoluble-bound phenolics in food. *Molecules* 21(9): 1216.
- Shin JH, Choi DJ, Kwon OC (2008) Quality characteristics of Doenjang prepared with Yuza juice. *Korean J Food Cook Sci* 24(2): 198-205.
- Shin OM (2005) Manufacture for functional soybean and soy sauce using Birch Sap. Korea Patent 10-2005-0094091
- Shin ZI, Ahn CW, Nam HS, Lee HJ, Lee HJ, Moon TH (1995) Fractionation of angiotensin converting enzyme inhibitory peptides from soybean paste. *Korean J Food Sci Technol* 27(2): 230-234.
- Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventos RM (1999) Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol* 299: 152-178.
- Tsao R, Yang R, Young JC, Zhu H (2003) Polyphenolic profiles in eight apple cultivars using high-performance liquid chromatography. *J Agric Food Chem* 51(21): 6347-6353.
- Vuong QV, Durel M, Roach PD, Stathopoulos CE (2011) Preliminary study on the fortification of tofu with green tea catechins. *International Food Research Journal* 18(4): 1553-1557.
- Yang SH, Choi MR, Kim JK, Chung YG (1992) Optimization of the taste components composition in traditional Korean soybean paste. *J Korean Soc Food Nutr* 21(4): 449-453.
- Yen GC, Duh PD (1993) Antioxidative properties of methanolic extracts from peanut hulls. *J Am Oil Chem Soc* 70(4): 383-386.
- Zhong H, Abdullah, Zhao M, Tang J, Deng L, Feng F (2021) Probiotics-fermented blueberry juices as potential antidiabetic product: antioxidant, antimicrobial and antidiabetic potentials. *J Sci Food Agric* 101(10): 4420-4427.