

CuEDTA와 FeEDTA의 엽면살포가 사과의 항산화 활성에 미치는 영향

- 연구노트 -

박지영¹ · 류호웅¹ · 신현석¹ · 임현규¹ · 손인창² · 김대일¹ · 정현상³ · 이준수^{3*}

¹충북대학교 원예학과

²국립원예특작과학원 온난화대응농업연구센터

³충북대학교 식품공학과

Effects of CuEDTA and FeEDTA Foliar Spray on Antioxidant Activities of Apple

Ji-Young Park¹, Ho-Ung Ryu¹, Hyunsuk Shin¹, Heon-Kyu Lim¹, In-Chang Son²,
Daeil Kim¹, Heon-Sang Jeong³, and Junsoo Lee^{3*}

¹Dept. of Horticultural Science, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

²Agricultural Research Center for Climate Change, National Institute of Horticultural
& Herbal Science, Rural Development Administration, Jeju 690-150, Korea

³Dept. of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

Abstract

For functional enhancement of apples, the effects of CuEDTA and FeEDTA foliar spray were investigated on the antioxidant contents and antioxidant activities in 'Hongro' fruit, which is a representative early season harvesting apple cultivar, at 30 days before harvest. The polyphenolic content of peel was significantly higher in the CuEDTA (1,228.6 mg/100 g) and FeEDTA (1,210.0 mg/100 g) spraying treatment groups compared to the control group (998.8 mg/100 g). The flavonoid content of peel showed the same trend as that of polyphenolic content. The ascorbic acid content of peel as also significantly increased in the CuEDTA and FeEDTA spraying treatment groups, but anthocyanin content was the highest in the control group (560.6 mg/100 g). The ABTS and DPPH radical scavenging activities were higher in the CuEDTA and FeEDTA spraying treatment groups than in the control group, but reducing power was not significantly different between the treatments. As a result of this study, 3% CuEDTA and FeEDTA spraying treatments at 30 days before harvest can be used to effectively enhance antioxidant contents in 'Hongro' apple.

Key words: apple, antioxidant activity, foliar spray, CuEDTA, FeEDTA

서 론

식물체는 여러 가지 환경적, 병리적 스트레스에 의해 생체 내 산소가 반응성이 큰 독성물질인 활성산소종(reactive oxygen species, ROS)으로 변환되어 세포막 분해, 광합성 억제 등 생리적 기능을 저해시킬 뿐 아니라 심지어는 산화적 스트레스로 인해 고사되기도 한다(1,2). 하지만 식물체는 산화적 스트레스에 의한 손상을 방지하기 위해서 항산화효소 및 저분자 항산화물질을 생성하여 자신을 보호하기 위한 수단으로 사용한다(3). 이와 같이 산화적 스트레스에 대한 식물체 방어기작인 항산화물질은 비타민을 포함해 폴리페놀, 페놀산, 플라보노이드, 안토시아닌 등을 대표적으로 들 수 있으며(4), 이들은 활성산소를 산소와 물과 같은 보다 반응성이 약하고 안정한 분자로 변화시키거나 반응을 차단함으로써 산화적 스트레스의 위험을 감소시키는 역할을 한다(5,6). 이러한 항산화물질은 식물체의 스트레스를 완화시킬

뿐 아니라 사람이 이를 섭취했을 때 인체 내 활성산소 또는 활성질소에 의해 손상되는 것을 막아주는데 효과적인 역할을 하고 있다고 알려져 있어 과일과 채소를 일상적으로 섭취하는 것이 중요하게 여겨지고 있다(7).

따라서 각종 성인병과 암 발생의 원인인 활성산소를 제어하기 위해 채소 및 과일 등 다양한 식물소재로부터 천연 항산화물질을 탐색하고 있으며(8,9), 식물체에 인위적 스트레스를 줌으로써 항산화효소 활성 및 항산화물질의 함량을 증가시키는 연구가 활발히 진행되고 있다(10). Ali 등(10,11)은 인삼에 구리 이온을 처리하여 항산화물질 함량 및 항산화 활성이 증가하였다고 보고하였으며, Kampfenkel 등(12)은 철 이온의 과다 처리로 인해 담배의 항산화효소 활성이 증가하였다고 보고된 바 있다. 이와 같이 구리와 철과 같은 금속 이온을 처리하여 식물체내 항산화물질 함량을 증가시키는 연구는 특용작물과 맥류 등 일부 작물에 국한되어 있고 과수 작물에서는 이와 유사한 보고가 있지 않은 실정이다.

*Corresponding author. E-mail: junsoo@chungbuk.ac.kr
Phone: 82-43-261-2566, Fax: 82-43-271-4412

사과(*Malus domestica*)는 식이섬유와 비타민 C가 풍부해 영양학적으로 가치가 높을 뿐 아니라 과피에는 안토시아닌과 같은 천연 항산화물질을 다량 함유하고 있어 건강의 중요도가 높아지고 있는 시점에(최근에) 대표적 과수작물 중 하나로 크게 주목받고 있다(13). 따라서 본 연구에서는 국내 사과의 주품종 중 하나인 '홍로' 사과에 킬레이트화된 구리와 철을 엽면 살포함으로써 과실 내 항산화물질 함량 변화에 미치는 영향을 조사하고, 사과의 기능성 측면에서의 가치를 제고시키기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

공시 재료 및 엽면살포 처리

충북 청주시 소재 사과농가의 수세와 착과량이 비슷한 4년생 '홍로'/M9를 공시하여 처리구당 1주를 1반복하여 총 3반복으로 실험구를 배치하였다. 처리구는 대조구(증류수)와 3% CuEDTA(ethylenediamine tetraacetic acid copper disodium salt tetrahydrate, Junsei Co. Ltd., Tokyo, Japan), 3% FeEDTA(EDTA ferric sodium salt trihydrate, Samchun Co. Ltd., Seoul, Korea) 수용액 등 총 3 처리로 수확 30일 전인 2011년 8월 19일에 1주당 1 L를 엽면 살포한 후 9월 18일 수확하였다.

메탄올 추출물의 제조

각 처리구의 과실을 과피와 과육으로 분리하여 동결건조 후 마쇄하였다. 마쇄된 시료 5 g에 100% 메탄올 100 mL를 각각 가한 뒤 상온에서 24시간 교반하면서 추출하였다. 추출 후 고형분은 filter paper(Advantec, Tokyo, Japan)를 이용하여 분리하였고, 상정액은 감압농축기(EYELA Co. Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하여 40°C 이하에서 용매를 완전히 휘발시켰다. 잔사는 100% 메탄올을 이용하여 25 mg/mL가 되도록 재용해 하였으며 질소 증진 후 -20°C에서 보관하면서 실험에 사용하였다.

총 폴리페놀 함량

Dewanto 등(14)의 방법에 따라 실행하였으며 각 추출액 100 µL에 2% Na₂CO₃ 용액 2 mL와 50% Folin-Ciocalteu reagent 100 µL를 가하였다. 5분 후 반응액의 흡광도 값을 750 nm에서 측정하였으며 표준물질로 gallic acid(Sigma-Aldrich Co. Ltd., St. Louis, MO, USA)를 사용하여 시료 g중의 100 mg gallic acid로 나타내었다.

총 플라보노이드 함량

각 추출액 200 µL에 증류수 1.25 mL, 5% NaNO₂ 75 µL를 가한 다음 6분 후 10% AlCl₃·6H₂O 150 µL를 가하여 5분간 방치하고 1 M NaOH 500 µL를 가하였다. 510 nm에서 반응액의 흡광도를 측정하였고, 표준물질로 0.02% (+)-catechin을 사용하여 구한 검량선으로부터 시료 g중의 100 mg catechin으로 나타내었다(15).

안토시아닌 함량

메탄올 추출물의 총 안토시아닌 함량은 pH differential method를 이용하여 측정하였다(16). 각 추출액 일정량에 0.025 M potassium chloride buffer(pH 1.0)와 0.4 M sodium acetate buffer(pH 4.5)를 각각 혼합하여 5,000 rpm에서 2분간 원심분리한 후 상정액을 취해 각각 510 nm와 700 nm의 흡광도 값에서 측정하였다. 총 안토시아닌 함량(mg/L)은 cyanidin-3-glucoside의 몰 흡광계수($\epsilon = 26,900 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)를 이용하여 아래의 식에 의해 산출하였다.

$$\text{Anthocyanin content (mg/L)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\epsilon \times V}$$

$$A(\text{absorbance}) = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}1.0} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}4.5}$$

$$MW(\text{molecular weight of cyanidine-3-glucoside}) = 449.2$$

$$DF(\text{dilution factor}) = \text{시료의 희석배수}$$

$$\epsilon(\text{cyaniding-3-glucoside molar absorbance}) = 26,900 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

$$V = \text{추출물의 부피}$$

Ascorbic acid 함량

일정량의 마쇄된 시료를 3% metaphosphoric acid 25 mL로 균질화시킨 후 이 용액을 50 mL mass flask에 3% metaphosphoric acid로 정용하였다. 정용 후 12,000 rpm에서 3분간 원심분리 하여 얻은 상정액을 0.45 µm membrane filter로 여과하여 HPLC로 분석하였다. 칼럼은 CrestPak C18S(5 µm, 4.6×150 mm, Jasco Co. Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하였고 flow rate는 0.8 mL/min이었으며 이동상은 water : trifluoroacetic acid(99:1, v/v)를 사용하였다. 시료의 주입량은 20 µL로 UV detector를 이용하여 254 nm에서 측정하였다(17).

ABTS radical을 이용한 총 항산화력

Re 등(18)의 방법에 따라 ABTS 7.4 mM과 potassium persulphate 2.6 mM을 하루 동안 암소 방치하여 ABTS radical anion을 형성시킨 후 이 용액을 735 nm에서 흡광도 값이 1.0이 되도록 몰 흡광계수($\epsilon = 1.6 \times 10^4 \text{ mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$)를 이용하여 메탄올로 희석하였다. 희석된 ABTS용액 1 mL에 추출액 30 µL를 가하여 흡광도의 변화를 60분 후에 측정하였다. 표준물질로서 동량의 L-ascorbic acid를 이용하여 표준곡선을 작성한 후 시료의 항산화력(ascorbic acid equivalent antioxidant capacity, AEAC)을 계산하였다.

DPPH radical을 이용한 총 항산화력

DPPH radical 제거능은 Kim 등(19)의 방법을 변형하여 실행하였다. DPPH 용액 0.2 mM, 1 mL에 추출액 50 µL를 가하여 흡광도 520 nm에서 30분 후에 측정하였으며 표준물질로서 ascorbic acid를 동량 첨가하였다. DPPH radical 제거능은 ABTS radical 제거능과 동일한 방식에 의해 계산되었으며 AEAC값으로 항산화력을 나타내었다.

Reducing power(환원력)

메탄올 추출물 250 µL에 0.2 M sodium phosphate buf-

fer(pH 6.6) 250 μ L, 1% potassium ferricyanide($K_3Fe(CN)_6$) 250 μ L를 각각 혼합하여 50°C에서 20분 동안 반응시킨 후 1% trichloroacetic acid(CCl_3COOH , w/v)를 가하였다. 위 반응액을 5,000 rpm에서 5분간 원심 분리하여 상등액 500 μ L에 증류수 500 μ L를 혼합하고, 0.1% ferric chloride($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) 100 μ L를 가하여 반응액의 흡광도 700 nm에서 측정하였다(20).

통계분석

부위별 처리구와 대조구의 향산화 성분 함량 및 향산화 활성 등 각 항목의 측정값은 SAS version 9.1(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였고, 각 처리구 간의 유의성은 $p < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test로 검증하였다.

결과 및 고찰

사과 메탄을 추출물의 향산화 성분 함량

CuEDTA와 FeEDTA 엽면살포 시 '홍로' 사과의 건조중량 당 향산화물질 함량을 조사한 결과는 Table 1과 같다. 과피와 과육의 향산화물질의 함량을 비교분석한 결과, 과피가 과육에 비해 향산화물질의 함량이 2배 이상 높았으며 CuEDTA와 FeEDTA 처리에 의해 크게 변화된다는 것을 알 수 있었다. 이는 폴리페놀, 플라보노이드 등 페놀성 화합물이 과피에 집중적으로 축적되어 있을 뿐만 아니라(21,22) 본 실험에서의 CuEDTA와 FeEDTA를 엽면살포 하는 등 외생처리에 의해 과피가 영향을 더 많이 받았기 때문이라고 생각되었다. 과피 내 존재하는 총 폴리페놀 함량은 대조구가 998.8 mg으로 가장 낮은 수치를 보인 반면, CuEDTA와 FeEDTA 처리구에서 각각 1,228.6, 1,210.0 mg으로 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 페놀화합물의 대표적인 성분으로 알려진 플라보노이드 역시 대조구(665.7 mg)에 비해 CuEDTA, FeEDTA 처리구에서 각각 988.5, 847.6 mg으로 증가하여 인삼에 구리를 처리했을 때 폴리페놀과 플라보노이드가 증가했다는 Ali 등(11)의 연구결과와 유사하였다. 이는 구리와 철이 세포내에서 일련의 Fenton 반응을 수행해 산화적 변형을 일으키는데(23) 이에 대한 방어기작으로 폴

리페놀, 플라보노이드와 같은 향산화물질을 생성했기 때문이라고(2) 생각되었다. 또한 CuEDTA 처리구가 FeEDTA 처리구에 비해 높은 폴리페놀 및 플라보노이드 함량을 나타낸 것은 철보다 구리가 식물체의 에틸렌 생성 및 광산화작용을 촉진시키는 등 스트레스의 정도가 크기 때문에(24) 폴리페놀 및 플라보노이드의 생성량이 증가한 것으로 판단되었다. 과피의 ascorbic acid는 대조구보다 금속이온 처리구에서 높은 수치를 보였다. 하지만 FeEDTA 처리구에서 47.2 mg으로 CuEDTA의 44.8 mg에 비해 높아 앞서 언급한 폴리페놀과 플라보노이드의 함량과 상반되는 결과를 보여 구리와 철이 향산화 성분 함량을 증가시키는 것에 기여하지만 작용 범위가 다른 것이라 추정되었다. 안토시아닌은 식물체가 스트레스에 노출되었을 때 축적되며, 스트레스에 의해 생성된 활성산소를 제거하는 항산화제이다. 하지만 본 실험에서는 안토시아닌 함량이 CuEDTA와 FeEDTA 처리구에서 각각 544.6, 542.9 mg으로 대조구(560.6 mg)보다 오히려 낮은 수치를 나타내 다른 향산화물질과 상반된 결과를 나타냈다. 이러한 결과에 대해 두 가지 가능성을 들 수 있는데, 첫 번째는 CuEDTA와 FeEDTA에 의한 극심한 스트레스에 의해 안토시아닌 자체의 안정성이 낮아졌기 때문에 안토시아닌 함량이 감소했다는 점이다. 두 번째로는 CuEDTA와 FeEDTA의 엽면살포 시 에틸렌 생성에 의해 낙엽율이 크게 증가하여(자료 미제시) 동화산물의 축적이 저해되었기 때문에 당을 기질로 이용하는 안토시아닌 합성에 타격을 받아 함량이 감소한 것(25)이라고 생각되었다. 따라서 금속이온의 엽면살포가 안토시아닌 함량에 미치는 영향을 구명하기 위해 두 가지 가능성을 염두해 추가적인 실험을 진행해야 할 것이라 생각되었다.

사과 메탄을 추출물의 향산화 활성

향산화 활성은 일반적으로 과실의 기능성을 평가하는데 있어 중요한 지표로 본 연구에서는 ABTS와 DPPH radical의 소거활성 및 환원력을 이용하여 알아보았다.

과피의 ABTS radical 소거능을 조사한 결과(Fig. 1), FeEDTA(1,267.5 mg AEAC/100 g), CuEDTA(1,224.9 mg AEAC/100 g), 대조구(1,161.1 mg AEAC/100 g) 순으로 높은 소거활성을 보였다. DPPH radical 소거능 또한 FeEDTA

Table 1. Concentration of total polyphenolics, flavonoids, anthocyanin and ascorbic acid as affected by CuEDTA, FeEDTA foliar sprays in peel and flesh of 'Hongro' apples (mg/100 g)

Treatment	Polyphenolic ¹⁾		Flavonoid ²⁾		Anthocyanin ³⁾		Ascorbic acid ⁴⁾	
	Peel	Flesh	Peel	Flesh	Peel	Flesh	Peel	Flesh
Cont.	998.8±28.5 ^{b5)}	576.0±18.9 ^a	665.7±76.9 ^b	317.1±17.3 ^a	560.6±3.9 ^a	32.0±2.2 ^a	40.9±0.4 ^b	14.9±0.0 ^a
CuEDTA	1228.6±14.8 ^a	577.3±9.9 ^a	988.5±32.9 ^a	363.3±11.4 ^a	544.6±6.0 ^b	27.4±6.1 ^a	44.8±1.0 ^a	11.7±0.0 ^b
FeEDTA	1210.0±21.4 ^a	585.6±12.4 ^a	847.6±50.1 ^{ab}	327.5±32.3 ^a	542.9±5.3 ^{ab}	22.3±3.0 ^a	47.2±0.6 ^a	17.6±1.0 ^a

¹⁾Mean of triplicate determinations expressed as mg gallic acid equivalents per 100 g of sample as dry weight basis.

²⁾Mean of triplicate determinations expressed as mg (+)-catechin equivalents per 100 g of sample as dry weight basis.

³⁾Mean of triplicate determinations expressed as mg cyanidin-3-glucoside equivalents per 100 g of sample as dry weight basis.

⁴⁾Mean of triplicate determinations expressed as mg metaphosphoric equivalents per 100 g of sample as dry weight basis.

⁵⁾Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

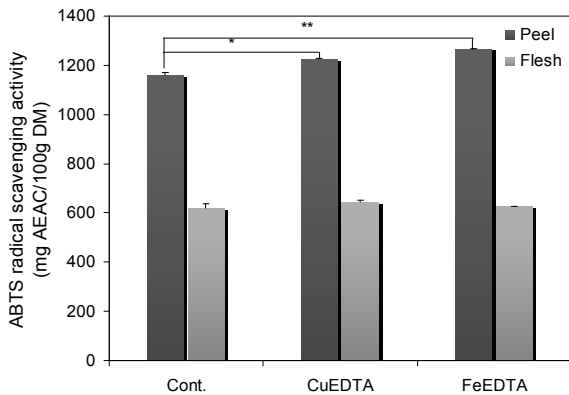


Fig. 1. ABTS radical scavenging activity as affected by CuEDTA, FeEDTA foliar sprays in 'Hongro' apples (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$).

와 CuEDTA 처리가 각각 1,048.8, 1,042.7 mg AEAC/100 g으로 대조구의 868.7 mg AEAC/100 g보다 소거활성이 높아 ABTS radical 소거능과 유사한 결과를 보였다(Fig. 2). 이는 FeEDTA와 CuEDTA의 처리에 의해 폴리페놀, 플라보노이드, ascorbic acid 등 항산화물질 함량이 증가했기 때문에 전자공여 작용으로 높은 항산화력이 나타난 것으로 여겨진다(26).

환원력은 항산화성을 판정하는 기준의 하나로(27) CuEDTA와 FeEDTA 처리에 따른 사과 과피의 메탄올 추출물의 환원력은 Fig. 3과 같다. 환원력은 항산화성을 판정하는 기준의 하나로 환원력이 클수록 산화 예방 및 항산화능이 크다고 볼 수 있다. 앞서 free radical 소거능 방법으로 측정된 항산화 활성과 유사한 경향으로, CuEDTA와 FeEDTA에서는 0.324, 0.311로 대조구(0.263)보다 높게 나타났으나 유의성이 없었다($p > 0.05$). 이는 항산화물질의 작용이 연속적 수소 제거의 방해와 같은 여러 기작들과 관련 있으므로 측정 대상과 방법에 따라 큰 차이를 나타내기 때문이라고(28) 생각되었다.

이 같은 결과를 종합했을 때 '홍로' 사과에 CuEDTA와 FeEDTA를 엽면살포한 결과, 과피의 항산화물질 함량과 활성이 크게 증가하였다. 따라서 '홍로' 사과의 항산화 함량을 증가시키기 위해서는 수확 전 30일에 CuEDTA와 FeEDTA

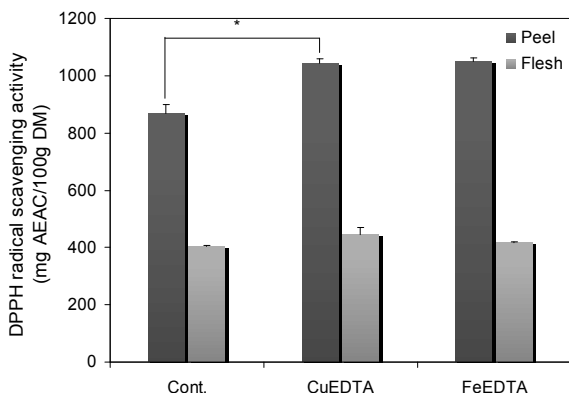


Fig. 2. DPPH radical scavenging activity as affected by CuEDTA, FeEDTA foliar sprays in 'Hongro' apples (* $p < 0.05$).

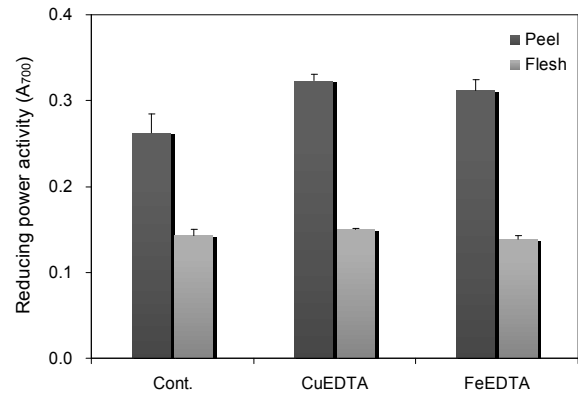


Fig. 3. Reducing power activity as affected by CuEDTA, FeEDTA foliar sprays in 'Hongro' apples.

를 수관 살포하는 것이 효과적이라고 생각되며, 사과의 기능적 가치를 높이기 위해 CuEDTA와 FeEDTA의 처리농도와 관련된 연구를 수행하여야 할 것이라고 생각된다.

요 약

본 연구는 수확기 30일 전 CuEDTA, FeEDTA 엽면살포가 '홍로' 사과 과실의 항산화 성분 및 활성에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 메탄올 추출물을 이용하여 항산화물질의 함량을 측정된 결과, 과피의 폴리페놀은 CuEDTA와 FeEDTA에서 1,228.6, 1,210.0 mg/100 g으로 대조구의 998.8 mg/100 g보다 높은 수치를 나타내었고, 플라보노이드 함량도 CuEDTA, FeEDTA가 988.5, 847.6 mg/100 g으로 대조구 665.7 mg/100 g보다 높게 나타났다. Ascorbic acid의 함량은 FeEDTA가 47.2 mg/100 g으로 가장 높았고 CuEDTA(44.8 mg/100 g), 대조구(40.9 mg/100 g) 순이었다. 안토시아닌은 대조구가 560.6 mg/100 g으로 CuEDTA, FeEDTA의 544.6, 542.9 mg/100 g에 비해 높았다. 항산화 활성 분석 결과, 과육은 처리구별 항산화 활성이 유의성이 인정되지 않았으나($p > 0.05$), 과피에서는 처리에 따라 유의적인 차이를 보였다($p < 0.05$). ABTS radical을 이용한 과피의 총 항산화력은 FeEDTA(1,267.5), CuEDTA(1,224.9), 대조구(1,161.1) 순으로 높은 활성을 보였으며, DPPH radical 소거능 또한 대조구의 868.7 mg AEAC/100 g에 비해 FeEDTA, CuEDTA 처리구에서 1,048.8, 1,042.7 mg AEAC/100 g으로 높았다. 하지만 환원력은 처리구간 유의성이 인정되지 않았다($p > 0.05$).

문 헌

1. Elstner EF. 1982. Oxygen activation and oxygen toxicity. *Ann Rev Plant Physiol* 33: 73-96.
2. Kim YH, Park SC, Yang KS, Zhou Z, Zhao D, Ma D, Jeong JC, Lee HS, Kwak SS. 2009. Selection of oxidative stress-tolerant sweetpotato cultivars for cultivation on marginal lands. *J Plant Biotechnol* 36: 219-223.
3. Peng J, Jones GL, Watson K. 2000. Stress proteins as bio-

- markers of oxidative stress: effects of antioxidant supplements. *Free Radic Biol Med* 28: 1598-1606.
4. Fang YZ, Yang S, Wu G. 2002. Free radicals, antioxidants, and nutrition. *Nutrition* 18: 872-879.
 5. Hatier JH, Gould KS. 2008. Foliar anthocyanins as modulators of stress signals. *J Theor Biol* 253: 625-627.
 6. van der Sluis AA, Dekkerm M, Jongen WM. 1997. Flavonoids as bioactive components in apple products. *Cancer Letter* 114: 107-108.
 7. Jeong JA, Kwon SH, Lee CH. 2007. Screening for anti-oxidative activities of extracts from aerial and underground parts of some edible and medicinal ferns. *Korean J Plant Res* 20: 185-192.
 8. Soong YY, Barlow PJ. 2004. Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds. *Food Chem* 88: 411-417.
 9. Kim EY, Baik IH, Kim JH, Kim SR, Rhyu MR. 2004. Screening of the antioxidant activity of some medicinal plants. *Korean J Food Sci Technol* 36: 333-338.
 10. Ali MB, Hahn EJ, Paek KY. 2006. Copper-induced changes in the growth, oxidative metabolism, and saponin production in suspension culture roots of *Panax ginseng* in bioreactors. *Plant Cell Rep* 25: 1122-1132.
 11. Ali MB, Singh N, Shohael AM, Hahn EJ, Paek KY. 2006. Phenolics metabolism and lignin synthesis in root suspension cultures of *Panax ginseng* in response to copper stress. *Plant Science* 171: 147-154.
 12. Kampfenkel K, Montagu MV, Inzé D. 1995. Effects of iron excess on *Nicotiana glauca* plants. *Plant Physiol* 107: 725-735.
 13. Lee KW, Kim YJ, Kim DO, Lee HJ, Lee CY. 2003. Major phenolics in apple and their contribution to the total antioxidant capacity. *J Agric Food Chem* 51: 6516-6520.
 14. Dewanto V, Wu X, Liu RH. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50: 4959-4964.
 15. Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem* 64: 555-559.
 16. Türker N, Erdoğan F. 2006. Effects of pH and temperature of extraction medium on effective diffusion coefficient of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* var. L.). *J Food Eng* 76: 579-583.
 17. Wang HF, Tsai YS, Lin ML, Ou AS. 2006. Comparison of bioactive components in GABA tea and green tea produced in Taiwan. *Food Chem* 96: 648-653.
 18. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med* 26: 1231-1237.
 19. Kim DO, Lee KW, Lee HJ, Lee CY. 2002. Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. *J Agric Food Chem* 50: 3713-3717.
 20. Mau JL, Lin HC, Song SF. 2002. Antioxidant properties of several specialty mushrooms. *Food Res Int* 35: 519-526.
 21. Wolfe K, Wu X, Liu RH. 2003. Antioxidant activity of apple peels. *J Agric Food Chem* 51: 609-614.
 22. Tsao R, Yang R, Xie S, Sockovie E, Khanizadeh S. 2005. Which polyphenolic compounds contribute to the total antioxidant activities of apple? *J Agric Food Chem* 53: 4989-4995.
 23. Luna CM, González A, Trippi VS. 1994. Oxidative damage caused by an excess of copper in oat leaves. *Plant Cell Physiol* 35: 11-15.
 24. Ben-Yehoshua S, Biggs RH. 1970. Effects of iron and copper ions in promotion of selective abscission and ethylene production by citrus fruit and the inactivation of indoleacetic acid. *Plant Physiol* 45: 604-607.
 25. Pirie A, Mullins MG. 1976. Changes in anthocyanin and phenolics content of grapevine leaf and fruit tissues treated with sucrose, nitrate, and abscisic acid. *Plant Physiol* 58: 486-472.
 26. Yun MJ, Oh SI, Lee MS. 2009. Antioxidative and antimutagenic effects of *Agaricus bisporus* ethanol extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 19-24.
 27. Kim JH, Jeong CH, Shim KH. 2003. Biological activities of solvent fractions of *Capsicum annuum* leaves. *Kor J Food Preserv* 10: 540-546.
 28. Kim JW, Jeon YJ, Lee JH, Lee SC. 2006. Effect of far-infrared irradiation and heat treatment on the antioxidant activity of extracts from citrus pomaces. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 49: 60-64.

(2012년 5월 21일 접수; 2012년 8월 10일 채택)