

시설재배 오이의 품종별, 생육단계별 항산화능 비교

양승렬, 김흥기¹, 이숙재², 차원미³, 안철현⁴, 부희옥^{5*}

순천대학교 원예학과, ¹전남생물방제센터, ²전남농업기술원, ³해천대학교 뷰티디자인계열, ⁴국립한국농수산대학, ⁵조선대학교 생물학과

Comparison of the Antioxidative Abilities of Greenhouse-Grown Cucumber According to Cultivars and Growth Stages

Seung Yul Yang, Hong Gi Kim¹, Suk Jae Lee², Won Mi Cha³, Chul Hyun Ahn⁴ and Hee Ock Boo^{5*}

Department of Horticulture, Sunchon National University, Suncheon 540-950, Korea

¹Jeonnam Bio Control Center, Gokseong-Gun 516-800, Korea

²Jeonnam Agricultural Research and Extension Services, Naju-Si 520-715, Korea

³School of Beauty Design, Hyecheon University, Daejeon 302-715, Korea

⁴Department of Industrial Crops and Mushroom, Korea National College of Agriculture and Fisheries, Hwaseong-Si 445-760, Korea

⁵Department of Biology, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

Abstract - The objective of this study was to determine the effect of antioxidant enzyme activity and radical scavenging activities of cucumber grown greenhouse. The analytic method of antioxidant activities were measured by estimating DPPH free radical scavenging, nitrite scavenging ability activity and ABTS radical scavenging ability. The DPPH free radical scavenging activity of Jangjukcheongjang was the highest in most of the growth stage. The Nitrite scavenging ability at pH 1.2 was more than 40% in all cultivars and growth stages. The ABTS radical scavenging ability of Jangjukcheongjang and Nulpureuncheongjang showed relatively little higher than Janghyeongnakhap and Sinjoenbaekdadagi. The SOD activity showed higher activity than 95% in all cultivars and growth stages. The activity of CAT was highest in the Nulpureuncheongjang of 2 (12~16cm) growth stage, and the APX activity of Nulpureuncheongjang and Janghyeongnakhap showed a relatively high activity. The POX activity showed distinctly different trends depending on the growth stage, and that is, the activity at harvest stage was significantly reduced. These results suggest that the cucumber had the potent biological activities, and that in the future, the availability of cucumber will be increase in the field of high-value cosmetic and food products.

Key words - Cucumber, Antioxidant enzyme activity, DPPH radical scavenging ability, Nitrite scavenging ability, ABTS radical scavenging ability

서 언

인도 북부 히말라야 산기슭 원산의 오이(*Cucumis sativus* L.)는 박과의 오이속 덩굴성 일년초로서, 과거에는 성숙된 열매를 식용으로 이용하였는데 현재는 미숙한 오이 과실을 다양한 식품 용도로 이용하고 있다. 오이는 산뜻한 맛의 미식감과 수분을 다량 함유하고 있어서 더운 지방에서는 수분보급용으로 중요한 채소로 이용되고 있다. 오이 품종은 전 세계적으로 500종

이상의 품종이 재배되고 있으며, 최근에는 시설재배기술이 확립됨으로서 오이를 연중 생산하여 공급하고 있다. 오이가 지니고 있는 효능으로서는 무기질 성분과 90% 이상의 수분을 함유하고 있어서 피로회복과 이뇨작용을 촉진시켜서 방광염과 신장병에 도움을 줄 뿐만 아니라 오이의 칼륨 성분이 몸 안의 나트륨과 노폐물을 배출해줌으로서 고혈압을 예방하고 피를 맑게 해주는데 좋은 효과가 있다(Park *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2010). 오이의 이소크렐시트린이라는 성분은 몸의 붓기를 제거하는 효과가 있고 칼로리 또한 매우 낮아서 다이어트에도 좋은 채소이다. 또한 오이에는 콜라겐 성분도 많이 함유되어 있어 노화를 예

*교신저자(E-mail) : swboo@hanmail.net

방하고, 비타민 A와 C 성분이 풍부하여 피부 미백과 보습에도 좋은 효능을 지니는 것으로 알려져 있으며, 오이의 쓴맛의 근원인 쿠쿠르비타신(cucurbitacin) 성분은 암세포의 성장을 억제해주는 것으로 알려져 있다(Chung and Moon, 2001; Windholz, 1984). 오이의 성분은 생장단계에 따라 혹은 수확 후 시간 경과에 따라 호흡작용에 의해 당, 산의 변화가 생겨 특히 아스코르빈산(환원형 비타민C) 함량은 급속히 감소하는 것으로 알려져 있다.

최근 자연계에 존재하는 다양한 동식물 및 미생물로부터 얻어지는 각종 유용성분들 중에서 특히 인체의 생리기능 조절이나 항상성 유지에 관련된 각종 기능성 소재를 찾는 연구들이 광범위하게 수행되고 있으며(Jeong *et al.*, 2008), 특히 식물류 중에 들어있는 생리활성 성분에 대한 관심이 높아지면서 국내·외적으로 이들 생리활성 성분을 함유한 유용식물들을 기능성 소재의 원료로 사용하려는 시도가 많이 이루어지고 있다(Kim *et al.*, 2001; Min *et al.*, 2008; Rhim and Choi, 2010). 오이는 다양한 기능의 유용물질을 함유하고 있어서 항산화 및 항암, 항균 등의 효능을 기대할 수 있는 식물이라고 할 수 있다. 일반적으로 천연물에 존재하는 생리활성 물질은 대부분 페놀성 화합물로 항산화 및 항균효과를 가지고 있다. 즉, 식물체는 다양한 형태의 항산화 물질을 함유하고 있으며 그 중에서 페놀성 물질은 항산화성을 가진 대표적인 물질로 알려져 있다. 이들로부터 분리된 천연 항산화 물질들은 각종 노화관련 질환 예방에 대하여 유익한 작용을 하고 있다. 특히 항산화 효소 중 superoxide dismutase(SOD)는 superoxide anion radical을 제거하여 hydrogen peroxide(H₂O₂)로 전환시키는 촉매효소로서 작용하며 산소를 소비하는 모든 생물종에 존재하여 생체 내에서 활성산소의 독성으로부터 방어 작용을 하는 중요한 효소이다. 또한 Catalase(CAT)는 주로 peroxisome에 존재하며 H₂O₂를 물과 산소로 분해시키는 효소로 작용하며, CAT와 더불어 H₂O₂를 제거하는 중요한 효소인 ascorbate peroxidase (APX)는 엽록체, 미토콘드리아, 세포질 및 세포벽에 존재하고, ascorbate를 산화시킴으로써 H₂O₂를 불활성화시키는 것으로 알려져 있다(Kang *et al.*, 2003). 이러한 항산화효소는 생체 내에서 활성 산소로부터 생체를 보호하는 작용을 함으로서 각종 성인병 예방 및 항암, 항노화 기능을 수행한다. 오이식물도 항산화적 방어기구인 항산화 효소가 존재하며 이들은 항산화 활성뿐 아니라 생체 건강에 연관된 많은 생리활성들을 나타낸다(Kim *et al.*, 2000; Lee, 2012). 오이는 신선한 상태로 장기간 보관할 수 없는 관계로 대부분 생식용으로 소비되고 있지만, 최근에는 오이의 기능성을 활용한 다양한 제품

들이 출시되고 있으며, 현재 판매되고 있는 제품 외에도 향후 오이의 부가가치를 더욱 증대시킬 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 본 연구에서는 식품, 향장제품 등에 다양하게 이용되는 있는 오이에 대해서 품종별, 생육단계별 항산화 활성 및 항산화효소 활성을 비교 분석함으로써 향후 시설재배 오이의 다양한 제품 개발 소재로서의 가치성을 증대시키고자 한다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험의 분석에 사용한 오이는 전남 낙안읍 소재 시설재배 농가에서 장축청장, 늘푸른청장, 장형낙합, 신조은백다다기 등 시설오이 4품종을 선발하여, 5단계의 생육별로 현장에서 샘플을 채취하였다. 모든 시료는 채취 즉시 동결 건조, 분말화하여 -20°C의 냉동고에 보관하면서 분석에 사용하였다. α,α'-diphenyl-β-picrylhydrazyl(DPPH), 2,2'-azinbis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid(ABTS), Superoxide dismutase(SOD) Kit, Ethylenediaminetetraacetic acid(EDTA) 등은 Sigma Co. 제품을 사용하였으며, 기타 시약도 분석용 등급을 사용하였다.

항산화활성

1) DPPH radical 소거활성 측정

각 추출물을 수소전자공여능에 의해 항산화 활성을 측정하였다(Choi *et al.*, 2003). 여러 종류의 시료를 메탄올(또는 DMSO) 용매로 용해하여, 900 μL의 DPPH 용액(100 μM)과 각 시료 100 μL를 혼합하여 교반한 다음, 혼합 시료를 암흑에서 30 분간 반응시킨 후 517nm에서 흡광도를 spectrophotometer (Biochrom Co., England)를 이용하여 측정하였다. 수소전자공여능은 각 실험을 3회 반복하여 평균을 낸 다음 대조구에 대한 흡광도의 감소 정도를 다음 식에 의하여 계산하였다.

$$An = (A_0 - A) / A_0 \times 100$$

An : DPPH radical 소거능에 대한 항산화 활성(%)

A₀ : 시료가 첨가되지 않은 DPPH 용액의 흡광도

A : 반응용액중의 DPPH와 시료의 반응한 흡광도

2) 아질산염 소거활성 측정

시료 추출물의 아질산염 소거작용의 측정은 1 mM NaNO₂ 20 μL에 시료의 추출액 40 μL와 0.1 N HCl(pH 1.2) 또는 0.2 M

citrate buffer (pH 4.2, 6.0)를 140 μ L 사용하여 부피를 200 μ L로 맞추었다. 이 반응액을 37°C 항온수조에서 1시간 반응시킨 후 2% acetic acid 1000 μ L, Griess 시약 (30% acetic acid로 조제한 1% sulfanilic acid와 1% naphthylamine을 1:1 비율로 혼합한 것, 사용직전에 조제) 80 μ L를 가하여 잘 혼합시켜 빛을 차단한 상온에서 15분간 반응시킨 후 520nm에서 흡광도를 측정하여 아래와 같이 아질산염 소거능을 구하였다.

$$N(\%) = [1 - (A - C) / B] \times 100$$

N : nitrite scavenging ability

A : absorbance of 1mM NaNO₂ added sample after standing for 1hour

B : absorbance of 1NaNO₂

C : absorbance of control

3) ABTS 양이온(ABTS·⁺) 소거활성 측정

ABTS(2,2'-azinbis-(3-ethyl-benzothiazoline-6-sulfonic acid)와 potassium persulfate를 혼합하여 암흑에 두면 ABTS⁺가 생성되는데 추출물의 항산화물질과 반응하여 양이온이 소거됨으로서 특유의 청록색이 탈색되며 흡광도를 측정하여 항산화능력을 측정하였다. 7.4 mM ABTS 용액과 2.6 mM 황산칼륨(potassium persulphate)을 혼합하여 암소에서 약 15시간 반응시킨 후 414 nm에서 흡광도가 1.5가 되도록 희석하였다. 희석한 용액 3 ml에 각 농도별로 조제한 시료 150 μ L를 첨가하여 vortex mixer로 10초간 진탕하고 실온에 90분간 방치한 다음 414 nm에서 흡광도를 측정하였다. 한편, ascorbic acid를 시료와 같은 농도로 조제하여 동일한 방법으로 흡광도를 측정함으로써 비교하였다. 양이온 소거능은 RAEAC(relative ascorbic acid equivalent antioxidant capacity)로 나타내었으며, 이는 ascorbic acid의 소거능을 1,000으로 하였을 때 동일 농도 시료의 ABTS 양이온 소거능을 나타내는 것으로 다음과 같은 식에 의해 계산하였다.

$$RAEAC = \frac{C_{aa}}{\Delta A_{aa}} \times \frac{\Delta A_s}{C_s}$$

ΔA_{aa} : ascorbic acid를 넣었을 때의 흡광도의 변화

C_{aa} : ascorbic acid의 농도

ΔA_s : 시료를 넣었을 때의 흡광도의 변화

C_s : 시료의 농도

항산화 효소 활성 측정

1) 효소액 조제

시료 0.5g에 Extract Buffer [100 mM K-PO₄ buffer(pH7.5), 100 mM EDTA, 1% PVP, 100 mM PMSF] 2 mL로 균질화하여 15,000 g 로 20분간 원심분리한 다음 상층액을 항산화활성 측정에 사용하였다. Ascorbate peroxidase(APX)의 경우 extraction buffer에 위의 조성액에 10mM를 첨가하여 사용하였다. 단백질 정량은 BSA를 표준물질로 사용하여 Bradford(1976)방법에 따라 측정하였다.

2) SOD(SuperOxide Dismutase)

SOD효소 활성 검정은 분석용 Kit(SOD Assay Kit-WST, Sigma-Aldrich, Switzerland)를 사용하여 측정하였다. 즉, SOD의 효소활성이 NBT(Nitroblue tetrazolium)의 환원을 저해하는 능력을 검정하는 photochemical NBT method를 사용하였다. 반응액은 50 mM carbonic buffer(pH 10.2), 0.1 mM EDTA, 0.1 mM Xanthine, 0.025 mM NBT로 하였으며, NBT환원 저해율을 흡광도 450nm에서 측정하였다. 각 시료에 대하여 3회 반복으로 하였으며, SOD효소 활성은 다음의 계산식에 의해 환산하였다.

SOD활성 (NBT환원 저해율, %) =

$$\{[(A_{blank1} - A_{blank3}) - (A_{sample} - A_{blank2})] / (A_{blank1} - A_{blank3})\} \times 100$$

3) CAT(Catalase)

CAT활성은 Mishra *et al.*(1993)의 방법에 의해 측정하였으며, 반응액은 50 mM potassium phosphate buffer(pH 7.0)와 10 mM H₂O₂로 하였다. CAT 활성은 반응액에 추출액을 가한 다음 240 mM에 2분간의 흡광도 변화를 측정하였다.

4) APX(Ascorbate Peroxidase)

APX 활성은 Chen and Asada(1989)의 방법에 따라 ascorbate의 산화 정도를 290nm에서 2분간의 흡광도 변화를 측정하였다. APX의 반응액은 0.5 mM ascorbate와 0.2 mM H₂O₂가 첨가된 100 mM potassium phosphate buffer(pH 7.5)로 하였다.

5) POX(Peroxidase)

POX 활성은 Egle *et al.*(1983)의 방법에 의해 반응액에 sample을 혼합하여 spectrophotometer를 이용하여 470 nm에서 2분간의 흡광도 변화를 측정하였다. POX 반응액은 최종농도가

40 mM potassium phosphate buffer(pH 6.9), 1.5 mM guaiacol, 6.5 mM H₂O₂가 되도록 하여 분석하였다.

통계처리

본 실험 결과는 각 항목에 대해 3회 반복 실시한 결과를 평균 ± 표준편차로 나타내었으며, 통계처리는 SAS(version 9.1.3)를 이용하여 다중범위검정(Duncan's multiple range test)을 실시하여 5% 수준에서 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

DPPH radical 소거능

시설오이로 많이 재배되고 있는 품종인 장죽청장, 늘푸른청

장, 장형낙합, 신조은백다다기 오이의 생육단계별 항산화능을 비교한 결과를 품종별로 보면, 장죽청장이 대부분의 생육단계에서 free radical 소거활성이 상대적으로 높게 나타났으며, 그 외 늘푸른청장, 장형낙합, 신조은백다다기 품종 간에는 큰 차이를 보이지는 않았다(Table 1). 또한 생육단계별로 보면, 수확기에 못 미친 미성숙단계에서 수확기에 이른 생육시기보다 모든 품종에서 DPPH radical 소거 활성이 높게 나타났다. 특히 신조은백다다기 오이에서 생육후기에 상대적으로 더 낮은 활성을 나타내 품종에 따라 항산화활성에 다소 차이가 있음을 확인하였다. 모든 오이 품종과 모든 생육단계에서 농도 의존적으로 활성이 높아짐을 알 수 있었다. 세포가 성장하면서 발생하는 Free radical에 의해 세포가 산화되어 손상되는데 폐놀성 화합물은 환원성이 강해서 free radical에 전자를 공여하여 산화를 억제

Table 1. Effect of different growth stages of four cultivars on DPPH radical scavenging activities of cucumber grown greenhouse

Cultivar	Growth stage	DPPH radical scavenging activity, % of control						
		Concentration (mg/L)						
		100	250	500	1000	2500	5000	10000
Jangjuk cheongjang	1	5.09 ± 0.34 ^a	7.30 ± 0.07 ^{ab}	7.28 ± 0.40 ^a	9.20 ± 0.22 ^a	9.66 ± 0.43 ^a	11.14 ± 0.07 ^a	17.35 ± 0.89 ^a
	2	4.82 ± 0.41 ^{ab}	7.66 ± 0.29 ^{ab}	8.08 ± 0.61 ^a	8.36 ± 0.11 ^b	8.45 ± 0.86 ^a	11.27 ± 0.65 ^a	18.25 ± 0.08 ^a
	3	4.13 ± 0.30 ^{ab}	7.75 ± 0.22 ^a	7.05 ± 0.07 ^a	8.47 ± 0.14 ^b	8.71 ± 0.14 ^a	11.06 ± 0.18 ^a	16.49 ± 0.35 ^a
	4	4.17 ± 0.04 ^{ab}	6.84 ± 0.18 ^b	8.00 ± 0.04 ^a	8.52 ± 0.11 ^b	8.63 ± 0.14 ^a	10.94 ± 0.31 ^a	17.64 ± 0.03 ^a
	5	3.67 ± 0.22 ^{ba}	7.02 ± 0.04 ^{ba}	6.97 ± 0.22 ^{ab}	8.65 ± 0.07 ^{abB}	8.99 ± 0.32 ^{aA}	10.29 ± 0.13 ^{aA}	15.68 ± 0.78 ^{aA}
Nulpureun cheongjang	1	3.22 ± 0.27 ^a	6.52 ± 0.07 ^a	7.42 ± 0.07 ^a	7.93 ± 0.25 ^b	8.46 ± 0.32 ^b	10.29 ± 0.20 ^a	15.30 ± 0.11 ^a
	2	3.08 ± 0.53 ^a	6.14 ± 0.33 ^a	7.84 ± 0.29 ^a	8.06 ± 0.07 ^b	9.04 ± 0.07 ^b	10.66 ± 0.24 ^a	13.23 ± 0.44 ^b
	3	3.79 ± 0.04 ^a	6.64 ± 0.07 ^a	7.75 ± 0.29 ^a	7.97 ± 0.14 ^b	8.72 ± 0.04 ^b	10.86 ± 0.13 ^a	14.83 ± 0.36 ^{ab}
	4	4.06 ± 0.04 ^a	6.87 ± 0.04 ^a	8.24 ± 0.11 ^a	8.32 ± 0.51 ^{ab}	9.42 ± 0.11 ^{ab}	10.58 ± 0.17 ^a	13.50 ± 0.29 ^b
	5	3.69 ± 0.11 ^{aA}	6.73 ± 0.44 ^{aA}	8.44 ± 0.40 ^{aAB}	9.42 ± 0.18 ^{aA}	10.21 ± 0.32 ^{aA}	10.74 ± 0.24 ^{aA}	13.59 ± 0.42 ^{bbB}
Janghyeon gnakhap	1	3.62 ± 0.19 ^{bc}	6.87 ± 0.26 ^a	8.35 ± 0.18 ^{ab}	8.58 ± 0.07 ^a	8.82 ± 0.39 ^a	9.44 ± 0.07 ^b	13.24 ± 0.14 ^b
	2	5.18 ± 0.26 ^b	6.33 ± 0.11 ^a	7.68 ± 0.29 ^b	9.07 ± 0.58 ^a	9.39 ± 0.44 ^a	11.04 ± 0.10 ^a	13.89 ± 0.46 ^{ab}
	3	4.50 ± 0.01 ^{ab}	6.06 ± 0.26 ^a	8.09 ± 0.04 ^b	9.38 ± 0.11 ^a	9.48 ± 0.07 ^a	10.92 ± 0.27 ^a	15.16 ± 0.07 ^a
	4	3.49 ± 0.22 ^c	6.42 ± 0.26 ^a	8.58 ± 0.15 ^{ab}	8.68 ± 0.18 ^a	8.86 ± 0.54 ^a	10.63 ± 0.10 ^a	14.90 ± 0.14 ^{ab}
	5	3.53 ± 0.26 ^{bcA}	6.92 ± 0.22 ^{aA}	9.25 ± 0.33 ^{aA}	9.79 ± 0.14 ^{aA}	10.01 ± 0.04 ^{aA}	10.80 ± 0.10 ^{aA}	14.27 ± 0.66 ^{abB}
Sinjoemun baekdadagi	1	4.18 ± 0.04 ^{ab}	6.26 ± 0.33 ^a	8.80 ± 0.11 ^a	8.84 ± 0.07 ^a	8.82 ± 0.14 ^b	10.24 ± 0.71 ^a	15.90 ± 0.38 ^a
	2	4.32 ± 0.47 ^{ab}	5.81 ± 0.11 ^a	7.95 ± 0.07 ^{bc}	8.97 ± 0.04 ^a	10.49 ± 0.18 ^a	11.59 ± 0.32 ^a	14.97 ± 0.24 ^a
	3	4.13 ± 0.39 ^{ab}	6.22 ± 0.66 ^a	7.33 ± 0.15 ^c	7.96 ± 0.76 ^a	10.58 ± 0.04 ^a	11.41 ± 0.25 ^a	12.37 ± 0.31 ^b
	4	4.52 ± 0.47 ^a	5.63 ± 0.04 ^a	8.04 ± 0.07 ^{abc}	8.89 ± 0.07 ^a	10.54 ± 0.14 ^a	10.36 ± 0.29 ^a	11.81 ± 0.61 ^b
	5	2.74 ± 0.20 ^{ba}	5.99 ± 0.33 ^{aA}	8.36 ± 0.33 ^{abAB}	8.67 ± 0.11 ^{aA}	8.80 ± 0.40 ^{aA}	10.97 ± 0.07 ^{aA}	11.56 ± 0.07 ^{bc}

^ZData represent the mean values±SE of three independent experiments. Means with the same letter in column are not significantly different at p<0.05 level by Duncan's multiple range test(Capital letter represent significant difference between cultivars at the growth stage 5). Cucumber size to growth stage:1;8~12 cm, 2;12~16 cm, 3;17~20 cm, 4;20~23 cm, 5;24~27 cm.

하는 항산화능력이 있는 것으로 보고되고 있다(Sanchez *et al.*, 2007; Saija *et al.*, 1998). 오이의 경우도 미성숙한 단계에서 페놀성 화합물질이 상대적으로 많이 축적되어 free radical에 전자를 공여하여 산화를 억제하는 능력이 높은 것으로 추정된다. 수소전자공여능은 인체내에서 지질, 단백질과 결합하여 각종 질병 및 노화를 일으키는 산화성 free radical의 반응을 정지시키는 것으로 알려져 있으며(Joung *et al.*, 2007), 생물학적 손상의 주요 요인이 되는 활성산소를 제거하는 항산화제에 관한 연구가 현재 활발히 진행되고 있다. 특히 오이는 우리나라에서 소비자가 선호도가 높고 다양한 조리법으로 이용되고 있는 채소이

지만, 그 생리기능적 효능 연구는 다소 미흡한 실정이다. 따라서 오이의 항산화 기능을 비롯한 생리활성 연구는 오이의 활용도를 증대하기 위해 가치 있는 연구로 사료가 된다.

아질산염 소거능

아질산염은 우리가 흔히 섭취하는 생선이나 육류 등에 발색, 풍미증진, 항균작용 및 산패 방지를 위해 첨가제로 많이 이용되고 있지만, 이러한 아질산염을 섭취했을 경우 동물이나 인체의 위 내에서 아민류와 반응하여 발암성 물질로 알려진 nitrosamine을 생성하게 되며(Greenblatt *et al.*, 1971; Lim *et al.*, 2007), 또한 아질산염은 체내에서 신체기능의 조절에 관여하고 염증질환을 유도하기도 한다(Lee *et al.*, 2003). 따라서 인체에 유해한 물질이라고 할 수 있는 아질산염을 효과적으로 제거할 수 있는 식물유래 천연물에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 품종별, 생육단계별 오이 추출물의 아질산염에 대한 소거능을 조사한 결과를 보면 Table 2에 나타낸 바와 같다. pH 변화에 따른 품종별, 생육단계별 오이 추출물의 아질산염 소거활성은 pH 1.2에서 가장 높았으며 pH가 증가함에 따라 소거활성도 점차 감소되거나 상실되었다. 이러한 결과는 식물 소재는 다르지만 아질산염 소거율이 pH 1.2에서 가장 높았다는 다른 연구결과들과도 일치했다(Hong *et al.*, 2004; Shin *et al.*, 2005). 본 실험의 결과 강산성 조건하에서 오이 추출물의 아질산염 소거활성이 비교적 높고, 품종과 생육단계에 따라 소거활성에 차이를 보이는 것을 확인함으로써 향후 시설재배 오이의 품종 선발 및 오이의 이용성을 증대시키는데 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

Table 2. Effect of different growth stages of four cultivars on Nitrite scavenging abilities of cucumber grown greenhouse

Cultivar	Growth stage	Nitrite scavenging ability (%)		
		pH 1.2	pH 4.2	pH 6.0
Jangjuk cheongjang	1	41.36 ± 0.95 ^c	37.99 ± 2.03 ^a	ND
	2	44.68 ± 0.41 ^{bc}	39.16 ± 1.49 ^a	ND
	3	46.68 ± 0.95 ^b	36.55 ± 1.49 ^a	ND
	4	52.66 ± 0.68 ^a	37.34 ± 2.13 ^a	ND
	5	53.32 ± 0.95 ^{aA}	39.56 ± 3.09 ^{aA}	ND
Nulpureun cheongjang	1	45.52 ± 1.63 ^b	40.86 ± 3.31 ^a	ND
	2	41.36 ± 1.77 ^b	40.21 ± 1.07 ^a	ND
	3	44.85 ± 1.36 ^b	33.42 ± 1.28 ^a	ND
	4	44.35 ± 1.77 ^b	36.42 ± 1.60 ^a	ND
	5	64.28 ± 0.14 ^{aA}	36.42 ± 2.24 ^{aA}	ND
Janghyeong nakhap	1	56.31 ± 0.41 ^a	30.29 ± 3.41 ^b	ND
	2	55.81 ± 2.44 ^a	39.95 ± 0.21 ^a	ND
	3	58.14 ± 2.72 ^a	43.73 ± 1.39 ^a	ND
	4	61.46 ± 3.53 ^a	42.82 ± 0.64 ^a	ND
	5	60.79 ± 2.72 ^{aA}	41.64 ± 0.11 ^{aA}	ND
Sinjoeun baekdadagi	1	47.18 ± 1.09 ^c	32.64 ± 0.43 ^b	ND
	2	55.65 ± 2.04 ^b	37.73 ± 2.88 ^{ab}	ND
	3	56.15 ± 1.61 ^b	40.60 ± 2.24 ^a	ND
	4	59.80 ± 1.0 ^{ab}	41.12 ± 0.11 ^a	ND
	5	64.62 ± 0.14 ^{aA}	40.86 ± 0.75 ^{aA}	ND

²Data represent the mean values±SE of three independent experiments. Means with the same letter in column are not significantly different at p<0.05 level by Duncan's multiple range test(Capital letter represent significant difference between cultivars at the growth stage 5). ND : not detected. Cucumber size to growth stages: 1;8~12 cm, 2;12~16 cm, 3;17~20 cm, 4;20~23 cm, 5;24~27 cm.

ABTS 양이온(ABTS·⁺) 소거능

공시한 모든 품종과 각 생육단계에서 ABTS 양이온 소거활성은 추출물의 농도가 증가할수록 비례적으로 증가되는 경향을 보였다(Table 3). 장죽청장과 늘푸른청장 품종이 장항낙합, 신조은백다다기 품종보다 상대적으로 다소 높은 ABTS 라디칼 소거능을 나타냈다. 생육단계별로 보면, 대부분의 품종에서 ABTS 라디칼 소거능에 큰 차이를 보이지는 않았다. 수확기인 생육 5 단계(24~27cm 크기)에서 품종별로 비교해 보면 장죽청장과 늘푸른청장이 모든 농도에서 ABTS 라디칼 소거능이 유의한 수준으로 높게 나타났다. 이는 오이 품종에 따라 ABTS 라디칼 소거능에 차이가 있음을 나타내는 것으로서, 일부 품종에서는 DPPH 라디칼 소거능과 비교한 결과와 유사한 경향을 보였다. 품종별, 생육단계별 라디칼 소거능에 다소 차이를 보이는 것은 ABTS 및 DPPH 라디칼의 특성 때문으로 시료의 항산화물질의 특성과 반응정도 차이에 따라서 라디칼을 제거하는 능력에 차

Table 3. Effect of different growth stages of four cultivars on ABTS+ radical scavenging abilities of cucumber grown greenhouse

Cultivar	Growth stage	ABTS ⁺ scavenging ability (%)				
		Concentration (mg/L)				
		1000	2500	5000	10000	20000
Jangjuk cheongjang	1	7.98 ± 0.55 ^a	11.54 ± 0.55 ^b	23.09 ± 0.36 ^a	35.19 ± 0.29 ^a	46.86 ± 2.24 ^{bc}
	2	7.99 ± 0.06 ^a	8.76 ± 0.36 ^{cd}	20.89 ± 0.39 ^b	31.62 ± 0.17 ^c	46.99 ± 0.35 ^{bc}
	3	7.76 ± 0.24 ^a	8.21 ± 0.20 ^d	17.92 ± 0.28 ^c	29.10 ± 0.17 ^d	44.70 ± 0.96 ^c
	4	6.14 ± 0.12 ^b	9.84 ± 0.53 ^c	17.41 ± 0.79 ^c	29.09 ± 0.17 ^d	49.80 ± 0.33 ^b
	5	5.97 ± 0.06 ^{bb}	12.79 ± 0.19 ^{aA}	21.42 ± 0.58 ^{bA}	34.34 ± 0.34 ^{bA}	54.23 ± 1.38 ^{aA}
Nulpureun cheongjang	1	5.57 ± 0.36 ^a	12.40 ± 0.43 ^a	19.16 ± 0.36 ^a	20.95 ± 0.25 ^b	48.74 ± 0.70 ^{ab}
	2	6.15 ± 0.58 ^{ab}	12.69 ± 0.34 ^a	16.98 ± 0.87 ^{ab}	28.58 ± 1.04 ^a	46.99 ± 0.35 ^{bc}
	3	7.49 ± 0.06 ^a	11.76 ± 0.42 ^a	17.19 ± 0.29 ^{ab}	28.53 ± 0.31 ^a	45.23 ± 0.43 ^c
	4	7.27 ± 0.39 ^a	11.81 ± 0.45 ^a	16.56 ± 0.14 ^b	29.12 ± 0.22 ^a	49.43 ± 1.02 ^a
	5	6.75 ± 0.49 ^{abb}	12.29 ± 0.35 ^{aA}	18.44 ± 1.06 ^{abb}	30.23 ± 1.29 ^{aB}	49.73 ± 0.79 ^{aB}
Janghyeon g nakhap	1	7.20 ± 0.06 ^b	10.04 ± 0.54 ^{ab}	18.34 ± 0.35 ^a	28.50 ± 0.30 ^a	47.70 ± 0.55 ^b
	2	8.96 ± 0.11 ^a	10.89 ± 0.39 ^a	17.70 ± 0.29 ^a	29.24 ± 0.27 ^a	52.79 ± 0.24 ^a
	3	8.04 ± 0.63 ^{ab}	8.37 ± 0.73 ^b	18.10 ± 0.42 ^a	25.87 ± 1.05 ^b	43.36 ± 0.70 ^d
	4	8.26 ± 0.24 ^{ab}	8.99 ± 0.50 ^b	15.34 ± 0.05 ^b	23.83 ± 0.61 ^b	37.60 ± 0.45 ^e
	5	8.43 ± 0.28 ^{aA}	9.67 ± 0.41 ^{abb}	14.13 ± 0.39 ^{cC}	23.78 ± 0.86 ^{bc}	45.78 ± 0.33 ^{cC}
Sinjoemun baekdadagi	1	6.30 ± 0.35 ^c	9.26 ± 0.93 ^{bc}	14.31 ± 0.87 ^{bc}	25.64 ± 0.57 ^b	43.03 ± 1.10 ^a
	2	6.98 ± 0.17 ^{bc}	11.11 ± 0.42 ^a	16.85 ± 0.37 ^a	26.91 ± 0.36 ^a	42.61 ± 0.65 ^a
	3	6.42 ± 0.30 ^c	10.83 ± 0.56 ^{ab}	15.21 ± 0.05 ^b	24.43 ± 0.09 ^c	35.85 ± 0.44 ^{ab}
	4	7.83 ± 0.23 ^b	6.85 ± 0.29 ^d	13.35 ± 0.19 ^c	21.49 ± 0.35 ^d	31.24 ± 0.91 ^b
	5	8.86 ± 0.32 ^{aA}	7.82 ± 0.30 ^{cdC}	13.03 ± 0.05 ^{cC}	21.80 ± 0.15 ^{dC}	33.38 ± 0.94 ^{bD}

^ZData represent the mean values ± SE of three independent experiments. Means with the same letter in column are not significantly different at p < 0.05 level by Duncan's multiple range test (Capital letter represent significant difference between cultivars at the growth stage 5). Cucumber size to growth stages: 1; 8~12 cm, 2; 12~16 cm, 3; 17~20 cm, 4; 20~23 cm, 5; 24~27 cm.

가 생기는 것으로 사료된다(Lee and Jhoo, 2012; Prior *et al.*, 2005). 오이에 대한 ABTS 양이온 소거능을 분석한 다른 연구결과는 거의 없는 관계로 단순 비교분석은 어렵지만, 오이 식물도 다른 유용식물에서와 같이 라디칼 소거능이 높은 것으로 추측되었다.

항산화 효소 활성

오이의 품종별, 생육단계별 시료 추출물의 항산화효소 활성을 비교분석한 결과는 Fig. 1, 2 및 3에 나타났다. SOD 활성 결과를 보면 모든 품종, 전 생육단계에서 95% 이상의 높은 활성을 보였으며, 품종 간에 거의 유의한 차이를 나타내지 않았다(Fig. 1). 오이는 다른 식물들의 결과와 비교하여도(Boo *et al.*, 2013;

Heo *et al.*, 2012; Chon *et al.*, 2013) 상대적으로 높은 SOD 활성을 보이는 것으로 확인되었다. 오이의 CAT의 활성을 보면, 늘푸른청장의 생육 2단계(12~16cm 크기)에서 14.02(μmol H₂O₂ decomposed/min/mg DW)로 가장 높게 나타났으며, 전체적으로 장죽청장과 늘푸른청장에서 상대적으로 활성이 높았고, 신조은백다다기 품종이 다른 품종에 비해 다소 낮은 경향을 보였다(Fig. 2). 또한 오이의 APX의 활성은 늘푸른청장, 장형낙합 생육 5단계(24~27cm 크기)에서 86.48, 92.00(μmol ascorbate oxidized/min/g DW)로 높은 활성을 보였으며, 전체적으로 늘푸른청장, 장형낙합 품종에서 장죽청장, 신조은백다다기 품종에 비해 상대적으로 높은 활성을 나타냈다(Fig. 3). 그리고 POX의 활성은 생육단계별로 뚜렷한 경향을 보였는데, 즉 수확기에

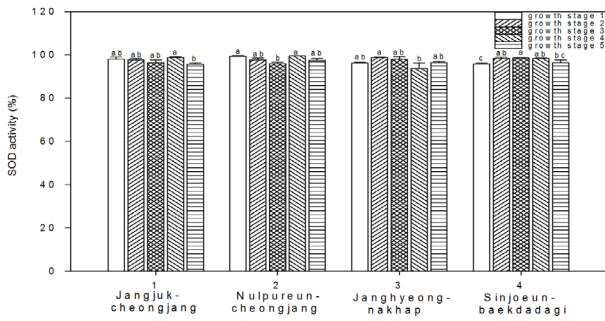


Fig. 1. SOD activities according to drying methods of diploid and tetraploid in *Platycodon grandiflorum*. Bars represent the standard error of the mean (n=3). Means with the same letter in column are not significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.

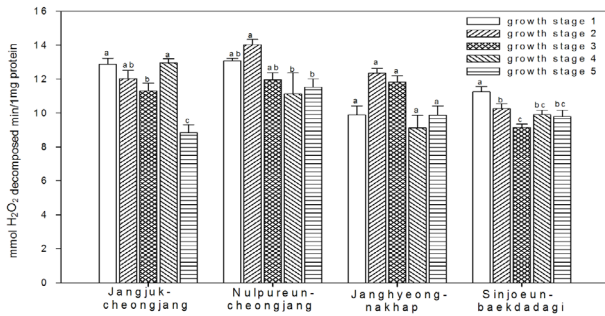


Fig. 2. CAT activities according to drying methods of diploid and tetraploid in *Platycodon grandiflorum*. Bars represent the standard error of the mean (n=3). Means with the same letter in column are not significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.

도달할수록 점차적으로 활성이 현저히 감소하는 결과를 보였으며, 품종 간에는 다른 항산화효소 결과와는 달리 통계적인 유의한 차이를 보이지는 않았다(Fig. 4). 오이의 항산화효소 활성에 있어 SOD, APX와 CAT의 결과는 비슷한 양상을 보였으나 POX에서는 다른 양상을 나타냈다. 이는 오이에 있어 항산화 효소의 종류에 따라 그 활성에 차이가 있음을 알 수 있다. 항산화 효소인 SOD는 산패로 인하여 형성된 세포에 해로운 환원산소종을 과산화수소로 전환시키는 반응을 촉매하는 생체내 효소 중 하나로 대부분의 호기성 생물이나 혐기성 생물에서 생성되어 과산화수소를 발생하고 이는 CAT와 APX에 의해 물과 산소로 전환되어 독성을 상실하게 된다. 식물체에서 APX는 세포질과 엽록체에서 작용하는 가장 중요한 제거제 역할을 한다. 이들은 환원용 기질로 ascorbic acid를 이용하며, GPX(glutathione

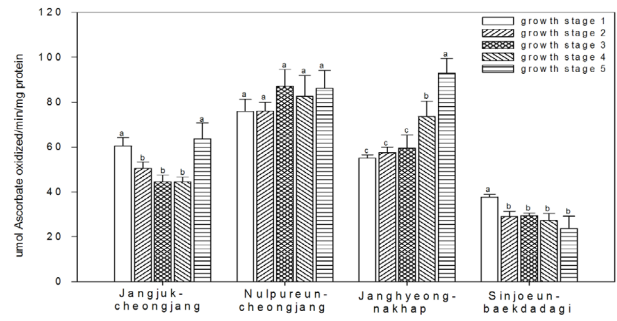


Fig. 3. APX activities according to drying methods of diploid and tetraploid in *Platycodon grandiflorum*. Bars represent the standard error of the mean (n=3). Means with the same letter in column are not significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.

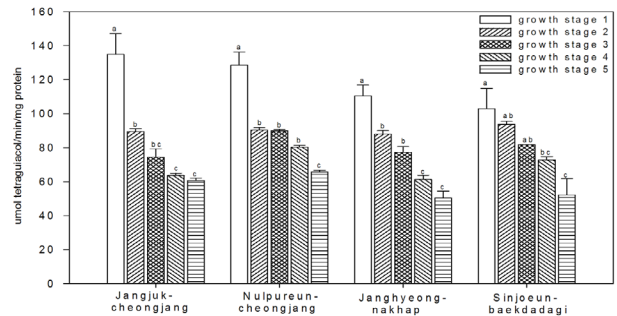


Fig. 4. POX activities according to drying methods of diploid and tetraploid in *Platycodon grandiflorum*. Bars represent the standard error of the mean (n=3). Means with the same letter in column are not significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.

peroxidases)가 H₂O₂를 제거하고 지질의 과산화과정에서 중요한 역할을 한다고 밝혀졌다 (Wheeler *et al.*, 1998). 또한 CAT는 생체내의 유해한 산소들을 신속히 처리하여 세포를 보호하는 항산화계 효소로 APX와 함께 H₂O₂를 분해 소거하는 대표적인 효소이다. SOD에 의해서 유기된 과산화수소는 POX나 CAT에 의해서 물 분자와 산소 분자로 분해됨으로서 과다한 활성 산소종에 의한 피해를 감소시키는 것으로 알려져 있다(Anderson *et al.*, 1995; Chon *et al.*, 2013). 이와 같이 생체 내에서 유해한 활성산소를 제거하는데 있어 높은 활성을 나타내는 항산화 효소들은 각종 질병 및 노화를 예방하고 억제하는 효능이 있으며 오이 식물 또한 이러한 효능을 기대할 수 있다고 보기 때문에 향후 각종 식품이나 화장품 등에 오이 소재의 적극적인 활용 가능성을 제시한다고 볼 수 있다.

적 요

시설오이로 많이 재배되고 있는 4 품종을 선발하여 생육단계별로 DPPH radical 소거활성, 아질산염 소거활성, ABTS 소거활성 그리고 항산화효소 활성에 대하여 비교 분석하였다. 장죽청장 품종이 모든 생육단계에서 DPPH radical 소거활성이 상대적으로 높게 나타났으며, 그 외 품종들 간에는 큰 차이를 보이지는 않았다. 또한 생육단계별로는 수확기에 못 미친 미성숙단계에서 DPPH radical 소거 활성이 높게 나타났다. 아질산염 소거활성은 pH가 1.2일 경우 모든 품종과 생육단계에서 40% 이상 분해시켰으며, 특히 장형낙합과 신조은백다다기 품종이 상대적으로 높은 활성을 보였다. 또한 pH 4.0에서는 추출물 모두에서 30% 이상의 아질산염 소거활성을 나타냈으며, pH 6.0에서는 대부분 활성이 없었다. ABTS 소거활성은 장죽청장과 늘푸른청장 품종이 다른 품종보다 상대적으로 다소 높은 소거능을 나타냈고, 생육단계별로는 대부분의 품종에서 ABTS 소거능에 큰 차이를 보이지는 않았다. SOD 활성은 모든 품종과 전 생육단계에서 95% 이상의 높은 활성을 보였으며, 품종 간에 거의 유의한 차이를 나타내지 않았다. CAT 활성은 전체적으로 장죽청장과 늘푸른청장 품종이 그리고 APX 활성은 늘푸른청장, 장형낙합 품종에서 상대적으로 높은 활성을 나타냈고, POX 활성은 생육단계별로 뚜렷한 경향을 보여 수확기에 이룰수록 활성이 현저히 감소하는 결과를 나타냈다. 본 실험의 결과, 오이의 높은 항산화능을 확인함으로써 향후 향장소재 및 식품소재로서의 이용 가치성을 증대시킬 수 있음을 시사한다.

인용문헌

- Anderson, M.D., T.K. Prasad and C.R. Stewart. 1995. Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotyls of maize seedlings. *Plant Physiol.* 109:1247-1257.
- Asada, K. 1994. Production and action of active oxygen species in photosynthetic tissues. In C.H. Foyer and P.M. Mullineaux (eds.), *Causes of Photooxidative Stress and Amelioration of Defense Systems in Plants*. CRC Press, London, UK. pp. 77-105.
- Boo, H.O., J.H. Shin, Y.S. Kim, H.J. Park, H.H. Kim, S.J. Kwon and S.H. Woo. 2013. Comparative antioxidant enzyme activity of diploid and tetraploid *Platycodon grandiflorum* by different drying methods. *Korean J. Plant Res.* 26(3):389-396 (in Korean).
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72:248-254.
- Chen, G.X. and K. Asada. 1989. Ascorbate peroxidase in tea leaves: occurrence of two isozymes and the differences in their enzymatic and molecular properties. *Plant Cell Physiol.* 30:987-998.
- Choi, Y.M., M.H. Kim, J.J. Shin, J.M. Park and J.S. Lee. 2003. The antioxidant activities of the some commercial teas. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 32(5):723-727 (in Korean).
- Chon, S.U. 2013. Change in polyphenol content, antioxidant activity, and antioxidant enzyme status of Cowpea during germination. *Korean J. Plant Res.* 26(1):060-067 (in Korean).
- Chung, S.H. and S.H. Moon. 2001. Antimutagenic and antimicrobial effect of cucumber (*Cucumis sativus* L.) extracts. *J. Korean Soc. Food. Sci. Nutr.* 30(6):1164-1170.
- Egley, G.H., R.N. Paul, K.C. Vaughn and S.O. Duke. 1983. Role of peroxidase in the development of water-impermeable seed coats in *Sida spinosa* L. *Plant.* 157:224-232.
- Greenblatt M., S. Mirvish and B.T. So. 1971. Nitrosamine studies: induction of lung adenomas by concurrent administration of sodium nitrite and secondary amines in Swiss mice. *J. Natl. Cancer Inst.* 46:1029-1034.
- Heo, B.G., Y.J. Park, S.J. Lee, K.S. Kim, J.Y. Cho and H.O. Boo. 2012. Antioxidant enzyme activity and antimicrobial activity of *Isatis tinctoria* extract. *Korean J. Plant Res.* 25(5):543-549 (in Korean).
- Hong, T.G., Y.R. Lee, M.H. Yim and C.H. Choung. 2004. Physiological functionality and nitrite scavenging ability of fermentation extracts from pine needles. *Korean J. Food Preserv.* 11(1):94-99 (in Korean).
- Jeong, C.H., S.G. Choi and H.J. Heo. 2008. Analysis of nutritional components and evaluation of functional activities of *Sasa borealis* leaf tea. *Korean J. Food Sci. Technol.* 40(5):586-592 (in Korean).
- Joung, Y.M., S.J. Park, K.Y. Lee, J.Y. Lee, J.K. Suh, S.Y. Hwang, K.E. Park and M.H. Kang. 2007. Antioxidative

- and antimicrobial activities of *Lilium* species extracts prepared from different aerial parts. Korean J. Food Sci. Technol. 37(4):452-457 (in Korean).
- Kang, N.J., J.K. Kwon, H.C. Lee, H.B. Jeong and H.T. Kim. 2003. Antioxidant enzymes as defense mechanism against oxidative stress induced by chilling in *Cucurbita ficifolia* Leaves. J. Korean Soc. Hort. Sci. 44(5):605-610 (in Korean).
- Kim, H.Y., D.H. Shin and K.U. Kim. 2000. Effects of different UV-B levels on growth, antioxidant contents and activities of related enzymes in cucumber (*Cucumis sativus* L.). Korean J. Environ. Agri. 19(4):309-313.
- Kim, M.H., M.C. Kim, J.S. Park, J.W. Kim and J.O. Lee. 2001. The antioxidative effects of the water-soluble extract of pants used as tea materials. Korean J. Food Sci. Technol. 33(1):12-18 (in Korean).
- Lee, G.H. 2012. Radical scavenging effect and tyrosinase inhibitory activities of *Cucumis sativus* L. in Korea, China and Japan. Master's Thesis, Sunchon National Graduate School. Korea.
- Lee, S.H., I.J. Hong, H.G. Park, S.S. Jew and K.T. Kim. 2003. Functional characteristics from the barley leaves and its antioxidant mixture. J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol. 46(4):333-337 (in Korean).
- Lee, J.H. and J.W. Jhoo. 2012. Antioxidant activity of different parts of *Lespedeza bicolor* and isolation of antioxidant compound. Korean J. Food Sci. Technol. 44(6):763-771.
- Lee, Y.S., H.Y. Seo, G.D. Kim, J.H. Moon, Y.H. Lee, K.J. Choi, Y. Lee, J.H. Park and J.H. Kang. 2010. A comparison of quality and volatile components of two cucumber cultivars grown under organic and conventional conditions. Korean J. Food Sci. Technol. 42(4):407-413.
- Lim J.A., B.W. Yun and S.H. Beak. 2007. Antioxidative activity and nitrite scavenging ability of methanol extract from *Salvia plebeia* R. Br. Korean J. Medicinal Crop Sci. 15:183-188 (in Korean).
- Min O.J., M.S. Kim, B.H. Kwak and D.Y. Rhyu. 2008. Peroxynitrite and hydroxyl radical scavenging activity of medicinal plants. Korean. J. Plant. Res. 21(4):254-259.
- Mishra, N.P., R.K. Mishra and G.S. Singhal. 1993. Changes in the activities of anti-oxidant enzymes during exposure of intact wheat leaves to strong visible light at different temperatures in the presence of protein synthesis inhibitors. Plant Physiol. 102:903-910.
- Park, M.L., Y.J. Lee, N. Kozukue, J.S. Han, S.H. Choi, S.M. Huh, G.P. Han and S.K. Choi. 2004. Changes of vitamin C and chlorophyll contents in Oi-Kimchi with storage time. Korean J. Food Culture. 19:566-572.
- Prior, R.L., X. Wu and K. Schaich. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. J. Agr. Food Chem. 53:4290-4302.
- Rhim, T.J. and M.Y. Choi. 2010. The antioxidative effects of *Ampelopsis brevipedunculata* extracts. Korean. J. Plant. Res. 23(5):445-450.
- Saija, A., D. Trombetta, A. Tomaino, R.L. Cascio, P. Princi, N. Uccella, F. Bonina and F. Castelli. 1998. 'In vitro' evaluation of the antioxidant activity and biomembrane interaction of the plant phenols oleu-ropein and hydroxytyrosol. Int. J. Pharmacol. 166:123-133.
- Sanchez, C.S., A.M.T. Gozalez, M.C. Garcia-parrilla, J.J.Q. Granados, H.L.G. Serrana and M.C.L. Martinez. 2007. Different radical scavenging tests in vigin olive oli and their relation to the total phenol content. Anal. Chemical Acta. 593:103-107.
- Shin, J.H., J.Y. Lee, J.C. Ju, S.J. Lee, H.S. Cho and N.J. Sung. 2005. Chemical properties and nitrite scavenging ability of citron (*Citrus junos*). J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 34(4):496-502 (in Korean).
- Wheeler, G.L., M.A. Jones and N. Smirnoff. 1998. The biosynthetic pathway of vitamin C in higher plants. Nature 393(6683):363-369.
- Windholz, M. 1984. An encyclopedia of chemicals and drugs. 9th ed., Merck & Co., INC., NJ, USA. pp. 340-341.

(Received 7 October 2013 ; Revised 16 October 2013 ; Accepted 17 October 2013)