

가공공정에 따른 더덕 추출물의 항산화 활성

전상민¹ · 김소영¹ · 김인혜¹ · 고정숙¹ · 김행란¹ · 정재윤² · 이현용³ · 박동식^{1*}

¹농촌진흥청 국립농업과학원 기능성식품과

²(주)뉴트리

³서원대학교 차학과

Antioxidant Activities of Processed Deoduck (*Codonopsis lanceolata*) Extracts

Sang-Min Jeon¹, So-Young Kim¹, In-Hye Kim¹, Jeong-Sook Go¹, Haeng-Ran Kim¹,
Jae-Youn Jeong², Hyeon-Yong Lee³, and Dong-Sik Park^{1*}

¹Functional Food and Nutrition Division, Department of Agrofood Resources,

Rural Development Administration, Gyeonggi 441-853, Korea

²New Tree Co., Ltd., Gyeonggi 462-120, Korea

³Dept. of Teacis, Seowon University, Chungbuk 361-742, Korea

Abstract

This study investigated the antioxidant activities of processed Deoduck (*Codonopsis lanceolata*) extracts treated through high-pressure extraction and steaming with fermentation. The antioxidant activities were determined for DPPH and ABTS radical-scavenging activity, SOD-like activity, ferric reducing antioxidant power (FRAP), and Fe²⁺ chelating. Total phenolic and flavonoid contents were also measured. Among eight Deoduck extracts, the S5FDW extract had the highest total phenolic and flavonoid content, 73.9 mg GAE/g and 50.9 mg QUE/g, respectively. The S5FDW extract had the highest DPPH radical-scavenging activity (27%) at a 1.0 mg/mL concentration. The ABTS radical-scavenging activity was highest for S5FDW extract (82.1%) at a 10 mg/mL concentration. The HFDE extract showed the highest SOD-like activity (29.7%) at a 1.0 mg/mL concentration. FRAP was highest in S5FDW extract (140.8 μM) at a 1.0 mg/mL concentration. The DE extract showed the highest Fe²⁺ chelating (46%) at a 1.0 mg/mL concentration. The phenolic and flavonoid contents significantly correlated with the antioxidant activity of several processed Deoduck extracts and was higher in the processed Deoduck extracts compared to the raw Deoduck extracts. Therefore, processing techniques can be useful methods for making Deoduck a more potent and natural antioxidant.

Key words: *Codonopsis lanceolata*, Deoduck, total phenolic and flavonoid content, antioxidant activities

서 론

생체 내 정상적인 세포대사과정에서 생성되거나 여러 환경오염 및 화학물질의 노출 등에 의해 생성되는 슈퍼옥사이드 라디칼(superoxide radical anion, O₂⁻·), 과산화 수소(hydrogen peroxide, H₂O₂), 하이드록시 라디칼(hydroxyl radicals, ·OH) 등의 산소화합물을 총칭하여 활성 산소종(reactive oxygen species, ROS)이라 하며, 세포의 산화적 스트레스를 유발하는 것으로 알려져 있다(1,2). 산화적 스트레스는 세포 체내에서 세포막 손상, DNA 변성, 지질 산화, 단백질 분해 등을 초래하여, 뇌혈관 질환, 암, 심장질환, 자가면역질환, 소화기질환, 동맥경화와 같은 만성 질환들의 발생을 증가시키는 위험성이 있다. 이러한 질병을 초래하는 위험요소인 체내 활성산소를 효과적으로 제거할 수 있는 방법

중의 하나는 천연 항산화제의 섭취이다(3,4). 최근에는 식용 가능한 작물을 대상으로 항산화 활성이 높고 인체에 무해한 성분을 찾으려는 시도가 활발히 진행되고 있다(5).

더덕(*Codonopsis lanceolata*)은 초롱꽃과에 속하는 다년생 초본으로 독특한 맛과 향이 특징이며 한국을 비롯한 중국, 일본의 산간지방에 많이 분포되어 있는 산채류이다(6). 예로부터 뿌리를 식용으로 사용하였으며, 한방에서는 폐 기운을 돋워주고 한기와 열병, 경련, 인두염, 기침, 발작 및 염증 등에 사용되어 온 천연 강장제로도 잘 알려져 있다(7). 더덕의 주요 성분은 polyphenol, tannin, alkaloid, steroid, saponin 등이 있으며, 이 중 saponin의 대부분은 triterpenoid saponin 형태로 존재한다(8,9).

작물에 함유되어 있는 활성성분의 함량을 증가시키고자 하는 일환으로 초고압, 증숙, 발효 등의 가공방법 등이 개발

*Corresponding author. E-mail: dpark@korea.kr
Phone: 82-31-299-0530, Fax: 82-31-299-0504

적용되고 있다. 특히 초고압 공정은 비가열처리 가공방법으로 식품의 보존성, 물성 기능성을 향상시켜 줄 뿐 아니라 성분을 변성시키지 않고 신선감을 유지시킬 수 있는 가공기술이다(10-12). 이는 주요 성분을 단시간 내에 추출할 수 있는 장점과 불순물이 거의 없고, 높은 순도의 단일성분 추출물을 얻을 수 있는 효율적인 가공 기술 분야이다. 또한 증숙 공정은 증기를 이용해 열처리를 하여 활성성분의 파괴를 막으며, 작물의 구성성분의 변화를 유발하여 새로운 화합물을 만들어 내거나 작물의 조직을 파괴하여 유용성분 용출을 증진하는 공정과정이다(13). 발효공정은 일반적으로 미생물이나 균류 등을 이용해 사람에게 유용한 물질을 얻어내며, 산소를 사용하지 않고 에너지를 얻는 당 분해과정으로 식품의 향, 풍미, 조직감과 저장성을 향상시킨다. 또한 식품의 발효 과정을 통하여 독성물질 파괴, 생리활성 물질 생산 및 소화성을 증진시킨다(14,15).

본 연구팀은 증숙가공공정을 통한 더덕의 항산화 활성 증진(16), 증숙 및 발효 더덕의 이화학적 특성 및 생리활성 변화(17), 발효더덕의 화학성분(18), 발효더덕 추출물이 흰쥐의 인지능 회복에 미치는 효과(19), 발효더덕 추출물의 생리활성(20), 초고압 추출 처리에 의한 더덕 및 발효더덕의 항산화 증진(5), 산지별 더덕의 초고압 추출을 통한 항산화 활성 비교에 관한 연구(21) 등을 전보에서 보고하였다. 그러나 다양한 평가법을 적용한 항산화 활성 검정과 활성 간의 상관관계 구명은 연구되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 선행연구에서 확립한 최적의 생산 공정조건으로 증숙 한 후 발효, 초고압처리 후 발효, 그리고 증숙의 횟수별 시료 등으로 구분하여 다양한 가공공정을 거친 더덕과 일반더덕에 대한 5가지 항산화 활성 검정법을 적용하여 활성을 비교하였으며, 이들 활성 간의 상관관계도 평가하였다. 이를 위해 열수 추출물과 70% 에탄올 추출물을 조제하여 총 페놀 및 플라보노이드 함량 측정과 DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) 및 ABTS[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)] 라디칼 소거능, superoxide dismutase(SOD) 유사활성, ferric reducing antioxidant power(FRAP)에 의한 환원력, Fe²⁺ chelating 활성을 검정하여 가공처리에 따른 활성의 증진 여부와 고활성 천연 항산화제 개발 가능성을 검토하였다.

재료 및 방법

일반 및 가공 더덕 제조

일반더덕 시료는 강원도 횡성지역에서 2012년 3월에 채취한 더덕을 깨끗이 수세하여 세정 및 세절하여 동결건조기(PVTFA 10AT, Ilsin, Gyeonggi-do, Korea)로 동결건조 후 마쇄하여 실험에 사용하였다.

증숙공정은 세정된 더덕을 마하스팀기(Daechang stainless, Seoul, Korea)에 넣고 각각 50, 60, 90°C 세 가지 온도 조건으로 2시간씩 증기를 가한 후, 12시간 건조시키는 것을 1회 증숙으로 하였다. 이러한 과정을 3번 반복 실시한 3회 증숙더덕과 5회 반복 실시한 5회 증숙더덕을 제조하였다. 증숙더덕의 유효기간을 늘리기 위하여 증숙과정을 마친 더덕을 20~30°C에서 24시간 동안 음건하여 사용하였다.

초고압 공정은 증숙공정을 거친 더덕시료 100 g을 초고압 용 비닐 팩에 공기가 들어가지 않도록 진공포장 후, 초고압 추출장치를 이용하여 3,000 bar의 압력으로 25°C에서 30분 동안 초고압을 가하여 시료로 사용하였다.

발효공정은 증숙 및 초고압처리를 한 더덕에 8배수의 증류수를 넣고, 전배양 시킨 유산균 *Bifidobacterium longum* (KACC 20597), *Lactobacillus acidophilus*(KACC 12419), *Leuconostoc mesenteroides*(KACC 12312)를 각각 10⁸ CFU/mL의 농도로 혼합, 접종하여 48시간 동안 발효시켰다. 발효가 완료된 더덕은 액체 상태의 발효액과 고체상태의 발효물을 분리하여 발효액은 5,000 rpm으로 4°C에서 10분간 원심분리 하여 상층액을 사용하였으며, 고형 발효물은 추출 과정을 거쳐 시료를 제조하여 사용하였다.

추출물 제조

본 실험에 사용한 가공공정별 더덕 추출물의 종류 및 코드는 Table 1과 같다. 일반더덕의 열수 추출물(DW)은 수직 환류냉각기가 부착된 추출 플라스크에 건조 시료 100 g과 증류수 10배수(v/w)를 가하여 100°C 수욕상에서 24시간 추출하여 얻었다. 용매 추출물(DE)은 추출 플라스크에 건조 시료 100 g과 70% 에탄올 10배수(v/w)를 가하여 100°C 수욕상에서 24시간 진탕하여 추출물을 얻었다.

초고압 공정 후 발효 공정을 거친 더덕의 열수 추출물(HFDW)은 일반더덕의 열수 추출과 동일한 방법으로 추출하였다. 또한 용매 추출물(HFDE)도 일반더덕의 용매 추출

Table 1. Sample code name of the Deoduck (*Codonopsis lanceolata*) extracts

Sample code	Descriptions
DW	Water extraction of Deoduck
DE	70% ethanol extraction of Deoduck
HFDW	Water extraction of high pressure extraction fermented Deoduck
HFDE	70% ethanol extraction of high pressure extraction fermented Deoduck
S3FDW	Water extraction of fermented Deoduck for three steaming
S3FDE	70% ethanol extraction of fermented Deoduck for three steaming
S5FDW	Water extraction of fermented Deoduck for five steaming
S5FDE	70% ethanol extraction of fermented Deoduck for five steaming

과 동일한 방법으로 추출하였다. 3회와 5회의 증숙 공정 후 발효 공정을 거친 더덕의 열수 추출 및 용매 추출도 일반더덕에서 사용한 동일한 방법으로 추출하여 각각 증숙3차발효 열수(S3FDW), 증숙5차발효열수(S5FDW), 증숙3차발효에탄올(S3FDE) 그리고 증숙5차발효에탄올(S5FDE) 추출물을 제조하였다.

제조한 추출물은 감압여과기로 여과한 여과액을 회전식 진공농축기(EYELA N-1000, Tokyo Rikakikai Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 농축시킨 후 동결건조기(PVTFA 10AT, IIsin)로 건조 후 분말 상태로 냉장고(4°C)에 보관하면서 실험에 사용하였다.

총 폴리페놀 함량

총 페놀 함량은 Folin-Denis 방법(22)을 변형하여 측정하였다. 각각의 추출물을 증류수에 10 mg/mL의 농도로 용해한 시료 20 μ L에 Folin-Ciocalteu's phenol reagent(1 N) 50 μ L 및 7.5% Na_2CO_3 (sodium carbonate) 150 μ L를 차례로 가한 다음 실온에서 60분간 반응시킨 후 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 gallic acid를 사용하여 시료와 동일한 방법으로 분석하여 얻은 검량선으로 총 폴리페놀의 함량을 산출하였다. 실험은 3회 반복 수행하여 평균값을 나타내었다.

총 플라보노이드 함량

총 플라보노이드 함량은 Zhishen 등(23)과 Singleton 등(24)의 방법을 응용하여 측정하였다. 각 시료 20 μ L를 sodium nitrite solution 75 μ L와 3차 증류수 100 μ L를 혼합하여 6분간 반응시키고 aluminum chloride solution 20 μ L를 첨가하여 다시 5분간 반응시킨 후 1 M NaOH 40 μ L와 섞어 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질 quercetin을 사용하여 시료와 동일한 방법으로 분석하여 검량선을 작성한 후 총 플라보노이드 함량을 산출하였다. 실험은 3회 반복 수행하여 평균값을 나타내었다.

DPPH 라디칼 소거능 측정

DPPH에 대한 수소공여 효과로 측정하는 라디칼 소거능은 Blois(25)의 방법을 변형하여 측정하였다. 일정 농도로 희석된 시료 40 μ L와 1.5×10^{-4} M의 농도로 DPPH를 absolute methanol에 희석한 용액 160 μ L를 가하여 잘 혼합한 후 암소에서 30분간 반응시킨 후 518 nm에서 흡광도를 측정하였다. 결과 값은 추출물 첨가구와 무첨가구를 비교하여 라디칼의 소거활성을 백분율(%)로 나타내어 농도에 따른 DPPH 라디칼 소거능을 확인하였다.

ABTS 라디칼 소거능 측정

ABTS 라디칼 소거능은 Arano 등(26)과 Re 등(27)의 방법을 변형하여 측정하였다. 7.4 mM ABTS 용액에 2.6 mM potassium persulfate를 혼합하여 암소에서 약 12시간 반응시킨 후 734 nm에서 흡광도 값이 1 ± 0.1 가 되도록 조절한

ABTS solution을 사용하였다. ABTS solution 285 μ L를 취하여 각 농도별 시료 15 μ L를 혼합하여 암소에서 30분간 반응시켜 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 결과 값은 추출물 첨가구와 무첨가구를 비교하여 라디칼의 소거활성을 백분율(%)로 나타내었다.

SOD 유사활성

SOD 유사활성 측정은 알칼리 상태에서 pyrogallol의 자동산화에 의한 발색 원리를 이용한 Marklund와 Marklund(28)의 방법을 변형하여 측정하였다. 일정 농도로 희석된 시료 40 μ L에 pH 8.5로 보정한 tris-HCl buffer(50 mM tris amino-methane + 10 mM EDTA, pH 8.5) 120 μ L와 7.2 mM pyrogallol 20 μ L를 첨가하여 25°C에서 10분간 반응시킨 후 1 N HCl 20 μ L를 가하여 반응을 정지시키고 420 nm에서 흡광도를 측정하였다. SOD 유사활성은 추출물 첨가구와 무첨가구의 흡광도 차이를 백분율(%)로 나타내었다.

FRAP에 의한 환원력 측정

FRAP에 의한 환원력 실험은 Benzie와 Strain(29)의 방법을 변형하여 측정하였다. FRAP reagent는 sodium acetate buffer(pH 3.5, 300 mM)와 40 mM HCl에 용해한 10 mM TPTZ(2,4,6-tris(2-pyridyl)-s-triazine) 및 20 mM $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 를 각각 10:1:1(v/v/v)의 비율로 혼합하여 37°C에서 5분 동안 가온한 후 FRAP reagent로 사용하였다. 각 농도별 시료 50 μ L에 제조한 시약 150 μ L를 혼합하여 37°C에서 4분간 반응시킨 후 593 nm에서 흡광도를 측정하였으며, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 를 표준물질로 하여 얻은 표준 검량선으로부터 계산하였다.

Fe^{2+} chelating 활성 측정

철 이온(Fe^{2+})에 대한 chelating 활성 측정은 Decker와 Welch(30)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 시료 50 μ L, 0.6 mM $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 용액 10 μ L와 증류수 90 μ L를 혼합한 후 실온에서 10분간 반응시켰다. 반응 후 5 mM ferrozine [3-(2-pyridyl)-5,6-diphenyl-1,2,4-triazine-4',4''-disulfonic acid] 용액 20 μ L를 혼합하여 실온에서 5분간 반응시켰으며, 562 nm에서 흡광도를 측정하였다. 결과 값은 추출물 첨가구와 무첨가구를 비교하여 백분율(%)로 표시하여 금속 이온 소거능으로 나타내었다.

통계처리

본 연구에서 실험값에 대한 통계분석은 SPSS 12.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA) program을 이용하여 분산분석(ANOVA)법을 실행하였으며, 실험군 간의 유의성은 Duncan의 다중범위 시험법(Duncan's multiple range test)으로 $p < 0.05$ 수준에서 유의적 차이를 검증하였다. 또한 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량과 항산화활성과의 상관관계를 알아보기 위하여 Pearson's correlation test를 $p < 0.05$ 수준에서 실시하였다.

Table 2. Total phenolic and flavonoid contents of Deoduck (*Codonopsis lanceolata*) extracts

Sample	Total phenolic content (mg GAE ¹⁾ /g)	Total flavonoid content (mg QUE ²⁾ /g)
DW	20.1±1.0 ^{3)e4)}	19.8±4.4 ^d
DE	15.7±0.5 ^f	14.7±2.8 ^d
HFDW	43.2±3.2 ^c	41.3±2.1 ^b
HFDE	22.7±2.9 ^e	19.3±4.1 ^d
S3FDW	53.5±1.6 ^b	36.8±2.8 ^b
S3FDE	37.7±0.9 ^d	30.4±3.3 ^c
S5FDW	73.9±2.0 ^a	50.9±4.5 ^a
S5FDE	55.5±0.5 ^b	37.1±2.0 ^b

¹⁾Total phenolic content was expressed as mg/g gallic acid equivalent (GAE).

²⁾Total flavonoid content was expressed as mg/g quercetin equivalent (QUE).

³⁾Each value is mean±SD of triplicate determinations.

⁴⁾Means with different letters (a-f) within a column are significantly different at p<0.05.

결과 및 고찰

총 폴리페놀 함량

폴리페놀은 식물의 대표적인 2차 대사산물로 식물계에 널리 분포되어 있으며, phenolic hydroxyl 그룹 때문에 단백질, 효소 단백질 또는 기타 거대분자와 결합하는 성질을 가지고 있어 항산화 작용, 항균, 항알레르기 및 항암효과에 관여하는 것으로 알려져 있다(31,32). 총 폴리페놀 함량은 폴리페놀의 산화 환원반응을 응용한 것으로 페놀성 물질인 phosphomolybdic acid와 반응하여 청색을 나타내는 원리를 이용하였다(33). 가공공정에 따른 더덕 추출물의 총 폴리페놀 함량을 분석한 결과 Table 2와 같이 S5FDW(73.9 mg GAE/g) > S5FDE(55.5 mg GAE/g) > S3FDW(53.5 mg GAE/g) > HFDW(43.2 mg GAE/g) > S3FDE(37.7 mg GAE/g) > HFDE(22.7 mg GAE/g) > DW(20.1 mg GAE/g) > DE(15.7 mg GAE/g) 순으로 유의적인 차이를 나타내었다(p<0.05). S5FDW에서 가장 높은 폴리페놀 함량을 나타내었으며, 생 더덕보다 가공 처리한 더덕에서 폴리페놀 함량이 모두 증가하여 전보(18)의 실험결과와 유사한 경향을 나타냈다. He 등(34)은 발효공정을 통해 폴리페놀 함량이 증가함을 보고하였고, Choi 등(35)은 초고압 처리 중 압력이 가해지면서

생성된 에너지 등으로 인해 세포벽의 구조가 변형 또는 파괴되면서 진세노사이드가 많이 용출되며, 증숙 공정 처리 시에는 수증기의 높은 가수분해력으로 인해 당의 가수분해가 용이해져 고분자에서 저분자 진세노사이드로 전환이 용이해 진다는 연구 결과를 보고하였다. 본 연구에서도 가공공정을 통해 페놀성 물질이 증가하였음을 확인할 수 있었다.

총 플라보노이드 함량

플라보노이드는 식물에 의해 합성된 페놀성 화합물로 노란색, 담황색 및 적자색을 띠는 색소 화합물로서 식물 중에는 대부분 당과 결합된 배당체(glycoside) 형태로 존재한다. 이들은 활성 산소종을 효과적으로 제거하여 심장질환, 항암 및 항염 등의 생리기능을 가지는 것으로 알려져 있다(36,37). 더덕의 가공공정에 따른 추출물의 총 플라보노이드 함량 변화는 Table 2와 같이 S5FDW(50.9 mg QUE/g) > HFDW(41.3 mg QUE/g) > S5FDE(37.1 mg QUE/g) > S3FDW(36.8 mg QUE/g) > S3FDE(30.4 mg QUE/g) > DW(19.8 mg QUE/g) > HFDE(19.3 mg QUE/g) > DE(14.7 mg QUE/g) 순으로 유의적인 차이를 나타내었다(p<0.05). S5FDW 추출물에서 가장 많은 플라보노이드를 함유하는 것으로 나타났으며, 총 폴리페놀 함량의 증가와 같은 경향을 보였다.

DPPH radical 소거능 측정

라디칼은 인체 구성물질의 산화를 유도하여 노화 및 다양한 질병을 유도하는 것으로 DPPH radical 소거능은 항산화능을 측정하는데 가장 널리 사용되는 방법이다. DPPH는 화학적으로 유도되는 비교적 안정한 radical로서 항산화제, 방향족 아민류 등에 의한 전자 공여에 의해 지질 과산화 연쇄반응에 관여하는 산화성 자유라디칼의 억제 정도를 측정하는 방법으로 어떠한 반응계에서 전자를 공여 받으면 고유의 자색이 탈색되어 색이 옅어진다(38,39). 가공공정에 따른 더덕 추출물의 DPPH radical 소거능은 Table 3과 같이 모든 시료에서 농도 의존적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 농도 1.0 mg/mL에서는 S5FDW(27±2.5%) > S5FDE(23.5±2.8%) > S3FDW(17.6±1.6%) > S3FDE(14.6±4.2%) > HFDW(13.8±2.1%) > HFDE(10.3±1.8%) > DW(10.1±1.8%) > DE(7.5±2.7%) 순으로 S5FDW가 가장 높았고, DE가 가장 낮은 소거

Table 3. DPPH radical scavenging activity of Deoduck (*Codonopsis lanceolata*) extracts

(%)

Sample	Concentration (mg/mL)			
	0.01	0.1	1.0	10
DW	7.1±1.4 ^{1)nsB}	7.6±1.1 ^{bcB2)}	10.1±1.8 ^{cdB}	50.2±1.8 ^{dA}
DE	5.2±1.0 ^{ns3)B}	7.4±2.2 ^{bcB}	7.5±2.7 ^{dB}	43.3±0.5 ^{eA}
HFDW	8.0±1.4 ^{nsC}	9.0±1.3 ^{abC}	13.8±2.1 ^{bcB}	62.2±2.3 ^{cA}
HFDE	6.0±1.2 ^{nsC}	6.3±0.9 ^{cC}	10.3±1.8 ^{cdB}	58.1±0.9 ^{cA}
S3FDW	6.4±0.9 ^{nsC}	9.0±0.6 ^{abC}	17.6±1.6 ^{bcB}	75.0±6.4 ^{bA}
S3FDE	6.2±0.5 ^{nsC}	6.3±1.8 ^{cC}	14.6±4.2 ^{bcB}	78.4±0.9 ^{bA}
S5FDW	7.5±1.5 ^{nsC}	10.2±0.2 ^{acC}	27.0±2.5 ^{abB}	89.4±2.9 ^{aA}
S5FDE	7.8±0.6 ^{nsC}	9.4±1.4 ^{abC}	23.5±2.8 ^{abB}	63.0±7.3 ^{cA}

¹⁾Values are expressed as mean±SD of triplicate determinations.

²⁾Mean within each column (a-e) and row (A-C) with different letters differ significantly at p<0.05.

³⁾ns: Not significant.

능을 보였다. Cho 등(40)과 Peleg 등(41)은 식물에 열처리를 할 경우 조직과 강하게 결합되어있던 결합형 폴리페놀이 유리형으로 되어 항산화 활성이 증가한다는 연구 결과를 보고하였다. 이는 본 연구에서 가공공정에 따른 유효성분의 변화로 인하여 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 증가함에 따라 항산화 활성도 증가하는 결과와 상응하였다.

ABTS radical 소거능 측정

ABTS와 potassium persulfate과의 반응에 의해 생성된 ABTS radical(ABTS^{•+})은 시료에 함유된 항산화성 물질의 항산화력에 의해 전자를 받아 무색의 물질로 환원시키며, 소수성과 친수성 시료 모두에 적용 가능하다(27). 가공공정에 따른 더덕 추출물의 ABTS radical 소거능은 Table 4에서 보는바와 같이 모든 시료가 농도 의존적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 농도 1.0 mg/mL에서 S5FDW(17.4±0.6%)> S5FDE(15.0±0.8%)> S3FDW(14.2±1.0%)> HFDW(12.4±0.9%)> HFDE(11.4±3.0%)> S3FDE(10.8±0.6%)> DE(10.4±2.6%)> DW(9.8±1.0%) 순으로 유의적인 차이를 나타내었다(p<0.05). Cho 등(40)과 Kim 등(42)은 까막살, 참보라색우무 에탄올 추출물과 송이즙 1.0 mg/mL 농도에서 ABTS radical 소거능이 13.6%, 16.2% 및 7.0%를 보였다고 보고하였으며, 이는 동일한 농도에서 S5FDW보다 매우 낮은 소거능을 나타내었다.

SOD 유사활성

SOD는 체내에 존재하는 활성산소를 과산화수소로 전환(2O₂⁻+2H⁺→H₂O₂+O₂)시켜 자유 라디칼을 근본적으로 제거할 뿐만 아니라 SOD에 의해 생성된 H₂O₂는 peroxidase나 catalase에 의해 물분자와 산소분자로 전환되는 효소로 생체를 보호하는 중요한 역할을 한다(43,44). 가공공정에 따른 더덕 추출물의 SOD 유사활성은 Table 5에서 보는바와 같이 모두 농도 의존적으로 증가하는 경향을 나타냈으며, 1.0 mg/mL 농도에서 HFDE(29.7±3.2%)> S3FDE(27.3±3.7%)> S3FDW(26.8±3.7%)> HFDW(25.2±2.0%)> S5FDE(23.6±1.6%)> S5FDW(22.9±1.7%)> DW(21.1±1.6%)> DE(19.9±1.6%) 순으로 유의차(p<0.05)를 확인하였다. Kim 등(45)은 섬초롱의 80% 에탄올 추출물의 SOD 유사활성은 1 mg/mL 농도에서 16.75%, Lim 등(46)은 한국산 약용식물 중 박하 15%, 오가피 13.5%, 작약 6.27%를 나타냈다는 보고와 비교하면 가공공정을 이용한 더덕 추출물은 높은 SOD 유사활성을 나타내었다.

FRAP에 의한 환원력 측정

환원력은 항산화 능력과 관련이 있는 중요한 인자로서 FRAP에 의한 환원력 측정은 산성 pH에서 환원제에 의해 ferric tripyridyltriazine(Fe³⁺-TPTZ) 복합체가 ferrous tripyridyltriazine(Fe²⁺-TPTZ)으로 환원되는 원리를 이용한 것으로, 항산화제와 같이 환원력을 가진 물질은 Fe³⁺-ferri-

Table 4. ABTS radical scavenging activity of Deoduck (*Codonopsis lanceolata*) extracts (%)

Sample	Concentration (mg/mL)			
	0.01	0.1	1.0	10
DW	4.5±0.7 ^{1)nsC}	9.6±3.1 ^{nsB}	9.8±1.0 ^{dB2)}	37.6±1.1 ^{eA}
DE	4.0±0.5 ^{ns3)A}	7.9±3.4 ^{nsB}	10.4±2.6 ^{dB}	30.1±2.4 ^{fC}
HFDW	4.8±1.0 ^{nsA}	8.4±1.7 ^{nsB}	12.4±0.9 ^{bcdC}	39.7±2.0 ^{eD}
HFDE	4.3±0.1 ^{nsC}	8.1±2.7 ^{nsBC}	11.4±3.0 ^{cdB}	24.9±0.4 ^{gA}
S3FDW	4.4±1.0 ^{nsD}	7.8±3.0 ^{nsC}	14.2±1.0 ^{bcB}	56.2±0.6 ^{cA}
S3FDE	4.5±0.5 ^{nsC}	8.5±1.8 ^{nsB}	10.8±0.6 ^{dB}	48.7±1.8 ^{dA}
S5FDW	5.1±0.5 ^{nsC}	7.7±2.6 ^{nsC}	17.4±0.6 ^{abB}	82.1±1.6 ^{aA}
S5FDE	5.6±0.4 ^{nsC}	6.9±3.3 ^{nsC}	15.0±0.8 ^{abB}	70.6±0.8 ^{bA}

¹⁾ Values are expressed as mean±SD of triplicate determinations.

²⁾ Mean within each column (a-g) and row (A-D) with different letters differ significantly at p<0.05.

³⁾ ns: Not significant.

Table 5. SOD-like activity of Deoduck (*Codonopsis lanceolata*) extracts (%)

Sample	Concentration (mg/mL)			
	0.01	0.1	1.0	10
DW	14.4±1.6 ^{1)nsC}	17.1±5.3 ^{nsBC}	21.1±1.6 ^{cdB2)}	37.7±2.0 ^{eA}
DE	15.5±0.7 ^{ns3)C}	15.0±1.1 ^{nsC}	19.9±1.6 ^{dB}	32.0±2.1 ^{fA}
HFDW	16.3±2.6 ^{nsC}	16.5±0.4 ^{nsC}	25.2±2.0 ^{abcB}	52.3±4.2 ^{bA}
HFDE	14.6±0.5 ^{nsC}	17.2±0.2 ^{nsC}	29.7±3.2 ^{abB}	56.2±0.5 ^{aA}
S3FDW	15.0±2.6 ^{nsC}	16.0±0.5 ^{nsC}	26.8±3.7 ^{abB}	49.7±0.7 ^{bcA}
S3FDE	16.0±2.3 ^{nsC}	16.6±2.0 ^{nsC}	27.3±3.7 ^{abB}	52.7±1.1 ^{bA}
S5FDW	13.8±0.1 ^{nsC}	15.3±1.6 ^{nsC}	22.9±1.7 ^{bcdB}	44.1±1.6 ^{dA}
S5FDE	15.9±1.2 ^{nsC}	16.2±0.7 ^{nsC}	23.6±1.6 ^{bcdB}	47.1±1.4 ^{cdA}

¹⁾ Values are expressed as mean±SD of triplicate determinations.

²⁾ Mean within each column (a-f) and row (A-C) with different letters differ significantly at p<0.05.

³⁾ ns: Not significant.

Table 6. Ferric reducing antioxidant power of Deoduck (*Codonopsis lanceolata*) extracts ($\mu\text{M Fe(II)/g}$)

Sample	Concentration (mg/mL)			
	0.01	0.1	1.0	10
DW	ND	2.9±1.4 ^{1)(C2)}	39.8±1.0 ^{FB}	269.2±3.1 ^{hA}
DE	ND ³⁾	6.5±4.6 ^{defC}	29.5±3.0 ^{gB}	285.6±2.8 ^{gA}
HFDW	ND	17.1±0.9 ^{aC}	69.2±5.2 ^{cB}	543.1±1.4 ^{dA}
HFDE	ND	13.8±1.3 ^{abC}	39.1±6.2 ^{fB}	347.9±0.9 ^{fA}
S3FDW	ND	9.1±3.0 ^{cdC}	48.7±3.5 ^{eB}	569.8±2.0 ^{eA}
S3FDE	ND	4.2±0.6 ^{efC}	57.6±2.0 ^{dB}	458.6±1.0 ^{eA}
S5FDW	ND	11.1±0.5 ^{bcC}	140.8±4.5 ^{aB}	807.8±0.3 ^{aA}
S5FDE	1.9±1.5 ^C	6.9±0.4 ^{deC}	105.4±4.1 ^{bB}	690.9±4.3 ^{bA}

¹⁾ Values are expressed as mean±SD of triplicate determinations.

²⁾ Mean within each column (a-h) and row (A-D) with different letters differ significantly at $p<0.05$.

³⁾ ND: Not detected.

cyanide 복합체를 Fe^{2+} 형태로 환원시켜 청색을 띠게 한다 (29). 가공공정에 따른 더덕 추출물의 FRAP에 의한 환원력은 Table 6과 같이 농도 의존적으로 활성이 증가하는 경향을 나타내었다. 1.0 mg/mL 농도에서 S5FDW($140.8\pm 4.5 \mu\text{M Fe(II)/g}$) > S5FDE($105.4\pm 4.1 \mu\text{M Fe(II)/g}$) > HFDW($69.2\pm 5.2 \mu\text{M Fe(II)/g}$) > S3FDE($57.6\pm 2.0 \mu\text{M Fe(II)/g}$) > S3FDW($48.7\pm 3.5 \mu\text{M Fe(II)/g}$) > DW($39.8\pm 1.0 \mu\text{M Fe(II)/g}$) > HFDE($39.1\pm 6.2 \mu\text{M Fe(II)/g}$) > DE($29.5\pm 3.0 \mu\text{M Fe(II)/g}$) 순으로 나타나 유의적인 차이를 보였다($p<0.05$). Kim 등(47)은 곤달비 80% 에탄올 추출물의 FRAP에 의한 환원력이 1.0 mg/mL 농도에서 2.07 mM Fe(II)/g 으로 나타났다고 보고하였으며, Jang 등(48)은 광주지역 영경귀 추출물의 환원력이 같은 농도에서 0.58 mM Fe(II)/g 의 환원력을 나타내었다고 보고하여 본 실험의 결과보다 높은 FRAP에 대한 환원력을 나타내었다. Li 등(49)은 식물에 각종 페놀성 화합물이 존재할 때 높은 FRAP 환원력을 나타낸다고 보고하였다. 환원력이 커질수록 전자공여능이 높아진다는 보고(50)와 같이 본 실험의 FRAP 환원력도 같은 결과를 보였으며, 이는 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량, DPPH, ABTS 라디칼 소거능의 증가와 유사한 결과를 보였다.

Fe^{2+} chelating 활성 측정

자유 라디칼에 의한 체내세포에서의 지질 및 단백질의 산화를 촉진하는 금속이온인자(Fe^{2+} , Cu^{2+} 등)는 지방 산화반

응에 촉매작용을 하여 금속이온 복합체를 형성함으로써 항산화 효과를 나타낸다. Fe^{2+} chelating 활성은 시료에 함유된 항산화성 물질에 의한 금속 촉매 효과로 인한 자유라디칼의 생성을 억제하여 세포의 산화적 손상을 막고, 지질 산화를 방지할 수 있는 능력을 측정하는 지표로 전이 금속의 농도를 낮추는 중요한 역할을 한다(51,52). 가공공정에 따른 더덕 추출물의 Fe^{2+} chelating 활성은 Table 7과 같이 나타났으며, 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량, DPPH와 ABTS radical 소거능, SOD 유사활성 및 FRAP에 대한 환원력 측정과는 달리 일반더덕에서 높았다. 1.0 mg/mL 농도에서 DE($46.0\pm 1.6\%$) > DW($43.3\pm 0.1\%$) > S5FDE($23.3\pm 1.2\%$) > S5FDW($21.7\pm 1.1\%$) > S3FDE($21.6\pm 1.2\%$) > HFDW($20.6\pm 1.4\%$) > S3FDW($18.2\pm 1.3\%$) > HFDE($15.8\pm 1.0\%$) 순으로 유의적인 차이를 보였다($p<0.05$). Graf와 Eaton(53)은 금속이온 소거능과 페놀성 화합물 사이에는 상관성이 낮으며, 이는 금속이온을 소거하는 물질과 라디칼을 소거하는 물질의 작용 기작이 다르다고 보고하였다. 본 연구 결과 가공공정을 이용한 더덕 추출물은 금속이온을 소거할 수 있는 생리활성 물질이 적은 반면 라디칼을 효과적으로 제거할 수 있는 페놀성 화합물이 높아, Fe^{2+} chelating 활성은 낮았지만 가공공정을 이용한 더덕의 DPPH와 ABTS radical 소거능, SOD 유사활성 및 FRAP에 대한 환원력 등은 높게 나타난 것으로 사료된다.

Table 7. Fe^{2+} chelating of Deoduck (*Codonopsis lanceolata*) extracts (%)

Sample	Concentration (mg/mL)			
	0.01	0.1	1.0	10
DW	18.4±1.3 ^{1)(bC2)}	32.7±1.8 ^{aB}	43.3±0.1 ^{bB}	81.0±11.6 ^{aA}
DE	21.6±0.2 ^{aC}	29.8±4.9 ^{aC}	46.0±1.6 ^{aB}	78.9±13.2 ^{aA}
HFDW	12.0±0.8 ^{cdB}	19.3±0.3 ^{bcA}	20.6±1.4 ^{dA}	20.8±1.0 ^{caA}
HFDE	11.4±1.2 ^{cdC}	15.4±0.9 ^{cdB}	15.8±1.0 ^{fB}	19.4±1.2 ^{cA}
S3FDW	10.2±1.4 ^{deC}	15.4±1.3 ^{cdB}	18.2±1.3 ^{eA}	20.5±1.7 ^{cA}
S3FDE	13.5±0.7 ^{cC}	19.6±4.3 ^{bcB}	21.6±1.2 ^{cdB}	29.9±0.9 ^{cA}
S5FDW	8.4±0.7 ^{efC}	20.8±1.6 ^{bB}	21.7±1.1 ^{cdB}	46.2±0.7 ^{bA}
S5FDE	7.2±2.1 ^{fB}	12.4±0.5 ^{aB}	23.3±1.2 ^{eA}	25.2±6.2 ^{cA}

¹⁾ Values are expressed as mean±SD of triplicate determinations.

²⁾ Mean within each column (a-f) and row (A-C) with different letters differ significantly at $p<0.05$.

Table 8. Coefficient matrix (Pearson's correlation coefficient), "r", for relationships between antioxidant activity

	T.P.C ¹⁾	T.F.C	DPPH	ABTS	SOD-like	FRAP	Chelating
T.P.C	1						
T.F.C	0.958 ^{***2)}	1					
DPPH	0.849 ^{**}	0.818 [*]	1				
ABTS	0.932 ^{**}	0.834 [*]	0.756 [*]	1			
SOD-like	0.287	0.347	0.476	0.034	1		
FRAP	0.985 ^{***}	0.944 ^{***}	0.789 [*]	0.92 ^{**}	0.292	1	
Chelating	-0.469	-0.492	-0.507	-0.215	-0.93 ^{**}	-0.493	1

¹⁾T.P.C, total phenolic contents; T.F.C, total flavonoid contents; DPPH, DPPH radical scavenging activity; ABTS, ABTS radical scavenging activity; SOD-like, SOD-like activity; FRAP, ferric reducing antioxidant power; chelating, Fe²⁺ chelating.

²⁾P values obtained ANOVA: *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001.

가공공정을 이용한 더덕 추출물의 폴리페놀 및 플라보노이드 함량과 항산화 활성 간의 상관관계

가공공정을 이용한 더덕 추출물의 폴리페놀 및 플라보노이드 함량과 항산화 활성 간의 상관관계를 분석한 결과는 Table 8과 같다. 총 폴리페놀 함량과 총 플라보노이드, DPPH 및 ABTS radical 소거능 그리고 FRAP에 의한 환원력은 r=0.958(p<0.001), r=0.849(p<0.01), r=0.932(p<0.01) 및 r=0.985(p<0.001)로 높은 양의 상관관계를 나타내었다. 총 플라보노이드 함량과 DPPH 및 ABTS radical 소거능 그리고 FRAP에 의한 환원력은 r=0.818(p<0.05), r=0.834(p<0.05) 및 r=0.944(p<0.001)로 각각 양의 상관관계를 보였다. 그리고 DPPH radical 소거능과 ABTS radical 소거능 및 FRAP에 의한 환원력 사이에 상관관계는 r=0.756(p<0.05), r=0.789(p<0.05)로 양의 상관관계를 나타냈으며, Fe²⁺ chelating과 SOD 유사활성은 r=-0.93(p<0.01)로 유의적인 음의 상관관계가 존재하는 것으로 나타났다. 열처리 추출방법에 따른 약초의 폴리페놀 함량과 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능은 r=0.750(p<0.01), r=0.915(p<0.01)로 높은 양의 상관관계를 나타내어 폴리페놀 함량이 높을수록 라디칼 소거능 및 환원력에 높은 상관관계를 보고한 Jang 등(54)의 연구결과와 유사한 경향을 보였다.

요 약

본 연구에서는 다양한 가공공정 처리를 한 더덕 추출물의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량과 항산화활성 변화를 비교하였다. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 S5FDW에서 73.9 mg GAE/g과 50.9 mg QUE/g으로 가장 높게 나타났으며, DE에서는 15.7 mg GAE/g과 14.7 mg QUE/g으로 가장 낮았다. DPPH와 ABTS radical 소거능은 농도 의존적인 경향을 나타냈으며, 1.0 mg/mL 농도에서 27.0±2.5%, 17.4±0.6%로 S5FEW에서 가장 높은 소거능을 보였다. SOD 유사활성은 1.0 mg/mL 농도에서 HFDE가 29.7±3.2%로 높은 유사활성을 보였으며, DE가 19.9±1.6%로 낮은 활성을 나타내었다. FRAP에 의한 환원력은 S5FDW가 1.0 mg/mL 농도에서 140.8±4.5 μM Fe(II)/g으로 높은 환원력을 나타내었다. Fe²⁺ chelating 활성은 1.0 mg/mL 농도에서 46.0±1.6%

로 DE가 높은 활성을 보였고, HFDE가 15.8±1.0%로 낮은 활성을 나타내었다. 가공공정을 이용한 더덕 추출물의 폴리페놀 및 플라보노이드 함량과 항산화 활성 간의 상관관계는 총 폴리페놀 함량과 총 플라보노이드, DPPH 및 ABTS radical 소거능 그리고 FRAP에 의한 환원력은 r=0.958(p<0.001), r=0.849(p<0.01), r=0.932(p<0.01) 및 r=0.985(p<0.001)로 높은 양의 상관관계를 나타내었다. 총 플라보노이드 함량과 DPPH 및 ABTS radical 소거능과 FRAP에 의한 환원력은 r=0.818(p<0.05), r=0.834(p<0.05) 및 r=0.944(p<0.001)로 유의적인 상관관계를 나타내어 폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 항산화에 중요한 영향을 미치는 것으로 사료된다. 이상의 결과, 더덕의 가공공정은 더덕의 물리적 조직 변화와 더덕 성분의 화학적 변화를 일으켜 페놀성 물질을 증가시키므로 항산화 성분 함량과 항산화 활성 증가를 가져오는 것으로 사료된다. 따라서 이러한 가공공정을 거친 더덕을 활용하여 항산화 활성이 증가된 천연 항산화제 개발이 가능할 것이며, 향후 가공과정 중 증가 또는 생성되는 활성물질에 대한 구조와 작용메커니즘 등에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 생각한다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청에서 수행한 농업연구개발사업(과제번호 PJ009001)의 지원에 의한 연구결과와 일부로 이에 감사드립니다.

문 헌

1. de Zwart LL, Meerman JH, Commandeur JN, Vermeulen NP. 1999. Biomarkers of free radical damage applications in experimental animals and in humans. *Free Radic Biol Med* 26: 202-226.
2. Kim YC, Hong HD, Rho JH, Cho CW, Rhee YK, Yim JH. 2007. Changes of phenolic acid contents and radical scavenging activities of ginseng according to steaming times. *J Ginseng Res* 31: 230-236.
3. Lodovici M, Guglielmi F, Meoni M, Dolara P. 2001. Effect of natural phenolic acids on DNA oxidation in vitro. *Food Chem Toxicol* 39: 1205-1210.
4. Kim SH, Choi HJ, Oh HT, Chung MJ, Cui CB, Ham SS. 2008. Cytoprotective effect by antioxidant activity of

- Codonopsis lanceolata* and *Platycodon grandiflorum* ethyl acetate fraction in human HepG2 cells. *Korean J Food Sci Technol* 40: 696-701.
5. Park SJ, Park DS, Lee SB, He X, Ahn JH, Yoon WB, Lee HY. 2010. Enhancement of antioxidant activities of *Codonopsis lanceolata* and fermented *Codonopsis lanceolata* by ultra high pressure extraction. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 1898-1902.
 6. Hwang CR, Oh SH, Kim HY, Lee SH, Hwang IG, Shin YS, Lee JS, Jeong HS. 2011. Chemical composition and antioxidant activity of Deodeok (*Codonopsis lanceolata*) and Doragi (*Platycodon grandiflorum*) according to temperature. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 798-803.
 7. Hong WS, Lee JS, Ko SY, Choi YS. 2006. A study on the perception of *Codonopsis lanceolata* dishes and the development of *Codonopsis lanceolata* dishes. *Korean J Food Cookery Sci* 22: 181-192.
 8. Ichikawa M, Ohta S, Komoto N, Ushijima M, Kodera Y, Hayama M, Shirota O, Sekita S, Kuroyanagi M. 2009. Simultaneous determination of seven saponins in the roots of *Codonopsis lanceolata* by liquid chromatography-mass spectrometry. *J Nat Med* 63: 52-57.
 9. Lee KT, Choi J, Jung WT, Nam JH, Jung HJ, Park HJ. 2002. Structure of a new echinocystic acid bisdesmoside isolated from *Codonopsis lanceolata* roots and the cytotoxic activity of prosapogenins. *J Agric Food Chem* 50: 4190-4193.
 10. Bennett PB, Demchenko I, Marquis RE. 1998. *High pressure biology and medicine*. University of Rochester Press, New York, NY, USA. p 1-428.
 11. Shouqin Z, Junjie Z, Changzhen W. 2004. Novel high pressure extraction technology. *Int J Pharm* 278: 471-474.
 12. Deliza R, Rosenthal A, Abadio FBD, Silva CHO, Castillo C. 2005. Application of high pressure technology in the fruit juice processing: benefits perceived by consumers. *J Food Eng* 67: 241-246.
 13. Kim WY, Kim JM, Han SB, Lee SK, Kim ND, Park MK, Kim CK, Park JH. 2000. Steaming of ginseng at high temperature enhances biological activity. *J Nat Prod* 63: 1702-1704.
 14. Kim GY, Yang YS, Youn JY, Lee CJ, Jeon JW, Jung OS, Choi YH. 2009. *Theory and practice of fermented food*. Kyomunsa, Seoul, Korea. p 12.
 15. Lee SB, Go GH, Yang JY, Oh SH, Kim JG. 2004. *Fermented food*. 2nd ed. Hyoil, Seoul, Korea. p 3.
 16. Song CH, Seo YC, Choi WY, Lee CG, Kim DU, Chung JY, Chung HC, Park DS, Ma CJ, Lee HY. 2012. Enhancement of antioxidative activity of *Codonopsis lanceolata* by stepwise steaming process. *Korean J Medicinal Crop Sci* 20: 238-244.
 17. Jung LS, Yoon WB, Park SJ, Park DS, Ahn JH. 2012. Evaluation of physicochemical properties and biological activities of steamed and fermented *Deodeok* (*Codonopsis lanceolata*). *Korean J Food Sci Technol* 44: 135-139.
 18. Park SJ, Seong DH, Park DS, Kim SS, Gou J, Ahn JH, Yoon WB, Lee HY. 2009. Chemical compositions of fermented *Codonopsis lanceolata*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 396-400.
 19. Park SJ, Park DS, Kim SS, He X, Ahn JH, Yoon WB, Lee HY. 2010. The effect of fermented *Codonopsis lanceolata* on the memory impairment of mice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 1691-1694.
 20. Park SJ, Song SW, Seong DH, Park DS, Kim SS, Gou J, Ahn JH, Yoon WB, Lee HY. 2009. Biological activities in the extract of fermented *Codonopsis lanceolata*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 983-988.
 21. Kim SS, Jeong MH, Seo YC, Kim JS, Kim NS, Ahn JH, Hwang B, Park DS, Park SJ, Lee HY. 2010. Comparison of antioxidant activities by high pressure extraction of *Codonopsis lanceolata* from different production areas. *Korean J Medicinal Crop Sci* 18: 248-254.
 22. Singleton VL, Rossi JA. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am J Enol Vitic* 16: 144-158.
 23. 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.
 24. Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods Enzymol* 299: 152-178.
 25. Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181: 1199-1200.
 26. Arnao MB, Cano A, Acosta M. 2001. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chem* 73: 239-244.
 27. 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.
 28. 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: 469-474.
 29. Benzie IF, Strain JJ. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Anal Biochem* 239: 70-76.
 30. Decker EA, Welch B. 1990. Role of ferritin as a lipid oxidation catalyst in muscle food. *J Agric Food Chem* 38: 674-677.
 31. Rice-Evans C, Miller N, Paganga G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends Plant Sci* 2: 152-159.
 32. Perron NR, Brumaghim JL. 2009. A review of the antioxidant mechanisms of polyphenol compounds related to iron binding. *Cell Biochem Biophys* 53: 75-100.
 33. Ainsworth EA, Gillespie KM. 2007. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nat Protoc* 2: 875-877.
 34. He X, Kim SS, Park SJ, Seong DH, Yoon WB, Lee HY, Park DS, Ahn J. 2010. Combined effects of probiotic fermentation and high-pressure extraction on the antioxidant, antimicrobial, and antimutagenic activities of Deodeok (*Codonopsis lanceolata*). *J Agric Food Chem* 58: 1719-1725.
 35. Choi WY, Lee CG, Seo YC, Song CH, Lim HW, Lee HY. 2012. Effect of high pressure and steaming extraction processes on ginsenosides Rg3 and Rh2 contents of cultured-root in wild ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer). *Korean J Medicinal Crop Sci* 20: 270-276.
 36. Williams RJ, Spencer JP, Rice-Evans C. 2004. Flavonoids: antioxidants or signaling molecules? *Free Radic Biol Med* 36: 838-849.
 37. Jeong HY. 1991. Aging · free radical · arteriosclerosis. *Life Science* 1: 2-14.
 38. Ancerewicz J, Migliavacca E, Carrupt PA, Testa B, Brée F, Zini R, Tillement JP, Labidalle S, Guyot D, Chauvet-Monges AM, Crevat A, Le Ridant A. 1998. Structure-property relationships of trimetazidine derivatives and model compounds as potential antioxidants. *Free Radic Biol Med* 25: 113-120.
 39. Choi Y, Lee SM, Chun J, Lee HB, Lee J. 2006. Influence

- of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. *Food Chem* 99: 381-387.
40. Cho ML, Lee DJ, You SG. 2012. Radical scavenging activity of ethanol extracts and solvent partitioned fractions from various red seaweeds. *Ocean and Polar Res* 34: 445-451.
 41. Peleg H, Naim M, Rouseff RL, Zehavi U. 1991. Distribution of bound and free phenolic acids in oranges (*Citrus sinensis*) and grapefruits (*Citrus paradisi*). *J Sci Food Agric* 57: 417-426.
 42. Kim YE, Yang JW, Lee CH, Kwon EK. 2009. ABTS radical scavenging and anti-tumor effect of *Tricholoma matsutake* Sing. (pine mushroom). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 555-560.
 43. Kitani K, Minami C, Yamamoto T, Kanai S, Ivy GO, Carrillo MC. 2002. Pharmacological interventions in aging and age-associated disorders: potentials of propargylamines for human use. *Ann N Y Acad Sci* 959: 295-307.
 44. Klug D, Rabani J, Fridovich I. 1972. A direct demonstration of the catalytic action of superoxide dismutase through the use of pulse radiolysis. *J Biol Chem* 247: 4839-4842.
 45. Kim MS, Kim KH, Yook HS. 2012. Antioxidative effects of *Campanula takesimana* Nakai extract. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 1331-1337.
 46. Lim JD, Yu CY, Kim MJ, Yun SJ, Lee SJ, Kim NY, Chung IM. 2004. Comparison of SOD activity and phenolic compound contents in various Korean medicinal plants. *Korean J Medicinal Crop Sci* 12: 191-202.
 47. Kim KH, Kim NY, Kim SH, Han IA, Yook HS. 2012. Study on antioxidant effects of fractional extracts from *Ligularia stenocephala* leaves. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 1220-1225.
 48. Jang MR, Hong EY, Cheong JH, Kim GH. 2012. Antioxidative components and activity of domestic *Cirsium japonicum* extract. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 739-744.
 49. Li HB, Wong CC, Cheng KW, Chen F. 2008. Antioxidant properties in vitro and total phenolic contents in methanol extracts from medicinal plants. *LWT-Food Sci Technol* 41: 385-390.
 50. Kang YH, Park YK, Lee GD. 1996. The nitrite scavenging and electron donating ability of phenolic compounds. *Korean J Food Sci Technol* 28: 232-239.
 51. Xu XM, Jun JY, Jeong IH. 2007. A study on the antioxidant activity of *Hae-Songi* mushroom (*Hypsizygus marmoreus*) hot water extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 1351-1357.
 52. Kwon TH, Kim JK, Kim TW, Lee JW, Kim JT, Seo HJ, Kim MJ, Kim CG, Jeon DS, Park NH. 2011. Antioxidant and anti-lipase activity in *Halocynthia roretzi* extracts. *Korean J Food Sci Technol* 43: 464-468.
 53. Graf E, Eaton JW. 1990. Antioxidant functions of phytic acid. *Free Radic Biol Med* 8: 61-69.
 54. Jang GY, Kim HY, Lee SH, Kang Y, Hwang IG, Woo KS, Kang TS, Lee JS, Jeong HS. 2012. Effects of heat treatment and extraction method on antioxidant activity of several medicinal plants. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 914-920.

(2013년 2월 5일 접수; 2013년 2월 27일 채택)