

시판버섯의 부위별 항산화능과 유비퀴논 함량

홍명희 · 진유정 · 표영희[†]

성신여자대학교 식품영양학과

Antioxidant Properties and Ubiquinone Contents in Different Parts of Several Commercial Mushrooms

Myung-Hee Hong, Yoo-Jeong Jin, and Young-Hee Pyo[†]

Dept. of Food and Nutrition, Sungshin Women's University, Seoul 142-100, Korea

Abstract

Antioxidant properties and antioxidant compound contents in different parts of 14 commercial mushrooms were evaluated. Methanolic extracts from the entire mushroom, the pileus and the stipe, separately, were screened for their DPPH and ABTS free radical scavenging activities. Total ubiquinones (Coenzyme Qs; CoQs), total phenolic, and flavonoid contents were determined, in order to assess the extract's antioxidant activity. The portion of the mushroom selected had an effect on the results, with pileus methanolic extract exhibiting the greatest antioxidant effect ($p < 0.05$). The analyzed mushrooms contained powerful antioxidants such as phenols (144.5~536.6 mg of gallic acid equivalents, mg GAE/100 g of dried weight, dw), flavonoids (3.7~31.2 mg of quercetin equivalents, mg QE/100 g dw) and ubiquinones (65.6~485.1 $\mu\text{g}/100\text{ g dw}$). Content of CoQ9 and CoQ10 in the 14 commercial mushrooms varied from 23.1 to 256.2 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ and from 16.1 to 238.3 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, respectively. *Phellinus linteus* showed the highest antioxidant activity among all species due to the contribution of antioxidants such as phenols (530.5 mg GAE/100 g dw) and ubiquinones (308.8 $\mu\text{g}/100\text{ g dw}$). A positive linear correlation was demonstrated between free radical scavenging activity and total phenolic ($R^2=0.79$) and ubiquinone ($R^2=0.59$) contents in the pileus of mushrooms ($p < 0.05$). Our data indicate that commercial mushrooms have potential as dietary sources of CoQs and phenolic antioxidants.

Key words: mushrooms, antioxidant properties, total phenols, flavonoids, ubiquinones

서 론

버섯은 분류학상 진균류(Eumycetes)에 속하는 담자균류(Basidiomycetes)의 일종으로 일반 영양소가 골고루 함유되어 있는 대표적인 신선 건강식품 중 하나이다(1). 또한 진핵생물로서 세포 내 미토콘드리아에는 isoprenoid quinone 물질이 존재하므로 미량의 특수 활성물질인 benzoquinone형의 유비퀴논(ubiquinone)이 함유되어 있다(2,3). 유비퀴논은 Coenzyme Qs(CoQs)로도 불리는 지용성의 퀴논핵을 갖는 비타민과 유사한 물질로서 유기체의 세포건강에 필수성분이다(4). 유비퀴논의 기본역할은 미토콘드리아 내에서 세포 에너지 전환(ATP 생성)에 필요한 전자와 프로톤 운반체로 작용하는 조효소 기능뿐 아니라 세포막을 안정화시켜 세포의 기능을 보호함으로써 DNA, 지질, 단백질, 기타 분자들의 산화적 손상을 막아주는 강력한 내인성 항산화제로 작용한다(4,5). 인체 내 존재하는 유비퀴논의 유형은 CoQ10으로서 함유량은 개인의 식사나 질병에 따라 달라지며(6), 인간 혈청과 생물조직에 있는 CoQ10의 90% 이상은 강력한 항산화

제인 환원형의 유비퀴놀(ubiquinol; $\text{CoQ}_{10}\text{H}_2$)로 알려져 있다(Fig. 1)(4). 특히 식품에서 유래되는 유비퀴논은 항산화능 이외의 여러 다른 유익한 작용을 하므로(6) 식품 내 이들 화합물의 함량을 평가하는 것은 필수적인 일이다. 그러나 CoQ10을 분석 정량하기에 적합한 전처리 조건 및 분석법 등이 아직 충분히 알려지지 않았기 때문에 식품에 함유된 CoQ10 함량에 관한 국내외 연구는 매우 드문 실정이다(7,8).

버섯의 생체기능조절 및 암, 뇌졸중, 심장병 등 소위 성인병에 대한 예방과 개선효과가 보고됨에(9,10) 따라 버섯에 대한 관심은 나날이 증대된다. 특히 버섯의 항산화활성에

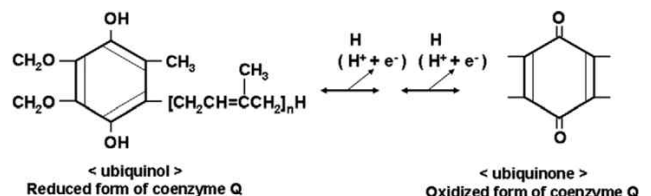


Fig. 1. Chemical structure of oxidized and reduced coenzyme Q (Ref. 4).

[†]Corresponding author. E-mail: rosapyo@sungshin.ac.kr
Phone: 82-2-920-7588, Fax: 82-2-920-2076

관한 연구가 대부분을 차지하여 영지, 능이, 양송이, 표고버섯 등의 전자공여능이 보고되었으며(11-13), 해송이 자실체의 지질과산화반응에 대한 항산화능뿐 아니라(14) 운지버섯의 단백당류는 superoxide dismutase 활성과 유사한 항산화활성을 나타내는 것으로 보고된 바 있다(12). 이 같은 버섯의 항산화 기능에 관여하는 주요성분은 페놀성 화합물이 주류를 이루며(11,12), 그밖에 토코페롤류와 함께 β -carotene, lycopene 등의 화합물이 관여하는 것으로 보고되었으나(15,16), 유비퀴논 함량과의 관계는 아직 알려지지 않고 있다.

현재 우리가 일상적으로 식용하고 있는 유통 중인 품종별 버섯류에 대한 정보는 충분하지 않으며, 특히 버섯 부위에 따른 항산화능의 연구결과는 매우 드문 실정이다(17,18). 따라서 본 연구에서는 시판 중인 14종의 국내산 버섯을 대상으로 식용버섯의 형태를 전체, 갓, 대의 세 부위로 나누어 항산화활성 및 유비퀴논, 총페놀, 플라보노이드 함량 등의 활성성분을 검색하여 그 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용한 14종의 버섯은 국내에서 생산된 것으로 2011년 7월에 경기도의 대형 마트에서 구입하여 시료로 사용하였다. 건조버섯 형태로 구입한 영지(*Ganoderma lucidum*), 목이(*Auricularia auricula*), 석이(*Umbilicaria esculenta*), 상황버섯(*Phellinus linteus*)을 제외한 나머지 10종의 신선 버섯은, 버섯의 부위를 전체(Entire, E), 갓(Pileus, P), 대(Stipe, S)로 나누어 각각 동결 건조한 다음 분말화 하여 시료로 사용하였다. 본 실험에 사용한 버섯의 목록은 Table 1과 같다.

총 폴리페놀 함량

버섯 부위별 시료의 80% 메탄올 추출물의 총 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu reagent가 추출물의 폴리페놀성 화합물에 의해 환원된 결과 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 하였다(19). 분말화된 시료 0.1 g에 80% methanol을 1 mL 첨가하여 30°C에서 60분간 진탕 추출하고 10분간 원심 분리한 후 여과하여 상등액을 모아 추출물로 사용하였다. 시료 100 μ L에 2% Na_2CO_3 가한 뒤 50% Folin-Ciocalteu 시약 100 μ L를 넣고 30초간 vortex를 이용하여 섞어준 뒤 30분간 암소에 방치한 후 반응액의 흡광도(DU-650, Beckman Coulter, Anaheim, CA, USA) 값을 750 nm에서 측정하였다. 표준물질로 gallic acid(Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA)를 이용하여 검량선을 작성하였고 총 폴리페놀 함량은 건조시료 100 g 중의 mg gallic acid equivalent(mg GAE/100 g DW)로 나타내었다.

플라보노이드 함량

시료속에 함유된 총 플라보노이드 함량은 Jia 등(20)의 방

법을 일부 변경하여 측정하였으며 시료의 추출은 총 페놀 함량의 전처리와 동일한 방법을 적용하였다. 추출물 1 mL에 5% NaNO_2 를 30 μ L 첨가한 다음 5분간 실온에서 반응시킨 후, 10% AlCl_3 30 μ L와 1 M NaOH 200 μ L를 혼합하여 반응액의 흡광도 값을 510 nm에서 측정하였다. 표준물질로 quercetin(Sigma Chemical Co.)을 이용하여 검량선을 작성하였고 플라보노이드 함량은 시료 100 g 중의 mg quercetin equivalent(mg QE/100 g DW)로 나타내었다.

유비퀴논 함량

버섯 부위별 유비퀴논(CoQ9, CoQ10) 함량을 측정하기 위해 검화과정과 유기용매 추출과정을 적용하였다(8). 시료의 검화과정은 적당량의(1 g) 시료에 5% pyrogallol, 10% NaOH , methanol을 혼합하여 80°C의 수욕조상에서 20분간 검화한 후, n-hexane 20 mL를 가하여 3회 반복 추출하였다. 유기용매층만 모아 5% NaCl 로 세척한 다음 회전진공농축기(N-100, EYELA, Tokyo, Japan)로 용매를 완전 제거하였다. 시료의 추출물을 2-propanol로 용해한 후 여과(0.45 μ m membranes)하여 분석에 사용하였다.













시료의 유비퀴논 분석을 위해 사용된 HPLC 장비는 Agilent 1200 series(Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA)였으며, MS/MS는 Agilent 6460 series LC/MSD를 사용하였다. 표준품 CoQ9과 CoQ10(Sigma Chemical Co.)을 분리하기 위해 Zorbax eclipse plus C18(50 mm \times 3.0 mm; 1.8 μ m) 칼럼을 사용하였으며 칼럼의 온도는 40°C를 유지하였다. 시료의 injection volume은 1 μ L, 유속은 0.16 mL/min으로 설정하였고 이동상 용매는 ammonium formate(5 mmol/L)를 함유한 2-propanol : methanol(50:50; v/v)의 혼합액을 사용하였다. 질량분석기는 Quadrupole mass analyzer를 연결한 Agilent 6460 series LC/MS/MS 6460을 사용하였으며, 이온화는 양이온 방법의 전자분무 이온화를 적용하여 시료의 CoQ9(M^+ 813.7, 795.6 m/z)과 CoQ10(M^+ 881.7, 863.7 m/z)의 peak를 확인하여 정량하였다.

DPPH 라디칼 소거능에 의한 항산화활성

버섯 부위별 80% 메탄올 추출물의 항산화활성은 DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl; Sigma Chemical Co.)에 대한 전자공여능(electron donating ability)을 측정하였다. 분말화된 시료 0.1 g에 80% methanol을 1 mL 첨가하여 30°C에서 60분간 진탕 추출하고 10분간 원심분리한 후 여과하여 상등액을 모아 추출물로 사용하였다. 시료(10 mg/mL) 100 μ L를 35 μ M DPPH 용액 900 μ L에 첨가한 후 vortex mixer로 10초간 진탕하고 10분 후 분광광도계를 이용하여 514 nm에서 흡광도를 측정하였다(21). 각 시료의 항산화활성은 시료첨가구와 무첨가구간의 흡광도 차이를 백분율(%)로 나타내었다.

$$\text{DPPH 라디칼 소거활성(\%)} = \left(1 - \frac{\text{시료의 흡광도}}{\text{대조구의 흡광도}}\right) \times 100$$

Table 1. Information about the studied commercial mushrooms produced in Korea

Image	Scientific name (Korean name)	Image	Scientific name (Korean name)
	<i>Ganoderma lucidum</i> (영지버섯)		<i>Phellinus linteus</i> (상황버섯)
	<i>Pleurotus ostreatus</i> (느타리버섯)		<i>Agrocybe cylindracea</i> (버들송이 버섯)
	<i>Auricularia auricula</i> (목이버섯)		<i>Umbilicaria esculenta</i> (석이버섯)
	<i>Flammulina velutipes</i> (팽이버섯)		<i>Lyophyllum ficosum</i> (갈색만가닥 버섯)
	<i>Pleurotus eryngii</i> (새송이버섯)		<i>Agaricus bisporus</i> (양송이버섯)
	<i>Hericium erinaceus</i> (노루궁뎅이 버섯)		<i>Tricholoma matsutake</i> (황금송이 버섯)
	<i>Lentinula edodes</i> (표고버섯)		<i>Pleurotus eryngii</i> (맛타리 버섯)

ABTS 라디칼 소거능에 의한 총 항산화활성

버섯 부위별 80% 메탄올 추출물의 총 항산화활성은 ABTS⁺ · cation decolorization assay 방법(22)에 따라 측정하였다. ABTS(2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid, Sigma Chemical Co.) 7.4 mM과 potassium persulphate 2.6 mM을 하루 동안 암소에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후 이 용액을 735 nm에서 흡광도 값이 1.4~1.5가 되도록 물 흡광계수($\epsilon=3.6 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)를 이용하여 증류수로 희석하였다. 추출물 100 μL 와 ABTS 용액 900 μL 를 첨가한 후 vortex mixer로 10초간 진탕하고 5분 후 분광광도계를 이용하여 735 nm에서 측정하였다.

$$\text{ABTS 라디칼 소거활성(\%)} = \left(1 - \frac{\text{5분후 측정된 시료의 흡광도}}{\text{대조구의 흡광도}}\right) \times 100$$

통계분석

실험결과는 3회 반복 측정한 후 평균±표준편차로 나타내었다. 통계처리는 SPSS Ver 12.0 package program (Statistical Package for the Social Science, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며, 측정값 간의 유의성을 Duncan's multiple range test로 검정하였다.

결과 및 고찰

총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량

폴리페놀은 phenolic hydroxyl기를 가지므로 단백질 및 거대분자들과 쉽게 결합하여 항암 및 항산화활성과 같은 다

양한 생리활성을 나타낸다. 시판중인 국내산 식용버섯 14종의 80% 메탄올 추출물에 함유된 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량을 측정된 결과는 Table 2와 같다. 상항버섯은 버섯의 전체 부위에서 gallic acid 등량 값으로 나타낸 총

Table 2. Total phenolic and flavonoid contents in the commercial mushroom samples

Mushrooms		Total phenolics	Flavonoids
Species	Parts	(mg GAE/ 100 g dw) ¹⁾	(mg QE/ 100 g dw) ²⁾
<i>Ganoderma lucidum</i>	E	211.2±2.9 ^{d3)}	17.3±0.9 ^c
	S	— ⁴⁾	—
	P	—	—
<i>Pleurotus ostreatus</i>	E	321.4±8.3 ^{ab}	21.5±0.2 ^d
	S	242.3±4.2 ^e	14.0±1.9 ^b
	P	377.7±6.8 ^{ac}	20.1±1.9 ^d
<i>Auricularia auricula</i>	E	144.5±1.5 ^a	17.5±0.8 ^c
	S	—	—
	P	—	—
<i>Flammulina velutipes</i>	E	333.1±8.3 ^{ab}	15.7±0.6 ^b
	S	211.5±8.8 ^d	10.2±0.4 ^b
	P	341.8±9.1 ^{ab}	16.9±0.5 ^c
<i>Pleurotus eryngii</i>	E	249.8±5.9 ^c	15.3±0.2 ^b
	S	212.6±6.1 ^d	13.9±0.1 ^b
	P	374.5±4.5 ^{ac}	14.9±0.3 ^b
<i>Hericium erinaceus</i>	E	381.4±4.1 ^{ac}	15.2±0.2 ^b
	S	—	—
	P	—	—
<i>Lentinula edodes</i>	E	153.4±2.2 ^b	14.8±0.1 ^b
	S	156.8±1.5 ^b	14.7±0.2 ^b
	P	193.9±2.3 ^c	15.5±0.3 ^b
<i>Phellinus linteus</i>	E	530.5±6.8 ^{af}	31.2±3.0 ^e
	S	—	—
	P	—	—
<i>Agrocybe cylindracea</i>	E	445.6±5.4 ^{ad}	20.6±2.2 ^d
	S	370.8±6.1 ^{ac}	17.7±1.9 ^c
	P	481.6±8.2 ^{ae}	24.3±0.8 ^d
<i>Umbilicaria esculenta</i>	E	476.7±7.3 ^{ae}	20.3±2.0 ^d
	S	—	—
	P	—	—
<i>Agaricus bisporus</i>	E	366.4±4.4 ^{ac}	14.9±0.7 ^b
	S	471.3±5.9 ^{ae}	17.6±0.4 ^c
	P	412.6±8.6 ^{ad}	18.9±0.8 ^c
<i>Lyophyllum fucosum</i>	E	398.8±5.8 ^{ad}	22.5±3.2 ^d
	S	357.4±7.1 ^{ac}	19.1±2.3 ^d
	P	536.6±9.7 ^{af}	20.8±1.9 ^d
<i>Tricholoma matsutake</i>	E	235.1±2.8 ^c	16.1±0.8 ^c
	S	193.4±0.9 ^c	3.7±0.1 ^a
	P	284.7±6.8 ^f	27.7±0.4 ^e
<i>Pleurotus eryngii</i>	E	341.2±4.6 ^{ab}	17.7±0.7 ^c
	S	361.6±5.4 ^{ac}	15.3±0.4 ^b
	P	374.7±6.2 ^{ac}	18.4±0.6 ^c

¹⁾Expressed as mg gallic acid equivalent (GAE) per 100 g of dried weight.

²⁾Expressed as mg quercetin equivalent (QE) per 100 g of dried weight.

³⁾Different letters in the same column indicate significant difference at the p<0.05.

⁴⁾—: Not analyzed.

페놀함량이 가장 높게(530.5 mg/100 g) 나타난 반면 표고버섯은 153.4 mg/100 g으로 가장 낮은 함유량을 나타내었다. 그러나 부위별 측정에서 시판버섯의 갓 부위(P)에 함유된 총 페놀함량은 193.9~536.6 mg/100 g인 반면에 대 부위(S)의 함량은 156.8~370.8 mg/100 g으로 나타나 양송이버섯을 제외한 나머지 모든 버섯의 갓 부위(P)는 대(S)보다 총 페놀함량이 23.7~44.7% 더 함유된 것으로 비교되었다. 이 같은 결과는 Kim 등(17)과 Ferreira 등(23)의 결과와 유사한 경향으로 버섯은 자실체의 갓 부분에 보다 많은 유효 활성성분이 함유되어 있음을 제시한다. Table 2에서와 같이 시판버섯 14종에 함유된 총 플라보노이드 함량은 quercetin의 등량 값으로 표시했을 때, 전체 부위(E)에서 14.8~31.2 mg/100 g의 낮은 함량으로 나타나 버섯에 함유된 페놀성 화합물은 플라보노이드 물질보다 페놀산 화합물이 주요 성분일 것으로 추정되었다. 실제로 Ferreira 등(23)에 따르면 버섯의 주요 페놀화합물은 페놀산(phenolic acid)으로 *F. hepatica*에는 p-coumaric, caffeic, ellagic acids 등이 주로 함유되었으며, 그 밖에 protocatechuic, gallic, gentistic, vanillic, syringic, cinamic, tannic acid 등은 *H. repandum*에 함유된 페놀산의 종류로 보고되었다. 일반적으로 버섯의 특수 혹은 일반 성분은 버섯의 품종, 생육배지나 기질의 조성, 수확시기, 재배법 등의 다양한 생육환경 인자에 따라 달라지는 것으로 보고된다(16). 특히 버섯의 전체 생육환경의 스트레스가 높을수록 2차 대사산물의 생성량이 자극되므로 총 페놀함량도 높아지는 것으로 보고되고 있다(2,16). 본 실험에 사용된 시판버섯은 모두 인공재배로 생산된 품종으로서 Ferreira 등(23)이 보고한 야생버섯의 총 페놀함량 391~1725 mg/100 g에 비해 1/2 정도 낮은 함량으로 비교되었다.

총 유비퀴논 함량

인체 내의 유비퀴논은 스스로 항산화제로 작용할 뿐만 아니라 비타민 E가 항산화제로 작용할 수 있도록 활성화시키는 역할을 한다(4,5). 즉 세포막의 유일한 지용성 항산화제인 알파-토코페롤의 항산화작용은 유비퀴논에 의해 기능이 유지되고 활성화되므로 유비퀴논이 없으면 토코페롤이 있어도 활성산소(유해산소종)에 의한 산화반응을 막지 못한다(4). 활성산소에 의한 세포의 산화는 각종 질병과 노화현상으로 나타나므로 CoQ10은 오늘날 노년기질환(알츠하이머, 심장질환) 및 비만으로 인한 각종 성인병 예방에 도움을 주는 기능성 건강식품 및 의약품소재로 다양하게 활용되고 있다. 진균류의 자실체를 식용하는 시판버섯의 경우, 종류별 및 부위별로 함유되어 있는 유비퀴논의 양(CoQ9+CoQ10)은 Table 3에서와 같이 65.6~485.1 µg/100 g으로 나타나 버섯품종과 부위에 따라 다양한 함량으로 분포되었다. 전체 부위의 함량은 갈색만가닥 버섯이 383.7 µg/100 g으로 가장 높았으며 목이버섯이 89.4 µg/100 g으로 가장 낮았다. 부위별 함량에서는 총 페놀함량에서와 같이 갓 부위(P)가 163.5~485.1 µg/100 g으로 나타나 대 부위(S)의 65.6~142.9 µg/

Table 3. Total ubiquinones (CoQ9+CoQ10) contents in the commercial mushroom samples (µg/100 g dw)

Mushrooms		CoQ9	CoQ10	Total
Species	Parts			
<i>Ganoderma lucidum</i>	E	74.0±1.9	111.6±5.9	185.6±6.4 ^{d1)}
	S	- ²⁾	-	-
	P	-	-	-
<i>Pleurotus ostreatus</i>	E	116.3±2.9	112.3±2.1	228.7±4.5 ^d
	S	35.7±1.5	43.2±1.1	78.8±1.2 ^b
	P	114.0±2.7	126.5±2.3	240.5±2.5 ^c
<i>Auricularia auricula</i>	E	53.9±0.1	35.4±1.9	89.4±3.0 ^b
	S	-	-	-
	P	-	-	-
<i>Flammulina velutipes</i>	E	89.3±0.9	138.4±2.9	227.7±1.9 ^d
	S	40.5±0.6	41.7±1.4	82.3±1.3 ^b
	P	105.8±3.2	90.5±1.6	196.4±2.6 ^d
<i>Pleurotus eryngii</i>	E	102.0±1.9	125.7±1.0	227.7±5.4 ^d
	S	35.1±0.8	43.1±0.2	78.1±2.5 ^b
	P	154.6±1.1	107.7±1.9	262.3±2.1 ^c
<i>Hericium erinaceus</i>	E	177.3±1.1	65.7±2.3	243.1±2.7 ^c
	S	-	-	-
	P	-	-	-
<i>Lentinula edodes</i>	E	153.1±2.1	53.4±0.4	206.6±3.2 ^d
	S	59.8±0.7	16.1±0.1	76.1±2.4 ^b
	P	94.4±1.1	69.1±0.1	163.5±2.5 ^c
<i>Phellinus linteus</i>	E	107.3±0.8	201.4±1.4	308.8±6.6 ^f
	S	-	-	-
	P	-	-	-
<i>Agrocybe cylindracea</i>	E	182.5±0.7	169.9±1.0	352.5±3.9 ^f
	S	37.3±0.1	55.1±0.9	92.5±1.5 ^b
	P	187.9±2.9	183.2±2.1	371.2±2.5 ^g
<i>Umbilicaria esculenta</i>	E	141.3±1.4	185.4±1.6	326.8±4.0 ^f
	S	-	-	-
	P	-	-	-
<i>Agaricus bisporus</i>	E	172.2±1.0	113.3±3.5	285.6±4.3 ^f
	S	64.8±0.5	78.1±1.3	142.9±2.1 ^c
	P	108.6±2.5	145.2±5.1	253.8±6.8 ^e
<i>Lyophyllum fucosum</i>	E	145.3±1.9	238.3±5.1	383.7±7.5 ^g
	S	45.7±1.1	78.5±0.1	124.3±1.6 ^c
	P	256.2±2.0	228.8±2.2	485.1±9.1
<i>Tricholoma matsutake</i>	E	69.0±0.1	85.4±0.9	154.4±2.5 ^c
	S	23.1±0.1	42.5±1.2	65.6±1.1 ^a
	P	83.7±0.1	88.3±1.9	172.1±5.1 ^c
<i>Pleurotus eryngii</i>	E	70.8±0.3	97.1±1.3	168.1±2.8 ^c
	S	43.2±0.5	52.3±1.9	95.6±1.2 ^b
	P	94.4±1.0	107.7±4.1	202.2±4.1 ^d

¹⁾Different letters in the same column indicate significant difference at the p<0.05.

²⁾-: Not analyzed.

100 g에 비해 2.5~3.4배 더 높은 것으로 측정되었다. 특히 갈색만가닥 버섯의 갓 부위(P)는 485.1 µg/100 g으로 나타나 14종의 시판 버섯의 시료 중 유비퀴논의 함량이 가장 높은 것으로 나타났다. 시판버섯에 함유된 CoQ9과 CoQ10의 분포율은 일정하지 않으나 인간의 몸에 CoQ10이 주로 함유된 것에 비하면 버섯의 CoQ9 함량은 23.1~256.2 µg/100 g의 함량으로 나타나 CoQ10의 16.1~238.3 µg/100 g과 비슷한

비율로 분포되었다. 생물체 내에 함유된 유비퀴논의 유형은 CoQ6에서 CoQ10까지 중에 따라 다르게 분포되어 있는 것으로 알려진다(3). 본 실험에서 14종의 시판 버섯에 함유된 유비퀴논의 함량은 비록 많은 양은 아니나 CoQ9뿐 아니라 CoQ10까지 골고루 함유된 것으로 나타났다. 일반적으로 세균에서 고등생물에 이르기까지 세포 내 미토콘드리아에 존재하는 유비퀴논은 거의 모든 식품에 포함되어 있지만 일반적으로 미토콘드리아 수가 많은 동물성 식품이 식물성에 비해 함유량이 더 높은 것으로 알려진다(6).

항산화활성(DPPH와 ABTS 라디칼 소거능)

시판중인 국내산 식용버섯 14종의 80% 메탄올 추출물의 (10 mg/mL) DPPH와 ABTS 자유라디칼 소거능에 따른 전체 부위(E)의 항산화활성은 각각 51.2~90.1%와 62.5~95.8%로 비교적 높게 나타났다(Table 4). 특히 상황버섯의 라디칼 소거능은 90.1%와 95.3%로 나타나 전체 부위의 시판 버섯 중 가장 높은 것으로 측정되었으며 목이버섯은 51.2%와 62.5%로 나타나 항산화활성이 가장 낮은 것으로 나타났다(p<0.05). 부위별 라디칼 소거능 역시 갓 부위(P)가 전체적으로 대 부위(S)에 비해 18% 정도 더 높게 나타나 총 폐놀과 유비퀴논 함량 등의 유효활성 성분의 결과와 유사한 경향을 보여 주었다. 특히 유비퀴논의 함량이 가장 높은 것으로 나타난 갈색만가닥 버섯의 경우, 갓 부위의 ABTS 라디칼 소거능이 96.7%로 본 실험의 시료 중 가장 높게 나타났다(p<0.05). 한편 총 폐놀함량이 가장 높았던 상황버섯의 경우 DPPH와 ABTS 라디칼 소거능에 따른 평균 활성이 92.7%로 나타나, 200 ppm의 BHT의 91.8%와 유사한 항산화능을 보여 주었다(data not shown). 이 같은 결과는 일반적인 식용버섯에 비해 폐놀성분을 다량 함유하고 있는 상황버섯의 항산화능이 가장 우수하였다는 Choi 등(10)의 보고와 일치한다. 또한 Xu 등(14)은 해송이버섯 열수추출물의 DPPH 라디칼 소거능이 추출농도에 따라 증가하여 10 mg/mL의 농도에서 91.94%의 높은 소거능을 나타내었으며, 이는 200 ppm의 BHT(95.64%), BHA(96.35%), ascorbic acid(96.97%) 등의 항산화제와 비슷한 수준의 항산화활성을 보고한 바 있다. 시판 버섯의 라디칼 소거능에 따른 전체적인 항산화활성은 시료농도 10 mg/mL에서 비교적 높게 나타났으며, 이 같은 결과는 Table 5에서와 같이 유효활성 성분인 총 폐놀과 유비퀴논 함량과의 상관관계(R²)를 통해 설명될 수 있다. 특히 갓 부위(P)의 평균 라디칼 소거능과 총 폐놀 및 유비퀴논 함량과의 상관관계는 각각 0.79와 0.58로 나타나(p<0.05) 시판버섯의 항산화활성에 이들 성분이 유효하게 작용하였음을 시사한다. 또한 14종의 전체 부위(E) 버섯시료에 함유된 총 폐놀함량과 DPPH 및 ABTS 소거능과는 각각 0.76, 0.84의 상관관계를 나타내어(Fig. 2) 버섯의 라디칼 소거능에 따른 항산화활성은 자체 내 함유된 총 폐놀함량이 유의적인 영향을 미쳤음을 알 수 있다(p<0.05). 뿐만 아니라 버섯시료에 함유된 총 폐놀함량은 유비퀴논 함량과도 0.54의 상관관계

Table 4. Antioxidant activity of the commercial mushroom samples (% , 10 mg/mL)

Mushrooms		DPPH scavenging activity	ABTS scavenging activity
Species	Parts		
<i>Ganoderma lucidum</i>	E	69.2±0.6 ^{c1)}	74.5±1.5 ^{cd}
	S	- ²⁾	-
	P	-	-
<i>Pleurotus ostreatus</i>	E	82.1±1.2 ^d	86.8±0.9 ^{ad}
	S	70.8±0.8 ^c	78.5±0.4 ^{ab}
	P	84.8±0.3 ^{ad}	88.3±1.1 ^{ae}
<i>Auricularia auricula</i>	E	51.2±0.4 ^b	62.5±0.3 ^{ac}
	S	-	-
	P	-	-
<i>Flammulina velutipes</i>	E	80.3±0.2 ^{ab}	84.7±1.1 ^{ad}
	S	57.8±0.6 ^{bc}	83.2±0.2 ^d
	P	81.8±0.2 ^{ab}	83.9±0.4 ^d
<i>Pleurotus eryngii</i>	E	75.6±0.9 ^{cd}	79.4±0.5 ^{ab}
	S	69.3±0.6 ^c	77.9±0.8 ^{ab}
	P	86.7±0.8 ^{ad}	88.5±1.1 ^{ae}
<i>Hericium erinaceus</i>	E	85.3±0.4 ^{ad}	87.3±0.3 ^{ae}
	S	-	-
	P	-	-
<i>Lentinus edodes</i>	E	65.7±0.3 ^{ac}	70.2±0.5 ^c
	S	46.3±0.1 ^a	78.7±0.3 ^{ab}
	P	70.1±0.2 ^c	75.8±1.1 ^{cd}
<i>Phellinus linteus</i>	E	90.1±0.7 ^e	95.3±0.9 ^{af}
	S	-	-
	P	-	-
<i>Agrocybe cylindracea</i>	E	88.9±0.6 ^{ae}	89.1±0.5 ^{ae}
	S	81.4±0.3 ^{ab}	88.6±0.7 ^{ae}
	P	84.3±0.4 ^{ad}	93.2±1.1 ^{af}
<i>Umbilicaria esculenta</i>	E	87.8±0.2 ^{ae}	91.4±0.4 ^e
	S	-	-
	P	-	-
<i>Agaricus bisporus</i>	E	74.4±0.5 ^{cd}	79.2±0.4 ^{ab}
	S	88.9±0.3 ^{ae}	94.3±0.4 ^{af}
	P	88.4±0.7 ^{ae}	81.5±0.4 ^{ab}
<i>Lyophyllum ficosum</i>	E	80.8±0.1 ^{ab}	88.5±0.2 ^{ae}
	S	79.4±0.3 ^{ab}	82.8±0.2 ^d
	P	85.8±0.4 ^{ad}	96.7±0.5 ^{af}
<i>Tricholoma matsutake</i>	E	73.4±0.6 ^{cd}	77.9±0.2 ^{ab}
	S	66.3±0.2 ^{ac}	77.3±0.3 ^{ab}
	P	78.9±0.3 ^{ab}	81.8±0.7 ^{ab}
<i>Pleurotus eryngii</i>	E	88.3±0.7 ^{ae}	89.4±0.3 ^{ae}
	S	82.5±0.2 ^d	91.2±0.5 ^c
	P	85.2±0.6 ^{ad}	86.3±1.1 ^{ad}

¹⁾Different letters in the same column indicate significant difference at the p<0.05.

²⁾- : Not analyzed.

Table 5. Pearson's correlation coefficients (R²) between antioxidant capacity and total phenolics (TP), ubiquinones (CoQs) measured in the pileus and stipe of commercial mushrooms

	Pileus			Stipe		
	ABTS	TP	CoQs	ABTS	TP	CoQs
DPPH	0.541 ^{**1)}	0.767 ^{**}	0.404 [*]	0.523 ^{**}	0.832 ^{**}	0.496 ^{**}
ABTS		0.817 ^{**}	0.765 ^{**}		0.799 ^{**}	0.550 ^{**}

Significantly different at *p<0.05 and **p<0.01 between the means of the different characteristics.

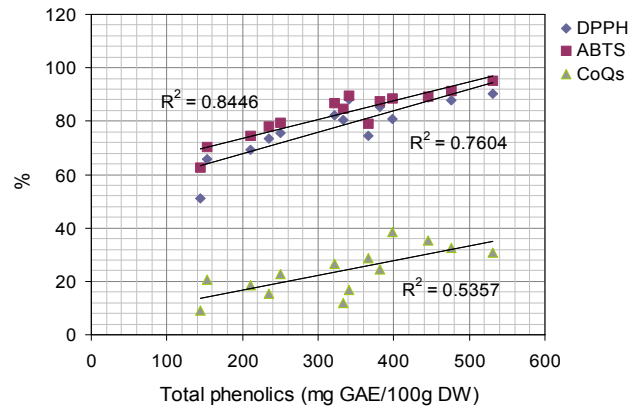


Fig. 2. Pearson's correlation coefficients (R²) between total phenolics and DPPH, ABTS, and ubiquinones (CoQs) in the entire parts of 14 commercial mushroom.

를 나타내어 두 성분 간에 정의 상관성이 확인되었다. 이 같은 결과는 Table 5에서와 같이 갓 부위(P)와 대 부위(S)의 DPPH와 ABTS의 평균 소거능이 모두 유비퀴논 함량과 각각 0.58과 0.52로 나타나 버섯 시료에 함유된 유비퀴논 함량도 버섯의 항산화활성과 유의적인 상관성을 보여주었다(p<0.05). 따라서 시판중인 버섯의 항산화활성은 주로 총 페놀함량이 주요 성분으로 작용하나 미량으로 존재하는 유비퀴논의 함량도 부차적인 영향을 미칠 것으로 기대된다.

요 약

시판중인 14종의 식용버섯을 전체(E), 갓(P), 대(S)의 부위별로 분류하여 DPPH와 ABTS 라디칼 소거능에 따른 항산화활성과 이들 활성의 근거물질인 총 페놀, 플라보노이드, 그리고 유비퀴논 함량을 측정하였다. 시판버섯의 갓 부위(P)에 함유된 총 페놀함량은 193.9~536.6 mg/100 g으로 대 부위(S)의 156.8~370.8 mg/100 g보다 23.4~44.7% 높게 나타났다. 총 플라보노이드 함량은 quercetin의 동량 값으로 표시했을 때 전체 부위(E)에서 14.8~31.2 mg/100 g으로 나타나 총 페놀함량에 비해 매우 낮은 함량으로 측정되었다. 유비퀴논 함량 역시 갓 부위(P)가 163.5~485.1 µg/100 g으로 나타나 대 부위(S)의 65.6~142.9 µg/100 g에 비해 2.5~3.4배 더 높은 것으로 측정되어 시판버섯에 함유된 유효활성 성분은 주로 자실체의 주름부위에 분포된 것을 알 수 있다. 시료(10 mg/mL)의 80% 메탄올 추출물의 DPPH와 ABTS 자유 라디칼 소거능에 따른 전체 부위(E)의 항산화활성은 각각 51.2~

90.1%와 62.5~95.8%로 비교적 높게 나타났다. 특히 상황버섯의 라디칼 소거능은 평균 92.7%로 나타나 전체 부위(E)의 시판버섯 중 가장 높았으며 목이버섯은 평균 56.9%로 나타나 항산화활성이 가장 낮게 나타났다($p < 0.05$). 이 같은 결과는 각 부위별 자체 내 함유된 평균 총 페놀함량($R^2=0.80$) 및 유티퀴논 함량($R^2=0.55$)과 유의적인 상관관계($p < 0.05$)를 나타내어 이들 성분이 항산화활성에 영향을 미친 것으로 추정된다.

문 헌

- Hui YF, Den ES, Chi TH. 2002. Antioxidant and free radical scavenging activities of edible mushrooms. *J Food Lipids* 9: 35-46.
- Chang ST, Buswell JA, Chiu SW. 1993. Mushroom biology and mushroom product. The Chinese University Press, Hong Kong. p 3-17.
- Collins MD, Jones D. 1981. Distribution of isoprenoid quinone structural types in bacteria and their taxonomic implications. *Microbiol Rev* 45: 316-354.
- Ernster L, Dallner G. 1995. Biochemical, physiological, and medical aspects of ubiquinone function. *Biochim Biophys Acta* 1271: 195-204.
- Overvad K, Diamant B, Holm L, Holmer G, Mortensen SA, Stender S. 1999. Coenzyme Q10 in health and disease. *Europ J Clin Nutr* 53: 764-770.
- Weber C, Bysted A, Holmer G. 1997. Coenzyme Q10 in the diet—daily intake and relative bioavailability. *Mol Aspects Med* 18: S251-S254.
- Mattila P, Kumpulainen J. 2001. Coenzyme Q₉ and Q₁₀: contents in foods and dietary intake. *J Food Comp Anal* 14: 409-417.
- Pyo YH, Oh HJ. 2011. Ubiquinone contents in Korean fermented foods and average daily intakes. *J Food Comp Anal* 24: 1123-1129.
- Kim HJ, Lee IS. 2004. Antimutagenic and cytotoxic effects of Korean wild mushrooms extracts. *Korean J Food Sci Technol* 36: 662-668.
- Choi SJ, Lee YS, Kim JK, Lim SS. 2010. Physiological activities of extract from edible mushrooms. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 1087-1096.
- Yanga JH, Lina HC, Mau JL. 2002. Antioxidant properties of several commercial mushrooms. *Food Chem* 77: 229-235.
- Mau JL, Lina HC, Song SF. 2002. Antioxidant properties of several specialty mushrooms. *Food Res Int* 35: 519-526.
- Choi YH, Kim MJ, Lee HS, Yun BS, Hu C, Kwak SS. 1998. Antioxidative compounds in aerial parts of *Potentilla fragariodes*. *Korean J Pharmacogn* 29: 79-85.
- Xu XM, Jun JY, Jung IH. 2007. A study on the antioxidant activity of *HaeSongi* mushroom (*Hypsizigus marmoreus*) hot water extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 1351-1357.
- Sandrina AH, Lillian B, Maria JS, Anabela M, Isabel CFR. 2010. Tocopherols composition of Portuguese wild mushrooms with antioxidant capacity. *Food Chem* 119: 1443-1450.
- Barros L, Ferreira MJ, Ferreira ICFR, Baptista P. 2007. Total phenols, ascorbic acid, β -carotene and lycopene in Portuguese wild edible mushrooms and their antioxidant activities. *Food Chem* 103: 413-419.
- Kim HJ, Ahn MS, Kim GH, Kang MH. 2006. Antioxidative and antimicrobial activities of *Pleurotus eryngii* extracts prepared from different aerial part. *Korean J Food Sci Technol* 38: 799-804.
- Ferreira ICFR, Baptista P, Vilas-Boas M, Barros L. 2007. Free-radical scavenging capacity and reducing power of wild edible mushrooms from northeast Portugal: Individual cap and stipe activity. *Food Chem* 100: 1511-1516.
- Singleton VL, Rossi JA. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdenic-phosphotungstic acid. *Am J Enol Vitic* 16: 144-158.
- Jia Z, Tang M, Wu J. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and they scavenging effects on super-oxide radicals. *Food Chem* 64: 555-559.
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT Food Sci Technol* 28: 25-30.
- 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 Radical Bio Med* 26: 1231-1237.
- Ferreira ICFR, Barros L, Abreu RMV. 2009. Antioxidants in wild mushrooms. *Current Med Chem* 16: 1543-1560.

(2012년 5월 15일 접수; 2012년 6월 6일 채택)