

숙성온도와 기간에 따른 도라지의 이화학적 특성과 항산화 활성

이상훈¹ · 송은미¹ · 장귀영¹ · Li Meishan¹ · 김민영¹ · 박혜진¹ · 강태수² · 정현상^{1†}

¹충북대학교 식품공학과
²충북도립대학 바이오식품생명과학과

Physicochemical Characteristics and Antioxidant Activities of *Doragi* (*Platycodon grandiflorum*) at Different Aging Temperatures and for Various Durations

Sang Hoon Lee¹, Eun Mi Song¹, Gwi Yeong Jang¹, Meishan Li¹, Min Young Kim¹,
Hye Jin Park¹, Tae Su Kang², and Heon Sang Jeong^{1†}

¹Dept. of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

²Dept. of Biofood Science and Biotechnology, Chungbuk Provincial University of
Science and Technology, Chungbuk 373-807, Korea

ABSTRACT We investigated the physicochemical characteristics and antioxidant activities of *Doragi* (*Platycodon grandiflorum*) at different aging temperatures (60, 70 and 80°C) and for various periods of duration (5, 10, 15, 30 and 50 days). As the temperature and duration were increased, the pH of *Doragi* water extracts decreased from 5.22 to 4.17, whereas total acidity increased from 0.265 to 0.998 lactic acid eq.%. In addition, browning index went up from 0.092 to 1.002 and 5-hydroxymethylfurfural (HMF) content steeply rose to 50.40 mg/g from its initial zero value with an increase in temperature and duration. The radical scavenging activity of ethanol extracts was enhanced with a rise in temperature and duration as evident from the value of total polyphenol content (0.589 to 2.358 mg/g), DPPH (0.149 to 1.244 mg Trolox eq/g) and ABTS (0.354 to 1.509 mg Trolox eq/g). The correlation between physicochemical characteristics and antioxidant activities was high; the correlation between pH and total acidity showed a r value of -0.910 ($P<0.01$), whereas between browning index and 5-HMF content, the r value was 0.880 ($P<0.01$). Total polyphenol content and DPPH and ABTS radical scavenging activity were highly correlated with the r value of 0.885 ($P<0.01$) and 0.745 ($P<0.01$), respectively.

Key words: *Doragi*, aging temperature and duration, physicochemical characteristics, antioxidant activity

서 론

도라지(*Platycodon grandiflorum* DC)는 초롱꽃과(Campanulaceae)에 속하는 다년생초로서 한국, 일본 및 중국의 산간지방에 자생하며, 우리나라에서는 식용뿐만 아니라 약재로서 이용이 급증하고 있어 재배면적과 생산량이 확대되고 있다(1). 특히 우리나라에서는 식용으로 더 많이 활용되고 있으며, 조리 시 독특한 쓴맛과 향긋한 풍미는 식품으로서의 기호성을 높여주며, 생리활성도 우수한 식품이다(2). 도라지의 생리활성에 대한 연구로는 alloxan 및 streptozotocin으로 유발된 당뇨쥐에 대한 항당뇨 활성(3,4), 면역증강 효과(5), 혈청 및 간장의 지질 개선효과(6), 암세포 증식 억제효과(7,8) 및 항산화 활성(9,10) 등 다양하게 진행되었다.

식품의 열처리 가공은 일반적으로 저장수명을 연장시키고 품질을 향상시키기 위하여 적용되어져 왔으며, 열처리

가공 중 영양소의 파괴 및 생리활성물질의 손실 등의 문제점이 발생되어 제한적으로 사용되어 왔다. 하지만 최근에는 식품, 특히 과채류 등을 열처리 시 열에 민감한 성분의 손실은 발생하지만 열처리 동안 발생하는 다양한 화학적 변화에 의해 생리활성물질이 증가한다는 연구가 보고되고 있다(11). Kim 등(12)은 멜론, 사과, 토마토, 참외, 수박 및 바나나를 110~150°C에서 2시간 열처리하였을 때 페놀화합물 및 항산화 활성이 유의적으로 증가하였으며, 요인들 간의 상관관계도 높은 수준이었다고 보고하였다. 뿐만 아니라 감초(13), 배(14), 마늘(15), 인삼(16), 숙지황(17), 무(18), 더덕 및 도라지(19) 등을 열처리 시 폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 증가하여 항산화활성이 증가하였으나, 과도한 열처리 시 원료의 탄화 및 일부 페놀성 화합물의 파괴로 인하여 항산화 활성이 감소되었다는 보고가 있다(12,14-17). 이러한 이유로 최근에는 열처리 가공 중 50~80°C의 비교적 저온에서 진행되는 숙성가공기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 과채류 및 향신료들을 찌고 굽는 등 가열공정을 통하여 단맛의 증가나 황 화합물의 휘발을 유도하여 기호성의 증가는 물론

Received 13 May 2013; Accepted 17 July 2013

†Corresponding author.

E-mail: hsjeong@chungbuk.ac.kr, Phone: 82-43-261-2570

조직감의 변화로 인하여 새로운 가공제품의 개발이 가능하며(20), 숙성과정에서 페놀성 화합물의 증가로 인하여 항산화 활성이 증가한다는 연구가 보고되어 있다(21,22). 숙성 가공기술을 양파, 생강, 도라지, 대추 등 다양한 원료로 확대 적용하고 있는 추세이지만, 표준화된 숙성공정이 없고 숙성 과정 중 부패에 의한 품질저하, 장기간 숙성에 의한 비용의 증가 등 해결해야 할 문제들이 남아 있다(21,23).

따라서 본 연구에서는 다양한 생리활성을 가지고 있는 도라지에 가온숙성공정을 적용함에 있어 숙성온도 및 시간이 도라지의 성분 및 항산화 활성에 미치는 영향을 살펴보고 숙성도라지의 항산화 활성을 높일 수 있는 숙성조건을 설정하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용한 도라지(*Platycodon grandiflorum* DC)는 국내산으로 2010년 충북 청주 소재의 농수산물도매시장에서 구매하여 외피에 묻은 이물을 제거하고 음건하였다. 수분 및 산소투과성이 적은 알루미늄호일필름(Newpack, Seoul, Korea)에 100 g 단위로 진공포장(Chamber type vacuum package, DP-901, Dew Pack Corea Machinery Co., Seoul, Korea) 하여 숙성시료로 사용하였다.

숙성도라지 및 추출물 제조

진공포장 된 도라지는 60, 70 및 80°C 항온기(VS-1203 P3V, Vision Science Co., Ltd., Gyeongsan, Korea)에서 50일간 숙성시켰으며, 숙성기간 5, 10, 15, 30 및 50일에 시료를 취하여 -75°C deep freezer(Ultra-low temperature freezer, MDF-393, SANYO, Akaiwa, Japan)에서 보관하면서 시료로 사용하였다. 이화학적 특성 평가를 위한 물 추출물은 숙성도라지 2 g에 20 mL의 증류수를 가한 후 60분 동안 초음파 추출(SD-350H, Seong Dong, Seoul, Korea)하고 원심분리 하여 상등액을 얻었다. 항산화 활성 평가를 위한 에탄올 추출물은 숙성도라지의 중량 대비 20배의 80% 에탄올을 첨가하여 30분 동안 3회 초음파 추출하고, 여과(ADVANTEC No. 1, Toyo Roshi Kaisha, Ltd., Tokyo, Japan)한 후 농축하여 동결건조(Freeze dryer, FD5508, Ilshin Lab Co., Ltd., Dongducheon, Korea)한 다음 -75°C deep freezer에서 보관하면서 분석용 시료로 사용하였다.

숙성도라지의 이화학적 특성 분석

숙성도라지의 이화학적 특성으로 pH, 총산도, 갈변도, 5-HMF(hydroxymethylfurfural) 및 유리당 함량을 측정하였다. pH는 pH meter(Orion4 STAR, Thermo Scientific, Beverly, MA, USA)를 이용하여 측정하였으며, 총산도는 페놀프탈레인 용액을 1~2 방울 가하고 0.01 N NaOH로 적

정하여 lactic acid 당량으로 나타내었고, 갈변도는 숙성도라지 추출물을 10배 희석한 후 spectrophotometer(UV-1601, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 사용하여 420 nm에서 흡광도를 측정하였다. 5-HMF 함량은 숙성도라지 추출물을 0.45 µm syringe filter(Millipore, Billerica, MA, USA)로 여과한 후 HPLC(Acme 9000 system, Younglin, Anyang, Korea)를 이용하여 측정하였다. 이때 칼럼은 Mightysil RP-18 GP(4.6×250 mm, 5 µm, Kanto Chemical, Tokyo, Japan)를 사용하였으며, 이동상은 20% acetonitrile을 0.6 mL/min의 유속으로 흘려주며 280 nm에서 분석하였다(15).

숙성도라지의 항산화 성분과 활성 측정

숙성도라지의 총 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu phenol reagent가 추출물의 페놀성 화합물에 의해 환원된 결과 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 분석하였다(24). 즉 각 추출물 100 µL에 2% Na₂CO₃ 용액 2 mL를 가한 후 3분 동안 방치하여 50% Folin-Ciocalteu reagent 100 µL를 가하고 30분 후 반응액의 흡광도 값을 750 nm에서 측정하였다. 표준물질인 gallic acid(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)를 사용하여 검량선을 작성하였으며, 총 폴리페놀 함량은 시료 g 중의 mg gallic acid로 나타내었다. 숙성도라지의 DPPH 라디칼 소거활성은 Blois(25)의 방법을 변형하여 측정하였다. 즉 에탄올 추출물 0.2 mL에 0.2 mM 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH, Sigma-Aldrich Co.) 용액 0.8 mL를 가하여 실온에서 60분 동안 방치한 후 520 nm에서 흡광도를 측정하였으며, TEAC(trolox equivalent antioxidant capacity, mg trolox eq/g)로 표현하였다. 숙성도라지의 총 항산화력은 ABTS cation decolorization assay 방법(19)에 의하여 측정하였다. ABTS(2,2'-azino-bis-3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid, Sigma-Aldrich Co.) 7.4 mM과 potassium persulphate 2.6 mM을 하루 동안 암소에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후 이용액을 735 nm에서 흡광도 값이 1.4~1.5가 되도록 증류수로 희석하였다. 희석된 ABTS 용액 1 mL에 에탄올 추출물 50 µL를 가하여 흡광도의 변화를 60분 후에 측정하였으며, 표준물질로서 trolox(Sigma-Aldrich Co.)를 동량 첨가하였고 TEAC로 표현하였다.

통계처리

통계분석은 SPSS 통계프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 각 측정군의 평균과 표준편차를 산출하고 숙성 온도 및 기간에 따른 처리간의 차이 유무를 one-way ANOVA(analysis of variance)로 분석한 뒤 신뢰구간 $P < 0.05$ 에서 Duncan's multiple range test를 실시하였다.

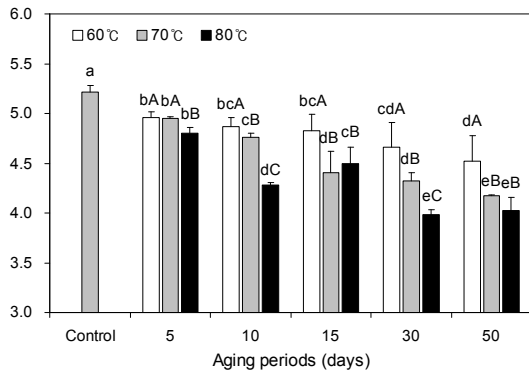


Fig. 1. Changes in pH of *Doraji* water extracts with different aging temperatures and periods. Different capital (A-C) and small (a-e) letters in the same items indicate a significant difference ($P<0.05$) among different aging temperatures and periods, respectively.

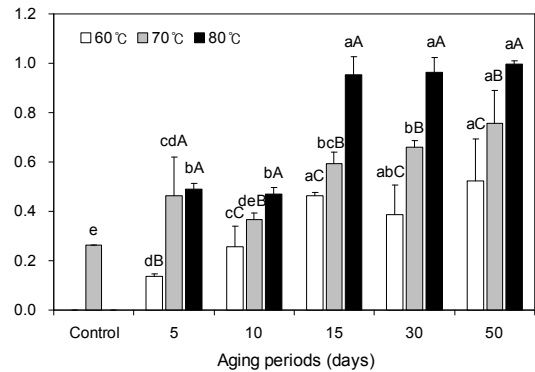


Fig. 2. Changes in total acidity of *Doraji* water extracts with different aging temperatures and periods. Different capital (A-C) and small (a-e) letters in the same items indicate a significant difference ($P<0.05$) among different aging temperatures and periods, respectively.

결과 및 고찰

pH 및 총산도

숙성온도와 기간에 따른 도라지 물 추출물의 pH 변화는 Fig. 1과 같다. 무처리 도라지 추출물의 pH는 5.22였지만 숙성온도와 기간이 증가함에 따라 감소하였다. 숙성 5일차의 pH는 4.96~4.80 범위로 온도에 따른 차이가 적었으나, 숙성 10일차와 50일차에서는 각각 4.87~4.29 및 4.52~4.02 범위로 숙성온도가 증가함에 많은 감소를 나타내었다. 무처리 도라지 추출물의 총산도는 0.265 lactic acid eq%였지만 숙성온도와 기간이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 2). 숙성 5일차와 10일차 60°C에서 총산도는 0.135 및 0.256%로 무처리보다 낮았지만, 70 및 80°C에서는 각각 0.463~0.489 및 0.368~0.472% 범위로 무처리보다 높게 나타났다. 또한 숙성 초기보다 후기에 온도에 의한 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 숙성도라지의 pH와 총산도 변화는 높은 음의 상관관계($P<0.01$, Table 1)를 보였으며, 숙성기간보다 숙성온도에 의한 영향이 크게 나타났다. Shin 등(21)은 마늘을 60~90°C에서 1~6일간 숙성시켰을 때 숙성기간이 증가함에 따라 pH는 감소하였으며, 숙성온도가 높을수록 크게 감소한다고 보고하였다. 또한 홍삼의 경우

에도 처리온도가 20°C에서 100°C로 증가함에 따라 수용성 추출물의 pH는 5.10에서 4.10으로 감소하였다는 보고와 일치하는 결과였다(26). 또한 Woo 등(27)은 당/아미노산의 비효소적 갈변반응 모델에서 열처리 온도와 기간이 증가할수록 유기산 생성이 증가하였다고 보고하였으며, Adia 등(28)은 열처리와 유기산 함량간의 높은 상관관계를 보고하였다. 열처리 시 환원당인 aldohexose의 aldehyde기가 산화되어 생성된 carbonyl기의 증가(29), 또는 당과 염기성 아미노산의 결합에 의해 가용성 염기성 아미노산의 감소 및 산성물질의 생성(30)으로 pH가 감소된다고 보고하였다.

갈변도 및 5-HMF 함량

숙성온도 및 기간에 따른 도라지 물 추출물의 갈변도와 5-HMF 함량의 변화는 Fig. 3 및 4와 같다. 420 nm에서 흡광도를 측정된 무처리 도라지 추출물의 갈변도는 0.092였으나 숙성온도와 기간이 증가함에 따라 증가하였다(Fig. 3). 숙성 5일차와 10일차에서는 숙성 온도에 따라 각각 0.115~0.179 및 0.137~0.212 범위로 차이가 적었으나, 숙성 50일차에서는 0.178~1.002 범위로 숙성온도가 증가함에 따라 차이가 크게 나타났다. 비효소적 갈변반응의 중간생성물인 5-HMF의 함량은 무처리, 5일차의 전체 온도, 10일

Table 1. Correlation coefficients among physicochemical characteristics and antioxidant activity on the aged *Doraji* (*Platycodon grandiflorum*) with different aging temperatures and periods

	pH	TA ¹⁾	BI	HMF	TP	DPPH	ABTS
pH	1.000	-0.910**	-0.806**	-0.657**	-0.828**	-0.905**	-0.891**
TA		1.000	0.840**	0.647**	0.840**	0.957**	0.783**
BI			1.000	0.880**	0.864**	0.791**	0.732**
HMF				1.000	0.710**	0.691**	0.839**
TP					1.000	0.885**	0.745**
DPPH						1.000	0.926**
ABTS							1.000

¹⁾TA: total acidity, BI: browning index, HMF: 5-hydroxymethylfurfural content, TP: total polyphenol content, DPPH: DPPH radical scavenging activity, ABTS: ABTS radical scavenging activity.
* $P<0.05$, ** $P<0.01$.

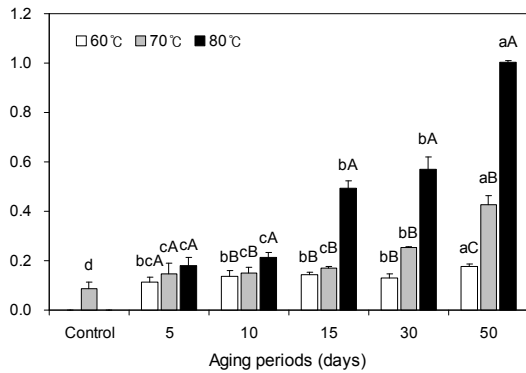


Fig. 3. Changes in browning index of *Doraji* water extracts with different aging temperatures and periods. Different capital (A-C) and small (a-d) letters in the same items indicate a significant difference ($P < 0.05$) among different aging temperatures and periods, respectively.

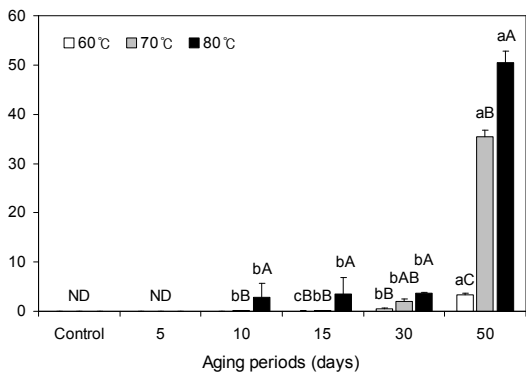


Fig. 4. Changes in 5-hydroxymethylfurfural content of *Doraji* water extracts with different aging temperatures and periods. Different capital (A-C) and small (a-c) letters in the same items indicate a significant difference ($P < 0.05$) among different aging temperatures and periods, respectively. ND: Not detected.

차의 60°C 처리구에서는 검출되지 않았지만 숙성온도와 기간이 증가함에 따라 증가하였다(Fig. 4). 숙성온도에 따라서는 60°C 처리구의 경우 15~50일차에서 0.051~3.403 mg/100 g 범위에서 증가하였으며, 70°C와 80°C 처리구의 경우 10~50일차에서 각각 0.088~35.352 및 2.837~50.400 mg/100 g 범위에서 증가하였다. 숙성도라지의 갈변도와 5-HMF 함량 변화에는 높은 양의 상관관계($P < 0.01$, Table 1)를 보였으며, 숙성기간보다 숙성온도에 의한 영향이 크게 나타났다. Park 등(2)은 숙성온도와 기간이 증가함에 따라 건대추의 갈변도와 5-HMF 함량은 증가하며, Lee 등(26)의 연구에서도 고려 홍삼의 열처리 시 시간이 증가함에 따라 갈변도가 크게 증가하였다는 결과와 일치하였다. 또한 Hwang 등(19)은 도라지를 열처리할 경우 열처리 전에는 없었지만 온도가 증가함에 따라 5-HMF의 함량이 급격히 증가하였다는 보고와 일치하는 결과이다. 5-HMF는 마이알 및 카라멜 반응으로 인한 멜라노이딘 형성 중 생성되는 중간 생성물질로 잘 알려져 있으므로(14), 본 연구결과에서 숙성온도와 기간에 따라 도라지 추출물의 갈변도가 증가하는 것

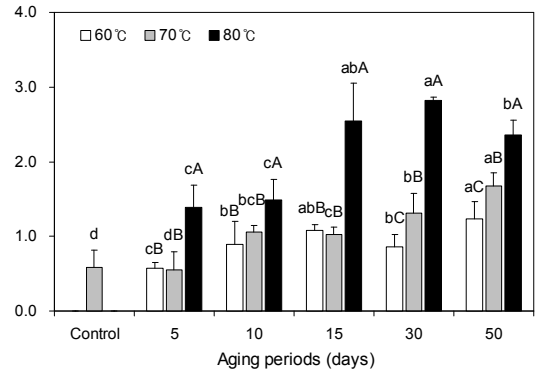


Fig. 5. Changes in total polyphenol content of *Doraji* ethanol extracts with different aging temperatures and periods. Different capital (A-C) and small (a-d) letters in the same items indicate a significant difference ($P < 0.05$) among different aging temperatures and periods, respectively.

은 마이알 및 카라멜 반응의 비효소적 갈변반응에 의한 것으로 판단된다.

총 폴리페놀 함량

숙성온도 및 기간에 따른 도라지 에탄올 추출물의 총 폴리페놀 함량 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 무처리 도라지 추출물의 총 폴리페놀 함량은 0.589 mg/g이었지만, 숙성온도와 기간이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 숙성 5일차에서 60과 70°C에서의 총 폴리페놀 함량은 각각 0.577 및 0.547 mg/g으로 무처리와 유의적인 차이를 보이지 않았지만($P > 0.05$), 80°C에서는 1.388 mg/g으로 증가하였다($P < 0.05$). 또한 숙성기간이 10일에서 50일로 경과함에 따라 60°C 처리구는 0.891~1.231 mg/g, 70°C 처리구는 1.059~1.679 mg/g 범위에서 증가하였으며, 특히 80°C 처리구는 1.483~2.358 mg/g 범위로 다른 숙성온도보다 총 폴리페놀 함량이 높게 나타났다. Hwang 등(19)은 도라지 에탄올 추출물의 총 폴리페놀 함량을 측정된 결과 0.59 mg/g이었으며, 110~150°C에서 열처리하였을 때 0.99~7.34 mg/g으로 증가하였다고 보고하였으며, Park 등(22)의 연구에서도 숙성온도와 기간이 증가함에 따라 건대추 에탄올 추출물의 총 폴리페놀 함량이 증가한다 하였는데 이는 농산물을 열처리한 많은 연구에서도 유사한 결과를 보고하였다(12-18). 폴리페놀 화합물은 한 분자 내에 2개 이상의 phenolic hydroxyl group을 가진 방향족 화합물로 자연계에 널리 분포되어 있는 물질이다(24). 본 연구와 같이 도라지에 존재하는 폴리페놀 화합물들이 숙성에 의해 증가하는 이유는 열처리에 의해 내부 물질들이 구조적 전환을 일으켰거나 결합형의 폴리페놀 성분이 유리형으로 전환되어 용출이 용이해지고, 고분자의 폴리페놀 성분이 저분자 형태로 분해되어 총 폴리페놀 함량이 증가되었기 때문이라 판단된다(24,31).

DPPH 라디칼 소거활성

숙성온도 및 기간에 따른 도라지 에탄올 추출물의 DPPH

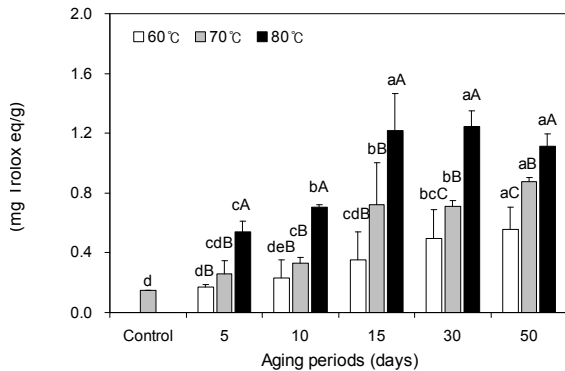


Fig. 6. Changes in DPPH radical scavenging activity of *Doraji* ethanol extracts with different aging temperatures and periods. Different capital (A-C) and small (a-e) letters in the same items indicate a significant difference ($P<0.05$) among different aging temperatures and periods, respectively.

라디칼 소거활성을 항산화물질인 Trolox의 당량으로 표현한 결과는 Fig. 6과 같다. 무처리의 DPPH 라디칼 소거활성은 0.149 mg Trolox eq/g이었지만, 숙성온도와 기간이 증가함에 따라 증가하였다. 숙성 5일차와 10일차 60°C에서 각각 0.171 및 0.233 mg Trolox eq/g으로 무처리와 유의적인 차이를 보이지 않았지만($P>0.05$), 숙성온도가 증가함에 따라 각각 0.260~0.540 및 0.331~0.706 mg Trolox eq/g 범위에서 증가하였다. 또한 숙성기간이 15일에서 50일로 경과함에 따라 60°C에서는 0.353~1.218 mg Trolox eq/g, 70°C에서는 0.495~1.244 mg Trolox eq/g 그리고 80°C에서는 0.555~1.114 mg Trolox eq/g 범위에서 증가하였다. Hwang 등(19)도 도라지 에탄올 추출물의 DPPH 라디칼 소거활성은 열처리 시 증가한다 하였으며, Park 등(22)의 연구에서도 대추를 숙성시킬 경우 숙성온도와 기간이 증가함에 따라 에탄올 추출물의 DPPH 라디칼 소거활성이 증가한다 하였는데, 본 연구에서도 열처리 온도 및 시간이 증가함에 따라 DPPH 라디칼 소거활성이 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 열처리에 의해 조직과 강하게 결합되어 있던 항산화 성분들이 유리형으로 전환되어 항산화 활성이 증가된 것으로 판단된다(12-18).

ABTS 라디칼 소거활성

숙성온도 및 기간에 따른 도라지 에탄올 추출물의 ABTS 라디칼 소거활성을 항산화물질인 Trolox의 당량으로 표현한 결과는 Fig. 7과 같다. 무처리의 ABTS 라디칼 소거활성은 0.354 mg Trolox eq/g이었으나 숙성온도와 기간이 증가함에 따라 증가하였다. 숙성 5일차와 10일차 60°C에서는 각각 0.436 및 0.467 mg Trolox eq/g으로 무처리와 유의적인 차이를 보이지 않았지만($P>0.05$), 숙성온도가 증가함에 따라 각각 0.581~0.761 및 0.576~0.907 mg Trolox eq/g 범위에서 증가하였다. 또한 숙성기간이 15일에서 50일로 경과함에 따라 60 및 70°C에서는 각각 0.738~1.325 및 0.728~0.900 mg Trolox eq/g 범위에서 증가하는 경향을

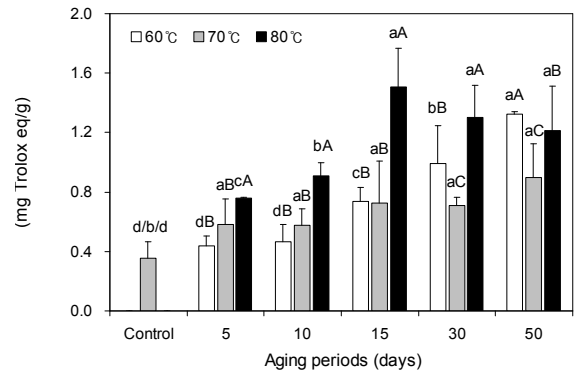


Fig. 7. Changes in ABTS radical scavenging activity of *Doraji* ethanol extracts with different aging temperatures and periods. Different capital (A-C) and small (a-d) letters in the same items indicate a significant difference ($P<0.05$) among different aging temperatures and periods, respectively.

보였으나 80°C에서는 1.509~1.213 mg Trolox eq/g 범위에서 감소하는 경향을 나타내었다. 숙성온도 70°C에서는 15일차까지는 60°C와 유사한 라디칼 소거활성을 보였으나 ($P>0.05$), 30일차와 50일차에는 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). Hwang 등(19)도 도라지 에탄올 추출물의 ABTS 라디칼 소거활성은 열처리 시 증가하며, Park 등(22)도 건대추의 경우 숙성온도와 기간이 증가함에 따라 ABTS 라디칼 소거활성이 증가한다 하였는데, 이와 같이 열처리 온도 및 시간이 증가함에 따라 ABTS 라디칼 소거활성이 증가하는 것은 총 폴리페놀 및 DPPH 라디칼 소거활성 측정 실험에서와 같이 열처리에 의해 페놀성 화합물들이 유리형으로 전환되어 항산화 활성이 증가된 것으로 판단된다(12-18).

상관관계

숙성온도와 기간에 따른 도라지 추출물의 이화학적 특성과 항산화 활성을 평가한 결과, 숙성기간이 경과됨에 따라 갈변화가 진행되었으며 항산화 활성이 증가하였다. 또한 숙성기간보다 숙성온도에 영향을 더욱 크게 받는 것으로 나타났으며, 이들의 상관관계를 분석한 결과는 Table 1과 같다. 숙성온도와 기간이 증가함에 따라 숙성도라지 추출물의 pH와 총산도는 높은 음의 상관관계(-0.910)를 나타내었으며 ($P<0.01$), 갈변도와 5-HMF 함량은 0.880($P<0.01$)의 높은 양의 상관관계를 나타내었다. 총 폴리페놀 함량과 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거활성 간의 상관계수는 각각 0.885 및 0.745로 높은 양의 상관관계를 보였으며, DPPH와 ABTS 라디칼 소거활성 간에도 높은 양의 상관관계를 보였다(0.926, $P<0.01$). 당/아미노산의 비효소적 갈변반응 모델에서 열처리 온도와 시간이 증가할수록 유기산 생성이 증가하고(27), aldohexose의 산화에 의한 carbonyl기의 증가, 가용성 염기성 아미노산의 감소 및 산성물질의 생성 등에 의해 pH가 감소한다(29,30). 또한 열처리 시 비효소적 갈변반응인 마이알 및 카라멜 반응에 의하여 420 nm에서의 흡광도가 증

가하고(32), 멜라노이딘 형성 중 5-HMF가 생성되는 것으로 알려져 있다(14). 열처리에 의해 페놀화합물이 결합형에서 유리형으로 전환되거나 고분자에서 저분자의 형태로 분해되어 총 폴리페놀 함량이 증가되고(24,31), 이로 인하여 항산화 활성이 증가되며 또한 마이알 반응의 중간생성물들도 항산화 활성을 가지고 있다고 보고되고 있다(30). 본 연구결과와 같이 열처리에 의한 총산도, 갈변도, 5-HMF 함량, 총 폴리페놀 함량, ABTS 및 DPPH 라디칼 소거활성의 증가와 pH 감소 간의 높은 상관관계는 여러 선행연구들에서 나타난 결과와 일치하는 결과이었다(12-18).

요 약

가온숙성조건에 따른 도라지의 이화학적 특성 및 항산화 활성의 변화를 살펴보기 위하여 도라지를 알루미늄호일필름에 포장한 후 60~80°C에서 5~50일간 숙성시켜 pH, 총산도, 갈변도, 5-HMF 함량, 총 폴리페놀 함량, DPPH 및 ABTS 라디칼 소거활성을 측정하였다. 숙성온도와 시간이 증가함에 따라 도라지 물 추출물의 pH는 5.22에서 4.17까지 감소하였으며, 총산도는 0.265에서 0.998 lactic acid eq%까지 증가하였다. 갈변도와 5-HMF 함량은 숙성온도 및 시간에 따라 각각 0.092~1.002와 0.00~50.40 mg/g 범위에서 증가하였다. 총 폴리페놀 함량은 숙성이 진행됨에 따라 0.589~2.358 mg/g 범위에서 증가하였으며, DPPH 및 ABTS 라디칼 소거활성도 각각 0.149~1.244 및 0.354~1.509 mg Trolox eq/g 범위에서 증가하였다. 숙성조건에 따라 이화학적 특성 및 항산화 활성들 간에 높은 상관관계가 있었으며, pH와 총산도는 $-0.910(P<0.01)$, 갈변도와 5-HMF 함량은 $0.880(P<0.01)$, 총 폴리페놀 함량과 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거활성은 각각 $0.885(P<0.01)$ 와 $0.745(P<0.01)$ 로 높은 양의 상관관계를 나타내었다. 이처럼 숙성온도와 시간이 증가함에 따라 페놀성 화합물의 증가로 인하여 항산화 활성 역시 증가하였으며, 80°C에서 15일간 가온숙성 하였을 때 도라지의 항산화 활성을 최대로 높일 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Lim KH. 1971. *A medicinal phytology (the details)*. Dongmyoungsa, Paju, Korea. p 281.
2. Park SJ, Kim AY, Lee HS, Kim BY, Baik MY. 2012. Effects of puffing process on the saponin components in *Platycodon grandiflorus (jacqin)* A.De Candle. *Food Eng Prog* 16: 164-171.
3. Sung NJ, Lee SJ, Shin JH, Lee IS, Chung YC. 1996. Effects of *Platycodon grandiflorum* extract on blood glucose and lipid composition in alloxan induced hyperglycemic rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 25: 986-992.
4. Seo JK, Chung YC, Chun SS, Lee YY, Lee SJ, Shon MY, Sung NJ. 2004. Effect of physiologically active compounds isolated from on *Platycodon grandiflorum* streptozotocin-induced rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 981-986.
5. Yu AR, Park HY, Choi IW, Park YK, Hong HD, Choi HD. 2012. Immune enhancing effect of medicinal herb extracts on a RAW264.7 macrophage cell line. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 1521-1527.
6. Kim SY, Kim HS, Kim SH, Kim HS, Su IS, Chung SY. 1993. Effects of the feeding *Platycodon grandiflorum* and *Codonopsis lanceolata* on the fatty acid composition of serum and liver in rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 22: 524-530.
7. Lee JY, Hwang WI, Lim ST. 1998. Effect of *Platycodon grandiflorum* DC extracts on the growth of cancer cell lines. *Korean J Food Sci Technol* 30: 13-21.
8. Kim YS, Lee BE, Kim KJ, Lee YT, Cho KB, Chung YC. 1998. Antitumor and immunomodulatory activities of the *P. grandiflorum* cultivated for more than 20 years. *Yakhak Hoeji* 42: 382-387.
9. Kim CH, Jung BY, Jung SK, Lee CH, Lee HS, Kim BH, Kim SK. 2010. Evaluation of antioxidant activity of *Platycodon grandiflorum*. *J Environ Toxicol* 25: 85-94.
10. Jang JR, Hwang SY, Lim SY. 2011. Inhibitory effect of extracts of *Platycodon grandiflorum* (the balloon flower) on oxidation and nitric oxide production. *Korean J Food Preserv* 18: 65-71.
11. Hwang IG, Woo KS, Jeong HS. 2011. Biological activity and heat treatment processing of foods. *Food Science and Industry* 44: 56-65.
12. Kim HY, Woo KS, Hwang IG, Lee YR, Jeong HS. 2008. Effects of heat treatments on the antioxidant activities of fruits and vegetables. *Korean J Food Sci Technol* 40: 166-170.
13. Woo KS, Jang KI, Kim KY, Lee HB, Jeong HS. 2006. Antioxidative activity of heat treated licorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch) extracts. *Korean J Food Sci Technol* 38: 355-360.
14. Hwang IG, Woo KS, Kim TM, Kim DJ, Yang MH, Jeong HS. 2006. Change of physicochemical characteristics of Korean pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) juice with heat treatment conditions. *Korean J Food Sci Technol* 38: 342-347.
15. Kwon OC, Woo KS, Kim TM, Kim DJ, Hong JT, Jeong HS. 2006. Physicochemical characteristics of garlic (*Allium sativum* L.) on the high temperature and pressure treatment. *Korean J Food Sci Technol* 38: 331-336.
16. Yang SJ, Woo KS, Yoo JS, Kang TS, Noh YH, Lee JS, Jeong HS. 2006. Change of Korean ginseng components with high temperature and pressure treatment. *Korean J Food Sci Technol* 38: 521-525.
17. Song DS, Woo KS, Seong NS, Kim KY, Jeong HS, Lee HB. 2007. Changes in quality of *Rehmanniae radix* Preparata with heating conditions. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 773-778.
18. Lee SH, Hwang IG, Lee YR, Jeong EM, Jeong HS, Lee HB. 2009. Physicochemical characteristics and antioxidant activity of heated radish (*Raphanus sativus* L.) extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 490-495.
19. Hwang CR, Oh SH, Kim HY, Lee SH, Hwang IG, Shin YS, Lee JS, Jeong HS. 2011. Chemical composition and antioxidant activity of Deoduk (*Codonopsis lanceolata*) and

- Doragi (*Platycodon grandiflorum*) according to temperature. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 798-803.
20. Lee YK. 2008. Effects of heating condition on the quality characteristics of garlic juice. *MS Thesis*. Chungbuk National University, Chungbuk, Korea. p 74-86.
 21. Shin JH, Choi DJ, Chung MJ, Kang MJ, Sung NJ. 2008. Changes of physicochemical components and antioxidant activity of aged garlic at different temperatures. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 1174-1181.
 22. Park HJ, Lee SH, Kim HY, Jang GY, Hwang IG, Woo KS, Kwon OS, Lee JS, Jeong HS. 2012. Changes in chemical components and antioxidant activity of dried jujube with different aging temperatures and durations. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 591-597.
 23. Yang AR, Park YK. 2011. Black onions manufactured via the browning reaction and antioxidant effects of their water extracts. *Korean J Food Preserv* 18: 310-318.
 24. Dewanto V, Xianzhong W, Liu RH. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50: 4959-4964.
 25. Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181: 1199-1200.
 26. Lee JW, Lee SK, Do JH, Shim KH. 1998. Characteristics of the water soluble browning reaction of Korean ginseng as affected by heating treatment. *J Ginseng Res* 22: 193-199.
 27. Woo KS, Hwang IG, Kim HY, Hang KI, Lee JS, Kang TS, Jeong HS. 2011. Thermal degradation characteristics and antioxidant activity of fructose solution with heating temperature and time. *J Med Food* 14: 167-172.
 28. Adia TM, Tajima K, Watanabe M, Saito Y, Kuroda K, Nonaka T, Hattori H, Smith RL Jr, Arai K. 2007. Reactions of d-fructose in water at temperatures up to 400°C and pressure up to 100 MPa. *J Supercrit Fluids* 42: 110-119.
 29. Choi JH, Kim WJ, Yang JW, Sung HS, Hong SK. 1981. Quality changes in red ginseng extract during high temperature storage. *J Korean Agric Chem Soc* 24: 50-58.
 30. Kim SD, Do JH, Oh HI. 1981. Antioxidant activity of *Panax ginseng* browning products. *J Korean Agric Chem Soc* 24: 161-166.
 31. Turkmen N, Sari F, Velioglu YS. 2005. The effects of cooking methods total phenolic and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chem* 93: 713-718.
 32. Bozkurt H, Gogus F, Eren S. 1999. Non-enzymatic browning reactions in boiled grape juice and its models during storage. *Food Chem* 64: 89-93.