

열풍건조 도라지의 갈변과 항산화활성에 대한 건조온도와 스팀처리의 영향

전아정 · 박윤문 · 김현석*
국립안동대학교 식품생명공학과

Impact of Drying Temperature and Steaming Treatment on the Browning and Antioxidant Activity of Hot-air Dried *Platycodon Grandiflorum*

Ajeong Jeon, Youn-Moon Park, and Hyun-Seok Kim*

Department of Food Science and Biotechnology, Andong National University

Abstract

The effect of drying temperature and steaming time on the browning and antioxidant activity of dried *Platycodon grandiflorum* was investigated. Thirteen treatment conditions were constructed using central composite face-centered design containing 5 center points. Drying temperature and steaming time (as factors) were 45-75°C and 15-45 min. According to treatment conditions, dried *Platycodon grandiflorum* was assessed for color characteristic, degree of browning, total polyphenol content, and DPPH and ABTS free radical scavenging (as responses). When increasing drying temperature within a given steaming time, dried *Platycodon grandiflorum* exhibited decreased lightness, increased redness, degree of browning, and total polyphenol contents, and enhanced antioxidant activities. Except for total polyphenol contents and antioxidant activities, steaming time within a given drying temperature exhibited similar effects to those observed in drying temperature. However, steaming time did not likely influence total polyphenol contents and revealed the opposite trends observed for the effect of drying temperature on their antioxidant activities. The overall results suggested that drying temperature was the main factor for changes in the browning and antioxidant activity of dried *Platycodon grandiflorum*.

Key words: *Platycodon grandiflorum*, browning, antioxidant activity, central composite face-centered design

서 론

도라지(*Platycodon grandiflorum*)는 초롱꽃 과에 속하는 다년생 초본의 뿌리로서 길경(桔梗)이라 하며, 한국, 중국 및 일본 등지에서 널리 자생한다(Hwang et al., 2011). 도라지는 이눌린(inulin)과 미네랄(칼슘, 철)이 풍부하고 그 독특한 향과 맛 때문에 예로부터 식용으로 널리 이용되고 있다(Park et al., 2012). 또한 triterpenoid계 saponin인 platycodin A, C 및 D 등, botulin, stigmasterol과 기타 페놀성 화합물 등을 함유하고 있어, 거담작용, 진해작용, 해열, 진통 등에 효능을 나타내는 것으로 알려져 있고, 예로부터 기관지염 및 천식 등의 기관지계 질환에 생약제로 널리 사용되어 오고 있다(Hwang et al., 2011; Lee et al., 2011; Park et al., 2012; Lee et al., 2013). 도라지의 생리

활성에 관한 연구로는 도라지 추출물의 항산화효능 및 항균효능(Lee et al., 2013), 돌연변이 억제효능(Shon et al., 2001), 항암 및 면역활성(Kim et al., 1998), 혈당강하효능(Seo et al., 2004) 및 콜레스테롤 대사 개선작용(Kim et al., 1995) 등이 있다. 이러한 다양한 생리활성 효능에도 도라지는 기능성 식품 및 식품원료라기 보다 주로 생채, 숙채, 전, 산적, 자반, 정과 등으로 조리되어 섭취되고 있다(Lee et al., 2011). 최근에는 도라지의 반가공처리에 대한 연구가 수행되거나 이의 반가공제품들(칸도라지, 건도라지, 동결도라지)이 상업화되고 있다(Lee et al., 2011; Park et al., 2012; Lee & Cho, 2014; Lee et al., 2014a; Lee et al., 2014b). 또한 도라지의 생리활성 효능을 기존 식품에 부여하기 위해 도라지 추출물이나 분말을 첨가한 설기떡(Hwang & Kim, 2007), 양갱(Oh et al., 2013), 쿠키(Jeong et al., 2013), 사과주스(Kim et al., 2014), 식혜(Jeong & Yu, 2013) 등의 연구들이 수행되었다.

도라지의 반가공처리 연구나 도라지를 첨가한 식품의 개발 이외에 도라지 자체의 생리활성 효능을 향상 및 개선하여 기능성 식품소재로 개발하려는 연구들이 수행되고 있다. Hwang et al. (2011)은 건열처리 시 온도의 증가는 도라지

*Corresponding author: Hyun-Seok Kim, Department of Food Science and Biotechnology, Andong National University, 1375 Gyeongsang-do, Andong, Gyeongsangbuk-do 760-749, Korea
Tel: +82-54-820-5846; Fax: +82-54-820-6264
E-mail: khstone@andong.ac.kr
Received July 30, 2016; revised August 8, 2016; accepted August 8, 2016

의 항산화활성을 증가시킨다고 보고하였다. Park et al. (2012)은 pressure-drop법을 이용하여 팽화 도라지를 제조하였고, 팽화 시 압력차가 증가할수록 도라지의 총 platycoside 함량의 유의적으로 감소한다고 보고하였다. 그럼에도 항산화활성은 팽화처리를 통해 향상되는 것을 관찰하였으며, 이는 팽화처리에 의한 도라지의 갈변으로 폴리페놀성 화합물의 증가로부터 기인한다고 보고하였다. 한편 홍삼제조법과 부분적으로 유사한 가온숙성처리는 채소류나 약용식물들의 폴리페놀성 화합물과 항산화 및 항균 활성의 향상에 효과적인 방법으로 여겨지고 있다(Lee et al., 2013b). 이를 통해 항산화 및 항균 활성이 향상된 흑도라지(Lee et al., 2013a)와 홍도라지(Lee et al., 2013b)가 개발되었다. 가온숙성처리는 다양한 원료들(양파, 생강, 도라지, 대추 등)로 확대적용하고 있지만, 표준화된 숙성공정이 없고 숙성과정 중 부패로 인한 품질저하, 장기간의 가온숙성에 따른 비용의 증가 등 해결해야 할 문제점들을 나타내고 있다(Shin et al., 2008; Yang & Park, 2011; Lee et al., 2013).

따라서 본 연구에서는 도라지의 열풍건조에 있어 건조온도 및 스팀처리시간이 도라지의 갈변과 항산화활성에 미치는 영향을 조사하였고 이를 통해 장시간이 요구되는 가온숙성공정을 대체할 수 있는 신속한 도라지 처리기법을 설계하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

충청남도 금산군에서 2013년 10월 22일 수확한 도라지를 구입하여 골판지 상자에 넣고 상대습도 90-95%와 4°C로 유지되는 저온저장실에서 스팀처리와 열풍건조 전까지 저장하면서 본 연구의 시료로 사용하였다. 이외의 모든 화학적 분석을 위한 시약 및 용매들은 analytical grade 이상의 것을 사용하였다.

실험계획

도라지의 열풍건조 시 갈변과 항산화활성에 대한 건조온도와 스팀처리시간의 영향을 조사하기 위해 face-centered 중심합성계획법(central composite design)에 따라 실험설계를 하였다. 처리요인은 건조온도(X_1)와 스팀처리시간(X_2)으로 하였으며 적용범위는 각각 45-75°C와 15-45분으로 예비실험을 통해 결정하였다. 각 처리요인들의 수준을 -1, 0, 1으로 부호화(face-centered design)하여 이들의 값과 실제값을 Table 1에 제시하였다. 실험설계에 따라 수행된 시료들의 분석결과로서 얻어지는 반응변수들은 건도라지의 색 특성(L^* , a^* , b^*), 갈변도, 총 폴리페놀 화합물, DPPH 라디칼 소거활성과 ABTS 라디칼 소거활성으로 하였다.

건도라지의 제조

도라지 표면의 흙과 협잡물 등을 흐르는 수돗물에서 칫솔을 이용하여 세척한 후 잔뿌리들은 제거하고 수작업으로 박피하였다. 박피한 도라지는 8 cm 길이로 절단하고 약 8 mm 두께로 세절한 후 1% (w/v) ascorbic acid 용액에 넣어 보관하였다. 성형된 도라지들은 도라지 중량의 3배 가량의 탈이온수를 이용하여 5회 반복 세척한 후 채반에서 10분간 탈수하고, 가정용 스팀쿠커(DG1218CB, Bomann GmbH, Kempen, Germany)를 이용하여 설계된 실험계획에 따라 스팀처리한 후 농산물건조기(DY-110H, Daeyong E & B, Ansan, Korea)를 이용하여 60시간 동안 건조하였다. 건도라지는 상온(-22°C)에서 1시간 동안 방냉하여 분쇄한 후 60 mesh 표준체망을 통과시켜 테플론(Teflon) 재질의 시료병에 넣고 밀봉하여 4°C에서 저장하면서 분석에 사용하였다.

색도

건도라지의 색 특성은 건도라지 분말(2 g, d.b)을 분말시료용 페트리디쉬에 넣고 색차계(CR-300D, Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan)를 이용하여 분석하였다. 각 시료들의 색 특성은 CIE 색체계에 따라 명도(L^*), 적색도(a^*), 및 황색도(b^*)로 나타내었다. 이때 사용한 색차계의 표준백판의 값은 $L^*=98.07$, $a^*=-0.18$, 및 $b^*=1.57$ 이었다.

갈변도(degree of browning)

건도라지의 갈변도는 Lee et al. (2003)의 방법을 변형하여 분석하였다. 건도라지 분말 2 g (d.b)은 탈이온수 40 mL와 혼합한 후 10% (w/v) trichloroacetic acid 용액 10 mL를 가하여 상온(-24°C)에서 2시간 동안 교반한 후 감압여과하였다. 회수된 여액은 100 mL 정용플라스크로 옮기고 탈이온수와 trichloroacetic acid 혼합용액(4:1, v/v)을 가하여 정용한 후 420 nm에서 흡광도를 측정하였다.

추출물 제조

건도라지 분말 10 g (d.b)은 70% (v/v) 에탄올 수용액 100 mL와 혼합하여 상온에서 12시간 동안 교반하고 원심분리(3,000 g, 20 min)하여 추출물을 분리하였다. 침전물에 70% (v/v) 에탄올 수용액 100 mL를 가하여 분산시킨 후 동일한 추출조작을 수행하였고 이러한 추출물 제조 절차는 총 3회 반복되었다. 3회의 추출조작으로부터 회수한 추출물은 종이필터(Whatman No. 1, GE Healthoare Bio-Science, Maidstone, England)를 통과시킨 후 회전감압농축기(N-1200BV-W, EYELA, Tokyo, Japan)를 이용하여 농축된 추출물을 제조하였다. 농축된 추출물은 일정량을 105°C에서 건조하여 고형분 함량을 결정하고 일정량의 농도로 희석하여 분석에 사용하였다.

총 폴리페놀 함량

총 폴리페놀 함량은 Folin & Denis (1912)의 방법으로 측정하였다. 도라지 추출물을 농도별로 0.1 mL씩 시험관에 취하고, Folin-ciocalteu's phenol reagent (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) 0.1 mL을 가하여 vortexing한 후 3분간 상온에 방치하였다. 여기에 0.7 M Na₂CO₃ 용액 1 mL를 가하여 vortexing하고 상온의 암소에서 1시간 동안 반응시킨 후 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 폴리페놀 함량은 tannic acid (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)를 이용하여 작성한 표준곡선으로부터 계산하였다.

DPPH 라디칼 소거활성에 의한 항산화 활성(RC₅₀)

도라지 추출물의 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) 라디칼소거활성은 Blois (1958)의 방법에 따라 측정하였다. 도라지 추출물 0.1 mL에 0.2 mM DPPH 용액(99.9% 에탄올에 용해) 0.05 mL를 가하여 vortexing한 후 15분간 반응시켜 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH 라디칼 소거활성 값을 50% 감소시키는 농도(RC₅₀)를 도라지 추출물의 DPPH 라디칼 소거활성으로 하였다.

ABTS 라디칼소거능에 의한 항산화 활성(RC₅₀)

도라지 추출물의 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) 라디칼소거활성은 Re et al. (1998)의 방법에 따라 측정하였다. ABTS 36 mg은 탈이온수 10 mL에 용해시키

고 이에 6.6 mg의 potassium persulfate를 용해시킨 후 상온의 암소에서 15시간 동안 방치하여 ABTS 양이온 라디칼(ABTS⁺)을 형성시켰다. 이 용액을 734 nm에서 흡광도 값이 0.750±0.001이 되도록 에탄올(99.9%)로 희석하였다. 희석된 ABTS⁺ 0.1 mL에 도라지 추출물 0.05 mL를 가하여 6분 동안 반응시킨 후, 734 nm에서 흡광도 값을 측정하였다. ABTS 라디칼 소거활성 값을 50% 감소시키는 농도(RC₅₀)를 도라지추출물의 ABTS 라디칼 소거활성으로 하였다.

통계처리

건도라지는 설계된 실험계획에 따라 3회 반복하여 제조하였고, 각 처리조건에 따라 제조된 건도라지들에 대해 색도, 갈변도 및 항산화 활성들은 2회 이상 반복하여 분석하였으며, 그 평균값을 반응표면분석에 사용하였다. 반응표면분석은 Design Expert (version 7, Stat-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA)를 이용하여 수행하였고, 1차항 주요 요인들, 2차항 요인들과 교호작용은 신뢰수준 95%와 99%에서 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

색도

설계된 처리조건에 따라 제조된 건도라지의 색 특성을 조사하여 Table 1에 나타내었다. 건도라지의 명도는 54.89-82.66, 적색도는 2.49-11.10, 황색도는 19.95-29.00의 범위

Table 1. Central composite face-centered (CCF) design matrix and response¹⁾ for characteristics of dried *Platycodon grandiflorum*

| Run | Coded (actual) levels | | L* | a* | b* | DB ²⁾ | TP ²⁾ | DPPH ³⁾ | ABTS ³⁾ |
|------------------|-----------------------|------------------|-------|-------|-------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| | DT ²⁾ | ST ²⁾ | | | | | | | |
| 1 | -1 (45) | 1 (45) | 82.66 | 2.63 | 25.70 | 0.29 | 17.81 | 14.44 | 13.28 |
| 2 | 0 (60) | 0 (30) | 71.61 | 6.68 | 27.82 | 1.19 | 36.26 | 5.99 | 5.37 |
| 3 | 1 (75) | -1 (15) | 61.76 | 8.33 | 19.95 | 2.79 | 60.96 | 2.06 | 2.13 |
| 4 | 0 (60) | 0 (30) | 70.71 | 7.55 | 29.00 | 1.24 | 37.36 | 6.07 | 5.34 |
| 5 | 0 (60) | 0 (30) | 71.20 | 7.13 | 28.73 | 1.22 | 38.92 | 5.90 | 5.65 |
| 6 | -1 (45) | 0 (30) | 80.06 | 2.49 | 24.55 | 0.29 | 27.11 | 4.63 | 6.92 |
| 7 | -1 (45) | -1 (15) | 80.06 | 3.25 | 24.43 | 0.27 | 24.89 | 5.26 | 8.01 |
| 8 | 0 (60) | -1 (15) | 77.87 | 4.49 | 25.33 | 0.64 | 31.40 | 7.36 | 5.94 |
| 9 | 1 (75) | 1 (45) | 54.89 | 10.99 | 27.59 | 3.87 | 61.12 | 2.01 | 2.11 |
| 10 | 0 (60) | 1 (45) | 71.43 | 6.89 | 26.58 | 1.11 | 33.35 | 8.72 | 6.26 |
| 11 | 1 (75) | 0 (30) | 51.17 | 11.10 | 27.05 | 4.36 | 65.40 | 1.71 | 1.85 |
| 12 | 0 (60) | 0 (30) | 71.23 | 7.10 | 28.50 | 1.23 | 37.52 | 6.03 | 5.20 |
| 13 | 0 (60) | 0 (30) | 71.00 | 7.00 | 28.00 | 1.21 | 38.22 | 5.98 | 5.51 |
| D1 ⁴⁾ | 45 | - | 88.98 | 1.50 | 13.05 | 0.21 | - | - | - |
| D2 ⁴⁾ | 60 | - | 86.83 | 2.11 | 15.34 | 0.28 | - | - | - |
| D3 ⁴⁾ | 75 | - | 80.33 | 4.34 | 18.59 | 0.63 | - | - | - |

¹⁾Mean values of three measurements.

²⁾DT; drying temperature (°C), ST; steaming time (min), DB; degree of browning, TP; total polyphenol (mg/g extract).

³⁾Replicated as RC₅₀ (mg/mL) (concentration for 50% reduction of DPPH and ABTS radicals at 15 and 5 min, respectively, after starting reaction).

⁴⁾*Platycodon grandiflorum* dried at applied drying temperature without steaming.

Table 2. Significance of the regression models (*F* values) and the effects of variables on characteristics of dried *Platycodon grandiflorum*

| Sources | <i>L</i> * | <i>a</i> * | <i>b</i> * | DB ¹⁾ | TP ¹⁾ | DPPH ²⁾ | ABTS ²⁾ |
|---|-----------------------|------------|------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Regression | 80.87** ³⁾ | 45.07** | 8.91** | 79.32** | 247.23** | 14.33** | 19.56** |
| <i>X</i> ₁ ¹⁾ | 355.98** | 203.50** | <0.01 | 328.40** | 1120.73** | 34.05** | 80.92** |
| <i>X</i> ₂ ¹⁾ | 7.28* | 8.26* | 12.05* | 7.76* | 2.00 | 10.89* | 5.13 |
| <i>X</i> ₁ × <i>X</i> ₂ | 8.53* | 6.74* | 7.11* | 5.38 | 6.36* | 12.64** | 6.94* |
| <i>X</i> ₁ ² | 28.21** | 0.14 | 8.46* | 54.99** | 101.66** | 10.03* | 0.43 |
| <i>X</i> ₂ ² | 15.58** | 6.42* | 7.27* | 9.68* | 35.91** | 9.42* | 4.77 |
| Lack of fit | 54.92** | 8.21* | 12.33* | 368.07** | 3.51 | 973.95** | 78.30** |
| <i>r</i> ² | 0.9830 | 0.9699 | 0.8642 | 0.9827 | 0.9944 | 0.9110 | 0.9332 |

¹⁾*X*₁; drying temperature (°C), *X*₂; steaming time (min), DB; degree of browning, TP; total polyphenolic compound (g/g extract).

²⁾Replicated as RC₅₀ (mg/mL) (concentration for 50% reduction of DPPH and ABTS radicals at 15 and 5 min, respectively, after starting reaction).

³⁾*:*p*<0.05, **: *p*<0.01.

에 있었다. 측정된 각 색 특성치들을 이용하여 반응표면분석을 수행하였을 때(Table 2), 제조된 건도라지의 색 특성들은 모두 2차항 회귀식(quadratic regression model)에 적합하였다(*p*<0.01). 건도라지의 명도에 있어 건조온도(*p*<0.01), 스팀처리시간(*p*<0.05)과 이들의 교호작용(*p*<0.05)은 유의적인 영향을 미쳤다(Table 2). 주어진 스팀처리시간과 건조온도에서 각각 건조온도의 증가와 스팀처리시간의 연장은 건도라지의 명도를 감소시켰다(Fig. 1a). Perturbation plot에서 건도라지의 명도는 건조온도의 증가에 따라 급격한 감소를 나타내었으나, 스팀처리시간의 연장은 완만한 감소를 나타내어 건조온도가 스팀처리시간보다 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다(Fig. 1b). 건도라지의 적색도와 관련하여, 명도와 유사하게 건조온도(*p*<0.01), 스팀처리시간(*p*<0.05)과 이들의 교호작용(*p*<0.05)은 유의적인 영향을 미쳤다(Table 2). 적색도는 주어진 스팀처리시간에서 건조온도의 증가와 함께 증가하였으며, 주어진 건조온도에서 스팀처리시간의 연장과 함께 증가하는 일반적인 경향을 나타내었다(Fig. 1c). 또한 건조온도가 높을수록 스팀처리시간의 연장에 대한 적색도의 증가폭이 커지는 것을 알 수 있었다(Fig. 1c). Perturbation plot에서(Fig. 1d) 건도라지의 적색도는 건조온도의 증가에 따라 급격한 증가를 나타내었으나, 스팀처리시간의 연장은 완만한 증가를 나타내어 건조온도가 적색도에 대해 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다(Fig. 1b). 명도와 적색도의 분석결과와 다르게, 황색도는 주요 요인들 중 건조온도만이 유의적이었고, 건조온도는 스팀처리시간과 함께 황색도에 대해 유의적인 교호작용을 도출하였다(Table 1). 황색도에 대한 반응표면곡선에서 스팀처리시간 30분의 부근까지 연장될 때 황색도는 증가하고 그 이상으로 연장될 때 감소하는 경향이 나타났으며, 건조온도도 스팀처리시간과 유사한 경향을 나타내었다(Fig. 1e). Perturbation plot의 건조온도와 스팀처리시간에 대한 황색도의 변화도 반응표면곡선에서 관찰된 경향과 유사하였고, 각 요인들에 대한 황색도의 변화량은 건조온도보다는 스팀처리시간이 더 큰 것으로 보이나 스팀처리시간

은 황색도에 대해 유의적이지 않기 때문에 스팀처리시간이 건도라지의 황색도에 대한 주요 요인으로 생각할 수 없는 것 같다(Fig. 1f). 건조온도의 증가는 양파(Lee et al., 2016), 고추(Lee & Kim, 1989), 수삼(Lee et al., 1995)의 명도를 감소시키고, 적색도와 황색도를 증가시킨다는 보고들과 본 연구의 반응표면분석 결과를 고려할 때, 건도라지의 색 특성은 건조온도에 민감하게 영향 받는 것으로 생각된다. 한편 스팀처리 없이 본 연구에서 적용된 건조온도(45, 60, 75°C)로 건조된 도라지(Table 1D1, D2, D3)의 색 특성은 각 온도에서 스팀처리를 수반한 처리군들과 현저한 차이를 나타내었다(Table 1). 따라서 도라지의 색 특성 변화에 대한 스팀처리의 영향은 건조온도에 비해 미미하였으나 유의적인 것으로 생각된다.

갈변도

설계된 처리조건에 따라 제조된 건도라지의 갈변도는 0.27-4.36의 범위에 있었고(Table 1), 건조온도(*p*<0.01)와 스팀처리시간(*p*<0.05)이 유의적인 영향을 미쳤으며, 이들 사이의 유의적인 교호작용(*p*>0.05)은 나타나지 않았다(Table 2). 따라서 갈변도에 대한 건조온도와 스팀처리시간의 영향을 1요인 곡선으로 나타내었다(Fig. 2). 갈변도는 건조온도가 증가하면서 급격히 증가하였고(Fig. 2a), 스팀처리시간의 연장은 완만한 증가(Fig. 2b)를 나타내었다. Lee et al. (1995)은 수삼의 건조 시 건조온도 80°C 이하에서는 폴리페놀산화효소에 의한 효소적 갈변반응에, 80°C를 초과할 때는 폴리페놀산화효소의 실패로 주로 비효소적 갈변반응에 의해 갈변물질이 생성된다고 보고하였다. 따라서 건도라지의 색 특성에 대한 결과와 유사하게 건조온도(45-75°C)가 스팀처리시간보다 갈변도에 더 큰 영향을 미친 것으로 판단된다. 그럼에도 도라지의 스팀처리는 도라지의 건조 전 함수율을 증가시켜 건조에 의한 갈변을 촉진시킨 것으로 생각된다. Lee & Kim (1989)은 채소류의 함수율 정도의 고수분함량에서 고온으로 건조될 때 갈변속도가 가속화 된다고 보고하였다.

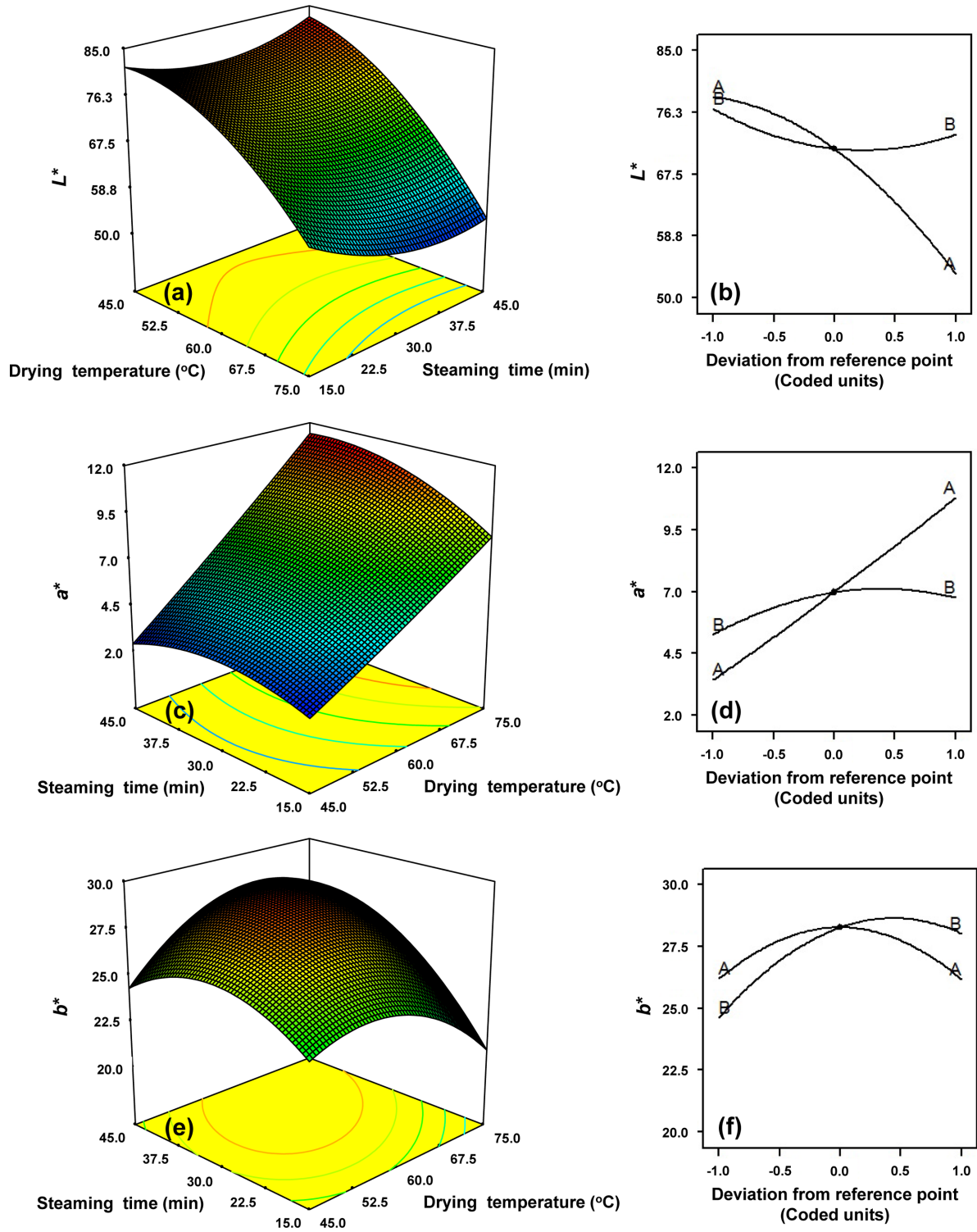


Fig. 1. Response surface (a, c, and e) and perturbation (b, d, and f) plots describing the interaction of drying temperature and steaming time on the lightness (L^* ; a and b), redness (a^* ; c and d), and yellowness (b^* ; e and f) of dried *Platycodon grandiflorum* (A: drying temperature, B: steaming time).

총 폴리페놀 함량과 항산화 활성

설계된 처리조건에 따라 제조된 건도라지로부터 70% 에 탄을 수용액을 이용하여 추출물을 제조하고, 이의 총 폴리

페놀 함량과 DPPH와 ABTS 자유라디칼 소거능에 의한 항산화력을 측정하여 Table 1에 나타내었다. 처리조건에 따라 제조된 건도라지의 추출물의 총 폴리페놀 함량은

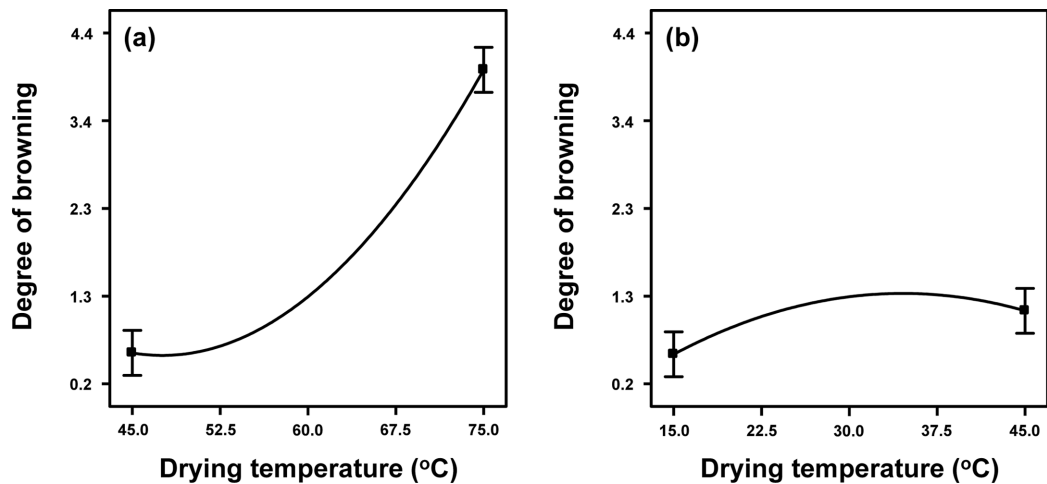


Fig. 2. One factor plot describing the effect of drying temperature and steaming time on the degree of browning of dried *Platycodon grandiflorum*.

17.81-65.40 mg의 범위에 있었고(Table 1), 동결건조된 건도라지(대조군)의 것(11.58±0.24 mg/g extract) 보다 유의적으로 높은 수준을 나타내었다. 건도라지의 총 폴리페놀 함량은 건조온도($p<0.01$)에 의해서만 유의적인 영향을 받았으나, 스팀처리시간과 유의적인 교호작용 효과를 나타내었다($p<0.05$) (Table 2). 주어진 스팀처리시간에서 건조온도의 증가는 총 폴리페놀 함량을 증가시켰으나, 주어진 건조온도에서는 스팀처리시간이 연장되면서 증가하다 중심점(30분) 부근에서 다시 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 3a). Perturbation plot에서(Fig. 3b) 건조온도에 의한 총 폴리페놀의 증가율이 스팀처리시간에 의한 것보다 높아 건조온도가 건도라지의 총 폴리페놀 함량 증가에 대한 주요 요인으로 생각된다. 이러한 결과는 도라지의 페놀성 고분자 화합물이 열처리(건조와 스팀처리)로 인해 저분자로 전환되었거나 갈변반응에 의해 형성된 갈변물질들이 증가하였기 때문으로 생각된다(Hwang et al., 2011; Lee et al., 2013, Lee et al., 2016).

DPPH 자유라디칼의 50%를 소거하는 건도라지 추출물의 농도(DPPH-RC₅₀)는 1.71-14.44 mg/mL의 범위에 있었다(Table 1). 건도라지의 DPPH-RC₅₀은 건조온도($p<0.01$), 스팀처리시간($p<0.05$)과 이들의 교호작용($p<0.01$)에 유의적인 영향을 받았다(Table 2). 주어진 스팀처리시간에서 건조온도의 증가는 DPPH-RC₅₀을 감소시키는 일반적인 경향이 관찰되었다. 그러나 45-60°C에서 스팀처리시간의 증가는 DPPH-RC₅₀을 증가시켰으나, 60-75°C에서는 중심점(30분)을 기준으로 감소하다 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 3c). 한편 건조온도는 DPPH-RC₅₀을 감소시켰지만, 스팀처리시간은 증가시키는 상반된 효과를 보여(Fig. 3d) 건도라지 추출물의 DPPH-RC₅₀은 건조온도와 스팀처리시간의 효과들의 상호상쇄에 의한 순(net) 효과의 결과인 것으로 판단된다.

ABTS 자유라디칼의 50%를 소거하는 건도라지 추출물의 농도(ABTS-RC₅₀)는 1.71-14.44 mg/mL의 범위에 있었다(Table 1). 건도라지의 ABTS-RC₅₀은 건조온도($p<0.01$)에 의해서만 유의적인 영향을 받았으나, 스팀처리시간과 유의적인 교호작용 효과를 나타내었다($p<0.05$) (Table 2). 주어진 스팀처리시간에서 건조온도의 증가는 ABTS-RC₅₀을 감소시켰으나, 주어진 건조온도에서는 스팀처리시간이 연장되면서 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 3e). Perturbation plot에서(Fig. 3e) 건조온도에 의한 ABTS-RC₅₀의 감소율은 스팀처리시간에 의한 증가율보다 높아 건조온도가 주요 요인으로 생각된다. 따라서 DPPH-RC₅₀의 경우와 마찬가지로 ABTS-RC₅₀의 건조온도와 스팀처리시간의 효과들의 상호상쇄에 의한 건조온도의 순(net) 효과의 결과인 것으로 판단된다. 본 연구에서 처리된 건도라지의 항산화 활성의 증가는 도라지의 열처리와 갈변으로 인한 총 폴리페놀 함량의 증가에 따른 것이다(Hwang et al., 2011; Lee et al., 2013, Lee et al., 2016).

요 약

도라지의 갈변과 항산화 활성에 대한 건조온도와 스팀처리의 영향을 조사하였다. 본 연구에서 설계된 실험조건에 따라 처리된 건도라지들은 색 특성, 갈변도, 총 폴리페놀 함량, 항산화 활성은 건조온도와 스팀처리에 의해 유의적인 변화를 나타내었고, 그 효과는 건조온도가 스팀처리시간에 비해 높았다. 그러나 스팀처리는 건도라지의 특성과 항산화 활성에 미미한 영향을 미쳤지만, 도라지의 갈변반응을 촉진하기 위한 수반되어야 할 것이다. 본 연구의 결과들은 흑(홍)도라지를 제조하기 위해 적용되는 장기간을 요구하는 가온숙성기법을 대체할 수 있을 것으로 예상된다.

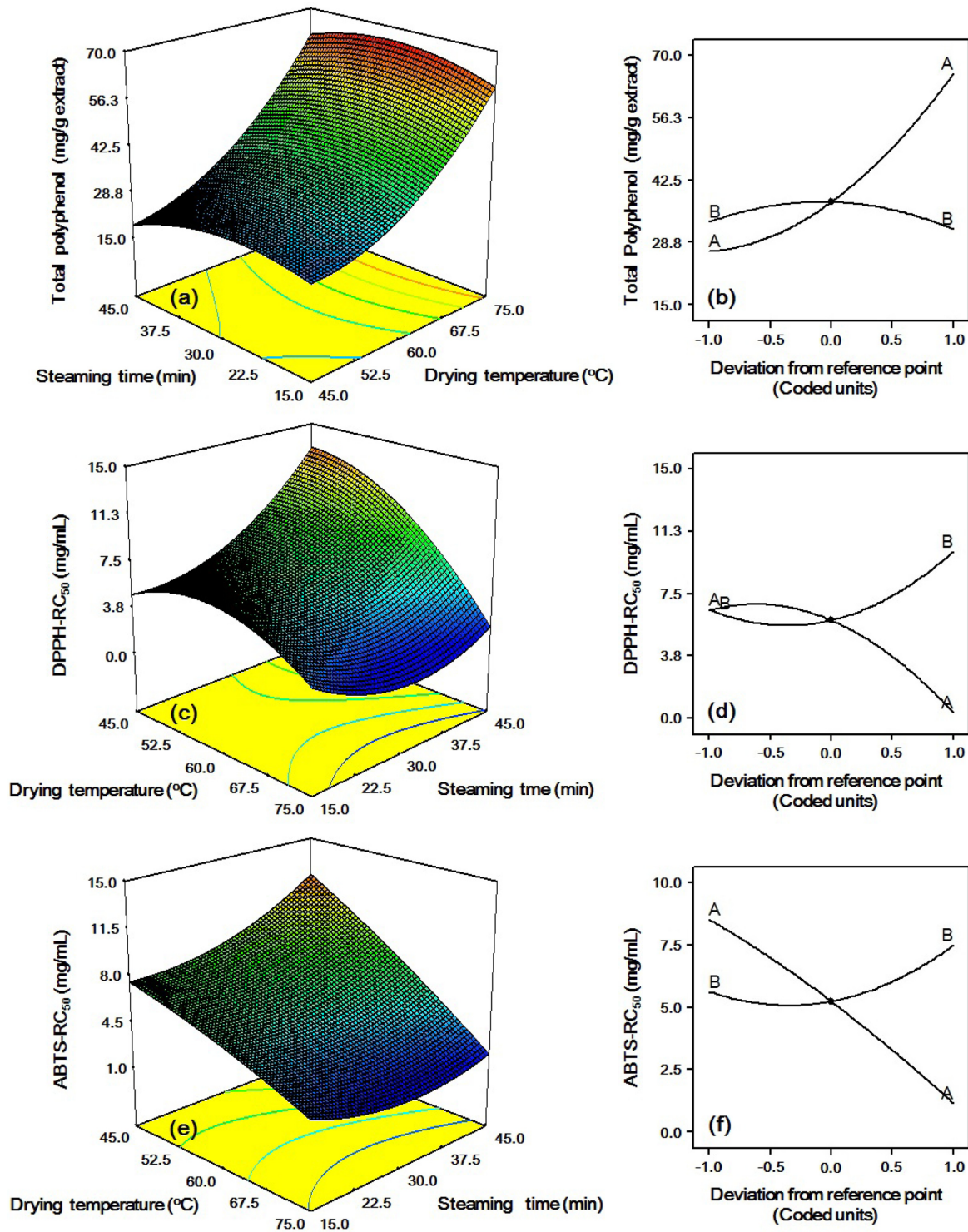


Fig. 3. Response surface (a, c, and e) and perturbation (b, d, and f) plots describing the interaction of drying temperature and steaming time on total polyphenol (a and b), antioxidant activities (determined by DPPH (c and d) and ABTS (e and f) radical scavenging) of dried *Platycodon grandiflorum* (A: drying temperature, B: steaming time).

감사의 글

본 연구는 산림청 산림과학기술개발사업(S111315L050140)의 지원으로 이루어 졌으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

Blois ML. 1958. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. Nature 181: 1199-1224.

- Folin O, Denis W. 1912. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J. Biol. Chem.* 12: 239-243.
- 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 Doraji (*Platycodon grandiflorum*) according to temperature. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 40: 798-803.
- Hwang SJ, Kim JW. 2007. Effects of roots powder of balloonflowers on general composition and quality characteristics of *Sulgidduk*. *Korean J. Food Culture* 22: 77-82.
- Jeong EJ, Kim KP, Bang BH. 2013. Quality characteristics of cookie containing *Platycodon grandiflorum* powder. *Korean J. Food Nutr.* 26: 759-765.
- Jeong SI, Yu HH. 2013. Quality characteristics of Sikhe prepared with the roots powder of Doraji (*Platycodon grandiflorum* A. DE. Candolle). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 42: 759-765.
- Kim YS, Lee BE, Kim KJ, Lee YT, Cho KB, Chung YC. 1998. Antitumor and immunomodulatory of the *P. grandiflorum* cultivated for more than 20 years. *Yakhak Hoeji* 42: 382-387.
- Kim JM, Moon YS, Yoon KY. 2014. Quality characteristics and antioxidant activity of black *Doraji*-apple juice mixed with jujube extracts. *Korean J. Food Preserv.* 21: 199-205.
- Kim KS, Osamu E, Shinji I, Hiroshige I. 1995. Effect of *Platycodon grandiflorum* feeding on serum and liver lipid concentrations in rats with diet-induced hyperlipidemia. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 41: 485-491.
- Lee BJ, Cho YS. 2014. Effects of drying temperature on the saponin and free sugar contents of *Platycodon grandiflorum* Radix. *Korean J. Food Sci. Technol.* 46: 769-772.
- Lee BJ, Jeon SH, Lee SW, Chun HS, Cho YS. 2014a. Effects of drying methods on the saponin and mineral contents of *Platycodon grandiflorum* Radix. *Korean J. Food Sci. Technol.* 46: 636-640.
- Lee BJ, Shin YY, Lee SW, Chun HS, Cho YS. 2014b. Effects of storage methods and periods on root hardness and content of saponin in *Platycodon grandiflorum* Radix. *Korean J. Crop Sci.* 59: 134-138.
- Lee DJ, Han JA, Lim ST. 2016. Enhancement of antioxidant activity of onion powders by browning during drying process. *Korean J. Food Sci. Technol.* 48: 15-19.
- Lee DS, Kim HK. 1989. Carotenoid destruction and nonenzymatic browning during red pepper drying as functions of average moisture content and temperature. *Korean J. Food Sci. Technol.* 21: 425-429.
- Lee JW, Lee SK, Do JH, Sung HS, Shim KH. 1995. Browning reaction of fresh ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) as affected by heating temperature. *Korea J. Ginseng Sci.* 19: 249-253.
- Lee KS, Park KH, Lee SH, Choe EO, Lee HG. 2003. The quality properties of dried carrots as affected by blanching and drying methods during storage. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35: 1086-1092.
- Lee SJ, Bang WS, Hong JY, Kwon OJ, Shin SR, Yoon KY. 2013. Antioxidant and antimicrobial activities of black *Doraji* (*Platycodon grandiflorum*). *Korean J. Food Preserv.* 20: 510-517.
- Lee SH, Song EM, Jang GY, Li M, Kim MY, Park HJ, Kang TS, Jeong HS. 2013. Physicochemical characteristics and antioxidant activities of Doraji (*Platycodon grandiflorum*) at different aging temperatures and for various durations. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 42: 1405-1411.
- Lee YJ, Lee HO, Kim JY, Kwon KH, Cha HS, Kim BS. 2011. Quality characteristics of frozen Doraji (*Platycodon grandiflorum*) according to various blanching treatment conditions. *Korean J. Food Preserv.* 18: 661-668.
- Oh HG, Kim JH, Shin EH, Kang YR, Lee BG, Park SH, Moon DI, Kwon LS, Kim YP, Choi MH, Kim OJ, Park KH, Lee HY. 2013. Improving effects of Platycodon extracts jelly on β -amyloid-induced cytotoxicity and scopolamine-induced cognitive impairment animal models. *Korean J. Plant Res.* 26: 417-425.
- Park SJ, Kim AY, Lee HS, Kim BY, Baik MY. 2012. Effects of puffing process on the saponin components in *Platycodon grandifloras* (*jacqin*) A. De Candolle. *Food Eng. Prog.* 16: 164-171.
- Park S, Noh B, Han K. 2012. Standardization of manufacturing process and storage condition for pre-processed foodstuffs (pre-processed *Namul*, peeled balloon flower roots and parboiled bracken). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 1611-1618.
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Catherine RE. 1998. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biol. Med.* 26: 1231-1237.
- Seo JK, Chung YC, Chun SS, Lee YY, Lee SJ, Shon MY, Sung NJ. 2004. Effect of physiologically active compounds isolated from *Platycodon grandiflorum* on streptozotocin induced diabetic rats. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 33: 981-986.
- 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.
- Shon MY, Seo JK, Kim HJ, Sung NJ. 2001. Antimutagenic effect of extract of *Platycodon grandiflorum*. *Korean J. Food Sci. Technol.* 33: 651-655.
- 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.