양파 착즙 중 열처리 조건이 유황양파즙의 품질 특성에 미치는 영향

최보경 · 서정희*
강원대학교 식품영양학과

Effects of Heat Treatment on the Quality of the Onion Juices Prepared with Sulfur-applied Onions

Bogyoung Choi and Jeonghee Surh*

Department of Food and Nutrition, Kangwon National University

Abstract Onion juices were prepared by various heat treatments (at 105-120°C for 4.5-5.5 h), from the onions cultivated with increasing numbers of sulfur applications (once for Sulfur-1, four times for Sulfur-4). As heat treatment intensity increased, the onion juices darkened ($p<0.001$), which adversely affected the sensory preference. In addition, increasing the heating temperature significantly increased the organic acid content of onion juices ($p<0.001$), and therefore, decreased pH ($p<0.001$). Heat intensity did not affect the thiosulfinate content of onion juices, suggesting that the rate of decomposition of thiosulfinate into low-molecular weight sulfur derivatives is similar over the temperature range of 105-120°C. Total flavonoids were higher in onion juices derived from Sulfur-4 than in Sulfur-1 onions, and increased with heat treatment intensity ($p<0.001$). These results indicated that heat-facilitated conversion of bound forms of flavonoids to their free forms increases the extractability of flavonoids from onions.

Keywords: onion, sulfur, heat, thiosulfinate, flavonoid

서론

양파(*Allium cepa* L.)는 독특한 향과 맛으로 예로부터 조리 중 향신 채소로 빈번히 사용되어 왔으며, 최근에는 양파에서 항산화, 항고혈압, 항균 작용 등의 생리활성과 약리작용이 확인됨에 따라, 생활습관병(life-style-related disease) 예방과 관련하여 관심이 증가되고 있는 작물이다(1-4). 양파는 가열 전 주요 향미성분인 thiosulfinate와 가열취(cooked flavor)를 형성하는 저분자의 황유도체들이 S-(1-propenyl)-L-cysteine sulfoxide의 효소적 분해와 열반응에 의해 생성되는 것으로 알려져 있다(5,6). 또한, 양파의 생리활성과 약리작용은 양파 내부에 존재하는 플라보노이드(quercetin, kaempferol, rutin) 및 그 배당체 물질과 유기 황 화합물(thiosulfinate, allyl disulfide, diallyl sulfide) 등 생물학적 활성 분자들에서 기인하는 것으로 보고되었다(4,7,8). 이와 같이, 양파의 관능적 특성과 기능성의 상당부분이 황(sulfur)에서 유래하므로, 전보에서는 국내 토양에서 절대적으로 부족한 황을 양파 재배 중 유황 처리 방법(9) 및 유황 처리 횟수(10)를 달리하여 생산함으로써 양파의 품질특성을 증진시키고자 하였다. 파종 전 토양에 유황을 직접 처리하고 수확 전 엽면시비로 유황을 추가 공급하여 생산한 유황양파는 무처리군 혹은 유황 처리 횟수가 상대적으로 적은 군

에 비해 총 페놀, 단백질, 무기질 등이 유의적으로 증가하였고 무기질 조성 역시 개선된 결과를 보였다(9,10).

양파가 건강식으로 인지되고 있음에도 불구하고 과잉생산에 따른 가격폭락은 국내 양파 농가의 가장 큰 문제점으로 알려져 있으며, 양파의 높은 수분함량으로 인한 낮은 저장성 역시 해결하고자 지속적으로 노력하는 과제이다(1). 특히, 신선도를 최적으로 유지할 수 있는 저온저장법에 관한 연구와(11), 양파 추출액을 제조·건조·분말화하여 식품 신소재로 활용하고자 한 가공식품 개발연구도 시도되고 있다(12-14).

본 연구에서는, 선행연구에서 얻어진 관능적 특성과 기능성이 향상된 유황양파를 이용하여 가공식품을 개발하기 위한 첫 단계로 유황양파 착즙액 제조를 시도하였다. 최근의 연구결과에 의하면, 과일, 채소류는 열처리 공정 중 (i) Maillard 반응 등에 의해 새로운 항산화 물질이 생성되고(15,16), (ii) 흡수율과 활성이 낮은 결합형(esterified, glycosylated)의 생리활성 물질들이 유리형(free form)으로 전환되어 bioavailability가 높아짐으로써(17-20) 항산화능을 포함한 생리활성이 증가되었음이 보고되었다. 또한, (iii) flavonoids, phenolic acids 등을 분해할 수 있는 세포 내 효소가 열에 의해 불활성화 됨으로써 항산화 물질들의 효소적 산화가 감소되어 생리활성이 증가될 수 있음이 제안되었다(18,21). (iv) 열처리에 의해 과일과 채소류의 조직 및 세포의 붕괴가 용이해지므로 matrix로부터 생리활성물질의 추출성 역시 개선될 수 있다(20). 이 연구들은, 생리활성물질들이 가열에 불안정하여 과일·채소류에서는 열처리 공정의 부가보다는 생물(raw food)의 섭취가 건강증진에 더 바람직할 것이라는 인식에서 열처리 공정이 생리활성을 부가시킬 수 있다는 인식의 전환에 기여하였다.

따라서 본 연구에서는, 유황처리로 총 페놀이 증가된 양파에 열처리가 가능한 가공식품으로 유황양파 착즙액을 제조하기로 결

*Corresponding author: Jeonghee Surh, Department of Food and Nutrition, Kangwon National University, Samcheok, Gangwon 245-907, Korea
Tel: 82-33-540-3314
Fax: 82-33-540-3319
E-mail: jsurh@kangwon.ac.kr
Received August 12, 2013; revised December 29, 2013; accepted December 31, 2013

정하였다. 이를 위한 열처리 조건을 선정하기 위해 전보에서 보고한 유향처리 횟수가 다른 두 종류의 양파를 원료로 하여 착즙 온도와 시간이 다른 총 10종의 유향양파 착즙액을 생산하였다. 열처리와 유향시비에 따른 양파즙의 품질 특성을 해석하기 위해 (i) 착즙액의 품질특성 지표로 수분, 수용성 고형분, 점도, 관능적 특성 등을 평가하였고 (ii) 열처리에 의한 양파의 관능적 특성과 기능성의 변화를 모니터링하는 지표로 각각 thiosulfinate와 flavonoids를 선택하여 분석하였다.

재료 및 방법

실험재료 및 시약

본 실험에 사용된 양파즙은 2012년 9월 강원도 삼척 양파작목 영농조합법인으로부터 공급받았다. 양파즙 제조에는 재배 기간 중 유향 처리 횟수를 달리하여 생산된 2종의 유향양파가 사용되었다. 전보에서 보고한 것과 같이(10) 원재료인 유향양파 2종은 강원도 삼척에 위치한 유기농 대지에서 2011년 9월-2012년 6월 말의 기간에 재배되었으며, i) 파종 시 토양에 식이유향 methyl-sulfonylmethane (MSM, Y&J Farm, Yeosu, Korea)을 1 회 처리하고, 수확 2달 전에 제독유향(HS Bio Co, Incheon, Korea)을 1 회 처리한 군(Sulfur-1)과, (ii) 파종 시 토양에 직접 MSM을 1회 처리하고, 수확 3달 전부터 수확 1달 전까지 일정 간격으로 제독유향을 총 4회 처리한 군(Sulfur-4)으로 구별하여, 그 외 조건은 동일하게 유지하며 재배·생산되었다. MSM과 제독유향의 처리량은 제품에 기재되어 있는 '단위 면적 당 사용량'을 준수하여 토양에 처리한 MSM은 3 kg/200-250평, 추비로 사용된 제독유향은 1 kg/300평이었다. 양파즙은 2012년 8월 말에 2종의 양파 Sulfur-1과 Sulfur-4를 별도의 처리 없이 껍질 채 수돗물로 5회 이상 세척한 후 양파 과육(bulb scales)과 그 주위의 한 겹 껍질(tunic, onion skin)을 유지한 채 분쇄기(D&J Medical, Gwangmyeong, Korea)에 넣어 잘게 분쇄하였다. 이후 물과 함께 착즙기(D&J Medical, Gwangmyeong, Korea)에 넣어 Table 1과 같이 착즙 온도와 시간을 달리하여 제조되었다. 실험에 사용된 착즙 온도와 시간은 (i) 지역 소규모 과채류 착즙액 제조자가 통상적으로 사용하는 조건을 포함하여, (ii) 예비실험을 통해 착즙 시 양파 조직의 붕괴를 용이하게 하여 적절한 수율의 양파즙을 얻을 수 있고, 지나친 가열로 탄화가 발생하지 않으며, 관능적 기호도를 고려하여 불쾌한 풍미를 유발하지 않는 범위 안에서 결정되었다. 대조군으로는 동일 시기에 국내산 양파로 제조된 양파즙(Muan, Korea) 1종을 선정하여 양파즙의 이화학적·관능적 품질 특성에 대한 비교 지표로 실험에 사용하였다.

실험에 사용된 sodium hydroxide은 Showa Chemical Industry Co. (Tokyo, Japan)의 특급시약을 사용하였으며, quercetin, N-(2-

hydroxyethyl)peperazine-N-2-ethane sulfonic acid (HEPES), 5,5-dithiobis (2-nitrobenzoic acid) (DTNB), aluminum chloride hexahydrate ($AlCl_3$), potassium acetate (CH_3COOK), cysteine은 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)로부터 구입하여 사용하였다. 시약 조제에는 탈염·탈이온수가 사용되었다.

양파즙의 수분, 수용성 고형분(Soluble Solid), pH, 유기산

양파즙의 수분 함량은 적외선 수분측정기(MB45 Moisture Analyzer, OHAUS, Nanikon, Switzerland)로 측정하였다. 수용성 고형분 함량(soluble solid content)은 양파즙 속 입자들에 의한 굴절률(refractometer, PR201, Atago, Tokyo, Japan)을 측정하여 당의 농도(Degrees Brix, °Bx)로 나타내었다. 양파즙의 pH는 추가의 희석 과정 없이 pH meter (725P, Istek, Seoul, Korea)로 바로 측정하였다. 유기산 함량(titratable acidity)은 양파즙에 증류수를 첨가하여 20배 희석한 후 0.01 N ($F=0.99$) NaOH로 중화적정하여 소모된 NaOH 부피로부터 양파즙 속 총산의 함량을 양파 속 대표적 유기산인 구연산(citric acid, 64.04 g/molar equivalent)의 함량으로 산출하였다(22).

양파즙의 thiosulfinate와 flavonoid 함량

유향처리 횟수와 열처리 조건이 다른 10종 양파즙에서 양파의 대표적 함량 함유성분(sulfur-containing organic compounds)인 thiosulfinate를 정량 분석하였다. Thiosulfinate 1분자와 cysteine 2분자가 반응하여 S-alkenyl 혹은 S-alkylmercaptocysteine을 형성하는 원리를 활용하였다. 시료에 충분한 양의cysteine을 첨가하여 시료 속 thiosulfinate와 반응시킨 후 남은 cysteine을 DTNB와 반응시켜 발색물을 형성시킴으로써 감소한 cysteine의 함량을 통해 최종적으로 시료의 thiosulfinate 함량을 역정량하였다(23). 즉, 양파즙 0.1 mL에 2 mM cysteine (in 50 mM HEPES, pH 7.5) 용액 0.5 mL 가하고 50 mM HEPES 용액으로 총 반응용액의 부피를 5 mL로 조정한 후 shaking water bath (BS21, Jeio Tech, Daejeon, Korea)로 27°C에서 10 min 동안 반응시켰다. 이 과정에서 얻어진 반응 용액 중 1 mL 취하여 0.4 mM DTNB (in 50 mM HEPES) 1 mL를 가하여 잘 혼합한 후 27°C에서 10 min 반응 시킨 다음 spectrophotometer (UV-1650, Shimadzu, Kyoto, Japan)로 412 nm에서 흡광도를 측정하였다. Cysteine을 농도별로 조제하여 얻은 표준검량곡선으로부터 시료 추출물의 총 thiosulfinate 함량을 역산출하였다. 한편, 양파즙의 flavonoid함량은 flavonoid가 알칼리 상태에서 aluminum과 분홍색의 complex (flavonoid-aluminum complex)를 형성하는 원리를 바탕으로 한 Zhuang 법으로(24) 양파즙의 희석 과정 없이 분석하였다. 양파즙 200 μ L에 10% (w/v) $NaNO_2$ 60 μ L, 20% $AlCl_3$ 120 μ L를 혼합한 후 1 N NaOH용액 400 μ L와 증류수 800 μ L를 순서대로 첨가하고 5 min 후 spectrophotometer

Table 1. Preparation condition of the onion juices used in this study¹⁾

Sample	Onions	Onion juice ingredients	Temperature (°C)	Time	Yield (L)
105°C 5 h	Sulfur-1 or Sulfur-4	Onion 20 kg + Water 500 mL	105	5 h	8.5
110°C 5 h 10 min			110	5 h 10 min	9.0
115°C 5 h 20 min			115	5 h 20 min	11.1
120°C 4 h 30 min			120	4 h 30 min	11.9
120°C 5 h 30 min			120	5 h 30 min	11.9
Control					

¹⁾Onion juices were prepared using Sulfur-1 or Sulfur-4 onions at each temperature and time, with other processing conditions being equal. The onion juices were packaged in 100 mL polyethylene pouch bags. The Control-M sample was the commercial onion juice used as a control.

(UV-1650, Shimadzu, Kyoto, Japan)로 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. Quercetin을 농도별로 조제하여 얻은 표준정량곡선으로부터 양파즙의 총 flavonoid 함량을 quercetin의 농도로 나타내었다.

양파즙의 색과 흐름특성

양파즙에 증류수를 첨가하여 10배 희석시킨 후 spectrophotometer (UV-1650, Shimadzu, Kyoto, Japan)로 420 nm (A420)와 520 nm (A520)에서 흡광도를 측정하였다. 양파즙의 색 특성은 color intensity (A420+A520)를 계산하여 비교하였다. 또한, 일정량의 양파즙을 종이컵에 취한 후 디지털 카메라(VLUU PL90, Samsung, Suwon, Korea)로 촬영하여 색 특성을 비교하였다. 양파즙의 흐름 특성(flow behavior)은 직경 20 mm의 parallel plate가 장착된 rheometer (AR 2000, TA instruments, New Castle, DE, USA)로 25°C에서 shear rate (1/s)을 0에서 300까지 증가시키며 shear stress의 변화를 모니터링 하여 양파즙의 흐름 특성과 점도를 평가하였다.

양파즙의 관능적 특성

양파즙의 관능검사는 강원대학교 식품영양학과 재학생 중 관능검사 경험이 있는 30명을 패널로 선정하여 실험목적과 양파즙의 품질특성에 대하여 사전 교육을 실시한 후 5점 평점법(5-point scaling)으로 평가하였다. 사전 교육에는 관능검사에 기재된 각 관능적 특성에 해당하는 용어의 정의 설명도 포함하였다. 열처리 조건을 달리하여 제조된 Sulfur-1 양파즙 5종과 대조군 양파즙 1종은 (i) 양파즙의 관능적 특성 평가영역과 (ii) 그 특성에 대한 개인적 기호도 영역으로 구분하여 평가되었다. 관능 검사자가 한번에 평가할 수 있는 시료 수를 고려하여 Sulfur-4 양파즙의 관능검사는 Sulfur-1 양파즙과 평가 시간을 달리하였으며 동일한 대조군 양파즙 1종을 포함하여 실시하였다. 관능검사 시 양파즙은 생수와 함께 제시되었다. 품질평가를 위한 관능적 특성들은 삼척 양파영농조합법인에 소속된 양파재배 농민들의 설명을 참조하여 선정하였으며, 개별 관능적 특성에 대한 용어 정의는 ‘국립국어원표준국어대사전’에 근거하였다(25). 평가된 관능적 특성으로는, 색(color; 매우 옅은 갈색이다-매우 짙은 갈색이다), 양파즙의 부유물 정도(degree of suspended onion pulp; 양파 착즙 시 함께 추출되어 나온 양파의 잔여물을 말하며, 저었을 때 양파즙에 뜨는 양파 부유물의 정도), 고유의 향(onion savory aroma; 향이 고소하며 양파스내과 유사한 냄새가 나는 정도), 이취(off-flavor; 거부감이 드는 불쾌한 양파의 냄새), 양파즙의 점도(viscosity/flow behavior; 양파즙을 저었을 때 액체가 묽어 잘 저어지는 것과, 걸쭉하여 저을 때 힘이 가해지는 정도), 단맛(sweetness), 진한 맛(concentrated taste of the onion juice; 오래 달여 농축된 즙으로 양파 맛이 깊은 정도), 쓴맛(bitter aftertaste), 이미(off-taste; 불쾌한 맛), 양파즙이 입안에 부착되는 정도(mouthcoating/degree of coating in the mouth; 양파즙을 마실 때 혀와 입, 천장 등에 양파즙이 들어붙어 입안에 남아있는 잔존감으로, 입안이 코팅되는 정도)가 있었으며, ‘각 특성이 약한 경우’를 1점으로 하고 ‘그 특성이 강한 경우’를 5점으로 하여 평가하였다. 각 특성에 대한 기호도와 종합적 기호도(overall acceptability)는 ‘매우 나쁘다’를 1점으로 하고 ‘매우 좋다’를 5점으로 하여 평가하였다.

자료의 통계처리

유향처리 횟수 및 열처리 조건에 따른 양파즙의 품질 특성은 통계처리 프로그램 SAS (version 9.1 for windows, Cary, NC, USA)를 이용하여 평균값과 표준편차로 나타내었으며, ANOVA,

Duncan's multiple range test로 각각의 특성에 대해 유의적인 차이가 있는지를 검증하였다. 별도의 교호작용을 삽입하지 않고 (i) 유향처리 횟수가 동일한 양파들 사이에서 열처리 조건에 따른 영향과 (ii) 유향처리 횟수가 다른 양파에 동일한 열처리 조건을 가했을 때의 영향으로 분석 데이터를 배열한 후 통계처리를 실시하여 결과를 제시하였다.

결과 및 고찰

양파즙의 수분, 수용성 고형분, pH, 유기산

Sulfur-1과 Sulfur-4로 제조된 양파 착즙액의 수분 함량은 열처리 조건 중 가장 mild한 105°C 5 h 조건에서 유의적으로 높았으며, 착즙 온도가 높고 시간이 길어질수록 감소하는 경향을 나타내었다(Table 2). 또한, 열처리 조건이 강해질수록 수용성 고형분은 증가하여($p<0.001$), 열에 의해 양파 조직의 붕괴가 용이해져 양파 내부에 존재하는 구성성분들의 분해 및 용출이 증가했음을 시사해 주었다. 실제로도 양파 착즙액 수율은 열처리 강도에 비례하여 증가하는 결과를 보였다(Table 1). 한편, 동일한 열처리 하에서는 유향 처리 횟수가 상대적으로 많았던 Sulfur-4 양파즙이 Sulfur-1 양파즙에 비해 수용성 고형분 함량이 유의적으로 높았다($p<0.01$). 특히, 120°C에서 착즙된 Sulfur-4 양파즙들은 동일 조건의 Sulfur-1 양파즙과 비교할 때 수분은 낮고($p<0.05$) 수용성 고형분은 높아($p<0.001$), 양파 재배 중 유향시비 횟수에 따라 다른 결과를 나타내었다. 이는, 황 처리 작물에서 건조중량(yield of dry matter)이 증가했던 결과들로 일부 해석될 수 있다(26-28). 실제로 전보에서 원재료 Sulfur-4 양파는 Sulfur-1 보다 수분은 낮고, 단백질, 식이섬유, 조회분은 높은 것으로 확인되었다(10).

Sulfur-1과 Sulfur-4 양파즙의 총산 함량은 105°C 5 h 조건에서 구연산(citric acid) 기준으로 0.18%와 0.14%이었다. 이 수치는 열처리 조건을 120°C 5 h 30 min으로 높였을 때 각각 0.22%와 0.20%로 증가하여($p<0.001$) pH가 유의적으로 감소되는 결과를 가져왔다($p<0.001$) (Table 2). 이는 가열 온도와 시간이 증가되면서 (i) 식물 세포 안 액포(vacuole)에 주로 위치하는 유기산이 세포벽 및 세포 내 소기관들의 붕괴와 함께 용출이 증가되었고(29), (ii) 새로운 산이 추가적으로 생성된 결과로 해석할 수 있다. Clydesdale 등(30)은 채소류의 가열 중 glutamine의 열분해로 생성되는 pyroglutamic acid가 열처리 후 채소류에서 관찰되는 산도 증가와 pH 감소의 주요 원인으로 보고한 바 있다. 동일한 열처리 하에서 Sulfur-1과 Sulfur-4의 총산 함량은 그 차이가 일관된 경향을 나타내지 않았음에도 Sulfur-4 양파즙은 Sulfur-1 양파즙에 비해 낮은 pH를 나타내었다($p<0.001$). 유기산은 종류에 따라 서로 다른 pKa값을 가지므로 이 결과는 Sulfur-1과 Sulfur-4 양파즙을 구성하는 유기산 조성이 다를 수 있음을 시사하였다.

양파즙의 thiosulfinate와 flavonoids

Thiosulfinate는, 세포질에 존재하는 전구체인 S-(1-propenyl)-L-cysteine sulfoxide와 액포에 존재하는 allinase가 양파 조직이 파괴될 때 만나서 형성되는 양파의 매운 맛과 향의 주성분으로 가열에 의해 disulfides, trisulfides, thiols, thiophenes 등의 다양한 황 함유 유도체들로 분해될 수 있다(6). 양파 착즙액의 thiosulfinate 함량은 열처리가 강할수록, 유향시비 횟수가 많을수록 높은 경향을 나타내었으나 유의적 수준은 아니었다(Table 3). 양파즙 제조 시 양파를 분쇄하는 단계에서 효소적 반응으로 형성된 thiosulfinate는 이후 105-120°C 고온의 열처리에서 저분자의 황 함유 화합물로 분해될 수 있음을 고려하면, 본 실험에서 사용한 온도와 시간

Table 2. Chemical composition of the onion juices prepared by different heat treatment¹⁾

	Moisture (%)		Soluble solid (°Bx)		Titratable acidity (% citric acid)		pH	
	Sulfur-1	Sulfur-4	Sulfur-1	Sulfur-4	Sulfur-1	Sulfur-4	Sulfur-1	Sulfur-4
105°C 5 h	94.3±0.6 ^a	92.1±0.6 ^{ab}	6.0±0.0 ^d	8.1±0.1 ^c	0.18±0.02 ^{abc}	0.14±0.00 ^d	4.98±0.01 ^a	4.79±0.00 ^a
110°C 5 h 10 min	93.7±0.1 ^a	90.5±1.1 ^{bc}	7.2±0.0 ^b	11.3±1.5 ^a	0.16±0.00 ^c	0.21±0.01 ^b	4.93±0.1 ^b	4.79±0.00 ^a
115°C 5 h 20 min	94.5±1.4 ^a	90.1±0.1 ^c	6.8±0.2 ^c	9.5±0.6 ^b	0.20±0.01 ^{abc}	0.22±0.01 ^a	4.87±0.01 ^c	4.75±0.00 ^b
120°C 4 h 30 min	93.4±0.4 ^a	90.5±0.0 ^{bc}	6.8±0.1 ^c	9.6±0.0 ^b	0.18±0.01 ^{bc}	0.18±0.08 ^c	4.92±0.01 ^b	4.76±0.00 ^b
120°C 5 h 30 min	92.7±0.1 ^b	90.4±0.2 ^{bc}	7.5±0.1 ^a	9.8±0.0 ^b	0.22±0.04 ^{ab}	0.20±0.00 ^b	4.77±0.00 ^d	4.76±0.00 ^b
Control	93.0±0.1 ^a	93.0±0.1 ^a	6.9±0.1 ^c	6.9±0.1 ^d	0.23±0.00 ^a	0.23±0.00 ^a	4.55±0.02 ^e	4.55±0.02 ^c
<i>p</i> value	NS	<0.05	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

¹⁾Value was expressed as the average±standard deviation of triplicates. ^{a-e}: Values with different superscripts in the same column are significantly different. NS means not significant. Statistical difference in the chemical composition between Sulfur-1 and Sulfur-4 onion juices at each preparation condition was also presented.

Table 3. Thiosulfinate and flavonoids contents of the onion juices prepared by different heat treatment¹⁾

Samples	Thiosulfinate (μg alliin/mL onion juice)		Total Flavonoids (μg quercetin/mL onion juice)	
	Sulfur-1	Sulfur-4	Sulfur-1	Sulfur-4
105°C 5 h	780.3±189.5 ^a	854.7±180.7 ^a	373.0±119.0 ^c	491.0±230.0 ^c
110°C 5 h 10 min	786.0±47.7 ^a	973.0±83.4 ^a	509.3±18.2 ^c	983.7±55.4 ^b
115°C 5 h 20 min	925.7±18.2 ^a	955.7±67.3 ^a	1511.3±45.6 ^a	1362.3±66.7 ^a
120°C 4 h 30 min	879.0±73.6 ^a	917.3±30.1 ^a	1135.3±46.3 ^b	1210.0±133.7 ^{ab}
120°C 5 h 30 min	957.3±133.1 ^a	1026.3±136.3 ^a	1028.7±40.3 ^b	1463.3±38.7 ^a
Control	934.3±57.1 ^a	934.3±57.1 ^a	995.7±234.4 ^b	995.7±234.4 ^b
<i>p</i> value	NS	NS	<0.001	<0.001

¹⁾The value expressed as the average±standard deviation of triplicates. ^{a-c}: Values with different superscripts in the same column are significantly different. NS means not significant. Statistical difference between Sulfur-1 and Sulfur-4 onion juices at each preparation condition was also presented.

Fig. 1. Color characteristics of the onion juices prepared by various heat treatments to Sulfur-1 or Sulfur-4 onions. Photograph (A), and color intensity (B). Different large or small letters on the bars mean significant differences in the color intensity of onion juices made from Sulfur-1 or Sulfur-4 onions, respectively. *, **, and *** represent significant differences at $\alpha=0.05$, 0.01, and 0.001, respectively.

조건에서는 thiosulfate의 분해반응 속도가 유의적 차이가 없었음을 시사하고 있다.

Sulfur-1, Sulfur-4 양파즙의 총 flavonoids 함량은 quercetin 기준으로 105°C 5 h 조건에서 373.0 $\mu\text{g/mL}$ 와 491.0 $\mu\text{g/mL}$ 이었으며, 열처리 조건을 120°C 5 h 30 min으로 높였을 때 각각 1028.7 $\mu\text{g/mL}$ 와 1463.3 $\mu\text{g/mL}$ 로 증가하였다($p<0.001$, Table 3). 이는, 마늘(16), 포도씨(20), 버섯(17), 토마토(18) 등 과일, 채소류에서 열처리에 의해 flavonoids가 증가된 현상과 일치하였다. 열처리 공정에 의해 (i) 식물 조직 및 세포 조직의 붕괴가 용이하게 일어나 matrix 내부에서 불용성(insoluble) 형태로 존재하던 flavonoids가 용해성(soluble) flavonoids 형태로 바뀌어 용출이 증가하였고(17,18,20), (ii) 배당체(glycosylated, bound) 형태로 존재하는 flavonoids가 열분해되어 유리(free) 형태의 flavonoids로 전환이 일어났기 때문으로 해석되고 있다(17). 실제로 Choi 등(17)은 열처리한 표고버섯에서 가열온도와 시간이 증가함에 따라 결합형(bound) polyphenol과 flavonoids는 감소하고, 유리형 polyphenol과 flavonoids는 증가하였다고 보고하였다. 또한, (iii) flavonoids 등 항산화 성분을 파괴하는 산화효소(oxidative enzyme)와 분해효소(hydrolytic enzyme) 등이 열처리에 의해 불활성화되어 항산화 성분의 효소적 산화에 의한 손실을 감소시킨 결과로 해석되고 있다(18). 한편, Sulfur-4 양파즙은 Sulfur-1 양파즙에 비해 총 flavonoids 함량이 높은 경향

을 나타내었다(Table 3). 이는, 전보에서 원재료인 Sulfur-1 양파보다 Sulfur-4 양파가 총 phenol 함량(1,186 vs. 1,312 μg quercetin/g)이 높았던 결과와 일치하였다(10).

양파즙의 색도와 점도

열처리 조건이 강해질수록 육안으로 관찰된 양파 착즙액의 색은 어두워지는 경향을 나타내었으며(Fig. 1A), 기계적으로 측정된 양파즙의 색 강도(color intensity) 역시 유의적으로 증가하였다($p<0.001$, Fig. 1B). 이는 (i) 착즙온도가 높고 시간이 길어질수록 당과 아미노 화합물 사이의 Maillard 갈변 반응 속도가 증가하고, (ii) 과당(melting point 110°C) 등 일부 용점이 낮은 당들에 의한 caramelization이 증가한 결과로 해석할 수 있다(6,31). Woo 등(32)은 110-150°C 온도에서 가열시간을 달리하여 제조한 양파즙이 온도와 시간이 증가될수록 과당이 감소된 현상을 비효소적 갈변반응으로 해석하였다. 한편, Sulfur-4 양파즙은 Sulfur-1 양파즙보다 색 강도가 유의적으로 높았다($p<0.05$). 이는 일반적으로 작물의 건조중량이 유황처리 시 증가하고(26-28), Sulfur-4 양파가 Sulfur-1 양파에 비해 단백질 등 고형분의 함량이 높았던 결과를 고려할 때(10) 비효소적 갈변반응의 기질이 Sulfur-4 양파가 상대적으로 더 풍부했기 때문으로 사료된다.

열처리 강도가 높고 유황처리 횟수가 증가할수록 양파 착즙액에서 관찰된 수분 감소와 수용성 고형분 증가 현상은(Table 2) 양파즙이 농축되어감(concentration)을 시사하였다. 이에 따라, 열처리 조건과 유황시비가 양파즙의 점도와 흐름특성에 미친 영향을 평가하였다(Fig. 2). Rheometer로 측정된 양파 착즙액은 전형적인 Newtonian fluid의 특성을 나타내었으며, 열처리 강도에 따른 차이는 관찰되지 않았다. 그러나, 5중 Sulfur-1 양파즙은 대조군 Control (M)보다 점도가 낮았으며, 5중 Sulfur-4 양파즙은 대조군과 차이를 나타내지 않아 유황시비에 의한 영향은 관찰되었다.

양파즙의 관능적 특성

열처리 조건과 유황시비에 따른 양파즙의 관능적 특성 및 기호도에 대한 평가 결과는 Table 4, 5와 같다. 열처리 조건이 강해질수록 양파즙의 색은 진한 갈색을 띄어 유의적 차이를 나타내었으며($p<0.001$), Sulfur-4 양파즙이 Sulfur-1 양파즙보다 색의 강도가 강한 것으로 평가되어 기계적 측정 결과(Fig. 1)와 일치하였다. 양파즙의 부유물 양은 열처리 강도와 뚜렷한 상관성을 보이지 않았으나, 부유물이 많은 양파즙일수록 기호도가 낮아 부정적 관능인자로 확인되었다. 양파즙 고유의 향과 이취는 대조군에 비해서는 유의적으로 낮았으나($p<0.001$) 열처리 조건 및 유황시비에 따른 차이는 인지되지 않았다. 평가자들은 105°C 5 h의 양파즙이 다른 조건의 양파즙들에 비해 점도가 낮은 것으로 평가하였다($p<0.01$). 이 결과는 105°C 5 h의 양파즙이 다른 조건의 양파즙에 비해 수분함량은 높고, 수용성 고형분 함량은 낮았던 사실(Table 2)과 관련될 수 있다. 그러나, 기계적으로 측정된 점도는 동일한 유의적 차이를 나타내지 않았다(Fig. 2). 반면, Sulfur-1 양파즙보다 Sulfur-4 양파즙이 상대적으로 점도가 높은 것으로 평가되었다. 이 결과는 수분, 수용성 고형분 등 화학적 조성 결과(Table 2)와 기계적 점도 측정 결과(Fig. 2)와 일치하였다. 열처리 조건이 가장 강한 120°C 5 h 30 min의 양파즙은 가장 약한 105°C 5 h의 양파즙보다 단맛($p<0.05$), 진한 맛($p<0.001$), 쓴맛($p<0.01$)이 모두 강한 것으로 평가되었으나, 각 관능적 특성에 대한 기호도에 유의적 차이를 미칠 수준은 아닌 것으로 나타났다. 또한, 평가자들은 수용성 고형분(Table 2)과 점도(Fig. 2)가 상대적으로 높아 진한 맛의 관능적 특성이 클 것으로 예상되었던

Fig. 2. Rheological properties of the onion juices prepared by different heat treatments. Flow curves with increasing shear rate ($1\text{--}300\text{ s}^{-1}$) were obtained at 25°C . Shear rate vs. shear stress (A), and shear rate vs. viscosity (B)

Sulfur-4 양파즙에 대해 Sulfur-1 양파즙과 유의적 차이가 없는 것으로 평가하였다. 한편, 열처리 조건과 유통시비에 따른 양파즙 이미(off-taste)와 입안에 부착되는 정도는 유의적 차이가 없는 것으로 평가되었다.

종합적 기호도로 Sulfur-1 양파즙은 (i) 관능적 특성의 부정적 인자인, 이취, 이미, 쓴맛에서는 낮은 특성을 보이고, (ii) 긍정적 인자인 단맛, 진한 맛에서는 상대적으로 높은 특성을 보인 120°C 5 h 30 min 조건의 양파즙이 상대적으로 높은 기호도를 나타내었다. 반면, Sulfur-4 양파즙은 가장 온화(mild)한 105°C 5 h 조건의 양파즙이 다른 조건들의 양파즙보다 (i) 부정적 인자인 부유물은 유의적으로 높은 특성을, (ii) 긍정적 인자인 단맛, 진한 맛은 낮은 특성을 나타내었다. Sulfur-4 양파즙은 Sulfur-1 양파즙보다 열처리 증가에 따른 색도(color intensity) 증가 폭이 크게 나타나, 가장 mild한 조건과 강한 조건 사이에 뚜렷한 기호도 차이를 보여주었다. 이에 따라, 110°C 5 h 10 min 조건의 양파즙이 유의적이지는 않으나 종합적 기호도가 상대적으로 높게 나타났다.

요 약

양파 재배 중 유통 엽면시비 횟수를 1회, 4회로 달리하여 생산된 2종의 양파(Sulfur-1, Sulfur-4)를 착즙온도와 시간을 달리하

여 105°C 5 h, 110°C 5 h 10 min, 115°C 5 h 20 min, 120°C 4 h 30 min, 120°C 5 h 30 min 조건으로 총 10종의 양파즙을 제조하여, 유통 시비와 열처리 조건이 양파즙의 품질 특성에 미치는 영향을 탐색하였다. 양파즙은 열처리 강도에 비례하여 갈색화 양상을 나타내었으며($p<0.001$), 이는 색 특성에 대한 기호도 및 종합적 기호도에 유의적 영향을 준 것으로 평가되었다. 착즙 온도가 높고 시간이 길어질수록 양파즙의 유기산 함량은 유의적으로 증가하여($p<0.001$) pH는 감소하였다($p<0.001$). 양파 분쇄 단계에서 형성된 thiosulfinate는 $105\text{--}120^{\circ}\text{C}$ 고온의 열처리 하에서 유의적 차이를 나타내지 않음으로써 thiosulfinate가 저분자 황화합물로 분해되는 속도가 유의적 차이가 없었음을 시사하였다. 총 flavonoids 함량은 열처리 조건이 강할수록 유의적으로 증가하였다($p<0.001$). 이는 열처리에 의해 당 등과 결합형태로 존재하는 flavonoids들이 유리형으로 전환되고, 또한 양파 조직의 붕괴가 용이하게 일어남에 따라 matrix로부터 flavonoids의 용출이 증가한 결과로 사료된다. 동일한 조건하에서는 유통처리 횟수가 많은 Sulfur-4 양파즙이 Sulfur-1 양파즙보다 flavonoids 함량이 높은 경향을 보였다. 본 연구는 (i) 양파즙 제조 시 가해진 열처리는, 양파 내부에 존재하는 성분들의 용출과, Maillard 갈변반응, caramelization 등 화학반응 속도에 영향을 주었으며, 이러한 화학적 변화가 양파즙의 색, 점도 등 물리적 특성에 영향을 주었음을 시사해 주었다. 또한 (ii)

Table 4. Sensory characteristics of the onion juices prepared by different heat treatments¹⁾

Sample	Color		Degree of suspended onion pulp		Onion savory aroma		Off-flavor	
	Sulfur-1	Sulfur-4	Sulfur-1	Sulfur-4	Sulfur-1	Sulfur-4	Sulfur-1	Sulfur-4
105°C 5 h	1.6±0.7 ^d	1.7±0.8 ^d	2.8±1.2 ^b	4.1±1.2 ^a	2.7±0.9 ^b	2.8±1.1 ^b	2.8±1.2 ^b	2.5±1.3 ^b
110°C 5 h 10 min	2.6±0.9 ^c	3.5±1.1 ^c	3.7±1.2 ^a	2.1±1.0 ^b	2.3±0.9 ^b	3.3±0.9 ^{ab}	2.7±1.1 ^b	2.8±1.1 ^b
115°C 5 h 20 min	3.2±0.8 ^b	3.9±0.8 ^{bc}	2.2±0.8 ^c	1.7±0.8 ^b	2.6±0.9 ^b	2.8±1.2 ^b	2.9±0.9 ^b	2.8±1.1 ^b
120°C 4 h 30 min	3.5±0.9 ^b	3.8±0.8 ^{bc}	1.8±0.8 ^c	1.2±0.5 ^c	2.8±1.3 ^b	2.8±1.1 ^b	2.9±1.0 ^b	2.8±1.1 ^b
120°C 5 h 30 min	3.3±0.7 ^b	4.2±0.7 ^b	3.3±1.2 ^{ab}	2.1±1.0 ^b	2.5±1.1 ^b	3.3±0.9 ^{ab}	2.4±1.1 ^b	2.9±1.0 ^b
Control	4.7±0.7 ^a	4.7±0.7 ^a	2.0±1.1 ^c	2.0±1.1 ^b	3.6±1.0 ^a	3.6±1.0 ^a	3.7±1.1 ^a	3.7±1.1 ^a
<i>p</i> value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01	<0.001	<0.001
Sample	Viscosity/flow behavior		Sweetness		Concentrated taste		Bitter aftertaste	
	Sulfur-1	Sulfur-4	Sulfur-1	Sulfur-4	Sulfur-1	Sulfur-4	Sulfur-1	Sulfur-4
105°C 5 h	2.1±1.1 ^c	1.7±0.8 ^b	2.4±1.3 ^a	1.9±1.1 ^c	2.7±1.2 ^b	1.9±1.0 ^b	2.4±1.2 ^c	2.5±1.3 ^{bc}
110°C 5 h 10 min	2.6±1.0 ^{bc}	3.6±1.0 ^a	2.6±1.3 ^a	2.9±1.4 ^{ab}	3.3±1.0 ^a	3.2±1.2 ^a	2.9±1.0 ^{bc}	3.0±1.4 ^{abc}
115°C 5 h 20 min	3.1±1.3 ^{ab}	3.5±1.2 ^a	1.7±1.0 ^b	2.4±1.4 ^{abc}	3.2±1.1 ^{ab}	3.6±1.2 ^a	3.8±1.2 ^a	3.6±1.2 ^a
120°C 4 h 30 min	3.1±1.3 ^{ab}	3.3±1.3 ^a	2.3±1.3 ^{ab}	2.9±1.4 ^a	3.1±1.1 ^{ab}	3.1±1.1 ^a	3.2±1.5 ^{ab}	2.4±1.3 ^c
120°C 5 h 30 min	3.1±1.2 ^{ab}	3.5±1.1 ^a	2.8±1.2 ^a	2.6±1.2 ^{abc}	3.3±1.1 ^a	3.6±1.1 ^a	2.7±1.2 ^{bc}	3.1±1.3 ^{ab}
Control	3.4±1.4 ^a	3.4±1.4 ^a	2.2±1.3 ^{ab}	2.2±1.3 ^{bc}	3.7±1.2 ^a	3.7±1.2 ^a	2.9±1.4 ^{bc}	2.9±1.4 ^{bc}
<i>p</i> value	<0.01	<0.001	<0.01	<0.05	<0.001	<0.001	<0.01	<0.01
Sample	Off-taste		Mouth coating					
	Sulfur-1	Sulfur-4	Sulfur-1	Sulfur-4	Sulfur-1	Sulfur-4	Sulfur-1	Sulfur-4
105°C 5 h	3.1±1.3 ^{ab}	2.8±1.3 ^{ab}	2.1±1.1 ^a	1.7±0.9 ^b	2.1±1.1 ^a	1.7±0.9 ^b	2.1±1.1 ^a	1.7±0.9 ^b
110°C 5 h 10 min	3.1±1.1 ^{ab}	2.7±1.3 ^a	2.5±1.1 ^a	2.2±1.2 ^{ab}	2.5±1.1 ^a	2.2±1.2 ^{ab}	2.5±1.1 ^a	2.2±1.2 ^{ab}
115°C 5 h 20 min	3.7±1.1 ^a	2.9±1.1 ^{ab}	2.5±1.1 ^a	2.5±1.3 ^a	2.5±1.1 ^a	2.5±1.3 ^a	2.5±1.1 ^a	2.5±1.3 ^a
120°C 4 h 30 min	3.3±1.3 ^{ab}	3.0±1.3 ^{ab}	2.4±1.4 ^a	1.9±1.0 ^{ab}	2.4±1.4 ^a	1.9±1.0 ^{ab}	2.4±1.4 ^a	1.9±1.0 ^{ab}
120°C 5 h 30 min	2.9±1.1 ^b	3.2±1.1 ^{ab}	2.6±1.2 ^a	2.2±0.9 ^{ab}	2.6±1.2 ^a	2.2±0.9 ^{ab}	2.6±1.2 ^a	2.2±0.9 ^{ab}
Control	3.4±1.2 ^{ab}	3.4±1.2 ^a	2.1±1.2 ^a	2.1±1.2 ^{ab}	2.1±1.2 ^a	2.1±1.2 ^{ab}	2.1±1.2 ^a	2.1±1.2 ^{ab}
<i>p</i> value	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

¹⁾Value was expressed as the average±standard deviation. The values were statistically compared depending on onion type (sulfur-1 vs. sulfur-4) as well as heat treatment intensity. ^{ad}: Means with different superscripts in the same column are significantly different. NS means not significant. Sensory characteristics of the onion juices were assessed by using the scoring difference test of 5-point numerical scale, i.e., ranging from 1 (weak) to 5 (strong).

Table 5. Preference for the sensory characteristics of the onion juices by different heat treatments¹⁾

Sample	Color		Degree of suspended onion pulp		Onion savory aroma		Off-flavor	
	Sulfur-1	Sulfur-4	p value	Sulfur-1	Sulfur-4	p value	Sulfur-1	Sulfur-4
105°C 5 h	3.3±1.1 ^{ab}	3.3±1.3 ^a	NS	3.0±1.1 ^b	1.8±0.8 ^c	<0.001	3.3±0.8 ^{ab}	3.1±1.2 ^a
110°C 5 h 10 min	3.7±0.9 ^a	2.8±0.9 ^{ab}	<0.001	2.3±0.9 ^c	3.0±0.8 ^b	<0.01	3.2±0.6 ^{ab}	2.8±1.0 ^a
115°C 5 h 20 min	2.8±1.1 ^{bc}	2.9±0.9 ^{ab}	NS	3.3±0.7 ^{ab}	3.4±0.8 ^b	NS	3.4±0.8 ^a	3.2±1.0 ^a
120°C 4 h 30 min	2.7±1.2 ^{bc}	2.7±0.8 ^b	NS	3.6±0.8 ^a	3.9±0.8 ^a	NS	3.2±1.1 ^{ab}	2.8±1.1 ^a
120°C 5 h 30 min	2.7±0.9 ^{bc}	2.7±0.9 ^b	NS	2.4±0.9 ^c	3.0±1.0 ^b	<0.05	3.3±0.9 ^{ab}	2.9±0.9 ^a
Control	2.5±1.1 ^c	2.5±1.1 ^b		3.3±1.1 ^{ab}	3.3±1.1 ^b		2.8±1.1 ^b	2.8±1.1 ^a
p value	<0.001	<0.05		<0.001	<0.001		NS	NS
							<0.001	<0.01
Sample	Viscosity/flow behavior		Sweetness		Concentrated taste		Bitter aftertaste	
	Sulfur-1	Sulfur-4	p value	Sulfur-1	Sulfur-4	p value	Sulfur-1	Sulfur-4
105°C 5 h	3.7±0.8 ^a	3.3±1.0 ^a	NS	3.0±1.3 ^a	2.8±1.1 ^a	NS	3.3±1.0 ^{ab}	2.4±0.9 ^b
110°C 5 h 10 min	3.5±0.8 ^{ab}	3.0±0.8 ^a	<0.05	2.9±1.2 ^a	3.0±1.0 ^a	NS	2.8±0.9 ^b	3.3±1.2 ^a
115°C 5 h 20 min	3.2±0.7 ^{bc}	3.1±0.9 ^a	NS	2.1±1.0 ^b	2.9±1.2 ^a	<0.01	2.9±1.0 ^b	2.9±1.2 ^{ab}
120°C 4 h 30 min	3.0±0.9 ^c	3.2±0.9 ^a	NS	2.8±1.2 ^a	3.1±1.0 ^a	NS	2.9±0.8 ^b	3.3±0.9 ^a
120°C 5 h 30 min	3.0±0.7 ^c	3.3±1.0 ^a	NS	3.3±1.1 ^a	3.0±1.1 ^a	NS	3.5±1.1 ^a	2.9±1.0 ^{ab}
Control	3.0±1.0 ^c	3.0±1.0 ^a		2.9±1.1 ^a	2.9±1.1 ^a		2.9±1.1 ^b	2.9±1.1 ^{ab}
p value	<0.01	NS		<0.01	NS		<0.05	<0.01
							<0.01	NS
Sample	Off-taste		Mouth coating		Overall acceptability			
	Sulfur-1	Sulfur-4	p value	Sulfur-1	Sulfur-4	p value	Sulfur-1	Sulfur-4
105°C 5 h	2.8±1.2 ^{ab}	2.8±1.2 ^a	NS	3.2±0.9 ^a	3.4±1.0 ^a	NS	2.9±1.0 ^{ab}	2.5±1.0 ^a
110°C 5 h 10 min	2.7±1.1 ^{ab}	3.0±1.5 ^a	NS	2.9±0.9 ^a	3.4±1.1 ^a	<0.05	2.7±1.1 ^{abc}	3.0±1.4 ^a
115°C 5 h 20 min	2.3±1.0 ^b	2.8±1.1 ^a	NS	2.8±0.9 ^a	3.1±1.2 ^a	NS	2.3±0.7 ^c	2.9±1.2 ^a
120°C 4 h 30 min	2.6±1.2 ^{ab}	2.6±1.2 ^a	NS	3.0±1.1 ^a	3.4±0.9 ^a	NS	2.7±1.1 ^{abc}	2.9±1.2 ^a
120°C 5 h 30 min	3.1±1.1 ^a	2.5±1.2 ^a	<0.05	3.1±1.1 ^a	3.2±0.9 ^a	NS	3.3±1.1 ^a	2.7±1.2 ^a
Control	2.5±1.2 ^b	2.5±1.2 ^a		3.2±1.0 ^a	3.2±1.0 ^a		2.5±1.2 ^{bc}	2.5±1.2 ^a
p value	NS	NS		NS	NS		<0.01	NS

¹⁾Value was expressed as average±standard deviation. The values were statistically compared depending on onion type (sulfur-1 vs. sulfur-4) as well as heat treatment intensity. ^{a-c}: Means with different superscripts in the same column are significantly different. NS means not significant. Preferences to the onion juices and its characteristics were assessed by using the scoring difference test of 5-point numerical scale, i.e., ranging from 1 (dislike extremely) to 5 (like extremely).

양파즙에서 관찰된 이러한 화학적·물리적 변화의 기질을 Sulfur-1 양파보다 Sulfur-4 양파가 상대적으로 더 많이 보유함으로써 재배 중 유황처리 횟수가 양파즙의 품질에 영향을 주었음을 시사하였다.

References

1. Park H, Oyunzul G, Suh SW, Park YS, Jang JK, Chung MS, Choi YJ, Shim KS. Investigation of functional ingredients from onion according to the extraction methods, heat treatment, and storage period. *Food Eng. Prog.* 13: 92-98 (2009)
2. Pérez-Gregorio RM, García-Falcón MS, Simal-Gándara J, Rodríguez AS, Almeida DP. Identification and quantification of flavonoids in traditional cultivars of red and white onions at harvest. *J. Food Compos. Anal.* 23: 592-598 (2010)
3. Albishi T, John JA, Al-Khalifa AS, Shahidi F. Antioxidant, anti-inflammatory and DNA scission inhibitory activities of phenolic compounds in selected onion and potato varieties. *J. Funct. Foods* 5: 930-939 (2013)
4. Shon MY, Choi SD, Kahng GG, Nam SH, Sung NJ. Antimutagenic, antioxidant and free radical scavenging activity of ethyl acetate extracts from white, yellow and red onions. *Food Chem. Toxicol.* 42: 659-666 (2004)
5. Hovius MHY, Goldman IL. Flavor precursor [S-alk(en)yl-L-cysteine sulfoxide] concentration and composition in onion plant organs and predictability of field white rot reaction of onions. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 130: 196-202 (2005)
6. Lindsay RC. Flavors. pp. 639-687. In: *Food Chemistry*. Damodaran S, Parkin KL, Fennema OR (ed). CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, USA (2008)
7. Higuchi O, Tateshita K, Nishimura H. Antioxidative activity of sulfur-containing compounds in *allium* species for human low-density lipoprotein (LDL) oxidation in vitro. *J. Agr. Food Chem.* 51: 7208-7214 (2003)
8. Roldán-Marín E, Sánchez-Moreno C, Lloría R, de Ancos B, Cano MP. Onion high-pressure processing: Flavonol content and antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.* 42: 835-841 (2009)
9. Kwon EJ, Ryu DY, Surh JH. Quality characteristics of onions applied with methylsulfonylmethane (MSM) during cultivation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 45: 213-220 (2013)
10. Choi BG, Surh JH. Influence of the number of sulfur applications on the improvement of the chemical composition and quality of onions. *Korean J. Food Sci. Technol.* 45: 478-487 (2013)
11. Chung HD. Control of onion bulb rot during storage at low temperature by postharvest treatment of fungicides. *J. Korean Soc. Hort. Sci.* 23: 17-22 (1982)
12. Chung DO, Park YK. The study of softdrinks production and functional food in onions. *Korean J. Soc. Food Sci.* 15: 158-162 (1999)
13. Ra KS, Suh HJ, Chung SH, Son JY. Antioxidant activity of solvent extract from onion skin. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 595-600 (1997)
14. Yang YR, Park YK. Black onions manufactured via the browning reaction and antioxidant effects of their water extracts. *Korean J. Food Preserv.* 18: 310-318 (2011)
15. Robards K, Prenzler PD, Tucker G, Swatsitang P, Glover W. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chem.* 66: 401-436 (1999)
16. Kim JS, Kang OJ, Gweon OC. Comparison of phenolic acids and flavonoids in black garlic at different thermal processing steps. *J. Funct. Foods* 5: 80-86 (2013)
17. Choi Y, Lee SM, Chun J, Lee HB, Lee J. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. *Food Chem.* 99: 381-387 (2006)
18. Dewanto V, Wu X, Adom KK, Liu RH. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J. Agr. Food Chem.* 50: 3010-3014 (2002)
19. Xu G, Ye X, Chen J, Liu D. Effect of heat treatment on the phenolic compounds and antioxidant capacity of citrus peel extract. *J. Agr. Food Chem.* 55: 330-335 (2007)
20. Kim SY, Jeong SM, Park WP, Nam KC, Ahn DU, Lee SC. Effect of heating conditions of grape seeds on the antioxidant activity of grape seed extracts. *Food Chem.* 97: 472-479 (2006)
21. Nicoli MC, Anese M, Parpinel M. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends Food Sci. Tech.* 10: 94-100 (1999)
22. Skoog DA, West DM, Holler FJ, Crouch SR. *Analytical Chemistry: An Introduction*. Sanders College Publishing. Philadelphia, PA, USA. pp. 259-316 (2000)
23. Han J, Lawson L, Han G, Han P. A spectrophotometric method for quantitative determination of allicin and total garlic thiosulfinate. *Anal. Biochem.* 225: 157-160 (1995)
24. Zhuang XP, Lu YY, Yang GS. Extraction and determination of flavonoid in ginkgo. *Chinese Herb. Med.* 23: 122-124 (1992)
25. The National Institute of the Korean Language. Standard Korean language dictionary. Available from: <http://www.korean.go.kr>. Accessed Sep. 28, 2012.
26. Eppendorfer WH, Eggum BO. Effect of sulphur, nitrogen, phosphorus, potassium, and water stress on dietary fibre fractions, starch, amino acids and on the biological value of potato protein. *Plant Food. Hum. Nutr.* 45: 299-313 (1994)
27. Eppendorfer WH, Eggum BO. Dietary fibre, sugar, starch and amino acid content of kale, ryegrass and seed of rape and field beans as influenced by S- and N-fertilization. *Plant Food. Hum. Nutr.* 42: 359-371 (1992)
28. Sharma DK, Kushwah SS, Nema PK, Rathore SS. Effect of sulfur on yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Int. J. Agric. Res.* 6: 143-148 (2011)
29. Schwartz SJ, von Elbe JH, Giusti MM. Colorants. pp. 571-638. In: *Food Chemistry*. Damodaran S, Parkin KL, Fennema OR (ed). CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, USA (2007)
30. Clydesdale FM, Lin YD, Francis FJ. Formation of 2-pyrroldione-S-carboxylic acid from glutamine during processing and storage of spinach puree. *J. Food Sci.* 37: 45-47 (1972)
31. BeMiller JN, Huber KC. Carbohydrates. pp. 84-154. In: *Food Chemistry*. Damodaran S, Parkin KL, Fennema OR (ed). CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, USA (2008)
32. Woo KS, Hwang IG, Kim TM, Kim DJ, Hong JT, Jeong HS. Changes in the antioxidant activity of onion (*Allium cepa*) extracts with heat treatment. *Food Sci. Biotechnol.* 16: 828-831 (2007)