

## 재배 중 황 처리 횟수가 양파의 화학적 조성 개선 및 품질 특성에 미치는 영향

최보경 · 서정희\*  
강원대학교 식품영양학과

### Influence of the Number of Sulfur Applications on the Improvement of the Chemical Composition and Quality of Onions

Bogyoung Choi and Jeonghee Surh\*

Department of Food and Nutrition, Kangwon National University

**Abstract** Onions were treated with different amounts of sulfur (S) during cultivation and examined for their physicochemical properties and flavor. Onions cultivated without S application were the control group; the treatment groups were grown in soil that had been pretreated with S and received additional S applications or four times before harvest. As the number of S applications increased, the levels of crude protein, quantified with total nitrogen; ash, approximating total amounts of minerals; and dietary fiber of the onions tended to increase. The mineral compositions also improved, with noticeable increases in the levels of Mg, K, Fe, and Zn. In particular, the reducing capacity of the onions increased appreciably ( $p < 0.05$ ), without increases in the levels of S-containing compounds such as thiosulfinate or S-containing amino acids. Nevertheless, the spicy hot taste and flavor, which is generated mainly from S-containing compounds, were perceived more strongly in the onions that had received more S applications.

**Keywords:** onions, sulfur, chemical composition, thiosulfinate, flavor

## 서 론

양파, 마늘, 파 등의 알룸 속(*Allium* sp.) 식물들은 항산화, 항고혈압, 항동맥경화, 항균작용 등의 탁월한 생리활성으로 건강식품으로 인지되고 있으며, 이에 따라 생활습관병(life-style-related diseases) 예방과 관련하여 관심이 지속적으로 증가되고 있다(1). 이 중 본 연구의 대상 식물인 양파(*Allium cepa* L.)는, 고대 이래로 염증성 질환에 대한 치료와 식품의 조미 목적으로 동·서양에서 널리 사용되어오고 있다(1). 양파의 약리작용은, 양파 내부에 존재하는 플라보노이드(quercetin, kaempferol, rutin) 및 그 배당체 물질들과 유기 황 화합물(thiosulfinates, allyl disulfide, diallyl sulfide) 등 생물학적 활성 분자들에서 기인한 것으로 알려져 있다(2-6). 또한, 향신 채소로서의 사용은, 양파의 독특한 향과 맛 때문이며, 이는 S-(1-propenyl)-L-cystein sulfoxide의 효소적 분해로 형성된 황 화합물질들의 작용으로 확인되었다(7). 이와 같이, 양파의 기능성과 관능성의 상당 부분은 황(sulfur)으로부터 유래됨을 알 수 있다.

황(Sulfur, S)은 16개의 식물 필수영양소 중의 하나이고 질소

(N), 인(P), 칼륨(K) 다음의 4번째 다량 영양소로, 모든 살아있는 세포에서 일어나는 많은 생화학 반응에 참여하므로 식물 성장과 수율을 위해 요구도가 높은 영양소이다(8). 식물의 황 공급원은 토양 유기물 분해 시 방출되는 황과 대기로부터 침착 되는 황이 주요하나, 이 양은 식물 성장에 필요한 충분한 양의 황을 제공하기에는 부족한 것으로 평가되고 있다(9). 이에 따라 덴마크 등 서구 유럽 몇몇 나라의 작물에서는 황 결핍(S-deficiency)이 관찰되었으며(10), 우리나라 역시 밭의 66.5%와 논 37.9%가 토양 황 함량이 적정 수준(100 ppm) 이하로 조사된 바 있다. 황이 결핍된 작물은 수율의 저하뿐 아니라 아미노산 조성 및 영양적 가치가 저하되는 것으로 보고되고 있어(11,12), 기능성과 관능성의 대부분이 황에서 기인하는 양파의 경우에는 황의 추가 공급이 시급한 실정이다. 이에 따라, 전보에서는 양파 재배 시 황을 처리한 후 무침가 군에 비해 양파의 기능성 및 관능성이 개선될 수 있는지를 검토하였다(13). 그 결과 무침가군과 비교했을 때, 수확 전 엽면시비(앞에 처리)로만 2회 황이 공급된 양파보다는 파종 전 토양에 직접 황을 1회 처리하고 나머지 1회는 엽면시비로 황이 제공된 양파가 총 환원력(total reducing capacity), 일반성분(proximate composition), 관능성의 개선 정도가 더 높은 것으로 관찰되었다(13). 이로써, 양파 재배 시 토양에 황을 처리할 경우 양파의 기능성 및 관능성이 개선될 가능성이 시사되었다.

2009-2010년에 걸쳐 재배된 유향 양파의 품질 특성을 연구한 위 선행연구의 결과를 반영하여(13), 2011-2012년 시기에는 파종 전 토양에 식이유황 methylsulfonylmethane (MSM)을 1회 처리하고 이 후 엽면시비로 황을 제공하되, 황 처리 횟수를 달리하여 양파를 재배·생산하였다. 본 연구에서는, 증가된 황 처리 횟수

\*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 January 21, 2013; revised May 14, 2013;

accepted May 19, 2013

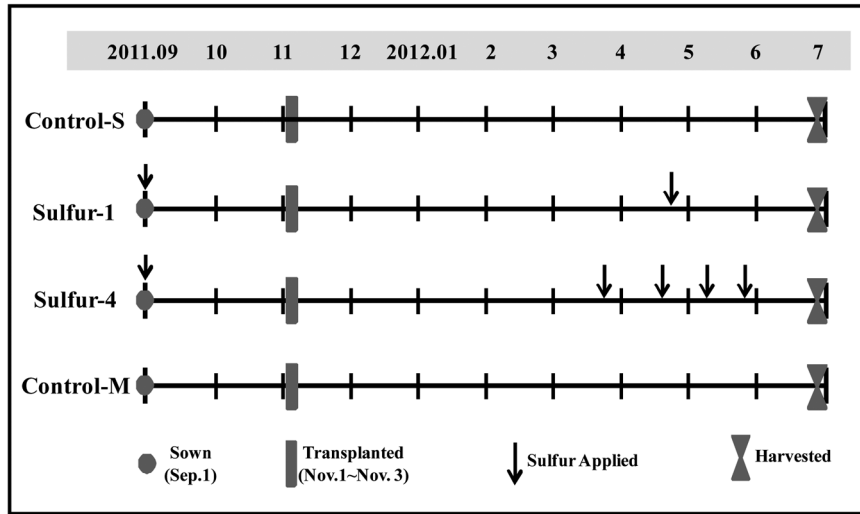


Fig. 1. Onions growing condition depending on the number of sulfur application during cultivation.

가 thiosulfinate, 황 함유 아미노산(S-containing amino acids)을 포함한 양파의 화학적 조성과 물리적·관능적 품질 특성을 유의적으로 개선시킬 수 있는지를 탐색하였다.

### 재료 및 방법

#### 실험재료 및 시약

본 실험에 사용된 양파는 2012년 7월 강원도 삼척 양파작목영농조합법인으로부터 공급받았다. 삼척 양파작목영농조합법인은 2009년 9월부터 강원도 삼척시 미로면과 근덕면 일대의 총 25,000 m<sup>2</sup>의 유기농 대지에 유향을 처리하여 양파를 재배해오고 있으며, 2009년 9월-2010년 6월 말까지 1차년도 유향양파, 2010년 9월-2011년 6월 말까지 2차년도 유향양파, 2011년 9월-2012년 6월 말까지 3차년도 유향양파를, 유향의 종류, 처리방법 및 횟수를 달리하여 재배·생산하였다. 이 중, 본 실험에서 사용된 양파는 3차년도 유향양파로, 양파의 품종은 중만생종, 파종 시기는 2011년 9월1일, 정식 시기는 2011년 11월 1일-11월 3일, 수확은 2012년 6월 말에 실시하였다. 대지를 3개의 구역으로 구분하여, 양파 재배 기간 동안 황(sulfur) 처리 횟수에 따라 (i) 파종 시 토양에 직접 식이유향 MSM을 1회 처리하고, 수확 2달 전에 제독유향을 1회 처리한 군(Sulfur-1), (ii) 파종 시 토양에 직접 MSM을 1회 처리하고, 수확 3달 전부터 수확 1달 전 까지 일정 간격으로 제독유향을 총 4회 처리한 군(Sulfur-4), (iii) MSM이나 제독유향을 전혀 처리하지 않은 군(Control-S)으로 구별하여 재배하였다(Fig. 1). 한편, 양파의 지역별 재배면적과 생산량을 고려하여 시판 양파들 중 2012년에 생산된 전라남도 양파(Control-M)를 전남 소재의 농협청과로부터 2012년 6월 21일에 구입하여 Control-S와 함께 본 실험의 대조군으로 사용하였다. MSM (Y&J Fam, Yeosu, Korea) 과 제독유향(HS Bio Co, Incheon, Korea)의 처리량은 제품에 기재되어 있는 ‘단위 면적 당 사용량’을 준수하여, 토양에 처리한 MSM은 3 kg/200-250평, 추비로 사용된 제독유향은 1 kg/300평 이었다. 그 외 재배기간 중 양파에 시비(fertilizer application)된 조건들은 세 군 모두 동일하였다. 수확이 완료된 후, 2012년 7월 초에 양파를 공급받아 분석에 사용하였다.

실험에 사용된 diethyl ether, sulfuric acid, sodium hydroxide, boric acid, nitric acid, potassium carbonate은 Showa Chemical Industry Co. (Tokyo, Japan)의 특급시약을 사용하였다. Folin-Cio-

calteu’s phenol reagent, quercetin, N-(2-hydroxyethyl)peperazine-N-2-ethane sulfonic acid (HEPES), 5,5-dithiobis(2-nitrobenzoic acid) (DTNB)는 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)로부터 구입하였으며, 무기질 정량을 위한 표준시약은 AccuStandard (New Haven, CT, USA)로부터 구입하여 사용하였다. 아미노산 분석을 위한 표준물질인 amino acid mixture standard solutions(유리아미노산: Type AN-2 & Type B, 구성아미노산: Type H)은 Wako Pure Chemical Industries (Osaka, Japan)로 부터 구입하여 사용하였다. 시약 조제에는 탈염·탈이온수가 사용되었다.

#### 양파의 화학적 조성 분석

일반성분 분석은 AOAC 방법에 준하여 수분은 105°C 건조기(OF-12, Jeio Tech, Gimpo, Korea)를 이용한 상압가열건조법으로, 조회분은 백색의 회분이 얻어질 때까지 550°C 회화로(MF31G, Jeio Tech)에서 시료를 총 22시간 동안 완전 회화시킨 직접회화법으로 분석하였다(14). 조단백질은 킬달 분해 장치(Digestion unit K-424, Büchi, Flawil, Switzerland), 증류 장치(Kjelflex K-360, Büchi), 적정 장치(702 SMTitrino Metrohm, Büchi)를 연속적으로 사용하여 micro-Kjeldahl법으로 분석한 후, 질소계수 6.25를 곱하여 시료의 조단백질 함량을 산출하였다. 조지방 함량은 diethyl ether를 용매로 하여 Soxhlet 장치(E-816, Büchi)를 사용하여 추출하였다. 수분의 경우, 장시간의 건조로 인한 시료의 지나친 열화 및 산화의 가능성을 고려하여 부가적으로 적외선 수분측정기(MB45 Moisture Analyzer, OHAUS, Nanikon, Switzerland)를 이용하여 병행 측정하였다. 탄수화물은 100-(수분+조회분+조단백질+조지방)의 식으로 계산하여 그 값을 표시하였다.

식이섬유 분석은 AOAC 방법(Enzymatic method 985.29)에 따라, 열에 안정한 효소들(α-amylase, protease, amyloglucosidase)을 시료에 처리한 분해(digestion) 단계, ethanol을 가하여 식이섬유를 침전시킨 단계, 여과(filtration) 단계(Fibertec System E 1023 Filtration Module, Foss, Hillerod, Denmark)를 순차적으로 거쳤다. 이후 얻어진 반응물을 105°C 상압가열건조법으로 항량이 될 때까지 건조시켰다. 이렇게 건조된 반응물을 찻재, 회화 처리하여 반응물 속의 회분 함량을 산출하였고, 둘째, 효소에 의한 분해단계에서 분해되지 않고 남아있는 시료 속 단백질의 함량을 산출하기 위해, 건조된 반응물의 단백질 함량을 micro-Kjeldahl법으로 분석하였다. 반응물의 건조중량에서 회분과 단백질의 함량을 차감

함으로써, 시료에 들어 있는 식이섬유의 함량을 산출하였다.

수용성 고형분 분석은 세절한 양파시료 5g을 증류수 15 mL에 분산시키고 homogenizer (Wise Mix HG-15, Daihan Scientific, Seoul, Korea)로 약 30 s 정도 균질화 시켰다. 이 후 원심분리기 (5810R, Eppendorf, Hamburg, Germany)로 3,061×g에서 15분동안 원심분리하고 상층액을 취해 굴절률(refractometer, PR201, Atago, Tokyo, Japan)을 측정하였다. 수용성 고형분의 함량은 당의 농도 (Degrees Brix, °Bx)로 나타내었으며, 증류수에 의한 희석배수는 측정된 값에 별도로 반영하지 않았다.

무기질 분석은 일정량(0.2 g)의 시료를 취하여 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 7 mL, HNO<sub>3</sub> 2 mL를 가한 후 마이크로파 시료용해장치(Microwave Digestion System, Ethos Touch Control, Milestone Inc, Sorisole, Italy)를 사용하여 시료를 다음의 온도 조건으로 분해 추출하였다. 먼저 시료의 온도를 3분 동안 85°C까지 상승시키고, 이후 9분 동안 145°C까지 상승 시킨 후, 다시 4분 동안 180°C까지 올려 15분간 유지시켰다. 이렇게 분해된 시료를 증류수로 20배 희석한 후 ICP-AES (inductively coupled plasma-atomic emission spectrometer, Vista-Pro, Varian, Belrose, Australia)에 주입하여 reflected power는 1.2 kW, flow gas는 argon, plasma flow는 15 L/min, auxiliary gas flow rate은 1.5 L/min, nebulizer gas flow rate은 0.7 L/min의 조건으로, multi-channel detector (simultaneous polychromators, echelle polychromator)를 거쳐 5종의 다량 무기질(Ca, P, Mg, Na, K)과 3종의 미량 무기질(Fe, Zn, Cu)을 분석하였다. 각 원소 별 측정 파장은, Ca (396.847 nm, 393.366 nm), P (213.618 nm, 177.434 nm), Mg (279.553 nm, 280.270 nm), Na (589.592 nm, 588.995 nm), K (766.491 nm, 769.897 nm), Fe (238.204 nm, 259.940 nm), Zn (213.857 nm, 202.548 nm), Cu (327.395 nm, 324.754 nm)이었다. 각 원소의 농도는, 표준물질의 농도 범위를 0-10 ppm으로 하여, 각 원소 별 standard 3점을 이용하여 표준곡선을 작성한 후 회귀곡선 방정식을 이용하여 계산하였다.

아미노산 조성 분석은 양파 재배 기간 중 유향 처리횟수가 함황아미노산(cysteine, cystine, methionine)을 포함한 아미노산들의 함량 및 그 조성에 영향을 줄 수 있는지를 확인하고자, 4종 양파의 구성아미노산과 유리아미노산을 분석하였다. 전처리는 Hitachi 사(Tokyo, Japan)에서 공급한 매뉴얼에 수록된 방법을 일부 변형하여 수행하였다(Instruction manual, Hitachi, 2001). 먼저, 구성아미노산 분석을 위한 전처리는 시료 약 400-500 mg에 6 N HCl를 약 10 mL 첨가한 후 110°C에서 22 h 동안 가수분해 하였다. 이후 진공 농축과 건조과정을 통해 HCl를 제거하였고, 증류수를 첨가하여 100 mL로 정용한 후 0.45 µm syringe filter로 여과시켜 아미노산 분석기에 주입하였다. 유리아미노산 분석을 위해서는, 50 mL 원심분리관에 시료 약 5g과 70% ethanol 30 mL를 넣어 1 시간 동안 교반한 후 10 min 동안 방치 시켰다. 이 추출물을 15,000 rpm에서 15분동안 원심분리 한 후 상정액을 농축플라스크로 옮기고, 남은 침전물에는 70% ethanol 25 mL를 넣어 교반과 원심분리 과정을 2회 추가 반복하여 얻어진 상정액을 모두 합하였다. 농축플라스크에 모은 추출액을 진공농축한 후 0.45 µm syringe filter로 여과 한 후 아미노산 분석기에 주입하였다.

구성아미노산 분석을 위한 산 가수분해 시료와 유리아미노산 분석을 위한 에탄올 추출시료를 유리아미노산법으로 분석하였다. 즉 각 시료를 이온교환수지 컬럼(ion exchange column, lithium form, 4.6 mm×60 mm)에 통과시킨 후, 다양한 pH와 이온강도를 가진 buffer를 컬럼에 흘려 아미노산들을 분리하고, 이들 아미노산을 고온의 reaction coil에서 ninhydrin과 반응시켜 발색 화

합물을 형성시켰다. 형성된 화합물들을 570 nm와 440 nm의 파장에서 흡광도를 측정함으로써 각각의 아미노산들을 정량하였다. 실험에 사용된 아미노산 분석기는 Hitachi L-8800 Amino acid (Hitachi, Tokyo, Japan), 컬럼 오븐 온도는 30-70°C, 반응코일 온도는 135°C, 유속은 0.35 mL/min, 시료 주입액은 20 µL이었다. 정량을 위한 표준물질의 농도는 유리아미노산 중 phosphoserine, taurine, phosphoethanolamine, α-amino adipic acid, α-amino-n-butyric acid, cystathionine은 1.25 µmol/mL, urea 50 µmol/mL, sarcosine 6.25 µmol/mL이었으며, 그 외의 모든 유리아미노산 및 구성아미노산의 농도는 2.5 µmol/mL이었다. 시료 속 아미노산의 함량은 표준용액 1점을 주입하여 얻어진 크로마토그램을 이용하여 농도와 면적의 비례식을 이용하여 계산되었다.

### 총 환원물질(Total Reducing Capacity)

양파의 총 환원력은, 시료 내부의 페놀성(phenol) 및 비페놀성(non-phenolic) 환원 물질(reducing substances)이 염기적 조건에서 Folin-Ciocalteu's reagent (phosphomolybdic phosphotungstic acid complexes)에 전자를 전달하여 발색물질(chromogen)을 형성하는 원리를 바탕으로 하는 Folin-Ciocalteu's reagent 법으로 분석하였다 (15).

양파 추출액 준비를 위해, Park 등(2)의 선행연구를 참조하여 phenol, thiosulfinate 등 양파의 기능성분 함량이 가장 높았던 추출조건을 본 실험에 적용하였다. 즉, 세절한 양파 5g을 취하고 60% 에탄올을 첨가하여 shaking water bath (BS21, Jeio Tech, Daejeon, Korea)에서 25°C, 100 rpm의 속도로 12 h 동안 추출하였다. 이 후 불용성 물질을 제거하기 위해 원심분리기(5810R, Eppendorf, Westbury, NY, USA)로 3,061×g에서 10 min 동안 원심분리하였다. 상층액을 분리하여 진공농축기(Rotary evaporator, R215, Büchi)로 60°C, 50 rpm의 속도에서 2 mL까지 농축시켰다. 이 추출액 1 mL에 Folin-Ciocalteu's reagent와 10% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 각각 1 mL씩 넣어 vortexing하고 실온에서 1 h 동안 정치시킨 후 spectrophotometer (UV-1650, Shimadzu, Kyoto, Japan)로 700 nm에서 흡광도를 측정하였다. 양파 속 환원물질의 총량은 대표적인 환원물질인 quercetin을 표준물질로 하여 나타내었다.

### Thiosulfinate 함량

유향 처리 횟수가 양파 속 함황 유기물질(sulfur-containing organic compounds)에 미치는 영향을 관찰하고자 양파의 대표적 함유 성분인 thiosulfinate를 정량 분석하였다. Thiosulfinate 1분자와 cysteine 2분자가 반응하여 S-alkenyl 혹은 S-alkylmercaptocysteine을 형성하는 원리를 활용하여, 시료에 충분한 양의 cysteine을 첨가하여 시료 속 thiosulfinate와 반응시킨 후, 남은 cysteine을 DTNB와 반응시켜 발색물을 형성시킴으로써, 감소한 cysteine의 함량을 통해 최종적으로 시료의 thiosulfinate 함량을 역정량하였다(16). 총 환원력 측정 시 준비했던 동일한 추출액 0.1 mL에 2 mM cysteine (in 50 mM HEPES) 용액 0.5 mL를 가하고, 50 mM HEPES용액으로 총 반응용액의 부피를 5 mL로 조정한 후 shaking water bath로 27°C에서 10 min 동안 반응시켰다. 이 과정에서 얻어진 반응용액을 1 mL 취하여 0.4 mM DTNB (in 50 mM HEPES)를 가하고 vortexing하여 27°C에서 10 min 동안 반응시켰다. 이후 spectrophotometer (UV-1650, Shimadzu, Tokyo, Japan)로 412 nm에서 흡광도를 측정하였다. Cysteine을 농도별로 조제하여 얻은 표준검량곡선으로부터 시료 추출물의 총 thiosulfinate 함량을 역산출하였다.

### 향미성분 프로파일(Flavor Profile)

그룹별 5-7개의 양파를 길게 잘라 시료 용기에 담아 가스포집장치로 휘발성 성분을 포집한 후, DB-5 column (1 m×250 μm×0.25 μm, J&W Technology, Folsom, CA, USA)이 장착된 전자코(GC/SAW Electronic Nose System, Fast GC Analyzer Model 7100, Electronic Sensor Technology, Newbury Park, CA, USA)에 주입하였다. Inlet temperature는 100°C, 검출기는 surface acoustic wave (SAW) quartz microbalance이며, column 초기온도를 40°C로 하고 70°C까지 온도를 증가시키는 temperature gradient 조건으로 분석하였다.

### 색도

양파 꼭지를 중심으로 양파를 세로로 잘라 시료를 준비한 후, 그 단면의 명도(L, lightness), 적색도(a, redness), 황색도(b, yellowness)를 색차계(CR-400, Konica Minolta Sensing, Osaka, Japan)를 사용하여 측정하였다. 표준 백색판을 이용하여 calibration 한 후, L값은 0(검정색)에서 100(흰색)까지, a값(적색도)은 -80(녹색)에서 100(적색)까지, b값(황색도)은 -70(청색)에서 70(황색)의 범위에서 시료의 색도를 측정하였다.

### Texture

양파의 물성은 Texture Analyzer (Instron 5542, Instron, Norwood, MA, USA)를 사용하여 2회 반복 압착실험(two-bite compression test)으로 측정하였다. 각 양파 시료는 양파 꼭지를 위로 향하게 양파를 배치한 후 상하로 압착하여 시간에 따른 압착강도의 변화를 관찰하였다. 직경 11 mm의 원형 probe를 사용하여 test speed 3.3 mm/sec로 1 cycle과 2 cycle 모두에서 50 mm 깊이까지 시료를 압착하는 조건으로 측정하였다. 측정 후 얻어진 force-time curve로부터 시료의 경도(hardness), 탄력성(springiness), 복원력(cohesion force resilience), 응집성(cohesiveness), 점착성(gumminess), 저작성(chewiness)이 산출되었다.

### 양파의 관능적 특성 분석

양파의 관능검사는 강원대학교 식품영양학과 재학생 중 관능검사 경험이 있는 33명을 패널로 선정하여 실험목적과 양파의 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. 각 군별로 한 개의 양파를 4등분하여 생수와 함께 제시하였으며, 평가 항목은 (i) 양파의 관능적 평가영역과 (ii) 그 특성에 대한 개인적 기호도 영역으로 구분하여 구성하였다. 품질평가를 위한 관능적 특성들은 삼척양파영농조합법인에 소속된 양파재배 농민들의 설명을 참조하여 선정하였으며, 개별 관능적 특성에 대한 용어 정의는 '국립국어원 표준국어대사전'에 근거하였다(17). 평가된 관능적 특성으로는, 색(color, 매우 희다-등색이다), 매운 향(hot flavor; 향이 눈이나 코를 아리게 한다), 양파의 아삭함(crispiness; 연하고 싱싱한 과일이나 채소 따위를 보드랍게 베어 무는 소리가 난다), 양파의 저작 시 수분이 흘러나오는 정도(juiciness during mastication; 씹었을 때 입안으로 흘러나오는 즙(수분/물기)의 많고 적은 정도), 단맛(sweetness), 매운맛(spicy hot taste; 고추나 겨자와 같이 맵거나 독하여 혀끝이 약간 아리고 쏘는 느낌이 있다)이었으며, '각 특성이 약한 경우'를 1점으로 하고 '각 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.

### 양파 저장 중 주요 품질특성 변화

유황의 처리 횟수를 달리하여 재배된 양파의 저장 중 품질특성의 변화를 관찰하기 위해, 4종 양파를 냉장(4°C)온도에서 4개월 동안 저장한 후, 품질과 관련된 주요 화학적 지표로는 수분함량과 총 환원력을 선정·평가하였고, 주요 물리적 지표로는 TPA 분석을 실시하였다. 실험에 사용된 방법은 위와 동일하였다.

### 자료의 통계처리

유황처리 횟수에 따른 양파의 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.

## 결과 및 고찰

### 일반성분, 식이섬유 및 수용성 고형분

양파 파종 전 토양에 식이유황 MSM을 처리하고 정식(transplanting) 이후부터 수확 이전 사이에 황의 처리횟수를 달리하여 생산된 2종의 유황양파 Sulfur-1, Sulfur-4의 화학적 조성을 대조군(Control-S, Control-M) 양파들과 비교·평가하였다(Table 1). 25,000 m<sup>2</sup> 농지 내부를 세 구역으로 구분하여 재배된 양파(Control-S, Sulfur-1, Sulfur-4)들은, 유황의 처리 유무 및 횟수에 따라 '105°C 건조법'으로 측정된 수분함량에 있어 유의적 차이를 나타내지 않았다. 그러나, 적외선 수분측정기로 정량한 양파의 수분함량은 유의적이지는 않았으나 황 처리 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었고, 그 함량에 있어서는 '105°C 건조법'으로 정량된 양보다 낮았다. 이러한 차이는, 장시간 시료를 건조하는 '105°C 건조법'은 (i) 수분 이외에 양파 내부에 존재하는 다른 휘발성 성분들을 휘발시키거나 (ii) 열에 약한 성분들을 분해시킬 수 있기 때문이다. 한편, 황 처리와 함께 수분이 감소한 결과는 상대적으로 건조중량(yield of dry matter)이 증가했음을 의미한다. 실제로, 황을 작물에 처리한 후 작물의 건조중량이 증가한 보고들이 있어왔다(8,10,11). 이는, (i) 황이 황 함유 아미노산의 구성성분(integral part)이고, 단백질 구조를 형성하는 -SH 결합에도 관여하며, (ii) 클로로필, 전분, 단백질의 생합성에 관여하는 효소들의 구성성분이므로, 황의 첨가로 식물 대사의 생화학적 반응이 촉진될 수 있기 때문이다(8). 양파의 회분 및 조단백질 함량 역시 유황 처리 횟수가 증가함에 따라 유의적으로 증가하는 현상이 관찰되었다. 이 결과는, 황을 처리하여 재배한 콩의 화학적 조성을 평가한 Cazzato 등(12)의 연구 결과와 일치하였다. 이와 같이 작물 재배 시 처리된 황이 작물의 총 질소(total nitrogen)함량을 증가시키는 결과는, 황이 엽록체에 존재하는 iron-sulfur 단백질의 일종인 ferredoxin의 구성성분이고, 이 ferredoxin은 토양에 존재하는 뿌리혹 박테리아나 질소고정 박테리아에 의한 작물 내부로의 질소 흡수에 중요한 역할을 하기 때문으로 해석할 수 있다(11,12). 본 실험에서 분석된 양파의 식이섬유 함량은 0.61-0.90%로, 유황 처리 횟수가 증가함에 따라 유의적이지는 않았으나 증가하는 경향을 나타내었다(Table 1). 이와 같이, 황이 공급된 작물에서 식이섬유가 증가하는 현상은, 유채꽃 씨, 케일, 호밀 등에 황 시비(sulfur fertilization)를 한 후 그 영향을 검토한 선행 연구에서도 보고된 바 있다(11). 이 현상은, 황이 식이섬유 형성에 중요한 역할을 하고 있음을 시사하며, 황이 식물 세포벽을 구성하는 리그닌 형성을 촉진시킨다는 사실과도 연관될 수 있다(18). 한편, 양파의 물 추출물에 녹아있는 당, 가용성 염류 등의 수용성 고형분 함량은 4종 양파간에 유의적 차이를 나타내지 않았다.

**Table 1. Chemical compositions of the onions depending on the number of sulfur application during cultivation<sup>1)</sup>**

Samples	Moisture (%)		Ash (%)	Crude fat (%)	Crude protein (%)	Carbohydrate (%)	Soluble solid <sup>2)</sup> (°Bx)	Dietary fiber (%)
	105°C	Infrared						
Control-S	90.25±0.20 <sup>a</sup>	89.76±0.19 <sup>b</sup>	0.33±0.06 <sup>bc</sup>	0.20±0.24 <sup>a</sup>	0.95±0.01 <sup>ab</sup>	9.14±0.43 <sup>a</sup>	6.37±0.18 <sup>a</sup>	0.83±0.19 <sup>a</sup>
Sulfur-1	90.57±2.10 <sup>a</sup>	89.30±0.29 <sup>b</sup>	0.42±0.03 <sup>ab</sup>	-0.02±0.14 <sup>a</sup>	1.06±0.12 <sup>a</sup>	8.58±1.81 <sup>a</sup>	6.66±0.18 <sup>a</sup>	0.87±0.01 <sup>a</sup>
Sulfur-4	90.50±0.13 <sup>a</sup>	89.18±1.80 <sup>b</sup>	0.51±0.05 <sup>a</sup>	0.02±0.10 <sup>a</sup>	1.11±0.23 <sup>a</sup>	7.71±0.70 <sup>a</sup>	6.47±0.14 <sup>a</sup>	0.90±0.13 <sup>a</sup>
Control-M	90.80±1.01 <sup>a</sup>	90.27±1.01 <sup>a</sup>	0.24±0.07 <sup>c</sup>	0.26±0.11 <sup>a</sup>	0.76±0.06 <sup>b</sup>	9.15±0.53 <sup>a</sup>	6.49±0.17 <sup>a</sup>	0.61±0.08 <sup>a</sup>
<i>p</i> -value	NS	<0.05	<0.01	NS	NS	NS	NS	NS
Onion, raw <sup>3)</sup>	90.1	- <sup>4)</sup>	0.4	0.1	1.0	8.4	-	0.4

<sup>1)</sup>More than 10 onions per each group were pooled together and then chopped. The value was expressed as the average±standard deviation of triplicates analysis. The moisture was quantified using infrared moisture determination balance as well as 105°C oven drying method. <sup>a-b</sup>Values with different superscripts in the same column are significantly different. NS: not significant.

<sup>2)</sup>Values were not reflected by the dilution with distilled water.

<sup>3)</sup>Values were those provided by '7th Revision Food Composition Table', National Rural Resources Development Institute (20).

<sup>4)</sup>The information was not available.

**Table 2. Mineral compositions of the onions depending on the number of sulfur application during cultivation<sup>1)</sup>**

	Control-S	Sulfur-1	Sulfur-4	Control-M	<i>p</i> -value	Onion raw <sup>2)</sup>	
Quantity elements (µg/g)	Ca	344.9±88.1 <sup>a</sup>	315.7±25.8 <sup>ab</sup>	305.8±42.2 <sup>ab</sup>	233.9±6.9 <sup>b</sup>	NS	160
	P	291.7±0.7 <sup>a</sup>	287.2±3.5 <sup>ab</sup>	279.4±24.3 <sup>ab</sup>	224.0±22.6 <sup>b</sup>	<0.01	300
	Mg	108.9±5.4 <sup>b</sup>	97.5±2.3 <sup>b</sup>	140.8±16.7 <sup>a</sup>	79.8±4.8 <sup>c</sup>	<0.001	100
	Na	108.5±13.7 <sup>a</sup>	94.0±13.7 <sup>a</sup>	93.1±7.6 <sup>ab</sup>	88.3±9.4 <sup>b</sup>	NS	20
	K	1,422.5±164.3 <sup>b</sup>	1,555.2±11.2 <sup>b</sup>	2,123.6±504.2 <sup>a</sup>	1,329.1±86.5 <sup>b</sup>	<0.05	1,440
Minor elements (µg/g)	Fe	69.85±20.80 <sup>a</sup>	72.07±22.79 <sup>a</sup>	72.64±25.49 <sup>a</sup>	69.81±20.80 <sup>a</sup>	NS	4
	Cu	1.34±0.81 <sup>b</sup>	3.26±0.60 <sup>a</sup>	1.33±0.42 <sup>b</sup>	1.47±0.81 <sup>b</sup>	<0.05	0.4
	Zn	3.49±0.14 <sup>b</sup>	4.36±0.94 <sup>b</sup>	6.53±1.69 <sup>a</sup>	3.74±1.23 <sup>b</sup>	<0.05	4

<sup>1)</sup>More than 10 onions per each group were pooled together and then chopped. The value was expressed as the average±standard deviation of 6 times analysis. <sup>a-c</sup>Values with different superscripts in the same row are significantly different. NS: not significant.

<sup>2)</sup>Values were those provided by 'Seventh Revision Food Composition Table', National Rural Resources Development Institute (20).

## 무기질 조성

양파 무기질의 총합을 나타내는 조회분 함량은 Control-S 0.33%, Sulfur-1 0.42%, Sulfur-4 0.51%로 유향 처리 횟수가 증가함에 따라 유의적으로 증가하는 현상을 나타내었다(Table 1). 무기질 조성 측면에서는, 마그네슘(Mg), 칼륨(K), 철(Fe), 아연(Zn) 등이 황 시비와 함께 증가하는 경향을 나타내었다(Table 2). 이는, 황이 토양의 pH를 감소시켜 작물이 이용할 수 있는 형태의 무기질을 증가시키므로써, 작물의 무기질 이용성(availability)을 개선시킨 것으로 해석될 수 있다(8). 실제로, Cazzato 등(12)도 콩과류 재배 시 황 시비를 증가시킬수록 조회분과 이를 구성하는 칼슘(Ca), 나트륨(Na), 칼륨(K), 불소(F)의 수준이 유의적으로 증가했음을 보고하였다. 한편, 유향의 처리 유무 및 횟수와 관계없이 삼척 지역 양파들(Control-S, Sulfur-1, Sulfur-4)의 Ca 함량은 전국 규모의 시료를 대상으로 한 식품성분표 상의 데이터와 비교할 때 2배 가량 높았으며, 이러한 결과는 선행연구에서도 일관되게 관찰되었다(13,19). 이는, 재배 지역의 기후와 토양 조건 등이 작물의 화학적 조성 차이를 유발할 수 있다는 사실을 고려할 때(12), 삼척 지역이 석회석 생산지라는 사실과 무관하지 않을 것으로 보인다. Table 2의 결과는 (i) 토양에 황을 처리함으로써 작물의 무기질 조성을 개선시킬 수 있으며, (ii) 토양 자체의 무기질 조성이 작물의 무기질 조성에 직접적으로 영향을 줄 수 있음을 보여주었다. 이에 따라, 토양에 황 적정 함량이 유지될 수 있도록 황 시비가 이루어진다면 작물 내부로 황의 기능성이 부가될 가능성을 시사해 주었다.

## 아미노산 조성

황은 아미노산의 구성 성분(integral part)이며 질소대사에 관여하므로, 황 결핍 및 황 시비는 아미노산 조성에 직접적으로 영향을 줄 수 있다(9,10). 따라서, 본 section에서는 황 처리 유무 및 횟수에 따른 양파의 아미노산 조성을 검토하였다(Table 3). Sulfur-4 양파는 황 무처리군인 Control-S와 비교할 때 총 아미노산(total AA)과 필수 아미노산(essential AA)의 절대량이 유의적으로 증가하였으나, 조단백질(total nitrogen contents)에서 관찰되었던 황 처리횟수에 의한 유의적 증가는 관찰되지 않았다(Table 1 & 3). 총 질소로 정량된 조단백질 함량과 아미노산 함량 사이의 이러한 차이는 양파 내부에 비단백 질소분획(amide 등)이 증가했음을 시사한다고 볼 수 있다(9,10). 한편, 필수 아미노산 및 비필수 아미노산(nonessential AA)의 % 함량은 황 처리 유무 및 횟수에 관계없이 일정한 것으로 나타났으며, 특히 황 시비에 의한 황 함유 아미노산(S-containing AA)의 증가는 관찰되지 않았다(Table 3). 황 처리로 양파의 조단백질과 조회분이 증가하였고(Table 1), 무기질 조성이 개선된(Table 2) 결과들을 고려하면, 본 실험에서 처리된 황 수준은 양파의 질소 농도에 영향을 주거나 혹은 토양의 pH를 변화시키는 간접적 경로를 통해 양파에 영향을 주기에는 충분하였으나, 토양 속 황이 작물 내부로 흡수되어 황 함유 성분들(S-containing compounds)을 직접적으로 증가시키기에는 부족하였음을 시사하고 있다. 한편, 일반적으로 작물 재배 중 황이 결핍될 경우 대부분의 아미노산들은 그 함량이 감소하나, 특히적으로 aspartic acid, asparagine과 같은 산성 아미노산들은 증가하는 현

**Table 3. Amino acids (AA) compositions of the onions depending on the number of sulfur application during cultivation<sup>1)</sup>**

AA (mg/100 g)	Control-S	Sulfur-1	Sulfur-4	Control-M	p-value
Free	343.6±16.0 <sup>b</sup>	284.5±47.4 <sup>b</sup>	553.6±56.9 <sup>a</sup>	367.0±3.6 <sup>b</sup>	<0.01
Structural	666.0±67.0 <sup>b</sup>	540.2±23.2 <sup>c</sup>	810.4±1.1 <sup>a</sup>	730.8±44.7 <sup>ab</sup>	<0.05
Total	1,009.5±51.0 <sup>b</sup>	824.7±49.6 <sup>c</sup>	1,364.0±58.0 <sup>a</sup>	1,097.8±41.1 <sup>b</sup>	<0.05
Essential	221.9±18.7 <sup>b</sup>	181.5±16.4 <sup>c</sup>	277.3±4.5 <sup>a</sup>	251.1±12.9 <sup>ab</sup>	<0.01
Essential (%)	22.0±0.8 <sup>a</sup>	22.2±3.3 <sup>a</sup>	20.4±1.2 <sup>a</sup>	22.9±0.4 <sup>a</sup>	NS
Nonessential	787.5±32.2 <sup>ab</sup>	643.2±66.0 <sup>b</sup>	1086.8±62.4 <sup>a</sup>	846.8±28.2 <sup>ab</sup>	NS
Nonessential (%)	78.1±0.8 <sup>a</sup>	77.9±3.3 <sup>a</sup>	68.6±14.4 <sup>a</sup>	77.2±0.4 <sup>a</sup>	NS
Acidic	284.0±24.3 <sup>ab</sup>	251.8±18.0 <sup>b</sup>	312.6±0.6 <sup>a</sup>	279.5±11.0 <sup>ab</sup>	NS
Acidic (%)	28.1±1.0 <sup>b</sup>	30.1±0.4 <sup>a</sup>	23.0±0.9 <sup>d</sup>	25.5±0.1 <sup>c</sup>	<0.05
Basic	275.9±3.8 <sup>c</sup>	206.1±16.5 <sup>d</sup>	387.7±1.3 <sup>a</sup>	320.7±15.7 <sup>b</sup>	<0.001
Basic (%)	27.4±1.1 <sup>a</sup>	25.1±3.5 <sup>a</sup>	28.5±1.3 <sup>a</sup>	29.2±0.3 <sup>a</sup>	NS
Sulfur (S)-containing	45.9±4.3 <sup>a</sup>	25.1±2.1 <sup>b</sup>	29.8±0.1 <sup>b</sup>	43.1±0.3 <sup>a</sup>	<0.05
S-containing (%)	4.6±0.2 <sup>a</sup>	3.1±0.1 <sup>c</sup>	2.2±0.1 <sup>d</sup>	4.0±0.2 <sup>b</sup>	<0.001
Cysteine/S-containing (%)	78.6±0.7 <sup>b</sup>	81.8±2.6 <sup>b</sup>	91.1±2.1 <sup>a</sup>	90.1±2.0 <sup>a</sup>	<0.05

<sup>1)</sup>More than 10 onions per each group were pooled together and then chopped. The value was expressed as the average±standard deviation of 3 times analysis. <sup>a-d</sup>Values with different superscripts in the same row are significantly different. NS: not significant.

상이 빈번이 관찰되었다(10,11). 이에 따라 일부에서는 작물의 산성 아미노산 수준을 황 결핍의 지표로 제안하기도 하였다(11). 본 연구에서도 황 처리량이 상대적으로 높았던 Sulfur-4 군에 비해 Control-S, Sulfur-1군의 산성 아미노산 함량이 높은 것이 관찰되었다. 이러한 현상에 대해, Eppendorfer와 Eggum(11)은 작물에 황이 부족할 경우 질소 대사가 교란되어 aspartic acid나 asparagine 등 특정 아미노산들이 축적될 수 있다고 해석하였다.

#### Thiosulfinate와 총 환원물질

선행연구에서, 양파 파종 전 토양에 황을 처리한 경우 무처리 군에 비해 양파의 황 함유성분인 thiosulfinate와 총 환원물질이 일부 증가하는 경향이 관찰되었다(13). 이에 따라 본 연구에서는, 파종 전 토양에 황을 동일하게 처리하고 수확 이전 황을 1회 혹은 4회 추가 처리하여, 양파 내부에 존재하는 이들 기능성 물질들이 영향을 받는지를 탐색하였다(Table 4). 그 결과, thiosulfinate는 황의 처리유무 및 처리 횟수에 따라 유의적 차이를 나타내지 않았고, 반면 Folin-Ciocalteu 방법에 의해 측정된 총 환원물질은 Control-S<Sulfur-1<Sulfur-4의 순으로 증가하여 Sulfur-4는 무첨가군에 비해 2배 가량 증가하는 결과를 보였다. 황 처리와 함께 (i) 양파 속 대표적 황 함유 성분인 함황 아미노산과 thiosulfinate는 유의적 차이를 나타내지 않았지만(Table 3 & 4), (ii) 총 환원물질이 유의적으로 증가하였고(Table 4), 양파 속 대표적 환원물질들이 quercetin, kaempferol 등의 황을 포함하지 않은 flavonoids라는 점(2,4,5)을 고려하면, 이 결과 역시, 처리된 황 수준에서는 양파 내부로 황이 직접적으로 반영되기 보다는, 간접적 경로로 식물 대사의 생화학적 반응이 촉진되었음을 시사하고 있다(8,18).

#### 향미 프로파일

양파의 특이한 냄새는 양파 속 유기황 화합물(organosulfur compounds)인 S-propenyl-L-cysteine sulfoxide의 효소반응에서 기인하므로, 식물에 가해지는 황 수준에 의해 영향을 받을 수 있다(1). 그러나, 전자코로 측정된 Control-S, Sulfur-1, Sulfur-4의 향미 프로파일은 황의 처리 유무 및 횟수에 따라 차이를 나타내지

**Table 4. Organic sulfur content and total reducing capacity of the onions depending on the number of sulfur application during cultivation<sup>1)</sup>**

Samples	Thiosulfinate (μmol Allicin/g onion)	Total reducing capacity (μg Quercetin/g onion)
Control-S	0.81±0.88 <sup>a</sup>	637.7±100.6 <sup>b</sup>
Sulfur-1	1.43±1.43 <sup>a</sup>	1,185.7±130.3 <sup>a</sup>
Sulfur-4	0.73±0.50 <sup>a</sup>	1,312.2±205.8 <sup>a</sup>
Control-M	1.15±0.47 <sup>a</sup>	1,286.2±309.7 <sup>a</sup>
p-value	NS	<0.05

<sup>1)</sup>More than 10 onions per each group were pooled together, chopped, and then extracted with 60% ethanol. The value was expressed as the average±standard deviation of triplicates. <sup>a-b</sup>Values with different superscripts in the same column are significantly different. NS: not significant.

않았다(Fig. 2). 이는, 첨가된 황 수준이, 함황 아미노산, thiosulfinate 등 비휘발성 함황물질과 냄새 성분 등의 휘발성 함황물질을 증가시키기에는 충분한 수준이 아니었음을 시사하고 있다. 한편, 원산지가 다른 Control-M 양파의 향미 프로파일은 3중 삼척산 양파와 다른 양상을 보였다(Fig. 2).

#### 색도

황 처리 유무 및 횟수에 따른 양파의 색 특성을 분석한 결과, 명도(L, lightness)와 적색도(a, redness)는 유의적 차이가 없었으나, 황색도(b, yellowness)는 무첨가군 Control-S에 비해 황 처리군인 Sulfur-1, Sulfur-4가 유의적으로 높았다(Table 5). 기계적으로 측정된 이 차이는 관능적으로 인지 가능한 차이였으며, 기호도에도 유의적 차이를 끼친 것으로 평가되었다.

#### 텍스처(Texture)

사람의 소화효소로 소화되지 않는 난소화성 성분인 식이섬유의 양은 황 처리 횟수의 증가와 함께 증가되는 양상을 나타내었다(Table 1). 본 section에서는 (i) 식이섬유를 이루는 셀룰로스, 리

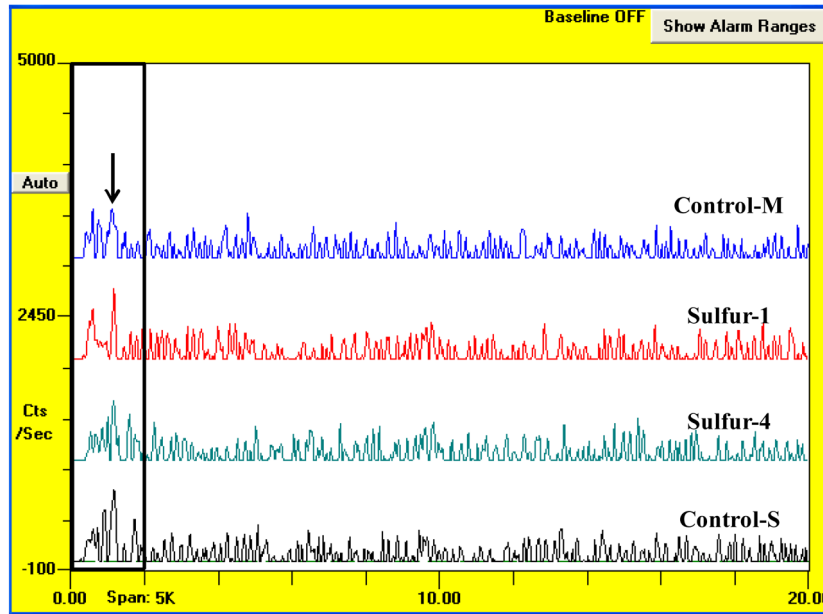


Fig. 2. Flavor profiles of the onions measured by electronic nose. Peaks observed at the beginning of the flavor screening (peaks in a rectangle drawn between 0 and 2 s) are the flavor compounds that can be detected at room temperature.

Table 5. Color characteristics of the onions depending on the number of sulfur application during cultivation<sup>1)</sup>

Samples	L (lightness)	a (redness)	b (yellowness)
Control-S	75.46±7.79 <sup>a</sup>	-5.62±0.43 <sup>a</sup>	9.75±0.88 <sup>b</sup>
Sulfur-1	71.69±3.80 <sup>a</sup>	-7.49±2.07 <sup>a</sup>	14.73±3.57 <sup>a</sup>
Sulfur-4	71.96±5.24 <sup>a</sup>	-5.97±1.33 <sup>a</sup>	11.85±3.31 <sup>ab</sup>
Control-M	69.33±4.79 <sup>a</sup>	-5.39±0.20 <sup>a</sup>	9.69±0.33 <sup>b</sup>
<i>p</i> -value	NS	NS	NS

<sup>1)</sup>The value was expressed as the average±standard deviation of 6 times analysis. <sup>a,b</sup>Values with different superscripts in the same column are significantly different. NS: not significant.

그런, 펜토산, 수용성 펙틴 등이 식물체 내에서 주로 세포벽을 구성하고 있는 점과, (ii) 세포벽 조성은 식물 유래 식품의 경도에 관여하고, 저작 시 아삭거리는 관능적 특성에 기여할 수 있으므로, 황 처리 증가에 따른 양파의 텍스처 변화를 측정하였다(Table 6, Fig. 3). 그 결과, 양파 자체의 단단한 정도를 반영하는 경도(hardness)는 황 처리 횟수에 따라 105.66-125.08 N의 좁은 범위로 유의적 차이가 없었고, 삼키기 적당한 수준까지 양파를 씹을 때 들어가는 일의 양을 반영하는 저작성(chewiness=hardness×cohesiveness×springiness)은 동일군 안에서도 양파 내부의 세포들 간 응집성(cohesiveness)의 큰 편차로 인해 유의적 차이를 관찰할 수 없었다.

Table 6. Textural characteristics of the onions depending on the different timing of sulfur application during cultivation<sup>1)</sup>

Samples	Hardness (N)	Springiness (mm)	Cohesion force resilience	Cohesiveness	Gumminess (N)	Chewiness (N · mm)
1 month after harvest						
Control-S	125.08±15.77 <sup>a</sup>	47.53±7.78 <sup>a</sup>	0.66±0.25 <sup>a</sup>	2.05±2.62 <sup>a</sup>	235.53±295.75 <sup>a</sup>	10,039.05±1,2218.40 <sup>a</sup>
Sulfur-1	105.66±11.38 <sup>a</sup>	32.51±13.88 <sup>a</sup>	0.35±0.23 <sup>a</sup>	2.81±3.85 <sup>a</sup>	318.10±439.18 <sup>a</sup>	9,585.00±8,970.03 <sup>a</sup>
Sulfur-4	110.03±32.70 <sup>a</sup>	39.07±0.13 <sup>a</sup>	0.61±0.88 <sup>a</sup>	1.02±0.98 <sup>a</sup>	128.35±140.62 <sup>a</sup>	5,134.86±5,625.39 <sup>a</sup>
Control-M	102.23±1.47 <sup>a</sup>	42.07±3.70 <sup>a</sup>	0.60±0.01 <sup>a</sup>	0.37±0.13 <sup>a</sup>	37.75±14.38 <sup>a</sup>	1,579.09±477.62 <sup>a</sup>
<i>p</i> -value	NS	NS	NS	NS	NS	NS
4 month after harvest						
Control-S	97.21±11.38 <sup>a</sup>	20.80±3.97 <sup>a</sup>	0.74±0.18 <sup>a</sup>	1.51±0.33 <sup>a</sup>	148.91±48.81 <sup>a</sup>	4,468.10±1,464.79 <sup>a</sup>
Sulfur-1	117.27±25.47 <sup>a</sup>	22.10±2.72 <sup>a</sup>	0.65±0.35 <sup>a</sup>	0.71±0.54 <sup>a</sup>	89.98±81.58 <sup>a</sup>	2,602.38±2,309.91 <sup>a</sup>
Sulfur-4	118.83±11.36 <sup>a</sup>	22.80±3.78 <sup>a</sup>	0.65±0.14 <sup>a</sup>	0.92±0.92 <sup>a</sup>	114.42±119.55 <sup>a</sup>	3,433.35±3,587.32 <sup>a</sup>
Control-M	131.73±31.69 <sup>a</sup>	25.50±2.28 <sup>a</sup>	0.60±0.16 <sup>a</sup>	1.15±0.72 <sup>a</sup>	140.32±58.61 <sup>a</sup>	4,182.15±1,736.94 <sup>a</sup>
<i>p</i> -value	NS	NS	NS	NS	NS	NS

<sup>1)</sup>Texture profile of the onions was analyzed at both 1 month and 4 month after the onions harvest. The onions have been stored in a 4°C refrigerator. The value was expressed as the average±standard deviation of 6 times analysis. Values with different superscripts in the same column are significantly different. NS: not significant.

**Table 7. Sensory characteristics of the onions depending on the number of sulfur application during cultivation<sup>1)</sup>**

Samples	Color	Hot flavor	Crispiness	Juiciness	Sweetness	Spicy hot taste	Overall acceptability
Sensory characteristics							
Control-S	2.4±1.0 <sup>c</sup>	2.4±1.1 <sup>a</sup>	3.8±1.0 <sup>a</sup>	3.3±1.1 <sup>a</sup>	2.8±1.4 <sup>a</sup>	3.2±1.3 <sup>a</sup>	
Sulfur-1	2.7±0.9 <sup>bc</sup>	2.6±1.1 <sup>a</sup>	3.5±1.2 <sup>a</sup>	3.2±1.0 <sup>a</sup>	3.1±1.3 <sup>a</sup>	3.8±1.0 <sup>a</sup>	
Sulfur-4	3.3±1.1 <sup>a</sup>	2.9±0.9 <sup>a</sup>	3.8±1.1 <sup>a</sup>	3.1±1.1 <sup>ab</sup>	2.8±1.3 <sup>a</sup>	3.8±1.1 <sup>a</sup>	
Control-M	3.1±1.1 <sup>ab</sup>	2.7±0.9 <sup>a</sup>	3.7±1.1 <sup>a</sup>	2.6±1.0 <sup>b</sup>	3.0±1.3 <sup>a</sup>	2.4±1.2 <sup>b</sup>	
<i>p</i> -value	<0.001	NS	NS	<0.05	NS	<0.001	
Preferences to sensory characteristics							
Control-S	3.4±1.1 <sup>a</sup>	3.4±0.9 <sup>a</sup>	3.7±0.9 <sup>a</sup>	3.3±0.8 <sup>a</sup>	2.9±1.2 <sup>a</sup>	2.9±1.0 <sup>b</sup>	3.0±1.1 <sup>ab</sup>
Sulfur-1	3.5±0.8 <sup>a</sup>	3.3±0.8 <sup>a</sup>	3.4±1.0 <sup>a</sup>	3.2±0.7 <sup>a</sup>	2.9±1.1 <sup>a</sup>	2.8±0.9 <sup>b</sup>	3.0±1.0 <sup>ab</sup>
Sulfur-4	3.0±0.8 <sup>b</sup>	3.1±0.9 <sup>a</sup>	3.6±0.9 <sup>a</sup>	3.1±0.8 <sup>a</sup>	3.0±1.0 <sup>a</sup>	2.8±1.0 <sup>b</sup>	2.7±1.1 <sup>b</sup>
Control-M	3.5±1.0 <sup>a</sup>	3.3±0.8 <sup>a</sup>	3.5±0.9 <sup>a</sup>	3.4±0.8 <sup>a</sup>	3.3±1.0 <sup>a</sup>	3.4±0.9 <sup>a</sup>	3.4±1.0 <sup>a</sup>
<i>p</i> -value	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

<sup>1)</sup>The value was expressed as the average±standard deviation. <sup>a-c</sup>Means with different superscripts in the same column are significantly different. NS: not significant. Sensory characteristics of the onions and preferences to them were assessed using the scoring difference test of 5-point numerical scale, i.e., ranging from 1 (when the characteristic was weak) to 5 (when it was strong), and 1 (dislike extremely) to 5 (like extremely). The definitions for the sensory characteristics were referred to 'Standard Korean Language Dictionary' published by 'The National Institute of the Korean Language' (17).

**Table 8. Changes in the moisture and total reducing capacity of the onions stored at 4°C**

Samples	Moisture (%)			Total reducing capacity (µg Quercetin/g onion)		
	1 month	4 month	<i>p</i> -value	1 month	4 month	<i>p</i> -value
Control-S	90.25±0.20 <sup>a</sup>	91.42±0.21 <sup>a</sup>	<0.01	637.7±100.6 <sup>b</sup>	1503.17±147.09 <sup>b</sup>	<0.01
Sulfur-1	90.57±2.10 <sup>a</sup>	91.56±0.04 <sup>a</sup>	NS	1185.7±130.3 <sup>a</sup>	2514.80±321.21 <sup>a</sup>	<0.01
Sulfur-4	90.50±0.13 <sup>a</sup>	91.63±0.14 <sup>a</sup>	NS	1312.2±205.8 <sup>a</sup>	2244.30±233.66 <sup>a</sup>	<0.01
Control-M	90.80±1.01 <sup>a</sup>	90.47±0.30 <sup>b</sup>	NS	1286.2±309.7 <sup>a</sup>	1232.50±86.60 <sup>b</sup>	NS
<i>p</i> -value	NS	<0.001		<0.05	<0.001	

<sup>1)</sup>The value was expressed as the average±standard deviation. <sup>a-b</sup>Means with different superscripts in the same column are significantly different. NS: not significant. Onion were stored in a 4°C refrigerator and analyzed at both 1 month and 4 month after the onions harvest.

### 유황처리 횟수가 양파의 관능적 특성에 미친 영향

본 section에서는, 황 처리 횟수 증가에 따른 양파의 관능적 품질 특성과 그 특성에 대한 기호도 및 종합적 기호도를 평가하였다(Table 7). 5점 척도법으로 평가한 양파의 각 관능 특성의 평점 범위는, 색(color) 2.4-3.3, 매운 향(hot flavor) 2.4-2.9, 아삭함(crispiness) 3.5-3.8, 저작 시 수분이 흘러나오는 정도(juiciness during mastication) 2.6-3.3, 단맛(sweetness) 2.8-3.1, 매운 맛(spicy hot taste) 2.4-3.8의 분포를 나타내었다(Table 6). 색의 경우, 기계적 측정 결과와 동일하게 Sulfur-1, Sulfur-4는 Control-S에 비해 등색을 띄는 경향이 강하게 나타났으며( $p<0.001$ ), 이는 기호도에 다소 부정적 영향을 준 것으로 평가되었다. Thiosulfinate 함량(Table 4)과 향미 프로파일(Fig. 2) 결과는, 황 처리에 따라 양파의 매운 맛과 향에 유의적 차이가 없을 것을 시사하였다. 그러나, 관능적으로 인지된 매운 향과 맛은 유의적이지는 않았으나 황 처리와 함께 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 매운 맛 특성에 있어 삼척산 Control-S, Sulfur-1, Sulfur-4는 타 지역산 Control-M에 비해 매운 맛이 강한 것으로 인지되었으며, 이는 20대 초반 대학생들에 의해 평가된 관능적 기호도 및 종합적 기호도에 다소 부정적 영향을 준 것으로 해석되었다. 기계적 수치와 관능적 수치 사이에 빈번히 관찰되는 이러한 차이는, 일부 식품에서 관찰되는 특이한 냄새 성분들의 낮은 역치(threshold)에서 기인한 것으로 해석할 수 있다(7). 한편, 양파의 아삭함을 평가한 관능검사는 유의적 차이가 없는 것으로 인지되었으며, 이는 경도

의 기계적 측정치와 일치하였다(Table 6). 전반적으로, 양파에 황 처리 횟수를 증가시킴에 따라, 등색을 띄는 경향, 매운 맛과 매운 향의 특성들이 강해지는 것으로 인지되었다.

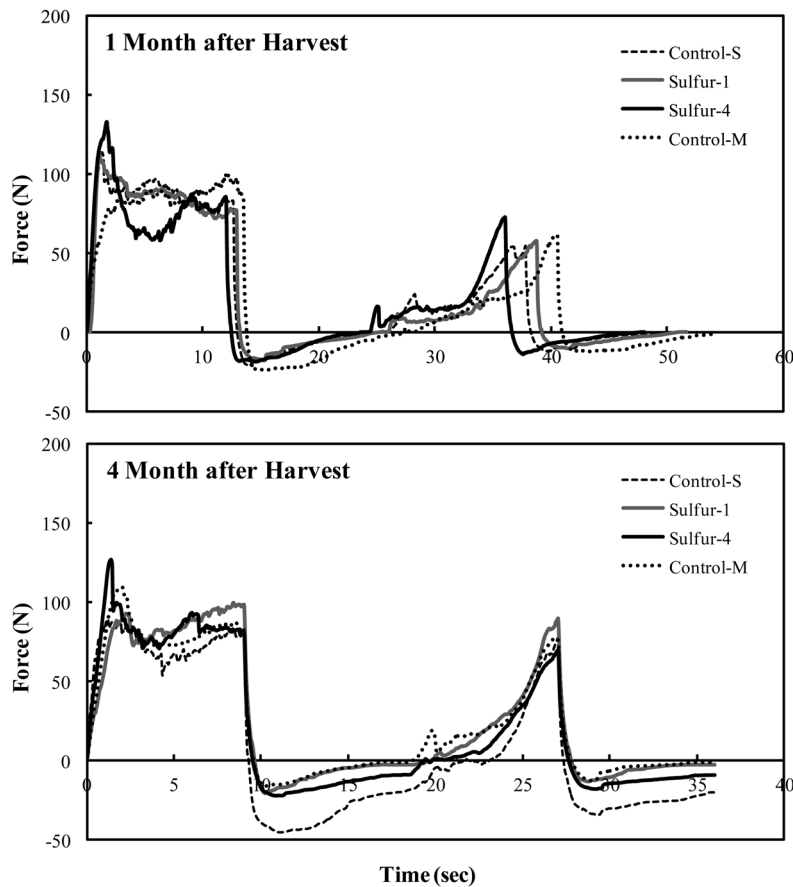
### 양파 저장 중 주요 품질 특성 변화

양파를 냉장(4°C) 온도에서 4개월 동안 저장한 후 품질과 관련된 대표적 지표로 수분, 총 환원력, texture를 평가하였다(Table 6 & 8, Fig. 3). 양파의 수분함량은 저온저장 중 큰 변화가 없었으며(Table 8), 이에 따라 양파의 아삭거리는 특성과 상관된 경도 및 텍스처 역시 유의적 변화가 관찰되지 않았다(Table 6, Fig. 3). 반면, 총 환원력은 삼척산 양파인 Control-S, Sulfur-1, Sulfur-4의 경우 모두 2배 정도 증가하여 유의적 차이를 나타내었으며( $p<0.01$ ), 황 처리군들은 무처리군에 비해 유의적으로 높았다( $p<0.001$ ). 이러한 현상은, 저장 중 진행되는 양파의 호흡작용으로 전분이 환원성 당류로 분해된 결과로 일부 해석할 수 있다. 그러나, 동일 조건에서 저장된 타 지역 양파인 Control-M에서는 이 현상이 관찰되지 않았으므로, 황 처리나 호흡작용 보다는 기후, 토양 등 지역적 영향이 더 크게 관여했을 가능성이 시사되었다.

## 요 약

양파 재배 시 국내 토양에 절대적으로 부족한 황을 처리 횟수를 달리하여 재배·생산한 후, 황 함유 성분(sulfur-containing





**Fig. 3. Texture profile analysis (TPA) of the onions using two bite compression test.** Onion samples were analyzed at both 1 month (A) and 4 month (B) after the onions harvest.

compounds)을 포함한 양파의 화학적 조성과 물리적·관능적 특성이 개선되었는지를 평가하였다. 선행연구를 토대로, 파종 시 토양에 직접 MSM 식이 유효성을 1회 공통 처리하고 수확 2달 전 황을 1회만 추가 처리한 군(Sulfur-1)과 수확 3달 전부터 수확 1달 전 까지 일정 간격으로 황을 총 4회 처리한 군(Sulfur-4)으로 구별하였으며, 황을 전혀 처리하지 않은 군(Control-S)과 타 지역 양파(Control-M)를 비교를 위한 대조군으로 선정하였다. 황 처리 횟수가 증가함에 따라, 수분은 감소하는 경향을, 총 질소로 측정된 조단백질과 무기질 총량인 회분( $p < 0.01$ ), 그리고 식이섬유는 증가하는 경향을 나타내었으며, Mg, K, Fe, Zn 등이 증가하여 ( $p < 0.05$ ), 전반적으로 무기질을 포함한 화학적 조성이 개선되었음을 시사하였다. 또한, 항산화력의 지표인 총 환원물질의 양도 2배 가량 유의적으로 증가하는 결과가 관찰되었다( $p < 0.05$ ). 그러나, 황 함유 성분인 thiosulfinate와 함황 아미노산에서는 황 처리 효과가 관찰되지 않았고, 전자코로 측정된 향미 프로파일 역시 향미 성분의 차이를 시사하지 않았다. 이는, 본 실험에서 처리된 황 수준은 질소대사 및 토양의 pH를 변화시키는 간접적 경로를 통한 양파의 이화학적 조성 변화는 가능하게 할 수 있었으나, 황 함유 성분들을 직접적으로 증가시키기에는 충분하지 못했음을 시사하였다. 그럼에도 불구하고, 황 처리 횟수 증가와 함께, 함황 성분들에 의해 주로 인지되는 매운 맛과 매운 향 특성은 관능적으로 강해지는 것으로 평가되었다. 이러한 차이는, 양파 특유의 냄새 성분들이 지닌 낮은 역치에서 기인한 것으로 해석하였다. 한편, Control-S, Sulfur-1, Sulfur-4 양파들은 4°C에서 4개월 동안 저장한 후, 모두 수분의 큰 증가 없이 총 환원력이 2배 가량 증

가하였으며( $p < 0.01$ ), 황 처리군이 무처리군에 비해 여전히 유의적으로 높았다( $p < 0.001$ ). 반면, 동일조건에서 Control-M은 유의적 변화가 관찰되지 않았다. 이러한 차이는, 황 처리, 호흡작용으로 인한 환원당의 증가 이외에 지역적 영향이 관여했을 가능성을 시사하였다.

## References

- 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)
- 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)
- Chung DO, Park YK. The study of softdrinks production and functional food in onions. *Korean J. Soc. Food Sci.* 15: 158-162 (1999)
- 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)
- 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)
- Shim SM, Yi HL, Kim YS. Bioaccessibility of flavonoids and total phenolic content in onions and its relationship with antioxidant activity. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 62: 835-838 (2011)
- 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)
8. 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)
  9. Millard P, Sharp GS, Scott NM. The effect of sulphur deficiency on the uptake and incorporation of nitrogen in ryegrass. J. Agr. Sci. 105: 501-504 (1985)
  10. 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)
  11. 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)
  12. Cazzato E, Laudadio V, Stellacci AM, Ceci E, Tufarelli V. Influence of sulphur application on protein quality, fatty acid composition and nitrogen fixation of white lupin (*Lupinus albus* L.). Eur. Food Res. Technol. 235: 963-969 (2012)
  13. Kwon E, Ryu D, Surh J. Quality characteristics of onions applied with MSM (methylsulfonylmethane) during cultivation. Korean J. Food Sci. Technol. 45: 213-220 (2013)
  14. AOAC. Official Methods of Analysis of the AOAC Intl. Method 984.13. The Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, USA (1990)
  15. Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventos RM. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. Method. Enzymol. 299C: 152-178 (1999)
  16. 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)
  17. The National Institute of the Korean Language. Standard Korean Language Dictionary. Available from: <http://www.korean.go.kr>. Accessed Aug. 19, 2012.
  18. Gallejones P, Castellon A, del Prado A, Unamunzaga O, Aizpuru A. Nitrogen and sulphur fertilization effect on leaching losses, nutrient balance and plant quality in a wheat-rape seed rotation under a humid Mediterranean climate. Nutr. Cycl. Agroecosys. 93: 337-355 (2012)
  19. Surh J, Kim JO, Kim MH, Lee JC, Lee BY, Kim MY, Yang HW, Yun S, Jeong HR. Nutritional properties, as food resources for menu development, of cubed snailfish, shaggy sea raven, and two kinds of wild vegetables that are staple products in Samcheok. Korean J. Food Cookery Sci. 25: 690-702 (2009)
  20. National Rural Resources Development Institute RDA. Food Composition Table, 7<sup>th</sup> Revision. Hyoil Books, Seoul, Korea. pp. 100-325 (2007)