

국내 육종 양파 품종별 주요성분의 함량 및 항산화활성 비교

황엄지¹ · 이유건² · 이형재² · 조정용² · 문제학^{2,*}

¹농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지작물연구소, ²전남대학교 식품공학과

Major constituents and antioxidant activities of domestic onion (*Allium cepa* L.) cultivars

Em-Ji Hwang¹, Yu Geon Lee², Hyoung Jae Lee², Jeong-Yong Cho², and Jae-Hak Moon^{2,*}

¹National Institute of Crop Science, Bioenergy Crop Research Institute

²Department of Food Science and Technology, Chonnam National University

Abstract The content of major constituents and antioxidant activities of nine onion cultivars, namely yellow domestic cultivars Meapsihwang, Sinsunhwang, Yeonsinhwang, Yeongbohwan, and Yeongpoonghwang, red domestic cultivar Eumjinara, green domestic cultivar Sweetgreen, yellow-introduced cultivar Sunpower, and red-introduced cultivar Cheonjujeok, were compared. Yeongbohwan and Cheonjujeok had the highest total phenolic and total flavonoid contents among the six yellow and two red cultivars, respectively. The red cultivars displayed the highest DPPH and ABTS⁺ radical scavenging activities (DRSAs and ARSAs, respectively) and reducing power (RP). Among all cultivars, Cheonjujeok and Eumjinara had the highest DRSA, while both red cultivars had similar ARSAs. Among the yellow cultivars, Sinsunhwang and Yeongbohwan showed excellent DRSAs. The RP of the domestic cultivars was slightly higher than that of the introduced cultivars. Thus, the domestic cultivar Yeongbohwan exhibited excellent characteristics among the yellow cultivars, while the red cultivars Eumjinara and Cheonjujeok were similar.

Keywords: onion, *Allium cepa*, different cultivars, flavonoid, antioxidant activity

서 론

백합과(科) 파속(屬)의 두해살이 식물인 양파(*Allium cepa* L.)는 기원전 3,000년 전부터 재배되기 시작하였으며 식품, 향신료 및 약재 등으로 사용되었다(Shigyo와 Kik, 2008). 양파는 피라미드 건설 노동자들의 지구력 증진과 고대 그리스 운동선수들의 건강 증진을 위해 주스 또는 생과로 이용되었을 정도로 식품학적 우수성 측면에 있어 관심의 대상이 되어왔다(Shigyo와 Kik, 2008).

양파는 색깔에 따라 황색, 백색, 적색(또는 자색) 양파로 구분되며(Clarke 등, 1944), 색에 따라 일반성분 및 기능성 성분(flavonoid, polyphenol 등)의 함량에 있어 차이를 보인다(Stavric과 Matula, 1992). 그리고 맛의 특성에 따라 매운맛이 강한 양파와 단맛이 강한 양파로 구분된다(Vavrina, 1993). 양파에는 수분(82.8-83.0%), 탄수화물(14.1-14.8%), 총 당류(2.3-4.7%), 단백질(1.5-2.6%) 및 지질(0.4-0.7%)이 함유되어 있으며, 그 외에도 신선중량(fresh weight, FW) 100 g을 기준으로 vitamin C (5.7-6.5 mg), Ca (25.7-46.9 mg), P (30.3-50.6 mg) 및 K (129.0-140.0 mg) 등이 함유되어 있음이 보고되어 있다(Bhattacharjee 등, 2013). 양파의 다양한 생

리활성을 부여하는 flavonoid계 화합물에는 quercetin 4'-glucoside, quercetin 4',7'-diglycoside, quercetin 3,7'-diglycoside, quercetin 3,4'-diglycoside, quercetin, isorhamnetin monoglycoside, kaempferol monoglycoside 등이 있으며(Lee 등, 2016), 이중 quercetin의 2당 및 단당 배당체와 그 aglycone인 quercetin이 80%를 차지한다(Leighton 등, 1992). Flavonoid는 UV에 의한 세포 손상 방지(Hirota 등, 1998), 항균과 항바이러스(Hanasaki 등, 1994), 항염과 항알레르기(Hop 등, 1983) 및 혈관확장(Duarte 등, 1993; Hanasaki 등, 1994) 등의 생리활성을 발현함이 알려져 있으며, 생체 내에서 강한 항산화 활성을 보이는 것으로 보고되고 있다(Hanasaki 등, 1994; Hodnick 등, 1987). 또한 최근에는 flavonoid가 허혈성 심장 질환의 예방효과(Hertog 등, 1993), 항기생충, 항돌연변이 및 항암 등의 다양한 생리활성을 발현함도 보고된 바 있다(Stavric과 Matula, 1992). Flavonoid는 양파의 껍질이나 잎에서 더 높은 함량을 보이며, 껍질의 경우 6.5% 정도가 함유되어 있는 반면, 안쪽 조직에는 0.01% 정도가 함유되어 있다(Stavric과 Matula, 1992). 색깔별로는 흰색의 껍질보다 색을 가진 껍질에 flavonoid의 함량이 더 높다(Stavric과 Matula, 1992). 그리고 황색 및 적색양파의 경우 육질에 100 g FW 당 6-100 mg의 flavonoid가 함유되어 있으며, 양파의 산지 및 품종에 따라라도 함유된 flavonoid의 조성 에 차이가 있는 것으로 알려져 있다(Bilyk 등, 1984).

양파의 세포가 파괴될 때 방출되는 alliinase는 cysteine sulfoxide 에 작용하여 다양한 황화합물과 thiosulfinate, ammonia, pyruvate 등을 생성한다(Hanum, 1995). Thiosulfinate의 주 성분인 allicin [C₃H₇-S-S(O)-C₃H₇]은 항균작용 및 세포대사억제 등 중요한 생화학 적 활성을 보인다(Cavallito와 Bailey, 1944; Dewitt 등, Kwon

*Corresponding author: Jae-Hak Moon, Department of Food Science and Technology, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea
Tel.: +82-62-530-2141
Fax: +82-62-530-2149
E-mail: nutrmoon@jnu.ac.kr
Received May 4, 2021; revised June 15, 2021;
accepted June 16, 2021

등, 2013; Small 등, 1947). Allicin은 매우 불안정한 화합물로서 양파에는 직접 존재하지 않으나 양파를 절단하거나 으깬 때 alliinase 효소에 의해 alliin (*S*-allyl-L-cysteine sulfoxide)으로부터 생성되고, 이는 다시 다른 하위 sulfides 화합물인 diallyl mono-, di-, 그리고 oligosulfides, vinylidithins, ajoenes 등 30여종으로 분해되며, 이중 diallyl disulfide와 diallyl sulfide의 함량이 높아 전체 황화합물의 75% 이상을 차지한다(Yu 등, 1989). 양파의 향미를 결정하는 cysteine sulfoxides의 함량은 pyruvic acid의 양과 비례한다(Bacon 등, 1999; Crowther 등, 2005; Randle, 1992). Pyruvic acid는 양파 조직이 파괴된 후 6분 이내에 생성되며, 양파의 매운맛과 높은 상관관계를 나타내 pyruvic acid의 양은 매운맛의 지표로 활용될 수 있어 단양파를 선발하기 위한 육종연구에 pyruvic acid 함량이 기준으로 활용되기도 한다(Bennet, 1945; Schwimmer와 Weston, 1961; Wall과 Corgan, 1992).

양파는 2019년 기준 전 세계적으로 519만 ha에서 재배되어 연간 9,996만 톤이 생산되었으며, 우리나라에서는 21,777 ha에서 159만 톤이 생산되었다(FAOSTAT, 2014). 양파의 1인당 연간소비량은 전 세계적으로 약 6 kg 정도이며, 우리나라는 27 kg으로 소비량이 매우 높은 편이다(FAOSTAT, 2014). 이러한 재배면적의 증가 및 소비량의 증가에도 불구하고 우리나라에서 재배되는 양파는 약 60%가 수입품종으로 국내에서 육종된 품종은 40%에 불과하다(Korea Seed Associate, 2019). 국내에 생산·수입·판매가 신고된 양파 품종은 2020년 기준으로 1,446종이 있으나 농가현장에서 재배되고 있는 품종은 주로 일본으로부터 수입된 품종이 주류를 이루고 있어 양파 종자 수입액은 전체 채소종자 수입액 346,039천 달러의 15%인 11,238천 달러로 가장 높은 비율을 차지하고 있다(Korea Seed Associate, 2019).

국내에서 현재까지 개발된 양파 품종은 농촌진흥청에서 육종한 신선황, 맵시황, 영풍황, 영보황, 연신황, 엄지나라 및 스위트그린이 있으며, 각 품종별 특징은 다음과 같다. ‘맵시황’과 ‘신선황’은 매운 맛이 덜한 개체들을 선발하여 계통 분리한 품종으로 생식용에 적합한 품종으로 인식되고 있다. ‘영풍황’은 중만생계 다수성 1대 잡종 품종육성을 목표로 2003년에 웅성불임 만생계 동인 OS8-1을 모본으로 하였고, 조생계 동인 목포4호를 화분친으로 하여 조합능력을 검증한 결과 균일성, 수량성, 구모양 등의 농업적인 형질이 우수한 것으로 평가되었다(Lee 등, 2009). ‘영보황’은 저장성이 좋은 웅성불임 모본과 구가 둥글고 맛이 좋은 화분친으로 교배하여 만든 1대 잡종 품종으로 균일도와 수량성이 높고 저장성이 우수하다(Lee 등, 2010). ‘엄지나라’는 자색양파로 내한성과 노균병에 강하고 대비품종(천주적)에 비해 11% 증수되는 다수성 품종이며, 매운맛이 적고 기능성 성분의 함량이 높아 생식용과 즙용으로 좋은 특성을 가지고 있는 것으로 보고된 바 있다(Kim 등, 2017). ‘스위트그린’은 겉껍질 색이 연녹색이며 저장성이 강하고, 가용성 고형물 함량과 유리당인 fructose, glucose 및 sucrose의 함량이 높아 당도가 높은 특징을 지니고 있다(Kim 등, 2012). 그리고 이 9종의 양파 품종들 중 선파위와 천주적은 수입 품종이다. 선파위는 국내에서 주로 재배되고 있는 중만생종 양파이고, 천주적은 자색 양파로 내병성이 강하고 다수확이 가능한 양파이다. 이처럼 국내에서 다양한 품종들이 개발되어왔음에도 불구하고, 현재 국내에서 소비되는 양파는 국내 육종 품종들에 비해 수입품종이 주류를 이루고 있는 실정이다.

이처럼 세계적으로 양파를 대상으로 상당부분의 연구가 진행되어 왔으나 국내에서 육종된 품종의 분석학적 및 기능학적 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내 육종 품종과 외국 수입품종 양파 간의 일반형질, 2종의 저분자 페놀성

화합물과 6종 flavonoid의 개별함량, 그리고 양파에 함유된 특정 성분의 분석 및 항산화 활성을 비교함으로써 국산품종의 성분학적 및 기능학적 특성을 제시하고, 양파의 품종별 및 색깔별로 각 형질의 차이를 확인하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용한 양파(*Allium cepa* L.)는 황색양파 6품종[선파위(cv. Sunpower, SPW), 맵시황(cv. Meapsihwang, MSH), 신선황(cv. Sinsunhwang, SSH), 영보황(cv. Yeongbohwang, YBH), 연신황(cv. Yeonsinhwang, YSH), 영풍황(cv. Yeongpoonghwang, YPH)], 적색양파 2품종[천주적(cv. Cheonjujeok, CJJ), 엄지나라(cv. EJN: Eumjinara, EJN)], 그리고 녹색양파 1품종[스위트그린(cv. Sweetgreen, SG)]을 대상으로 하였으며, 이들 모두는 전남 무안에 위치한 농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지작물연구소 실험포장에서 재배하였다. 양파는 2013년 9월 중순에 파종하였으며, 10월 하순에 정식하였다. 양파재배 시험포장 조성은 표준시험량인 요소 17 kg/10 a, 용성인비 39 kg/10 a, 염화칼륨 10 kg/10 a를 정식 3일 전에 시비하였으며, 재식거리는 줄사이 20-24 cm로, 포기사이는 10 cm로 하였고, 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 재배하였다. 재배 및 관리는 표준재배법에 준하였으며(농촌진흥청, 2013), 2014년 6월에 수확하여 수확 직후에 본 실험을 수행하였다.

표준품 및 시약

표준품의 페놀성 화합물은 3,4-dihydroxybenzoic acid (BA), 3-methoxy-4-hydroxy benzoic acid (3-MeBA), quercetin 4'-O-β-D-glucopyranoside (Q4'G), isorhamnetin 3'-O-β-D-glucopyranoside (IR3'G), quercetin 3-O-β-D-glucopyranoside (Q3G), quercetin 3,7-O-β-D-digluco-pyranoside (Q3,7G), quercetin 3,4'-O-β-D-digluco-pyranoside (Q3,4'G)를 사용하였다. 이들중 flavonoid 배당체의 표준품들은 본 연구실의 선행연구(Lee 등, 2016)에 의해 양파로부터 분리·정제하여 NMR 및 MS 분석을 통해 구조결정된 화합물을 이용하였다. 그리고 quercetin, BA, 3-MeBA, gallic acid, Folin & Ciocalteu phenol, 5,5'-dithio-bis(2-nitrobenzoic acid), dinitrophenyl-hydrazine (DNPH), sodium pyruvate, potassium persulphate, glucose, fructose, sucrose, dinitrophenyl-hydrazine (DNPH), 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS), N-(2-hydroxyethyl)piperazine-N'-2-ethanesulfonic acid (HEPES) 및 5,5'-dithio-bis(2-nitrobenzoic acid) (DTNB)는 Sigma-Aldrich Chemical Co. (St. Louis, MO, USA)로부터 구입하였으며, trichloroacetic acid (TCA)는 Junsei (Tokyo, Japan)의 제품을, 그리고 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH)은 Wako Pure Chemicals Industries Ltd. (Osaka, Japan)의 제품을 이용하였다. 그리고 high performance liquid chromatography (HPLC) 분석에 이용된 용매는 HPLC 등급을 이용하였다.

추출물 조제

양파 추출물은 두 방법에 의해 조제되었다. 즉, 6종의 flavonoid 및 2종의 phenolic acid 개별성분의 정량을 위한 추출물(추출물 A)과 총 페놀성 화합물, 총 flavonoid 함량, 총 anthocyan 함량, 총 thiosulfinate 함량, 총 pyruvic acid 함량, 당 함량 분석 및 항산화 활성 평가를 위한 추출물(추출물 B)이 따로 조제되었다.

추출물 A의 조제를 위해 먼저 양파 9품종으로부터 유사한 크기의 3개체를 무작위로 선택하여 각각 5 mm³가 되도록 세절하여

동결건조하였다. 동결건조한 시료 500 mg에 80% methanol (MeOH) 50 mL를 가하여 암소에서 30분간 정치 후, homogenizer (D-160, DLAB, Beijing, China)를 이용하여 균질화한 다음, 여과지(No. 2, Whatman, NJ, USA)를 이용해 흡입여과하였다. 이후 잔사에 MeOH 50 mL를 가하여 동일한 방법에 의해 균질화 및 여과를 행하였다. 각 품종별로 얻어진 여과액을 각각 합하여 진공농축기(EZ-2 Plus, Genevac, Ipswich, UK)로 농축한 후, MeOH로 용해시켜 5 mL가 되도록 정용하였다. 얻어진 용액을 membrane filter (0.45 µm, Millex-FH 13 mm, Millipore Co., Bedford, MA, USA)를 이용하여 여과한 다음, 그 여액을 HPLC로 분석하였다.

추출물 B의 조제를 위해 먼저 양파 9품종을 흐르는 물에 세척한 후, 잘게 잘라 동결건조(FD-5518, Ilshin Lab Co., Seoul, Korea)하여 분말화하였다. 이어 품종별 양파분말 1 g씩을 취하여 80% MeOH 25 mL에 침지시켜 추출물 A의 조제 조작과 동일하게 균질화한 후, 24시간 동안 상온에서 추출한 다음, 여과(No. 2, Whatman)하여 분석에 이용하였다.

양파 품종별 일반 형질 조사

양파의 생육 특성은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석 기준에 준하여 실시하였다(Rural Development Administration, 2021). 양파 9품종을 무작위로 9개체씩 선발하여 양파 구(bulb)의 높이(bulb height)와 직경(bulb diameter)을 버니어캘리퍼스를 이용하여 0.01 mm 수준까지 측정하였고, 각 개체의 무게(bulb weight)를 0.01 g 수준까지 측정하여 평균값(mean±SD, n=9)으로 나타내었다. 또한 양파 중앙부를 횡단면으로 절단하여 맹아엽 수(No. of hearts), 인편 수(No. of scales) 및 두께(scale thickness)를 계수하였다. 그 개념도를 Fig. 1에 제시하였다.

양파 품종별 건조중량을 확인하기 위해 양파를 세절한 후, 시료 100 g씩을 취하여 80°C에서 24시간 동안 건조한 다음, 105°C에서 6시간 건조 후 건조물의 무게를 측정하였다.

$$\text{건조중량(dry weight, \%)} = \frac{\text{건조 후 시료의 중량}}{\text{건조 전 시료의 중량}} \times 100$$

Flavonoid 및 phenolic acid의 개별 함량 분석

분석 대상 각 화합물의 정량은 추출물 A를 이용하여 HPLC로 분석하였다. 즉 column은 octadecylsilane (ODS, 5 µm, 4.6×250 mm, Shiseido, Tokyo, Japan)을 이용하였으며, column 온도는 40°C를 유지시키고, 용출용매의 유속은 0.8 mL/min (LC-6AD Pump, Shimadzu, Kyoto, Japan)으로, 그리고 검출파장은 370 nm (SPD-M20A, Shimadzu)로 하여 분석하였다. 이동상은 2% acetic acid (AcOH, A용매)를 출발용매로 하여 linear gradient 용출방법에 의해 35분 후에 50% acetonitrile (MeCN, B용매)이 용출되도록 한 후, 15분 동안 B용매를 isocratic 용출방법에 의해 용출시켰다(HPLC-1). 그리고 분석대상 8종의 화합물 각각을 1 mg씩 취하여 MeOH 1 mL에 용해시킨 후, 각각 단계적으로 희석한 용액을 HPLC-1의 조건에 의해 표준 곡선을 작성하여 external standard 법에 의해 각 화합물을 정량하였다.

총 페놀성 화합물 정량

총 페놀성 화합물의 함량은 Folin & Ciocalteu's 방법을 이용하여 정량하였다(Singleton과 Rossi, 1965). 증류수 0.9 mL에 품종별로 조제한 추출물 B를 각각 0.1 mL (4 mg, dry wt.)씩 가하고, 2 N Folin & Ciocalteu phenol 시약 0.5 mL를 첨가하였다. 이어 20% Na₂CO₃ 용액 2.5 mL를 가한 다음, 1,000×g에서 10분간 원심

분리하여 25°C에서 20분간 암소에 방치하였다. 분리된 상층액을 대상으로 분광광도계(Libra S22; Biochrom, Cambridge, England)를 이용하여 735 nm에서 흡광도를 측정하였다(AOAC, 1995). 시료의 총 페놀성 화합물의 함량은 gallic acid를 표준물질로 사용하여 작성된 검량선으로부터 정량하여 gallic acid 상당량(GA eq.)으로 제시하였다.

총 flavonoid 정량

총 flavonoid 함량의 분석을 위해 추출물 B의 각 시료 0.1 mL (4 mg, dry wt.)에 diethyleneglycol (Junsei Chemicals)을 1 mL씩 가하여 혼합하였다. 그 후 1 N NaOH 용액 0.1 mL를 가하여 잘 혼합한 다음, 37°C water bath에서 1시간 동안 반응시킨 후, 반응액을 분광광도계(Libra S22; Biochrom)를 이용하여 420 nm에서 흡광도 값을 측정하였다. 시료의 총 flavonoid 함량은 quercetin을 표준물질로 하여 작성된 표준곡선을 이용하여 정량하였으며, quercetin 상당량(Q eq.)으로 제시하였다(AOAC, 1995).

총 anthocyan 정량

총 anthocyan 함량은 pH differential method를 응용하여 측정하였다(Giusti와 Wrolstad, 2001). 즉 각 품종별 추출물 B 시료 0.1 g (dry wt.)에 pH 1.0 buffer (0.2 M KCl+0.2 M HCl)와 pH 4.5 buffer (0.2 M potassium phosphate+0.1 M citric acid) 2 mL씩을 각각 혼합한 후, 분광광도계(Libra S22; Biochrom)로 520 nm와 700 nm에서 흡광도를 측정한 다음, 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{Total anthocyan content (cyanidin 3-glucoside, mg/100 g)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\epsilon \times l}$$

$$A = (A_{\lambda,520} - A_{\lambda,700})_{\text{pH 1.0}} - (A_{\lambda,520} - A_{\lambda,700})_{\text{pH 4.5}}$$

$$MW = \text{molecular weight of cyanidin 3-glucoside} = 449.2 \text{ g/mol}$$

$$DF = \text{dilution factor}$$

$$\epsilon (\text{the molar absorptivity}) = 26,900 \text{ L/cm} \cdot \text{mol}$$

총 thiosulfinate 정량

Allin의 분해 생성물인 thiosulfate는 Han 등(1995)의 방법에 따라 정량하였다. 추출물 B 시료 0.1 mL (4 mg, dry wt.)에 50 mM HEPES 용액(2 mM cysteine, pH 7.5) 0.5 mL를 가한 다음, 50 mM HEPES buffer를 가하여 총 반응용액의 부피를 5 mL로 정용한 후, 27°C에서 10분간 반응시켰다. 반응액 1 mL를 취하여 50 mM HEPES buffer로 제조한 0.4 mM DTNB 용액 1 mL를 가하여 잘 혼합하고, 27°C에서 10분간 재차 반응시켜, 412 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료에 함유된 thiosulfinate 함량은 동일한 조건에서 조제한 0.1-1 mM의 cysteine 반응용액의 결과값으로부터 얻어진 표준곡선을 이용하여 정량하였다.

총 pyruvic acid 정량

양파 9품종을 각각 반으로 잘라 중심부를 포함하는 조각을 100 g씩 믹서기로 분쇄하여 시료를 제조하였다. Pyruvic acid 함량 분석은 Yoo 등(1995)의 방법을 변형하여 분석하였다. 분쇄된 양파 시료 0.5 mL (500 mg, fresh wt.)를 시험관에 담아 10분간 방치한 다음, 5% TCA 용액 1.5 mL를 첨가하여 혼합한 후, 증류수를 가하여 최종 용량이 20 mL가 되도록 하였다. 혼합액 1 mL를 시험관에 취하고 0.0125% DNPH 용액 1 mL와 증류수 1 mL를 넣어

혼합한 후, 37°C 항온수조에서 10분간 반응시킨 다음, 0.6 N NaOH 용액 5 mL를 가하여 반응을 정지시켰다. 반응액을 분광광도계(Libra S22, Biochrom)를 이용하여 420 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료의 pyruvic acid 함량은 sodium pyruvate를 분석하여 얻어진 검량선으로부터 계산하여 나타내었다.

당 함량 정량

Glucose, fructose 및 sucrose의 농도는 HPLC로 분석하였다. 즉, 동결건조 분말 시료 1 g에 증류수 9 mL를 첨가하여 membrane filter (0.45 µm)로 여과하여 여액을 분석에 이용하였다. 시료 20 µL를 RI detector (RID2414, Waters, Milford, USA)와 carbohydrate column (Zorbax, 4.5×250 mm, 5 µm, Agilent, Wilmington, DE, USA)이 장착된 HPLC system (717 Plus, Waters)에 주입하였다. Column 온도는 40°C를, 유속은 1.4 mL/min을 유지시켰으며, 이동상은 acetonitrile/H₂O=83:17 (v/v) 용액을 isocratic 용출법에 의해 용출시켰다(HPLC-2). 시료의 당 농도는 glucose, fructose 및 sucrose를 external standard로 하여 얻어진 표준곡선으로부터 정량하였다. 그리고 총 당 함량(total sugar content, TSC)은 glucose, fructose 및 sucrose의 함량을 합한 값으로 제시하였다.

DPPH radical scavenging 활성 평가

양과 품종별 추출물의 DPPH radical scavenging 활성은 Blois 등(1958)의 방법을 이용하여 측정하였다. 즉, 양과 품종별 추출액 B를 각각 증류수를 이용하여 농도별(5, 10, 20, 40 mg/mL)로 희석한 다음, 희석한 시료 1 mL에 MeOH로 용해시킨 0.2 mM DPPH용액 2 mL를 가한 다음, MeOH 1 mL를 재차 가하여 최종 용량이 4 mL가 되도록 하였다. 이 반응액을 vortex mixer로 5초간 가볍게 혼합하고, 실온 암소에 10분간 방치시킨 후, 분광광도계(Libra S22)를 이용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료를 첨가하지 않은 반응액을 대조군으로 하여 다음 식에 의해 DPPH radical scavenging 활성을 제시하였다.

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = \left(1 - \frac{A}{B}\right) \times 100$$

A: absorbance value of testing solution

B: absorbance value of control solution

환원력 평가

양과의 환원력은 Oyaizu 등(1986)의 방법을 변형하여 측정하였다. 추출물 B 시료 0.25 mL (10 mg, dry wt.)에 250 mM sodium phosphate buffer (pH 6.6)와 1% potassium ferricyanide를 각각 250 µL씩 차례로 가하여 교반한 후, 50°C의 수욕중에서 20분간 반응시켰다. 여기에 1% TCA 용액 250 µL를 가하여 1,000 rpm에서 1분간 원심분리한 다음, 상등액 500 µL에 증류수 500 µL와 1% ferric chloride 100 µL를 혼합하여 분광광도계(Libra S22)를 이용하여 700 nm에서 흡광도를 측정하였다.

ABTS⁺ radical scavenging 활성 평가

양과 품종별 ABTS⁺ radical scavenging 활성은 Roberta 등(1999)의 방법으로 측정하였다. 즉, 7.4 mM ABTS 2.6 mM potassium persulphate 용액을 제조하여 암소에 24시간 방치하여 양이온(ABTS⁺)을 형성시키고, 734 nm에 흡광도 값이 1.5 이하가 되도록 희석한 후, 희석된 ABTS⁺ 용액 1 mL에 추출물 B 시료 50 µL (2 mg, dry wt.)를 가하여 60분 후 흡광도를 측정하였다. 항산화능은 ascorbic acid를 대조군으로 하여 아래 식을 이용하여

ABTS⁺ radical scavenging 활성을 백분율로 나타내었다.

ABTS⁺ radical scavenging activity (%)

$$= \left(1 - \frac{\text{Sample O.D.}}{\text{Control O.D.}}\right) \times 100$$

통계분석

양과 품종별 성분의 함량 및 항산화활성에 관한 통계분석은 통계분석 이전에 Levene의 등분산검정(test of homogeneity of variances)을 실시하였으며, 데이터의 동질성이 확인되면 one-way ANOVA test를 실시하여 유의차를 검정하였다. 유의성은 Statistica (version 7.0) program을 이용하여 p<0.05 수준에서 Tukey's test 방법으로 검정하였다.

결과 및 고찰

양과 품종별 일반 형질

양과의 품종별 차이를 확인하기 위하여 일반적인 형질을 평가하였다. 그 결과(Table 1), 9품종 양과 구근의 평균 중량(구중)은 251.74±61.40 g이었고, 품종별로는 136.21-370.72 g의 범위에 있어 다양성을 보였으며, 영풍황(370.72 g)이 최대 구중을, 그리고 스위트그린(136.21 g)이 최소 구중을 보였다. 양과 형태를 나타내는 형질중 하나인 구고(Fig. 1)는 평균 68.69±4.16 mm였고, 선파위가 75.20±3.72 mm로 최대값을 나타냈으며, 천주적이 60.57±4.53 mm로 최소값을 나타냈다. 구경(Fig. 1)은 평균 82.27±8.62 mm를 나타냈고, 품종별로 63.01 (스위트그린)-94.86 (영풍황) mm의 범위를 보였다. 구형지수(구고/구경)는 스위트그린이 1.10으로 약간 길쭉한 모양이었으며, 천주적은 0.68로 약간 납작한 모양이었다. 구멍아 엷수는 평균 1.40±0.31개였으며, 영풍황과 엄지나라에서 각각 1.89±0.33개와 1.89±0.60개로 최대였고, 맵시황과 신선황이 1.11±0.33개로 가장 적은 구멍아 엷수를 나타냈다. 인편 수는 평균 7.10±0.51개로 천주적이 최대값(8.22)을, 신선황이 최소값(6.56)을 나타냈다. 인편의 두께는 평균 11.65±1.28 mm였고, 품종별로는 영풍황이 13.12±0.42 mm로 최대값을, 그리고 스위트그린이 8.68±0.38 mm로 최저값을 나타냈다. 건물중은 평균 9.18±0.91%로 스위트그린이 10.80±0.20%로 최대였고, 영풍황이 8.30±0.10%로 최소였다(Table 1).

Flavonoid 및 phenolic acid의 개별 함량

양과 9품종을 대상으로 총 8종의 페놀성 화합물, 즉 6종의 flavonoid (Q, Q4'G, IR3'G, Q3G, Q3,7G, Q3,4'G) 및 2종의 phenolic acid (BA, 3-MeBA) 각각의 함량을 HPLC-1의 조건을 이용하여 분석하였다. 분석 대상 화합물의 표준품(Fig. 2D) 및 시료 3종(Fig. 2A, 영보황; Fig. 2B, 엄지나라; Fig. 2C, 스위트그린)을 분석한 HPLC chromatogram을 Fig. 2에 제시하였으며, 각 품종에 함유되어 있는 8종 화합물의 개별 함량을 Table 2에 제시하였다.

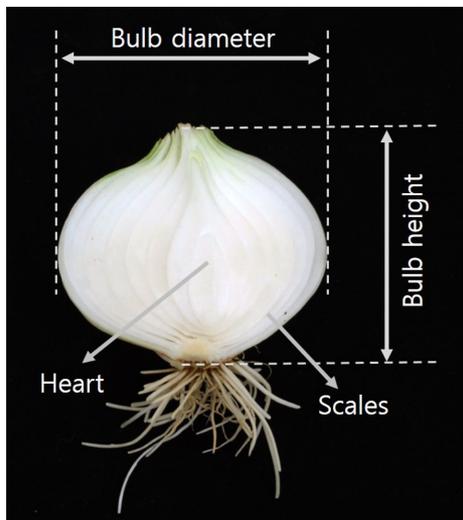
분석 결과, BA는 어떤 품종의 양과로부터도 검출되지 않았다. 본 연구의 분석조건에 있어 BA의 검출한계농도(S/N 비, 3)는 20.0 pmol이었다. 그러나 BA의 3위 수산기에 methyl기가 치환된 3-MeBA는 신선황과 천주적 품종을 제외하고 나머지 7품종의 양과로부터 매우 낮은 함량(0.09 mg/100 g FW 이하)이나마 검출되었다. 그리고 BA와 3-MeBA 외 6종의 flavonoid는 품종에 따라 함량에 큰 차이를 보이기는 하였지만 9종의 분석 대상 시료 모두로부터 검출되었다.

신선 양과 100 g 당 분석 대상 화합물의 각 시료별 총 함량은,

Table 1. Physical properties of nine onion cultivars

Cultivars	Bulb weight (g)	Bulb height (mm)	Bulb diameter (mm)	Bulb shape index*	No. of hearts	No. of scales	Scale thickness (mm)	Dry weight (%)	
Yellow	SPW**	283.21±19.02	75.20±3.72	84.93±2.86	0.89±0.05	1.22±0.44	7.00±0.50	11.68±0.52	9.60±0.61
	MSH	243.42±38.03	71.11±4.04	81.24±5.14	0.88±0.08	1.11±0.33	6.89±0.60	12.36±0.74	7.97±0.35
	SSH	236.87±45.14	71.60±2.57	81.91±3.26	0.87±0.02	1.11±0.33	6.56±0.73	12.00±0.87	9.10±1.83
	YSH	248.69±43.57	65.36±6.99	83.12±4.32	0.79±0.07	1.33±0.50	6.78±0.44	12.44±0.62	8.40±0.56
	YBH	232.36±23.68	67.68±3.09	81.27±3.96	0.83±0.06	1.89±0.33	7.11±0.60	11.33±0.50	9.23±0.38
	YPH	370.72±49.90	70.14±5.07	94.86±4.41	0.74±0.04	1.44±0.53	7.56±0.53	13.12±0.42	8.30±0.10
Red	CJJ**	278.71±33.64	60.57±4.53	89.51±3.27	0.68±0.06	1.78±0.44	8.22±0.67	11.02±0.45	10.17±0.57
	EJN	235.48±38.14	67.53±3.45	80.56±5.55	0.84±0.10	1.89±0.60	6.67±0.71	12.20±0.95	9.07±0.06
Green	SG	136.21±12.36	69.06±4.40	63.01±3.68	1.10±0.11	1.56±0.53	7.11±0.33	8.68±0.38	10.80±0.20
Average		251.74±61.40	68.69±4.16	82.27±8.62	0.85±0.12	1.40±0.31	7.10±0.51	11.65±1.28	9.18±0.91

SPW, Sunpower; MSH, Meapsihwang; SSH, Sinsunhwang; YSH, Yeonsinhwang; YBH, Yeongbohwang; YPH, Yeongpoonghwang; CJJ, Cheonjujeok; EJN, Eumjinara; SG, Sweetgreen. *: Bulb height/bulb diameter. **: Introduced cultivars.

**Fig. 1.** Physical properties of onion.

불검출 성분을 제외하고, 성분과 품종에 따라 0.01-53.79 mg으로 함량 차이가 큼을 알 수 있었으며, Q4'G (평균 18.72 mg)와 Q3,4'G (평균 35.97 mg)의 함량이 모든 시료들에서 가장 높았다. 타 연구그룹의 선행연구 결과에서 양파에 함유되어 있는 flavonoid 들 중 Q4'G와 Q3,4'G가 차지하는 비율은 약 90% 정도라고 보고된 바 있다(Lombard 등, 2005; Oyaizu, 1986). 본 연구도 분석 대상으로 한 8종 화합물들 중 Q4'G와 Q3,4'G가 차지하는 비율이 96.8-98.2%였으며, 모든 품종에서 Q3,4'G가 Q4'G보다 높은 함량을 보였으며, 천주적과 엄지나라는 Q3,4'G가 Q4'G보다 약 1.5배 및 1.7배 높았고, 그 외의 품종들에 있어서는 Q3,4'G가 Q4'G보다 약 2-2.3배 높은 비율로 함유되어 있는 것으로 확인되었다. 이처럼 타 연구그룹의 선행연구 결과들과 비교하였을 때, 국산 품종들이 외국산 품종들에 비해 Q4'G와 Q3,4'G의 flavonoid들 중에 차지하는 비율이 더 높음을 알 수 있었다. 그리고 본 연구에 있어 품종별 분석 대상 화합물들의 총 함량(mg/100 g FW)은 천주적(85.57±3.02)>영보황(81.37±1.25)>엄지나라(79.40±1.82)>스위트그린(71.75±2.40)>신선황(47.60±1.12)>맷시황(38.65±1.72)>영풍황(37.76±1.74)>선파워(32.76±0.64)>연신황(30.53±0.35) 순이었다. 수

입품종인 '천주적'은 적색 양파로 분석 대상 화합물들의 총 함량(85.57 mg/100 g FW)이 가장 높았으며, 국내품종인 적색양파 '엄지나라' 역시 비슷한 수준(79.40 mg/100 g FW)으로 총 함량이 높았다. 반면 수입품종인 황색양파 '선파워'의 총 함량은 32.73 mg/100 g FW 수준이었으나, 국내품종인 '영보황', '스위트그린', '신선황'의 총함량은 각각 81.37, 71.75, 47.60 mg/100 g FW로 높은 수준을 나타냈다.

분석 대상으로 한 8종의 주요 양파성분들 중 가장 높은 함량을 나타낸 Q4'G와 Q3,4'G를 대상으로 양파 색깔별로 구분하여 함량을 비교한 결과, 황색양파에서 수입품종인 선파워의 Q4'G와 Q3,4'G 함량(FW 100 g 당)은 각각 9.86±0.31 mg과 22.10±0.64 mg으로 5개 국산품종 중 연신황(9.40±0.39, 20.20±0.35 mg)만 선파워에 비해 낮은 함량을 보였고, 나머지 4품종은 선파워보다 더 높은 함량을 나타냈다. 특히 영보황은 Q4'G를 26.09±0.78 mg, 그리고 Q3,4'G를 53.79±1.25 mg 함유하여 가장 높은 함량을 나타냈다. 적색양파에서 Q4'G와 Q3,4'G의 함량은 수입품종인 천주적이 각각 33.42±0.45 mg과 49.67±3.02 mg을, 그리고 국산품종인 엄지나라는 28.60±0.51 mg과 48.24±1.82 mg을 나타냈다. 즉 Q4'G의 함량은 천주적이 엄지나라보다 더 높게 함유되어 있었으며, Q3,4'G의 함량은 천주적과 엄지나라가 유사한 것으로 확인되었다. 연녹색을 띠는 스위트그린은 Q4'G는 23.00±0.31 mg을, 그리고 Q3,4'G는 46.54±2.40 mg을 함유하고 있어 황색양파보다 함량이 높았으며, 적색양파보다는 낮은 함량을 보였다. 양파에는 다양한 종류의 flavonoid가 존재하며 그 함량 또한 차이가 있는데, 양파의 색깔에 따른 flavonoid 함량은 적색>황색>백색의 순으로 차이를 보이는 것으로 알려져 있다(Slimstad 등, 2007). 본 연구에서 총 함량(mg/100 g FW)은 적색양파인 천주적(85.57±3.02)이 가장 높았으며, 다음으로 황색양파인 영보황(81.37±1.25), 적색 엄지나라(79.40±1.82), 연녹색 스위트그린(71.75±2.40) 순으로 나타나 국산 품종에 있어서는 양파색깔에 따른 flavonoid 함량이 외래품종에서 관찰된 현상과 동일한 경향을 보였다.

타 그룹의 선행연구 결과로부터 황색양파의 quercetin 함량은 19.2-165.5 mg/100 g (신선황량)으로 품종에 따라 다양한 분포를 지니고 있음이 보고된 바 있다(Lombard 등, 2005). 본 연구에서 황색양파의 quercetin 함량은 30.53-81.37 mg/100 g FW로 기존의 선행연구 결과들과 유사한 경향을 나타냈다. 반면 6종의 오스트리아산 양파에서 2종의 quercetin 배당체(Q3,4'G와 Q4'G)가 1-383

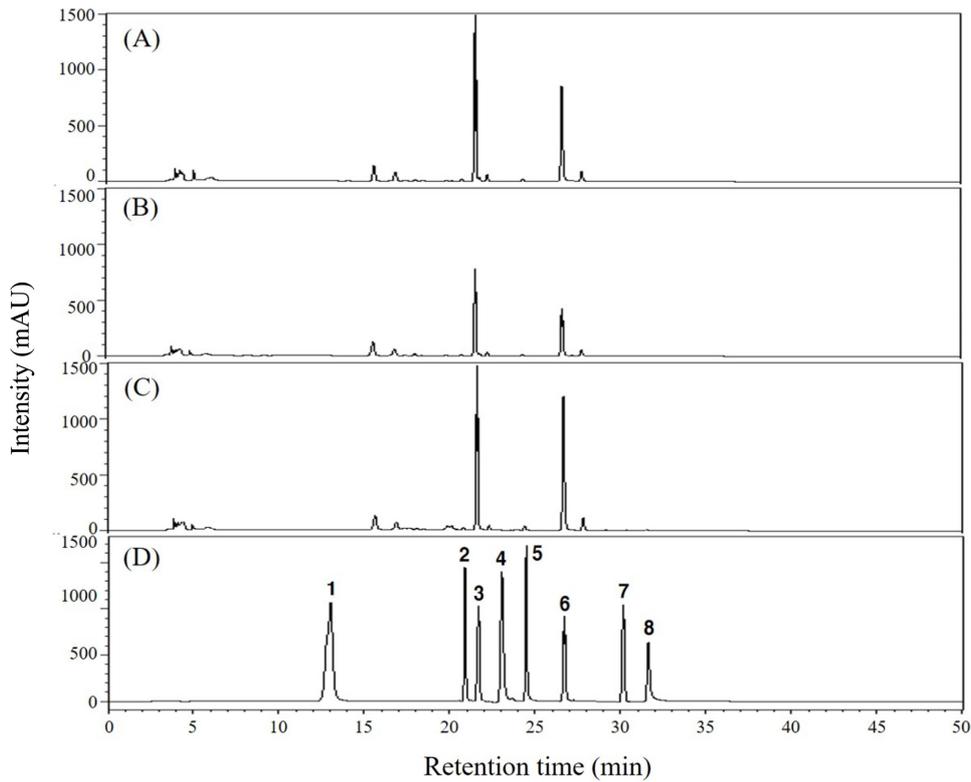


Fig 2. HPLC chromatograms (ODS, 370 nm) of three onion cultivars and standards of phenolic acids and flavonoids. A, Yeongbohwang; B, Yeongpunhwang; C, Cheonjujeok; D, standard; 1, 3,4-dihydroxybenzoic acid (BA); 2, 3-methoxy-4-hydroxybenzoic acid (3-MeBA); 3, quercetin 3,7-*O*- β -D-digluco-pyranoside (Q3,7G); 4, quercetin 3,4'-*O*- β -D-digluco-pyranoside (Q3,4'G); 5, quercetin 3-*O*- β -D-gluco-pyranoside (Q3G); 6, quercetin 4'-*O*- β -D-gluco-pyranoside (Q4'G); 7, isorhamnetin 3'-*O*- β -D-gluco-pyranoside (IR3'G); 8, quercetin (Q).

mg/100 g FW 수준으로 함유되어있음이 보고된 바 있는데(Caridi 등, 2007), 이는 본 연구결과의 최대치를 기준으로 비교했을 때 약 7배에 달하는 함량이다. 일반적으로 양파의 수확 후 건조과정에서 quercetin의 함량이 증가하는 것으로 알려져 있어(Mogren 등, 2006) 이와 같은 함량의 차이는 수확시기, 수확 시의 환경 및 수확 후의 저장방법과 저장정도에 따라 차이가 발생할 수 있을 것으로 판단된다. 또 이와 같은 극단적인 함량차이는 토양조건, 일조량 등의 재배환경의 다양성에 의해 기인되는 것인지 또는 품종 간의 차이에 의한 것인지 등 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

총 페놀성 화합물 함량

양파 품종별 총 페놀성 화합물의 함량을 gallic acid 상당량으로 제시하였다. 식물계에 존재하는 페놀성 화합물은 약 8,000여 종 이상이 밝혀져 있으며, 항산화, 항암, 항균, 심장질환예방, 당뇨병예방, 고혈압억제, 항에이즈 및 충치예방 등의 다양한 생리활성을 발현함이 보고되어왔다(Aruoma, 2003; Jasna 등, 2007; Soobrattee 등, 2005; Yu 등, 2006).

본 연구에서 대상으로 한 양파 품종별 총 페놀성 화합물의 함량(Fig. 3A)은 생체중량 100 g 당 평균 675.3 mg (500.0-1011.1 mg)이었으며, 황색품종으로 외래품종인 선파워(500.0 mg)가 모든 품종들 중 가장 낮은 함량을 보였고, 황색품종들 중에서는 영보황이 588.9 mg으로 최대치를 나타냈다. 적색양파들 중 외래품종인 천주적(1,011.1 mg)이 엄지나라(877.8 mg)에 비해 더 높은 함량을 보였으며, 적색양파의 총 페놀성 화합물 함량은 생체중량 100 g 당 평균 944.4 mg으로 황색양파의 572.2 mg의 1.7배에 해

당하였다. 그리고 연녹색품종인 스위트그린(755.6 mg)은 2종의 적색품종보다는 낮은 함량을 나타냈으나 모든 황색품종보다는 더 높은 함량을 보였다.

타 연구그룹에 의해 외국산 양파를 색깔별로 구분하여 총 페놀성 화합물의 함량을 분석한 결과, 건조중량 100 g 당 460-741 mg이었고, 적색양파에 1,590 mg이, 그리고 백색양파에는 640 mg이 함유되어 있음이 보고된 바 있다(Prakash 등, 2007). 이 결과와 비교하였을 때, 본 연구에 있어 제시된 함량은 생체중량을 기준으로 한 것임을 고려하였을 때, 국내 육종 품종의 양파에 함유된 총 페놀성 화합물의 함량은 상대적으로 높은 것으로 판단된다.

총 flavonoid 함량

양파 품종별 총 flavonoid 함량은 quercetin 상당량으로 제시하였다(Fig. 3B). 양파 9품종의 평균 flavonoid 함량은 생체중량 100 g 당 34.59±8.54 mg이었으며, 적색양파인 천주적이 60.32±3.09 mg으로 최대 함량을 보였고, 황색양파인 선파워가 20.54±1.02 mg으로 가장 낮은 함량을 나타내 품종별 flavonoid 함량에 있어 유의적 차이가 확인되었다. 그리고 황색양파에서는 수입품종 선파워(20.54±1.02 mg)보다 모든 품종이 더 높은 함량을 나타냈으며, 그 중 영보황이 36.62±1.54 mg으로 가장 높은 함량을 나타냈다. 또 스위트그린은 45.30±0.59 mg으로 적색양파보다 낮지만 황색양파보다는 높은 함량을 나타냈다(Fig. 4B). 그리고 이 총 flavonoid 함량은 총 페놀성 화합물의 함량(Fig. 4A)과 매우 유사한 경향을 보이고 있어 양자 간에 함유량 측면에 있어 상관성이 있음이 시사되었다.

타 그룹의 선행연구에 있어 4종의 황색양파(cv. Tamara, Predator, Rio Rita, RNX 10968)에 함유된 총 flavonol 함량이 생

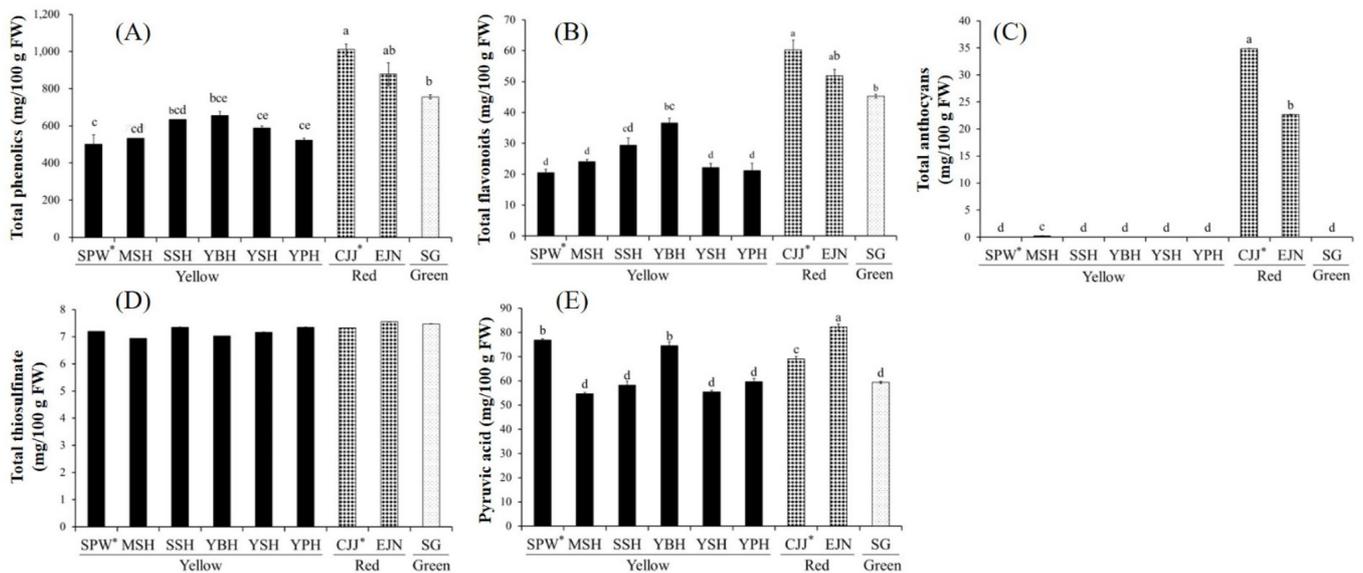


Fig. 3. The contents of major constituents of nine onion cultivars, namely yellow cultivars Sunpower (SPW); Meapsihwang (MSH), Sinsunhwang (SSH), Yeongbohwan (YBH), Yeonsinhwang (YSH), and Yeongpoonghwang (YPH); red cultivars Cheonjujeok (CJJ) and Eumjinara (EJN); green Sweetgreen (SG). A, total phenolic content (gallic acid equivalent); B, total flavonoid content (quercetin equivalent); C, total anthocyan content; D, total thiosulfinate content; E, pyruvic acid content. Data are expressed as mean \pm SE (n=3). Means with the same letter on bars are not significantly different ($p < 0.05$). *: Introduced cultivars.

체중량 100 g 당 28.55-51.64 mg이었음이 보고된 바 있다(Lombard 등, 2005). 이는 본 연구에서 사용한 황색양파의 25.65 \pm 3.61 mg에 비해 다소 높은 함량이다. 반면 타 연구그룹에 의해 행해진 양파의 색에 따른 flavonoid 함량의 차이에 관한 보고에 있어 적색양파는 백색양파에 비해 높은 flavonoid 함량을 보임이 제시된 바 있다(Lin과 Tang, 2007). 본 연구의 경우, 적색양파가 평균 56.09 \pm 3.46 mg의 함량으로 가장 높았고, 녹색양파인 스위트그린이 45.30 \pm 8.54 mg을, 그리고 황색양파가 평균 25.65 \pm 3.61 mg으로 나타나 색에 따라 총 flavonoid 함량에 차이가 있음이 확인되었으며, 총 페놀성 화합물의 함량 측면은 물론 총 flavonoid 함량 측면에 있어서도 적색양파의 우수성이 제시되었다.

총 anthocyan 함량

Anthocyan은 적색양파의 주요 색소성분이며, 항산화 활성을 비롯한 다양한 생리활성을 발현함이 보고된 바 있다(Prakash 등, 2007). 본 연구에 있어 총 anthocyan의 함량(Fig. 3C)은 상기의 총 페놀성 화합물(Fig. 3A) 및 총 flavonoid 함량(Fig. 3B)에서 관찰된 결과와 전혀 다른 경향을 보였다. 즉 황색양파 맵시황에 신선 중량 100 g 당 0.22 \pm 0.06 mg으로 매우 소량만이 함유되어 있을 뿐 다른 황색양파 및 연록색양파(스위트그린)로부터는 검출되지 않았으며, 적색양파인 천주적(34.88 \pm 0.03 mg)과 엄지나라(22.65 \pm 0.17 mg)에서 상대적으로 현저히 높은 함량을 보였다(Fig. 3C). 맵시황에서 anthocyan이 미량 함유되어있는 것으로 분석되었으나, 흡광도를 이용한 분석임을 고려하였을 때, HPLC 및 LC-MS 등을 이용하여 맵시황에 anthocyan의 함유 여부를 보다 자세히 재검토할 필요가 있다고 판단되며, 양파에 있어 anthocyan은 적색품종에만 선택적으로 함유되어있는 flavonoid일 가능성이 시사되었다.

타 연구그룹의 선행연구 결과에 의해 외국산 적색양파에 함유된 anthocyan들 중 cyanidin 3-O-glucoside가 주를 이루고 있으며, 그 외에 cyanidin 3-O-laminaribioside와 peonidin 및 pelargonidin glycosides가 상대적으로 소량 함유되어 있음이 보고된 바 있다

(Brandwein, 1965; Fuleki, 1969; Lin과 Tang, 2007; Robinson과 Robinson, 1932). 그리고 적색양파에 함유된 총 flavonoid 중 anthocyan이 약 10% (3.9-24.0 mg/100 g FW) 정도를 차지한다고 보고된 바 있다(Slimestad 등, 2007). 또한 HPLC를 이용하여 적색양파 4품종(cv. Mambo, Red Jumbo, Red Bone, Red Granex)을 대상으로 cyanidin 3-O-glucoside의 함량을 분석한 결과, 생체 중량 100 g 당 9.4-25.4 mg이 함유되어 있음이 보고된 바 있다(Donner 등, 1997). 본 연구에 있어 얻어진 결과들을 기준으로 총 flavonoid 중 anthocyan의 함유율을 계산하면, 천주적의 경우 약 56%이고 엄지나라의 경우 약 43% 정도이다. 그리고 Table 2에 제시한 flavonoid의 개별 함량의 합을 기준으로 계산하면, anthocyan이 천주적의 경우 약 39%이고, 엄지나라의 경우 약 29% 정도를 차지하고 있다. 이와 같이 함량 간의 비율 측면에 있어 국내 육성품종인 엄지나라의 anthocyan 함유율은 외래품종의 적색양파에 비해 우수한 것으로 판단된다. 그러나 절대량을 기준으로 비교하면 엄지나라(22.65 \pm 0.17 mg)의 anthocyan 함량은 타 외래품종의 적색양파에 비해 높은 편은 아니다. 따라서 anthocyan의 함량 측면에 있어서도 재배환경 및 저장방법 등의 인자를 고려하여 보다 세심한 비교가 이루어질 필요가 있다고 판단된다.

총 thiosulfinate 함량

양파에는 다중·다량의 황함성분이 함유되어 있고, 이들은 양파의 맛과 기능성에 관여함이 잘 알려져 있어(Miron 등, 2002), 서론에서 서술한 바와 같은 원리를 근거로 양파 중에 함유된 thiosulfinate 함량을 측정함으로써 함량 화합물의 양을 간접적으로 정량하였다.

본 연구에서 양파 품종별 총 thiosulfinate 함량은 생체중량 100 g 당 평균 7.26 mg으로 모든 품종에서 비슷한 함량을 나타내었다(Fig. 3D). 다른 연구에서 파속작물(*Allium* spp.)에 함유된 thiosulfinate의 함량을 HPLC를 이용해 분석한 결과, 생체중량 100 g 당 마늘에서 181.74 mg으로 가장 높았고, 황색, 적색 및 백색

Table 2. The individual content (mg/100 g FW) of phenolic acids and flavonoids in nine onion cultivars

Cultivars	BA	3-MeBA	Q4'G	IR3'G	Q3G	Q	Q3,7G	Q3,4'G	Total	
Yellow	SPW*	N.D	0.09±0.16	9.86±0.31 ^b	0.12±0.02	0.03±0.04	0.23±0.18	0.50±0.15	22.10±0.64 ^{fg}	32.76±0.64 ^f
	MSH	N.D	0.00±0.01	12.03±0.32 ^f	0.13±0.02	0.25±0.03	0.21±0.03	0.38±0.04	25.65±1.72 ^c	38.65±1.72 ^e
	SSH	N.D	N.D	14.19±0.35 ^e	0.11±0.00	0.22±0.02	0.18±0.03	0.69±0.26	32.21±1.12 ^d	47.60±1.12 ^d
	YSH	N.D	0.04±0.05	9.40±0.39 ^e	0.12±0.01	0.08±0.03	0.29±0.09	0.43±0.15	20.20±0.35 ^e	30.53±0.35 ^f
	YBH	N.D	0.01±0.01	26.09±0.78 ^c	0.14±0.00	0.18±0.23	0.26±0.01	0.92±0.07	53.79±1.25 ^a	81.37±1.25 ^b
	YPH	N.D	0.01±0.01	11.88±0.46 ^f	0.14±0.02	0.04±0.01	0.18±0.01	0.41±0.03	25.11±1.74 ^{ef}	37.76±1.74 ^e
Red	CJJ*	N.D	N.D	33.42±0.45 ^a	0.13±0.00	0.79±0.02	0.44±0.01	1.11±0.03	49.67±3.02 ^b	85.57±3.02 ^a
	EJN	N.D	0.04±0.06	28.60±0.51 ^b	0.18±0.07	1.15±0.11	0.24±0.01	0.99±0.29	48.24±1.82 ^{bc}	79.40±1.82 ^b
Green	SG	N.D	0.01±0.01	23.00±0.31 ^d	0.19±0.04	0.82±0.02	0.38±0.02	0.84±0.15	46.54±2.40 ^e	71.75±2.40 ^c

Data are expressed as mean±SD (n=3). Means with the same letter on data are not significantly different ($p < 0.05$). Phenolic compounds name refer to footnote in Fig. 2. Cultivar names refer to footnote in Table 1. *: Introduced cultivars.

양파에서는 마늘에 비해 현저히 낮은 4.24, 2.42 및 1.70 mg의 함량을 각각 나타내었다(Block 등, 1992). 본 연구결과에서는 양파 품종 및 색에 따른 차이는 유의차를 보이지 않았으며, thiosulfinate의 함량은 다른 파속작물들에 비해 높은 수준으로 확인되었다.

총 pyruvic acid 함량

양파에 있어 pyruvic acid 함량은 매운맛의 강한 정도와 높은 상관관계를 나타내기 때문에 pyruvic acid의 함량은 양파 매운맛의 지표로 활용되고 있어 단맛이 높은 양파를 선발하기 위한 육종연구에 pyruvic acid 함량이 평가기준으로 활용되고 있다(Bennet, 1945; Schwimmer와 Weston, 1961; Wall과 Corgan, 1992). 분석 대상 양파의 품종별 pyruvic acid 함량은 sodium pyruvate를 표준 용액으로 사용하여 정량하였다.

생식용 양파의 소비가 증가하면서 양파의 맛과 관련된 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 미국 등을 비롯한 국외에서도 매운맛이 약한 양파의 소비가 증가하고 있어 이른바 'sweet onion' 품종육성과 재배법에 대한 연구들이 관심사가 되고 있다(Mallor 등, 2011; Randle 등, 1998; Yoo 등, 2006).

본 연구에 있어서 양파 9품종의 평균 pyruvic acid 함량은 생체중량 100 g 당 54.68-82.26 mg으로 맵시황(54.68±0.54 mg)이 가장 낮았고, 적색양파인 엄지나라(82.26±1.29 mg)가 가장 높은 값을 보였다(Fig. 3E). 또한 황색양파에 있어서는 외래품종인 선파워(76.89±0.47 mg)가 가장 높은 함량을 보였고, 맵시황(54.68±0.54 mg)이 가장 낮은 함량을 보였다. 최근 미국의 연구자들이 자체적으로 육종한 황색, 적색 및 백색 품종의 양파를 대상으로 pyruvic acid의 함량을 분석한 결과, 36.42-59.53 mg/100 g FW 정도임이 보고된 바 있으며(Yoo 등, 2006) 본 연구에서 분석된 함량보다 낮았다.

양파 색에 따른 pyruvic acid 함량은 황색양파에서 생체중량 100 g 당 평균 63.24 mg을 보였고, 그 중 수입품종인 선파워가 76.89 mg으로 가장 높았고, 맵시황이 54.68 mg으로 가장 낮은 함량을 나타냈으며, 적색양파는 평균 75.63 mg으로 수입품종인 천주적이 69.04 mg을, 국산 품종인 엄지나라가 82.26 mg으로 함량이 높았다. 연녹색 양파 품종인 스위트그린은 59.34 mg의 pyruvic acid 함량을 나타내 양파의 색에 따라 pyruvic acid 함량에 차이가 있는 것으로 확인되었다. 색깔별로는 적색양파가 높은 pyruvic acid 함량을 보였으며, 황색 및 연녹색 양파와 구분되었다(Fig. 3E). 그리고 통계처리 결과 엄지나라(82.26±1.29 mg)가 pyruvic acid 함량이 가장 높아 9품종 중 가장 매운 양파로 판단되었으

며, 선파워(76.89±0.47 mg)와 영보황(74.49±1.61 mg)이 유사한 pyruvic acid 함량을 보여 다른 양파와 구분되었고, 그 다음으로 천주적(69.01±1.09 mg)이 높은 함량을 보였다. 그리고 맵시황(54.68±0.54 mg), 신선황(58.27±1.59 mg), 연신황(55.40±0.65 mg), 영풍황(59.70±1.25 mg) 및 스위트그린(59.34±0.47 mg)이 낮은 pyruvic acid 함량을 보여 9품종들 중 상대적으로 덜 매운 양파로 판단되었다.

당 함량

양파의 단맛에 영향을 미치는 또 다른 중요한 구성성분으로 전체 건조중량의 41-88% 정도를 차지하는 탄수화물이 있으며(Darbyshire와 Henry, 1979; Suzuki와 Cutcliffe, 1989), 주요 탄수화물에는 sucrose, fructose, glucose, fructan 및 sucrose에 결합된 fructosyl 중합체가 있다(Darbyshire와 Henry, 1978; Jaime 등, 2001).

양파 9품종의 당 함량 및 당의 종류별 조성을 HPLC-2의 조건을 이용하여 분석한 결과(Table 3), 평균 총 당 함량(mean±SE)은 생체중량 100 g 당 7.38±0.55 g이었으며, 품종별로는 6.51-8.30 g의 범위로 엄지나라(6.51±0.04 g)의 당 함량이 가장 낮았고, 선파워(8.30±0.02 g)의 당 함량이 가장 높았다. 당의 종류별로 보면, fructose는 2.32±0.24 g, glucose는 3.26±0.28 g, 그리고 sucrose는 1.79±0.31 g으로 나타나 glucose의 함량이 가장 높은 것으로 확인되었다. 품종별로 보면 fructose는 1.93-2.75 g 범위로 선파워(2.75±0.01 g)에서 가장 높았고, 영보황(1.93±0.01 g)에서 가장 낮았다. Glucose는 2.83-3.68 g/100 g의 범위를 보여 fructose와 마찬가지로 선파워(3.68±0.03 g)에서 가장 높았고, 녹색양파인 스위트그린(2.83±0.04 g)에서 가장 낮은 함량을 나타냈다. Sucrose의 함량은 1.33 g을 나타낸 엄지나라가 최소값을 보였으며, 2.15 g을 나타낸 연신황에서 최대값을 보였다. Randle 등(1998)은 미국산 16 품종의 양파를 대상으로 fructose, glucose 및 sucrose의 함량을 조사한 결과, 신선중량 100 g 당 각각 평균 2.0, 2.0, 1.6 g의 함량을 나타낸 것으로 보고하였으며, 본 연구에서 사용한 시료들의 당 함량이 그들보다 다소 높은 것으로 나타났다.

DPPH radical scavenging 활성

양파 9품종의 항산화 활성은 먼저 DPPH radical을 이용하여 평가하였다(Blios, 1958). 즉 DPPH radical scavenging 활성은 각 양파시료를 농도별로 첨가하여 DPPH의 최종농도 250 µM의 절반을 scavenging한 첨가시료의 농도(SC₅₀)로 제시하였다. 활성을 평

Table 3. Fructose, glucose, sucrose, and total sugar contents of nine onion cultivars

Cultivars	Fructose	Glucose	Sucrose	Total	
Yellow	SPW*	2.75±0.01 ^a	3.68±0.03 ^a	1.87±0.20 ^a	8.30±0.02 ^a
	MSH	2.53±0.01 ^b	3.60±0.01 ^{ab}	2.01±0.02 ^b	8.14±0.02 ^b
	SSH	2.14±0.01 ^c	3.17±0.02 ^c	1.77±0.01 ^c	7.08±0.04 ^c
	YSH	2.20±0.02 ^{ce}	3.10±0.05 ^{cd}	1.91±0.01 ^d	6.95±0.06 ^d
	YBH	1.93±0.01 ^d	3.18±0.02 ^c	2.15±0.02 ^e	7.53±0.03 ^e
	YPH	2.28±0.01 ^f	3.25±0.04 ^c	2.11±0.01 ^e	7.64±0.05 ^f
Red	CJJ*	2.54±0.02 ^b	3.43±0.05 ^b	1.45±0.01 ^f	7.42±0.06 ^e
	EJN	2.24±0.01 ^{ef}	2.94±0.31 ^{de}	1.33±0.01 ^g	6.51±0.04 ^e
Green	SG	2.16±0.01 ^c	2.83±0.04 ^c	1.96±0.01 ^{bd}	6.96±0.03 ^c

Data are expressed as mean±SE (n=3). Means with the same letter on bars are not significantly different ($p<0.05$). Cultivar names refer to footnote in Table 1. *: Introduced cultivars.

가한 결과(Fig. 4A), SC_{50} 값은 생체중량을 기준으로 수입품종 천주적은 6.27±0.05 mg을, 그리고 엄지나라는 8.75±3.03 mg으로 적색양파가 더 높은 항산화 활성을 보였다. 황색양파의 경우 수입품종인 설파워에서 21.52±0.47 mg을 보여 신선황(15.97±1.51 mg)과 영보황(18.21±1.01 mg)에 비해 더 낮은 항산화 활성을 나타냈다.

Radical에 대한 특정 시료의 전자공여능은 flavonoid 및 기타 페놀성 화합물들과 같은 항산화제의 구조적 특성과 농도에 의존하며, 이 화합물들의 환원력이 클수록 전자공여능이 높음을 의미한다(Kang 등, 1996). 앞서 언급한 적색양파 천주적에서 flavonoid Q4'G와 Q3,4'G의 함량(mg/100 g FW)이 각각 33.42±0.45와 49.67±3.02로 가장 높았고, 총 polyphenol 및 flavonoid 함량 또한 각각 1,011.10과 60.32로 가장 높은 함량을 나타냈다. 즉 양파에 있어서도 flavonoid 및 기타 페놀성 화합물의 함량이 DPPH radical scavenging 활성과 상관성을 지니는 것으로 판단된다.

환원력

활성 산소종 및 free radical에 대한 항산화 활성은 일반적으로 특정 성분 및 시료의 전자공여능에 의존하며, 이는 환원력파도 상관성을 갖기 때문에 특정 시료의 환원력은 항산화 활성을 평가하는 하나의 지표로 활용된다(Nam 등, 2003).

양파 9품종을 대상으로 환원력을 평가한 결과(Fig. 4B), 평균 흡광도 값이 0.076이었으며, 설파워가 0.035로 환원력이 가장 낮았고, 적색양파인 천주적이 0.247, 그리고 엄지나라가 0.154 순으로 높은 환원력을 나타냈다. 황색양파에서 수입품종인 설파워 0.035에 비교하여 5품종 모두 높은 환원력을 나타냈으며, 연녹색 양파 스위트그린은 0.039로 황색양파와 비슷한 환원력을 나타냈다. 항산화 활성과 더불어 환원력은 총 flavonoid 및 총 페놀성 화합물의 함량과 높은 상관관계를 나타낸다고 보고되어왔다(Lee 등, 2012). 본 결과에서도 적색양파인 천주적과 엄지나라에서 총 flavonoid 및 총 페놀성 화합물의 함량이 가장 높았으며, 환원력 또한 높은 경향을 나타내 상관성이 높을 것으로 판단된다.

ABTS⁺ radical scavenging 활성

ABTS⁺ radical scavenging 활성 측정은 potassium persulfate와 반응에 의해 생성된 ABTS⁺ radical이 추출물 내의 항산화 화합물에 의해 scavenging되어 발현되는 청록색이 탈색되는 정도를 이용한 측정법이다. 양파의 품종별 추출물의 ABTS⁺ radical scavenging 활성을 평가한 결과는 Fig. 4C에 나타내었다. 그 결과, 9품종 양파 추출물의 ABTS⁺ radical scavenging 활성은 평균

79.96%를 나타냈으며, 품종별로 48.50-99.57% 범위를 보였고, 맵시황(48.45%)이 최저였으며, 천주적(99.57%)이 최대 활성을 나타냈다. 색깔별로 비교하면, 황색양파에서 평균 70.84%의 활성을 나타냈으며, 수입품종 설파워 72.90%에 비해 신선황이 86.60%로 높은 활성을 나타냈다. 적색양파에서 수입품종 천주적과 국산품종 엄지나라는 각각 99.57%와 99.54%로 유사하게 높은 활성을 나타냈으며, 스위트그린은 86.56%를 보였다. 색깔별로 노란색, 녹색, 적색 순의 활성을 보였으나, 황색품종인 영신황은 연녹색품종인 스위트그린과 함량에 있어 유의차를 보이지 않았다. 적색양파인 천주적, 엄지나라와 연녹색양파인 스위트그린은 총 페놀성 화합물과 총 flavonoid 함량이 높았으며, ABTS⁺ radical scavenging 활성 또한 높은 경향이었다.

본 연구에서는 국내에서 육종된 7종의 양파품종과 외국에서 육종된 2종의 양파품종을 대상으로 주요성분 및 항산화능을 비교하였다. 그 결과, 각 페놀성 화합물과 flavonoid의 성분별 총 함량 및 총 페놀성 화합물과 총 flavonoid 함량에 있어 외래품종인 설파워를 포함한 6종의 황색양파들 중 영보황이 가장 우수한 값을 보였으며, 다른 4종의 국내품종 황색양파들 또한 설파워와 유사하거나 더 높은 함량을 보였고, 적색품종에 있어서는 외래품종인 천주적이 국내품종인 엄지나라보다 약간 높은 함량을 보였다. 그리고 연녹색의 국내품종인 스위트그린은 영보황과 엄지나라의 평균값에 가까운 함량을 보였다. 총 anthocyan의 함량은 엄지나라가 천주적보다 낮았다. 반면 thiosulfate의 함량은 모든 품종들에 있어 유의차를 보이지 않았으며, pyruvic acid 함량은 황색양파들 중 영보황과 설파워가 동일한 정도로 가장 높았으며, 나머지 4종의 국내품종 황색양파와 스위트그린은 유의차를 보이지 않았고, 적색품종에 있어서는 엄지나라가 천주적보다 더 높은 함량을 보였다. 그러나 총 당함량에 있어서는 영신황이 설파워를 제외한 모든 품종들 중 가장 높은 값을 보였다. 그리고 항산화능은 모든 평가항목에 있어 공통적으로 적색품종이 가장 우수하였으며, 환원력에 있어서는 천주적이 엄지나라보다 우수하였으나 DPPH radical scavenging 활성은 천주적보다 엄지나라가 다소 높은 경향을 보였고, ABTS⁺ radical scavenging 활성은 두 품종들 간에 유의차를 보이지 않았다. 황색품종들에 있어서는 신선황과 영보황이 우수한 DPPH radical scavenging 활성을 보였으며, 환원력은 국내산 품종들이 설파워보다 약간 높은 경향을 보였으나 특징적인 차이를 보이지는 않았고, ABTS⁺ radical scavenging 활성은 영신황이 설파워보다 높았다. 항산화 활성에 관하여 종합적으로 평가하였을 때, DPPH와 ABTS⁺ radical scavenging 활성 및 환원력

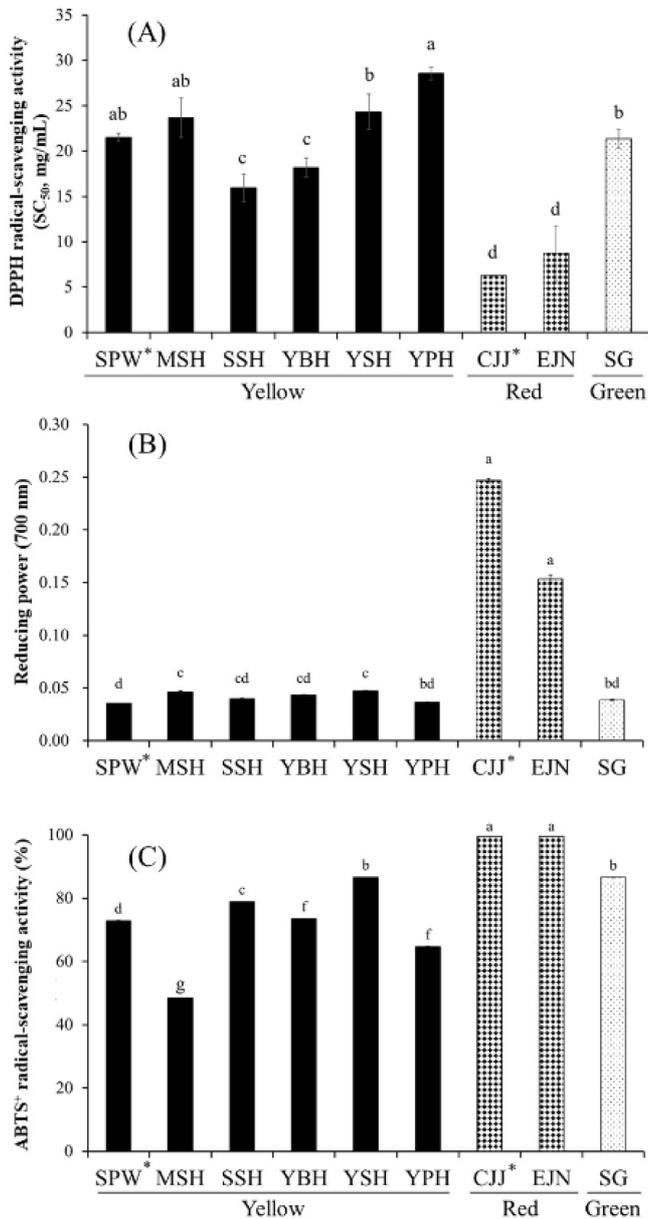


Fig. 4. Antioxidant effects of nine onion cultivars, namely yellow cultivars Sunpower (SPW); Meapsihwang (MSH), Sinsunhwang (SSH), Yeongbohwan (YBH), Yeosinhwan (YSH), and Yeongpoonghwang (YPH); red cultivars Cheonjujeok (CJJ) and Eumjinara (EJM); green Sweetgreen (SG). A, DPPH radical scavenging activity [SC₅₀ values, concentration causing 50% decrease of DPPH radical (final concentration, 0.1 mM) absorption at 517 nm]; B, reducing power; C, ABTS⁺ radical scavenging activity. Data are expressed as mean±SE (n=3). Means with the same letter on bars are not significantly different (*p*<0.05). *: Introduced cultivars.

모두에 있어 천주적과 엄지나라 품종이 평가대상 시료들 중 상대적으로 높은 활성을 보였다. 그리고 천주적과 엄지나라는 총페놀성 화합물, 총 플라보노이드 및 anthocyan의 함량에 있어서도 다른 품종들에 비해 상대적으로 높게 검출되었다. 이들 결과로부터 양파의 항산화 활성에 anthocyan을 포함한 flavonoid 등의 페놀성 화합물의 함량이 양파의 항산화 활성에 주요 영향요인인 것으로 해석되었다.

이상의 결과로부터 국내품종 황색양파들 중 영보황이 외래품종인 썬파워보다 대체로 우수한 특성을 보였으며, 2종의 적색품종들 중 엄지나라 또한 외래품종인 천주적과 비교하였을 때 천주적에 필적할 만하거나 유사한 정도의 우수성을 지니고 있는 것으로 판단되었다. 그럼에도 불구하고 아직도 수입품종이 국내 재배 양파의 60%를 차지하고 있다. 따라서 국내 육종품종의 재배 및 소비량을 향상시키기 위해서는 우수 국산 품종의 육종학적 연구가 보다 폭넓게 수행되어야 할 것으로 판단되며, 본 연구를 통해 국산품종 양파의 성분학적 및 기능학적 우수성이 부분적으로 제시되었던 바, 본 연구결과가 추후 국산 양파의 신품종 육성 및 우수성 홍보를 위한 기초자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

요 약

본 연구에서는 국내 육종 양파[황색(맹시황, 신선황, 연선황, 영보황, 영풍황), 적색(엄지나라), 연녹색(스위트그린)]와 외국 육종 양파(황색, 썬파워; 적색, 천주적) 간의 일반형질, 주요성분 및 항산화능을 비교하였다. 그 결과, 각 페놀성 화합물과 flavonoid의 성분별 총 함량 및 총 페놀성 화합물과 총 flavonoid 함량에 있어 외래품종인 썬파워를 포함한 6종의 황색양파들 중 영보황이 가장 우수한 값을 보였으며, 적색품종에 있어서는 천주적이 엄지나라보다 약간 높은 함량을 보였다. 총 anthocyan의 함량은 엄지나라가 천주적보다 낮았다. 반면 thiosulfate의 함량은 모든 품종들에 있어 유의차를 보이지 않았으며, pyruvic acid 함량은 황색 양파들 중 영보황과 썬파워가 동일한 정도로 가장 높았고, 적색 품종에 있어서는 엄지나라가 천주적보다 더 높은 함량을 보였다. 그러나 총 당함량에 있어서는 영선황이 썬파워를 제외한 모든 품종들 중 가장 높은 값을 보였다. 그리고 항산화능은 모든 평가항목에 있어 공통적으로 적색품종이 가장 우수하였으며, 환원력에 있어서는 천주적이 엄지나라보다 우수하였으나 DPPH radical scavenging 활성은 천주적보다 엄지나라가 다소 높은 경향을 보였고, ABTS⁺ radical scavenging 활성은 두 품종들 간에 유의차를 보이지 않았다. 황색품종들에 있어서는 신선황과 영보황이 우수한 DPPH radical scavenging 활성을 보였으며, 환원력은 국내산 품종들이 썬파워보다 약간 높은 경향을 보였고, ABTS⁺ radical scavenging 활성은 영선황이 썬파워보다 높았다. 이상의 결과로부터 국내 육성 품종인 영보황과 엄지나라의 성분학적 및 기능학적 우수성이 부분적으로 제시되었던 바, 본 연구결과가 국산 양파 품종의 우수성 홍보를 위한 유용 자료로 활용되기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원(iPET)의 지원을 받아 수행되었음(315069-3).

References

AOAC. Official Methods of Analysis (15th ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists (1995)
 Aruoma OI. Methodological considerations for characterizing potential antioxidant actions of bioactive components in plant foods. *Mut. Res.* 523: 9-20 (2003)
 Bacon JR, Moates GK, Neg A, Rhodes MJC, Smith AC, Waldron KW. Quantitative analysis of flavor precursors and pyruvate levels in different tissues and cultivars of onion (*Allium cepa* L.). *Food Chem.* 64: 257-261 (1999)

- Bennet E. A note on the presence of pyruvic acid in Ebenezer onions. *Plant Physiol.* 20: 461-463 (1945)
- Bhattacharjee S, Sultana A, Sazzad MH, Islam MA, Ahtashom MM, Asaduzzaman. Analysis of the proximate composition and energy values of two varieties of onion (*Allium cepa* L.) bulbs of different origin: A comparative study. *Int. J. Nutr. Food Sci.* 2(5): 246-253 (2013)
- Bilyk A, Cooper PL, Sapers GM. Varietal differences in distribution of quercetin and kaempferol in onion (*Allium cepa* L.) tissue. *J. Agric. Food Chem.* 32: 274-276 (1984)
- Block E, Naganathan S, Putman D, Zhao SH. Allium chemistry: HPLC analysis of thiosulfonates from onion, garlic, wild garlic (ramson), leek, scallion, shallot, elephant (great-headed) garlic, chive, and Chinese chive. Uniquely high allyl to methyl ratios in some garlic samples. *J. Agric. Food Chem.* 40: 2418-2430 (1992)
- Blois MS. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181: 1199-1120 (1958)
- Brandwein BJ. The pigments in three cultivars of the common onion (*Allium cepa*). *J Food Sci.* 30: 680-685 (1965)
- Caridi D, Trenerry VC, Rochfort S, Duong S, Laughler D and Jones R. Profiling and quantifying quercetin glucosides in onion (*Allium cepa* L.) varieties using capillary zone electrophoresis and high performance liquid chromatography. *Food Chem.* 105: 691-699 (2007)
- Cavallito CJ, Bailey JH. Alliin, the antibacterial principle of *Allium sativum*. I. Isolation, physical properties, and antibacterial action. *J. Am. Chem. Soc.* 66: 1950-1956 (1944)
- Clarke AE, Jones HA, Little TM. Inherence of bulb color in the onion. *Genetics* 29: 569-575 (1944)
- Crowther T, Collin H, Smith B, Tomsett B, O'Connor D, Jones M. Assessment of flavour of fresh uncooked onions by taste panels and analysis of flavour precursors, pyruvate and sugars. *J. Sci. Food Agr.* 85: 112-120 (2005)
- Darbyshire B, Henry RJ. Changes in the carbohydrate content of onion bulbs stored for various times at different temperature. *J. Hortic. Sci.* 53: 195-201 (1978)
- Darbyshire B, Henry RJ. The association of fructans with high percentage dry weight in onion cultivars suitable for dehydrating. *J. Sci. Food Agr.* 30: 1035-1038 (1979)
- Dewitt JC, Notermans S, Gorin N, Kampelmacher EH. Effect of garlic oil or onion oil on toxin production by *Clostridium botulinum* in meat slurry. *J. Food Protect.* 42: 222-224 (1979)
- Donner H, Gaob L, Mazzab G. Separation and characterization of simple and malonylated anthocyanins in red onions, *Allium cepa* L. *Food Res. Int.* 30: 637-643 (1997)
- Duarte J, Vizcaino FP, Utrilla P, Jimenez J, Tamargo J, Zarzuelo A. Vasodilatory effects of flavonoids in rat aortic smooth muscle, structure activity relationships. *Gen. Pharmacol.* 24: 857-862 (1993)
- FAOSTAT. The Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database (www.faostat.es). Agricultural Production, Crops Primary (2014)
- Fuleki T. The anthocyanins of strawberry, rhubarb, radish and onion. *J. Food Sci.* 34: 365-369 (1969)
- Giusti MM, Wrolstad RE. Unit F1.2.1-13. Anthocyanins. Characterization and measurement with UV-Visible spectroscopy. In *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*; Wrolstad RE (Ed.) John Wiley & Sons, New York, (2001)
- Han J, Lawson L, Han G, Han PA. A spectrophotometric method for quantitative determination of alliin and total garlic thiosulfonates. *Anal. Biochem.* 225: 157-160 (1995)
- Hanasaki Y, Ogawa S, Fukui S. The correlation between active oxygen scavenging and oxidative effects of flavonoids. *Free Rad. Biol. Med.* 16: 845-850 (1994)
- Hanum T. The role of allinase and g-glutamyl transpeptidase on flavor enhancement in onion (*Allium cepa* L.). Ph. D. Dissertation, Michigan State University, East Lansing, MI (1995)
- Hertog MG, Feskens EJM, Hollman PCH, Katan MB, Kromhout D. Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: The Zutphen Elderly study. *Lancet* 342: 1007-1011 (1993)
- Hirota S, Shimoda T, Takahama U. Tissue and spatial distribution of flavonol and peroxidase in onion bulbs and stability of flavonol glucosides during boiling of the scales. *J. Agric. Food Chem.* 46: 3497-3502 (1998)
- Hodnick WP, Milosavljevic EB, Nelson JH, Pardini RS. Electrochemistry of flavonoids: Relationship between redox potentials, inhibition of mitochondria respiration and production of oxygen radicals by flavonoids. *Biochem. Pharmacol.* 37: 2607-2611 (1987)
- Hop WC, Welton AF, Fielder-Nagy C, Batula-Bernardo C, Coffey JE. In vitro inhibition of the biosynthesis of slow reacting substances of anaphylaxis (SRS-A) and lipoxygenase activity of quercetin. *Biochem. Pharmacol.* 32: 367-371 (1983)
- Jaime L, Martin-Cabrejas MA, Molia E, Lopez-Andreu FJ, Esteban RM. Effect of storage on fructan and fructooligosaccharide of onion (*Allium cepa* L.). *J. Agr. Food Chem.* 49: 982-988 (2001)
- Jasna B, Urska D, Mojca J, Terezija G. Evaluation of the phenolic content, antioxidant activity and colour of solvenian honey. *Food Chem.* 105: 822-828 (2007)
- Kang YH, Park YK, Lee GD. The nitrite scavenging and electron donating ability of phenolic compounds. *Korean J. Food Sci. Technol.* 133: 626-632 (1996)
- Kim CW, Kwon YS, Han JW, Hwang EJ, Ha IJ, Lee MJ, Kim SB. Mild taste and early maturing red onion cultivar 'Eumjinara'. *Korean J. Breed. Sci.* 49: 414-419 (2017)
- Kim CW, Lee ET, Cha YL, Choi IH, Hwang EJ, Park KG. Evaluation of yellowish skin color ('chartreus') onion lines for soluble solid content and sugars characteristics. *Kor. J. Breed. Sci.* 44: 510-515 (2012)
- Korea Seed Associate, The present condition on export and import of vegetable seed in different crops, <http://kosaseed.or.kr> (2019)
- Kwon EJ, Ryu DY, Surh JH. Quality characteristics of onions applied with methylsulfonylethane (MSM) during cultivation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 45: 213-220 (2013)
- Lee ET, Kim CW, Choi IH, Jang YS, Bang JK, Bae SG. New mid-late maturing F1 hybrid onion cultivar 'Yeongbohwan'. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 28: 77-77 (2010)
- Lee ET, Kim CW, Choi IH, Jang YS, Bang JK, Bae SG, Hyun EY, Jung JM, Ha IJ, Kim SB. New mid-late maturing F1 hybrid onion cultivar, "Yeongpunhwang". *Korean J. Breed. Sci.* 41: 587-590 (2009)
- Lee MY, Yoo MS, Whang YJ, Jin YJ, Hong MH, Pyo YH. Vitamin C, total polyphenol, flavonoid contents and antioxidant capacity of several fruit peels. *Korean J. Food Sci. Technol.* 44: 540-544 (2012)
- Lee YG, Cho JY, Kim YM, Moon JH. Change in flavonoid composition and antioxidative activity during fermentation of onion (*Allium cepa* L.) by *Leuconostoc mesenteroides* with different salt concentrations. *J. Food Sci.* 81: C1385-1393 (2016)
- Leighton T, Ginther C, Fluss L, Harter WK, Casado J, Nortartario V. Molecular characterization of quercetin and quercetrin glycosides in *Allium* vegetables. Their effects on malignant cell transformation. pp. 220-238. In *phenolic compounds in food and their effects on health II*. ACS Symposium Series. Huang M. (ed.). American Chemical Society: Washington, DC (1992)
- Lin JY, Tang CY. Determination of total phenolics and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. *Food Chem.* 101: 140-147 (2007)
- Lombard K, Peffley E, Geoffriau E, Thompson L, Herring A. Quercetin in onion (*Allium cepa* L.) after heat-treatment simulating home preparation. *J. Food Compos. Anal.* 18: 571-581 (2005)
- Mallor C, Carravedo M, Estopanan G, Mallor F. Characterization of genetic resources of onion (*Allium cepa* L.) from the Spanish secondary centre of diversity. *Spanish J. Res.* 9: 144-155 (2011)
- Miron T, Shin I, Feigenblat G, Weiner L, Mierlman D, Wilchek M, Rabinkov A. A spectrophotometric assay for alliin, alliinase, and alliinase (alliin lyase) with a chromogenic thiol: reaction of 4-mercaptopyridine with thiosulfates. *Anal. Biochem.* 307: 76-83 (2002)
- Mogren LM, Olsson ME, Gertsson UE. Quercetin content in field-cured onions (*Allium cepa* L.): effects of cultivar, lifting time, and nitrogen fertilizer level. *J. Agr. Food Chem.* 54: 6185-6191 (2006)

- Nam SH, Chang SM, Kang MY. Varietal difference in antioxidative activity of ethanolic extracts from colored rice bran. *J. Korean Agr. Chem. Biotechnol.* 46: 16-22 (2003)
- Oyaizu M. Studies on product of browning reaction prepared from glucose amine. *Jap. J. Nutr.* 44: 307-315 (1986)
- Prakash D, Singh BN, Upadhyay G. Antioxidant and free radical scavenging activities of phenols from onion (*Allium cepa*). *Food Chem.* 102: 1389-1393 (2007)
- Randle WM. Onion germplasm interacts with sulfur fertility for plant sulfur utilization and bulb pungency. *Euphytica* 59: 151-156 (1992)
- Randle WM, Kopsell DE, Kopsell DA. Consideration for implementing pungency field testing and its practical implications. In proceedings of the 1998 national onion research conference, 171-173 (1998)
- Roberta R, Nicoletta P, Anna P, Ananthb P, Min Y, Catherine RE. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Rad. Biol. Med.* 26: 1231-123 (1999)
- Robinson GM, Robinson R. A survey of anthocyanins II. *Biochem. J.* 26: 1647-1664 (1932)
- Rural Development Administration. Standard of analysis and survey for agricultural research. RDA, 604-606 (2021)
- Schwimmer S, Weston WJ. Onion flavor and odor, enzymatic development of pyruvic acid in onion as a measure of pungency. *J Agr. Food Chem.* 9: 301-304 (1961)
- Shigyo M, Kik C. Onion. pp 121-159, *Vegetables II, Handbook of Plant Breeding*. Ed. Prohens J, Nuez F. Springer, Switzerland AG (2008)
- Singleton VL, Rossi JA. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 16: 144-158 (1965)
- Slimestad R, Fossen T, Vagen IM. Onions: A source of unique dietary flavonoids. *J. Agr. Food Chem.* 55: 10067-10080 (2007)
- Small LD, Bailey JH, Cavallito CJ. Alkyl thiosulfates. *J. Am. Chem. Soc.* 69: 1710-1716 (1947)
- Soobrattee MA, Neergheen VS, Luximon-Ramma A, Aruoma OI, Bahorun T. Phenolics as potential antioxidant therapeutic agents: Mechanism and actions. *Mutat. Res.* 579: 200-213 (2005)
- Stavric B, Matula TI. Flavonoids in Foods: Their Significance for Nutrition and Health. 274-294. *Lipid-soluble antioxidants: Biochemistry and clinical applications*. Ong ASH, Packer L. (eds.) Birkhäuser, Basel (1992)
- Suzuki M, Cutcliffe JA. Fructans in onion bulbs in relation to storage life. *Can. J. Plant Sci.* 69: 1327-1333 (1989)
- Vavrina CS. Evaluating sweet onion cultivars for sugar concentrations and pungency. *Hort. Sci.* 28: 804-806 (1993)
- Wall MM, Corgan NC. Relationship between pyruvate analysis and flavor perception for onion pungency determination. *Hortic. Sci.* 27: 1029-1030 (1992)
- Yoo KS, Pike LM, Hamilton BK. A simplified pyruvic acid analysis suitable for onion breeding programs. *Hortic. Sci.* 30, 1306 (1995)
- Yoo KS, Pike LM, Crosby K, Jones R, Leskovar D. Differences in onion pungency due to cultivars, growth environment, and bulb sizes. *Hortic. Sci.* 110: 144-149 (2006)
- Yu TH, Wu CM, Liou YC. Volatile compound from garlic. *J. Agr. Food Chem.* 37: 725-730 (1989)
- Yu MH, Im HG, Lee HJ, Ji YK, Lee IS. Components and their antioxidative activities of methanol extracts from sarcocarp and seed of *Zizyphus jujuba* var. *inermis* rehder. *J. Korean Food Sci. Technol.* 38: 128-134 (2006)