

조(*Setaria italica* Beauv.)의 품종별 파종시기에 따른 이화학 특성과 항산화 활성

정건호 · 김성국 · 이재은* · †우관식

농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 농업연구사, *농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 농업연구관

Physicochemical Characteristics and Antioxidant Activity of Two Varieties of Foxtail Millet (*Setaria italica* Beauv.) during Different Seeding Periods

Gun Ho Jung, Sung Kook Kim, Jae Eun Lee* and †Koan Sik Woo

Researcher, Dept. of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea
*Senior Researcher, Dept. of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea

Abstract

The physicochemical characteristics and antioxidant activity of several varieties of foxtail millet were evaluated across different seeding periods. Results indicated the moisture, crude ash, fat, protein, and carbohydrate levels of the foxtail millet differed significantly according to the variety and seeding periods. The crude protein contents were highest when harvested during the early-season seeding periods; However, carbohydrate contents were highest when harvested during the late-season seeding periods. The lightness and yellowness of the Hwanggeumjo variety increased significantly as the seeding periods were delayed though the color of the Samdame variety decreased. The swelling power of foxtail millet increased as the seeding periods were delayed. Total polyphenol contents of the Hwanggeumjo and Samdame varieties were 298.68~315.13 and 288.84~297.73 mg GAE/100 g, and flavonoid contents were 181.32~172.92 and 172.49~183.86 mg CE/100 g, respectively. DPPH radical scavenging activity was 104.70~126.89 and 111.75~136.92 mg TE/100 g, and ABTS radical scavenging activity was 88.69~114.64 and 69.80~100.09 mg TE/100 g, respectively. Total polyphenol contents and the radical scavenging activity of Hwanggeumjo were highest when harvested during the seeding periods of the early-season, and Samdame was highest when harvested during the seeding periods of the late-season.

Key words: foxtail millet (*Setaria italica* Beauv.), variety, seeding period, physicochemical characteristics, antioxidant activity

서 론

잡곡은 비타민, 무기질 및 식이섬유 등이 쌀에 비해 풍부하고 다양한 기능성분을 함유하고 있어 건강유지에 유용한 것으로 알려져 있다(Kim & Lee 2006). 최근 식품의 기능이 칼로리 중심에서 대사증후군 예방, 생체조절 기능으로 확대되면서 잡곡이 주목을 받고 있다(Ko 등 2011; Amadou 등 2013). 조(Foxtail millet, *Setaria italica* Beauv.)는 1년생 화본과 식물로 원산지가 동부아시아 및 중앙아시아로 알려져 있으며(Yu

& Wu 1996), 한국을 포함하여 일본, 인도, 중앙아시아, 유럽 남부, 이집트, 미국 등에서 재배되고 있다(Kawase & Sakamoto 1984). 특히 우리나라와 일본에서는 건강한 식생활을 지향하는 웰빙문화가 유행하면서 조가 건강식품으로 인식되어 그 수요와 이용성이 증가하고 있다(Lee 등 2012a; Lee 등 2012b).

국내에서 생산되고 있는 조는 아밀로스 함량에 따라 메조와 차조로 구분되는데, 열매는 잘고 둥근 편이고 수분 및 식이섬유 함량은 메조와 차조에서 유사하게 함유되어 있다(Woo 등 2012). 조는 입안에서의 촉감이나 맛이 우수한 편은 아니

† Corresponding author: Koan Sik Woo, Dept. of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea. Tel: +82-31-695-0616, Fax: +82-31-695-4085, E-mail: wooks@korea.kr

지만, 식이섬유 함량이 높아 배변을 쉽게 하여 변비를 예방하고 대장암을 예방하는 효과가 있다(Ha & Lee 2001). 또한 조는 쌀에 비해 칼슘, 철분 등 미네랄 함량이 높아 영양학적으로 우수하며(Woo 등 2017), 폐놀산, 감마오리자놀 등 항산화 성분이 많아 콜레스테롤 저하, 당뇨 예방 등 대사증후군과 불면증 예방에도 효과가 있다고 알려져 있다(Ko 등 2011; Woo 등 2012; Amadou 등 2013).

작물은 파종시기, 재배지역, 재배기간 동안의 환경변이에 의해 품질이나 성분의 영향을 받는다. 벼 품종별 녹미 특성을 분석한 결과, 재배시기에 따라 녹색도, 단백질함량 등 품질이 상이한 것으로 보고하였고(Lee 등 2006), 검정콩의 안토시아닌 함량은 파종시기, 수확시기, 재배년도 등 환경적인 요인에 영향을 받는 것으로 보고하였다(Jung 등 1996; Joo 등 2004). 또한 나물콩의 종실 품질과 단백질, 이소플라본 등의 성분, 수분흡수율, 발아율 등이 파종시기에 따라 차이를 보이는 것으로 보고하였으며(Kim 등 2005; Kim 등 2006), 풋완두는 재배지역에 맞는 재배시기를 고려하여 파종해야 한다고 보고하였다(Kim 등 2003). 기장(Lee 등 2011)과 수수(Woo 등 2011)의 경우, 항산화 성분 및 항산화 활성에 대한 연구에서 품종과 재배지역에 따라 항산화 성분의 함량과 항산화 활성이 유의적인 차이를 보이는 것으로 보고하였다. 또한 Jeon 등(2011)은 조, 기장, 수수 등에서 건강식품으로 활용도가 높은 잡곡의 폐놀 화합물 분석을 통하여 지역별, 품종별로 차이가 있음을 확인하였다. 이처럼 작물의 품질에 영향을 미치는 품종과 파종시기는 작물의 재배에 있어 매우 중요한 요인이 된다.

우리나라 토종작물인 조는 많은 재래종이 지역별로 재배되고 있으며, 출수생태 및 특성이 다양하여 지역별, 재배시기에 따라 다양한 농업적 특성 변이를 보인다(Yoon & Xu 2008). 현재까지 국립식량과학원에서 개발된 조 품종으로는 경관 1호(Lee 등 2012b), 경관 2호(Lee 등 2012c), 삼다메(Lee 등 2013), 삼다찰(Lee 등 2014), 단아메(Ko 등 2017) 등과 지역 재래종을 순계분리 방법을 통하여 강원지역에 재배가 적합한 황금조가 개발되었다. 그러나 조는 생산 및 재배면적이 넓지 않아 재배지역에 맞는 파종시기에 대한 연구가 거의 이루어지지 않았고, 또한 품종별 이화학 성분과 항산화 활성에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 지역재래종을 순계분리한 ‘황금조’와 2010년 국립식량과학원에서 도복에 강하고 수량이 높은 ‘삼다메(Lee 등 2013)’에 대해 파종시기를 달리하여 재배한 종자의 일반성분, 색도, 수분특성 등의 이화학 특성과 항산화 활성을 조사하여 추후 조의 안정적인 생산과 고품질의 조 생산을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에 사용된 조 품종은 2016년에 경기도 수원 소재의 국립식량과학원 중부작물부 시험포장에서 생산된 황금조(*Setaria italica* Beauv. cv. Hwanggeumjo)와 삼다메(cv. Samdame) 품종을 사용하였다. 시료의 파종은 1차는 5월 27일, 2차는 6월 7일, 3차는 6월 17일, 4차는 6월 27일, 5차는 7월 7일에 총 5회에 걸쳐 10일 간격으로 파종하였다. 재식본수는 3본으로 하였고, 재식거리 60×15 cm으로 파종하였고, 비료는 N-P₂O₅-K₂O를 10 a당 9-7-7 kg 시비하였다. 시료의 수확시기는 출수 후 적정 수확시기인 45일이 되는 8월말부터 10월초에 걸쳐 수확하였으며, 재배기간 동안 평균기온은 18.5℃로 나타났으며, 강수량은 890 mm로 조사되었고, 일조시간은 181.4시간으로 나타났다. 수확된 조는 그늘에서 3일 동안 건조하여 탈곡한 후 시료로 사용하였으며, 시료로 사용한 조의 외관 사진은 Fig. 1과 같다. 시료는 성분 분석을 위해 Vibrating sample mill(CMT Co. Ltd., Tokyo, Japan)로 분쇄하여 4℃ 냉장고에 저장하면서 시료로 사용하였다.

2. 일반성분 함량 분석

품종 및 파종시기에 따른 조의 수분함량은 적외선 수분함량측정기(AND MX-50 moisture analyzer, Tokyo, Japan)로 측정하였으며, 조단백질은 semimicro-Kjeldahl법으로 자동 단백질 분석기(2300 Kjeltex Analyzer Unit, FOSS Tecator, Laurel, MD, USA)로 분석하였으며, 조지방은 Soxhlet 추출기(Soxtec™ 2050 Analyzer Unit, Foss Tecator)를 사용하여 diethyl ether로 추출하여 정량하였으며, 조회분 함량은 600℃ 직접회화법(DS-84E-1, Dasol Ltd, Hwaseong, Korea)으로 분석하였다(Woo 등 2010). 탄수화물은 시료 100 g에 수분, 조지방, 조단백질, 조회분 값을 감하여 산출하였다(Jeong 등 2014).

3. 색도 및 수분특성 분석

품종 및 파종시기에 따른 조의 색도는 색차계(CM-3500d, Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였으며, Hunter's value

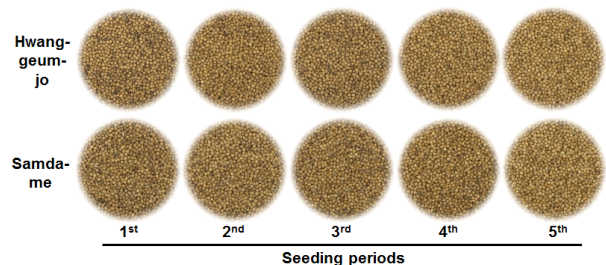


Fig. 1. The photograph of foxtail millet with variety and seeding periods. The 1st, 2nd, 3rd, 4th, and 5th seeding periods were seeded on May 27, June 7, June 17, June 27 and July 7 respectively.

인 명도(L-value, lightness), 적색도(a-value, redness) 및 황색도(b-value, yellowness)를 측정하였다(Shin 등 2016). 이때 사용한 표준백판의 색도는 L-value=97.38, a-value=-0.02, b-value=1.66이었다. 품종 및 파종시기별 조의 수분결합력은 시료 1 g을 증류수 40 mL를 혼합하여 1시간 교반하고, 10분 동안 1,500×g으로 원심분리(CR22GⅢ, Hitachi, Tokyo, Japan)하여 상등액을 제거한 다음 침전된 가루의 무게를 측정하여 침전된 시료의 무게(g)에서 처음 시료분말의 무게(g)를 빼고 처음 시료분말 무게(g)에 대한 백분율로 계산하였다(Woo 등 2016). 용해도와 팽윤력은 분쇄 시료 1 g을 30 mL의 증류수에 분산시켜 90±1℃의 항온수조(VS-1205SW1, Vision Scientific Co., Ltd., Seoul, Korea)에 30분간 가열하고, 1,500×g로 20분간 원심분리한 후 상등액은 105℃에서 12시간 건조시켜 무게를 측정하고, 침전물은 그대로 무게를 측정하였으며, 아래의 계산식에 의해 산출하였다(Woo 등 2016).

$$\text{용해도(solubility, \%)} = \frac{\text{상등액을 건조한 고형물의 무게 (g)}}{\text{처음 시료 무게 (g)}} \times 100$$

$$\text{팽윤력(swelling power, \%)} = \frac{\text{원심분리 후 무게 (g)} \times 100}{\text{처음 시료 무게 (g)} \times (100 - \text{용해도})}$$

4. 항산화 성분 및 활성 검정 추출물 제조

품종 및 파종시기에 따른 조의 항산화 성분 및 radical 소거 활성을 분석하기 위해 일정량의 시료를 취하여 80% 에탄올을 넣고 homogenizer(HG-15A, Daihan Scientific Co., Ltd., Seoul, Korea)로 균질화시킨 후, 상온에서 24시간동안 2회 진탕추출(WiseCube WIS-RL010, Daihan Scientific Co., Ltd., Seoul, Korea)한 다음 No. 2 여과지(Advantec, Toyo Roshi Kaisha, Ltd., Tokyo, Japan)로 여과하여 -20℃ 냉동고에 보관하면서 분석용 시료로 사용하였다.

5. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 분석

추출물에 대한 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 Woo 등(2015)의 방법으로 분석하였다. 총 폴리페놀 함량은 추출물 50 µL에 2% sodium carbonate(Na₂CO₃; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 용액 1 mL를 가한 후 3분간 방치하여 50% Folin-Ciocalteu reagent(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 50 µL를 가하였다. 30분 후, 반응액의 흡광도 값을 750 nm에서 측정하였고, 표준물질인 gallic acid(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하여 검량선을 작성하였으며, 시료 g중의 mg gallic acid equivalents(GAE, dry basis)로 나타내었다. 총 플라보노이드 함량은 추출물 250 µL에 증류수 1 mL

와 5% sodium nitrite(NaNO₂; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 75 µL를 가한 다음, 5분 후 10% aluminium(III) chloride hexahydrate(AlCl₃ · 6H₂O; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 150 µL를 가하여 6분 방치하고, 1 N sodium hydroxide(NaOH; Junsei Chemicals, Tokyo, Japan) 500 µL를 첨가하고, 11분 후 반응액의 흡광도 값을 510 nm에서 측정하였다. 표준물질인 (+)-catechin(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하여 검량선을 작성하였으며, 시료 g중의 mg catechin equivalents (CE, dry basis)으로 나타내었다.

6. DPPH 및 ABTS radical 소거활성 측정

품종 및 파종시기에 따른 조 추출물의 radical 소거활성은 DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 및 ABTS(2,2'-azino-bis-3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) radical 소거 활성을 측정하였다(Woo 등 2015). DPPH radical 소거 활성은 0.2 mM DPPH 용액(99.9% ethanol에 용해) 0.8 mL에 시료 0.2 mL를 첨가한 후 520 nm에서 정확히 30분 후에 흡광도 감소치를 측정하였다. ABTS radical 소거 활성은 ABTS 7.4 mM과 potassium persulphate(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 2.6 mM을 하루 동안 암소에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후 이용액을 735 nm에서 흡광도 값이 1.4-1.5가 되도록 물 흡광계수($\epsilon=3.6 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)를 이용하여 에탄올로 희석하였다. 희석된 ABTS 용액 1 mL에 추출액 50 µL를 가하여 흡광도의 변화를 정확히 30분 후에 측정하였다. DPPH 및 ABTS radical 소거활성은 항산화 활성 실험에서 주로 사용되는 표준물질인 trolox(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 이용하여 시료 100 g당 mg trolox equivalent antioxidant capacity(TE, dry basis)로 표현하였다.

7. 통계분석

모든 데이터는 3회 반복 측정하였으며, 평균과 표준편차로 나타내었다. 또한 얻어진 결과를 통계프로그램(Statistical Analysis System; version 9.2, SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 일원배치분산분석을 실시한 후 다중범위검정(Duncan's multiple range test)을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 품종 및 파종시기별 조의 일반성분 함량

품종 및 파종시기에 따른 조의 일반성분을 분석한 결과, Table 1과 같이 파종시기에 따라 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났다. 파종시기에 따라 조의 수분 함량은 황금조의 경우, 7.96~8.33 g/100 g($p<0.05$), 삼다메는 8.53~8.70 g/100 g

Table 1. The proximate compositions of foxtail millet with variety and seeding periods

Variety	Seeding periods ¹⁾	Moisture (g/100 g)	Crude ash (g/100 g)	Crude fat (g/100 g)	Crude protein (g/100 g)	Carbohydrate (g/100 g)
Hwanggeum-jo	1 st	7.99±0.02 ²⁾	3.33±0.02 ^a	3.64±0.02 ^b	10.69±0.06 ^a	74.34±0.06 ^c
	2 nd	8.33±0.04 ^a	3.02±0.03 ^b	3.42±0.01 ^c	9.33±0.02 ^c	75.89±0.08 ^c
	3 rd	7.96±0.06 ^d	2.92±0.02 ^c	3.74±0.02 ^a	9.82±0.03 ^b	75.56±0.06 ^d
	4 th	8.06±0.01 ^c	2.69±0.03 ^d	3.76±0.02 ^a	9.10±0.08 ^d	76.39±0.09 ^b
	5 th	8.26±0.06 ^b	2.81±0.03 ^e	3.72±0.06 ^a	8.47±0.02 ^c	76.75±0.04 ^a
Samdame	1 st	8.53±0.03 ^c	3.19±0.01 ^a	3.71±0.06 ^b	9.65±0.01 ^b	74.93±0.08 ^c
	2 nd	8.66±0.03 ^b	2.95±0.02 ^c	3.78±0.07 ^a	8.23±0.05 ^d	76.38±0.09 ^b
	3 rd	8.70±0.01 ^a	2.93±0.02 ^c	3.60±0.02 ^c	9.88±0.03 ^a	74.89±0.04 ^c
	4 th	8.64±0.02 ^b	3.02±0.05 ^b	3.45±0.04 ^d	8.60±0.02 ^c	76.29±0.05 ^b
	5 th	8.69±0.02 ^a	3.01±0.02 ^b	3.45±0.01 ^d	7.48±0.02 ^e	77.37±0.01 ^a

¹⁾ The 1st, 2nd, 3rd, 4th and 5th seeding periods were seeded on May 27, June 7, June 17, June 27 and July 7 respectively.

²⁾ All values are expressed as the mean±S.D. of triplicate determinations.

Means with different superscripts within a column (^{a-e}) with variety are significantly different at $p<0.05$ by a Duncan's multiple range test.

으로 나타났으며($p<0.05$), 회분 함량은 각각 2.69~3.33 및 2.93~3.19 g/100 g($p<0.05$), 지방 함량은 각각 3.42~3.76 및 3.45~3.78 g/100 g($p<0.05$), 단백질 함량은 각각 8.47~10.69 및 7.48~9.88 g/100 g($p<0.05$), 탄수화물 함량은 각각 73.34~76.95 및 74.89~77.37 g/100 g($p<0.05$)으로 유의적인 차이를 보였다. 황금조의 경우, 단백질 함량은 1~3차 파종한 시료가 높았으며, 상대적으로 탄수화물 함량은 4~5차에서 높게 나타났다. 그러나 삼다메의 경우, 단백질 함량은 1차에서 가장 높았고, 탄수화물 함량은 5차에서 높게 나타났다. 이는 성숙기의 기상환경 등의 영향과 품종별로 성숙과정에서 이화학성분의 합성이 달라 함량 차이를 보이는 것으로 생각되며(Kim 등 2005; Kim 등 2006), 이에 대한 추후 연구가 필요할 것으로 보인다. Lee 등(2010)은 충북 괴산에서 생산된 청회색을 띠는 차조의 수분, 조회분, 조지방 및 조단백질 함량을 각각 13.33, 1.25, 3.29 및 8.96 g/100 g으로 보고하여 조지방 및 조단백질 함량은 본 연구결과와 유사한 값을 나타내었으며, 수분과 조회분 함량의 차이는 건조 정도와 도정 여부에 따라 차이를 보인 것으로 생각된다(Lee 등 2012a).

2. 품종 및 파종시기별 조의 색도 및 수분특성

품종 및 파종시기를 달리하여 수확한 조의 색도를 분석한 결과, Table 2와 같이 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났다. 명도(L-value)는 황금조의 경우 25.36~27.99로 파종시기가 늦어질수록 증가하는 경향을 보였으며($p<0.05$), 삼다메는 24.64~27.30으로 1차 파종에서 유의적으로 높게 나타났다($p<0.05$). 적색도(a-value)는 황금조와 삼다메에서 각각 0.82~1.13 및 0.60~1.08로 전반적으로 파종시기가 늦어질수록 감소

하는 경향을 보였다($p<0.05$). 황색도(b-value)는 각각 7.55~9.10 및 7.85~8.26으로 황금조는 파종시기가 늦어질수록 증가하였고, 삼다메는 감소하는 경향을 보였다($p<0.05$). 조의 색도가 파종시기에 따라 다른 것은 성숙과정에서의 기상조건에 따라 차이를 보이는 것으로 생각된다.

품종 및 파종시기를 달리하여 수확한 조의 수분특성을 분석한 결과, Table 2와 같이 유의적인 차이를 보였다. 황금조와 삼다메의 수분결합력(water binding capacity)은 각각 88.47~97.01 및 82.78~91.34%로 황금조는 1차와 5차 파종에서 유의적으로 높게 나타났고($p<0.05$), 삼다메는 파종시기가 늦어질수록 증가하는 경향을 보였으며($p<0.05$). 수분결합력은 수분과의 친화성을 의미하는 것으로 전분입자 내의 비결정형 부분이 많을수록 높아지는데(Lee 등 2017), 파종시기에 따라 비결정형 부분의 구성이 달라져 수분결합력의 차이가 발생한 것으로 추정된다. 즉, 분쇄한 조 전분입자의 무정형부분에 수분이 침투되거나 입자표면에 흡착하는 것을 의미하는데(Wi 등 2013), 파종시기가 달라질 경우 성숙기의 기상조건에 따라 전분의 구조 차이에 기인한 것으로 추정된다. 품종 및 파종시기에 따른 조의 용해도(water solubility)는 Table 2와 같이 황금조와 삼다메에서 각각 4.87~6.32 및 5.51~6.28%로 황금조는 2차 파종에서, 삼다메는 5차 파종에서 유의적으로 높게 나타났고($p<0.05$). 용해도가 높은 것은 가열에 의해 시료가 팽윤 및 호화되어 과피에 있는 지질과 섬유질 성분들이 파괴되면서 일부 아밀로스나 용해성 탄수화물을 용출되어 높아지는 것으로 알려져 있다(Lee 등 2017). 품종 및 파종시기에 따른 조의 팽윤력(swelling power)은 Table 2와 같이 황금조와 삼다메에서 각각 132.86~175.35 및 142.22~160.33%로

Table 2. The chromaticity, water binding capacity, water solubility index, and swelling power of foxtail millet with variety and seeding periods

Variety	Seeding periods ¹⁾	Chromaticity			Water binding capacity (%)	Water solubility index (%)	Swelling power (%)
		L-value	a-value	b-value			
Hwanggeum-jo	1 st	25.36±0.54 ^{c2)}	1.13±0.05 ^a	7.55±0.05 ^d	97.01±3.33 ^a	5.20±0.47 ^b	144.91±1.49 ^c
	2 nd	25.72±0.11 ^{bc}	0.98±0.03 ^b	8.02±0.13 ^c	89.14±2.39 ^b	6.32±0.48 ^a	132.86±1.96 ^d
	3 rd	25.58±0.54 ^{bc}	1.12±0.03 ^a	8.14±0.09 ^{bc}	90.17±1.60 ^b	4.95±0.25 ^b	163.06±2.60 ^b
	4 th	26.04±0.36 ^b	0.89±0.04 ^c	8.31±0.12 ^b	88.47±1.64 ^b	5.49±0.30 ^b	157.86±4.50 ^b
	5 th	27.99±0.33 ^a	0.82±0.04 ^d	9.10±0.16 ^a	96.23±1.85 ^a	4.87±0.34 ^b	175.35±4.35 ^a
Samdame	1 st	27.30±0.39 ^a	1.07±0.05 ^a	8.26±0.07 ^a	82.78±1.90 ^c	6.01±0.16 ^{ab}	142.22±3.83 ^c
	2 nd	25.21±0.19 ^c	1.08±0.04 ^a	8.26±0.12 ^a	88.72±1.56 ^{ab}	5.51±0.18 ^c	160.33±1.91 ^a
	3 rd	24.97±0.10 ^{cd}	1.02±0.00 ^a	8.24±0.03 ^a	87.78±3.84 ^{ab}	5.72±0.03 ^{bc}	158.25±5.70 ^{ab}
	4 th	24.64±0.28 ^d	0.81±0.05 ^b	7.85±0.10 ^b	86.27±1.65 ^{bc}	5.62±0.23 ^c	159.21±3.03 ^{ab}
	5 th	26.79±0.32 ^b	0.60±0.04 ^c	7.91±0.04 ^b	91.34±2.40 ^a	6.28±0.25 ^a	152.85±2.78 ^b

¹⁾ The 1st, 2nd, 3rd, 4th and 5th seeding periods were seeded on May 27, June 7, June 17, June 27 and July 7 respectively.

²⁾ All values are expressed as the mean±S.D. of triplicate determinations.

Means with different superscripts within a column (^{a-d}) with variety are significantly different at $p<0.05$ by a Duncan's multiple range test.

유의적인 차이를 보였으며($p<0.05$), 황금조는 파종시기가 늦어질수록 증가하는 경향을 보였고, 삼다메는 2~4차 파종에서 높게 나타났다. 용해도와 팽윤력은 전분 입자의 결정형 영역과 전분 사슬의 무정형 간의 상호작용의 크기를 평가하는 지표로 알려져 있다(Kim 등 2012). 팽윤력이 낮으면 수분과 전분 입자내의 결합력이 강하다는 것을 의미하며(Leach 등 1959), 전분 용해도, 투명도, 점도와 밀접한 관계를 가지고 전분의 팽윤 성질은 입자내의 미셀구조의 강도와 성질에 크게 영향을 받는다(Lee & Kim 1992). 따라서 조의 품종 및 파종시기에 따라 수분결합력, 용해도 및 팽윤력 등 수분특성이 다른 이유는 파종시기가 달라 성숙기의 재배환경에 따라 전분의 구조나 구성이 다르고, 이화학 성분 차이에 기인한 것으로 생각되며, 추후 이에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다(Woo 등 2016).

3. 품종 및 파종시기별 조의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량

품종 및 파종시기를 달리하여 수확한 조의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 등 항산화 성분을 분석한 결과, Fig. 2와 같이 품종 및 파종시기에 따라 차이를 나타내었다. 품종 및 파종시기에 따른 조의 총 폴리페놀 함량은 Fig. 2(A)와 같이 황금조와 삼다메에서 각각 298.68~315.13 및 288.84~297.73 mg GAE/100 g으로 황금조는 파종시기가 늦어질수록 감소하는 경향을 보였고($p<0.05$), 삼다메는 2~3차 파종에서 유의적으로 높게 나타났다($p<0.05$). 곡류의 항산화 물질 중 페놀 화합물들은 우수한 항산화 활성을 가지며(Middleton & Kandaswami 1994), 식품 중 지방 산화 방지와 인체 내에서는 활성 라디칼에 의한 노화를 억제하여 질병과 노화 방지 역할을 하는 것으

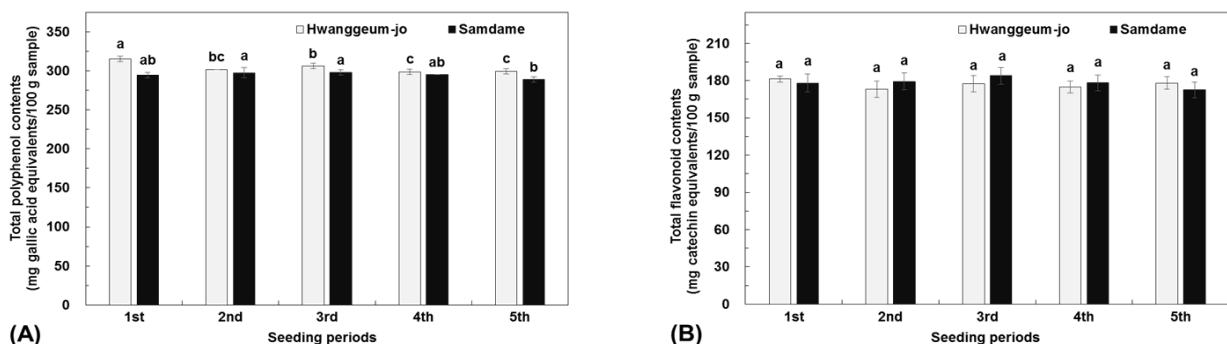


Fig. 2. The total polyphenol (A) and flavonoid (B) contents of foxtail millet with variety and seeding periods. The 1st, 2nd, 3rd, 4th and 5th seeding periods were seeded on May 27, June 7, June 17, June 27 and July 7 respectively. Means with different superscripts within a column (^{a-c}) with variety are significantly different at $p<0.05$ by a Duncan's multiple range test.

로 알려져 있다(Lee 등 2017). 본 연구에서도 페놀 화합물 함량이 높은 파종시기에 재배한 조에서 높은 항산화 활성을 나타내는 것으로 나타났다. Woo 등(2012)은 강원도 원주에서 조기(5월 15일), 보통기(6월 15일) 및 만기(7월 15일) 재배하여 수확한 황금조 메탄올 추출물의 총 폴리페놀 함량을 각각 12.08, 15.83 및 17.40 mg GAE/g으로 파종시기가 늦어질수록 증가하는 것으로 보고하였는데, 본 연구와 차이를 보이는 것은 재배지역(중부내륙 평야지와 중부 산간지)에 의한 차이로 생각된다. 품종 및 파종시기에 따른 조의 총 플라보노이드 함량은 Fig. 2(B)와 같이 각각 181.32~172.92 및 172.49~183.86 mg CE/100 g으로 황금조는 1차 파종에서, 삼다메는 3차 파종에서 약간 높게 나타났으나, 유의적인 차이는 없었다. 전반적으로 총 폴리페놀 함량은 1~3차 파종 시료에서 유의적으로 높은 함량을 보였으며, 플라보노이드 함량은 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다. Woo 등(2012)은 강원도 원주에서 조기(5월 15일), 보통기(6월 15일) 및 만기(7월 15일) 재배하여 수확한 황금조 메탄올 추출물의 총 플라보노이드 함량을 각각 0.51, 1.63 및 0.99 mg CE/g으로 유의적인 차이를 보이는 것으로 보고하였다. 이상의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 본 연구와 차이를 보이는 것은 재배시기의 기상조건, 재배지역, 도정정도, 추출용매 등에 의한 차이로 생각된다.

4. 품종 및 파종시기별 조의 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거활성

품종 및 파종시기를 달리하여 수확한 조의 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거활성을 분석한 결과, Fig. 3과 같이 품종 및 파종시기에 따라 유의적인 차이를 나타내었다. 품종 및 파종시기에 따른 조의 DPPH 라디칼 소거활성은 Fig. 3(A)와 같이 황

금조와 삼다메에서 각각 104.70~126.89 및 111.75~136.92 mg TE/100 g으로 조사되었다. 황금조의 경우 1차 파종한 시료에서 가장 높았고, 삼다메는 4차 파종 시료가 유의적으로 높게 나타났다($p<0.05$). Woo 등(2012)은 강원도 원주에서 조기, 보통기 및 만기 재배하여 수확한 황금조 메탄올 추출물의 DPPH 라디칼 소거활성이 각각 3.80, 3.33 및 6.03 mg TE/g으로 만기 재배시 유의적인 높은 것으로 보고하였는데 재배지역에 따라 DPPH 라디칼 소거활성이 차이를 보여 재배지역에 알맞은 파종시기 설정이 필요할 것으로 보인다. 품종 및 파종시기에 따른 조의 ABTS 라디칼 소거활성은 Fig. 3(B)와 같이 황금조와 삼다메에서 각각 88.69~114.64 및 69.80~100.09 mg TE/100 g으로 유의적인 차이를 보였다($p<0.05$). 황금조의 경우 1차 파종한 시료가 높았고 파종시기가 늦어질수록 감소하는 경향을 보였으며, 삼다메는 4차 파종에서 높게 나타났다. Woo 등(2012)은 조기, 보통기 및 만기 재배하여 수확한 황금조 메탄올 추출물의 ABTS 라디칼 소거활성이 각각 3.67, 4.10 및 5.00 mg TE/g으로 만기 재배시 유의적인 높은 것으로 보고하였는데, 이러한 차이는 재배지역(중부내륙 평야지와 중부 산간지)에 의한 차이로 생각되며, 재배지역의 환경을 고려하여 파종시기를 달리할 필요가 있을 것으로 생각된다. 이상에서 라디칼 소거활성이 본 연구와 차이를 보이는 것을 재배시기의 기상조건, 재배지역, 도정정도, 추출용매 등에 의한 차이로 생각된다. 이상의 결과, 품종 및 파종시기를 달리하여 재배한 조의 이화학 특성과 항산화 활성을 분석한 결과, 황금조는 초기에, 삼다메는 만기에 파종하여 수확한 시료에서 외관 품질이 좋고 높은 항산화성을 나타내었다. 따라서 조의 품종과 재배시기에 따라 항산화 활성에 차이가 있어 페놀 화합물 등 항산화 성분의 함량을 증진시킬 수 있는 재배지역에 맞는 품종별 파종시기 설정이 필요할 것으로 생각된다.

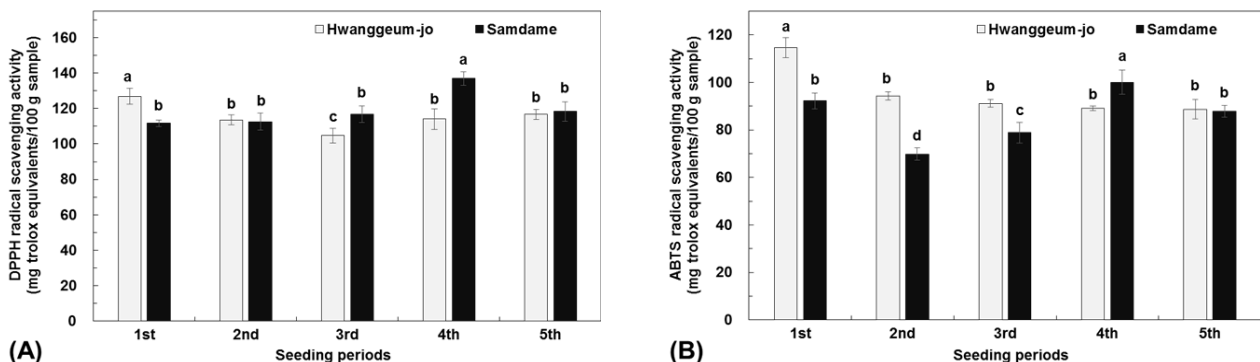


Fig. 3. The DPPH (A) and ABTS (B) radical scavenging activities of foxtail millet with variety and seeding periods. The 1st, 2nd, 3rd, 4th and 5th seeding periods were seeded on May 27, June 7, June 17, June 27 and July 7 respectively. Means with different superscripts within a column (^{a-d}) with variety are significantly different at $p<0.05$ by a Duncan's multiple range test.

요약 및 결론

고품질, 고기능성 조 생산을 위한 파종시기를 설정하고자 조 품종 및 파종시기에 따른 이화학 특성과 항산화 특성을 분석하였다. 황금조의 단백질 함량은 1~3차에서, 삼다메는 1차에서 높았으며, 황금조의 탄수화물 함량은 4~5차에서, 삼다메는 5차에서 높게 나타났다. 황금조의 명도와 황색도는 파종시기가 늦어질수록 증가하는 경향을 보였으며, 삼다메는 감소하는 경향을 보였다. 적색도는 전반적으로 파종시기가 늦어질수록 감소하는 경향을 보였다. 조의 팽윤력은 대체적으로 파종시기가 늦어질수록 증가하는 경향을 보였다. 품종 및 파종시기에 따른 조의 총 폴리페놀 함량은 황금조와 삼다메에서 각각 298.68~315.13 및 288.84~297.73 mg GAE/100 g 으로 황금조는 파종시기가 늦어질수록 감소하는 경향을 보였고, 삼다메는 2~3차 파종에서 높게 나타났다. 전반적으로 총 폴리페놀 함량은 1~3차 파종 시료에서 유의적으로 높은 함량을 보였다. 품종 및 파종시기에 따른 조의 DPPH 라디칼 소거활성은 황금조와 삼다메에서 각각 104.70~126.89 및 111.75~136.92 mg TE/100 g, ABTS 라디칼 소거활성은 각각 88.69~114.64 및 69.80~100.09 mg TE/100 g으로 유의적인 차이를 보였다. 이상의 결과, 품종과 재배시기에 따라 폴리페놀 성분의 함량과 라디칼 소거활성이 차이를 보이는 것으로 나타나, 조의 품종과 재배지역을 고려하여 적정 파종시기를 설정할 필요가 있을 것으로 보인다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 AGENDA 연구사업(ATIS 과제번호: PJ01142602)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

- Amadou I, Mahamadou EG, Le GW. 2013. Millets: Nutritional composition, some health benefits and processing - A review. *Emir J Food Agric* 25:501-508
- Ha YD, Lee SP. 2001. Characteristics of proteins in Italian millet, sorghum and common millet. *Korean J Postharvest Sci Technol* 8:187-192
- Jeon HS, Chung IM, Ma KH, Kim EH, Yong SJ, Ahn JK. 2011. Analysis of phenolic compounds in sorghum, foxtail millet and common millet. *Korean J Crop Sci* 56:361-374
- Jeong MS, Ko JY, Song SB, Lee JS, Jung TW, Yoon YH, Oh IS, Woo KS. 2014. Physicochemical characteristics of *Sikhye* (Korean traditional rice beverage) using foxtail millet, proso millet, and sorghum. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43: 1785-1790
- Joo YH, Park JH, Kim YH, Choung MG, Chung KW. 2004. Change in anthocyanin contents by cultivation and harvest time in black-seeded soybean. *Korean J Crop Sci* 49: 512-515
- Jung CS, Kwon YC, Suh HS, Park YJ. 1996. Variation of anthocyanin content in color-soybean collections. *Korean J Crop Sci* 41:302-307
- Kawase M, Sakamoto S. 1984. Variation, geographical distribution and genetic analysis of esterase isozymes in foxtail millet, *Setaria italica* (L.) P. Beauv. *Theor Appl Genet* 67:529-533
- Kim DK, Lee JY, Yoon CY, Lee YS, Kuk YI, Chon SU, Park IJ. 2003. Growth and green pod yield by sowing and acclimation dates in autumn green pea. *Korean J Crop Sci* 48:447-451
- Kim HS, Kim HS, Kim KH. 2006. Effects of sowing date for seed quality of sprout-soybean. *Korean J Crop Sci* 51: 152-159
- Kim HS, Kim KH, Oh YJ, Suh SK, Park HK. 2005. Water absorption and germination ratio of sprout-soybean varieties affected by different planting date. *Korean J Crop Sci* 50S: 132-135
- Kim JM, Yu MY, Shin MS. 2012. Effect of mixing ratio of white and germinated brown rice on the physicochemical properties of extruded rice flours. *Korean J Food Cook Sci* 28:813-820
- Kim YS, Lee GC. 2006. A survey on the consumption and satisfaction degree of the cooked rice mixed with multi-grain in Seoul, Gyeonggi and Kangwon area. *Korean J Food Cult* 21:661-669
- Ko JY, Song SB, Lee JS, Kang JR, Seo MC, Oh BG, Kwak DY, Nam MH, Jeong HS, Woo KS. 2011. Changes in chemical components of foxtail millet, proso millet, and sorghum with germination. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40:1128-1135
- Ko JY, Song SB, Choe ME, Kwak DY, Kim JI, Park CH, Choi JM, Woo KS, Jung TW. 2017. Short culm, lodging tolerance, non-glutinous foxtail millet (*Setaria italica* Beauv.) variety 'Daname'. *Korean J Breed Sci* 49:396-402
- Leach HW, McCowen LD, Schoch TJ. 1959. Structure of starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chem* 36:534-544
- Lee AR, Kim SK. 1992. Gelatinization and gelling properties of

- legume starches. *J Korean Soc Food Nutr* 21:738-747
- Lee HH, Chu SH, Ryu SN, Shin MC, Koh HJ. 2006. Grain characteristics of green-kerneled rices under different planting time and N-fertilizer levels. *Korean J Breed Sci* 38:358-365
- Lee HK, Hwang IG, Kim HY, Woo KS, Lee SH, Woo SH, Lee J, Jeong HS. 2010. Physicochemical characteristic and antioxidant activities of cereals and legumes in Korea. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39:1399-1404
- Lee JS, Ko JY, Kim KY, Song SB, Woo KS, Kim JI, Kwak DY, Jung TW, Seo MC, Oh IS. 2013. A medium maturing, non-glutinous lodging tolerance foxtail millet (*Setaria italica* Beauv.) variety 'Samdamae'. *Korean J Breed Sci* 45:382-387
- Lee JS, Ko JY, Song SB, Woo KS, Kim JI, Kim HY, Jung TW, Kwak DY, Oh IS, Kim KY. 2012a. Milling condition and harvesting time for improving milling recovery of head foxtail millet grain. *Korean J Crop Sci* 57:280-285
- Lee JS, Ko JY, Woo KS, Song SB, Jung TW, Yun YH, Seo MC, Oh BG, Lee MG. 2014. A medium maturing, glutinous foxtail millet (*Setaria italica* Beauv.) variety 'Samdachal'. *Korean J Breed Sci* 46:439-444
- Lee JS, Oh BG, Song SB, Ko JY, Woo KS, Nam MH, Park ST, Kim JI, Seo MC, Kwak DY, Jung TW, Oh IS, Kim KY. 2012b. A medium maturing, glutinous foxtail millet (*Setaria italica* Beauv.) variety 'Kyeongwan1'. *Korean J Breed Sci* 44:369-372
- Lee JS, Song SB, Ko JY, Woo KS, Nam MH, Park CY, Park ST, Kim JI, Seo MC, Kwak DY, Jung TW, Oh IS, Oh BG, Kim KY. 2012c. A new medium maturing, yellowish grain and glutinous foxtail millet (*Setaria italica* Beauv.) variety 'Keongwan2'. *Korean J Breed Sci* 44:648-652
- Lee JS, Song SB, Ko JY, Kang JR, Oh BG, Seo MC, Kwak DY, Nam MH, Woo KS. 2011. Effects of the cultivated areas on antioxidant compounds and activities of proso millet (*Panicum miliaceum* L.). *Korean J Crop Sci* 56:315-321
- Lee KH, Kim HJ, Lee SK, Park HY, Sim EY, Cho DH, Oh SK, Lee JH, Ahn EK, Woo KS. 2017. Effect of cooking methods on cooking and antioxidant characteristics of rice supplemented with different amounts of germinated brown rice. *Korean J Food Sci Technol* 49:311-317
- Middleton E, Kandaswami CC. 1994. Potential health-promoting properties of citrus flavonoids. *Food Technol* 48:115-119
- Shin DS, Choi YJ, Jeong ST, Sim EY, Lee SK, Kim HJ, Woo KS, Kim SJ, Oh SK, Park HY. 2016. Quality characteristics of mixed *Makgeolli* with barley and wheat. *Korean J Food Nutr* 29:565-572
- Wi E, Park J, Shin M. 2013. Comparison of physicochemical properties and cooking quality of Korean organic rice varieties. *Korean J Food Cook Sci* 29:785-794
- Woo KS, Kim MJ, Ko JY, Sim EY, Kim HJ, Lee SK, Park HY, Cho DH, Oh SK, Jeon YH, Lee CK. 2017. Pasting properties and antioxidant characteristics of germinated foxtail millet and proso millet with added cooked rice. *Korean J Food Nutr* 30:482-490
- Woo KS, Ko JY, Song SB, Lee JS, Kang JR, Oh BG, Nam MH, Jeong JH, Jeong HS, Seo MC. 2010. Physicochemical characteristics of vinegars fermented from cereal cobs with *incalgyun*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39:1171-1178
- Woo KS, Lee JS, Kang JR, Ko JY, Song SB, Oh BG, Seo MC, Kwak DY, Nam MH. 2011. Effects of cultivated area on antioxidant compounds and antioxidant activities of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40:1512-1517
- Woo KS, Lee JS, Ko JY, Song SB, Seo HY, Seo MC, Oh BG, Kwak DY, Nam MH, Oh IS, Jeong HS. 2012. Antioxidant activities of different varieties of foxtail millet and proso millet according to cultivation time. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41:302-309
- Woo KS, Song SB, Ko JY, Kim YB, Kim WH, Jeong HS. 2016. Antioxidant properties of adzuki beans, and quality characteristics of sediment according to cultivated methods. *Korean J Food Nutr* 29:134-143
- Woo KS, Song SB, Ko JY, Lee JS, Jung TW, Jeong HS. 2015. Changes in antioxidant contents and activities of adzuki beans according to germination time. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44:687-694
- Yoon ST, Xu ZY. 2008. Crop characteristics of foxtail millet (*Setaria italica* Beauvois) resources. *J Korean Soc Int Agric* 30:211-215
- Yu L, Wu S. 1996. Traditional maintenance and multiplication of foxtail millet (*Setaria italica* (L.) P. Beauv.) landraces in China. *Euphytica* 87:33-38

Received 19 February, 2018

Revised 17 April, 2018

Accepted 10 May, 2018