

종자친과 화분친을 달리한 옥수수의 품질 및 이화학 특성

우관식 · 배환희* · 정건호** · 손범영* · †김현주*

농촌진흥청 농업연구사, *국립식량과학원 증부작물부 농업연구사, **국립식량과학원 고령지농업연구소 농업연구사

Quality and Physicochemical Characteristics of Korean Maize Hybrids according to the Seed and Pollen Parent

Koan Sik Woo, Hwan Hee Bae*, Gun Ho Jung**, Beom-Young Son* and †Hyun-Joo Kim*

Researcher, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea

*Researcher, Dept. of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16613, Korea

**Researcher, Highland Agriculture Research Institute, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Pyeongchang 25342, Korea

Abstract

This study investigated on the chemical components, quality characteristics, antioxidant compounds, and activity of maize hybrids according to the cultivar, and breeding maize seeds crossed with seed and pollen parent. The moisture, crude fat, crude ash, crude protein, carbohydrate, and amylose contents of maize hybrids were significantly different among cultivars, and seeded and pollinated maize. The L-, a- and b-value of maize hybrids were 39.81~47.21, -0.01~0.55 and 5.85~18.47, respectively. Water binding capacity, water solubility index and swelling power were 123.29~153.32, 4.69~5.76 and 20.11~21.47%, respectively. The phenolic compounds and radical scavenging activity of maize hybrids were significantly different among cultivars, and seeded and pollinated maize. Total polyphenol and flavonoid contents of maize hybrids were 1,335.41~1,876.29 µg/g and 184.24~453.95 µg CE/g, respectively. The DPPH and ABTS radical scavenging activities were 171.75~239.16 and 299.44~364.09 mg TE/100 g, respectively. As a result, it could be used as a basic data for cultivating phenol compounds and antioxidant activity in maize breeding.

Key words: maize hybrids, cultivar, quality characteristics, physicochemical characteristics

서 론

옥수수(*Zea mays* L.)는 벼, 밀과 더불어 세계 주요 식량 작물로 산업적으로 전분, 시럽 등을 제조하는데 많이 사용되어 왔다(Lee 등 2014). 옥수수는 생육기간이 짧아 2기작이 가능하며(Jung 등 2012), 단위면적당 건물생산성이 높을 뿐 아니라 영양가 뿐만 아니라 기호도가 높아 국내에서도 간식용 풋 옥수수, 찹옥수수 등 다양한 특성을 가진 옥수수가 재배되고 있다(Kim 등 2017). 옥수수는 종실의 특징에 따라 종류를 분류하게 되는데 마치종(dent corn), 경립종(flint corn), 연립종(flour corn), 튀김옥수수(pop corn)와 단옥수수(sweet corn) 등으로 구분된다(Corona 등 2006). 국내의 경우 단옥수수는 생

식용으로 많이 이용되고 있으며(Kim 등 2014), 곡실용 옥수수는 식품산업에서 주로 전분, 차 제조용 등으로 이용되고 있다(Lee 등 2017). 현재 국내에서의 수입 옥수수 소비량은 900만 톤에 이르고 있고 대부분은 사료용으로 이용되고 있지만, 전분 등 식용으로도 다양하게 이용되고 있다(Son 등 2012).

옥수수가 가지고 있는 다양한 특성을 활용하여 각종 조미료, 의약품, 화장품, 주류, 과자류, 제지업 등 다양한 용도로 활용되고 있다(Zarkadas 등 2000; Kim 등 2002; Son 등 2012; Youn & Chung 2012). 옥수수의 씨눈에는 불포화지방산, 토코페롤 함량이 많고(Ignjatovic-Micic 등 2015), 옥수수 호분층에는 폴리페놀 함량이 많은데 특히 ferulic acid가 높은 것으로

† Corresponding author: Hyun-Joo Kim, Researcher, Dept. of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16613, Korea. Tel: +82-31-695-0614, Fax: +82-31-695-0609, E-mail: tlrtod@korea.kr

알려져 있다(Saulnier & Thibault 1999; Rouau 등 2003; Manach 등 2004). 폴리페놀은 식물체에 함유되어 있는 이차대사물질로서 항산화 활성과 상관관계가 높으며(Manach 등 2004), 특히 옥수수를 포함한 곡물에서 흔히 발견되는 ferulic acid는 radical 소거활성이 높아 항염증, 항당뇨, 항암, 간보호 효능 등이 우수한 것으로 보고되었다(Srinivasan 등 2007). 최근 국내에서는 옥수수를 식용 뿐만 아니라 식품, 의약품, 공중보건 제품 등 여러 분야에 적용하기 위하여 육종, 재배조건, 가공 소재 개발까지 다양하게 연구되고 있는 추세이다.

옥수수는 종자친(모본)과 화분친(부본)이 교잡되어 F1 종자를 생산하는 작물로서 본 연구에서는 이를 달리하여 육성된 품종에 대해 품질 및 이화학 특성을 분석하고자 ‘강다옥’(Gangdaok), ‘황다옥’(Hwangdaok) 및 ‘광평옥’(Kwangpyeongok)을 이용하여 연구를 수행하였다. ‘강다옥’은 자식계통 KS140을 종자친(모본)으로 하고, KS141을 화분친(부본)으로 하여 2000년 교잡된 단교잡종으로 2006년 출원된 품종이다(Son 등 2006). ‘황다옥’은 2017년에 육성된 품종이며, ‘광평옥’은 자식계통 KS124를 종자친으로 하고 자식계통 KS85를 화분친으로 하여 2000년에 교잡된 곡실용 옥수수 단교잡종이다(Moon 등 2001). 본 연구를 통해 옥수수 육종에서 모·부본의 특성에 따라 품질 및 성분 육종의 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 시험재료

본 연구에 사용된 옥수수 품종은 ‘강다옥’(*Zea mays* L. cv. Gangdaok), ‘황다옥’(cv. Hwangdaok), ‘광평옥’(cv. Kwangpyeongok) 등 3품종이며, 각각 종자친(모본; seed parent)과 화분친(부본; pollen parent)을 경기 수원 소재의 국립식량과학원 중부작물부 시험용 포장에서 2017년 생산된 옥수수를 시험용 재료로 사용하였다. 시료를 분쇄하기 위하여 vibrating sample mill (CMT Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하였다.

2. 일반성분 및 아밀로스 함량 분석

옥수수 품종 및 종자친과 화분친으로 수확된 옥수수의 일반성분 함량을 분석하였다. 수분 함량은 105°C 상압가열건조법(DS-80S, Dasol Scientific, Hwaseong, Korea)으로 측정하였으며, 조단백질 함량은 kjeldahl 방법(Apodest 50SC-KTL 20S, C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Königswinter, Germany)으로 정량 분석한 후 총 질소함량에 단백질 환산계수로 5.95를 곱하여 계산하였다. 조지방 함량은 soxhlet 추출방법(Sox416, C. Gerhardt GmbH & Co. KG)으로 분석하였고 조회분은 600°C 직접회화법(DS-84E-1, Dasol Scientific, Hwaseong, Korea)으로 분석하였다. 탄수화물 함량은 100 중량부에서 수분, 단백질,

지방, 회분을 뺀 나머지 값으로 환산하였다(Jeong 등 2014). 아밀로스 함량 측정을 위해 분쇄 시료 100 mg에 95% ethanol 1 mL과 1 N sodium hydroxide 9 mL을 첨가하여 분산시키고 95°C 항온수조에 넣어 20분간 소화시킨 후 냉각하였다. 소화액 5 mL을 100 mL 메스플라스크에 옮겨담은 후 1N acetic acid 1 mL과 2% I₂-KI용액 2 mL을 첨가한 다음 증류수로 100 mL이 되도록 정용한 다음 30분 동안 정색 반응한 후 620 nm에서 흡광도를 측정하여 아밀로스 함량을 환산하였다(Juliano BO 1985).

3. 옥수수의 품질 특성 분석

옥수수의 색도는 색차계(CM-3500d, Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 분쇄한 시료를 측정용 셀(35×20×50 mm)에 담아 직경 23 mm의 부분에 해당하는 부분 전체를 측정하였으며, 명도(L-value, lightness), 적색도(a-value, redness) 및 황색도(b-value, yellowness)를 측정하였다(Kim 등 2018a). 이때 사용한 표준백판의 색도는 L-value는 97.38, a-value는 -0.02, b-value는 1.66이었다.

수분결합력 분석은 분쇄 시료 1 g을 증류수 40 mL을 혼합하여 1시간 교반한 다음 10분 동안 1,500×g에서 원심분리하여 상등액을 제거한 후 침전된 가루의 무게를 측정하였다(Woo 등 2016). 용해도와 팽윤력은 분쇄 시료 1 g을 30 mL의 증류수에 분산시켜 90°C 항온수조에 30분간 가열하고 냉각한 다음 1,500×g로 20분간 원심분리한 후 상등액은 105°C에서 12시간 건조시켜 무게를 측정하고 침전물은 그대로 무게를 측정하였다. 수분결합력, 용해도 및 팽윤력은 아래의 계산식에 의해 산출하였다(Woo 등 2016).

$$\text{수분결합력(water binding capacity, \%)} = \frac{\text{원심분리 후 무게 (g)} - \text{처음 시료 무게 (g)}}{\text{처음 시료 무게 (g)}} \times 100$$

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

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

4. 옥수수 에탄올 추출물 제조, 항산화 성분 및 활성 분석

옥수수의 기능성분 및 항산화 활성을 분석하기 위한 추출물을 제조하기 위해 분쇄한 시료 10 g에 5배량의 80% 에탄올을 넣고 균질화한 후, 25°C에서 24시간 동안 진탕추출(WiseCube

WIS-RL010, Daihan Scientific Co., Ltd., Seoul, Korea)한 다음 여과하였고 잔사에 다시 80% 에탄올을 가하여 재추출한 후 두 추출물을 합쳐 -20°C 에 보관하면서 분석용 시료로 사용하였다.

총 폴리페놀 함량은 추출물 10 μL 에 2% sodium carbonate 용액 200 μL 를 가한 후 3분간 방치한 다음 50% Folin-Ciocalteu 용액(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 10 μL 를 가하였다. 30분 정치한 다음 반응액의 흡광도 값을 750 nm에서 측정하였고 표준물질인 gallic acid(Sigma-Aldrich)를 사용하여 검량선($y=0.0014x+0.0356$, $R^2=0.9993$)을 작성하였으며, 시료 g 중의 μg gallic acid equivalents(GAE, dry basis)로 나타내었다(Woo 등 2016). 총 플라보노이드 함량은 추출물 50 μL 에 증류수 200 μL 와 5% NaNO_2 15 μL 를 가한 다음, 5분간 정치하였다. 그 다음 10% $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 30 μL 를 가하여 6분 방치한 다음 1 N sodium hydroxide 용액 100 μL 를 첨가하고, 11분 정치한 다음 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질인 (+)-catechin(Sigma-Aldrich)를 사용하여 검량선($y=0.0018x+0.0475$, $R^2=0.9995$)을 작성하였으며, 시료 g 중의 μg catechin equivalents(CE, dry basis)으로 나타내었다(Woo 등 2016).

DPPH radical 소거활성은 0.2 mM DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, Sigma-Aldrich) 용액(99.9% ethanol에 용해) 200 μL 에 시료(추출물 농도 0.1 g/mL) 10 μL 를 첨가한 후 30분간 반응한 다음 520 nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH radical 소거활성은 시료구와 비첨가구의 흡광도 차이를 백분율(%)로 산출하였다. ABTS(2,2'-azino-bis-3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid, Sigma-Aldrich) radical 소거활성은 ABTS 7.4 mM과 potassium persulphate 2.6 mM을 하루 동안 암소에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후 이용액을 735 nm에서 흡광도 값이 1.4~1.5가 되도록 몰 흡광계수($\epsilon=3.6 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)를 이용하여 에탄올로 희석하였다. 희석된 ABTS 용액 200 μL 에

추출액 10 μL 를 가하여 30분 방치 후 측정하였다. ABTS radical 소거활성은 시료 100 g당 mg TE(Trolox equivalent antioxidant capacity)로 제시하였다(Woo 등 2016).

5. 통계분석

모든 데이터는 3회 이상 반복 측정하였으며, 평균 \pm 표준편차로 제시하였다. 또한 얻어진 결과를 통계프로그램(Statistical Analysis System; version 9.2, SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 다중범위검정(Duncan's multiple range test)을 실시하였으며, 각 분석항목 간의 상관관계를 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 옥수수 품종별 일반성분 함량

품종 및 종자친과 화분친으로 수확된 옥수수의 일반성분을 분석한 결과 Table 1과 같이 품종 및 종자친과 화분친 간의 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났다($p<0.05$). 품종별 옥수수의 수분 함량은 9.58~10.47 g/100 g으로 나타나 품종 및 종자친과 화분친 간의 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났다($p<0.05$). 조지방 함량은 3.90~4.21 g/100 g으로 조사되어 품종별로 유의적인 차이를 보였으며($p<0.05$), '강다옥'은 종자친과 화분친과의 유의적인 차이를 보이지 않았고 '황다옥'과 '광평옥'은 종자친과 화분친 간의 유의적인 차이를 보였다($p<0.05$). 조회분 함량은 1.38~1.85 g/100 g으로 품종별로 유의적인 차이를 보였으며, 화분친으로 수확된 옥수수가 종자친으로 수확된 옥수수에 비해 유의적으로 높게 나타났다($p<0.05$). 조단백질 함량은 10.86~12.85 g/100 g으로 '강다옥'과 '황다옥'은 화분친보다 종자친으로 수확된 옥수수가 높았고 '광평옥'은 화분친으로 수확된 옥수수가 유의적으로 높았다($p<0.05$). 탄수화물 함량은 71.33~73.27 g/100 g으로 품종별

Table 1. The proximate compositions of the Korean maize hybrids according to the cultivar

Cultivar	Parent	Kernel type	Moisture (g/100 g)	Crude fat (g/100 g)	Crude ash (g/100 g)	Crude protein (g/100 g)	Carbohydrate (g/100 g)	Amylose (g/100 g)
Gangdaok	Seed	Flint	10.30 \pm 0.02 ^{b1)}	4.21 \pm 0.08 ^a	1.41 \pm 0.03 ^d	11.71 \pm 0.06 ^c	72.38 \pm 0.09 ^c	20.31 \pm 0.26 ^b
	Pollen	Flint	10.47 \pm 0.03 ^a	4.17 \pm 0.07 ^a	1.50 \pm 0.02 ^c	10.86 \pm 0.05 ^c	72.99 \pm 0.04 ^b	20.36 \pm 0.11 ^b
Hwangdaok	Seed	Dent	9.84 \pm 0.05 ^d	4.21 \pm 0.05 ^a	1.64 \pm 0.02 ^b	12.35 \pm 0.03 ^b	71.97 \pm 0.04 ^d	20.43 \pm 0.06 ^b
	Pollen	Dent	9.58 \pm 0.02 ^c	4.06 \pm 0.07 ^b	1.83 \pm 0.03 ^a	11.26 \pm 0.10 ^d	73.27 \pm 0.08 ^a	24.76 \pm 0.16 ^a
Kwangpyeongok	Seed	Dent	10.42 \pm 0.06 ^a	4.01 \pm 0.11 ^b	1.38 \pm 0.03 ^d	11.30 \pm 0.04 ^d	72.88 \pm 0.18 ^b	19.50 \pm 0.22 ^c
	Pollen	Dent	10.07 \pm 0.01 ^c	3.90 \pm 0.02 ^c	1.85 \pm 0.05 ^a	12.85 \pm 0.02 ^a	71.33 \pm 0.07 ^c	20.24 \pm 0.35 ^b

¹⁾ All values are expressed as the mean \pm S.D. of triplicate determinations. Means with different superscripts within a column (^{a-c}) are significantly different at $p<0.05$ by a one-way analysis of variance (ANOVA) using Duncan's multiple range test.

로 유의적인 차이를 보였으며, ‘강다옥’과 ‘황다옥’은 종자친보다 화분친으로 수확된 옥수수가 높았고 ‘광평옥’은 종자친으로 수확된 옥수수가 유의적으로 높았다($p<0.05$). 아밀로스 함량은 19.50~24.76 g/100 g으로 품종별로 유의적인 차이를 보였으며($p<0.05$), ‘강다옥’은 종자친과 화분친 간의 유의적인 차이를 보이지 않았고 ‘황다옥’과 ‘광평옥’은 화분친으로 수확된 옥수수가 유의적으로 높았다($p<0.05$).

2. 옥수수 품종별 품질 특성

품종 및 종자친과 화분친으로 수확된 옥수수의 색도를 분석한 결과 Table 2와 같이 품종 및 종자친과 화분친 간의 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났다($p<0.05$). 옥수수의 명도는 39.81~47.21로 조사되어 품종별로 유의적인 차이를 보였으며, 종자친보다 화분친으로 수확된 옥수수가 유의적으로 높은 경향을 보였다($p<0.05$). 옥수수의 적색도와 황색도는 각각 -0.01~0.55 및 5.85~18.47로 품종별로 유의적인 차이를 보였으며, 화분친보다 종자친으로 수확된 옥수수가 유의적으로 높은 경향을 보였다($p<0.05$).

품종 및 종자친과 화분친으로 수확된 옥수수의 수분특성을 분석하기 위해 수분결합력, 용해도 및 팽윤력을 분석하였다. 수분결합력 분석 결과 Table 2와 같이 품종 및 종자친과 화분친 간의 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났다($p<0.05$). 옥수수의 수분결합력은 123.29~153.32%로 품종별로 유의적인 차이를 보였으며, ‘강다옥’과 ‘광평옥’은 종자친보다 화분친으로 수확된 옥수수가 높았고 ‘황다옥’은 종자친으로 수확된 옥수수가 유의적으로 높았다($p<0.05$). 수분결합력은 분석 시료와 수분과의 친화성을 의미하는 것으로 전분 입자 내의 비결정형 부분이 많을수록 높아지는데(Wi 등 2013; Lee 등 2017), 옥수수의 수정과정에서 모·부분의 특성에 따라 비결

정형 구성이 달라져 수분결합력의 차이가 발생한 것으로 생각된다. 옥수수의 용해도는 4.69~5.76%로 품종별로 유의적인 차이를 보였으며, 종자친보다 화분친으로 수확된 옥수수가 유의적으로 높은 경향을 보였다($p<0.05$). 용해도가 높은 것은 가열에 의해 시료가 팽윤 및 호화되어 과피에 있는 지질 또는 섬유질 성분이 영향을 받아 파괴되면서 용해성 탄수화물을 용출되어 높아지는 것으로 알려져 있다(Lee 등 2017). 팽윤력은 20.11~21.47%로 품종별로 유의적인 차이를 보였으며, ‘황다옥’은 화분친으로 수확된 옥수수, ‘광평옥’은 종자친으로 수확된 옥수수가 유의적으로 높았고 ‘강다옥’은 유의적인 차이가 없었다. 용해도와 팽윤력은 전분 입자의 결정형 영역과 전분 사슬의 무정형 영역과의 상호작용을 평가하는 지표로 알려져 있다(Kim 등 2012). 팽윤력이 낮으면 수분과 전분 입자내의 결합력이 강하다는 것을 뜻하며(Kim 등 2018b), 이는 전분 용해도, 투명도, 점도와 밀접한 관계를 가지고 전분의 팽윤 성질은 입자 내의 미셀구조의 강도와 성질에 크게 영향을 받는다(Lee & Kim 1992). 따라서 옥수수의 품종 및 종자친과 화분친에 따라 수분결합력, 용해도 및 팽윤력 등 수분특성이 다른 이유는 수정과정에서 모·부분의 특성에 따라 전분의 구조나 구성이 다르고 이화학 성분 차이에 기인한 것으로 생각되며, 추후 이에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

3. 옥수수 품종별 에탄올 추출물의 항산화 성분 함량

품종 및 종자친과 화분친으로 수확된 옥수수의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량을 분석한 결과 Fig. 1과 같이 품종에 따라 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났다($p<0.05$). 종자친과 화분친으로 교배하여 수확된 옥수수의 총 폴리페놀 함량은 ‘강다옥’의 경우 각각 1,335.41 및 1,511.55 $\mu\text{g GAE/g}$ 으로

Table 2. The color, water binding capacity, solubility, and swelling power of the Korean maize hybrids according to the cultivar

Cultivar	Parent	L-value	a-value	b-value	Water binding capacity (%)	Water solubility index (%)	Swelling power (%)
Gangdaok	Seed	39.81±0.30 ^{e1)}	0.05±0.05 ^{bc}	18.47±0.04 ^a	123.29±1.30 ^d	4.69±0.25 ^c	20.48±0.05 ^c
	Pollen	44.78±0.40 ^c	-0.01±0.05 ^c	5.85±0.02 ^d	129.84±2.66 ^c	5.21±0.14 ^b	20.90±0.12 ^c
Hwangdaok	Seed	43.09±0.79 ^d	0.48±0.0 ^a	14.66±0.74 ^b	153.32±3.75 ^a	5.36±0.47 ^{ab}	20.69±0.25 ^{bc}
	Pollen	46.25±0.48 ^b	0.13±0.09 ^b	13.86±0.18 ^c	133.53±3.60 ^c	5.76±0.31 ^a	21.47±0.35 ^a
Kwangpyeongok	Seed	44.68±0.58 ^c	0.55±0.06 ^a	17.89±0.59 ^a	131.84±4.26 ^c	4.73±0.29 ^c	20.97±0.20 ^c
	Pollen	47.21±0.29 ^a	0.14±0.02 ^b	15.10±0.43 ^b	143.83±3.85 ^b	5.69±0.18 ^a	20.11±0.21 ^d

¹⁾ All values are expressed as the mean±S.D. of triplicate determinations. Means with different superscripts within a column (^{a-c}) are significantly different at $p<0.05$ by a one-way analysis of variance (ANOVA) using Duncan's multiple range test.

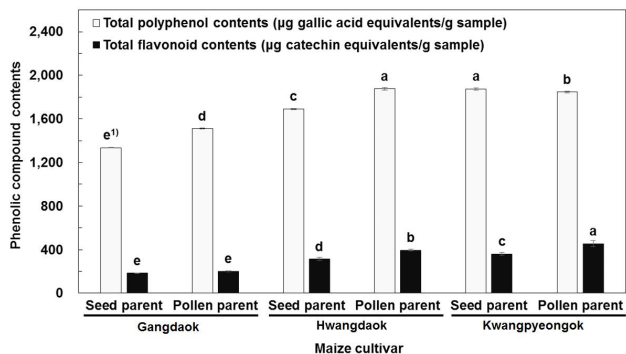


Fig. 1. Total polyphenol and flavonoid contents of ethanolic extracts on the Korean maize hybrids according to the cultivar. ¹⁾ Means in the same group with the different letters (a-c) are significantly ($p < 0.05$) different by one-way analysis of variance (ANOVA) using Duncan's multiple range test.

로 나타났고 ‘황다옥’은 각각 1,690.67 및 1,876.29 µg GAE/g, ‘광평옥’은 각각 1,873.47 및 1,846.94 µg GAE/g으로 나타나 ‘강다옥’과 ‘황다옥’은 종자친에 비해 화분친으로 교배된 옥수수가 높았고 ‘광평옥’은 종자친으로 교배된 옥수수가 유의적으로 높게 나타났다($p < 0.05$). 종자친과 화분친으로 교배하여 수확된 옥수수의 총 플라보노이드 함량은 ‘강다옥’의 경우 각각 184.24 및 200.15 µg CE/g으로 나타났고 ‘황다옥’은 각각 313.39 및 395.85 µg CE/g, ‘광평옥’은 각각 360.50 및 453.95 µg CE/g으로 ‘황다옥’과 ‘광평옥’은 종자친에 비해 화분친으로 교배된 옥수수가 높았으며($p < 0.05$), ‘강다옥’은 유의적인 차이를 보이지 않았다. 페놀류 화합물은 식물에 많이 분포되어 있는 물질로 많은 종류의 구조와 분자량을 가지며, phenolic hydroxyl기가 단백질 등과 같은 큰 분자와의 결합을 통해 항산화, 항암 및 항균 등의 생리활성을 가지는 것으로 알려져 있으며(Rice-Evans 등 1997), 곡류에 함유된 폴리페놀류 화합물들은 높은 항산화력을 가지는 것으로 알려져 있다(Middleton & Kandaswami 1994). 따라서 본 결과는 옥수수 육종에서 모·부본의 특성을 달리하여 페놀 화합물이 높은 품종 육성의 기초자료로 활용이 가능할 것으로 생각된다.

4. 옥수수 품종별 에탄올 추출물의 항산화 활성

품종 및 종자친과 화분친으로 수확된 옥수수의 radical 소거활성을 분석한 결과 Fig. 2와 같이 품종에 따라 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 종자친과 화분친으로 교배하여 수확된 옥수수 추출물의 DPPH radical 소거활성은 ‘강다옥’의 경우 각각 171.75 및 176.39 mg TE/100 g으로 나타났고 ‘황다옥’은 각각 206.50 및 206.28 mg TE/100 g, ‘광평옥’은 각각 239.16 및 222.98 mg TE/100 g으로 ‘광평옥’은

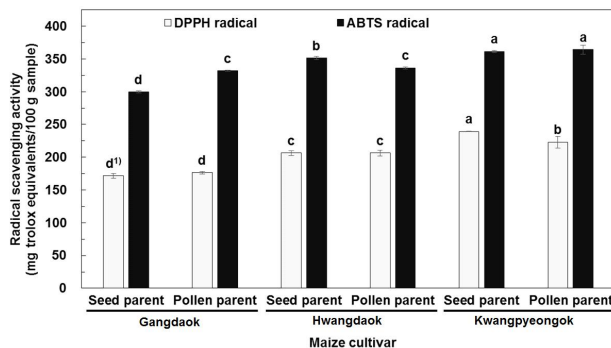


Fig. 2. DPPH and ABTS radical scavenging activities of ethanolic extracts on the Korean maize hybrids according to the cultivar. ¹⁾ Means in the same group with the different letters (a-d) are significantly ($p < 0.05$) different by one-way analysis of variance (ANOVA) using Duncan's multiple range test.

화분친에 비해 종자친으로 교배된 옥수수가 유의적으로 높았으며($p < 0.05$), ‘강다옥’과 ‘황다옥’은 유의적인 차이를 보이지 않았다. 종자친과 화분친으로 교배하여 수확된 ABTS radical 소거활성은 ‘강다옥’의 경우 각각 299.44 및 331.99 mg TE/100 g으로 나타났고 ‘황다옥’은 각각 351.30 및 336.13 mg TE/100 g, ‘광평옥’은 각각 361.47 및 364.09 mg TE/100 g으로 강다옥은 종자친에 비해 화분친으로 교배된 옥수수가 유의적으로 높았고 ‘황다옥’은 종자친으로 교배된 옥수수가 유의적으로 높았으며($p < 0.05$), ‘광평옥’은 유의적인 차이를 보이지 않았다. 따라서 본 결과는 옥수수 육종에서 모·부본의 특성을 달리하여 radical 소거활성이 높은 품종 육성의 기초 자료로 활용이 가능할 것으로 생각된다.

5. 옥수수 품종별 일반성분, 항산화 성분 및 활성 간의 상관관계

품종 및 종자친과 화분친으로 수확된 옥수수의 일반성분, 품질, 항산화 성분 및 항산화 활성 간의 상관관계를 분석한 결과 Table 3과 같이 나타났다. 조회분 함량은 수분 ($-0.7697, p < 0.001$)과 조지방 함량 ($-0.3956, p < 0.05$)과 부의 상관을 보였고 조단백질 함량과는 정의 상관($0.4867, p < 0.05$)을 나타내었으며, 탄수화물 함량은 조단백질 함량과 높은 부의 상관 ($-0.9480, p < 0.001$)을 보였다. 수분결합력은 수분 ($-0.4801, p < 0.05$)과 탄수화물 함량 ($-0.5563, p < 0.01$)과 부의 상관을 나타내었으며, 조회분($0.5013, p < 0.05$)과 조단백질 함량 ($-0.6614, p < 0.001$)과는 정의 상관을 나타내었다. 용해도는 수분 함량과 부의 상관 ($-0.6139, p < 0.01$)을 나타내었으며, 조회분($0.8328, p < 0.001$), 아밀로스 함량($0.5346, p < 0.01$), 수분결합력($0.4411, p < 0.05$)과 정의 상관을 보였다. 팽윤력은 조단백질 함량과 부

Table 3. Correlation coefficients among proximate compositions, water binding capacity (WB), water solubility index (WS), swelling power (SP), total polyphenol (TP), flavonoid contents (TF), and radical scavenging activity of the Korean maize hybrids according to the cultivar

Factor	Fat	Ash	Protein	Carbohydrate	Amylose	WB	WS	SP	L-value	a-value	TP	TF	DPPH	ABTS
Moisture	0.0560 ^{NS}	-0.7697 ^{***}	-0.3173 ^{NS}	0.0485 ^{NS}	-0.7806 ^{***}	-0.4801 [*]	-0.6139 ^{**}	-0.3062 ^{NS}	-0.2803 ^{NS}	-0.0775 ^{NS}	-0.4496 ^{NS}	-0.5208 ^{**}	-0.1644 ^{NS}	-0.1339 ^{NS}
Fat	1.0000	-0.3956 [*]	-0.3073 ^{NS}	0.2058 ^{NS}	-0.0405 ^{NS}	-0.1436 ^{NS}	-0.3546 ^{NS}	0.1698 ^{NS}	-0.6664 ^{***}	-0.0548 ^{NS}	-0.6719 ^{***}	-0.7418 ^{***}	-0.6549 ^{***}	-0.5759 ^{**}
Ash	-	1.0000	0.4867 [*]	-0.3310 ^{NS}	0.6033 ^{**}	0.5013 [*]	0.8328 ^{***}	-0.0136 ^{NS}	0.6649 ^{***}	-0.1888 ^{NS}	0.5373 ^{**}	0.7001 ^{***}	0.2192 ^{NS}	0.3584 ^{NS}
Protein	-	-	1.0000	-0.9480 ^{***}	-0.2448 ^{NS}	0.6614 ^{***}	0.3041 ^{NS}	-0.6905 ^{***}	0.1134 ^{NS}	0.1985 ^{NS}	0.2079 ^{NS}	0.4948 [*]	0.3182 ^{NS}	0.3811 [*]
Carbohydrate	-	-	-	1.0000	0.4643 [*]	-0.5563 ^{**}	-0.1801 ^{NS}	0.8249 ^{***}	-0.0375 ^{NS}	-0.1034 ^{NS}	-0.0175 ^{NS}	-0.3095 ^{NS}	-0.1823 ^{NS}	-0.3136 ^{NS}
Amylose	-	-	-	-	1.0000	-0.0496 ^{NS}	0.5346 ^{**}	0.6296 ^{***}	0.3105 ^{NS}	-0.2748 ^{NS}	0.3107 ^{NS}	0.2847 ^{NS}	-0.0826 ^{NS}	-0.1674 ^{NS}
WB	-	-	-	-	-	1.0000	0.4411 [*]	-0.1646 ^{NS}	0.3311 ^{NS}	0.4700 [*]	0.4441 [*]	0.4760 [*]	0.3964 ^{NS}	0.6488 ^{***}
WS	-	-	-	-	-	-	1.0000	0.0538 ^{NS}	0.6184 ^{**}	-0.2101 ^{NS}	0.4564 [*]	0.5438 ^{**}	0.1579 ^{NS}	0.3293 ^{NS}
SP	-	-	-	-	-	-	-	1.0000	0.1289 ^{NS}	0.1404 ^{NS}	0.2458 ^{NS}	-0.0061 ^{NS}	0.0166 ^{NS}	-0.0809 ^{NS}
L-value	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0000	0.0071 ^{NS}	0.8029 ^{***}	0.7674 ^{***}	0.5744 ^{**}	0.7295 ^{***}
a-value	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0000	0.4889 [*]	0.3492 ^{NS}	0.6905 ^{***}	0.5855 ^{**}
TP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0000	0.9227 ^{***}	0.8847 ^{***}	0.8389 ^{***}
TF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0000	0.8307 ^{***}	0.7669 ^{***}
DPPH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0000	0.8622 ^{***}

^{NS}Not significant.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

의 상관 (-0.6905 , $p < 0.001$), 탄수화물(0.8249 , $p < 0.001$) 및 아밀로스 함량(0.6296 , $p < 0.001$)과 정의 상관을 보였다. 명도는 조지방 함량 (-0.6664 , $p < 0.001$)과 부의 상관을 보였고 조회분 함량(0.6649 , $p < 0.001$) 및 용해도(0.6184 , $p < 0.01$)와 정의 상관을 보였다. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 조지방 ($p < 0.001$)과 부의 상관을 나타내었으며, 조회분 함량, 수분결합력, 용해도 및 명도와 정의 상관을 나타내었다. DPPH 및 ABTS radical 소거활성은 조지방 함량과 부의 상관을 나타내었고 명도 및 적색도와 정의 상관을 나타내었으며, 특히 페놀 화합물과는 높은 정의 상관($p < 0.001$)을 보이는 것으로 나타났다. Radical 소거활성은 천연물에 포함되어 있는 페놀 성분에 기인하여 활성을 나타내는 것으로 볼 때(Choi 등 2007), 옥수수에 함유된 페놀 성분 등 항산화 성분에 의해 radical 소거활성에 많이 기여하는 것으로 생각된다.

요약 및 결론

옥수수의 자식계통인 종자친과 화분친을 달리하여 육성된 품종에 대한 품질특성 및 항산화 활성을 분석하였다. 옥수수의 수분, 조지방, 조회분, 조단백질, 탄수화물 등 일반성분과 아밀로스 함량은 품종 및 종자친과 화분친과의 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났다. 옥수수의 명도, 적색도

및 황색도는 각각 39.81~47.21, $-0.01 \sim 0.55$ 및 5.85~18.47로 조사되어 품종 및 종자친과 화분친 간의 유의적인 차이를 보였다. 옥수수의 수분결합력, 용해도 및 팽윤력은 각각 123.29~153.32, 4.69~5.76 및 20.11~21.47%로 품종별로 유의적인 차이를 보였다. 품종 및 종자친과 화분친으로 수확된 옥수수의 페놀 화합물 함량과 radical 소거활성은 품종에 따라 유의적인 차이를 보였다. 옥수수의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 각각 1,335.41~1,876.29 $\mu\text{g GAE/g}$ 및 184.24~453.95 $\mu\text{g CE/g}$ 으로 나타났고 DPPH 및 ABTS radical 소거활성은 각각 171.75~239.16 및 299.44~364.09 mg TE/100 g 으로 조사되었다. 이상의 결과 옥수수 육종에서 모·부분의 특성을 달리하여 페놀 화합물 및 항산화활성이 높은 품종 육성의 기초자료로 활용이 가능할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 AGENDA 연구사업(과제번호: PJ01117201)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

Choi Y, Jeong HS, Lee J. 2007. Antioxidant activity of

- methanolic extracts from some grains consumed in Korea. *Food Chem* 103:130-138
- Corona L, Owens FN, Zinn RA. 2006. Impact of corn vitreousness and processing on site and extent of digestion by feedlot cattle. *J Anim Sci* 84:3020-3031
- Ignjatovic-Micic D, Vancetovic J, Trbovic D, Dumanovic Z, Kostadinovic M, Bozinovic S. 2015. Grain nutrient composition of maize (*Zea mays* L.) drought-tolerant populations. *J Agric Food Chem* 63:1251-1260
- 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
- Juliano BO. 1985. Polysaccharide, proteins, and lipids of rice. In Juliano BO. (Ed.), *Rice: Chemistry and Technology*. pp.59-120. The American Association of Cereal Chemists
- Jung GH, Lee JE, Seo JH, Kim SL, Kim DW, Kim JT, Hwang TY, Kwon YU. 2012. Effects of seeding dates on harvesting time of double cropped waxy corn. *Korean J Crop Sci* 57:195-201
- Kim HJ, Jung GH, Lee JH, Lee BW, Lee YY, Kim SK, Lee BK, Woo KS. 2018b. Quality and physicochemical characteristics of small black soybean cultivar cultivated in the north-central region. *Korean J Food Nutr* 31:792-801
- Kim HJ, Lee JH, Lee BW, Lee YY, Jeon YH, Lee BK, Woo KS. 2018a. Quality and physicochemical characteristics of the Korean cowpea cultivars grown in different seeding periods. *Korean J Food Nutr* 31:502-510
- Kim JM, Yu M, Shin M. 2012. Effect of mixing ratio of white and germinated brown rice on the physicochemical properties of extruded rice flours. *Korean J Food Cookery Sci* 28:813-820
- Kim MJ, Jung GH, Kim SK, Lee JE, Jeon WT, Shim KB, Kim MT, Woo KS, Kwon YU, Heu S. 2017. Effects of growing degree days on growth and yield of maize depending on the sowing date. *Korean J Crop Sci* 62:214-223
- Kim MJ, Park HJ, Kim SL, Jung GH, Kim JT, Shin SH, Kwon YU, Chung IM. 2014. Changes in the physicochemical characteristics of sweet corn kernels during grain filling stage with different sowing date. *Korean J Crop Sci* 59:445-456
- Kim SL, Moon HG, Ryu YH. 2002. Current status and prospect of quality evaluation in maize. *Korean J Crop Sci* 47:107-123
- Lee AR, Kim SK. 1992. Gelatinization and gelling properties of legume starches. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 21:738-747
- Lee JH, Kim HJ, Kim MJ, Jung GH, Lee BW, Lee BK, Woo KS. 2017. Quality and antioxidant characteristics of roasted maize tea with different moisture contents. *Korean J Food Nutr* 30:1149-1156
- Lee JS, Jung TW, Son BY, Shin SH, Kim JT, Bae HH, Baek SB, Ku JH, Hwang JJ, Kim SL, Kim SK, Kwon YU. 2014. A yellow sweet corn hybrid with high sugar content and lodging tolerance, 'Godangok'. *Korean J Breed Sci* 46:476-480
- 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
- Manach C, Scalbert A, Morand C, Rémésy C, Jiménez L. 2004. Polyphenols: Food sources and bioavailability. *Am J Clin Nutr* 79:727-747
- Middleton E, Kandaswami C. 1994. Potential health-promoting properties of citrus flavonoids. *Food Technol* 48:115-119
- Moon HG, Son BY, Cha SW, Jung TW, Lee YH, Seo JH, Min HK, Choi KJ, Huh CS, Kim SD. 2001. A new single cross maize hybrid for silage "Kwangpyeongok". *Korean J Breed Sci* 33:350-351
- Rice-Evans C, Miller N, Paganga G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends Plant Sci* 2:152-159
- Rouau X, Cheynier V, Surget A, Gloux D, Barron C, Meudec E, Louis-Montero J, Criton M. 2003. A dehydrotrimer of ferulic acid from maize bran. *Phytochemistry* 63:899-903
- Saulnier L, Thibault JF. 1999. Ferulic acid and diferulic acids as components of sugar-beet pectins and maize bran heteroxylans. *J Sci Food Agric* 79:396-402
- Son BY, Moon HG, Jung TW, Kim SJ, Sung BR, Huh CS, Ryu SH. 2006. A new corn hybrid cultivar, 'Gangdaok' for silage. *Korean J Breed Sci* 38:147-148
- Son BY, Kim JT, Lee JS, Baek SB, Kim SL, Ku JH, Hwang JJ, Cha SM, Kwon YU. 2012. Chemical composition of seed from inbred lines and hybrids of maize recently developed in Korea. *Korean J Crop Sci* 57:188-194
- Srinivasan M, Sudheer AR, Menon VP. 2007. Ferulic acid: Therapeutic potential through its antioxidant property. *J Clin Biochem Nutr* 40:92-100

- Wi E, Park J, Shin M. 2013. Comparison of physicochemical properties and cooking quality of Korean organic rice varieties. *Korean J Food Cookery Sci* 29:785-794
- 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
- Youn KS, Chung HS. 2012. Optimization of the roasting temperature and time for preparation of coffee-like maize beverage using the response surface methodology. *LWT - Food Sci Technol* 46:305-310
- Zarkadas CG, Hamilton RI, Yu ZR, Choi VK, Khanizadeh S, Rose NG, Pattison PL. 2000. Assessment of the protein quality of 15 new northern adapted cultivars of quality protein maize using amino acid analysis. *J Agric Food Chem* 48:5351-5361
-
- Received 10 June, 2021
Revised 26 July, 2021
Accepted 05 August, 2021