

국산 옥수수 배유특성에 따른 일반성분, 색도 및 경도 비교

†박혜영 · 김미정* · 배환희 · 신동선** · 심은영 · 최혜선 · 박지영 · 최유찬 · 김홍식*

농촌진흥청 국립식량과학원 증부작물부 농업연구사,
*농촌진흥청 국립식량과학원 증부작물부 농업연구관, **농촌진흥청 국립식량과학원 증부작물부 전문연구원

Comparison of General Ingredients, Chromaticity and Hardness according to Kernel Type of Korean Maize

†Hye-Young Park, Mi Jung Kim*, Hwan-Hee Bae, Dong Sun Shin**, Eun-Yeong Sim,
Hye Sun Choi, Jiyoung Park, Yu-Chan Choi and Hong-Sig Kim*

Junior Researcher, Dept. of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 16613, Korea

*Senior Researcher, Dept. of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 16613, Korea

**Postdoctoral Researcher, Dept. of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 16613, Korea

Abstract

This study was conducted to secure basic information for corn processing by comparing the quality characteristics according to maize cultivars and kernel types (dent, intermediate, flint-like). As a result of analyzing 15 cultivars, a range of measurements were observed: 100-kernel weight, 22.89~35.63 g; moisture, 7.57~8.42%; crude protein, 8.46~11.45%; crude lipids, 3.26~4.83%; Hunter's L-value, 83.70~86.79; a-value, 2.61~5.49; b-value, 22.01~28.15; and total carotenoids, 6.74~17.07 µg/g. Significance among the cultivars was shown in all quality characteristics ($p < 0.001$), but the significance among the kernel types was found only in crude protein ($p < 0.005$), crude fat ($p < 0.001$), and Hunter's L-value ($p < 0.05$). The hardness of maize was decreased proportionally to the soaking time for all maize cultivars ($p < 0.001$). In particular, with the same soaking time for different kernel types, the hardness difference was shown in the order of flint-like > dent = intermediate. It was confirmed that the decrease in the hardness of flint-like kernel of close to that of hard-type starch was slowed compare dent and intermediate kernels. So it is expected the some characteristic of kernel types will contribute to the appropriate customized use of the developed cultivars.

Key words: maize, kernel type, cultivar, quality characteristics, endosperm

서 론

옥수수(*Zea mays* L.)는 벼, 밀과 함께 세계 3대 식량작물로 알려져 있으며, 재배면적이 197백만 ha로 밀에 이어 두 번째이지만, 생산량은 1,135백만 톤으로 식량작물 중 가장 많은 양을 차지하고 있다(MAFRA 2019). 종류나 품종에 따라 옥수수의 이용은 사료용, 종실용, 간식용으로 구분되며, 우리나라에서는 대부분 간식용인 찰옥수수가 재배되고 있고, 그 외 식품공업용, 제지용, 접착용 등 전분형태로 이용되는 종실용

옥수수는 수입에 의존하고 있다(Kim 등 2002). 우리나라 옥수수의 곡물자급률은 0.8%로 주요 식량작물 중 가장 낮은 수준이며, 사료를 포함하는 식량자급률도 3.3%를 나타내 밀 다음으로 낮은 상태이다. 따라서 부족한 물량은 수입에 의존할 수밖에 없는데, 2018년 기준으로 수입물량은 10,166천 톤이며 이에 해당하는 수입액은 무려 2,126백만 \$에 달한다(MAFRA 2019). 따라서 수입되는 옥수수를 대체할 수 있는 품종개발과 기 개발된 품종의 이용방안을 수립하는 것이 중요한 과제라고 할 수 있다.

† Corresponding author: Hye-Young Park, Junior Researcher, Dept. of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 16613, Korea. Tel: +82-31-695-0626, Fax: +82-31-695-0609, E-mail: phy0316@korea.kr

현재 국립종자원에 국가품종으로 등록된 옥수수 품종은 61개 품종에 달한다(KSVS 2020a). 이러한 우리나라 옥수수 품종개발은 1960년대 시작되어 초기에 합성품종을 개발, 보급하였으며 1970년에 교잡종을 중심으로 큰 발전을 이루기 시작하였다(Baek 등 2020). 최근에는 간식용 ‘고당옥’(Lee 등 2014), ‘황미찰’(Lee 등 2018), 종실용 ‘다안옥’(Son 등 2016), ‘신황옥’(Son 등 2017), ‘황다옥’(Son 등 2019), 사료용 ‘다청옥’(Son 등 2018) 등 다양한 용도의 우수한 품종이 지속적으로 개발되어 현재 보급되고 있다. 여기에 덧붙여 우리에게 남은 중요한 과제는 수입되는 옥수수를 우리의 것으로 대체하는 것이다.

옥수수 종실의 성분은 그 부위에 따라 차이가 있으나 전분이 주성분으로 약 72%를 차지하고 그 밖에 단백질 약 10%, 지방 약 5%, 회분 1% 등이다. 또한 구성으로 보면 배유(endosperm), 배(embryo) 및 껍질 부분으로 나뉘지만 종실 전체 무게에서 배유가 약 83%로 대부분을 차지하고 있어(Park 등 2011) 특히 종실용 옥수수의 배유특성은 매우 중요하다고 할 수 있다. 이러한 배유를 구성하는 전분이 연질인지 경질인지에 따라 옥수수 종류의 일종인 마치종(dent com) 혹은 경립종(flint com)으로 분류되며, 육종분야에서는 5가지(dent, dent-like, intermediate, flint-like, flint)로 세분화하여 주요특성 정보로 이용하고 있다. 그러나 현재 육종된 품종의 배유특성 정보를 기반으로 하는 종실용 옥수수의 가공적성연구는 매우 미진한 상태이어서, 옥수수 배유특성과 관련한 주요 품질특성의 선별을 통해 육종에서 수확후이용의 연계된 정보로 배유특성 이용을 위한 기초연구가 필요하다.

본 연구는 이러한 기초연구의 시작으로 종실용 옥수수 15 품종을 대상으로 종실 미세구조 관찰을 통한 품종 및 배유특성간 차이를 비교하였다. 더불어 많은 식량작물의 이용연구(Woo 등 2010; Yoo KM 2011; Kim 등 2015; Kim 등 2018)에서 수행한 바와 같이, 가공 후 품질특성 혹은 기능성에 영향을 미칠 수 있는 주요 일반성분, 색도와 총 카로티노이드를 분석하였고, 견고한 종실의 이용성 검토를 위한 경도도 함께 분석하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

시험재료는 농촌진흥청 국립식량과학원에서 육성된 옥수수 15품종으로 광평옥(*Zea mays* L. cv. Kwangpyeongok), 다청옥(cv. Dacheongok), 다평옥(cv. Dapyeongok), 신황옥(cv. Sinhwangok), 안다옥(cv. Andaok), 청다옥(cv. Cheongdaok), 평강옥(cv. Pyeonggangok), 황다옥(cv. Hwangdaok), 신평옥(cv. Singwangok), 신황옥2호(cv. Sinhwangok2ho), 양안옥(cv. Yanganok),

강다옥(cv. Gangdaok), 다안옥(cv. Daanok), 청안옥(cv. Cheonganok), 평안옥(cv. Pyeonganok)을 사용하였다(KSVS 2020b). 모든 시료는 2019년 수원시 권선구 소재 국립식량과학원 발작물 시험연구포장에서 옥수수 표준재배법(RDA 2011)에 의하여 재배된 것으로, 수확 후 분리된 종실을 건조된 상태로 4°C에 보관하며 실험에 사용하였다.

2. 옥수수 알곡 단면의 미세구조 관찰

옥수수의 미세구조 관찰은 SEM(scanning electron microscope; S-3000N, Hitachi, Tokyo, Japan)을 이용하였다. 시료인 옥수수 알곡을 길이 방향으로 절단한 후 절단면이 위로 가도록 탄소 테이프고 고정하였고, 표면을 금 코팅 처리 후 가속전압 15 kV에서 1,000배 확대하여 배(embryo)와 배유(endosperm)부분을 나누어 관찰하였다.

3. 옥수수의 100립중 및 일반성분 함량 분석

옥수수 종실의 일반성분은 국립식량과학원 품질분석 매뉴얼(NICS 2009)을 참고하여 분석하였다. 100립중은 옥수수 종실 100개의 무게를 측정하였고, 그 외 일반성분은 옥수수 종실을 분쇄기로 갈아서 가루상태로 분석하였다. 수분 함량은 건조기(DS-80-1, Dasol scientific Co., Ltd, Hwaseong, Korea)를 이용하여 상압가열건조법으로 측정하였고, 조단백질 함량은 micro-Kjeldahl법으로 자동 단백질 분석기(Kjeltec 2400 AUT, Foss Tecator, Mulgrave, Australia)를 이용하여 질소함량을 측정한 후, 질소계수 6.25를 곱하여 조단백질 함량을 구하였다. 조지방 함량은 시료에 에틸에테르를 용매로 가하여 Soxhlet 추출기(Soxtex System HT 1043 extraction unit, Foss Tecator, Hoganas, Sweden)를 이용해 분석하였다.

4. 옥수수의 색도 및 총 카로티노이드 분석

옥수수 색도는 분말상태의 시료를 투명 플라스틱 용기(Cell culture dish, 60×15 mm, SPL Life Science, Pocheon, Korea)에 넣어 색차계(CM-3500d, Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 측정값은 Hunter's value인 명도(L-value, lightness), 적색도(a-value, redness) 및 황색도(b-value, yellowness)로 도출하였고, 이때 사용한 표준백판의 색도는 L-value=98.81, a-value=-0.10, b-value=-0.35였다. 총 카로티노이드 함량은 Al-Farsi 등(2005)의 방법을 응용하여 분석하였다. 분말 시료 2 g에 아세톤과 에탄올 1:1(v/v) 혼합의 용매를 20 mL 가하여 암조건에서 6시간 동안 색소를 추출하였다. 추출액은 10분간 4°C, 12,000 rpm에서 원심분리한 후 spectrophotometer(Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 사용하여 470 nm에서 측정하였다. 표준물질로 β -carotene(Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA)을 이용하여 검량선의 직선방정식을 구하였고, 이

로부터 시료 g당 μg 단위로 환산된 총 카로티노이드 함량을 계산하였다.

5. 옥수수 알곡의 수침조건에 따른 경도 분석

옥수수의 경도(Hardness)는 끓는 물에서의 수침시간에 따른 차이를 살펴보고자 모양이 균일한 알곡을 골라 항온수조에서 이미 100°C로 증탕가열 중인 시험관에 넣어 10분, 30분 처리하였다. 일정시간 수침처리 후 무처리 시료와 함께 물성 분석기(TestXpert II, Zwick Roell, Ulm, UK)를 사용하여 probe diameter 2 mm를 사용하여 10반복으로 경도를 측정하였다.

6. 통계 처리

모든 결과값에 대한 통계분석은 SPSS 프로그램(Statistical Package for Social Science, version 12, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 본 시험에서 얻어진 결과를 품종과 배유 특성으로 나누어 평균과 표준편차를 산출하였고, 각 그룹 간 유의성 검정은 일원분산분석(one-way ANOVA)과 다중범위 검정법(Duncan's multiple range test)을 이용하였다. 결과 중 색도 Hunter 값인 L, a, b와 총 카로티노이드의 상관분석을 실시하였고, 도출된 Pearson 상관계수와 *p*-value를 함께 제시하였다.

결과 및 고찰

1. 옥수수 배유 특성별 분류

국립식량과학원에서 제공하는 옥수수 품종 정보를 통해, 시료 15품종의 배유 특성은 3가지로 분류되었다(Table 1). 마치종(dent)에는 광평옥, 다청옥, 다평옥, 신허옥, 안다옥, 청다옥, 평강옥, 황다옥이 포함되었고, 가장 최근 육종된 신허옥2호를 포함하여 신허옥, 양안옥이 중간종(intermediate)이었다. 그리고 반경립종(flint-like)으로 2006년 육종된 강다옥을 비

롯하여 다안옥, 청안옥, 평안옥이 분류되었다(Lee 등 2017; NICS 2020). 옥수수는 종자의 특성에 따라 여러 가지 용도로 쓰이며 마치종, 경립종, 단옥수수, 찰옥수수, 튀김옥수수 등으로 분류된다. 그 중 옥수수 종자의 주성분인 전분의 특성에 따라 다시 연질에서 경질로 나뉘는데, 배유 특성은 위에 제시된 3개 그룹 외 반마치종(dent-like), 경립종(flint)을 포함하여 5개 그룹으로 분류된다(Park 등 2011). 본 연구는 다양한 종실용 옥수수의 품종과 배유 특성에 따른 이화학적 품질 특성을 분석, 비교하여 향후 옥수수 가공적성 평가를 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 옥수수 알곡의 외관과 단면 미세구조

품종별 옥수수 알곡의 외관과 주사현미경으로 관측한 부위별 미세구조는 Fig. 1과 같다. 먼저 외관에서 보이는 바와 같이, 동일하게 건조한 상태이지만 알곡의 크기, 길이와 폭의 비율, 씨눈 아랫부분의 색, 전체적 외관색의 명도와 채도, 붉은 색의 분포와 위치, 씨눈부분의 크기와 모양 등에 각 품종별 차이를 확인할 수 있었다. 배유 특성 그룹간 외관 비교에서 마치종의 청다옥, 안다옥 등에서 다른 그룹보다 붉은 색이 더 많이 관찰되었으나, 그룹별 개체수의 차이가 있고 배유 특성 그룹간의 명확한 경향을 찾을 수 없어 배유특성보다는 고유한 품종의 특성으로 판단되었다. 옥수수 알곡 횡단면의 미세구조는 배(embryo)와 배유(endosperm)부분을 나누어 관찰하였는데, 15 품종 모두 배와 배유부분의 명확한 차이를 구별할 수 있었다(Fig. 1). 배 부분은 얇은 피막 형상이 오픈된 상태로 미세조직을 감싸듯 전체에 분포하였고, 다평옥, 신허옥, 강다옥 등 일부 품종에서는 피막 형상 내부조직 사이에 전분으로 보이는 입자가 조직 내에서 관찰되었다. 배유부분은 모든 품종이 전분입자로 보이는 둥글거나(양안옥, 청안옥 등), 약간 각진 모양(다청옥, 다평옥 등)으로 높은 밀도를 나타냈고, 품종에 따라 대체적으로 균일한 크기를 나타

Table 1. Kernel type and registration year information on 15 Korean maize cultivars

Cultivar ¹⁾	Kernel type ²⁾	Registration year ²⁾	Cultivar	Kernel type	Registration year
Kwangpyeongok	Dent	2001	Singwangok	Intermediate	2013
Dacheongok	Dent	2017	Sinhwangok2ho	Intermediate	2019
Dapyeongok	Dent	2011	Yanganok	Intermediate	2013
Sinhwangok	Dent	2016	Gangdaok	Flint-like	2006
Andaok	Dent	2012	Daanok	Flint-like	2014
Cheongdaok	Dent	2011	Cheonganok	Flint-like	2003
Pyeonggangok	Dent	2012	Pyeonganok	Flint-like	2009
Hwangdaok	Dent	2017			

¹⁾ According to the name of Korea Seed & Variety Service.

²⁾ Reference to varietal information of Rural Development Administration.

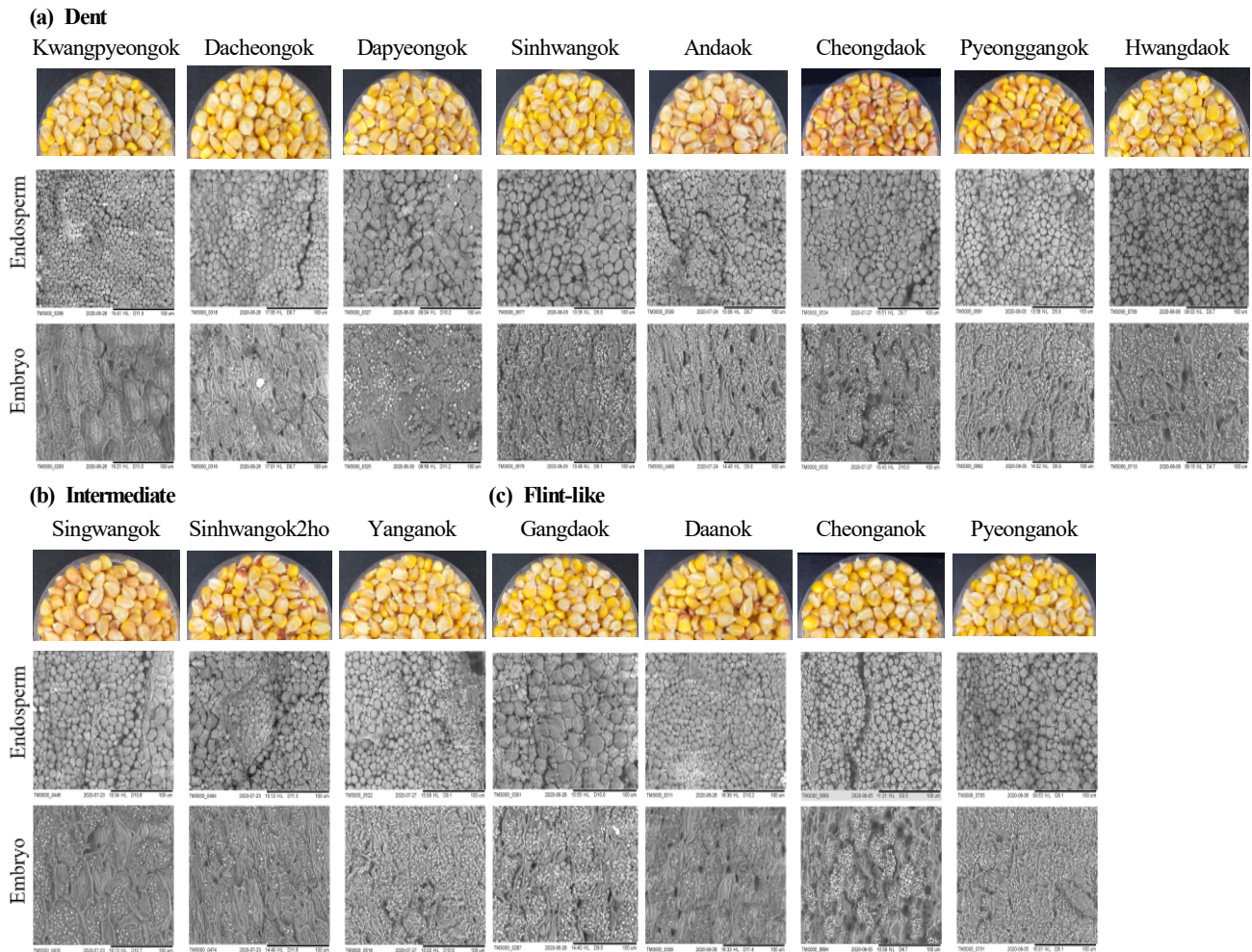


Fig. 1. Features of scanning electron micrographs of the corn starch in the cells around the embryo and endosperm in cultivars and kernel type for Korean maize ($\times 1,000$).

내거나(신황옥, 황다옥 등) 다양한 크기의 집합체를 이루었다(광평옥, 다안옥 등). 배유 전분입자의 크기는 입체구조를 고려하여 원근에 따른 크기까지 적용할 수는 없었으나, 측정된 사진으로 신황옥2호와 강다옥에서 직경이 $32.7 \mu\text{m}$ 에 이르는 것이 관찰되었고, 그 외 품종에서 아주 작은 것은 $1.8 \mu\text{m}$ 로 최대 18배의 차이를 나타냈다. 옥수수 단면 미세구조 관찰 결과, 배유 특성 그룹간 특정경향을 찾기 어려웠으며, 외관과 함께 대부분 품종의 고유한 특성으로 판단되었다. 관련 연구에서 Han & Ahn(2002)이 제시한 옥수수 전분입자의 크기와 모양은 $5\sim 30 \mu\text{m}$ 이며, 대부분 다각형이고 원형의 작은 입자가 섞여져 있다고 하여 본 결과와 유사하였다. 그리고 Kim 등(2014a)의 찰옥수수 등숙 중 종실의 미세구조 관찰 결과는 전분립의 축적이 과피와 가까운 배유의 상단부터 집적되며, 최종 관찰된 미세구조의 형태가 본 연구에서 제시한

배유 위치에서 관찰된 둥근형태의 전분입자와 동일하였다.

3. 옥수수의 100립중 및 일반성분

옥수수의 100립중 결과는 Table 2와 같다. 100립중은 종자나 종실 100개에 해당되는 무게를 나타내며 이를 통해 크기나 내용물의 충실도를 가늠할 수 있다. 100립중은 22.89(청다옥) \sim 35.63(다청옥) g의 범위를 나타내어 최대 1.6배의 차이를 나타냈으며, 15품종 평균은 28.94 ± 3.49 g이었고 품종간 유의성을 나타냈다($p < 0.001$). 그러나 배유 특성으로 분류된 그룹간 차이는 없었다. 100립중이 비교적 높은 31 g 이상 품종의 외관(Fig. 1)을 함께 살펴보았을 때 다청옥, 황다옥, 청안옥은 길이와 너비가 유사하면서 통통한 외관으로 다른 품종과 비교하여 큰 것으로 관찰되었고, 안다옥, 신광옥, 신황옥2호는 너비보다 길이가 긴 형태로 앞선 품종보다 부피가 작아 알곡

Table 2. Comparison of kernel weight and composition according to cultivars and kernel type for Korean maize

Cultivars ¹⁾	100 kernel weight (g)	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)
Kwangpyeongok	28.59±0.09 ^{e2)3)}	8.08±0.08 ^{cd}	11.13±0.01 ^b	4.83±0.25 ^a
Dacheongok	35.63±0.03 ^a	7.97±0.06 ^{cde}	9.76±0.18 ^{fg}	4.23±0.04 ^{bc}
Dapyeongok	25.25±0.33 ^g	7.64±0.01 ^f	9.95±0.04 ^{ef}	3.98±0.04 ^{de}
Sinhwangok	30.51±0.39 ^e	7.57±0.09 ^f	10.10±0.46 ^{de}	4.02±0.10 ^{de}
Andaok	31.60±0.20 ^b	8.35±0.01 ^a	9.17±0.03 ⁱ	3.73±0.03 ^{fg}
Cheongdaok	22.89±0.13 ⁱ	8.13±0.09 ^{bc}	9.34±0.03 ^{hi}	4.31±0.06 ^b
Pyeonggangok	24.26±0.21 ^h	8.03±0.17 ^{cde}	10.00±0.09 ^{def}	4.33±0.01 ^b
Hwangdaok	31.70±0.19 ^b	7.64±0.03 ^f	11.45±0.02 ^a	4.69±0.02 ^a
Singwangok	31.50±0.19 ^b	7.61±0.19 ^f	10.51±0.07 ^c	3.51±0.06 ^h
Sinhwangok2ho	31.58±0.34 ^b	8.26±0.08 ^{ab}	8.46±0.09 ^j	3.26±0.10 ⁱ
Yanganok	28.39±0.25 ^e	7.93±0.03 ^{de}	9.47±0.03 ^h	3.64±0.04 ^{gh}
Gangdaok	26.50±0.17 ^f	8.42±0.01 ^a	11.29±0.04 ^{ab}	3.89±0.07 ^{ef}
Daanok	29.00±0.39 ^d	8.05±0.06 ^{cde}	9.71±0.05 ^g	4.25±0.13 ^{bc}
Cheonganok	31.77±0.17 ^b	7.63±0.07 ^f	11.30±0.07 ^{ab}	4.14±0.10 ^{cd}
Pyeonganok	24.88±0.02 ^g	7.89±0.13 ^e	10.21±0.08 ^d	3.93±0.09 ^e
<i>F</i> -value	694.69 ^{***4)}	28.21 ^{***}	122.53 ^{***}	59.81 ^{***}
Keraanel type	100 kernel weight (g)	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)
Dent	28.80±4.19	7.93±0.28	10.11±0.78 ^a	4.27±0.36 ^a
Intermediate	30.49±1.59	7.93±0.30	9.48±0.89 ^b	3.47±0.18 ^b
Flint-like	28.04±2.73	8.00±0.31	10.63±0.72 ^a	4.05±0.18 ^a
<i>F</i> -value	1.32 ^{NS5)}	0.25 ^{NS}	5.50 ^{**}	24.56 ^{***}

¹⁾ According to the name of Korea Seed & Variety Service.

²⁾ All results are expressed as mean±standard deviation (n=3).

³⁾ Mean with different letters within the same column are significantly different from each other at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

⁴⁾ Significant at $**p<0.01$ and $***p<0.001$.

⁵⁾ NS: Not significant.

내용물의 충실도가 높을 것으로 사료된다. 관련한 연구에서 Kim 등(2014b)은 100립중이 수분(-0.96^{***}), 전분(0.88^{***}), 단백질(-0.79^{***}), 지방(0.92^{***}), 회분(-0.87^{***}), 경도(0.80^{***})와 높은 상관관계를 갖는다고 하였고, Lee 등(2010)은 적기에서 수확 시기가 경과할수록 생중량 100립중이 증가한다고 하였으며, Kim 등(2016)은 194개 유전자원 계통을 대상으로 옥수수 계통의 형태적 특성분류에 100립중을 포함한 8항목을 이용하였다. 이상의 여러 연구결과를 통해 100립중은 품종의 고유한 특성으로 외관과 종실의 충실도 외 여러 가지 특성을 가늠할 수 있는 기준이 되며 수확시기에 영향을 받는 특성으로 판단되었다.

수분함량은 7.57(신황옥)~8.42(강다옥)% 범위에서 15품종 평균은 7.95±0.28%였으며 품종간 유의성을 나타냈다($p<0.001$). 그러나 배유 특성으로 분류된 그룹간 차이와 Kim 등(2014b)의 연구에서 제시된 100립중과 수분간 유의적 상관관계는

나타나지 않았고(data not shown), 참고연구에서 제시한 9.4±0.8%와 비교하여 본 연구에서 분석한 수분함량은 다소 낮게 나타나 시료로 사용한 품종이나 일부 건조수준의 차이로 사료된다(Table 2).

조단백질 함량은 8.46(신황옥2호)~11.45(황다옥)%의 범위 내에서 품종간 최대 1.4배의 차이를 나타냈고, 15품종 평균은 10.12±0.87%였으며 품종간 유의성을 나타냈다($p<0.001$). 또한 배유 특성별 비교에서 마치종과 반경립종간 유의적 차이는 없었으나, 중간종은 9.48%로 두 개 그룹과 유의적 차이를 나타냈다($p<0.01$). 조지방 함량은 3.26(신황옥2호)~4.83(광평옥)%의 범위 내에서 최대 1.5배의 차이를 나타냈으며, 15품종의 평균은 4.05±0.42%였고 품종간 유의성을 보였다($p<0.001$). 또한 조단백질과 같은 경향으로 배유 특성별 비교에서도 마치종과 반경립종간 유의적 차이는 없었으나, 중간종은 3.47%로 두 개 그룹과 유의적 차이($p<0.001$)를 나타냈다

(Table 2). 이와 관련하여 본 연구와 73%의 시료 유사성을 가진 Lee 등(2017)의 연구에서 4월 파종한 옥수수의 조지방과 조단백질 함량은 3.91~6.07과 11.22~12.99 g/100 g의 범위를 나타냈고, 7월 파종에서는 3.96~5.40과 9.93~12.91 g/100 g의 범위를 나타내며 품종에 따른 파종시기의 차이를 보고하였다. 본 연구 결과는 7월 파종 결과와 비교하여 조지방과 조단백질 함량이 모두 다소 낮아진 경향을 보였는데, 이는 연차별 변이와 파종시기 차이에 의한 것으로 사료된다. 그리고 배유 특성 즉, 전분의 연질-경질 정도에 따른 차이가 여러 가지 일반성분의 차이에 반영된 결과를 볼 수 없었는데, 향후 전분관련 특성 분석을 통해 배유 특성과의 상관성에 대한 추가적 검토가 이루어져야 하겠다.

4. 옥수수의 색도 및 총 카로티노이드

옥수수 색도는 Hunter 값인 L, a, b값으로 제시하였고, Fig. 1에서 관찰된 바와 같이 노랑옥수수 외관에 따라 총 카로티노이드도 함께 분석하여 Table 3에 나타냈다. 명도를 나타내는 L값은 83.70(황다옥)~86.79(신황옥)의 범위에서 평균 85.38±0.93이었고 품종간 유의적 차이를 나타냈다($p<0.001$). 또한 배유 특성간 비교에서 마치종은 중간종 및 반경립종과 유의적 차이를 나타냈다($p<0.05$). 초록(-)에서 빨강(+)을 나타내는 a값은 2.61(신황옥)~5.49(황다옥)의 범위에서 평균 4.19±0.73을 나타냈고, 파랑(-)에서 노랑(+)을 나타내는 b값은 22.01(평안옥)~28.15(다청옥)의 범위에서 평균 26.64±2.37이었으며 a와 b값 모두 품종간 유의적 차이를 나타냈다($p<$

Table 3. Comparison of colorimetric characteristics and total carotenoid according to cultivars and kernel type for Korean maize

Cultivars ¹⁾	Hunter's color values ²⁾			Total carotenoid (µg/g)
	L-value	a-value	b-value	
Kwangpyeongok	83.83±0.06 ^{h3)4)}	4.61±0.03 ^d	25.30±0.06 ^c	11.56±0.16 ^d
Dacheongok	84.86±0.13 ^f	5.00±0.05 ^b	28.15±0.06 ^b	16.51±1.50 ^a
Dapyeongok	86.45±0.14 ^b	3.65±0.08 ⁱ	22.83±0.22 ^h	7.54±1.24 ^{ef}
Sinhwangok	86.79±0.14 ^a	2.61±0.03 ^m	23.29±0.18 ^g	8.47±0.82 ^c
Andaok	84.94±0.03 ^f	4.77±0.02 ^c	23.87±0.06 ^f	13.88±0.75 ^{bc}
Cheongdaok	84.62±0.23 ^g	4.18±0.08 ^g	22.55±0.05 ⁱ	13.55±0.44 ^c
Pyeonggangok	84.83±0.01 ^f	4.17±0.01 ^g	24.60±0.07 ^d	17.07±1.24 ^a
Hwangdaok	83.70±0.13 ^h	5.49±0.01 ^a	30.52±0.03 ^a	12.21±0.40 ^d
Singwangok	85.16±0.04 ^e	4.28±0.02 ^f	24.04±0.16 ^f	10.98±0.10 ^d
Sinhwangok2ho	85.73±0.05 ^c	3.50±0.03 ^k	22.58±0.23 ^{hi}	12.11±0.35 ^d
Yanganok	86.50±0.09 ^b	4.42±0.06 ^e	24.62±0.16 ^d	14.85±0.28 ^b
Gangdaok	85.39±0.02 ^d	4.04±0.01 ^h	24.31±0.34 ^e	6.74±0.16 ^f
Daanok	85.61±0.06 ^c	3.81±0.03 ⁱ	23.08±0.12 ^g	12.06±0.13 ^d
Cheonganok	85.73±0.15 ^c	5.00±0.07 ^b	27.94±0.06 ^b	11.71±0.62 ^d
Pyeonganok	86.49±0.04 ^b	3.33±0.06 ^l	22.01±0.13 ^j	11.79±0.35 ^d
<i>F</i> -value	241.49 ^{***5)}	799.65 ^{***}	752.96 ^{***}	50.69 ^{***}
Kernel type	Hunter's color values			Total carotenoid (µg/g)
	L-value	a-value	b-value	
Dent	85.00±1.06 ^b	4.31±0.85	25.14±2.69	12.60±3.36
Intermediate	85.80±0.59 ^a	4.07±0.43	23.74±0.93	12.65±1.74
Flint-like	85.81±0.44 ^a	4.05±0.64	24.33±2.34	10.58±2.34
<i>F</i> -value	4.88 [*]	0.68 ^{NS6)}	1.29 ^{NS}	2.23 ^{NS}

¹⁾ According to the name of Korea Seed & Variety Service.

²⁾ Hunter L=lightness, a=redness, b=yellowness.

³⁾ All results are expressed as mean±standard deviation (n=5).

⁴⁾ Mean with different letters within the same column are significantly different from each other at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

⁵⁾ Significant at ^{*} $p<0.05$ and ^{***} $p<0.001$.

⁶⁾ NS: Not significant.

0.001). 한편 배유 특성간 비교에서 차이를 보였던 L값과 달리 a와 b값은 유의적 차이를 나타내지 않았다. 이상의 색도 결과에서 배유 특성이 경질전분에 가까울 때 L값이 높았고 통계적으로 유의성이 확인되었으나, 배유 특성의 각 그룹이 나타낸 평균값은 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 새로운 표본집단을 구성하거나 표본집단의 자유도(n)를 증가시켜 색도 L값이 배유특성에 영향을 받는 것에 대한 재확인이 필요하다고 사료된다.

본 연구에서 사용한 시험 품종은 노랑색을 띠는 옥수수, 관련된 총 카로티노이드 함량을 함께 살펴보았다. 카로티노이드는 오렌지색, 노란색, 또는 빨간색을 나타내며 지방 또는 지용성 용매들에 잘 녹는 구조를 가진 유사 색소 그룹을 나타낸다. Isoprene 단위 8개가 결합하여 형성된 tetraterpene의 기본구조를 갖고 있으며 분자 구조 내 많은 수의 conjugated double bonds가 고유의 색깔을 나타내는 것으로 알려져 있다(Kim DH 2015). 옥수수에는 lutein, zeaxanthin, α -carotene, β -carotene 등으로 존재하며 이외 노랑색을 가진 대표적인 색소들로 β -apo-8'-carotenal, xanthophyll, methyl bixin, cryptoxanthin, lutein 등을 들 수 있다(Tanaka 등 2008; Kandianis C 2009; Kim DH 2015). 본 연구에서는 카로티노이드 분석을 위하여 이들 중 β -carotene을 표준색소로 총 카로티노이드 함량을 산출하였고, 그 결과 6.74(강다옥)~17.07(평강옥) $\mu\text{g/g}$ 의 범위에서 평균 $12.07 \pm 2.94 \mu\text{g/g}$ 이었고 품종간 유의적 차이를 나타냈다($p < 0.001$). 그러나 배유 특성간 비교에서 그룹간 유의적 차이는 없었다. Lee 등(2017)이 보고한 노랑찰옥수수의 총 카로티노이드 함량은 자식계통과 교잡계에 따라 수확시기별 차이를 보였고, 함량이 1.9~15.9 $\mu\text{g/g}$ 을 나타내어 본 연구결과가 더 높은 수준임을 알 수 있었다. 카로티노이드는 안토시아닌과 함께 항산화물질로 알려져 있으므로(Kim 등 1996; Park 등 2014; Kim 등 2020), 향후 카로티노이드 함량이 높은 품종을 대상으로 항산화능이 구명된다면 종실용 옥수수의 항산화성에 대한 기능성을 새로운 용도로 부여할 수 있으며, 이에 따른 부가 가치를 높일 수 있을 것으로 기대한다.

5. 옥수수의 색도 및 총 카로티노이드의 상관관계

옥수수 색도로 분석된 Hunter 값 L, a, b와 총 카로티노이드 함량, 이상 4가지의 상관관계 분석 결과는 Table 4와 같다. 6가지 관계 중 a와 b 값의 관계는 가장 높은 정의 상관을 나타냈고(0.806***), L과 a값(-0.715***) 그리고 L과 b값(-0.537***)은 모두 부의 상관을 나타냈다. 한편 총 카로티노이드 함량은 관련이 있을 것으로 예상했던 b값과의 상관관계에서 유의미한 통계값을 얻지 못했고 L값과는 부의 상관, a값과는 정의 상관을 나타냈으나 결정계수(R^2)가 낮아 두 관계를 설명하기는 어려웠다. Lee 등(2017)도 수확시기별 노랑

Table 4. Correlation coefficients among Hunter's color values and total carotenoid of maize cultivars

		Hunter's color values ¹⁾			Total carotenoid
		L-value	a-value	b-value	
Hunter's color values	L-value	1.000	-0.715*** ²⁾	-0.537***	-0.334*
	a-value		1.000	0.806***	0.448**
	b-value			1.000	0.261
Total carotenoid					1.000

¹⁾ Hunter L=lightness, a=redness, b=yellowness.

²⁾ Significant at * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

찰옥수수 종실의 색도와 총 카로티노이드 함량을 분석하여 이들의 상관관계를 살펴보았는데 총 카로티노이드와 L값은 부의 상관(-0.22*), a값(0.67*)과 b값(0.53*)은 모두 정의 상관을 나타내어 본 연구결과와 유사한 경향으로 유의미한 통계 결과를 나타냈다. 이러한 차이는 본 연구에서는 수확 후 건조된 시료만을 대상으로 하였으나, 관련 연구에서는 수확시기에 따른 시료를 사용함으로써 시기별 카로티노이드의 함량변화를 포함한 상관성 분석이 이루어졌고 이에 따른 영향을 받았을 것으로 사료된다.

6. 옥수수 알곡의 수침조건에 따른 경도

옥수수의 용도에 맞는 가공을 위해 때로는 건조된 단단한 알곡의 경도저하를 위한 전처리가 필요할 수 있다. 본 시험에서는 수침조건에 따른 품종 및 배유 특성 그룹간 경도를 비교하여 그 결과를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타냈다. 수침조건은 증탕으로 100°C가 유지되는 시험관에 처리시간을 달리한 무처리, 10분, 30분 이상 3가지에서 측정된 경도를 비교하였다. Fig. 2에 제시된 TN(무처리)군 15품종의 경도는 5,522~22,690 범위에서 최대 4.1배의 큰 차이를 나타냈고($p < 0.001$), 평균 $12,357 \pm 4,145$ 이었다. T10(10분 처리)군은 TN군 대비 2,347~16,420으로 범위가 감소하였고, 품종간 최대 7.0배의 차이($p < 0.001$)를 나타내어, 평균 6,715 대비 표준편차가 3,336으로 크게 상승하였다. T30(30분 처리)군은 1,591~4,683의 범위에서 품종간 최대 2.9배의 차이를 나타냈다($p < 0.001$). 각 처리에 따른 평균값의 감소율은 TN군 대비 T10군과 T30군이 각각 54.3%와 20.3%의 감소를 나타내 끓는 물에서 30분 처리만으로 경도를 크게 낮출 수 있었고, 모든 처리에서 최소값과 최대값은 신허옥과 평안옥으로 동일한 품종으로 나타났다. Fig. 3에 품종을 배유 특성으로 그룹화하여 각 처리에 따른 경도를 비교하였다. 그림에서 보는 바와 같이 마치중, 중간중, 반경립중 그룹 내에서 수침시간이 증가함에 따라 급격한 경도 감소가 나타났고, 모든 그룹에서 TN, T10, T30은 독립

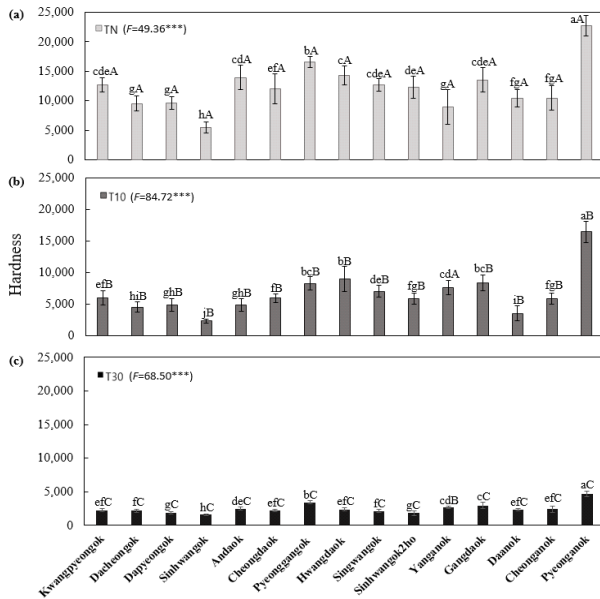


Fig. 2. Comparison of hardness according to soaking treatment conditions by Korean maize cultivars. According to the name of Korea Seed & Variety Service. TN: not treatment, T10: soaked in boiling water for 10 minutes, T30: soaked in boiling water for 30 minutes. Any means in the same cultivar followed by the small letter (^{a-j}) are not significantly different by Duncan’s multiple range test ($p < 0.05$, $n=10$). Any means in the same soaking treatment followed by the capital letter (^{A-C}) are not significantly different by Duncan’s multiple range test ($p < 0.05$, $n=10$).

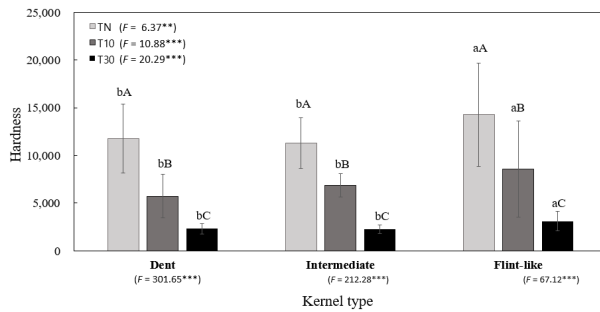


Fig. 3. Comparison of hardness according to soaking treatment conditions by Korean maize kernel types. According to the name of Korea Seed & Variety Service. TN: not Treatment, T10: soaked in boiling water for 10 minutes, T30: soaked in boiling water for 30 minutes. Any means in the same kernel type followed by the small letter (^{a-b}) are not significantly different by Duncan’s multiple range test ($p < 0.05$, $n=10$). Any means in the same soaking treatment followed by the capital letter (^{A-C}) are not significantly different by Duncan’s multiple range test ($p < 0.05$, $n=10$).

적으로 높은 유의성을 나타냈다($p < 0.001$). 또한 같은 처리조건내에서 배유 특성별 경도를 비교하였을 때 TN($p < 0.005$), T10($p < 0.001$), T30($p < 0.001$) 세 처리구 모두 반경립종 > 마치종, 중간종으로 경질전분의 성질을 갖는 반경립종이 동일한 수침처리에서 경도 감소가 둔화되는 것을 확인할 수 있었다. Kim 등(2014a)은 간식용도의 찰옥수수 물성이 종실의 특성이 되는 100립중, 전분함량과의 높은 상관성을 보고하였다. 그러나 본 연구에서 사용한 품종은 종실용 옥수수로 전분이 용을 위한 가공처리를 거치게 되므로 가장 주요한 품질요인은 경도라고 할 수 있다. 종실의 경도는 배유의 연질녹말과 경질녹말의 비율을 포함한 각종 이화학적 특성에 관련된 물리적 형질이며, 이에 따라 건식제분에서는 경립종, 습식제분에서는 연립종이 선호되고 있다(Kim 등 2002). 따라서 배유 특성에 따른 경도를 포함한 여러 가지 품질특성의 관계를 명확하게 구명할 수 있다면, 우리는 종실용 옥수수가 갖는 배유특성으로 많은 정보를 얻을 수 있을 것이다.

이상에서 옥수수 품종별 이화학적 품질특성은 모든 항목에서 통계적으로 유의한 품종별 차이가 확인되었다. 그러나 각 품종이 갖는 배유 특성별 비교에서는 조단백질, 조지방, 색도 L값, 경도에서만 유의성이 확인되었고, 배유 특성인 연질~경질을 적용하여 설명하기 어려운 부분도 있었다. 앞으로 전분관련 특성을 추가적으로 검토하여 이러한 배유 특성에 따른 상관 인자를 추가 발굴하고, 배유 특성에 따른 가공용도를 부여할 수 있다면, 기 개발된 품종이나 계통의 배유 특성을 통해 그 용도를 찾는 데 쉽게 접근할 수 있을 것으로 사료된다.

요약 및 결론

본 연구에서는 옥수수 배유특성에 따른 이화학적 품질특성을 비교하여 옥수수의 가공용도 개발을 위한 기초자료를 마련하고자 하였다. 배유 특성(마치종, 중간종, 반경립종)을 달리하는 15품종의 옥수수를 분석한 결과, 배유의 미세구조에서 관찰된 전분크기는 1.8~32.7 μm 으로 다양했으며 전분 크기 균일성의 차이를 나타냈다. 100립중 22.89~35.63 g, 수분 함량 7.57~8.42%, 조단백질 함량 8.46~11.45%, 조지방 함량 3.26~4.83%, 색도 L값 83.70~86.79, 색도 a값 2.61~5.49, 색도 b값 22.01~28.15, 총 카로티노이드 함량 6.74~17.07 $\mu\text{g/g}$ 의 범위에서 모든 항목이 품종에 따른 높은 유의성을 나타냈다($p < 0.001$). 그러나 배유 특성에 따른 비교에서 조단백질($p < 0.005$), 조지방($p < 0.001$), 색도 L값($p < 0.05$) 이상 3가지 품질특성에서만 그룹간 유의성을 확인할 수 있었다. 품종 및 배유특성별 옥수수 알곡의 수침조건에 따른 경도는 끓는 물

에서 처리한 수침시간에 비례하여 모두 급격한 감소를 나타냈다($p < 0.001$). 특히 동일한 수침조건 내에서 배유특성별로 경도를 비교한 결과, 반경립종 > 마치종, 중간종으로 나타나, 경질전분에 가까운 반경립종이 동일한 수침처리에서 경도의 감소가 둔화되는 것을 확인할 수 있었다. 향후 본 연구결과를 바탕으로 좀 더 다양한 전분관련 특성과 배유 특성의 상관성 구명이 이루어진다면, 기 개발된 품종이나 계통의 배유 특성 분류를 통해 다양한 품질특성을 가늠할 수 있고, 또 이를 이용한다면 적합한 용도를 찾는 데 크게 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 국립식량과학원 연구개발 과제(PJ01478902)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

- Al-Farsi M, Alsalvar C, Morris A, Baron M, Shahidi F. 2005. Comparison of antioxidant activity, anthocyanins, carotenoid, and phenolics of three native fresh and sun-dried date (*Phoenix dactylifera* L.) varieties grown in Oman. *J Agric Food Chem* 53:7592-7599
- Baek SB, Son BY, Kim JT, Bae HH, Go YS, Kim SL. 2020. Changes and prospects in the development of corn varieties in Korea. *Korean J Breed Sci* 52:93-102
- Han JS, Ahn SY. 2002. Physicochemical properties of corn starch oxidized with sodium hypochlorite. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31:189-195
- Kandianis C. 2009. Genetic dissection of carotenoid concentration and compositional traits in maize grain. Ph.D. Thesis, Illinois Univ. Urbana-Champaign, Champaign, Illinois
- Kim DH. 2015. Food Chemistry. pp.100-101. Tamgudang
- Kim EH, Lee YJ, Lee SH, Jang GY, Kim MY, Yoon N, Lee MJ, Lee J, Jeong HS. 2015. Physicochemical characteristics of barley powder produced from different cultivars and with different degrees of milling. *Korean J Food Sci Technol* 47:639-644
- Kim HJ, Lee JH, Lee BW, Lee YY, Jeon YH, Lee BK, Woo KS. 2018. Quality and physicochemical characteristics of the Korean cowpea cultivars grown in different seeding periods. *Korean J Food Nutr* 31:502-510
- Kim MJ, Lee JE, Kim JT, Jung GH, Lee YY, Kim SL, Kwon YU. 2014a. Changes in ear and kernel characteristics of waxy corn during grain filling stage by double cropping. *Korean J Crop Sci* 59:73-82
- Kim MJ, Park HJ, Kim SL, Jung GH, Kim JT, Shin SH, Kwon YU, Chung IM. 2014b. 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 MY, Park HY, Lee YY, Lee BW, Kim MH, Lee JY, Lee JH, Kang MS, Koo BC, Kim HJ. 2020. Antioxidant and anti-adipogenic effects of colored and brown rice extracts depending on cultivars. *Korean J Food Nutr* 33:149-158
- Kim OG, Hong TK, Ko WR, Woo SY, Ma SJ, Park JW, Sa KJ, Lee JK. 2016. Analysis of morphological characteristics for a core set of 194 maize accessions. *Korean J Breed Sci* 48:133-139
- Kim SL, Choi BH, Park SU, Moon HG. 1996. Functional ingredients of maize and their variation. *Korean J Crop Sci* 41:46-68
- Kim SL, Moon HG, Ryu YH. 2002. Current status and prospect of quality evaluation in maize. *Korean J Crop Sci* 47:107-123
- Korea Seed & Variety Service [KSVS]. 2020a. List of national varieties. Available from <http://www.seed.go.kr/seed/198/subview.do?enc=Zm5jdDF8QEB8JTJGaW50ZXJ3b3JrJTJGc2VlZCUyRjkiMkZsaXN0LmRvJTNGZmluZEluaXRpYWwIM0QlMjZmaW5kQ3JvcENsJTNEwMDAxJTl2ZmluZENy b3BObSUzRCUyNmZpbmRWYXJpZXR5Tm0IM0QlMjZmaW5kQ2h1bE5tJTNEJTl2ZmluZEdyE5tJTNEJTl2> [cited 11 September 2020]
- Korea Seed & Variety Service [KSVS]. 2020b. Cultivar name. Available from <http://www.seed.go.kr/seed/199/subview.do> [cited 11 August 2020]
- Lee JH, Kim HJ, Kim MJ, Jung GH, Lee BW, Lee BK, Woo KS. 2017. Quality and antioxidant characteristics of roasted maize tea according to cultivation period and variety. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 46:1316-1326
- 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 J, Son BY, Shin SH, Kim JT, Bae HH, Baek SB, Jung TW, Kim SK, Kwon YU. 2018. 'Hwangmichal', a yellow waxy corn F1 hybrid with high carotenoid content. *Korean J*

Breed Sci 50:510-515

- Lee SH, Hwang IG, Kim HY, Lee HK, Lee SH, Woo SH, Lee J, Jeong HS. 2010. Physicochemical property and antioxidant activity of daehak waxy corns with different harvest times. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39:719-724
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs [MAFRA]. 2019. Agriculture, food and rural affairs statistics yearbook. pp.72, 212-213, 229, 370-371. Korea agency of education promotion and information service [EPIS] in food agriculture forestry and fisheries
- National Institute of Crop Science [NICS]. 2009. Manual of quality analysis for crop. pp.3-11. National Institute of Crop Science
- National Institute of Crop Science [NICS]. 2020. Cultivar information. Available from <http://www.nics.go.kr/api/breed.do?m=100000128&categoryCode=FC&pageNo=1&sType=sSvcCodeNm&sText=%EC%98%A5%EC%88%98%EC%88%98> [cited 24 August 2020]
- Park EH, Ryu SN, Cho HM. 2011. Food Crop Science II. pp.304-305, 314-318, 329. KNOU Press
- Park JS, Lee KJ, Oh EB, Kim HY, Lee SY, Choi DS. 2014. Chemical compositions and antioxidative activities of sweet potato foliage harvested by the cultivation period and tips location. *Korean J Food Nutr* 27:897-905
- Rural Development Administration [RDA]. 2011. Agricultural Technology Guide 35 Corn. pp.90-101. Rural Development Administration
- Son BY, Baek SB, Kim JT, Lee JS, Bae HH, Go YS, Kim SL. 2019. Single cross maize hybrid 'Hwangdaok' for high grain yield. *Korean J Breed Sci* 51:105-109
- Son BY, Baek SB, Kim JT, Lee JS, Bae HH, Park CH, Seo MJ, Lee JH. 2017. Single cross maize hybrid for grain, 'Sinhwangok'. *Korean J Breed Sci* 49:109-112
- Son BY, Baek SB, Kim JT, Lee JS, Bae HH, Shin SH, Kim SL, Jung GH, Ku JH, Kwon YU. 2016. Single cross maize hybrid with lodging tolerance and flint-like for grain, 'Daanok'. *Korean J Breed Sci* 48:319-323
- Son BY, Baek SB, Kim JT, Lee JS, Bae HH. 2018. Single cross maize hybrid for silage with lodging tolerance and high yield, 'Dacheongok'. *Korean J Breed Sci* 50:145-149
- Tanaka Y, Sasaki N, Ohmiya A. 2008. Biosynthesis of plant pigments: Anthocyanins, betalains and carotenoids. *Plant J* 54:733-749
- Woo KS, Song SB, Ko JY, Seo MC, Lee JS, Kang JR, Oh BG, Nam MH, Jeong HS, Lee J. 2010. Antioxidant components and antioxidant activities of methanolic extract from adzuki beans (*Vigna angularis* var. *nipponensis*). *Korean J Food Sci Technol* 42:693-698
- Yoo KM. 2011. Effects of soybean varieties on the physicochemical and sensory characteristics of tofu. *Korean J Food Nutr* 24:451-457

Received 13 September, 2020

Revised 18 September, 2020

Accepted 09 October, 2020