

이기작에 따른 옥수수의 지방산 조성 및 Phytosterol 함량 변화

김선림^{1,†} · 정건호² · 김미정³ · 손범영⁴ · 김정태⁵ · 배환희⁴ · 고영삼⁴ · 이기범⁶ · 이진석⁷ · 백성범¹

Changes in Fatty Acid Composition and Phytosterol Content in Double Cropping Maize

Sun-Lim Kim^{1,†}, Gun-Ho Jung², Mi-Jung Kim³, Beom-Young Son⁴, Jung-Tae Kim⁵, Hwan-Hee Bae⁴, Young-Sam Go⁴, Gibum Yi⁶, Jin-Seok Lee⁷, and Seong-Bum Baek¹

ABSTRACT The average growth day of 11 maize varieties from planting to silking in the first cropping (FC) was 89.5 days and in the second cropping (SC) was 46.7 days, which was 43 days faster than in the FC. The average 100-kernel weight (100 KW) in the FC was 28.4 g and 18.3 g in the SC, which was approximately 36.4% lower than that in the FC. The average crude oil content of FC was 3.97% and SC was 3.08%, which was about 0.89% lower than that of FC. The composition of stearic and oleic acid was significantly higher in FC, whereas palmitic and linoleic acid were higher in SC; however, linolenic acid was not statistically different between the two crops. The crude oil content was negatively correlated with linoleic acid (FC -0.264^{ns}, SC -0.504^{**}) and positively correlated with linolenic acid (0.526^{**}). Unsaturated fatty acid (USFA) composition showed a significant difference between FC (83.48%) and SC (82.96%). Total phytosterol content was 598.3 mg/100 g and 701.9 mg/100 g in FC and SC, respectively, and showed significant difference by planting dates. The β -sitosterol content showed no statistical difference between the planting dates, but campesterol and stigmasterol were significantly higher in SC than in FC. Therefore, it was considered that the temperature condition during the ripening period affects the 100 KW of maize, and this leads to the variation in phytosterol content. However, among phytosterols, β -sitosterol was relatively little affected by the planting dates. USFA composition showed a significantly negative correlation with phytosterol content. Considering the results, the relatively high phytosterol content in SC was mainly because of the delay in progress of starch accumulation as daily air temperature decreased from the middle of the ripening period, whereas progress of phytosterol accumulation in the maize kernel was considered relatively faster than that of starch accumulation.

Keywords : crude oil, double cropping, fatty acid, maize, phytosterol

기후변화에 따른 온난화 현상은 각종 기상재해 및 병해충 발생 등 다양한 피해들이 심화되는 문제점이 지적되고 있

으나 한편으로는 작물재배 가능기간이 연장되어 오히려 기회요인이 되기도 한다. 최근 우리나라의 기상은 초상일이

¹농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 중부작물과 농업연구관 (Senior Research Scientist, Central Area Crop Breeding Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Republic of Korea)

²농촌진흥청 대변인실 농업연구사 (Junior Research Scientist, Spokesperson Office of Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea)

³농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 수확후이용과 농업연구관 (Senior Research Scientist, Crop Post-Harvest Technology Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea)

⁴농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 중부작물과 농업연구사 (Junior Research Scientist, Central Area Crop Breeding Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Republic of Korea)

⁵농촌진흥청 국립식량과학원 기획조정과 농업연구사 (Junior Research Scientist, Planning and Coordination Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Republic of Korea)

⁶농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 중부작물과 박사후연구원 (Post-Doc. Researcher, Central Area Crop Breeding Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Republic of Korea)

⁷농촌진흥청 연구정책국 연구운영과 농업연구사 (Junior Research Scientist, Research Policy Bureau of Rural Development Administration, Jeonju 54875, Republic of Korea)

[†]Corresponding author: Sun-Lim Kim; (Phone) +82-31-695-4041; (E-mail) kimsl@korea.kr

<Received 2 March, 2020; Accepted 30 March, 2020>

늦어지고 종상일이 빨라지는 기후변화 현상으로 작물재배 가능기간이 길어져 이에 따른 작물의 작부체계 재설정 연구의 필요성이 대두되고 있다.

찰옥수수의 경우 관행적으로 4월에 파종하여 7월 중·하순에 수확하는 재배법이 적용되어 왔으나, 최근 온난화 현상에 대응하여 개발된 찰옥수수 이기작 기술은 풋옥수수 수확시기를 전기작에서는 7월 상순으로 앞당기고, 후기작은 10월 중·하순으로 늦춰줌으로서 한해에 두 번 풋옥수수를 수확할 수 있는 계기를 마련하였다(Kim *et al.*, 2014a, 2014b; Kim *et al.*, 2015; Jung *et al.*, 2012).

미국에서는 무상일수가 240일 이상인 남동부지역에서 옥수수 이기작의 가능성을 검토한 결과(Widstrom & Young, 1980), 이기작은 토지의 이용성을 증진시키고 곡실 및 조사료 생산에 효과적이라 보고한바 있다.

Meza *et al.* (2008)은 기후변화로 작물의 재배기간이 늘어남에 따라 칠레의 중북부지역에서 옥수수 이기작의 가능성을 검토한바 있는데, 후기작의 경우 전기작에 비해 생육기간이 상대적으로 짧아져 수량이 약 10~30%가 감소되지만 옥수수 이기작은 기후변화에 적절한 대응방안이 될 수 있다고 하였다

Meng *et al.* (2017)은 중국의 북부평야지대에서 기후변화에 대응한 새로운 재배법 개발을 위하여 관행적인 밀-옥수수(wheat-maize: W-M) 작부체계를 옥수수 이기작(maize-maize: M-M)으로 전환하는 새로운 재배법을 시도한 결과 M-M 재배는 W-M 재배에 비해 생산성이 약 14-31% 향상되었고, 농업용수 사용량은 W-M 재배에 비해 상대적으로 적게 들기 때문에 M-M 이기작은 기후변화로 유발될 수 있는 식량부족 문제를 해결할 수 있는 잠재력 높은 대응방안이라고 보고한바 있다.

우리나라는 식량작물 및 조사료의 자급률 향상과 쌀 생산조정을 위한 논에서 밭작물재배를 권장하고 있으며, 기후변화에 따른 기회요인을 극대화하기 위하여 다양한 작물의 이기작이 시도되고 있다. 옥수수는 앞서 기술한 바와 같이 찰옥수수 이기작의 가능성 및 재배한계기 설정 등을 위한 다양한 연구가 수행되어 개발기술이 농가현장에 보급되고 있으나, 일반옥수수의 경우에는 이기작관련 정보가 상대적으로 미흡한 실정이다. 따라서 일반옥수수의 이기작 기술을 조기에 정착시키기 위해서는 안정적 재배뿐만 아니라 생산된 농산물의 품질과 이용성에 문제가 없어야 한다.

본 연구는 국내육성 일반옥수수 주요 11 품종을 이기작을 하였을 때 종실의 지방산 조성과 phytosterol의 함량 변이를 검토하여 이기작의 안정생산 및 부가가치 향상을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

시험재료

이기작(2기작)에 따른 옥수수의 지방산 조성과 phytosterol 함량의 변화를 검토하기 위하여 농촌진흥청 국립식량과학원에서 육성된 일대 교잡종(F₁ hybrid) 11품종(강다옥, 광평옥, 다평옥, 신광옥, 안다옥, 양안옥, 장다옥, 청다옥, 청안옥, 평강옥, 평안옥)을 수원시 권선구 소재 국립식량과학원 밭작물 시험연구포장에서 2013년 4월 10일과 7월 30일에 각각 노지직파 하여 수확된 옥수수를 이용하였다. 옥수수의 재식거리는 70 × 25 cm (휴폭×주간거리)로 하였고, 비료는 10 a당 15-3-6-2,000 kg (N-P₂O₅-K₂O-퇴비)을 사용하였는데, 인산, 칼리 및 퇴비는 전량기비로, 질소는 기비와 추비(5~6엽기)로 분시를 하였다. 기타 재배관리 및 조사항목은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석기준(RDA, 2012)을 따랐다.

조지방 및 지방산 분석

이기작으로 수확된 옥수수 종실은 시험용 분쇄기(Brabender, Duisburg Germany)로 시료를 제조 후 조지방 함량은 지방자동분석기(Gerhardt Soxtherm 2000, Hoffmannstre, Germany)로 분석을 하였다. 지방산 조성의 분석은 시료 0.5 g에 methanol : heptane : benzene : 2,2-dimethoxypropane : H₂SO₄ (37 : 36 : 20 : 5 : 2, v/v)을 가하고 80°C로 1시간 가열 후 FAMES (fatty acid methyl ester)을 취해 HP-Innowax capillary column (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm, Agilent J&W, Wilmington, DE, USA)을 이용하여 gas chromatography (6890 N series, Agilent Technologies Inc., Wilmington, DE, USA)로 분석을 하였다(Kim *et al.*, 2018).

이때 사용된 표준시약은 Supelco (Bellefonte, PA, USA) FAME mix (C₁₄-C₂₂) 제품을 사용하였다.

불검화물의 제조 및 phytosterol 분석

옥수수 불검화물(unsaponifiables)의 제조는 시료에 10% KOH-MeOH 용액을 가하고 60°C에서 90분간 가열하여 비누화 반응(saponification)을 유도 후 탈지면으로 여과시켜 얻어진 여액을 hexane으로 분액하여 불검화물을 얻었다. 옥수수 불검화물(ZML)에 함유된 phytosterol의 분석은 Kim *et al.* (2018)의 방법에 따라 ZML에 BSA [N,O-bis(trimethylsilyl)acetamide], pyridine, hexane을 가하여 TMS 유도체화(trimethylsilyl derivatization) 후 GC (gas chromatography)에서 HP-5ms capillary column (30 m × 0.25 mm, 0.25 μm, Agilent J&W, Wilmington, DE, USA)을 이용하여 분석을

하였다. 이때 GC의 chamber는 150°C~320°C까지 10°C/min를 상승시켰고, injector는 260°C, FID는 310°C를 유지하였다. Phytosterol 분석에 사용된 표준시약인 campesterol, stigmasterol 및 β-sitosterol은 Wako (Tokyo, Japan)사 제품을 사용하였다.

통계분석

본 시험을 통하여 얻어진 결과는 SAS 프로그램(Ver. 9.4, Statistical Analysis Systems Institute Inc., Raleigh, NC, USA)으로 통계분석을 하였다.

결과 및 고찰

출사일수 및 백립중 변화

이기작에 따른 옥수수 11 품종의 개화(출사) 반응은 Table 1에 나타난 바와 같다. 4월 10일에 전기작으로 파종된 옥수수 11 품종은 7월 4일(신광옥)~7월 14일(강다옥)까지 약 10일간 출사하여 평균 89.5일의 출사일수를 보였고, 7월 30일에 후기작으로 파종된 옥수수는 9월 9일(신광옥)~9월 18일(청안옥, 평강옥)까지 약 9일간 출사를 하여 평균 46.7일의 출사일수가 소요되어 후기작은 전기작보다 약 43일 출사일수가 빨랐다. 후기작의 출사일수가 빨라진 것은 옥수수가 대표적인 단일성 작물(short-day plant)로서 파종 후 고온과 단일조건에 의해 출사반응이 촉진되었기 때문인 것으로 판

단된다.

Fig. 2는 이기작으로 수확된 옥수수 11품종의 이삭의 모습을 나타낸 것이고, Table 2는 백립중을 나타낸 것이다.

전기작으로 생산된 옥수수 11품종의 평균 백립중은 28.4 g이었고, 후기작의 평균 백립중은 18.1 g으로 전기작은 후기작에 비해 백립중이 약 10.3 g 높음을 알 수 있었다. 품종 별로 볼 때 전기작은 25.5 g (청다옥)~34.4 g (신광옥)로서 약 8.9 g의 범위에서 변이를 보였으나 후기작은 10.7 g (광평옥)~24.6 g (양안옥)로서 약 13.9g의 범위에서 변이를 보여 이기작에 따른 품종간 백립중의 변이는 후기작에서 더 큰 것으로 나타났다.

Zhou *et al.* (2017)은 중국 북평원지대(North China Plain)에서 일반적으로 재배되고 있는 조생종 옥수수 품종인 ZD958을 대상으로 3월 25일부터 7월 20일까지 15일 간격으로 8회에 걸쳐 파종을 하고 등숙기 온도가 옥수수 립중(kernel weight)에 미치는 영향을 검토한 결과 5월 25일~6월 27일에 파종된 옥수수가 가장 무겁게 나타났는데, 이는 등숙기간중 기온과 일조량이 립중에 큰 영향을 미쳤기 때문이라 하였다. Meza *et al.* (2008)은 칠레의 중북부 지역에서 옥수수 이기작이 수량에 미치는 영향을 검토하였는데, 후기작은 전기작에 비해 생육기간이 상대적으로 짧아져 수량은 약 10~30% 감소되었지만 옥수수 이기작은 기후변화에 적절한 대응방안이 될 수 있다고 하였다.

본 연구의 결과 후기작 옥수수는 고온과 단일환경에 의

Table 1. Comparison of the silking date of maize varieties by planting dates.

Varieties	Planting date			
	April 10		July 30	
	Silking date	DAPt [†]	Silking date	DAPt [†]
Cheonganok	July 9	91	September 18	51
Pyeonganok	July 11	93	September 17	50
Pyeongangok	July 8	90	September 18	51
Jangdaok	July 7	89	September 17	50
Andaok	July 5	85	September 11	44
Cheongdaok	July 8	90	September 12	45
Dapyeongok	July 7	89	September 10	43
Singwangok	July 4	86	September 9	42
Yanganok	July 5	85	September 10	43
Gangdaok	July 14	96	September 17	50
Kwangpyeongok	July 8	90	September 12	45
<i>mean of DAPt</i>	-	<i>89.5±3.3</i>	-	<i>46.7±3.6</i>

[†]DAPt: days after planting

Table 2. Comparison of the 100-kernel weight of maize varieties by planting dates.

Varieties	Planting date		B/A
	April-10 (A)	July-30 (B)	
Cheonganok	27.7±0.78cd [†]	18.6±0.42e	0.674±0.04cd
Pyeonganok	25.6±0.25e	12.8±0.10h	0.500±0.01h
Pyeongangok	26.2±0.90de	15.6±0.46f	0.596±0.05fg
Jangdaok	31.7±0.60b	19.2±0.64de	0.605±0.05efg
Andaok	31.3±0.09b	20.1±0.26cd	0.641±0.01def
Cheongdaok	25.5±0.61e	20.3±0.12c	0.796±0.02b
Dapyeongok	28.3±0.30c	19.9±0.40cd	0.703±0.02c
Singwangok	34.3±0.69a	22.3±0.75b	0.651±0.02de
Yanganok	28.5±0.39c	24.6±0.67a	0.864±0.03a
Gangdaok	25.8±0.54de	14.7±0.79g	0.569±0.04g
Kwangpyeongok	27.1±0.29cde	10.7±0.54i	0.395±0.02i
mean±S.D.	28.4±0.49	18.1±0.47	0.636±0.03

[†]Means in a column by with different superscript letters are significantly different according to the Duncan's multiple-range test at $p < 0.05$.

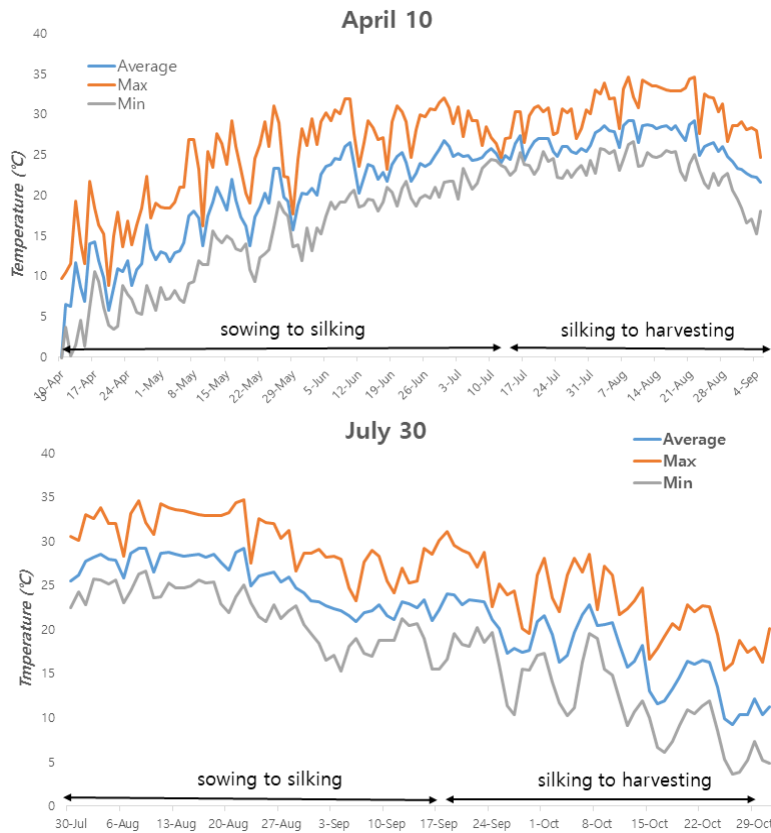


Fig. 1. Changes in the daily temperature from planting to harvesting of maize in Suwon.

해 개화기가 빨라졌으나 Fig. 1에서 보는 바와 같이 등숙 중기~후기에 기온이 낮아지면서 등숙환경에 영향을 미쳐

결과적으로 백립중이 저하되는 것으로 나타나 Meza *et al.* (2008)의 보고와 일치하는 경향임을 알 수 있었다.

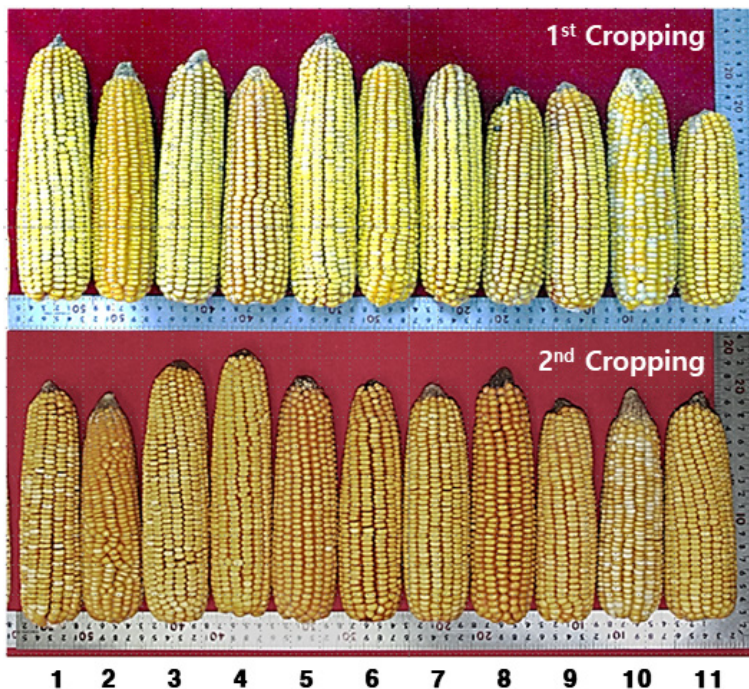


Fig. 2. Comparison of the ears of 11 maize varieties by planting dates.

1: Cheonganok, 2: Pyeonganok, 3: Pyeongangok, 4: Jangdaok, 5: Andaok, 6: Cheongdaok, 7: Dapyeongok, 8: Singwangok, 9: Yanganok, 10: Gangdaok, 11: Kwangpyeongok

Table 3. Comparison of the crude oil contents of maize varieties by planting dates.

Varieties	Planting date		B/A
	April-10 (A)	July-30 (B)	
Cheonganok	4.98±0.06ab [†]	3.27±0.07d	0.66±0.01h
Pyeonganok	5.11±0.06a	4.32±0.06a	0.84±0.01cd
Pyeongangok	5.05±0.11a	3.62±0.06b	0.72±0.03fg
Jangdaok	4.82±0.17b	3.66±0.10b	0.76±0.02ef
Andaok	3.54±0.03d	3.18±0.10d	0.90±0.04b
Cheongdaok	4.06±0.12c	3.49±0.06c	0.86±0.04bc
Dapyeongok	3.24±0.14f	2.61±0.01e	0.81±0.03de
Singwangok	2.97±0.12g	3.56±0.05bc	1.20±0.03a
Yanganok	3.36±0.15ef	2.67±0.13e	0.79±0.06de
Gangdaok	3.04±0.04g	2.04±0.09f	0.67±0.02gh
Kwangpyeongok	3.48±0.02de	1.45±0.02g	0.42±0.00i
mean±S.D.	3.97±0.79	3.08±0.80	0.78±0.19

[†]Means in a column by with different superscript letters are significantly different according to the Duncan's multiple-range test at $p < 0.05$.

조지방 함량 및 지방산 조성

이기작에 따른 옥수수 11 품종의 조지방 함량은 Table 3에 나타난 바와 같다.

전기작 옥수수 11 품종의 평균 조지방 함량은 3.97%였고,

후기작은 3.08%로서 전기작에 비해 조지방 함량이 약 0.89% 낮았다. 품종별로 볼 때 전기작은 2.97% (신광옥)~5.11% (평안옥)의 분포를 보였고 후기작은 1.45% (광평옥)~4.32% (평안옥)의 분포를 보여 조지방 함량의 품종간 변이는 후기

Table 4. Comparison of the fatty acid compositions of maize varieties by planting dates.

Planting date	Varieties	Fatty acid composition (%)					USFA
		Palmitic (C16:0)	Stearic (C18:0)	Oleic (C18:1)	linoleic (C18:2)	linolenic (C18:3)	
April 10 (A)	Cheonganok	12.51±1.39g [†]	1.72±0.69cd	29.18±0.84cde	55.57±2.45a	1.02±0.17e	85.77±2.08a
	Pyeonganok	16.06±0.07b	2.54±0.17ab	27.50±0.88def	52.74±1.02ab	1.16±0.02de	81.40±0.16e
	Pyeongangok	14.53±0.46cde	2.19±0.36bc	31.68±0.78abc	50.65±0.86bcd	0.95±0.02e	83.28±0.71cd
	Jangdaok	15.40±0.17cb	2.30±0.38b	30.57±0.11bc	50.73±0.49bcd	1.01±0.05e	82.30±0.50de
	Andaok	13.76±0.11def	2.33±0.06b	26.88±0.39ef	53.39±0.45ab	3.64±0.07abc	83.90±0.15c
	Cheongdaok	12.93±0.76fg	2.60±0.19ab	34.21±0.92a	49.18±0.33cd	1.08±0.07de	84.47±0.57abc
	Dapyeongok	13.55±0.30efg	2.28±0.33bc	33.16±1.46a	48.58±2.49d	2.43±1.02cd	84.17±0.51bc
	Singwangok	14.91±0.39bcd	2.99±0.33a	24.09±1.13g	53.30±2.77ab	4.71±1.27a	82.11±0.65de
	Yanganok	18.11±0.11a	2.35±0.04b	25.70±0.17fg	52.12±0.07bc	1.73±0.08de	79.55±0.13f
	Gangdaok	12.79±1.22fg	1.33±0.40d	31.95±2.06ab	50.66±1.69bcd	3.27±1.95bc	85.88±1.60a
	Kwangpyeongok	13.11±0.83fg	1.40±0.33d	29.81±3.63bcd	51.34±2.98bcd	4.34±0.73ab	85.49±0.75ab
mean of April 10±S.D.		14.33±1.70	2.18±0.51	29.52±3.20	51.66±2.02	2.30±1.45	83.48±1.99
July 30 (B)	Cheonganok	13.91±1.52ef	1.28±0.74cd	26.43±3.92b	57.01±4.44a	1.36±0.15c	84.80±1.63e
	Pyeonganok	16.36±0.35bc	1.69±0.08abc	26.34±0.54b	53.96±0.47abc	1.66±0.07c	81.95±0.36bc
	Pyeongangok	16.17±1.11bc	1.03±0.23d	26.76±0.34ab	55.00±0.53ab	1.04±0.08c	82.80±0.92c
	Jangdaok	15.69±0.40c	1.59±0.25abc	26.73±1.36ab	54.69±1.13ab	1.30±0.11c	82.71±0.15c
	Andaok	15.27±0.68cd	1.76±0.13abc	26.21±1.03b	53.06±0.81bc	3.70±0.36b	82.96±0.60cd
	Cheongdaok	13.57±0.19f	1.39±0.01bcd	30.24±0.33a	53.53±0.14bc	1.27±0.02c	85.04±0.18e
	Dapyeongok	15.17±0.81cde	1.85±0.07ab	27.22±0.56ab	51.75±0.40bcd	4.01±0.38ab	82.98±0.87cd
	Singwangok	17.85±0.56a	2.03±0.18a	27.14±0.94ab	49.24±1.09d	3.74±0.53b	80.11±0.39a
	Yanganok	17.10±0.51ab	2.03±0.06a	27.38±0.82ab	51.95±0.29bcd	1.53±0.09c	80.87±0.50ab
	Gangdaok	14.35±0.65def	1.37±0.37bcd	27.56±4.05ab	52.15±3.03bcd	4.57±0.75a	84.28±0.31e
	Kwangpyeongok	14.26±0.76def	1.68±0.45abc	28.59±3.84ab	51.31±2.97cd	4.16±0.68ab	84.06±0.59de
mean of July 30±S.D.		15.43±1.36	1.61±0.32	27.33±1.18	53.06±2.11	2.58±1.42	82.96±1.56
LSD(0.05) between A & B		0.79	0.24	1.37	1.24	ns[‡]	0.92

[†]Means in a column by with different superscript letters are significantly different according to the Duncan's multiple-range test at $p < 0.05$.

[‡]ns: not significant

작에서 더 민감하게 반응한 것으로 판단되었다.

Butts-Wilmsmeyer *et al.* (2019)은 2011~2017년에 걸쳐 미국의 corn-belt 지대에서 생산된 옥수수를 대상으로 생육 온도가 품질에 미치는 영향을 검토한 결과 단백질 함량은 개화기 온도가 높을수록 증가되지만, 조지방 함량은 개화기 및 등숙기의 온도가 낮을 때 증가된다고 하였다. 그러나 본 연구의 결과 후기작 옥수수의 조지방 함량이 전기작에 비해 감소되어 Butts-Wilmsmeyer *et al.* (2019)의 보고와 다소 상이하였는데, 이와 같은 결과는 미국의 corn-belt 지대는 우리나라와 위도가 비슷하여 옥수수의 파종이 4월 상

순부터 6월 상순까지 이루어지기 때문에 본 연구의 전기작에서 얻어진 결과와 같은 경향을 보였을 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 7월 30일에 파종된 후기작의 경우에는 전기작과는 달리 생육초기 고온과 단일 환경으로 9월 중순에 출사가 이루어졌으나 Table 1에서 보는 바와 같이 등숙 중기~후기에 기온이 저하되면서 등숙 및 전분축적이 저하되어 백립중이 감소하였고 조지방의 축적에도 영향을 미쳤기 때문인 것으로 판단된다.

Table 4는 이기작에 따른 옥수수 11품종의 지방산 조성의 변화를 나타낸 것이다. 전기작 옥수수의 경우 linoleic 51.66%

> oleic 29.52% > palmitic 14.33% > linolenic 2.30% > stearic acid 2.18% 순의 지방산 조성을 보였고, 후기작 옥수수는 linoleic 53.06% > oleic 27.33% > palmitic 15.43% > linolenic 2.58% > stearic acid 1.61% 순의 조성을 보였다. 얻어진 결과로 볼 때 stearic과 oleic acid는 전기작 옥수수에서 통계적으로 유의하게 조성비가 높았으며, palmitic과 linoleic acid는 후기작 옥수수에서 유의적으로 조성비가 높았으나 linolenic acid는 통계적인 차이가 없었다.

옥수수 기름은 linolenic acid 함량이 낮고 항산화물질의 함량이 높아 저장성이 우수하고, 발연점(> 200°C)이 높아 고급 식용유로 분류된다(Singh *et al.*, 2014).

Rebecca *et al.* (2013)은 옥수수 25 품종의 지방산 조성을 검토한 결과 linoleic acid 51~62%, oleic acid 23~36% 및 palmitic acid 9~13%의 분포를 보였다고 하였는데, 국내 육성 옥수수 11품종의 지방산 조성은 이들의 보고와 일치하는 경향이였다. 일반적으로 옥수수의 지방산은 palmitic, stearic, oleic, linoleic 및 linolenic acid 등으로 구성되며 이들의 조성 및 함량은 유전자형뿐만 아니라 재배지역, 파종기 및 재배환경 등이 영향을 미친다고 한다(Davis & Poneleit, 1975; Jellum & Marion, 1966).

Orhun & Korkut (2011)은 28종의 옥수수를 대상으로 지방 함량과 불포화 지방산과의 관계를 검토한 결과 oleic acid는 정상관, linoleic 및 linolenic acid는 부상관을 보였다고 하였다. 국내육성 옥수수 11품종을 대상으로 수행된 본 연구의 결과에서는 Table 6에서 보는바와 같이 조지방 함량은 전·후기작 모두 linoleic acid와 부의 상관(전기작 -0.264^{ns}, 후기작 -0.504^{**})을 보였고, linolenic acid와는 유의한 정상관을 나타내 Orhun & Korkut (2011)의 보고와는 결과가 상이했다. 또한 전기작 옥수수의 불포화 지방산의 비율은 83.48%였으나, 후기작 옥수수는 82.96%로 나타나 이기작에 따른 불포화 지방산의 조성이 유의하게 변화됨을 알 수 있었다(Table 4). 이러한 결과는 재배환경이 지방산 조성은 물론 다중불포화지방산의 조성에 영향을 미쳤기 때문인 것으로 판단된다.

Phytosterol 함량

Table 5는 이기작 옥수수 11품종의 종실에서 추출한 불검화물을 HP-5 ms 컬럼으로 phytosterol 함량을 분석한 결과를 나타낸 것이다.

옥수수 불검화물(ZML)에 함유된 phytosterol은 β -sitosterol, campesterol 및 stigmasterol이 주요 성분임을 알 수 있었는데, 전기작의 평균 phytosterol 함량은 598.3 mg/100g이었으나, 후기작은 701.9 mg/100g으로서 전기작에 비해 후기

작의 phytosterol 함량이 통계적으로 유의하게 높았다. 총 phytosterol 함량을 품종별로 살펴볼 때 전기작은 436.6 (평균)~975.0 mg/100g (다평옥)의 분포를 보였으며, 후기작은 464.4 (청다옥)~910.3 mg/100g (양안옥)의 분포를 보였다. Phytosterol 함량을 성분별로 살펴볼 때 전·후기작 모두 β -sitosterol > campesterol > stigmasterol 순으로 함량이 높았고, β -sitosterol은 이기작에 따른 통계적 함량의 차이가 없었으나 campesterol 및 stigmasterol은 후기작이 전기작보다 유의하게 함량이 높았다. 후기작의 총 phytosterol 함량이 전기작 보다 높게 나타난 것은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 등숙 중기부터 기온이 낮아지면서 전분축적이 저하되어 백립중이 낮아진 반면 phytosterol은 전분보다 상대적으로 빠르게 축적이 이루어졌기 때문인 것으로 사료되었다.

Ayerdi *et al.* (2015)은 phytosterol 함량은 주로 유전적 요인에 의해 좌우되지만 다양한 재배환경도 이들의 조성 및 함량에 영향을 미친다고 하였다.

이기작으로 생산된 옥수수 11품종의 평균 phytosterol 조성비는 Fig. 3에 나타난 바와 같다. 전기작 옥수수는 β -sitosterol 73.1%, campesterol 19.7%, stigmasterol 7.2%이었고 후기작은 β -sitosterol 62.5%, campesterol 29.2%, stigmasterol 8.3%로서 전·후기작에 따른 phytosterol의 조성비에 차이가 있는 것으로 나타나 Ayerdi *et al.* (2015)의 보고와 일치하는 경향이였다.

Table 6에서 보는 바와 같이 전·후기작 옥수수의 총 phytosterol 함량은 불포화지방산(USFA)과 부의 상관(전기작 -0.346*, 후기작 -0.468**)이 있는 것으로 나타났다. 일반적으로 다중불포화지방산(polyunsaturated fatty acid : PUFA)이 높은 식물성유는 phytosterol 함량이 높고, 단일 불포화지방산(monounsaturated fatty acid : MUFA) 함량이 높은 식물성유는 phytosterol 함량이 낮다고 한다(Howell *et al.*, 1998). 그러나 본 연구에서 얻어진 결과는 PUFA인 linoleic acid의 조성이 가장 높았음에도 불구하고 phytosterol 함량과 부의 상관을 보인 것은 기존의 보고들과 다소 상이한 결과였다. Phytosterol은 지방산과 결합하여 sterol esters를 형성한다고 보고되었는데, 등숙중인 옥수수에 가장 많이 함유된 sterol은 free sterols와 steryl esters로서, free sterols는 출사후 10~26일에 급격한 함량의 감소를 보이지만 이후부터는 다양한 지방산들과 결합된 steryl esters의 함량이 증가된다고 한다(Davis & Poneleit, 1975; Weber, 1969). Kemp & Mercer(1968)은 옥수수의 sterol ester에서 분리한 지방산은 C12~C22 계열의 palmitic, palmitoleic, lauric, myristic 및 linolenic acid라고 보고한바 있다. 따라서 phytosterol과 지방산이 결합된 sterol esters의 생합성에 영향을 미치는

Table 5. Comparison of phytosterol contents of maize varieties by planting dates.

Planting date	Varieties	Phytosterol (mg/100g, oil)			
		β -sitosterol	Stigmasterol	Campesterol	Total
April 10 (A)	Cheonganok	402.4±7.44 ^{de†}	36.5±0.67 ^f	109.5±2.03 ^g	548.4±10.14 ^{de}
	Pyeonganok	314.1±5.81 ⁱ	46.1±0.85 ^d	78.1±1.45 ⁱ	438.3±9.53 ⁱ
	Pyeongangok	350.3±5.60 ^g	28.5±0.46 ^j	57.9±0.93 ^j	436.6±6.99 ⁱ
	Jangdaok	396.2±7.13 ^{ef}	33.8±0.61 ^h	86.1±1.55 ^h	516.1±9.29 ^f
	Andaok	383.2±6.90 ^f	37.8±0.68 ^e	114.4±2.06 ^f	535.5±9.64 ^e
	Cheongdaok	592.6±9.78 ^b	59.3±0.98 ^b	165.6±2.73 ^c	817.6±13.49 ^b
	Dapyeongok	361.0±5.78 ^g	31.2±0.50 ⁱ	77.8±1.25 ⁱ	470.0±7.52 ^h
	Singwangok	699.7±11.9 ^a	74.4±1.27 ^a	200.8±3.41 ^a	975.0±16.57 ^a
	Yanganok	553.4±9.41 ^c	53.4±0.91 ^c	176.3±3.00 ^b	783.1±13.31 ^c
	Gangdaok	330.8±5.62 ^{h†}	35.8±0.61 ^{fg}	130.1±2.21 ^d	496.7±8.44 ^g
	Kwangpyeongok	409.9±6.97 ^d	35.0±0.60 ^{gh}	119.4±2.03 ^e	564.3±9.59 ^d
mean of April 10±S.D.		435.8±7.41	42.9±0.73	119.6±2.03	598.3±10.29
July 30 (B)	Cheonganok	448.6±8.30 ^d	69.4±1.28 ^a	224.0±4.14 ^c	742.1±13.73 ^c
	Pyeonganok	453.7±8.39 ^{cd}	64.4±1.19 ^b	222.7±4.12 ^c	740.8±13.71 ^c
	Pyeongangok	415.9±6.65 ^e	56.3±0.90 ^d	187.7±3.00 ^e	659.9±10.56 ^{ef}
	Jangdaok	425.4±7.66 ^e	50.0±0.90 ^e	169.5±3.05 ^f	644.8±11.61 ^f
	Andaok	419.2±7.55 ^e	57.3±1.03 ^d	213.2±3.84 ^d	689.7±12.42 ^d
	Cheongdaok	293.2±4.84 ^g	41.0±0.68 ^g	130.2±2.15 ^h	464.4±7.66 ^g
	Dapyeongok	466.2±7.46 ^c	57.0±0.91 ^d	153.1±2.45 ^g	676.2±10.82 ^{de}
	Singwangok	458.3±7.79 ^{cd}	47.6±0.81 ^f	225.1±3.83 ^c	731.0±12.43 ^c
	Yanganok	593.8±10.09 ^a	61.5±1.05 ^c	255.1±4.34 ^a	910.3±15.48 ^a
	Gangdaok	364.4±6.19 ^f	64.5±1.10 ^b	237.7±4.04 ^b	666.7±11.33 ^e
	Kwangpyeongok	489.2±8.32 ^b	69.8±1.19 ^a	236.0±4.01 ^b	795.1±13.52 ^b
mean of July 30±S.D.		438.9±7.46	58.1±0.99	204.9±3.48	701.9±11.93
LSD(0.05) between A & B		ns[‡]	5.67	20.3	70.5

[†]Means in a column by with different superscript letters are significantly different according to the Duncan's multiple-range test at $p < 0.05$.

[‡]ns: not significant.

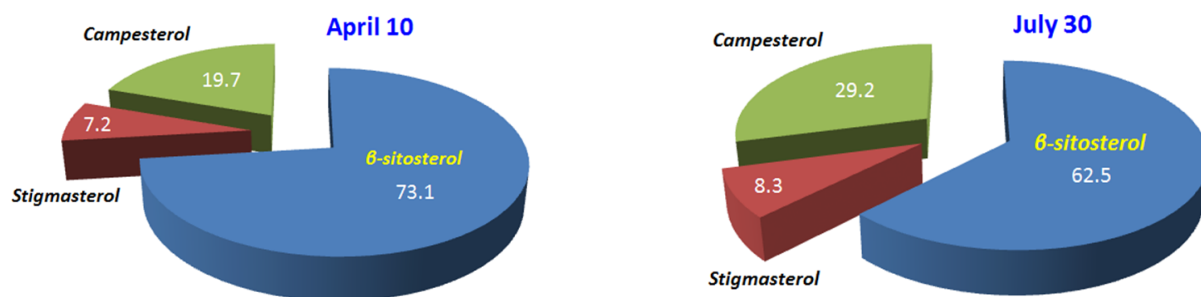


Fig. 3. Comparison of phytosterol composition of maize varieties by planting dates. Presented data are the mean values of each phytosterol in 11 maize varieties.

Table 6. Relationship between 100-kernel weight, crude oil contents, fatty acid composition, and phytosterol contents in maize tested.

Planting date	Traits	Crude oil	Fatty acids						Phytosterols			
			Palmitic (C16:0)	Stearic (C18:0)	Oleic (C18:1)	Linoleic (C18:2)	Linolenic (C18:3)	USFA	β -sitosterol	Stigmasterol	Campesterol	Total phytosterol
April 10	100-KW [†]	-0.305	0.108	0.180	0.229	-0.275	-0.244	-0.140	0.438*	0.345*	0.327	0.415*
	Crude oil		0.065	-0.301	-0.034	-0.264	0.526**	0.027	-0.404*	-0.339	-0.613**	-0.464**
	C16:0			0.497**	-0.497**	-0.012	-0.216	-0.971**	0.258	0.123	0.185	0.236
	C18:0				-0.196	-0.256	-0.099	-0.689**	0.542**	0.344*	0.539**	0.541**
	C18:1					-0.715**	-0.385*	0.469**	-0.055	-0.093	-0.149	-0.083
	C18:2						0.064	0.081	-0.161	-0.064	0.093	-0.093
	C18:3							0.207	-0.116	0.035	-0.233	-0.137
	USFA [‡]							-	-0.364*	-0.197	-0.302	-0.346*
July 30	100-KW	0.232	0.054	0.015	0.184	-0.065	-0.219	0.052	0.201	-0.529**	-0.150	0.039
	Crude oil		-0.012	0.275	0.145	-0.504**	0.643**	0.056	-0.218	-0.459**	-0.325	-0.304
	C16:0			0.275	-0.418*	-0.230	-0.061	0.971**	-0.381*	-0.254	-0.489**	-0.458**
	C18:0				0.447**	-0.796**	0.222	0.497**	-0.257	-0.129	-0.096	-0.220
	C18:1					-0.602**	-0.094	-0.267	0.320	0.076	0.161	0.282
	C18:2						-0.467**	-0.405**	0.229	0.291	0.383*	0.319
	C18:3							0.001	-0.435*	-0.349*	-0.412*	-0.474*
	USFA							-	-0.409*	-0.260	-0.465**	-0.468**

*, ** statistically significant at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively.

[†]100-KW: 100 kernel weight, [‡]USFA: unsaturated fatty acid

환경요인 등을 정확히 고찰할 필요가 있다.

Kim *et al.* (2018)는 β -sitosterol, campesterol 및 stigmasterol은 옥수수의 종실과 속대 모두에서 검출이 되지만 phytosterol의 전구물질인 Δ^7 -avenasterol, Δ^7 -stigmastenol, Δ^5 -avenasterol 등은 속대에서만 검출되기 때문에 phytosterol은 속대에서 생성된 후 종실로 전이되거나, 속대에서 생성된 전구물질들이 종실로 전이되어 phytosterol을 합성하는 것으로 추정한다. 따라서 등숙중 온도의 변화에 따른 phytosterol의 전구물질들과 지방산과의 관계에 대한 구체적인 연구가 수행된다면 phytosterol과 지방산이 결합된 sterol esters의 생합성 기작에 관한 정보를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

Phytosterol은 다양한 식물에 함유되어 있음에도 불구하고 함량이 낮아 실용화에 한계가 있으나 옥수수는 종실을 비롯한 속대 등 가공부산물도 함량이 높아 각종 식·의약 소재로 널리 이용되고 있다(Chung & Ohms, 2000; Kim *et al.*, 2018; Ryan *et al.*, 2007). 따라서 본 연구를 통해 얻어진 옥수수 이기작 재배에 따른 지방산의 조성 및 phytosterol

등 유용성분 기초결과는 이기작재배의 조기정착화 및 부가가치 향상에 도움이 될 것으로 판단된다.

적 요

옥수수 이기작에 따른 종실의 지방산조성과 phytosterol 함량의 변화를 검토하여 이기작의 조기정착화 및 수확된 농산물의 부가가치 향상을 위한 기초자료로 활용하고자 본 연구를 실시하여 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 전기작(4월 10일 파종) 옥수수 11품종의 평균 출사일수는 89.5일이었고, 후기작(7월 30일 파종) 옥수수의 평균 출사일수는 46.7일로서 후기작의 출사일수가 전기작에 비해 약 43일 빨랐다.
2. 전기작 옥수수 11품종의 평균 백립중은 28.4 g이었으나 후기작은 18.1 g으로 전기작에 비해 약 10.3 g (36.4%) 백립중이 감소되었고, 조지방 함량은 전기작이 3.97%, 후기작은 3.08%로서 전기작에 비해 약 0.89% 함량이

- 낮았다.
3. 전기작 옥수수의 지방산 조성은 linoleic 51.66% > oleic 29.52% > palmitic 14.33% > linolenic 2.30% > stearic acid 2.18%이었고, 후기작은 linoleic 53.06% > oleic 27.33% > palmitic 15.43% > linolenic 2.58% > stearic acid 1.61% 였다.
 4. Stearic과 oleic acid의 조성비는 전기작이 통계적으로 유의하게 높았고, palmitic과 linoleic acid는 후기작이 높았으나 linolenic acid는 차이가 없었다.
 5. 조지방 함량은 전·후기작 모두 linoleic acid와 부상관(전기작 -0.264^{ns} , 후기작 -0.504^{**}), linolenic acid와 정상관(0.526^{**})이 있었고, 불포화지방산 비율은 전기작 83.48%, 후기작 82.96%로서 이기작에 따른 유의차가 있었다.
 6. 총 phytosterol 함량은 전기작이 598.3 mg/100g, 후기작은 701.9 mg/100g으로 이기작에 따른 유의차가 있었고, β -sitosterol은 이기작간 차이가 없었으나 campesterol 및 stigmasterol은 후기작의 함량이 전기작 보다 유의하게 높았으며, 불포화지방산은 phytosterol 함량과 전·후기작 모두 유의한 부의 상관(전기작 -0.346^* , 후기작 -0.468^{**})을 보였다.
 7. Phytosterol 함량이 후기작에서 높았던 것은 등숙 중기부터 기온이 저하되면서 전분축적이 지연되어 종실의 충실도가 낮아진 반면 phytosterol은 전분보다 상대적으로 빠르게 종실 축적이 이루어졌기 때문인 것으로 사료되었다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 작물시험연구사업(ATIS 과제번호: PJ01249702)의 지원으로 수행된 결과입니다.

인용문헌(REFERENCES)

- Ayerdi, G. A., M. Berger, F. Labalette, S. Centis, J. Dayde, and A. Calmon 2015. Comparative analysis of fatty acids, tocopherols and phytosterols content in sunflower cultivars (*Helianthus annuus*) from a three-year multi-local study. *PHYTON* 84 : 14-25.
- Butts-Wilmsmeyer, C. J., J. R. Seebauer, L. Singleton, and F. E. Below. 2019. Weather during key growth stages explains grain quality and yield of maize. *Agronomy*. 9(1) : 16. doi: 10.3390/agronomy9010016.
- Chung, O. K. and J. B. Ohms. 2000. Cereal lipids. In: Handbook of Cereal Science and Technology, 2nd ed. Marcel Dekker New York, NY, U.S.A. pp. 417-477.
- Davis, D. L. and C. G. Poneleit. 1975. Sterols in developing seed from low and high oil zeo mays strains. *Phytochemistry*. 140 : 1201-1203.
- Howell, T. J., D. E. MacDougall, and P. J. Jones. 1998. Phytosterols partially explain differences in cholesterol metabolism caused by corn or olive oil feeding. *J. Lipid Res.* 39(4) : 892-900.
- Jung, G. H., J. E. Lee, J. H. Seo, S. L. Kim, D. W. Kim, J. T. Kim, T. Y. Hwang, and Y. U. Kwon. 2012. Effects of seeding dates on harvesting time of double cropped waxy corn. *Korean J. Crop Sci.* 57(2) : 195-201.
- Kemp, R. J. and E. I. Mercer. 1968. Studies on the sterols and sterol esters of the intracellular organelles of maize shoots. *Biochem. J.* 110 : 119-125.
- Kim, M. J., H. J. Park, S. L. Kim, J. T. Kim, K. S. Woo, Y. U. Kwon, and I. M. Chung. 2014a. Comparison on the pasting properties of waxy corn 'Ilmichal' during ripening with different sowing dates. *J. Agr. Sci. Chungbuk Nat'l Univ.* 30(2) : 161-165.
- Kim, M. J., J. E. Lee, J. T. Kim, G. H. Jung, Y. Y. Lee, S. L. Kim, and Y. U. Kwon. 2014b. Changes in ear and kernel characteristics of waxy corn during grain filling stage by double cropping. *Korean J. Crop Sci.* 59(1) : 73-82.
- Kim, M. J., J. E. Lee, J. T. Kim, G. H. Jung, J. S. Lee, S. L. Kim, K. J. Youn, W. H. Kim, and I. M. Chung. 2015. Changes in ear and kernel characteristics of colored waxy corn hybrids during ripening with different sowing dates. *Korean J. Crop Sci.*, 60(3) : 308-317.
- Kim, S. L., M. J. Kim, G. H. Jung, Y. Y. Lee, B. Y. Son, J. T. Kim, J. S. Lee, H. H. Bae, Y. S. Go, S. G. Kim, and S. B. Baek. 2018. Identification and quantification of phytosterols in maize kernel and cob. *Korean J. Crop Sci.* 63(2) : 131-139.
- Meza, F. J., D. Silva, and H. Vigil. 2008. Climate change impacts on irrigated maize in Mediterranean climates: Evaluation of double cropping as an emerging adaptation alternative. *Agricultural Systems*. 98 : 21-30.
- Meng, Q., H. Wang, P. Yan, J. Pan, D. Lu, Z. Cui, F. Zhang, and X. Chen. 2017. Designing a new cropping system for high productivity and sustainable water usage under climate change. *Scientific Reports*. 7 : 1-12.
- Orhun, G. E. and K. Z. Korkut. Interrelationships among the oil and fatty acids in maize. *Afr. J. Agric. Res.* 6(9) : 2115-2117.
- Rebecca, E., B. Scholz, and K. H. Engel. 2013. Analysis of free phytosterols/stanols and their intact fatty acid and phenolic acid esters in various corn cultivars. *J. Cereal Sci.* 58 : 333-340.
- Ryan, E., K. Galvin, T. P. O'Connor, A. R. Maguire, and N. M. O'Brien. 2007. Phytosterol, squalene, tocopherol content and fatty acid profile of selected seeds, grains, and legumes. *Plant Foods Hum. Nutr.* 62 : 85-89.
- Singh, N., S. Vasudev, D.K. Yadava, D.P. Chaudhary, and K.V. Prabhu. 2014. Oil improvement in maize: Potential and prospects. In: Chaudhary D.P. *et al.* (eds.), *Maize: Nutrition dynamics and novel uses*. Springer India 2014 : 77-82.

- Weber, E. J. 1969. Lipids of maturing grain of corn (*Zea mays* L.) : I. Changes in lipid classes and fatty acid composition. J. Am. Oil Chem. Soc. 46 : 485-488.
- Widstrom, N. W. and J. R. Young. 1980. Double cropping corn on the coastal plain of the southeastern United States. Agron. J. 72(2) : 302-305.
- Zhou, B., Y. Yue, X. Sun, Z. Ding, W. Ma, and M. Zhao. 2017. Maize kernel weight responses to sowing date associated variation in weather conditions. Crop J. 5(1) : 43-51.