찰옥수수 2기작 재배시 등숙 중 이삭 및 종실 특성 변화

김미정[†] · 이재은 · 김정태 · 정건호 · 이유영 · 김선림 · 권영업

국립식량과학원

Changes in Ear and Kernel Characteristics of Waxy Corn during Grain Filling Stage by Double Cropping

Mi-Jung Kim[†], Jae-Eun Lee, Jung-Tae Kim, Gun-Ho Jung, Yu-Young Lee, Sun-Lim Kim, and Young-Up Kwon

National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

ABSTRACT This study was conducted to investigate the ear and kernel characteristics of waxy corn during ripening by double cropping, and to understand the pattern of starch accumulation in endosperm of waxy corn kernels. Chalok4 and Ilmichal were sown at April 20 (first cropping) and July 20 (second cropping) in 2011~2012. The accumulated temperature from silking to harvesting was about 590~630°C. It takes 23~24 days when Chalok4 and Ilmichal were sown in April 20, but July 20 sowing takes 32~35 days. Ear length and kernel set length were significantly shorter in second cropping ($p<0.05$). Kernel length, kernel width, 100-kernel weight, and starch content of waxy corn were increased as ears matured ($p<0.05$). Growth temperature was getting decreased during the ripening stage of second cropping, the rate of ear and kernel development had slowed. Starch granules started to accumulate in the cells around the pericarp, then developed in the cells around the embryo. In the second cropping, starch granules in the kernel of waxy corn were less compact than the first cropping, harvesting time of waxy corns can be extended. These results will be helpful to farmers for double cropping of waxy corn cultivation and management.

Keywords : waxy corn, double cropping, kernel development, starch accumulation

우리나라의 식용 옥수수는 2011년을 기준으로 약 15천 ha 정도 재배되고 있다(MIFAFF, 2012). 식용 옥수수의 대부분은 찰옥수수가 차지하고 있으며, 찰옥수수는 주로 찹쌀 상태로 찌서 먹는 간식용으로 이용되며, 다른 작물에

비해 수익성이 높아 농가에서 주목 받고 있는 소득작물의 하나로 평가되고 있다.

일반적으로 찰옥수수의 재배는 4월에 파종하여 7월 중·하순에 수확하는 형태로 이루어지고 있기 때문에 수확물량이 여름에 집중되어 홍수출하로 인한 찰옥수수의 가격폭락 문제가 빈번히 발생되고 있는 실정이다. 최근 개발되어 보급 중인 찰옥수수 2기작 재배방법은 관행 재배에 비하여 간식용 찰옥수수의 수확시기를 전기작에서는 앞당기고, 후기작에서는 늦춰줌으로써 찰옥수수의 공급기간을 7월 상순에서 10월 중·하순으로 확대시키는 계기가 되었다(Jung *et al.*, 2012). 이로 인해 찰옥수수 재배농가는 소득이 증대되고, 소비자는 찰옥수수를 맛 볼 수 있는 기간이 늘어나게 되는 이점을 제 공하였다. 찰옥수수는 주로 이삭째 찌서 먹기 때문에 이삭의 품질이 상품성을 좌우하고, 수확시기를 놓치면 알곡이 딱딱 해지고 식미에 큰 영향을 미치므로 수확시기가 중요하다(Ketthaisong *et al.*, 2013). 현재 찰옥수수 2기작 재배기술이 농가에 보급되고 있으나 후기작 재배시 등숙 특성에 대한 연구 및 수확 시기 관련 정보가 상대적으로 미흡한 실정이다.

찰옥수수 등숙 특성에 대한 연구로는 출사 후 일수에 따른 찰옥1호의 품질 특성 연구(Kim *et al.*, 1994)와 파종기별 찰옥1호, 찰옥2호와 대학찰의 등숙 특성 연구(Yun *et al.*, 1999)가 보고되었으나 그 후 국내에서 육성된 찰옥수수 품종의 등숙 특성에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구는 간식용 찰옥수수 주요 품종인 찰옥4호와 일미찰을 이용하여 2기작 재배시 파종시기에 따른 이삭과 종실 특성을 비교하여 품질 좋은 찰옥수수 생산을 위한 재배법을 확립하고자 수행하였다.

[†]Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6752 (E-mail) tyche@korea.kr

<Received 21 October, 2013; Revised 29 November, 2013; Accepted 8 January, 2014>

재료 및 방법

시험재료

본 연구에서는 파종시기에 따른 찰옥수수의 등숙 중 이삭 및 종실 특성 변화를 비교하기 위하여 농촌진흥청 국립식량과학원에서 육성된 중만생종 품종인 찰옥4호와 일미찰을 이용하였다. 시험 품종은 수원시 권선구 탑동 소재 국립식량과학원 발작물시험연구포장에서 2년간(2011~2012년) 재배하였다. 전기작 재배는 4월 20일, 후기작은 7월 20일에 노지직파 하였으며, 재배 관리는 옥수수 표준재배법에 준하였다. 찰옥수수 이삭은 출사일에서 18일 후부터 3일 간격으로 채취하여 이삭 및 종실의 특성조사와 미세전분구조 관찰에 사용하였다.

이삭 및 종실 특성 조사

2기작 재배한 찰옥수수의 출사 후 일수에 따른 이삭 및 종실 특성을 조사하였다. 이삭특성은 찰옥수수 이삭을 채취하여 포엽을 제거한 후 이삭무게, 이삭길이, 착립길이, 이삭직경, 알곡 줄수, 줄당 립수를 조사하였다. 종실의 크기는 Mitutoyo digimatic caliper(CD-15CP, Japan)을 이용하여 길이, 너비, 두께를 측정하였고, 이삭 중간부위의 종실을 이용하여 100립 무게를 측정하였다. 찰옥수수의 전분함량은 total starch assay kit(Megazyme International, Wicklow, Ireland)를 이용하여 분석하였다.

미세전분구조 관찰

전기작과 후기작 찰옥수수의 등숙 중 미세전분구조 관찰을 위하여 출사 후 일수별로 수확한 찰옥수수의 종실을 이용하였다. 찰옥수수 종실을 Karnovsky 고정액(Karnovsky, 1965)에 넣고 4℃에서 24시간 동안 고정시키고 0.2M Milonig's phosphate buffer(pH 7.4)로 세척하고, 1% osmium tetroxide

(OsO₄)에 4℃에서 2시간 처리하였다. 증류수로 세척 후 50~95% ethyl alcohol에 각각 80분, 100% ethyl alcohol에 2시간, 100% amyl acetate에 120분간 4회 탈수처리하였다. 탈수를 끝낸 시료는 PelcoTM CPD-2 critical point dryer(Ted Pella Inc., Redding, Calif.)에서 건조시키고 Pelco SC-4 sputter coater(Ted Pella, Inc.)를 이용하여 도금하였다. 도금된 시료는 주사전자현미경(Scanning Electron Microscopy, LEO 440, ZEISS, England)을 이용하여 관찰하였다.

물성측정

찰옥수수 종실의 물성은 종실 30립을 스테인레스 용기에 물 5 mL과 함께 넣고 98~100℃의 상압에서 50분간 열을 가한 후 즉시 꺼내어 보온을 유지시키면서 texture analyzer(TA Instruments, USA)를 이용하여 측정하였다. 2 mm probe를 이용하여 test speed 1mm/s로 경도(hardness), 부착성(adhesiveness), 씹힘성(chewiness), 응집성(cohesiveness), 점착성(gumminess) 및 탄력성(springiness)을 측정하였다.

통계 분석

통계분석은 SAS 9.2(Statistical Analysis Systems Inc., Raleigh, NC, USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 하였으며 최소유의차검정(Fisher's least significant difference test)과 던컨의 다중범위검정(Duncan's multiple range test)으로 5% 유의수준에서 검정하였다.

결과 및 고찰

찰옥수수 2기작 재배와 적산온도

찰옥수수 2기작 재배시 파종부터 등숙기간 동안의 적산온도를 Fig. 1에 나타내었다. 전기작 재배한 찰옥 4호와 일미찰의 파종일로부터 출사일수는 약 70~78일이었으나 후

Fig. 1. Comparison of accumulated temperature from sowing to ripening in the waxy corn by double cropping. ²DAS : days after silking.

기작에서는 약 53~55일로 전기작보다 약 20일 정도 빨랐으나, 출사일까지의 적산온도는 전기작에서는 약 1,400~1,420°C, 후기작은 약 1,380~1,400°C 정도의 범위로 전후기작 간에 큰 차이를 보이지 않았다. 출사 후 수확 적기까지의 적산온도는 전기작이 약 590~610°C, 후기작은 약 600~630°C 정도의 범위를 나타내었다. 이 결과는 찰옥수수의 생태형에 따라 출사 후 수확까지의 적산온도는 약 600~680°C 정도, 파종부터 수확까지는 약 1,700~2,100°C 정도의 범위에 있었다는 Jung *et al.*(2012)의 보고와 비슷한 경향을 나타내었다. 전기작 재배시 수확 적기는 출사 후 약 23~24일 정도인 반면 후기작은 약 32~35일 정도로 약 10일 정도 느려졌다. 이와 같은 결과는 후기작은 전기작에 비하여 생육초기의 고온에 의하여 출사일이 단축되지만 등숙기에는 기온이 점점 낮아짐에 따라 등숙 속도가 느려져 수확 적기가 지연되는 것으로 판단되었다.

이삭 특성 비교

2기작 재배한 찰옥수수의 이삭을 비교하기 위해 출사 후

일수별로 조사하였다(Fig. 2). 이삭무게는 전기작 재배시 출사 후 18일에서 30일까지 찰옥 4호는 49.3%, 일미찰은 37.7%, 후기작은 18일에서 45일까지 각각 57.4%, 62.2% 증가했으며, 출사 후 일수가 경과함에 따라 유의하게 증가하였다($p<0.05$, Fig. 3). 수확 적기에 수확한 이삭무게는 찰옥 4호와 일미찰 모두 전기작에 재배한 것이 후기작보다 더 무거운 편이었지만 유의한 차이는 없었다. 이삭직경은 전기작 출사 후 18일에서 30일까지 찰옥 4호는 13.5%, 일미찰은 10.5%, 후기작은 18일에서 45일까지 각각 12.8%, 13.5% 늘어났으며 출사 후 일수가 경과함에 따라 유의하게($p<0.05$) 증가하였는데(Fig. 4), 이와 같은 결과는 종실 발달에 의한 종실 길이의 변화와 밀접한 관계를 맺고 있다고 한 Kim *et al.*(1994)의 결과와도 부합된다.

Nielsen(2007)은 옥수수의 이삭당 알곡 줄수는 유전적 영향이 강하고 환경적 영향은 적으나 줄당 립수와 이삭 길이는 재배환경에 의한 영향이 크다고 하였다. 이것은 줄당 립수와 이삭길이가 재배시기에 따라 크게 달라질 수 있다는 것을 의미한다. 본 시험에서 2기작 재배한 찰옥 4호와 일미

Fig. 2. Comparison of waxy corn hybrid ears during ripening with different sowing date. ²DAS: Days after silking.

Fig. 3. Changes of the fresh ear weight of waxy corn according to days after silking with different sowing date (A and B) and comparison of the fresh ear weight in optimum harvesting stage (C). ns : not significant.

Fig. 4. Changes of the ear diameter of waxy corn according to days after silking with different sowing date. Means with different letters are significantly different at 5% significance level by Duncan's multiple range test.

Fig. 5. Comparison on ear length, kernel set length, number of rows and number of kernels per row of waxy corn with different sowing date. Means with different letters are significantly different according to least significant difference(LSD) test ($p < 0.05$). ns : not significant.

찰의 알곡 줄수는 파종시기에 따른 차이를 보이지 않았다 (Fig. 5). 반면 줄당 립수는 찰옥 4호가 전기작보다 후기작에 재배한 것이 적었으며 변이폭이 큰 것($p < 0.05$)을 확인할 수 있었는데, 일미찰은 파종시기에 따른 차이가 없었다(Fig. 5). 찰옥수수의 이삭길기와 착립길이 또한 Fig. 5에서 보는 바와 같이 전기작보다 후기작에서 유의하게 짧은 것을 확인할 수 있었고 특히 찰옥 4호가 일미찰보다 변이가 컸다. Jung *et al.* (2012)도 2기작 재배하였을 때 전반적으로 후기작의 이삭길기가 더 짧고 일미찰보다 찰옥 4호의 이삭길이 감소가 더 크다고 보고하였다. 이러한 결과로 판단하였을

때 찰옥 4호가 일미찰보다 재배환경 변화에 민감하다는 것을 알 수 있었다. 이삭길기와 착립길이($r = 0.95^{***}$), 이삭길기와 줄당 립수($r = 0.63^{***}$), 그리고 착립길기와 줄당 립수($r = 0.66^{***}$)는 고도의 정의 상관을 보였다.

종실 특성 비교

2기작 재배한 찰옥수수의 등숙기간 중 종실의 길이, 너비와 두께를 측정된 결과는 Fig. 6~8에 나타내었다. 종실의 길이는 전기작 재배시 출사 후 18일에서 30일까지 찰옥 4호는 6.78~8.92 mm, 일미찰은 7.79~9.45 mm, 후기작은

Fig. 6. Comparison on the kernel length of waxy corn according to days after silking with different sowing date. Means with different letters are significantly different at 5% significance level by Duncan's multiple range test.

Fig. 7. Comparison on the kernel width of waxy corn according to days after silking with different sowing date. Means with different letters are significantly different at 5% significance level by Duncan's multiple range test.

Fig. 8. Comparison on the kernel thickness of waxy corn according to days after silking with different sowing date. Means with different letters are significantly different at 5% significance level by Duncan's multiple range test.

Fig. 9. Comparison on the 100 kernel weight (fresh weight base) of waxy corn according to days after silking with different sowing date. Means with different letters are significantly different at 5% significance level by Duncan's multiple range test.

출사 후 18일에서 45일까지 각각 7.09~10.03 mm, 7.02~9.92 mm의 범위에서 출사 후 일수가 경과함에 따라 유의하게 증가하였으며($p<0.05$), 전기작(약 26.5%)보다 후기작(약 41.4%) 재배시 종실 길이의 증가 정도가 컸다(Fig. 6). 또한 종실 길이는 이삭 직경과 고도의 정의상관을 보였다($r=0.75^{***}$).

종실 너비는 전기작에서 찰옥 4호와 일미찰이 7.06~9.96 mm, 8.00~10.62 mm, 후기작에서는 각각 7.16~10.36 mm, 6.93~10.72 mm의 범위에서 유의하게 증가하였으며($p<0.05$), 전기작에서는 약 37.0%의 변화를 보인 반면 후기작에서는 49.7%의 증가율을 보여 종실의 길이, 너비, 두께

Fig. 10. Changes of the total starch content of waxy corn according to days after silking with different sowing date.

중에서 너비가 등숙기간 중 가장 많이 증가한다는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 7). 수확적기의 찰옥 4호는 파종시기에 따라 종실의 길이와 너비에서 유의한 차이가 있었다($p<0.05$).

2기작 재배시 등숙 중 종실 길이와 너비의 변화와 달리 두께의 변화는 전기작(약 12.9%)이 후기작(약 9.2%) 보다 큰 변화를 보였고, 수확적기에 수확한 일미찰은 파종시기에 따라 두께에 유의한 차이를 보였다($p<0.05$, Fig. 8). 이러한 결과는 수확적기와 전후 4일 간격으로 대하찰옥수수의 종실 특성을 비교하였을 때 수확시기가 늦어짐에 따라 종실의 길이와 너비가 유의적으로 증가하고 두께는 유의적인 차이를 보이지 않았다는 Lee *et al.*(2010)의 보고와 비슷한 결과를 나타내었다.

종실 100립 생체중의 변화는 Fig. 9에 나타난 바와 같이 출사 후 일수가 경과함에 따라 전기작에서는 찰옥 4호가 16.89~39.42 g, 일미찰은 23.87~43.35 g, 후기작은 각각 16.38~41.03 g, 15.36~44.26 g의 범위에서 유의하게 증가하였는데($p<0.05$), 후기작의 경우 성숙기의 온도가 낮아지면서 100립 무게의 변화속도가 느려지는 것을 관찰할 수 있었다. 수확적기에 수확하여 측정한 찰옥 4호와 일미찰의 100립의 생체중은 각각 약 29 g과 35 g 정도로 재배시기에 따른 차이를 보이지 않았다. 종실 100립의 생체중은 전분함량과 고도의 정의상관을 보였다($r=0.93^{***}$).

Fig. 11. Features of scanning electron micrographs (SEM) of the waxy corn starch granule in the cells around the pericarp ($\times 1,500$).

Fig. 12. Features of scanning electron micrographs (SEM) of the waxy corn starch granule in the cells around the embryo ($\times 1,500$).

2기작 재배한 찰옥수수의 전분함량을 측정한 결과는 Fig. 10와 같다. 전분함량은 출사 후 일수가 경과함에 따라 전기작에서는 찰옥 4호가 33.2~57.0%, 일미찰은 36.2~53.4%, 후기작 재배시에는 찰옥4호가 20.9~59.0%, 일미찰은 23.8~60.0%의 범위에서 유의하게 증가하였다. 찰옥수수 종실의 전분함량 또한 후기작 재배는 전기작에 대비 등숙기의 저온으로 전분 축적 속도가 느린 것을 확인할 수 있었다. 수확적기의 찰옥수수 종실의 전분함량은 전기작 재배시 약 48%, 후기작은 약 45% 정도로 전기작에 재배한 것이 유의하게 높았다($p < 0.05$).

주사전자현미경(SEM)을 이용한 등숙 중 전분미세구조 관찰

주사전자현미경(SEM)을 이용하여 찰옥수수의 전분립 축적양상을 관찰하였다. Fig. 11과 12에서 보는 바와 같이 찰옥수수의 전분립은 과피와 가까운 배유의 상단부터 집적되기 시작하여 출사 후 일수가 경과함에 따라 내부까지 조밀하게 집적되었는데, Guo *et al.*(2006)도 같은 결과를 보였다고 보고하였다. 전분립의 축적 속도가 전기작에 재배한 것이 후기작보다 빠른 것을 현미경 관찰을 통해서도 확인하였으며, 후기작 재배한 찰옥수수의 전분립의 축적 정도가 전

기작에 비해 조밀하지 않은 것은 전분 함량과도 관계가 있을 것으로 판단되었다. 또한 전기작 재배시에는 수확 적기가 2~3일만 지나도 종실이 딱딱해져 식미감에 많은 영향을 미치는데 후기작 재배시에 전분립의 축적속도가 느린 것은 전기작에 비해 풋옥수수의 수확시기가 길어지기 때문에 홍수출하에 따른 문제점을 다소 해결할 수 있을 것으로 판단되었다.

찰옥수수 종실의 물성 비교

파종시기별 출사후 일수에 따른 찰옥수수 종실의 물성을 texture analyzer로 측정한 결과는 Table 1과 같다. 전반적으로 출사 후 일수가 경과할수록 springiness, gumminess, cohesiveness, hardness 및 chewiness는 증가하는 경향을 보였으나 adhesiveness는 감소하는 경향이였다. 이러한 결과는 대찰찰옥수수를 이용하여 경도를 측정한 결과 출사 후 15일에서 30일까지 증가하였다는 Oh(2012)의 결과와 비슷하였으며 출사 후 일수가 경과하면서 전분이 축적되기 때문인 것으로 판단된다. 후기작으로 재배한 종실의 물성측정 결과가 뚜렷한 경향치를 나타내지 못한 것은 상대적으로 종실의 크기가 작고 전분 축적 정도가 전기작 만큼 치밀하지 못하

Table 1. Comparison on texture profile of waxy corn kernels according to days after silking with different sowing date.

Sowing date	DAS ^z	Springiness (%)	Gumminess (g)	Cohesiveness (%)	Adhesiveness (g)	Hardness (g/3.14 mm ²)	Chewiness (g)
April 20	18	0.52d ^y	22.69d	0.12e	-3.72a	178.48b	14.24d
	21	0.75c	24.75cd	0.17d	-5.51a	149.84c	19.64d
	24	0.84b	30.87c	0.20c	-10.74ab	154.23bc	26.98c
	27	0.89b	40.39b	0.23b	-15.78b	172.86bc	35.28b
	30	0.97a	66.09a	0.28a	-28.72c	233.83a	64.48a
July 20	18	0.56d	39.96bc	0.22a	-2.00a	184.38cd	23.02d
	21	0.65cd	48.09a	0.22a	-1.65a	197.29bc	29.51bc
	24	0.60d	39.07cd	0.17bc	-2.76a	240.31a	24.49cd
	27	0.75bc	32.95cd	0.16c	-6.78ab	205.01bc	25.42bcd
	30	0.90ab	34.04cd	0.23a	-8.52ab	180.90cd	31.18b
	33	0.81b	31.81d	0.19abc	-7.55ab	183.15cd	26.82bcd
	36	0.88ab	32.58cd	0.21ab	-11.05bc	158.47d	28.72bcd
	39	0.82b	33.33cd	0.20abc	-15.26c	164.19d	28.82bcd
	42	1.00a	34.36cd	0.19abc	-13.31bc	181.86cd	29.55bc
	45	0.86ab	46.60ab	0.22a	-22.00d	218.94ab	40.78a

^zDAS: Days after silking^yMeans in a column by different letters are significantly different at 5% significance level by Duncan's multiple range test**Table 2.** The correlation among texture profile, 100-kernel weight and total starch content in waxy corn by double cropping.

	Total starch	Cohesiveness	Adhesiveness	Chewiness	Springiness
100 kernel weight	0.93***	0.44***	-0.80***	0.55**	0.80***
Total starch			-0.81***	0.49**	0.79***

** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

였지만 texture analyzer의 probe가 종실 과피를 통과하는 것에 어느 정도의 힘이 작용했기 때문이라고 판단되었다.

물성과 관련된 특성들 간의 상관관계는 Table 2와 같다. 100립 생체중은 springiness(0.80***), cohesiveness(0.44***), adhesiveness(-0.80***), chewiness(0.55**), 전분 함량은 springiness(0.79***), adhesiveness(-0.81***), chewiness(0.49**)와 고도로 유의한 정의 상관을 나타내었다.

적 요

본 연구에서는 간식용 풋옥수수로 이용되는 찰옥수수 주요 품종인 찰옥 4호와 일미찰을 2기작 재배하여 품질 좋은 찰옥수수 생산을 위한 재배법을 확립하고자 이삭과 종실 특성 변화를 조사하였다. 2기작 재배시 출사일수는 후기작이 전기작 보다 약 20일 정도 빨라졌고, 출사에서 수확적기까

지는 약 10일 정도 느려졌다. 파종에서 출사까지의 적산온도는 약 1,380~1,420℃, 출사에서 수확까지는 약 590~630℃ 정도 범위였다. 이삭무게와 이삭직경은 출사 후 일수가 경과함에 따라 유의하게 증가하였으나 파종시기에 따른 차이는 없었고, 이삭길이와 착립길이는 후기작에서 유의하게 짧았다($p < 0.05$). 알곡 줄수는 파종시기에 따른 차이를 보이지 않았고, 줄당 립수는 찰옥 4호가 전기작보다 후기작에 재배한 것이 적었으며 변이폭이 컸다($p < 0.05$). 등숙 중 종실의 길이, 너비, 두께와 100립 생체중, 전분함량은 출사 후 일수에 따라 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 후기작 재배시 저온 등숙으로 전기작 보다 100립 생체중과 전분함량의 증가속도가 느려졌다. 찰옥수수의 전분립은 과피와 가까운 배유의 상단부터 집적되기 시작하여 출사 후 일수가 경과함에 따라 배유 내부까지 집적되었으며, 후기작 재배한 찰옥수수는 전분립 축적속도가 느리고 조밀하지 않은 것이 관찰

되었다. 100립 생체중은 springiness(0.80^{***}), cohesiveness(0.44^{***}), adhesiveness(-0.80^{***}), chewiness(0.55^{***}), 전분 함량은 springiness(0.79^{***}), adhesiveness(-0.81^{***}), chewiness(0.49^{***})와 고도로 유의한 정의 상관을 나타내었다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 작물시험연구사업(ATIS 과제번호: PJ007632, PJ008712)의 지원으로 수행된 결과입니다.

인용문헌

- Guo, S. J., J. R. Li, W. H. Qiao, and X. S. Zhang. 2006. Analysis of amylose accumulation during seed development in maize. *Acta Genetica Sinica*. 33: 1014-1019.
- 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.* 57:195-201.
- Karnovsky, M. J. 1965. A Formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolarity for use electron microscopy. *J. Cell Biol.* 27:137-138.
- Ketthaisong, D., B. Suriham, R. Tangwongchai, and K. Lertrat. 2013. Changes in physicochemical properties of waxy corn starches at different stages of harvesting. *Carbohydrate Polymers*. 98:241-248.
- Kim, S. L., S. U. Park, S. W. Cha, J. H. Seo, and T. W. Jung. 1994. Changes of major quality characters during grain filling in waxy corn and super sweet corn. *Korean J. Crop Sci.* 39:73-78.
- Lee, S. H., I. G. Hwang, H. Y. Kim, H. K. Lee, S. H. Lee, S. H. Woo, J. Lee, and H. S. Jeong. 2010. Physicochemical property and antioxidant activity of Daehak waxy corns with different harvest times. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 39:719-724.
- MIFAFF. 2012. Food agriculture, forestry and fisheries statistical yearbook. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries.
- Nielsen, R. L. 2007. Ear size determination in corn. Purdue Univ. [On-Line]. Available at <http://www.kingcorn.org/news/timeless/EarSize.html>.
- Oh, S. Y. 2012. Effect of harvest timing and storage condition on eating quality of waxy corn. MS Thesis. Gyeongsang Nat'l Univ.
- Yun, J. T., S. U. Park, S. Y. Lee, S. H. Song, H. G. Moon, and K. H. Kim. 1999. Grain filling characteristics of waxy corn hybrids at different planting dates. *Korean J. Breed.* 31:7-13.