

경운방법 및 파종시기가 남부지역 논 재배 옥수수와 후작 양파의 생육과 수량에 미치는 영향

박원상¹ · 김감곤² · 정용현¹ · 최나영¹ · 나채인^{3,†}

Effects of Tillage Practice and Planting Date on Maize–onion Growth and Yield in Southern Regions Paddy Field

Wonsang Park¹, Gamgon Kim², Yonghyun Jeong¹, Nayoung Choi¹, and Chae-In Na^{3,†}

ABSTRACT The present study investigated the effects of tillage practices (deep cultivation [DC] and conventional tillage [CT]) and extended planting dates (mid-June to July) for maize–onion rotation in paddy fields. The silage corn (*Zea mays* L.) cultivar ‘Kwangpyeongok’ and the waxy corn cultivar ‘Ilmichal’ were planted on June 14, July 3, and July 15 in 2019. In both maize, the plant height of June 14 planted was up to 100 cm greater than that of July 15 planted on August 16 and up to 40 cm on August 30. At 30 Days after planting, the leaf area index (LAI) of silage corn planted on July 3 and 15 greater than that of corn planted on June 14 due to high temperature in the early season; however, there were no differences in the LAI of waxy corn according to the planting date. Despite favorable temperature, plants sown on July 3 and 15 experienced high moisture stress during the seedling stage due to consistent rainfall, and waxy corn was highly sensitive to high moisture stress. The total yield of silage corn was 1,232 (845 in TDN), 860 (598 in TDN), and 765 (508 in TDN) DW kg · 10a⁻¹ for plants sown on June 14, July 3, and July 15, respectively. The fresh marketable ear yield of waxy corn was 872, 814, and 525 FW kg · 10a⁻¹ for plants sown on June 14, July 3, and July 15, respectively. After the completion of maize cultivation, onion seedlings (*Allium cepa* L.) were transplanted on November 12, 2019, and harvested on May 27, 2020. Neither summer tillage nor maize planting date affected onion growth or yield. The marketable onion yield was 8,305 and 7,848 kg · 10a⁻¹ with DC and CT, respectively. In conclusion, DC did not improve maize growth or yield under paddy conditions. Mid-June to early July is a practical window for maize planting for growers in this region.

Keywords : maize, onion, planting date, tillage practice

국민 식습관의 변화로 1인당 연간 쌀 소비량이 지속적으로 감소함에 따라 정부에서는 벼의 재배면적을 줄이고 해당 논에 벼 이외의 작물을 재배하도록 지원하는 사업을 진행하고 있다(MAFRA, 2016). 논에 옥수수와 콩과 같은 여름 타작물을 재배할 경우 발작물 자급률 향상 및 쌀 수급의 안정화를 도모할 수 있다(Park *et al.*, 2014). 논재배 옥수수 면적은 2017년 1,267 ha에서 2018년 1,289 ha로 증가하였으며 논재배 양파의 경우 2017년 6,104 ha에서 2018년 9,613 ha로 증가하는 양상을 보이고 있는데(KOSIS, 2021), 남부

지역에서는 여름작물로 간식용 및 사료용 옥수수가, 그리고 겨울 소득작물로는 양파나 마늘 등이 재배되고 있다.

여름작물과 겨울작물의 이모작 재배를 위해서는 여름작물의 생육기간이 100일 내외로 짧아야 겨울작물의 재배가 용이한데(Ko *et al.*, 2018), 국내에서 사료용 및 간식용으로 많이 재배되고 있는 옥수수는 재배 기간이 85~110일 정도로 짧아 이모작 재배에 적합하다고 한다(Park *et al.*, 2016). 하지만 논에 발작물을 재배하기 위한 적절한 재배법이 확립되지 않아 생산이 불균일한 문제가 있다. 논을 밭으로 전

¹경상국립대학교 응용생명과학부 대학원생 (Graduate Student, Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea)

²㈜경농 미래농업센터 연구원 (Researcher, Kyungnong Co., Gimje 54338, Korea)

³경상국립대학교 농학과 부교수 (Associate Professor, Department of Agronomy, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea)

†Corresponding author: Chae-In Na; (Phone) +82-55-772-1878; (E-mail) nachaein@gnu.ac.kr

<Received 6 September, 2021; Revised 10 October, 2021; Accepted 14 October, 2021>

환하면 잡초 및 병충해 제어, 토양 물리성 개선, 유기물 분해 촉진 등의 장점을 갖고 있으나 배수 불량에 의한 습해 문제가 발생할 수 있다(Yoon *et al.*, 2014). 옥수수는 다른 작물에 비해 습해에 취약하므로 배수관리가 중요하다(Ji *et al.*, 2006). 옥수수는 지하수위가 높은 환경에서 습해가 발생하기 쉽고, 특히 유묘기에 장기간 침수될 경우 피해가 크다(Lee *et al.*, 1994; Shin *et al.*, 2017). 과습 상태가 지속되는 토양은 혐기적 조건에 의해 작물의 뿌리에 산소공급이 원활하지 않으며, 특히 옥수수의 경우 뿌리의 통기조직이 잘 발달되지 않아 습해의 피해가 큰 것으로 알려져 있다(Blokhina, 2000). 습해를 입은 옥수수는 잎의 급격한 노화로 광합성 저해가 일어나며, 뿌리와 줄기의 건물중이 감소하고 뿌리의 양·수분 공급 능력이 저하되어 수량이 감소한다고 한다(Kozłowski, 1984; Liu *et al.*, 2010; Musgrave & Ding, 1998; Semthurst & Shabala, 2003; Yan *et al.*, 1996). Ren *et al.* (2016)은 6일간 습해 처리를 실시한 처리구가 3일간 습해 처리를 실시한 처리구에 비해서 옥수수의 수량이 약 10% 저하되었다고 하였다. 양파는 논토양 재배 조건에서의 생육 및 수량이 밭토양에서 재배되는 양파에 비해 초장, 엽수, 평균 구 무게, 구 직경 등이 저하되었고, 수량 또한 약 30% 정도 저하되었다고 한다(Cho *et al.*, 2006). 이처럼 논토양에서 밭작물을 재배하기 위해서는 과습 피해를 경감하기 위한 재배기술이 필요하며 여름철 집중 강우에 의한 습해가 발생할 수 있으므로 토양 배수를 향상시키는 심경과 같은 적절한 재배법의 확립이 필요하다. 또한, 겨울작물 이후 옥수수의 재배가 이루어지므로 양파 수확 이후 파종이 이루어져야 한다는 것을 고려하여 여름작물의 적정 파종시기와 파종한계기의 구명이 필요하다. 기존 논 이용 옥수수 재배와 관련한 연구는 많이 진행되었으나 옥수수-양파 작부체계 내에서 재배생리에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 남부지역 논에서 사료용 및 간식용 옥수수 재배 시 후작물인 양파의 파종과 수확에 영향을 주지 않으면서도 적절한 여름작물 수량을 얻을 수 있는 합리적인 옥수수 파종 기간을 구명하고, 경운방법에 있어서 배수 개선을 위한 심경처리가 옥수수와 후작물 양파의 생육 및 수량에 미치는 영향을 알아보고자 실시하였다.

재료 및 방법

시험포장조성

본 시험은 경남 사천시 사천읍 두량리에 위치한 경상국립대학교 부속농장(35.11°N 128.12°E)에서 2019년 6월부터 2020년 5월까지 수행하였다. 시험 포장은 2017년까지 20년 이상 논으로 이용되던 포장을 전작물을 위한 밭포장으로 전환하였다. 옥수수 파종 전 실험 포장 토양조건의 경우 일반 논토양과 비교하여 pH 5.4와 EC 0.4 dS/m로 양호했으며, 유기물 함량은 15.2 g/kg, 전질소함량은 1.22 g/kg, 유효인산함량은 70.7 mg/kg으로 다소 낮았다(Table 1). 포장 조성을 위한 정지작업을 실시하고 배수를 원활히 하기 위해 농업용 굴삭기를 이용하여 파종 전 전체 포장의 주변에 40 cm 깊이의 배수로를 조성하였다. 시비량의 경우 복합비료와 요소비료를 이용해 인산과 칼리는 전량 기비로 시비하였으며 질소는 기비와 추비로 분시하여 20-15-15 kg/10a 수준으로 시비하였다. 기비는 파종 당일, 추비는 각각의 품종이 V5~6에 도달하였을 때 시비하였다.

경운 및 파종시기 처리와 포장 생육조사

경운 처리는 심경(25 cm) 후 로터리(Deep Cultivation, DC), 무경운 로터리(Conventional Tillage, CT)로 실시하였다. 양파 수확 후 옥수수의 파종한계기를 구명하기 위해 광평옥(사료용)과 일미찰(간식용)을 이용하여 2019년 6월 14일(1차 파종, control), 7월 3일(2차 파종), 7월 15일(3차 파종)로 설정하여 파종하였다. 이랑 너비는 140 cm로 조성하였으며, 재식거리는 고후 2열 표준재배로 70×30 cm로 점파를 실시하였다. 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 하였고 주구로 경운처리, 세구로는 파종시기로 구분하였다. 그 외 포장관리는 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 실시하였다(RDA, 2003). 옥수수는 수확기에 이르기까지 작물의 생육이 충분히 이루어지는지를 확인하기 위해 8월 16일, 8월 30일, 9월 16일에 초장 조사를 실시하였다. 상대적으로 재배 기간이 짧은 일미찰의 경우 6월 14일 파종 처리구의 수확 직전인 8월 30일까지만 조사하였다. 착수고의 경우 파종기에 따른 생육 단계가 달랐기 때문에 출사기 이후 각각 조사를 실시하였다. 초장 및 착수고 모두 각 처리구 당 무작위 10개체

Table 1. Soil chemical characteristics at the experimental site in 2019.

pH	EC	OM	TN	Av. P ₂ O ₅	K	Ca	Mg
5.4	0.4	15.2	1.22	70.7	0.4	9.6	2.0

를 선발하여 측정하였다. LAI 조사는 Plant canopy analyzer (LAI-2200C, LI-COR Biosciences, NE, USA)를 이용하여 각 파종시기 마다 기온 등의 차이에 의해서 나타나는 초기 생육기 초관(Canopy) 형성 속도 차이를 확인하기 위해 파종 후 약 한 달부터 15일 간격으로 각 처리구당 6회씩 'W' 패턴으로 측정하여 얻은 데이터 평균값을 이용하였다. 수량 구성요소 조사에서 사료용 옥수수인 광평옥은 호숙기(R4)에 1.4×3.5 m에 해당하는 면적의 옥수수 지상부 전체를 수확한 후 매달림 저울(Hanging scale)을 이용하여 총 생체중을 측정하였고, 이삭과 간엽의 건물중을 각각 구하기 위해 이삭과 간엽을 분리하였다. 이삭이 제외된 약 1 kg의 간엽 표본을 추출하여 70°C 순환 열풍건조기에서 완전건조한 후 건물물 값을 구해 단위 면적당 건물 수량을 산출하였다. 이삭의 경우도 따로 분리해 생체중을 조사하고 이삭장, 이삭 직경, 단위면적당 이삭수, 착립이삭률(Ratio of Kernel Set Length to Ear Length, RKSLEL) 조사를 실시한 후 70°C 순환 열풍건조기에서 완전건조하여 건물중을 측정하였다. 총가소화영양분(Total Digestible Nutrients, TDN)수량의 경우 농촌진흥청 과학기술 연구조사 분석기준(RDA, 2011)에 따라 $TDN \text{ 건물수량} = (\text{간엽 건물수량} \times 0.582) + (\text{이삭 건물수량} \times 0.85)$ 을 이용하여 추정하였다. 간식용 옥수수인 일미찰의 경우 호숙기(R4)에 1.4×3.5 m 면적의 개체를 채취한 후 이삭장, 이삭 직경, 평균 꽃이삭중, 착립이삭률 및 단위 면적당 이삭수량(꽃이삭), 이삭개수를 조사하였다.

옥수수에 대한 수량구성요소 조사 및 수확 작업 이후 후작물인 양파의 재배를 위해 잔여물을 제거하고 정지작업 및 이랑조성을 실시하였다. 양파는 인근 육묘장에서 구매한 만생종 품종을 사용하였다. 양파 재배 시 표준시비량에 따라 N-P₂O₅-K₂O를 24-7.7-15.4 kg/10a 수준으로 인산의 경우 전량 기비로, 질소, 칼리의 경우 기비와 추비(2020년 2월 13일, 2월 26일 총 2회)로 분시하였으며, 퇴비를 2,000 kg/10a 수준으로 전량 기비한 후 추가로 로터리를 실시하였다. 2019년 11월 12일에 파종하였으며 녹색 유공비닐을 이용하여 멀칭 후 이랑 너비를 140 cm로 하여 10×10 cm로 이랑 당 8열을 파종하였다. 양파의 경우 여름작물인 옥수수를 대상으로 실시된 경운처리 및 파종시기의 차이가 겨울작물인 양파의 생육에는 어떠한 영향을 미치는지를 알아보기 위해 생육 및 수량 분석을 실시하였다. 양파 생육조사는 양파의 잎이 도복하는 2020년 5월 17일에 실시하였으며 초장, 엽장, 주당 엽수 항목에 대해 각 처리구별 10개체를 무작위로 선정하여 조사를 실시하였다. 수확기인 2020년 5월 27일에는 각 처리구별로 1.4×2 m 면적의 양파를 수확하여 수량을 산출한 후 무작위로 20개체를 선정하여 구경, 구폭,

평균 구 무게를 농촌진흥청 과학기술 연구조사 분석기준(RDA, 2003)에 준하여 조사를 실시하였다.

통계처리

본 연구에서 얻어진 데이터의 통계분석은 SAS 9.4 (SAS Institute, NC, USA)의 PROC MIXED model을 이용하여 이원배치 분산분석(Two way ANOVA)을 실시했으며, random factor로는 블록, fixed factor로는 경운처리, 파종 시기를 두었다. 옥수수 품종에 따라 이용 목적(사료용 vs. 간식용)이 다르고 획득하는 데이터가 상이하므로 품종 간 비교 분석은 실시하지 않았다. 유의성 검정을 위해 최소 유의차 검정(Least Significant Difference test, LSD)을 통해 5% 유의수준에서 통계적 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

옥수수 생육특성 변화

사료용 옥수수인 광평옥 초장 조사에서는 경운처리에 따라 전체적으로 유의한 차이가 없었다(Tables 2, 3). 옥수수의 경우 습해에 취약하나 심경에 의한 생육 차이가 보이지 않았던 것은 주변 배수로 조성에 의한 것으로 추정된다. 선행 연구에서 배수로의 조성은 토양의 물리성을 개선하여 작물의 생육과 수량을 높이는 데 도움을 준다고 보고되고 있다(Cannell & Jackson, 1981; Skaggs *et al.*, 1982). 파종시기에 따라서는 8월 16일 조사에서 6월 14일, 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구가 각각 198.7 cm, 131.5 cm, 95.0 cm로 파종이 지연됨에 따라 생육이 부진했으며(Tables 2, 3), 8월 30일 조사에서도 각각 202.2 cm, 212.8 cm, 166.5 cm로 파종이 지연됨에 따라서 생육이 부진했다. 9월 16일 조사에서는 파종시기에 따라 6월 14일, 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구가 각각 193.1 cm, 200.7 cm, 197.0 cm로 유의한 차이가 없었다. 각 조사일별로 파종시기가 늦음에 따라 초장이 낮게 나타난 것은 생육발달 정도의 차이 때문으로 보인다. 또한, 일반적으로 옥수수는 단일 및 고온 조건에 의해 생식생장으로의 전환이 빨라지는 것으로 알려져 있는데(Park *et al.*, 1987) 본 시험에서도 파종이 늦어짐에 따라 단일과 고온에 의해 출사가 촉진되었고 다른 선행연구 결과와 유사하게 영양생장이 충분하지 못하여 7월 15일 파종 처리구의 경우 생육이 부진했던 것으로 보인다(Table 4) (Lee *et al.*, 1981; Park *et al.*, 1987).

광평옥 착수고 조사에서는 경운처리 및 파종시기에 따라 유의한 차이가 없었다(Tables 3, 5). 착수고의 경우 선행연구의 결과와 유사하게 파종시기가 지연됨에 따라 낮아지는

경향을 보였다(Tables 3, 5) (Lee *et al.*, 1981).

간식용 옥수수인 일미찰의 경우 초장은 조사 시기별로 경운처리에 따라 유의한 차이가 없었다(Tables 3, 5). 선행 연구의 결과와 유사하게 본 시험에서 조성된 주변 배수로

에 의해 토양 물리성이 개선되어 심경의 영향이 상쇄된 것으로 추정된다(Cannell & Jackson, 1981; Skaggs *et al.*, 1982). 파종시기에 따라서는 8월 16일 조사에서 6월 14일, 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구가 각각 170.1 cm, 129.4

Table 2. Analysis of variance of maize ('Kwangpyeongok' and 'Ilmichal') plant height as affected by different planting dates and tillage practices.

Variety	Measuring dates	Source of variation	df [†]	P-value	
Kwangpyeongok	8/16	Planting date (P)	2	0.0005	
		Tillage (T)	1	0.4216	
		P × T	2	0.2678	
	8/30	P	2	0.0049	
		T	1	0.8570	
		P × T	2	0.8334	
	9/16	P	2	0.3919	
		T	1	0.4897	
		P × T	2	0.9483	
	Ilmichal	8/16	P	2	0.0015
			T	1	0.8898
			P × T	2	0.9691
8/30		P	2	0.0193	
		T	1	0.8984	
		P × T	2	0.9621	

[†]df = Degrees of freedom.

Table 3. Maize ('Kwangpyeongok' and 'Ilmichal') plant height and ear height as affected by different planting dates and tillage practices.

Variety	Planting date	Plant height (cm)			Ear height (cm)
		8/16 [†]	8/30	9/16	
Kwangpyeongok	6/14	198.7 a [§]	202.2 a	193.1 ns	86.6 ns
	7/3	131.5 b	212.8 b	200.7	90.9
	7/15	95.0 c	166.5 c	197.0	84.0
	Tillage [‡]				
	DC	140.0 ns	193.3 ns	198.3 ns	86.5 ns
	CT	143.5	194.3	195.4	87.8
Ilmichal	6/14	170.1 a	169.3 a	-	79.4 ns
	7/3	129.4 b	184.9 a	-	77.3
	7/15	78.0 c	126.0 b	-	76.2
	Tillage				
	DC	125.3 ns	159.4 ns	-	79.2 ns
	CT	126.4	160.7	-	76.0

[†]Measuring date.

[‡]DC = Deep Cultivation, CT = Conventional Tillage.

[§]Entries within a column followed by the same letter are not significantly different ($p < 0.05$); ns represents non-significant.

cm, 78.0 cm로 파종이 늦어질수록 생육이 지연되었다 (Tables 2, 3). 8월 30일 조사에서는 6월 14일 파종 처리구가 169.3 cm, 7월 3일 파종 처리구가 184.9 cm로 양호하였으며, 7월 15일 파종 처리구의 경우 126.0 cm로 생육이 부진하였다(Tables 2, 3). 7월 15일 파종 처리구의 경우 파종이 가장 늦게 이루어져 생육이 충분히 이루어지지 않았을 뿐 아니라 생육 초기 지속적인 강수로 생육이 부진한 것으로 판단된다(Tables 2, 3). 또한, 7월 15일 파종 처리구의 경우 영양생장이 충분치 않은 상태에서 생식생장으로 전환이 이루어져 생육이 부진한 것으로 판단된다(Table 4). 일미찰 착수고 조사에서 경운처리에 따라 DC 79.2 cm vs. CT 76.0 cm로 유의한 차이는 없었고 파종시기에 따라서도 6월 14일, 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구가 각각 79.4 cm, 77.3 cm, 76.2 cm로 유의한 차이가 없었다(Tables 3, 5). 착수고의 경우 선행연구에서는 파종이 20일 정도 지연될 경우 20 cm 가량이 감소하는 경향이 나타났으나 본 실험에서는 파종일이 지연됨에 따라 큰 차이가 없는 것으로 나타났다(Tables 4, 5) (Jung *et al.*, 2012). 일미찰은 초장이 낮아 착수고에 차이가 크지 않은 것으로 판단된다.

LAI는 각 파종시기 마다 기온 등의 차이에 의해서 나타

Table 4. Flowering (tasseling) dates and days to flowering of maize in 2019.

Variety	Planting date	Flowering date	Days to flowering
Kwangpyeongok	6/14	8/11	59
	7/3	8/29	58
	7/15	9/10	58
Ilmichal	6/14	8/12	59
	7/3	8/29	58
	7/15	9/08	56

Table 5. Analysis of variance of maize (‘Kwangpyeongok’ and ‘Ilmichal’) ear height as affected by different planting dates and tillage practices.

Variety	Source of variation	df [†]	P-value
Kwangpyeongok	Planting date (P)	2	0.3654
	Tillage (T)	1	0.5824
	P × T	2	0.3989
Ilmichal	P	2	0.8705
	T	1	0.5368
	P × T	2	0.8644

[†]df = Degrees of freedom.

나는 초기 생육기 canopy 형성 속도 차이를 확인하기 위해 엽의 전개가 어느 정도 진전된 파종 30일 이후부터 15일 간격으로 각각 3회(DAP 30, 45, 60) 조사를 실시하였다. 광평옥의 경우 파종시기에 따라서는 DAP 30 조사에서 유의한 차이가 있었으며 6월 14일 파종 처리구가 0.8, 7월 3일 파종 처리구가 1.8, 7월 15일 파종 처리구가 1.5로 6월 14일 파종 처리구의 LAI가 가장 낮았다(Fig. 1). DAP 45 및 DAP 60 조사에서는 파종시기에 따라 유의한 차이가 없었다(Fig. 1). 한편, 경운처리에 따른 LAI의 통계적 차이는 없었다. 파종시기에 따라서는 DAP 30에 6월 14일 파종 처리구의 LAI가 낮았는데 이는 초기 생육 온도가 낮아서 생육속도가 상대적으로 늦은 것으로 보인다(Table 6, Fig. 1) (Lee *et al.*, 1981).

일미찰 LAI의 경우 광평옥과는 다르게 DAP 30 조사에서 경운처리에 따라서는 DC 1.4 vs. CT 1.6로 유의한 차이가 없었고 파종시기에 따라서도 6월 14일, 7월 3일, 7월 15

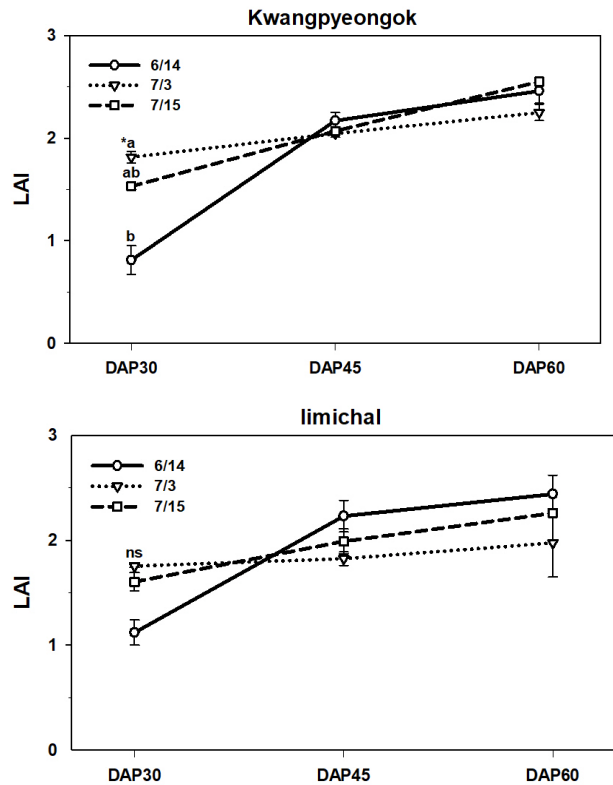


Fig. 1. Maize leaf area index (LAI) as affected by different planting dates and tillage practices during the growing season (‘Kwangpyeongok’: upper; ‘Ilmichal’: lower). Data are presented as mean ± SE; different letters indicate significant differences at $p < 0.05$; ns indicates non-significant.

일 파종 처리구가 각각 1.1, 1.8, 1.6로 유의한 차이가 없었다(Table 6, Fig. 1). DAP 45 조사에서는 DC 2.0 vs. CT 2.1로 경운처리에 따라 유의한 차이가 없었고, 파종시기에 따라서도 6월 14일, 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구가 각각 2.2, 1.8, 2.0으로 유의한 차이가 없었다(Table 6, Fig. 1). DAP 60 조사에서도 마찬가지로 DC 2.3, CT 2.2로 경운처

리에 따른 유의한 차이는 없었고, 파종시기에 따라서도 6월 14일, 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구가 각각 2.4, 2.0, 2.3으로 유의한 차이가 없었다(Table 6, Fig. 1). 결과적으로 LAI는 경운처리 및 파종시기에 따라 유의한 차이가 없었다(Table 6, Fig. 1). 일미찰 7월 15일 파종 처리구의 경우 선행연구에서 나타난 바와 달리 6월 14일 파종 처리구와 차이가 없었던 것은 생육 초기 지속된 강우에 따른 과습의 영향으로 엽의 발달이 부진했던 것으로 보인다(Fig. 2) (Ji *et al.*, 2006; Jung *et al.*, 2012).

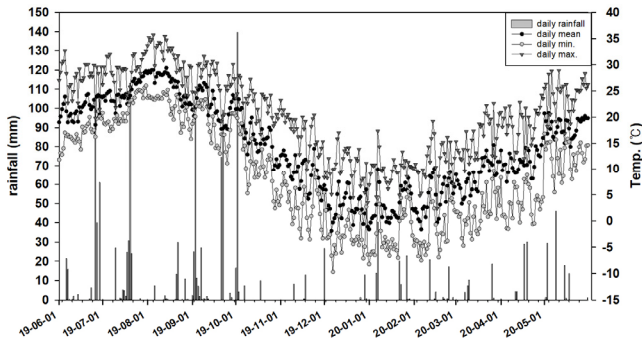


Fig. 2. Daily meteorological data during the summer and winter crop growing seasons of 2019-2020 retrieved from the station located 8 km northwest from the research site.

옥수수 수량구성요소 및 수량

광평옥 수량조사에서 이삭장은 경운처리에 따라서 DC 14.4 cm vs. CT 14.7 cm로 유의한 차이가 없었고, 파종시기에 따라서는 6월 14일, 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구가 각각 17.4 cm, 14.4 cm, 12.0 cm로 파종이 늦어짐에 따라 이삭장이 감소하는 것으로 나타났다(Tables 7, 8). 이삭직경의 경우 경운처리 및 파종시기에 따라 유의한 차이가 없었다(Tables 7, 8). 이삭수는 DC 4,543개/10a vs. CT 4,365개/10a로 경운처리 간에 유의한 차이가 없었고, 파종시기에 따라

Table 6. Analysis of variance of maize (‘Kwangpyeongok’ and ‘Ilmichal’) leaf area index (LAI) as affected by different planting dates and tillage practices.

Variety	Measuring DAP [†]	Source of variation	df [‡]	P-value	
Kwangpyeongok	DAP 30	Planting date (P)	2	0.0129	
		Tillage (T)	1	0.5545	
		P × T	2	0.4308	
	DAP 45	P	2	0.9552	
		T	1	0.8681	
		P × T	2	0.7139	
	DAP 60	P	2	0.7881	
		T	1	0.9711	
		P × T	2	0.5578	
	Ilmichal	DAP 30	P	2	0.2928
			T	1	0.6256
			P × T	2	0.9036
DAP 45		P	2	0.7275	
		T	1	0.3825	
		P × T	2	0.4792	
DAP 60	P	2	0.7445		
	T	1	0.6801		
	P × T	2	0.0867		

[†]DAP = Day After Planting.

[‡]df = Degrees of freedom.

서도 6월 14일, 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구가 각각 4,948개/10a, 4,296개/10a, 4,119개/10a로 유의한 차이가 없었다(Tables 7, 8). 착립이삭률(RKSLEL)은 경운처리에 따라 DC 83% vs. CT 82%로 유의한 차이가 없었고, 파종시기에 따라서도 6월 14일, 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구가 각각 84%, 82%, 82%로 처리구별로 유의한 차이가 없었다(Tables 7, 8). 광평옥 이삭건물중의 경우 경운처리에 따라서는 DC 348 kg/10a vs. CT 365 kg/10a로 유의한 차이가 없었고, 파종시기에 따라서는 6월 14일, 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구가 각각 478 kg/10a, 375 kg/10a, 235 kg/10a로 파종이 늦어짐에 따라 감소하는 것으로 나타났다(Tables 7, 8). 이는 6월 14일 파종 처리구를 기준으로 각각 78% (7월 3일), 49% (7월 15일) 수준이었다. 간엽건물중은 경운처리에 따라서 DC 616 kg/10a vs. CT 578 kg/10a로 유의한 차이가 없었고, 파종시기에 따라서는 6월 14일 파종 처리구가 754 kg/10a로 가장 컸고 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구

가 각각 506 kg/10a, 531 kg/10a로 파종이 늦음에 따라 간엽 건물중이 감소하였다(Tables 7, 8). 이는 6월 14일 파종 처리구를 기준으로 각각 67% (7월 3일), 70% (7월 15일) 수준이었다. 광평옥 총 건물중의 경우 경운처리에 따라 DC 964 kg/10a vs. 943kg/10a로 유의한 차이가 없었으며, 파종시기에 따라서는 6월 14일, 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구가 각각 1,232 kg/10a, 863 kg/10a, 765kg/10a로 파종이 늦어짐에 따라 수량이 감소하였다(Tables 7, 8). 이는 6월 14일 파종 처리구를 기준으로 각각 70% (7월 3일), 62% (7월 15일) 수준이었다(Tables 7, 8). TDN 수량은 경운처리에 따라 DC 654 kg/10a vs. CT 646 kg/10a로 유의한 차이가 없었으며, 파종시기에 따라서는 6월 14일 파종 처리구가 845 kg/10a로 가장 컸고 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구가 각각 598 kg/10a, 508 kg/10a로 낮아졌다. 이는 6월 14일 파종 처리구에 비해 각각 71% (7월 3일), 60% (7월 15일) 수준이었다(Tables 7, 8).

Table 7. Analysis of variance of ‘Kwangpyeongok’ yield and yield components as affected by different planting dates and tillage practices.

Source of variation	df [†]	Ear length (cm)	Ear diameter (cm)	Ear number (ea/10a)	RKSLEL [‡] (%)	Ear dry weight (kg/10a)	Stover dry weight (kg/10a)	Total dry weight (kg/10a)	TDN [§] (kg/10a)
P-value									
Planting date (P)	2	0.0050	0.1083	0.0654	0.7993	0.0023	0.0045	0.0031	0.0027
Tillage (T)	1	0.6526	0.6873	0.4277	0.9428	0.4854	0.1004	0.6349	0.8068
P × T	2	0.8708	0.7957	0.3185	0.9016	0.7768	0.0765	0.3181	0.3998

[†]df = Degrees of freedom.

[‡]RKSLEL = Ratio of Kernel Set Length to Ear Length.

[§]TDN = Total Digestible Nutrients.

Table 8. ‘Kwangpyeongok’ yield and yield components as affected by different planting dates and tillage practices.

Tillage [†]	Planting date	Ear length (cm)	Ear diameter (cm)	Ear number (ea/10a)	RKSLEL [‡] (%)	Ear dry weight (kg/10a)	Stover dry weight (kg/10a)	Total dry weight (kg/10a)	TDN [§] (kg/10a)
DC (25 cm)	6/14	17.4 a [¶]	4.6 ns	4,978 ns	83 ns	479 a	812 a	1,291 a	880 a
	7/3	14.3 b	4.6	4,444	82	339 b	498 c	837 b	578 b
	7/15	11.6 c	4.5	4,207	83	226 c	537 c	763 b	505 b
CT (12 cm)	6/14	17.4 a	4.6	4,919	85	476 a	696 b	1,172 a	810 a
	7/3	14.5 b	4.6	4,385	81	375 b	513 c	888 b	617 b
	7/15	12.3 bc	4.4	3,793	81	243 c	524 c	767 b	511 b

[†]DC = Deep Cultivation, CT = Conventional Tillage.

[‡]RKSLEL = Ratio of Kernel Set Length to Ear Length.

[§]TDN = Total Digestible Nutrients.

[¶]Entries within a column followed by the same letter are not significantly different ($p < 0.05$); ns represents non-significant.

광평옥 수량조사에서 경운처리에 따른 유의한 차이가 없었던 것은 본 시험에서 수행된 주변 배수로 형성이 토양 과습을 방지하여 뿌리 생육저하가 발생하지 않아 심경에 의한 효과가 감소한 것으로 추정된다(Cannell & Jackson, 1981; Skaggs *et al.*, 1982). 파종시기에 따라서는 파종이 늦어질수록 이삭장, 이삭직경, 이삭수, 건물중 등이 낮게 나타났고 대체로 유의한 차이 있었다(Tables 7, 8). 유의한 차이가 없는 경우에도 7월 15일 파종 처리구가 비교적 낮은 값이 나타났다(Tables 7, 8). 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구간에는 유의한 차이가 거의 나타나지 않았지만, 이삭장, 이삭건물중 등에서는 유의한 차이가 나타났다(Tables 7, 8). 선행연구의 결과에 따르면 파종시기가 늦어질 경우 생육 기간이 짧아지고 종실 비대 일수와 효율이 감소하며 종실 비대 기간 중 작물 생장이 부진하여 이삭 무게가 낮아진다고 하였다(Cirilo & Andrade, 1996). 이와 유사하게 본 연구에서도 파종이 지연됨에 따라 생육이 부진하여 이삭의 발달 및 수량이 감소한 것으로 판단된다. TDN 조사에서도 파종시기가 늦음에 따라 유의한 차이가 나타났으며 7월 15일 파종

처리구가 가장 낮은 TDN 수량을 나타냈다(Tables 7, 8). 이는 파종이 늦어짐에 따라 생육발달이 부진해지고 그에 따른 결과로 수량구성요소에 영향을 미친 것으로 판단된다(Lee *et al.*, 1981).

일미찰 수량구성요소조사에서 이삭장은 경운처리에 따라 DC 17.7 cm vs. CT 18.0 cm로 유의한 차이는 없었고, 파종시기에 따라서는 6월 14일, 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구가 각각 19.8 cm, 18.6 cm, 15.2 cm로 파종시기가 더 늦을수록 등숙이 제대로 이루어지지 않았다(Tables 9, 10). 이삭직경은 DC 42.1 mm vs. CT 42.3 mm로 경운처리에 따라서는 유의한 차이가 없었으며, 파종시기에 따라서는 7월 3일 파종 처리구가 44.0 mm로 가장 길었고 6월 14일 파종(42.3 mm), 7월 15일 파종(40.3 mm) 순으로 7월 15일 파종 처리구의 이삭 직경이 가장 낮은 것으로 나타났다(Tables 9, 10). 평균 이삭 무게는 DC 157 g vs. CT 161 g으로 경운처리에 따라서는 유의한 차이가 없었고, 파종시기에 따라서는 6월 14일, 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구가 각각 177 g, 178 g, 123 g으로 6월 14일, 7월 3일 파종 처리구와

Table 9. Analysis of variance of ‘Ilmichal’ yield and yield components as affected by different planting dates and tillage practices.

Source of variation	df [†]	Ear length (cm)	Ear diameter (cm)	Ear fresh weight (g)	RKSLEL [‡] (%)	Marketable fresh ear yield (kg/10a)	Marketable ear number (ea/10a)
Planting date (P)	2	0.0004	0.0210	0.0075	0.0103	0.0017	0.0089
Tillage (T)	1	0.3139	0.8459	0.6266	0.1795	0.5505	0.3503
P × T	2	0.8202	0.6110	0.3688	0.3636	0.5560	0.4649

[†]df = Degrees of freedom.

[‡]RKSLEL = Ratio of Kernel Set Length to Ear Length.

Table 10. ‘Ilmichal’ yield and yield components as affected by different tillage practices and planting dates.

Tillage [†]	Planting date	Ear length (cm)	Ear diameter (cm)	Ear weight (g)	RKSLEL [‡] (%)	Marketable fresh ear yield (kg/10a)	Marketable ear number (ea/10a)
DC (25 cm)	6/14	19.7 ab [§]	42.0 ab	168 a	97 a	841 a	5,037 a
	7/3	18.5 c	44.4 a	184 a	92 bc	827 a	4,267 ab
	7/15	14.9 d	40.1 b	120 b	90 cd	512 b	2,785 c
CT (12 cm)	6/14	19.9 a	42.7 ab	186 a	95 ab	903 a	4,859 a
	7/3	18.7 bc	43.6 a	172 a	92 bc	801 a	4,622 a
	7/15	15.5 cd	40.5 b	126 b	87 d	537 b	3,259 bc

[†]DC = Deep Cultivation, CT = Conventional Tillage.

[‡]RKSLEL = Ratio of Kernel Set Length to Ear Length.

[§]Entries within a column followed by the same letter are not significantly different ($p < 0.05$).

비교해서 7월 15일 파종 처리구의 평균 이삭 무게가 많이 감소하였다(Tables 9, 10). 7월 15일 파종 처리구의 경우 파종시기가 늦음에 따라 생육이 저조하여 이삭 무게가 낮게 나타난 것으로 판단된다. 착립이삭률(RKSLEL)에서는 경운방법에 따라서 DC 93% vs. CT 91%로 유의한 차이가 없었으나, 파종시기에 따라서는 6월 14일, 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구가 각각 96%, 92%, 88%로 파종시기가 늦음에 따라 감소하였다(Tables 9, 10). 일미찰의 수량구성요소의 경우 선행연구와 유사하게 파종이 늦을수록 옥수수의 생육이 저하되고 이삭의 발달이 부진한 것으로 나타났다(Tables 9, 10) (Jung *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2017).

꽃이삭의 수확량은 경운처리에 따라 DC 727 kg/10a vs. CT 747 kg/10a로 유의한 차이가 없었고, 파종시기에 따라서는 6월 14일, 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구가 각각 872 kg/10a, 814 kg/10a, 525 kg/10a로 7월 15일 파종 처리구의 경우에는 이삭 수확량이 크게 감소 하였다(Tables 9, 10). 이는 6월 14일 파종 처리구를 기준으로 각각 93% (7월 3일), 60% (7월 15일) 수준이었다. 이삭 개수의 경우 경운처리에 따라서 DC 4,030개 vs. CT 4,247개로 유의한 차이가 없었으며, 파종시기에 따라서는 6월 14일, 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구가 각각 4,948개, 4,445개, 3,022개로 파종시기가 늦어짐에 따라 감소하는 경향이 있었다(Tables 9, 10). 이는 6월 14일 파종 처리구를 기준으로 하여 각각 90% (7월 3일), 61% (7월 15일) 수준으로 7월 3일 파종 처리구까지는 이삭개수가 충분히 확보가 되는 것으로 나타났다. 일미찰 수량조사에서는 경운처리에 따라 유의한 차이가 없었으나 파종시기에 따라서는 유의한 차이가 나타났다

(Tables 9, 10). 경운처리의 경우 선행연구와 유사하게 주변 배수로 형성에 따른 토양의 파습 문제 개선으로(Cannell & Jackson, 1981; Skaggs *et al.*, 1982) 심경의 효과가 어느 정도 상쇄된 것으로 추정되며 파종시기에 따라서는 파종이 늦어질수록 생장 기간이 부족하여 생육이 불량하였고, 그에 따라 착립이삭률, 이삭장, 이삭직경, 이삭무게, 수량, 이삭수 등이 저조하게 나타나는 것으로 판단된다(Jung *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2017). 또한, 파종이 늦어짐에 따라 고온기에 영양생장과 출사기를 거치게 되어 화분의 발육정지 및 파열에 의해 수정 불량이 나타나 이삭의 수량이 감소한 것으로 판단된다(Herrero & Jhonson, 1980). 7월 15일 파종 처리구의 경우 이삭의 품질과 수확량이 크게 낮아졌으므로 7월 초 이전까지는 파종이 이루어져야 한다.

양파 생육특성 및 수량

양파의 경우 여름작물에 실시된 경운방법과 파종시기의 차이에 따른 생육 변화를 확인하기 위해 초장, 엽장, 주당 엽수, 구경, 구폭, 평균 구 무게, 수량 항목에 대해 조사를 실시하였다. 양파의 경우 모든 조사항목에 대하여 여름작물에 실시된 경운방법 및 파종시기에 따른 통계적 차이는 나타나지 않았다. 여름작물에 대한 경운방법이나 파종처리와는 관계없이 양호한 양파의 생육과 수량을 보인 것은 여름 재배기간과 겨울작물 재배 준비를 위한 포장 정지작업이 이루어진 후 양파 파종까지 4개월 이상이 경과됨에 따라 처리의 효과가 상쇄되어 양파의 생육에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다(Table 11).

Table 11. Onion yield and yield components as affected by different tillage practices and maize planting dates in 2019-2020.

Tillage to maize [†]	Maize planting date	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaves per plant	Bulb length (cm)	Bulb diameter (cm)	Bulb weight (g)	Marketable bulb yield (kg/10a)
DC (25 cm)	6/14	74.7	62.3	7.3	9.0	8.4	223.1	8,453
	7/3	73.4	60.1	8.1	9.0	7.9	208.1	7,847
	7/15	77.4	63.9	8.3	9.2	8.2	232.4	8,616
CT (12 cm)	6/14	72.3	61.5	7.9	8.9	8.3	232.5	8,406
	7/3	73.5	61.4	7.5	8.6	8.1	212.9	7,975
	7/15	75.7	63.6	7.8	8.8	7.8	208.8	7,164
	Planting date (P)	ns [‡]	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>p</i> -value	Tillage (T)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	P × T	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

[†]DC = Deep Cultivation, CT = Conventional Tillage.

[‡]ns represents non-significant.

적 요

본 연구는 남부지역 논 토양에서 옥수수(사료용 및 간식용) 재배 시 경운방법과 파종시기의 차이가 작물의 생육 및 수량에 미치는 영향을 구명하고, 여름 재배기간을 거친 후 겨울 소득작물인 양파에 미치는 영향을 구명하여 전·후작물 모두 적절한 수량을 얻을 수 있는 경운방법과 파종시기 및 파종한계기를 구명하고자 실시하였다.

1. 옥수수의 경우 경운처리에 따라서는 생육 및 수량에 유의한 차이가 없었다. 파종시기에 따라서는 광평옥, 일미찰 모두 파종시기가 늦을수록 생육이 저조하였고 착수고의 경우 생육의 차이에 의해 7월 15일 파종 처리구가 비교적 낮았다. LAI의 경우 광평옥은 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구에서 초기 생육기 온도가 높음에 따라 엽의 발달이 빨랐고 시간이 경과됨에 따라서 유의한 차이는 없어졌다. 일미찰의 경우는 파종시기에 따라 LAI에 유의한 차이가 없었다. 일미찰은 습해에 약한 품종으로 7월 3일, 7월 15일 파종 처리구는 생육 초기 고온임에도 불구하고 장마에 의한 과습의 피해로 엽의 발달에 차이가 없었다.
2. 광평옥 수량구성요소의 경우 파종시기가 늦을수록 이삭장 및 단위면적당 이삭수가 적었고, 이삭 및 간엽의 건물수량과 TDN도 낮았다. 일미찰 또한 수량구성요소 및 수량이 파종시기가 늦을수록 낮게 나타났다.
3. 본 실험에서 실시된 심경처리의 경우 옥수수의 생육에는 크게 영향이 없는 것으로 나타났다. 파종시기에 따라서는 파종이 지연됨에 따라 특히 7월 15일 파종 처리구에서 옥수수의 생육 및 수량이 부진하였으므로 파종시기는 7월 3일 파종 처리구와 시기가 비슷한 7월 초까지가 적절할 것으로 판단된다.
4. 양파의 경우 여름작물인 옥수수에 실시된 경운방법 및 파종시기 처리에 따라 생육 및 수량에 유의한 차이가 없었으며 양호한 생육과 수량을 보였다. 이는 2019년도 여름 재배기간을 거치고 겨울작물 재배 준비를 위한 포장정지작업이 이루어짐에 따라 양파 파종까지 4개월 이상이 경과되어 경운 및 파종시기 처리의 효과가 상쇄되어 양파의 생육에 영향이 없었던 것으로 판단된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 아젠다 사업(과제번호: PJ01336803)의 지원을 받았습니다.

인용문헌(REFERENCES)

- Blokhina, O. 2000. Anoxia and oxidative stress: Lipid peroxidation, mitochondrial functions in plants antioxidant status and mitochondrial functions in plants.
- Cannell, R. Q. and M. B. Jackson. (1981). Alleviating aeration stress. p. 141-192. In G.f. Arkin and H.M. Talors (ed) *Modifying the root environment to reduce crop stress*. ASAE. St.Joseph. MI.
- Cho, S. K., E. T. Lee, Y. J. Oh, I. H. Choi, Y. J. Kim, and J. G. Kim. 2006. Effect of Paddy and Upland Conditions on Yield and Storage of Onion Bulbs. *Korean Journal of Crop Science*, 51(5) : 401-407.
- Cirilo, A. G. and Andrade, F. H. 1996. Sowing date and kernel weight in maize. *Crop Science*, 36(2) : 325-331.
- Herrero, M. P. and R. R. Johnson. 1980. High temperature stress and pollen viability of maize. *Crop science*, 20(6) : 796-800.
- Ji, H. C., C. S. Kim, B. Y. Hong, and H. B. Lee. 2006. Agronomic characteristics of waxy hybrid corn on the paddy soil conditions. *Korean Journal of Agricultural Science*, 33(2) : 123-127.
- 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 Journal of Crop Science*, 57(2) : 195-201.
- Kim, M. J., G. H. Jung, S. K. Kim, J. E. Lee, W. T. Jeon, K. B. Shim, M. T. Kim, K. S. Woo, Y. U. Kwon, and S. Heu. 2017. Effects of growing degree days on growth and yield of maize depending on the sowing date. *Korean Journal of Crop Science*, 62(3) : 214-223.
- Ko, J. M., I. Y. Baek, W. Y. Han, Y. H. Lee, B. W. Lee, B. K. Kang, H. T. Kim, J. K. Moon, T. J. Ha, S. O. Shin, K. W. Oh, S. K. Lee, M. J. Seo, D. S. Kang, K. H. Choi, and Y. D. Kim. 2016. Soybean variety, 'Hanol' adaptable for double cropping system with early maturing and large seed. *Korean Journal of Breeding Science*, 48(4) : 492-498.
- KOSIS (Korean Statistical Information Services). 2021. <http://kosis.kr> (assessed on Aug. 30).
- Kozlowski, T. T. 1984. Extent, causes, and impact of flooding. *Flooding and plant growth*, 9-45.
- Lee, H. J., S. H. Kim, and H. S. Lee. 1994. Growth of maize and sorghum-sudangrass hybrid affected by soil texture and ground water levels. *Korean Journal of Crop Science*.
- Lee, S. S., K. Y. Park, and S. K. Jung. 1981. Growth duration and grain and silage yields of maize at different planting dates. *Korean Journal of Crop Science*, 26(4) : 337-343.
- Liu, Y. Z., T. Bin, Y. L. Zheng, S. Z. XU, and F. Z. QIU. 2010. Screening methods for waterlogging tolerance at maize (*Zea mays* L.) seedling stage. *Agricultural Sciences in China*, 9(3) : 362-369.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2016. Medium and long term development plan of upland

- food crop. <http://www.mafra.go.kr>
- Musgrave, M. E. and N. Ding. 1998. Evaluating wheat cultivars for waterlogging tolerance. *Crop Science*, 38(1) : 90-97.
- Park, H. J., W. Y. Han, K. W. Oh, H. T. Kim, S. O. Shin, B. W. Lee, J. M. Ko, and I. Y. Baek. 2014. Growth and yield components responses to delayed planting of soybean in southern region of Korea. *Korean Journal of Crop Science*, 59(4) : 483-491.
- Park, K. J., J. Y. Park, Y. H. Seo, S. H. Ryu, J. K. Choi, and H. Y. Kim. 2016. Anthocyanin-rich purple waxy corn single cross hybrid 'Cheongchunchal'. *Korean Journal of Breeding Science*, 48(4) : 541-546.
- Park, K. Y., S. K. Oh, B. C. Jeong, S. P. Rho, and E. H. Hong. 1987. Effects of Planting Dates on Dry Matter Production and Ecological Characteristics of Soybeans (*Glycine max.*(L.) Merr.) in Southern Region of Korea. *Korean Journal of Crop Science*, 32(4) : 409-416.
- RDA. 2003. Agricultural Science Technology Standards for Investigation of Research. Rural Development Administration.
- RDA. 2003. Manual for maize production. Rural Development Administration.
- RDA. 2011. Agricultural Science Technology Standards for Investigation of Research. Rural Development Administration.
- Ren, B., J. Zhang, S. Dong, P. Liu, and B. Zhao. 2016. Effects of waterlogging on leaf mesophyll cell ultrastructure and photosynthetic characteristics of summer maize. *PloS one*, 11(9) : e0161424.
- Shin, S. H., G. H. Jung, S. G. Kim, B. Y. Son, S. G. Kim, J. S. Lee, J. T. Kim, H. H. Bae, Y. U. Kwon, K. B. Shim, J. E. Lee, S. B. Baek, and W. T. Jeon. 2017. Effect of prolonged waterlogging on growth and yield of characteristics of maize (*Zea mays* L.) at early vegetative stage. *Journal of The Korean Society of Grassland and Forage Science*, 37(4) : 271-276.
- Skaggs, R. W., S. Hardjoamidjojo, E. H. Wiser, and E. A. Hiler. 1982. Simulation of crop response to surface and subsurface drainage systems. *Transactions of the ASAE*, 25(6) : 1673-1678.
- Smethurst, C. F. and S. Shabala. 2003. Screening methods for waterlogging tolerance in lucerne: comparative analysis of waterlogging effects on chlorophyll fluorescence, photosynthesis, biomass and chlorophyll content. *Functional Plant Biology*, 30(3) : 335-343.
- Yan, B., Q. Dai, X. Liu, S. Huang, and Z. Wang. 1996. Flooding-induced membrane damage, lipid oxidation and activated oxygen generation in corn leaves. *Plant and soil*, 179(2) : 261-268.
- Yoon, S. T., E. K. Je, Y. J. Kim, I. H. Jeong, T. K. Han, T. Y. Kim, Y. S. Cho, and E. S. Yun. 2014. Survey and evaluation of paddy-upland rotation production system. *Journal of the Korean Society of International Agriculture*, 26(4) : 531-543.