

옥수수의 생육 및 수량 증대를 위한 지중점적 관비 시스템의 적용

김종혁¹ · 이연주² · 노일래^{3,4,†}

Application of Subsurface Drip Fertigation System to Increase Growth and Yield of Maize

Jong Hyuk Kim¹, Yeon Ju Lee², and Il Rae Rho^{3,4,†}

ABSTRACT This study was conducted to investigate how maize (*Zea mays* L.) growth and yield were affected by irrigation and fertigation using a subsurface drip system. The system consisted of a buried (40 cm underground) drip pipe that can be used in a semi-permanent manner without affecting agricultural work on the ground. The amount of water required for the fertigation treatment was determined to be 24.3 tons 10a⁻¹ for the sandy loam soil used in this experimental field. Fertigation treatments based on the previously calculated 24.3 tons 10a⁻¹ were carried out as topdressing applications. They were applied through the subsurface drip system with the following fertilizer concentration (nitrogen only, written in kg 10a⁻¹: N 4, N 6, N 8, N 10). The other treatments were irrigation only and control (non-treatment). The results indicated that the N 8 treatment was the most effective, increasing yield by 30% and 14% compared with the control and irrigation treatments, respectively. These results highlight the effectiveness of fertigation (N 8 kg 10a⁻¹) at V6 and R1 stage as a form of topdressing fertilization using a subsurface drip system for achieving a high yield and stable maize production.

Keywords : fertigation, fertilizer, irrigation, maize, subsurface drip system

옥수수(*Zea mays* L.)는 아메리카, 아시아, 유럽 등에서 널리 재배되는 작물로서 전 세계적으로 205만 ha가 재배되고 있다(FAO, 2022). 국내 옥수수 생산현황은 21년 기준 재배면적은 15,479 ha, 생산량은 95,000 ton이며 주로 강원, 충북, 전남 지역에서 많이 재배되고 있다(KOSIS, 2023). 옥수수는 용도에 따라 사료용, 알곡용, 간식용 옥수수로 분류되며 국내에서는 간식용으로 주로 생산하고 있다.

옥수수는 생육시기 중 원활한 수분 및 양분공급이 필수적이며 이것은 생육, 수량 및 품질에 중요한 영향을 미친다(Kumar *et al.*, 2018). 특히 영양생장기(V6 stage) 및 생식생장기(Flowering stage)의 적정 수분과 양분공급은 옥수수 수량 증대에 가장 많은 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Cakir, 2004). 해당 시기의 양·수분공급은 이삭중과 이삭

수를 증가시켜 결과적으로 수량 증대에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Ashraf *et al.*, 2016).

국내 옥수수 재배는 크게 봄과 여름에 단작 형태나 1년 2기작의 형태로도 재배되고 있으나 최근 기후변화로 인해 여름철 강우가 집중되고 나머지 기간에는 가뭄피해 빈도가 증가하고 있어 장기적으로 옥수수의 수량이 18.6-46.6%까지 감소할 것으로 예측하고 있다(Mi *et al.*, 2018; Siebers *et al.*, 2017; Ummenhofer & Meehl, 2017). 옥수수는 요소량이 타 작물에 비하여 낮지만 원활한 수분공급이 이루어지지 않을 때 생육과 수량이 감소하게 된다(Pandey *et al.*, 2000).

일반적으로 옥수수 관개 방법으로 이랑관개 또는 점적관수를 이용하고 있으나 이러한 방법은 수분 이용효율이 낮

¹경상국립대학교 응용생명과학부 박사과정 (Ph.D Student, Department of Applied Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea)

²경상국립대학교 농학과 학사과정 (Undergraduate Student, Department of Agronomy, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea)

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

⁴경상국립대학교 농업생명과학연구원 책임연구원 (Principal Researcher, Institute of Agriculture Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea)

†Corresponding author: Il Rae Rho; (Phone) +82-55-772-1877; (E-mail) irmo12@gnu.ac.kr

<Received 10 July, 2023; Revised 22 July, 2023; Accepted 24 July, 2023>

고 설치와 철거의 반복 및 환경 쓰레기 배출과 같은 문제가 있다. 최근 지중점적 관수 방법이 작물의 유용한 관수·관비 방법으로 보고되고 있는데, 지중점적은 작물의 근권부에 직접적으로 양·수분을 공급함으로써 양·수분 이용 효율을 향상시켜 작물의 수량증대(Aydinsakir *et al.*, 2021; Gençođlan *et al.*, 2006; Reyes-Cabrera *et al.*, 2016; Jha *et al.*, 2017), 뿐만 아니라 농작업의 편리성과 잡초의 생육 억제 등에도 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(Gao *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2018). 뿐만 아니라 지중점적시설 이용시 기존의 관개방법에 비하여 한번 설치로 반영구적으로 이용 가능하며, 작기 후 철거 등의 문제가 없어 노동환경에 유리하다(Irmak *et al.*, 2016). 또한 지중점적시설을 활용한 관수 및 관비는 옥수수 뿐만이 아니라 감자, 콩, 양파, 마늘과 같은 타 밭작물에서도 수량증대에 효과가 있다고 보고되고 있다(Lamm, 2016; Patel & Rajput, 2013; Mattar *et al.*, 2021).

옥수수는 타 작물에 비하여 질소시비에 많은 영향을 받는다. 국내 옥수수 재배시 표준시비량은 10a 당 질소 14 kg, 인 3 kg, 칼리 6 kg로 전부 기비로 시비하고 추비로 질소만 7-10 kg 가량을 시비하도록 권장하고 있다. 하지만 대부분의 농가에서는 전량 기비시용을 통해 옥수수를 재배하므로 질소 이용효율이 25-50%로 질소 흡수율이 낮아 질소 이용효율을 증대시킬 수 있는 재배적인 방법이 필요하다(Sharma & Bali, 2017). 반면에 질소질 비료를 과잉 시비한

경우 인근 지하수 및 하천으로 유입되어 부영양화 및 녹조와 같은 환경오염을 유발하므로 작물의 양분요구도에 맞게 적정량을 시비하는 비료 절감 기술도 요구되고 있다(Lyou *et al.*, 2005; Singh *et al.*, 2010). 현재까지 옥수수의 관수·관비에 관한 연구는 지상에서 시비하였을 경우의 시비량이나 시비효율과 같은 연구와 더불어 이랑관개, 스프링클러, 점적관개과 같은 관수방법에 대한 연구가 주로 진행되었지만(Kumar & Pandian, 2010; Fanish *et al.*, 2011), 지중점적 시설을 이용한 옥수수 주요 생육단계별 관수·관비에 관한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 옥수수의 봄 작기에 지중점적 시설을 이용한 관수 및 관비가 옥수수의 생육 및 수량에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

실험 포장 조성 및 토양 특성

본 실험은 경상남도 진주시 가좌동 경상국립대학교 부속 농장 시험 포장(35°11'34"N 128°5'5"E.)에서 수행하였다. 실험포장은 지중점적관 매설기(patent;10-2479896-000, RDA, Korea)를 이용하여 지하 40 cm 부근에 압력 보상형 지중점적관(I.D; 14.2 mm, W.T.; 1.00 mm Flow rate; 1.60 L H⁻¹ spacing 0.3 M, Netafim, Uniral CNL, Hatzerim, Israel)을 매설하여 실험포장에 자동 지중 관수·관비 시스템(WT-2000, Mirae Sensor, Seoul, Korea)을 설치하였다(Fig. 1). 시험 포

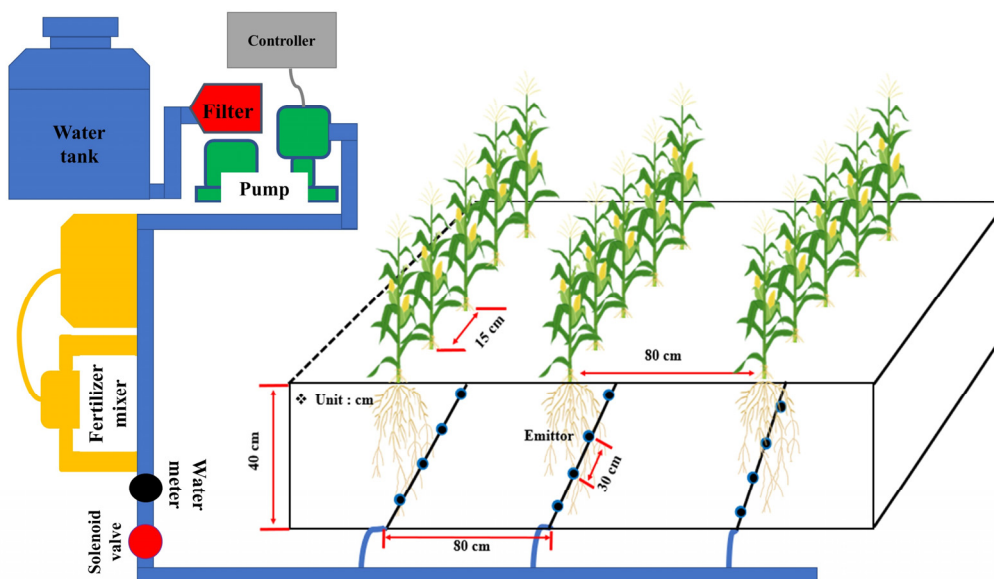


Fig. 1. Diagram of the experimental setup using subsurface drip system. The underground drip pipe (30 cm interval of emitter) facilities were buried at 80 cm intervals from each other, 40 cm underground, and placed at 15 × 80 cm intervals. The subsurface drip system consists of a water tank (blue), pump (green), liquid fertilizer mixer tank (yellow), solenoid valve (red circle), and controller (gray).

Table 1. Soil chemical properties of the experimental field.

pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	T-N (%)	O.M. (g kg ⁻¹)	Ex. cation (cmol kg ⁻¹)			
					K ⁺	Ca ⁺	Mg ⁺	Na ⁺
7.15	0.08	265.0	0.09	13.3	0.22	7.25	0.58	0.44

Table 2. Soil physical properties of the experimental field.

Three phases of soil			Soil hardness (mm)	Soil characteristic				
Solid	Liquid (%)	Gas		Clay	Sand (%)	Silt	Bulk density (Mg m ⁻³)	Soil texture
56.5	14.0	29.5	7.2	10.2	56.7	32.2	1.5	sandy loam

장의 토양 pH는 7.15로 중성이고, 전기전도도는 0.08 dS m⁻¹, 토양 내 유효 인산은 265.0 mg kg⁻¹, 총 질소함량은 0.09%, 유기물 함량은 13.3 g kg⁻¹, 치환성 양이온 K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺는 각각 0.22, 7.25, 0.58, 0.44 cmol kg⁻¹을 함유하고 있었다(Table 1). 토양 물리성의 경우 고상 56.5%, 액상 14.0%, 기상 29.5%이고, 토양 경도는 7.2 mm, 용적밀도 1.5 Mg m⁻³, 토성은 모래가 다량 함유된 사양토로 조사되었다(Table 2). 작기는 2022년 3-7월 동안 봄 재배를 수행하였다.

실험 재료 및 재배 개요

시험구 배치는 난괴법 3 반복으로 처리하였으며 실험포장의 전체면적은 100 × 12 m으로 설정하였고, 각 처리구 사이에 무처리 1열을 두어 처리별 거리가 1.6 m가 되도록 설정하여 관비 처리 간 간접효과를 배제하였다. 데이터들은 10 a 면적으로 환산하여 나타내었으며, ‘일미찰’ 품종을 평이랑에 80 × 15 cm 간격으로 파종하였다. 파종은 2022년 3월 16일, 관비는 5월 2 (V 6)일 및 6월 6일(개화기)에 수확은 7월 4일에 실시하였다.

실험포장의 처리구는 질소 4수준(N 4, N 6, N 8, N 10), 관수구(irrigation)와 무처리구(control; 무관수, 기비만 시비) 포함 총 6개 처리를 하였다. 파종 전에 가축분 퇴비 1.5 ton 10a⁻¹ (Seung Green Tec Co., LTD, Miryang-si, Korea)를 사용하고, 관비 처리는 옥수수 표준시비량(N-P₂O₅-K₂O: 14-3-6 kg 10a⁻¹)을 기준으로 하여 기비로 반을 주고 나머지 반은 추비를 기준으로 관비처리 하였다. 관비처리는 단용시비구 4처리, N 4 (4 kg 10a⁻¹), N 6 (6 kg 10a⁻¹), N 8 (8 kg 10a⁻¹), N 10 (10 kg 10a⁻¹)를 V 6 및 개화기(출사기, R1)에 반씩 나누어 추비로 관주하였다. 기비로 사용된 복합 비료는 옥수수 전용 복합비료(Chamsedae, N-P₂O₅-K₂O: 22-7-9, KG chemical, Ulsan, Korea)를 질소 중심으로 시비하고 인산과 칼리의 부족분은 용성인비(Fused phosphate, N-P₂O₅-K₂O: 0-17-0, Pungnong, Seoul, Korea)와 염화加里(Potassium

chloride, N-P₂O₅-K₂O: 0-0-60, Farmhannong, Seoul, Korea)를 이용하여 추가 시비하였다. 추비로 관주한 질소비료는 모두 수용성 비료로 황산암모늄(Ammonium sulphate, N-P₂O₅-K₂O: 20.5-0-0 Capro Corp, Seoul, Korea)을 시비량에 맞추어 혼합하여 시비하였다. 관비 처리는 각 처리의 시비량에 해당하는 비료를 243 L의 물에 녹여 액비혼합기(Mixrite 2.5 m² h⁻¹, Tefen, Kibbutz Nahsholim, Israel)로 1% 농도로 10 시간 동안 지중 관비 처리하였다. 관수구는 추비(관비)없이 기비(표준시비량의 절반)만 사용하고 지중 관수를 실시하였고, 무처리구(control)는 기비로 표준시비량을 전량 시비하고 관수·관비처리는 하지 않았다.

생육 및 수량 조사

지상부 생육 특성(간장, 경경, 엽장, 엽폭 및 착수고)과 수량구성요소(이삭장, 이삭폭, 착립이삭율, 꽃이삭중, 및 수량)는 수확 시기에 조사하였다. 조사 주수는 난괴법으로 처리된 관비처리에 따라 1열(12 m) 중 10주를 1 반복으로 하여 3 반복 30주를 조사한 수치를 평균하여 나타내었다.

토양 수분 및 전기전도도 변화 조사

지중점적 관수에 따른 토양 층위별 수분 양상을 관측하기 위해 지하 -40, -30, -20, -10, 지표면(0 cm)에 센서(Watch dog SEMC 300, Spectrum technologies Inc., Chicago, USA)를 매설하여 데이터로거(Watch dog 2400, Spectrum technologies Inc., Chicago, USA)를 이용하여 데이터를 수집하였다. 관비처리에 따른 토양 내 전기전도도 변화를 조사하기 위해 지표면 부근(0 cm)에 EC 센서(Watch dog SEMC 300, Spectrum technologies Inc., Chicago, USA)를 매설하여 전기전도도를 측정하였다. 관비 처리에 따른 토양수분 함량 변화 조사는 5월 03일부터 6월 16일까지 토양 수분함량 유지 정도를 조사하기 위해 위와 같은 방법으로 비가림이 설치된 시험처리구와 같은 포장에서 별도로 관비(N 8)

처리를 하여 토양수분 함량을 조사하였다(Fig. 7).

통계 분석

실험데이터는 SPSS program (SPSS version 21, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 각 데이터는 독립 T 검정과 일원배치 분산분석(one way ANOVA)을 실시한 후, Duncan's Multiple Range Test (DMRT)을 통해 5% 수준에서 통계학적 유의성을 검정하였다. 주성분 분석 (Principal component analysis, PCA)은 R (R studio server pro 4.2.2)은 차원에 따른 관수 및 관비의 효과를 식별하기 위해 분석을 실시하였다. 모든 데이터는 주성분 분석 균일성 및 정규성을 검증하여 수행되었다.

결과 및 고찰

실험 중 기상 변화

실험기간 중 기상은 파종기인 3월의 기온은 평년보다 0.7°C가 높았으며 강수량은 115.9 mm로 평년대비 28.5%가 더 많았다(Fig. 2). 4월의 평균기온은 평년보다 1.0°C가 높았고 강수량은 69.5 mm로 평년 대비 49.0%가 감소하였다. 5월의 평균기온은 평년보다 1.6°C가량 높았고, 강수량은 0.9 mm로 평년대비 99.5%가 감소하였고 개화기인 6월의 평균기온은 평년대비 1.6°C가량 높았으며 강수량은 121.3 mm로 평년대비 47.7%가 감소하였다. 전체적으로 3-6월의 평균기온은 평년 보다 약 1°C가량 높은 경향이있

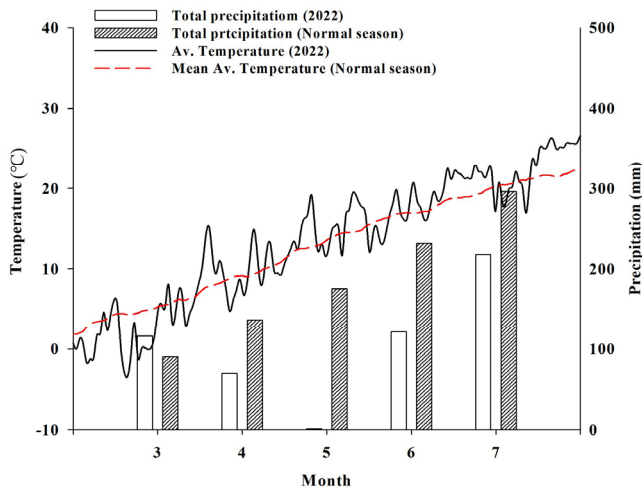


Fig. 2. Comparison of the average temperature and precipitation during experimental season. The lines represent the normal (red dot line) and average temperature (black line) for 2022. The bars represent the monthly cumulative precipitation.

고 강수량은 평년보다 적은 경향이였다.

옥수수 지중점적 관비를 위한 관수량의 설정

관비는 물과 함께 공급되기 때문에 지중점적 처리를 위한 관수량 설정이 필요하다. 일반적으로 옥수수의 경우 토양수분 함량이 25%일 때 생육이 가장 양호한 것으로 알려져 있다(Ma *et al.*, 2016). 따라서 지중점적관이 매설되어있는 지하 40 cm에서 지중관수를 할 경우 토양 층위별로 수분 포화시간 및 수분 소요량을 조사한 결과, 지하 40, 30, 20, 10 cm까지의 수분포화시간은 각각 40, 100, 190, 220 min가 소요되었으며 물의 양은 4.4, 11.0, 21.0, 24.3 ton 10a⁻¹이 필요하였으며, 지표면(0 cm) 부근까지는 240 min, 30.8 ton 10a⁻¹가 소요되는 것으로 나타났다(Fig. 3). 그러므로 본 연구 포장 조건(사양토)에서는 옥수수 뿌리가 가장 많이 분포하고 있는 지하 10 cm 부근에서 토양수분이 25%로 될 때까지는 약 17.6 t 10a⁻¹의 물이 소요되었고(Fig. 3, red circle), 토양 수분이 포화 될 때까지 24.3 t 10a⁻¹의 물이 필요한 것으로 나타났다. Kandelous *et al.* (2011)은 지중점적 관수로 지표까지 포화되는데 필요한 물의 양은 사양토에서 약 29.5 t 10a⁻¹가 소요된다고 하였는데 이것은 본 실험에서도 지표면까지는 충분히 포화될 때까지는 30.8 t 10a⁻¹의 물이 필요하여 유사한 결과를 나타내었지만 옥수수의 뿌리가 가장 많이 분포하는 지하 10 cm 부근의 물량 (24.3 10a⁻¹)을 관비기준(각 처리별 비료량을 243 L 물에 녹여 1% 농도 물과 함께 관비 의미)으로 활용하였다. Rasheed (2020)은 양질 사토 보다 사양토에서 수분의 확산속도 및 확산 범위가 더 크다고 하였고, Wang *et al.* (2018)은 작토층 아래의 -20~40 cm 범위의 층위의 모래 또는 미사의 함량이 많을수록 수분 확산에 소모되는 물의 양도 증가한다

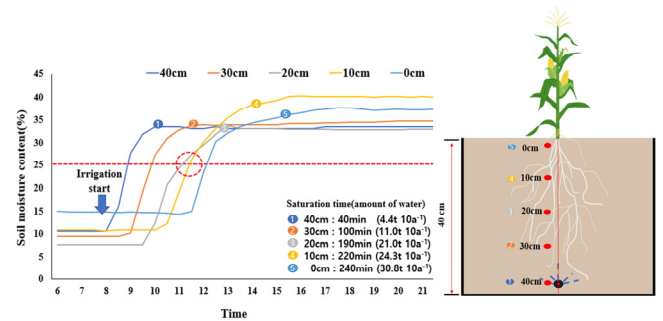


Fig. 3. Changes in soil moisture content as a result of irrigation treatment using a subsurface drip system as well as changes in soil moisture content by soil depth after irrigation during maize growth using a subsurface drip system.

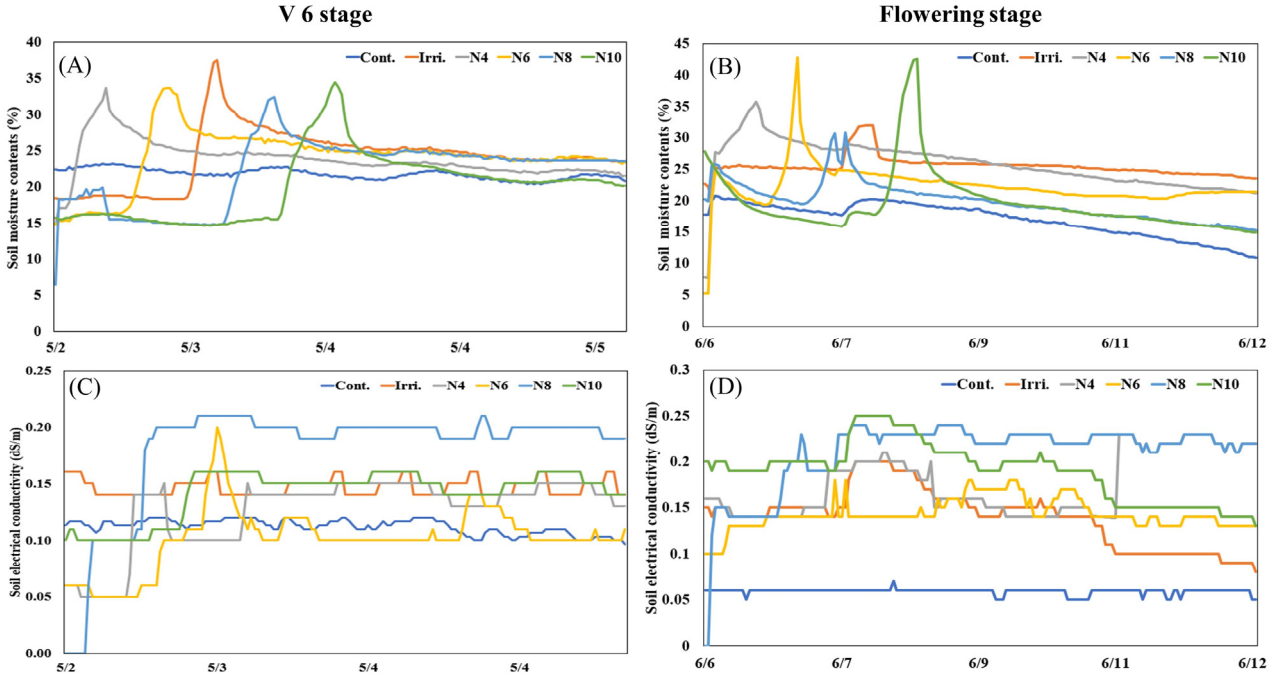


Fig. 4. Changes in the soil moisture content (A, B) and electrical conductivity (C, D) as a result of fertigation treatment during V6 and flowering stages under a subsurface drip system.

Table 3. Changes in growth parameters as a result of fertigation treatment using subsurface drip system during spring.

Treatment	Canopy height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Ear height (cm)
N 4	259.2bc*	31.0ab	10.9ns	10.2b	127.7ab
N 6	273.1ab	31.7a	10.7	10.7ab	127.2ab
N 8	278.5a	32.2a	11.0	11.0a	131.7a
N 10	263.9ac	31.0ab	10.2	10.9ab	124.3ab
Irrigation	259.2bc	30.5ab	10.7	10.7ab	121.1b
Control	248.5c	28.7b	9.3	9.3c	101.1c

*Different letters denote significant differences within column at $p < 0.05$.

고 하였다. 따라서 지중점적을 통한 관수량은 토성에 따라 다르며, 수분의 확산 및 보유력도 토성에 따라 달라 관비를 위해서는 토성에 따른 수분 포화량 조사가 선행되어야 할 것으로 보인다.

본 실험 토양에서 관수량(24.3 t 10a⁻¹)을 기준으로 각 처리별 지중관비를 V6기와 개화기에 실시한 결과 각 처리별 토양 수분 함량이 처리 시 급격히 상승함을 확인할 수 있었고(Fig. 4A, B), 전기전도도(EC)도 무관수인 무처리에는 경우 EC의 변화가 없지만 모든 관비 처리구에서는 EC 변화를 확인할 수 있어 관비 처리가 정상적으로 처리되었음을 확인할 수 있었다(Fig. 4C, D).

지중점적 관비 처리에 따른 옥수수 생육 및 수량 특성

옥수수 지중 관비처리에 따른 생육을 살펴보면 초장은 무처리와 관수 처리구에서 가장 낮았고 관비 처리구들에서는 통계적 유의성 차이는 인정되지 않았지만 N 8에서 가장 높은 경향이였다(Table 3). 경경도 N 8처리에서 가장 우수한 경향이였고, 그 다음이 N 6, N 10, N 4, 관수구의 순이었으며 무처리에서 가장 낮았다. 엽장은 처리간 유의한 차이가 없었으나 관수·관비처리 보다 무처리에서 가장 낮은 경향이였다. 엽폭 및 착수고도 무처리에서 가장 낮았고 관비 처리간에는 유의한 차이는 없어지만 N 8처리에서 가장 높은 경향이였다. 따라서 지중점적에 따른 관비 처리시 질소질 비료 농도가 증가함에 따라 생육이 증대하였지만 N

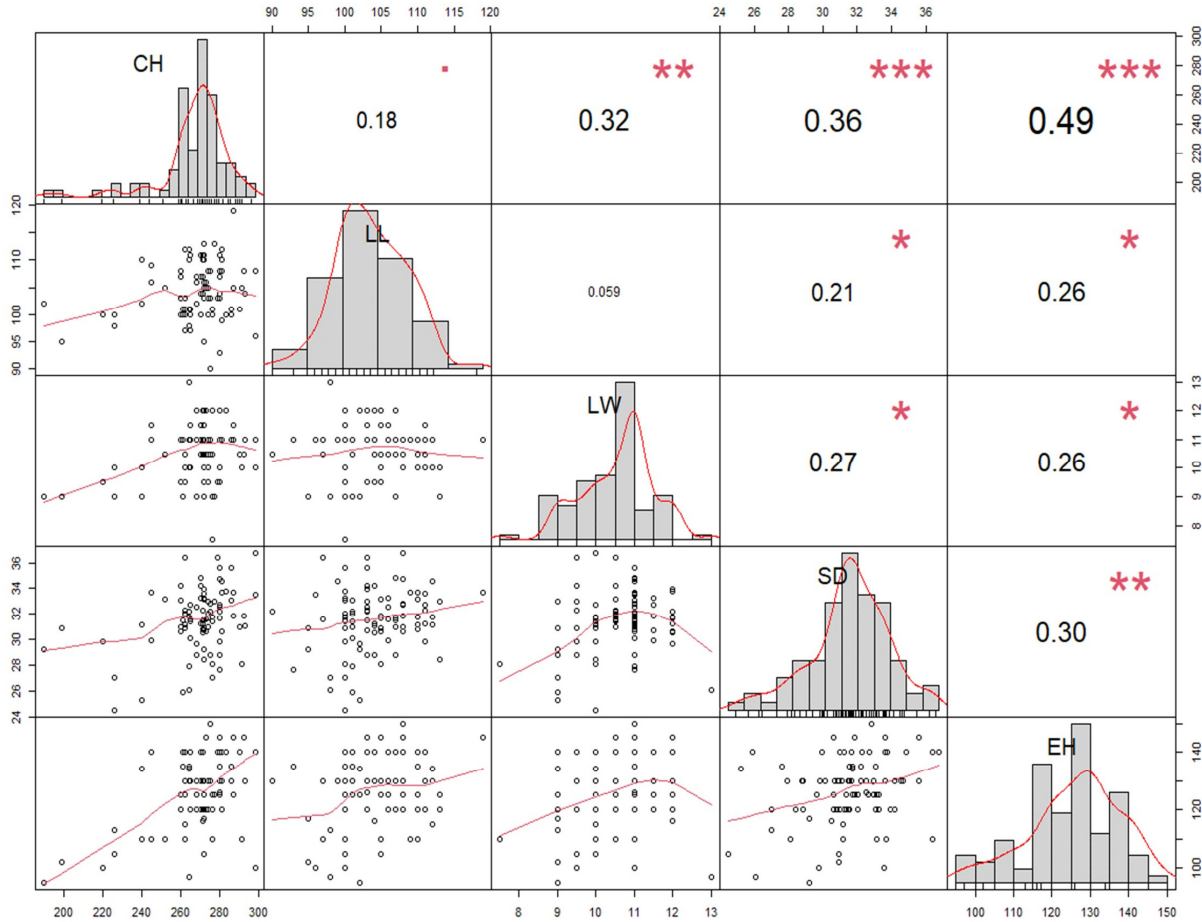


Fig. 5. Correlation matrix plot for the five major variables. Scatter plots, correlation coefficients (r values), and data distributions are displayed on the bottom left, top right, and center, respectively, *, **, ***denote statistically significant values ($P < 0.05, 0.01,$ and $0.001,$ respectively). CH: canopy height, LL: leaf length, LW: leaf width, SD: stem diameter, EH: ear height.

8 이상 처리시에는 오히려 생육이 감소하는 경향을 나타내었다.

지중관비 처리에 따른 생육구성요소들의 상관관계를 보면 초장과 착수고는 중간 정도의 상관($r=0.49$)이 있는 것으로 나타났으며 관비에 따라서는 $p < 0.001$ 수준에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타나 관비 농도에 따라 차이가 있음을 확인할 수 있었다(Fig. 5). 이외의 생육구성요소들 간에는 상관계수가 $r=0.18\sim 0.36$ 범위의 가지며 비교적 낮은 상관을 보였으나 관비 농도에 따라서는 $p < 0.05\sim 0.001$ 수준에서 유의한 차이를 나타내었다. 엽장과 엽폭은 무상관($r=0.059$)에 가까웠으며 관비처리에 따라서도 유의미한 차이가 나타나지 않았는데 이는 옥수수 품종의 고유 특성인 것으로 사료된다.

지중관수 및 관비 처리가 옥수수 수량구성요소에 미치는 영향을 조사한 결과 이삭장은 무처리에서 가장 낮았고, 관수·관비 처리구에서는 통계적으로 유의한 차이는 없었고

이삭폭도 N 4 처리와 무처리를 제외하고는 관비처리간에는 유의한 차이는 없었다(Table 4). 착립이삭율(RKSLEL)은 관비 처리구간에는 통계적 유의성이 나타나지 않았지만 N 8 처리구가 가장 높은 경향이었고 무처리가 가장 낮았다. 백립중은 N 6, N 8에서 가장 높았고, 낱알수 및 이삭수는 N 8, N 6처리구가 가장 높았다. 수량은 N 8 처리구에서 가장 높았고 그 다음으로 N 6, N 10, N 4, 관수구 순으로 높았고 무처리에서 가장 낮았다. 특히 N 8의 경우 무처리에 비해 약 30%가량 수량이 증대되었고 관수구에 비해서도 14%가량 수량 증대효과가 있는 것으로 나타났다. N 8 뿐만아니라 모든 관비 및 관수 처리구에서 수량증대효과가 있어 지중점적에 의한 관수·관비 효과가 있는 것으로 나타났다.

옥수수의 관수량 및 질소농도에 따른 지중 관비처리 수량구성요소에 미치는 영향을 조사하기 위해 주성분 분석

Table 4. The effect of fertigation treatment using subsurface drip system on yield components of spring maize.

Treatment	Ear length (cm)	Ear Width (cm)	RKSLEL** (%)	Hundred kernel weight (F.W g ⁻¹)	No. kernel (ea)	No. Ear (ea 10a ⁻¹)	Yield (Kg 10a ⁻¹)
N 4	19.7a*	44.9b	94.1ab	40.6b	390.7bc	3,776.0c	811.9c
N 6	19.6a	47.2a	95.5ab	43.0a	421.1ab	4,128.0b	872.9b
N 8	19.8a	47.2a	95.8a	41.4ab	433.7a	4,256.0a	932.3a
N 10	19.7a	47.2a	94.4ab	40.3b	402.5bc	3,808.0c	835.4c
Irrigation	19.8a	48.4a	94.0ab	39.7bc	390.0bc	3,759.6c	803.3c
Control	17.9b	43.3b	88.2c	37.7c	386.4c	3,061.3d	654.7d

*Different letters denote significant differences within column as a function of irrigation levels at $p < 0.05$.

**Ratio of kernel set length to ear length (RKSLEL).

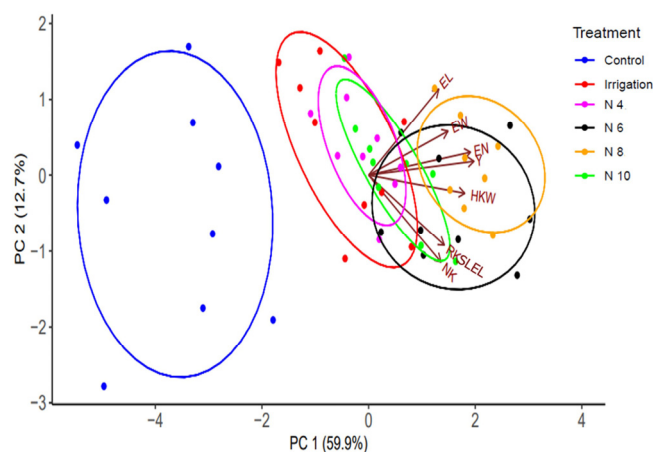


Fig. 6. Principal component analysis (PCA) of the effects of different nutrient applications on maize yield components. EL: ear length, EW: ear width, RKSLEL: Ratio of kernel set length to ear length, HKW: hundred kernel weight, NK: number of kernel, and Y: yield.

을 실시한 결과 PC 1과 2가 69.5%의 설명력을 가지는 것으로 나타났다. 특히 주성분 1의 경우 무처리는 음의 방향에 위치한 반면 관비처리들은 양의 방향에 위치하여 수량에 영향력을 미치고 있음을 확인할 수 있었다(Fig. 6). 또한 수량구성요소들 간의 상관관계를 보면 수량과 이삭수는 매우 밀접한 상관($r=0.94$)을 보였고, 다음으로 백립중 및 이삭폭이 상관($r=0.59$)을 보였다. 착립이삭율 및 이삭장은 중간정도의 상관($r=0.53, 0.52$)을 보이며 낱알수는 비교적 가장 낮은 상관($r=0.48$)을 보였다. Adeniyani (2014)은 질소시비량이 높아질수록 이삭장, 이삭폭, 백립중 수량이 증가한다고 하였고, Ma *et al.* (2017)과 Millet *et al.* (2019)은 낱알수와 착립이삭율은 질소 시비보다 환경과 유전적 요인이 더 많이 관여한다고 보고한 바가 있다.

일반적인 관행재배에서는 옥수수 시비는 토성에 따라 차이가 있지만 전량 기비로 시비할 경우 $150\sim 300 \text{ kg N ha}^{-1}$, 추비로 사용할 경우는 기비의 절반과 $60\sim 120 \text{ kg N ha}^{-1}$ 추비하는 것으로 알려져 있다(Roh *et al.*, 2015; Shahid *et al.*, 2016; Liang & Yoshihira, 2022). Lamm & Trooien (2003)은 옥수수 관비 재배시 $70\sim 90 \text{ kg N ha}^{-1}$ 정도 추비하는 것이 수량이 가장 높다고 하였다. Źarski & Kuśmierk-Tomaszewska (2023)도 80 kg ha^{-1} 가량의 질소비료를 2회 나누어 추비할 때 수량이 대조구 대비 약 19% 증대효과가 있다고 하여 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다. 하지만 과도한 양의 관비는 옥수수의 생육 및 수량을 감소하는 결과를 초래한다. Wang *et al.* (2021)은 관비량이 135 kg N ha^{-1} 를 초과 할 때 지상부 수량은 감소할 것을 예측하였고, Okumura *et al.* (2014)은 추비로 90 kg N ha^{-1} 를 초과시 생육 및 수량이 감소한다고 하였는데 이것은 본 실험의 N 10 처리구(100 kg N ha^{-1})의 생육 및 수량이 N 8 처리구에 비해 낮은 결과를 보인 것과 일치하였다.

물과 비료는 옥수수 생육에 및 수량에 많은 영향을 주므로 효율적인 관수 및 관비가 매우 중요하다(Noor, 2017). Gawali *et al.* (2020)는 고품성 비료보다 수용성 비료의 흡수율이 질소에서 27%가량 높다고 하였고, Hassan *et al.* (2010)은 관비재배가 관행시비에 비하여 작물의 질소 흡수량이 약 40%가량 더 높다고 보고하였다. 이것은 지중점적 시설을 이용한 관수 및 관비 재배시에는 작물의 근권부에 직접적으로 양수분을 공급하므로 기존의 이랑관개 및 지표 시비에 비해 수분 및 양분 이용효율이 약 5배가량 높기 때문인 것으로 보인다(Aydinsakir *et al.*, 2021; De Pascale *et al.*, 2011). 지중점적에 의한 관수 및 관비의 효과는 옥수수 뿐만 아니라 감자, 콩, 토마토와 같은 작물들에서도 수분 및 양분 이용효율이 높다고 보고되고 있다(Ayars *et al.*,

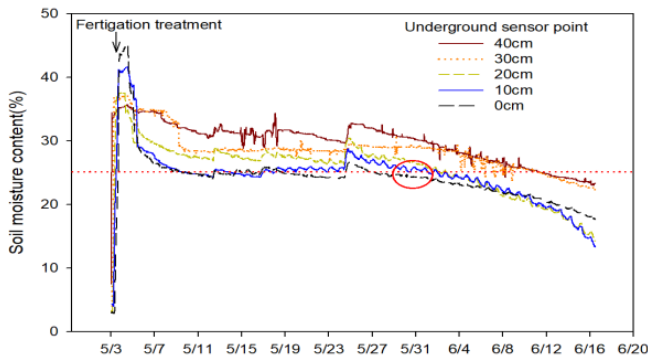


Fig. 7. Changes in soil moisture content by soil depth in the first month after fertigation treatment. The red circle indicates that the soil moisture content was maintained at about 25% at a depth of 10 cm underground.

1999; Badr & Abuarab, 2013; Lamm & Schlegel, 2013). 결과적으로 지중점적 시설을 활용한 관수 및 관비 재배가 관행재배 보다 양·수분이용 효율이 비교적 높기 때문에 옥수수의 생육과 수량 증대에 영향을 미친 것으로 사료된다.

옥수수 생육시기에 따라서 수분 및 양분요구도가 달라지는데 옥수수는 V 6 단계부터 개화기까지 가장 많은 양·수분이 요구된다. Bender *et al.* (2013)은 V 10단계부터 양분 흡수량이 증가하며 특히 질소뿐만 아니라 칼리와 인을 포함한 다량 및 미량원소의 흡수량이 급격히 증가한다고 하였고, Wang *et al.* (2018)은 옥수수 생육 전반에 걸쳐 질소 관비재배를 실시한 결과 V6~개화기 사이에 전체 질소량의 50%를 흡수하였다고 하였다. 또한 옥수수는 생육단계별 요구량도 크게 변화하는데 초기 옥수수의 작물 수분계수는 0.11에서 영양생장기 말부터 유숙기에는 1.10로 높아져 영양생장단계 및 개화기에 각각 140~190, 160~210 mm 가량의 수분이 필요한 것으로 알려져 있다(Toureiro *et al.*, 2017; Van Donk *et al.*, 2013). Ertek & Kara (2013)도 옥수수 재배 시 V6와 R2 시기에 137.1~181.9 mm 정도의 수분을 공급을 할 때 초장, 경경, 및 이삭장이 크게 증가한다고 하였다. 그러나 Irmak *et al.* (2016)은 옥수수 개화기에 150~220 mm 범위 관수에 의해 옥수수 수량이 증가하나 그 이상의 관수 시 옥수수의 수량이 감소한다고 하여 적정량의 관수가 필요하다고 하였다.

따라서 옥수수의 봄 재배의 경우 V6 단계에서 R1까지는 4주 정도의 시간이 요구된다. 따라서 본 실험 토양조건에서는 V6시기에 관수·관비(24.3 ton 10a⁻¹)를 하면 약 25일 정도 토양수분이 25%가량 유지되기 때문에 옥수수의 양·수분 요구도가 높은 시기에 충분한 양·수분을 공급할 수 있고 양·수분이 떨어지는 시작하는 R1시기에 한 번 더 관비

를 하게 되면 대략적으로 R4 (dough) 시기까지 수분이 유지되기 때문에 수분스트레스나 양분 결핍에 의한 수량 감소는 방지할 수 있고 오히려 적절한 양·수분 공급에 의한 수량 증대효과를 볼 수 있다(Fig. 7). 하지만 관수와 관비를 세분화하여 각 생육단계별 관수 또는 관비시기에 관한 연구와 관비 시 관비농도에 관한 연구는 추가적으로 수행되어야 할 것으로 보인다.

적 요

본 연구는 지중점적시설을 이용한 옥수수 관수·관비재배 시 옥수수의 생육 및 수량 반응을 조사하여 적합한 관수 및 관비기준을 마련하고자 수행되었다.

- 1) 사양토 조건에서 지중점적시설을 이용한 관비 재배 시 옥수수 근권부까지 필요한 수분은 24.3 ton 10a⁻¹의 물이 소모되었다.
- 2) 사양토(점토함량 10.2%) 조건에서 한번 관수·관비로 토양수분함량이 25%정도 유지될 수 있는 기간은 25일, 20% 정도까지는 30일간 지속되었다.
- 3) 지중점적 관수·관비처리에 따른 옥수수 지상부 생육은 N 8 처리구에서 가장 우수하였으며 N 10 처리구에서는 감소하는 경향이 나타났다.
- 4) 지중점적 관수·관비처리에 따른 옥수수 수량구성요소는 N 8 처리구가 가장 우수하였으며 관수구 대비 약 14%, 무처리 대비 약 30%의 증수 효과를 나타내었다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호PJ0157540 22023)의 지원을 받았으며, 이에 감사합니다.

인용문헌(REFERENCES)

- Adeniyan, O. N. 2014. Effect of different population densities and fertilizer rates on the performance of different maize varieties in two rain forest agro ecosystems of South West Nigeria. *African Journal of Plant Science* 8(8) : 410-415.
- Ashraf, U., M. N. Salim, S. H. E. R. Alam, K. H. A. N. Aqil, P. A. N. Shenggang, and T. A. N. G. Xiangru. 2016. Maize growth, yield formation and water-nitrogen usage in response to varied irrigation and nitrogen supply under semi-arid climate. *Turkish Journal of Field Crops* 21(1) : 88-96.
- Ayars, J. E., C. J. Phene, R. B. Hutmacher, K. R. Davis, R. A.

- Shoneman, S. S. Vail, R. M. Mead. 1999. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. *Agricultural Water Management* 42(1) : 1-27.
- Aydinsakir, K., N. Dinc, D. Buyuktas, M. Kocaturk, C. F. Ozkan, and C. Karaca. 2021. Water productivity of soybeans under regulated surface and subsurface drip irrigation conditions. *Irrigation Science* 39(6) : 773-787.
- Badr, A. E. and M. E. Abuarab. 2013. Soil moisture distribution patterns under surface and subsurface drip irrigation systems in sandy soil using neutron scattering technique. *Irrigation Science* 31(3) : 317-332.
- Bender, R. R., J. W. Haegele, M. L. Ruffo, and F. E. Below. 2013. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. *Agronomy Journal* 105(1) : 161-170.
- Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research* 89(1) : 1-16.
- De Pascale, S., L. Dalla Costa, S. Vallone, G. Barbieri, and A. Maggio. 2011. Increasing water use efficiency in vegetable crop production: from plant to irrigation systems efficiency. *HortTechnology* 21(3) : 301-308.
- Ertek, A. and B. Kara. 2013. Yield and quality of sweet corn under deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 129(1) : 138-144.
- Fanish, S. A., P. Muthukrishnan, and P. Santhi. 2011. Effect of drip fertigation on field crops-a review. *Agricultural Reviews* 32(1) : 14-25.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2022. <https://www.fao.org/faostat>.
- Gao, Y., L. Yang, X. Shen, X. Li, J. Sun, A. Duan, and L. Wu. 2014. Winter wheat with subsurface drip irrigation (SDI): Crop coefficients, water-use estimates, and effects of SDI on grain yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management* 146(1) : 1-10.
- Gawali, J., A. Dhamak, and S. Waikar. 2020. Effect of Water-Soluble fertilizers through fertigation on growth, yield component and yield of Bt cotton. *International Journal of Communication Systems* 8(5) : 2635-2638.
- Gençoğlan, C., H. Altunbey, and S. Gençoğlan. 2006. Response of green bean (*P. vulgaris* L.) to subsurface drip irrigation and partial rootzone-drying irrigation. *Agricultural Water Management* 84(3) : 274-280.
- Hassan, S. W., F. C. Oad, S. D. Tunio, A. W. Gandahi, M. H. Siddiqui, S. M. Oad, and A. W. Jagirani. 2010. Impact of nitrogen levels and application methods on agronomic, physiological and nutrient uptake traits of maize fodder. *Pakistan Journal of Botany* 42(6) : 4095-4101.
- Irmak, S., K. Djaman, and D. R. Rudnick. 2016. Effect of full and limited irrigation amount and frequency on subsurface drip-irrigated maize evapotranspiration, yield, water use efficiency and yield response factors. *Irrigation Science* 34(4) : 271-286.
- Jha, S. K., Y. Gao, H. Liu, Z. Huang, G. Wang, Y. Liang, and A. Duan. 2017. Root development and water uptake in winter wheat under different irrigation methods and scheduling for North China. *Agricultural Water Management* 182(1) : 139-150.
- Kandelous, M. M., J. Šimůnek, M. T. Van Genuchten, and K. Malek. 2011. Soil water content distributions between two emitters of a subsurface drip irrigation system. *Soil Science Society of America Journal* 75(2) : 488-497.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2023. <https://kosis.kr/index/index.do>
- Kumar, S. T. and B. J. Pandian. 2010. Effect of fertigation frequencies and levels on growth and yield of maize. *Madras Agricultural Journal* 97(7-9) : 245-248.
- Kumar, S., M. A. Basavanneppa, B. G. Koppalkar, M. R. Umesh, and A. K. Gaddi. 2018. Precision nitrogen management in maize (*Zea mays* L.) through leaf colour chart tool in Tunga Bhadra Command area. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences* 7(2) : 43-46.
- Lamm, F. R. 2016. Cotton, tomato, corn, and onion production with subsurface drip irrigation: A review. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers* 59(1) : 263-278.
- Lamm, F. R. and A. J. Schlegel. 2013. Effect of subsurface drip irrigation capacity and nitrogen fertigation timing on corn production. In 2013 Kansas City, Missouri, July 21-July 24, 2013 (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Lamm, F. R. and T. P. Trooien. 2003. Subsurface drip irrigation for corn production: a review of 10 years of research in Kansas. *Irrigation Science* 22(1) : 195-200.
- Lee, S., K. Y. Jung, H. C. Chun, Y. D. Choi, and H. W. Kang. 2018. Response of soybean (*Glycine max* L.) to subsurface drip irrigation with different dripline placements at a sandy-loam soil. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 51(2) : 79-89.
- Liang, S. and T. Yoshihira. 2022. Effect of nitrogen topdressing on planting density response of grain yield in maize with different planting pattern cultivation. *Grassland Science* 68(3) : 286-297.
- Lyou, C. W., Y. C. Shin, S. G. Heo, Y. H. Choi, K. J. Lim, and J. D. Choi. 2005. Comparison of pollutant load discharge characteristics with chemical fertilizer and organic compost applications. In *Proceedings of the Korean Society of Agricultural Engineers Conference* (pp. 490-495). The Korean Society of Agricultural Engineers.
- Ma, L., L. R. Ahuja, T. J. Trout, B. T. Nolan, and R. W. Malone. 2016. Simulating maize yield and biomass with spatial variability of soil field capacity. *Agronomy Journal* 108(1) : 171-184.
- Ma, L., L. R. Ahuja, A. Islam, T. J. Trout, S. A. Saseendran, and

- R. W. Malone. 2017. Modeling yield and biomass responses of maize cultivars to climate change under full and deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 180(1) : 88-98.
- Mattar, M. A., T. K. Zin El-Abedin, H. M. Al-Ghobari, A. A. Alazba, and H. O. Elansary. 2021. Effects of different surface and subsurface drip irrigation levels on growth traits, tuber yield, and irrigation water use efficiency of potato crop. *Irrigation Science* 39(1) : 517-533.
- Mi, N., F. Cai, Y. Zhang, R. Ji, S. Zhang, and Y. Wang. 2018. Differential responses of maize yield to drought at vegetative and reproductive stages. *Plant, Soil and Environment* 64(6) : 260-267.
- Millet, E. J., W. Kruijjer, A. Coupel-Ledru, S. Alvarez Prado, L. Cabrera-Bosquet, S. Lacube, A. Charcosset, C. Welcker, and F. Tardieu. 2019. Genomic prediction of maize yield across European environmental conditions. *Nature Genetics* 51(6) : 952-956.
- Noor, M. A. 2017. Nitrogen management and regulation for optimum NUE in maize—A mini review. *Cogent Food & Agriculture* 3(1) : 1348214.
- Okumura, R. S., P. S. Vidigal Filho, C. A. Scapim, O. J. Marques, A. A. N. Franco, R. S. Souza, and D. L. Reche. 2014. Effects of nitrogen rates and timing of nitrogen topdressing applications on the nutritional and agronomic traits of sweet corn. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 12(2) : 391-398.
- Pandey, R. K., J. W. Maranville, and M. M. Chetima. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment: II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. *Agricultural Water Management* 46(1) : 15-27.
- Patel, N. E. E. L. A. M. and T. B. S. Rajput. 2013. Effect of deficit irrigation on crop growth, yield and quality of onion in subsurface drip irrigation. *International Journal of Plant Production* 7(3) : 417-436.
- Rasheed, Z. K. 2020. Analysis the wetted area for subsurface drip irrigation in different soils texture. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences* 51(2) : 712-722.
- Reyes-Cabrera, J., Zotarelli, L., Dukes, M. D., Rowland, D. L., and Sargent, S. A. 2016. Soil moisture distribution under drip irrigation and seepage for potato production. *Agricultural Water Management* 169(1) : 183-192.
- Roh, Y. J., D. Y. Chung, J. H. Ryu, J. D. So, and J. W. Cho. 2015. The Effects of Nitrogen Rates on The growth and Yield of Waxy Corn after Cultivating Hairy Vetch in Agricultural Fields with The Stream. *The Korean Journal of Crop Science* 60(3) : 333-337.
- Shahid, M. N., M. S. I. Zamir, I. U. Haq, M. K. Khan, M. Hussain, U. Afzal, M. Asum, and I. Ali. 2016. Evaluating the impact of different tillage regimes and nitrogen levels on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.). *American Journal of Plant Sciences* 7(6) : 789-797.
- Sharma, L. K. and S. K. Bali. 2017. A review of methods to improve nitrogen use efficiency in agriculture. *Sustainability* 10(1) : 51-74.
- Siebers, M. H., R. A. Slattery, C. R. Yendrek, A. M. Locke, D. Drag, E. A. Ainsworth, C. J. Bernacchi, and D. R. Ort. 2017. Simulated heat waves during maize reproductive stages alter reproductive growth but have no lasting effect when applied during vegetative stages. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 240(1) : 162-170.
- Singh, B. P., B. J. Hatton, B. Singh, A. L. Cowie, and A. Kathuria. 2010. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. *Journal of Environmental Quality* 39(4) : 1224-1235.
- Toureiro, C., R. Serralheiro, S. Shahidian, and A. Sousa. 2017. Irrigation management with remote sensing: Evaluating irrigation requirement for maize under Mediterranean climate condition. *Agricultural Water Management* 184 : 211-220.
- Ummerhofer, C. C. and G. A. Meehl. 2017. Extreme weather and climate events with ecological relevance: a review. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 372(1723) : 20160135.
- Van Donk, S. J., J. L. Petersen, and D. R. Davison. 2013. Effect of amount and timing of subsurface drip irrigation on corn yield. *Irrigation Science* 31 : 599-609.
- Wang, D., G. Li, Y. Mo, M. Cai, and X. Bian. 2018. Evaluation of optimal nitrogen rate for corn production under mulched drip fertigation and economic benefits. *Field Crops Research* 216(1) : 225-233.
- Wang, Y., S. Kang, F. Li, and X. Zhang. 2021. Modified water-nitrogen productivity function based on response of water sensitive index to nitrogen for hybrid maize under drip fertigation. *Agricultural Water Management* 245 : 106566.
- Żarski, J. and R. Kuśmierk-Tomaszewska. 2023. Effects of Drip Irrigation and Top dressing Nitrogen Fertigation on Maize Grain Yield in Central Poland. *Agronomy* 13(2) : 360-375.