

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2017.50.6.674>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

## Growth and Yield Responses of Corn (*Zea mays* L.) as Affected by Growth Period and Irrigation Intensity

Hyo-Hoon Nam<sup>1,2</sup>, Myung-Chul Seo<sup>1\*</sup>, Hyun-Suk Cho<sup>1</sup>, Yun-Ho Lee<sup>1</sup>, and Young-Jin Seo<sup>2</sup><sup>1</sup>Crop Production & Physiology Research Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea<sup>2</sup>Bonghwa Herbal Crop Research Institute, Gyeongsangbuk-do Agricultural Research and Extension Services, Bonghwa 36229, Korea

\*Corresponding author: mcseo@korea.kr

### ABSTRACT

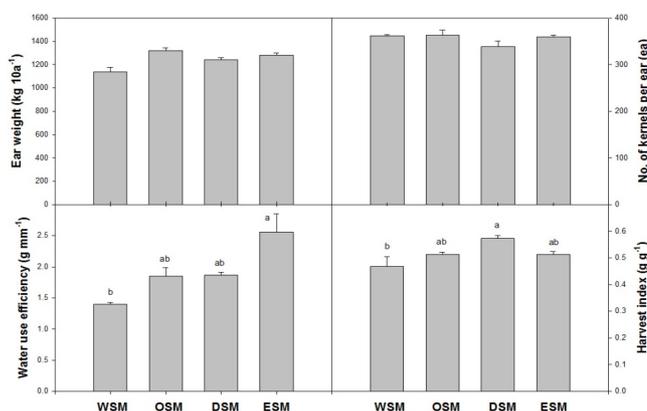
Received: October 16, 2017

Revised: November 15, 2017

Accepted: December 14, 2017

The frequency and intensity of soil moisture stress associated with climate change has increasing, and the stability of field crop cultivation has decreasing. This experiment was conducted to investigate the effect of soil moisture management method on growth and yield of corn. Soil moisture was managed at the grade of WSM (wet soil moisture, 34.0~42.9%), OSM (optimum soil moisture, 27.8~34.0%), DSM (dry soil moisture, 20.3~27.8%), and ESM (extreme dry moisture, 16.6~20.3%) during V8 (8th leaf stage)-VT (tasseling stage). After VT, irrigation was limited. The treated amount of irrigation was 54.1, 47.7, 44.0 and 34.5% of total water requirement, respectively. The potential evapotranspiration during the growing period was 3.29 mm day<sup>-1</sup>, and upward movement of soil water was estimated by the AFKAE 0.5 model in the order of ESM, DSM, OSM, and WSM. We could confirm this phenomenon from actual observations. There was no significant difference in leaf characteristics, dry matter, and primary productivity depending on the level of soil moisture, but leaf development was delayed and dry weight decreased in DSM. However, dry weight and individual productivity of DSM increased after irrigation withdrawal compared to that of OSM. In DSM, ear yield and number of kernels per ear decreased, but water use efficiency and harvest index were higher than other treatments. Therefore, it is considered that the soil moisture is concentratedly managed before the V8 period, the V8-VT period is controlled within the range of 100 to 500 kPa (20.3~27.8%), and no additional irrigation is required after the VT.

**Keywords:** Soil moisture, Growth analysis, Water use efficiency



Yield responses of *Zea mays* L. as affected by irrigation scheme, WSM (10~33 kPa), OSM (33~100 kPa), DSM (100~500 kPa), and ESM (500~1500 kPa), during V8-VT.



## Introduction

기후변화가 가속됨에 따라 고온, 저온, 한발, 폭우 등 이상 기상의 발생 빈도도 지속적으로 증가하고 농업분야 특히 밭작물에도 다양한 영향을 미칠 것으로 예측된다 (IPCC, 2014). 미래 환경조건의 예측가능성이 감소하고 있어 안정적인 농업생산성을 확보하기 위해서는 이상 기상에 대한 피해해석 및 경감기술 개발이 필요하다. RCP 8.5 시나리오를 통해 분석한 결과 장차 강수량은 증가되지만 가뭄의 빈도나 강도는 줄어들지 않을 것이라고 예상한 연구결과 (Seo, 2014)와 같이 작물 생육에 요구되는 토양수분의 적절한 공급이 점차 어려워질 것이다. 수분스트레스를 경감할 수 있는 가장 이상적인 방법은 최적의 토양수분 환경을 생육기간 동안 지속적으로 유지하는 것이지만 관개수 부족, 경비 증가 등으로 제한적일 수밖에 없다. 또한 기후변화의 영향으로 한해와 습해의 발생시기 및 양상이 달라지고 있으므로 작물별, 생육시기별 이수량 (Eom et al., 2013), 한발피해 경감을 위한 토양수분 관리 기준 (Kim et al., 2016) 구명 등을 통해 최적 관개 기준 설정이 요구된다. 한편 작물의 수분요구량을 산정할 때 실제 토양환경에서 발생하는 토양수분의 이동을 적절히 반영하지 못하는 경우가 발생하여 때로는 실제 요구량에 비해 많은 관수량이 설정되기도 한다.

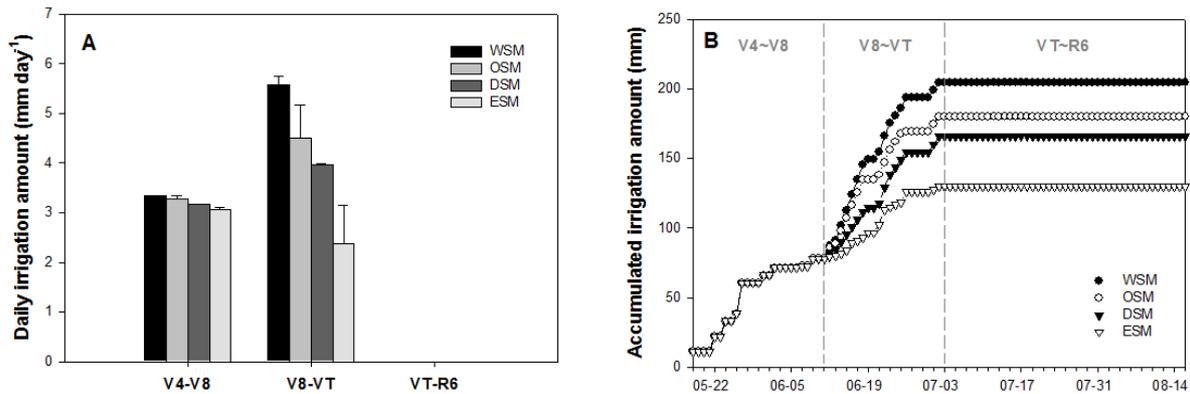
가뭄, 홍수 등의 기상조건이 밭작물 생산에 중요한 제한요인으로 작용하고 기후변화에 따른 변동성이 증가함에 따라 생산 안정성을 높이기 위한 다양한 연구들이 보고되고 있다 (Kim et al., 2015). 강수량은 옥수수의 생산성에 가장 큰 영향을 미치는 기상요인으로서 개화기에 한발피해에 가장 취약하며 피해시기와 강도에 따라 수량이 최대 15~53% 감소하고 (Claasen and Shaw, 1970) 유수형성기와 개화기에 한발증상이 지속될수록 1일당 종실수량은 각각 5, 18% 감소한다 (Kim et al., 2016). 한발 피해에 민감한 개화기의 생육반응은 작물체의 토양수분 스트레스에 대한 적응 정도에 따라 달라지는데 (He et al., 2017) 국내에서 전 생육기간에 걸친 토양수분 스트레스 반응과 실제 재배포장에서 의 반응 검토는 미비한 실정이다.

본 연구는 무저 라이시미터에서 재배한 옥수수의 생육단계별 토양수분 관리방법에 따른 토양수분수지 예측과 생장 및 수량에 미치는 영향을 구명함으로써 기후변화에 대응한 피해해석 및 적정 토양수분 관리체계 설정을 위하여 수행하였다.

## Materials and Methods

본 연구는 국립식량과학원 시험연구포장 (35°84'34''N, 127°04'84''E)내 비가림하우스에서 수행하였다. 시험토양은 모래 42.9, 미사 28.5, 점토 28.6%의 식양토였고 가로 2 m, 세로 2 m, 깊이 0.5 m의 무저 라이시미터를 지표면 높이와 같게 매설하여 토양수분의 수평 이동을 방지하였으며 각 시험구별로 점적관수시설을 설치하였다. 토양수분센서 (Waterscout SMEC 300, Spectrum Technologies, Inc., USA)를 지표면 10 cm 아래에 매설하여 1시간 단위로 토양수분과 토양온도를 조사하였다. 토양수분 처리는 V4-V8 (4엽기~8엽기, 5월 18일~6월 12일)까지는 적습상태를 유지한 뒤 V8 (6월 13일)부터 VT (출용기, 7월 2일)까지 20일간 과습 (WSM, Wet soil moisture) 10~33 kPa (42.9~34.0%), 적습 (OSM, Optimum soil moisture) 33~100 kPa (34.0~27.8%), 건조 (DSM, Dry soil moisture) 100~500 kPa (27.8~20.3%), 매우건조 (ESM, Extreme dry soil moisture) 500~1500 kPa (20.3~16.6%)로 실시하였고 그 이후 단수하였다. 시험토양의 수분보유특성곡선으로부터 유도된 관계식  $\text{volumetric \%} = 4e+09\text{kPa}^{-5.28}$  ( $R^2 = 0.99$ )을 통해 10, 33, 100, 500, 1500 kPa에 해당하는 42.9, 34.0, 27.8, 20.3 16.6%를 관수개시점과 종말점으로 설정하였다. 각 처리별 관수량은 204, 180, 166, 130 mm이었고 이는 옥수수의 전 생육기간 동안의 평균 총 물 요구량 377

mm (Eom et al., 2013)의 54.1, 47.7, 44.0, 34.5% 수준이었다 (Fig. 1). 생육기간 중 FAO Penman-Monteith식에 의해 잠재적 증발산량 (PET, Potential evapotranspiration)을 산출하였고 토양수분 예측모형 AFKAE 0.5 (Seo et al., 2012)를 활용하여 토양수분 수지변화를 추정하였다.



**Fig. 1.** Daily (A) and accumulated (B) irrigation amount according to irrigation schemes. WSM, OSM, DSM, and ESM respectively stand for wet (10~33 kPa), optimum (33~100 kPa), dry (100~500 kPa), and extreme dry (500~1500 kPa) soil moisture during V8-VT. V4, V8, VT, and R6 mean growth stage of fourth leaf, eighth leaf, tasseling, and maturity, respectively.

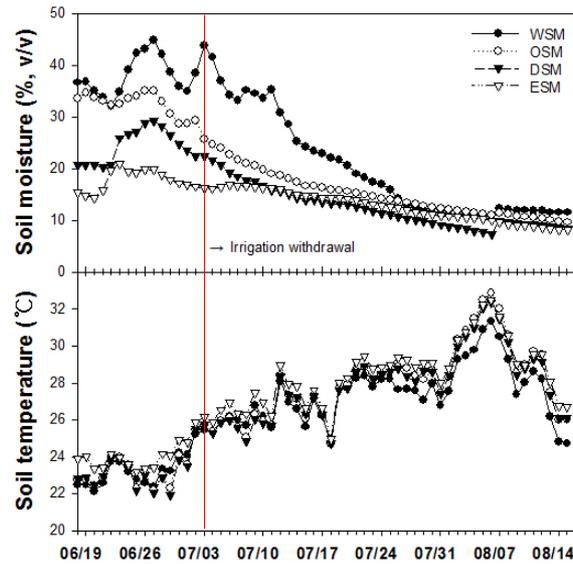
10a당 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, 퇴비를 각각 15, 3, 6, 1,500 kg을 시비하였고 N은 기비와 추비(7엽기)를 1:1의 비율로 분시하였다. 찰옥수수 ‘일미찰’ (Jung et al., 2006)을 72공 트레이에 5월 2일 파종하여 17일간 육묘한 뒤 5월 18일에 60×25 cm 간격으로 정식하였다.

5월 18일, 6월 21일, 7월 19일, 8월 16일에 엽수를 조사하였고 식물체를 3주씩 수확하여 건물중과 엽면적을 측정하였으며 LAI (leaf area index), SLA (specific leaf area), LAD (leaf area duration), LAR (leaf area ratio) 등 광합성 기관의 분포와 RGR (relative growth rate), NAR (net assimilation rate), CGR (crop growth rate) 등 일차생산성 평가요인들을 산출하였다. 7월 28일 수확하여 이삭중, 이삭장, 수당 립수 등을 조사하였고 이삭 수량과 관수량의 비율로 수분이용효율 (WUE, water use efficiency), 지상부 건물중과 이삭건물중의 비율로 수확지수 (HI, Harvest index)를 산출하였다. Dumas법에 따라 건조 분쇄한 시료 2 g을 원소분석기 (vario MAX cube, Elementary, Germany)를 사용하여 N 함량을 측정하였고 NRE (Nitrogen remobilization efficiency)은 출사기와 등숙기의 영양생장기관 (잎, 줄기) 질소함량 비율로 구하였다.

통계분석은 R (v3.4.1)과 Sigmaplot (v12.0, Systat Software Inc., USA)을 이용하여 5% 수준에서 유의성을 검정하였다.

## Results and Discussion

처리별 토양수분과 토양온도의 변화는 Fig. 2와 같다. V4-VT 기간의 평균 토양수분 함량은 WSM 36.8%, OSM 31.2%, DSM 23.5%, ESM 17.6%로서 각 처리별 설정범위내에서 관리되었으며 VT-R6 (등숙기)에는 WSM 20.0%, OSM 14.9%, DSM 12.2%, ESM 12.6%이었다. 토양온도는 토양수분 함량이 높을수록 낮았고 WSM와 ESM은 처리기간 전체 평균온도에 있어서 약 1.1°C의 차이를 보였다.



**Fig. 2.** Changes of soil moisture and temperature as affected by irrigation schemes. WSM, OSM, DSM, and ESM respectively stand for wet (10~33 kPa), optimum (33~100 kPa), dry (100~500 kPa), and extreme dry (500~1500 kPa) soil moisture during V8-VT.

**Table 1.** Potential evapotranspiration and upward movement of soil moisture according to irrigation schemes.

Growth stage	Potential evapotranspiration (A, mm day <sup>-1</sup> )	Upward movement of soil moisture (B, mm day <sup>-1</sup> )				B/A (%)			
		WSM <sup>†</sup>	OSM	DSM	ESM	WSM	OSM	DSM	ESM
V4-V8 <sup>†</sup>	3.94	0.79	0.79	0.79	0.79	20.0	20.0	20.0	20.0
V8-VT	3.41	0.56	0.74	0.84	0.93	16.6	21.7	24.7	27.2
VT-R6	2.84	1.00	1.03	1.03	1.05	35.2	36.2	36.3	36.8
Average	3.29	0.84	0.89	0.92	0.95	25.5	27.1	28.0	28.9

<sup>†</sup>V4, V8, VT, and R6 mean growth stage of fourth leaf, eighth leaf, tasseling, and maturity, respectively.

<sup>‡</sup>WSM, OSM, DSM, and ESM respectively stand for wet (10~33 kPa), optimum (33~100 kPa), dry (100~500 kPa), and extreme dry (500~1500 kPa) soil moisture during V8-VT.

전주지역 기상청 일별 기상자료를 기초로 한 전 생육기간의 PET는 3.29 mm day<sup>-1</sup>이었고 V4-V8 3.94, V8-VT 3.41, VT-R6 2.84 mm day<sup>-1</sup>이었다 (Table 1). 옥수수 노지재배에서 전국 평균이 2.85 mm day<sup>-1</sup> 가량으로 알려진 것 (Eom et al., 2013)과 비교하여 지역간 변이와 함께 기온 상승과 일조시간 증가로 인한 차이로 보인다. PET는 신장기에 가장 많고 개화기 이후 등숙기에는 상대적으로 적은 경향을 보이게 되며 이와 같은 추세에 따라 수분요구량을 산정하고 관개시스템을 설정하게 된다. 증발산량을 기초로 하여 관수량을 결정할 경우 토양환경 내에서 이동하는 수분을 고려하지 않게 되는데 AFKAE 0.5모형에 따르면 모세관 상승수분은 생육시기별로는 VT-R6 > V8-VT > V4-V8의 순으로 많았다. 처리별로는 관수량에 반비례로 변화하여 ESM > DSM > OSM > WSM의 순이었으며 이는 증발산량의 28.9, 28.0, 27.1, 25.5%에 해당하는 양이었다. 건조한 토양환경에서 토양수분의 상승이 많은 것은 모세관 단절이 발생하지 않는 범위 내에서 대기, 표토와의 증기압차 증가로 인해 상승압력이 높아지기 때문이다. 출용기인 7월 3일부터 15일간의 토양수분 일변화 (Fig. 3)를 통해 이와 같은 상승류의 영향을 확인할 수 있었다. 토양수분의 유입이 차

단된 상태에서의 일변화(Diurnal change)는 증발산, 광합성, 온도 등에 영향을 받아 역S자의 형태로 감소하게 된다. 하지만 실제 관측에서는 토양수분이 감소하다가 상승한 뒤 다시 감소하는 3차 함수 모양의 변화를 보였고, 상승 후 재 감소하는 구간은 18~19시 사이에 발생하였다. 이와 같은 변화는 WSM, OSM, DSM, ESM 각각 20, 53, 75, 80%의 빈도로 발생하여 최초 토양수분이 낮은 처리에서 토양수분의 재상승이 빈번하게 관찰되는 경향이었고 토양수분이 낮은 환경에서 상승류의 영향이 크다는 AFKAE0.5 모델의 예측치와 일치하였다.

관수방법에 따른 옥수수 잎의 특성 (Fig. 4)은 유의한 차이를 보이지 않았으나 생육 후기에 WSM, OSM의 고사엽이 상대적으로 증가하여 엽수가 급격히 감소하였다. 단수 처리 전인 6월 21일에는 OSM의 엽면적이 6,754 cm<sup>2</sup>으로

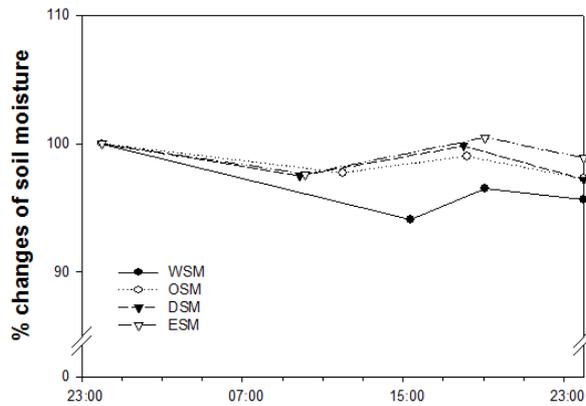


Fig. 3. Diurnal changes of soil moisture as affected by irrigation scheme. WSM (n = 3), OSM (n = 8), DSM (n = 10), and ESM (n = 12) respectively stand for wet (10~33 kPa), optimum (33~100 kPa), dry (100~500 kPa), and extreme dry (500~1500 kPa) soil moisture during V8-VT.

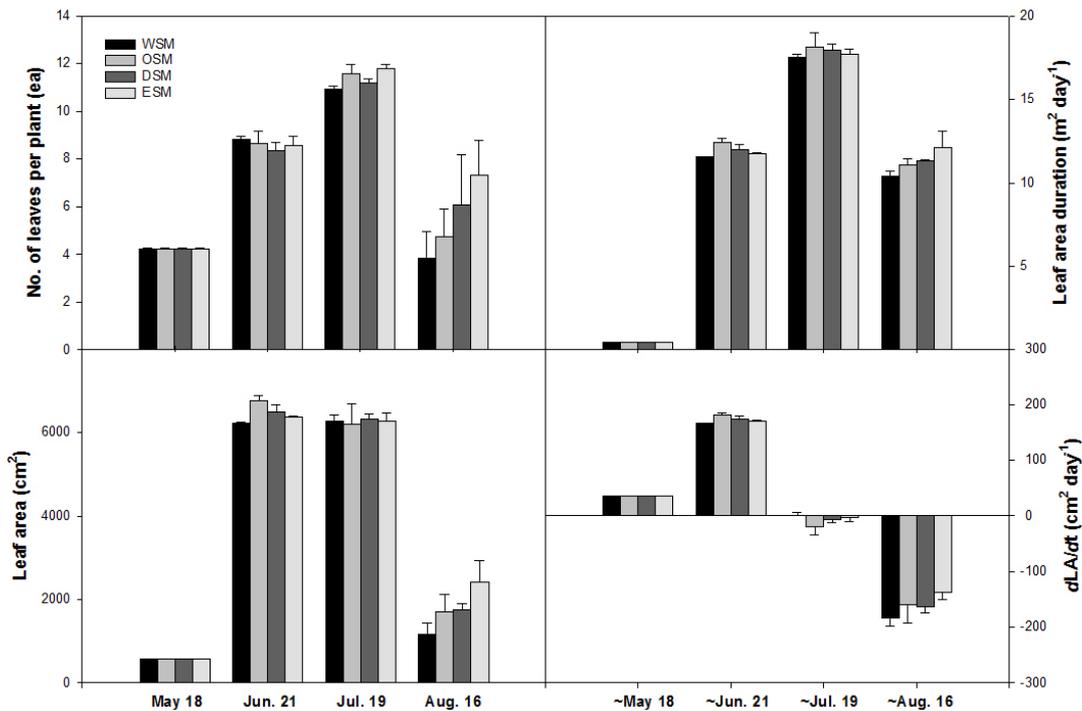


Fig. 4. Leaf characteristics of *Zea mays* L. as affected by irrigation scheme. WSM, OSM, DSM, and ESM respectively stand for wet (10~33 kPa), optimum (33~100 kPa), dry (100~500 kPa), and extreme dry (500~1500 kPa) soil moisture during V8-VT.

가장 넓었고 처리 이후에는 엽수와 같은 추세로 변화하여 8월 16일에는 ESM이 2,408 cm<sup>2</sup>로 다른 처리보다 많았다. 엽면적 지속기간은 관수기에는 OSM, 단수 처리기에는 ESM 처리가 양호하였다. 엽수 감소와 함께 단수처리 이후 엽면적 감소 속도는 WSM > OSM > DSM > ESM 순으로 나타나는 등 토양수분 함량을 높게 관리한 처리에서 광합성 기관의 급격한 감소가 관찰되었다. 각 처리별 엽면적과 생육일수의 관계에서 최대 엽면적을 보일 것으로 추정되는 생육 기간은 토양수분이 높을수록 단축되는 경향이었고 ESM은 WSM에 비해 2.2일 정도 지연되었다 (Table 2). 영양생장기 토양수분의 차이는 엽면적 확보 및 근락의 형성에 영향을 미쳐 적절한 토양수분으로 관리하는 것이 광합성 기관 형성에 긍정적인 영향을 미쳤지만 개화기 이후 단수 처리시기에는 오히려 토양수분이 낮은 DSM, ESM의 엽면적 감소가 상대적으로 느렸다. 이는 한발 스트레스가 옥수수 잎의 발달을 저해하고 광합성능력을 저하시키는데 (Abrecht and Carbery, 1993; Aslam et al., 2013) V8-VT의 수분스트레스로 인해 잎의 분화가 지연되고 개별 잎의 성장속도가 둔화되어 생육 후기까지 상대적으로 많은 광합성기관을 유지할 수 있었던 것으로 보인다. 또한, 토양수분 흡수력, 삼투조정 능력 등 수분스트레스에 반응하는 잎 수분포텐셜 유지 능력은 품종에 따라 다른데 (Aparicio-Tejo and Boyer, 1983) 수분 스트레스를 받기 전 식물체의 적응 정도에 따라서도 광합성기관의 양적 구성에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

**Table 2.** Relation between leaf area and days after seeding of *Zea mays* L. as affected by irrigation schemes.

Treatments <sup>†</sup>	Equations	Coefficient of determination	Assumed maximum leaf area time (DAS <sup>‡</sup> )
WSM	LA = -2.939 DAS <sup>2</sup> +252296 DAS-5414195745	0.998	63.3
OSM	LA = -2.919 DAS <sup>2</sup> +250546 DAS-5376703424	0.997	63.4
DSM	LA = -2.867 DAS <sup>2</sup> +246108 DAS-5281505502	0.999	64.9
ESM	LA = -2.625 DAS <sup>2</sup> +225378 DAS-4830782235	0.999	65.5

<sup>†</sup>WSM, OSM, DSM, and ESM respectively stand for wet (10~33 kPa), optimum (33~100 kPa), dry (100~500 kPa), and extreme dry (500~1500 kPa) soil moisture during V8-VT.

<sup>‡</sup>Day after seeding.

생육시기에 따라 수분 스트레스에 대한 식물체내 물질분배 양상은 달라지는데 영양생장기는 뿌리 건물중이 증가하고 개화기는 이삭의 형성, 화분 방출, 등숙에 영향을 미쳐 수량 감소로 이어지게 될 뿐 아니라 2차 이삭의 형성을 촉진하기도 한다. 처리에 따른 건물중이나 기관별 분배율에는 유의한 차이는 보이지 않았으나 개화기 이전에는 OSM의 건물중이 가장 많았고 잎, 줄기로의 건물 분배량이 많았으며 단수 처리 개시 후에는 DSM, ESM 처리의 건물중이 더 증가하였고 이삭 건물중의 비율이 증가하였다 (Table 3). DSM 처리의 총 N 함량이 가장 많았고 줄기와 뿌리에 분배량이 많았던 반면 OSM 처리는 잎과 이삭으로의 분배량이 많았다 (Table 4). 그 결과 NRE는 토양수분이 낮은 처리일수록 감소하는 경향이었으며 건조환경에서 영양생장기관으로의 N 분배가 증가하였다. 출사기에 추가적인 관수가 등숙기 영양생장기관내 N 함량을 감소시킨다는 보고 (Gao et al., 2017)와 일치하는 결과였다.

개체생산성은 생육 초기에 가장 높고 생육이 진전될수록 감소하는 것이 일반적인 경향이며 토양수분 수준의 영향 없이 변화 양상은 유사하였다 (Table 5). 다만, DSM은 RGR, NAR, CGR 등 1차 생산성 지표들이 양호하였고 특히 개화기 이후 단수 상태에서도 WSM 또는 OSM에 비해 생산성의 감소정도가 상대적으로 적었다. 수분 스트레스 환경에서 수량과 건물생산성을 유지하는 것은 식물체의 토양수분 흡수, 삼투조정을 통한 잎 수분포텐셜의 유지가 중요한

**Table 3.** Changes of dry matters (g) as affected by drought after different irrigation intensity during vegetative growth stage in *Zea mays* L.

Treatments <sup>†</sup>	Organs	May 18	Jun. 21	Jul. 19	Aug. 16
WSM	Sum	7.8	67.8	234.1	261.1
	Leaf	2.2	30.7	43.7	34.6
	Stem	0.8	30.1	82.7	91.3
	Root	4.8	7.0	19.9	16.2
	Flower	-	-	4.3	3.1
	Ear	-	-	87.1	115.9
OSM	Sum	7.8	77.5	243.5	288.2
	Leaf	2.2	35.9	45.7	40.3
	Stem	0.8	34.9	72.5	87.5
	Root	4.8	6.7	26.0	15.9
	Flower	-	-	4.9	3.2
	Ear	-	-	96.7	141.7
DSM	Sum	7.8	72.2	244.6	339.1
	Leaf	2.2	34.2	45.7	38.8
	Stem	0.8	31.6	72.4	95.9
	Root	4.8	6.4	24.7	16.6
	Flower	-	-	4.1	3.8
	Ear	-	-	99.7	185.3
ESM	Sum	7.8	70.5	247.7	339.1
	Leaf	2.2	33.8	45.1	39.5
	Stem	0.8	29.9	73.0	113.0
	Root	4.8	6.8	25.4	20.8
	Flower	-	-	4.3	3.6
	Ear	-	-	101.3	162.6

<sup>†</sup>WSM, OSM, DSM, and ESM respectively stand for wet (10~33 kPa), optimum (33~100 kPa), dry (100~500 kPa), and extreme dry (500~1500 kPa) soil moisture during V8-VT.

**Table 4.** N contents and NRE (nitrogen remobilization efficiency) of *Zea mays* L. as affected by irrigation schemes.

Treatment <sup>†</sup>	N content (g plant <sup>-1</sup> )						NRE (%)
	Sum	Leaf	Stem	Root	Ear	Tassel	
WSM	3.81	1.26	1.17	0.25	1.08	0.07	-0.53
OSM	4.74	1.46	1.30	0.35	1.57	0.06	-0.56
DSM	4.96	1.38	1.62	0.50	1.40	0.07	-0.71
ESM	4.47	1.30	1.30	0.48	1.34	0.05	-0.70
LSD (5%)	0.28	ns <sup>‡</sup>	0.27	ns	0.10	ns	ns

<sup>†</sup>WSM, OSM, DSM, and ESM respectively stand for wet (10~33 kPa), optimum (33~100 kPa), dry (100~500 kPa), and extreme dry (500~1500 kPa) soil moisture during V8-VT.

<sup>‡</sup>not significantly different.

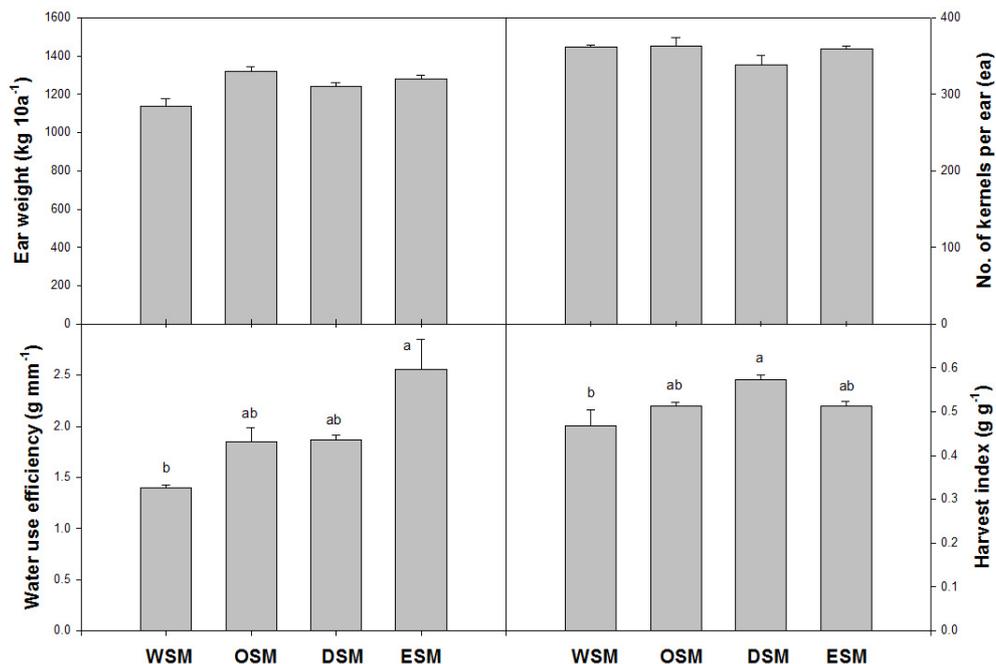
**Table 5.** Dry matter productivity of *Zea mays* L. as affected by irrigation schemes.

Treatments <sup>†</sup>	Relative growth rate ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ )			Net assimilation rate ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )			Crop growth rate ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )		
	May 18	Jun. 21	Jul. 19	May 18	Jun. 21	Jul. 19	May 18	Jun. 21	Jul. 19
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Jun. 21	Jul. 19	Aug. 16	Jun. 21	Jul. 19	Aug. 16	Jun. 21	Jul. 19	Aug. 16
WSM	63.5	44.3	3.9	7.47	9.50	3.18	2.8	39.5	13.3
OSM	67.4	36.6	10.3	8.21	7.66	7.37	3.1	34.5	30.4
DSM	65.3	43.6	11.7	7.78	9.60	9.49	2.9	41.6	40.0
ESM	64.6	44.9	11.2	7.69	10.03	8.09	2.9	42.5	33.8

<sup>†</sup>WSM, OSM, DSM, and ESM respectively stand for wet (10~33 kPa), optimum (33~100 kPa), dry (100~500 kPa), and extreme dry (500~1500 kPa) soil moisture during V8-VT.

역할을 한다 (Lorens et al., 1987). 개화기 이전 건조하게 관리된 DSM 처리가 생육 후기까지 잎 건물물이 낮았고 엽수가 오래 유지되는 등 광합성기관의 변화로 인해 생산성이 타 처리에 비해 높게 유지될 수 있었다.

파종 후 88일에 이삭수량을 조사한 결과 (Fig. 5) 이삭수와 이삭장은 처리 사이에 차이가 없었고 이삭수량, 수당립수, 종실중은 OSM이 가장 양호하였다. WSM은 이삭수가 적었고 이삭수량이 14% 감소하였고 DSM은 이삭수량이 6%, 수당립수가 7% 감소하였다. 옥수수는 V8-VT 사이에 한발 등 수분스트레스는 이삭의 형성과 등숙 등 수량과 직접적인 관계를 보이는 시기 (Heiniger, 2000; NeSmith and Ritchie, 1992)로서 스트레스 정도에 따라 수량 감소가 50%에 이르기도 한다. 개화기 한발 조건에서 DSM이 WSM에 비해 수량 감소가 적었고 수분이용효율과 수확지수는 DSM 또는 ESM에서 높았다.



**Fig. 5.** Yield components, water use efficiency, and harvest index of *Zea mays* L. according to irrigation scheme. WSM, OSM, DSM, and ESM respectively stand for wet (10~33 kPa), optimum (33~100 kPa), dry (100~500 kPa), and extreme dry (500~1500 kPa) soil moisture during V8-VT.

V8-VT까지의 토양수분의 차이는 적습한 환경에 비해 잎 발생을 지연시키고 이삭 수량을 6~14% 감소시켰다. 하지만 생육 후기에는 건조한 환경이 생육 및 수량 감소폭을 경감시키고 작물생산성을 높게 유지하였으며 수분이용효율도 높았다. 이와 같은 결과는 생육후기 한계 수준 이내의 한발조건이 근권내 토양수분의 이동을 증가시켜 수분수지를 개선함으로써 건조에 의한 피해정도를 경감하기 때문으로 보인다. 옥수수는 파종 또는 정식 후 활착되어 근락과 근권 형성이 완료되면 토양수분의 영향을 상대적으로 적게 받는 것으로 보이며 개화기 이후 생육 후기에 별도로 관개하지 않더라도 생육과 수량의 감소가 크지 않았다. 게다가 개화기 이후는 계절적으로 장마가 시작되므로 강우량이 증가하게 되고 이상 기후로 인해 마른 장마가 지속되더라도 별도의 관개를 고려하지 않아도 될 것으로 보인다. 이상 기후 등으로 인해 더욱 정밀한 토양수분 관리가 요구되는 상황에서 유묘기 토양수분 공급에 집중하고 영양생장기는 적정 범위 (33~100 kPa)보다 낮은 수준 (100~500 kPa)으로 관리하며 생육 후기에는 관개를 하지 않는 방식이 관개수의 이용 효율을 증대시키고 수량 감소를 최소화할 수 있는 방법이라고 생각된다. 우리나라에서 봄 옥수수 재배는 4월 초, 중순 파종하여 6월 하순 출사를 하고 7월 하순에 수확을 하는 것이 일반적이며 특히 옥수수의 영양생장기인 5월과 6월은 한발이 자주 발생하기 때문에 최적 생산을 위해서 영양생장기 물관리는 더욱 중요하다. 다만, 토성, 토심, 유기물 함량 등에 따라 토양수분 보유특성이 달라지므로 다양한 토양환경에서의 검토가 추가적으로 필요하다.

## Conclusions

기후변화에 따른 토양수분 스트레스의 빈도와 강도가 증가하고 있어 발작물 재배 안정성이 감소하고 있다. 옥수수의 생육단계별 토양수분 관리방법이 생육과 수량에 미치는 영향을 구명하기 위하여 본 실험을 수행하였다. V8-VT의 기간 동안 과습 (WSM), 적습 (OSM), 건조 (DSM), 매우 건조 (ESM)으로 각각 관리 후 단수처리를 실시하였다. 처리별 관수량은 수분요구량의 54.1, 47.7, 44.0, 34.5% 수준이었고 생육기간 동안의 잠재증발산량은  $3.29 \text{ mm day}^{-1}$ 이었다. AFKAE 0.5 모델에 의해 모세관이동에 의한 토양수분의 이동을 추정한 결과  $\text{ESM} > \text{DSM} > \text{OSM} > \text{WSM}$ 의 순이었고 실제 관측결과에서도 이와 같은 현상을 확인할 수 있었다. 토양수분의 수준에 따라 잎 특성, 건물중, 일차생산성 등에 유의한 차이를 보이지는 않았으나 DSM의 잎 발생이 지연되었고 건물중이 감소하였다. 하지만 단수 처리 이후 DSM의 건물중이 OSM에 비해 증가하였고 특히 이삭중이 증가하였으며 개체생산성이 높게 유지되었다. DSM에서 이삭수량과 수당립수가 감소하였으나 수분이용효율과 수확지수가 타 처리에 비해 높았다. 따라서 V8 이전 기간에 토양수분을 집중 관리하고 V8-VT 기간은 100~500 kPa (20.3~27.8%)의 범위에서 관리하고 VT 이후에는 별도의 관개를 고려하지 않아도 될 것으로 판단된다.

## Acknowledgement

This research was supported by Rural Development Administration (Project No. PJ011343012017), Republic of Korea.

## References

- Abrescht, D.G. and P.S. Carberry. 1993. The influence of water deficit prior to tassel initiation on maize growth, development and yield. *Field Crop Res.* 31:55-69.
- Aparicio-Tejo, P.M. and J.S. Boyer. 1983. Significance of accelerated leaf senescence at low water potentials for water loss and grain yield in maize. *Crop. Sci.* 23:1198-1202.
- Aslam, M., M.S.I. Zamir, I. Afzal, M. Yaseen, M. Mubeen, and A. Shaoib. 2013. Drought stress, its effect on maize development of drought tolerance through potassium application. *Cercetări Agronomice în Moldova*. Vol. XLVI, No.2(154):99-114.
- Classen, M.M. and R.H. Shaw. 1970. Water deficit effects on corn. II. Grain components. *Agron. J.* 62:652-655.
- Eom, K.C., S.H. Park, and S.Y. Yoo. 2013. Water requirement of maize according to growth stage. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 46:16-22.
- Gao, Z., X.G. Liang, S. Lin, X. Zhao, L. Zhang, L.L. Zhou, S. Shen, and S.L. Zhou. 2017. Supplemental irrigation at tasseling optimizes water and nitrogen distribution for high-yield production in spring maize. *Field Crop Res.* 209:120-128.
- He, H., Y.L. Du, T. Wang, N.C. Turner, R.P. Yang, Y. Jin, Y. Xi, C. Zhang, T. Cui, X.W. Fang, and F.M. Li. 2017. Conserved water use improves the yield performance of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under drought. *Agric. Water Manage.* 179:236-245.
- Heiniger, R.W. 2000. Irrigation and drought management. Crop Science Department.
- IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, p.151.
- Jung, T.W., H.G. Moon, B.Y. Son, S.J. Kim, S.W. Cha, H.K. Min, H.J. Choi, and I.M. Ryu. 2006. A new waxy corn hybrid cultivar, 'Ilmichal' with good eating quality and lodging resistance. *Korean J. Breed.* 38:135-136.
- Kim, K.H., J.C. Moon, J.Y. Kim, H.C. Kim, S.H. Shin, K.T. Song, and B.M. Lee. 2015. Research status for drought tolerance in maize. *Korean J. Crop Sci.* 60:401-411.
- Kim, T.W., B.M. Lee, and S.H. Shin. 2016. Development of drought stress interpretation and mitigation for stable maize production. RDA report. RDA, Wanju, Republic of Korea.
- Lorens, G.F., J.M. Bennett, and L.B. Loggale. 1987. Differences in drought resistance between two corn hybrids. I. Water relations and root length density. *Agron. J.* 79:802-807.
- NeSmith, D.S. and J.T. Ritchie. 1992. Effects of soil water-deficits during tassel emergence on development and yield components of maize (*Zea mays* L.). *Field Crops Res.* 28:251-256.
- Seo, M.C. 2014. Development of assessment technology for prediction of damages on upland crops according to climate change scenario RCP8.5. RDA Res. Rep. RDA, Wanju, Republic of Korea.
- Seo, M.C., S.O. Hur, Y.K. Sonn, H.S. Cho, W.T. Jeon, M.K. Kim, and M.T. Kim. 2012. The development of estimation model (AFKAE0.5) for water balance and soil water content using daily weather data. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45:1203-1210.