

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2023.56.4.375>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Evaluation of Water Balance for Winter Crop (Forage Barley) Using Different Upland Soil Weighable Lysimeters

Dong-hyun Kim¹, Seoung-oh Hur², Seon-ah Hwang³, Bu-yeong Oh³, Min-kyeong Park⁴, Hyun-seo Yang⁵, and Jung-hun Ok^{3*}

¹Post-Doctors's Researcher, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

²Senior Researcher, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

³Researcher, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

⁴Post-Master's Researcher, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

⁵RDA Research Associate Fellowship, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

*Corresponding author: okjh@korea.kr

ABSTRACT

Received: October 13, 2023

Revised: November 9, 2023

Accepted: November 10, 2023

Edited by

Young Han Lee,
Gyeongsangnam-do Agricultural
Research & Extension Services,
Korea

ORCID

Dong-hyun Kim
<https://orcid.org/0009-0001-4625-5223>

Jung-hun Ok
<https://orcid.org/0000-0002-5854-0179>

Due to recent climate change, various studies are needed to respond to water shortage in the agricultural sector. One of the important factors for efficient water management is the quantification of evapotranspiration. In this study, water balances such as evapotranspiration and precipitation during growth of forage barley (*Hordeum vulgare* L.), a winter crop, were compared and analyzed using a weighable lysimeter, and crop coefficients and optimal water requirements for each growth stage were presented. Forage barley was cultivated repeatedly for three years in two soils with different soil textures. As a result of analyzing the water balance, there was no difference in the total inflow between two soil textures. The total outflow tended to be higher in the sandy loam soil, because the evapotranspiration was higher in the sandy loam soil which is better for crop growth. The crop coefficients by growth stage were 0.80, 1.00, 1.00, 1.30, and 1.17, respectively. As a result of estimating the optimal water requirement during the three-year cultivation period and comparing it with normal years, it was 15%, 7%, and 1% higher than normal years due to the low cumulative precipitation, and the water requirements were slightly higher than normal years. Accurate water balance evaluation and development of national factors in Korea using weighable lysimeter are expected to contribute to the estimation of the water management for upland crops in the future.

Keywords: Upland soil, Water balance, Water requirement, Weighable lysimeter, Winter crop



Water balance for winter season crop (forage barley) in different upland soils by different water management methods.

Year	Water use	NIR [†]		IR			
		SiCL [‡]	SL	SiCL	SL		
2019 - 2020	Input (mm)	Precipitation	254.0	254.0	254.0	254.0	
		Irrigation	8.7	8.6	9.0	8.7	
		Total	262.7	262.6	263.0	262.7	
	Output (mm)	Drainage	94.4	0.5	87.6	60.7	
		Evapotranspiration	345.1	469.3	323.2	261.2	
		Runoff	1.6	3.1	2.5	12.7	
		Total	441.1	472.9	413.3	334.6	
		Changes in soil water (mm)	-178.4	-210.3	-150.3	-71.9	
	2020 - 2021	Input (mm)	Precipitation	231.5	231.5	231.5	231.5
			Irrigation	9.3	9.4	9.4	9.1
Total			240.8	240.9	240.9	240.6	
Output (mm)		Drainage	56.3	1.4	23.7	21.6	
		Evapotranspiration	305.8	389.8	313.5	361.3	
		Total	352.1	391.2	337.2	382.9	
		Changes in soil water (mm)	-121.2	-150.3	-96.2	-142.3	
2021 - 2022		Input (mm)	Precipitation	219.0	219.0	219.0	219.0
			Irrigation	18.3	17.3	18.7	18.6
			Total	237.3	236.3	237.7	237.6
	Output (mm)	Drainage	48.6	38.5	49.8	39.2	
		Evapotranspiration	293.5	330.3	302.5	387.1	
		Total	342.1	368.8	352.3	426.3	
		Changes in soil water (mm)	-104.8	-132.5	-114.6	-188.7	

[†]NIR, non-irrigated after rooting stage; IR, irrigated by furrow irrigation.

[‡]SiCL, silty clay loam; SL, sandy loam.

Introduction

물은 농업 생산에 중요한 요소이며, 식량 안보에 중요한 역할을 한다 (Khan and Hanjra, 2009). 우리나라의 농업용수는 이용가능한 수자원의 약 41%를 차지하고 있어 (MOLIT, 2016), 가뭄으로 인한 물 부족이 발생하면 농업생산성 감소 등의 피해가 나타날 수밖에 없다 (Hanjra and Qureshi, 2010, Huang et al., 2017; Pastor et al., 2019).

기후변화는 자연재해, 생물다양성 감소, 식량위기 등 생태계, 농업에 영향을 미친다 (Lee et al., 2022a). 최근 기후변화로 인한 가뭄의 발생 빈도와 강도가 증가하고 있기 때문에, 농업분야에서 물 부족에 대비하여 물이용효율을 높일 수 있는 다양한 물관리 방법들이 연구되고 있다. 가을배추, 봄배추, 노지고추의 물 절약형 관개기준설정 (Eom et al., 2010, 2012; Jung et al., 2011), 점적관 배치에 따른 콩의 관개용수 이용효율 (Lee et al., 2018), 절수관개방법이 벼 수량 및 품질에 미치는 영향 (Choi et al., 2006), 시설재배 오이의 적정 관개시점 평가 (Jeon et al., 2010) 등의 관개방법이나 기준에 관한 연구들이 이루어지고 있다. 이와 같이 효율적인 물관리를 위한 중요한 영향인자 중 한 가지는 증발산량이다. 정량화된 증발산량 자료는 수자원 관리, 가뭄예측, 농업 계획 등을 위한 주요 지표로 활용될 수 있으며 (Kim et

al., 2019b), 물수지를 기반하는 토양유효수분을 산정 모형으로 발작물의 가뭄에 대비할 수 있다 (Hwang et al., 2022).

증발산량은 다양한 방법으로 측정할 수 있는데, 그 중 대표적인 방법으로는 FAO에서 제시한 Penman-Monteith 공식을 이용하는 간접측정방법과, 라이시미터를 이용하는 직접측정방법이 있다. FAO Penman-Monteith 공식은 일사량, 풍속, 온도, 습도 등 다양한 기상데이터를 이용하여 기준증발산량을 구하는 방법으로, 여러 기후조건에 적용할 수 있어 증발산량 산정에 많이 활용되고 있다 (Jensen et al., 1990; Allen et al., 1998). 또한, 라이시미터를 이용하는 직접측정방법은 장비운영과 시설관리 등 시간과 비용의 부담이 있지만, 토양에서의 물과 용질의 이동을 직접적이고 정밀하게 측정할 수 있다. 특히, 비교란의 자연적인 토양구조에서 중량식 라이시미터를 활용하는 방법은 토양수분의 수직이동을 무게 변화를 통해 실시간으로 확인하고 해석할 수 있기 때문에 많은 연구에 많이 활용되고 있다 (Seo et al., 2016; Kim et al., 2019a; Ok et al., 2020). 발작물 재배시 물수지, 양분수지, 물 필요량 산정 (Lee et al., 2017; Ok et al., 2018, 2020) 등의 연구, 조생종 벼 재배시 토성 및 이앙시기에 따른 환경부하와 작물 생육 평가 (Lee et al., 2022b), 토성이 다른 논토양에서의 증발산량과 FAO Penman-Monteith 공식으로 산출된 기준증발산량과의 적합도 평가 (Kim et al., 2018), 중량식 라이시미터를 이용하여 산정된 기준 증발산량에 대한 검증과 이용 가능성에 대한 연구 (Kim et al., 2019a) 등을 통해 중량식 라이시미터의 신뢰도와 활용성이 증명되었다.

농업용수량 산정을 위해서는 작물의 증발산량과 함께 작물계수 또한 필요하다. 현재까지는 물소모량의 간접측정 방법으로 농업용수량을 산정하고 있지만, 기후변화 등의 환경 변화를 고려한 직접 측정방법으로 정확도를 높일 필요가 있다. 그러나 작물계수에 대한 연구가 부족하여 과거의 작물계수나 외국의 작물계수를 사용하고 있는 실정이고 (Koo et al., 1998), 논용수 산정을 위하여 개발된 작물계수는 다양하게 있으나, 최근의 환경 변화를 고려한 발작물의 작물계수가 많이 부족하다.

본 연구에서는 중량식 라이시미터를 이용하여 토성이 다른 밭토양에서 동계작물인 청보리 (*Hordeum vulgare* L.) 재배기간 동안의 강수량, 증발산량, 지하배수량 등 물수지를 비교하였으며, 생육단계별 작물계수와 적정 물 필요량을 산정하여 제시하였다.

Materials and Methods

중량식 라이시미터 및 시험토양 시험에서 사용된 중량식 라이시미터 (UGT, Germany)는 국립농업과학원 (전라북도 완주군)에 설치되어 있으며, 북위 35°49'29", 동경 127°02'46", 해발 33 m에 위치하고 있다. 표면적은 1 m², 깊이 1.5 m의 원통코어형 라이시미터로 비교란 밭토양이 충전되어 있다. 라이시미터 베셀의 바닥에는 최소 10 g을 감지할 수 있는 로드셀이 설치되어 있어, 토양 내 수분의 증감에 따른 무게변화를 정밀하게 측정할 수 있다. 또한 각 라이시미터에는 층위별로 (10, 30, 55, 85, 125 cm) 토양수분센서 (UMP-1, UGT, Germany)와 텐시오미터가 설치되어 있어 라이시미터 내부에서의 수분이동, 물수지 및 증발산량을 정밀하게 측정할 수 있다. 측정된 데이터는 1시간 단위로 data logger에 자동 저장된다. 또한, 티핑카운터 (tipping counter)로 지하유출량을 측정하고, 유거수량은 샘플링 박스의 무게를 직접 측정하였다 (Ok et al., 2018, 2020). 라이시미터의 토양은 미사질식양토 (silty clay loam, SiCL)와 사양토 (sandy loam, SL)로 깊이별 토양의 물리적 특성은 Table 1에 나타내었다. 토성은 Gee and Bauder (1986)의 비중계법을 이용하여 토양입자분포를 산정하여 미국 농무성 (United States Department of Agriculture, USDA)의 토성 삼각표 (soil texture triangle)에 따라 결정하였다. 용적밀도는 Blake and Hartge (1986)의 코아법을 이용하여 분석하였다.

Table 1. Soil physical properties of lysimeters used in this study.

Soil	Soil depth (cm)	Bulk density (Mg m ⁻³)	Particle size distribution (%)			Soil texture
			Sand	Silt	Clay	
SiCL [†]	0 - 12	1.18	6.8	64.0	29.2	Silty clay loam
	20 - 36	1.26	5.8	57.5	36.7	Silty clay loam
	36 - 61	1.34	6.7	56.6	36.7	Silty clay loam
	61 - 98	1.32	17.6	55.8	26.6	Silt loam
	98 - 150	1.43	34.0	41.9	24.1	Loam
SL	0 - 13	1.27	54.0	37.0	9.0	Sandy loam
	13 - 26	1.36	61.8	30.2	8.0	Sandy loam
	26 - 41	1.38	47.2	40.8	12.0	Loam
	41 - 66	1.34	61.7	29.3	9.0	Sandy loam
	66 - 108	1.34	69.2	25.8	5.0	Sandy loam
	108 - 150	1.29	75.7	19.3	5.0	Loamy sand

[†] SiCL, silty clay loam; SL, sandy loam.

시험전 토양 화학성 및 동계작물 재배 시험전 토양은 라이시미터의 표토 15 cm 이내의 토양을 채취하여 국립농업과학원의 토양 및 식물체 분석법에 준하여 분석하였다 (NAAS, 2011). pH는 토양과 증류수를 1:5로 혼합하여 30분간 진탕한 현탁액을 pH meter (Orion Star A221, Thermo Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 측정하였다. pH 측정 후 EC meter (Orion Star A322, Thermo Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 EC 1:5를 측정하였으며, 기기로 측정된 값에 5배 하여 보정하였다. 유기물함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 교환성양이온은 1.0 M NH₄OAc (pH 7.0)으로 추출하여 유도결합 플라즈마 분광광도계 (ICP-OES, GBC, Integra XL Dual, Australia)로 분석하였다. 분석한 토양의 화학성은 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Soil chemical properties used in this study before transplanting in 2019, 2020 and 2021.

Soil	pH (1:5, H ₂ O)	EC _{1:5} (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	T-N (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmol _c kg ⁻¹)		
						K	Ca	Mg
2019 - 2020								
SiCL [†]	7.2	0.2	24	1.4	209	0.56	5.8	2.8
SL	6.6	0.2	14	1.3	910	0.61	4.8	1.8
2020 - 2021								
SiCL	6.9	0.25	25	1.5	197	0.4	5.7	3.0
SL	6.6	0.23	15	1.2	918	0.5	5.2	2.0
2021 - 2022								
SiCL	6.4	0.5	26	1.6	235	0.44	5.8	2.8
SL	6.7	0.3	17	1.3	1,098	0.43	6.0	2.1

[†] SiCL, silty clay loam; SL, sandy loam.

시험 작물은 동계작물인 청보리로, 품종은 영양으로 하였다. 2019 - 2022년 3년간 재배하였으며, 10월 하순(2019년 10월 30일, 2020년 10월 30일, 2021년 10월 29일)에 정식하여 4월 하순(2020년 4월 24일, 2021년 4월 26일, 2022년 4월 25일)에 수확하였다. 재배방법은 작물별 표준재배법을 준용하였으며, 비료는 작물별 비료사용처방의 표준시비량을 기준으로 밑거름은 질소-인-칼리(N-P₂O₅-K₂O = 6.0-10.0-10.0 kg 10a⁻¹)를 사용하였으며, 웃거름은 질소-인-칼리(N-P₂O₅-K₂O = 6.0-0.0-0.0 kg 10a⁻¹)를 투입하였다. 정식 후 활착기 동안에는 모든 시험구에 동일하게 관개하였으며, 활착기 이후 무관개 시험구와 적습관개 시험구로 나누어 물관리를 하였다. 적습관개 시험구는 발작물 물관리 기준(Eom et al., 1999)에 따라, 강우와 토양의 수분장력값(50 kPa)을 고려하여 관개를 실시하였다. 청보리의 생육단계는 유평기, 분얼기, 생육재생기, 신장기, 등숙기로 구분하여 각각의 생육단계별로 작물계수와 물 필요량을 산정하였다.

작물 재배기간 중 기상데이터 분석 재배기간 동안의 기상데이터는 라이시미터 인근에 설치되어 있는 기상대를 활용하여 기온, 풍속, 강우량, 일사량 등의 데이터를 수집하였다. 강우량은 기상대의 강우량 측정값과 중량식 라이시미터의 무게 변화값을 함께 비교·분석하였다. 기상데이터는 라이시미터와 가장 가까운 기상청 전주기상대의 평년(1991 - 2020) 기상데이터와 함께 비교하였다.

물수지, 작물계수 및 적정 물 필요량 산정 물수지 분석은 중량식 라이시미터의 로드셀을 활용하여 무게변화에 따른 물의 유입량과 유출량을 계산하였으며, 물수지는 Eq. 1로 산출하였다.

$$\Delta SW = (P + I) - (ET + D + R) \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서, ΔSW 는 토양수분변화량 (mm), P (precipitation)는 강우량 (mm), I (irrigation)는 관개량 (mm), ET (evapotranspiration)는 증발산량 (mm), D (drainage)는 지하유출량 (mm), R (runoff)은 지표유출량 (mm)이다.

적정 물 필요량은 2019 - 2022년과 평년의 기상데이터를 이용하여 FAO Penman-Monteith 공식으로 계산한 일일 기준증발산량 (reference evapotranspiration)에 생육단계별 작물계수를 곱하여 합한 값으로 작물의 생육단계별 물 필요량을 산정하였다. 적정 물 필요량 산정 공식은 Eq. 2와 같다(Allen et al., 1998).

$$OWR = \sum (ET_0 \times CC) \quad (\text{Eq. 2})$$

여기서, OWR (optimal water requirement)은 적정 물 필요량 (mm), ET₀는 기준증발산량 (mm), CC (crop coefficient)는 작물계수이다.

Results and Discussion

동계작물 재배기간 동안 기상 특성 청보리 재배기간 동안의 기상특성을 전주기상대의 평년(1991 - 2020) 기상자료 (KMA, 2022)와 비교하였다 (Fig. 1). 일평균온도는 평년 온도와 비슷한 경향이었으나, 수확 직전인 4월에 2019 - 2020년에는 평년보다 낮게, 2020 - 2021년과 2021 - 2022년에는 평년보다 높게 나타났다.

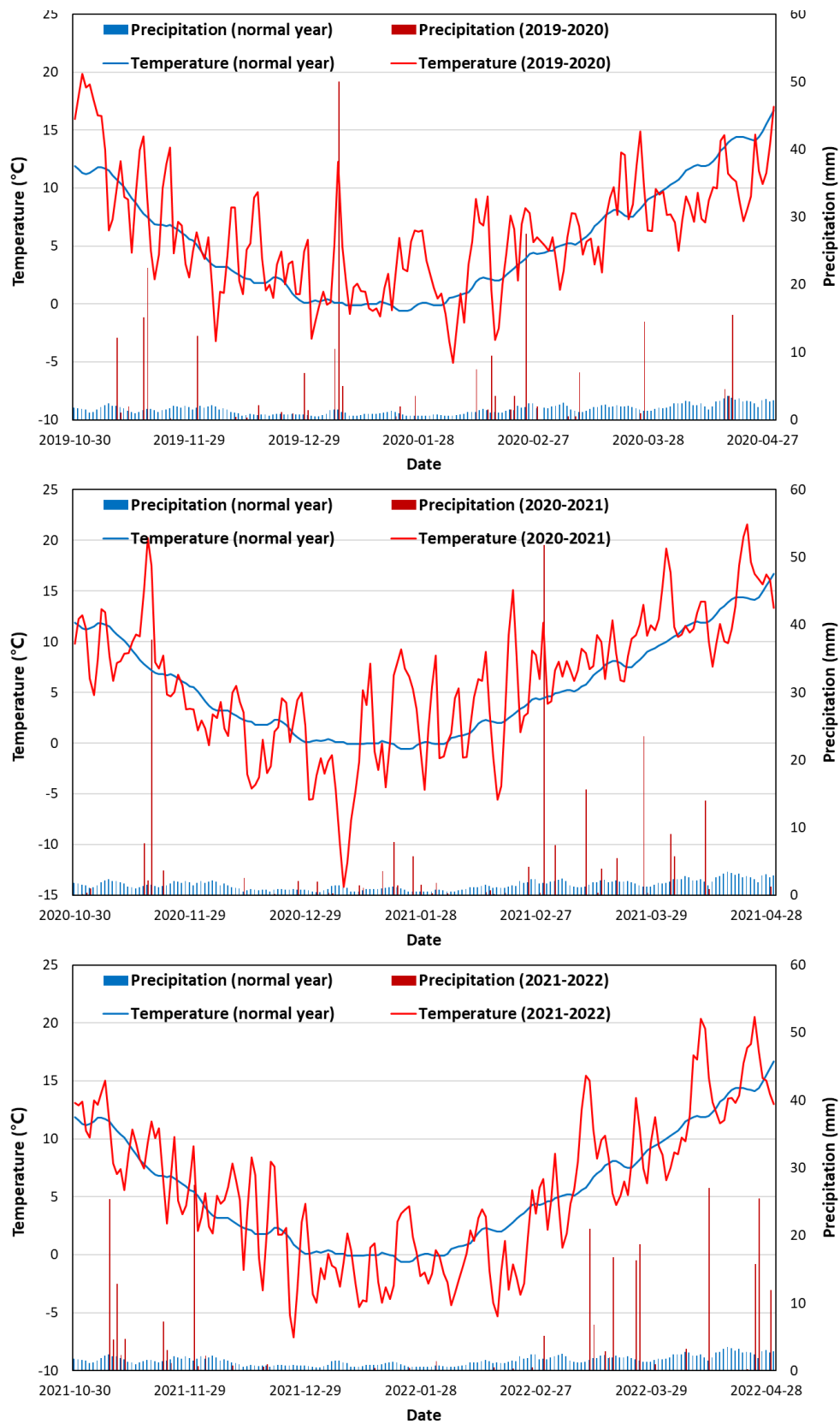


Fig. 1. Comparison of average temperature and precipitation between normal years (1991 - 2020) and forage barely cultivation in 2019 - 2022.

누적 강수량은 연도별로 각각 254.0 mm, 232.8 mm, 272.3 mm로 나타났으며, 평년 대비 91%, 84%, 98% 수준으로 평년보다 조금 낮거나 비슷하게 나타났다. 전주 지역의 평년 강수량이 청보리의 재배기간보다 3, 4월에 조금 더 높은 경향을 보였다. 2019 - 2020년에는 정식 직후인 11월과 1, 2월에 강우이벤트가 발생하였으며, 2020 - 2021년에는 11월과 3월에 강우이벤트가 발생하였으며, 특히 3월에 여러 차례 강우로 평년의 약 2배의 강수량을 보였다. 2021 - 2022년에는 11, 3, 4월에 여러 차례 강우가 발생하며 평년대비 높은 강수량을 보였다.

동계작물의 생육조사 결과 청보리의 수확 후 생육 특성은 토양 및 물관리 방법에 따라 초장과 건물중을 조사하여 Table 3에 나타내었다. 3년간 청보리 재배기간에 잦은 강우로 인해 무관개와 적습관개 시험구의 생육 차이를 확인할 수 없었다. 그러나 토성에 의한 생육에는 뚜렷한 차이가 나타났다. 초장은 미사질식양토보다 사양토에서 연도별로 각각 34%, 10%, 26% 높게 나타나 사양토에서 좋은 생육을 보였다. 건물중은 2020 - 2021년도에는 토성간 차이를 보이지 않았지만, 2019 - 2020년과 2021 - 2022년에 사양토에서 각각 63%, 46% 높게 나타나며 미사질식양토와 차이를 보였다. 이러한 생육의 차이는 토양의 화학성의 차이로도 나타날 수 있다. 미사질식양토와 사양토의 화학성은 대부분 적정범위였으며, 사양토의 유효인산이 미사질식양토보다 크게 나타났으며, 작물의 생육은 토성과 유효인산의 영향으로 사양토에서 좋게 나타났다. 청보리의 생육 차이는 증발산량 산정과 물수지 평가에 영향을 미칠 것으로 생각된다.

Table 3. Growth response for forage barley cultivation with different upland soils using weighable lysimeters.

Year	Soil	WMM [†]	Plant height (cm)	Shoot dry matter (g m ⁻²)
2019 - 2020	SiCL [†]	NIR [§]	79.7	931
		IR	75.5	942
	SL	NIR	103.5	1,626
		IR	105	1,424
2020 - 2021	SiCL	NIR	78.1	813
		IR	77.9	777
	SL	NIR	87.6	820
		IR	84.7	764
2021 - 2022	SiCL	NIR	82.9	892
		IR	86.0	1,036
	SL	NIR	106.3	1,353
		IR	106.5	1,459

[†]SiCL, silty clay loam; SL, sandy loam.

[‡]WMM, water management method.

[§]NIR, non-irrigated after rooting stage; IR, irrigated by furrow irrigation.

동계작물의 물수지 평가 라이시미터에서 청보리 재배기간 동안 토성별, 물관리 방법별로 물수지를 산정하고 비교하였다 (Table 4). 동계작물인 청보리를 재배하는 기간에는 증발산량이 비교적 적은 시기이고, 2019년도부터 2022년도까지 재배기간 동안 많은 양의 강수량은 아니지만, 여러 차례 강우이벤트가 발생하여 추가적인 관개는 실시하지 않았다. 그로 인해 강수량과 관개량의 합인 총유입량은 토성별로 차이를 확인할 수 없었다.

Table 4. Water balance for winter season crop (forage barley) in different upland soils by different water management methods.

Year	Water use	NIR [†]		IR		
		SiCL [‡]	SL	SiCL	SL	
2019 - 2020	Input (mm)	Precipitation	254.0	254.0	254.0	254.0
		Irrigation	8.7	8.6	9.0	8.7
		Total	262.7	262.6	263.0	262.7
	Output (mm)	Drainage	94.4	0.5	87.6	60.7
		Evapotranspiration	345.1	469.3	323.2	261.2
		Runoff	1.6	3.1	2.5	12.7
		Total	441.1	472.9	413.3	334.6
Changes in soil water (mm)		-178.4	-210.3	-150.3	-71.9	
2020 - 2021	Input (mm)	Precipitation	231.5	231.5	231.5	231.5
		Irrigation	9.3	9.4	9.4	9.1
		Total	240.8	240.9	240.9	240.6
	Output (mm)	Drainage	56.3	1.4	23.7	21.6
		Evapotranspiration	305.8	389.8	313.5	361.3
		Total	352.1	391.2	337.2	382.9
	Changes in soil water (mm)		-121.2	-150.3	-96.2	-142.3
2021 - 2022	Input (mm)	Precipitation	219.0	219.0	219.0	219.0
		Irrigation	18.3	17.3	18.7	18.6
		Total	237.3	236.3	237.7	237.6
	Output (mm)	Drainage	48.6	38.5	49.8	39.2
		Evapotranspiration	293.5	330.3	302.5	387.1
		Total	342.1	368.8	352.3	426.3
	Changes in soil water (mm)		-104.8	-132.5	-114.6	-188.7

[†]NIR, non-irrigated after rooting stage; IR, irrigated by furrow irrigation.

[‡]SiCL, silty clay loam; SL, sandy loam.

총유출량에서는 토성에 따라 지하유출량에 차이를 보였으며, 작물의 생육 또한 다르게 나타나며 증발산량에도 차이를 보였다. 2019 - 2020년 토성별 지하유출량은 미사질식양토에서 87.6 mm, 사양토에서 60.7 mm로 나타나며 미사질식양토에서 다소 높은 지하유출량을 보였다. 2020 - 2021년에는 미사질식양토에서 23.7 mm, 사양토에서 21.6 mm의 비슷한 지하유출량을 보였으며, 2021 - 2022년에는 미사질식양토에서 49.8 mm, 사양토에서 39.2 mm를 보이며 토성간 유의적인 차이를 확인할 수 없었다. 일반적으로 점토 함량이 상대적으로 높은 미사질식양토보다 사양토에서 지하투수량이 높게 나타난다. 라이시미터에서의 지하투수량이 미사질식양토에서 높거나 비슷하게 나타난 이유는 여러 해 동절기를 지나며 라이시미터의 미사질식양토가 수축과 팽창을 반복하며 토양내 대공극과 균열의 증가에 기인한 것으로 생각된다 (Keith and Germann, 1982). 이러한 현상은 동일한 라이시미터를 활용한 이전의 여러 연구 (Ok et al., 2018, 2020)에서도 나타났다.

증발산량은 2019 - 2020년도에는 미사질식양토에서 323.2 mm, 사양토에서 261.2 mm로 미사질식양토에서 높게 나타났다. 그러나 2020 - 2021년도에는 미사질식양토에서 313.5 mm, 사양토에서 361.3 mm로 사양토에서 높게 나

왔으며, 2021 - 2022년도에도 미사질식양토에서 302.5 mm, 사양토에서 387.1 mm로 사양토에서의 증발산량이 높게 나왔다. 이는 토성과 화학성에 의해 사양토에서의 생육이 상대적으로 미사질식양토보다 좋았기 때문에, 사양토에서의 증발산량이 높게 나온 것으로 판단된다.

동계작물의 작물계수 및 적정 물 필요량 산정 청보리의 생육단계별 작물계수를 산정하였으며, 기준증발산량에 작물계수를 반영하여 적정 물 필요량을 산정하고 평년과 비교하였다 (Table 5). 청보리의 작물계수는 생육단계별로 각각 0.80, 1.00, 1.00, 1.30, 1.17로 산정되었으며, 생육 후기인 신장기와 등숙기에 높게 나타났다. 평년의 총 물 필요량은 297.7 mm로 나타났으며, 연도별 물 필요량은 각각 343.4, 319.5, 301.4 mm로 평년대비 15%, 7%, 1% 높게 나타났다. 청보리 재배기간 동안의 누적 강우량이 평년에 비해 적었기 때문에 물 필요량이 평년보다 높게 산정된 것으로 판단된다.

Table 5. Crop coefficient and water requirement for winter season crop (forage barley) according to growth stage.

Growth stage	Seeding stage	Tillering stage	Regrowth stage	Stem elongation stage	Ripening stage	Total	
Crop coefficient	0.80	1.00	1.00	1.30	1.17		
Water requirement (mm)	Normal year	31.8	30.5	41.6	117.0	76.9	297.7
	2019 - 2020	23.0	27.0	40.5	161.2	91.7	343.4
	2020 - 2021	21.3	27.0	44.0	152.2	75.0	319.5
	2021 - 2022	21.6	26.9	39.8	132.3	80.8	301.4

Conclusions

본 연구에서는 증량식 라이시미터를 활용하여 동계작물인 청보리 재배시 토성별 물수지를 산정하였고, 작물계수와 적정 물 필요량을 제시하였다. 청보리의 물관리는 무관개 시험구와 적습관개 시험구로 나누었지만, 재배기간 동안의 잦은 강우로 인해 시험구 간 차이를 볼 수 없었다. 토성별 총 유입량에서도 차이는 볼 수 없었으나, 지하유출량과 증발산량에서는 다른 경향을 보였다. 특히, 생육단계별 증발산량은 청보리의 초장, 건물중 등 생육이 좋았던 사양토에서 높게 나타났다. 청보리의 작물계수는 생육단계별로 각각 0.80, 1.00, 1.00, 1.30, 1.17로 산정되었으며, 청보리의 적정 물 필요량을 산정하여 평년과 비교한 결과, 3년간의 재배기간 동안에는 평년에 비해 적은 누적 강우량으로 인해 평년보다 다소 많은 물 필요량이 산정되었다. 증량식 라이시미터를 활용한 이번 연구를 통하여 청보리의 토성별 물수지를 정확하게 평가할 수 있었으며, 산정된 생육단계별 작물계수 및 물 필요량 정보는 밭작물 농업용수량 산정에도 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

Acknowledgement

This work was supported by the “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ017221),” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.
- Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density. p. 363-375. In A. Klute (ed.) Methods of soil analysis, Part 1: Physical and mineralogical methods (2nd edition). ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
- Choi, W.Y., H.K. Park, S.H. Moon, M.G. Choi, S.S. Kim, and C.K. Kim. 2006. Grain yield and seed quality of rice plants as affected by water-saving irrigation. Korean J. Agric. For. Meteorol. 8(3):141-144.
- Eom, K.C., D.S. Oh, K.C. Song, I.S. Jo, and D.W. Seo. 1999. A guide book for water management of upland crops. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Eom, K.C., P.K. Jung, M.H. Koh, S.H. Kim, S.Y. Yoo, S.H. Park, S.O. Hur, and S.K. Ha. 2010. Water saving irrigation manual of spring Chinese cabbage. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(6):812-822.
- Eom, K.C., S.H. Park, and S.Y. Yoo. 2012. Assessment of the amount of irrigation water for red pepper by water saving irrigation manual. Korean J. Soil Sci. Fert. 45(2):301-305.
- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. p. 383-411. In A. Klute (ed.) Methods of soil analysis, Part 1: Physical and mineralogical methods (2nd edition). ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
- Hanjra, M.A. and M.E. Qureshi. 2010. Global water crisis and future food security in an era of climate change. Food Policy 35(5):365-377.
- Huang, J.P., H.P. Yu, T. Wei, and L.T. Kang. 2017. Drylands face potential threat under 2 °C global warming target. Nat. Clim. Change 7:417-422.
- Hwang, S.A., J.H. Ok, B.Y. Oh, J.W. Son, S.I. Lee, S.O. Hur, and K.H. Jung. 2022. Korean model for estimating soil available water content of soybean cultivation area with integrated soil, meteorology, and crop data. Korean J. Soil Sci. Fert. 55(4):570-578.
- Jensen, M.E., R.D. Burman, and R.G. Allen. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices No. 70. American Society of Civil Engineers, New York, USA.
- Jeon, S.H., S.O. Hur, S.K. Ha, H.J. Jun, K.H. Han, H.R. Cho, and S.D. Hung. 2010. Water saving irrigation point in cucumber cultivation under greenhouse. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(5):418-423.
- Jung, P.K., K.C. Eom, Y.K. Son, M.H. Koh, S.H. Kim, S.H. Park, and S.Y. Yoo. 2011. Water saving irrigation manual of autumn Chinese cabbage. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(5):679-687.
- Keith, B. and P. Germann. 1982. Macropores and water flow in soils. Water Resour. Res. 18(5):1311-1325.
- Khan, S. and M.A. Hanjra. 2009. Footprints of water and energy inputs in food production global perspectives. Food Policy 34(2):130-144.
- Kim, D.J., K.H. Han, Y.S. Zhang, H.R. Cho, S.A. Hwang, and J.H. Ok. 2019a. Verification of reference evapotranspiration estimated by weighable lysimeters and its applicability. Korean J. Soil Sci. Fert. 52(3):284-296.
- Kim, D.J., K.H. Han, Y.S. Zhang, H.R. Cho, S.A. Hwang, J.H. Ok, K.S. Choi, and J.S. Choi. 2018. Evaluation of evapotranspiration in different paddy soils using weighable lysimeter before flooding stage. Korean J. Soil Sci. Fert. 51(4):510-521.
- Kim, K.Y., Y.J. Lee, S.W. Jung, and Y.G. Lee. 2019b. A study on the calculation of evapotranspiration crop coefficient in the Cheongmi-cheon paddy field. Korean J. Remote Sens. 35(6):883-893.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2022. <https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>.
- Koo, J.W., S.K. Kwun, T.C. Kim, and K.H. Lee. 1998. Design criteria of agricultural land and water development (irrigation). Ministry of Agriculture and Forestry, Seoul, Korea.

- Lee, S.H., K.Y. Jung, H.C. Chun, Y.D. Choi, and H.W. Kang. 2018. Response of soybean (*Glycine max* L.) to sub-surface drip irrigation with different dripline placements at a sandy-loam soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(2):79-89.
- Lee, S.I., J.H. Ok, J.W. Son, S.A. Hwang, B.Y. Oh, and S.O. Hur. 2022a. Changes of soil physico-chemical properties by soil loss of bare condition using slope lysimeter. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 55(4):402-412.
- Lee, T.G., M.S. Kim, S.H. Jeon, H.I. Jung, and J.H. Ok. 2022b. Nutrients runoff and rice growth by soil texture and transplanting time during early maturing rice cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 55(1):38-47.
- Lee, Y.J., K.H. Han, S.B. Lee, J.K. Sung, Y.S. Song, and D.B. Lee. 2017. Nutrient leaching and crop uptake in weighing lysimeter planted with soybean as affected by water management. *Korean J. Environ. Agric.* 36(3):147-153.
- MOLIT. 2016. Water resource long-term plan 2020 (2001-2020) 3rd revised plan. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Gwacheon, Korea.
- NAAS. 2011. Soil and plant analysis. National Academy of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, Korea.
- Ok, J.H., K.H. Han, S.O. Hur, S.A. Hwang, and D.J. Kim. 2020. Estimation of optimal and minimal water requirement for Chinese cabbage and maize on water management using weighable lysimeter. *Korean J. Agric. For. Meteorol.* 22(3):205-214.
- Ok, J.H., K.H. Han, Y.J. Lee, Y.S. Zhang, H.R. Cho, S.A. Hwang, S.S. Kim, J.H. Lee, and D.J. Kim. 2018. Water balance for Chinese cabbage in spring season with different upland soils evaluated using weighable lysimeters. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(4):555-563.
- Pastor, A.V., A. Palazzo, P. Havlik, H. Biemans, Y. Wada, M. Obersteiner, P. Kabat, and F. Ludwig. 2019. The global nexus of food-trade-water sustaining environmental flows by 2050. *Nat. Sustainability* 2:499-507.
- Seo, M.J., K.H. Han, K.H. Jung, H.R. Cho, Y.S. Zhang, and S.Y. Choi. 2016. Effect of temperature and plow pan on water movement in monolithic weighable lysimeter with paddy sandy loam soil during winter season. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(4):300-309.