

주요 발작물의 생육단계에 따른 관개 스케줄링의 효율성 평가

Quality Evaluation of Irrigation Scheduling on Upland Crops by Crop Development Rates

김동현¹, 김종순¹, 권순홍¹, 박종민¹, 최원식¹, 권순구^{1*}

Dong-Hyun Kim¹, Jongsoon Kim¹, Soon Hong Kwon¹,
Jong Min Park¹, Won-Sik Choi¹, Soon Gu Kwon^{1*}

〈Abstract〉

Irrigation scheduling is a water management strategy of applying the proper amount of water in a plant's root zone at the right time to maximize profit. We conducted an experimental evaluation of the response of soybean, sorghum, and sesame to an irrigation scheduling scheme. The soil water contents were adjusted in the root zone between 20% and 28% to reflect changes in crop water consumption. The other ones fixed at 25% during the whole growing season were compared to evaluate the effectiveness of irrigation scheduling. Surface drip irrigation (SDI) were employed as an irrigation method. For all three crops, the evapotranspiration (ET) was the greatest at flowering stage (6.93 mm), followed by vegetative growth stage (5.00 mm) and maturity stage (2.53 mm). The irrigation amount was significantly reduced by 21.8% (soybean), 22.2% (sorghum), and 16.1% (sesame), respectively, compared with the ones at constant soil water content treatment. Their water use efficiency (WUE) were also much higher than the controls: 2.65-fold increase at soybean, 1.82-fold increase at sorghum, and 1.47-fold increase at sesame. These results showed that an effective irrigation scheduling on upland crops (soybean, sorghum, sesame) could increase crop yield while minimizing water use.

Keywords : Irrigation Scheduling, Upland Crops, Drip Irrigation, Growth Stages, Water Use Efficiency

¹ 부산대학교, 바이오산업기계공학과

^{1*} 정회원, 교신저자, 부산대학교
바이오산업기계공학과, 교수
E-mail: sgkwon@pusan.ac.kr

¹ Dept. of Bio-Industrial Machinery Engineering,
Pusan National University

^{1*} Corresponding Author, Professor, Dept. of Bio-Industrial
Machinery Engineering, Pusan National University
E-mail: sgkwon@pusan.ac.kr

1. 서론

2000년대 이후 우리나라의 농경지 면적은 지속적으로 감소하고 있고, 경지이용율도 하락하고 있다. 그러나 과거에 비해 우리나라 총 인구가 증가하는 반면, 농가인구의 감소와 급속한 고령화로 인해, 국내 식량자급률은 점점 낮아지고 있는 실정이다. 특히 자급률이 100%가 넘는 쌀을 제외하면, 우리나라의 밭작물 식량자급률은 콩 26.7%, 옥수수 3.5%, 밀 0.7% 등으로 매우 낮은 편으로 대부분의 식량작물을 수입에 의존하고 있다[1]. 낮은 식량자급률과 식량작물의 수입은 최근 잦은 국제 곡물가격의 급등현상 등으로 우리나라의 식량공급에 불안정성을 초래하고 있다.

정부는 농가의 밭작물 재배를 장려하고 있고, 논을 전용하여 밭작물을 재배하는 농가도 증가하고 있다. 밭작물의 물관리와 관련하여 관개용수량 산정에 대한 연구, 관개 계획 수립과 관련된 연구 등 여러 분야와 방법으로 연구가 진행되고 있다. 또한, 농촌진흥청에서 이러한 연구들을 바탕으로 밭작물 물관리 지침서를 발행하여 작물, 생육시기, 지역에 따른 관개시기와 관개간격, 관개량 등의 정보를 농민들이 농업에 활용할 수 있도록 제공하고 있다. 그러나 밭작물은 종류가 다양하고, 물소비 과정 또한 복잡하기 때문에, 안정적인 밭작물 생산을 위해 더욱 세분화 된 용수량 산정 기술 개발이 필요한 실정이다[2]. 관개 시 농민들의 판단으로 일정량의 관개용수량을 결정하여 관개 할 수 있지만, 실제 작물의 수분스트레스는 강우의 양, 빈도, 지표특성에도 많은 영향을 받는다[3]. 관개용수량을 크게 결정하여 많은 양을 관개 할 경우 습해 등의 피해로 오히려 작물에 부정적인 영향을 주게 된다. 또한, 이용가능한 수자원이 제한되어 있어 관개용수가 부족할 경우에도 작물에 수분스트레스를 주게 된다. 관개 시, 작물의 생장

저해 수분점 이상이 되도록 관개용수를 공급 해 준다면, 수자원의 손실을 최소화하고, 작물의 생산성을 최대화 할 수 있다[4].

밭작물은 생육 시기에 따라 환경에 민감하고, 토양에 있는 수분을 이용하여 생육하기 때문에 농업과 식생의 주요한 인자인 토양수분의 변화는 작물 생산에 중요한 지표이다[5]. 가뭄이 지속되면 토양수분의 부족으로 인한 식생의 수분 스트레스가 증가하기 때문에, 농업적 가뭄평가를 위해 토양수분의 변화를 활용한 모형들이 개발되었다[6]. 우리나라에서는 국제식량농업기구 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)에서 제안한 물수지 모형을 기반으로 Penman-Monteith 모델 및 작물계수를 활용하여 증발산량을 산정하고, 밭 토양내의 수분을 추적하는 방식으로 유효수량 및 관개수량을 산정하여 필요관개량을 예측하는 방법을 개발하였다[7][8].

외국의 경우에도 Penman-Monteith 모델을 이용한 밭작물의 물수지 모형에 대한 연구들이 수행되었다. 수분 이동 방정식을 이용한 모형을 만들어 식질토양에서 토양수분 특성과 물 수지를 평가하기도 하였으며[9], Penman-Monteith 모델을 이용하여 콩의 증발산량을 산정하는 연구도 진행되었다[10]. 이러한 Penman-Monteith 모델은 무관개에서 일별 증발산량을 잘 예측하고 있지만, 다양한 관개 조건에서 작물 근권부의 토양 수분은 정확히 예측하지 못하고 있다.

과거 밭농업에서 필요관개량 산정에 관한 연구는 다양한 밭작물의 생육시기별 물 요구량 구명 및 관개기준 설정을 위한 관개량 산정에 관하여 연구[11][12][13], 관개 스케줄링과 관련된 연구[14][15]가 진행되었지만, 지역 별로 각기 다른 특성의 토양과, 관개방법 등에 따른 연구는 부족한 실정이다. 또한, 대부분의 연구들은 일 관개량을

산정하여 하루에 한번 또는 여러번에 걸쳐 일괄적으로 관개하는 방식을 사용하였는데, 이를 자동 물관리 제어시스템을 이용하여 토양수분이 부족할 때 실시간으로 관개를 하는 연구 또한 미흡하다.

본 연구의 목적은 자동 물관리 제어시스템을 이용하여 주요 발작물(콩, 수수, 참깨)의 생육시기별 자동 관개 스케줄링을 실시하고 대조구와 비교하여 효율성을 평가하는데 있다. 실시간으로 토양 수분을 모니터링하여 자동으로 관개를 실시한다면, 농민들의 작업 효율을 높여줄 수 있다. 그러므로 연구의 결과는 감소하고 있는 우리나라 농경지에서 발작물의 생산성을 증대시키고, 생육 단계별로 적절한 물 공급을 하여 농업에 필요한 물 이용을 감소할 수 있을 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1 라이시미터

라이시미터는 토양에 침투한 물의 양, 염류의 용탈상황을 조사할 수 있는 시험장치로, 통제된 조건에서 토양으로부터 유출된 물의 양을 측정할 수 있다. 본 연구에서는 가로 2m, 세로 2m, 높이 2m의 라이시미터를 이용하였다.

2.2 시험작물

시험 작물은 3가지의 발작물(콩, 수수, 참깨)을 대상으로 하여 생육 시기별로 유효 수분량을 다르게 설정하여 관개 스케줄링을 실시하고 효율성을 평가하였다. 작물 별로 시험 품종은 대원(콩), 남풍찰(수수), 건백(참깨)로 하였다.

대원콩은 양질다수성이면서 장류용콩으로 수량

성이 우수하며, 도복에도 비교적 강하여 재배 안전성이 높기 때문에 제주 및 산간 고랭지를 제외한 전국에서 재배된다. 남풍찰은 도복 및 내재해성이 강하며 다수성 찰수수로 다양한 기후조건에서 재배가 가능하기 때문에 전국에서 적응하여 재배중이다. 건백은 생육후기에 발생하는 역병과 도복에도 강하며, 강원도를 제외한 전국에서 토양적응성도 높은 품종이다[16].

수확 후 경장, 경태, 이삭길이, 주당립수, 천립중(참깨, 수수), 백립중(콩) 등을 조사하였다. 또한, 수확량 조사, 수분이용효율, 관개량 등을 대조구와 종합적으로 비교하여 관개 스케줄링의 효율성을 평가하였다.

2.3 시험토양

시험토양은 대표적인 논토양인 식양질과 밭토양인 사양질로 하였다. 시험 전 토양수분을 포화시킨 후 배수를 여러 번 반복하여, 토양의 용적밀도가 균일하도록 하였다. 공급하는 수분 공급을 제외한 추가 수분공급을 막기 위해 유리온실 내부에서 재배하였으며, 온실의 측면은 개방하여 외부와 온도 및 습도를 동일하게 맞추었다.

관개 스케줄링 시험구는 분할구배치법 3반복으로 하였고, 효율성을 비교하기 위하여 생육 기간 동안 일정한 토양 수분을 유지한 시험구를 작물별로 1개씩 대조구로 두었다. 재배법은 농촌진흥청 작물 별 표준재배법에 준해서 재배하였으며, 시비량은 토양 검정시비량에 따라 시비하였다.

2.4 자동관개 스케줄링 시험장치

자동관개 스케줄링 시험장치는 Fig. 1과 같이 구성되었다. 가로 2m, 세로 2m의 라이시미터에

시험토양을 넣고, 60cm 간격으로 지표 점적관을 설치하여 관수하며, 점적관의 중간에 토양수분센서를 설치하여 작물 근권부의 토양수분을 모니터링 하였다. 시험 포장의 크기(4 m²)가 작고, 점적기의 확산 면적이 0.12 m²이기 때문에 1개의 토양수분 센서로 충분하다고 판단된다.

자동관개 시스템에 생육 시기 별로 유효수분량을 설정해놓아, 측정된 토양수분센서의 값이 그 이하로 낮아지면 솔레노이드 밸브가 열려 물탱크의 물이 점적관으로 공급되고, 토양수분센서의 값이 설정된 값을 초과하게 되면 솔레노이드 밸브가 닫히며 물 공급이 차단된다. 이 때의 물 공급량은 솔레노이드 밸브와 연결되어 있는 유량계에 의해 측정되고, 수분센서와 유량계의 값은 10분 간격으로 데이터 로거에 저장된다. 지표 점적관은 압력 보상형 점적관으로, 점적기의 간격은 20cm, 공급 유량은 시간당 2.1L이다.

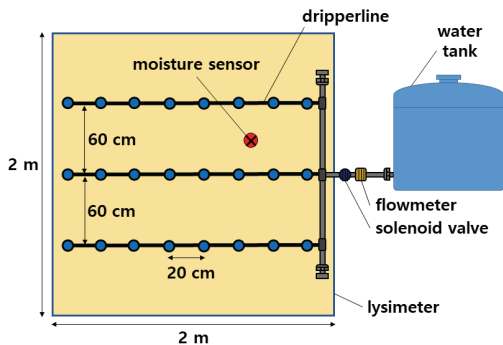


Fig. 1 Configuration of automatic irrigation scheduling test setting

2.5 생육단계에 따른 유효수분량

가뭄에 따른 농작물 관리요령에 따르면 생육초기인 유묘, 신장기에는 포장용수량의 60%, 충분한 관개가 필요한 개화기에는 적습에 해당하는 75%,

수분이 많이 필요하지 않은 등숙기에는 50%에 해당하는 토양수분값을 사양질과 식양질에 적용하여 유효수분량으로 산정하였다.

Table 1은 토양과 작물의 생육 단계에 따른 유효수분량의 설정값을 나타낸 것이다. 또한 모든 작물에서 대조구는 유효 수분량을 25%로 고정하여 실시하였다.

Table 1. Available soil water contents of crops at different growth stage and soil type

작물	생육 단계	토양	
		사양질	식양질
콩	유묘·신장기	24%	26%
	개화기	26%	28%
	등숙기	20%	20%
수수	유묘·신장기	24%	26%
	유수형성기	26%	28%
	등숙기	20%	20%
참깨	유묘·신장기	24%	26%
	개화기	26%	28%
	등숙기	23%,20%	23%,20%

2.6 데이터 분석 (통계처리)

실험 데이터의 평균값 비교는 일원배치 분산분석법(one-way ANOVA)을 사용하였으며, 평균간의 상호 비교는 Tukey 검정을 이용하였다.

3. 결과

3.1 콩의 관개 스케줄링 효율성 평가

Fig. 2는 사양질과 식양질에서 관개 스케줄링을 적용했을 때 콩 재배 시 증발산량과 토양의 유효

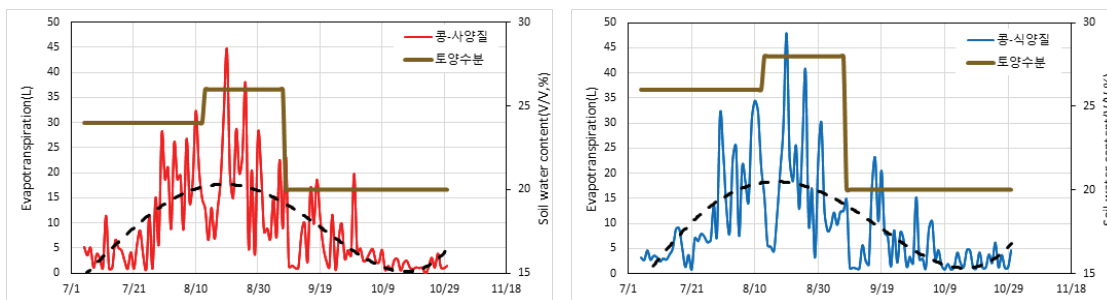


Fig. 2 Evapotranspiration of soybean and set of available soil water contents in two different soil types from planting through maturity.

수분을 작물의 생육 기간에 따라 보여주고 있다. 그림에서 점선은 증발산량의 추세선을 나타내고 있다. 토양(사양질, 식양질) 조건에서 증발산량은 유묘·신장기에 증가하여 개화기에 최대가 되고 등숙기에 감소하고 있다. 유효 수분량은 관개 스케줄링을 위하여 생육단계별 토성별로 달리 조정하였다. 관개 스케줄링을 실시한 시험구는 유효 수분량을 25%로 고정한 대조구보다 관개량이 21.8% 감소하였고, 특히 토양수분을 적게 필요로 하는 등숙기에 관개량을 효과적으로 감소시켰다.

Table 2. Evapotranspiration and water use efficiency of soybean at different growth stage

토성	증발산량(L)			수분 이용효율
	유묘, 신장기	개화기	등숙기	
사양질	10.00	17.20	4.52	0.192
식양질	11.13	17.11	4.80	0.227
대조구	10.57	19.53	8.63	0.079

Table 2는 콩의 생육시기별 증발산량과 토성별 수분 이용효율을 나타내고 있다. 모든 생육단계에서 사양질과 식양질 간 증발산량의 차이가 나타나지 않고 있지만, 수분 이용효율은 사양질보다 식양질에서 18% 높게 나타나고 있다. 이는 유묘·

신장기와 등숙기에 상대적으로 더 많은 양의 물을 관수하고, 수확량의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 두 토양조건에서 수분 이용효율의 평균은 대조구보다 2.65배 높게 나타났다. 따라서 관개 스케줄링을 이용하여 콩을 물관리 하는 것이 관개량을 절약하고 수확량을 증가하는데 매우 효과적이다.

Table 3. Soybean yield survey with irrigation scheduling

토성	경장 (cm)	착협고 (cm)	착협장 (cm)	경태 (mm)	주당협수 (개)	백립중 (g/100)
사양질	72.4 ^b	13.6 ^{ab}	59.8 ^b	11.2 ^a	93.0 ^a	26.2
식양질	68.6 ^a	15.1 ^b	54.8 ^a	11.6 ^a	93.1 ^a	27.1
대조구	66.9 ^a	12.4 ^a	55.3 ^a	11.8 ^a	116.9 ^b	28.5

[†]Means by the same letter within a row are not significantly different at probability level according to Tukey's studentized range test.

콩의 수확량 조사 결과(Table 3), 사양질에서 경장과 착협장이 크게 나타나고 그 외의 항목에서는 토성 간 차이가 나타나지 않았다. 식양질에서 관개 스케줄링한 콩과 대조구를 비교하면, 대조구에서는 착협고가 낮고 주당협수도 많고 백립중도 조금 크게 나타났다. 하지만 대조구에서는 생육 기간 동안 동일한 유효 수분을 유지하여 투입된

전체 관개량이 관개 스케줄링을 한 경우보다 많아서 수분이용효율은 훨씬 낮다.

3.2 수수의 관개 스케줄링 효율성 평가

Fig. 3은 사양질과 식양질에서 관개 스케줄링을 적용했을 때 수수 재배 시 증발산량과 토양의 유효 수분을 작물의 생육 기간에 따라 보여주고 있다. 두 토양(사양질, 식양질) 조건에서 증발산량은 유묘·신장기에 증가를 하고 유수형성기에 최대가 되며 등숙기에 감소하고 있다. 8월 20일 두 토양 모두 증발산량이 30L 이상 측정되었으며, 이것은 여름철 일시적 고온 현상에 의한 것으로 콩에서도 유사한 경향(Fig. 2)을 보이고 있다. 관개 스케줄링을 위하여 생육단계별 토성별 유효 수분을 달리 조정하였다. 유효 수분량을 25%로 고정한 대조구와 비교해 보면, 관개 스케줄링을 실시한 시험구의 관개량이 22.2% 감소하였고, 콩과 같이 등숙기의 관개량을 크게 감소시켰다.

Table 4는 수수의 생육 단계별 증발산량과 토성별 수분 이용효율을 나타내고 있다. 모든 생육 단계에서 식양질의 증발산량이 사양질보다 높게 나타나고 있지만, 통계적인 유의성은 보이지 않고 있다. 유수형성기에 식양질의 평균증발산량이 사

Table 4. Evapotranspiration and water use efficiency of sorghum at different growth stage

토성	증발산량(L)			수분 이용효율
	유묘, 신장기	유수형성기	등숙기	
사양질	5.53	7.23	0.74	0.314
식양질	6.35	10.62	0.75	0.250
대조구	8.51	10.81	0.91	0.155

양질보다 크지만 Fig. 3에서 보는 바와 같이 이것은 7월 30일의 피크에 의한 것으로 통계적인 차이는 보이지 않고 있다. 수분 이용효율은 콩과 달리 사양질에서 25% 높게 나타나고 있다. 사양질에서의 증발산량은 식양질에서 보다 적지만 수수의 수확량은 더 많이 조사되었다. 두 토양조건에서 수분 이용효율의 평균은 대조구보다 1.82배 높게 나타났다. 따라서 관개 스케줄링을 이용하여 수수를 재배할 경우 사양질 토양이 관개량을 절약하고 수확량을 증가하는데 매우 효과적이다.

수수의 수확량을 조사한 결과(Table 5), 식양질에서 경태가 크게 나타났으며, 수장의 경우는 통계적 차이가 없고, 경장의 경우는 통계적 유의성은 보이지 않지만 사양질보다 크게 나타났다. 이와 같이 식양질에서 수량 요소가 사양질보다 상대적으로 우수하기 때문에 천립중 또한 사양질보다

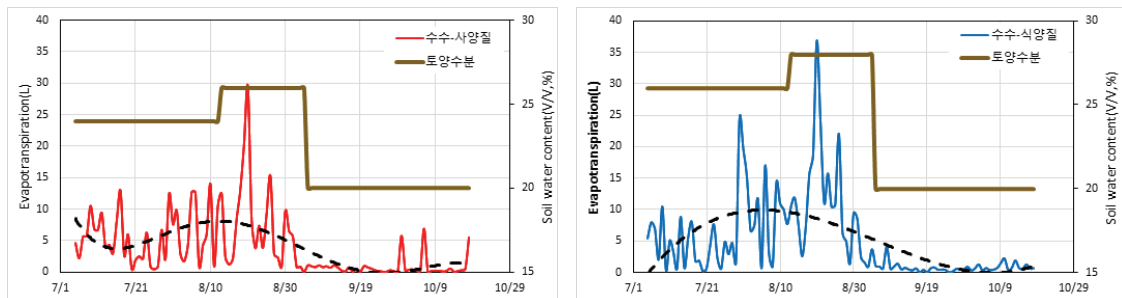


Fig. 3 Evapotranspiration of sorghum and set of available soil water contents in two different soil types from planting through maturity

Table 5. Sorghum yield survey with irrigation scheduling

토성	경장 (cm)	수장 (cm)	경태 (mm)	천립중 (g/1000)
사양질	68.2 ^{ab}	28.1 ^a	19.6 ^a	24.6
식양질	69.0 ^b	27.6 ^a	21.2 ^b	26.4
(대조구)	65.1 ^a	27.1 ^a	20.3 ^{ab}	26.6

[†]Means by the same letter within a row are not significantly different at probability level according to Tukey's studentized range test.

큰 것으로 나타난다. 식양질에서 관개 스케줄링한 수수와 대조구를 비교하면, 경장에서 대조구의 수수가 작게 나타났지만, 나머지 항목에서는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 비록 처리 간 천립중의 차이는 나타나지 않았지만, 대조구에서는 생육 기간 동안 동일한 유효 수분을 유지하여 투입된 전체 관개량이 관개 스케줄링을 한 경우보다 많아서 수분이용효율은 훨씬 낮다.

3.3 참깨의 관개 스케줄링 효율성 평가

Fig. 4는 사양질과 식양질에서 관개 스케줄링을 적용했을 때 참깨 재배 시 증발산량과 토양의 유효 수분을 작물의 생육 기간에 따라 보여주고 있다. 두 토양(사양질, 식양질) 조건에서 증발산량은

유묘·신장기에 증가를 하고 개화기에 최대가 되며 등숙기에 감소하고 있다. 전체적으로 증발산량은 수수와 달리 생육 단계별 증발산량의 구분이 뚜렷하게 나타나고 있다. 식양질의 경우 8월 15일 경 증발산량이 일시적으로 낮게 측정되었으나, 개화기에서의 평균 증발산량 값은 사양질보다 크게 나타났다. 관개 스케줄링을 위하여 생육단계별 토성별 유효 수분을 달리 조정하였으며, 참깨는 생육 기간이 짧아서 등숙기의 유효 수분을 23%와 20%로 유지하였다. 관개 스케줄링을 실시한 시험구는 유효 수분량을 25%로 고정한 대조구보다 관개량을 16.1% 감소시켰다.

Table 6은 참깨의 생육 단계별 증발산량과 토성별 수분 이용효율을 나타내고 있다. 유묘·신장기를 제외한 생육단계에서 식양질의 증발산량이 사양질보다 높게 나타나고 있지만 통계적인 유의성은 보이지 않고 있다. 개화기의 증발산량이 두

Table 6. Evapotranspiration and water use efficiency of sesame at different growth stage

토성	증발산량(L)			수분 이용효율
	유묘, 신장기	개화기	등숙기	
사양질	7.03	15.88	2.63	0.101
식양질	6.96	17.26	2.77	0.133
대조구	8.31	18.61	5.04	0.080

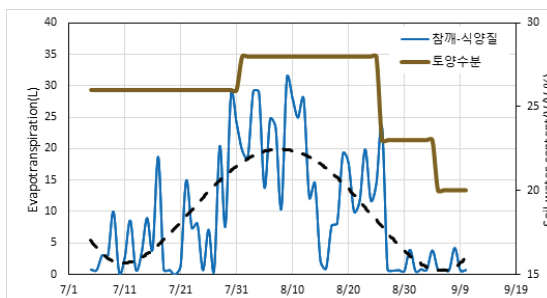
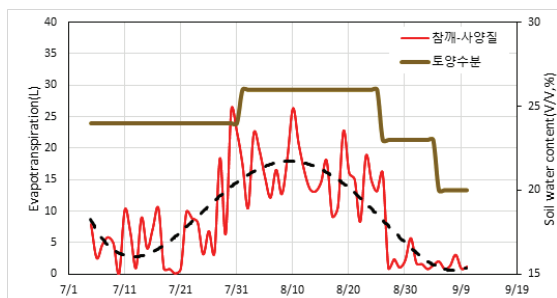


Fig. 4 Evapotranspiration of sesame and set of available soil water contents in two different soil types from planting through maturity

토양 모두 유묘·신장기의 2배가 넘고 있다. 다만 관개 스케줄링의 경우 등숙기에서의 증발산량이 크게 감소한 것을 볼 수 있다(Fig. 4). 수분 이용 효율은 식양질에서 31.7% 높게 나타나고 있다. 참깨의 경우 식양질에서 증발산량도 높게 나왔고 수분 이용효율 또한 사양질보다 크게 산정되었다. 두 토양조건에서 수분 이용효율의 평균은 대조구보다 1.47배 높게 나타났다. 따라서 관개 스케줄링을 이용하여 참깨를 재배할 경우 식양질 토양이 투입된 관개량에 비해 수확량을 증가시키는데 효과적이다.

Table 7은 참깨의 수확량 조사 결과를 보여주고 있다. 식양질에서의 경장이 사양질보다 크게 나타났다. 또한 사양질에서 경태와 주당삭수가 식양질에서의 값보다 크다. 따라서 비록 두 토성 간 천립중의 차이는 보이지 않지만, 사양질에서 주당삭수가 많기 때문에 수확량도 식양질에서 보다 클 것이다. 사양질에서 관개 스케줄링한 참깨의 경장, 경태, 초삭고, 주당삭수가 대조구보다 크게 나타났다. 비록 처리 간 천립중의 차이는 나타나지 않았지만, 대조구에서는 생육 기간 동안 동일한 유효수분을 유지하여 투입된 전체 관개량이 관개 스케줄링을 한 경우보다 많아서 수분이용효율은 훨씬 낮다고 판단된다. 수분 이용효율 또한 관개 스케줄링을 이용한 것이 1.47배 높게 나타났다. 참깨

는 과습에 매우 약한 발작물 중의 하나로 알려져 있다. 따라서 물빠짐이 좋은 사양질이 식양질보다 참깨의 재배에 더 적합하다. 본 시험에서 수확 후 조사된 사양질에서의 경태, 주당삭수 값이 이를 잘 나타내고 있다.

4. 결론

자동 물관리 제어시스템을 활용하여 주요 발작물(콩, 수수, 참깨)에 대하여 생육 시기 별로 자동 관개 스케줄링을 실시하였고, 대조구와 비교하여 효율성을 평가하였다. 그 결과, 특히 등숙기에 관개량을 효과적으로 감소시켰으며, 생육에 이용된 총 관개량은 각각 21.8%(콩), 22.2%(수수), 16.1%(참깨) 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 관개 스케줄링으로 인해 수확량은 증가하여, 수분 이용효율 또한 대조구에 비해 높게 나타났다.

본 연구에서는 외부 수분공급을 막기 위해 유리온실에서 실험을 하였고, 작물의 상태를 고려하지 않고 생육 단계만으로 관개 스케줄링을 실시하였다. 그러나 실제 농가에 적용하기 위해서는 기상환경과 각기 다른 지역 별 작물의 생육 단계, 토양의 종류에 따른 관개 스케줄링 설정이 필요하다. 향후에 기상센서를 통한 기상환경의 적용, 드론을 활용한 작물 상태 관찰 등을 통하여 실제 작물 생육에 적용 가능한 환경에서 연구가 진행된다면, 관개 스케줄링을 통하여 관개 효율을 높이고, 농업용수 사용을 감소시키는데 매우 효과적일 것이다.

또한 경제적인 측면에서 관개 스케줄링을 이용한 자동 물관리 기술은 투자비용이 크지 않고, 추가적인 에너지 비용(농업용 전기) 또한 저렴하기 때문에 경제성도 충분하다고 볼 수 있다.

Table 7. Sesame yield survey with irrigation scheduling

토성	경장 (cm)	경태 (mm)	초삭고 (cm)	착삭 절수 (개)	주당 삭수 (개)	천립중 (g/1000)
사양질	195.8 ^{ab}	16.5 ^a	37.3 ^b	29.2 ^a	148 ^a	2.92
식양질	204.2 ^b	14.0 ^a	38.4 ^b	28.1 ^a	137 ^a	3.00
대조구	186.2 ^a	14.2 ^a	27.2 ^a	28.0 ^a	135 ^a	2.90

[†]Means by the same letter within a row are not significantly different at probability level according to Tukey's studentized range test.

사 사

이 과제는 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- [1] MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). <http://www.mafra.go.kr>
- [2] W. Nam, E. Hong, M. Jang, and J. Choi, "Projection of consumptive use and irrigation water for major upland crops using soil moisture model under climate change", *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, vol. 56, no. 5, pp. 77-87, (2014).
- [3] Y. Shin, and Y. Jung. "Development of Irrigation Water Management Model for Reducing Drought Severity Using Remotely Sensed Soil Moisture Footprints", *Journal of Irrigation and Drain Engineering*, vol. 140, no. 7, pp. 1-11, (2014).
- [4] T. Lee, and Y. Shin. "Estimation of Irrigation Water Amounts for Farm Products based on Various Soil Physical Properties and Crops", *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, vol. 58, no. 6, pp. 1-8, (2016).
- [5] J. Choi, and H. Chung. "Applicability analysis of soil moisture simulation model SWATRER", *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers*, vol. 37, no. 6, pp. 82-91, (1995).
- [6] Y. Ma, S. Feng, and X. Song. "A root zone model for estimating soil water balance and crop yield responses to deficit irrigation in the North China Plain", *Agricultural Water Management*, vol. 127, pp. 13-24, (2013).
- [7] H. Kim, Y. Suh, M. Sim, and K. Lee. "Determination of a new method for the upland water requirements", *Proceedings of the Korean Society of Agricultural Engineers Conference*, pp. 41-46, (1999).
- [8] K. Lee, and Y. Suh. "Development of the estimation system for agricultural water demand", *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers*, vol. 43, no. 1, pp. 53-57. (2001).
- [9] Aydin, M. "Hydraulic properties and water balance of a clay soil cropped with cotton", *Irrigation Science*, vol. 15, pp. 17-23, (1994).
- [10] Ortega-Farias, S. A. Olioso, R. Antonioletti, and N. Brisson. "Evaluation of the Penman-Monteith model for estimating soybean evapotranspiration", *Irrigation Science*, vol. 23, pp. 1-9, (2004).
- [11] C. Kim, J. Kim, H. Chung, H. Choi, and Y. Kwun. "Basic studies on the consumptive use of water required for dry field crops (2) -garlic and cucumber-", *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers*, vol. 31, no. 3, pp. 41-56, (1989).
- [12] C. Kim, J. Kim, H. Chung, H. Choi, and Y. Kwun. "Basic studies on the consumptive use of water required for dry field crops (3) -red popper and radish-", *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers*, vol. 32, no. 1, pp. 55-71, (1990).
- [13] J. Choi, and H. Chung. "Irrigation scheduling with soil moisture simulation model", *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers*, vol. 38, no. 1, pp. 98-106, (1996).
- [14] H. Yoon, S. Chung, and S. Suh. "The optimum irrigation level and the project water requirement for upland crops", *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers*, vol. 32, no. 1, pp. 72-86, (1990).
- [15] K. Ro, "Irrigation facilities and water resource development", *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers*, vol. 38, no. 1, pp. 17-23, (1996).
- [16] RDA (Rural Development Administration). <http://www.nongsaro.go.kr>