

## 사막토양 환경에서 벼 재배시 관개방법에 따른 생육 및 수량 특성

정기열<sup>1</sup> · 이상훈<sup>2</sup> · 정재혁<sup>3</sup> · 전현정<sup>2</sup> · 채세은<sup>4</sup> · 김상윤<sup>5</sup> · 전승호<sup>5,†</sup>

### Effect of Irrigation Methods on the Growth and Yield of Rice in Desert Climates

Ki-Youl Jung<sup>1</sup>, Sang-Hun Lee<sup>2</sup>, Jae-Hyeok Jeong<sup>3</sup>, Hyen-Chung Chun<sup>2</sup>, Se-Eun Chea<sup>4</sup>, Sang-Yoon Kim<sup>5</sup>, and Seung-Ho Jeon<sup>5,†</sup>

**ABSTRACT** This study was conducted by directly sowing *Asemi* in late April at 30 × 10 cm intervals to determine the optimal irrigation method and irrigation amount to maximize the use of limited agricultural water and to increase the yield when growing rice in a desert climate. Conventional irrigation (Conv.), surface drip irrigation (Sur), subsurface drip irrigation (Sub.), and sprinkler irrigation (Spr.) methods were used. The following amounts of irrigation were tested based on field capacity (0.33 bar): 80% (V/V, FC80), 100% (FC100), and 120% (FC120), and data for 2 years were averaged. The total amount of irrigation by irrigation method was the lowest, at 627 ton/10 a, for Sub. irrigation with the FC80 treatment, which was 60.4% less than the amount of irrigation with the FC120 treatment (1,584 ton/10a). Sub. irrigation with the FC120 treatment gave the greatest amount of rice, at 665 kg/10 a, and this condition obtained a yield of 88.1% (754 kg/10 a) of the yield obtained with the conventional treatment. Therefore, when planting rice in a desert climate, subsurface drip irrigation at 120% of field capacity is considered advantageous to increase water use efficiency and crop yield.

**Keywords** : desert climate, irrigation amount, irrigation method, rice, water saving

**쌀**(*Oryza sativa* L.)은 전 세계 인구의 절반 이상이 주식으로 사용하는 세계 3대 곡물 중 하나로(Nam & Kim, 2015), 수십억 인구의 생계와 경제에 영향을 미친다. 이에 계속 증가하는 인구의 수요를 충족시키고, 토지와 물과 같은 자원의 감소에도 불구하고 연간 쌀 생산량은 확보되어야 한다(Daly, 2018).

United Arab Emirates (UAE)는 한국과 2018년 정상회담 후속 조치로 사막환경에서 벼 재배 분야에 대해 협력하기로 한 국가로, 쌀이 주식이지만, 대부분을 수입에 의존하고 있어, 수입국의 재해 및 쌀 가격 변동 등의 농경 경제의 변화가 UAE 시장 쌀 가격에 큰 영향을 미치므로(S. Al Qaydi,

2014) 안정적인 쌀 생산이 중요하다. 하지만, UAE는 평균 기온이 46°C에 달하는 매우 높은 여름 기온을 나타내고, 높은 증발률에도 불구하고, 강수량이 적어 연평균 160 mm 을 넘지 않는다. 또한, 토양 대부분이 모래 토양으로 분류되어 높은 투수율, 낮은 수분 보유 능력, 낮은 수분함량 등 물 소모량이 많아 농업 부분에 관련해서 많은 어려움이 있다(Shahin & Salem, 2015). UAE에서의 농업은 100% 관개로, 농업 관개수의 대부분이 지하수에서 공급되는데 급격한 인구 증가와 재생 불가능한 수자원의 특성상 향후 16~36년 내 고갈될 것이며, 2030년에는 작물생산을 위한 총 급수 요구량은 연간 약 9억 9,800만 m<sup>3</sup>가 될 것으로 전망

<sup>1</sup>국립식량과학원 농업연구관 (Senior Researcher, National Institute of Crop Science, RDA, Miryang 50424, Korea)

<sup>2</sup>국립식량과학원 농업연구사 (Researcher, National Institute of Crop Science, RDA, Miryang 50424, Korea)

<sup>3</sup>국립식량과학원 농업연구사 (Researcher, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea)

<sup>4</sup>순천대학교 생명자원학과 박사과정 (PhD. Course Student, Department of Life Resources, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea)

<sup>5</sup>순천대학교 생명산업과학대학 농생명학과 교수 (Professor, Department of Agricultural Life Science, College of Life Science and Natural Resources, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea)

†Corresponding author: Seung-Ho Jeon; (Phone) +82-61-750-5188; (E-mail) [shjeon@snu.ac.kr](mailto:shjeon@snu.ac.kr)

<Received 6 June, 2022; Revised 27 June, 2022; Accepted 20 July, 2022>

했다(Shahin & Salem, 2015). 따라서 지하수를 최소화하고, 물의 이용효율을 높이면서(Kim *et al.*, 2009), 재배작물의 수확량을 최대화하기 위한 효율적인 관개기술이 필요하다(Kim *et al.*, 2013).

작물 재배를 위한 적정 관수관리는 작물의 수분스트레스와 물사용량을 최소화하면서 작물생산에 필요한 양만 적소·적시에 투입하는 것을 의미하며, 관수량의 부족은 재배작물의 생산성과 품질을 저하 시킬 수 있다(Kim *et al.*, 2009). 이에 따라, 가용물을 효율적으로 사용하고, 농업용수를 절감하기 위한 방법으로 다양한 관개방법이 적용되고 있다(Jung *et al.*, 2021). 관개 종류에는 물을 공급하는 방식에 따라 크게 지표 관개, 살수 관개(스프링클러), 지하 관개 등으로 나뉘며, 이 중 점적투브를 이용한 관개는 근권부 주변에만 물을 공급할 수 있기 때문에 수분증발 및 지하배수의 의한 손실이 적으면서 작물 생육에 필요한 양만 투입할 수 있다는 장점이 있다(Kim *et al.*, 2013). 또한 지중 점적 관개는 물이 부족하거나 수질이 좋지 않는 곳에서 효과적이며(Patel *et al.*, 1999), 작물생산량을 유지하면서도 물 소비량이 다른 관수방법 보다 적었다(Camp *et al.*, 2000). 이처럼, 관수는 관수량도 중요하지만 관수방법에 따라 작물의 생산성과 관수되는 물의 양이 다르게 된다(Ryu *et al.*, 1994; Park *et al.*, 2012).

벼는 품종과 환경에 따라 차이가 있지만(Maclean *et al.*, 2013), 재배 시 물의 요구량이 높고, 생장 중 수분 부족에 민감하게 반응하기 때문에, 중간 정도의 가뭄스트레스에도 벼의 생장과 수확량을 크게 감소시킬 수 있다(Farooq *et al.*, 2009). 벼의 수분 스트레스는 생육시기별로 그 피해 정도를 달리하는데(Choi *et al.*, 2006), 생육초기 한발에도 생육 및 수량에 크게 영향을 미친다고 보고하였고(Ryu *et al.*, 1982), 특히 등숙기에 수분 스트레스를 받으면, 지상부 건물중과 뿌리 건물중에 영향을 미쳐 결국, 곡실 무게 감소로 인한(Kobata & Takami, 1979) 쌀 수량이 크게 감소된다고 보고하였다(Kobata & Takami, 1981; Kobata & Takami, 1983; Kim *et al.*, 2013). 이에 벼 재배시에는 효율적인 물 관리가 필요하고, 한정된 농업용수의 사용을 최대화 할 수 있는 관개시스템 적용이 필요하다.

현재 보고된 관개 시스템의 연구는 주로 시설 풋고추, 상추 및 토양수분 등의 연구로 다수 보고되고 있으나(Kwon *et al.*, 2009; Park *et al.*, 2012; Choi *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2013), 최근의 지구온난화와 같은 기후변화에서 오는 수자원 부족과 식량안보 및 인구 증가에 따른, 쌀 수요에 충족시키는 벼 관개시스템을 적용한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구는 사막토양 환경에서 벼 재배시 농업용수 절감이 가능한 관개방법 및 관개량에 따른 벼의 생육특성과 수량을 알아봄으로써, UAE 등의 열대 사막기후 환경에서 벼 재배를 위한 기반 기술 개발을 위한 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

### 재료 및 방법

#### 공시재료

본 실험은 사막기후에서 벼 재배를 위한 적정 관개방법 및 관개량을 조사하여 사막토양 환경에서 적합한 용수 절감 관개방법 개발을 위한 기초자료로 활용하고자, 국립식량과학원 남부작물부 노지 시험 포장에서 2년(2019~2020)에 걸쳐 수행하였다.

공시재료는 열대지역에서 재배가 적합하고, 수확량이 높은 품종인 자포니카 계열의 아세미(Jeong *et al.*, 2019)를 농촌진흥청에서 보급받아 사용하였다. 실험에 사용된 토양은 사막기후 토양과 유사조건을 형성하기 위하여 입도 분포가 모래 89.3%, 미사 7.9%, 점토 2.8%인 조립질사양토로, 이·화학적 특성은 Table 1과 같다.

#### 처리방법

본 연구는 분할구배치법 3반복으로, 관개방법은 관행구를 대조구로하여 지표점적, 지중점적, 스프링클러 3수준으로 배치하였다. 관개량 또한 FDR (Frequency Domain Reflectometry) 방식의 토양수분센서(SMEC 300, Spectrum)를 이용하여, 포장용수량(Field Capacity, 0.33 bar)을 기준으로 80% (V/V, FC80), 100% (FC100), 120% (FC120) 3수준으로 처리하였다. 관개관은 지표점적 0.6 m, 지중점적 0.7 m, 스프링클러 10 m 간격으로 설치하였고, 지표 및 지중점적

**Table 1.** Physical and chemical property of lysimeter soil.

Particle size distribution			Soil texture	pH	CEC	Exchangeable cation		
Sand	Silt	Clay				K	Ca	Mg
..... % .....				(5:1)	..... cmol/kg .....			
53.3	39.9	6.8	Sand	6.0	13.4	8.1	0.4	1.9

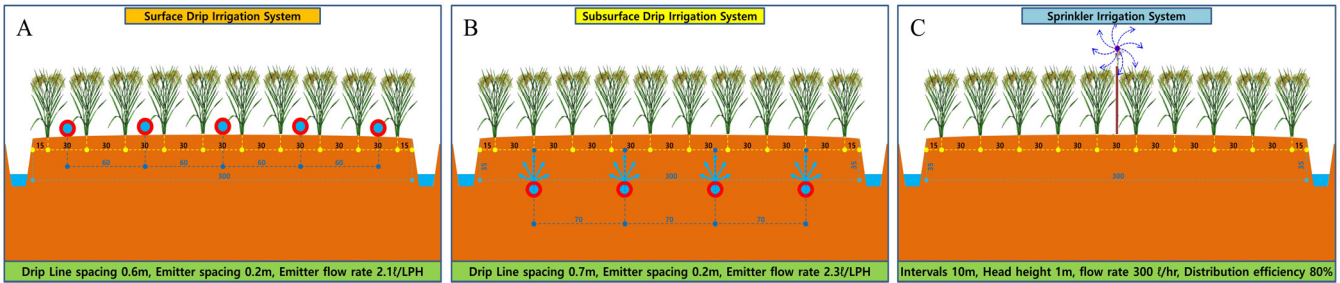


Fig. 1. Lysimeter model schematic (A: surface drip irrigation, B: subsurface drip irrigation, C: sprinkler irrigation).

관개는 20 cm 간격 점적공이 있는 연질 압력보상형 호스에 유출량은 각각 2.1, 2.3 L/hr으로 관개하였으며, 스프링클러는 관개 균등성 80%로 하여 살수반경 10 m, 유출량은 2.3 L/hr으로 관개하였다(Fig. 1).

재배방법은 4월 하순 넓은 이랑에 재식거리 30 × 10 cm로 3립씩 점파하였고, 시비량(kg/ha)은 N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O = 170, 45, 57로, 질소는 완효성 비료 70%를 기비로 전층시비(58.3 kg/10a) 하였고, 요소는 (9.8 kg/10a)를 추비로 주었으며, 인산은 기비 100%, 칼리는 기비 70% + 추비 30%로 분시하였다. 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 수행하였다.

**주요 조사 내용**

벼의 주요생육 시기별 생육특성 및 수량구성요소는 농업과학기술 연구조사 분석기준에 준하여 조사하였고, 사막토양환경에 적용 가능한 최적 관개방법을 알아보기 위해 토양수분 변화특성, 관개효율 및 수량 등을 조사하였고, 2년간의 조사내용을 평균하여 나타내었다.

**통계처리**

본 연구에서 얻어진 데이터의 통계분석은 SAS프로그램(V. 9.4, Cary, NC, USA)을 이용하여 분산분석하였고, Duncan의 다중검정법(Duncan’s multiple range test, DMRT)을 통해 5% 유의수준에서 처리구간 유의성을 검정하였다.

**결과 및 고찰**

**토양수분 변화 및 관개량 평가**

벼 재배기간 동안 관개량에 따른 토양수분함량과 강우량의 변화는 Fig. 2와 같다. 토양수분함량은 FC80% 처리구가 25.0~32.0%, FC100% 처리구가 25.8~36.5%, FC120% 처리구는 31.0~37.5% 사이를 유지하였으며, 관개량이 많아질수록 토양수분함량이 높게 나타났다. 강우량이 없었던

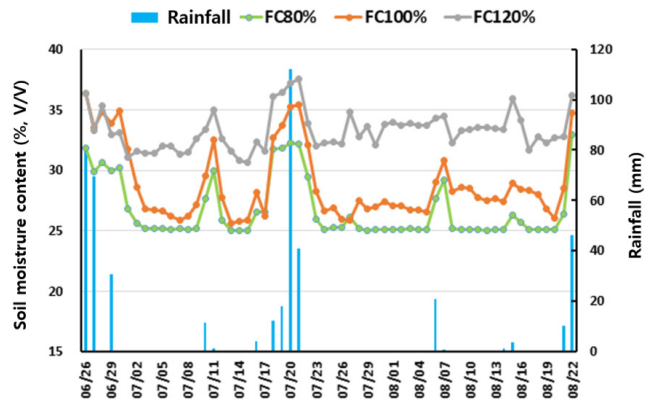


Fig. 2. Changes in soil moisture and rainfall by irrigation method.

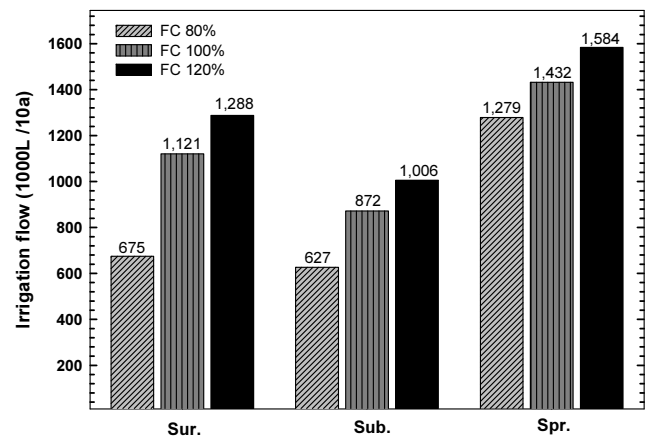


Fig. 3. Comparison of irrigation amounts by irrigation method (Sur.: surface drip irrigation, Sub.: subsurface drip irrigation, Spr.: sprinkler irrigation, FC: field capacity).

8월 1일에 FC120% 처리구에서 34.0%로 수분함량이 가장 높았다. 다음으로 FC100% 처리구가 27.0%, FC80% 처리구는 25.0%로 나타나, 가장 토양 수분함량이 높았던 FC120% 처리구 대비 각각 7.00, 9.00% 차이가 나타났다.

벼의 생육기간 동안 관개방법별 총 관개량을 나타낸 Fig. 3

에서는, 관개방법 중 지중점적은 평균 835 ton/10a로 관개량이 가장 적게 나타나, 관개량이 가장 많았던 스프링클러의 평균 1,432 ton/10a 대비 58.3% 적은 것으로 조사되었다. 지중점적 처리에서도 FC80% 처리구가 627 ton/10a로 모든 관개처리 중 관개량이 가장 적었고, FC120% 처리구에서는 1,006 ton/10a로 나타나, 토양 수분함량이 더 낮은 지표점적 FC100% 및 스프링클러 FC80% 처리구 보다도 각각 11.4, 27.1% 더 관개량이 적은 것으로 나타났다. 따라서, 사막기후의 토양환경에서의 벼 재배시 스프링클러 및 지표점적 관개처리보다는 지중점적 관개처리를 하는 것이 물 절약에 더 도움이 될 것으로 판단된다.

정밀관개 기법 중 점적관개는 점적호스를 이용하여 작물의 근근역에 필요한 수량을 공급함으로써 관개용수를 고효율로 사용할 수 있는 관개기법이라고 하였고(Choi *et al.*, 2012), 그중에서도 지중점적관수는 지표점적 및 스프링클러 대비 지표층에서의 수분 증발이 적고, 지표관수 보다 관수한 수분이 넓게 퍼짐으로써, 물의 이용률이 높은 이점이 있다고 보고하였다(Ng *et al.*, 2002; Haley & Reed, 2004; Kim *et al.*, 2005; Kwon *et al.*, 2009). 또한, 녹두재배에서의 지중관수는 지표관수에 비해 16%의 용수절감 효과가 있었다고 보고(Gencoglan *et al.*, 2006)한 바와 같이, 본 연구에서도 지중관수인 지중점적 관개처리가 지표관수인 지표점적 및 스프링클러 관개처리 대비 평균 각각 약 19, 42%의 용수절감 효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서, 사막기후의 토양환경에서의 벼 재배시 스프링클러 및 지표점적 관개처리보다는 지중점적 관개처리를 하는 것이 물 절약에 더 도움이 될 것으로 판단된다.

### 벼 생육특성 및 수량구성요소

관개방법 및 관개량에 따른 벼의 생육특성은 Table 2와 같다. 먼저 간장은 지중점적 FC120% 처리구가 88.4 cm로 가장 길게 나타나, 관행구 보다 14.8 cm, 무관개 처리구 보다 32.1 cm 더 긴 것으로 조사되었다. 수장에서는 관행구가 24.4 cm로 가장 길었고, 다음으로 지중점적 FC120% 처리구가 23.2 cm로 길게 나타났다.

벼 재배에서 관개량의 조절시 수분포화, 포장용수 및 토양균열 등에 의해 간장 및 수장은 관개량의 감소에 따라 감소하는 경향이 있다고 보고하였으나(Choi *et al.*, 2006; Jung *et al.*, 2021), 본 연구에서는 지중점적에서만 관개량이 감소할수록 간장 및 수장에서 감소하는 것으로 나타나 같은 경향을 나타냈지만, 지표점적 및 스프링클러 관개처리에서는 관개량에 따른 차이가 나타나지 않아 다른 경향을 보였다. 이는 지표점적 및 스프링클러는 물 공급시 물이 지표에

**Table 2.** Growth characteristics effected by irrigation amounts and method in rice.

Irrigation method	Irrigation amounts		Culm length	Panicle length
	...	% ...	..... cm .....	
Conventional			73.6 <sup>d‡</sup>	24.4 <sup>a</sup>
Non irrigation			56.3 <sup>e</sup>	18.7 <sup>e</sup>
Surface drip irrigation	FC*	80	77.9 <sup>cd</sup>	22.0 <sup>cd</sup>
	FC	100	83.9 <sup>ab</sup>	22.7 <sup>cd</sup>
	FC	120	84.7 <sup>ab</sup>	21.8 <sup>cd</sup>
Subsurface drip irrigation	FC	80	80.8 <sup>bc</sup>	22.1 <sup>cd</sup>
	FC	100	84.7 <sup>ab</sup>	22.6 <sup>bcd</sup>
	FC	120	88.4 <sup>a</sup>	23.2 <sup>b</sup>
Sprinkler irrigation	FC	80	78.1 <sup>cd</sup>	21.9 <sup>cd</sup>
	FC	100	82.8 <sup>b</sup>	22.7 <sup>bc</sup>
	FC	120	85.1 <sup>ab</sup>	21.6 <sup>d</sup>

<sup>‡</sup>Within each sampling date, the results followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ ).

\*FC: field capacity.

서 유실되는 등의 이유로 공급된 물이 생육에 모두 이용되지 않았을 것으로 생각되며, 지중점적 관개처리에서는 관수한 수분이 근근역에 넓게 퍼짐으로써, 물의 이용률이 높았기(Ng *et al.*, 2002; Haley & Reed, 2004; Kim *et al.*, 2005; Kwon *et al.*, 2009) 때문에, 유실되는 물의 양이 다른 관개방법 대비 적었을 것이라 생각되며, 이에 관개량의 증감에 따른 간장과 수장의 차이가 나타난 것으로 판단된다. 또한, 벼의 관개재배에서 유실되는 물의 양에 따른 생육과 수량에 대한 추가적인 연구가 이루어진다면, 체계적인 물관리와 벼 재배를 위한 기반 기술 개발을 위한 기초자료로서의 활용도가 높을 것으로 사료된다.

관개방법별 수량구성요소에서는 먼저, 이삭수에서 관행구가 17개로 가장 많았고, 다음으로 지중점적 FC120% 처리구가 15.9개로 많이 조사되었다(Table 3). 하지만, 수당립수에서는 이삭수가 가장 많았던 관행구가 93.3개로 나타나, 두 번째로 이삭수가 많았던 지중점적 FC120% 처리구 139.2개보다 46.3개 더 적게 나타났다. 등숙률은 관행구가 86.6%로 가장 높았지만, 1,000립중은 지표점적 FC120% 및 지중점적 FC100, 120% 처리구에서 28.7~29.2 g으로 가장 무겁게 나타났다.

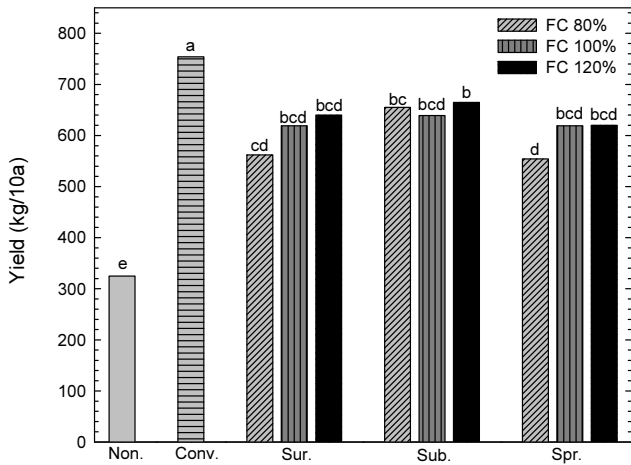
벼 재배시 관개량 조절에 따라 관개량이 감소할수록 수당립수, 등숙비율이 낮아지는 경향이 있다고 보고 되었으며(Choi *et al.*, 2006; Jung *et al.*, 2021), 본 연구에서도 이

**Table 3.** Yield components effected by irrigation (field moisture capacity) amounts and method in rice.

Irrigation method	Irrigation amounts	No. of panicle	No. of grain	Percent ripened grain	1,000 grain weight
		No./Plant	No./Panicle	..... % .....	..... g .....
Conventional	... % ...	17.0 <sup>a‡</sup>	93.3 <sup>d</sup>	86.6 <sup>a</sup>	28.5 <sup>ab</sup>
Non irrigation		13.4 <sup>c</sup>	81.4 <sup>d</sup>	59.4 <sup>c</sup>	24.2 <sup>c</sup>
Surface drip irrigation	FC* 80	14.2 <sup>bc</sup>	121.0 <sup>bc</sup>	78.2 <sup>bc</sup>	27.3 <sup>b</sup>
	FC 100	15.1 <sup>abc</sup>	121.8 <sup>bc</sup>	69.1 <sup>d</sup>	28.5 <sup>ab</sup>
	FC 120	15.3 <sup>abc</sup>	117.8 <sup>bc</sup>	83.7 <sup>ab</sup>	29.0 <sup>a</sup>
Subsurface drip irrigation	FC 80	15.1 <sup>bc</sup>	122.0 <sup>bc</sup>	80.1 <sup>abc</sup>	28.4 <sup>ab</sup>
	FC 100	14.2 <sup>bc</sup>	135.5 <sup>ab</sup>	79.0 <sup>bc</sup>	28.7 <sup>a</sup>
	FC 120	15.9 <sup>ab</sup>	139.6 <sup>a</sup>	76.2 <sup>bc</sup>	29.2 <sup>a</sup>
Sprinkler irrigation	FC 80	15.0 <sup>bc</sup>	113.5 <sup>c</sup>	75.5 <sup>c</sup>	28.2 <sup>ab</sup>
	FC 100	13.7 <sup>c</sup>	142.4 <sup>a</sup>	77.1 <sup>bc</sup>	28.4 <sup>ab</sup>
	FC 120	14.4 <sup>bc</sup>	119.3 <sup>bc</sup>	74.1 <sup>cd</sup>	28.2 <sup>ab</sup>

<sup>‡</sup>Within each sampling date, the results followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ ).

\*FC: field capacity.



**Fig. 4.** Rice yield by irrigation method, compared with the conventional method. Non.: non irrigation, Conv.: conventional, Sur.: surface drip irrigation, Sub.: subsurface drip irrigation, Spr.: sprinkler irrigation, FC: field capacity.

삭수 및 등숙률에서 관행구 대비 모든 관개방법에 따른 관개량별 처리구에서 작고, 낮게 조사되어 같은 경향을 나타냈다.

관개방법에 따른 관개량별 수량은 Fig. 4와 같이, 이삭수와 등숙률이 가장 높았던 관행구에서 754 kg/10a로 가장 많았고, 수당립수와 천립중이 가장 많았던 지중점적 FC120%

처리구가 관행구 대비 88.1% 가량 수량성이 확보가 가능한 것으로 조사되었다.

Saturated soil Culture (SSC) 조건에서 관개 재배를 통해 34%의 관개수 절약이 가능하면서도 66~84% 수량 확보가 되었다고 보고하였고(Borell *et al.*, 1997), Tabbal *et al.* (2002) 또한, 물 절약이 가능하면서도 91~96%의 수량확보가 가능하다고 보고되었다. 본 연구에서도 위 연구와 같이 관행구 대비 관개방법 및 관개량별 처리에 따라 물 절약이 가능하면서 73~88%의 수량이 확보되었다. 관개방법에 따른 평균수량은 지중점적, 지표점적, 스프링클러 순으로 많았는데, 이는 지중점적 처리가 지표점적 및 스프링클러 대비 점적호수를 이용하여 근근역에 필요한 수분을 직접 공급함으로써 표층에서의 수분 증발이 적어, 관개용수를 고효율적으로 사용해(Ng *et al.*, 2002; Haley & Reed, 2004; Kim *et al.*, 2005; Choi *et al.*, 2012) 지표점적 및 스프링클러보다 관개량을 적게 사용하면서도 수량확보가 가능했을 것으로 생각된다. 이처럼, 작물의 생산성은 물의 공급량과 이용 방법에 따라 아주 크게 영향을 받으며, 관수 방법에 따라 토양에서 양·수분의 이동과 분포하는 양상(Ryu *et al.*, 1994)이 다르게 되어 작물의 생산성과 관수되는 물량이 다르게 된다(Park *et al.*, 2012). 현재 지구온난화 등의 영향으로 범지구적 물부족현상이 나타나고 있고, 특히, 사막기후환경에서는 농업용수의 절감이 중요한 과제로 자리잡고 있기 때

**Table 4.** Correlation of growth and yield characteristics by irrigation (field moisture capacity) amounts and method in rice.

Source	Df	Culm length	Panicle length	No. of panicle/ Plant	NO. of grain/ Panicle	Percent ripened grain	1,000 grain weight
Irrigation method (IM)	2	2.5 <sup>ns</sup>	2.4 <sup>ns</sup>	1.1 <sup>ns</sup>	3.6*	2.0 <sup>ns</sup>	1.3 <sup>ns</sup>
Irrigation amount (IA)	2	14.7***	3.7*	1.7 <sup>ns</sup>	5.0*	2.1 <sup>ns</sup>	2.7 <sup>ns</sup>
IM×IA	4	0.1 <sup>ns</sup>	2.3 <sup>ns</sup>	1.5 <sup>ns</sup>	2.7 <sup>ns</sup>	6.7**	1.0 <sup>ns</sup>

\*, \*\*, \*\*\* Significant at  $p \leq 0.05$ ,  $p \leq 0.01$ , and  $p \leq 0.001$ , respectively.  
ns, Not significantly different at the 0.05 level of probability ( $p > 0.05$ )

문에 더 다양한 관개방법이나 콧고추, 상추에서 지중점적 관의 위치 또는 간격, 공기주입 등(Kwon *et al.*, 2009; Park *et al.*, 2012)의 선행연구와 같이, 벼 재배시에도 이러한 처리방법에 대한 연구가 추가된다면, 사막기후환경에서 보다 더 물 절약이 가능한 벼 재배기술 개발의 기초자료가 될 수 있을 것으로 사료된다.

### 상관관계

관개방법에 따른 관개량별 생육특성 및 수량구성요소 상관관계를 분석한 결과(Table 4), 관개방법에서는 수당립수에서 3.6\*으로 양의 상관관계가 나타났고, 관개량에 따른 상관관계에서는 간장이 14.7\*\*\*로 높은 양의 상관관계가 나타났다. 관개방법별 관개량에 따른 상관관계에서는 등숙률이 6.7\*\*로 높은 상관관계를 보였으나, 나머지 특성에서는 처리간 상관관계가 나타나지 않았다.

벼 생육 중 수분부족은 종자 발아 및 초기 묘목 성장(초기 가뭄), 식물 성장 및 발육 감소(중간 가뭄), 생식기 개화 지연, 등숙률 감소(말기 가뭄)등 벼 성장의 모든 단계에 영향을 준다는 보고(Yoshida *et al.*, 1976; Babu *et al.*, 2003; Farooq *et al.*, 2009; Rahmaningsih, 2016; Jung *et al.*, 2021)와 같이, 본 연구의 생육특성 및 수량 상관관계 조사에서도 관개방법 보다 관개량이 생육과 수량구성요소에 미치는 영향력이 더 큰 것으로 조사되었으며, 관개방법별 관개량에 따른 상관관계에서도 등숙률에서 양의 상관관계가 나타나, 수량구성요소에 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

벼 재배시 광 및 온도와 더불어 수분과 같은 환경요인은 생육 및 수량에 큰 영향을 미치기 때문에 아주 중요한 요소라고 할 수 있어(Jung *et al.*, 2021), 사막 토양환경에서의 벼 재배시 생육과 수량 확보에 효율적인 물 관리를 위한 최적의 관개방법 및 관개량을 찾는 것이 중요하다고 사료된다.

따라서 본 연구에서는 상대적으로 물이 부족한 사막기후에서의 벼 재배시 농업용수의 효율적 사용이 가능한 최적 관개방법에 따른 관개량을 조사한 결과, 총 관개량에서는 관개방법 중 지중점적 관개처리가 평균 835 ton/10a으로, 관

개량이 가장 많았던 스프링클러 대비 약 41.6% 물 절약이 가능한 것으로 나타났다. 생육특성 및 수량구성요소에서는 지중점적 FC120%처리구가 간장, 이삭수, 수당립수 및 천립중에서 값이 가장 높게 나타났다. 수량에서는 665 kg/10a로 나타나, 가장 많은 관행구에 대비해 88.1%까지 수량확보가 가능하였다. 따라서, 지중점적 FC120% 처리구가 일정 수량 확보가 가능하면서, 효율적인 물 관리도 가능할 것으로 사료되어, 사막기후의 지중점적관수 설비하에서 FC120% 처리하여 벼를 재배할 경우, 총관개량이 가장 많았던 스프링클러 FC120%처리 대비 35.6%의 물 절약이 가능하면서, 665 kg/10a의 수량확보가 가능할 것으로 판단된다. 추후, 아세미 벼 뿐만 아니라 다양한 품종별 추가연구 및 보다 세부적인 지중점적 관개에 대한 호수 설치 간격과 깊이, 점적기의 간격, 점적기당 시간당 관수량등의 설정에 관개수 유실량 등 대한 연구가 추가적으로 이루어진다면 사막기후뿐만 아니라 변화하는 기후에 대응하는, 벼 재배 시 농업용수의 효율적 이용과 동시에 수량 증가에 보다 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

### 적 요

본 연구는 사막기후에서 벼 재배시 관개방법 및 관개량에 따른 벼의 생육 및 수량 특성을 알아봄으로써 적정 관개량 선정 및 사막기후환경에서 벼 관개시설 재배에 대한 기초자료로 활용하고자 수행한 결과는 다음과 같다.

관개방법별 총 관개량에서는 스프링클러 > 지표점적 > 지중점적 순서로 관개량이 많았고, 지중점적 FC80% 처리구에서 627 ton/10a로 관개량이 가장 적었으며, 관개량이 가장 많았던 스프링클러 FC120% 처리구 1,584 ton/10a 대비 60.4% 더 적은 것으로 조사되었다. 관개방법에 따른 쌀 수량에서는 지중점적 > 지표점적 > 스프링클러 순이었으며, 그 중 지중점적 FC120% 처리구에서 665 kg/10a로 관행구 대비 88.1%로 관수방법에서 가장 높은 수량성을 보였다. 따라서, 사막기후환경에서 벼 재배시 지중점적관개로 FC120%

처리 할 경우 물의 이용효율을 높이면서, 작물 수량증대에 유리할 것으로 사료된다.

## 사 사

본 논문은 2020년 농촌진흥청 연구사업(과제번호 : PJ01 453801)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## 인용문헌(REFERENCES)

- Babu, R. C., B. D. Nguyen, V. Chamarek, P. Shanmugasundaram, P. Chezian, P. Jeyaprakash, and S. Sarkarung. 2003. Genetic analysis of drought resistance in rice by molecular markers. *Crop Science*. 43(4) : 1457-1469.
- Borell, A., A. Garside, and S. Fukai. 1997. Improving of water for irrigated rice in a semi-arid tropical environment. *Field Crop Res.* 52 : 231-248.
- Camp, C. R., F. R. Lamm, R.G. Evans, and C. J. Phene. 2000. Subsurface drip irrigation - past, present and future. In *National Irrigation Symposium*, November 14-16, Phoenix, Arizona, pp. 363-372.
- Choi, S. K., J. Y. Choi, W. H. Nam, S. O. Hur, H. J. Kim, S. O. Chung, and K. H. Han. 2012. Uniformity Assessment of Soil Moisture Redistribution for Drip Irrigation. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 54(3) : 19-28.
- Choi, W. Y., H. K. Park, S. H. Moon, M. G. Choi, S. S. Kim, and C. K. Kim. 2006. Rain Yield and Weed Quality of Rice Plant as Affected by Water-saving Irrigation. *Korean Journal of Agriculture and Forest Meteorology*. 8(3) : 141-144.
- Daly, G. 2018. *Aerobic rice: Rice for future*. Department of Agronomy, Collage of Agriculture, Vellayani, Trivandrum, Kerala, India.
- Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita, and S. Basra. 2009. *Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management Sustainable Agriculture*. pp. 153-188.
- Gencoglan, C., H. Altunbey, and S. Gencoglan. 2006. Response of green bean (*P. vulgaris* L.) to subsurface drip irrigation and partial rootzone-drying irrigation. *Agricultural Water Management*. 84:274-280.
- Haley, T. B. and D. W. Reed. 2004. Optimum potassium concentrations in recirculating subirrigation for selected greenhouse crops. *Hortscience*. 39: 1441-1444.
- Jeong, E. G., K. H. Kang, H. C. Hongg, Y. C. Cho, O. Y. Jung, Y. H. Jeon, J. K. Chang, J. H. Lee, Y. J. Won, U. H. Yang, K. H. Jung, U. S. Yeo, and B. K. Kim. 2019. A wide region of tropical Asia adaptable japonica rice 'Asemi'. *J. Korean Soc. Int. Agric.* 31(1) : 76-81.
- Jung, K. Y., S. H. Lee, J. H. Jeong, H. C. Chun, S. K. Oh, and S. H. Jeon. 2021. Effect of Irrigation Amounts on Growth and Yield of Rice in Desert Climates. *Korean J. Crop Sci.* 66(3) : 201-209.
- Kim, J. H., C. S. Kim, T. W. Kim, and J. H. Hong. 2005. *J. Biosystems Engineering*. 30 : 102-109.
- Kim, H. J., D. W. Son, S. O. Hur, M. Y. Roh, K. Y. Jung, J. M. Park, J. Y. Rhee, and D. H. Lee. 2009. Comparison of Wetting and Drying Characteristics in Differently Textured Soils under Drip Irrigation. *Journal of Bio-Environment Control*, 18(4) : 309-315.
- Kim, H. J., S. W. Ahn, K. H. Han, J. Y. Choi, S. O. Chung, M. Y. Roh, and S. O. Hur. 2013. Comparison Study of Water Tension and Content Characteristics in Differently Textured Soils under Automatic Drip Irrigation. *Protected Horticulture and Plant Factory*. 22(4) : 341-348.
- Kobata, T. and S. Takami. 1979. The effects of water stress on the grain-filling in rice. *Japan Journal of Crop Science*. 48(1) : 75-81.
- Kobata, T. and S. Takami. 1981. Maintenance of the grain growth in rice subject to water stress during the early grain filling. *Japan Journal of Crop Science*. 50(4) : 536-545.
- Kobata, T. and S. Takami. 1983. Relationship between panicle weight per plant and cumulative water stress in rice. *Japan Journal of Crop Science*. 62(1) : 60-65.
- Kwon, J. K., N. J. Kang, M. W. Cho, Y. I. Kang, K. S. Park, and J. H. Lee. 2009. Effect of Subsurface Drip Irrigation and Aeration in Green Pepper Cultivation. *Journal of Bio-Environment Control*. 18(3) : 225-231.
- Maclean, J., B. Hardy, and G. Hettel. 2013. *Rice Almanac: Source book for one of the most important economic activities on earth: IRRI*.
- Nam, K. H. and C. G. Kim. 2015. Effect of water stress on chemical composition of rice grains. *CNU journal of Agricultural Science*. 42(1) : 1-5.
- Ng, H. Y. F., C. S. Tan, C. F. Drury, and J. D. Gaynor. 2002. Controlled drainage and subirrigation influences tile nitrate loss and corn yields in Southwestern Ontario. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 90 : 81-88.
- Park, J. M., T. J. Lim, and S. E. Lee. 2012. Effect of Subsurface Drip Pipes Spacing on the Yield of Lettuce, Irrigation Efficiency, and Soil Chemical Properties in Greenhouse Cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(5) : 683-689.
- Patel, R. M., S. O. Prasher, D. Donnelly, R. B. Bonnell, and R. S. Broughton. 1999. Subirrigation with brackish water for vegetable production in arid regions. *Bioresource Technology*. 70:33-37.
- Rahmaningsih, M. 2016. Phenotypic and Gene Expression Analysis of Diverse Rice Genotypes in Response to Drought.
- Ryu, I. S., J. H. Lee, and Y. W. Yoshida, 1982. Improvement in rice cultural techniques against unfavorable weather condition. *Korean Journal of Crop Science*. 27(4) : 385-397.
- Ryu, K. S., S. H. Yoo, and K. C. Song. 1994. Movement of applied nutrients through soils by irrigation. III. Effect of soil water on the movement of nitrogen. *Korean J. Soil Sci. Fert.*

- 27(3) : 232-237.
- S. Al Qaydi, S., 2014. Food Security in the United Arab Emirates; the Role of the State in Overseas Farm Crops Production. *Asian Journal of Agricultural Extension. Economics & Sociology*. 3(6) : 569-579.
- Shahin, S. M. and, M. A. Salem. 2015. The Challenges of Water Scarcity and the Future of Food Security in the United Arab Emirates (UAE). *Natural Resources and Conservation*. 3(1) : 1-6.
- Tabbal, D. F., B. A. Bouman, S. I. Bhuyan, E. B. Sibayan, and M. A. Satter. 2002. On-farm strategies for reducing water input I irrigated Rice. case studies in the Philippines *Agric. Water Manage.* 56 : 93-112.
- Yoshida, S., D. Forno, J. Cock, and K. Gomez. 1976. *Laboratory manual for p hysiological studies of rice* IRRI. Los Banos, Philippines.