한국농림기상학회지, 제24권 제3호(2022) (pISSN 1229-5671, eISSN 2288-1859)
Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 24, No. 3, (2022), pp. 133~144
DOI: 10.5532/KJAFM.2022.24.3.133
ⓒ Author(s) 2022. CC Attribution 3.0 License.

United Arab Emirates 사막환경에서 벼 재배를 위한 재배기간, 유전자원 및 수량 특성 연구

정재혁[1], 황운하[1], 이현석[1], 양서영[1], 최명구[1], 김준환[2], 김재현[3], 정강호[4], 이수환[4], 오양열[4], 이광승[4], 서정필[5], 정기열[6], 이재수[7], 최인찬[7], 유승화[8], 최순군[9], 이슬비[10], 이은진[10], 이충근[11], 이충근[1*]

[1]농촌진흥청 국립식량과학원 작물재배생리과, [2]국립한국농수산대학교 작물산림과학부,
[3]농촌진흥청 국립식량과학원 기술지원과, [4]농촌진흥청 국립식량과학원 간척지농업연구팀,
[5]농촌진흥청 국립식량과학원 작물육종과, [6]농촌진흥청 국립식량과학원 생산기술개발과,
[7]농촌진흥청 국립농업과학원 스마트팜개발과, [8]농촌진흥청 국립농업과학원 밭농업기계화연구팀,
[9]농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화환경과, [10]농촌진흥청 국립농업과학원 토양비료과,
[11]농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예연구소
(2022년 4월 4일 접수; 2022년 6월 27일 수정; 2022년 9월 7일 수락)

Study on the Characteristics of Cultivation Period, Adaptive Genetic Resources, and Quantity for Cultivation of Rice in the Desert Environment of United Arab Emirates

Jae-Hyeok Jeong[1], Woon-Ha Hwang[1], Hyeon-Seok Lee[1], Seo-Yeong Yang[1], Myoung-Goo Choi[1], Jun-Hwan Kim[2], Jae-Hyeon Kim[3], Kang-Ho Jung[4], Su-Hwan Lee[4], Yang-Yeol Oh[4], Kwang-Seung Lee[4], Jung-Pil Suh[5], Ki-Yuol Jung[6], Jae-Su Lee[7], In-Chan Choi[7], Seung-hwa Yu[8], Soon-Kun Choi[9], Seul-Bi Lee[10], Eun-Jin Lee[10], Choung-Keun Lee[11], Chung-Kuen Lee[1*]

[1]Crop Physiology and Production Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea
[2]Department of Crops and Forestry, Korea National University of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea
[3]Technology Services Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea
[4]Reclaimed Land Agriculture Research Team, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea
[5]Crop Breeding Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea
[6]Crop Production Technology Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Milyang 50424, Korea
[7]Smart Farm Development Division, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea
[8]Upland Mechanization Team, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea
[9]Climate Change and Agroecology Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea
[10]Soil & Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Science,

* Corresponding Author : Chung-Kuen Lee
(leegaka@korea.kr)

Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea
[11]Protected Horticulture Research Institute, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Haman 52054, Korea
(Received April 4, 2022; Revised June 27, 2022; Accepted September 7, 2022)

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the cultivation period, adaptive genetic resources, growth and development patterns, and water consumption for rice cultivation in the desert environment of United Arab Emirates (UAE). Research on rice cultivation in the desert environment is expected to contribute to resolving food shortages caused by climate change and water scarcity. It was found that the optimal cultivation period of rice was from late November to late April of the following year during which the low temperature occurred at the vegetative growth stage of rice in the UAE. Asemi and FL478 were selected to be candidate cultivars for temperature and day-length conditions in the desert areas as a result of pre-testing genetic resources under reclaimed soil and artificial meteorological conditions. In the desert environment in the UAE, FL478 died before harvest due to the etiolation and poor growth in the early stage of growth. In contrast, Asemi overcame the etiolation in the early stage of growth, which allowed for harvest. The vegetative growth phases of Asemi were from early December to early March of the following year whereas its reproductive growth and ripening phases were from early March to late March and from late March to late April, respectively. The yield of milled rice for Asemi was 763kg/10a in the UAE, which was about 41.8% higher than that in Korea. Such an outcome was likely due to the abundant solar radiation during the reproductive growth and grain filling periods. On the other hand, water consumption during the cultivation period in the UAE was 2,619 ton/10a, which was about three times higher than that in Korea. These results suggest that irrigation technology and development of cultivation methods would be needed to minimize water consumption, which would make it economically viable to grow rice in the UAE. In addition, select on of genetic resources for the UAE desert environments such as minimum etiolation in the early stages of growth would be merited further studies, which would promote stable rice cultivation in the arid conditions.

***Key words*: UAE, Desert, Rice, Cultivation, Yield**

I. 서 론

아랍에미리트(UAE)는 북위 22°30′에서 26°10′ 사이, 동경 51°에서 56°25′ 사이에 위치한 중동 국가로 사막 기후를 보인다(Mokri *et al*., 2013). UAE의 토지이용은 2018년도 추정으로 농경지역 4.6%, 산림지역 3.8%, 기타 91.6%로 매우 낮고(CIA, 2021), 인구는 2021년 기준으로 약 9,990,000명이며, 그 중 이민자는 전체 인구의 약 88.52%를 차지한다. 이민자는 인도인 27.49%, 파키스탄인 12.69%, 필리핀인 5.56%, 이집트인 4.23%, 기타국가 38.55%의 구성비율을 가지고 있다(UAE population, 2021). UAE 주요 소비 곡물은 밀, 쌀이고, 2018/19년 기준으로 밀 소비량은 1,650,000 MT, 쌀 소비량은 735,000 MT로 추정되는데, 이러한 비중의 주요 원인은 외국인 근로자에 의한 영향으로 보고되었다(USDA Foreign Agricultural service, 2019). 이러한 배경 때문에 UAE는 사막환경에 있는 국가이지만 타 국가에 비해 쌀 소비량이 많으며, 자국의 식량안보 관점에서 벼 재배기술에 대한 관심이 높다.

인근 중동국가인 이란은 약 90%가 건조 또는 반건조 지역이며(Qadir *et al*., 2008), 겨울 밀과 알파파를 중부지역에 넓게 재배하고 있다(Bai and Li, 2003). 건조 토양에서 재배 가능한 식량작물 중 밭벼가 있는데, 아시아인들이 주식으로 하는 쌀은 보통 논 상태에서 재배되고 있으며, 밭 상태에서 재배하더라도 수량 확보를 위해서는 석회, 유기물, NPK 무기질 비료의 개량된 투입이 필요하다는 연구가 보고되었다(ICRR, 2016). 이런 작물들은 보통 밭 상태에서 재배되고 있지만, 아시아인들이 주식으로 하는 쌀은 보통 논 상태에서 재배되고 있다.

벼는 아시아에서 가장 중요한 작물 중 하나이지만, 최근에는 아프리카와 라틴아메리카에서도 수요가 증가하는 만큼, 이들 건조 지역에서 벼 재배를 위해서는 토양의 수분함량을 증가시키는 관개가 필수적이다. 최근에는 관개 기술이 발전함에 따라, 강우량이 낮은 지역과 건조한 지역에서 벼 재배가 많아지고 있다(Feng *et al*., 2005; Coffman, 1977). 벼는 생육단계에 따라 미치는 기온의 영향이 다른데, 그 중 발아와 개화 단계에서 기온에 가장 민감하다(Satake and Yoshida, 1978; Farrell *et al*., 2006). 고온에서 벼 종자는 지방산, 아미노산, 탄수화물, 에너지 대사에 관여하는 유전자의 발현이 변경되고 이는 결과적으로 발아를 억제한다고 보고되었다(Mangrauthia *et al*., 2016). 특히, 개화기 동안 35℃ 이상에서 5일 동안 노출되면 이삭에 불임이 생긴다고 보고되었다(Satake and Yoshida, 1978). 벼의 내열성 유전자는 인디카와 자포니카 유형에서 모두 발견되고 있지만(Parasad *et al*., 2006; Matsui *et al*., 2001), 보통은 인디카 유형이 자포니카 유형보다 고온에서 높은 저항력이 있다고 보고되었다(Satake and Yoshida, 1978; Matsui *et al*., 2000).

벼는 다양한 환경 조건에서 연구가 이루어졌지만, 사막환경에서 연구가 보고된 바는 거의 없다. 벼를 재배하기 어려운 환경들이 복합적으로 존재하는 사막환경에서 벼 재배 연구가 꾸준히 진행된다면 기후변화, 물부족 등으로 야기되는 식량 부족 문제의 해결에 기여할 것으로 기대된다. 본 연구에서는 UAE 사막환경에서 벼를 재배할 수 있는 재배기간, 적응 유전자원, 벼의 생육과 수량 특성을 알아보고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. UAE와 국내 기상자료 수집

UAE의 벼 재배 포장이 위치한 UAE Sharjah, Al Dhaid (북위 25°27', 동경 55°87') 지역의 기상을 분석하기 위해 유럽중기예보센터(European Centre for Medium-Rane Weather Forecasts, ECMWF)에서 제공하는 시간 단위 ERA5 자료를 일 단위로 가공하여 활용하였다. UAE의 벼 재배기간 비교분석을 위한 국내 벼 재배 기간 기상정보는 기상청 기상자료개방포털(Https://data.kma.go.kr)에서 전라북도 전주 지역의 평균기온, 일사량, 일출시간, 일몰시간 등을 2009년부터 2018년까지 수집하여 활용하였다. 국내의 아세미 수량은 국립식량과학원 중부작물부에서 수행한 품종 등록 자료를 활용하였기 때문에 수량 분석을 위한 일사량은 국립식량과학원 중부작물부가 위치한 경기도 수원 지역의 정보를 기상청 기상자료개방포털에서 2009년부터 2018년까지 수집하여 활용하였다.

2.2. UAE 적응 벼 유전자원 선정

UAE 사막환경에서 재배가 가능한 벼 유전자원을 알아보기 위해, 국립식량과학원 인공기상동에서 UAE와 유사한 고온조건을 조성하여 자포니카 유형, 인디카 유형, 통일계 유형 등 총 26점을 검정하였으며, 이들 자원의 유전적인 특징은 Table 1과 같다. 벼 유전자원의 1차 선정은 2018년 10월부터 2019년 2월까지 한국의 일장조건에서 수행하였고, 이앙부터 출수기까

Table 1. Rice types and characteristics of genetic resources for rice cultivation in UAE

Genetic resources	Rice types	Characteristics
Jinbu	Japonica	early budding variety, cold resistance
Ungwang	Japonica	early budding variety, high yield
Hwaseong	Japonica	medium-maturing variety
Asemi	Japonica	tropical climate resistance
Saegyehwa	Japonica	salt resistance
Nampyeong	Japonica	lete flowering variety
Gaya	Tong-il	bph-t
IR72	Indica	plant resistance
Cheongho	Japonica	salt resistance
HR29667-B-3-1-1-4-3-2	Japonica	salt resistance
IR64 D4050-S	Indica	salt resistance
IR64 D7623-1	Indica	salt resistance
FL478	Indica	salt resistance
Sangnam	Japonica	upland rice
Sanggam	Tong-il	drought resistance
IR78581-12-3-2-2-D	Indica	drought resistance
IRAT13	Indica	drought resistance
Gochi boro	-	heat resistance
IR6	Indica	heat resistance
N22	Japonica	heat resistance
WAB56-125	Indica	heat resistance
IR63295-AC209-7	Indica	pup1
IR73382-80-9-3	Indica	pup1
Jasmin85	Indica	scented rice
Basmati370	Indica	scented rice
Basmati6311	Indica	scented rice

지 28±5℃ 조건으로 재배하였다. 벼 유전자원의 2차 선정은 2019년 7월부터 10월까지 한국의 간척지에서 비닐하우스를 설치하여 수행하였고, 토양 깊이 40cm 지점에 비닐을 설치하고 모래를 복토하여 주변의 수분과 염분에 영향을 받지 않도록 조성하였다.

2.3. 벼 생육 및 수량

2.3.1. 재배방법

UAE Sharjah 지역의 Al Dhaid 소재 Agricultural Innovation Center (AIC)에 2,275m^{2}를 2019년 11월 25일에 벼 포장으로 조성하였고 위치는 Fig. 1과 같다. 벼 파종은 2019년 11월 25일에 아세미와 FL478을 종자소독과 최아를 시킨 이후 점파기계를 활용하여 건답직파를 하였다. 이후 2020년 1월 25일에 물관리를 위해 1,890m^{2}로 재정비하여 연구를 수행하였다.

Fig. 1. Location information of rice field.

벼 포장의 투수를 최소화하기 위해서 토양 깊이 40cm에 부직포를 설치하였고, 부직포는 농업용 이중 부직포로 단위중량 60g/m^2, 폭 1,200mm, 길이 200m 이었다. 관개는 지표증발량을 최소화하기 위해 지중점적관을 토양깊이 30cm에 60cm 간격으로 설치하여 지중관개를 하였고, 2020년 2월 15일에 지표관개로 전환하였다.

주요 비료는 한국의 밭 재배 미숙답표준시비량인 N-P-K(kg/10a)=18-7-8 기준으로 시비하였고, 유기물은 약 1,300kg/10a으로 시비하였고, 복합미량요소는 UAE 현지제품 기준으로 시비하였다. 2019년 11월 하순에 비료를 토양에 시비하였고, 2020년 2월 15일부터 관비로 전환하여 수행하였다. 관비는 저농도로 처리하였고, pH는 5.0 수준으로 조절하여 관개를 하였다.

2.3.2. 벼 생육 및 수량 조사

벼의 생육단계 구분을 위해서 파종, 출현, 유수형성기, 출수기, 수확기를 조사하였고, 각 단계별 기온은 ERA5의 기온을 기반으로 분석하였다. 일사량 분석은 ERA5와 아세미 품종이 등록된 한국의 수원지역(국립식량과학원 중부작물부 논 포장)의 자료를 분석하였다. 영양생장기 동안 1주일 간격으로 황화현상을 조사하였고, 수확기에 이삭수, 이삭당립수, 천립중, 등숙률, 수량 등을 조사하여 수량 특성을 분석하였다. 벼 수량 분석을 위한 시료는 생육이 양호한 개체를 2020년 4월 24일에 채취하여 조사하였고 UAE의 벼 수량 비교를 위해 한국에서 품종을 등록할 때의 평균 수량과 비교하였다.

2.4. UAE 포장 토양 특성, 수질, 물 사용량 분석

UAE 포장의 토양과 물은 2020년 2월에 채취하여 농촌진흥청 토양 및 식물체분석법으로 분석하였다(RDA, 2000). 토양의 물리 특징을 알아보기 위해 구성비율, 용적밀도, 공극률을 분석하였고, 화학 특징을 알아보기 위해 pH, EC, OM, Av. P_2O_5, Exchangeable Cation, water-soluble anion을 분석하였다. 또한 수질을 알아보기 위해 pH, EC, Ca, K, Mg, Na 등을 분석하였다.

해수담수화시설에서 생산한 UAE 상수도를 농업용수로 사용하여 파종일인 11월 25일부터 이듬해 1월 24일까지 밭 상태로 관개하였고, 1월 25일부터 4월 24일까지 포장을 재편성하여 담수 상태로 관개하였다. UAE의 물 사용량은 벼 재배기간인 2019년 11월 25일부터 2020년 4월 24일까지 약 150일 동안 사용한 총량을 기준으로 하였고, 한국의 벼 재배에 필요한 물 사용량과 비교하였다. 한국 물 사용량은 이앙재배를 기준으로 하였고, 관개기간은 6월 1일부터 9월 10일까지이며, 유효강우량을 제외한 값으로 하였다.

III. 결 과

3.1. UAE와 국내 기상자료 비교

UAE와 한국의 기온, 일사량, 일장의 변화를 비교한 결과는 Fig. 2와 같았다. UAE 평균기온은 최고 36.7℃, 최저 18.1℃이고, 한국 평균기온은 최고 29.0℃, 최저 -2.9℃로 두 나라의 기온은 크게 차이가 났다. UAE의 일사량은 편차가 적었으며 한국의 일사량보다 높았다. UAE의 일장은 한국의 일장보다 여름에는 짧았고, 겨울에는 길었다.

3.2. UAE 적응 벼 유전자원 선정

UAE 적응 벼 유전자원을 선정하기 위해 한국의 인공기상동에서 UAE에 조성된 포장과 유사한 환경을 조성하여 재배한 결과는 Fig. 3과 같았다. UAE는 한국과는 기온과 일장 조건이 다르기 때문에, 생장기간을 확보하기 위해서 파종기부터 출수기까지 70일 이상이 소

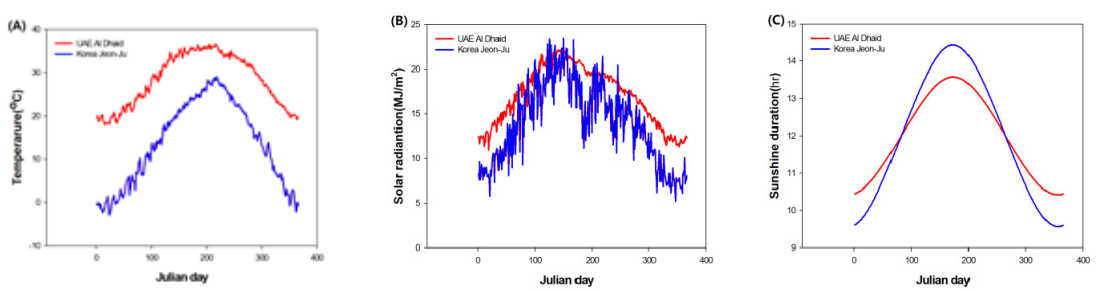

Fig. 2. Comparison of weather conditions in UAE (Al Dhaid) and Korea (Jeonju). (A) Mean temperature (2009-2018), (B) Solar radiation (2009-2018), (C) Sunshine duration.

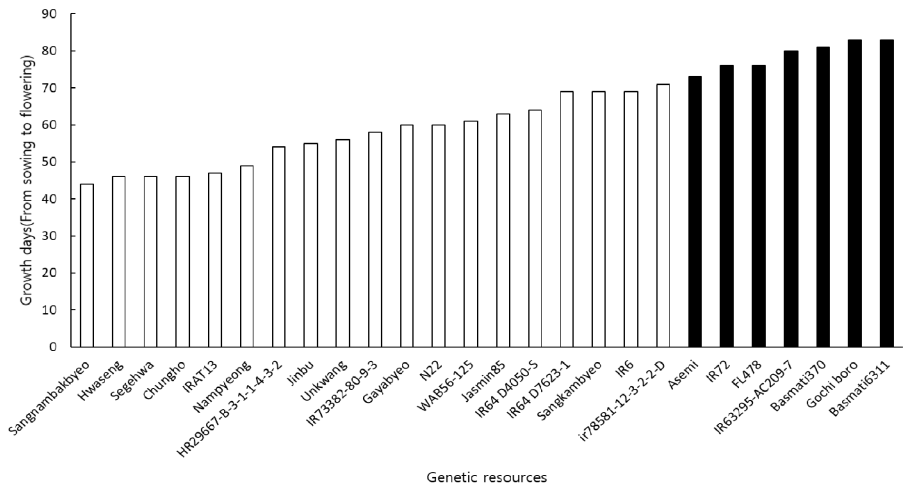

Fig. 3. Basic vegetative phase of genetic resources.

Table 2. Growth characteristics under sand soil

Genetic resources	Heading date	Yield components			Growth characters
		Spikelet number per hill (No.)	Grain number per spikelet (No.)	Ripening rate (%)	
Asemi	4 Sep.	7.4	94	69	Good
FL478	26 Sep.	5.9	107	55	Middle
IR72	9 Oct.	-	-	-	Bad

* Genetic resources that did not reach the heading date: IR63295-AC209-7, Basmati370, Gochi boro, Basmati6311.

요되는 유전자원인 아세미, IR72, Fl478, IR63295-AC209-7, Basmati370, Gochi boro, Basmati6311를 1차 선정하였다. 이후 한국 간척지의 비닐하우스에서 1차 선정한 7점의 유전자원을 재배한 결과는 Table 2와 같았다. 7점의 유전자원 중에서 정상적으로 출수한 유전자원은 아세미, FL478, IR72이었고, 이들 중 아세미와 FL478은 등숙까지 완료되어 최종 선정되었다.

3.3. 벼 생육 및 수량 특성

아세미와 FL478은 UAE AIC 포장에서 2019년 11월 25일에 파종되었다. 출현한 개체 잎에서 황화현상이 발생하였고, 아세미와 FL478의 황화현상 발생 정도는 Table 3과 Table 4와 같았다. 황화현상은 파종 이후 5주차 때에 아세미는 해당 포장 면적의 70%에서 발생하였고 심각한 수준은 30%이었다. 반면, FL478은 해당 포장 면적의 90%에서 발생하였고 모두 심각한 수준이었다. FL478은 파종 이후 6주차 때에 황화현상의 면적과 심각한 수준이 모두 100%가 되면서 파종 이후 7주차에 모두 고사하였다. 품종별 황화현상 피해 수준 비교와 고사한 특징은 Fig. 4와 같았다.

벼의 황화현상은 2019년 12월 7일부터 14일까지인 파종 3주차에 발생하기 시작하였고, 이후 벼의 황화현상을 완화하기 위해 알칼리성 토양 중화제, 미량원소 비료, 킬레이트비료 등을 처리하였다. 그 결과 아세미는 황화현상이 완화되는 경향이었으나, FL478은 황화현상이 완화되지 않고 고사하여 이후 생육 및 수량 자료는 수집할 수 없었다. 아세미는 UAE 사막환경에서 FL478보다 황화현상 발생이 적으며 적응성이 뛰어난 것을 확인하였다.

UAE 사막환경에서 벼 재배 연구는 보고된 바가 없기 때문에, 재배기간 동안 생육 발달 단계와 단계별 기온 변화를 분석하였다. Table 5는 UAE 사막환경에서

Table 3. Etiolation area and damage grade of Asemi by period in UAE

Period after seeding date	Etiolation damaged area (%)	Etiolation damage grade		
		Serious (%)	Middle (%)	Weak (%)
5th week (21 Dec. 2019-27 Dec.)	70	30	40	30
6th week (28 Dec.-3 Jan. 2020)	40	20	30	50
7th week (4 Jan.-10 Jan.)	35	0	40	60
8th week (11 Jan.-17 Jan.)	35	0	30	70
9th week (18 Jan.-24 Jan.)	35	0	30	70
14th week (21 Feb.-25 Mar.)	0	0	0	0

* 3th: etiolation start to occur, 10th - 13th: no data.

Table 4. Etiolation area and damage grade of FL478 by period in UAE

Period after seeding date	Etiolation damaged area (%)	Etiolation damage grade		
		Serious (%)	Middle (%)	Weak (%)
5th week (21 Dec. 2019-27 Dec.)	90	90	0	10
6th week (28 Dec.-3 Jan. 2020)	100	100	0	0
7th week (4 Jan.-10 Jan.)	-	-	-	-
8th week (11 Jan.-17 Jan.)	-	-	-	-
9th week (18 Jan.-24 Jan.)	-	-	-	-
14th week (21 Feb.-25 Mar.)	-	-	-	-

* 3th: etiolation start to occur, 10th - 13th: no data.

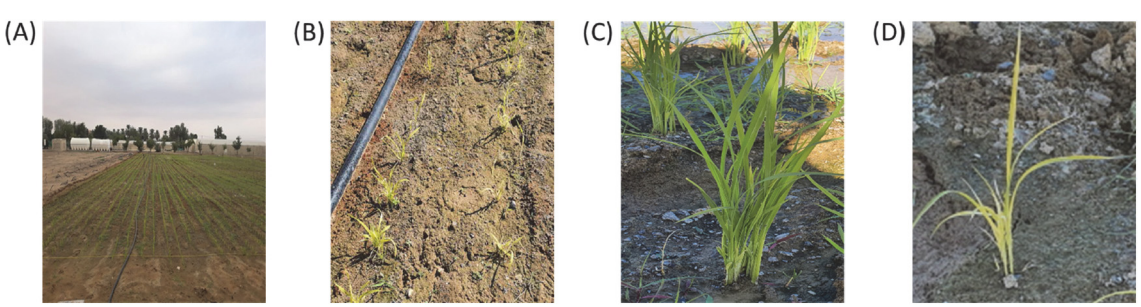

Fig. 4. Pictures of rice growth. (A) Asemi field, (B) FL478 field, (C) Normal rice, (D) Etiolation rice.

아세미의 생육단계에 따른 기간과 기온을 분석한 결과이다. 아세미의 출현은 약 10일 동안에 완료되었고, 영양생장기는 약 3개월이 소요되었다. 영양생장기는 2019년 12월 5일부터 2020년 3월 3일까지로 겨울을 포함하게 하여, 다른 생육단계의 저온 피해를 최소화하였다. 생식생장기는 유수형성기와 감수분열기로 구분하였으며, 평균기온은 각각 23.3℃, 24.2℃로 상승하였다. 출수기는 3월 24일이었고, 등숙기는 3월 24일부터 4월 24일까지이었으며, 등숙기간 동안 평균기온 27.3℃, 최고기온 33.6℃, 최저기온 20.4℃로 한국의 기온보다 높았다.

UAE 벼 수량성 분석을 위해 2020년 4월 24일에 간장, 포기당이삭수, 이삭당립수, 천립중, 등숙률, 백미수량을 조사한 결과는 Table 6과 같았다. UAE에서 재배한 아세미의 수량구성요소를 한국의 자료와 비교하였다. UAE의 아세미는 한국의 아세미보다 간장은 13cm 작았고, 포기당이삭수와 이삭당립수는 각각 13개, 9개 많았으며, 천립중과 등숙률은 각각 0.5g, 13.3% 작았다. UAE 백미수량은 763 kg/10a로 이는 한국보다 약 41.8% 증가한 수량이었다.

UAE 벼 수량이 한국보다 높은 원인을 알아보기 위해, 재배기간 동안 UAE와 한국의 일사량을 분석하였으며, 그 결과는 Table 7과 같다. 벼 재배기간 동안 UAE의 일사량은 한국의 일사량보다 많았다. UAE와 한국에서 생식생장기의 일사량은 각각 22.2 MJ/m^2/day와 14.3 MJ/m^2/day이었고, 등숙기의 일사량은 각각 25.4 MJ/m^2/day와 13.7 MJ/m^2/day이었다.

3.4. UAE 포장 토양 특성, 수질, 물 사용량 분석

UAE AIC 벼 포장 토양의 물리적 특성을 분석한 결과는 Table 8과 같았다. 토양은 토심 0~50cm에서 모래함량 비율은 80% 이상, 미사함량 비율은 16% 이하,

Table 5. Period and temperature by growth stages of Asemi rice in UAE

Division		Seeding stage	Emergence stage	Vegetative growth stage	Reproductive growth stage		Grain filling stage
					Panicle formation stage	Reduction division stage	
Period		25 Nov. 2019	26 Nov. - 4 Dec.	5 Dec. - 3 Mar. 2020	4 Mar. - 16 Mar.	17 Mar. - 23 Mar.	24 Mar. - 24 Apr.
Temp. of ERA5	Mean	24.7	23.0	20.2	23.3	24.2	27.3
	Max.	29.7	27.6	25.1	28.9	30.1	33.6
	Min.	19.2	17.6	14.1	16.9	17.8	20.4

Table 6. Rice yield component and milled rice yield in UAE

Cultivation area	Panicle length (cm)	Spikelet number per hill (No.)	Grain number per spikelet (No.)	1000 brown rice weight (g)	Ripening rate (%)	Milled rice yield (kg/10a)
UAE	75	25	118	22.0	69.7	763
Korea*	82	12	109	22.5	83.0	538

* The cultivar registration data of Asemi in Korea were used.

Table 7. Comparison of solar radiation in UAE and Korea during rice cultivation period

Division*	Mean solar radiation (MJ/㎡/day)		
	Vegetative growth stage	Reproductive growth stage	Grain filling stage
UAE(Dec.-Apr.)	16.6	22.2	25.4
Korea(May-Sep.)	18.8	14.3	13.7

* 2009-2018 data of EAR5 was used, and 2009-2018 data from Suwon, development area of Asemi cultivar, was used.

Table 8. Physical properties of rice field soil in UAE

Soil depth (cm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
0-10	83.3	15.7	1.0
10-30	83.8	15.2	1.0
30-50	90.1	9.8	0.2

* Bulk density: 1.73 g/ml, pore space ratio: 36.1%.

점토함량 비율은 1% 이하 양사토 및 사토의 물리적인 특성을 보였다.

벼 포장 토양의 화학적 특성을 한국의 논 토양과 비교한 결과는 Table 9와 같았다. UAE AIC 토양은 pH 9.0~9.4 수준으로 한국의 논 토양 pH 5.5~6.5보다 매우 높은 알칼리성이었고, 유기물 함량과 유효인산 함량은 한국의 논 토양 적정범위보다 낮았다. 교환성 Ca는 한국보다 2~4배 수준으로 높았고, 교환성 K는 전반적으로 적정 범위 수준이었다. 수용성 음이온인 Cl은 적정범위 기준이 없었지만 27~305mg/kg 수준이었다.

UAE AIC 벼 포장에 사용한 용수의 수질을 분석한 결과는 Table 10과 같았다. pH는 8.19이지만 FAO 기준인 6.5~8.4 범위 안에 있었고, EC도 0.36 ds/m로 FAO 기준인 0.7 ds/m 이하 범위 안에 있었다. 음이온인 NO_3^-은 0.082 mg/L로 FAO 기준인 5~30 mg/L보다 낮은 함량을 보였으나, 나머지 양이온과 음이온 함량은 모두 적정 범위에 있었다.

UAE에서 사용한 물량과 한국의 이앙재배를 기준으로 사용한 물량을 비교한 결과는 Table 11과 같았다. UAE의 하루 물 사용량은 17.5 ton/1,000m^{2}으로 한국보다 약 2배 많았고, 재배기간 동안 물 사용량은 2,619 ton/1,000m^{2}으로 약 3배 많았다.

IV. 고 찰

4.1. UAE 벼 재배환경

벼 재배에 필요한 환경요인인 기온, 일사량, 일장은 벼의 출수와 수량에 큰 영향을 미친다. UAE와 한국의 환경요인은 수준차이가 크기 때문에, UAE에서 벼를 재배하기 위해서는 한국과 유사한 환경을 보이는 재배기간을 설정할 필요가 있다. 기온은 벼의 출수기 및 개

Table 9. Chemical characterization of rice field soil in UAE

Division	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Av. P_2O_5 (mg/kg)	Exchangeable cation ($cmol_c$/kg)			Water-soluble anion (mg/kg)	
					K	Ca	Mg	SO_4^{2-}	Cl^-
UAE	9.0~9.4	0.6~2.3	4~9	19~90	0.2~0.4	15~20	2.1~3.5	ND*	27~305
Korea	5.5~6.5	below 2	20~30	80~120	0.2~0.3	5.0~6.0	1.5~2.0	-	-

* ND: no data.

Table 10. Water quality of rice field in UAE

Division	pH	EC (dS/m)	Ca^{+2}	K^+	Mg^{+2}	Na^{+2}	Cl^-	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{-2}	SO_4^{-2}
			mg/L (ppm)								
UAE	8.19	0.36	19.3	1.9	2.4	52.1	78.6	0.35	0.082	0.066	4.1
FAO	6.5 -8.4	below 0.7 (Safety)	0-20	-	below 60	60 -207	142 -355	-	5-30	-	below 40

Table 11. The water consumption of rice field in UAE

Division	Water consumption (1 day)	Sum of water consumption (cultivation period)
	Ton/1,000m^2	Ton/1,000m^2
UAE	17.46	2,619 (150 days)
Korea*	8.38	838 (100 days)

* Rice in Korea is based on transplanting culture, and water consumption was excluding effective rainfall.

화기에 영향을 주며, 수확량에 큰 영향을 주는 것으로 보고되었다. 벼 개화기의 고온은 수확량을 결정하는 형질을 감소시켜 수확량 손실을 유발할 수 있고(Matsui *et al*., 2001; Jagadish *et al*., 2007, Wu *et al*., 2016), 개화기의 저온은 작은 이삭의 수정능력과 수확량을 크게 감소시키는 것으로 보고되었다(Farrel *et al*., 2006; Ghadirnezhad and Fallah, 2014; Zeng *et al*., 2017). 일사량은 벼의 생장량에 관여하고, 군락에 의해 차단된 일사량과 일사량 사용 효율에 의해 결정된다고 보고하였는데(Costa *et al*., 2006), UAE의 많은 일사량은 벼의 생장에 긍정적인 영향을 줄 것으로 예상된다. 일장은 벼의 출수시기에 영향을 주며, 일장에 민감하여 장일 조건에서 출수가 지연되며, 품종별로 일장의 민감성 정도에 따라 다양한 변이를 보였다(Enomoto, 1935; Liang and Liu, 1983; Morinaga and Kuriyama, 1954). 따라서 UAE에서 벼를 재배하기 위해서는 기온, 일사량, 일장 모두 고려해야 하며, UAE 여름의 높은 기온과 겨울의 저온을 회피할 수 있는 재배기간 설정이 필요하였다. 이를 위해서 UAE 1월과 2월의 저온은 영양생장기, 3월은 출수기, 4월은 등숙기가 될 수 있도록 생육단계를 조절하였고, UAE 벼 재배기간은 11월부터 이듬해 4월까지 설정하였다.

4.2. UAE 적응 벼 유전자원, 생육 및 수량

한국에서 UAE와 유사한 환경을 조성하여 선정한 아세미와 FL478은 UAE AIC의 포장에서 출현한 이후 황화현상이 발생하였고, 알칼리성 토양 중화제 등 여러 가지 처리를 포장에 하였으나 아세미만 정상적으로 회복되어 수확을 하였다. 벼의 황화현상은 일반적으로 Fe 결핍, N 결핍 등으로 알려져 있다. 벼의 Fe 결핍은 주로 고지대, 특히 알칼리성 및 석회질 토양에서 발생하는데, 벼는 다른 작물보다 Fe 결핍에 대해서 민감하다고 보고되었다(Mori *et al*., 1991). 벼의 건답직파와 이후의 호기성 상태 유지는 벼의 Fe 결핍을 비롯한 여러 가지 장해를 일으킨다고 하였다(Singh *et al*., 2002). UAE 벼 포장의 알칼리성과 밭 상태 조건은 벼의 황화현상 발생조건과 일치하였다.

벼는 생육단계별로 적정 기온이 있으며, 기온 조건이 벼 생장에 불리하면 수량에 부정적인 영향을 미친다. 벼는 파종 후 30일 동안 12℃ 이상의 기온이 벼 초기 생장에 필수적이고(Sipaseuth *et al*., 2007), 이삭 발달 시작 전에 20℃ 이하 기온과 개화기 동안 35℃ 이상 기온은 이삭의 불임을 증가시킨다고 보고되었다(Matsui *et al*., 2001, Matsui and Omasa, 2002, Shimono *et al*., 2008). 벼는 평균기온 21.7~26.7℃ 조건에서 등숙에 적절하고, 평균기온 27℃ 이상 조건에서는 종실 무게의 감소로 수량이 감소한다고 보고되었다(Tashiro and Wardlaw, 1991). UAE에서 벼의 등숙기간 동안 평균기온은 28.3℃이었고, 이 기온은 Tashiro와 Wardlaw(1991)가 보고한 27℃보다 높은 기온이었다. UAE의 벼 재배환경 개선을 위해서는 재배기간 재설정 연구가 필요할 것으로 판단된다.

벼의 생식생장기 일사량은 높은 생산성과 질소 반응성에 중요할 수 있다고 하였고(Venkateswarlu and Visperas, 1987), 벼의 등숙기 기온과 일사량은 엽면적지수, 지상부 총건물중, 영화수, 지상부 총질소함량에 영향을 주어 종실중 및 종실질소함량의 변이에 관여한다고 보고되었다(Lee *et al*., 2010). 벼의 수량은 바이오매스 생산 또는 수확 지수에 영향을 받고(Yoshida, 1981), 수확량 변동은 바이오매스 생산이 73%, 수량지수 6%에 의해 설명된다고 보고되었는데(Huang *et al*., 2016), 일사량에 영향을 받는 바이오매스와 연관이 높았다. 따라서 UAE에서 벼의 수량 증가는 물, 양분 등 다른 조건이 충분한 조건에서 일사량이 많은 환경에 의한 것으로 판단된다.

4.3. 추가 연구 방향

토양의 pH는 N, P, K, Ca, Mg 등 작물 생장에 필요한 양분의 흡수에 중요한 역할을 하고, 양분들의 흡수는 토양의 pH 수준에 따라서 제한되며, 각 양분들은 길항작용을 하고 같은 양분이라도 종류에 따라 토양 pH에 영향을 받아 흡수 정도가 다르다고 보고되었다(Alam *et al*., 1999). UAE 벼 포장은 높은 알칼리성 토양으로 N, P, Fe 등의 흡수에 부정적인 영향을 주었고, 교환성 양이온 Ca의 높은 함량으로 K와 같은 다른 양이온 흡수에 부정적인 영향을 끼쳤을 것으로 추정된다. 따라서 벼 생육 초기의 황화현상은 포장의 높은 알칼리성과 연관이 클 것으로 추정되며, UAE 사막환경에서 벼의 원활한 양분흡수를 위한 추가 연구가 필요한 것으로 판단된다.

UAE 사막환경에서 물 사용량을 줄이는 방법은 경제성과 직접적으로 관련이 되는 사항이다. 물 사용량을 줄이기 위해서는 벼의 관개방법과 재배방법을 사막환경에 맞춰서 개발하는 것이 필요하다. 이를 위해서 재배기간 단축으로 포장에 물을 공급하는 일수를 줄이는 방법, 관개량을 벼 생육단계별로 조절하여 전체적

으로 물 사용량을 줄이는 방법, 고랑을 형성하고 고랑에 파종하여 고랑에만 관개하는 방법 등 다양한 관개방법과 재배방법에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

적 요

본 연구는 UAE 사막환경에서 벼 재배를 위해 재배기간, 적정 벼 유전자원, 생육발달 양상, 물 사용량 등을 조사하고자 수행하였다. UAE 사막환경에서 벼의 재배기간은 UAE 겨울의 저온을 벼의 영양생장기간 동안에 포함하는 11월 하순부터 이듬해 4월 하순까지이었다. UAE의 기온과 일장에 적응할 수 있는 유전자원을 국내의 인공기상 시설과 간척지 모래토양에서 사전 시험한 결과, 아세미와 FL478이 선정되었다. 사막환경에서 아세미는 생육초기의 황화현상을 극복하여 수확까지 하였으나, FL478은 생육 초기에 황화현상과 생육이 불량하여 고사하였다. UAE 사막환경에서 아세미는 12월 초순부터 이듬해 3월 초순까지 영양생장기, 3월 초순부터 3월 하순까지 생식생장기, 3월 하순부터 4월 하순까지 등숙기의 분포를 보였다. 아세미의 백미 수량은 763kg/10a이었고, 한국과 비교하여 약 41.8% 증가한 수량으로 생식생장기와 등숙기의 풍부한 일사량의 영향으로 추정된다. 물 사용량은 UAE 재배기간 동안 2,619 ton/10a 수준으로 한국보다 약 3배 많아 물 절약 기술이 필요한 상황이다. UAE에서 벼 재배는 경제성과 관련이 매우 높기 때문에, 물 절약을 위해서 관개기술, 재배방법 개발 등이 보완되어야 한다. 또한 UAE 사막환경에서 안정적인 벼 재배를 위해서 다양한 적응 유전자원 선정, 생육초기의 황화현상 최소화 방법 등의 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 아젠다사업(과제번호: PJ016 25601)의 지원에 의해 수행되었다.

REFERENCES

Alam, S. M., S. S. M. Naqvi, and R. Ansari, 1999: *Handbook of plant and crop stress-Impact of soil pH on nutrient uptake by crop plants*. Marcel Dekker, 51-60.

Ayers, R. S., and D. W. Westcot, 1994: *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper Rev.1.

Bai, W. M., and L. H. Li, 2003: Effect of irrigation methods and quota on root water uptake and biomass of alfalfa in the Wulanbuhe sandy region of China. *Agricultural Water Management* **62**, 139-148.

CIA (Central Intlligence Agency), 2021: The world factbook: United Arab Emirates. https://www.cia.gov/the-world-factbook/countries/united-arab-emirates/ (2021. 10. 7)

Coffman, W. R., 1977: Rice varietal development for cropping systems at IRRI. *Proceedings of symposium on cropping systems research and development for the Asian rice farmer,* Philippines IRRI, 359-371.

Costa, W. A. J. M., W. M. W. Weerakoon, H. M. L. K. Herath, K. S. P. Amaratunga, and R. M. I. Abeywardena, 2006: Physiology of yield determination of rice under elevated carbon dioxide at high temperature in a subhumid tropical climate. *Field Crops Research* **96**(2-3), 336-347.

Enomoto, N., 1935: A study on rice plant's susceptibility to various lengths of illumination. *Sakumotsu Ronshu*, 375-399.

Farrell, T. C., K. M. Fox, R. L. Williams, and S. Fukai, 2006: Genotypic variation for cold tolerance during reproductive development in rice: screening with cold air and cold water. *Field Crops Research* **98**, 178-194.

Feng, Z., X. Wang, and Z. Feng, 2005: Soil N and salinity leaching after the autumn irrigation and its impact on groundwater in Hetao Irrigation District, China. *Agricultural Water Management* **71**, 131−143.

Ghadirnezhad, R., and A. Fallah, 2014: Temperature effect on yield and yield components of different rice cultivars in flowering stage. *International Journal of Agronomy*. https://dx.doi.org/10.1155/2014/846707

Huang, M., S. Shan, F. Cao, and Y. Zou, 2016: The solar radiation-related determinants of rice yield variation across a wide range of regions. *Netherlands Journal of Agricultural Science: Wageningen Journal of Life Sciences* **78**(1), 123-128.

ICRR, 2016: Indonesia Centre of Rice Research, Intensive and wise management of dry land. http://bbpadi.litbang.pertanian.go.id/index.php/info-berita/berita/pengelolaan-lahan-kering-secara-intensif-danbijaksana

Jagadish, S., P. Craufurd, and T. Wheeler, 2007: High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Experimental Botany* **58**, 1627-1635.

Lee, C. K., J. H. Kim, J. Y. Son, Y. H. Yoon, J. H. Seo, Y. U. Kwon, J. C. Shin, and B. W. Lee, 2010: Estimating grain weight and grain nitrogen content with temperature, solar radiation and growth traits during grain-filling period in rice. *Korean Journal of Crop Science* **55**(4), 275-283.

Lee, H. S., W. H. Hwang, J. H. Jeong, S. Y. Yang, Y. H. Lim, M. G. Choi, N. J. Jeong, C. G. Lee, and K. J. Choi, 2019: Studies on the temperature response and critical day-length affecting the heading date of major cultivating rice varieties in recent Korean paddy field. *Korean Journal of Crop Science* **64**(4), 323-335.

Liang, G. S., and Z. Y. Liu, 1983: Studies on the heading response of the pearl river delta rice cultivars to daylength and temperature. *Acta Agronomica Sinica* **9**(3), 157-164.

Mangrauthia, S. K., S. Agarwal, B. Sailaja, N. Sarla, and S. R. Voleti, 2016: Transcriptome analysis of *Oryza sativa* (rice) seed germination at high temperature shows dynamics of genome expression associated with hormones signaling and abiotic stress pathways. *Tropical Plant Biology* **9**, 215-228.

Matsui, T., and K. Omasa, 2002: Rice (*Oryza sativa* L.) cultivars tolerant to high temperature at flowering: anther characteristics. *Annals of Botany* **89**, 683-687.

Matsui, T., K. Omasa, and T. Horie, 2001: The difference in sterility due to high temperatures during the flowering period among Japonica rice varieties. *Plant Production Science* **4**, 90-93.

Mokri, A., M. Aal Ali, and M. Emziane, 2013: Solar energy in the United Arab Emirates: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **28**, 340-375.

Morinaga, T., and H. Kuriyama, 1954: Some experiments on the photoperiodism in rice. *Japanese Journal of Breed* **4**, 35-63.

Prasad, P. V. V., K. J. Boote, L. H. Allen, J. E. Sheehy, and J. M. G. Thomas, 2006: Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. *Field Crops Research* **95**, 398-411.

Qadir, M., A. S. Qureshi, and S. A. M. Cheraghi, 2008: Extent and characterisation of salt-affected soils in Iran and strategies for their amelioration and management. *Land Degradation & Development* **19**, 214–227.

RDA (Rural Development Administration), 2000: Methods of Soil Chemical Analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology. RDA, Suwon, Korea.

RDA (Rural Development Administration), 2017: *Soil and Nutrient Management Using 'Heulgtolam'*. National Institute of Agricultural Sciences, Soil and Fertilizer Division, 8pp.

Satake, T., and S. Yoshida, 1978: High temperature induced sterility in indica rices at flowering, *Japanese Journal of Crop Science* **47**, 6-17.

Shimono, H., and E. Kanda, 2008: Does regional temperature difference before the panicle initiation affect the tolerance for low temperature-induced sterility in rice. *Plant Production Science* 11, 430-433.

Singh, A. K., B. U. Choudhury, and B. A. M. Bouman, 2002: *"Effects of rice establishment methods on crop performance, water use and mineral nitrogen". In Water-wise Rice Production*. Proceedings of the International Workshop on Water-wise Rice Production, IRRI Philippines, 237-246.

Sipaseuth, J. Basnayake, S. Fukai, T. C. Farrell, M. Senthonghae, S. Sengkeo Phamixay, B. Linquist, and M. Chanphengsay, 2007: Opportunities to increasing dry season rice productivity in low temperature affected areas. *Field Crops Research* **102**, 87-97.

Tashiro, T., and I. Wardlaw, 1991: The effect of high temperature on the accumulation of dry matter: carbon and nitrogen in the kernel of rice. *Functional Plant Biology* **18**, 259-265.

United Arab Emirates population statistics, 2021: https://www.globalmediainsight.com/blog/uae-population-statistics/(2021. 7. 1).

USDA Foreign Agricultural service, 2019: Gain report: United Arab Emirates, Grain and Feed Annual 2019, 2019 UAE Wheat, Corn, Rice and Barley Report. Global Agricultural Information Network.

Venkateswarlu, B., and R. M. Visperas, 1987: *Solar radiation and rice productivity*. IRRI Research Paper Series (Philippines) **129**, 22pp.

Wu, C., K. Cui, W. Wang, Q. Li, S. Fahad, Q. Hu, J. Huang, L. Nie, and S. Peng, 2016: Heat-induced phytohormone changes are associated with disrupted early reproductive development and reduced yield in rice. *Scientific reports* **6**, 1-14.

Yoshida, S., 1981: *Fundamentals of rice crop science*. International Rice Research Institute Los Baños.

Zeng, Y., Y. Zhang, J. Xiang, N. T. Uphoff, X. Pan, and D. Zhu, 2017: Effects of Low Temperature stress on spikelet-related parameters during anthesis in indica-japonica hybrid rice. *Frontiers in Plant Science* **8**, 1-11.