

과제구분	기본	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
기후변화 적응 및 온실가스 저감 친환경 생산기술 개발		농업환경	'16~'20	농업기술원 환경농업연구과	주옥정
벼 재배온도 상승에 따른 품종별 생육반응 구명		농업환경	'18	농업기술원 환경농업연구과	신민우
색인용어	벼, 기후변화, 품종, 온도구배하우스				

ABSTRACT

It is necessary to investigate the growth characteristics by rice varieties according to climate change for rice cultivation especially cultivated rice varieties such as 'Matdrim' and 'Chamdrim' in Gyeonggi-do. The regular crop report data for rice varieties of 'Daean', 'Samgwang', and 'Chucheong' which was conducted by Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Services in Hwasung, Gyeonggi-do was investigated for this study. Also, it is tested with early ripening cultivar 'Odae', middle ripening cultivar 'Matdrim', and middle-late ripening cultivar 'Chucheong' and 'Chamdrim' in temperature gradient house in Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Services in 2018. For rice-planting, 130g per raising seeding box was seeded and three units for one per Wagner Port(about 1/50,000 dan) were replanted and they were rice-planted by hand on June 5th. The recent 3 years('15~'17) average temperature was 1.7°C higher than the past 3 years('06~'08) average temperature and the average highest temperature was 2.6°C higher than the past in Gyeonggi region. From the analysis of the crop report data, the ripened grain percent was lower as temperature is higher. For ecotype characteristics, the early ripening cultivar Odae showed no significance of changes according to average temperature changes for tiler number. The late ripening cultivar Chucheong showed lower tiler number according to rising of average temperature. The difference in rice crop yield per pot was small for middle-late ripening cultivar Matdrim by temperature higher compared to control groups following order of Chamdrim, Odae, and Chucheong.

Key words : rice, climate change, cultivar, temperature gradient field chamber

1. 연구목표

벼 생육은 품종, 기상 또는 토양조건에 따라 큰 변이를 나타내고 쌀 품질 및 밥맛은 품종, 기상, 토양, 재배, 수확시기, 건조, 도정, 저장 및 취반조건 등 여러 요인이 영향을 주는 것으로 알려져 있다(김 등, 1996; 김 등, 2004). 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)의 기후변화 시나리오(RCP8.5)에 따른 지구온난화 추세는 세계 평균 기온이 21세기 말까지 2.6~4.8°C 상승시킬 것으로 예측하고 있다(IPCC, 2014). Suzuki(1980)는 비교적 더운 일본 지역의 벼 수량형성 연구에서 벼 생육 초기 고온은 분얼과 잎의 생육을 촉진하거나 양분흡수를 증가시켜 벼 수량형성에 효과를 주었지만 생육초기의 과잉 생육은 벼 생산효율의 저하를 가져왔다. 한편, 온도 상승에 따른 벼 생육반응에 대한 많은 연구가 이루어지고 있으며 벼는 출수 후 30일간 고온에 의해 종실생산과 품질이 크게 저하되며(오 등, 2008; 장 등, 2017), 자포니카 벼의 경우 종자 등숙기 적온이 출수개화 후 40일 평균 21~23°C이고, 이보다 1°C가 낮아지면 수확량이 7% 감소, 1°C가 높아지면 5%가 감소된다고 하였다(Yun *et al.*, 2001; Oh *et al.*, 2017). Kondo(2009)는 이앙시기를 늦추어 벼 품질에 가장 민감한 시기인 출수기~출수후 20일간의 생육온도를 낮춤으로써 쌀 외관품위를 일정 정도 향상시켰다는 결과를 예를 들면서 파종 및 이앙시기를 조정하는 것이 미래 기후변화에 따른 여러 대책 중 우선적으로 검토되어야 한다고 하였다. 한편 안전성면에서 새로운 기상 등 지구환경 변화에 대응하고 친환경 농산물에 대한 소비자의 선호도 증가에 대응하여 각종 병해충과 환경 스트레스에 대한 내성을 더욱 강화시키거나 복합화하고자 하는 노력을 지속하고 있으나(농진청, 2016), 현재까지 경기도 육성품종에 대한 기후변화 대응 자료가 미비하여 기후변화에 따른 품종별 생육특성을 구명한다면 보다 경기도 벼 기후변화대응 연구에 더욱 효과적일 것이다. 따라서 본 연구는 기후변화 적응을 위한 벼 작황자료를 분석하고 온도 구배하우스 이용하여 벼 품종별 생육반응을 구명하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

<시험1> 연도별 벼 생산성 및 생육특성 자료 분석

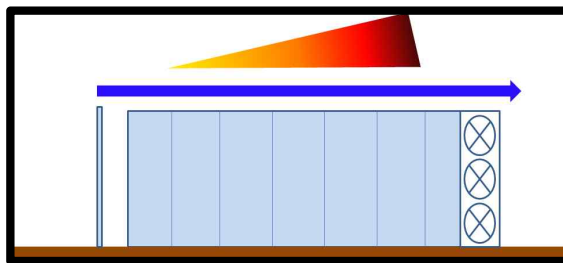
본 연구는 2010년부터 2017년까지(경기도 화성시 경기도농업기술원) ‘대안’, ‘삼광’, ‘추청’ 품종의 작황시험 결과와 경기지역 벼 재배지의 기후변화 자료를 바탕으로 분석하였다.

<시험2> 온도구배하우스 활용 벼 생육온도에 따른 생육반응 구명

경기도농업기술원 벼 온도 구배하우스에서 2018년에 조생종 ‘오대’, 중생종 ‘맛드림’, 중만생종 ‘추청’, ‘참드림’ 품종을 시험품종으로 하여 수행하였다. 이앙은 육묘상자당 130g을 파종하여 30일간 육묘한 묘를 와그너포트(약 5만분의 1단보)당 1주(포기)에 3본을 재식하고 6월 5일에 손이앙 하였다. 구배하우스 시설 54.6m²(2.1×26m)의 면적에 216주(4품종×3반복×6줄×3구

간의 벼를 재배하였다. 시비량은 표준량인 질소 9.0kg, 인산 4.5kg, 가리 5.7kg으로 하여 분시비율은 질소는 기비-분얼비(수비포함)를 50-50 (20+30)%로, 인산은 전량기비, 가리는 기비-분얼비를 70-30%로 하였다. 시험구 배치는 3반복으로 하였다. 기타 주요 생육 등 특성 조사는 농촌진흥청 시험연구 조사기준에 준하였다.

온도구배하우스는 입구가 막힘없이 개방되어 있으며 가장 안쪽은 환풍기를 작동시켜 공기가 입구에서 시설 안쪽으로 이동하여 환풍기를 통해 배출되도록 설계되었다. 이에 따라 시설 입구에서 안으로 들어갈수록 기온이 올라가 구배가 형성된다(Horie *et al.*, 1995). 이러한 구배 구간 별로 온도/습도 측정장치 4개를 설치하고 그 명칭을 대조, I구간, II구간, III구간으로 하였다. 대조는 바깥온도와 같고 시설 가장 안쪽의 III구간의 온도가 외부보다 3°C 높은 환경이 유지되도록 시스템을 설정하여, 대조와 III구간, 두 구간의 온도차가 +3°C 이하일 때는 환풍기가 정지되며 +3°C이상일 때는 환풍기가 가동하여 안쪽의 공기를 배출시킴으로써 일정한 구배가 유지되도록 하였다. 이에 관련된 온도/습도 자료는 데이터 로거(U23-001)에 1시간 간격으로 기록된다. 온도구배하우스의 시설 모형도는 그림. 1과 같다. 생육조사는 이양 후 15일째부터 15일마다 발육상태 및 생육단계를 파악하기 위해 초장 및 분얼수를 측정하였다.



I 구간 II 구간 III 구간

<온도구배하우스 모식도>



<온도구배하우스 내부>

그림 1. 온도구배하우스 모식도 및 내부

3. 결과 및 고찰

<시험1> 연도별 벼 생산성 및 생육특성 자료 분석

연도별 화성 쌀 수량은 표 1과 같다. 화성지역의 품종별 쌀 수량은 지난 8년간('10 ~ '17년) 쌀수량 중 대안벼, 삼광벼는 '15년에 각각 565kg/10a, 612kg/10a로 가장 높았고 추청벼는 '14, '15년에 553kg/10a로 가장 높았다.

표 1. 화성지역 품종별 쌀수량

(단위 : kg/10a)

연 도	대안벼	삼광벼	추청벼
2010	501	535	465
2011	520	571	487
2012	514	577	501
2013	526	560	514
2014	540	574	553
2015	565	612	553
2016	563	578	537
2017	549	572	497
평 균	535	572	513

그림2와 같이 수량구성요소 중 등숙비율과 주당수수는 쌀수량이 높았던 '15년도에 등숙비율이 높고 주당수수가 많았으며, 쌀수량이 낮았던 '16년, '17년도에는 등숙비율도 낮고 주당수수도 낮았다.

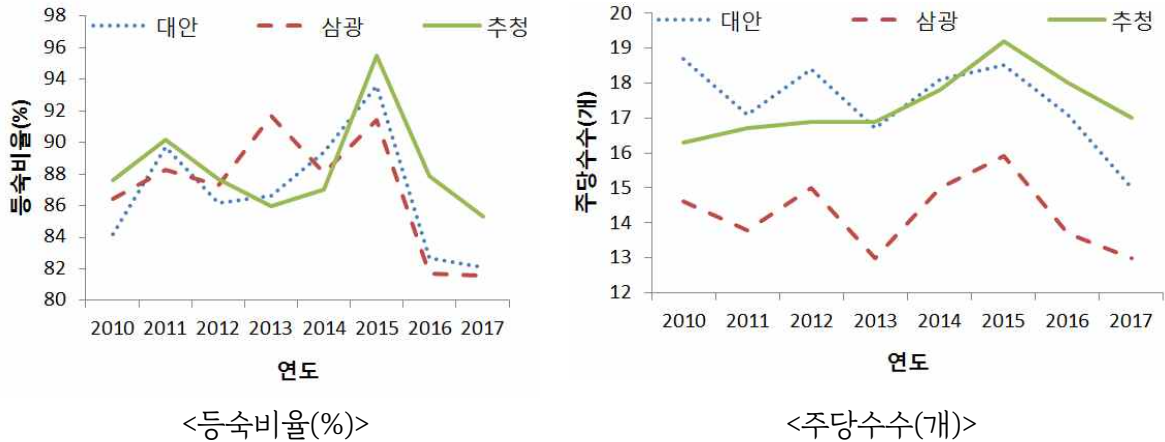


그림 2. 화성지역 수량구성요소

연도별 평균기온은 그림 3과 같다. 벼 생산성 및 생육특성에 영향을 미치는 기상환경 분석을 위해 화성에서의 지난 8년 동안('10 ~ '17년)의 평균기온은 '15년 분석기간 동안의 평균기온 23.3℃으로 '11년 평균기온 22.2℃ 보다 1.1℃ 높아졌으며, 벼 생육시기별 분석을 위한 월별 기온의 변화에서는 6월의 경우는 2.2℃상승, 5월은 2.5℃ 상승하여 가장 큰 기온상승 폭을 보였으며, 9월은 5~6월 보다 평균기온 상승폭이 낮고, 벼 수량이 높았던 '15년 평균기온의 특성은 벼 생육기간(5월~9월) 동안의 평균기온에는 차이가 없었으나, 7월, 9월 평균기온이 높고 8월 평균기온이 높지 않았던 특징이 있었다.

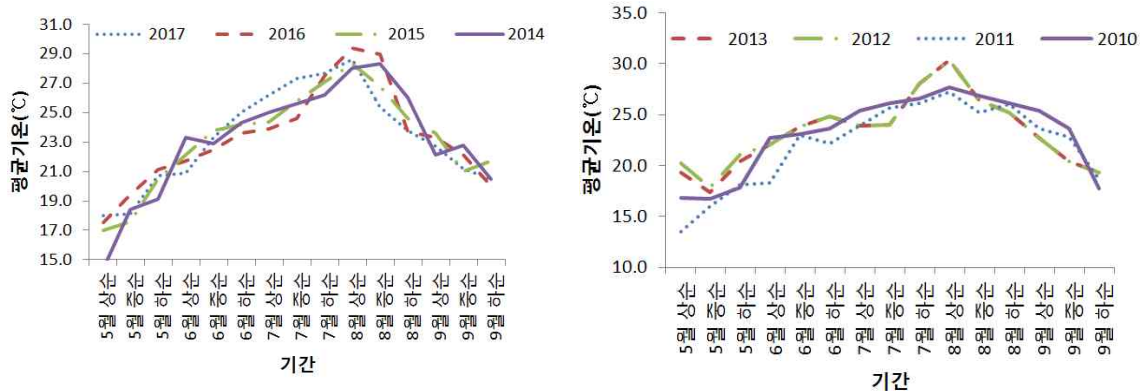


그림 3. 연도별 평균기온

쌀수량에서 가장 큰 차이가 있었던 '15년도와 '10년도의 강우량과 일사량을 비교해보면 그림4와 같이 차이가 있어 8월달 강우량은 '10년도 368mm, '15년도 8mm로 360mm가 더 많으며 일사량은 '10년도 8월 491MJ m²⁻¹, '15년도 582MJ m²⁻¹으로 91MJ m²⁻¹이 더 적었다.

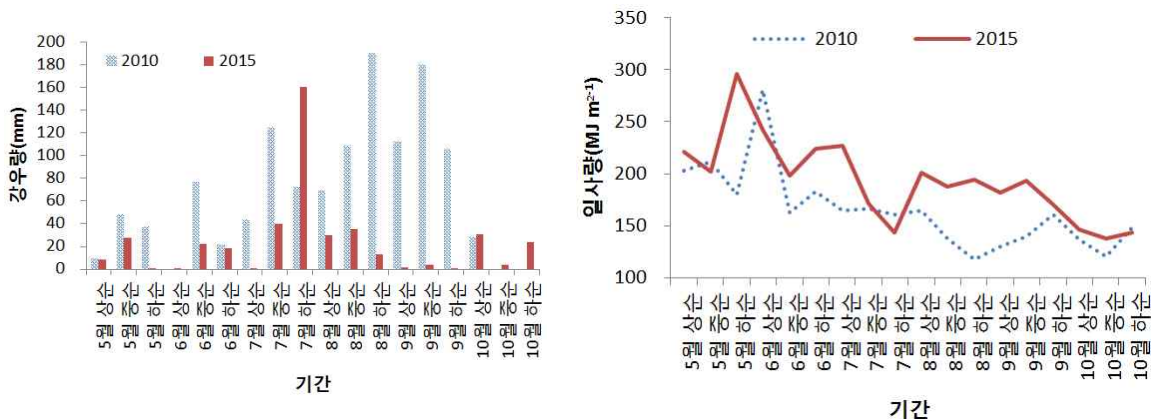


그림 4. 화성지역 2010년 및 2015년도 강우량과 일사량

<시험2> 온도구배하우스 활용 벼 생육온도에 따른 생육반응 구명

시험전 토양화학성은 표 2과 같이 pH 6.9, OM 24g kg⁻¹, 유효규산함량 219mg kg⁻¹으로 적정 범위의 양분을 함유하고 있는 농토양이었다.

표 2. 시험 전 토양의 화학성

pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Av.SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	Ex. Cations (cmol kg ⁻¹)			CEC (cmol kg ⁻¹)
				K	Ca	Mg	
6.9	24	40	219	0.50	8.4	1.7	15.2

이양 후 15~45일 간격으로 조사한 벼 생육상황은 일자별 벼 생육상황 표 3~5와 같다. 15일 후 III구역에서 맛드림벼 경수는 대조에 비해 3.5개 적고, 초장은 대조에 비해 5.8cm

높았다. 추청벼 경수는 대조에 비해 4.3개가 많았고, 초장은 대조에 비해 5.0cm 높았다. 참드림벼 경수는 대조에 비해 0.6개가 적었으나 유의적인 차이는 없었고, 초장은 대조에 비해 4.2cm가 높았다. 오대벼 경수는 유의차가 없었고, 초장은 대조에 비해 5.8cm 높았다.

표 3. 이앙 15일 후의 벼 생육상황

구 분	초 장(cm)				경 수(개/주)			
	오대	맛드림	추청	참드림	오대	맛드림	추청	참드림
대 조	24.2 ^b	27.8 ^b	21.3 ^c	24.3 ^c	7.5 ^{ns}	9.5 ^a	7.7 ^b	8.5 ^a
I	30.1 ^a	31.5 ^{ab}	24.0 ^c	26.3 ^{bc}	7.8	5.3 ^b	9.9 ^{ab}	7.6 ^b
II(I+1.5°C)	28.1 ^{ab}	30.4 ^{ab}	28.5 ^b	26.4 ^b	6.8	7.3 ^{ab}	10.8 ^a	8.3 ^{ab}
III(I+3.0°C)	30.0 ^a	32.8 ^a	31.8 ^a	28.5 ^a	7.5	6.0 ^b	12.0 ^a	9.1 ^a

30일 후 III구역에서 경수는 대조에 비해 오대벼 유의성이 없었으며, 맛드림벼 4.4개, 참드림벼 4.3개 적고, 추청벼 5.3개 많았다. 초장은 대조에 비해 오대벼 15.1cm, 맛드림벼 21.0cm, 추청벼 13.5cm, 참드림벼 12.1cm 높았다.

표 4. 이앙 30일 후의 벼 생육상황

구 분	초 장(cm)				경 수(개/주)			
	오대	맛드림	추청	참드림	오대	맛드림	추청	참드림
대 조	47.0 ^c	47.8 ^d	39.8 ^c	40.6 ^c	18.2 ^{ns}	17.7 ^a	21.7 ^b	24.0 ^a
I	55.4 ^b	59.0 ^c	47.5 ^b	50.4 ^b	17.4	12.4 ^b	24.9 ^{ab}	15.8 ^d
II(I+1.5°C)	59.0 ^{ab}	64.1 ^b	51.7 ^a	50.4 ^b	17.1	14.6 ^b	25.9 ^a	17.8 ^c
III(I+3.0°C)	62.1 ^a	68.8 ^a	53.3 ^a	52.7 ^a	18.2	13.3 ^b	27.0 ^a	19.7 ^b

45일 후 III구역에서 맛드림벼 경수는 대조에 비해 2.4개 적어 오대벼를 제외하고 3개 품종에서 가장 대조와의 차이가 낮았고, 초장은 대조에 비해 16.2cm 높았다. 추청벼 경수는 대조에 비해 3.6개 적고, 초장은 대조에 비해 14.3cm 높았다. 참드림벼 경수는 전체 품종에서 차이가 가장 크며 대조에 비해 3.9개 적고, 초장은 대조에 비해 11.3cm 높았다. 오대벼 경수는 유의성이 없었고, 초장은 대조에 비해 11.5cm 높았다.

표 5. 이앙 45일후의 벼 생육상황

구 분	초 장(cm)				경 수(개/주)			
	오대	맛드림	추청	참드림	오대	맛드림	추청	참드림
대 조	60.7 ^c	60.2 ^b	49.7 ^d	48.2 ^b	13.7 ^{ns}	13.3 ^a	18.0 ^a	18.0 ^a
I	68.7 ^b	70.6 ^a	58.7 ^c	59.3 ^a	13.8	10.2 ^b	16.1 ^{ab}	12.3 ^b
II(I+1.5°C)	69.8 ^{ab}	74.1 ^a	61.2 ^b	56.9 ^a	12.7	11.3 ^b	14.8 ^b	13.0 ^b
III(I+3.0°C)	72.2 ^a	76.4 ^a	64.0 ^a	59.5 ^a	13.8	10.9 ^b	14.4 ^b	14.1 ^b

전체적으로 15일 경수는 품종별로 대조에 비해 결과값이 차이가 있었으나 45일에서는 대조에 비해 결과값이 동일한 경향을 보였고 초장은 15, 30, 45일에서 고온일수록 높았다.

품종별 이양시기에 따른 출수기는 표 6과 같이 조생종인 오대는 대조에 비해 3일 빨라졌으며 구역별 고온일수록 출수가 앞당겨 지는 경향을 보였고 중생종 ‘맛드림’ 과 중만생종 ‘추청’, ‘참드림’은 각 구역별 차이를 보이지 않았다.

표 6. 처리 온도별에 따른 출수기

(단위 : 월. 일)

구 분	오 대	맛드림	추 청	참드림
대 조	8. 4	8. 13	8. 25	8. 20
I	8. 3	8. 13	8. 25	8. 16
II(I+1.5°C)	8. 2	8. 14	8. 24	8. 21
III(I+3.0°C)	8. 1	8. 14	8. 22	8. 21

수량구성요소는 표 7과 같다. 오대벼 III구역이 대조에 비해 수당립수는 21개 적었고, 등숙 비율은 43.2%로 낮았으나 수량지수는 4% 낮았다. 맛드림벼 III구역이 대조에 비해 수당립수는 17개 많았고, 등숙비율은 24.2% 낮았으며 수량지수도 22% 낮았다. 추청벼 III구역이 대조에 비해 수당립수는 14개 많았고, 등숙비율은 52.2%로 낮았으며 수량지수도 25% 낮았다. 참드림벼 III구역이 대조에 비해 수당립수는 11개 많았으나 등숙비율은 53% 낮았고 수량지수도 17%로 낮았다.

표 7. 품종별 수량구성요소

품 종	구 분	간 장 (cm)	수 장 (cm)	수 수 (개/주)	수당립수 (개)	등숙비율 (%)	현미수량 (g/포트)	수량지수 (%)
오 대	대 조	57	18	13.5	73 ^a	50.2 ^a	22.8	100
	I	62	19	13.6	83 ^a	34.6 ^a	20.1	88
	II(I+1.5°C)	62	19	14.5	79 ^a	8.7 ^b	18.5	81
	III(I+3.0°C)	63	20	15.3	52 ^b	7.0 ^b	21.9	96
맛드림	대 조	55	18	11.2	72 ^b	28.6 ^a	20.9	100
	I	59	16	9.0	87 ^a	15.2 ^b	17.7	85
	II(I+1.5°C)	57	17	9.9	82 ^{ab}	7.4 ^c	16.5	79
	III(I+3.0°C)	55	15	9.8	89 ^a	4.4 ^c	16.2	78
추 청	대 조	54	17	15.8	64 ^b	71.1 ^a	19.6	100
	I	60	16	16.1	64 ^b	63.8 ^a	18.9	96
	II(I+1.5°C)	60	16	15.7	74 ^a	30.7 ^b	17.5	89
	III(I+3.0°C)	58	16	15.4	78 ^a	18.9 ^b	14.7	75
참드림	대 조	52	17	16.3	66 ^{bc}	65.7 ^a	21.2	100
	I	52	17	11.8	86 ^a	41.1 ^b	19.5	92
	II(I+1.5°C)	53	17	12.6	63 ^c	18.7 ^c	18.4	87
	III(I+3.0°C)	51	15	14.5	77 ^{ab}	12.7 ^c	17.6	83

Ⅲ구역에서 수량지수 중 출하가 빠른 조생종 오대벼를 제외하고 맛드림벼, 추청벼, 참드림벼는 15%이상 낮아 등숙기간 중 고온에 많은 영향을 받은 것으로 판단된다.

온도구배하우스의 내부온도는 그림 5와 같다. 8월 일자별 평균기온은 22~34℃내외를 유지하였고 일중 시간별 평균기온에서는 10시를 시작으로 17시까지 온도구배가 이루어졌다. 하지만 일자별 최고기온에서 비가 오지 않는 상황에서는 40℃이상 온도가 유지되어 생육 및 수량 등에 전체적으로 심각한 결과를 보였다.

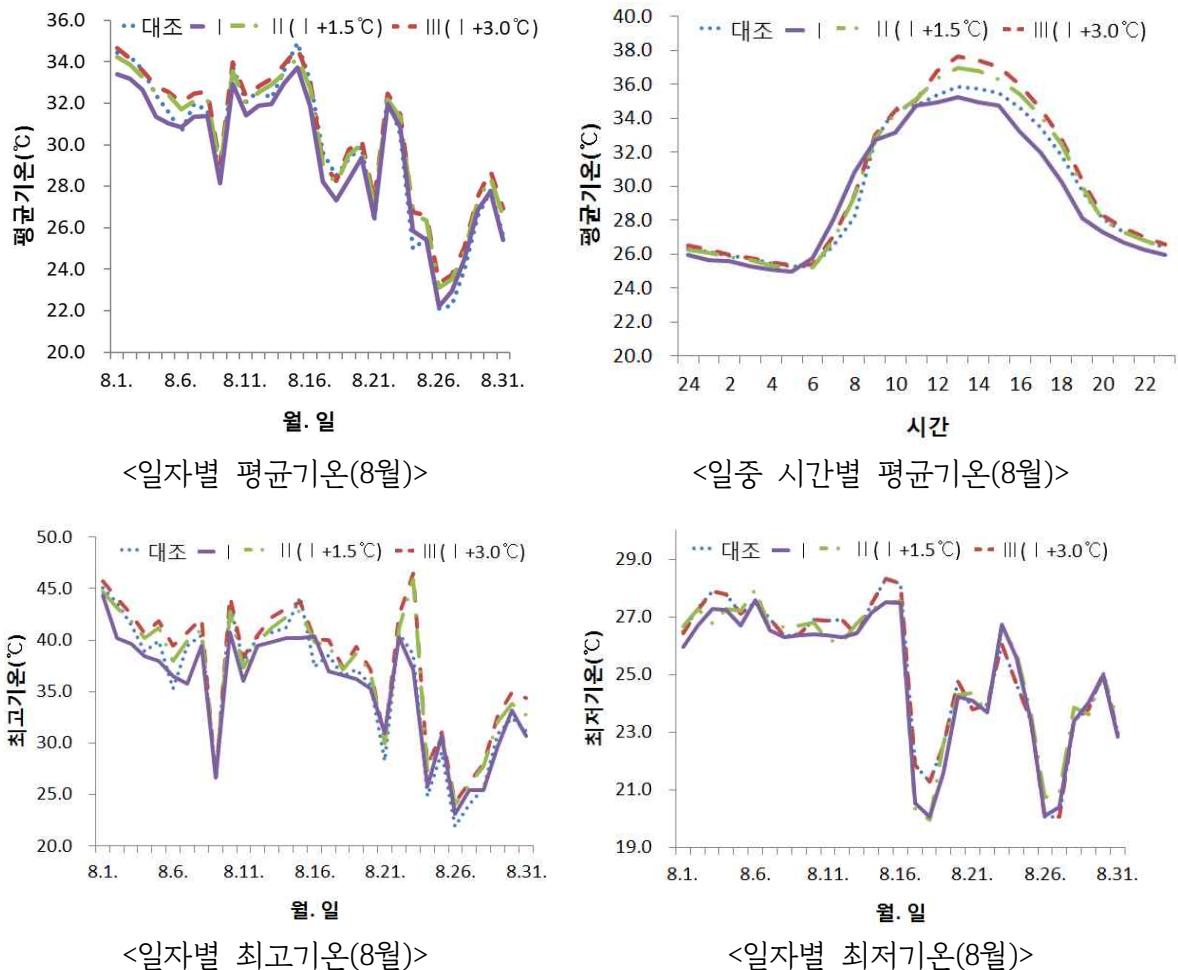


그림 5. 온도구배하우스 온도변화

그림 5에서와 같이 8월 중 시설내 온도가 40도 이상의 고온이 번번이 발생하여 수량성이 현저히 낮아지는 원인이 되는 것으로 판단되며, 기후변화에 따른 벼 재배지 온도상승에 따른 품종별 생육반응은 향후 좀 더 정밀한 제어가 가능한 시설을 구비하여 연구를 수행하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4. 적 요

기후변화에 대응한 벼 작황자료 분석 및 온도 구배하우스 이용 벼 품종별 생육반응을 구명코자 2018년 수행한 결과는 다음과 같다.

- 가. 경기도 지역의 최근 12년간('06~'17) 기상분석에서 '06~'08년과 대비하여 '15~'17년은 평균기온 1.7℃ 및 최고기온은 2.6℃가 높았고 온도가 높을수록 등숙비율은 낮아지는 경향을 보였다.
- 나. 온도구배하우스 I구역 대비 III구역은 오전 11시에 최대 5.3℃까지 온도차이가 있었다.
- 다. 영양생장기에서의 생육특성(초장)은 외부보다 고온으로 유지되는 II, III 구역의 벼가 상대적으로 생육이 빠르며 15일에서 30일을 거치면서 급격히 증가하다가 45일에 들어서면서 둔화된 증가를 보였다.
- 라. 생태형별 특성에서 조생종인 오대벼의 경수가 평균온도에 따른 유의성이 없었으며 만생종인 추청벼에서 평균온도 상승에 따라 경수가 낮아졌다.
- 마. 포트당 수량에서 중만생종인 맛드림벼가 대조에 비해 고온에 의한 수량변화를 비교했을 때 가장 차이가 적었으며 참드림벼, 오대벼, 추청벼 순으로 수량의 격차가 커졌다.

5. 인용문헌

- 농촌진흥청. 2016. 쌀 품질 고급화 기술.
- 농촌진흥청. 2012. 농업과학기술 연구조사 분석기준.
- 농촌진흥청. 2013. 종합검정실 분석 매뉴얼(토양, 식물체, 수질, 중금속)
- 김영두, 노태환, 이재길, 양보갑, 이선용, 1996. 북한 벼 품종의 평야지와 고랭지간 수량 및 미질특성 비교. 한국작물학회지 41(5) : 578-585.
- 김희동, 이재홍, 임갑준, 한상욱, 조영철. 2004. 재배지역에 따른 주요 품종의 미질특성 연구, 경기도농업기술원 시험연구보고서 pp.63-70.
- 오성환, 김상열, 황운하, 김상민, 김준환, 최경진, 안종웅, 오병근, 강향원. 2008. 등숙시기별 고온처리에 대한 쌀 품질의 변이 연구, 국립식량과학원 시험연구보고서. 344-352.
- 장정희, 원태진, 이지혜, 이종형, 한상욱, 최병열, 지정현. 2017. 고품질 벼 계통육성 시험, 경기도농업기술원 시험연구보고서 pp.59-68.
- 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(des.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151, 74-76.
- Kondo, M. 2009. Effect of global warming on rice culture and adoptive strategies. International symposium 'Rice research in the era of global warming'. pp. 1-9

- Oh, D. H., J. H. Ryu, Y. H. Cho, W. S. Sik, and J. I. Cho, 2018: Evaluation of yield and growth responses on paddy rice under the extremely high temperature using temperature gradient field chamber. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 20(1), 135-143.
- Suzuki, M. 1980. Studies on distinctive patterns of dry matter production in the building process of grain yields in rice plants grown in the warm region in Japan. *Bull. Kyushu Nat. Agri. Exp. Sta.* 20 : 429-494.
- Yun, S. H., and J. T. Lee, 2001: Climate change impacts on optimum ripening periods of rice plant and its countermeasure in rice cultivation. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 3(1), 55-70. (in Korean with English abstract)

6. 연구결과 활용제목

- 기초활용

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도
벼 재배온도 상승에 따른 품종별 생육 반응 구명	책임자	농업기술원 환경농업연구과	농업연구사	신민우	연구수행 총괄	'18
	공동연구자	"	농업연구사	주옥정	생육 조사	'18
	"	"	농업연구관	박중수	성분 분석	'18
	"	"	"	홍순성	시험결과 검토	'18
	"	작물연구과	"	최병렬	생육자료 분석	'18