

영남내륙 지역 과거 20년간 기후와 벼 조만성별 쌀 수량 변화

신중희^{1,†} · 한채민¹ · 권중배² · 김상국³

Effect of Climate on the Yield of Different Maturing Rice in the Yeongnam Inland Area over the Past 20 Years

Jong-Hee Shin^{1,†}, Chae-Min Han¹, Jung-Bae Kwon², and Sang-Kuk Kim³

ABSTRACT The aim of this study was to analyze the relationship between rice yield and climate elements in Daegu (southern plain area) and Andong (inland mountainous area) regions. Over the past 20 years, rice yield has increased in both regions. The rice yield of middle and mid-late maturing cultivars in the recent 5 years increased by about 10% and 18%, respectively, compared to that produced in the early 2000s in the Daegu region. In the Andong region, the rice yield of mid-late maturing rice cultivars in the recent 5 years was higher by about 7% than that of the early 2000s. The number of panicles per hill and grain ripening rate significantly affected rice yield in mid-late maturing cultivars. In addition, the grain weight and grain ripening rate significantly affected rice production in middle maturing cultivars grown in the Daegu region. With regard to the middle maturing cultivars, the relationship between grain weight and rice yield had a positive significant correlation in both regions. To understand the effect of climate factors on rice yield, the milled rice yield of several rice cultivars produced over the past 20 years (1999-2018) at both locations, Daegu and Andong, were evaluated. The rice yields increased owing to long sunshine duration during the grain filling stage in the Daegu region. In Andong, rising maximum temperature during the vegetative stage increased rice yield of early and mid-late maturing cultivars. Long sunshine hours increased yield of mid-late maturing cultivars in both regions.

Keywords : climate, grain yield, mature type, rice

기온 및 일조시간 등의 기상 요인은 벼의 수량과 쌀 품질에 영향을 미친다. Yoshida (1978)에 의하면 잎의 신장과 분얼은 25~31°C, 개화기는 30~33°C, 성숙기는 20~29°C가 적온이라고 하였다. 기후온난화로 인하여 세계적으로 평균 기온이 상승하는 추세이며, 기후의 변화가 작물의 생육과 수량에 미치는 영향에 대한 연구가 국내외적으로 활발히 이루어지고 있다. 기상요인 중 온도가 쌀 수량과 품질에 영향을 주는 것으로 알려져 있으며, 저온에서는 등숙비율의 저하로 수량이 낮아지고(Kim *et al.*, 2009; Park *et al.*, 2003), 고온에서는 현미 천립중과 등숙비율 저하로 수량이 떨어진

다고 하였으며(Choi *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 1996; Lee *et al.*, 2012b), 자포니카 벼의 경우 최대 쌀 수량을 내는 등숙기간의 평균 온도는 출수 후 40일간 22°C라고 하였다(Yun & Lee, 2001). 기후변화로 인한 대기 중 CO₂증가에 따른 생산성 증가요인에도 불구하고 고온에 의한 수량감소 폭이 더 커져 전반적으로 수량이 감소할 가능성이 높다고 한다(Chung *et al.*, 2006; Shin & Lee, 1995). 우리나라에서 기후온난화 대응 벼 생육예측 연구결과, 기준년도(1981~2010, 30년) 대비 1°C 상승함에 따라 쌀 수량은 6.7~10.6%까지 감소하고, 생육일수가 단축되어 품질 또한 저하 될 것으로

¹경상북도농업기술원 작물연구과 농업연구사 (Agriculture Researcher, Division of Crop Research, Gyeongsangbuk-do Provincial Agricultural Research and Extension Services, Daegu 41404, Republic of Korea)

²경상북도농업기술원 작물연구과 농업연구관 (Agriculture Senior Researcher, Division of Crop Research, Gyeongsangbuk-do Provincial Agricultural Research and Extension Services, Daegu 41404, Republic of Korea)

³경상북도농업기술원 생물자원연구소 농업연구관 (Agriculture Senior Researcher, Bioresources Research Institute, Andong 36614, Republic of Korea)

[†]Corresponding author: Jong-Hee Shin; (Phone) +82-53-320-0271; (E-mail) szzong91@korea.kr

<Received 19 July, 2019; Revised 27 August, 2019; Accepted 28 August, 2019>

예측하였다(Lee *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2012a). 쌀 수량과 품질은 온도 중에서 특히 벼의 등숙기 평균기온에 영향을 받으며 일조시간이 부족하면 현미 천립중이 줄어든다고 하였는데 긴 일조시간이 동화 산물 생산량을 증가시키기 때문이다(Choi *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 1996). 이는 지구 온난화로 고온에 의한 쌀 수량, 품질에 미치는 부정적인 측면뿐만 아니라, 벼의 등숙기간 동안 일조시간 증가에 따른 긍정적인 측면을 보여주는 연구결과라 할 수 있다. 빛은 식물의 광합성과 형태 발생에 필수적인 환경요소로 작물의 수량에 결정적인 영향을 미친다(Evan & Datta, 1979; Yang *et al.*, 2007). 벼의 생육에서 일사량 부족은 분얼발생 억제 및 지연(Nakano, 2000), 영화 형성 감소(Biswas & Salokehe, 2002; Yao *et al.*, 2000), 등숙비율 저하(Yang *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2014), 엽록소 축적(Makino *et al.*, 1997) 및 물질 분배(Gibson *et al.*, 2004) 등과 연관되어 수량 저하의 주요인으로 보고되고 있다.

따라서 본 연구에서 벼 수량과 수량구성요소, 기상요소 사이의 상관관계를 조사하여 기후변화가 벼 수량에 미치는 영향을 분석하였다. 영남평야지에 속하는 대구와 남부중산간지 안동에서 벼의 조만성 및 성숙시기별 기상 조건에 따른 수량 변화를 분석하였다.

재료 및 방법

경상북도 지역의 쌀 수량 변화 추이를 분석하고, 기온과 일조시간 등의 기상요소가 쌀 수량에 미치는 영향을 조사하기 위하여 지난 20년(1999~2018)간 대구와 안동 지역 작황, 지역적응시험에서 도출된 쌀수량과 그 기간 기상자료를 분석하였다. 벼의 조만성별 수량에 영향을 미치는 수량구성요소 및 기상요소와의 상관성을 조사하기 위해서 지역별, 생육단계별 기상요인을 분석하였다.

기상자료 분석

기상청이 제공하는 1999년부터 2018년까지 20년간의 대구, 안동지역에 해당하는 기상자료를 농업기상자료로 이용하였다. 5월 하순부터 10월 상순까지의 기온, 일조시간 및 강수량을 분석하여 기본 자료로 활용하였다. 각 지역별 생산된 벼 품종의 조만성별 평균 출수기를 참고하여 영양생장기, 생식생장기, 등숙기로 구분하여 생육단계별 기온과 일조시간이 수량에 미치는 영향을 조사하였다. 대구의 경우 본포 생육 시작되는 6월 1일부터 중생종은 7월 5일, 중만생종은 7월 10일까지를 영양생장기로, 이 후 중생종의 평균 출수기인 8월 10일, 중만생종의 평균 출수기인 8월 15일

까지를 생식생장기, 출수이후 50일 정도를 등숙기로 기온(평균, 최고, 최저), 누적일조시간, 강수량을 분석하였다. 안동지역 조생종은 5월 21일부터 6월 24일까지를 영양생장기, 6월 25일부터 7월 28일까지를 생식생장기, 7월 29일부터 9월 17일까지를 등숙기로 분류하고, 중생종의 경우 5월 21일부터 6월 30일까지를 영양생장기, 7월 1일부터 8월 5일까지를 생식생장기, 8월 6일부터 9월 25일까지를 등숙기로 구분, 중만생종은 5월 21일부터 7월 10일까지를 영양생장기, 7월 11일부터 8월 15일까지를 생식생장기, 8월 16일부터 10월 5일까지를 등숙기로 구분하여 기상자료를 분석하였다.

시험재료 재배 조건

벼 조만성별 수량반응을 조사하기 위하여 대구지역의 경우 중만생종으로 20년간 연속으로 재배된 일품과 남평, 중생종의 경우 화영의 수량을 분석하였다. 안동지역의 경우는 장기간 동일 조건에서 재배된 조생종 오대와 운광, 중생종 화성, 중만생종 일품의 수량을 수집하여 분석하였다. 벼 재배는 대구광역시 북구에 위치한 경상북도농업기술원 논포장과 안동시 북후면에 위치한 경상북도농업기술원 생물자원연구소의 논 포장에 농촌진흥청 표준재배법에 따라 대구는 5월 30일, 안동은 5월 20~25일에 재식거리 30×14~15 cm로 이앙하여 표준시비(1999~2004: N-P₂O₅-K₂O = 11-4.5-5.7 kg/10a, 2005~2018: N-P₂O₅-K₂O = 9-4.5-5.7 kg/10a) 하였다. 수확과 동시에 잔여 식물체는 파쇄하여 토양에 재투입 하였으며, 별도의 유기물은 사용하지 않았다.

농업적 형질 및 수량 구성요소

포기당 수수, 수당 립수, 등숙률, 정현비율, 현미 천립중 및 백미수량 등의 특성은 농촌진흥청 연구조사 분석기준(2012년도)에 따라 조사하였다. 출수 후 60일이 경과한 시점에서 각각의 품종을 수확한 후 수분함량을 15%로 조절하여 현미기(SYTH-88, 쌍용)를 이용하여 제현 하였고, 백미기(Satake, Japan)를 이용하여 10분도로 도정하여 수량분석 시료로 사용하였다. 모든 시료는 3반복으로 측정하였다.

통계처리

통계 처리는 SAS(statistical analysis system) 통계 package (version 9.2)를 이용하여 백미 수량과 수량구성요소 또는 기상요소에 대해 쌍을 이룬(Paired-samples) t-test로 분석하였으며, 유의성 검정은 p<0.05, p<0.01 수준에서 실시하였다. t-검정을 위한 품종의 수량과 수량구성요소는 3반복을 조사한 성적의 평균값을 이용하였다.

결과 및 고찰

과거 20년간 대구, 안동 지역의 기후변화

경상북도지역 벼 재배기간 중 기후변화와 이에 따른 벼 수량성 변이 정도를 조사하기 위하여 1999년부터 2018년 까지 20년간 영남평야지인 대구지역과 남부중산간지인 경

상북도 안동지역의 기온, 강수량 및 일조시간(Figs. 1 & 2)의 변화를 분석하였다. 과거 20년간 대구, 안동지역의 강수량은 감소한 반면 누적 일조시수는 현저하게 증가하였는데 특히 안동지역의 일조시수의 증가 폭이 컸다. 대구지역의 경우 벼 생육기간인 6월 1일부터 10월 10일까지 평균기온이 0.4°C/10년 정도로 증가하였는데, 생식생장기간(7월 11

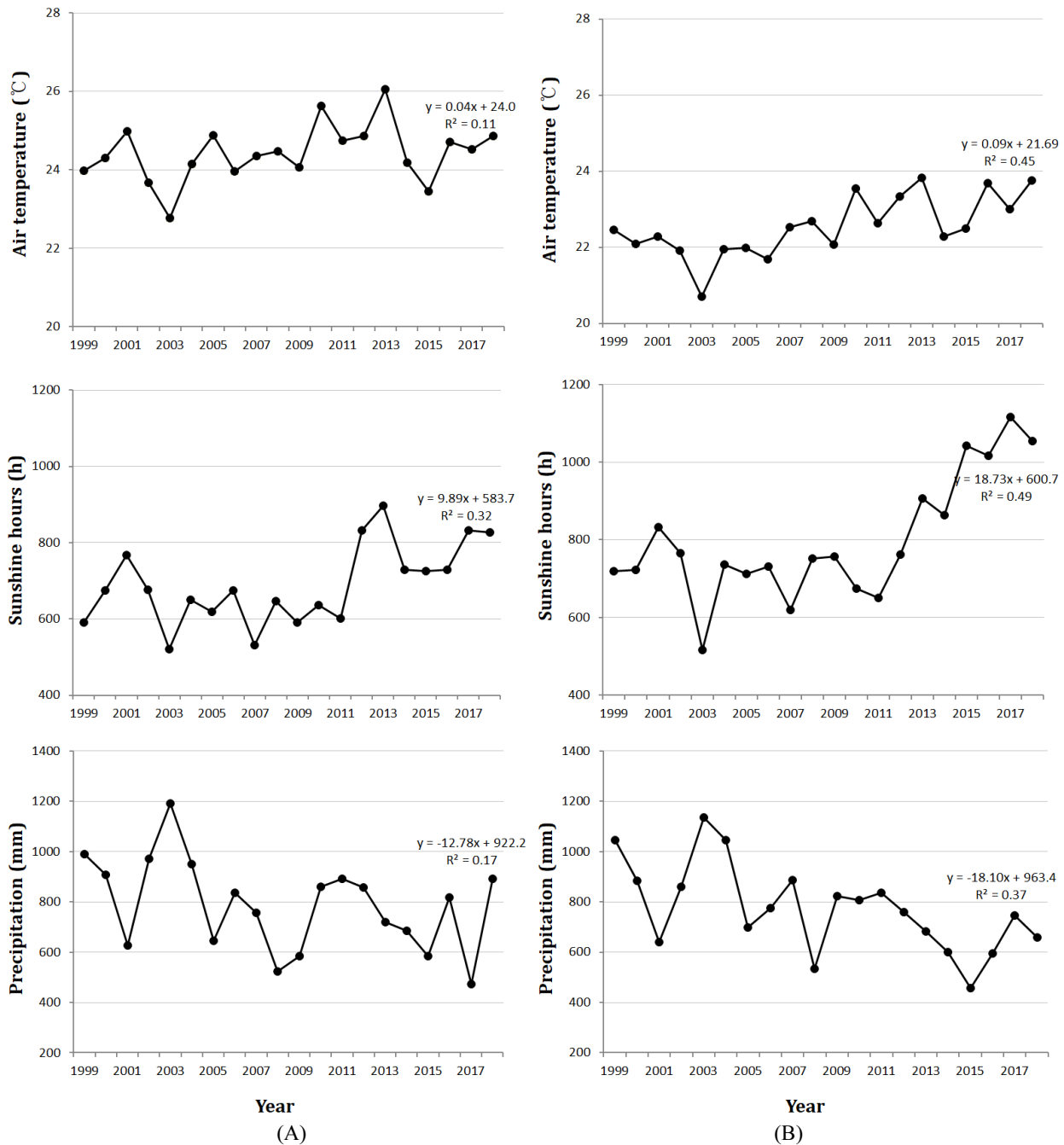


Fig. 1. Change in temperature, accumulated sunshine hours and precipitation amount during the rice growth period in Daegu (A) and Andong (B) regions over the past 20 years.

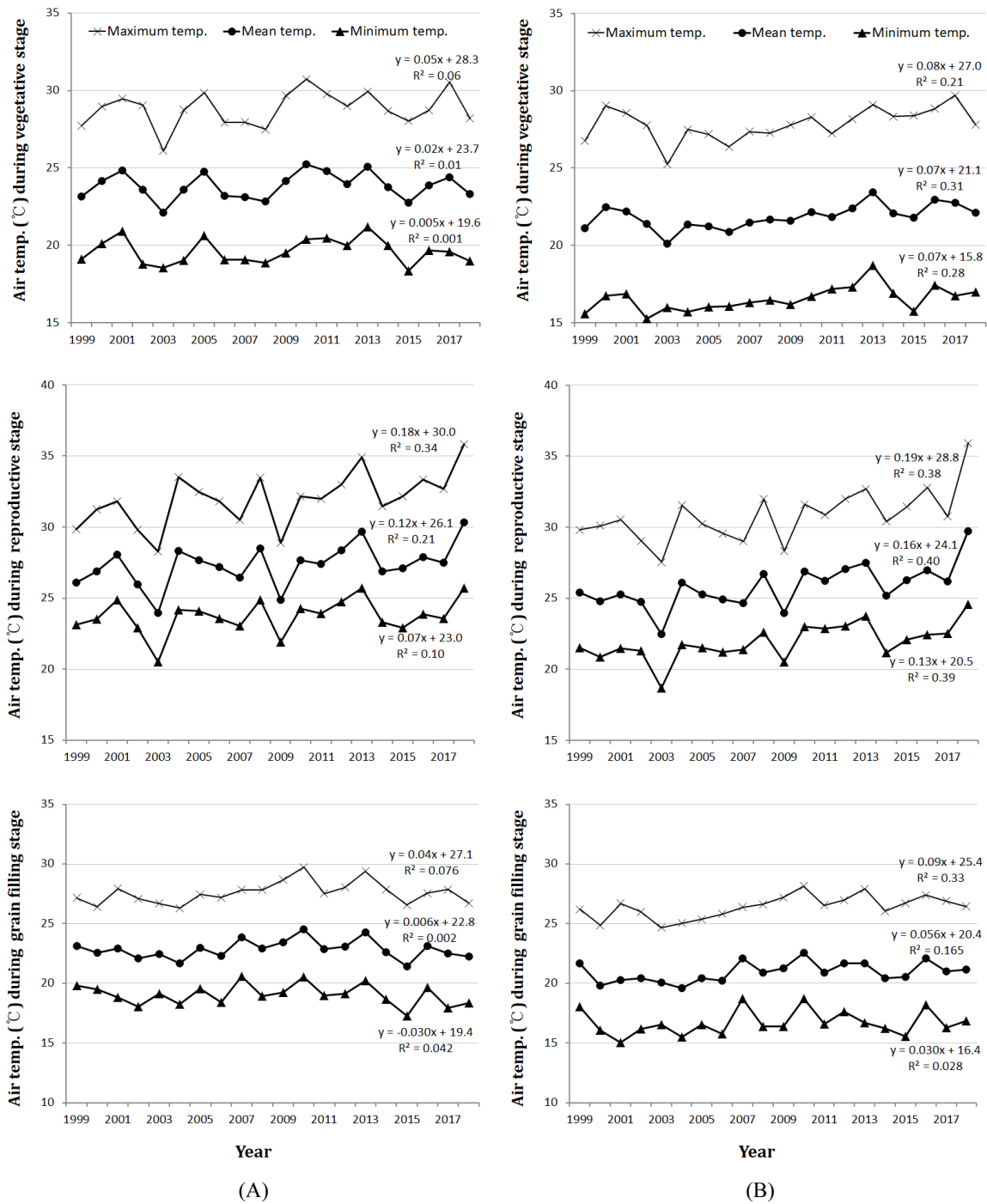


Fig. 2. Temperature change by growth stage of mid-late maturing rice cultivars in Daegu (A) and Andong (B) regions over the past 20 years.

일~8월 15일)의 최고기온 상승폭이 1.8°C/10년으로 가장 컸다. 반면 등숙기 평균기온은 과거 20년간 0.06°C/10년으로 변화 폭이 적었다. 비교적 기온이 높은 대구지역에서 등숙기 기온의 상승폭이 그다지 높지 않았다는 점이 전반적

인 기온상승에도 불구하고 이지역의 수량이 감소하지 않은 주요 요인으로 평가 되었다. 안동의 경우는 대구지역보다 기온 상승 폭이 커서 벼 생육기간 평균기온이 0.9°C/10년으로 대구의 2배 이상 상승하였다. 생식생장기 최고기온의

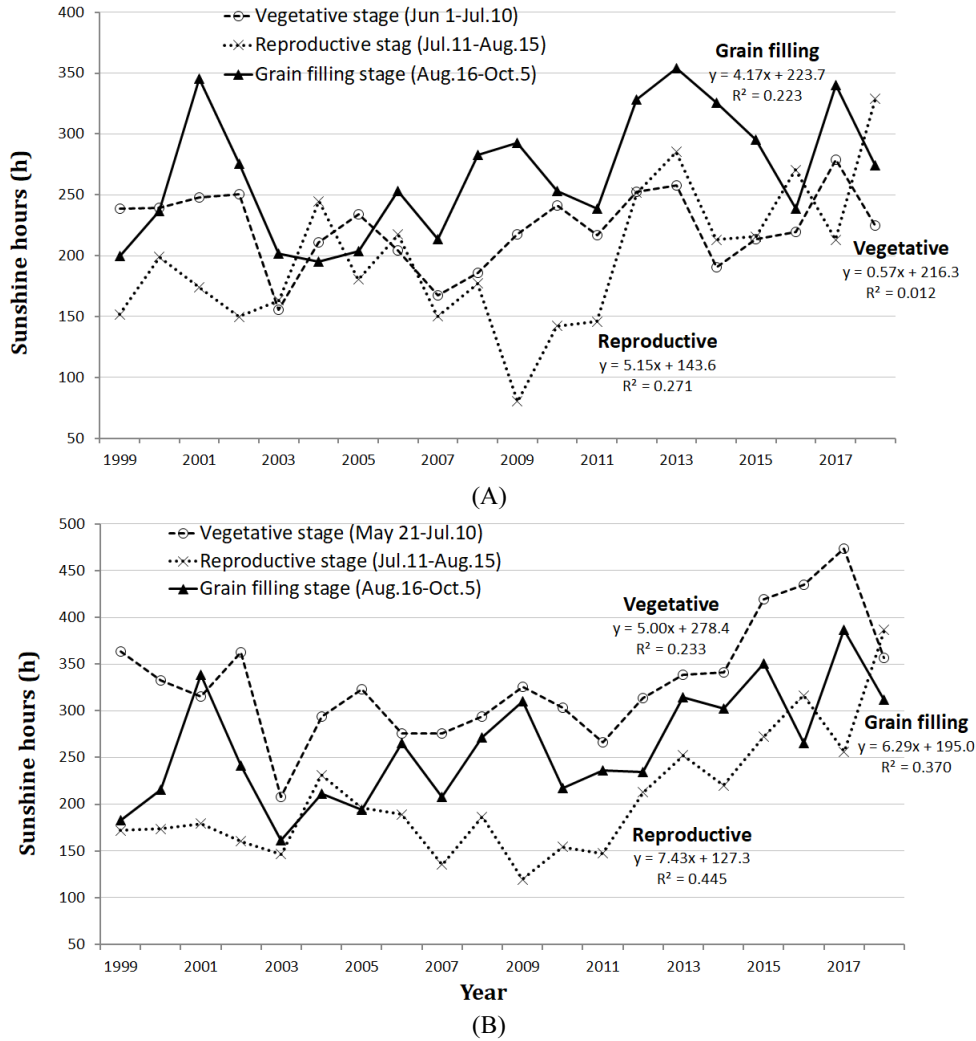


Fig. 3. Change in accumulated sunshine hours by growth stage of mid-late maturing rice cultivars in Daegu (A) and Andong (B) regions over the past 20 years.

상승폭이 1.9°C/10년으로 컸고, 이 기간 최저기온의 상승폭도 1.3°C/10년으로 대구에 비해 컸다. 안동지역의 등숙기 기온은 영양생장과 생식생장기보다는 상승폭이 적었지만 대구지역보다는 컸는데, 대구지역보다 등숙기 평균기온이 2~3°C정도 낮은 안동지역의 경우 등숙기의 기온상승은 수량의 증가에 긍정적인 영향을 미쳤고 또한 앞으로 일정 기간 동안 수량의 증가에 기여할 것으로 예측되었다. 벼 생육단계별로 누적 일조시수를 분석한 결과(Fig. 3), 두 지역에서 모두 증가하였으며 수량에 영향을 미치는 등숙기 일조시수 또한 증가했는데, 특히 안동지역의 등숙기 일조시수의 증가 경향이 두드러졌다.

Peng *et al.* (2004)은 1992~2003년 동안 필리핀의 국제미작연구소(IRRI)에서 수행한 실험 결과, 생육기간 최저온도가 1°C 상승함에 따라 벼 수량이 10% 감소했다고 보고 하

였다. 우리나라에서의 벼 최적 등숙온도는 출수 후 40일간의 일평균 기온으로 결정하는데, 자포니카 벼의 최적 등숙온도는 21~23°C이다(Rural Development Administration, 1981). 그러나 앞으로 기후변화에 따라 온도가 상승한 조건에서도 현재의 벼 품종을 지속적으로 재배하게 되면 최적 등숙온도 보다 높아지므로 수량성이 감소하고 품질은 나빠질 가능성이 크다. 이는 등숙기 평균기온이 22~24°C 정도인 대구지역의 경우 우려되는 요소이며, 반면 등숙기 평균기온이 19~22°C 정도인 안동의 경우는 등숙기 기온상승에 따른 수량과 미질 상승효과가 기대된다.

과거 20년간 대구, 안동 지역의 벼의 조만성별 수량변화
1999년부터 2018년까지 20년간 대구와 안동지역 동일 포장에서 동일 재배법으로 재배된 벼 품종의 수량변화를

품종의 조만성별로 구분하여 분석하였다(Figs. 4 & 5). 대구의 중생, 중만생종 벼는 수량이 증가하여 2000년 초반 5년 평균 수량보다 최근 5년 간 평균수량이 중생종의 경우 10% (51 kg/10 a), 중만생종의 경우 18% (96 kg/10 a) 정도 현저한 수량 증가를 보였다. 안동에서는 수량 증가 경향이 대구지역보다 적었으며 중만생종에서 경우 7% (40 kg/10 a) 정도 증수되었다. 대구와 안동 지역에서 재배된 벼의 조만성별 과거 20년간(1999~2018)의 수량 중 평균수량과 10% 이상의 현저한 수량차이를 보이는 해는 대구지역 중만생종의 경우 2003년과 2007년에는 평균수량보다 적었고, 2011년 2015년에는 많았다. 중만생종은 2003년, 2005년, 2007년에는 낮은 수량, 2013년, 2014년, 2015년에는 높은 수량을 나타내었다. 안동지역 조생종은 2003년, 2006년, 2018년이 낮은 수량을 보였고, 2011년과 2017년에는 높았다. 중생종은 2003년, 2007년 적고, 2013년, 2017년에는 높았다. 중만생종은 2003년, 2007년, 2018년에는 낮은 수량, 2008년, 2011년, 2013년, 2015년에는 평년보다 10%이상의 높은 수량을 보였다. 시험지역의 질소 시비량이 2005년을 기점으로 11 kg/10 a에서 9 kg/10 a로 감소된 점을 고려한다면 최근 기상변화에 따른 수량 증가효과는 더욱 큰 것으로 평가할 수 있다. 과거 20년간 기온상승과 더불어 출수기

의 변화도 관찰 되었는데(Figs. 6 & 7), 지역과 벼 성숙특성에 관계없이 출수기가 빨라지는 경향이였다.

쌀 수량과 수량구성요소의 상관관계

쌀 수량은 포기당 이삭수, 수당립수, 립중, 등숙비율의 수량구성요소로 이루어진다. 지난 20년간 대구와 안동지역 벼 수량에 유의하게 영향을 미친 수량구성요소를 파악하기 위하여 20년간 쌀 수량과 수량구성요소와의 관계를 분석하였다(Table 1). 대구지역 중생종의 수량 증가요인은 천립중 및 등숙율의 증가가 주요 요인으로 작용하였으며, 이들 요소들은 1% 유의수준에서 유의한 양의 상관을 보였다. 중만생종의 경우 포기당 이삭수의 증가, 등숙율의 증가가 쌀 수량의 증가요인이었으며, 제현율과 천립중의 증가도 쌀 수량 증가에 영향을 미친 것으로 분석되었다. 안동의 경우는 중생종과 중만생종에서 천립중의 증가가 쌀수량 증가에 유의한 영향을 미쳤으며, 조생종의 경우는 이삭의 길이가 길수록 수량이 높아진 것으로 나타났다. Lee & Lee (2008)가 1988년부터 2006년까지 지역별 작황자료를 분석한 결과 안동지역 조생종 벼 수량에 유의하게 영향을 미치는 수량구성요소가 없었다고 발표한 바 있다.

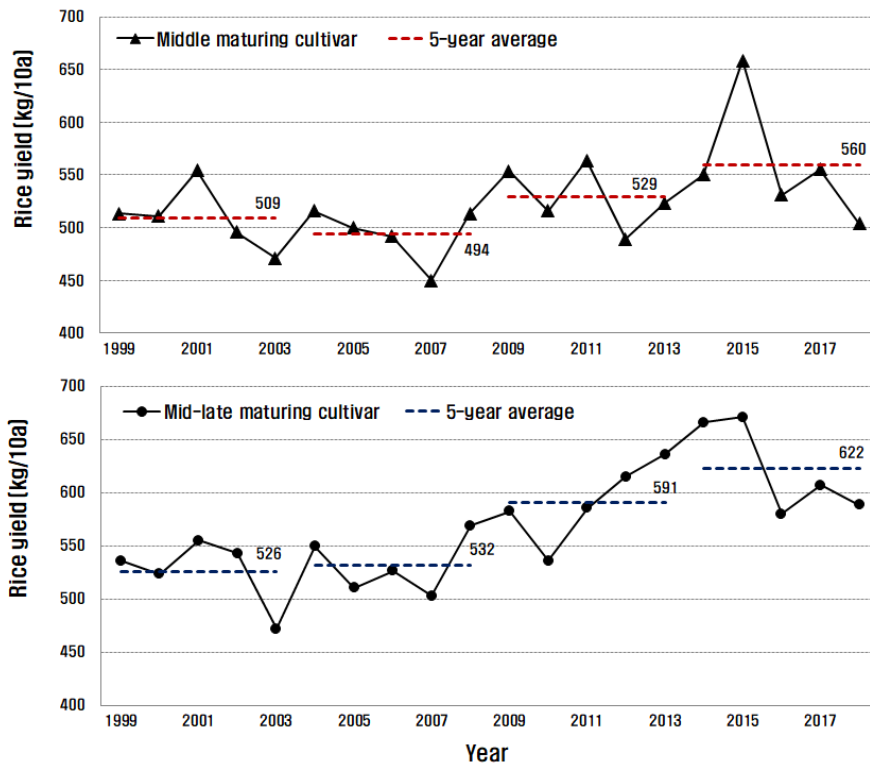


Fig. 4. Change in the milled rice yield of different maturing types of rice cultivars grown in the Daegu region over the past 20 years.

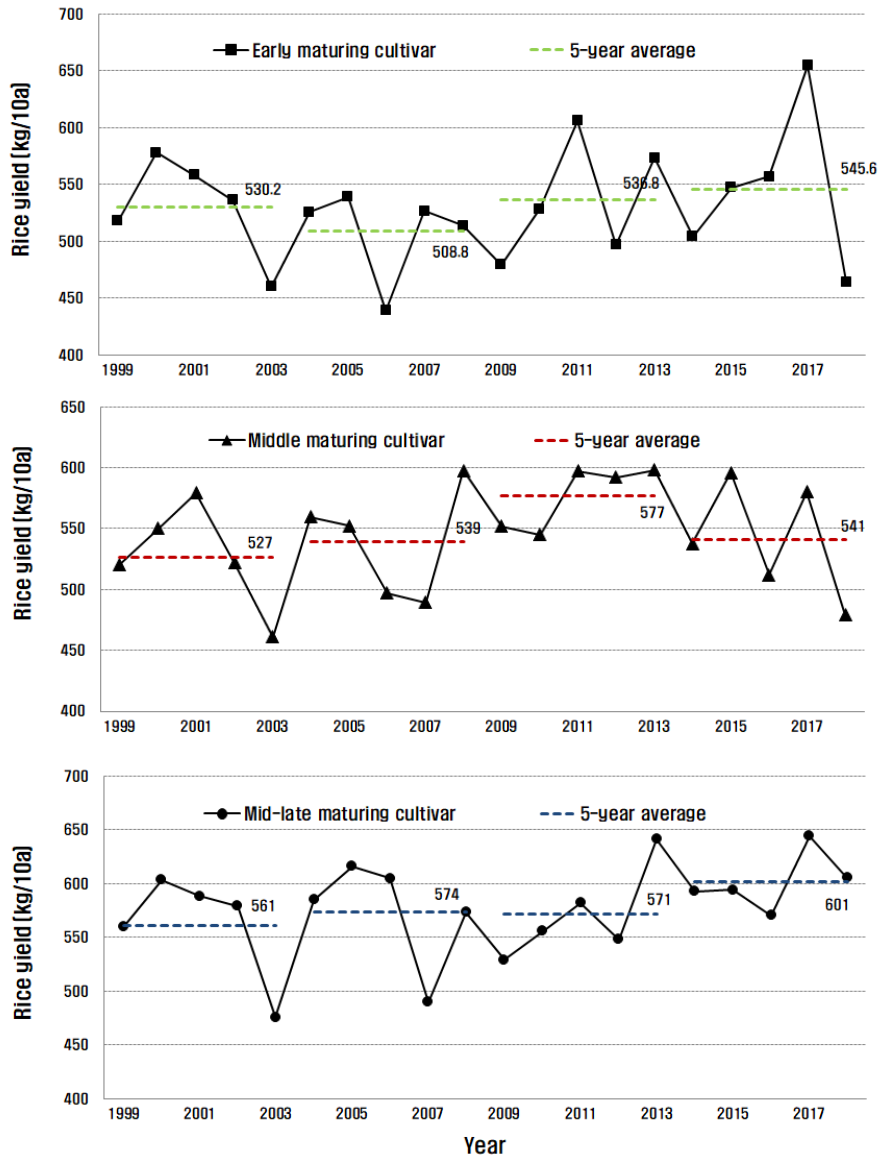


Fig. 5. Change in the milled rice yield of different maturing types of rice cultivars grown in the Andong region over the past 20 years.

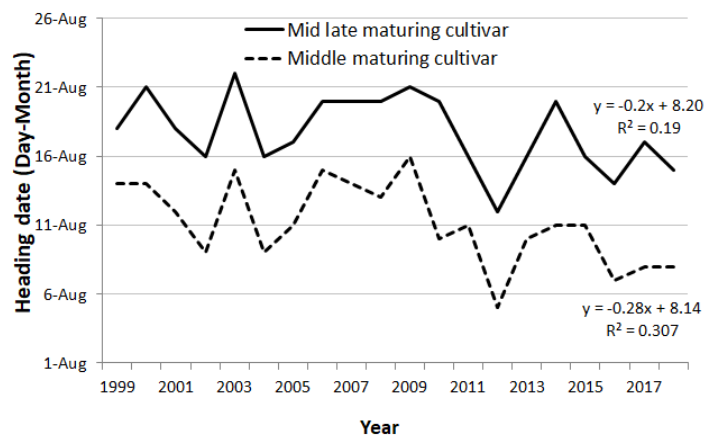


Fig. 6. Change in the heading date by different maturing types of rice cultivars grown in the Daegu region over the past 20 years.

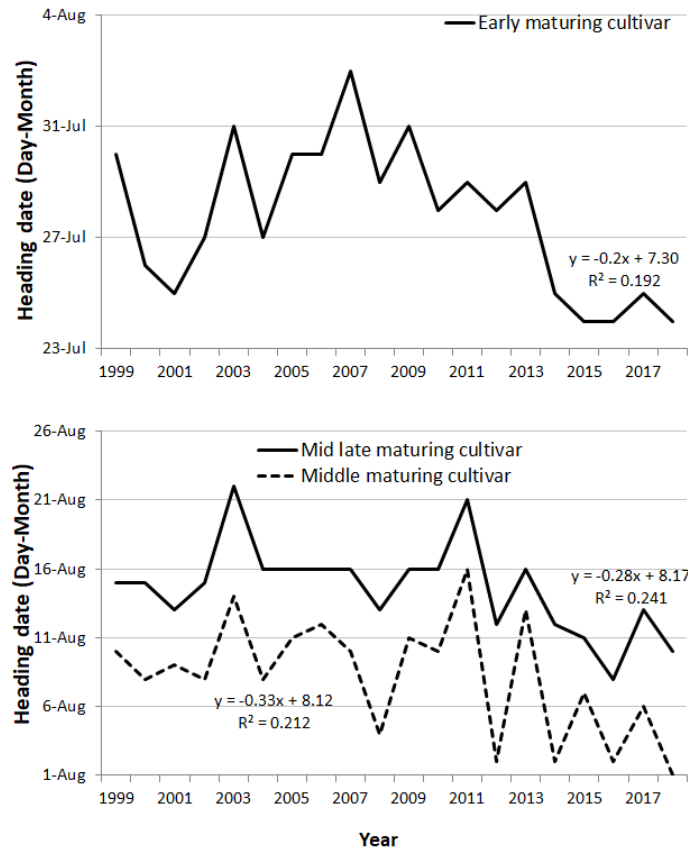


Fig. 7. Change in the heading date by different maturing types of rice cultivars grown in the Andong region over the past 20 years.

Table 1. Yield components affecting milled rice yield by different maturing types of rice in Daegu and Andong regions over the past 20 years.

Region	Rice maturing type	Panicle length	Panicles per plant	Spikelets per panicle	Percent ripened grain	Husking recovery	1,000 grain weight of brown rice (g)
Daegu	Middle maturing cultivar	0.32	0.02	0.55*	0.69**	0.23	0.67**
	Mid-late maturing cultivar	0.13	0.48*	0.06	0.68**	0.58**	0.48*
	Early maturing cultivar	0.59**	0.35	0.33	0.02	0.27	0.29
Andong	Middle maturing cultivar	0.19	0.53*	0.05	0.33	0.40	0.61**
	Mid-late maturing cultivar	-0.36	0.01	0.37	-0.20	0.09	0.51*

The values are correlation coefficients of each yield component affecting rice yield.

*, ** Significant at 5% and 1% levels compared with each component and milled rice yield, respectively.

쌀 수량과 기후요소의 상관관계

벼 생육단계별 온도와 일조시간이 벼 수량에 미치는 영향을 분석하기 위하여 1999년부터 2018년까지 20년간의 쌀 수량과 생육단계(영양생장기, 생식생장기, 등숙기)별로 그 기간의 기상요인을 비교 분석하였다(Tables 2 & 3). 대구지역에서 재배된 중만생종 벼의 쌀 수량 증가는 주로 등

숙 관련 수량구성요소의 증가에 기인한 것으로 판단되었는데(Table 1), 중만생종은 등숙기의 일조시수와 높은 상관을 보였다. 중생종의 수량은 등숙기 최저온도와 5% 수준에서 부의 상관을 가지는 것으로 나타났다. Lee & Lee (2008)의 보고에서 낱알 무게와 등숙기의 기후요소와의 관계를 분석한 결과 기후요소 중 기온만이 낱알무게와 유의한 관계가

Table 2. Comparison of climate factors during the rice growth period affecting milled rice yield by different maturing types of rice in the Daegu region over the past 20 years.

Maturing ecotype	Growth stage	Period (month, day)	Temperature (°C)			Sunshine hours (h)
			Mean	Max.	Min.	
Middle maturing cultivar	Vegetative	Jun 1-Jul.5	0.16	0.29	0.04	0.24
	Reproductive	Jul.6-Aug.10	0.14	0.15	0.09	0.02
	Grain filling	Aug.11-Sep.30	-0.28	-0.01	-0.48*	0.40
	Total	Jun 1-Sep.30	-0.01	0.18	-0.20	0.27
Mid-late maturing cultivar	Vegetative	Jun 1-Jul.10	0.17	0.28	0.14	0.29
	Reproductive	Jul.11-Aug.15	0.41	0.45*	0.34	0.40
	Grain filling	Aug.16-Oct.5	-0.12	0.21	-0.40	0.72**
	Total	Jun 1-Oct.5	0.24	0.45*	0.02	0.68**

The values are correlation coefficients of each climate factor affecting rice yield.

*, ** Significant at 5% and 1% levels compared with each climate factor and milled rice yield, respectively.

Table 3. Comparison of climate factors during the rice growth period affecting milled rice yield by different maturing types of rice in the Andong region over the past 20 years.

Maturing ecotype	Growth stage	Period (month, day)	Temperature (°C)			Sunshine hours (h)
			Mean	Max.	Min.	
Early maturing cultivar	Vegetative	May 21-Jun 24	0.48*	0.62**	0.10	0.40
	Reproductive	Jun 25-Jul.28	0.45*	0.47*	0.45*	0.41
	Grain filling	Jul.29-Sep.17	0.07	0.10	0.06	0.14
	Total	May 21-Sep.17	0.34	0.42	0.25	0.35
Middle maturing cultivar	Vegetative	May 21-Jun 30	0.31	0.33	0.19	0.04
	Reproductive	Jul.1-Aug.5	0.46*	0.44	0.51*	0.18
	Grain filling	Aug.6-Sep.25	0.09	0.35	-0.15	0.34
	Total	May 21-Sep.25	0.34	0.46*	0.20	0.23
Mid-late maturing cultivar	Vegetative	May 21-Jul.10	0.55*	0.58**	0.32	0.55*
	Reproductive	Jul.11-Aug.15	0.51*	0.49*	0.52*	0.51*
	Grain filling	Aug.16-Oct.5	-0.23	0.14	-0.44	0.55*
	Total	May 21-Oct.5	0.36	0.53*	0.13	0.64**

The values are correlation coefficients of each climate factor affecting rice yield.

*, ** Significant at 5% and 1% levels compared with each climate factor and milled rice yield, respectively.

있었다고 보고한 결과와는 다소 차이를 보였다. 통계적 유의성은 없었지만 대구지역의 중생, 중만생 품종의 수량과 등숙기 온도 상승은 부의 상관관계를 보였는데 이는 생육 전반 높은 기온을 유지하는 대구지역의 경우 등숙기의 온도 상승은 수량을 감소시키는 원인이 된 것으로 판단되었다. 안동지역 중만생종 벼의 수량은 영양생장기의 최고온도와 양의 상관관계를 보이며 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하였다. 생육전반의 일조시수의 증가 또한 수량 증가의 요인으로 판단되었다. Lee *et al.* (2013)이 1993년부터

2012년까지 20년간 밀양지역에서 쌀 수량을 분석한 결과, 평균수량을 나타내는 2000년과 이보다 10% 증수한 2001년의 경우 이들 차이는 등숙기 일교차가 크고 일조시간이 많아졌기 때문인 것으로 보고하였고, 이는 등숙비율이 높아 수량이 증가하였다고 하였다. 등숙은 개화 수정된 영화에 탄수화물, 단백질 등이 집적되는 과정으로 등숙기간 중의 온도, 일사량 등의 기상 조건과 식물체의 영양 상태에 영향을 받는다. 일반적인 조건에서 벼 종실에 축적되는 탄수화물은 70% 이상이 등숙기간 중 광합성에 의하여 형성

되고, 나머지 부분이 출수전 잎, 줄기 중에 저장되었던 동화물질이 등숙기간 중 종실로 전류된다(Yoshida, 1981).

적 요

본 연구는 영남내륙에 속하는 대구 및 안동 지역의 벼 수량에 영향을 미치는 수량구성요소와 기상요소를 파악하고자 하였다. 과거 20년간 이들 지역의 기상변화를 분석한 결과 벼 재배기간 중 평균기온은 대구지역보다 안동지역에서 +0.9°C/10년으로 2배 이상의 상승폭을 보였다. 이는 생식생장기의 기온상승이 주요 원인으로 분석되었다. 강수량은 감소한 반면 누적 일조시수는 현저하게 증가하였는데 특히 안동지역의 일조시수 증가 폭이 컸다. 대구의 쌀 수량은 꾸준히 증가하여 2000년 초반 5년 평균 수량보다 최근 5년간 평균수량이 중만생종의 경우 18% 정도 현저한 수량 증가를 보였다.

벼 수량과 수량구성요소의 관계를 분석한 결과 대구지역 중생종의 수량 증가는 현미천립중과 등숙율의 증가가 주요 요인으로 작용하였으며, 중만생종의 경우 포기당 이삭수, 등숙율 및 제현율의 증가가 쌀 수량 증가에 영향을 미친 것으로 분석되었다. 안동의 경우는 중생, 중만생종에서 천립중의 증가가 수량증가의 요인으로 분석되었다. 벼 수량과 기후요소와의 상관관계를 분석한 결과 대구지역에서 재배된 중만생종 벼의 쌀 수량은 등숙기의 일조시수와 높은 상관관을 보였다. 안동지역 중만생종은 영양생장기 최고기온과 생육전반 일조시수의 증가가 수량에 유의한 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제명: 기후변화에 따른 남부 중산간지대 벼의 적응-비적응 생산량 영향평가 연구, 세부과제 번호 : PJ01230103)의 지원에 의해 이루어진 결과의 일부이며, 본 연구사업 수행에 협조해 주신 모든 분들에게 감사드립니다.

인용문헌(REFERENCES)

- Biswas, P. K., and V. Salokhe. 2002. Effect of N rates, shading, tiller separation, and plant density on the yield of transplanted rice. *Tropical Agric.* 79 : 168-172.
- Choi, K. J., T. S. Park, C. K. Lee, J. T. Kim, J. H. Kim, K. Y. Ha, W. H. Yang, C. K. Lee, K. S. Kwak, H. K. Park, J. K. Nam, J. I. Kim, G. J. Han, Y. S. Cho, Y. H. Park, S. W. Han, J. R. Kim, S. Y. Lee, H. G. Choi, S. H. Cho, H. G. Park, D. J. Ahn, W. K. Joung, S. I. Han, S. Y. Kim, K. C. Jang, S. H. Oh, W. D. Seo, J. E. Ra, J. Y. Kim, and H. W. Kang. 2011. Effect of temperature during grain filling stage on grain quality and taste of cooked rice in mid-late maturing rice varieties. *Korean J. Crop Sci.* 56(4) : 404-412.
- Chung, U., K. S. Cho, and B. W. Lee. 2006. Evaluation of site-specific potential for rice production in Korea under the changing climate. *Korean J. Agricultural and Forest Meteorology.* 8 : 229-241.
- Evan, L. T., and S. K. De Datta. 1979. The relationship between irradiance and grain yield of irrigated rice in the tropics, as influenced by cultivar, nitrogen fertilizer application and month of planting. *Field Crops Res.* 2 : 1-17.
- Gibson, K. D., A. J. Fischer, and T. C. Foin. 2004. Compensatory responses of late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*) and rice to resource limitations. *Weed Sci.* 52(2) : 271-280.
- Kim, D. S., J. Song, J. I. Lee, A. Chun, E. G. Jeong, J. T. Kim, O. S. Hur, S. L. Kim, and S. J. Suh. 2009. Rice quality characterization according to damaged low temperature in rice plant. *Korean J. Crop Sci.* 54(4) : 452-457.
- Kim, K. Y., J. C. Ko, W. C. Shin, H. S. Park, M. K. Baek, J. K. Nam, B. K. Kim, and J. H. Lee. 2014. Effect of low radiation during grain filling stage on rice yield and grain quality. *Korean J. Crop Sci.* 59(2) : 174-180.
- Lee, C. K., J. Kim, J. Shon, W. H. Yang, Y. H. Yoon, K. J. Choi, and K. S. Kim. 2012a. Impacts of climate change on rice production and adaptation method in Korea as evaluated by simulation study. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology.* 14(4) : 207-221.
- Lee, C. K., K. S. Kwak, J. H. Kim, J. Y. Son, and W. H. Yang. 2011. Impacts of climate change and follow-up cropping season shift on growing period and temperature in different rice maturity types. *Korean J. Crop Sci.* 56(3) : 233-243.
- Lee, D. S., Y. S. Cho, I. J. Kim, J. K. Ham, and J. S. Jang. 2012b. The quality and yield of early maturing rice varieties affected by cultural practices in Gangwon plain region. *Korean J. Crop Sci.* 57(3) : 233-237.
- Lee, J. I., J. K. Kim, J. C. Shin, E. H. Kim, M. H. Lee, and Y. J. Oh. 1996. Effects of ripening temperature on quality appearance and chemical quality characteristics of rice grain. *RDA. J. Agri. Sci.* 38(1) : 1-9.
- Lee, J. S., J. H. Lee, M. R. Yoon, J. Kwak, Y. J. Mo, A. Chun, and C. K. Kim. 2013. Palatability and physico-chemical properties in 2001 yield increased by 10% than normal level in 2000. *Korean J. Crop Sci.* 58(3) : 292-300.
- Lee Y. S., and S. H. Lee. 2008. The impacts of climate change on rice yield. *Korean J. Geography.* 12(3) : 405-416.
- Makino, A., T. Sato, H. Nakano, and T. Mae. 1997. Leaf photosynthesis and nitrogen allocation in rice under different irradiance. *Planta.* 2003(3) : 390-398.

- Nakano, H. 2000. Effect of early stage shading of directed-seeded rice on growth and yield components. *Jpn. J. Crop Sci.* 69(2) : 182-188.
- Park, H. K., W. Y. Choi, N. H. Back, J. K. Nam, K. Y. Kim, S. S. Kim, and C. K. Kim. 2003. A survey on low temperature injury of rice at south-western alpine area of Korea in 2003. *Korean Journal of agricultural and Forest Meteorology.* 8(3) : 125-131.
- Peng, S. B., J. L. Huang, J. E. Sheehy, R. C. Laza, R. M. Visperas, X. H. Zhong, G. S. Centeno, G. S. Khush, and K. G. Cassman. 2004. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 101 : 9971-9975.
- Rural Development Administration. 1981. Low temperature damage and its comprehensive technical measures in rice. p. 168.
- Shin, J. C., and M. H. Lee. 1995. Rice production in south Korea under current and further climates; Matthews, R. M., M. J. Kroff, D. Bachelet, and H. H. van Larr eds, *Modeling the impact of climate change on rice production in Asia.* IRRI, CAB International. Manila. pp. 199-213.
- Yang, W. H., S. Peng, and M. L. Dionsio-Sese. 2007. Morphological and photosynthetic responses of rice to low radiation. *Korean J. Crop Sci.* 52(1) : 1-11.
- Yao, Y., Y. Yamamoto, T. Yoshida, Y. Nitta, and A. Miyazaki. 2000. Response of differentiated and degenerated spikelets to top-dressing, shading and day/night temperature treatments in rice cultivars with large panicles. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46(3) : 631-641.
- Yoshida, S. 1978. Tropical climate and its influence on rice. IRRI Research Paper Series 20. Los Baños, Philippines, RRI.
- Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines. p. 269.
- 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 J. Agricultural and Forest Meteorology.* 3(1) : 55-70.