

## 충북지역 중북부 중산간지 벼 출수생태형별 적응성 검토

이채영<sup>1,†</sup> · 최예슬<sup>1</sup> · 이정관<sup>1</sup> · 김익제<sup>2</sup> · 강신구<sup>3</sup> · 우선희<sup>4</sup> · 김영호<sup>2</sup>

### Studies on Adaptability by Rice Heading Ecology Type in the Central Northern Mid-Mountainous Cultivation Zone of Chungbuk Region

Chae Young Lee<sup>1,†</sup>, Ye Seul Choi<sup>1</sup>, Joung Kwan Lee<sup>1</sup>, Ik Jei Kim<sup>2</sup>, Shin Gu Kang<sup>3</sup>, Sun Hee Woo<sup>4</sup>, and Young Ho Kim<sup>2</sup>

**ABSTRACT** In recent years, air temperature has been increasing rapidly compared to the 1980s because of global warming. This increase in temperature reduces the yield and quality of rice; therefore, measures are needed to prevent such effects and ensure food security. The early maturing type (EMT) of rice is mainly cultivated in the central northern mid-mountainous area (CNMA). This study was conducted to shift the transplanting date of EMT and to examine the adaptability of the mid-maturing type (MMT) or mid-late maturing type (MLMT) in the Jecheon region of the CNMA to address global warming. The air temperature increased by 0.7~0.9°C in the 2010s, compared to that in the 1980s, and was similar to other decades during the ripening period. Over the past 35 years, considering rice quality, the heading date of the Odae variety has arrived sooner by approximately 10 days, the ripened grain ratio has increased by more than 10%, and the thousand grain weight; however, the mean temperature at 40 days after heading has increased by more than 2°C. The late marginal heading date in the Jecheon region was determined as August 11 based on the accumulated temperature of 880°C and August 15 based on 840°C for 40 days after heading. According to different transplanting dates, milled rice yield per 10 a was the highest at 567 kg with June 10 in EMT, 595 kg with June 10 in MMT, and 572 kg with May 30 in MLMT. Considering the late marginal heading date, rice yield, and quality, the optimum transplanting date was June 15 in EMT, June 5 in MMT, and May 30 in MLMT in the Jecheon region of CNMA. Owing to global warming, MMT and MLMT are expected to be reliably cultivated in the CNMA.

**Keywords** : adaptability, chungbuk, climate change, cultivation zone, heading ecology, rice

충청북도는 대한민국 국토의 중앙에 위치하여 평야지와 산간지역이 어우러져 있고, 청주를 중심으로 중부평야지, 제천을 중심으로 중북부중산간지, 보은을 중심으로 중부중간지로 구분되어 벼 재배지대가 다양한 지역이다(Choi *et al.*, 1985).

지구온난화로 인한 기온상승과 지속적인 화석연료의 사용은 대기 중 CO<sub>2</sub> 증가를 일으키고 있다. CO<sub>2</sub>의 증가는 벼의 광합성율을 증가시키고, 물과 영양분을 효과적으로 이용하며, 뿌리까지 광합성산물을 배분하기 때문에 바이오매스와 수량을 증가시킨다(Reddy *et al.*, 2010). 이와는 대조적으로 식물의 생육적온보다 기온이 증가되면 광합성율은

저하되고, 바이오매스와 수량은 감소된다. 상승된 온도는 광합성율을 증가시킬 CO<sub>2</sub>의 긍정적 효과를 줄이기 때문에 등숙을 저하시켜 수량감소를 초래한다(Horie, 1993).

우리나라에서는 온도가 2°C 상승하면 출수기간이 7~8일 단축되어, 쌀수량이 4.5% 감소되며, 동시에 CO<sub>2</sub>와 기온이 증가되면 수량은 전국적으로 평균 14.9% 감소된다고 예측하였다(Shim *et al.*, 2010). 벼 생육모델 ORYZA2000을 이용한 분석에 의하면 2040년 이후에는 모든 출수생태형이 출수 후 등숙온도가 26°C 이상이므로 파종기를 늦춰야 하며, 현재의 기후변화를 가정했을 때 한반도의 벼 생산량은

<sup>1</sup>충청북도농업기술원 농업연구사 (Researcher, Chungbuk Agricultural and Extension Services, Cheongju, 28130, Republic of Korea)

<sup>2</sup>충청북도농업기술원 농업연구관 (Senior Researcher, Chungbuk Agricultural and Extension Services, Cheongju, 28130, Republic of Korea)

<sup>3</sup>농촌진흥청 농업연구사 (Researcher, National Institute of Crop Science, Suwon, 16429, Republic of Korea)

<sup>4</sup>충북대학교 식물자원학과 교수 (Professor, Department of Crop Science, Chungbuk National University, Cheongju, 28644, Republic of Korea)

†Corresponding author: Chae Young Lee; (Phone) +82-43-220-5801; (E-mail) [metmega@korea.kr](mailto:metmega@korea.kr)

<Received 5 April, 2021; Revised 13 July, 2021; Accepted 19 July, 2021>

지역과 출수생태형에 따라 21.6~31.1% 감소될 것이라고 하였다(Lee *et al.*, 2011, 2012). 기후변화로 인해 수량은 전 세계적으로 평년 대비(1980-2008) 0.1% 감소될 것으로 예측하였고, 10년 주기 생장을 역시 1960년대보다 낮아져 향후 10년의 수량은 1.5% 감소가 예상된다(Lobell *et al.*, 2011; Lobell & Gourdj, 2012).

고온에서는 임실을 저하, 야간의 호흡손실로 인해서 전분 합성 중  $\alpha$ -아밀라아제 저하로 인한 전분부족으로 분상질립이 증가되어 쌀 품질을 현격하게 저하시킨다(Peng *et al.*, 2004; Yamakawa, 2011; Hakata *et al.*, 2012; Mitsui *et al.*, 2016; Morita *et al.*, 2016). 또한 출수기 기온이 35°C 이상이면 열에 민감한 품종은 임실이 현저하게 저하되기 때문에 주요 재배지역의 이동이 없으면 아시아의 쌀수량은 10.4% 감소될 것으로 전망된다(Matsui *et al.*, 1997; Yoshimoto *et al.*, 2011; Horie, 2019).

일본에서는 각 지역별로 1980년대보다 2000년대 들어 쌀 1등급의 비율이 낮아졌는데 이는 온도가 지속적으로 상승하여 출수 후 20일간 기온이 26°C보다 높았기 때문이고, 이를 초과하는 일수가 많아졌으며(Ishigooka *et al.*, 2011), 품종에 따라 분상질립이 많게는 50.5%까지 발생되는데 대부분 북백미의 증가가 두드러졌다(Hosoya, 2013). 일본의 기후변화 시나리오에 따라 RCP 8.5일 경우 수량과 품질을 고려한 이양시기를 변동하면 A등급 쌀이 71.1~91.5%로 70% 이상 증가되고(Ishigooka *et al.*, 2017), 2040년대에는 분상질립이 2배 이상 증가되어, 연간 4억 달러의 경제적 손실이 발생될 것으로 예상했다(Masutomi *et al.*, 2019). 우리나라의 RCP 8.5 시나리오에 따라 현재보다 온도는 2.8°C 상승과 CO<sub>2</sub> 580 ppm 농도 조건에서는 현재보다 현미 천립 중은 12%, 등숙률은 24%, 쌀수량은 33% 감소되고, 출수가 빨라짐에 따라 고온등숙 환경에 처해질 것으로 예측했다(Sang *et al.*, 2018). 이러한 쌀수량과 수량구성요소의 감소를 방지하고자 이양시기를 변동하면 출수생태형별 쌀수량의 감소를 -0.2~7.4%로 최소화 시킬 수 있다(Lee *et al.*, 2012).

현재의 기후변화를 반영하였을 때 향후 기온상승이 예상되고, 충북지역은 1970년대와 비교하여 2000년대의 평균 기온과 일조시간이 증가되었기 때문에(Jung *et al.*, 2014), 현재 조생종을 주로 재배하고 있는 중북부중산간지에서 과거 35년간 지역적응시험의 비교품종인 오대벼의 생육환경을 5년 주기로 분석하고, 주로 조생종을 재배하고 있는 이 재배지대의 중생종과 중만생종의 적응성을 검토하여 농업인의 품종 선택의 기준을 마련하고, 쌀등급제의 품질을 고려한 출수생태형별 최적 재배시기를 구명하고자 본 시험을 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 시험 재료 및 시험 장소

본 시험은 IV-1 지대의 중북부중산간지인 충청북도 제천시 백운면의 농가포장(37°07'N, 128°01'E, 해발 220 m)에서 시험하였다. 시험 1은 1986년부터 2020년까지 조생종인 오대벼를 지역적응시험 비교품종으로 재배하였고, 시험 2는 출수생태형별로 적응성을 검토하기 위해서 2018년부터 2020년까지 조생종 오대, 중생종 청풍과 중만생종 삼광을 이용하여 3품종의 이양시기를 달리하여 재배하였다. 시험구는 단구제로 배치하였으며, 모든 조사와 분석은 3반복으로 하였다.

### 기상분석 및 벼 생육 자료 수집

기상청 날씨누리 누리집을 이용하여 1981년부터 10년 주기로 제천의 평균기온, 일조시간과 강수량을 5월 1일부터 10월 20일까지 월별 평균값을 구하였다.

기후생산력지수(Climatic Productivity Index, CPI)는 출수기부터 등숙기간 40일간의 기온 및 일조시간과 벼 수량과의 관계식에서 도출된 아래 식을 활용하였다(RDA, 1986).

$$CPI = DS [0.187 - 0.0034(T - 22.75)^2]$$

여기서 DS와 T는 각각 출수 후 40일간의 평균 일조시간과 평균기온이다.

기후등숙량(Climatic Yield Potential, CYP)은 출수기부터 등숙기 40일간의 평균기온과 등숙기 가장 적합한 온도와 회귀계수를 이용한 아래 식을 활용하였다(Hanyu *et al.*, 1966; Murakami, 1973; Ahn *et al.*, 2020).

$$CYP(\text{kg}/10\text{a}) = DS [\alpha - \beta(T_a - T_1)^2]$$

여기서 DS와 T<sub>a</sub>는 각각 출수 후 40일간 일 누적일조시간과 평균기온이며, T<sub>1</sub>은 등숙적합 온도 21.4°C이고, 회귀계수  $\alpha$ 는 4.14,  $\beta$ 는 0.13이다.

과거 벼 생육 데이터는 농촌진흥청 작물연구 통합 정보 시스템에서 제천 지역적응시험의 오대벼 자료를 수집하였으며, 1986년부터 2020년까지 35년간의 값을 5년 주기 평균값으로 비교하였다.

### 재배방법

시험2를 수행하기 위하여 종자소독은 60°C에서 10분간 온탕침지 후, prochloraz 유제로 32°C에서 48시간 소독하였다. 이양하기 30일 전 파종하여 못자리 육묘를 하였고,

이앙시기는 2019년부터 2020년까지 조생종은 5월 30일부터 6월 30일까지, 중생종은 5월 20일부터 6월 20일까지, 2018년부터 2020년까지 중만생종은 5월 10일부터 6월 10일까지 출수생태형별로 각각 10일 간격, 4회 이앙을 실시하였다. 재식거리는 30 × 12 cm로 주당 3~5본씩 식재하였다. 10 a 당 시비량은 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 10:6.4:7.8 kg으로 기비 50%. 분얼비 25%, 수비 25%의 분시비율로 시용하였다. 병해충은 7월 상순과 하순에 각각 살충제와 살균제로 방제하였다. 기타 재배관리는 농촌진흥청 표준재배법에 준하였다.

### 생육, 수량구성요소와 수량 및 미질특성

출수기는 시험구 40~50%의 포기가 출수에 이른 날로 하였다. 등숙성기에 간장, 수장, 수수를 반복 당 20주, 수당립수는 3주를 선정 후 채취하여 조사하였다. 등숙비율은 비중이 1.06인 소금물에 수선하여 백분율로 구하였고, 쌀수량은 100주를 예취하여 정조중을 측정 후 10 a로 환산하였다.

백미의 단백질 및 아미로스함량은 근적외선분석기(Foss Infratec 1241, Sweden)를 이용하여 측정하였다. 쌀의 외관 특성은 곡립관별기(RN-600, Kett, Japan)를 이용하여 완전립, 분상질립, 찌라기, 피해립 등을 측정하였다.

### 통계분석

생육 및 수량 등은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준에 의하여 조사하였으며, 각 항목의 평균치간의 유의성은 One-way ANOVA를 이용하여 Duncan's multiple range test 5% 유의수준에서 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 충북부중산간지의 오대벼 재배 35년간 기상환경 분석

기온상승은 전 세계적으로 2000년대 이후 급격히 높아졌고, 특히 2010년대 이후 가속화되어 우리나라도 지속적으로 증가될 것으로 예상된다(NASA, 2021). 충북 제천지역의 10년 주기 재배 기상환경은 Fig. 1과 같다. 일 평균기온은 8월까지 2010년대가 가장 높았다.

그러나 제천지역의 등숙후기인 9월에는 1980~1990년대보다 2010년대가 높았으나 늦장마, 태풍 등의 영향으로 2000년대보다 낮았던 것으로 판단된다. 이러한 기상이변으로 일 평균 일조시간은 2000년대가 가장 높았고, 2010년대는 출수기 이후 가장 낮은 경향이였다. 경북지역은 2010년대가 1990년대, 2000년대보다 높아 충북지역과 다른 경향이었는데, 이는 벼 재배지대의 차이로 생각되었다(Shin *et al.*, 2020).

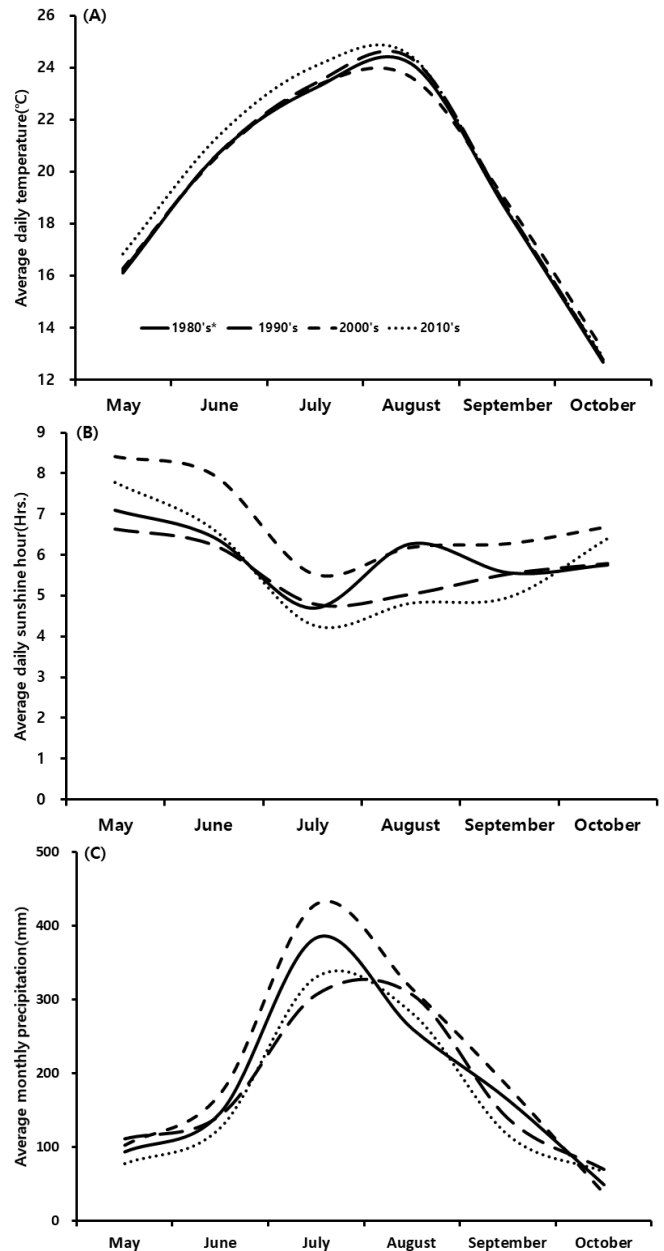
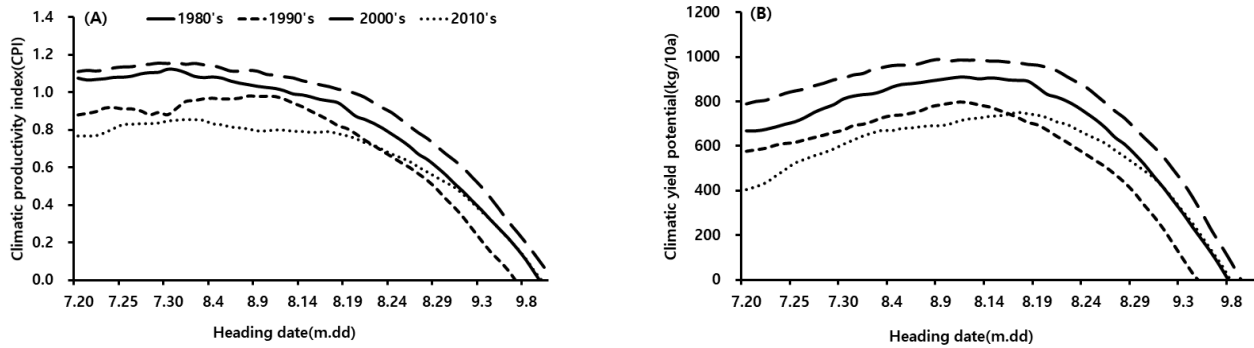


Fig. 1. Meteorological condition of air temperature (A), sunshine hour (B), precipitation (C) over the last four decades in Jecheon in the central northern mid-mountainous area.

10년 주기 제천지역의 온도와 일조시간을 바탕으로 출수 시기별 도출된 기후생산력지수(CPI)와 기후등숙량(CYP)은 Fig. 2와 같다. CPI는 출수시기에 1을 기준으로 생산력의 정도를 파악할 수 있다. 2000년대에 일조시간이 많았기 때문에 가장 높았으며, 2010년대에는 가장 낮은 경향이였다. Shim *et al.* (2014)은 최근 들어 CPI가 감소되는 가장 큰 원인은 등숙기간의 지속적인 온도상승과 일조시간 부족이



**Fig. 2.** Climatic productivity index (A) and climatic yield potential (B) by rice heading date over the last four decades in Jecheon in the central northern mid-mountainous area.

**Table 1.** Growth, yield components and yield properties of Odaebyeo over 35 years (1986~2020) by regional adaptation test in Jecheon in the central northern mid-mountainous area.

Period <sup>†</sup>	Heading date	Culm length (cm)	No. of panicles/hill	No. of spikelets/panicle	Percent ripened grain (%)	1,000 grain weight (g)	Milled rice yield (kg/10a)	Environmental Change		
								ATTH <sup>‡</sup> (°C)	MTDAH (°C)	ADH (Days)
A	Aug. 1a <sup>¶</sup>	78a	16a	74a	79.6b	22.8c	486bc	2,854abc	23.4abc	74.2a
B	Aug. 3a	72ab	14ab	74a	78.0b	22.8c	450c	2,770c	22.3c	76.0a
C	July 28b	72ab	15ab	76a	81.4ab	24.0b	489bc	2,819bc	23.3bc	70.0b
D	July 26b	66b	14ab	73a	85.0ab	25.4a	545ab	2,853abc	23.4abc	68.0b
E	July 28b	71ab	14ab	76a	82.4ab	24.6ab	564a	2,852abc	23.6abc	70.2b
F	July 25b	72ab	13b	81a	86.0ab	24.0b	489bc	2,897ab	24.0ab	67.2b
G	July 24b	69ab	14ab	78a	88.8a	25.0ab	518ab	2,945a	24.8a	66.8b

<sup>†</sup>Quinquennial period, A : 1986-1990, B : 1991-1995, C : 1996-2000, D : 2001-2005, E : 2006-2010, F : 2011-2015, G : 2016-2020

<sup>‡</sup>ATTH : accumulated temperature from transplant to harvest, MTDAH : mean temperature 40 days after heading, ADH : average days from transplanting to heading date

<sup>¶</sup>Different letters in the same column are significantly different by ANOVA and Duncan's test, ( $p < 0.05$ ).

라 하여 제천지역의 CPI와 비슷한 경향이였다. CYP도 CPI와 비슷한 경향이였고, 지속적인 기온 상승으로 8월 19일 이후에는 1990년대보다 높아지는 경향이였으며, RCP 4.5와 8.5를 기준으로 예측한 우리나라 CYP와 같은 결과였다 (Ahn *et al.*, 2020).

### 중북부중산간지 오대벼 수량 및 수량구성요소의 35년간 변화

지난 35년간 제천지역의 오대벼 생육 및 수량구성요소를 5년 주기로 분석한 결과는 Table 1과 같다. 출수기는 온도에 반응하는 조생종의 특성상 지속적으로 앞당겨지고 있었으며, 이양부터 출수까지 생육시기가 줄어들기 때문에 간장과 수장이 다소 감소되는 경향이였다. 등숙률은 과거보

다 최대 10%, 현미 천립중도 증가되었는데, Lee (1995)는 자포니카와 통일형의 등숙적온의 범위를 21~26°C이며, 해당 온도 범위에서 등숙량이 가장 높다고 하여, 과거보다 등숙온도가 높아졌음에도 등숙률이 낮아지지 않은 것으로 판단되었다.

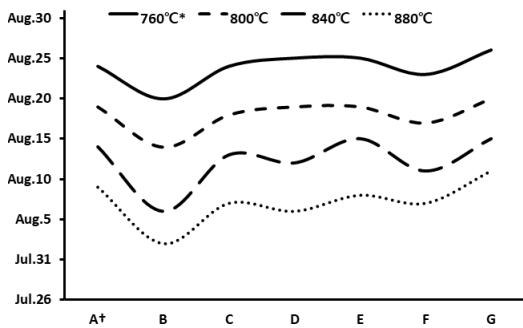
10 a 당 쌀수량은 2006~2010년에 가장 높았는데, 이 시기에는 일조시간이 다른 시기보다 길었고, 평균기온도 높았기 때문에 쌀수량에 많은 영향을 미친다는 결과와 같았다(Shin *et al.*, 2020). 특히 1980년대와 1990년대에 지역적응시험의 표준 시비량은 N-P-K=12-12-13 kg/10a를 사용하였기 때문에, 과거보다 생산량이 증가된 것은 시비량보다 기상변화가 더 큰 영향을 미쳤다고 판단되었다. 이는 Ito *et al.* (2009)과 Chen *et al.* (2013)에 따르면 벼 생육 중 높은

**Table 2.** Correlation coefficients for growth, yield, yield components, and meteorological conditions in Odaemyeong during 35 years.

	HD <sup>†</sup>	CL	NPH	NSP	PRG	TGW	MRY	ATTH	MTDAH	ASHTH	CPI
CL	0.30 <sup>ns‡</sup>										
NPH	0.33 <sup>ns</sup>	0.34 <sup>*</sup>									
NSP	-0.15 <sup>ns</sup>	0.24 <sup>ns</sup>	-0.22 <sup>ns</sup>								
PRG	-0.46 <sup>**</sup>	-0.38 <sup>*</sup>	-0.36 <sup>*</sup>	-0.09 <sup>ns</sup>							
TGW	-0.73 <sup>***</sup>	-0.36 <sup>*</sup>	-0.26 <sup>ns</sup>	0.12 <sup>ns</sup>	0.26 <sup>ns</sup>						
MRY	-0.40 <sup>*</sup>	-0.08 <sup>ns</sup>	0.20 <sup>ns</sup>	-0.03 <sup>ns</sup>	0.27 <sup>ns</sup>	0.51 <sup>**</sup>					
ATTH	-0.55 <sup>***</sup>	-0.01 <sup>ns</sup>	-0.26 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.48 <sup>**</sup>	0.33 <sup>ns</sup>	0.29 <sup>ns</sup>				
MTDAH	-0.58 <sup>***</sup>	-0.04 <sup>ns</sup>	-0.39 <sup>*</sup>	0.30 <sup>ns</sup>	0.46 <sup>**</sup>	0.41 <sup>*</sup>	0.21 <sup>ns</sup>	0.87 <sup>***</sup>			
ASHTH	-0.32 <sup>ns</sup>	-0.30 <sup>ns</sup>	0.13 <sup>ns</sup>	-0.22 <sup>ns</sup>	0.28 <sup>ns</sup>	0.43 <sup>**</sup>	0.30 <sup>ns</sup>	0.14 <sup>ns</sup>	0.17 <sup>ns</sup>		
CPI	-0.17 <sup>ns</sup>	-0.21 <sup>ns</sup>	0.17 <sup>ns</sup>	-0.27 <sup>ns</sup>	0.22 <sup>ns</sup>	0.22 <sup>ns</sup>	0.30 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	0.11 <sup>ns</sup>	0.96 <sup>***</sup>	

<sup>†</sup>HD : heading date, CL : culm length, NPH : number of panicles per hill, NSP : number of spikelets per panicle, PRG : percent ripened grain, TGW : thousand grain weight, MRY : milled rice yield, ATTH : accumulated temperature from transplant to harvest, MTDAH : mean temperature 40 days after heading, ASHTH : average daily sunshine hour from transplant to the harvest, CPI : climatic productivity index

<sup>‡</sup>ns : not significant, \*, \*\* and \*\*\*, significant at  $p = 0.05$ ,  $p = 0.01$  and  $p = 0.001$ , respectively.



**Fig. 3.** Late marginal heading date over the last four decades in Jecheon in the central northern mid-mountainous area.

\*Accumulated temperature for 40 days after heading

<sup>†</sup>Quinquennial period, A : 1986-1990, B : 1991-1995, C : 1996-2000, D : 2001-2005, E : 2006-2010, F : 2011-2015, G : 2016-2020

온도는 낮은 온도보다 비료를 더 흡수하므로 체내 질소와 탄소와 같은 필수원소의 함량이 더 높아 바이오매스를 증가시키므로 시비량을 줄여도 생산량 보전이 될 수 있을 것으로 생각되었다.

생육, 수량구성요소 및 수량과 기상요소와의 상관관계는 Table 2와 같다. 출수기는 이양부터 수확까지 적산온도 및 등숙률과는 부의 상관이었으며, 출수 후 40일간 평균기온, 등숙률과 천립중은 정의 상관관계가 성립되는 것으로 분석되어 기상환경 요인이 수량 및 수량구성요소에 큰 영향을 미친다는 결과와 비슷한 경향이였다(Lee, 1976; Shin *et al.*,

2020).

5년 주기의 출수 후 40일간 적산온도로 역산한 출수 한계기는 Fig. 3과 같다. 벼 안전 성숙을 위한 온도 범위는 출수 후 40일간 평균기온이 20~22°C로 일반계 품종의 안전 출수 한계기를 840°C, 출수 만한기를 800°C로 보면(Choi *et al.*, 2005), 제천지역의 출수 한계기는 지속적으로 늦어졌으며, 안전출수 한계기는 최근 5년간 8월 15일, 출수 만한기는 8월 20일로 분석되었다. 2000년 이후 기후자료를 바탕으로 한 제천지역의 최적 출수기는 8월 10일~13일이라고 하여(Seo *et al.*, 2020), 적산온도 880°C로 역산한 출수기인 8월 11일과 비슷한 결과였으며, 기온상승이 계속되는 한 출수 한계기는 점점 늦어질 것으로 판단되었다.

**충북지역 중북부중산간지의 중생종과 중만생종 적응성 검토**

충북지역 중북부중산간지 제천에서 벼 출수생태형별로 조생종, 중생종과 중만생종의 이양시기를 달리하여 재배한 결과는 Table 3과 같다. 중생종과 중만생종은 같은 이양시기에는 출수기 차이가 크지 않았으며, 출수 후 40일간 평균기온은 출수생태형별 마지막 이양시기를 제외하고 출수 만한기 이내였다. 출수생태형별 간장, 수수, 수당립수는 이양시기에 따라 큰 차이가 없었으나, 오대와 청품의 등숙률은 이양시기별 큰 차이가 있었고, 삼광은 통계적으로 유의하지 않았다. 이는 품종별 특성으로 판단되었다. 등숙기 18°C 미만에는 광합성량이 저하되지만, 자포니카형은 최저온도가 3~8°C라도 10일 정도는 계속 등숙하므로(Lee, 1995),

**Table 3.** Comparisons of growth characteristics and yield components by rice heading ecology type varieties as affected by different transplanting dates in Jecheon region.

Variety <sup>†</sup>	Trans-planting date	Heading date	MTDAH <sup>‡</sup> (°C)	Culm length (cm)	No. of panicles /hill	No. of spikelets/panicle	Percent ripened grain (%)	Brown rice recovery (%)	1,000 grain weight (g)
OD	May 30	Aug. 2	24.1	72a <sup>¶</sup>	15a	92a	86.7c	83.4a	24.2b
	June 10	Aug. 11	22.8	70ab	17a	83b	90.9ab	83.1a	24.0b
	June 20	Aug. 20	20.5	66b	15a	82b	93.2a	83.4a	24.6b
	June 30	Aug. 30	18.4	69ab	15a	89ab	90.1b	80.9b	26.6a
CP	May 20	Aug. 13	22.3	71a	15a	80b	93.8a	83.0ab	22.1a
	May 30	Aug. 16	21.5	72a	16a	88ab	94.0a	83.8a	21.5a
	June 10	Aug. 22	20.2	72a	16a	80b	92.8ab	83.5ab	22.1a
	June 20	Aug. 27	19.0	67a	15a	93a	90.3b	82.7b	22.3a
SK <sup>*</sup>	May 10	Aug. 12	22.2	76a	14b	84a	90.7a	83.4a	21.5c
	May 20	Aug. 14	21.6	73a	15ab	82a	91.4a	83.0a	21.7bc
	May 30	Aug. 17	20.9	73a	14b	84a	93.2a	83.2a	22.1b
	June 10	Aug. 23	19.8	76a	17a	84a	91.3a	83.4a	23.1a

<sup>†</sup>OD : Odae, CP : Cheongpum, SK : Samkwang

<sup>‡</sup>MTDAH : mean temperature 40 days after heading

<sup>¶</sup>Different letters in the same column are significantly different by ANOVA and Duncan's test, ( $p < 0.05$ ).

<sup>\*</sup>mid-late maturing type, examined for 3 years in 2018-2020

**Table 4.** Comparisons of rice quality characteristics by rice heading ecology type varieties as affected by different transplanting date in Jecheon region.

Variety <sup>†</sup>	Trans-planting date	Protein content (%)	Amylose content (%)	Rice quality (%)			
				Head	Chalky	Cracked	Damaged
OD	May 30	6.0a <sup>¶</sup>	19.1a	68.5c	19.2a	10.6ab	1.9a
	June 10	6.3a	17.9a	80.6b	10.8bc	7.6ab	1.1a
	June 20	6.6a	18.7a	86.3a	6.3c	6.1b	1.4a
	June 30	6.3a	19.6a	72.3c	14.2ab	11.9a	1.7a
CP	May 20	5.4c	17.7a	89.3b	6.1a	3.9a	0.7a
	May 30	5.7bc	18.1a	92.0ab	3.8b	3.5a	0.8a
	June 10	6.1ab	18.2a	92.5a	3.7b	3.1a	0.7a
	June 20	6.4a	18.0a	91.4ab	4.2b	4.1a	0.3b
SK <sup>*</sup>	May 10	5.1a	15.2a	87.4b	4.4a	4.3a	2.9a
	May 20	5.2a	15.8a	91.1a	2.6b	4.2a	2.1ab
	May 30	5.3a	16.6a	92.4a	2.9b	3.3a	1.5ab
	June 10	5.4a	17.3a	91.6a	3.3b	4.0a	1.1b

<sup>†</sup>OD : Odae, CP : Cheongpum, SK : Samkwang

<sup>¶</sup>Different letters in the same column are significantly different by ANOVA and Duncan's test, ( $p < 0.05$ ).

<sup>\*</sup>mid-late maturing type, examined for 3 years in 2018-2020

중북부중산간지에서도 중생종 또는 중만생종의 재배가 가능할 것으로 판단되었다.

단백질 및 아밀로스함량과 미질특성은 Table 4와 같다. 단백질과 아밀로스함량은 각 출수생태형 품종별로 증가되

는 경향이었으나, 연차간 차이로 인해 통계적으로는 유의하지 않았으며, 중생종 청품은 이앙시기가 늦어질수록 단백질 함량이 증가되는 경향이였다. 이는 Shimizu *et al.* (1994)과 Ko *et al.* (1998)과 같은 결과였다. 완전미율은 이앙시기별

로 조생종은 6월 20일, 중생종은 6월 10일, 중만생종은 5월 20일부터 6월 10일에서 가장 높았다. 분상질립과 싸라기의 발생은 완전미율과 반비례하였고, 특히 조생종 오대벼에서 많이 발생하였는데, 출수 후 10일간 평균기온이 26°C에 가까우면 품종에 따라 분상질립이 크게 증가되는 결과와 같았다(Hosoya, 2013). 분상질립 중 심백과 복백 발생의 출수 후 30일간 임계온도는 각각 27.28°C와 25.05°C라고 하여 (Masutomi *et al.*, 2015), 오대와 비슷한 수준이었다. 2000년대 이후 개발된 중생종 청품과, 중만생종 삼광은 온난화 적응 품종으로 미질 변화가 크지는 않았으나 초기 이양할 때보다 이양시기가 늦을수록 분상질립은 낮아지는 경향이 있었다.

출수생태형별 이양시기에 따른 10 a 당 쌀수량과 완전미 수량은 Fig. 4와 같다. 쌀수량은 조생종은 5월 30일과 6월 10일 이양, 중생종은 6월 10일 이양, 중만생종은 5월 20일과 5월 30일에서 가장 높았다. 완전미 수량은 조생종은 6월 10일부터 6월 20일까지, 중생종은 6월 10일, 중만생종은 5월 20일부터 6월 10일까지 높은 경향이였다. Choi *et al.* (2005)은 호남 평야지에서 벼 출수생태형별로 쌀수량이 가

장 높은 이양시기로 조생종 5월 30일, 중생종 5월 30일, 중만생종 6월 9일로 제시하였으며, Kang *et al.* (2005)은 본 시험과 같은 재배지대인 IV-1에서 이양시기와 쌀수량과의 상관관계는 고도로 유의하다고 하여 각 재배지대에 맞는 출수생태형별 적정 이양시기 구명이 필요하다고 생각된다.

완전미 수량이 가장 높은 이양시기를 회귀분석한 결과는 Fig. 5와 같다. 10 a 당 생산량은 조생종 460 kg, 중생종 550 kg, 중만생종 529 kg으로 중생종의 생산량이 가장 높았고, 최대 생산 가능한 이양시기는 조생종은 6월 15일, 중생종은 6월 5일, 중만생종은 5월 25일이였다. 이 시기에 이양할 경우 출수 한계기 이전에 출수하고, 출수 후 40일간 평균기온도 21°C보다 높아서 고품질 쌀을 안정적으로 생산할 수 있을 것으로 판단되였다. Yang *et al.* (2020)은 출수 후 40일간 평균기온이 오대는 21.9°C, 삼광은 21.5°C에서 쌀수량이 가장 높다고 하여 본 연구결과와 비슷하였다. Choi *et al.* (2011)은 출수 후 40일간 평균기온보다 출수 후 30일간 평균기온이 식미치를 대변할 수 있다고 하여 출수

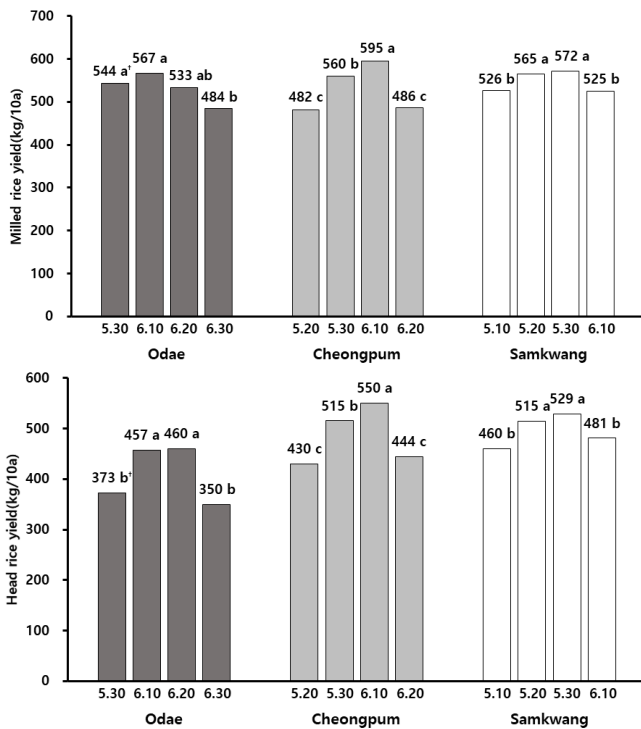


Fig. 4. Comparisons of milled rice yield and head rice yield by rice heading ecology type varieties as affected by different transplanting date in Jecheon region.

†Different letters in the same column are significantly different by ANOVA and Duncan’s test, ( $p < 0.05$ ).

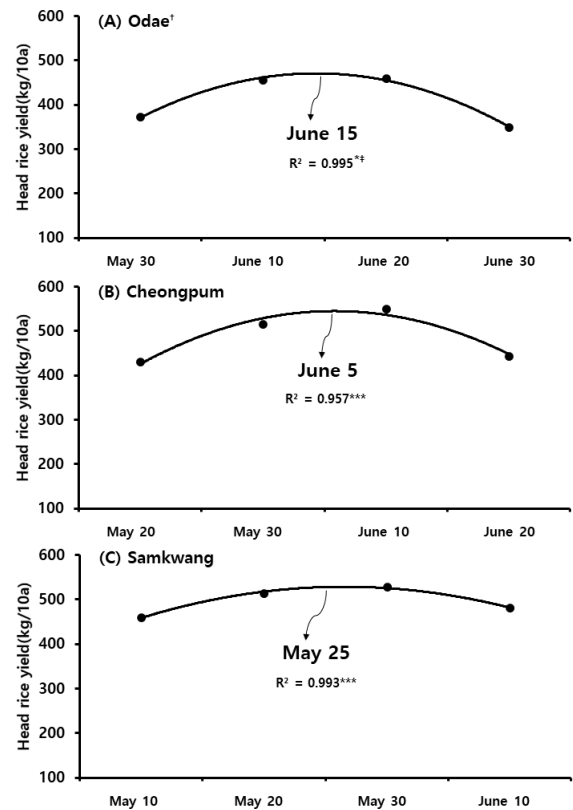


Fig. 5. Regression estimates of optimum transplanting date to produce high quality rice yield by heading ecology type in the central northern mid-mountainous area.

†Rice variety (A) Odae, (B) Cheongpum, (C) Samkwang  
 ‡\*, and \*\*\*, significant at  $p = 0.05$ , and  $p = 0.001$ , respectively.

후 30일간 평균기온이 22.2°C에서 식미치가 가장 높다고 하였는데, 본 시험에서 오대는 22.5°C, 청품은 22.0°C, 삼광은 22.3°C이므로 식미 역시 우수할 것으로 판단되며, Kang *et al.* (2005)에 따르면 식미는 이앙시기와 품종간 상호효과에 고도로 유의한 상관관계가 인정되므로 품종별 적기 이앙이 필요하다. 조생종 오대는 이앙시기별 완전미 수량의 차이가 심한 반면, 중생종 청품과 중만생종 삼광은 그 차이가 많지는 않았다. 2010년대에는 CPI와 CYP가 낮았음에도 1980년대와 1990년대보다 수량이 높았던 것은, 최근 육성품종은 온도 반응이 다르지만, 대체적으로 온난화에 적응된 품종이라는 의견과 같다고 생각되었다(Seo *et al.*, 2020). 특히 온도 상승과 CO<sub>2</sub>의 증가는 등숙기 전분합성의 문제로 인하여 미질과 식미가 낮아지므로(Hakata *et al.*, 2012; Jing *et al.*, 2021), 온도상승을 고려하여 중북부중산간지에도 중생종과 중만생종 재배가 가능하며, 조생종은 이앙시기를 늦추는 것이 품질 향상에 좋을 것으로 사료된다. 지구온난화는 탄소를 지속적으로 배출하는 한 계속될 것으로 예측되므로, 식량안보와 기후변화를 반영한 농산물의 안정적 수급을 위해서 더욱 심도있는 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

## 적 요

최근 지구온난화에 의해 기온이 상승하여 조생종을 주로 재배하는 중북부중산간지대에 중생종과 중만생종의 적응성을 검토하기 위해서 출수생태형별로 이앙시기를 달리해서 조생종 오대, 중생종 청품, 중만생종 삼광을 제천의 농가포장에서 시험한 결과는 다음과 같다.

1. 벼 생육에 영향을 미치는 기상요소 중 평균기온은 2010년대에 8월까지 가장 높았고, 다른 시기보다 월별로 0.7~0.9°C가 높았으며, 일조시간은 장마, 태풍 등으로 인한 기상이변으로 가장 낮은 수준이었다.
2. 지난 35년간 오대의 지역적응시험 결과 출수기는 점점 빨라지고 있으며, 이앙부터 출수기까지 재배일수가 짧아져 간장과 수수가 감소되었다. 과거보다 등숙률은 최대 10%, 천립중은 2 g 이상 증가되었으나, 품질과 직결되는 출수 후 40일간 평균기온은 많게는 2°C 이상 증가되었다.
3. 제천지역 안전출수한계기는 출수 후 40일간 적산온도 880°C 기준으로는 8월 11일, 840°C 기준으로는 8월 15일로 분석되었다.
4. 이앙시기별 출수생태형에 따라 생육은 비슷하였으나 이

앙시기별 최고, 최저 수준을 비교한 등숙률은 조생종 6.5%, 중생종 3.7%, 중만생종 2.5% 높았다. 쌀수량은 조생종 83 kg, 중생종 113 kg, 중만생종 47 kg 많았으며, 완전미율은 조생종 17.8%, 중생종 3.2%, 중만생종 5.0% 높았다.

5. 중북부중산간지에서 안전출수한계기 및 완전미수량을 고려한 이앙시기는 조생종은 6월 15일, 중생종은 6월 5일, 중만생종은 5월 25일이었으며, 본 시험 지역(IV-1)에서도 온난화로 인해 중생종과 중만생종이 안정적으로 재배될 수 있을 것으로 예상된다.

## 사 사

본 논문은 농촌진흥청 신농업기후변화대응체계구축사업(세부과제명 : 충북지역 벼 재배지대별 출수생태형과 이앙시기에 따른 수량성 및 품질 변동 연구, 세부과제번호 : PJ01508306)의 연구비 지원에 의해 이루어진 것임.

## 인용문헌(REFERENCES)

- Ahn, J. B., Y. H. Kim, K. M. Shim, M. S. Suh, D. H. Cha, D. K. Lee, S. Y. Hong, S. K. Min, S. C. Park, and H. S. Kang. 2020. Climatic yield potential of japonica type rice in the Korean peninsula under RCP scenarios using the ensemble of multi-GCM and multi-RCM chains. *Int. J. Climatol.* 41(Suppl. 1) : E1287-E1302.
- Chen, S., X. Zhang, X. Zhaoom, D. Wang, C. Xu, C. Ji, and X. Zhang. 2013. Response of rice nitrogen physiology to high nighttime temperature during vegetative stage. *Scientific World J.* 2013(649326) : 1-10.
- Choi, D. H., Y. S. Jung, B. C. Kim, and M. S. Kim. 1985. Zoning of agroclimatic regions based on climatic characteristics during the rice planting period. *Korean J. Crop Sci.* 30(3) : 229-235.
- 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, 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.
- Choi, W. Y., J. K. Nam, S. S. Kim, J. H. Lee, J. H. Kim, H. K. Park, N. H. Back, M. G. Choi, C. K. Kim, and K. Y. Jung. 2005. Optimum transplanting date for production quality rice in Honam plain area. *Korean J. Crop Sci.* 50(6) : 435-441.
- Hakata, M., M. Kuroda, T. Miyashita, T. Yamaguchi, M. Kojima,



- H. Sakakibara, T. Mitsui, and H. Yamakawa. 2012. Suppression of  $\alpha$ -amylase genes improves quality of rice grain ripened under high temperature. *Plant Biotech. J.* 10 : 1110-1117.
- Hanyu, J., T. Uchijima, and S. Sugawara. 1966. Studies on the agro-climatological method for expressing the paddy rice products. I. an agro-climatic index for expressing the quantity of ripening of the paddy rice. *Bulletin of Tohoku National Agricultural Experimental Station* 34 : 27-36.
- Horie, T. 1993. Predicting the effects of climatic variation and elevated CO<sub>2</sub> on rice yield in Japan. *J Agr. Met.* 48(5) : 567-574.
- Horie, T. 2019. Global warming and rice production in Asia : Modeling, impact prediction and adaptation. *Proc. Jpn. Acad., Ser. B* 95(6) : 211-245.
- Hosoya, K. 2013. Analysis on the occurrence of chalky rice grain taking into consideration all of the grains within a panicle. *J. Deveolp. Sustainable Agric.* 8 : 127-131.
- Ishigooka, Y., S. Fukui, T. Hasegawa, T. Kuwagata, M. Nishimori, and M. Kondo. 2017. Large-scale evaluation of the effects of adaptation to climate change by shifting transplanting date on rice production and quality in Japan. *J. Agric. Meteorol.* 73(4) : 156-173.
- Ishigooka, Y., T. Kuwagata, M. Nishimori, T. Hasegawa, and H. Ohno. 2011. Spatial characterization of recent hot summers in Japan with agro-climatic indices related to rice production. *J Agric. Meteorol.* 67(4) : 209-224.
- Ito, S., T. Hara, Y. Kawanami, T. Watanabe, K. Thiraporn, N. Ohtake, K. Sueyoshi, T. Mitsui, T. Fukuyama, Y. Takahashi, T. Sato, A. Sato, and T. Ohyama. 2009. *J. Agronomy and Crop Sci.* (published online).
- Jing, L., C. Chen, S. Hu, S. Dong, Y. Pan, Y. Wang, S. Lai, Y. Wang, and L. Yang. 2021. Effects of elevated atmosphere CO<sub>2</sub> and temperature on the morphology, structure and thermal properties of starch granules and their relationship to cooked rice quality. *Food Hydrocolloids* 112(106360) : 1-12.
- Jung, M. P., K. M. Shim, Y. S. Kim, S. C. Kim, and K. H. So. 2014. Changing trends of climatic variables of agro-climatic zones of rice in South Korea. *Climate Change Res.* 5(1) : 13-19.
- Kang, J. R., J. T. Kim, I. Y. Beg, and J. I. Kim. 2005. Effect of transplanting times on rice quality in mid-mountainous area. *Korean J. Crop Sci.* 50(S) : 33-36.
- Ko, J. K., K. S. Lee, H. T. Shin, and J. S. Shim. 1998. Characteristics of grain quality at different transplanting times among rice cultivars : II. Variation of some grain appearance and chemical components. *Korean J. Plant Res.* 11(1) : 4-69.
- Lee, C. K., J. H. Kim, J. Y. Shon, W. H. Yang, Y. H. Yoon, K. J. Choi, and K. S. Kim. 2012. Impacts of climate change on rice production and adaptation method in Korea as evaluated by simulation study. *Korean J. Agric. Meteorol.* 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, J. Y. 1976. The effect of the photosynthetic ability and the nutritional status on dry matter production and yield components of the rice plant at the latter half of the growth stage. *Korean J. Crop Sci.* 21(2) : 187-202.
- Lee, S. Y. 1995. Relationship among photosynthesis, grain filling and temperature of rice cultivars by shifted of heading date. *Korean J. Crop Sci.* 40(3) : 398-405.
- Lobell, D. B. and S. M. Gourdj. 2012. The influence of climate change on global crop productivity. *Plant Physiol.* 160 : 1686-1697.
- Lobell, D. B., W. Schlenker, and J. Costa-Roberts. 2011. Climate trends and global crop production since 1980. *Science* 333 : 616-620.
- Masutomi, Y., M. Arakawa, T. Minoda, and T. Yonekura. 2015. Critical air temperature and sensitivity of the incidence of chalky rice kernels for the rice cultivar "Sai-no-kagayaki". *Agric. Forest Meteorol.* 203 : 11-16.
- Masutomi, Y., T. Takimoto, M. Shimamura, T. Manabe, M. Arakawa, N. Shibota, A. Ooto, S. Azuma, Y. Imai, and M. Tamura. 2019. Rice grain quality degradation and economic loss due to global warming in Japan. *Environ. Res. Commun.* 1(121003) : 1-12.
- Matsui, T., K. Omasa, and T. Horie. 1997. High temperature-induced spikelet sterility of japonica rice at flowering in relation to air temperature, humidity and wind velocity conditions. *Jpn. J. Crop Sci.* 66(3) : 449-455.
- Mitsui T., H. Yamakawa, and T. Kobata. 2016. Molecular physiological aspects of chalking mechanism in rice grains under high-temperature stress. *Plant Prod. Sci.* 19(1) : 22-29.
- Morita, S., H. Wada, and Y. Matsue. 2016. Countermeasures for heat damage in rice grain quality under climate change. *Plant Prod. Sci.* 19(1) : 1-11.
- Murakami, T. 1973. Paddy rice ripening and temperature. *JARQ* 7(1) : 1-5.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). 2021. Global warming from 1880 to 2020. <https://climate.nasa.gov> (Accessed Mar. 29, 2021).
- Peng, S., J. Huang, J. E. Sheedy, R. C. Laza, R. M. Visperas, X. 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. USA* 101(27) : 9971-9975.
- Reddy, A. R., G. K. Rasineni, and A. S. Raghavendra. 2010. The impact of global elevated CO<sub>2</sub> concentration on photosynthesis and plant productivity. *Curr. Sci.* 99(1) : 46-57.
- Rural Development Administration (RDA). 1986. The characteristics of agricultural climate and countermeasures on rice meteorological disaster in Korea. Suwon, Korea. p. 194.
- Sang, W. G., H. S. Cho, J. H. Kim, P. Shin, J. K. Baek, Y. H. Lee, J. I. Cho, and M. C. Seo. 2018. *Korean J. Agric. Forest Meteorol.* 20(4) : 296-304.
- Seo, M. C., J. H. Kim, K. J. Choi, Y. H. Lee, W. G. Sang, H. S.

- Cho, J. I. Cho, P. Shin, and J. K. Baek. 2020. Review on adaptability of rice varieties and cultivation technology according to climate change in Korea. *Korean J. Crop Sci.* 65(4) : 327-338.
- Shim, K. M., K. A. Roh, K. H. So, G. Y. Kim, H. C. Jeong, and D. B. Lee. 2010. Assessing impacts of global warming on rice growth and production in Korea. *Climate Change Res.* 1(2) : 121-131.
- Shim, K. M., Y. S. Kim, M. P. Jung, and I. T. Choi. 2014. Change of climatic productivity index for rice under recent climate change in Korea. *Korean J. Agric. Forest Meteorol.* 16(4) : 384-388.
- Shimizu, H., H. Ohta, K. Miura, K. Fukui, and A. Kobayashi. 1994. Influence of heading date on eating quality, protein content and amylose content in rice. *The Hokuriku Crop Sci.* 29 : 37-39.
- Shin, J. H., C. M. Han, J. B. Kwon, J. S. Kim, and S. K. Kim. 2020. Effect of climate on the yield of 'Ilpum' rice cultivar in Gyeongbuk province, South Korea over the past 25 years. *Korean J. Crop Sci.* 65(4) : 264-273.
- Yamakawa, H. 2011. Omics-based approach for cereal starch biosynthesis: Toward a determination of key factors for quality of rice grain affected by high temperature. *J Appl. Glycosci.* 58 : 35-38.
- Yang, W. H., S. G. Kang, J. S. Choi, J. H. Park, and S. J. Kim. 2020. Optimum grain filling temperature for yield improvement of rice varieties originated from high-altitude area. *Korean J. Crop Sci.* 65(3) : 182-191.
- Yoshimoto, M., M. Fukuoka, T. Hasegawa, M. Utsumi, Y. Ishigooka, and T. Kuwagata. 2011. Integrated micrometeorology model for panicle and canopy temperature (IM<sup>2</sup>PACT) for rice heat stress studies under climate change. *J Agric. Meteorol.* 67(4) : 233-247.