

기후 변화에 따른 영남지역의 벼 출수적기 평가

김춘송 · 이재생 · 고지연 · 윤율수 · 여운상 · 이종희 · 광도연 · 신문식 · 오병근
농촌진흥청 작물과학원 영남농업연구소
(2007년 1월 25일 접수; 2007년 2월 16일 수락)

Evaluation of Optimum Rice Heading Period under Recent Climatic Change in Yeongnam Area

Choon-Song Kim, Jae-Saeng Lee, Jee-Yeon Ko, Eul-Soo Yun, Un-Sang Yeo, Jong-Hee Lee, Do-Yeon Kwak, Mun-Sik Shin, and Byeong-Geun Oh

Yeongnam Agricultural Research Institute, National Institute of Crop Science, RDA, Milyang, 627-803, Korea

(Received January 25, 2007; Accepted February 16, 2007)

ABSTRACT

This study was conducted to analyze the optimum heading period according to the recent climatic change for improvement of rice yield and grain quality in the Yeongnam area. We analyzed climatic elements including daily mean air temperature, daily range of air temperature, sunshine hours, and amount of precipitation from 1996 to 2005 in comparison with those of the 1971 to 2000 normal. Daily mean air temperature and amount of precipitation in the recent 10 years increased, but daily range of air temperature and sunshine hours decreased in comparison with the norm. Also, monthly mean air temperature was lowered remarkably in July and August. The monthly amount of precipitation largely increased in August and September. The daily range of air temperature and sunshine hours were greatly decreased from August to October. Possible cultivation periods for rice in the recent 10 years ranged from 171 days in Bonghwa to 228 days in Busan and was expanded about 1~13 days in comparison with the normal. Optimum heading date by local regions for the maximum climatic yield potential was estimated as July 31 at Bonghwa to September 7 at Busan, Masan, and Tongyeong in the recent 10 years. There was a wide difference in optimum heading date according to local regions of the Yeongnam area. Compared to the normal, optimum heading date in the recent 10 years was delayed about 1~8 days in most local regions except Bonghwa, Mungyeong, and Yeongdeok. These results suggested that it is necessary to develop late maturity rice cultivars for producing high yield and quality rice grain due to the recent climatic change. Moreover, it is still more important to select the most suitable cultivation period appropriate to the changed climate of each local region in Yeongnam area.

Key words : Climatic change, Climatic element, Optimum heading period, Rice, Yeongnam area

I. 서 론

작물의 생산성을 결정하는 환경요인은 토양, 물 등 여러 가지가 있지만 가장 중요하면서도 조절하기 어려운 것이 기상환경이다. 과거 100년 동안 바다와 육지를 포함하는 지구의 평균기온은 약 0.6°C 상승하였으

며, 대체적으로 북반구의 고위도 육지에서 상승폭이 큰 것으로 나타났다(IPCC, 2001). 기후모델에 의하면 지구의 온도는 1990년에서 2100년 사이에 1.4~5.8°C 상승할 것으로 추정되며, 10년마다 0.1~0.2°C 상승할 것으로 전망된다(IPCC, 2001).

1904년부터 1990년까지 87년 동안 우리나라의 연평

균기온은 약 1°C 올라갔으며, 지역에 따라 상승폭의 편차가 큰 특징을 보였다. 현재 우리나라의 평년값은 1971년부터 2000년까지 30년 동안 관측된 기후요소들의 평균값이며(KMA, 2001), 그 이전의 평년 기후값과 비교하였을 때 겨울철의 저온일 발생빈도가 줄어들고 여름의 고온일이 증가하는 경향이였다. 따라서 겨울철 기간은 줄어들고 여름과 봄철기간은 늘어났으며, 남부지방에서 연강수량의 증가와 강수일수의 감소에 따르는 강우강도(연강수량/강수일수)가 약 18% 증가하였고, 일강수량 50 mm 이상의 호우일수도 22~25% 증가하였다(Kwon, 2003). Yun(2002)은 1951~1980년 평년기온대비 현재(1971~2000년) 남한지역의 일평균기온이 지구온난화에 의하여 최대 0.6°C 상승하였으며, 일최저기온보다는 일최고기온의 상승폭이 컸고, 도시화에 따른 온도상승효과는 0.3~0.5°C로 주로 일최저기온의 상승에 영향을 주었다고 보고하였다.

1970년대 이후 우리나라에서 기후변화에 따른 기상이변으로 농작물의 피해가 빈번하게 발생하였는데 폭풍우에 의한 피해가 가장 많았고, 기상재해는 주로 농작물의 재배기간인 6~9월에 집중되었으며, 김해와 밀양에서 가장 많이 발생하였다(Shim *et al.*, 2003). 지구온난화로 인한 기온의 상승은 온대기후에서 작물의 생육가능기간이 늘어난다는 장점이 있으나, 지구온난화는 평균기온의 상승과 더불어 고온과 저온의 양극화 현상을 수반하기 때문에 이런 피해도 고려해야 된다고 보고되었다(Yun *et al.*, 2001). 벼 재배에 있어서는 현재의 재배시기를 고수할 경우 등숙기간의 고온으로 20~30% 감소될 것이 예상되나 재배시기를 옮기면 약 18%의 증수도 가능할 것으로 알려져 있다. Peng *et al.*(2004)은 지구온난화로 인해 벼 재배기간 중 밤의 온도가 1°C 올라갈 때 마다 벼 수확량이 10% 감소된다고 보고하였다. 일반적으로 등숙기의 낮 온도가 24~26°C이고 밤의 온도가 15°C 정도에서 등숙이 가장 좋다고 하며, 우리나라에서 자포니카 벼에 알맞은 등숙기간(출수 후 40일)의 일평균기온은 21.5°C로 알려져 있지만, 수량적인 측면에서 적정 등숙온도는 21~23°C라고 보고되었다(Yun and Lee, 2001). 한편, 농촌진흥청에서는 고품질 쌀을 생산하기 위한 최적 등숙온도를 20~22°C로 제시하고 있으며(RDA, 2004), Lee(2005)는 경북지역에서 고품질 쌀을 생산할 수 있는 최적 등숙평균기온은 20.8~21.0°C라고 보고하였다.

영남지방은 태백·소백산맥의 크고 작은 산으로 들

러싸인 내륙지방과 해안의 영향을 받는 남·동해안, 낙동강의 영향을 받는 중앙 저지대로 크게 구분할 수 있다. Köppen의 기후구분에 의하면 영남지역은 온대다우 기후지역(Cfa)에 속하며, 기상청에서는 경북동해안형, 경북내륙형, 경남해안형, 경남내륙형, 대구분지형으로 구분하고 있다. Choi *et al.*(1985)의 벼 재배를 위한 농업기후시대 구분에 의하면 영남지역은 봉화 등의 태백준고냉지대부터 거제, 남해의 남부해안지대까지 9개의 기후지대가 분포하고 있어 여러 작물을 비롯하여 다양한 생태계를 포함한다.

지역에 따라 기후의 연차변이가 큰 지역이 있고 안정된 지역도 있다. 일반적으로 작물의 주산지는 그 작물에 알맞은 기후의 연차변이가 크지 않은 지역에 형성되는 경향이다. 따라서 기후변화에 대응하여 벼 재배에 있어서도 그 지역의 환경요인에 적합한 재배시기와 출수기의 구명이 필요하다. 본 연구는 기후지대가 다양한 영남지역의 기후분석을 통하여 최근 기후의 변화양상을 살펴보고 평년의 출수적기에 비해 최근 10년의 출수적기가 어떻게 변하였는지를 밝혀 기후변화에 대응한 벼 재배의 안전성과 품질향상을 위한 기초 자료를 얻고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

기후 통계자료는 영남지역의 기상청 산하 기상대 및 기상관측소의 측정 기후값을 이용하였다. 영남지역에는 부산지방기상청을 중심으로 대구기상대, 진주기상대 등 23개의 기상대 및 기상관측소가 있으나 상주기상대는 2002년에 설치되어 기후값이 부족하므로 본 연구의 기후분석에서는 제외하였다(Fig. 1). 1971년부터 2000년까지의 평년 기후요소와 1996년부터 2005년까지의 최근 10년(준평년) 기후요소를 비교분석하여 기후변화 양상을 살펴보았다.

분석된 기후요소는 일평균기온, 일최고기온, 일최저기온, 기온일교차, 일조시간, 강수량 이었다. 벼 재배기간의 기후분석은 평년과 최근 10년의 5월에서 10월까지 기후요소값으로 비교하였고, 영남지역의 지역별 벼 등숙기 기상환경을 비교하기 위하여 밀양에서 중만생종의 출수기인 8월 15일을 기준으로 최근 10년의 출수 후 40일 기후요소값을 살펴보았다. 기후변화에 따른 벼 재배가능기간은 기계이앙재배를 기준으로 최근 10년의 일평균기온을 이용하여 벼 생육과 관련된 유효

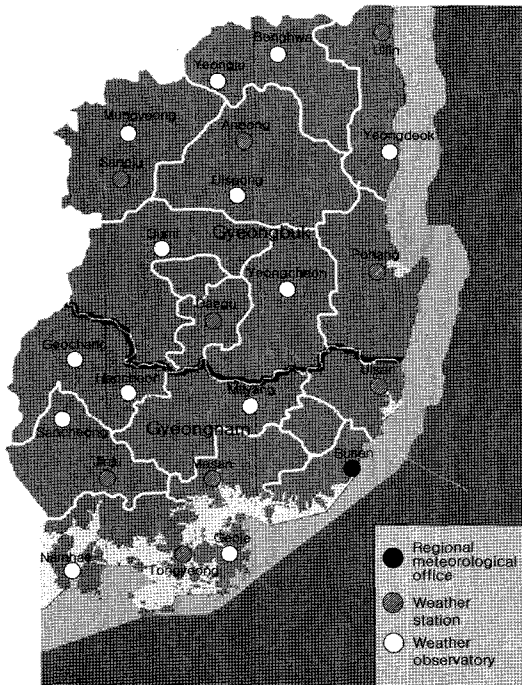


Fig. 1. The distribution of weather stations and observatories in Yeongnam area.

온도로 추정하였다. 출수가능기간은 고품질벼의 적정 등숙온도로 알려진 20~22°C를 기준(RDA, 2004)으로 등숙기 40일간 일평균기온 22°C가 처음 출현한 날부터 등숙기 40일간 일평균기온 20°C가 처음 출현한 날까지의 기간으로 산정하였다. 기후등숙량(Climatic yield potential)은 출수 최적기를 추정하기 위하여 사용되는데 등숙기 40일 동안의 일평균기온과 일조시간

을 이용하여 다음과 같이 구하였다(Son *et al.*, 2002).

$$\text{기후등숙량(kg/10a)} = S \{4.14 - 0.13(T-t)^2\} \quad (1)$$

S : 출수 후 40일간 일조시간

T : 등숙적온(Japonica = 21.4°C)

t : 출수 후 40일간 일평균기온

며 생육가능기간의 성숙한계일로부터 역산하여 40일 동안 하루간격의 이동평균으로 기후등숙량을 계산하였으며, 이들 기후등숙량 중 최대값을 보인 등숙기 40일의 최초일을 최적출수일로 추정하였다.

온도의 호흡촉진효과와 일조의 건물생산효과의 비를 의미하는 소모도장효과(Respiration consumption effect)는 다음의 공식으로 계산하였다(이, 1986).

$$\text{소모도장효과} = 10^{0.0301(t-10)/h} \quad (2)$$

t : 일평균기온

h : 일평균일조시간

III. 결과 및 고찰

3.1. 영남지역의 기후변화 특성

Table 1에서 보면 영남지역의 최근 10년(1996~2005년) 평균기온은 13.1°C 이고, 일조시간은 2,285시간이며, 기온 일교차와 강수량은 각각 10.5°C, 1,458 mm로서 평년에 비하여 평균기온은 0.3°C, 강수량은 188 mm 증가하였으나 기온일교차와 일조시간은 각각 0.2°C, 83시간 감소하였다. 야간기온과 관련이 있는

Table 1. Recent climatic changes by provinces of Yeongnam area

Period	Province	DMAT ¹⁾	MAAT ²⁾	MIAT ³⁾	DRAT ⁴⁾	SH ⁵⁾	TP ⁶⁾
		----- (°C) -----				(hr)	(mm)
Normal (1971~2000)	Gyeongnam	13.5	19.0	8.8	10.2	2,355.7	1,452.4
	Gyeongbuk	12.1	18.1	6.8	11.2	2,378.7	1,087.7
	Mean	12.8	18.5	7.8	10.7	2,367.2	1,270.1
Recent (1996~2005)	Gyeongnam	13.8	19.4	9.1	10.2	2,268.8	1,642.4
	Gyeongbuk	12.4	18.3	7.2	10.9	2,300.6	1,273.4
	Mean	13.1	18.9	8.2	10.5	2,284.7	1,457.9
Anomalies from normal	Gyeongnam	0.4	0.5	0.3	-0.1	-86.9	190.0
	Gyeongbuk	0.3	0.2	0.4	-0.3	-78.2	185.7
	Mean	0.3	0.3	0.4	-0.2	-82.5	187.8

¹⁾DMAT; Daily mean air temperature, ²⁾MAAT; Maximum air temperature, ³⁾MIAT; Minimum air temperature, ⁴⁾DRAT; Daily range of air temperature, ⁵⁾SH; Sunshine hours, ⁶⁾TP; Total precipitation

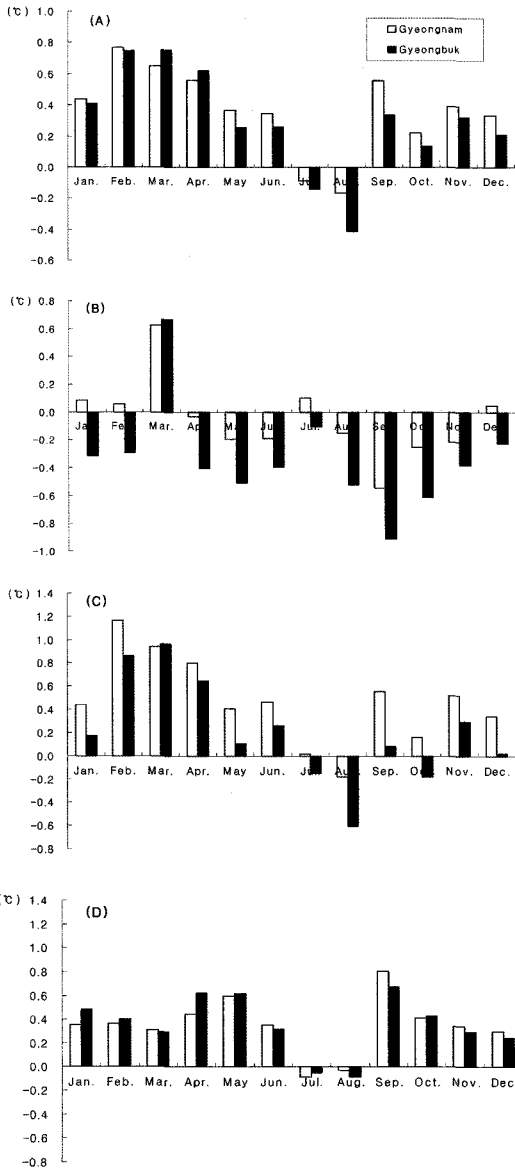


Fig. 2. Monthly anomalies from normal of daily mean air temperature (A), daily range of air temperature (B), daily maximum air temperature (C), and daily minimum air temperature (D) during recent 10 years.

일최저기온은 평균기온의 상승보다 약간 높은 0.4°C 상승하였다. 경남과 경북으로 살펴보면 기온특성과 강수량은 경남에서 높았으나 기온일교차와 일조시간은 경북에서 높았으며, 평년대비 최근 10년의 기온변화는 경북에서 일최저기온의 상승으로 기온일교차가 경남의 감소폭(0.1°C)에 비하여 크게 줄어드는 경향이였다.

최근 10년의 월별 기온특성과 평년 기온특성의 차

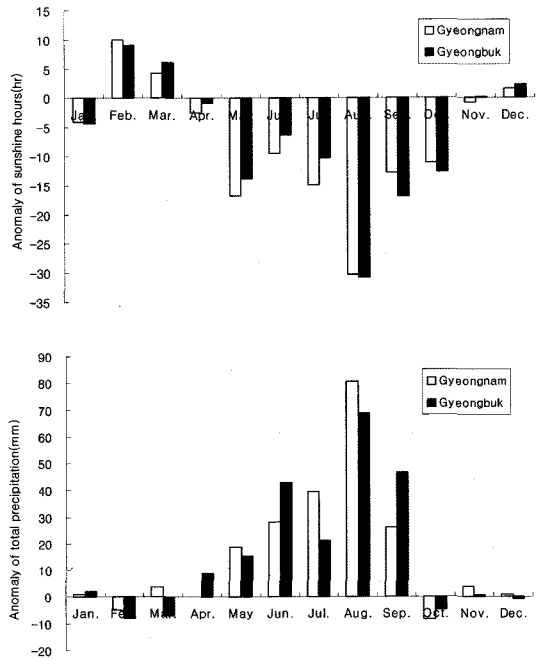


Fig. 3. Monthly anomalies from normal of sunshine hours and amount of total precipitation during recent 10 years.

이를 살펴본 결과(Fig. 2) 평균기온은 2~4월에 크게 상승하였고 7~8월에는 오히려 하강하였으며, 특히 경북지역의 하강 폭이 크게 나타났다. 이러한 결과는 Fig. 2의 C와 D에서와 같이 최저기온보다는 최고기온의 하강 폭에 의해 영향을 받은 것으로 분석되었다. 기온일교차는 3월에는 크게 증가하였으나 나머지 월에는 감소하는 경향이였으며, 특히 8월에서 10월에 걸쳐 크게 감소하였고, 그 하강 폭은 경북지역에서 현저하였다(Fig. 2C).

일조시간은 2월, 3월, 12월에 약간 증가하였으나, 나머지 월에는 감소하였고, 특히 8월에 크게 줄어들었다. 강수량은 전체적으로 증가하였으나, 겨울철에는 증가가 미미하였던 반면, 8~9월에 현저히 증가되는 특징을 보였다(Fig. 3). 이러한 결과는 평년의 경우 강수량이 7~8월에 많았으나 최근 들어 8~9월에 늘어나는 경향으로 벼 출수와 등숙 초기에 불리한 기상여건으로 작용할 것으로 생각된다.

3.2. 벼 생육기간의 영남지역 기후변화량

시나리오 기후자료에 의하면 100년 후 벼 생육기간 동안의 일최고기온은 약 5°C 상승하고, 일최저기온은 약 6°C 상승할 것으로 예상된다(Chung et al., 2006).

Table 2. Recent climatic changes by provinces of Yeongnam area during rice growing period (May~October)

Period	Province	DMAT ¹⁾	MAAT ²⁾	MIAT ³⁾	DRAT ⁴⁾	SH ⁵⁾ (hr)	TP ⁶⁾ (mm)
		----- (°C) -----					
Normal (1971~2000)	Gyeongnam	20.9	26.0	16.6	9.4	1,181.4	1,105.8
	Gyeongbuk	20.0	25.8	15.1	10.7	1,203.5	836.6
	Mean	20.5	25.9	15.8	10.1	1,192.4	971.2
Recent (1996~2005)	Gyeongnam	21.1	26.3	16.9	9.2	1,086.0	1,290.9
	Gyeongbuk	20.1	25.7	15.4	10.2	1,112.7	1,026.3
	Mean	20.6	26.0	16.2	9.7	1,099.4	1,158.6
Anomalies from normal	Gyeongnam	0.2	0.2	0.3	-0.2	-95.3	185.2
	Gyeongbuk	0.1	-0.1	0.3	-0.5	-90.7	189.7
	Mean	0.1	0.1	0.3	-0.4	-93.0	187.4

¹⁾DMAT; Daily mean air temperature, ²⁾MAAT; Maximum air temperature, ³⁾MIAT; Minimum air temperature, ⁴⁾DRAT; Daily range of air temperature, ⁵⁾SH; Sunshine hours, ⁶⁾TP; Total precipitation

Table 3. Anomalies from normal of climate during rice growing period (May~October) of recent 10 years

Province	Local regions	DMAT ¹⁾	MAAT ²⁾	MIAT ³⁾	DRAT ⁴⁾	SH ⁵⁾ (hr)	TP ⁶⁾ (mm)
		----- (°C) -----					
Gyeong-nam	Geoje	-0.1	0.0	0.1	-0.2	-162.9	291.8
	Geochang	0.3	0.3	0.5	-0.2	-87.1	229.0
	Namhae	0.1	0.1	0.3	-0.3	-110.0	238.7
	Masan	0.1	0	0.3	-0.3	-14.0	182.6
	Milyang	0.2	0.2	0.4	-0.3	-86.6	123.5
	Busan	0.2	0.3	0.3	0	-60.6	174.9
	Sancheong	0.0	-0.1	0.2	-0.5	-142.3	202.5
	Ulsan	0.4	0.2	0.8	-0.6	-68.8	113.8
	Jinju	0.4	0.6	0.3	0.2	-41.6	129.6
	Tongyeong	0.3	0.3	0.3	-0.1	-19.7	178.7
Hapcheon	0.3	0.6	0.3	0.2	-255.2	171.8	
Gyeong-buk	Gumi	0.6	0.5	0.8	-0.5	-112.7	176.1
	Daegu	0.4	0	0.8	-1.0	-91.6	175.5
	Mungyeong	-0.6	-0.6	-0.4	-0.3	-154.8	236.2
	Bonghwa	-0.2	-0.4	-0.1	-0.5	139.8	162.0
	Andong	0.0	-0.1	0.1	-0.3	-95.3	110.4
	Yeongdeok	-0.4	-0.6	0.1	-0.8	-148.8	233.6
	Yeongju	0.1	0	0.3	-0.5	-139.1	226.5
	Yeongcheon	0.2	0.2	0.3	-0.2	-67.7	160.2
	Uljin	0.1	0.1	0.4	-0.4	-157.3	201.5
	Uiseong	0	0	0.2	-0.3	-174.4	156.7
Pohang	0.5	0.2	0.9	-0.8	3.9	248.3	

¹⁾DMAT; Daily mean air temperature, ²⁾MAAT; Maximum air temperature, ³⁾MIAT; Minimum air temperature, ⁴⁾DRAT; Daily range of air temperature, ⁵⁾SH; Sunshine hours, ⁶⁾TP; Total precipitation

영남지역에서 벼 생육기간의 기후변화 특성을 살펴보기 위하여 평년과 최근 10년의 기후요소를 비교분석하였다(Table 2). 평균기온은 20.6°C 이었으며, 기온일교차와 일조시간, 강수량은 각각 9.7°C와 1,099시간,

1,158 mm로서 평년과 비교하여 평균기온은 0.1°C 상승하였으나 기온 일교차는 0.4°C 줄어들었고, 일조시간은 93시간 감소하였으며, 강수량은 187 mm 늘어났다. 일평균기온, 최고기온, 및 최저기온은 경남에서 상

승폭이 컸으며 기온일교차는 경북에서 더 많이 감소하였고, 일조시간은 경남에서 조금 더 줄어들었다.

평년과 비교한 최근 기후의 변화량을 분석한 결과 (Table 3), 일평균기온은 공업도시와 대도시 지역에서 0.4°C 이상으로 상승폭이 컸으나, 문경과 봉화, 영덕에서는 일평균기온이 내려가는 현상을 보였다. Yun (2002)의 보고에 의하면 지구온난화로 일최고기온의 상승폭이 증가하나 일최저기온의 상승은 도시화에 의한 온도상승효과에 기인한다고 하였는데, 이와 유사하게 본 연구에서도 일평균기온의 상승폭이 컸던 지역 중 공업도시인 울산, 구미, 포항, 대구 등에서 일최저기온의 상승폭이 일최고기온의 상승폭보다 현저히 큰 결과를 보였다. 따라서 기온일교차는 대구와 영덕, 포항, 울산에서 큰 폭으로 감소하였다. 벼 생육기간 중 일조시간은 평년에 비하여 봉화(140시간)와 포항(4시간)을 제외한 모든 지역에서 14~255시간 줄어들었고, 강수량은 모든 지역에서 110~292 mm 증가하였다.

일평균기온과 일평균 일조시간을 이용하여 계산한 소모도장효과의 경시적 변화를 평년과 최근 10년으로 구분하여 분석한 결과는 Fig. 4와 같다. 영남지역에서 소모도장효과는 6월부터 증가하기 시작하여 7월과 8월에 가장 높았으며, 9월과 10월에 급격히 감소하는 경향이였다. 평년에는 경북북 모두 7월에 가장 높았으나

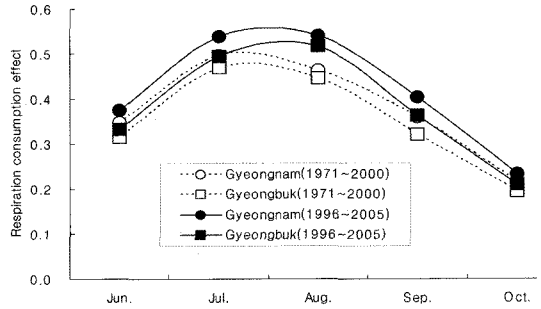


Fig. 4. Monthly respiration consumption effect during rice growing period.

Table 4. Climatic characteristics, climatic yield potential, and respiration consumption effect by local regions of Yeongnam area during the grain filling period of recent 10 years (40 days after rice heading at Aug. 15)

Province	Local regions	DMAT ¹⁾	MAAT ²⁾	MIAT ³⁾	DRAT ⁴⁾	CT ⁵⁾	SH ⁶⁾	TP ⁷⁾	CYP ⁸⁾	SRCE ⁹⁾
		-----(°C)----					(hr)	(mm)	(kg/10a)	
Gyeongnam	Geoje	23.3	27.4	19.7	7.7	931	240	362	885	18.5
	Geochang	21.5	27.4	17.1	10.4	858	223	330	923	16.9
	Namhae	23.5	28.1	20.2	7.9	941	230	392	816	19.1
	Masan	24.5	28.5	21.5	7.0	982	197	328	564	24.1
	Milyang	23.2	28.6	18.8	9.8	927	222	272	826	19.6
	Busan	24.8	27.7	21.3	6.4	957	220	273	726	20.6
	Sancheong	22.3	28.0	18.2	9.7	891	207	402	836	19.5
	Ulsan	23.5	27.4	20.3	7.1	939	189	298	676	23.8
	Jinju	23.5	28.7	19.4	9.3	942	202	324	716	21.9
	Tongyeong	24.1	28.0	21.2	6.8	963	215	291	691	21.2
Hapcheon	22.7	28.5	18.5	10.0	910	197	326	768	21.4	
Gyeongbuk	Gumi	22.6	28.1	18.4	9.7	905	210	292	831	19.7
	Daegu	23.7	28.2	20.1	8.1	948	189	287	654	24.1
	Mungyeong	21.0	26.5	16.8	9.7	842	229	288	943	16.1
	Bonghwa	19.8	26.0	15.0	11.0	791	220	297	838	15.4
	Andong	21.7	26.9	17.7	9.3	869	186	260	768	21.0
	Yeongdeok	21.3	25.5	17.9	7.6	851	241	343	998	15.4
	Yeongju	21.7	27.1	16.8	10.4	855	231	327	955	16.2
	Yeongcheon	22.3	27.7	18.0	9.7	893	215	278	868	18.7
	Uljin	21.4	25.0	18.2	6.8	857	210	361	867	18.5
	Uiseong	21.6	27.8	16.9	11.0	866	185	273	765	21.1
Pohang	23.4	27.0	20.7	6.3	938	195	326	702	23.5	

¹⁾DMAT; Daily mean air temperature, ²⁾MAAT; Maximum air temperature, ³⁾MIAT; Minimum air temperature, ⁴⁾DRAT; Daily range of air temperature, ⁵⁾CT; Cumulative daily mean air temperature, ⁶⁾SH; Sunshine hours, ⁷⁾TP; Total precipitation, ⁸⁾CYP; Climatic yield potential (eq. 1), ⁹⁾SRCE; Sum of respiration consumption effect (eq. 2)

최근에는 8월의 소모도장효과가 가장 크게 나타났다. 특히 경남에 비하여 경북에서 8월의 소모도장효과가 평년에 비하여 크게 증가하였다. 온난화로 인한 기온의 상승에 의하여 평년보다 최근 소모도장효과가 더 큰 결과를 보여 최근의 기상이 작물 건물생산측면에서 불리하게 작용할 것이며 이는 도시지역 인근에서 더 불리할 것으로 판단되었다.

3.3. 벼 등숙기간의 영남지역 최근 기후 특성

영남지역에서 벼 중만생종의 출수기를 8월 15일로 가정하여 출수 후 40일 동안의 시군별 최근 기후특성과 기후등숙량 및 소모도장효과를 분석하였다(Table 4). 영남지역에서 출수기를 8월 15일로 보았을 때 지역별로 등숙기간의 일평균기온의 분포범위가 19.8~ 24.8°C로서 매우 다양하였다. 경남지역에서는 거창과 산청, 합천을 제외한 모든 지역이, 그리고 경북지역에서는 대구

와 포항이 23°C 이상의 고온으로 등숙기간을 경과하게 되어 미립의 등숙과 품질면에서 불리할 것으로 생각된다. 이 경우 고품질 쌀 생산이 가능한 20~22°C의 등숙온도를 보인 지역은 경남의 거창과 경북의 문경, 안동, 영덕, 영주, 울진, 의성 등이었다. 영남지역에서 일평균기온이 가장 낮았던 봉화는 19.8°C의 등숙온도로써 중만생종의 벼를 재배하기에 불리한 여건이었다. 벼 수량에 대한 등숙기 기상 기여도는 기온일교차>일조시간>일평균기온의 순으로 알려져 있는데(Son *et al.*, 2002), 기온일교차를 분석한 결과 거창과 합천, 봉화, 영주, 의성이 10°C 이상으로 등숙에 가장 유리하였고, 그 외 밀양, 산청, 진주, 구미, 문경, 안동, 영천 등이 9°C 이상으로 유리한 조건이었다. 등숙기 기온일교차의 관점에서 주로 남부해안과 동해안 지역이 등숙에 불리한 지역에 속하였다. 영남지역에서 등숙기 적산온도의 범위는 791~982°C로서 모든 지역이 자포니카 벼의 등

Table 5. Possible period of rice cultivation and cumulative daily mean air temperature by local regions of Yeongnam area

Gyeongnam	Period	Appearance date		GP ³⁾ (days)	CT ⁴⁾ (°C)	Gyeongbuk	Period	Appearance date		GP (days)	CT (°C)
		FD10°C ¹⁾	LD15°C ²⁾					FD10°C	LD15°C		
Geoje	Normal	Mar. 28	Oct. 21	208	4,161	Gumi	Normal	Apr. 5	Oct. 6	185	3,764
	Recent	Mar. 27	Oct. 25	213	4,223		Recent	Mar. 31	Oct. 14	198	4,063
Geochang	Normal	Apr. 7	Oct. 4	181	3,538	Daegu	Normal	Mar. 28	Oct. 18	205	4,257
	Recent	Apr. 7	Oct. 3	180	3,594		Recent	Mar. 25	Oct. 21	211	4,444
Namhae	Normal	Mar. 28	Oct. 21	208	4,210	Mungyeong	Normal	Apr. 5	Oct. 8	187	3,749
	Recent	Mar. 27	Oct. 25	213	4,304		Recent	Apr. 5	Oct. 11	190	3,696
Masan	Normal	Mar. 27	Oct. 29	217	4,492	Bonghwa	Normal	Apr. 17	Sep. 28	165	3,158
	Recent	Mar. 17	Oct. 26	224	4,576		Recent	Apr. 14	Oct. 1	171	3,201
Milyang	Normal	Apr. 4	Oct. 15	195	3,994	Andong	Normal	Apr. 5	Oct. 5	184	3,703
	Recent	Mar. 27	Oct. 14	202	4,121		Recent	Apr. 5	Oct. 11	190	3,805
Busan	Normal	Mar. 27	Oct. 28	216	4,316	Yeongdeok	Normal	Apr. 4	Oct. 15	195	3,795
	Recent	Mar. 14	Oct. 27	228	4,491		Recent	Mar. 28	Oct. 14	201	3,791
Sancheong	Normal	Apr. 4	Oct. 12	192	3,854	Yeongju	Normal	Apr. 5	Oct. 4	183	3,584
	Recent	Mar. 31	Oct. 14	198	3,931		Recent	Apr. 5	Oct. 11	190	3,721
Ulsan	Normal	Mar. 28	Oct. 21	208	4,173	Yeongcheon	Normal	Apr. 5	Oct. 12	191	3,827
	Recent	Mar. 25	Oct. 25	215	4,382		Recent	Apr. 5	Oct. 14	193	3,918
Jinju	Normal	Apr. 4	Oct. 15	195	3,990	Uljin	Normal	Apr. 4	Oct. 16	196	3,705
	Recent	Mar. 31	Oct. 14	198	4,105		Recent	Mar. 28	Oct. 15	203	3,788
Tongyeong	Normal	Mar. 28	Oct. 27	214	4,274	Uiseong	Normal	Apr. 7	Oct. 4	181	3,614
	Recent	Mar. 17	Oct. 27	225	4,445		Recent	Apr. 7	Oct. 3	180	3,597
Hapcheon	Normal	Apr. 4	Oct. 13	193	3,934	Pohang	Normal	Apr. 3	Oct. 21	202	4,123
	Recent	Apr. 1	Oct. 14	197	4,034		Recent	Mar. 25	Oct. 25	215	4,402

¹⁾FD10°C: First appearance date of daily mean air temperature of 10°C, ²⁾LD15°C: Last appearance date of daily mean air temperature of 15°C, ³⁾GP; Growing period, ⁴⁾CT; Cumulative daily mean air temperature

속 적산온도인 760°C(Kim *et al.*, 1985)를 상회하였다. 등숙기 일조부족은 유백미와 사미를 증가시켜 미질이 나빠지므로 일조시간이 많을수록 유리하다. 영남지역에서는 영덕, 거제, 영주, 남해에서 230시간 이상의 일조 시간을 보였고, 다음으로 문경, 거창, 밀양, 부산, 봉화가 220시간 이상으로 일조시간이 길었다.

최근 10년의 기후등숙량(식 1)과 소모도장효과(식 2)를 분석한 결과, 기후등숙량은 경남의 거창, 경북의 영덕, 문경, 영주가 900 kg/10a 이상으로 가장 높았고, 마산, 울산, 통영, 대구, 포항에서 가장 낮았다. 출수 후 40일 동안 소모도장효과의 합계는 마산과 울산, 대구, 포항에서 23 이상으로 월등히 높았으며, 경남 거창과 경북 봉화, 영덕, 문경, 영주에서 월등히 낮아 기후등숙량과 반대의 경향을 보였다.

3.4. 기후변화에 따른 지역별 벼 적정 출수기

3.4.1. 벼 생육가능기간

일반적으로 벼 재배에서 발아한계온도는 10°C로 알려져 있으며, 건답직파재배에서는 일평균기온 13°C의 첫 출현일을 파종시기로 보고 있다(Choi and Youn, 1994). 또한 이앙재배에서 이앙 시작일은 평균기온 15°C가 첫 출현한 날을 기준으로 하고, 성숙한계기는 등숙기 평균기온 15°C가 출현한 마지막 날을 기준으로 한다(Lee, 1983). 따라서 본 연구에서는 벼의 파종에서 수확까지 최대생육기간을 봄에 평균기온 10°C 첫 출현일부터 가을의 15°C 마지막 출현일을 기준으로 평년과 최근 10년으로 구분하여 설정하였다(Table 5). 최근 10년의 벼 최대 생육가능기간은 봉화의 171일부터 부산의 228일로 지역에 따라 큰 차이를 보였는데, 거창과 의성을 제외하면 평년에 비하여 1~13일 정도 늘어난 결과로서 남쪽의 경남지역에서는 봄에 평균기온 10°C의 첫 출현일이 빨라지는 경향이 뚜렷하였고, 북쪽의 경북지역에서는 가을에 평균기온 15°C의 마지막 출현일이 늦어져서 벼 생육가능기간이 증가하

Table 6. Heading period by local regions to produce high quality rice in Yeongnam area

Province	Local regions	Appearance date				Period (days)	
		FDMT22°C ¹⁾		FDMT20°C ²⁾		Normal	Recent
		Normal	Recent	Normal	Recent		
Gyeongnam	Geoje	Aug. 25	Aug. 25	Sep. 5	Sep. 6	12	13
	Geochang	Aug. 11	Aug. 12	Aug. 21	Aug. 24	11	13
	Namhae	Aug. 25	Aug. 27	Sep. 5	Sep. 7	11	12
	Masan	Sep. 1	Sep. 3	Sep. 12	Sep. 13	12	11
	Milyang	Aug. 21	Aug. 23	Aug. 31	Sep. 3	11	12
	Busan	Aug. 28	Aug. 31	Sep. 10	Sep. 12	14	13
	Sancheong	Aug. 17	Aug. 17	Aug. 27	Aug. 28	11	12
	Ulsan	Aug. 23	Aug. 26	Sep. 3	Sep. 7	12	13
	Jinju	Aug. 21	Aug. 25	Aug. 31	Sep. 4	11	11
	Tongyeong	Aug. 28	Aug. 31	Sep. 9	Sep. 12	13	13
Hapcheon	Aug. 19	Aug. 20	Aug. 28	Aug. 31	10	12	
Gyeongbuk	Gumi	Aug. 15	Aug. 19	Aug. 25	Aug. 30	11	12
	Daegu	Aug. 23	Aug. 27	Sep. 2	Sep. 6	11	11
	Mungyeong	Aug. 14	Aug. 10	Aug. 24	Aug. 21	11	12
	Bonghwa	Aug. 5	Jul. 31	Aug. 16	Aug. 14	12	15
	Andong	Aug. 16	Aug. 14	Aug. 25	Aug. 25	10	12
	Yeongdeok	Aug. 15	Aug. 10	Aug. 27	Aug. 25	13	16
	Yeongju	Aug. 11	Aug. 12	Aug. 21	Aug. 23	11	12
	Yeongcheon	Aug. 16	Aug. 17	Aug. 26	Aug. 28	11	12
	Uljin	Aug. 12	Aug. 11	Aug. 26	Aug. 26	15	16
	Uiseong	Aug. 14	Aug. 13	Aug. 23	Aug. 24	10	12
Pohang	Aug. 22	Aug. 26	Sep. 3	Sep. 8	13	14	

¹⁾FDMT22°C : First appearance date of moving mean air temperature of 22°C during 40 days of ripening periods

²⁾FDMT20°C : First appearance date of moving mean air temperature of 20°C during 40 days of ripening periods

였다. 벼 육묘기간을 30일로 보았을 때 영남지역의 이 양부터 수확까지 생육기간은 141~198일로서 Choi *et al.*(1985)의 벼 생육가능 기간보다 늘어난 결과를 보였다. Choi *et al.*(1985)에 의하면 봉화는 태백준고냉지 대로서 벼 이앙 후 생육가능기간이 130일 이하 지역에 속하였으나 현재는 141일 정도이고, 남부해안지대인 마산은 170~180일을 보였으나 현재는 190일 이상으로 약 10일 정도 증가한 것으로 분석되었다. 이에 따라 벼 생육기간의 적산온도도 평년에 비하여 증가하여 봉화를 제외한 전 지역에서 3500°C 이상을 보였다.

3.4.2. 벼 적정 출수기간과 최적 출수기 추정

고품질 쌀 생산을 위한 최적 등숙온도는 20~22°C 라는 보고(RDA, 2004)에 의해 출수 후 40일 동안의 평균기온이 22°C인 첫 출현일부터 그 후 등숙기 평균기온이 20°C가 되는 첫 출현일까지를 적정 출수기간으로 추정하였다. Table 6에서와 같이 영남지역에서

최근 10년의 고품질 쌀 생산을 위한 적정 출수 첫날 (평균기온 22°C 첫 출현일)은 봉화의 7월 31일부터 마산의 9월 3일까지 한 달 이상 차이가 있었고, 전체적으로 평년에 비하여 1~4일 늦어졌으나 경북의 북부 지역인 문경, 봉화, 안동, 영덕, 울진, 의성에서는 오히려 앞당겨지는 경향이였다. 최근 10년의 고품질 쌀 생산을 위한 적정 출수기간은 평년에 비해 1~3일 정도 늘어났는데, 경남의 경우 11~13일로 차이가 적었으나, 경북에서는 11~16일까지 편차가 심하였다. 최근 기후에서 경남지역은 주로 8월 하순에서 9월 상순, 경북지역은 8월 중순에서 8월 하순까지 적정 출수기간으로 분석되었으나, 경북에서 예외적으로 대구나 포항과 같이 연평균기온이 높았던 지역은 출수 첫날이 8월 하순으로 늦었으며, 상대적으로 적정 출수기간이 길었던 곳은 영덕, 울진, 봉화지역이였고, 특히 봉화지역은 적정 출수일이 다른 지역에 비하여 빨라서 중만생종 벼 보다는 조생종이 유리한 지역이였다. 영덕이나 울진과

Table 7. Optimum heading date by local regions based on maximum climatic yield potential during 40 days after rice heading

Province	Local regions	MCYP ¹ (kg/10a)			OHD ² (mm. dd)		
		Normal	Recent	Difference ³	Normal	Recent	Difference ⁴
Gyeongnam	Geoje	1,144	1,039	-105	Aug. 28	Aug. 28	0
	Geochang	1,021	935	-86	Aug. 15	Aug. 18	3
	Namhae	1,109	1,025	-84	Aug. 31	Sep. 1	1
	Masan	957	951	-6	Sep. 7	Sep. 7	0
	Milyang	1,033	956	-77	Aug. 24	Aug. 27	3
	Busan	972	965	-7	Sep. 1	Sep. 7	6
	Sancheong	1,008	890	-118	Aug. 19	Aug. 22	3
	Ulsan	888	853	-35	Aug. 28	Sep. 1	4
	Jinju	910	906	-4	Aug. 27	Aug. 28	1
	Tongyeong	971	985	14	Sep. 1	Sep. 7	6
Hapcheon	1,063	867	-196	Aug. 22	Aug. 27	5	
Gyeongbuk	Gumi	1,015	905	-110	Aug. 19	Aug. 27	8
	Daegu	952	884	-68	Aug. 28	Sep. 1	4
	Mungyeong	1,113	955	-158	Aug. 18	Aug. 11	-7
	Bonghwa	849	941	92	Aug. 11	Jul. 31	-11
	Andong	873	783	-90	Aug. 19	Aug. 19	0
	Yeongdeok	1,150	1,008	-142	Aug. 19	Aug. 17	-2
	Yeongju	1,091	967	-124	Aug. 18	Aug. 20	2
	Yeongcheon	996	914	-82	Aug. 19	Aug. 21	2
	Uljin	1,027	884	-143	Aug. 19	Aug. 20	1
	Uiseong	982	779	-203	Aug. 18	Aug. 18	0
Pohang	881	865	-16	Aug. 31	Sep. 1	1	

¹MCYP; Maximum climatic yield potential, ²OHD; Optimum heading date, ³Difference (kg/10a)=MCYP of Recent (1996~2005) - MCYP of Normal (1971~2000), ⁴Difference (day)=OHD of Recent (1996~2005) - OHD of Normal (1971~2000)

같이 동해안지역은 적정 출수기간이 16일로 가장 길었으나 실제로는 태풍 후 동반되는 건조풍에 의한 백수 현상과 동해안 냉조풍으로 인한 지형형 냉해 및 장해형 냉해로 인하여 출수기간이 8월 15일에서 8월 20일 전후로 더 짧아야 하므로 지역별 특수한 기상환경을 고려한 보다 정밀한 검토가 필요하다.

Table 7은 평년과 최근 10년의 기후자료를 이용하여 Table 5에서 구한 벼 생육가능기간의 성숙한계일로부터 역산하여 40일 동안 하루간격의 이동평균으로 기후등속량을 구하고, 이들 기후등속량 중 최대값을 보인 등속기 40일의 최초일을 최적출수일로 추정된 결과이고, Table 8은 최대 기후등속량을 보인 기간의 일평균기온과 일조시간, 소모도장효과를 분석한 결과이다. 최근 10년의 최대 기후등속량은 783~1,039 kg/10a의 범위로서 평년에 비하여 지역에 따라 4 kg/10a에서 최대 203 kg/10a까지 감소하였는데, 이는 Table 8에서 보는 바와 같이 일조시간의 감소와 소모도장효과 증가에 기인 한 것으로 판단된다. 반대로 통영과

봉화지역은 일조시간이 증가하고 소모도장효과가 감소하여 최대 기후등속량이 증가하였다. 최대 기후등속량을 보인 기간의 일평균기온은 평년과 최근 모두 약 21°C 전후로서 고품질 쌀 생산을 위한 등속적온에 해당되어 Lee(2005)의 결과와 유사하였으며, 최대 기후등속량은 일조시간이 많은 지역에서 높은 값을 보여 Son *et al.*(2002)의 보고에서처럼 일평균기온보다 일조시간에 의하여 더 큰 영향을 받는 것으로 분석되었고, 소모도장효과가 낮은 지역에서 최대 기후등속량이 높았다. 최대 기후등속량으로 추정된 최근 10년의 최적 출수일은 봉화의 7월 31일에서 마산, 부산, 통영의 9월 7일로 지역에 따라 차이가 심하였다. 특히 봉화와 문경은 태백산맥과 소백산맥상의 해발고도가 높은 지역으로서 최대 기후등속량으로 추정된 최적 출수일이 평년에 비해 일주일 이상 빨라져서 보다 정밀한 원인 분석과 출수 적기에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 봉화와 문경, 영덕을 제외한 최근 10년의 지역별 출수 최적일은 평년과 비교하여 거제와 마산, 안동,

Table 8. Daily mean air temperature, sunshine hours, and respiration consumption effect by local regions during 40 days after rice heading at optimum heading date

Province	Local regions	DMAT ¹⁾ (°C)		SH ²⁾ (hr)		SRCE ³⁾	
		Normal	Recent	Normal	Recent	Normal	Recent
Gyeongnam	Geoje	21.4	21.5	276	251	13.0	15.9
	Geochang	21.2	21.0	247	227	14.4	16.1
	Namhae	20.9	21.1	270	248	13.1	15.1
	Masan	20.9	21.2	233	230	15.6	16.1
	Milyang	21.4	21.3	249	231	14.5	16.7
	Busan	21.4	20.9	235	235	15.5	15.3
	Sancheong	21.5	21.2	244	216	15.1	17.2
	Ulsan	21.1	21.0	215	207	16.6	18.2
	Jinju	20.9	21.4	221	219	16.0	17.7
	Tongyeong	21.3	20.9	235	240	15.5	15.2
Hapcheon	21.3	20.9	257	211	14.0	17.5	
Gyeongbuk	Gumi	21.3	20.6	245	223	14.7	16.1
	Daegu	21.1	21.0	230	215	15.6	17.3
	Mungyeong	21.1	21.8	269	232	13.4	16.6
	Bonghwa	21.0	22.0	206	230	17.4	17.1
	Andong	21.4	21.1	211	190	17.4	19.8
	Yeongdeok	21.3	21.0	278	244	12.9	15.0
	Yeongju	20.7	20.6	267	239	13.0	14.9
	Yeongcheon	21.5	21.3	241	221	15.1	17.1
	Uljin	21.0	20.8	249	216	14.1	17.3
	Uiseong	21.1	21.1	238	189	15.0	20.1
Pohang	20.6	21.1	217	209	16.0	18.3	

¹⁾DMAT; Daily mean air temperature, ²⁾SH; Sunshine hours, ³⁾SRCE; Sum of respiration consumption effect

의성에서는 변화가 없었고, 대부분의 지역에서 1~8일 정도 늦어진 것으로 분석되었다. 따라서 지역에 따라 차이가 있지만 대체로 쌀 수량과 품질 향상을 위해서는 이앙시기를 조절하여 출수기를 늦출 필요가 있으며, 특히 중만생종 벼 품종을 개발할 때 보통기 재배에서도 출수기가 지금보다 늦은 품종을 육성하는 것이 유리할 것으로 사료된다. 한편, Chung et al.(2006)에 의하면 평년(1971~2000)의 출수기를 기준으로 미래의 벼 출수기를 추정한 결과 가까운 미래(2011~2040)에는 출수기가 일주일 정도 빨라지고, 먼 미래(2071~2100)에는 최대 20일까지 단축될 수 있고 수량 또한 감소할 것으로 보고하였다. 이는 지구온난화에 의하여 지금의 재배법을 적용할 경우 벼 생육속도가 빨라져서 야기되는 결과이므로 미래에는 출수기를 늦추기 위한 노력이 더욱 필요할 것으로 생각되지만, 다른 한편으로는 고온 등숙성이 높은 조생 또는 중생종 품종육성도 필요할 것으로 생각된다.

적 요

영남지역의 농업기후변화 양상을 살펴보고 기후변화에 대응하여 벼 재배의 안전성과 품질향상을 위한 기초 자료를 얻고자 영남지역 22개 기상대 및 기상관측소의 최근 10년(1996~2005년) 기후값을 평년(1971~2000년)과 비교하고 지역별 벼 생육 가능기간과 최적 출수기를 산정하였다. 영남지역의 최근 기후는 평년에 비하여 평균기온과 강수량은 상승하였으나 기온일교차와 일조시간은 감소하는 특징을 보였는데, 특히 7~8월의 기온은 오히려 낮아졌고, 8~9월의 강수량이 현저히 증가하였으며, 기온 일교차와 일조시간은 8~10월에 걸쳐 크게 감소하는 경향이였다. 최근 10년의 벼 생육 가능기간은 봉화의 171일부터 부산의 228일까지 매우 넓고 다양하였으며, 평년에 비하여 1~13일 정도 늘어났다. 고품질 쌀 생산을 위한 적정 출수기간은 평년과 비교하여 최근에 1~3일 정도 늘어났으며, 최대 기후등숙량을 기준으로 추정된 최근 10년의 최적 출수기는 봉화의 7월 31일에서 부산, 마산, 통영의 9월 7일로 지역에 따라 차이가 심하였다. 봉화와 문경, 영덕을 제외한 최근 10년의 지역별 출수 최적일은 평년과 비교하여 거제와 마산, 안동, 의성에서는 변화가 없었고, 대부분의 지역에서 1~8일 정도 늦어진 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 기후변화로 인하여 영남지역에서

도 고품질 쌀 생산을 위한 지역별 벼 재배적기와 적정 출수기의 재설정이 필요하며, 특히 중만생종 벼 품종 육성 시 기후변화를 감안하여 출수기를 현재보다 늦출 필요가 있을 것으로 생각된다.

REFERENCES

- Choi, D. H., and K. M. Youn, 1994: Agroclimatic zoning based on critical early seeding date in dry-seeded rice analyzed by daily mean air temperature. *Korean Journal of Crop Science* 39(5), 444-452. (in Korean with English abstract)
- 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 Journal of Crop Science* 30(3), 229-235. (in Korean with English abstract)
- 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 Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 8(4), 229-241. (in Korean with English abstract)
- IPCC, 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, 944pp.
- Kim, S. C., S. K. Lee, and G. S. Chung, 1985: Biological yielding potential of rice in association with climatic factors in Yeongnam region. *Korean Journal of Crop Science* 30(3), 259-270. (in Korean with English abstract)
- KMA, 2001: *Climatological Normals of Korea 1971~2000*. Korea Meteorological Administration, 368pp.
- Kwon, W. T., 2003: Outlook on climate change. *Proceedings of The Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology Conference*, 139-158.
- Lee, J. T., 1983: A probability method to determine rice cropping period based on temperature. *Korean Journal of Crop Science* 28(3), 285-290. (in Korean with English abstract)
- Lee, S. H., 2005: Analysis of rice quality and environmental factors based on different agricultural regions in Gyeongbuk province. Ph.D. Thesis Kyungpook national university, 95pp.
- Peng, S., J. Huang, J. E. Sheehy, 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. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101(27), 9971-9975.
- RDA, 2004: *The Production of High Quality Rice and Quality Control*. Rural Development Administration, 283pp.
- Shim, K. M., J. T. Lee, Y. S. Lee, and G. Y. Kim, 2003: Traits of agro-meteorological disasters in 20th century Korea.

- Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 5(4), 255-260. (in Korean with English abstract)
- Son, Y., H. W. Lee, S. Y. Kim, D. Y. Hwang, S. T. Park, and S. J. Yang, 2002: Relationship of climatic factors to rice yield in different area. *Yeongnam Agricultural Research Institute research report* 162-172. (in Korean with English abstract)
- Yun, J. I., 2002: Urbanization effect on the observed warming in Korea during the recent half century. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 4(1), 58-63. (in Korean with English abstract)
- 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)
- Yun, S. H., J. N. Im, J. T. Lee, K. M. Shim, and K. H. Hwang, 2001: Climatic change and coping with vulnerability of agricultural productivity. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 3(4), 220-237. (in Korean with English abstract)
- 이은웅, 1986: 사정 수도작. 향문사, 145-148.