

춘천지역의 기상요소가 벼 생육과 수량에 미치는 영향 해석

이안수*[†] · 김재록* · 조윤상* · 김용복* · 함진관* · 정정수* · 사종구* · 신진철**

*강원도농업기술원, **국립식량과학원

Analyzing the Effect of Climatic Variables on Growth and Yield of Rice in Chuncheon Region

An-Soo Lee*[†], Jae-Rok Kim*, Youn-Sang Cho*, Yong-Bog Kim*, Jin-Kwan Ham*, Jong-Gu Sa*, and Jin-Chul Shin**

*Gangwondo Agricultural Research and Extension Services, Chuncheon 200-939, Korea

**National Institute of Crop Science, Suwon 441-857, Korea

ABSTRACT Here we reported an analyzing result for the relationship between climatic variables and rice(c.v. Odaebyeo and Ilpumbyeo) yield characteristics (including some growth characteristics) based on a long-term observed data at GARES and at KMA for rice and weather, respectively. Most of crop parameters investigated, such as heading date, culm height, panicle number m⁻², grain number panicle⁻¹, ripening rate, 1,000 grain weight and yield were strongly affected by wind velocity and relative humidity, as well as by daily mean air temperature, precipitation, sunshine hours and daily variations in air temperature depending on variety and crop developmental stages. Air velocity and relative humidity had not been studied as climatic variables affecting on the characteristics of rice growth and yield, however, they turned out to affect all the characteristics of rice investigated, especially ripening rate and yield, as much as any other climatic variables in this study. Air velocity appeared to affect highly the culm height and yield of Odaebyeo and Ilpumbyeo. Relative humidity appeared to affect highly grain number and ripening rate of Odaebyeo and yield of Ilpumbyeo. Consequently Rice yield revealed to increase in the climatic conditions of high air velocity and low relative humidity.

Keywords : rice, growth, yield, climatic variable, air velocity, relative humidity

벼 생육 및 수량에 영향을 미치는 요인은 품종, 토양환경, 재배방법, 병해충 및 기상환경 등 여러 가지가 있으나 그 중에서 기상환경은 벼 생육에 큰 영향을 미친다.

작물의 광합성 같은 주요 생리작용을 정량적으로 연구하기 위한 작물생육모형이 40여 년 전부터 소개되기 시작하였는데(Loomis & Williams, 1963 ; Duncan *et al.*, 1967), 이러한 생육모형을 적용하기 위해서는 품종모수, 토양특성, 재배관리정보에 추가하여 기온, 일사량, 강수량 같은 매일 매일의 기상자료가 필요하다. 그러나 이렇게 입력자료가 갖춰진 생육모형일지라도 벼의 생육과 수량에 미치는 모든 요인을 완전히 고려하지는 못하므로 생육모형에 의한 작황 예측치는 실제작황과는 차이가 있을 수 있다(Cho & Youn, 1999). 벼 출수기, 수당립수, 등숙비율은 일조시수의 영향을, 간장과 천립중은 평균기온과 최고기온의 영향을, 수장은 최저기온과 강우량의 영향을, 정조·현미·백미수량은 최고기온 및 일조시수의 영향을 많이 받은 것으로 나타났다(Ahn, 2007).

등숙비율은 광합성과 호흡뿐만 아니라 광합성에 의하여 생성된 당질, 뿌리에서 흡수된 각종 무기영양의 이삭으로의 전류속도 등의 변화로 나타나는데, 영화의 등숙은 출수 전 10일부터 출수 후 30일까지의 기상조건의 영향을 크게 받는다(Tajima, 1965). 또한 기온이 25℃ 이상일 때에는 호흡량이 많아 등숙비율이 낮아지고 20℃ 이하에서는 잎에서 생성된 광합성 산물이 이삭으로의 이동이 저해되어 등숙비율과 천립중이 낮아지게 된다(Huh, 1987). 자포니카 벼가 최고수량을 내는 등숙기간의 평균기온은 22℃ 이고, 안전수량을 내는 일평균기온의 범위는 21~23℃이다(농촌진흥청, 1981 ; Youn & Lee, 2001). 그 외에도 최적등숙온도에 대한 연구(Sato & Takahashi, 1971 ; Yoshida, 1977)가 보고되어 있다. 현미의 비대는 출수 후 15~25일의 기온과 밀접한 관계가 있으며, 출수기가 적정시기보다 늦어지면 천립중이 저하되며, 등숙기 고온에 의해서도 현미천립중이 낮아진

[†]Corresponding author: (Phone) +82-33-248-6053 (E-mail) las9642@korea.kr <Received August 27, 2010>

다고 하였다(Park, 1975).

풍속과 상대습도는 증산량과 관계가 있고 증산량은 벼 생육 및 내병성에 영향을 미친다(개정 수도작, 1997)고 하였으나, 지금까지 풍속과 상대습도는 벼 재배시 냉해, 도복, 병해, 수발아 등 기상재해에 대해서만 다루어져 왔을 뿐(Ju et al., 2000 ; Hwang et al., 1998 ; Kim et al., 2000) 생육 및 수량에 미치는 영향에 대해서는 연구된 바 없었다.

따라서 본 연구에서는 기존에 활용되고 있는 기상요소에 풍속과 상대습도를 중점 조사분석하여 벼 생육 및 수량에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

재료 및 방법

연도 및 품종별 벼 생육 및 수량 성적은 강원도농업기술원에서 수행하고 있는 춘천지역 벼 작황조사시험 성적을, 기상자료는 기상청 자료를 활용하였다. 벼 작황조사시험은 국립식량과학원의 출연금 예산으로 매년 오대벼 등 5품종을 대상으로 실시하고 있는데, 본 연구에서는 조생종 오대벼와 중만생종 일품벼의 성적만을 이용하였다. 오대벼는 1988년, 일품벼는 1994년부터 시험품종으로 지정되어 데이터를 축적해 오고 있는데, 이들 품종의 누적된 생육 및 수량 성적과 기상청의 기상자료를 활용하여 기상과 벼 작황간의 관계를 분석하였다. 벼 작황조사 시험포장은 춘천 기상대의 인근에 위치하여 기상청 자료가 작황시험포장의 실제 기상을 잘 대변할 것으로 판단되었다.

Table 1에는 오대벼와 일품벼의 연도별 생육 및 수량, Table 2에는 각 품종 및 생육시기별 기상요소의 평균(또는 계) 및 범위를 나타내었다. 춘천지역에서 벼 작황조사시험시 파종 및 이앙은 매년 4월 25일 및 5월 25일에 각각 실시하였고, 시비방법은 농촌진흥청 벼 표준재배법에 따랐으며, 생육 및 수량 조사시 출수일수는 이앙일부터 출수기까지로 하였고 기타 조사방법은 농촌진흥청 농사시험연구조사기준에 준하였다.

벼 출수 이전의 기상이 벼 생육에 미치는 영향을 조사하

기 위하여 오대벼는 활착기(5월 25일~5월 31일), 유효분얼기(6월 1일부터 24일간), 무효분얼기(6월 25일부터 6일간), 생식생장기(7월 1일부터 출수전날까지), 출수전기(5월 25일부터 출수전날까지)로 생육단계를 구분하였다. 일품벼의 활착기와 유효분얼기는 오대벼와 동일하게 하였고 무효분얼기(6월 25일부터 출수 30일전까지), 생식생장기(출수전 30일간), 출수전기(5월 25일부터 출수전날까지)로 각 생육단계를 구분하였다.

Microsoft Office Excel 2007을 활용하여 연도 및 각 생육단계별 주요 기상요소들의 평균과 생육 및 수량 조사시간 결정계수를 구하였고, 이들의 제공근과 자유도별 상관계수를 비교하여 유의성을 검정하였다. 일부 상세한 관계구명이 필요한 부분에서는 분산형 차트를 통해 기상요소 값의 증감에 따른 벼 생육 및 수량성의 변화 양상을 살펴보았다. 등속기 기상은 출수기부터 40일간의 자료를 이용하였다.

결과 및 고찰

벼 출수일수, 간장, 수수 및 입수에 미치는 각 기상요소의 영향

출수기 이전의 주요 기상요소(일평균기온, 강수량, 일조시간, 기온일교차, 풍속, 상대습도)와 오대벼, 일품벼의 주요 생육조사치(출수기, 간장, m²당 수수 및 수당립수)간의 결정계수를 조사하였다. 출수기(Table 3. A)는 각 품종 및 생육단계별로 차이는 있지만 일평균기온, 강수량, 기온일교차, 풍속 및 상대습도의 영향을 받은 것으로 나타났다. 오대벼와 일품벼의 출수일수는 유효분얼기에 일평균기온의 영향을 매우 크게 받는 것으로 나타났는데 온도가 높을수록 출수가 빨라졌다. 오대벼는 온도변화에 따른 출수일수 그래프에서 기울기가 -1.6이었는데 반하여, 일품벼의 기울기는 약 -3.1로써 오대벼보다 2배나 더 민감한 반응을 보였다(Fig. 1). 이 결과는 유효분얼기의 일평균기온이 1℃ 상승하면 오대벼의 출수기는 약 1.6일, 일품벼는 약 3.1일 빨라진다는 것을 의미한다. 조생종 오대벼는 기본영양생장형 품종

Table 1. Characteristics of growth and yield in Odaebyeo('88~'09) and Ilpumbyeo('94~'09)

Varieties	Statistics	Days to heading (days)	Culm height (cm)	Panicle (no./m ²)	Grain (no./panicle)	Ripening rate (%)	1000 grain we. (g)	Yield of milled rice (kg/10a)
Odaebyeo	Average	68.3	76.0	374.4	79.2	81.8	24.8	505
	Range	65~74	64.6~87.4	293~455	70.3~87.9	56.4~91.8	23.0~27.2	386~622
Ilpumbyeo	Average	90.2	71.5	372.4	93.8	84.3	22.2	520
	Range	84~95	60.0~81.7	306~482	75.9~108.9	58.5~95.9	20.8~23.1	428~588

Table 2. Characteristics of climatic variables depending on rice developmental stages in Odaebyeo('88-'09) and Ilpumbyeo('94-'09)

Climatic variables	Varieties	Statistics	Rooting stage	Effective tillering stage	Nonproductive tillering stage	Reproductive growth stage	Ripening stage
DAT (°C)	Odaebyeo	Average	18.9	21.3	23.0	24.5	23.9
		Range	16.0~21.3	19.9~22.6	20.6~24.8	22.5~27.3	21.6~25.3
	Ilpumbyeo	Average	19.2	21.4	24.0	25.5	20.3
		Range	16.0~21.3	20.0~22.6	22.5~26.2	24.1~26.7	18.4~22.0
Pre. (mm)	Odaebyeo	sum	16	91	45	405	355
		Range	0~62	15~286	0~145	20~908	76~771
	Ilpumbyeo	sum	15	78	370	396	225
		Range	0~53	15~175	120~757	152~681	5~603
SH (hours/day)	Odaebyeo	Average	7.6	6.7	5.1	4.5	5.6
		Range	4.3~11.2	4.1~8.6	1.1~10.8	1.9~6.8	2.8~7.2
	Ilpumbyeo	Average	7.5	6.7	4.5	5.0	5
		Range	4.3~11.2	4.1~8.1	2.2~8.0	2.5~7.5	2.9~7.8
DVAT (°C)	Odaebyeo	Average	12.8	11.4	9.3	8.2	9.3
		Range	10.3~15.6	9.1~13.6	5.8~15.5	6.1~10.1	7.3~11.4
	Ilpumbyeo	Average	12.8	11.6	9.1	8.2	10.2
		Range	10.3~15.6	9.9~13.6	6.4~15.5	6.4~10.1	7.8~13.4
AV (m/sec)	Odaebyeo	Average	1.4	1.2	1.2	1.1	1.1
		Range	0.3~1.8	0.9~1.7	0.8~1.8	0.8~1.5	0.68~1.45
	Ilpumbyeo	Average	1.3	1.2	1.2	1.1	1.09
		Range	0.3~1.8	0.9~1.4	0.8~1.5	0.8~1.5	0.57~1.55
RH (%)	Odaebyeo	Average	67.0	71.4	76.1	80.3	79.8
		Range	52.7~80.9	64.5~84.2	58.9~90.3	74.3~87.3	74.4~85.5
	Ilpumbyeo	Average	66.4	70.6	79.1	80.4	78.9
		Range	52.7~80.9	64.5~84.2	69.8~85.4	73.5~89.0	70.0~83.8

Abbreviations : DAT for Daily Average Temperature, Pre. for Precipitation, SH for Sunshine Hours, DVAT for Daily Variations in Air Temperature, AV for Air Velocity, and RH for Relative Humidity

으로써 출수기가 평균기온의 영향을 받을 것으로 예상되었었고, 실제 결과도 예상을 벗어나지 않았다. 그러나 중만생종 일품벼는 일장감응형이 강한 품종으로 알려져 있는데, 본 연구에서는 유효분얼기 기온의 영향이 매우 큰 것으로 나타났다. 이것은 춘천에서 일품벼 유효분얼기의 일평균기온(20.0~22.4)이 생육적온에 비하여 크게 낮았다는 것을 의미하며, 낮은 온도에서 일품벼의 출엽속도가 늦어져서 결과적으로 출수기가 늦어진 것으로 추정된다. 그런데 지금까지의 다른 연구에서는 벼 생육에 영향을 미치는 기상요소로 고려되지 않았던 상대습도가 평균기온만큼이나 출수에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 상대습도와 출수일수의 관계 그래프(Fig. 2)에서 오대벼와 일품벼가 모두 상대습도 약

80% 부근에서 출수가 가장 늦었고 80%에서 멀어질수록 출수가 빨라지는 경향을 보였는데 이 원인은 앞으로 연구되어야 할 것으로 보인다.

간장(Table 3. B)은 품종과 생육단계에 따라 기상요소에 대한 반응이 상이하였다. 조생종인 오대벼의 간장과 관련이 있는 기상요소로는 활착기에는 평균기온 및 풍속, 유효분얼기에는 평균기온, 강수량, 일조시간, 일교차 및 상대습도이었다. 무효분얼기에는 강수량과 상대습도, 생식생장기에는 평균기온, 일교차, 출수전기에는 평균기온과 상관관계가 있어 생육단계별 이들 기상요인이 높거나 낮으면 간장이 커지는 결과를 보였다. 한편 일품벼는 간장에 관여하는 생육단계별 기상요인은 오대벼와 다소 다른 양상을 보였는데, 활착기

Table 3. Determination coefficients of the relationship between climatic variables and rice growth or yield parameters.

A) Days to heading

Climatic Element	Odaebyeo					Ilpumbyeo				
	RS	ETS	NTS	RGS	THP	RS	ETS	NTS	RGS	THP
DAT	0.078 ^{ns}	0.296 ^{**}	0.207 [*]	0.171 [*]	0.263 ^{**}	0.202 ^{ns}	0.689 ^{**}	0.001 ^{ns}	0.144 ^{ns}	0.452 ^{**}
Pre.	0.225 [*]	0.099 ^{ns}	0.039 ^{ns}	0.058 ^{ns}	0.045 ^{ns}	0.018 ^{ns}	0.042 ^{ns}	0.062 ^{ns}	0.130 ^{ns}	0.311 [*]
SH	0.114 ^{ns}	0.029 ^{ns}	0.096 ^{ns}	0.112 ^{ns}	0.049 ^{ns}	0.051 ^{ns}	0.089 ^{ns}	0.109 ^{ns}	0.087 ^{ns}	0.041 ^{ns}
DVAT	0.146 ^{ns}	0.168 [*]	0.101 ^{ns}	0.153 ^{ns}	0.071 ^{ns}	0.093 ^{ns}	0.032 ^{ns}	0.058 ^{ns}	0.215 ^{ns}	0.247 [*]
AV	0.031 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.218 [*]	0.112 ^{ns}	0.049 ^{ns}	0.113 ^{ns}	0.111 ^{ns}	0.309 [*]	0.142 ^{ns}	0.052 ^{ns}
RH	0.044 ^{ns}	0.170 [*]	0.066 ^{ns}	0.118 ^{ns}	0.248 [*]	0.046 ^{ns}	0.163 ^{ns}	0.237 [*]	0.021 ^{ns}	0.381 ^{**}

B) Culm height

Climatic Element	Odaebyeo					Ilpumbyeo				
	RS	ETS	NTS	RGS	THP	RS	ETS	NTS	RGS	THP
DAT	0.209 [*]	0.191 [*]	0.066 ^{ns}	0.213 [*]	0.253 [*]	0.176 ^{ns}	0.159 ^{ns}	0.166 ^{ns}	0.238 [*]	0.214 ^{ns}
Pre.	0.044 ^{ns}	0.304 ^{**}	0.287 ^{**}	0.131 ^{ns}	0.154 ^{ns}	0.010 ^{ns}	0.343 [*]	0.231 [*]	0.187 ^{ns}	0.356 ^{**}
SH	0.119 ^{ns}	0.230 [*]	0.117 ^{ns}	0.136 ^{ns}	0.023 ^{ns}	0.096 ^{ns}	0.282 [*]	0.129 ^{ns}	0.117 ^{ns}	0.104 ^{ns}
DVAT	0.068 ^{ns}	0.311 ^{**}	0.141 ^{ns}	0.286 ^{**}	0.200 [*]	0.261 [*]	0.562 ^{**}	0.049 ^{ns}	0.468 ^{**}	0.559 ^{**}
AV	0.471 ^{**}	0.100 ^{ns}	0.187 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.072 ^{ns}	0.502 ^{**}	0.035 ^{ns}	0.090 ^{ns}	0.048 ^{ns}	0.100 ^{ns}
RH	0.085 ^{ns}	0.207 [*]	0.205 [*]	0.080 ^{ns}	0.033 ^{ns}	0.052 ^{ns}	0.227 [*]	0.123 ^{ns}	0.337 [*]	0.020 ^{ns}

C) Panicle number m⁻²

Climatic Element	Odaebyeo					Ilpumbyeo				
	RS	ETS	NTS	RGS	THP	RS	ETS	NTS	RGS	THP
DAT	0.041 ^{ns}	0.044 ^{ns}	0.239 [*]	0.196 [*]	0.106 ^{ns}	0.109 ^{ns}	0.185 ^{ns}	0.146 ^{ns}	0.078 ^{ns}	0.144 ^{ns}
Pre.	0.012 ^{ns}	0.152 ^{ns}	0.051 ^{ns}	0.140 ^{ns}	0.266 ^{**}	0.048 ^{ns}	0.074 ^{ns}	0.608 ^{**}	0.059 ^{ns}	0.271 [*]
SH	0.129 ^{ns}	0.232 [*]	0.041 ^{ns}	0.398 ^{**}	0.310 ^{**}	0.103 ^{ns}	0.202 ^{ns}	0.572 ^{**}	0.005 ^{ns}	0.217 ^{ns}
DVAT	0.077 ^{ns}	0.128 ^{ns}	0.030 ^{ns}	0.445 ^{**}	0.394 ^{**}	0.379 ^{**}	0.259 [*]	0.143 ^{ns}	0.478 ^{**}	0.600 ^{**}
AV	0.263 [*]	0.249 [*]	0.221 [*]	0.062 ^{ns}	0.182 [*]	0.230 [*]	0.085 ^{ns}	0.062 ^{ns}	0.392 ^{**}	0.121 ^{ns}
RH	0.043 ^{ns}	0.057 ^{ns}	0.053 ^{ns}	0.151 ^{ns}	0.054 ^{ns}	0.081 ^{ns}	0.076 ^{ns}	0.254 [*]	0.241 [*]	0.024 ^{ns}

D) Grain number per panicle

Climatic Element	Odaebyeo					Ilpumbyeo				
	RS	ETS	NTS	RGS	THP	RS	ETS	NTS	RGS	THP
DAT	0.040 ^{ns}	0.073 ^{ns}	0.210 [*]	0.061 ^{ns}	0.018 ^{ns}	0.153 ^{ns}	0.012 ^{ns}	0.141 ^{ns}	0.382 ^{**}	0.265 [*]
Pre.	0.003 ^{ns}	0.127 ^{ns}	0.229 [*]	0.245 [*]	0.095 ^{ns}	0.198 ^{ns}	0.078 ^{ns}	0.301 [*]	0.092 ^{ns}	0.011 ^{ns}
SH	0.102 ^{ns}	0.384 ^{**}	0.287 ^{**}	0.112 ^{ns}	0.239 [*]	0.027 ^{ns}	0.101 ^{ns}	0.275 [*]	0.172 ^{ns}	0.002 ^{ns}
DVAT	0.061 ^{ns}	0.223 [*]	0.452 ^{**}	0.000 ^{ns}	0.192 [*]	0.266 [*]	0.067 ^{ns}	0.367 ^{**}	0.052 ^{ns}	0.138 ^{ns}
AV	0.023 ^{ns}	0.038 ^{ns}	0.083 ^{ns}	0.036 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.069 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.194 ^{ns}	0.269 [*]	0.094 ^{ns}
RH	0.151 ^{ns}	0.411 ^{**}	0.402 ^{**}	0.385 ^{**}	0.465 ^{**}	0.107 ^{ns}	0.049 ^{ns}	0.341 [*]	0.008 ^{ns}	0.118 ^{ns}

Abbreviations : RS for Rooting Stage, ETS for Effective Tillering Stage, NTS for Nonproductive Tillering Stage, RGS for Reproductive Growth Stage and THP for Transplanting to Heading Period

*, **Significant at 0.05 and 0.01 probability levels, ns : not significant

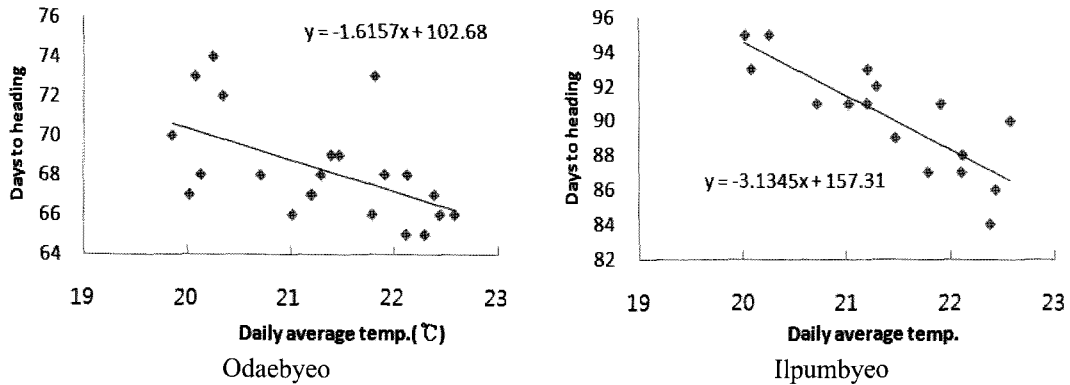


Fig. 1. The relations between days to heading and daily average temperature in ETS

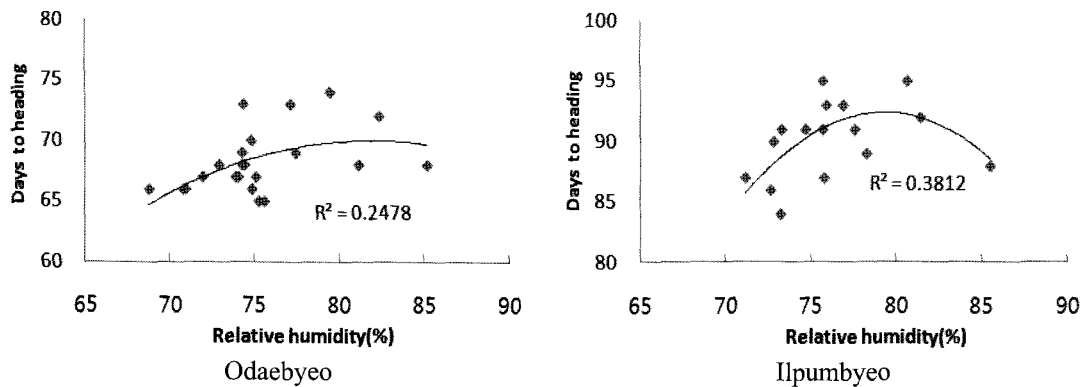


Fig. 2. The relations between days to heading and relative humidity until heading

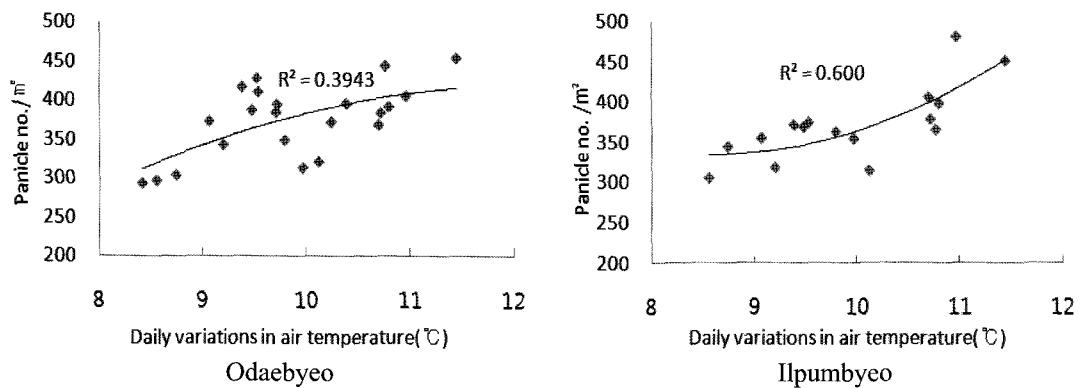


Fig. 3. The relations between panicle number and daily variations in air temperature until heading

에는 일교차 및 풍속, 유효분얼기에는 강수량, 일조시간, 일교차, 상대습도이었다. 무효분얼기에는 강수량, 생식생장기에는 평균기온, 일교차 및 상대습도의 영향이 나타났다.

m²당 수수(Table 3. C)도 품종과 생육단계에 따라 다소 다른 반응을 보였다. 오대벼의 m²당 수수와 관련이 있는 기상요소에는 활착기에 풍속, 유효분얼기에는 일조시간과 풍속이 있었고, 무효분얼기에는 평균기온과 풍속, 생식생장기

에는 평균기온, 일조시간, 일교차의 영향을 받은 것으로 나타났다. 일품벼는 활착기에 일교차와 풍속, 유효분얼기에는 일교차, 무효분얼기에는 강수량, 일조시간 및 상대습도, 생식생장기에는 일교차, 풍속 및 상대습도이었다. 오대벼와 일품벼의 m²당 수수는 공통적으로 생식생장기와 출수전기의 일교차와 높은 상관관을 보였는데, Fig. 3에서는 출수전기의 일교차가 커짐에 따라 두 품종의 m²당 수수가 크게 증가

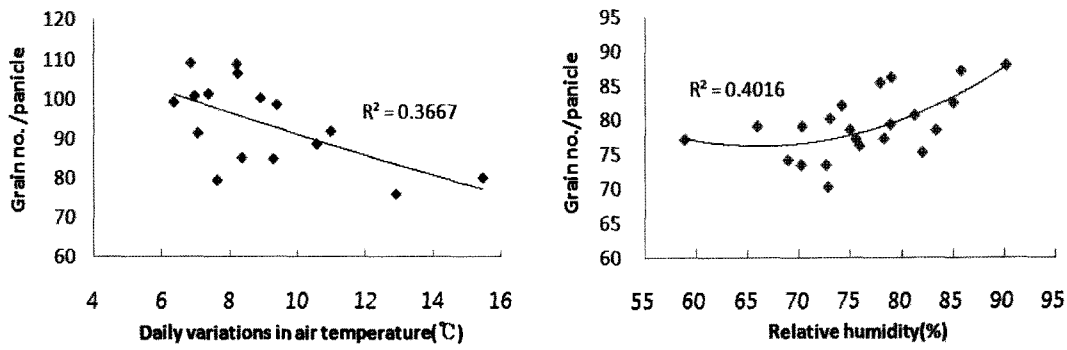


Fig. 4. The relations between grain number per panicle of Odaebyeo and daily variations in air temperature or relative humidity during nonproductive tillering stage

Table 4. Determination Coefficients of the relationship between climatic variables for 40 days after heading and yield characteristics

Climatic Element	Odaebyeo			Ilpumbyeo		
	RR [†]	TGW	Y	RR	TGW	Y
DAT	0.060 ^{ns}	0.156 ^{ns}	0.083 ^{ns}	0.508 ^{**}	0.052 ^{ns}	0.284 [*]
Pre.	0.409 ^{**}	0.330 ^{**}	0.239 [*]	0.096 ^{ns}	0.038 ^{ns}	0.212 ^{ns}
SH	0.344 ^{**}	0.230 [*]	0.184 [*]	0.055 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.106 ^{ns}
DVAT	0.246 [*]	0.277 ^{**}	0.441 ^{**}	0.044 ^{ns}	0.045 ^{ns}	0.131 ^{ns}
AV	0.305 ^{**}	0.129 ^{ns}	0.376 ^{**}	0.237 [*]	0.113 ^{ns}	0.509 ^{**}
RH	0.446 ^{**}	0.109 ^{ns}	0.231 [*]	0.351 [*]	0.278 [*]	0.512 ^{**}

[†] Abbreviations : RR for Ripening Rate, TGW for Thousand Grain Weight, and Y for Yield of milled rice

되는 모습을 보여주고 있다.

수당립수(Table 3. D)도 품종과 생육단계에 따라 다소 상이한 결과를 보였다. 오대벼의 수당립수는 유효분얼기에 일조시간, 일교차 및 상대습도, 무효분얼기에는 평균기온, 강수량, 일조시간, 일교차 및 상대습도, 생식생장기에는 강수량 및 상대습도의 영향을 받은 것으로 나타났다. 일품벼는 활착기의 일교차, 무효분얼기의 강수량, 일조시간, 일교차 및 상대습도, 생식생장기에는 평균기온과 풍속의 영향이 나타났다. 두 품종이 공통적으로 무효분얼기의 기상요소가 각 품종의 수당립수에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 그 중에서도 기온일교차와 상대습도의 영향이 가장 높았다. Fig. 4에는 무효분얼기의 일교차와 상대습도가 오대벼의 수당립수에 미치는 영향을 나타내었는데, 일교차가 적거나 상대습도가 높은 기상이 수당립수를 증가시키는 결과를 얻었다. 일교차가 적다는 것은 야간 기온이 높아 식물체의 호흡량이 많았다는 것을 의미하는데, 주간에 광합성으로 합성된 물질이 식물체의 구성성분으로 집적되기에 바람직한 환경은 아니며, 상대습도가 높았다는 것은 증산작용이 원활하지 못했을 것으로 보이는데 이러한 불리한 환경에서 수당립수가 증가된 것으로 나타났다.

벼 수량구성요소 및 수량에 미치는 기상의 영향

시험품종의 수량 특성과 출수후 40일간의 기상요소들간의 결정계수는 Table 4와 같았다. 등숙율은 오대벼의 경우 강수량, 일조시간, 기온일교차, 풍속 및 상대습도, 일품벼는 일평균기온과 풍속 및 상대습도의 영향을 받는 것으로 나타났다. 천립중은 오대벼의 경우 강수량, 일조시수 및 기온일교차의 영향이 나타났고, 일품벼는 상대습도의 영향만 나타났다. 쌀 수량은 오대벼의 경우 강수량, 일조시간, 기온일교차, 풍속 및 상대습도의 영향을, 일품벼는 일평균기온, 풍속 및 상대습도의 영향을 받은 것으로 나타났다. 오대벼의 수량범위는 386~622, 일품벼는 471~588 kg/10a였다. 오대벼는 일품벼에 비하여 수량변이의 폭이 매우 컸는데, 일품벼 수량은 등숙기 중 일평균기온 등 3가지 기상요소의 영향을 받은 것으로 나타났는데 반하여, 오대벼는 일평균기온을 제외한 5가지 기상요소의 영향을 받은 것으로 나타났는데, 오대벼가 일품벼보다 더 다양한 기상요소의 영향을 받아 수량변이가 더 크게 나타난 것으로 추정된다.

일평균기온은 일품벼의 수량에만 영향을 미친 것으로 나타났다는데, 오대벼는 1988년부터 2009년까지 22년간 등숙온도는 21.6~25.3℃의 범위였고 평균 23.9℃로써, 안전수량을

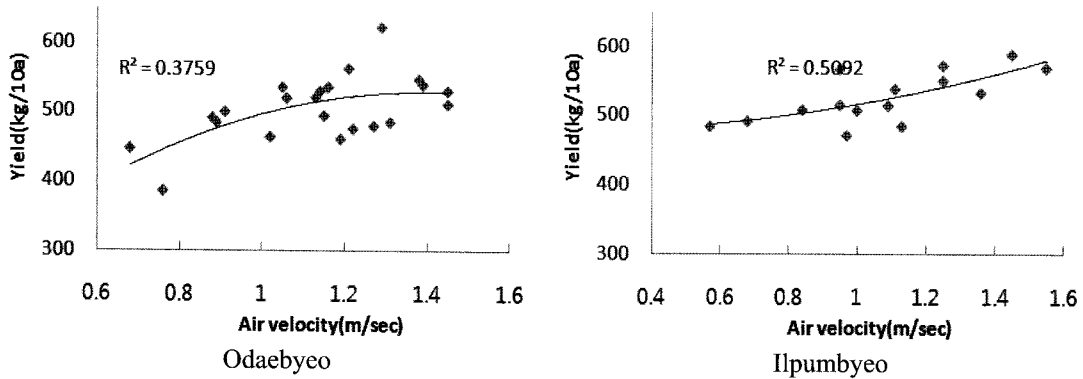


Fig. 5. The relations between yield and air velocity during ripening periods.

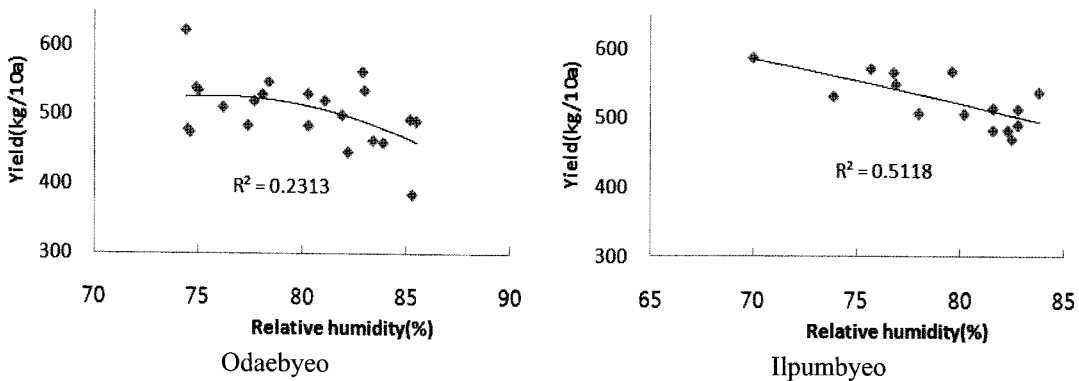


Fig. 6. The relations between yields and relative humidity during ripening periods.

위한 벼 등숙온도 21~23°C (Youn & Lee, 2001)의 범위보다 높게 분포하고 있음에도, 등숙온도와 수량간에 유의성이 나타나지 않았다. 이 결과는 이 범위의 평균온도가 오대벼의 수량 형성에 미치는 영향은 크지 않다는 것을 의미한다. 조사기간중 일품벼의 등숙온도는 18.4~22.0°C의 범위, 평균 20.1°C였고, 20°C 이하의 등숙온도에서 수량이 떨어지는 모습을 보였는데, Huh(1987)가 20°C 이하에서는 광합성 산물이 이삭으로의 이동이 저해되어 등숙비율과 천립중이 낮아진다는 보고와 비슷하였다.

일조시간과 기온일교차는 오대벼 수량에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 일품벼의 수량과의 상관성은 나타나지 않았는데, Lee *et al.*(2009)에 따르면 일품벼의 최종종실중은 등숙기 일사량이 많을수록 크다고 하여 본 연구결과와는 달랐는데, 그 원인은 자연환경하에서 수행된 본 연구에서는 인공조절환경에 비하여 변이요인이 많아 그 차이가 뚜렷이 나타나지 않았을 것이며, 또한 일조시간과 일조량이라는 변수간의 차이에 기인한 영향도 있었을 것으로 추정된다.

쌀 수량 형성시 두 품종에 공통적으로 영향을 미치는 것으로 나타난 기상요소는 풍속과 상대습도였다. 오대벼의 연도

별 등숙기 풍속은 0.68~1.45 m/sec였고 일품벼는 0.57~1.55 m/sec 였는데, 두 품종 모두 관측된 풍속의 범위 내에서 풍속이 높을수록 쌀 수량이 증가되는 경향이 있었다(Fig. 5). 등숙기 중 상대습도는 오대벼 74.4~85.5%, 일품벼 70.0~83.8%의 범위였는데, 관측된 상대습도의 범위 내에서 습도가 낮을수록 수량이 높은 경향이 있었다(Fig. 6).

본 연구에서 여러 가지 기상요소들 중에서 풍속과 상대습도가 벼 생육 및 수량형성에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이 등(식용작물학 I, 1996)이 바람이 광합성과 증산에 관여하고 상대습도는 증산량과 밀접한 관계가 있다고 하였으나, 아직까지 국내에서 풍속 또는 상대습도가 벼 생육 및 수량에 미치는 영향을 다룬 연구는 찾을 수 없었다. 증산작용이 왕성하면 식물의 체온조절효과 외에도 양분흡수를 촉진하여 재해방제 효과가 있는 반면, 증산이 저하되면 흡수력이 저하되고 벼가 연약하게 도장하거나 규산의 흡수 축적이 떨어져 도열병에 대한 저항성이 감퇴되기도 한다(개정 수도작, 1997). Kim & Park(2000)은 상대습도가 낮을수록 증발산속도가 높게 나타난다고 하였는데, 이러한 내용들을 종합하면, 상대습도가 낮고 바람이 충분할 때 벼는

증산량이 증가하고, 수분과 양분의 흡수 및 광합성을 촉진하여 벼 생육과 수량을 증가시키는 것으로 추정되었다.

본 연구에서 풍속과 상대습도는 일평균기온, 기온일교차 및 일조시간에 못지않게 벼 생육과 수량에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으므로 앞으로 보다 심도 있는 연구를 통해 쌀 수량 예측 또는 작황분석에 활용될 수 있을 것이다.

적 요

1988년부터 2009년까지 강원도 춘천지역에서 수행된 벼 작황조사시험의 오대벼와 일품벼 관련 기상요소 및 조사성적을 바탕으로 각 기상요소가 벼 생육 및 수량에 미친 영향을 분석한 결과는 다음과 같았다.

벼 출수기, 간장, m^2 당 수수 및 수당립수는 품종 및 생육 단계별로 다소 차이는 있었지만 대체로 출수기까지의 일평균기온, 강수량, 일조시간, 기온일교차, 풍속 및 상대습도의 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히 출수기는 일평균기온과 상대습도의 영향을, 간장, m^2 당 수수 및 수당립수는 일교차의 영향을 가장 크게 받은 것으로 나타났다.

벼 등숙율, 천립중 및 쌀 수량은 벼 출수기부터 40일간의 일평균기온, 기온일교차, 강수량, 일조시간에 대하여 오대벼와 일품벼가 전혀 다른 반응을 보였으나, 풍속 및 상대습도에 대해서는 대체로 비슷한 영향을 받는 것으로 나타났는데, 그 중에서 쌀 수량은 풍속이 높을수록, 상대습도가 낮을수록 높은 경향을 보였다.

풍속과 상대습도는 기온, 기온일교차, 일조량 등에 비해 상대적으로 벼 생육과 수량에 미치는 영향이 적은 것으로 인식되었기 때문에, 지금까지의 국내 벼 연구에서는 거의 다루어지지 않았으나, 본 연구에서 상대습도가 낮고 바람이 충분한 환경에서 벼는 활발한 증산 작용과 광합성을 통해 수량이 증가되는 것으로 나타났다.

인용문헌

- 김용현, 박현수. 2000. 접목묘의 증발산속도에 미치는 기온과 상대습도의 효과. 한국생물환경조절학회 학술발표논문집, Vol. 9(1) : 51-54.
- 농촌진흥청. 1981. 수도냉해실태분석과 종합기술대책. p. 168.
- 박석홍. 1975. 수도 수량구성요소에 미치는 기상영향의 해석적 연구. 한작지 16 : 1-35.
- 안중범. 2007. 벼 품종들의 최적기상환경 예측 및 수량과 수량구성요소의 기상반응 분석. 공주대 박사논문.
- 윤성호, 이정택. 2001. 기후변화에 따른 벼 적정등숙기간의 변동과 대책. 한국농림기상학회지 3(1) : 55-70.
- 이은용외 38인. 1997. 수도작. 향문사. pp. 100-101.
- 이중훈, 오윤진. 1996. 신편 식용작물학 I. 한국방송통신대학교출판부.
- 이준근, 김덕수, 권영업, 이재은, 서종호, 이변우. 2009. 등숙기 기온 및 일사량이 벼 종실중 및 종실질소함량에 미치는 영향. 한작지 54(1) : 36-44.
- 조경숙, 윤진일. 1999. 일기상자료에 의한 읍면별 벼 작황진단 및 쌀 생산량 예측. 충남대.
- 주영철, 임갑준, 한상욱, 박중수, 조영철, 김순재. 2000. 1999년에 발생한 기상재해 유형별 벼 수량반응조사 연구. 한국농림기상학회지 2(1) : 1-8.
- 황정동, 신동경, 이기영, 박성태, 김순철, 김길웅. 1998. 동해안 냉조풍지 벼 요철골 답수직파 파종한계기 구명. 식작논문집 (1) 40(2) : 62-69.
- 허휘. 1987. 수도 Indica*Japonica 원연교잡종의 생리생태적 특성에 관한 연구. 농시연보(작물) 20 : 1-48.
- Duncan, W. G., R. S. Loomis, W. A. Williams, and R. Hanau, 1967. A model for simulating photosynthesis in plant communities, Hilgardia, 38, pp. 181-205.
- Loomis, R. S. and W. A. Williams, 1963. Maximum crop productivity : An estimate, Crop Sci, 3 : 67-71.
- Sato, K and M. Takahashi. 1971. The development of rice grain under controlled environment. I. The effects of temperature, its daily range and photoperiod during ripening an grain development. Tohoku J. Agri. Res. 22 : 57-68.
- Tajima, K. 1965. Studies on the physiology of crop plants in response to effects of light and temperature. I. Effect of light and temperature on growth and respiration of crop. Crop Sci. 33 : 371-378.
- Yoshida, S. 1977. Effects of air temperature and light on grain filling of an Indica and Japonica rice(Oriza sativa L.) under controlled environmental conditions. Soil science and Plant Nutrition (Japan). Vol 23(1) : 93-107.