

## 익산지역에서 쌀보리의 생육 및 수량의 연차 간 변화

최인배<sup>1,†</sup> · 김학신<sup>1</sup> · 황재복<sup>1</sup> · 구본일<sup>1</sup> · 배희수<sup>1</sup> · 박태선<sup>1</sup> · 박홍규<sup>1</sup> · 이건휘<sup>1</sup>

### Yearly Variation in Growth and Yield of Winter Hulless Barley at Iksan

Inbae Choi<sup>1,†</sup>, Hakshin Kim<sup>1</sup>, Jaebok Hwang<sup>1</sup>, Bonil Gu<sup>1</sup>, Huisu Bae<sup>1</sup>, Taeseon Park<sup>1</sup>, Hongkyu Park<sup>1</sup>, and Geonhwi Lee<sup>1</sup>

**ABSTRACT** The effects of weather variations on winter hulless barley were analyzed using data obtained from winter crop situation test at Iksan from 1985 to 2015. The wintering stage in the 16 years from 2000 to 2015 has become colder and shorter than that in the previous 15 years from 1985 to 1999. This has resulted in an early sequence of regrowth date, heading date, and ripening date. Heading date of hulless barley was mostly influenced by regrowth date and period of stem elongation. Further, the regrowth date and period of stem elongation were strongly negatively correlated with the average air temperature in February and the maximum air temperature in March, respectively. The number of spikes per m<sup>2</sup> and 1000-grain weight of Saechalssal cultivated from 2003 to 2015 showed strong positive correlations with yield. In early heading years, yield increased with extended ripening period and with increased 1000-grain weight. There was a strong negative correlation between 1000-grain weight and the average temperature during the ripening period. In the 15 years from 1985 to 1999, warm winters contributed to yield increase with increase in the number of spikes per m<sup>2</sup> and a long ripening period. In contrast, in the recent 16 years from 2000 to 2015, the large variability in air temperature during the wintering stage, the decreasing number of spikes per m<sup>2</sup> and the steadily increasing air temperature and decreasing precipitation during the ripening stage have caused high temperature stress and yield loss in late heading years.

**Keywords** : growth stage, hulless barley, Iksan, weather variation, yield

보리는 주로 답리작의 작부체계로 재배되고 있고 성숙기가 늦어지면 수확 후 벼 이앙에 어려움이 있어 가을보리 육종의 가장 큰 목표는 조숙 다수성이 되어 왔다. 그 결과 70년대 350 kg/10a이던 쌀보리 수량은 2000년대 470 kg/10a로 단위면적당 100 kg 이상 증가하였고, 숙기는 70년대 6월 12일에서 2000년대 6월 5일로 7일 단축되었다(RDA, 2013). 이러한 출수기의 이르고 늦음은 기본영양생장성에 해당하는 협의의 조만성, 일장반응성, 파성 및 내한성 등 품종 고유의 특성(Ha and Maeng, 1984; Ha and Lee, 1984; Cho *et al.*, 1985)이 기온, 강우량, 일조시간 등 기상환경 요인과 상호작용하여 발현되는 것으로 출수기와 성숙기는 보리의 생장량, 1수립수 및 천립중 등을 통해 수량과도 밀접한 관련이 있다(Ryu and Ha, 1985; Ryu and Ha, 1986). 보리의 출수는 저온과 단일을 감응한 후 고온장일에 의해 출수가

촉진되는데 맥류의 감온성은 협의의 조만성이나 일장반응에 비하여 품종 간 차이가 적다고 한다(Ha, 2000). 국내 보리 육성의 목표는 수량 증대와 숙기 단축에 중점을 두었으며, 육성 보리의 대부분은 내한성이 강한 춘파성이나 양절형 계통으로 진행되어 왔다(Chun and Lim, 1996).

파종기나 파종방법, 파종지역의 차이에 따른 출수기의 조만이 보리의 생육이나 수량에 미치는 영향은 많은 연구가 되어 왔고(Ryu and Ha, 1985; Ryu and Ha, 1986) 특히 1990년대 이후 춥지 않은 겨울 날씨가 지속되면서 기상환경 변화에 따른 가을 보리의 출수기 및 수량 변화에 대한 많은 연구가 진행되어 왔는데 Koo *et al.* (2001)는 올보리의 작황 시험 성적('76~'99, 24년간)을 이용하여 출수가 빠른 해와 늦은 해의 생육기간 중 적산온도를 비교하여 월동기와 분얼기의 적산온도 차이가 출수기의 조만에 미치는 영향이

<sup>1</sup>국립식량과학원 (National Institute of Crop Science., Wanju 55365, Korea)

<sup>†</sup>Corresponding author: Inbae Choi; (Phone) 82-63-238-5275; (E-mail) [ibchoi@korea.kr](mailto:ibchoi@korea.kr)

<Received 29 October, 2015; Revised 12 August, 2016; Accepted 12 August, 2016>

크다고 하였고, 출수가 빠른 해는 간장이 크고 수량이 많았는데 수수증가가 그 원인이라 하였다. Shim *et al.* (2002)도 같은 분석을 통해 춥지 않은 겨울 날씨가 지속한 1987년에서 2000년까지 14년간 생육재생기가 평년(1974~2000)보다 5일 빨라졌고 등숙 기간은 비슷하였으며 수량은 ha당 0.42톤 증수되었고 증수 요인은 단위면적당 수수의 증가와 1수립수의 증가라 하였다. 또한 Shim *et al.* (2004)은 기후변화의 영향으로 이러한 온난한 겨울이 앞으로도 계속될 것으로 예상하여 1월 평균기온 및 최저기온에 의해 결정되는 가을보리의 맥종별 안전재배시대가 북쪽으로 확대될 것으로 예상하였다. Sung *et al.* (2014)도 올보리의 지역적응 시험 성적을 이용하여 수량성과 지역 안정성을 분석하였다. 또한 미래 기후변화 조건에서 생육모형 분석방법을 이용한 보리의 생육과 수량의 예측에 대하여, Shim *et al.* (2011)은 CERES-Barley 모형에 A1B 기후시나리오를 적용하여 기후변화에 따른 국내 가을 쌀보리의 수량성 변화를 모의 분석하였고, Kim *et al.* (2012)는 같은 모형을 이용하여 RCP 8.5 기후조건에서 우리나라 곡물 생산을 전망하였으며, 기온, 강수량 및 이산화탄소농도 변화에 따른 국내 보리 품종의 종실 수량 반응(Kim *et al.*, 2013a), 기후변화 조건에서 파종일 변경에 의한 곡물생산량(Kim *et al.*, 2013b) 등을 전망하였다. 분석 결과, 앞으로 기온과 이산화탄소 농도가 증가된 기후조건에서 보리의 출수기는 앞당겨지나, 등숙 기간은 큰 변화가 없고 종실 수량은 늘어날 것으로 전망하였다. 본 연구에서는 최근 가을 파종기 호우, 월동기 난동 및 한파 등 이상기상의 발생이 빈번하고 기후변화가 빠르게 진행되고 있는 최근의 상황에서, 이러한 기상환경 변화가 가을 쌀보리의 생육 및 수량에 미치는 영향을 분석하여 파종기나 시비법 등 적정 재배법 개발과 기후변화 적응 품종 개발의 기초자료로 활용하고자 한다.

## 재료 및 방법

본 시험에서 쌀보리의 생육 자료는 식량과학원 벼맥류부의 답리작 보리 작황 시험 성적을 이용하였고 기상자료는 벼맥류부에 설치되어 있는 기상 측정 장치의 관측자료 중 1985~2015년의 일별기상자료를 이용하였다. 기상요소 중 일평균, 일최고, 일최저 기온은 기간별 평균값을 이용하였고, 일조시간과 강수량은 기간의 적산 값으로 하였으며, 적산온도(accumulated temperature, °Cd)는 보리 생육기간 중 일평균기온이 0°C 이상인 날의 평균기온을 합산하였다. 익산지역에서 쌀보리 작황 시험의 한해 작기가 10월 20일 파종하여 6월 상순에 등숙이 마무리되는 것을 감안하여 기상

분석의 연 단위도 10월 20일부터 이듬해 6월 15일까지를 한 작기로 구분하였다. 익산 지역의 쌀보리 작황 시험의 답리작 표준재배법은 1988년까지 파종기가 10월 30일이고 파종량은 17 kg/10a, 후폭 120 cm × 파폭 90 cm의 휴립광산파 파종이었으며 1989년부터는 파종기가 10월 20일로 변경되었으며 1993년에는 파종량이 16 kg/10a로, 2000년에는 재식거리가 150 × 120 cm로 변경되었다. 가을보리의 생육 단계를 유묘기(SS, seedling stage), 월동기(WS, wintering stage), 분얼기(TS, tillering stage), 절간신장기(ES, stem elongation stage), 등숙기(RS, ripening stage)로 나누었고, 각 생육단계의 구분은 생육정지기(월동기의 시작으로 초겨울(12월)에 전후 5일간의 평균기온이 0°C 이하로 떨어지는 첫날), 생육재생기(RD, regrowth date), 최고분얼기(MTD, maximum tillering date), 출수기(HD, heading date), 성숙기(MD, maturity date) 등 특정생육일을 적용하였다. 1980년대부터 현재까지 작황 시험의 쌀보리 공시품종은 백동보리(~'90), 늘쌀보리('88~'04), 새쌀보리('96~'11), 새찰쌀보리('03~'15) 등으로 숙기와 내한성, 수량성 등이 향상된 품종으로 교체됐다. 출수기를 비롯한 생육 시기의 설정은 두 품종 이상이 공통으로 재배된 연도의 출수 및 성숙기 등이 크게 다르지 않아 품종의 평균값을 사용하였으나, 수량 및 수량 구성요소는 품종별 특성이 달라 최근에 재배되고 있는 새찰쌀보리의 성적을 분석하였다.

쌀보리 품종의 생육단계별 기상요소의 연차 간 추세를 보기 위하여 단순회귀분석을 실시하고 연 변화율인 회귀계수를 구하였으며 회귀식의 적합성을 보기 위하여 결정계수( $R^2$ ) 및 확률값(Pr)을 구하였다. 또한 기상요소와 출수기, 수량 및 수량구성요소와의 상관분석을 위하여 Pearson 상관계수(R)를 구하였으며, 보리의 출수기 추정을 위하여 다중 회귀식을 구하였다. 자료의 통계분석은 SAS 통계프로그램을 이용하였는데, t-test는 proc ttest를, 상관분석과 회귀분석은 proc corr와 proc reg, proc stepwise 프로시저를 이용하였다.

## 결과 및 고찰

### 가을 쌀보리 생육기(10월 하순~6월 상순) 기상 요소의 연차간 변이

익산의 맥류 작황 시험에서 지난 31년 동안 재배 품종은 늘쌀보리, 새쌀보리, 새찰쌀보리 등으로 교체되었는데 각 품종들의 생육 특성의 유사성을 보고자 2품종 이상이 재배된 해의 생육특성을 비교하였다(Table 1). 늘쌀보리와 새쌀보리가 동시에 재배되었던 1996~2004년과 새쌀보리와 새찰쌀보리가 동시에 재배되었던 2003~2011년의 생육을 비

**Table 1.** Comparison of growth stage and agronomic characteristics of hullless barley varieties cultivated at Iksan from 1996 to 2011.

Year	Variety	RD	MTD	HD	MD	CL (cm)	TGW (g)	NS	Yield (kg/10a)
1996~2004	Nulssal	Feb 18	Mar 31	Apr 25	May 30	67	26.8	669	408
	Saessal	Feb 18	Mar 31	Apr 26	May 31	71	26.7	657	443
2003~2011	Saechalssal	Feb 15	Apr 2	Apr 26	May 31	77	29.6	641	449
	Saessal	Feb 15	Apr 2	Apr 27	Jun 1	74	27.1	578	427

RD: regrowth date, MTD: maximum tillering date, HD: heading date, MD: maturity date, CL: culm length, TGW: 1000-grain weight, NS: number of spikes.

**Table 2.** Monthly descriptive statistics for weather elements during the growing seasons for winter hullless barley at Iksan from 1985 to 2015.

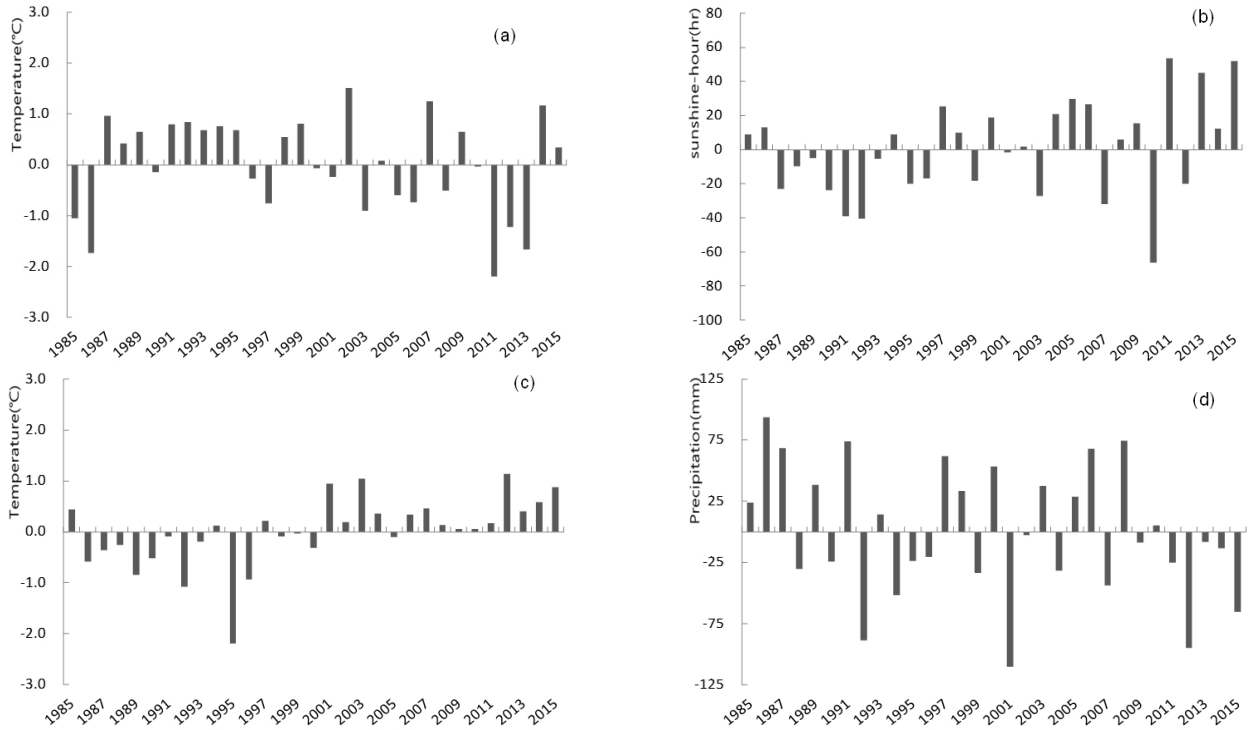
Weather elements	Oct <sup>↓</sup>	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun <sup>↓</sup>	Oct~Jun	
T <sub>ave</sub> (°C)	Mean	12.4	7.9	1.5	-0.8	1.2	5.6	11.7	17.4	21.2	7.6
	Max	15.2	11.6	3.8	2.0	3.7	7.6	15.0	18.9	22.5	8.9
	Min	9.1	5.1	-3.2	-5.1	-1.7	3.7	9.0	15.1	19.3	6.2
	Reg.Coff.	0.061	0.023	-0.054	-0.001	0.027	0.018	0.004	0.039	0.046	0.013
	R-Sq	0.141	0.023	0.094	0.000	0.029	0.025	0.001	0.202	0.228	0.033
	Pr> t	0.037	0.416	0.094	0.958	0.361	0.400	0.879	0.011	0.007	0.328
T <sub>max</sub> (°C)	Mean	19.3	14.0	6.7	4.2	6.8	11.8	18.6	23.6	26.8	13.5
	Max	23.1	17.4	9.3	6.7	10.4	14.0	21.4	25.7	29.1	14.6
	Min	14.9	10.9	1.9	0.2	3.4	9.5	15.5	21.4	23.9	11.9
	Reg.Coff.	0.057	0.021	-0.060	0.011	0.040	0.046	-0.005	0.069	0.082	0.023
	R-Sq	0.093	0.017	0.088	0.006	0.049	0.097	0.001	0.399	0.319	0.085
	Pr> t	0.096	0.483	0.105	0.693	0.232	0.088	0.865	0.000	0.001	0.111
T <sub>min</sub> (°C)	Mean	6.5	2.7	-3.0	-5.3	-3.6	0.2	5.6	12.3	16.9	2.5
	Max	10.8	7.0	-0.8	-2.1	-0.6	3.0	11.2	13.9	18.3	4.6
	Min	3.7	-1.1	-8.4	-10.3	-6.5	-1.7	3.1	9.2	14.8	0.9
	Reg.Coff.	0.080	0.027	-0.049	-0.016	0.016	-0.020	0.007	0.016	0.035	0.003
	R-Sq	0.158	0.022	0.072	0.007	0.008	0.024	0.002	0.021	0.159	0.002
	Pr> t	0.027	0.431	0.146	0.651	0.635	0.409	0.829	0.435	0.026	0.835
T <sub>acc</sub> (°Cd)	Mean	147.8	236.1	73.2	29.3	57.2	174.3	349.7	539.4	318.3	1925.3
	Max	181.9	347.7	124.7	81.9	110.0	235.0	451.0	585.1	337.4	2200.1
	Min	109.6	154.0	11.6	0.0	12.7	117.9	271.3	467.9	288.8	1634.2
	Reg.Coff.	0.669	0.685	-1.078	0.013	0.514	0.519	0.127	1.222	0.689	3.359
	R-Sq	0.118	0.022	0.106	0.000	0.029	0.023	0.001	0.202	0.228	0.073
	Pr> t	0.058	0.426	0.074	0.972	0.360	0.416	0.879	0.011	0.007	0.142
Prec (mm)	Mean	20.1	48.7	28.4	23.9	32.0	44.6	68.9	80.9	47.2	394.6
	Max	95.5	163.6	69.0	68.5	92.0	120.0	232.5	199.6	157.5	624.9
	Min	0.0	3.5	2.0	3.5	0.5	6.5	12.0	16.0	0.0	241.5
	Reg.Coff.	0.440	-0.726	0.432	-0.314	-0.107	-0.177	0.714	-0.311	-1.362	-1.412
	R-Sq	0.033	0.032	0.046	0.025	0.002	0.003	0.021	0.005	0.064	0.015
	Pr> t	0.327	0.332	0.246	0.397	0.828	0.757	0.442	0.715	0.169	0.507

**Table 2.** Monthly descriptive statistics for weather elements during the growing seasons for winter hulless barley at Iksan from 1985 to 2015 (Continue).

Weather elements	Oct <sup>1</sup>	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun <sup>2</sup>	Oct~Jun
Mean	75.7	156.5	142.6	153.9	161.6	193.6	212.4	220.4	99.1	1415.9
Max	107.2	197.0	189.9	194.0	207.1	247.3	249.4	285.6	125.4	1593.5
Min	49.3	98.1	103.4	97.9	95.3	127.2	150.2	163.8	54.6	1156.2
Reg.Coff.	0.080	0.630	0.404	0.619	0.254	1.066	-0.633	0.643	0.235	3.298
R-Sq	0.003	0.051	0.034	0.068	0.008	0.120	0.056	0.035	0.015	0.076
Pr> t	0.773	0.222	0.320	0.156	0.640	0.056	0.201	0.316	0.506	0.135

T<sub>ave</sub>: daily average air temperature (°C), T<sub>max</sub>: daily maximum air temperature (°C), T<sub>min</sub>: daily minimum air temperature (°C), T<sub>acc</sub>: cumulative value of daily average air temperature above 0°C (°Cd), Prec : precipitation (mm), H<sub>sun</sub> : sunshine hour (h).

<sup>1</sup>Oct. 20~Oct. 31, <sup>2</sup>Jun 1~Jun 15



**Fig. 1.** Yearly deviations of weather elements during the growing seasons for winter hulless barley compared to the mean values at Iksan from 1985 to 2015. (a) Average air temperature at wintering stage, (b) sunshine duration in Mar, (c) average air temperature from May 1 to Jun 15, and (d) precipitation from May 1 to Jun 15.

교해 보면, 생육재생기 및 최고분얼기는 같았으며 새싹보리의 출수기가 늘쌀보리나 새찰쌀보리보다 1일 늦은 것으로 조사되었다. 즉, 늘쌀보리와 새찰쌀보리는 생육 시기별 특성이 비슷하다고 할 수 있었다.

익산지역에서 지난 31년간 가을 쌀보리 파종일인 10월 20일부터 이듬해 수확기인 6월 15일까지의 월별 기상요소의 평균값 및 변화 추세를 살펴보면 Table 2와 같다. 쌀보

리의 파종이 이루어지는 10월 하순에는 일 최저기온(회귀계수=0.08, R<sup>2</sup>=0.158)과 평균기온(회귀계수=0.061, R<sup>2</sup>=0.141)이 지속적으로 상승하여 출현이 빨라졌으며, 입모에 중요한 영향을 미치는 10월 하순~11월강수량은 연차 간 뚜렷한 경향이 없었고(10월 R<sup>2</sup>=0.033, 11월 R<sup>2</sup>=0.032), 2000년 이후 감소추세이었으나 2011~2014년간 84.3~161.6 mm의 비가 내려 기간 평균 68.7 mm보다 많았다. 겨울철 날씨를 보면

2000년 이전에는 기온의 상승세가 뚜렷하였으나 2000년 이후, 11월 기온의 변동 폭이 커졌고, 12월 평균기온(회귀계수=-0.054,  $R^2=0.094$ )은 지속적으로 감소하는 것으로 나타났으며 1월의 기온(평균기온  $R^2=0.000$ )도 변동이 심하였다. 11월, 12월, 1월의 평균기온이 최저인 해는 각각 2003년(5.1°C), 2006(-3.2°C), 2011(-5.1°C)년으로 모두 2000년 이후에 발생하였다. 기후 온난화로 겨울철 기온이 지속적으로 상승하였을 것이라 예상과 다른 결과 이었다. 2월과 3월에는 최고기온의 상승으로(2월 최고기온 회귀계수=0.040,  $R^2=0.049$ , 3월 최고기온 회귀계수=0.046,  $R^2=0.097$ ) 평균기온이 상승하는 경향이였으나 연차 간 변화폭이 컸다. 또한 3월의 일조시수는 뚜렷하게 증가(회귀계수=1.066,  $R^2=0.120$ , Fig. 1(b))하는 것으로 나타났으며 다만, 2010년에는 강수 일수와 흐린 날이 많아 일조시수가 조사기간 중 가장 적었다. 4월에는 기온의 변화가 심하였고, 강수량은 최근 3년 동안 꾸준히(평균 91.2 mm), 평년(68.9 mm)보다 많았다. 출수 후 등숙이 이루어지는 5월 1일~6월 15일의 기온을 보면, 전 기간 동안 최고기온(5월 회귀계수=0.069,  $R^2=0.399$ , 6월 회귀계수=0.082,  $R^2=0.319$ )과 평균기온(5월 회귀계수=0.039,  $R^2=0.202$ , 6월 회귀계수=0.046,  $R^2=0.228$ )의 상승이 뚜렷

하였으며 특히 6월의 15일간 평균기온(Fig. 1(c))은 1999년 이후 확연하게 상승하여(1985~1998년의 평균 20.6°C, 1999~2015년의 평균 21.7°C), 출수가 늦어져 등숙이 6월까지 늦어질 경우 수량에 부정적인 영향이 있을 것으로 예상되었다. 이 시기 강수량은 기온 상승과 반대로 줄어드는 경향이였으며 5월 보다는 6월 15일간 강수량 감소가 좀 더 뚜렷하였다. 5월1일에서 6월 15일까지의 누적 강수량(Fig. 1(d))은 최근 7년 동안 평년 수준이거나 평년보다 적었다.

위에서 분석한 월별 기상요소를 매년 쌀보리의 생육시기 별로 나누어 분석한 결과는 Table 3과 같다. 평균 생육기는 다음과 같아서 생육 정지기는 12월 18일, 생육재생기는 2월 17일, 최고분얼기는 4월 1일, 출수기 4월 27일, 등숙기 6월 1일 이었으며, 이에 따라 평균적으로 유효기는 59일, 월동기는 61일, 분얼기는 44일, 절간신장기는 26일, 등숙기는 35일 이었으며 파종에서 등숙까지 224일이 소요되었다.

유효기 최저기온은 2000년 이후 증가하는 경향이였으며, 월동기 평균기온은 12월과 1월의 기온양상과 같이 2000년 이후 변이 폭이 커지고 기간 평균보다 저온인 해가 많았다 (Fig. 1(a)). 그러나 유효기간과 월동기간의 합, 즉 생육재생기는 지속적으로 빨라졌으며(회귀계수=-0.213,  $R^2=0.1973$ )

**Table 3.** Descriptive statistics for weather elements for each growth stage during the growing seasons for winter hulless barley at Iksan from 1985 to 2015.

Weather elements		SS	WS	TS	ES	RS	Total Period
T_ave (°C)	Mean	7.6	-0.6	5.0	11.5	17.4	6.8
	Max	9.8	0.9	7.5	13.4	18.7	7.9
	Min	5.3	-2.8	2.6	9.3	15.4	5.6
	Reg. Coeff.	0.019	-0.018	0.019	-0.020	-0.005	-0.003
	R-Sq	0.021	0.029	0.030	0.028	0.003	0.003
	Pr> t	0.435	0.358	0.353	0.369	0.782	0.754
T_max (°C)	Mean	13.6	4.6	11.1	18.4	23.6	12.7
	Max	16.1	6.4	13.3	21.2	25.7	13.7
	Min	10.7	2.4	8.5	15.6	21.7	11.0
	Reg. Coeff.	0.022	-0.021	0.049	-0.022	0.031	0.006
	R-Sq	0.021	0.026	0.143	0.016	0.071	0.008
	Pr> t	0.434	0.390	0.036	0.494	0.147	0.628
T_min (°C)	Mean	2.4	-5.1	-0.3	5.5	12.2	1.7
	Max	5.3	-3.4	3.0	7.6	14.2	3.5
	Min	0.2	-7.8	-2.5	2.8	9.6	0.4
	Reg. Coeff.	0.025	-0.019	-0.019	-0.018	-0.037	-0.014
	R-Sq	0.030	0.030	0.022	0.017	0.084	0.037
	Pr> t	0.350	0.351	0.422	0.484	0.113	0.299

**Table 3.** Descriptive statistics for weather elements for each growth stage during the growing seasons for winter hulless barley at Iksan from 1985 to 2015 (Continue).

Weather elements		SS	WS	TS	ES	RS	Total Period
T_acc (°Cd)	Mean	446.7	60.8	222.0	292.3	616.4	1635.6
	Max	546.0	115.9	279.2	385.4	706.7	1811.9
	Min	338.7	16.2	140.9	204.8	533.0	1457.4
	Reg. Coeff.	0.575	-0.690	2.079	-4.304	0.081	-2.062
	R-Sq	0.009	0.069	0.219	0.565	0.000	0.046
	Pr> t	0.620	0.154	0.008	0.000	0.927	0.247
Prec (mm)	Mean	83.5	45.9	65.3	56.1	99.4	354.7
	Max	214.4	111.6	128.3	135.0	199.6	547.9
	Min	2.0	6.0	14.5	3.0	21.6	137.0
	Reg. Coeff.	0.263	0.002	0.273	-0.490	-0.483	-1.173
	R-Sq	0.002	0.000	0.007	0.019	0.011	0.013
	Pr> t	0.793	0.997	0.666	0.463	0.581	0.547
H_sun (h)	Mean	310.7	317.8	265.5	181.4	250.4	1325.2
	Max	431.6	497.6	374.2	248.0	321.2	1509.4
	Min	207.7	176.3	174.3	93.7	179.3	1047.1
	Reg. Coeff.	0.555	-0.321	3.120	-2.740	0.882	1.567
	R-Sq	0.009	0.001	0.316	0.336	0.047	0.017
	Pr> t	0.617	0.840	0.001	0.001	0.240	0.485
Day_no	Mean	59.0	61.0	43.5	25.8	34.5	223.7
	Max	75.0	86.0	52.0	33.0	40.5	233.5
	Min	40.0	40.0	29.0	17.0	29.0	215.0
	Reg. Coeff.	-0.070	-0.143	0.269	-0.312	0.011	-0.245
	R-Sq	0.004	0.012	0.218	0.365	0.001	0.199
	Pr> t	0.728	0.551	0.008	0.000	0.843	0.012

T\_ave: daily average air temperature (°C), T\_max: daily maximum air temperature (°C), T\_min: daily minimum air temperature (°C), T\_acc: cumulative value of daily average air temperature above 0°C (°Cd), Prec: precipitation (mm), H\_sun: sunshine hour (h), SS: seedling stage, WS: wintering stage, TS: tillering stage, ES: stem elongation stage, RS: ripening stage.

이는 출수기 및 성숙기와 매우 높은 상관이 있고(Table 4), 가을 쌀보리의 전체 생육기간도 단축된 것(회귀계수=-0.245,  $R^2=0.199$ ) 것으로 조사되었다. 특히, 일평균 기온이 0°C 이하를 의미하는 월동기간은 생육재생기, 최고 분얼기, 출수기, 성숙기와 매우 높은 정의 상관을 보여(Table 4), 전체 쌀보리의 생육기간에 미치는 영향이 큰 것으로 조사되었다. 그러나, 월동기 평균기온과 월동기 일수 간에는 상관관계가 약하였으며(상관계수=-0.253), 평균기온이 낮다고 월동기간이 긴 것은 아니었다. 분얼기는 생육일수가 늘고 있어(회귀계수=0.269,  $R^2=0.218$ ), 적산온도와 일조시수도 늘었으며, 신장기는 이와 반대로 생육일수가 줄고 있는 것(회귀계수=-0.312,  $R^2=0.365$ )으로 조사되었다. 분석 기간 중 생

육재생기와 출수기, 성숙기가 연차 간에 빨라지는 경향이 뚜렷하였으나 최고분얼기는 특이하게 연차 간 그러한 경향이 없었으며(회귀계수=0.057,  $R^2=0.014$ ), 생육재생기가 빠르면 분얼기간이 길어져 최대분얼기를 늦추는 것으로 분석되었다. 등숙기의 평균온도는 17.4°C로 연차간 경향성이 없었으며(회귀계수=-0.003,  $R^2=0.003$ ), 등숙일수 또한 경향성이 없었다(회귀계수=0.011,  $R^2=0.001$ ). 분석 기간 중 생육시기의 평균기온은 유묘기 7.6°C, 월동기 -0.6°C, 분얼기 5.0°C, 절간신장기 11.5°C, 등숙기 17.4°C 였으며 강수량은 등숙기(99.4 mm) > 유묘기(83.5 mm) > 분얼기(65.3 mm) > 절간신장기(56.1 mm) > 월동기(45.9 mm) 순으로 많았다 (Table 3).

**Table 4.** Correlation coefficients between period and beginning of growth stages of winter hulless barley cultivated at Iksan from 1985 to 2015.

	WS	TS	ES	RS	RD	MTD	HD	MD
SS	-0.933**	-0.283	0.108	-0.092	-0.27	-0.631**	-0.389*	-0.482**
WS		0.002	0.126	0.011	0.598**	0.621**	0.590**	0.648**
TS			-0.671**	-0.063	-0.628**	0.592**	-0.119	-0.167
ES				-0.276	0.579**	-0.235	0.672**	0.586**
RS					-0.177	-0.261	-0.434*	0.085
RD						0.255	0.687**	0.66**
MTD							0.563**	0.475**
HD								0.861**

SS: seedling stage, WS: wintering stage, TS: tillering stage, ES: stem elongation stage, RS: ripening stage, RD: regrowth date, MTD: maximum tillering date, HD: heading date, MD: maturity date.

\*  $p \leq 0.05$  and \*\*  $p \leq 0.01$ .

**Table 5.** Correlation coefficients between regrowth date and monthly weather elements during the growing seasons for winter hulless barley at Iksan from 1985 to 2015.

	T_ave (°C)	T_acc (°Cd)	T_max (°C)	T_min (°C)	H_sun (h)	Pre (mm)	Day_no
Oct	-0.317	-0.323	-0.254	-0.350	0.089	-0.052	-
Nov	-0.068	-0.065	0.016	-0.098	0.183	-0.102	-
Dec	-0.061	-0.039	0.007	-0.178	0.132	-0.097	-
Jan	-0.115	-0.238	-0.166	-0.059	0.199	0.060	-
Feb	-0.596**	-0.574**	-0.462**	-0.630**	0.469**	-0.173**	-
SS	0.133	-0.264	0.204	0.002	-0.117	-0.309	-0.270
WS	-0.127	0.110	-0.025	-0.200	0.687**	0.113	0.590**

T\_ave: daily average air temperature (°C), T\_max: daily maximum air temperature (°C), T\_min: daily minimum air temperature (°C), T\_acc: cumulative value of daily average air temperature above 0°C (°Cd) (°Cd), Prec: precipitation (mm), H\_sun: sunshine hour (h), SS: seedling stage, WS: wintering stage, Day\_no: number of days of each growth stage.

\*\*  $p \leq 0.01$ .

Shim *et al.* (2000)은 1974~1998년 동안 가을보리 재배 기간의 기상을 분석한 결과 1987~1999년 동안 1~2월의 기온이 특히 높아져 춥지 않은 겨울이라고 하였는데, 본 연구에서도 1985~2000까지는 월동기 기온이 전체 평균보다 높고 변동성이 적었으나 2000년 이후에는 그러한 경향이 적었고 연차간 변동성이 커지는 것으로 나타났다. 또한, 등숙기에 해당되는 5월 상순~6월 상순의 기온이 전 기간 꾸준히 상승한 것으로 조사되었다. 전체적으로 지난 31년 동안 가을보리의 생육기간(10월 20일~6월 15일)중 일평균기온은 0.013°C/y 증가하였고, 강수량은 1.4 mm/y 감소하였고, 일조시수는 3.3hr/y 증가하였다.

#### 쌀보리 출수기의 조만과 기상요인과의 관계

쌀보리의 출수와 기상요인과의 관계를 알아보기자 먼저

생육 시기 및 생육기 간의 상관계수를 구하였다(Table 4). 유묘기간과 월동기간 간에는 매우 높은 부의 상관이 있었는데, 이는 월동시점은 파종 후 12월경의 일평균기온에 의해 결정되고, 생육재생기의 시작점은 월동한 후 2월 중순경으로 온난한 12월에는 월동 시점이 늦어지고, 추운 12월에는 빨라지기 때문이었다. 월동기간은 생육재생기, 최고분얼기, 출수기, 성숙기와 매우 높은 정의 상관을 보여(Table 4), 전체 쌀보리의 생육기간에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 분얼기간은 생육재생기와 부의 상관을 최고분얼기와는 정의 상관을 보였으며, 절간신장기간과 부의 상관을 보였다. 출수 후 등숙 기간은 출수기와 부의 상관을 보여 출수가 빠르면 등숙 기간이 긴 것으로 나타났다. 출수기에 가장 큰 영향을 주는 요인은 생육재생기( $R=0.687$ )와 절간신장기간( $R=0.672$ )이었으며 이들 기상요소의 장단에 영향

을 주는 월별 기상자료를 분석하였다.

생육재생기는 10월 하순~2월까지의 기상요소 중 2월 평균, 최고, 최저 기온과 높은 부의 상관관계를 보였고, 일조시수와 높은 양의 상관관계를 보였으나 강수량과는 상관관계가 약하였다(Table 5). 10월의 기온과도 약한 부의 상관관계를 보였다. 특이하게 생육재생기가 2월의 일조시수와는 높은 정의 상관관계를 보여 2월의 일조시수가 많을수록 생육재생기가 늦은 것으로 분석되었는데 이는 우리나라의 겨울 기상이 시베리아 기단의 영향으로 맑고 추운 날씨가 지속되며 기온과 일조시간과는 부의 상관관계를 보이는 것이 일반적 현상임으로(Lee *et al.*, 1995), 생육재생기와 일조시수의 정의 상관관계도 온도와 관련된 이러한 효과로 해석된다. 또한 생육재생기는 월동기 기상요소 중 일조시수 및 월동기 일수와 높은 정의 상관관계를 보였다.

절간신장기간에 대한 월별 기상요소의 영향을 보고자 요인별 상관계수를 구하였다(Table 6). 절간신장기간은 3~4월의 기온과 부의 상관관계를 보였으며 그중 3월 최고기온, 4월 최고기온, 4월 평균기온, 3월 일조시수와 높은 부의 상관관계를 보였다. 절간신장기간은 최고분얼기 이후 줄기와 유수가 신장하여 출수할 때까지의 기간인데 최고분얼기의 평균 일일이 4월 1일로 대체로 절간신장기간은 4월에 해당한다고 할 수 있으나 3월 최고 기온 및 일조시수와 높은 부의 상관관계를 보였으며 이는 가을보리의 각 생육단계가 전후의 기상요인

과 밀접한 관련이 있음을 나타내었다.

가을보리의 생육기 중 대체로 5월에 해당하는 등숙 기간은 4월의 강수량, 5월의 기온과 부의 상관관계를 보였으나 상관계수가 약하였고 등숙기 평균기온과는 높은 부의 상관관계를 보였다(Table 7). 등숙 기간과 5월 평균기온의 상관 정도가 낮은 이유는 출수기의 연차 간 변이와 관련이 있는데 2000년 이전에는 4월 하순에 출수가 시작되어 등숙기에 5월이 포함되는 해가 많았으나 2000년 이후에는 출수기가 빨라져 4월 중순에 출수가 시작되어 5월 하순경에 등숙이 마무리되는 해가 많았기 때문에 등숙기 평균 기온도 2000년 전까지의 5월 평균기온과 고도의 상관( $R=0.681$ )을 보였으나 2000년 이후에는 상관 정도가 매우 낮아졌다( $R=0.243$ ). 등숙 기간은 등숙기의 평균기온과는 부의 상관관계를, 적산온도와는 정의 상관관계를 보여 등숙기 평균기온이 낮을 때 등숙기간이 긴 것으로 나타났다. 등숙 기간과 등숙기 적산온도, 등숙기 일조시수는 매우 높은 정의 상관관계를 보였는데 대체로 가을보리의 생육 기간 중 적산온도와 일조시수는 해당 생육 기간의 일수와 비례하였다.

위와 같이 쌀보리의 생육 시기와 기상요인을 분석하여 출수기를 예측하는 회귀식을 구하였다(Table 8). Table 4에서 출수기에 대한 생육재생기( $R=0.687$ )와 절간신장기간( $R=0.672$ )의 상관계수 값이 비슷하였으나 생육재생기가 절간신장기간과 높은 정의 상관관계를 보여( $R=0.579$ ), 출수기에 대한 생육재

**Table 6.** Correlation coefficients between a period of stem elongation stage and monthly weather elements during winter hullless barley growing season at Iksan from 1985 to 2015.

	T_ave (°C)	T_acc (°Cd)	T_max (°C)	T_min (°C)	H_sun (h)	Pre (mm)
Mar.	-0.188	-0.201	-0.488**	0.23	-0.391*	0.105
Apr.	-0.394*	-0.394*	-0.403*	-0.288	0.141	-0.135

T\_ave: daily average air temperature (°C), T\_max: daily maximum air temperature (°C), T\_min: daily minimum air temperature (°C), T\_acc: cumulative value of daily average air temperature above 0°C (°Cd), H\_sun: sunshine hour (hr), Pre: precipitation (mm).  
\*  $p \leq 0.05$  and \*\*  $p \leq 0.01$ .

**Table 7.** Correlation coefficients between ripening stage and monthly weather elements during the growing seasons for winter hullless barley at Iksan from 1985 to 2015.

	T_ave (°C)	T_acc (°Cd)	T_max (°C)	T_min (°C)	H_sun (h)	Pre (mm)
Apr.	0.025	0.025	0.075	-0.046	0.21	-0.311
May	-0.261	-0.261	-0.278	-0.216	-0.002	0.003
Jun.	-0.094	-0.094	-0.077	-0.123	-0.016	-0.168
RS	-0.521**	0.716**	-0.521**	-0.435*	0.527**	0.001

T\_ave: daily average air temperature (°C), T\_max: daily maximum air temperature (°C), T\_min: daily minimum air temperature (°C), T\_acc: cumulative value of daily average air temperature above 0°C (°Cd), Pre: precipitation (mm), H\_sun: sunshine hour (h), RS: ripening stage.

\*  $p \leq 0.05$  and \*\*  $p \leq 0.01$ .



생기의 영향이 더 크다고 할 수 있었다. Table 8에서 회귀 식  $Y_1$ 은 2월 말까지의 기상자료를 이용하여 추정된 식으로 생육재생기와 2월 일조시수, 월동기 최고기온을 이용하였고,  $Y_2$ 는  $Y_1$ 의 식에 3월 일평균 최고기온을 추가하였다. 이러한 회귀식을 이용한 추정 출수기와 실제 작황 조사 출수기의 편차의 평균과 표준편차는 식  $Y_1$ ,  $Y_2$ 에서 각각  $0.1 \pm 2.5$ ,  $0 \pm 2.2$ 일이었다. Koo *et al.* (2001)는 출수기 조만이 2월과 3월 특히 2월의 적산온도와 고도의 유의성이 있었다고 하였고 Chun and Lim (1996)은 포장 출수기가 파성, 우수 분화 IV기, X기, 급숙절간신장기와 높은 상관관을 보였다고 했는데 본 조사에서도 이와 유사한 결과를 얻었다.

#### 쌀보리 수량의 연차간 변이와 기상요인과의 관계

쌀보리 수량과 기상요인과의 관계를 알아보기로 작황에 공식된 쌀보리 품종 중 가장 최근에 재배되고 있는 새찰쌀보리('03~'15)의 성적을 이용하여 출수기, 성숙기와 수량 구성요소의 Pearson 상관계수를 구하였다(Table 9). 재배 기간 동안 새찰쌀보리의 생육재생기는 출수기와 높은 정의 상관관을 보였고, 등숙 기간과는 부의 상관관을 보여 생육재생

기가 빠를수록 출수기도 빨라지고 등숙기간은 늘어났으며 리터중과 천립중과도 약한 부의 상관관을 보였다. 출수기에 대해서는 빠른 출수기가 등숙 기간의 증가, 천립중의 증가와 상관관계가 있었고 수량과도 약한 부의 상관관을 보였다. 또한, 새찰쌀보리의 출수기는 전북지역 쌀보리 수량(KOSIS, 2015)과도 비교적 높은 부의 상관관을 보였다. 등숙 기간은 수수와 매우 높은 정의 상관관을 보였는데 수수의 증가에 영향을 미치는 기상조건이 등숙기간의 증가와 매우 밀접한 관련이 있을 것으로 추정된다. 또한 등숙 기간은 수량과 정의 상관관을 보였다. 수수는 수당립수와 부의 상관관을, 천립중과 정의 상관관을 보였으나 상관관계는 약하였고, 수량과는 높은 정의 상관관을 보였다. 천립중은 수수와 함께 수량과 높은 정의 상관관을 보여 쌀보리 수량에 많은 영향을 주는 것으로 나타났으며 전북지역 쌀보리 수량과도 높은 정의 상관관을 보였다. 쌀보리 작황 수량과 상관관계가 높은 요인은 수수( $R=0.726$ ), 천립중( $R=0.719$ ), 등숙기간( $R=0.527$ ) 순이었으며, 작황 수량과 전북지역 쌀보리 수량도 높은 정의 상관관( $R=0.714$ )을 보였다.

천립중은 등숙 기간과는 상관관계가 적었으나( $R=0.307$ ),

**Table 8.** Multi-regression analysis equations and the  $R^2$  values for predicting heading date of winter hullless barley grown at Iksan from 1985 to 2015.

Equation	$R^2$
$Y_1 = 1.152 * X_1 + (-0.103) * X_2 + (-1.529) * X_3 + 85.382$	0.773
$Y_2 = 0.911 * X_1 + (-0.074) * X_2 + (-1.086) * X_3 + (-1.274) * X_4 + 105.611$	0.824

$Y_1$ ,  $Y_2$ : expected heading date (Julian days),  $X_1$ : regrowth date (Julian days),  $X_2$ : sunshine duration of February,  $X_3$ : mean of daily maximum air temperature during wintering stage,  $X_4$ : mean of daily maximum air temperature in March.

**Table 9.** Correlation coefficients between heading date, maturity date, yield and yield components of hullless barley "Saechalssal" cultivated from 2003 to 2015 in winter crop situation experiments at Iksan.

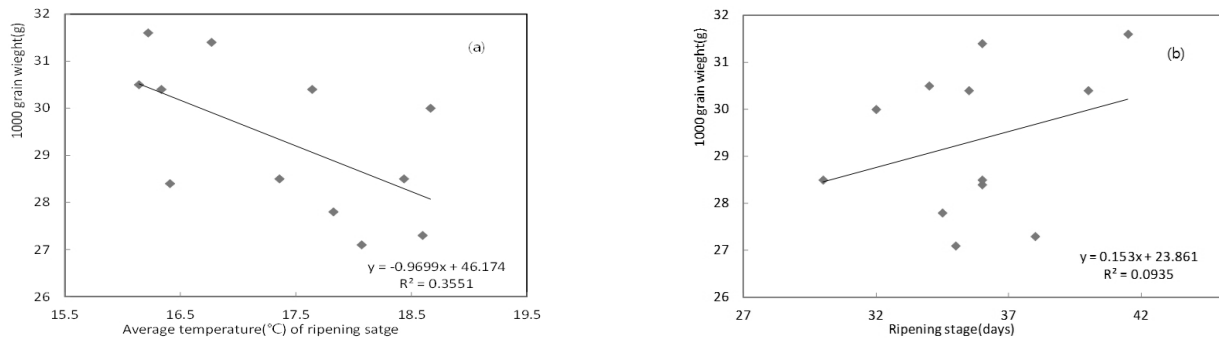
	H.D.	RS	CL	NS	NG	TW	TGW	Yield	Yield (s)
RD	0.737**	-0.545	0.153	-0.212	-0.116	-0.224	-0.378	-0.181	-0.195
HD		-0.547	0.326	-0.331	0.293	0.096	-0.556	-0.392	-0.518
RS			-0.228	0.783**	-0.097	-0.055	0.306	0.527	0.233
CL				-0.285	0.489	0.354	-0.306	-0.092	-0.358
NS					-0.385	-0.378	0.348	0.726**	0.4
NG						0.59*	0.06	-0.187	-0.18
TW							0.039	0.011	-0.024
TGW								0.719**	0.721**
Yield									0.714**

RD: regrowth date, HD: heading date, RS: number of days during ripening stage, CL: culm length, NS: number of spikes, NG: number of grain, TW: test weight, weight of grains in one liter volume, TGW: 1000-grain weight.

\*  $p \leq 0.05$  and \*\*  $p \leq 0.01$ .

등숙기 평균기온과는 높은 부의 상관( $R=-0.596$ )을 보여 평균기온이 낮을수록 천립중이 높았다(Fig. 2). 이는 일반적으로 출수기가 빠르면 등숙기의 평균온도가 낮아지고 천립중이 증가한다는 Ryu *et al.* (1992)의 보고와 일치하였다. 단위면적당 이삭 수는 생육 초기의 분얼양상과 최고분얼기 이후 유효경 비율에 따라 달라지며 수량에 가장 많은 영향을 미치는데, Koo *et al.* (2001)와 Shim *et al.* (2002)은 출수가 빠른 해에 수수의 증가로 쌀보리 수량이 높다고 하였으며, Ryu and Ha(1985)와 Ryu and Ha(1986)는 파종기 지연에 따른 수량감소는 수수의 감소가 가장 큰 원인이며, 지역별 파종기의 수량성은 수수의 변이 양상을 보여 수량에 대한 수수의 기여도가 크다고 하였다.

작물의 수량은 작물의 유전적 특성과 기상, 토양환경 및 병해충과의 상호작용에 의한 결과로 얻어지기 때문에 그 요인을 단순화하기는 매우 어려우나, 새찰쌀보리의 수량에 관여하는 기상요인을 대략적으로 살펴보기 위하여 분석기간에 수량이 가장 많았던 2004, 2005, 2009년과 수량이 가장 적었던 2006, 2010, 2013년의 생육단계별 기상요소와 수량구성요소를 비교하였다. 두 그룹의 각 생육 시기와 그 기간 중 평균기온을 비교한 결과, 절간신장기, 등숙기의 평균기온 그리고 출수기에서 유의한 차이( $P=5%$ )가 있었으며 (Table 10), 수량구성요소를 비교한 결과 수수와 천립중에서 유의한 차이가 있었다(Table 11). 수량이 많은 해의 평균수량은 579 kg/10a이었고 수량이 낮은 해의 평균수량은



**Fig. 2.** Relationships between (a) 1000-grain weight and average temperature of ripening stage and (b) 1000-grain weight and the period of ripening stage in hulless barley cultivar Saechalssal at Iksan from 2003 to 2015.

**Table 10.** Comparison of daily average air temperature of growth stages, regrowth date, and heading date of “Saechalssal” between high-yield years and low-yield years during the growing seasons for winter hulless barley at Iksan from 2003 to 2015.

	T_ave (°C)					RD	HD	Period of RS
	SS	WS	TS	ES	RS			
high-yield years	7.9 <sup>a</sup>	-0.5 <sup>a</sup>	4.5 <sup>a</sup>	11.5 <sup>a</sup>	16.7 <sup>b</sup>	116 <sup>a</sup>	184 <sup>b</sup>	38 <sup>a</sup>
low-yield years	8.3 <sup>a</sup>	-1.4 <sup>a</sup>	5.2 <sup>a</sup>	10.2 <sup>b</sup>	18.2 <sup>a</sup>	119 <sup>a</sup>	193 <sup>a</sup>	35 <sup>a</sup>

T\_ave : daily average air temperature (°C), SS: seedling stage, WS : wintering stage, TS: tillering stage, ES: stem elongation stage, RS: ripening stage, RD: regrowth date, HD: heading date.

Different letters at each column indicate significant difference at  $p \leq 0.05$ .

**Table 11.** Comparison of yield and yield components of “Saechalssal” between high-yield years and low-yield years during the growing seasons for winter hulless barley at Iksan from 2003 to 2015.

	CL (cm)	SL (cm)	NS	NG	TW (g)	TGW (g)	Yield (kg/10a)	Yield (s) (kg/10a)
high-yield years	78 <sup>a</sup>	4.7 <sup>a</sup>	720 <sup>a</sup>	52.0 <sup>a</sup>	789.3 <sup>a</sup>	30.8 <sup>a</sup>	579 <sup>a</sup>	524 <sup>a</sup>
low-yield years	79 <sup>a</sup>	5.0 <sup>a</sup>	574 <sup>b</sup>	54.3 <sup>a</sup>	785.4 <sup>a</sup>	27.4 <sup>b</sup>	342 <sup>b</sup>	353 <sup>b</sup>

CL: culm length, SL: spike length, NS: number of spikes, NG: number of grains per spike, TW: test weight, weight of grains in one liter volume, TGW: 1000-grain weight.

Different letters at each column indicate significant difference at  $p \leq 0.05$

342 kg/10a이었으며 전북지역 수량도 비슷한 경향이였다. 대체로 수량이 높은 해는 월동기와 절간신장기의 온도가 높아 출수가 빠르며 등숙기의 평균온도가 낮았고 수수가 많고 천립중이 무거웠다.

늘쌀보리와 새찰쌀보리의 공시된 기간에 따라 연차간 출수기와 수량변화를 살펴보았다(Fig. 3). 늘쌀보리가 재배되었던 1988~2003년 동안 출수일수는 평균 190일, 최소 179일, 최대 202일이었으며 수량은 평균 457 kg/10a, 최소 360 kg/10a, 최대 543 kg/10a 이었다. 새찰쌀보리가 재배되었던 2003~2015년 동안 출수일수는 평균 188일, 최소 181일, 최대 197일이었으며 수량은 평균 431 kg/10a, 최소 306 kg/10a, 최대 591 kg/10a 이었다. 쌀보리의 수량이 수수와 천립중과 높은 정의 상관관을 보이는 것은 늘쌀보리와 새찰쌀보리가 같았으나 출수기와의 상관관은 각 품종이 재배되었던 시기별로 달라, 늘쌀보리는 출수기와 수량이 정의 상관관을 보였고 출수기가 늦어짐에 따라 결실립수와 천립중이 증가 했고, 수량구성요소 간 부의 상관관이 없었다. 반면 새찰쌀보리는

수량이 출수기와 약한 부의 상관관을 보였고, 출수기가 늦어질수록 천립중이 감소했으며 수량구성요소중 수수와 결실립수 간에 부의 상관관을 보였다. 조사기간 중 쌀보리의 수량 감소의 직접적인 원인은 수수의 감소이었는데 '88년~'92년 5년 동안 늘쌀보리의 단위면적당 수수의 평균은 724개/m<sup>2</sup> 수량은 492 kg/10a 이었으나 '12~'15년 5년간 새찰쌀보리의 단위면적당 수수의 평균이 528개/m<sup>2</sup>, 수량은 402 kg/10a 이었다. 이러한 출수기와 수량의 변화양상이 품종적 특성이 원인인지는 보다 면밀한 검토가 있어야 할 것이지만 출수기의 변화가 '90년대 후반부터 시작된 점을 볼 때 기상변화에 영향이 큰 것으로 생각된다. 즉, 2000년 이전에는 따뜻해진 월동기로 인하여 겨울철 동해가 줄고, 생육재생기 이후 충분한 수수를 확보하여 출수할 수 있었고 출수 후 등숙에 적당한 환경이었다면, 2000년 이후에는 월동기의 평균기온이 낮은 해가 많았고 출수기의 변화가 심하였으며 수수가 적었고 등숙기에는 기온상승, 특히 최고기온의 상승과 강수량 감소로 등숙 조건이 불리하여 출수가 늦은 해의 수량 감소가 컸다고 할 수 있다. 이와 같은 경향은 전북지역 쌀보리 평균수량의 연차 간 변화에서도 나타나는데, Fig. 4에서와 같이 쌀보리의 수량은 2000년 전까지는 증가하는 경향이였으나, 2000년 이후에는 감소하는 경향이였으며, 등숙기에 보리보다 고온을 요구하는 밀의 경우 그 수량 감소가 보리보다 적은 것을 알 수 있다. *Brissona et al.* (2010)는 1990년대 중반부터 유럽지역의 밀 생산량이 정체되고 있으며 이는 품종 개발의 문제보다는 기후변화와 관련하여 절간신장기의 가뭄과 등숙기의 고온이 주원인이며 부가적으로 콩 재배 감소와 유기농업 증가에 따른 화학 비료 사용의 감소가 원인일 것으로 추정하였다.

익산 한곳의 작황 성적으로 기상요소도 기온, 일조시수와 강수량으로 제한적이며 공시품종의 재배 기간도 짧아 수량에 대한 정밀한 분석이 필요하겠으나 1985~2015년 익산지역의 맥류 작황을 분석한 결과, 2000년 이전에는 월동기 기온이 상승하고 출수가 빨라졌지만 2000년 이후 기상의 변동성이 커지고 수수가 감소하며 출수 후 등숙기의 온도가 높아지고 있어 수량이 지속해서 감소하고 있는 것으로 조사되었으며 앞으로 이러한 기상변화에 맞는 가을보리 재배법 개발과 적절한 품종의 개발이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

적 요

익산지역에서 기상요소의 변동에 따른 가을 쌀보리의 출수기 및 수량의 연차 간 변화를 알아보고자 작황 자료('85~'15) 중 기상요소와 쌀보리 생육 기간 및 수량과의 관계를 분석하였다.

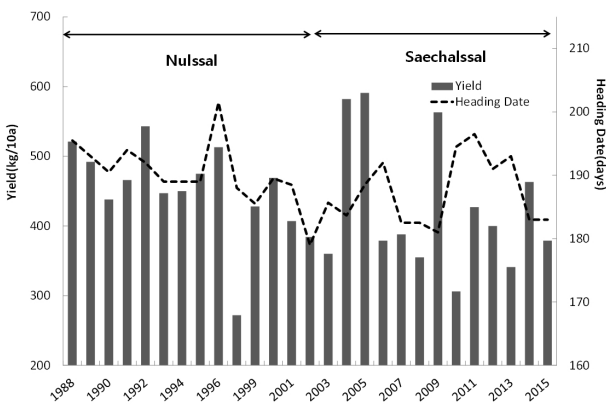


Fig. 3. Yearly variations of heading date and yield of winter hulless barley for 28 years from 1988 to 2015. Experiment years were from 1988 to 2002 for “Nulssal” and from 2003 to 2015 for “Saechalssal”.

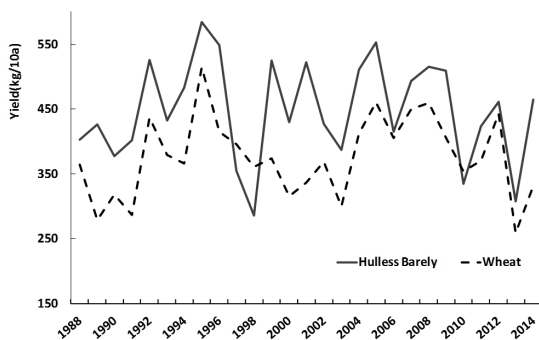


Fig. 4. Yearly variations in yield of hulless barley and wheat in Jeonbuk Province from 1998 to 2014.(www.kosis.kr).

1. 쌀보리 파종기인 10월 하순의 기온이 꾸준히 상승하여 출현이 빨라졌으며, 90년대 출지 않았던 월동기는 2000년 이후, 12월에 추운 해가 많았고 1월의 변동폭도 증가하여 전체적으로 기온이 낮은 해가 많았다. 그러나 월동 후 생육재생기는 지속적으로 빨라졌으며 이는 출수기와 성숙기 등에 영향을 미쳤다. 3월의 일조시수는 증가하는 경향이었으며 등숙기에 해당되는 5월~6월 상순에는 전 기간 최고기온과 평균기온의 상승이 뚜렷하고 강수량이 감소하여 고온 건조해 지는 경향이였다. 조사기간 동안 쌀보리 생육기의 평균일은 다음과 같아서 생육정지기는 12월 18일, 생육재생기는 2월 17일, 최고분얼기는 4월 1일, 출수기 4월 27일, 등숙기 6월 1일 이었으며 파종에서 등숙까지 224일이 소요되었다.
2. 익산지역에서 쌀보리의 출수기는 생육재생기, 절간신장기간과 고도의 정의 상관을 보여 생육재생기가 빠르고 절간신장기가 짧을수록 출수가 빨랐으며 생육재생기와 절간신장기간 간에도 고도의 정의 상관을 보였다. 생육재생기는 2월 평균기온과, 절간신장기는 3월 최고기온과 고도의 부의 상관을 보였다. 등숙 기간은 등숙기 평균온도와 고도의 부의 상관을 보여 등숙기 기온이 낮을수록 등숙 기간이 길었다.
3. 새찰쌀보리('03~'15)의 수량과 상관관계가 높은 요인은 수수( $R=0.726$ ), 천립중( $R=0.719$ ), 등숙기간( $R=0.527$ ) 순이었으며 출수가 빠를수록 등숙 기간이 길고, 천립중이 높았다. 천립중은 등숙기 평균온도와 높은 부의 상관을 보였다.
4. 쌀보리의 수량은 90년대 높게 유지되었으나 2000년 이후 감소하는 경향이 뚜렷하였고 수량구성요소 중 수수의 감소가 가장 큰 원인이었다. 출수기에 따른 수량반응성도 시기별로 달라 늘쌀보리 재배시기('88~'03)에는 출수기와 수량이 정의 상관을 보였고 출수기가 늦어짐에 따라 천립중이 증가하였으나, 새찰쌀보리 재배기('03~'15)에는 출수기가 늦어질수록 천립중이 감소하여 수량과 약한 부의 상관관계를 보였으며 출수가 늦은 해에는 등숙기의 기온상승으로 수량감소가 컸다고 할 수 있다.

## 사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ0075712016)의 지원으로 수행되었습니다.

## 인용문헌(REFERENCES)

- Brissona, N., P. Gate, D. Gouache, G. Charmet, F. X. Oury, and F. Huard. 2010. Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crops Research* 119(1) : 201-212.
- Cho, C. H., W. S. Ahn, and J. H. Nam. 1985. Studies on the differences of factors affecting heading and maturing dates in wheat and barley. *Korean J. Breed.* 17(2) : 158-164.
- Chun, J. U. and H. D. Lim. 1996. Effects of autumn vs. spring plantings on development of ear primordium, leaf emergence, heading and other traits in barley varieties having different growth habits. *Korean J. Breed.* 28(1) : 1-9(1996).
- Ha, Y. W. 2000. Barley, National Crop Experiment Station pp. 81-84.
- Ha, Y. W. and D. J. Maeng. 1984. Heading date of wheat and barley III. factorial analysis of wheat varieties on earliness. *Korean J. Crop Sci.* 29(3) : 254-260.
- Ha, Y. W. and S. H. Lee. 1984. Studies on heading date of wheat and barley. IV. The influence of temperature and photoperiod on the ecological characteristics of barley. *Korean J. Crop Sci.* 29(4) : 386-393.
- Kim, D. J., S. O. Kim, K. H. Moon, and J. I. Yun. 2012. An outlook on cereal grains production in South Korea based on crop growth simulation under the RCP 8.5 climate change scenarios. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology.* 14(3) : 132-141.
- Kim, D. J., J. H. Roh, and J. I. Yun. 2013a. Grain yield response of CERES-barley adjusted for domestic cultivars to the simultaneous changes in temperature, precipitation, and CO<sub>2</sub> concentration. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology.* 15(4) : 312-319.
- Kim, D. J., J. H. Roh, J. G. Kim, and J. I. Yun. 2013b. The influence of shifting planting date on cereal grains production under the projected climate change. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology.* 15(1) : 26-39.
- Koo, B. C., C. W. Lee, C. G. Lee, J. C. Kim, and M. W. Park. 2001. Growth and yield of barley as affected by accumulated temperature. *Korean J. Crop Sci.* 46(6) : 468-472.
- Lee, J. T., S. H. Yun, and M. E. Park. 1995. Relationships between seasonal duration of sunshine and air temperature in Korea. *Korean J. Environ. Agric.* 14(2) : 155-162.
- Park, M. W., J. G. Kim, and E. S. Lee. 1988. Varietal differences in growth and development affected by temperature in barley. *Korean J. Crop Sci.* 33(4) : 343-349.
- Rural Development Administration. 2013. Barley: Agricultural Science and Technology Research. RDA. pp. 54-55.
- Ryu, Y. H. and Y. W. Ha. 1985. Effect of major morphological traits, yield and yield components of barley I. Variations of morphological traits, yield and yield components on different seeding dates. *Korean J. Crop Sci.* 30(1) : 84-92.

- Ryu, Y. H. and Y. W. Ha. 1986. Studies on major morphological traits, yield and yield components of barley II. Variations of growth and developmental patterns, and grain yield by different locations and sowing dates. *Korean J. Crop Sci.* 31(1) : 97-103.
- Ryu, Y. H., C. D. Lee, and Y. W. Ha. 1992. Effects of sowing date on grain filling and related traits in winter barley. *Korean J. Crop Sci.* 37(1) : 93-103.
- Shim, K. M., J. T. Lee, S. H. Yun, and K. H. Hwang. 2000. Analysis of meteorological variation during winter barley cropping season in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology.* 2(3) : 95-102.
- Shim, K. M., S. H. Yun, Y. S. Jung, J. T. Lee, and K. H. Hwang. 2002. Impact of recent weather variation on yield components and growth stages of winter barley in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology.* 4(1) : 38-48.
- Shim, K. M., J. T. Lee, Y. S. Lee, and G. Y. Kim. 2004. Reclassification of winter barley cultivation zones in Korea based on recent evidences in climate change. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology.* 6(4) : 218-234.
- Shim, K. M., S. H. Min, D. B. Lee, G. Y. Kim, H. C. Jeong, S. B. Lee, and K. K. Kang. 2011. Simulation of the effects of the A1B climate change scenario on the potential yield of winter naked barley in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology.* 13(4) : 192-203.
- Sung, B. R., J. G. Kim, J. H. Roh, H. R. Lee, D. J. Kim, and J. I. Yoon. 2014. Regional stability of heading date and yield in barley variety "Olbori". *Korean J. Int. Agric.* 26(1) : 20-26.