한국농림기상학회지, 제4권 제1호(2002)
Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 4, No. 1, (2002), pp. 38~48

최근의 기상환경 변화에 따른 가을보리의 수량구성요소 및 생육단계 변화

심교문[1] · 윤성호[1] · 정영상[2] · 이정택[1] · 황규홍[1]
[1]농업과학기술원, [2]강원대학교 농업생명과학대학
(2001년 12월 17일 접수; 2002년 3월 6일 수락)

Impact of Recent Weather Variation on Yield Components and Growth Stages of Winter Barley in Korea

Kyo-Moon Shim[1], Seong-Ho Yun[1], Yeong-Sang Jung[2], Jeong-Taek Lee[1] and Kyu-Hong Hwang[1]
[1]National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea
[2]Division of Biological Environmental College of Agriculture and Life Sciences
Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea
(Received December 17, 2001; Accepted March 6, 2002)

ABSTRACT

This study examines the relationships between atmospheric influences and grain yields including yield components as well as growth stages. Data used in this study were collected from the long-term field experiment at Suwon for the period between 1974 and 2000. Mean grain yield of barley cultivar, Olbori, for the recent 14 years(1987~2000) with warm winters was higher by 0.42 ton per hectare than that for 27 years(1974~2000) at Suwon as a result of the higher numbers of spikes per unit land area and grains per spike. However, the 1000-grain weight decreased by about 0.6 gram. Mean first day of regrowth for the recent 14 years was earlier by five days than that for 27 years. Also, beginning date of regrowth was positively correlated with that of heading and ripening. Mean period of ripening for the years of 1987 through 2000 was similar to that for 27 years, but mean period of overwintering was shorter by nine days than that for 27 years. On the other hand, mean periods of seedling and tillering were longer by three days than those for 27 years. Meteorological elements at various growth stages affecting grain yield of winter barley were air temperature (positive correlation) and sunshine hour (negative correlation) of overwintering stage, precipitation (negative correlation) of tillering stage, and potential evapotranpiration (positive correlation) of tillering stage. The 1000-grain weight was not significantly correlated with the meteorological elements. Culm length was negatively influenced by high temperature and dry weather situations during the ripening period, but spike length was positively influenced. Overall, it was found that grain yield of barley, cultivar Olbori, was influenced by meteorological elements of overwintering, tillering, and ripening stages.

Key words : **winter barley, overwintering, warm winters, yield components, growth stages**

I. 緖 言

세계 도처에서 발생하는 기상이변의 주요 원인으로 대기 중 온실가스의 증가에 따른 지구온난화가 주도하는 기후변화를 지목하고 있다. 지구온난화에 대한 주장은 계속 논란의 대상이 되고 있으나, 여러 관측자료들은 지구온난화가 실제로 진행되어 왔고, 현재의 상태로 온실가스를 배출한다면 앞으로도 계속 가중될 것

Corresponding Author : Kyo-Moon Shim(kmshim@rda.go.kr)

이라는 다양한 증거를 제시하고 있다(Jones *et al.*, 1986; Hansen and Lebedeff, 1987; Vinnikov *et al.*, 1990; Parker *et al.*, 1994). 지구 기후변화의 역사적 사실에 비추어 볼 때 현재 기후변화의 속도는 매우 빠르게 진행되고 있어, 많은 지구과학자들은 앞으로 기후변화가 더욱 가속화될 것이라는 일치된 견해를 가지고 있다. 우리나라에서도 여러 연구자들에 의해서 다양한 분야에서 기후변화가 관찰되고 있는데(강과 노, 1985; 정과 윤, 1999; 심 등, 2000), 특히 최근의 겨울철 기온상승은 가장 두드러진 현상으로 꼽을 수 있다(조, 1992). 따라서 가을보리를 비롯한 겨울(월동)작물의 기상환경 변화에 따른 농작물의 생육과 수량에 큰 변동이 있을 것으로 예상된다.

보리는 밀, 벼, 옥수수 다음 가는 세계 제 4위의 곡물로서 세계의 온대 및 아열대에서 재배되고 있으며, 비교적 서늘하고 건조한 기상환경에 적응하는 작물이다. 우리나라에서 재배되는 보리는 가을에 파종하여 월동하고 이듬해 초여름에 수확하는 작물이어서 다른 작물보다 생육기간이 길다. 따라서 품종 자체의 유전성 뿐만 아니라 기상조건, 재배방법, 비배관리(肥培管理) 등 여러 가지 요인들이 전 생육기간을 통하여 각 발육단계마다 영향을 미치며, 수량은 이들을 누적한 종합된 결과로 생성된 것이라 할 수 있다(서 등, 1986).

본 연구는 최근의 가을보리 재배기간의 기상환경 변화에 따른, 특히 1987년을 기점으로 '춥지 않은 겨울' 날씨를 보인 14년(1987~2000년) 동안의 기상환경 변화에 따른 가을보리의 생육단계 및 수량구성요소의 변동을 분석하였고, 각 생육단계별 기상요소가 보리의 수량과 관련되는 재배적 형질에 미치는 영향을 분석하여 기후변화에 대응하는 보리의 육종방향 설정을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

II. 材料 및 方法

본 연구의 자료는 농촌진흥청 작물시험장의 전작시험포장(수원, 해발: 39 m)에서 1974년(1973년: 파종, 1974년: 수확)부터 2000년까지 27년 동안 실시한 가을보리의 신품종 지역적응시험 성적 중 표준품종으로 매년 공시한 올보리(겉보리) 품종의 작황성적과 시험포장에서 직선으로 약 500미터 떨어져 있는 수원기상대(북위: 37°16', 동경: 126°59', 해발: 34 m)에서 관측한 일별 기상자료를 이용하였다.

2.1. 作況 및 氣象要素

작황자료 중 분석에 이용한 항목은 수량구성요소[수수(개/m^2), 1수입수(개/수), 천립중(g)]와 수량(ton/ha) 및 간장(cm), 수장(cm), 출수기(월/일)이며, 기상요소는 평균(최고, 최저)기온(°C), 강수량(mm), 일조시간(hr), 평균풍속(m/sec), 상대습도(%), 포차(hPa), 증발산위(mm)의 일별 자료이다. 기상요소 중에 평균(최고, 최저)기온과 포차는 일별 및 생육단계별 평균값을 계산하여 분석하였고, 일조시간과 강수량 및 증발산위는 적산값을 계산하여 분석 기초요소로 활용하였다.

2.2. 蒸發散位 및 飽差 計算方法

증발산위(Potential evapotranspiration)는 지표를 완전히 덮은 상태에서 충분한 토양수분의 공급을 받으며 왕성하게 생육중인 작물군락으로부터 대기 중에 증발 또는 증산되는 물의 양을 뜻한다. 증발산위를 추정하는 방법에는 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 '개량 Penman 법'(Doorenbos and Pruitt, 1977)에 의해 증발산위를 계산하였다. '개량 Penman 법'은 표준기상자료로부터 경지 증발산량을 장기간에 걸쳐 추정하는 목적에 적합하다(윤, 1999). 즉, 평균기온, 습도, 풍속, 일조시간 등 표준기상자료로부터 증발산위(ET_0)의 계산이 가능하며, 그 식 (1)은 다음과 같다.

$$ET_0=W \cdot R_n+(1-W) \cdot f(u) \cdot (e_s-e_a) \quad (1)$$

여기서, ET_0는 증발산위, W는 $\Delta/\Delta+\gamma$(Δ는 포화수증기압곡선의 기울기($hPa/°C$), γ는 건습계 상수로서 0.645 $hPa/°C$), R_n는 $R_{ns}-R_{nl}$(R_{ns}는 태양복사에너지 평형, R_{nl}는 지구복사에너지 평형), f(u)는 0.27(1+{u/100})(u는 24시간의 풍정으로 단위는 km/day), e_s-e_a는 포차이다.

그리고, 포차(Saturation deficit)는 포화수증기압과 실제 수증기압 간의 차로 구할 수 있다. 즉, 어떤 온도(T)에서의 포화수증기압(e_s)은 다음의 경험식 (2) 즉,

$$e_s = 6.1078\exp\left(\frac{17.269\times T}{T+237.3}\right) \text{ (단위 : } hPa) \quad (2)$$

에 의해 추정하였고, 실제 수증기압은 이미 알고 있는 상대습도(Relative humidity)로부터 추정하여 이들의 차로 포차를 구하였다.

2.3. 生育段階 區分

생육단계별 기상요소와 수량 및 수량구성요소와의

Table 1. Growth stages of winter barley plant

Growth stage	Period
SI	Sowing date to 10 days after sowing date
SII	10 days after sowing date to end of growing season of year of sowing
SIII	Winter rest(overwintering)
SIV	Beginning of growing season to heading date
SV	Heading date to maturity date

관계를 살펴보기 위해서 가을보리의 전 생육기간을 5단계로 나누었다(Table 1). I단계는 출현기간으로, 일반적으로 정상적인 기상환경조건에서는 파종 후 7~10일이면 대부분의 보리종자는 발아하여 지상부로 출현한다(유와 하, 1986). II단계는 유묘기간으로 잎이 전개되고 분얼이 시작하는 시기이며, III단계는 월동기간으로 생육이 정지한 시기이다. 그리고, IV단계는 분얼기간으로 왕성한 분얼과 유수분화가 이루어지는 시기이며, 마지막으로 V단계는 성숙기간으로 줄기의 신장이 현저하고 출수·개화한 후 낟알이 여무는 시기 등이다.

2.4. 生育再生期 및 生育停止期의 決定

생육단계의 구분 중 III단계인 월동기간을 정하기 위해서는 생육기간의 시작과 끝을 조사하여야 하는데, 본 연구에서는 가을보리의 생육한계온도(Base temperature)인 4°C를 기준으로 하였다. 즉, 4°C 이상의 일 평균기온이 4일간 지속하는 그 첫날을 생육재생기로 정하였고, 반대로 생육정지기는 일 평균기온이 4°C 미만으로 4일간 지속하는 그 첫날로 하여 정하였다.

2.5. 相關分析 및 收量推定 模型 設定

가을보리의 각 생육단계별 기상요소와 수량 및 수량구성요소와의 관계, 그리고 수량과 수량구성요소 상호간의 관계를 분석하여 수량에 가장 큰 영향을 주는 각 생육단계별 기상요소와 수량구성요소를 파악하기 위해서 Pearson 상관계수를 구하였다. 또한, 수량구성요소를 추정 변수로 하여 다중회귀식으로 수량추정 모형을 설정하여 가을보리의 수량에 대한 수량구성요소의 기여도를 평가하여 보았다.

III. 結果 및 考察

3.1. 收量 및 收量構成要素의 變化

농촌진흥청 작물시험장의 전작시험포장에서 매년 표

Table 2. Yield and yield components of barley cultivar Olbori during the periods of 1974~2000, 1974~1986, and 1987~2000 at Suwon

Yield Component	Period	Mean	Standard Deviation	Coefficient of Variation(%)
No. of spikes per m^2	1974~2000(A)	609	155	25
	1974~1986(B)	536	146	27
	1987~2000(C)	676	134	20
	C-A	67		
	C-B	140		
No. of grains per spike	1974~2000(A)	49	6	13
	1974~1986(B)	47	6	14
	1987~2000(C)	51	6	11
	C-A	2		
	C-B	4		
1000-grain weight (g)	1974~2000(A)	33.2	3	8
	1974~1986(B)	33.9	3	9
	1987~2000(C)	32.6	2	6
	C-A	-0.6		
	C-B	-1.3		
Yield per ha (ton)	1974~2000(A)	3.71	1.00	27
	1974~1986(B)	3.25	0.84	26
	1987~2000(C)	4.13	0.97	23
	C-A	0.42		
	C-B	0.88		

준품종으로 공시한 올보리(겉보리) 품종의 지난 27년(1974~2000년) 동안 평균수량은 헥타르(ha)당 3.71톤(C.V.=27%)으로 농림부에서 발표한 지난 30년(1971~2000년) 동안의 전국 겉보리의 평균수량(2.29 ton/ha)보다 월등히 많았다. 한편, 최근 14년간(1987~2000년)의 올보리의 평균수량은 헥타르당 4.13톤으로 지난 27년의 평균(3.25 ton/ha)보다 헥타르당 0.42톤이 증수되었고, 1987년 이전의 13년(1974~1986년)보다는 헥타르당 무려 0.88톤이 증수되었다(Table 2).

그 주요한 이유는 단위면적당 수수를 많이 확보한 결과이며(27년 평균대비: m^2 당 67개 증가), 1수입수의 증대(27년 평균대비: 2개 증가)도 수량증가에 다소 기여하였다. 반면에 최근 14년 동안의 올보리 품종의 천립중은 평균(1974~2000년)보다 0.6 g 정도 가벼워졌고, 1987년 이전의 13년보다는 1 g 이상 가벼워졌다. 이 기간에 천립중이 가벼워진 주 원인은 특별히 많이

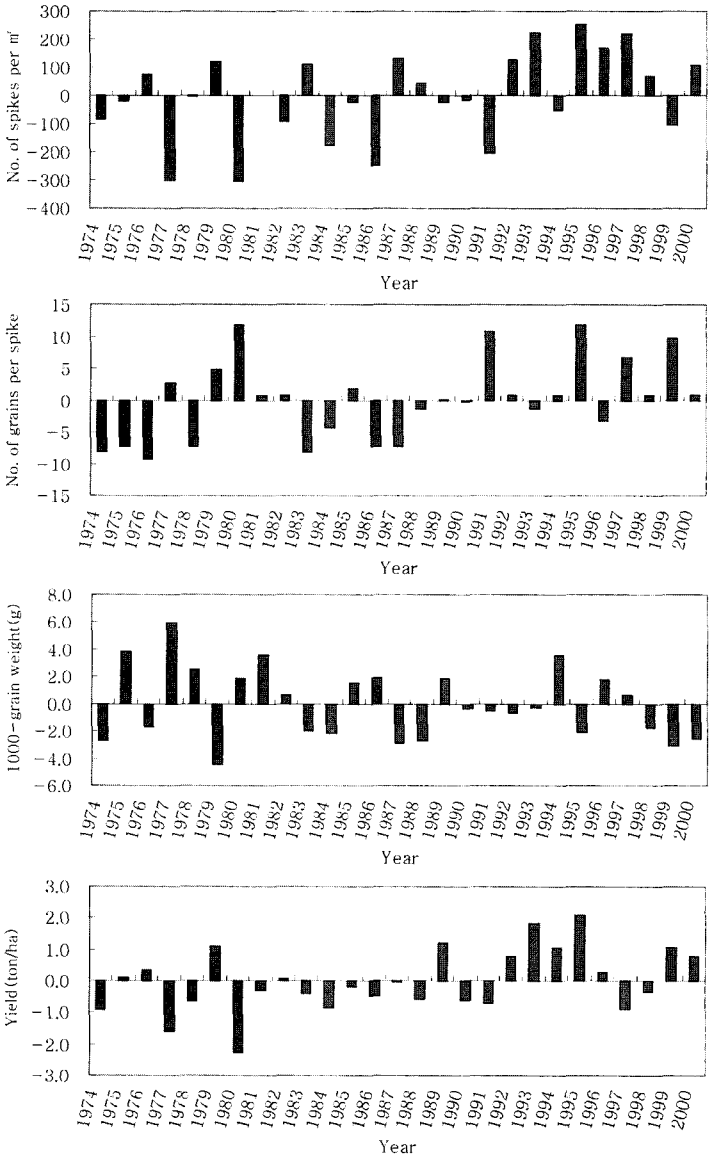

Fig. 1. Yearly deviations of the yield and its components as compared to the mean values for 27 years from 1974 through 2000 in barley cultivar Olbori at Suwon.

확보된 m^2 당 수수에 따른 수량구성요소간의 균형유지 효과로 해석된다. 이러한 수량과 수량구성요소의 변화는 재배양식의 개선 및 재배기술의 발전이 원인이 되겠지만, 무엇보다도 최근의 '춥지 않은 겨울' 날씨와 무관하지 않을 것이다. 즉, '춥지 않은 겨울'과 '온화한 이른 봄' 날씨는 가을보리의 생육과 수량에 유리하게 작용하였을 것으로 판단된다.

Fig. 1은 수량과 수량구성요소의 27년(1974~2000년) 평균대비 연도별 변이를 나타낸 것이다. 전반적으로 수량과 m^2 당 수수는 변이의 폭이 컸고, 1수립수와 천립중은 상대적으로 변이의 폭이 작았다. 수량이 가장 많았던 1995년에는 천립중은 27년 평균보다 낮았지만, 많은 m^2 당 수수와 1수립수가 수량증대에 기여한 것으로 판단되었다. 반면에 수량이 가장 적었던 1980년에는 천립중과 1수입수는 27년 평균보다 높았으나, m^2 당 수수가 너무 적게 확보되어 수량 감소를 초래하였다. 따라서 가을보리의 수량에 가장 크게 기여하는 수량구성요소는 m^2 당 수수로 판단되며, '춥지 않은 겨울' 날씨를 보인 1987년 이후에는 m^2 당 수수가 27년 평균보다 높은 경향을 보이고 있다. 일반적으로 천립중은 다른 수량구성요소보다 가을보리의 수량변화에 적게 기여하였다. 다만 1989년에는 천립중의

Table 3. Parameters relevant to the yield of barley cultivar Olbory for three years of good harvest and 27 years(1974~2000) mean

Growth stage	Parameter	1989	1995	1999	1974~2000 mean
SI : sowing date to 10 days after sowing date	Period (day)	10	10	10	10
	Mean air temperature (°C)	14.8	17.5	18.4	14.8
	Precipitation (mm)	3.6	99.4	19.3	22.3
	Sunshine hour (hr)	67.3	54.1	43.1	60.3
	Saturation deficit (hPa)	4.9	5.4	4.6	4.3
	Potential evapotranspiration (mm)	21.4	19.6	19.8	18.0
SII : 10 days after sowing date to end of growing season of year of sowing	Period (day)	42	59	30	39
	Mean air temperature (℃)	8.4	8.5	11.8	9.3
	Precipitation (mm)	29.6	130.7	28.9	64.8
	Sunshine hour (hr)	270.6	337.6	192.3	217.9
	Saturation deficit (hPa)	3.5	3.9	3.8	3.1
	Potential evapotranspiration (mm)	73.0	104.9	58.1	64.3
SIII : winter rest	Period (day)	83	83	98	105
	Mean air temperature (°C)	-0.1	-0.8	0.4	-1.2
	Precipitation (mm)	79.1	26.9	35.8	83.1
	Sunshine hour (hr)	400	520.9	581.9	582.4
	Saturation deficit (hPa)	1.8	2.3	2.0	1.8
	Potential evapotranspiration (mm)	104.4	116.2	132.5	131.5
SIV : beginning of growing season to heading date	Period (day)	68	62	66	57
	Mean air temperature (°C)	7.5	9.5	8.8	9.4
	Precipitation (mm)	167.1	80.1	128.6	128.4
	Sunshine hour (hr)	462	410.5	438	393.5
	Saturation deficit (hPa)	4.1	5.1	4.2	4.1
	Potential evapotranspiration (mm)	137.4	148.4	141.0	117.9
SV : heading date to maturity date	Period (day)	36	39	38	36
	Mean air temperature (°C)	16.5	18.5	17.7	17.9
	Precipitation (mm)	39.8	104.3	141.7	113.1
	Sunshine hour (hr)	296.8	244.3	269.9	260.1
	Saturation deficit (hPa)	7.5	8.5	5.6	6.2
	Potential evapotranspiration (mm)	98.3	104.5	83.9	81.0
Yield component	No. of spikes per m^2	586	859	504	609
	No. of grains per spike	49	61	59	49
	1000-grain weight (g)	35.1	31.2	30.2	33.2
	Yield per ha (ton)	4.91	5.78	4.76	3.71

증가가 수량의 증가에 크게 영향을 주었고, 1999년에는 1수립수의 증가가 수량증가에 크게 기여하였다.

다음으로, 지난 27년간 올보리 품종의 수량이 평균(1974~2000년)보다 헥타르(ha)당 1톤 이상 증가한 연도(1979, 1989, 1993, 1995, 1999년) 중에 수량증가에 기여한 주요 수량구성요소가 다른 연도(1989: 천립중, 1995: 수수와 1수립수, 1999: 1수립수)의 각 생육단계의 지속일수와 생육단계별 주요기상의 변화 및 수량구성요소에 대해 살펴보았다(Table 3). 1995년에는 SI 기간(파종기~파종후 10일)에 기온이 높게 경과하였으며, 월동전에 파종기부터 생육정지기 까지의 기간(SI~SII)이 길었다. 또한, 이 기간의 강수량과 일조시간도 많아 종자의 지상부 출현기간이 짧았고, 발아율도 높아져 월동전에 분얼수가 증가하였고, 짧은 월동기간과 평균보다 긴 분얼기간(SIV)으로 m^2 당 수수의 확보가 증가한 것으로 판단된다. 반면에, 1999년에는 유묘기간(SII)이 짧고 월동기간(SIII)이 상대적으로 길어서 m^2 당 수수의 확보는 감소하였으나, 평균보다 길었던 SIV 기간과 이 기간의 적당한 강수량이 1수립수를 증가시켰으며, 1989년에는 등숙기간 동안 낮게 경과한 온도가 천립중을 높였을 것으로 해석된다.

다음으로, 27년 평균보다 헥타르(ha)당 1톤 이상 감

Table 4. Parameters relevant to the yield of barley cultivar Olbory for two years of bad harvest and 27 years(1974~2000) mean.

Growth stage	Parameter	1977	1980	1974~2000 mean
SI : sowing date to 10 days after sowing date	Period (day)	10	10	10
	Mean air temperature (°C)	14.9	14.1	14.8
	Precipitation (mm)	19.3	0	22.3
	Sunshine hour (hr)	66.8	58.3	60.3
	Saturation deficit (hPa)	3.3	3.6	4.3
	Potential evapotranspiration (mm)	15.3	15.0	18.0
SII : 10 days after sowing date to end of growing season of year of sowing	Period (day)	30	28	39
	Mean air temperature (°C)	8.4	12.7	9.3
	Precipitation (mm)	67.4	18.6	64.8
	Sunshine hour (hr)	180.6	197.1	217.9
	Saturation deficit (hPa)	2.9	3.7	3.1
	Potential evapotranspiration (mm)	51.2	48.4	64.3
SIII : winter rest	Period (day)	121	125	105
	Mean air temperature (°C)	-2.8	-1.5	-1.2
	Precipitation (mm)	68.2	87.4	83.1
	Sunshine hour (hr)	696.5	736.5	582.4
	Saturation deficit (hPa)	1.8	1.7	1.8
	Potential evapotranspiration (mm)	156.6	150.8	131.5
SIV beginning of growing season to heading date	Period (day)	61	57	57
	Mean air temperature (°C)	11.0	9.3	9.4
	Precipitation (mm)	300.5	274.4	128.4
	Sunshine hour (hr)	449.7	370.5	393.5
	Saturation deficit (hPa)	3.6	3.7	4.1
	Potential evapotranspiration (mm)	109.2	111.3	117.9
SV : heading date to maturity date	Period (day)	36	37	36
	Mean air temperature (°C)	19.3	18.6	17.9
	Precipitation (mm)	71.3	173.2	113.1
	Sunshine hour (hr)	296.9	278.6	260.1
	Saturation deficit (hPa)	6.1	5.6	6.2
	Potential evapotranspiration (mm)	75.5	78.8	81.0
Yield component	No. of spikes per m^2	307	304	609
	No. of grains per spike	52	61	49
	1000-grain weight (g)	39.2	35.1	33.2
	Yield per ha (ton)	2.13	1.47	3.71

소한 연도(1977, 1980년)의 각 생육단계의 지속일수와 생육단계별 주요기상의 변화 및 수량구성요소에 대하여 살펴보았다(Table 4). 1977년과 1980년 모두 출현기간(SI)에 기온이 낮게 경과하였으며, 유묘기간(SII)이 평균보다 짧았다. 또한 춥고 긴 월동기간(SIII)은 올보리 품종의 발아율을 낮추고, m^2 당 수수의 확보를 적게 하였다. 그리고 분얼기간(SIV)동안 이례적으로 많은 강수량은(평균대비: 146~172 mm 증가), 오히려 m^2 당 수수 확보를 방해하여, 수량이 크게 감소된 것으로 판단된다.

겨울철에 증발산위가 높다는 것은 차가운 시베리아 기단의 영향으로 일조시간이 많고 차가운 날씨가 지속된다는 것을 의미하고(Chmielemski and Köhn, 2000), 반면에 작물이 생장하는 계절(봄, 여름, 가을)에는 광합성량의 증가로 작물의 생장이 촉진된다는 것을 의미한다. 본 연구에서도 비슷한 결과가 보였다. 즉, 1977년과 1980년에는 월동기간(SIII)에 증발산위가 높았고(평균대비: 19~25 mm 증가), 월동전기간(SI~SII) 및 월동후기간(SIV~SV)에는 증발산위가 매우 낮았다. 반면에 수량이 많았던 연도(1989, 1995년)에서는 이와는 반대로 월동기간에는 증발산위가 낮았고(평균대비: 15~27 mm 감소), 월동전기간과 월동후기간에는 증발산위가 높았다.

27년(1974~2000년)간 수원의 전작시험포장에서 조사한 올보리(겉보리) 품종의 재배적 형질과 수량의 상호관계는 Table 5와 같다. m^2 당 수수와 수량과는 높은 정의 상관관계(0.6166)를 나타낸 반면에, m^2 당 수수와 천립중은 부의 상관관계를 보였다(-0.3973). 이는 앞에서도 언급하였는 바, 수량구성요소간의 균형유지 효과로 판단된다. 또한, m^2 당 수수는 수장과 부의 상관관계(-0.4038)를 나타냈고, 1수입수는 수장과 정의 상관(0.5843)을 보였다. 즉, 가을보리의 수량의 증가에 크게 기여하는 재배적 형질은 m^2 당 수수이다. 결론적으로 최근의 가을보리 재배기간의 기상환경의 변화와 수량구성요소의 변화에 비추어 보았을 때, 가을보리의 다수확을 위한 재배에서는 천립중이 다소 가벼워지더라도 단위면적당 수수 증가에 주력하는 것이 유리한 것으로 나타났지만, 질적 형질을 무시하지 않는다면 곡립을 충실하게 하여야 할 것이다.

한편, 지난 27년(1974~2000년)간 수원에서 조사한 올보리 품종의 작황성적을 이용하여 수량구성요소를 추정 변수로 하는 다중회귀식으로 수량추정모형을 작성한 결과는 식 (4)와 같았다.

$$Y(yield)=56.87+0.40x_1+2.20x_2-1.13x_3;\ R^2=0.32 \quad (4)$$

여기서, x_1은 m^2 당 수수, x_2는 1수입수, x_3은 천립중이다.

위의 수량 추정식은 결정계수가 낮고(R^2=0.32), 1수입수와 천립중은 통계적으로 유의성이 인정되지 않아서 수량 추정식으로는 적당하지 않는 것으로 판단되었다. 다만, 수량구성요소 중에 m^2 당 수수는 통계적으로 유의성이 인정되어(p=0.05), m^2 당 수수의 증가가 수량의 증가에 크게 기여하는 것으로 사료된다.

3.2. 生育段階別 出現初日과 持續日數의 變化

최근 14년(1987~2000년) 동안의 각 생육단계별 보리의 출현초일의 변화를 보면, 생육정지기는 늦어졌는데 반하여, 생육재생기와 출수기 및 성숙기는 앞당겨졌다. 특히 생육재생기의 출현초일이 가장 큰 변화를 보여 27년(1974~2000년) 평균보다는 5일, 1987년 이전의 13년(1974~1986년) 평균보다는 11일이나 빨라졌다. 이는 1987년 이후로 '춥지 않은 겨울' 날씨의 지속으로 겨울기간이 단축되고, 온화한 이른봄의 영향으로 판단된다. 분석기간별 생육단계의 평균 출현초일과 변이계수를 나타내면 Table 6과 같다.

생육단계별 출현초일간의 상호관계를 살펴보면, 생

Table 5. Correlation coefficients among agronomic characters of barley cultivar Olbori for 27 years from 1974 through 2000 at Suwon

	B	C	D	E	Yield
Culm length (A)	-0.3021	0.3764	0.0675	-0.3588	0.1959
Spike length (B)		-0.4038*	0.5843*	0.1881	-0.0185
No. of spikes per m^2 (C)			-0.1030	-0.3973*	0.6166**
No. of grains per spike (D)				-0.0294	0.0757
1000-grain weight (E)					0.2142

Significance at the 95% and 99% confidence levels is denoted by single or double asterisks, respectively

Table 6. Mean first date of growth stages of barley cultivar Olbori during the periods of 1974~2000, 1974~1986, and 1987~2000 at Suwon

Growth stage	Period								
	1974 ~ 2000			1974 ~ 1986			1987 ~ 2000		
	Mean (date)	S.D. (day)	C.V. (%)	Mean (date)	S.D. (day)	C.V. (%)	Mean (date)	S.D. (day)	C.V. (%)
Sowing date	Oct. 5	4	1	Oct. 5	1	0	Oct. 6	5	2
End of growing season	Nov. 23	8	3	Nov. 20	8	2	Nov. 27	8	2
Beginning of growing season	Mar. 8	11	16	Mar. 14	7	9	Mar. 3	11	18
Heading date	May 5	6	5	May 7	4	4	May 3	6	5
Maturity date	Jun. 10	5	3	Jun. 13	4	2	Jun. 7	5	3

S.D. and C.V. mean standard deviation and coefficient of variation, respectively

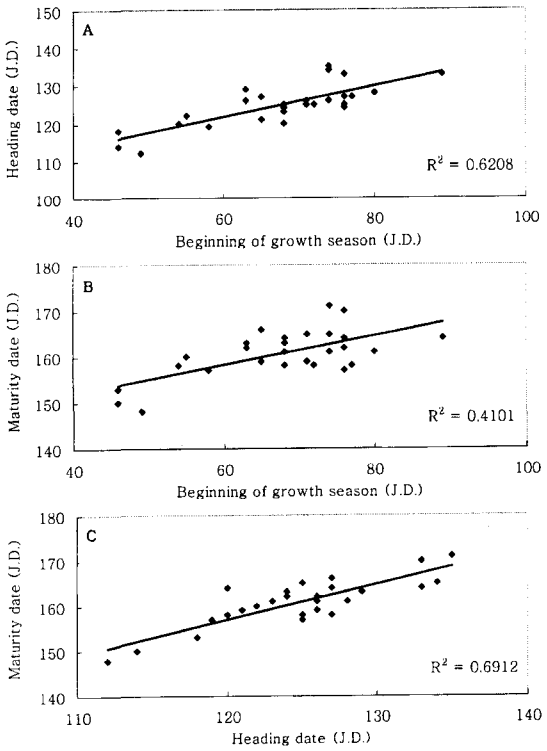

Fig. 2. Relationships between beginning of growth season and heading date(A), between beginning of growth season and maturity date(B), and between heading date and maturity date(C) in barley cultivar Olbori at Suwon.

육재생기는 출수기 및 성숙기의 출현초일과 높은 상관관계를 보이고 있다. 즉, 생육재생기의 출현초일이 일찍 나타나면 출수기의 출현초일도 일찍 나타나는 경향(R^2=0.6208)을 보였다(Fig. 2A). 또한 생육재생기와 성숙기의 출현초일(R^2=0.4101), 그리고 출수기와 성숙기의 출현초일도 높은 정의 상관(R^2=0.6912)을 나타냈다(Fig. 2B, 2C).

이와 같은 결과에 비추어 보았을 때, 앞으로 따뜻한 겨울과 이로 인한 이른봄과 같은 날씨가 계속되면 생육재생기가 앞당겨지고, 이에 따라 출수기도 앞당겨지며, 일러진 출수기에 따른 등숙기간의 평균온도가 낮아져서 등숙기간이 다소 길어지고 하고(夏枯)현상이 늦게 나타나 보리의 곡립이 충실히 여물어 수량이 증대될 것이며, 결과적으로는 성숙기도 다소 단축되어 벼, 콩 등과의 이모작 작부체계에도 유리할 것으로 판단되었다.

올보리 품종의 파종기에서 성숙기까지의 생육일수는 평균(1974~2000년) 247일이었으며, 최근 14년에는 짧아지는 경향이었고, 생육단계별로 지속일수는 뚜렷한 차이를 보였다(Table 7). 즉, 최근 14년의 올보리의 등숙기간(SV)은 27년 평균 등숙기간과 비슷하였으나, 월동기간(SIII)은 상당히 짧아졌다(평균대비: -9일). 반면에, 유묘기간(SII)과 분얼기간(SIV)은 길어졌다. 이와 같은 생육단계별 지속일수의 변화는 1987년 이후의 수량과 수수의 증가에 기여하였을 것으로 판단된다. 가을보리의 경우, 일반적으로 출수기가 이르면 등숙기간의 평균온도가 낮아져서 등숙기간이 길어지며, 그 결과 천립중이 증가한다는 보고가 있다(유 등, 1992). 그러나 본 연구에서는 그 결과가 뚜렷하지는 않았다(Fig. 3).

3.3. 生育段階別 氣象要素와 가을보리

Table 8, 9, 10에 올보리 품종의 수량, 수량구성요소 및 생육과 기상요소와의 관계를 Pearson 상관계수로 나타내었다. 일반적으로 기상요소는 월동전기간(SI~SII) 보다는 월동기간을 비롯한 월동후기간(SIII~

Table 7. Mean duration of major growth stages of barley cultivar Olbori during the periods of 1974~2000, 1974~1986, and 1987~2000 at Suwon

Growth stage	Period								
	1974 ~ 2000			1974 ~ 1986			1987 ~ 2000		
	Mean (day)	S.D. (day)	C.V (%)	Mean (day)	S.D. (day)	C.V (%)	Mean (day)	S.D. (day)	C.V (%)
SI ~ SII	49	9	19	46	9	19	52	9	18
SIII	105	15	14	115	10	9	96	13	13
SIV	57	7	12	54	6	11	60	7	12
SV	36	3	9	37	3	10	35	3	8
SI ~ SV	247	7	3	251	4	1	244	7	3

S.D. and C.V. mean standard deviation and coefficient of variation, respectively

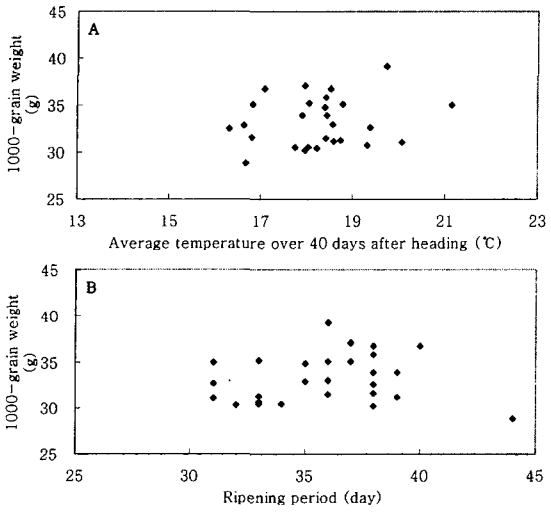

Fig. 3. Correlations between 1000-grain weight and average temperature over 40 days after heading(A), and between 1000-grain weight and ripening period(B) in barley cultivar Olbori at Suwon.

SV)에 가을보리의 생육 및 수량에 영향을 크게 주는 것으로 나타났다. 특히 월동기간(SIII)에 가장 큰 영향을 주었다. m^2 당 수수와 수량은 월동기간의 기온(최고, 최저)과 정의 상관관계를 보였지만 일조시간과는 부의 상관관계(*S*: -0.43, -0.41)를 보였다. 이 결과는 겨울철의 기온상승과 일조시간의 감소에 관해서 이 등(1995)이 밝힌 연구결과와 일치되었다. 그리고, 분얼기간(SIV)의 최고기온과 m^2 당 수수는 부의 관계(*Tx*: -0.43)를 보였는데, 이 기간에서 어느 정도의 저온이 무효분얼의 발생을 억제시킨 결과로 해석된다. 1수입수는 월동기간의 강수량과는 부의 관계를 보였지만(*P*: -0.46), 이 기간의 포차와 분얼기간의 증발산위와는 정의 관계를 나타냈다(*D*: 0.51, *Ep*: 0.45). 또한 분얼기간의 많은 강수량은 수량을 적게(*P*: -0.38) 하였고, 등숙기간(SV)의 증발산위는 수량과 정의 상관(*Ep*: 0.39)을 보였다. 반면에 수량구성요소 중에 천립중은 생육단계별 기상변화에 가장 작게 영향을 받는 것으로 밝혀졌다.

Table 8. Correlation coefficients between meteorological elements and number of spikes per m^2 and number of grains per spike at various growth stages for 27 years from 1974 through 2000

Meteorological element	Number of spikes per m^2					Number of grains per spike				
	SI	SII	SIII	SIV	SV	SI	SII	SIII	SIV	SV
Tx	0.00	-0.39*	0.37	-0.43*	-0.12	0.19	0.29	0.28	-0.03	-0.10
Tn	-0.12	-0.21	0.41*	-0.23	-0.12	0.17	0.28	0.19	0.14	0.30
P	-0.18	0.34	0.01	-0.30	0.10	-0.11	-0.06	-0.46*	0.18	0.33
S	-0.16	0.20	-0.43*	0.06	-0.19	-0.32	0.22	-0.16	0.23	-0.05
D	0.34	0.02	0.30	-0.02	0.20	0.37	0.32	0.51**	0.26	0.19
Ep	0.27	0.24	-0.25	0.30	0.29	0.25	0.23	-0.04	0.45*	0.36

Significance at the 95% and 99% confidence levels is denoted by single and double asterisks, respectively. *Tx*: maximum air temperature, *Tn*: minimum air temperature, *P*: precipitation, *S*: sunshine hour, *D*: saturation deficit, *Ep*: potential evapotranspiration.

Table 9. Correlation coefficients between meteorological elements and 1000-grain weight and yield at various growth stages for 27 years from 1974 through 2000

Meteorological element	1000-grain weight					Yield				
	SI	SII	SIII	SIV	SV	SI	SII	SIII	SIV	SV
Tx	0.01	-0.00	-0.36	0.32	0.23	-0.07	-0.25	0.47*	-0.29	-0.10
Tn	-0.07	-0.25	-0.36	0.13	0.12	0.18	-0.13	0.52**	-0.15	-0.21
P	0.05	-0.17	-0.10	0.17	-0.24	0.05	0.04	-0.14	-0.38*	-0.11
S	0.30	0.20	0.07	0.15	0.22	-0.26	0.14	-0.41*	0.01	0.12
D	-0.29	0.05	-0.07	0.05	0.10	0.32	0.21	0.27	0.17	0.26
Ep	-0.30	0.00	0.13	-0.09	0.13	0.36	0.20	-0.21	0.34	0.39*

Significance at the 95% and 99% confidence levels is denoted by single and double asterisks, respectively. *Tx*: maximum air temperature, *Tn*: minimum air temperature, *P*: precipitation, *S*: sunshine hour, *D*: saturation deficit, *Ep*: potential evapotranspiration

Table 10. Correlation coefficients between meteorological elements and culm length and spike length at various growth stages for 27 years from 1974 through 2000

Meteorological element	Culm length					Spike length				
	SI	SII	SIII	SIV	SV	SI	SII	SIII	SIV	SV
Tx	0.01	-0.00	0.07	-0.45*	-0.44*	-0.23	0.06	-0.10	0.35	0.10
Tn	-0.07	-0.25	0.01	-0.26	-0.34	0.38	0.17	-0.09	0.51**	0.47*
P	0.05	-0.17	0.09	0.16	0.29	0.24	-0.32	-0.48*	0.07	0.12
S	0.30	0.20	-0.30	-0.30	-0.07	-0.35	0.10	0.17	0.22	-0.21
D	-0.29	0.05	-0.36	-0.55**	-0.45*	0.12	0.31	0.46*	0.54**	0.20
Ep	-0.30	0.00	-0.50**	-0.21	-0.11	0.11	0.09	0.25	0.38	0.02

Significance at the 95% and 99% confidence levels is denoted by single and double asterisks, respectively. *Tx*: maximum air temperature, *Tn*: minimum air temperature, *P*: precipitation, *S*: sunshine hour, *D*: saturation deficit, *Ep*: potential evapotranspiration.

다음으로 기상요소와 생육상황과의 관계를 살펴보면, 간장은 월동기간의 증발산위와 부의 상관(*Ep*: -0.50)을 보였고, 분얼기간과 등숙기간의 최고기온 및 포차와도 부의 상관을 나타내었다. 반면에 수장은 월동기간의 포차를 비롯하여 분얼기간의 최저기온과 포차 그리고 등숙기간의 최저기온과는 정의 상관을 보였다. 결론적으로, 가을보리는 월동기간을 포함한 그 이후의 생육단계에서 기상요소와 관계가 높았다.

V. 적 요

근래 지구온난화 현상과 더불어 우리나라에 '춥지 않은 겨울' 날씨가 지속되어 가을보리를 비롯한 겨울(월동)작물의 생육과 수량에 큰 변동이 있을 것으로 예상되는 바, 최근의 기상환경 변화에 따른 가을보리의 생육시기, 생육기간, 수량, 수량구성요소의 변동양상을 분석하였으며, 각 생육단계별 기상요소가 보리의 수량과 관련되는 재배적 형질에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 수원에서 14년(1987~2000년) 동안 올보리 품종의 평균수량은 지난 27년(1974~2000년) 평균보다 헥타르(ha)당 0.42톤이 증수되었다. 증수의 요인은 단위면적당 수수 확보이고, 1수입수의 증가도 다소 기여하였으나, 천립중은 평균보다 오히려 0.6그램(g)정도 가벼워졌다.

2. 풍년에는 흉년보다 단위면적당 수수는 많았고, 1수입수는 비슷하였으나, 천립중은 가벼웠다. 그리고, 월동기간은 짧았고, 유묘기간과 분얼기간이 길어졌다. 출현기간에 기온이 높아 발아율이 높았으며, 단위면적당 수수가 증가되었다. 반면에 흉년에는 월동기간의 저온과 분얼 및 등숙기간의 많은 강수량으로 단위면적당 수수가 감소하였다.

3. 올보리 품종에서 수량은 단위면적당 수수와는 밀접한 정의 상관이었지만, 1수입수 및 천립중 하고는

유의성이 보이지 않았다. 반면에 단위면적당 수수는 천립중 및 수장과 부의 상관을 나타냈다.

4. '춥지 않은 겨울' 날씨로 지속된 14년(1987~2000년) 동안에 생육재생기의 출현초일은 평균(1974~2000년) 출현초일 보다 5일 일찍 나타났다. 또한 생육재생기는 출수기 및 성숙기의 출현초일과 높은 정의 상관을 보였다. 그리고, 이 기간의 등숙기간은 평균 등숙기간과 비슷하였으나 월동기간은 평균보다 9일 짧아졌다. 반면에, 유묘기간과 분얼기간은 평균보다 3일 길어졌다.

5. 올보리 품종의 수량에 영향을 주었던 생육단계별 기상요소는 월동기간의 기온(+상관)과 일조시간(-상관), 분얼기간의 강수량(-상관), 등숙기간의 증발산위(+상관) 였다. 천립중에 유의적 영향을 주는 생육단계별 기상요소는 발견되지 않았으며, 분얼기간의 고온과 건조한 대기는 줄기의 신장에 불리하였지만, 이삭의 신장에는 유리하였다. 즉, 올보리 품종의 수량에는 월동기간과 그 이후 생육단계에서 기상요소의 영향이 크게 작용하였다.

인용문헌

강용균, 노재식, 1985: 과거 30년간(1954-1983) 한국 기온의 연변화 및 연별 변동. 한국기상학회지, **21**, 1-10.

서형수, 이태호, 정근식, 1986: 기상요인이 맥류수량에 미치는 영향. 한국작물학회지, **31**(3), 318-325.

심교문, 이정택, 윤성호, 황규홍, 2000: 가을보리 재배기간중의 기상변화. 한국농림기상학회지, **2**(3), 95-102.

유용환, 하용웅, 1986: 대맥의 생육 및 수량구성형질연구 - II. 지역 및 파종기에 따른 대맥의 주요생태와 수량구성형질의 변이. 한국작물학회지, **31**(1), 97-103.

유용환, 이창덕, 하용웅, 1992: 파종기 차이가 보리의 등숙과 등숙관련 형질에 미치는 영향. 한국작물학회지, **37**(1), 93-103.

윤진일, 1999: 농업기상학. 도서출판 아르케 발행, 177-178.

이정택, 윤성호, 박무언, 1995: 우리나라의 계절별 일조시간과 기온의 상관관계 및 분포에 관한 연구. 한국환경농학회지, **14**(2), 155-162.

정용승, 윤마병, 1999: 한국의 최근 기후변화와 관련된 요소들. 한국기상학회지, **35**(3), 309-318.

조하만, 1992: 지구온난화와 한반도 부근의 기후변화. 생태계 위기와 한국의 환경문제, 도서출판 뜨 님 발행, 103-123.

Chmielemski, F.M. and W. Köhn, 2000: Impact of weather on yield components of winter rye over 30 years. *Agricultural and Forest Meteorology*, **102**, 253-261.

Doorenbos, J. and W.O. Pruitt, 1977: Guidelines for predicting crop requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 24, FAO, Rome, Italy, 144pp.

Hansen, J. and S. Lebedeff, 1987: Global trends of measured surface air temperature. *Journal of Geophysical Research*, **92**, 13345-13372.

Jones, P.D., T.M.L. Wigley, and P. Wright, 1986: Global temperature variations between 1861 and 1984. *Nature*, **322**, 340-434.

Parker, D.E., P.D. Jones, C.K. Folland, and A. Bevan, 1994: Interdecadal changes of surface temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research*, **99**(D7), 14373-14399.

Vinnikov, K. Ya., P. Ya. Groisman, and K.M. Lugina, 1990: Empirical data on contemporary global climate changes (temperature and precipitation). *Journal of Climate*, **3**, 662-677.