

## 生育段階別 温度變化가 보리의 登熟에 미치는 影響

柳龍煥\* · 李昌德\*\* · 河龍雄\*

### Temperature Effects at Different Growth Stages on Grain Filling in Winter Barley

Yong Hwan Ryu\* · Chang Duk Lee\*\* · Yong Woong Ha\*

**ABSTRACT** : Temperature effects on the grain filling of winter barley(CV. Gangbori, Olbori and Suwon 18) were studied in controlled environments under three day/night temperature regimes (viz. 25/20, 20/15 and 15/10°C) and at three stages of development, viz. Vegetative, spike development and grain filling stages.

Physiological maturity times to the temperature regimes were observed at 53 to 57 days after heading at 15/10°C, 43 to 45 days and 32 to 33 days at 20/15°C and 25/50°C, respectively. When plants were grown in 25/20°C during the spike development stages, the number of spikes per plant and grains per spike decreased by 39% and 41% respectively compared with 20/15°C of day/night temperature. The effect of high temperature on grain weight was not significant in all growth phases except post-anthesis where grain weight decreased by 30%. Therefore, the most important temperature effects were round during the spike development stages.

**Key word** : Temperature effects, Growth stage, Grain filling, Grain weight, Barley

筆者等은 播種期와 보리의 登熟과의 關聯性에 對하여 報告한 바 있으나 보리의 登熟은 栽培條件外에 氣象環境에 따라서도 크게 影響을 받는 것으로 알려져 있다. 특히 우리나라 氣象은 보리의 生殖生長期로부터 氣溫이 急上昇하여 登熟期間이 高溫으로 經過되어 同化器官이 早期에 老化되므로 登熟障害를 입을데 登熟期間中の 高溫은 莖葉의 老化를 促進하고 하고 植物體의 呼吸量을 增大시켜 同化能力을 低下시키므로 種實의 肥大에 不利한 影響을 招來한다고 하였다<sup>2,6,16)</sup>. 高本等<sup>13)</sup>은 麥類 登熟期間中の 溫度와 登熟과의 關係에 對하여 氣象感

應을 調査한 바 밀은 出穗後 30日, 보리는 25日을 起點으로 하여 그 前期는 高溫에 依하여 胚乳의 肥大가 促進되나 後期는 高溫에 依하여 肥大가 抑制된다고 報告하였다. Wiegand等<sup>16)</sup>은 種實의 發育에 影響을 미치는 要因은 登熟量과 登熟期間으로 登熟量은 主로 遺傳的인 要素가, 登熟期間은 環境的인 要素가 支配하는데 遺傳的인 要因에는 早熟性和 Green tissue의 持續性이 크게 關與하고 環境的인 要因에는 溫度, 日長 및 土壤水分 등이 關聯된다고 하였다.

\* 作物試驗場(Crop Experiment Station, RDA, Suwon 441-100, Korea)

\*\* 江原大學校 農科大學(College of Agri., Kangwon Nat'l Univ., Chuncheon 200-150, Korea)

<93. 10. 20 接受>

## 材料 및 方法

實驗은 溫冷調節溫室과 屋外生育箱(Out door growth cabinet)을 利用하여 遂行하였다. 供試品種(올보리, 강보리, 水原 18號)의 催芽種子를 約 5 週間  $4 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 暗黑狀態에서 春化處理하여 播性を 消去시킨 다음  $1/5,000\text{a}$  Wagner pot에 pot當 5 粒씩 播種하여  $20^\circ\text{C}$ 로 維持한 溫冷調節溫室 內에서 生育시킨다.

生育段階는 全 生育期間을 營養生長期(本葉2枚-小穗分化前期), 이삭發育期(小穗分化前期-出穗期), 登熟期(出穗期-成熟期)의 3段階로 區分하여 各 生育段階別 溫度條件을  $15/10^\circ\text{C}$ (day/night),  $20/15^\circ\text{C}$ ,  $25/20^\circ\text{C}$ 의 3水準으로 하였는데 溫度處理는 溫度調節이 可能한 屋外 生育箱을 利用하였다. 各 生育段階別 溫度處理 期間外는  $20/15^\circ\text{C}$ 에서 生長시켰다.

日長은 自然日長+人工照明에 依하여 14hr/day으로 維持하였다. 施肥는 成分量으로 10a當 窒素 12kg, 磷酸 9kg, 加里 7kg의 比率로 換算하여 全量基肥로 施用하였으며, 其他 栽培法은 麥類 標準 耕種法에 準하였다.

調査形質은 生育段階別 葉面積, 出穗後 日數別 種實의 蓄積量과 水分含量, 成熟期의 乾物重 및 收量 構成要素와 收量 等이었다.

種實의 經時的인 蓄積過程은 個體別로 出穗한 날짜를 標識한 다음 出穗後 10日間隔으로 1회에 5

個體씩 採取하여 이삭을 生體重과 乾物重을 調査한 다음 脫穀하여 種實의 무게를 달아 千粒重으로 換算하였고 이삭을 分離한 植物體에 대하여는 다시 葉, 莖, 뿌리로 나누어 葉은 葉面積을 測定한 후 乾燥시켜 莖, 뿌리와 함께 乾物重을 調査하였다.

其他 調査方法은 農村振興廳에서 發行한 農事試驗研究 調査基準에 準하였으며 試驗區는 品種別 完全任意配置 5反復으로 하였다.

## 結果 및 考察

### 1. 溫度條件에 따른 粒重과 葉面積의 變化

그림 1은 登熟期間中 千粒重과 葉面積의 經時的인 變化를 나타낸 것인데, 登熟期間中 溫度條件에 따른 千粒重과 葉面積의 變化는 서로 다른 樣相을 보였다. 高溫區( $25/20^\circ\text{C}$ )의 경우 出穗後 20日頃까지는 千粒重의 增加 速度가 急激하였고, 出穗後 32~33日頃에 千粒重이 最高에 達하였으나,  $20/15^\circ\text{C}$  區에서는 出穗後 25日頃까지 千粒重의 增加 速度가 緩慢하였고, 그 後는 빨라져 出穗後 43~45日頃에 千粒重은 最大에 達하였다.  $15/10^\circ\text{C}$ 에서도 出穗後 25日頃까지는 千粒重이 緩慢하게 增加 하였으나, 그 後 35日頃까지 增加 速度가 빠르게 進行되다가 出穗 35日以後 부터 登熟이 完了될때까지는 다시 緩慢한 增加를 보이는 3次方程式(Cubic Polynomial)에 잘 適合되었다. 따라서, 登熟

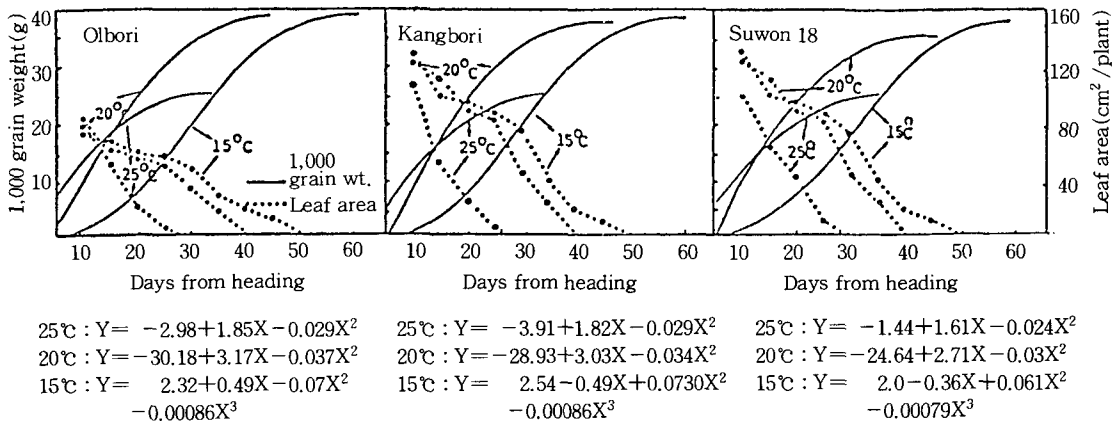


Fig. 1. Effect of temperature on 1000 grain weight and leaf area by days from heading in three barley cultivars.

期間동안 15/10℃ 處理區에서 千粒重이 最大에 達하는 時期는 出穗後 53~57日頃이었다.

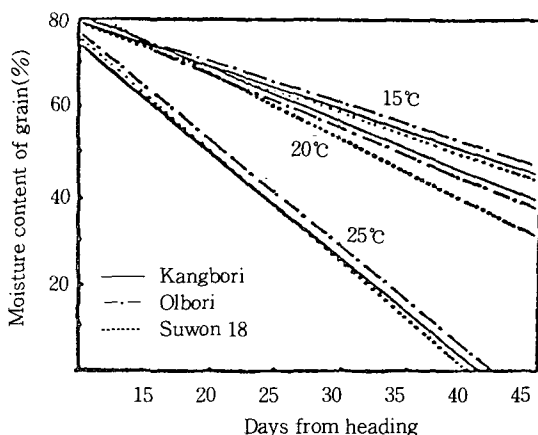
品種別로 보면 千粒重과 登熟期間 즉 粒重이 最大에 達하는 期間은 溫度 條件에 따라 多少 差異가 있으나 粒重의 增加 傾向은 대체로 같은 樣相을 보였다. 이와같은 結果는 粒重의 增加 速度와 登熟期間은 溫度가 높을수록 種實重의 肥大速度는 빠라지고 登熟期間은 짧아진다는 많은 報告와 一致하고 있다<sup>1,2,6,11,12,16</sup>.

한편, 葉面積의 變化도 登熟期間의 溫度에 敏感한 反應을 보였는데, 登熟期間中 溫度가 낮을수록 葉面積이 增大되었고 登熟進展에 따른 綠葉의 減少 程度가 緩慢하여 葉面積 持續期間이 길었으나, 溫度가 높을때는 이와 反應 現象으로 나타났다. 그러나 20/15℃와 15/10℃ 區에서는 登熟期間中 葉面積의 減少程度가 緩慢하여 20/15℃ 區에서는 出穗後 40日頃, 15/10℃ 區의 境遇는 出穗後 50日頃까지 綠葉을 維持하고 있었다.

따라서, 溫度條件別로 葉의 老化程度와 粒의 增加樣相이 거의 一致하는 것으로 볼때 葉의 老化程度와 登熟速度와는 密接한 關聯이 있는 것으로 判斷되었다. 여기서 高溫區의 境遇 千粒重의 減少가 甚하였던 것은 登熟期間中 粒重의 增加率은 높았으나 粒을 構成하고 있는 炭水化物的 90~95%가 登熟期間中의 同化產物에 依存하는 것으로 생각할때, 葉의 老化가 促進됨에 따라 葉面積이 작고, 그 維持期間이 짧았던 때문일 것이다.

出穗後 日數에 따른 溫度條件 및 品種別 種實 水分含量의 變化는 그림 2에서 보는 바와 같다. 種實 15日의 種實 水分含量을 보면 15/10℃와 20/15℃ 區에서는 品種에 따라 各各 74.7~77.0%, 72.8~76.1% 範圍인데 比하여 25/20℃ 區는 63.8~67.5%로써 多少 낮은 分布를 나타냈다. 登熟이 進展되면서 種實의 水分含量은 直線的으로 減少하였는데 處理溫度가 높을 수록 큰 幅으로 減少하였다. 登熟期間中의 處理 溫度別 種實의 水分 逸失量은 15/10℃는 日當 0.91~0.95%, 20/15℃와 25/20℃ 區에서는 各各 1.14~1.26%, 2.41~2.60%로 高溫일 수록 種實의 水分 逸失量이 많았으나, 品種間 差異는 輕微하였다.

生理的 成熟期 즉 種實의 무게가 最大에 達한 時



15℃ Kangbori :  $y=87.50-0.91X(r=-0.991^{**})$   
 Olbori :  $y=89.39-0.93X(r=-0.990^{**})$   
 Suwon 18 :  $y=88.60-0.95X(r=-0.982^{**})$

20℃ Kangbori :  $y=91.77-1.14X(r=-0.991^{**})$   
 Olbori :  $y=89.91-1.15X(r=-0.990^{**})$   
 Suwon 18 :  $y=96.79-1.26X(r=-0.982^{**})$

25℃ Kangbori :  $y=103.92-2.60X(r=-0.983^{**})$   
 Olbori :  $y=98.38-2.41X(r=-0.982^{**})$   
 Suwon 18 :  $y=103.90-2.59X(r=-0.978^{**})$

Fig. 2. Grain moisture loss at successive harvest dates as affected by temperature regime.

期의 水分含量을 보면 15/10℃와 20/15℃에서는 各各 37.2~38.85, 40.1~40.5%로 Eslick<sup>3)</sup> 33%, Harlan<sup>5)</sup> 42%, Pinthus<sup>9)</sup> 38~43% 등의 報告와 비슷한 傾向이었으나, 25/20℃ 區는 18.1~21.3%로 15/10℃나 20/15℃ 區와 比較할 때 種實의 水分含量이 折半에 該當하였는데, 이는 高溫에 依한 植物體 또는 이삭의 呼吸量 增大와 體內 代謝의 異常 등으로 種實의 發育이 完全히 이루어지기 前에 成熟에 到達되었기 때문으로 생각되었다.

## 2. 溫度變化에 따른 收量構成性質의 變異

보리의 生育過程에서 溫度는 收量構成性質과 密接한 關聯이 있는 것으로 알려져 있는데 生育段階別 株當穗數와 一穗粒數에 對한 溫度의 影響을 보면 表 1에서와 같다. 表에서 보는 바와 같이 株當 이삭數는 이삭 發育期(GS2)의 高溫區(25/20℃)를 除外하고는 溫度變化에 따라 有意性이 認定되지 않았다. 溫度의 影響이 가장 컸던 이삭 發育期에서

Table 1. Effect of temperature on spikes per plant and grains per spike in three growth stage for three barley cultivars

Cultivar	Growth stage*	Spikes /plant			Grains /spike		
		Temperature(°C)					
		15	20	25	15	20	25
Olbori	GS1	2.7		3.1	33		18
	GS2	3.5	2.8	1.5	35	30	21
	GS3	3.3		2.9	30		23
	LSD.05	NS		0.6	4		NS
Gangbori	GS1	2.6		2.8	42		21
	GS2	3.0	2.7	1.6	39	32	18
	GS3	2.8		3.3	33		26
	LSD.05	NS		0.9	3		5
Suwon 18	GS1	2.8		2.9	42		28
	GS2	3.7	2.8	2.0	45	35	18
	GS3	2.8		2.7	33		27
	LSD.05	NS		NS	4		6

\* GS1 : Vegetative growth stage  
 GS2 : Spike development stage  
 GS3 : Grain filling stage

는 高溫에 依하여 生育相이 生殖生長으로 急轉換되므로서 大部分의 分蘖莖들이 有效穗數로 發育할 수 있는 期間이 充分하지 못하여 發育을 抑制당하거나 停止되어 無效莖化되었기 때문이다. 品種別 이삭發育期の 溫度에 對한 影響은 강보리와 올보리가 晩熟 品種인 水原 18號에 比하여 多少 큰 것으로 나타났다.

한편, 溫度變化에 따른 一穗粒數는 이삭發育期, 營養生長期(GS1), 登熟期(GS3)의 順으로 減少하였는데 特히 이삭 發育期の 高溫區에서 粒數의 減少가 큰 反面, 低溫區(15/10°C)에서는 20/15°C 區와 比較할 때 오히려 增加하였다. 이러한 結果는 高溫下에서 生育期間이 短縮됨과 同時に 이삭의 基部 및 先端部의 弱勢小穗의 發育이 抑制되어 結局 小穗數 및 一穗粒數의 減少를 招來하였는데 河等<sup>6)</sup>과 星川<sup>7)</sup>도 같은 報告를 하였다.

表 2는 生育段階別 溫度變化에 따른 千粒重과 生育期間을 나타낸 것이다. 前述한 收量構成形質과 마찬가지로 千粒重에 對한 溫度의 影響은 敏感하여 登熟期の 高溫(25/20°C)은 15/10°C나 20/15°C 區에 比하여 千粒重이 品種에 따라 各各 11.

Table 2. Grain weight and mean duration of each growth stage according to the temperature regime for three barley cultivars

Cultivar	Growth stage*	Grain weight			Duration of growth stage		
		Temperature(°C)					
		15	20	25	15	20	25
		g/10 <sup>3</sup> grains			days		
Olbori	GS1	41.3		38.6	25	17	14
	GS2	42.6	39.6	39.0	40	24	18
	GS3	40.7		27.6	55	43	32
	LSD.05	NS		2.5			
Kangbori	GS1	40.1		36.2	26	19	14
	GS2	41.7	38.7	37.8	39	24	19
	GS3	38.9		26.2	57	45	32
	LSD.05	1.5		1.5			
Suwon 18	GS1	39.7		35.1	27	19	14
	GS2	39.8	36.1	35.3	42	25	19
	GS3	37.6		26.1	53	45	33
	LSD.05	1.4		4.0			

\* GS1 : Vegetative growth stage  
 GS2 : Spike development stage  
 GS3 : Grain filling stage

5~13.1g, 10.0~12.5g이 減少되었다. 그러나 營養生長期와 이삭發育期の 高溫은 千粒重의 減少가 2.4~4.6g의 範圍로 比較의 輕微하였다. 이러한 原因은 高溫下에서 植物體의 生育量을 減少시키고 同時に 同化器官의 老化를 促進시켜 生育 및 登熟期間이 短縮될뿐 아니라 呼吸에 依한 消耗量이 增大되어 이삭에 轉流되는 同化產物量이 적은데 基因된다고 할 수 있다<sup>4,10,14)</sup>. 品種間 千粒重에 對한 溫度反應은 올보리와 강보리가 水原 18號에 比하여 多少 敏感한 것으로 나타났다. 한편, 生育期間을 段階別로 區分하여 溫度處理하였을 境遇 各段階別 生育日數는 登熟期, 이삭發育期, 營養生長期의 順으로 길었으며, 溫度變化에 따른 生育期間變異는 營養生長期에서 보다 이삭發育期和 登熟期에서 큰 것으로 나타났다. 따라서, 全生育期間은 15/10°C 處理區에서 120~122日, 20/15°C와 25/20°C와 25/20°C 處理區에서 各各 84~89日, 64~66日로 品種間 差異는 2~5日 範圍였으나, 溫度條件에 따라서는 3~25日의 變異를 보였다.

溫度處理에 따른 成熟期の 建物 生産量과 收量

Table 3. Dry weight and grain yield at final harvest as affected by temperature at each growth stage for three barley cultivars.

Cultivar	Growth stage*	Dry weight** (g/plant)			Grain yield (g/plant)		
		Temperature(°C)					
		15	20	25	15	20	25
Olbori	GS1	4.1		3.1	3.7		2.2
	GS2	4.6	4.2	4.0	5.2	3.3	1.2
	GS3	5.0		3.2	4.0		1.8
	LSD.05	0.3		0.4	0.5		0.3
Kangbori	GS1	3.4		2.7	4.4		2.1
	GS2	5.0	4.3	4.0	4.9	3.3	1.1
	GS3	4.7		2.8	3.6		2.3
	LSD.05	0.4		0.2	0.2		0.2
Suwon 18	GS1	3.2		2.4	4.7		2.8
	GS2	4.5	3.6	3.3	6.6	3.5	1.3
	GS3	4.4		2.4	3.5		1.9
	LSD.05	0.2		0.3	0.4		0.3

\* GS1 : Vegetative growth stage,  
 GS2 : Spike development stage  
 GS3 : Grain filling stage

\*\* Leaf+Culm+Root.

은 表 3에서 보는 바와 같다. 品種別 總 乾物 生産 量은 올보리와 강보리는 大差없었으나 水原 18號 가 多少 적었으며, 溫度條件에 따라서는 生育期間 이 길게 持續된 15/10°C 區에서 가장 많았고, 高溫일수록 漸次 減少되었다. 高溫條件에 따른 生育 段階別 乾物重의 變化를 보면 15/10°C에서는 生育이 旺盛하게 이루어져야 할 營養生長期에 生育 量이 充分하지 못하며 成熟時의 乾物生産量이 적었으나, 이삭發育期和 登熟期에는 營養生長期 동안에 20/15°C로 維持되어 乾物生産量이 比較의 많았다. 한편, 高溫으로 維持한 25/20°C 區에서는 이삭發育期에서 乾物生産量이 가장 높았고 營養生 長期와 登熟期の 乾物生産量은 差異가 輕微하였 다. 溫度條件에 따른 收量을 보면 15/10°C, 20/ 15°C 및 25/20°C의 處理順으로 높았는데 특히 25/20°C 區에서 收量減少가 컸다. 生育段階別로는 15/10°C 區의 경우 이삭發育期에서 가장 높았고 다음으로 올보리는 登熟期, 강보리와 水原 18號는 營養生長期에서 높아 品種間 溫度에 대한 反應이

Table 4. Correlation coefficients between dry matter weight and grain weight and grains per spike at maturity for three barley cultivars in three growth stages

Growth stage <sup>1)</sup>	Cultivar	Character	Dry matter weight (g/plant)			
			Leaf	Culm	Leaf + Culm	Root
GS1	Olbori	Grain wt.	-0.0907	0.0045	-0.0007	0.0626
		Grains/spike	0.4791	0.4887	0.5507	0.3686
	Kangbori	Grain wt.	0.9114**	0.0875	0.8099**	0.1691
		Grains/spike	0.7739	0.3628	0.7910*	0.2062
	Suwon 18	Grain wt.	0.4225	0.0864	0.3288	0.1771
		Grains/spike	0.5766	0.1578	0.4649	0.4848
GS2	Olbori	Grain wt.	0.7601*	0.6383	0.7883*	0.7001*
		Grains/spike	0.8413**	0.3707	0.7867*	0.3903
	Kangbori	Grain wt.	0.6622	0.2519	0.6580	0.6288
		Grains/spike	0.3599	0.7332*	0.5606	0.3550
	Suwon 18	Grain wt.	0.7318*	0.7876*	0.7761*	0.7120*
		Grains/spike	0.5601	0.7170*	0.6462	0.2887
GS3	Olbori	Grain wt.	0.9851**	0.7996**	0.9775**	0.8452**
		Grains/spike	0.904	0.7814	0.9095**	0.7899*
	Kangbori	Grain wt.	0.8388**	0.6724*	0.8347**	0.6849*
		Grains/spike	0.6768*	0.7368*	0.7264*	0.4819
	Suwon 18	Grain wt.	0.9074**	0.9556**	0.9508**	0.8564**
		Grains/spike	0.7022*	0.8345**	0.7678*	0.7629*

\*, \*\* Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

<sup>1)</sup> GS1 : Vegetative growth stage, GS2 : Spike development stage, GS3 : Grain filling stage

相異하였다. 25/20℃ 區의 이삭發育期는 收量이 1.1~1.3g/plant으로 15/10℃區의 7%에 該當되었는데 이와같은 結果는 收量構成要素인 個體當 이삭數와 一穗粒數의 減少가 컸기 때문이었다.

### 3. 登熟 關聯 形質과 登熟과의 關係

千粒重 및 一穗粒數와 登熟關聯形質인 葉, 莖, 葉초, 뿌리 等 乾物重과의 相關關係를 나타낸 것은 表 4에서 보는 바와 같다. 營養生長期에서는 강보리의 千粒重 및 一穗粒數가 葉과 莖의 乾物重과 有意的인 正의 相關關係가 認定되었을 뿐, 올보리나 水原 18號는 相關이 낮았다. 그러나 이삭發育期에서는 올보리와 水原18號의 境遇 千粒重 및 一穗粒數와 葉, 莖 및 뿌리의 乾物重과 有意的인 正의 相關이 있었으나 강보리는 相關 程度가 낮았고, 登熟 期間中에는 供試한 세 品種에서 植物體 모든 部位의 乾物重과 密接한 關係가 있는 것으로 나타났다. 따라서 千粒重과 一穗粒數는 登熟期間中에 同化器 官인 葉, 莖과 養·水分 吸收 機能을 가진 뿌리의 役割이 특히 크다고 볼 수 있다.

## 摘 要

보리의 生育段階別 溫度 條件과 登熟形質과의 相互關聯性을 檢討하고자 特性이 다른 올보리, 강보리, 水原 18號를 供試하여 實驗을 遂行한 바 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 登熟期間中 溫度條件別 千粒重이 最大에 달하는 期間은 15/10℃인 境遇, 品種에 따라 53~57日, 20/15℃와 25/20℃에서는 各各 43~45日, 32~33日로 處理溫度가 5℃ 높아짐에 따라 登熟期間은 10~12日의 變異를 보였다.
2. 溫度條件別 種實의 水分逸失量은 15/10℃는 0.91~0.95%/日, 20/15℃와 25/20℃에서는 各各 1.14~1.26%/日, 2.41~2.61%/日로 高溫 일수록 種實의 水分逸失量이 많았으나 品種間 差異는 輕微하였다.
3. 生育段階別 處理 溫度에 따른 收量構成形質은 이삭發育期의 高溫(25/20℃) 條件에서는 個體當 이삭수가 20/15℃와 比較할 때 39%, 一穗

粒數는 41%가 減少하였으며 登熟期의 高溫은 千粒重이 30%가 減少하였으나 此外 生育段階에서는 溫度에 대한 反應이 輕微하였다.

4. 植物體의 部位別 乾物重, 一穗粒數와는 營養生長期< 이삭發育期< 登熟期의 順으로 높은 相關關係를 보였다.

## 引用 文 獻

1. Asana, R. D., and R. F. Williams. 1965. The effect of temperature stress on grain development in wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 16:1-13.
2. Chowdhury, S. I., and I. F. Wardlaw. 1978. The effect of temperature on kernel development in cereals. *Aust. J. Agric. Res.* 29:205-223.
3. Eslick, R. F. 1978. Evaluation of Korean barley and wheat production problem and potential. Summary of seminar delivered by wheat and barley consultants WBRI. 20-26.
4. 咸泳秀. 1974. 環境 變動에 따른 硬·軟質 小麥의 登熟 및 品質變化에 관한 研究. *韓作誌.* 17:1-44.
5. Harlan, H. V. and M. N. Pope. 1923. Water content of barley kernels during growth and maturation. *J. Agr. Res.* 23:333-360.
6. 河龍雄·柳龍煥·延圭復·金奭東. 1983. 麥類 登熟向上에 관한 研究. 第2報. 溫度 및 土壤水分 差異가 小麥의 生育 및 登熟에 미치는 影響. *韓作誌.* 28:(4)439-444.
7. 星川清親. 1961. 小麥의 稔實에 關する 研究. 第4報. 胚乳形成に及ぼす 溫度의 影響. *日作紀.* 30:228-231.
8. Marcellos, H., and W. V. Single. 1972. The influence of cultivar, temperature and photoperiod on post-flowering development of wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 23:

- 533-540.
9. Pinthus, M. J. 1963. Comparison of dry matter accumulation and moisture content in the developing kernels of bread wheat, durum wheat, and barley. *Israel J. Agric. Res.* 13 : 117-124.
  10. Resmusson, D. C., I. Mclean, and T. L. Tew. 1979. Vegetative and grain filling periods of growth in barley. *Crop Sci.* 19 : 5-9.
  11. Sofield, I., L. T. Evans, and I. F. Wardlaw. 1974. The effects of temperature and light on grain filling in wheat. In 'Mechanisms of Regulation of Plant Growth'. *R. Soc. N. Z. Bull.* No. 12 : 909-15.
  12. Spiertz, J. H. J. 1974. Grain growth and distribution of dry matter in the wheat plant as influenced by temperature, light energy and ear size. *Neth. J. Agric. Sci.* 22 : 207-220.
  13. 高本眞, 佐藤陽日, 手石弘. 1961. 氣象と麥類の生育及收量との關係(第4報)—氣温及び日照時數が麥類の登熟に及ぼす影響—試驗研究資料. 第23集. 氣象感應基礎試驗研究成績. 第11報(下券). 農林省 農林 經濟局 統計調查部. 2-5.
  14. Wardlaw, I.F. 1970. The early stages of grain development in wheat : response to light and temperature in a single variety. *Aust. J. Biol. Sci.* 23 : 765-774.
  15. Wattal, P. N. 1965. Effect of temperature on the development of the wheat grain. *Ind. J. Physiol.* 8(1) : 145-159.
  16. Wiegand, C. L., and J. A. Cuellar. 1981. Duration of grain filling and kernel weight of wheat as affected by temperature. *Crop Sci.* 21 : 95-101.