

溫度與大豆植株在營養生長期生長發育之關係

莊 周 瑞¹⁾

(接受刊載日期：中華民國82年7月23日)

摘要：本試驗目的在探討大豆植株於營養生長期間對溫度之生態反應，及是否能以簡便有效之方法計算出其生長所需基本溫度 (base temperature, T_b) 與有效積溫 (effective heat unit summation, EHUS)，做為作物生長管理之依據。本試驗以大豆中興一號、高雄選十號及中興三號三個品種為材料，於春作、夏作及秋作種植，以營養生長期間各不同生育階段之生育日數及累積溫度進行迴歸分析，估算各生育階段的 T_b 及 EHUS 值，試驗結果顯示植株在各生育階段中，不僅對 EHUS 的需求不同， T_b 值亦隨著生育期之不同而有改變；一般而言，生育早期的 T_b 值較低，後期之值較高。於各期作比較估計所得之理論生育日數與實際生育日數，在春、秋期作極為吻合，但夏作則有明顯低估的趨勢，此一低估現象主要發生在營養生長後期 (V3-R1)。

關鍵詞：大豆、營養生長、生長基本溫度、生育相。

前 言

作物的生長發育受其所處環境之影響極大，其中尤以溫度的作用最明顯⁽¹⁶⁾；依溫度對作物生長之影響程度，可分為最低溫度、最高溫度及最適溫度，是以作物在不同栽培地區或相同地區之不同季節，其生育特性的表現並不相同。為充份掌握作物生長過程及發育相 (phenology) 之轉變，供為有效管理作物之基礎，首先對作物實際生育日數會隨著環境而改變的特性，應詳予瞭解其影響因子及發展可能的控制技術。近年來多數學者發現以光熱效應 (photothermal effect) 的觀念規範作物生長發育過程，可以有效調節此種因環境改變而生長發育日數亦隨之改變的現象，因此對於作物生長發育能有更多的瞭解及予以有效的控制^(3, 6, 7, 9, 14, 18)。

本研究以探討大豆生長所需之基本溫度 (base temperature) 為目的，所謂生長所需基本溫度即指作物能有效累積乾物質並進行必要生理代謝過程所需之最低溫度，由決定基本溫度可進一步推算出該生育階段所需之溫熱單位 (thermal unit)，做為瞭解作物生長發育過程之另一種指標^(9, 10, 14, 18, 21)。多數栽培作物的基本溫度業經學者研究而提出報告^(9, 11, 21)，在大豆方面，雖然一般均將其基本溫度定為 10°C ，然而近年來亦有學者發現作物在不同的生育階段，對溫度之需求並不完全相同^(4, 11)。本試驗即擬就大豆營養生長期間的不同階段，估算基本溫度，並對此一溫度在實際應用上之適合性作一探討。

1) 國立中興大學農藝學系講師。

材料與方法

本試驗以大豆中興一號 (Chunghsing 1, CH1)、中興三號 (Chunghsing 3, CH3) 及高雄選十號 (Kohsiung 10, KS10) 等三個栽培品種為材料，於1992年在本校 (國立中興大學) 進行試驗，分別於春作 (2月20日播種)、夏作 (7月14日播種) 及秋作 (9月28日播種) 分三季以盆栽方式栽培於直徑為35cm之盆鉢中，每盆種植3株，重複三次，依一般慣行法栽培管理。在大豆生育期間，按照Fehr and Caviness⁽¹³⁾之生育期畫分方法，分別調查自播種至始花期 (R1) 各生育期所需之實際生育日數，其中P為播種期，VE為出土期，VC為子葉展開期，Vn為自對生單葉節 (unifoliate node) 算起第n節有完全展開葉之時期。

此外，又以中央氣象局臺中測候站之氣溫資料，取用每日平均氣溫，累加計算在各該生育期之積溫 (temperature summation, Ts)，即：

$$T_s = \sum T_m = \sum [(T_{max} + T_{min}) / 2]$$

其中Tm為日均溫，Tmax與Tmin分別為每日最高及最低氣溫。再依據江幡⁽²⁾之方法計算有效積溫 (effective heat unit summation, EHUS)：

$$\begin{aligned} EHUS &= \sum (T_m - T_b) = \sum T_m - \sum T_b \\ &= T_s - T_b \cdot D, \text{ 亦即} \end{aligned}$$

$$T_s = EHUS + T_b \cdot D$$

其中Tb為基本溫度，D為各生育相累積日數。依據以上原理，以春、夏、秋三期作各生育期之積溫 (Ts) 對生育日數 (D) 進行迴歸分析，所得迴歸式 $\hat{Y} = A + BX$ 中，A為EHUS之估值，B為Tb之估值；再以所估計之Tb及EHUS值進一步估計不同期作各生育相之理論生育日數 $P = EHUS / (T_m - T_b)$ 。將此估計之生育日

數與實際生育日數做一比較，用以評估以此方法估計所得之Tb及EHUS在實際應用上之適合性。

結果與討論

於本試驗進行期間，觀察得知大豆之全生育期在春作由2月20日至6月8日，夏作自7月14日至11月1日，秋作自9月28日至12月31日。此一期間臺中地區之旬最高、最低及平均氣溫示如圖1，春作生育期間之平均溫度由18°C左右漸漸升高，夏作營養生養期間均維持在較高溫度 (28-30°C) 下，於開花期後逐漸降低，秋作生育期間平均溫度則持續降低，直至18°C左右。

營養生長期各生育相之生育日數及積溫在期作及品種間之比較

在生育日數方面，三個品種之營養生長期均以春作最長，秋作最短 (表1)，似乎顯示秋作生長速率 (1/天數) 大於夏作及春作，但是各品種植株到達始花期 (R1) 時之節位數不等，春作為10-14節，夏作為13-14節，秋作為8-10節，以單位節位之平均生育日數 (始花期日數/節位數) 觀之，均以夏作之平均生育日數最短，秋作次之，而以春作最長；顯示期作間生長速率之比較依序為夏作 > 秋作 > 春作，與各該期作日均溫之高低趨勢頗為吻合，亦即大豆營養生長期發育速度明顯的受到溫度之影響。

在積溫方面，將生育期間之日平均溫度累加，求得由播種至始花期之累積溫度，示於表1。營養生長期大豆之總積溫在春、夏作較高，約在930-1,172°C之間，而秋作較低，僅為782-922°C。

由播種期開始，以各生育期所需之日數及積溫累計至始花期，分別得到日數及溫度之累

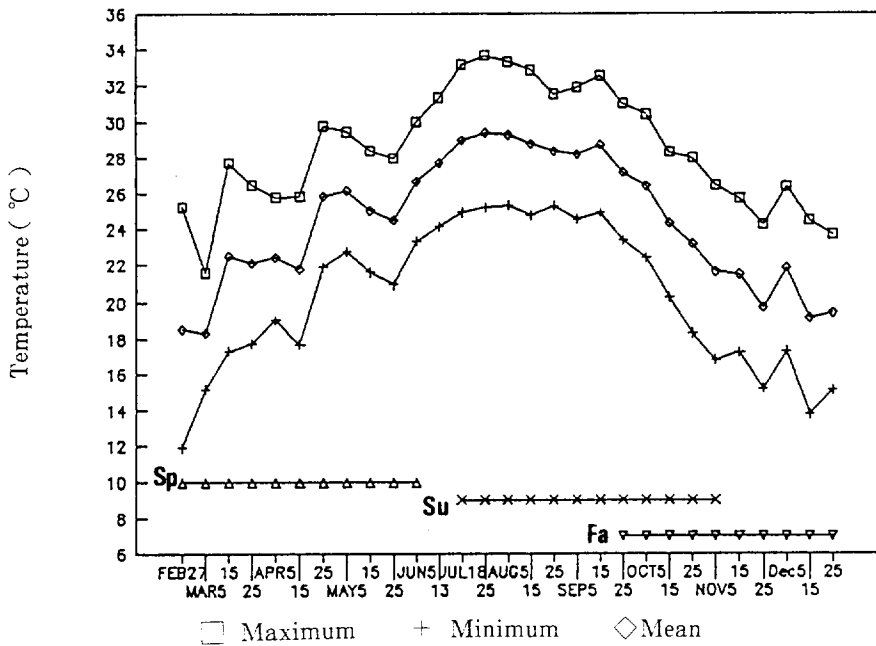


圖1. 大豆生育期間之旬平均最高、最低及平均溫度 (1992年)

Fig. 1. Maximum (□), minimum (+), and mean (◇) air temperature (10-day averages) during the growth course of soybean in 1992.

表 1. 大豆品種在期作間之營養生長日數、每節位平均生育日數及總累積溫度

Table 1. The mean vegetative duration, mean growing days per node and mean temperature summation of soybean varieties cultured in different crop seasons

Variety	Crop season	Node no. at R1 stage	Days to R1 stage	Growth days per node	Temperature summation (°C)
Chunghsing No.1	Spring	14	57.33	4.09	1,171.8
	Summer	14	37.33	2.67	1,080.7
	Fall	10	37.67	3.77	921.6
Chunghsing No.3	Spring	10	48.33	4.83	997.9
	Summer	13	37.33	2.87	1,087.4
	Fall	8	31.67	3.96	785.1
Kaohsiung No.10	Spring	10	46.33	4.63	930.0
	Summer	13	36.33	2.79	1,059.6
	Fall	8	31.67	3.96	781.9

表 2. 大豆品種於各營養生育階段之基本生長溫度 (Tb) 及有效積溫 (EHUS) 估值
 Table 2. Estimated base temperature (Tb) and effective heat unit summation (EHUS) at different vegetative growth stages of soybean varieties

Variety	Growth Stage *								
	VE	VC	V1	V2	V3	V4	V5	V6	R1
	Tb (°C)								
Chunghsing 1	6.94	23.18	14.48	8.18	21.67	9.50	21.90	14.90	9.03
Chunghsing 3	7.49	25.15	14.22	14.43	21.50	8.00	20.30	21.90	17.75
Kaohsiung 10	7.49	18.30	12.86	19.40	18.30	15.90	18.67	11.01	18.69
	EHUS(°C · DAY)								
Chunghsing 1	73.10	13.40	38.70	39.40	14.90	54.10	5.40	28.10	24.90
Chunghsing 3	67.10	7.50	43.50	43.00	12.20	73.70	12.30	5.40	13.20
Kaohsiung 10	67.10	20.50	53.10	16.80	23.00	20.90	14.40	41.10	12.10

* See "Materials and Methods" for description of growth stages.

積曲線 (圖2)，兩種曲線所代表之生長趨勢極為類似，唯日數累積曲線在期作間之變異似較溫度之累積曲線為大。日數累積曲線在早期即顯示期作間差異性，愈至後期，其差異性亦愈大；而積溫累積曲線在營養生長早期之期作間差異甚小，僅在營養生長後期才有較大之差異。上述結果顯示如以溫度單位表示作物之生長發育相，的確較以日數表示法較不易受期作改變之影響^(14, 19, 23)。

生長基本溫度及有效基溫之估算

以春、夏、秋三期作營養生長期各生長相之積溫 (Ts) 對生育日數 (D) 行迴歸分析，自 $T_s = A + B \cdot D$ 所得之 A 及 B 值即為有效積溫及生長基本溫度之估值⁽²⁾。各品種由 V1 至 R1 期 Tb 值之變化情形見表 2 及圖 3，中興三號由 7.49°C - 25.45°C，高雄十號由 7.4°C - 19.4°C

，中興一號由 6.94°C - 23.18°C，顯示高雄十號之生長基本溫度估值最為穩定，而中興三號估值之變化最大。各生育期中以 VE 期之 Tb 值最低，以 VC 期最高，其後各生育期之 Tb 值呈波浪狀間隔起伏，且大都高於 10°C，似乎表示大豆營養生育期間各不同時期對溫度之需求或反應不盡相同。郝及賀⁽¹⁾亦曾指出大豆不同生育期間的基本生長溫度不同，通常以幼苗期較低，約在 6 - 10°C 之間，隨著植株生長發育，基本溫度逐漸升高，至始花期間約在 17 - 18°C 之間，此與一般大豆之 Tb 值訂在 10°C 有明顯不同。另一方面，有效積溫之估值則恰與 Tb 值之趨勢相反，即 Tb 值大者，其 EHUS 值較低，反之，Tb 值小者，其 EHUS 之累積值較高 (圖 3)。

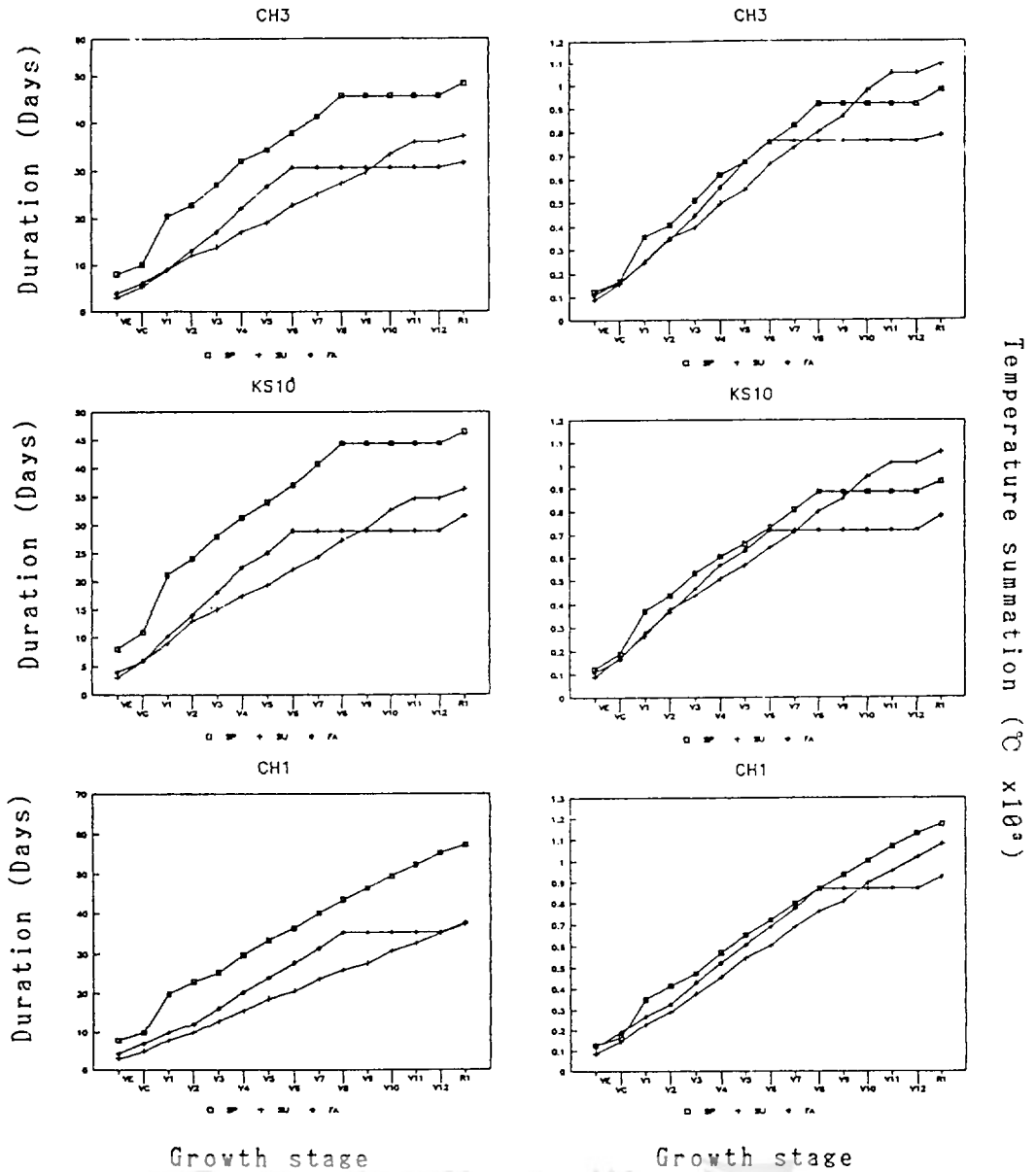


圖2. 大豆品種營養生長日數及溫度之累積曲線。
 Fig. 2. Cumulative growth days and temperature in the vegetative growth period of soybean varieties Chunghsing 1 (CH1), Chunghsing 3 (CH3), and Kaohsiung 10 (KS10). □ : spring crop, + : summer crop, ◇ : fall crop.

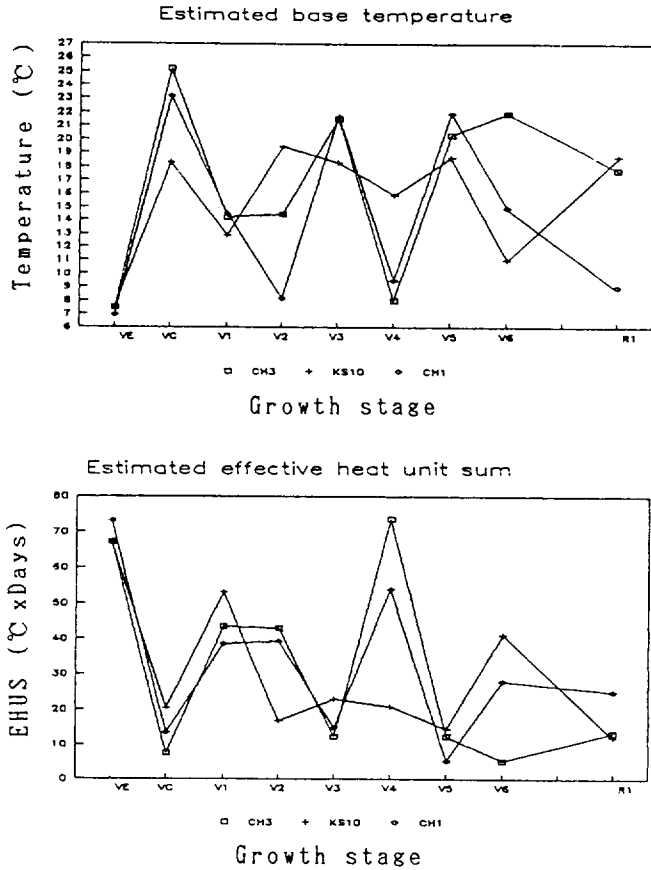


圖3. 以迴歸法估計之大豆生長基本溫度及有效積溫
 Fig. 3. Base temperatures (upper figure) and effective heat unit summations (lower figure) for the vegetative growth of soybean varieties as estimated by the regression method.
 □ : Chunghsing 3, + : Kaohsiung 10, ◇ : Chunghsing 1.

在實際應用上，按Fehr and Caviness⁽¹³⁾方法區別生育期，因劃分過細，易使估計值之變化過大，造成應用上之困擾。本試驗因此嚐試將營養生長期劃分為出土期（P-VE）、幼苗期（VC-V2）及快速生長期（V3-R1）等三個時期，再以此較長之生育期間的積溫對生育日數行迴歸估計，求得Tb及EHUS之值（表3）；出土期之Tb值在6.94—7.49°C間，幼苗期Tb值在7.89—11.76°C之間，而快速生長期之Tb值則在13.67—18.04°C之間，其估值似較上述以密集方式區分生育相而得之估值穩定合理，顯示大豆基本生長溫度由早期之低於10°C隨著

發育過程而有逐漸升高的趨勢。
 有效積溫及生育度日（growing degree days, GDD）之比較

Gilmore and Rogers⁽¹⁴⁾以作物生育期間高於某一特定基本溫度以上之累積溫度做為該生育期間所需的熱量單位，稱為生育度日（GDD），而此特定基本溫度常隨試驗者或所用材料不同而異；就大豆而言，一般均訂為10°C。GDD之計算式如下 $GDD = \sum [(T_{max} + T_{min}) / 2 - T_b]$ 。於大豆三個生育期分別以迴歸估計法測得的Tb值及固定Tb=10°C計算春、夏、秋期作各生育期所累積之GDD值

表 3. 大豆品種於各營養生長期不同階段之基本生長溫度 (Tb) 及有效積溫 (EHUS) 估值

Table 3. Estimated base temperature (Tb) and effective heat unit summation (EHUS) at different vegetative growth periods of soybean varieties

Variety	Growth Period *		
	P-VE	VC-V2	V3-R1
	Tb (°C)		
Chunghsing 1	6.94	11.76	13.67
Chunghsing 3	7.49	8.83	18.04
Kaohsiung 10	7.49	7.89	16.35
EHUS(°C · DAY)			
Chunghsing 1	73.10	113.40	304.90
Chunghsing 3	67.10	154.30	108.40
Kaohsiung 10	67.10	186.50	127.60

* See "Materials and Methods" for description of growth stages.

，分別以GDDe及GDD10表示，並與估計所得各品種之EHUS值做一比較，結果列於表4。

就整個營養生長期間之GDD及EHUS估值觀之GDD10值明顯大於GDDe及EHUS之估值，而GDDe與EHUS之值則較為接近，顯示二種估計方法均較傳統計算方法有低估之情形，進一步分別由各生育期的表現觀之，在P-VE及VC-V2兩個生育期間，多以GDDe估值大於GDD10估值，並且也較接近於估計之EHUS值。而V3-R1生育期則恰相反，以GDD10之值明顯高於GDDe之值，且EHUS估值均低於兩種GDD值。

再就各品種在期作間GDD估值之變異係數 (coefficient of variation) 觀之，在P-VE及VC-V2期間，GDDe之變異小於GDD10之變異，而在V3-R1期間，則反而以GDD10之變異小於GDDe之變異 (表4)；再次顯示大豆不同生育期間對溫度之需求並不完全相同。此外，

就期作間之比較而言，不論GDD10或GDDe之估值，均以夏作較偏離EHUS或GDD之平均值，顯示在夏作大豆營養生長期間，溫度之需求特性又不同於春、秋期作。因生育時期不同使Tb及EHUS估值改變之假說是否合理，可以進一步以其估計之生育日數與實際生育日數做一比較而進行驗證。

估計與實際的生育日數之比較

各生育期間所需之理論生育日數 (P) 可由有效積溫 (EHUS) 及生長基本溫度 (Tb) 二估值與該生育期間之平均氣溫 (Tm) 依下式估算：

$$P = \text{EHUS} / (T_m - T_b)$$

以此方法估計所得各品種在春、夏、秋期作之生育日數，與實際生育日數之比較列於表5。就整個營養生長期之總日數而言，春、秋二期作生育日數之估值與實際生育日數均極為吻合

表 4. 大豆品種於各營養生長期不同階段之基本生長溫度 (Tb) 及有效積溫 (EHUS) 估值
 Table 4. Estimated base temperature (Tb) and effective heat unit summation (EHUS) at different vegetative growth periods of soybean varieties

Variety	Heat unit	Crop season	Growth Period *				
			P-VE	VC-V2	V3-R1	Total	
Chunghsing No. 1	EHUS		73.10	113.40	304.90	491.40	
		GDD10	Spring	44.65	139.40	414.43	598.48
	Summer		57.05	133.75	516.57	707.55	
	Fall		74.47	130.13	340.35	544.95	
	Mean		58.72	134.43	423.78	616.99	
	CV (%) * * *		20.83	2.84	17.05	10.97	
	GDDe	Spring	69.13	113.00	288.43	470.56	
		Summer	66.23	121.43	416.25	603.91	
		Fall	87.73	116.05	247.38	451.16	
		Mean	74.36	116.83	317.35	508.54	
		CV (%)	12.81	2.98	22.66	13.35	
	Chunghsing No. 3	EHUS		67.10	154.30	108.40	329.80
			GDD10	Spring	44.65	135.15	314.82
		Summer		57.05	171.85	485.20	714.10
Fall		68.35		146.75	253.28	468.38	
Mean		56.68		151.25	351.10	559.03	
CV (%) * * *		17.08		10.13	27.94	19.17	
GDDe		Spring	64.73	152.31	108.46	325.50	
		Summer	64.58	182.38	281.52	528.48	
		Fall	78.39	157.28	103.20	338.87	
		Mean	69.23	163.99	164.39	397.62	
		CV (%)	9.35	8.03	50.40	23.31	
Kaohsiung No. 10		EHUS		67.10	186.50	127.60	381.20
			GDD10	Spring	44.65	152.75	269.28
		Summer		57.05	189.85	449.36	696.26
	Fall	68.35		157.12	239.78	465.25	
	Mean	56.68		166.57	319.47	542.73	
	CV (%) * * *	17.08		9.94	28.99	20.00	
	GDDe	Spring	64.73	186.51	127.47	378.71	
		Summer	64.58	210.95	301.20	576.73	
		Fall	78.39	178.22	127.60	384.21	
		Mean	69.23	191.89	185.42	446.55	
		CV (%)	9.35	7.24	44.15	20.62	

* GDD10 and GDDe are estimates of growth degree days estimated based on base temperature of 10°C and from regression method, respectively.

* * See "Materials and Methods" for description of growth stages.

* * * CV: Coefficient of variation.

表 5. 大豆品種於各營養生長期不同階段之實際生育日數、估計生育日數與校正後生育日數比較 *

Table 5. Comparison of observed, estimated and corrected durations of different vegetative growth period of soybean varieties *

Variety	Crop season	Item	Duration (days) of growth period * *			
			P-VE	VC-V2	V3-R1	Total
Chunghsing No. 1	Spring	Observed	8.00	15.00	34.33	57.33
		Estimated	8.46	05.05	36.29	59.81
		Corrected	8.46	15.05	36.29	59.81
	Summer	Observed	3.00	7.00	27.33	37.33
		Estimated	3.31	6.54	20.02	29.87
		Corrected	3.34	8.29	11.44	23.07
	Fall	Observed	4.33	8.00	25.33	37.67
		Estimated	3.61	7.82	31.22	42.65
		Corrected	3.77	7.98	31.22	42.97
Chunghsing No. 3	Spring	Observed	8.00	14.67	25.67	48.33
		Estimated	8.29	14.86	25.67	48.80
		Corrected	8.29	14.86	25.65	48.80
	Summer	Observed	3.00	9.00	25.33	37.33
		Estimated	3.12	7.61	9.75	20.49
		Corrected	3.34	9.58	11.33	24.25
	Fall	Observed	4.00	9.00	18.67	31.67
		Estimated	3.42	8.83	19.61	31.86
		Corrected	3.58	8.99	19.61	32.18
Kaohsiung No. 10	Spring	Observed	8.00	16.00	22.33	46.33
		Estimated	8.29	16.00	22.36	46.65
		Corrected	8.29	16.0	22.36	46.65
	Summer	Observed	3.00	10.00	23.33	36.33
		Estimated	3.12	8.84	9.89	21.84
		Corrected	3.34	9.58	11.33	24.25
	Fall	Observed	4.00	10.00	17.67	31.67
		Estimated	3.42	10.46	17.67	31.56
		Corrected	3.58	10.66	17.67	31.91

* Estimated growth days was calculated by the equation of $EHUS/(T_m - T_b)$, where EHUS is effective heat unit summation, T_m is mean temperature, and T_b is base temperature. Corrected estimation of growth days was calculated by substituting 30°C for any T_m over 30°C

* * See "Materials and Methods" for description of growth stages.

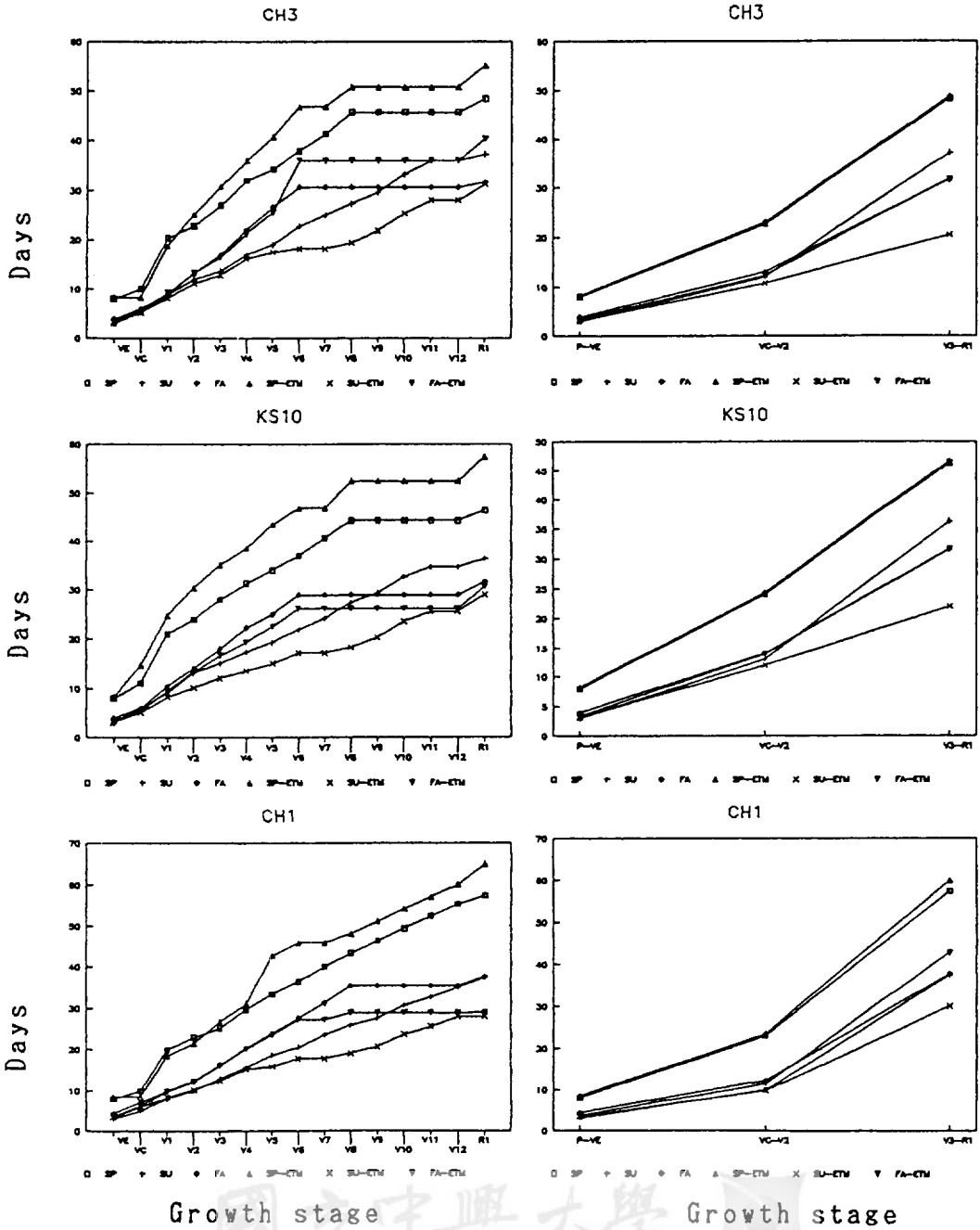


圖4. 春、夏與秋作大豆營養生長之估計與實際累積生育日數曲線。

Fig. 4. Estimated and observed cumulative duration for the vegetative growth of soybean. Estimated and observed values for the spring, summer, and fall crops are indicated by symbols Δ , \times , and ∇ , and symbols \square , $+$, and \diamond , respectively.

，僅對中興一號稍有高估現象；夏作生育日數之估值則明顯低於實際生育日數。

再就三個生育期之生育日數觀之，P-VE期及VC-V2期估計之生育日數與實際生育日數均極為接近，V3-R1期則明顯不合，不論夏作生育日數之低估或中興一號在春、秋期作之高估現象，均可歸因於V3-R1期間生育日數之低估或高估造成（表5及圖4），顯示大豆營養生長後期（V3-R1）之生長發育對溫度需求的變異性較大，尤以夏作的情況為甚。此一結果亦表示大豆生育除受溫度影響外，可能尚受其他因素之共同作用，例如日長及每日最高與最低溫等^(16·17·20)。Mayer *at al.*⁽¹⁷⁾指出大豆開花期會受每日絕對高溫高於30°C之影響而延遲，反之，較高之每日絕對低溫卻促進開花，而此種高溫延遲開花的現象又會和夏季長日互為影響。本試驗在夏作栽培之植株生育至開花期前，每日最高溫度幾乎均超過30°C（圖1），若在計算平均氣溫（ T_m ）時，如最高溫超過30°C，則以30°C取代，計算而得之校正的生育日數與實際生育日數之差距（表5），僅在中興一號品種獲得較明顯的改善，對其餘二品種則無顯著改善，此種現象顯示除高溫外，極可能尚有其他因子之影響，有待更進一步之探討。

作物生育受溫度之影響極大⁽¹⁵⁾，由各種

作物生長可能具有各異的最高溫度、最低溫度及最適溫度，可以得知同一作物在不同栽培地區或相同地區之不同季節，其生育日數之表現並不一定相同。然而改以熱量單位表示作物之發育相，這種差異性即可得到普遍的改善^(19·22·23)；熱量單位的累積範圍通常是在作物生長的最適溫度範圍內，而基本溫度即為此一範圍的低限溫度。有許多方法可以求得基本溫度之值^(6·9·12·22)，在實用上若能找出一個簡便的方法，並且能正確的用於估計生育日數，將對農業試驗工作有極大的幫助。本試驗利用期作間之資料以簡單迴歸法進行分析，可以很容易的估計基本溫度值，又發現此一基本溫度值隨著生育階段之不同而改變（表1及表3），較符合作物之實際生長情形。

當進一步以估計之基本溫度值及EHUS值估計各期作大豆品種營養生長期及不同生育期間之理論生育日數，結果在春、秋期作間與實際生育日數極為吻合，但在夏作則有明顯低估現象，後者之低估現象大多發生在營養生長後期（V3-R1）（表5），顯示單純以溫度或簡單迴歸分析方法，尚無法充分表達夏作期間或V3-R1期間大豆生長對環境條件之需求，將為今後繼續研究的目標。

參考文獻

1. 賀菊美、郝任俠。1988。大豆與氣候環境。實用農業氣象指南，第141—207頁。中國農業科技出版社，北京。
2. 江幡守衛。1990。有效積算溫度とイネの生長。第1報有效下限溫度の實驗算出法とイネの營養生長への應用。日作紀59：225—232。
3. Allison, J.S.C. and T.B. Daynard. 1979. Effect of change in time of flowering induced by altering photoperiod or temperature, on attributes related to yield in maize. *Crop Sci.* 19:1-4.
4. Angus, J.F., R.B. Cunningham, M.W. Moncur, and D.H. Mackenze. 1981. Phasic

- development in field crops. II. Thermal response in the seedling phase. *Field Crop Res.* 3: 365-378.
5. Bauer, A., A.B. Frank, and A.L. Black. 1984. Estimation of spring wheat leaf growth rates and anthesis from air temperature. *Agron. J.* 76:829-835.
 6. Brown, D.M. 1960. Soybean ecology. I. Development-temperature relationships from controlled environment studies. *Agron. J.* 52:493-496.
 7. Coelho, D.T. and R.F. Dale. 1980. An energy-crop growth variable and temperature function for predicting corn growth and development: planting to silking. *Agron. J.* 72:503-510.
 8. Cox, F.R. and C.K. Martin. 1974. Effect of temperature on time from planting to flowering in Virginia type peanut (*Arachis hypogae* L.). *Peanut Sci.* 1:86-90.
 9. Cross, H.Z. and M.S. Zuber. 1972. Prediction of flowering dates in maize based on different method of estimating thermal units. *Agron. J.* 64:611-615.
 10. Daughtry C.S.T., J.C. Cochran, and S.C. Hollinger. 1984. Estimating silking and maturity dates of corn for large areas. *Agron. J.* 76:415-420.
 11. Del Pozo, A.H., J. Garcia-Huidolro, R. Novoa, and S. Villaseca. 1987. Relationship of base temperature to development of spring wheat. *Exp. Agric.* 23:21-30.
 12. Emery, D.A., J.C. Wynne, and R.O. Hexem. 1969. A heat unit index for Virginia type peanut. I. Germinating to flowering. *Oleagineax* 24:405-409.
 13. Fehr, W.R. and C.E. Caviness. 1977. Stages of soybean development. IWSRGC 80:1-12. Special Rep. of Iowa Stat. U., Ames, Iowa.
 14. Gilmore, E.C. Jr. and J.S. Rogers. 1958. Heat unit as a method of measuring maturity in corn. *Agron. J.* 50:611-615.
 15. Johnson, I.R. and J.H.M. Thornley. 1985. Temperature dependance of plant and crop processes. *Ann. Bot.* 55:1-24.
 16. Mayer, J.D., R.J. Lawn, and D.E. Byth. 1991. Adaptation of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] to the dry season of the tropics. I. Genotypic and environmental effects on phenology. *Aust. J. Agric. Res.* 42:497-515.
 17. Mayer, J.D., R.J. Lawn, and D.E. Byth. 1991. Agronomic studies on soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] in the dry seasons of the tropics. II. Limits to yield imposed by phenology. *Aust. J. Agric. Res.* 42:1075-1092.
 18. Mederski, H.J., M.E. Miller, and C.R. Weaver. 1973. Accumulated heat units for classifying corn hybrid maturity. *Agron. J.* 65:743-747.
 19. Monteith, J.L. 1984. Consistency and convenience in the choice of units for agricultural science. *Exp. Agric.* 20:105-117.
 20. Sinclair, T.R., S. Kitani, K. Hinson, J. Bruniard, and T. Horie. 1991. Soybean flowering

- date: linear and logistic models based on temperature and photoperiod. *Crop Sci*, 31:786-790.
21. Stauber, M.S., M.S. Zuber, and W.L. Decker. 1984. Estimating of the tasseling date of corn. *Agron. J.* 60:432-434.
 22. Summerfield, R.J., E.H. Roberts, R.E. Ellis, and R.J. Lawn. 1991. Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops. *Exp. Agric.* 27:11-31.
 23. Whisler, F.D., B. Acock, D.N. Baker, R.E. Fye, H.F. Hodge, J.R. Lambert, H.E. Lemnon, J.M. McKinion, and V.R. Reddy. 1986. Crop simulation models in agronomic systems. *Adv. Agron.* 40:141-207.

The Relationship between Temperature and the Phenology of Soybean Plants [*Glycine Max* (L.) Merrill] in the Vegetative Growth Stages

Jou-Ruey Juang¹⁾

(Accepted for publication: Jul 23, 1993)

Summary

The purpose of this study was to elucidate the responses of soybean vegetative growth to temperature and the applicability of using simple method to estimate base temperature (T_b) and effective heat unit summation (EHUS) for field management. Soybean varieties Chung-hsing No. 1, Chunghsing No. 2, and Kaohsing No. 10 were pot-cultured in the spring, summer, and fall crop seasons in 1992. The T_b and EHUS were estimated from the regression coefficient (B) and constant (A) from the equation $T_s = A + B \cdot \text{day}$. The estimated T_b as well as EHUS were different for various growth stages during the vegetative phase of soybean plants, and was lower in the early growth stages and higher in the latter growth stages. Using the estimated T_b, EHUS and the observed mean temperature in each growth period of the three crop seasons, the growth durations of each period were predicted. The predicted durations fitted closely to the observed values for the spring and fall crops, but was underestimated for the summer crop. The underestimation was detected especially in the latter stage of vegetative growth (V3-R1). It is suggested that other meteorological factors should be included in the estimation of T_b and EHUS, especially for the latter developmental stages of soybean plants.

Key words: Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill], Vegetative growth, Base temperature, Phenology.

國立中興大學 

National Chung Hsing University

1) Instructor, Department of Agronomy, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, Republic of China.