

利用溫度單位劃分水稻生育期之可行性研究¹

劉瑋婷²

摘要

為探討以溫度單位來劃分水稻生育期之可能性，以本省水稻品種台農 67 號，台中秈 10 號及台中 190 號，分別以四個插秧期(二月、三月、四月、五月)，二個地點(台中市，花蓮縣吉安鄉)進行田間試驗。溫度單位的計算，採用生育度數法(GDD)及修飾生育度數法(MGDD)二種。即生育期間，每日最高溫與每日最低溫的平均，減去基礎溫度之總和，而修飾生育度數則將每日最高溫超過 30 者視為 30 計算。基礎溫度是以水稻種子經發芽試驗後，以分割式回歸法求得種子發芽速率為零時之溫度，台農 67 號為 12.26，台中秈 10 號為 7.07，台中 190 號為 9.8。

試驗結果顯示，三個水稻品種在不同栽培地點，不同插秧期，其各生育階段溫度單位的累積，除生殖生長期外，均較傳統的生育日數法穩定，並以 MGDD 法較 GDD 法為佳，故以溫度單位累積之模式來劃分水稻生育期應為可行。

(關鍵字：水稻，溫度單位，熱單位，生育度數。)

¹本場研究彙報報告第 87 號，本文為作者碩士論文之一部份。

²本場作物改良課助理研究員。

前言

氣象是影響植物生長發育的重要因子，其中以溫度為最重要^(10, 14)。人類在作物栽培上，很早就發現生育期間氣溫的累積與其生育狀況有密切的關聯^(10, 11, 18)，同時也證明作物的生長模式(phenology model)常受溫度成分(thermal component)的控制^(13, 19, 24)，而溫度數量化可以溫度單位(thermal unit, heat unit)或生育度數法(growing degree days, GDD)來表示⁽³⁸⁾。資料顯示利用累積溫度的觀念來預估作物生育的狀況，較諸傳統的生育日數法(calendar days)具有更高的精確性^(1, 11, 18)；因此長期以來被廣泛的應用為精確的栽培管理及農業投資的依據。

生育度數的基本定義為：在特定的生育期中，每日最高溫與最低溫的平均值減去基礎溫度(base temperature)(即作物停止生長的溫度)的總和^(16, 21)。其累積的溫度在不考慮其他環境因子如年期、種植地點等時，仍會接近一個常數⁽³⁹⁾。目前已有許多修正的積溫模式，依作物本身的情況，或環境的不同來應用，以增加評估的精確性。生育度數法的發展並非純由推理所得，而是由經驗所得來的，所以其估算作物模式的結果，常較其他由生理或能量總和為基礎推得的方法(physiological or energy summation methods)為佳⁽⁹⁾。早期生育度數是利用於估算作物生育期及產量，育種上用來調整開花期，商業上生產雜種種子；而目前則已發展為作物栽培上的參考指標，據以調整栽培時期，避免不良環境，在穀粒成熟期估算水份含量，病蟲害之適

期防治，灌排水管理等，從而得到最高的經濟效益。生育度數的另一優點是溫度資料的獲得較其他環境因子簡單而迅速，無論在研究或應用上，都相當方便可行。

生育度數法在玉米、麥類等作物上的研究甚多，其研究結果並可實際應用於田間；而在本省水稻上之研究仍付諸闕如。近年來，由於本省耕作制度的改變，使水稻一年二期作的模式亦有了轉變，在日趨複雜的耕作制度下，如何準確把握水稻生育狀況，據以配合其他作物的栽培，以期得到最高效益，實為目前重要的研究項目之一。本省目前育成的水稻推廣品種，長久以來，為配合雙期稻作制度，幾乎不受光週期的影響。在此前題下，生育度數法應用於水稻栽培，應屬可行。

本試驗的目的即在探討利用溫度單位來劃分水稻生育期的可行性，做為建立稻作生長模式之依據，藉以用來評估各品種對栽培地區之適應性，確實掌握水稻生育特性及產量潛能，供本省日後在水稻試驗研究及栽培管理上的參考。

材料與方法

一、試驗材料：

粳稻品種台農 67 號及台中 190 號，秈稻品種台中秈 10 號。

二、栽培地點：

台中市中興大學農場及花蓮縣吉安鄉花蓮區農業改良場。

三、栽培時間：共四次插秧期。

台中地區：各於 3 月 3 日，3 月 24 日，4 月 21 日及 5 月 22 日插秧。

花蓮地區：各於 2 月 18 日，3 月 30 日，4 月 8 日及 5 月 14 日插秧。

四、試驗方法：

1. 基礎溫度之估算

上述三品種種子各四百粒，以發芽皿盛裝，分別置於 5、7.5、10、12.5、15、20、25、30 之恆溫箱中進行發芽，記載每日發芽粒數，至第十五天為止，發芽以芽鞘突破種皮為標準。重複二次。以 Gbur et al.⁽²⁰⁾所提出之分割式回歸法(segmented regression)模式估算基礎溫度，方法如下：

(1)以 $E(Y)=\beta_0+\beta_1X$ 為估算植物生長速率之模式。

Y =植物生長速率，即發芽超過 50%之日數的倒數，超過 15 天未達 50%發芽率者，以 "0"計算。

X =溫度。

當 $X=\alpha$ ， $E(y)=\beta_0+\beta_1\alpha=0$ 時， α 為基礎溫度。

(2)發芽試驗中，恆溫箱所定溫度(χ)值為非連續的，因此，須分二部份進行探討：

$x_1, x_2, \dots, x_t, \dots, x_n$ 為按照溫度高低排序之發芽試驗溫度。

a. 當 $x_t < \alpha < x_{t+1}$,

β 之最小平方估值(least square estimates)為

$$b = \frac{\sum_{i=t+1}^n (x_i - x_t)(y_i - y_t)}{\sum_{i=t+1}^n (x_i - x_t)^2} \text{-----(i)}$$

α 之最小平方估值為

$$a = \frac{\sum x}{t} - \frac{y_t}{b} \text{-----(ii)}$$

$x_t = x_{t+1}, \dots, x_n$ 之平均

$y_t = y_{t+1}, \dots, y_n$ 之平均

由(i)(ii)得知殘項平方和(residual sum of squares)

$$SSE1_t = \sum_{i=1}^t y_i^2 + \sum_{i=t+1}^n (y_i + ab - bx_i)^2$$

b: 當 $x_t = \alpha$ 時, $t = 1, 2, \dots, n+1$

$$b_{2t} = \frac{\sum_{i=t+1}^n (x_i - x_t)y_i}{\sum_{i=t+1}^n (x_i - x_t)^2}$$

$$SSE2_t = \sum_{i=1}^t y_i^2 + \sum_{i=t+1}^n [y_i - b_{2t}(x_i - y_t)]^2$$

(3)所求得之 SSE 值為最小時之 α 值, 即為基礎溫度。

2. 田間試驗：逢機完全區集設計，以品種為處理，三重複，20 行 x20 株，單本植，行株距 30x15 公分，肥料及病蟲害管理，按該種植地區慣行法實施之。

3. 調查項目：記載幼穗形成期、抽穗期及生理成熟期之發生日期。

(1) 幼穗形成期為在適當時間，取稻株第一分蘖 10 株，將莖基部剖開觀察已有 5 株以上幼穗形成至 0.2mm 長度之日期為準。

(2) 抽穗期為試驗區中，已有 50% 抽穗之日期為準。

(3) 生理成熟期則以稻穗基部尚有二、三粒未成熟，其餘穀粒已成熟之日期為準。

4. 生育度數單位之計算

以台中縣霧峰鄉菸葉試驗所及花蓮縣吉安鄉花蓮區農業改良場之一級氣象站水稻全生育內氣溫資料，作為各生育階段生育度數單位累計依據，單位為 d。

a. $\sum GDD = \sum \{ (T_{max} + T_{min}) / 2 \} - \text{base temp.}$,

T_{max} = 每日最高溫度()

T_{min} = 每日最低溫度()

basetemp=基礎溫度。

當 GDD<0 時，視為 0。

b. Σ modified GDD (MGDD)= $\Sigma [(T_{max} + T_{min}) / 2] - \text{base temp.}$]

T_{max} =每日最高溫度()，當超過 30 時，視為 30 。

T_{min} =每日最低溫度()，當低於基礎溫度時，視為基礎溫度。

當 MGDD<0 時，視為 0。

5.不同插秧期所需之生育日數、GDD 及 MGDD 間之變異，以變異係數(Coefficient of variation, CV%)表示之。

$$CV\% = \frac{S}{Y} \times 100\% \quad S=\text{標準偏差}, Y=\text{平均值}$$

試驗結果

一、基礎溫度發芽試驗

水稻品種台農 67 號(TNG 67)，台中秈 10 號(TCS 10)及台中 190 號(TC 190)在不同溫度下，發芽率達 50%之所需日數之倒數，即其發芽生長速率，列於表一，作為利用 Gbur et al. 提出之 segmented regression 模式計算基礎溫度的數據。三個品種間之發芽生長速率，以秈稻台中秈 10 號較另二個梗稻品種為高。表一之數據，經以 segmented regression 計算後，其結果如表二。台農 67 號之基礎溫度(a)在 12.26 時，其 $E(y)=B_0+\beta_1x$ 之剩餘平方和(SSE)值最低，為 0.000129；台中秈 10 號則基礎溫度為 7.07 時，其 SSE 值最小，其值為 0.002117，台中 190 號以基礎溫度為 9.80 時，其 SSE 值=0.001855，值為最小。因此，台農 67 號、台中秈 10 號及台中 190 號之基礎溫度各為 12.26，7.07 及 9.8，並以此計算各品種在不同生育期的累積溫度單位。

二、溫度單位對水稻生育期之劃分

水稻可依其生育期間的變化，劃分為營養生長期(插秧至幼穗形成期)，生殖生長期(幼穗形成至抽穗期)及穀粒充實期(抽穗至穀粒成熟)。擬就不同生育時期，探討水稻於不同地區，不同基因型及不同插秧期，以生育日數(DAYS)，生育度數(GDD)及修飾生育度數法(MGDD)，來劃分水稻不同的生育階段之準確性。

Table 1. The different temperature x and reciprocals of time to 50% germination for three rice cultivars.

| x() | y days ⁻¹ | | |
|------|----------------------|--------|--------|
| | TNG 67 | TCS 10 | TC 190 |
| 5 | 0 | 0 | 0 |
| 7.5 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 12.5 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0.250 | 0.143 |
| 20 | 0.143 | 0.333 | 0.225 |
| 25 | 0.250 | 0.500 | 0.333 |
| 30 | 0.333 | 0.667 | 0.500 |

Table 2. Local square estimates and residual sum of square used of segmented regression in the determination of the base temperature of three rice cultivars. (partial list)

| Rice cultivars | Xt | Xt+1 | a | b | SSE |
|----------------|------|------|-------|---------|----------|
| TNG 67 | 12.5 | 15.0 | 12.26 | 0.01900 | 0.000129 |
| TCS 10 | 5.0 | 7.5 | 7.07 | 0.02836 | 0.002117 |
| TC 190 | 7.5 | 10.0 | 9.80 | 0.2358 | 0.001855 |

(一)品種間對不同生育期劃分法之表現

1.台中地區

參試三品種在台中市中興大學農場，於 78 年 3 月 3 日、3 月 24 日、4 月 21 日及 5 月 22 日插秧，各植期於全生育期間氣溫狀況如圖 1 所示。五月份以後每旬平均最高溫均在 30 以上。三品種各生育期累積之生育日數、GDD、MGDD 對一不同插期的變異情形列於圖 2 及表 3。

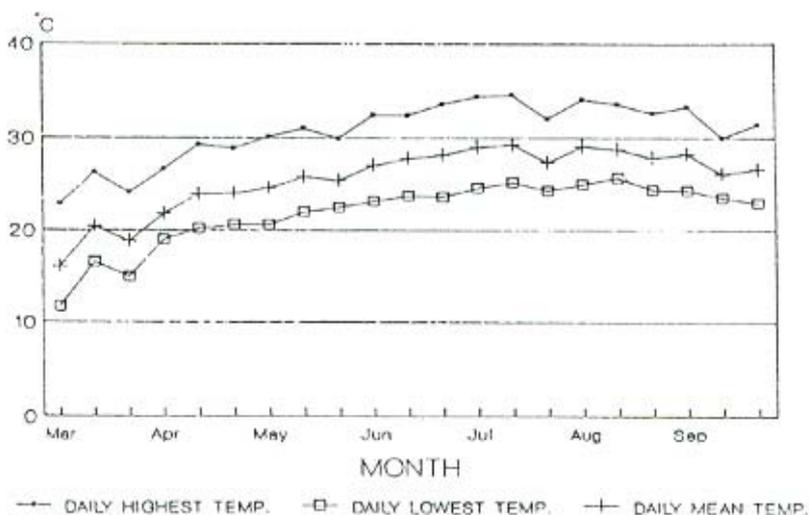


Fig. 1. Daily highest temperature, lowest temperature and mean temperature during experimental period at Taichung in 1989.

四次不同插秧期，三品種對各生育階段所需之日數如圖 2。三個品種營養生長期所需之生育日數，因插秧期不同而異，並有隨插秧日期的延後而漸減的趨勢，台農 67 號、台中秈 10 號及台中 190 號所需生育日數之差異各為 15、11 及 12 日。而生殖生長期所需之日數，除台農 67 號在第二次插秧期的表現外(16 日)，梗稻品種在第一 三次插秧者所需差異不大(台

農 67 號 27-25 日，台中 190 號 20-23 日)，但第四次插秧者則急遽減少所需日數(均為 16 日)；而秈稻品種台中 10 號則均在 25-23 日之間，差異不大。至於穀粒充實期的長短，梗稻品種在不同插秧期間表現亦無甚大差異，台農 67 號為 36-33 日，台中 190 號為 31-27 日，而秈稻品種台中 10 號則差異較大，第一 四次插秧者各需 38、34、34、31 日。就全生育期所需日數而言，台農 67 號在 128 日-105 日間，台中 10 號為 126-106 日，台中 190 號為 114-92 日；三個品種不同的插秧期間的差異達 20-23 日。

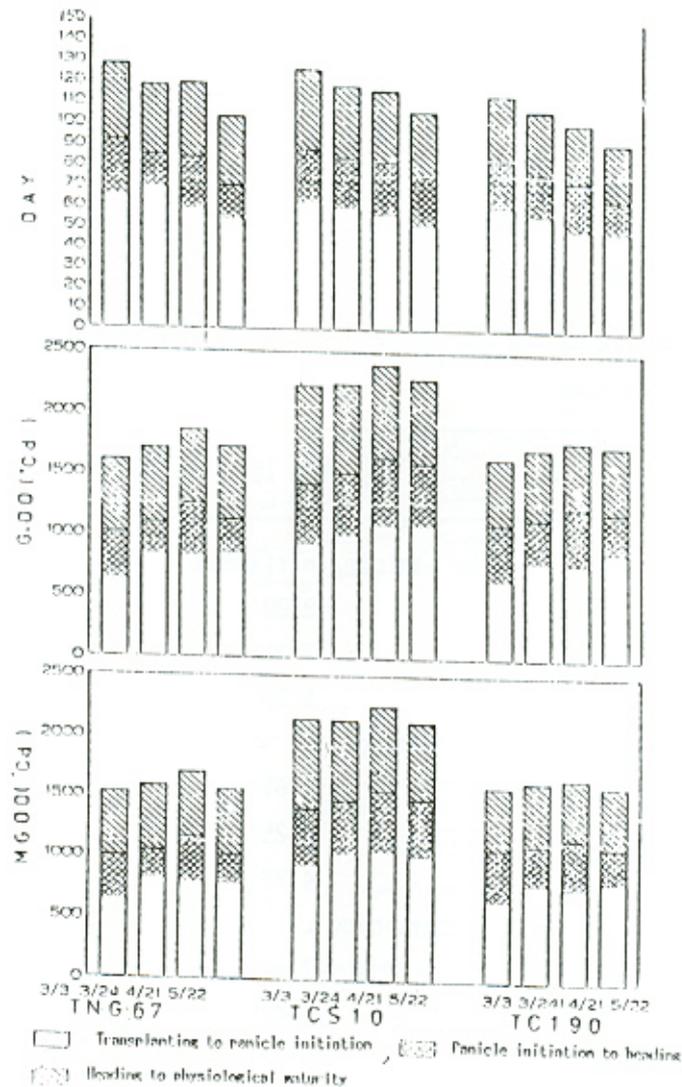


Fig. 2 The calendar days (DAYS), growing degree days (GDD) and modified growing degree days (MGDD) to reach various developmental stages of three rice cultivars at Taichung.

四次插秧期對三個品種不同生育階段所需之 GDD 如圖 2。三個品種營養生長期累積之 GDD，台農 67 號除了第一次插秧者(636 d)外，第二 四次插秧者 GDD 值頗為接近(841-857 d)，台中 190 號亦有相同情形(657 d, 813 d, 793 d 及 892 d)，台中 10 號 GDD 累積的情形不同插秧期間雖然差異較小(939 d, 1008 d, 1097 d, 1092 d)，仍以第一次插秧者為低；生殖生長期 GDD 的累積，台農 67 號為 265-416 d 之間，差異很大，而台

中秈 10 號的變異情形為 484-544 d 之間；台中 190 號為 316-448 d 之間；此種結果與生育日數的變化類似。穀粒充實期其 GDD 在不同插秧期的累積，台農 67 號在 590-606 d 間，台中 190 號為 537-569 d，均幾達一個常數，而台中秈 10 號 GDD 的累積範圍為 798-685 d，差異達 113 d。就全生育期而言，台農 67 號之 GDD 的累積，為 1602-1852 d，台中秈 10 號為 2220-2398 d，台中 190 號為 1639-1785 d。

四個插秧期對三個品種各生育階段 MGDD 之累積如圖 2。除幼穗形成期外，其變異的情形更趨於穩定。MGDD 之計算方式係將最高溫限制於 30 以內，由於水稻生育期間最高氣溫超 30 者，故累積之 MGDD 會較 GDD 值低。台農 67 號營養生長期其累積之 MGDD，在不同插秧期的變化為 639-814 d，台中秈 10 號為 933-1050 d，台中 190 號為 657-819 d，其變化雖與 GDD 相似，但差距已減低。生殖生長期 MGDD 累積的情形，台農 67 號(229-369 d)及台中 190 號(284-423)變異很大，而台中秈 10 號則在 434-499 d 間。穀粒充實期的 MGDD 變化，更可看出梗稻台農 67 號與台中 190 號之數 MGDD 幾達一個常數(每範圍各為 528-538 d, 491-515 d)，台中秈 10 號則在 634-740 d 間。就抽穗至全生育期 MGDD 累積之情形，明顯的看出三個品種的變異，其趨勢與 GDD 類似。

比較三個品種在不同插秧期累積之生育日數、GDD 及 MGDD 的變異情形，以變異係數(CV%)表示之，結果列於表 3。台農 67 號除在營養生長期及生殖生長期，此三種估算方法差異不大且值均偏高外，其餘可明顯的看出 GDD 及 MGDD 的估算法較生育日數穩定，並以 MGDD 法較佳，穀粒充實期的估算，CV 值低至 0.78。台中秈 10 號以三種方法估算各生育階段的穩定性，亦除了生殖生長期外，溫度單位的累積較生育日數穩定，但 MGDD 與 GDD 的差異不大。台中 190 號的結果與台農 67 號類似，生殖生長期及營養生長期，三種估算法之 CV 值均較高，且之間差異不明顯，而其他生育階段，則生育日數的變異數倍於二個生育度數法，並以 MGDD 較 GDD 為穩定。

綜合以上的結果，可知台中地區種植三個水稻品種，利用溫度單位的累積估算抽穗期、全生育期及穀粒充實期，較傳統的生育日數穩定，梗稻品種更為顯著，MGDD 法較 GDD 法為佳。台農 67 號與台中 190 號在營養生長期及生殖生長期於不同插秧期間的穩定性，有變異係數偏高的現象(9.43%-27.77%)，此種結果，可能幼穗形成期無法由植株外觀判斷，必須在適當時間解剖莖基部觀察，而主莖與分蘖莖的幼穗分化時間亦有不同，不易正確掌握，因而影響了對生育期劃分之精確性，進而影響了與幼穗形成有關之營養生長期及生殖生長期溫度單位累積之估算。

Table 3. Coefficients of variation of thermal and calendar days models at four different planting dates on three rice cultivars at Taichung.

| C.V. % | TNG 67 | TCS 10 | TC 190 |
|--------|-------------------------------------|--------|--------|
| | Transplanting to panicle initiation | | |
| DAYS | 10.69 | 8.09 | 10.58 |

| | | | |
|---|-------|------|-------|
| GDD(d) | 13.28 | 7.30 | 12.39 |
| MGDD(d) | 10.37 | 5.09 | 9.43 |
| Transplanting to heading | | | |
| DAYS | 11.14 | 6.61 | 10.13 |
| GDD(d) | 8.94 | 6.25 | 5.23 |
| MGCC(d) | 6.84 | 4.29 | 3.38 |
| Transplanting to physiological maturity | | | |
| DAYS | 8.06 | 7.04 | 9.01 |
| GDD(d) | 5.98 | 3.49 | 3.60 |
| MGDD(d) | 4.70 | 2.77 | 2.07 |
| Panicle initiation to heading | | | |
| DAYS | 27.27 | 3.95 | 15.29 |
| GDD(d) | 24.73 | 4.89 | 19.01 |
| MGDD(d) | 24.74 | 5.70 | 18.87 |
| Heading to physiological maturity | | | |
| DAYS | 3.62 | 8.39 | 6.30 |
| GDD(d) | 1.14 | 6.47 | 2.56 |
| MGCC(d) | 0.78 | 6.61 | 2.10 |

2.花蓮地區

水稻品種台農 67 號，台中秈 10 號及台中 190 號在花蓮縣吉安鄉於 2 月 18 日，3 月 30 日，4 月 8 日及 5 月 14 日插秧，水稻生育期間氣溫狀況如圖 3。二月份及三月份仍有寒流，而每旬平均最低溫在五月下旬才超過 20℃，六月份以後，平均最高溫均在 30℃ 以上。水稻各生育階段累積之生育日數、GDD 及 MGDD 的變異如圖 4 及表 4。

三個品種於四個插秧期下，不同生育階段所需之生育日數如圖 4。三個品種在營養生長期所需生育日數，在不同插秧期間之差異甚大，台農 67 號、台中秈 10 號及台中 190 號所需生育日數各為 15、19 及 19 日。生殖生長期所需生育日數台 67 號在不同插秧期間的變異在 27 - 19 日間，台中秈 10 號則除了第三次插秧外(18 日)，其餘三次各為 22 日 - 23 日，差異不大；台中 190 號則在 22 日 - 15 日間。穀粒充實期的表現，梗稻品種台農 67 號所需日數為 41 日 - 37 日，台中 190 號為 44 - 35 日，而秈稻品種台中秈 10 號，差異很大，達 14 日之多(45 - 31 日)。至於全生育所需日數，台農 67 號在 137 日 - 110 日之間，台中秈 10 號則在 144 日 - 110 日之間，台中 190 號 125 - 98 日；差異達 27 - 34 日。

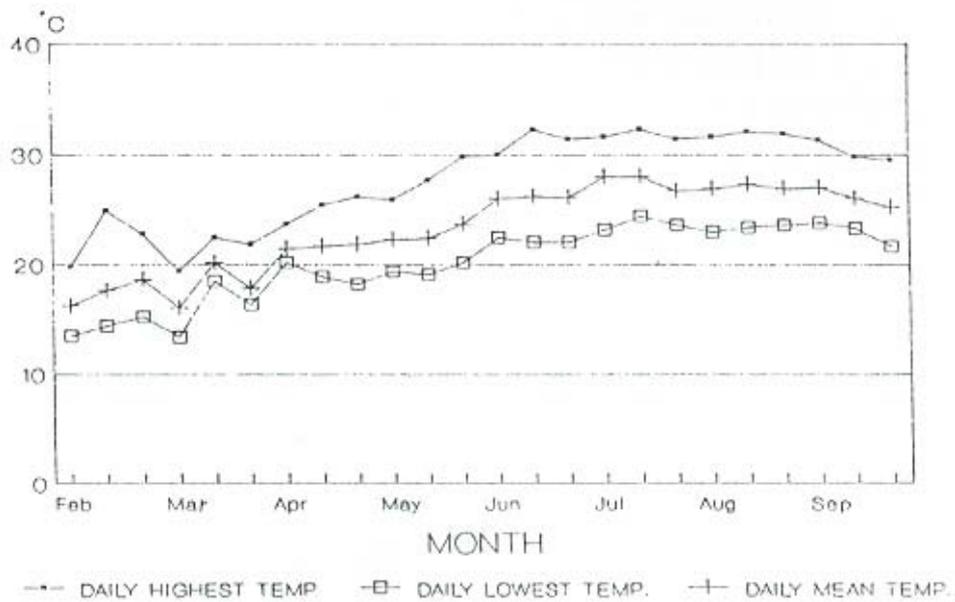


Fig. 3. Daily highest temperature, lowest temperature and mean temperature during experimental period at Hualien in 1929.

以 GDD 的累積來估算水稻各生育階段，其結果如圖 4。營養生長期所累積之 GDD，在不同插秧期間的變異，台農 67 號為 179 d(539-718 d)，台中秈 10 號為 57 d(1010-1067 d)，四次插秧期所累積者幾達一個常數，台中 190 號為 84 d，除第二次插秧外(588 d)，其餘三次的累積值亦很相近(642, 655 及 672 d)。生殖生長期所需之 GDD，台農 67 號在 282-315 d 之間，差異為 34 d，台中秈 10 號則為 345 - 462 d，差異頗大，與所需生育日數的結果不同；台中 190 號則在 288 - 374 d 之間。穀粒充實期其 GDD 在不同插秧期的累積，台農 67 號在 555 - 623 d 之間，台中 190 號在 590 - 642 d，但台中秈 10 號則在 636 - 893 d，差異很大。就全生育期而言，台農 67 號的差異在 1409 - 1604 d，台中秈 10 號則為 2161 - 2305 d，台中 190 號則除了第四次插秧(1646 d)外，其餘在 1538 - 1591 d 間，差異亦頗小。

三個品種於四次不同插秧期下，各生育階段累積之 MGDD 如圖 4。各品種 MGDD 累積的變異情形與 GDD 累積類似。其在營養生長期的變異，台農 67 號在 1384-1538 d 間，台中秈 10 號在 1010-1057 d 間，台中 190 號則在 587-655 d 間；生殖生長期的表現，台農 67 號的變異在 271-312 d，台中秈 10 號在 387-462 d，台中 190 號在 287-367 d 之間；穀粒充實期的 MGDD 累積情形，台農 67 號及台中 190 號明顯變異範圍較 GDD 為小(各為 530-580 d, 287-367 d)，而台中秈 10 號則在 607-846 d 間。全生育期的表現，台農 67 號及台中 190 號的累積範圍，可看出均較 GDD 的累積為小，各為 1384-1538 d, 1510-1569 d，尤以台中 190 號之表現為明顯。台中秈 10 號則在 2135-2235 d 間。

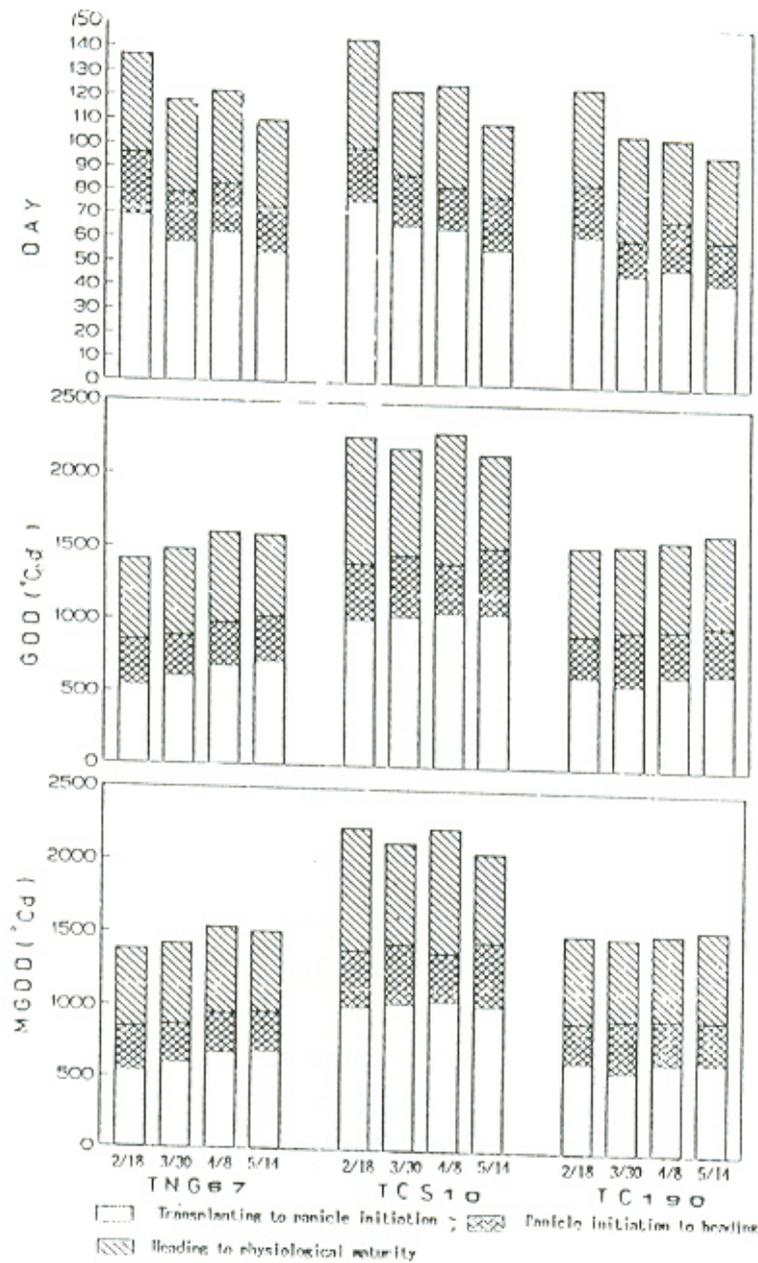


Fig. 4 The calendar days (DAYS), growing degree days (GDD) and modified growing degree days (MGDD) to reach various developmental stages of three rice cultivars at Ilhlien.

比較三個品種在不同插秧期累積之生育日數、GDD 及 MGDD 之變異情形，結果列為表 4。台農 67 號除在營養生長期的 CV 值，三種估算法的差異不大且值均偏高外，其餘可明顯看出，GDD 及 MGDD 累積之估算法較生育日數穩定，並以 MGDD 法較佳，穀粒充實期的估算，三者差異不大且 CV 值亦低，主要原因可能是四次插秧期的穀粒充實期氣溫狀況類似(平均氣溫各為 25.5 ， 27.1 ， 27.4 ， 27.1)，因此穀粒充實所需生育日數亦無太大差別 (CV%=4.19)。台中秈 10 號以三個方法估算各生育階段之穩定性，除了生殖生長期與穀粒成熟期外，生育日數的 CV 值均較 GDD 與 MGDD 呈倍數性增加；生殖生長期及穀粒充實期數值均高，可能因第三次插秧期在抽穗時遇螟蟲為害，因防治較晚，使早抽穗之稻株受害，以

致影響抽穗時間的準確性，進而二個與穗期有關的生育階段 CV 值均偏高。台中 190 號在生育階段均可明顯看出生育日數之 CV 值較 GDD 及 MGDD 呈倍數性增加，並以抽穗期及全生育時期為最穩定，MGDD 較 GDD 為穩定。

綜合以上的結果，以三個估算生育時期的方法來估算花蓮地區三個水稻品種的不同生育階段，以溫度單位的累積較傳統的生育日數法為穩定，MGDD 法較 GDD 法為佳。

Table 4 Coefficients of variation of thermal and calendar days models at four different planting dates on three rice cultivars at Hualien.

| C.V.% | TNG 67 | TCS 10 | TC 190 |
|---|--------|--------|--------|
| Transplanting to panicle initiation | | | |
| DAYS | 10.53 | 11.80 | 16.41 |
| GDD(d) | 12.31 | 2.50 | 5.69 |
| MGDD(d) | 10.86 | 1.88 | 5.04 |
| Transplanting to heading | | | |
| DAYS | 11.77 | 9.92 | 10.13 |
| GDD(d) | 8.43 | 3.99 | 3.12 |
| MGCC(d) | 6.32 | 2.65 | 1.56 |
| Transplanting to physiological maturity | | | |
| DAYS | 9.30 | 11.14 | 10.66 |
| GDD(d) | 6.10 | 2.96 | 3.06 |
| MGDD(d) | 4.82 | 3.62 | 1.68 |
| Panicle initiation to heading | | | |
| DAYS | 15.75 | 10.43 | 15.29 |
| GDD(d) | 4.78 | 12.44 | 10.84 |
| MGDD(d) | 7.00 | 11.51 | 10.93 |
| Heading to physiological maturity | | | |
| DAYS | 4.19 | 17.16 | 10.61 |
| GDD(d) | 5.26 | 15.48 | 3.52 |
| MGCC(d) | 3.81 | 15.57 | 3.84 |

(二)不同地區品種間對不同生育期劃分法之表現

環境因子的不同，會造成同一品種的作物在不同地點栽培時生育狀況的改變。台中地區之氣溫明顯高於花蓮地區，五月份平均最高溫已超過 30℃，而花蓮地區必須在六月份以後平均最高溫才達 30℃，二個地區的氣候狀況有明顯的差異。因此本試驗亦探討利用溫度單位來

估算同一水稻品種在不同地區的生育期之精確性，並與生育日數做一比較，其結果列於表 5。綜合二個地點，八次插秧期的資料，得知台農 67 號在穀粒充實期及全生育日期之變異，以 MGDD 較為穩定外，其餘則三種估算法並無很大的差異，就生殖生長期而言，雖然 MGDD 及 GDD 法之變異較小，但 CV 值均偏高。台中秈 10 號之表現，則除了生殖生長期以外，其餘的不同生育階段三種估算法以 MGDD、GDD 較生育日數穩定，並以 MGDD 法較佳。台中 190 號的結果與台農 67 號類似，除了營養生長期外，其餘生育階段，亦以 MGDD 法及 GDD 較生育日數為穩定。

綜合言之，不同地區的資料合併後分析的結果，與同地區內不同插秧期的資料並無甚大差異，梗稻品種仍以幼穗形成有關之生育階段較不穩定，而台中秈 10 號則在營養生長期以 MGDD 及 GDD 法較生育日數穩定，是否秈稻品種的幼穗形成分化在各主莖及分蘗莖間較為一致，有待探討此外，台中秈 10 號的生殖生長期及穀粒成熟期的變異值均高，除了因螟蟲為害外，根據田間觀察的結果，秈稻的抽穗期及成熟期未若梗稻品種一致，以致有取樣及判斷上之誤差。

Table 5. Coefficients of variation of thermal and calendar days models at four different planting dates on three rice cultivars pooled two locations.

| C.V. % | TNG 67 | TCS 10 | TC 190 |
|---|--------|--------|--------|
| Transplanting to panicle initiation | | | |
| DAYS | 9.86 | 12.14 | 13.04 |
| GDD(d) | 16.81 | 7.06 | 14.72 |
| MGDD(d) | 13.82 | 6.40 | 11.99 |
| Transplanting to heading | | | |
| DAYS | 10.61 | 8.55 | 12.50 |
| GDD(d) | 12.51 | 5.97 | 11.18 |
| MGCC(d) | 9.69 | 3.76 | 8.92 |
| Transplanting to physiological maturity | | | |
| DAYS | 8.30 | 9.85 | 15.32 |
| GDD(d) | 8.56 | 3.41 | 5.54 |
| MGDD(d) | 6.18 | 3.23 | 5.51 |
| Panicle initiation to heading | | | |
| DAYS | 20.82 | 11.44 | 15.01 |
| GDD(d) | 17.76 | 19.81 | 16.78 |
| MGDD(d) | 17.17 | 18.62 | 15.95 |

| | Heading to physiological maturity | | |
|----------|-----------------------------------|-------|-------|
| DAYS | 7.17 | 17.43 | 29.56 |
| GDD(d) | 3.68 | 11.87 | 6.75 |
| MGCC(d) | 3.13 | 12.68 | 8.56 |

討論

作物的生長發育是一連續不斷的動態過程(dynamic process)⁽¹⁰⁾，由作物本身內在遺傳背景與外在環境因子相互影響，決定其最終產量。因此在不同生育階段中，給予適當的栽培管理及調整適當的栽培時期，對其經濟產量的提高及農業投資的效益，均有所幫助；而如何判斷或預估作物的生育期與其生育狀況，極為重要。一般而言，穀類作物的生育，有不同評估方式，有利用物理時間來劃分者(年、月、日等，即生育日數)⁽³⁴⁾，有利用生理發育時間來劃分者(抽穗期、孕穗期、成熟期等)⁽⁴⁰⁾，甚或以作物乾物質的累積，作物營養成分的濃度或含量等來劃分者⁽²⁶⁾。唯此類方法均有其缺點，因作物的生長發育受環境影響甚鉅，常因環境不同而有極大的變異，致使延誤栽培管理時期或在試驗研究上增加取樣的誤差。因此以溫度為基礎之生育度數法(溫度單位)來預估作物生育期及生長狀況，已日漸應用於許多作物上^(1, 10, 15, 21, 24, 31)。

作物生長發育雖然受到許多環境因子的影響，但其中以溫度最重要^(3, 4, 7, 8, 9, 23, 37, 41)。Gilmore and Roger 指出早在二百餘年前，Reamur(1735)便已發現許多作物在特定的生育期內，其每平均氣溫的總和，在不論年期、種植地點的情況下，會接近一個常數，因此提出"溫度單位累積"(accumulatd heat unit)的觀念，由每日最高及最低溫所得的平均溫度，其超出基礎溫度以上的部份，在不考慮日長(daylength)、光強度(light intensity)、病蟲害、水份、二氧化碳濃度下，與作物的生長速率為一直線的關係^(15, 40)，因此作物對溫度的反應可視為一種單位累積的效應⁽²⁹⁾。

生育度數法的應用中，基礎溫度的決定甚為重要，不同的作物或不同品種各有其基礎溫度，例如玉米為 10⁽²¹⁾，小麥為 2.4⁽⁹⁾，高粱台中 3 號為 7.5⁽¹⁾。作物在不同生育階段中各有其基礎溫度^(6, 28, 40)，但因資料的求得，在某些生育階段不易控制其準確性，例如：作物在田間栽培，其全生育期間無法排除其他環境因子的影響，而人工氣候室的設備昂貴等等。於是大多數學者多利用環境條件較易控制之種子發芽溫度為估算基礎溫度的標準。Gbur et al.⁽²⁰⁾利用回歸分析求得種子生長速率為零時之溫度 7.27，為其基礎溫度；王⁽¹⁾以測定最低發芽溫度方法，所得結果為 7.5；Warriangton and Kanemasu⁽⁴⁰⁾觀察不同環境下玉米生長的反應，顯示玉米萌芽時，基礎溫度為 9，而吐絲期及開花期分別為 8 及 7.5；Narwel et al.⁽³²⁾則以冬天種植之玉米進行生長分析，認為 7 為基礎溫度較慣用之 10 為適合；Lawlor et al.⁽²⁸⁾亦指出以不同地區來源之高粱種子測出之基礎溫度亦會有所不同；Baker et al.⁽⁸⁾以生育度數法預測歐洲玉米螟(European corn borer, *Ostinia nubilalis* Hubner)的齡期，綜合 25 年來所觀察幼

蟲發育的資料中發現，第一齡至第五齡之基礎溫度，由 2.8 至 5.6 呈線性或非線性的增加，而成熟的幼蟲至蛹期之基礎溫度為 10 。一般而言，玉米的基礎溫度為 10 ，此亦說明，為何對玉米而言已過於寒冷的氣候中，玉米螟蟲仍很活躍的緣故。本試驗以根據國際種子檢查規則，所訂定之發芽率測定法，以七種不同溫度處理，所得之發芽資料，以較為精確的分割式回歸模式(segmented regression)⁽²⁰⁾計算發芽之基礎溫度，得知梗稻中晚熟品種台農 67 號為 12.26 ，早熟品種台中 190 號為 9.8 ；秈稻台中秈 10 號為 7.07 。台農 67 號與台中 190 號之生育日數差異達 2-3 週，但以溫度單位的累積的結果，差異並不大，主要原因是由於基礎溫度的差異所造成；至於是否梗稻品種間的溫度單位累積的結果會達一致，有必要再探討之，或對日後實際應用上，有所裨益。秈稻台中秈 10 號的基礎溫度僅 7.07 ，但已知秈稻的秧苗期較不耐低溫，是否秈稻的萌芽期及秧苗期的基礎溫度差異頗大，亦有再討論之必要，以期修正生育度數之累積，使其精確性增加。

生育度數法最早是被用以做為作物生育期劃分的根據^(21, 29, 35)，其有兩個前題，即在建立生育度數模式時，資料來源的環境變異要大，並且試驗必須涵蓋作物的全生育期⁽²⁹⁾。許多學者^(19, 21, 40)指出，在氣溫高於基礎溫度及低於作物生長最適溫時，其與作物的發育呈一直線的關係，然而在基礎溫度以下，或最適溫以上，則為非線性關係；於是導致溫度超過作物生長最適溫範圍以外，或接近生長最適溫之極限時，此種簡單有效的生育度數法常會高估作物的生長速率⁽²⁵⁾。而必須經過修正，以因應每種作物的生長習性，於是生育度數有了各種的改進。^(16, 29)

水稻為 C₃ 型作物最適溫範圍在 30 左右⁽⁴²⁾，在本試驗的水稻栽培期間，七、八月遇高溫時，田間氣溫往往高於 30 ，於是除了 GDD 外，尚利用修飾後之 MGDD(當每日最高溫於 30 時，視為 30 計算)，來估算水稻的各生育階段，與傳統的生育日數法做一比較。試驗結果，得知台中地區三個參試品種的各生育階段，大致有隨著插秧期的延緩，而生育日數漸減的現象，並以營養生長期更為顯著；花蓮地區的表現亦有相同的趨勢。主要原因是插秧期作越晚，各生育期間的平均氣溫越高，導致水稻生育速率增快。Weigard and Cuellar⁽⁴¹⁾亦指出小麥生育溫度介於 15-27 時，每日平均溫度增加 1 ，可導致生育日數減少 3.1 日，玉米⁽¹⁴⁾，燕麥⁽¹⁵⁾亦有相同的結果。本試驗的結果亦顯示，以生育日數來估算水稻的各個生育階段，因變異係數較高，較為不穩定。

不同期作間，各生育階段 GDD 與 MGDD 的累積，除了生殖生長期外，一般而言，均較生育日數來得穩定，並以 MGDD 較 GDD 法為佳，兩個地區均有相同的結論。而生殖生長期，無論以生育日數或溫度單位的累積來估算不同插秧期間的穩定性，變異係數有過高的現象，此由於幼穗形成不易以植株外觀來判斷，使得估算易失穩定性。本試驗 GDD 及 MGDD 溫度單位累積的估算，是直接由田間判斷其生理發育狀況，再經由生育日數的氣溫轉化而來，當生育日數估算不準確或變異很大時，也往往影響 GDD 及 MGDD 之變異。因此，當在長期或擴大栽培地區的試驗下，已正確的掌握作物器官發育的模式，其所得的結果必然更為準確，尤其對無法以肉眼判斷的性狀，例如幼穗形成期，花粉減數分裂期等，以 GDD 及 MGDD 的

方法來預估，應較傳統的生育日數法更具意義。致於生理成熟期及抽穗期的判斷較易，無論是地區、品種間其變異係數之大小，低於生育日數者甚多，顯示其準確性。

本試驗中，利用生育度數法來估算同一品種在不同地區其各生育階段之精確性時，即發現除生殖生長外，其效果比生育日數佳，其中 MGDD 法大致說來比 GDD 法稍微改善其變異的程度；台中地區的氣溫高於花蓮地區，而 MGDD 除超過 30 以上的氣溫均矯正為 30，減少了二個地區溫度的差異，因此可知溫度單位除了可以說明同一地區作物的生育情況，並且可應用於不同地點上。Menderski et al.⁽²⁹⁾亦曾以六種經過修正後之生育度數法來探討七個分散地點的變異程度，六種生育度數法間的差異不大，且 CV 值僅有生育日數之半。

生育度數法除了用以預估生育期，做為劃分的標準外，近年來，發現亦可用來說明作物的生育狀況。Baner et al.⁽¹¹⁾以 15 個硬粒小麥品種探討生育度數對穀粒乾物質充實速率及每穗粒數發育速率的關係，並進而預估春小麥的產量。Menderski et al.⁽²⁹⁾亦以 GDD 來預估 40%，35%，30%，25%不同含水量玉米穀粒，得到良好的結果。Swan et al 亦以 GDD 得到穀粒水分含量之簡單回歸模式。Hesketh and Warriangton⁽²²⁾以生育度數來說明玉米葉片發生速率及持續期(duration)。除了利用氣溫的資料外，學者們亦發現利用土壤溫度轉化成的土壤生育度數(Soil growing degredd days)對作物生育亦有很大的影響。Swan et al.⁽³⁶⁾利用生育度數及土壤生育度數來預估玉米生長情形及產量，並且發現植株行距間的覆蓋物的覆蓋程度較高，則需較多的 GDD 以達第六葉期。Koshi et al.⁽²⁷⁾亦利用土壤生育度數來做算 Kentucky bluegrass 根發育的情形，Danneberger and Vergas⁽¹⁷⁾則以土壤 GDD 來預估一年生藍草(Annual bluegrass)之種子發芽。生育度數法之用途不但可預估及說明作物生育狀況，栽培管理上亦可應用，Amos et al.⁽⁶⁾以生育度數法為基礎，發展出玉米蒸發散量係數(evapotranspiration coefficient)，用來評估作物的需水量，對灌排水管理及水分能源的利用有所裨益。

除了溫度以外，作物生長亦受其他重要環境因子的影響^(33, 34)，因此利用生育度數法估算作物生育時，作物本身必合乎⁽¹⁾沒有日長的效應及⁽²⁾其生長速率與溫度間呈線性(linear)的關係兩項條件，後者若非線性，則資料需經矯正⁽³⁹⁾。其餘如稔實程度、雜草防除⁽³¹⁾，肥料施用⁽³⁶⁾與栽培密度⁽¹²⁾等，都可影響溫度單位之精確程度。

經由本試驗的結果，可知利用生育度數劃分及預估水稻不同插秧期、不同地點之各生育階段頗為穩定較傳統的生育日數為佳，尤以 MGDD 法優於 GDD。至於生育度數與水稻其他農藝或生理性狀，如葉片發生速率，乾物質的累積，產量及產量構成因素的關係，及其他環境因子間對生育度數的影響，如施肥量、栽植密度、日射量及雨量等，亦擬繼續探討之，以做為水稻栽培管理，甚至建立生長模式的依據。

參考文獻

- 1.王環宇 1988 溫度單位對高粱產量與植株生育之影響 國立中興大學農藝研究所 碩士論文。

2. 行政院農業委員會 1987 國際種子檢查規則 臺灣省 農林廳印行 pp.264 中華民國 臺灣省臺北。
3. 陳建山 1979 第一、二期作水稻之分蘗特性之比較 臺灣省二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集 p.61-75 行政院國家科學委員會專刊第二號 行政院國家科學委員會臺北。
4. 劉大江 1979 水稻各生育期溫度對碳水化合物累積與轉流的影響臺灣省二期作稻低產原因解決方法研討會專集 p.101-111。行政院國家科學委員會專刊第二號 行政院國家科學委員會臺北。
5. Alejiandro, H. P., G.H. Jorge, Novoa, R. and S. Villaseca. 1987. Relationship of base temperature to development of spring wheat. *Expl. Agric.* 23:21-30.
6. Amos, B., L. R. Stone, and L. D. Bark. 1989. Fraction of thermal units as the base for an evapotranspiration crop coefficient curve for corn. *Agron. J.* 81:713-717.
7. Barlow, E. W. B., L. Boersma, and J. L. Young. 1977. Photosynthesis, transpiration, and leaf elongation in corn seedling at suboptimal soil temperature. *Agron. J.* 69:95-100.
8. Baker, D. G., B. S. Sharratt, H. C. Chiang, J. A. Zandlo, and D. L. Ruschy. 1984. Base temperature selection for the prediction of European corn borer instars by the growing degree day method. *Agric. Fores. Meteorol.* 32:55-58.
9. Baker, J. T., P. J. Pinter, Jr., R. J. Reginato, and E. T. Kanemasu. 1986. Effects of temperature on leaf appearance in spring and winter wheat cultivars. *Agron. J.* 78:605-613.
10. 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.
11. Bauer, A., A. B. Frank, and A. L. Black. 1985. Estimation of spring wheat grain dry matter assimilation from air temperature. *Agron. J.* 77: 743-752.
12. Bullock, D. G., R. L. Nielsen, and W. E. Nyquist. 1988. A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. *Crop Sci.* 28:254-258.
13. Carberry. P. S., and L. C. Campbell. 1989. Temperature parameters useful for modeling the germination and emergence of pearl millet. *Crop Sci.* 29:220-223.
14. Cohello, D. T., and R. F. Dale. 1980. An energycrop growth variable and temperature function for predicting corn growth and development: Plant- to silking. *Agron. J.* 72:503-510.
15. Colville, D. C., and K. J. Frey. 1986. Development rate and growth duration of oats in response to delayed sowing. *Agron. J.* 78:417-421.
16. Cross, H. Z., and M. S. Zuber. 1972. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. *Agron.* 64 :351-355.
17. Danneberger, T. K., and D. Vergas. 1984. Annual bluegrass seedhead emergence as predicting by degree-day accumulation. *Agron. J.* 76:756- 758.

18. Daughtry, C. S. T., J. C. Cochran, and S. E. Hollinger. 1984. Estimating silking and maturity dates of corn for large areas. *Agron. J.* 76: 415-420.
19. Eskridge, K. M., and E. J. Stevens. 1987. Growth curve analysis of temperature-dependent phenology models. *Agron. J.* 79:291-297.
20. Gbur, E. E., G. L. Thomas, and F. R. Miller. 1979. Use of segmented regression in the determination of the base temperature in heat accumulation models. *Agron. J.* 71:949-953.
21. Gilmore, E. C. Jr., and J. S. Rogers. 1958. Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agron. J.* 50:611-615.
22. Hesketh, J. D., and I. J. Warrington. 1989. Corn growth response to temperature: Rate and duration of leaf emergence. 1989. *Agron. J.* 81: 696-701.
23. Hunter R. B., L. A. Hunt, and L. W. Breuer. 1974. Photoperiod and temperature effects on corn. *J. Plant Sci.* 54:71-78.
24. Ketring, D. L., and T. G. Wheless. 1989. Thermal time requirements for phenological development of peanut. *Agron. J.* 81:910-917.
25. Kiniry, J. R., and M. E. Keener. 1982. An enzyme kinetic equation to estimate maize development rates. *Agron. J.* 74:115-119.
26. Klepper, B., R. W. Rickman, J. F. Zuzel, and S. E. Waldman. 1988. Use of growing degree days to predict sample dates for cereal crops. *Agron. J.* 80:850-852.
27. Koshi, A. J., J. R. Street, and T. K. Danneberger . 1988. Prediction of Kentucky bluegrass root growth using degree-day accumulation. *Crop Sci.* 28:848-850.
28. Lawlar, D. J., E. T. Kanemasu., W. C. Albrecht, , and D. E. Johnson. 1990. Seed production environment influence on the base temperature for growth of sorghum genotypes. *Agron. J.* 82: 643-647.
29. Menderski, H. J., M. E. Miller, and C. R. Weaver. 1973. Accumulated heat units for classifying corn hybrid maturity. *Agron. J.* 65:743-747.
30. Monteith, J. L. 1984. Consistency and convenience in the choice of units for agricultural science. *Expl. Agric.* 20:105-117.
31. Metcalfe, D. S., and D. M. Elkins. 1980. Climate, weather and crops. in: *Crop production.* p.99-114. New York.
32. Narwel, S. S., S. Poonia, G. Singh, and D. S. Malik. 1986. Influence of sowing dates on the growing degree days and phenology of winter maize (*Zea mays* L.). *Agric. For. Meteorol.* 38:47-57.
33. Puri, Y. P., C. O. Qualset, M. F. Miller, K. G. Baghott, C.C. Jan, and C. De Pace. 1985. Barley, wheat, and triticale grain yield in relation to solar radiation and heat units. *Crop Sci.* 25:893-900.

34. Robertson, G. W. 1968. A biometeorological time scale for a cereal crop involving day and night temperatures and photoperiod. *Int. J. Biometeor.* 12:191-223.
35. Stauber, M. S., M. S. Zuber, and W. L. Decker. 1968. Estimation of the tasseling date of corn (*Zea mays* L.) *Agron. J.* 60:432-434.
36. Swan, J. B. E. C. Schneider, J. F. Moncrief, W. H. Paulson, and A. E. Peterson. 1987. Estimating corn growth, yield, and grain moisture from air growing degree days and residue cover. *Agron. J.* 79:53-60.
37. Tollenaar, M., T. B. Daynard, and R. B. Hunter. 1979. Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. *Crop Sci.* 19:363-366.
38. Wang, J. 1960. A critique of the heat unit approach to plant response studies. *Ecology* 41:785-790.
39. Wang, J. Y. 1967. Microenvironments and crop production In: *Agricultural Meteorology*. pp.70-172. Palo Alto, California.
40. Warrington, I. J., and E. T. Kanemasu. 1983. Corn growth response to temperature and photoperiod I. Seedling emergence, tassel initiation, and anthesis. *Agron. J.* 75:749-754.
41. Weigand, C. L., and J. A. 1981. Duration of grain filling and kernel weight of wheat as affected by temperature *Crop Sci.* 21:95-101.
42. Yoshida, S., and Y. Hara. 1977. Effects of air temperature and light on grain filling of an indica and a japonica rice (*Oryza sativa* L.) under controlled environmental conditions. *Soil Sci. Plant Nutr.* 23:93-107.