

# 옥수수의 生育期間 豫測을 위한 Growing Degree Days의 計算方法

鄭丞根\* · 李錫淳\*\* · 朴根龍\*\*\*

## Methods of Estimating Growing Degree Days to Predict Growth Duration in Maize

Seung Keun Jong\*, Suk Soon Lee\*\* and Keun Yong Park\*\*\*

### ABSTRACT

In an attempt to find better ways to relate growth with temperature and to estimate maturity differences in corn (*Zea mays* L.), various formulas of computing Growing Degree Days (GDD) were evaluated. Utilizing data from 17 plantings of a single cross, Suweon 19, over a 3 year period, 24 different methods of computing GDD were compared for their ability to reduce variations over different plantings. The best equation was to compute GDD with a base temperature of 10°C and an optimum of 30°C. The excess temperature above 30°C was subtracted to account for high temperature stress. GDDs required for emergence and silking of Suweon 19 were 64±12°C and 794±19°C, respectively. Based on these GDD values, emergence and silking dates could be estimated with a variation less than 3 days. The observed and estimated number of days from planting to emergence and silking were not significantly different.

### 緒 言

옥수수에서는 GDD(Growing Degree Days) 또는 Heat Units를 이용하여 生育의 豫測이나 品種의 早晚程度를 표시하는 방법이 널리 쓰이고 있다. 이것은 옥수수를 서로 다른 環境에서 栽培하는 경우 日曆上의 日數로 生育段階別 期間이나 品種의 早晚程度를 나타내는 것 보다는 GDD로 나타내는 것이 差異가 적고 精度가 높기 때문이다.

GDD의 利用에 대하여 Cross와 Zuber<sup>6)</sup>는 ① 作物의 正確한 生育段階를 豫測할 수 있어 水分不足에 敏感한 開花期에 灌溉를 할 수 있도록 計劃을 세우며, 收穫期를 判斷하여 生産物의 出荷時期나 作付體

系에 맞는 作物의 選擇을 합리적으로 정할 수 있고, ② 品種의 成熟群分類가 精確하여 栽培地域의 설정이나 播種 및 收穫時期를 고려한 栽培管理가 가능하고, ③ 育種家들이 交配를 위한 開花期를 일치시킬 수 있도록 播種日을 조절하는데 效率的이며, ④ 作物의 生理試驗에서 溫度의 影響을 분리시킬 수 있어 試驗處理效果의 解析에 正確性을 높일 수 있다고 하였다.

GDD의 計算方法은 기본적으로 네가지로 구분할 수 있다.<sup>2)</sup> 指數型(Exponential type)<sup>13,18)</sup>은 溫度가 10°C 올라가는데 따라 生長率이 倍加되는 것으로 가정하여 계산되므로 適溫 이상의 溫度에서는 生長率이 너무 높게 推定된다. 生理型(Physiological type)<sup>4,13)</sup>은 環境制御室內에서 溫度의 變化에 따른 作物

\*忠北大學校 農科大學(Dept. of Agronomy, Chungbuk National Univ., Cheongju 310, Korea)

\*\*嶺南大學校 農畜産大學(Dept. of Agronomy, Yeungnam Univ., Gyeongsan 632, Korea)

\*\*\*農村振興廳 作物試驗場(Crop Experiment Station, RDA, Suweon 170, Korea) <1986. 3. 10 接受>

의 生理的 反應을 기초로 하여 GDD를 계산하는데 溫度에 대한 作物의 生長反應이 拋物線을 이루는 것으로 가정한다. 剩餘溫度型(Remainder type)<sup>8,9,16,17</sup>은 最低 및 最高 基準溫度(Base temperature)를 정하여 두고 生育期間中の 最高와 最低溫도의 平均에서 最低基準溫度를 뺀 나머지를 累積하여 계산하되 每日의 最低溫度나 最高溫度가 基準溫度範圍를 넘는 경우 여러가지 방법으로 補正하여 준다. 蒸發散型(Evapotranspiration type)<sup>23</sup>은 作物의 生育과 密接한 關係를 가진 蒸發散量을 고려하여 계산한다.

일반적으로 옥수수에서는 生理型과 剩餘溫度型이 많이 이용되고 있다. Brown<sup>4)</sup>은 콩의 發育과 溫度의 關係를 분석하고 基準溫度를 4.4°C로 하는 曲線 回歸式을 유도하였는데 生育期間이 짧은 Canada의 Ontario 지방에서 옥수수의 生育研究 및 交雜種의 分類에 이용하고 있다. Andrew 등<sup>11)</sup>은 옥수수를 Netherlands의 Wageningen과 미국 Wisconsin주의 Spooner에서 재배하고 溫度와의 關係를 분석하여 基準溫度를 10°C로 하는 것이 成熟期를 예측하는데 효과적이었다고 보고하였으며, Gilmore와 Rogers<sup>9)</sup>은 15가지의 GDD 계산방법을 비교하여 最低基準溫度 뿐만 아니라 最高限界溫度를 併用하는 것이 GDD의 精確성을 높여주었다고 하였다. 이 경우 最低基準溫度를 10°C, 最高限界溫度를 30°C로 하여 日當GDD=(最高溫度+最低溫度)/2-10으로 계산하되 10°C 이하의 最低溫度는 10°C로 그리고 30°C 이상의 最高溫度는 30°C로 계산한다. Cross와 Zuber<sup>6)</sup>은 22가지의 계산방법을 이용하여 옥수수의 開花期를 예측하고 기본적으로 10°C-30°C의 基準溫度가 가장 精確하였으나 最高溫度가 30°C보다 높은 경우 30°C-(最高溫度-30°C)로 계산하여 주는 것이 高溫에 의한 生育障害를 補完해 주어 精確度가 높아진다고 결론지었다. Newman과 Blair는 日平均溫度가 23.9°C보다 높고 最高溫度가 32.2°C보다 높은 경우 日GDD-(最高溫度-32.2°C)로 계산해 주는 것이 高溫乾燥한 氣候에서 水分障害를 받는 데 대한 補正이 되며, 日長이 길고 서늘한 기후에서는 日平均이 10°C 이상 15.6°C 미만인 경우 最高溫度가 18.3°C를 넘는 溫度만큼 加算해 주어야 한다고 報告하였다. Rench<sup>19)</sup>은 Iowa주에서 基準溫度를 7.2°C로 하는 것이 가장 좋았으나 基準溫度를 4.4°C나 10°C로 한 경우보다 크게 有利하지는 않았다고 하였다.

GDD의 계산방법에 대한 비판도 여러 사람에게

의하여 지적되고 있다. Wang<sup>24)</sup>은 GDD의 계산이 作物의 生育段階에 따라 溫度의 效果가 일정하지 않으며, GDD의 이용이 溫度와 生育速度가 비례한다는 것을 前提로 하나 低溫과 高溫에서는 비례관계가 잘 성립하지 않고, 晝夜의 溫度較差가 큰 경우의 영향을 고려하지 않는다는 점들을 지적하였다. Arnold<sup>3)</sup>은 동일한 平均溫度에서 較差가 작을수록 發育速度가 빠르다고 報告하고 있으며, Schaal과 Newman<sup>20)</sup>은 溫度의 觀測方法에 따라 GDD의 계산에 5%까지의 誤差가 생긴다고 하였다. Arnold<sup>21)</sup>은 日長에 의하여 GDD 계산에 誤差가 생기는데 낮의 길이가 밤보다 긴 경우에는 실제의 平均溫度가 最低溫도와 最高溫도의 平均보다 높기 때문에 GDD가 더 많이 계산된다고 하였으며, Newman<sup>14)</sup>은 남북으로 약 500km의 거리마다 日長에 의한 GDD의 誤差가 2%쯤 된다고 計算하였다. 以上과 같이 GDD의 계산방법에 대한 여러가지 論議가 있기는 하지만 일반적으로 GDD의 利用은 옥수수栽培 및 研究에서 크게 有用한 것으로 評價되고 있다.<sup>5,7,21)</sup>

우리나라에서는 李 등<sup>12)</sup>이 벼, 콩, 옥수수에 대한 GDD의 이용가능성을 처음 시도한 이후 옥수수<sup>11)</sup>와 벼<sup>10)</sup>에 대하여 일부 검토가 이루어진 정도이다. 李 등<sup>12)</sup>은 水原에서 播種期를 달리하여 옥수수를 栽培하고 播種으로부터 出絲期까지의 生育日數와 GDD를 비교한 결과 變異係數가 각각 23.9~28.0% 및 1.9~3.2%로서 GDD로 表示하는 것이 出絲期의 推定에 더 正確하다고 하였다. 또한 李 등<sup>11)</sup>은 옥수수의 播種期試驗에서 수원 19호의 播種으로부터 出絲까지의 GDD는 平均 815°C, 出絲에서 生理的 成熟期까지는 種實用이 平均 651°C에서 수원 19호의 栽培에는 약 1,500°C의 GDD가 필요하다고 보고하였다.

本 研究에서는 옥수수의 生育期間을 正確히 表示하고 自殖系統이나 交雜種들의 早晚程度를 區分하는데 가장 알맞는 GDD의 계산방법을 찾기 위하여 播種期를 달리하여 옥수수를 栽培하고 지금까지 提示된 여러가지 GDD 計算方法의 精確度를 比較하고자 하였다.

## 材料 및 方法

本 研究에서는 1979年 水原 作物試驗場 田作圃場에서 實施한 單交雜種 수원 19호의 播種期試驗<sup>11)</sup>과, 1984년과 1985년 忠北大學校 農科大學 試驗圃

**Table 1.** Methods used to compute growing degree days.

Code number	Method	Formula
1	Daily high accumulation	$H_i$
2	Daily low accumulation	$L_i$
3	Daily average accumulation	$H_i$
4	Daily average-base of 4.2°C	$(H_i + L_i) / 2 - 4.4$
5	Daily average-base of 7.4°C	$(H_i + L_i) / 2 - 7.2$
6	Daily average-base of 10°C	$(H_i + L_i) / 2 - 10$
7	High limited-base of 4.4°C	$(H_i' + L_i) / 2 - 4.4$
8	High limited-base of 7.2°C	$(H_i' + L_i) / 2 - 7.2$
9	High limited-base of 10°C	$(H_i' + L_i) / 2 - 10$
10	High reduced-base of 4.4°C	$(H_i'' + L_i) / 2 - 4.4$
11	High reduced-base of 7.2°C	$(H_i'' + L_i) / 2 - 7.2$
12	High reduced-base of 10°C	$(H_i'' + L_i) / 2 - 10$
13	Low limited-base of 4.2°C	$(H_i + L_i') / 2 - 4.4$
14	Low limited-base of 7.4°C	$(H_i + L_i') / 2 - 7.2$
15	Low limited-base of 10°C	$(H_i + L_i') / 2 - 10$
16	Adjusted average	$(H_i' + L_i') / 2$
17	Adjusted average-base of 4.2°C	$(H_i' + L_i') / 2 - 4.4$
18	Adjusted average-base of 7.4°C	$(H_i' + L_i') / 2 - 7.2$
19	Adjusted average-base of 10°C	$(H_i' + L_i') / 2 - 10$
20	Daily heat stress	$(H_i'' + L_i') / 2$
21	Daily heat stress-base of 4.2°C	$(H_i'' + L_i') / 2 - 4.4$
22	Daily heat stress-base of 7.4°C	$(H_i'' + L_i') / 2 - 7.2$
23	Daily heat stress-base of 10°C	$(H_i'' + L_i') / 2 - 10$
24	Ontario system	$(H_i^* + L_i') / 2$

$H_i$  = Maximum temperature for day  $i$  in °C

$L_i$  = Minimum temperature for day  $i$  in °C

$H_i' = H_i$  if  $H_i < 30$ ;  $H_i' = 30$  if  $H_i > 30$

$H_i'' = H_i$  if  $H_i < 30$ ;  $H_i'' = 30 - (H_i - 30)$  if  $H_i > 30$

$L_i' = L_i$  if  $L_i > 10$ ;  $L_i' = 10$  if  $L_i < 10$

$H_i^* = -0.25(H_i)^2 + 4.39(H_i) - 155.18$  (temperature in °F)

場에서 실시한 播種期試驗의 結果를 利用하였다. 1979년에는 3월 26일부터 7월 9일까지 15일 간격으로 8회, 1984년에는 4월 14일부터 6월 23일까지 14일 간격으로 6회, 1985년에는 4월 25일부터 6월 24일까지 1개월 간격으로 3회 포함 17회 播種栽培한 結果를 綜合하였다. 播種距離는 畦幅 60cm, 株間 30cm(5,500株/10a)로 하였으며, 株當 2~3粒씩 심어 出芽後 1本씩 남기고 솎아주었다. 10a當 施肥量은 窒素, 磷酸, 加里를 각각 18, 15, 15kg씩 하였다. 단 1984년의 栽培에서는 磷酸을 新開墾地 施肥量인 28kg 水準으로 施用하였다. 其他는 作物試驗場 標準栽培法을 따랐다.

出芽日과 出絲日은 各 試驗區에서 50% 이상의 個體들이 出芽 또는 出絲한 날로 하였으며, 氣溫과 地溫은 水原에서는 圃場에서 약 200m 떨어진 農業氣象觀測所의 調査值를, 淸州에서는 圃場에서 약 1km 떨어진 淸州測候所의 調査值를 利用하였다. 播

種日로부터 出芽日 및 出絲日까지의 日數와 日最低 및 最高溫度를 利用하여 表 1의 方法대로 GDD를 計算하였다. GDD 計算방법간의 正確度는 播種期別 生育期間의 日數에 따라 計算된 GDD 值들의 變異係數의 大小에 依하여 判斷하였다.

### 結果 및 考察

本 試驗을 遂行하였던 期間의 旬別 平均 最低, 最高溫度 및 10日 累積 降雨量은 그림 1과 같다. 4월 중의 最低氣溫은 3년이 모두 비슷하였으나 1979년에는 5월 중순까지 10°C 이하인 日數가 많아서 平均最低溫度가 낮았다. 1979년에는 最高溫度가 30°C 이상이 되는 日數도 적었고 그 時期도 다른 해에 비하여 늦었다. 6월부터 8월까지 最高溫度가 30°C를 넘는 日數가 1979년에는 27日밖에 안되었으나 1984년과 1985년에는 50日 이상이었다. 降雨

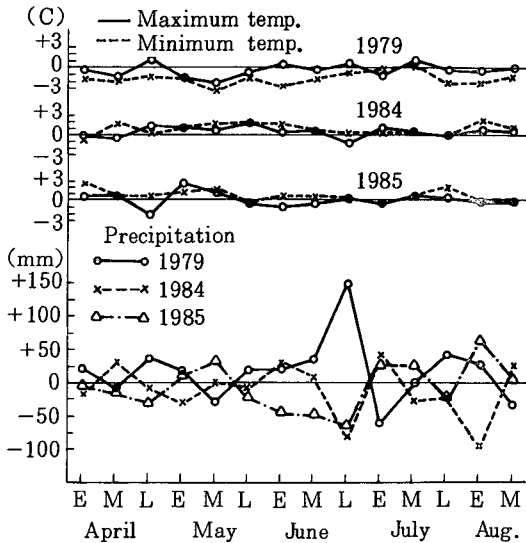


Fig. 1. Deviations of 10 day average maximum and minimum temperature and 10-day accumulation of precipitation from 3 year averages.

량은 1979년에는 비교적 全生育期間에 고르게 分布하였으나 다른 해에는 5月 下旬~6月 上旬 및 7月 下旬에 比較的 적어 高温乾燥하였다.

옥수수의 播種은 해에 따라서 차이가 다소 있으나 3月 下旬부터 7月 下旬 사이에 이루어졌는데 出芽

까지의 日數는 3月 26日 播種의 29日로부터 6月 以後 播種의 4~5日까지 24~5日의 차이가 있었다(表 2). 5月까지의 播種에서는 播種期가 늘어질 수록 出芽까지의 日數가 짧아졌는데 6月 以後의 播種에서는 播種時期에 따른 出芽日數의 차이가 거의 없이 4~5日이면 出芽되었다. 이러한 結果에 대하여 李 등<sup>11)</sup>은 出芽期間의 平均地溫이 22°C가 될 때까지는 地溫이 높아짐에 따라 出芽日數가 급격히 短縮되나 그 이상에서는 地溫이 出芽日數에 크게 영향하지 않는다고 報告한 바 있다. 6月 이후의 播種에서는 出芽期間의 平均地溫이 어느 경우에도 22°C 이상이었다(表 2).

出絲까지의 日數는 3月 26日 播種에서는 108日 이었으나 7月 9日 播種에서는 52日로 짧아져 極早期播種의 절반 정도였다. 그러나 播種日이 늘어질 수록 播種期別 出絲日數의 차이는 적어졌다. 이와 같은 結果는 옥수수의 生育期를 日數로 表示하는 경우에 播種期가 달라지고 年次에 따른 氣象의 變異가 큰 경우 옥수수의 生育을 正確히 推定하기가 힘들다는 것을 意味한다.

本 試驗을 위하여 栽培한 옥수수의 生育은 전반적으로 양호하였는데 稈長만을 가지고 볼 때 播種期가 극히 늦어지는 경우에는 生育이 다소 떨어지는 경향이 있었으나 5月까지의 播種에서는 播種期間에 별 차

Table 2. Planting, emergence and silking dates, soil temperature and height of Suwon 19 in 17 plantings in 3 years.

		Emergence		Silking		Soil temperature*	Plant height
		Date	No. of days	Date	No. of days		
1979	March 26	April 24	29	July 12	108	10.3 C	272(cm)
	April 10	April 27	17	July 12	93	12.5	290
	April 25	May 6	11	July 16	82	15.2	275
	May 10	May 19	9	July 21	72	16.7	280
	May 25	June 2	8	July 26	62	21.5	269
	June 9	June 14	5	Aug. 6	58	22.0	254
	June 24	June 28	4	Aug. 16	53	26.0	248
1984	July 9	July 13	4	Aug. 30	52	25.1	243
	April 14	April 27	13	July 1	78	11.6	256
	April 28	May 8	10	July 8	71	14.9	263
	May 11	May 20	9	July 16	66	17.4	262
	May 26	June 1	6	July 27	62	19.8	256
	June 11	June 16	5	Aug. 7	57	22.2	240
1985	June 26	July 1	5	Aug. 22	56	23.1	229
	April 25	May 5	10	July 8	75	14.6	253
	May 25	May 31	6	July 24	61	19.1	262
	June 24	June 30	5	Aug. 19	56	23.3	233

\*Average soil temperature at 5 cm during the period from planting to emergence.

**Table 3.** Average GDD required for emergence and silking of corn planted at different dates in 3 years, as computed by 24 different methods.

Method used <sup>1)</sup>	Planting-emergence						Emergence-silking						Planting-silking					
	'79		'84		'79-'85		'79		'84		'79-'85		'79		'84		'79-'85	
	GDD <sup>2)</sup>	CV <sup>3)</sup>	GDD	CV	GDD	CV	GDD	CV	GDD	CV	GDD	CV	GDD	CV	GDD	CV	GDD	CV
1	210	55.9	198	24.5	201	42.6	1,627	11.6	1,647	3.8	1,635	8.2	1,839	16.2	1,844	5.7	1,837	11.5
2	86	11.8	95	12.1	90	12.3	1,084	3.4	1,059	6.6	1,073	4.8	1,170	3.2	1,154	5.9	1,162	4.5
3	149	42.0	46	18.3	145	31.2	1,354	8.2	1,352	1.5	1,353	5.5	1,504	11.0	1,498	1.6	1,498	7.5
4	101	26.0	111	12.8	104	19.4	1,080	5.3	1,098	3.2	1,090	4.1	1,181	6.4	1,209	2.0	1,194	4.6
5	71	15.4	89	10.5	79	16.0	911	5.1	941	5.1	927	4.2	994	7.3	1,030	4.4	1,006	4.1
6	40	64.6	66	17.4	54	42.2	739	3.4	782	7.9	761	6.5	779	5.0	848	8.0	815	7.7
7	101	26.3	110	14.0	105	19.9	1,077	5.9	1,074	1.6	1,075	4.0	1,178	7.1	1,184	1.2	1,180	4.8
8	71	15.4	90	10.8	80	16.7	905	3.5	911	3.2	909	3.1	975	2.9	1,002	2.7	988	2.9
9	40	64.5	65	17.4	53	42.0	732	2.8	755	5.6	744	4.4	772	4.4	820	6.0	797	5.7
10	101	26.4	109	15.2	104	20.3	1,071	6.5	1,046	1.5	1,058	4.7	1,172	7.7	1,156	2.4	1,162	5.5
11	71	15.5	87	12.7	78	16.1	898	4.2	887	1.8	892	3.1	969	3.7	974	2.1	971	2.8
12	40	64.5	64	17.7	53	41.9	721	3.0	727	3.6	724	3.0	766	3.9	792	4.4	779	4.0
13	121	48.8	116	17.3	117	35.7	1,089	6.0	1,108	3.0	1,098	4.4	1,210	9.7	1,224	1.6	1,215	6.5
14	91	39.3	94	12.7	91	27.7	917	3.7	942	4.9	930	4.3	1,007	6.1	1,036	3.5	1,021	4.9
15	60	23.2	71	9.0	67	20.0	744	2.9	783	7.6	765	6.1	804	2.2	854	6.8	830	5.8
16	169	57.0	150	23.3	157	43.9	1,354	9.2	1,326	1.5	1,339	6.4	1,522	13.9	1,476	3.3	1,496	9.9
17	121	48.9	115	18.4	116	36.0	1,083	6.5	1,075	1.5	1,078	4.5	1,203	10.2	1,190	1.3	1,195	6.9
18	90	39.4	93	14.0	91	28.0	910	4.2	915	2.9	913	3.3	1,001	6.6	1,008	1.8	1,003	4.6
19	30	23.3	70	9.9	65	18.1	738	2.5	756	5.3	747	4.0	797	2.0	826	4.7	812	3.8
20	167	57.1	149	24.2	156	44.2	1,437	9.7	1,298	2.7	1,321	7.2	1,516	14.4	1,448	4.7	1,478	10.6
21	121	49.0	114	19.6	116	36.4	1,072	6.9	1,048	1.5	1,059	4.9	1,192	10.6	1,162	2.9	1,175	7.6
22	90	39.6	92	15.4	90	28.4	904	4.9	888	1.6	895	3.5	994	7.3	980	1.7	986	3.5
23	60	23.4	69	11.3	64	18.3	731	2.5	729	3.3	730	2.6	791	2.4	798	3.0	794	2.4
24	16	215.8	41	28.5	30	93.5	517	4.5	525	7.4	522	5.7	534	10.0	566	8.5	551	9.0

<sup>1)</sup> Methods are as shown in Table 1 (Code number).

<sup>2)</sup> GDD is degree in °C

<sup>3)</sup> CV is coefficient of variation in percentage

이가 없었다. 水原에서의 옥수수 生育이 淸州에서 보다 좋았는데 이것은 試驗圃場의 肥沃度 差異에 基因하는 것이었다. 出絲期 등으로 判斷하여 볼 때 이러한 옥수수의 生育程度 差異가 本 試驗의 目的을 위한 調査成績의 分析에는 영향이 없는 것으로 생각된다.

單交雜種 水原 19 號의 播種期別 出芽日數 및 出絲日數에 대한 GDD를 表 1의 方法에 의하여 계산한 결과는 表 3과 같다. 總 17 播種期에 대한 播種으로부터 出芽까지의 平均日數는 9日, 出芽로부터 出絲까지의 平均日數는 59日, 그리고 播種으로부터 出絲까지의 平均日數는 68日이었으며, 이들에 대한 變異係數는 각각 67.8%, 15.8% 및 22.8%였다. 播種回數가 적었던 1985年을 除外한 1979年과 1984年의 年度別 生育期別 平均日數와 變異係數를 비교하여 보면 어느 경우에나 1979年의 값이 큰 것으로 나타났다. 이것은 1979年에는 極早播 및 極晚播가 있었기 때문에 播種期에 따른 生育日數의 差異가 컸던 때문으로 생각된다.

그러나 각 生育期間에 대한 GDD를 구하고 이의 變異係數를 비교하여 보면 일반적인 경향은 日數로 나타낸 경우와 같으나 計算方法에 따라서 年次間의 차이가 거의 없어 日數로 表示하는 것에 비하여 훨씬 더 正確한 것으로 判斷되었다. GDD를 계산하는

24가지 방법 중에서 基準溫度를 除去하는 것이 어느 경우에서나 變異係數의 減少를 가져왔다. 그러나 計算方法에 따라서 變異係數가 가장 적어지는 基準溫度는 相異하였다. 最高溫度나 最低溫度를 補正하지 않거나 그중 하나만을 補正하는 경우(方法 4~15)에는 基準溫度를 7.2℃로 하였을 때 變異係數가 가장 적었으나, 最高 및 最低溫度를 다같이 補正하는 경우(方法 16~23)에는 基準溫度를 10℃로 하였을 때 變異係數가 가장 적었다.

生育期間別로는 播種으로부터 出芽까지의 變異係數가 어느 方法에서나 出芽로부터 出絲까지의 變異係數보다 컸는데 이것은 옥수수 播種期가 일반적으로 生育最低溫度의 限界期이므로 出芽期間의 溫度變異에 크게 影響을 받고 溫度外에 土壤水分과 같은 다른 要因이 作用하기 때문인 것으로 여겨진다. GDD의 計算方法에서는 最低溫度의 補正과 基準溫度가 높을 수록 變異係數가 낮아지는 경향이였다. 出芽以後 出絲期까지의 變異係數는 計算方法間에 差異가 적었는데 이것은 出芽以後 出絲까지는 옥수수 生育이 溫度變化에 대하여 비교적 일정하게 反應하고 있음을 의미하는 것으로 여겨진다. 이와 같은 結果로 播種으로부터 出絲까지의 GDD에 대한 變異係數는 出芽後 出絲까지의 變異係數보다 다소 높아지는 경향이였지만 그 정도는 미미하였다.

**Table 4.** Accumulated and unit GDD for 17 plantings of Suweon 19 in 3 years.

Planting dates		Accumulated GDD			Unit GDD*		
		Planting - emergence	Emergence - silking	Planting - silking	Planting - emergence	Emergence - silking	Planting - silking
1979	March 26	83	743	826	2.9	9.4	7.6
	April 10	70	726	796	4.1	9.6	8.6
	April 25	55	737	792	5.0	11.2	9.7
	May 10	44	742	786	4.9	11.8	10.9
	May 25	72	700	772	9.0	13.0	12.5
	June 9	45	758	803	9.0	14.3	13.8
	June 24	54	731	785	13.5	14.9	14.8
1984	July 9	55	712	767	13.8	14.8	14.8
	April 14	73	688	761	5.6	10.6	9.8
	April 28	63	718	781	6.3	11.8	11.0
	May 11	81	727	808	9.0	12.8	12.2
	May 26	74	756	830	12.3	13.5	12.6
	June 11	62	737	799	12.4	14.2	14.0
	June 26	63	745	808	12.6	14.6	14.4
1985	April 25	78	715	793	7.8	11.0	10.6
	May 25	57	730	787	9.5	13.0	12.9
	June 24	67	741	808	13.4	14.5	14.4
Mean		64±12	730±19	79±19	8.9	12.6	12.0

\* Unit GDD is computed as accumulated GDD/number of days.

여러가지 GDD 計算方法中에서 年次나 生育期間 등을 통하여 變異係數가 가장 적은 것은 Cross와 Zuber<sup>6)</sup>가 提示한 대로 高溫에서의 生育障害를 고려하고 基準溫度를 10°C로 하여 最低溫度를 補正해 주는 方法(23번), 즉  $GDD = \sum((H_i'' + L_i')/2 - 10)$  으로 計算하는 方法이다. 方法에 따라서는 어느 한 時期의 變異係數가 가장 적은 경우도 있었지만 GDD의 計算目的이 環境의 變異에 따른 옥수수 生育豫測이나 成熟期判斷을 正確히 하는데 있으므로 어느 경우어나 제일 적은 變異를 보이는 方法이 가장 適合한 方法일 것이다. 李 등<sup>11)</sup>이 提示한 方法(15번)은 중간 程度의 變異係數를 보였는데 30°C가 넘는 高溫日數가 적었던 1979년에는 變異係數가 적었으나 高溫日數가 많았던 1984년에는 變異係數가 두 배 이상으로 높아졌다. 30°C 이상의 溫度를 補正해 주므로서 李 등의 計算보다 GDD가 34°C 적어졌다. 水原 19號의 播種으로부터 出絲까지의 GDD는 794 ± 19°C로 95%의 確率을 가지고 水原 19號의 出絲를 豫測할 수 있는 GDD範圍는 760~830°C가 된다. 適期播種한 水原 19號의 出絲期前後 日平均 GDD는 13°C 정도이므로 出絲日은 ± 3日 이내에서 豫測이 可能함을 알 수 있다.

方法 23에 의하여 計算된 播種期別 生育期間에 따른 累積 GDD 및 日平均 GDD는 表 4와 같다. 日平均 GDD는 生育期間의 累積 GDD를 日數로 나눈

값이므로 生育期間의 累積 GDD는 生育日數와 日平均 GDD의 두 成分으로 分離가 可能함을 알 수 있다. 播種期가 늦어지는데 따라서 累積 GDD의 變化는 일정한 傾向이 없으나 日平均 GDD는 계속 增加하였다. 播種期가 늦어짐에 따라서 生育日數는 表 2에서 보는 바와 같이 短縮된 반면에 日平均 GDD는 높아졌으므로 結果적으로 生育期間의 累積 GDD는 播種期에 관계없이 일정한 값을 가지게 되는 것이다.

위의 方法에 의하여 播種期別로 出芽日 및 出絲日을 推定하고 播種日로부터의 日數를 計算하여 본 結果 觀測值와 推定值의 差異는 最大 3日이었으며 2/3 이상은 差異가 1日 이내였다(表 5).  $\chi^2$ 檢定 結果 觀測值와 推定值間의 差異는 有意性이 없는 것으로 나타났다.

Cross와 Zuber<sup>6)</sup>은 開花期推定을 위한 GDD의 計算方法 選定을 위하여 回歸分析法를 使用하는 것이 合理的이라고 하였으나 本 研究에서는 Gilmore와 Rogers<sup>8)</sup>의 方法대로 變異係數에 의하여 가장 適合한 方法을 選擇하였다. 回歸分析에 의한 方法은 播種後의 生育日數 差異에 相應하는 GDD의 差異가 있어야만 回歸式에 의한 變異의 說明程度가 높아지므로 本 研究에서와 같이 環境의 變化와 關係없이 일정한 生育期間別 GDD를 求하는 데는 適合하지가 않다.

Table 5. Observed and estimated number of days from planting to emergence and silking dates.

Planting date	Planting to emergence			Planting to silking			
	Observed	Estimated	Difference	Observed	Estimated	Difference	
1979	March 26	29	26	3	108	106	2
	April 10	17	16	1	93	93	0
	April 25	11	13	-2	82	83	-1
	May 10	9	12	-3	72	73	-1
	May 25	8	8	0	62	64	-2
	June 9	5	7	-2	58	58	0
	June 24	4	5	-1	53	54	-1
1984	July 9	4	5	-1	52	55	-3
	April 14	13	12	1	78	81	-3
	April 28	10	11	-1	71	72	-1
	May 11	9	7	2	66	66	0
	May 26	6	6	0	62	60	2
	June 11	5	6	-1	57	57	0
	June 26	5	6	-1	56	56	0
1985	April 25	10	9	1	75	76	-1
	May 25	6	7	-1	61	62	-1
	June 24	5	5	0	56	55	1
$\chi^2$		4.32 (p > 0.995)			0.561 (p > 0.995)		

앞에서 지적한 바와 같이 出芽期間의 GDD에 대한 變異係數가 出芽後 出絲期까지의 GDD에 대한 變異係數보다 높은 것은 Wang<sup>24)</sup>이指摘한 結果와 같은 問題點을 示唆해 주는 것이라 여겨진다. 出芽期間의 GDD를 좀더 正確하게 計算하기 위하여 基準溫度를 다르게 하거나 地溫을 利用한 GDD 計算方法을 찾아내는 등의 시도가 앞으로 이루어져야 할 것이다.

## 摘 要

環境의 變化에 關係없이 옥수수의 生育期間을 正確히 表示할 수 있고, 옥수수의 早熟生을 區分하는데 適合한 GDD의 計算方法을 찾기 위하여 1979年과 1984年 및 1985年의 3年間に 播種期를 달리하여 單交雜種 水原 19號를 17回 栽培하고 24가지의 GDD 計算方法을 比較 分析하여 다음과 같은 結果를 얻었다.

1. 生育期間을 日數로 表示하는 것보다 GDD로 表示하는 것이 어느 경우이나 變異係數의 減少를 가져왔다.

2. 最高溫度나 最低溫度中 어느 하나만을 補正하는 경우에는 基準溫度 7.2℃가 GDD의 變異係數를 最少로 하였으나, 두 溫度를 모두 補正하는 경우에는 基準溫度 10℃에서 GDD의 變異係數가 最少로 되었다.

3. 어느 경우에서나 播種으로부터 出芽期까지의 GDD 變異가 出芽로부터 出絲期까지의 GDD 變異보다 컸다.

4. 年次나 生育期間에 關係없이 變異係數가 가장 적은 GDD의 計算方法은 最高溫度가 30℃를 넘는 경우 最高溫度-30-(最高溫度-30)으로 補正하고 最低溫度가 10℃未滿인 경우 最低溫度를 10℃로 補正한 後에 基準溫度 10℃를 빼주고 남은 값으로 GDD를 計算하는 方法(23번)이었다.

5. 이 方法에 의한 出芽期까지의 平均 GDD는  $64 \pm 12^\circ\text{C}$ , 出絲期까지의 平均 GDD는  $794 \pm 19^\circ\text{C}$ 로서 95%의 確率로써 出芽日과 出絲日을 豫測할 수 있는 誤差範圍는  $\pm 3$ 日이었다.

6. 生育日數와 累積 GDD를 利用하여 計算된 日平均 GDD는 播種期가 늦어질 수록 높아졌다.

7. GDD에 의한 出芽日과 出絲日을 推定한 結果 2/3 이상이 實測值가 1日 이내의 偏差를 보였으며 最大偏差는 3日이었고, 實測日數와 推定日數 사

이의 有意差는 認定되지 않았다.

## 引 用 文 獻

1. Andrew, R. H., F. P. Ferwerda and A. M. Strommen. 1956. Maturation and yield of corn as influenced by climate and production technique. *Agron. J.* 48:231-236.
2. Arnold, C. Y. 1960. Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 76:682-692.
3. \_\_\_\_\_. 1971. Heat units used in field corn production. III. *Research* 13:6-7.
4. Brown, D. M. 1960. Soybean ecology. I. Development-temperature relationships from controlled environment studies. *Agron. J.* 52:493-496.
5. \_\_\_\_\_. 1972. Heat units for corn in Southern Ontario. Ontario Dept. of Agr. and Food, AGDEX 11/31. 4p.
6. Cross, H. Z. and M. S. Zuber. 1972. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. *Crop Sci.* 12:351-355.
7. Edey, S. N. 1977. Growing degree-days and crop production in Canada. *Can. Dept. of Agr. Publ.* 1635. 63p.
8. Gilmore, E. C., Jr. and J. S. Rogers. 1958. Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agron. J.* 50:611-615.
9. Holmes, R. M., and G. W. Robertson. 1959. Heat units and crop growth. *Can. Dept. Agric., Ottawa. Publ.* 1042.
10. Lee, Suk Soon. 1983. Utilization of growing degree days as an index of growth duration of rice varieties. *Korean J. Crop Sci.* 28:173-183.
11. \_\_\_\_\_, K. Y. Park and S. K. Jong. 1981. Growth duration and grain and silage yields of maize at different planting dates. *Korean J. Crop Sci.* 26:337-343.
12. \_\_\_\_\_, S. H. Yun, K. W. Chung, K. Y. Park and Y. S. Ham. 1980. Use of growing degree days as an index of growth duration in rice,



- soybeans and maize. The Memorial Papers for the Sixtieth Birthday of Dr. Ki Chang Hong:129-135.
13. Livingston, B. E. 1916. Physiological temperature indices for the study of plant growth in relation to climatic conditions. *Physiol. Res.* 1:399-420.
  14. Newman, J. E. 1971. Measuring corn maturity with heat units. *Crops and Soils* 23:11-14.
  15. \_\_\_\_\_ and B. O. Blair. 1969. Growing degree days and dent corn maturity. Part II. Mimeo. Agron. Dept. Purdue Univ., Lafayette, Ind.
  16. Nuttonson, M. Y. 1955. Wheat-climate relationships and the use of phenology in ascertaining the thermal and photo-thermal requirements of wheat. *Am. Inst. Crop Ecol.*, Washinton, D. C.
  17. \_\_\_\_\_. 1957. Barley-climate relationships and the use of phenology in ascertaining the thermal and photo-thermal requirements of barley. *Am. Inst. Crop Ecol.*, Washington, D. C.
  18. Price, H. L. 1911. The application of meteorological data in the study of physiological constants. *Va. Agric. Exp. Stn. Ann. Rep.* 1909-1910:206-212.
  19. Rench, W. E. 1973. Climatic influences on and indices of *Zea mays* L. growth and development. Ph. D. Thesis, Iowa State Univ., Ames.
  20. Schaal, L. A. and J. E. Newman. 1976. Biased readings can alter heat units. *Crops & Soils* 28:7-9.
  21. Shaw, R. H. 1975. Growing-degree units for corn in the north central region. *Res. Bull.* 581. *Iowa Agric.*: 794-807.
  22. \_\_\_\_\_. 1977. Climatic requirement. pp.591-623. In G. F. Sprague (ed.) *Corn and corn improvement*. ASA Agron. Series No. 18.
  23. Thornthwaite, C. W. 1952. Climate in relation to planting and irrigation of vegetable crops. The John Hopkins Univ. Lab. of Climatology, Seabrook, N. J.
  24. Wang, J. Y. 1960. A critique of the heat unit approach to plant response studies. *Ecology* 41:785-790.