

土壤溫度和作物體溫與農作物之關係

姜 善 鑫

國立台灣大學地理系副教授

摘 要

農作物祇能在一定的溫度範圍內生長，溫度過高或過低都足以造成農業氣象災害。影響農作物生長的溫度氣象因子，包括空氣溫度、土壤溫度和作物本身體溫等。本文僅討論土壤溫度和作物本身體溫二項因子對農作物的影響。

土壤溫度對農作物初期影響最大。在農作物整個生長期中，它對農作物種籽的發芽、幼苗的生長、根部的活動、作物的生長和水份的吸收等均有影響。

作物本身體溫包括葉溫、莖幹溫度和根系溫度等。其中以葉溫最重要。葉溫和葉溫與空氣溫度之間的溫差都與農作物有密切關係。農作物在陽光充足和水份不缺的情況下，其葉溫和空氣溫度之間的差值為零，此時的溫度是等值點溫度。等值點溫度並不是一個定值。

前 言

溫度是影響農作物生長的主要環境因子之一，如果不考慮光和水份等因子，則溫度升高至某一最高值之上，或下降至某一最低值之下，農作物即停止生長甚至死亡。

溫度是度量一個系統熱量大小的物理量。因為測量溫度方法簡單，而且農作物的生化反應又與溫度高低有密切關係，因此在農業氣象學中，用「溫度」物理量比用「卡」物理量簡便得多。

溫度對農業的影響，主要是由溫度強度（即溫度數值的高低）、持續時間（即積溫的大小）和溫度的變化（包括周期性的變化和非周期性的變化）三個變數決定。

溫度有三個值對農作物的影響最大，即最低溫度（minimum temperature）、最適溫度（optimum temperature）和最高溫度（maximum temperature）。這三個值即是三點基準溫度（three-point cardinal temperatures）。各種農作物的三點基準溫度並非一固定溫度數值，而是在某一個範圍區間內。不同的農作物有不同的三點基準溫度；同一農作物若品種不同，也會有不同的三點基準溫度。

影響農作物生長的溫度氣象因子，包括空氣溫度、土壤溫度和作物本身體溫等。因

為空氣溫度在一般教科書及文章中討論得比較多，較容易查獲資料，故本文僅就土壤溫度和作物本身體溫與農作物的關係做一整理，供有興趣人士參考。

土壤溫度對農作物的影響

在許多情況下，土壤溫度 (soil temperature) 對農作物的影響比空氣溫度更為明顯。例如，山毛櫸、橡樹、和白臘樹等在空氣溫度低至 -25°C 時尚能生存，但是其根部的最低生存土壤溫度僅介於 -13°C 至 -16°C 之間 (Chang, 1968)。

土壤溫度對農作物整個生育期都有影響，不過其中以生長前期影響較大。例如玉米的生長，在最初種植階段，土壤溫度比較重要；但到生殖階段，空氣溫度則比較重要。王仁煜 (Wang, 1962) 為我國旅美農業氣象學家，他曾分析 1938 到 1950 年間美國愛荷華州 Ames 地區 10 種玉米資料，發現玉米種植後最初 11 天的平均土壤溫度，與自種植至成熟時的長短日期有關 (圖 1)。由圖 1 可知，其中有些品種斜率較大，這代表土壤溫度對成熟期長短的影響大；其中有些品種斜率較小，這代表土壤溫度影響較小。

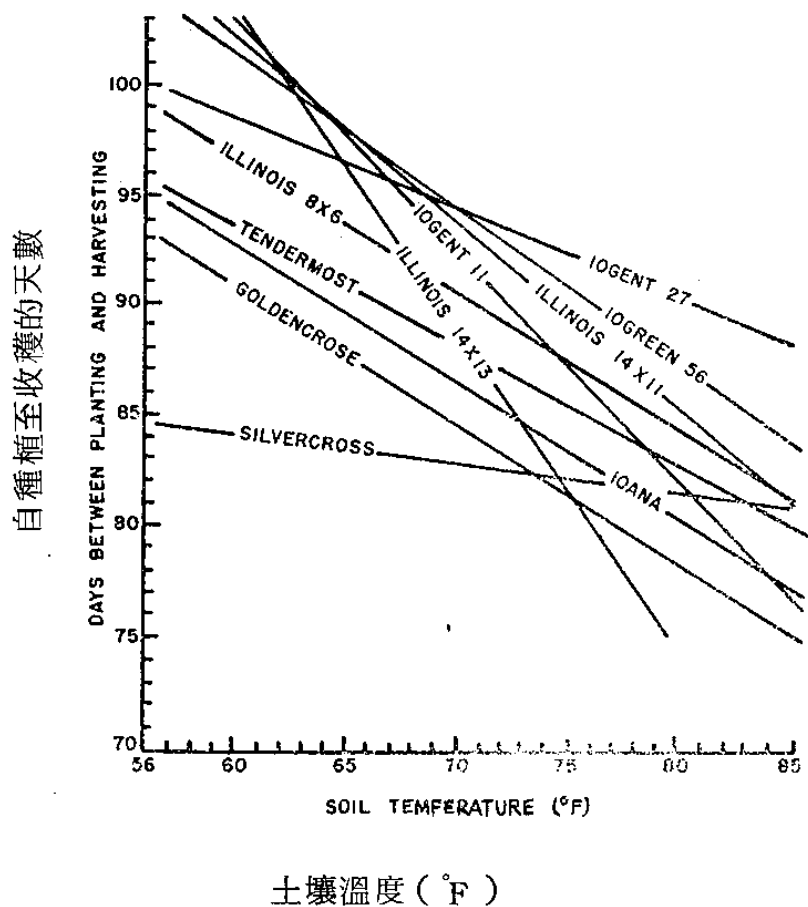


圖 1 玉米自種植至收穫的天數與地溫的關係 (Wang, 1962)

Figure 1 Days between sweet corn planting and harvesting as affected by variety and soil temperature (after Wang)

Riley (1957)也發現，美國愛荷華州的玉米產量與玉米栽種期間的土壤溫度有密切關係。他發現在栽種期間，若土壤溫度低於正常溫度，則玉米產量較低。而 Allmaras , Burrows , 及 Larson 三人 (1964)則發現玉米產量與地下4吋深的土壤溫度有關(圖2)。若地下4吋深的土壤溫度由60°F 上升至81.3°F 時，玉米產量幾乎呈線性增加；不過土壤溫度超過81.3°F 後，產量卻開始遞減。

基本而言，農作物在栽種期間，增高土壤溫度對農作物的生長和發育都是有利的。

土壤溫度與農作物種籽的發芽及幼苗的成長也有關。在水份供應充足且在一定土壤溫度範圍內，種籽發芽的速率是隨地溫增高而加速。表1為水稻種籽在不同土壤溫度下的出芽率。種籽發芽需在一定土壤溫度範圍內，在此範圍中，有最低、最適，和最高土壤溫度三個基準溫度。如果土壤溫度高於農作物種籽發芽所需的最低土壤溫度，發芽即可加速進行；但當土壤溫度升高到大於土壤最適溫度後，發芽速率將減慢。

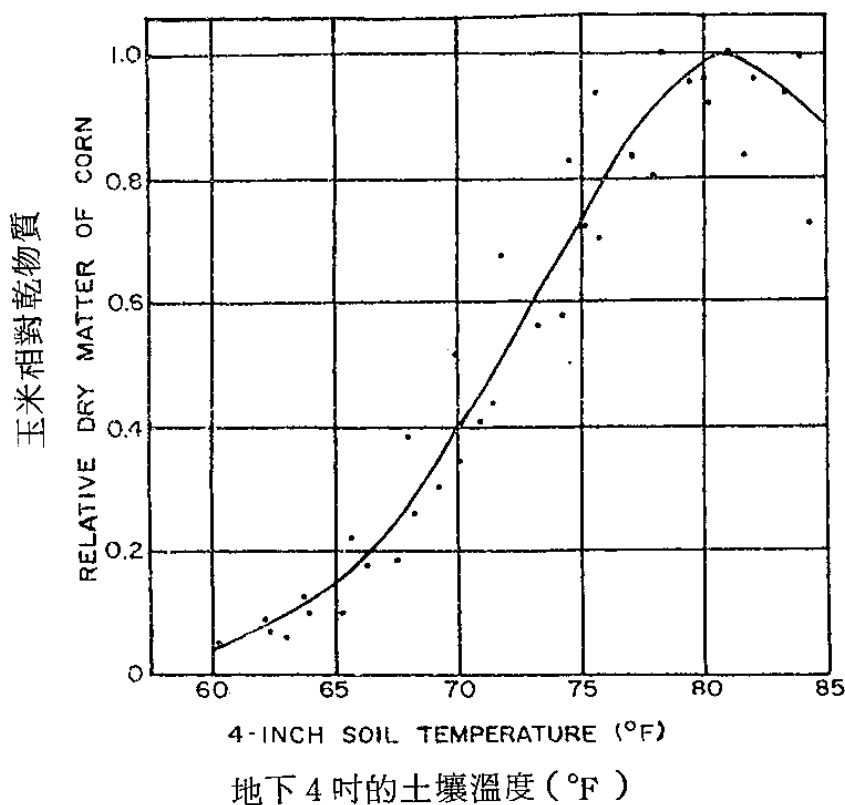


圖2 玉米乾物質的相對產量與地下4吋土壤溫度之間的關係 (Allmaras , Burrows , and Larson , 1964)

Figure 2 Relative yield of dry matter in young corn plants as affected by average four-inch soil temperature (after Allmaras, Burrows, and Larson.)

表1 水稻在不同溫度下發芽的情況

發芽率 (%) 溫度 (°C)	天數	1 天半	2 天半	3 天半	4 天半	5 天半	6 天半
7 ~ 8		0	0	0	0	0	0
12 ~ 18		0	0	0	0	0	0
20		0	0	62	92	95	97
24		0	0	77	100	100	100
28		0	95	98	98	98	98
32		25	91	95	96	97	97

我國大陸農業氣象學者潘鐵夫曾發現，高粱自播種到出苗的天數與5公分下土壤溫度呈指數關係。其關係式如下：

$$Y = 51.39 \times (0.905)^x$$

式中：Y 為高粱自播種到出苗的天數；x 為地下5公分深的土壤溫度。

表2 為幾種常見農作物發芽所需的土壤溫度。

土壤上層農作物分蘗處的土壤溫度對農作物幼苗的成長影響很大。通常農作物的分蘗強度是隨分蘗處土壤溫度的升高而增強。基本而言，農作物的分蘗數目隨種籽播種深度的增加而遞減，這縱然有其生理原因和光合作用的影響，但土壤溫度也是不可忽視的重要原因之一。

土壤溫度對農作物根部的成長影響很大。日本學者西內光於1957年曾提出「土溫系理論」，謂植物體內物質的運輸，有從高溫處轉移至低溫處的趨勢，所以光合作用產製的醣類和其他溶質易向低溫層處聚集。通常甘薯結薯最多的深度是地下5至25公分處，其中又以10至15公分深度的塊根生長得最快最早，這乃是地下10至20公分深的土層為一相對低溫區，有利於溶質的聚集之故。此外，塊根生長區的土壤垂直溫度梯度與塊根的形狀有關。若土壤溫度梯度大，則塊根呈圓形；若土壤溫度梯度小，則塊根呈尖長形。

土壤溫度對農作物根部的吸水量也有影響。Kramer (1963) 根據實驗發現土壤溫度增高，則作物根部吸水量亦增加(表3)。

表 2 常見農作物種籽發芽所需的土壤溫度

作物	土壤溫度 (°C)		
	最低	最適	最高
大麥、黑麥、大麥	1 ~ 2	20 ~ 25	28 ~ 32
粟、玉米	8 ~ 10	25 ~ 30	40 ~ 44
水稻	12 ~ 14	30 ~ 32	36 ~ 38

表 3 土壤溫度與根系吸水量之關係

土壤溫度(°C)	0	9.5	23.8	35.0	43.0
吸水量 (mm)	27.9	38.3	49.0	59.8	66.5

作物體溫對農作物的影響

農作物體溫是真正影響農作物生命活動的內在因子，它與空氣溫度和土壤溫度等外在環境溫度不一樣。農作物本身包括根、莖、葉、芽、穗、花及果實等部份，因此農作物的體溫遂有根系溫度、莖幹溫度、葉溫等之別。其中以根系溫度與葉溫最為重要。

農作物根系溫度 (root temperature) 對農作物的生長、發育及產量均有影響。目前已發現蕃茄果實數目、果實大小 (即果實鮮重) 和果實產量三者均隨根系溫度上升而增大，而且都在 30°C 至 35°C 之間達到最適溫度。

葉溫 (leaf temperature) 比根系溫度更能代表農作物本身的體溫，因為農作物的光合作用、呼吸作用和蒸散作用等均與葉子有直接關係。Gaastra (1959) 發現黃瓜作物的光合作用隨葉溫的增高而增加。根據日本方面的研究，發現甘薯的光合作用也隨葉溫增高而增加，但至某一極端值後卻呈遞減作用。

曝露於陽光下的葉子，其葉溫通常比氣溫高，特別是在靜風中，蒸散作用不大的厚葉子葉溫更高。一般在日射強的情況下，葉溫比氣溫高 3°C 至 5°C。在錫蘭島，如果日射強、濕度高、葉溫通常比氣溫高 15°C (Smith, 1909)。在巴勒斯坦地區，葉溫曾有高到 52°C 的紀錄，當時它比氣溫高 10°C (Konis, 1949)。

葉子在陰蔽處未受到直射時，葉溫大約較氣溫高 1°C 左右 (Ansari and Loomis, 1959)。

在晴朗無風的夜間時刻，葉溫較氣溫低。Shaw (1954) 發現美國愛荷華州蕃茄田

中百葉箱的氣溫比葉溫高 3°C 至 4.5°C (圖 3)。但是在陰天夜間時刻，葉溫與氣溫差值小，甚至葉溫還會略高過氣溫 (Noffsinger, 1961)。

南京氣象學院 (1987) 於冬季曾在華南地區做過實驗，用霜棚覆在農作物上防止低溫災害。結果發現霜棚內外氣溫無明顯差異，但是葉溫差別甚大 (表 4)。這不但證實了葉溫與氣溫有所差異，而且也解釋了何以霜棚內不受寒害的原因。

在陽光充足、水份供應良好的條件下，農作物的葉溫和氣溫之間的溫差非常小。若兩者溫差為零時，則這點溫度名為等值點溫度 (equivalence point temperature)。

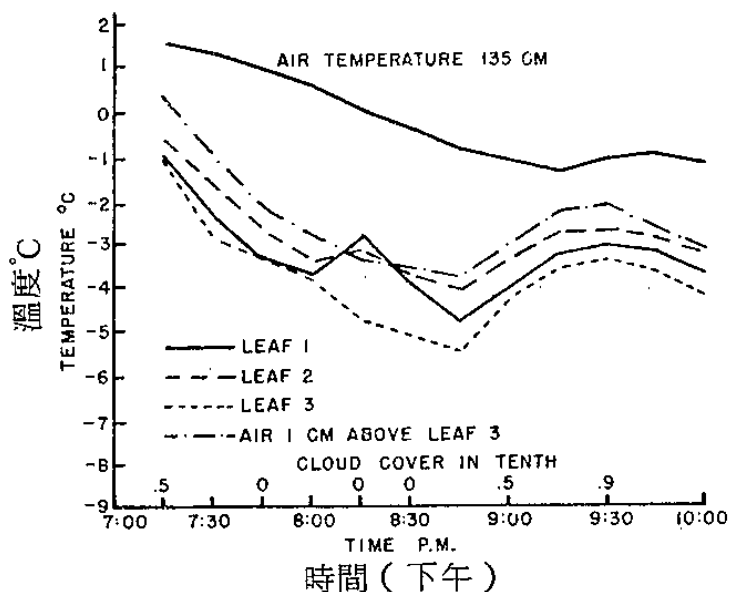


圖 3 1952 年 10 月 5 至 6 日夜間之葉溫與氣溫 (Shaw, 1954)

Figure 3 Leaf and air temperatures the night of October 5-6, 1952 (after Shaw).

表 4 霜棚內外葉溫與氣溫的對比 (°C)

		夜間最低	白天最高	日較差
棚	葉溫	-4.2	21.1	25.3
	氣溫	-2.1	20.1	22.5
內	差值	-2.1	1.0	3.1
棚	葉溫	-6.4	20.3 ~ 31.5	26.7 ~ 37.9
	氣溫	-3.0	20.3	23.3
(對比)	差值	-5.4	0 ~ 11.2	3.4 ~ 14.6

早年均認為等值點溫度是一定值 (Linacre, 1964 ; Idso et al., 1981) , 大約是 33°C (圖 4) 。若溫度低於 33°C , 葉溫將高於氣溫 ; 若溫度高於 33°C , 則葉溫低於氣溫。不過近年來 , 已發現等值點溫度不但隨農作物而異 , 而且也不是定值 (Paw U, 1894) 。Paw U 更進一步利用葉子能量平衡的物理基礎 , 導出了等值點溫度與吸收輻射負載量、水汽輸送的表面和空氣動力阻力、及葉面的輻射率等之間的關係。他指出理論的等值點溫度有日變化 , 從清晨起 , 溫度上升 ; 至正午時 , 達到相對極大值 ; 到下午和黃昏時刻 , 溫度再下降。因此在某些情況和時間下 , 理論的等值點溫度不可能達到。

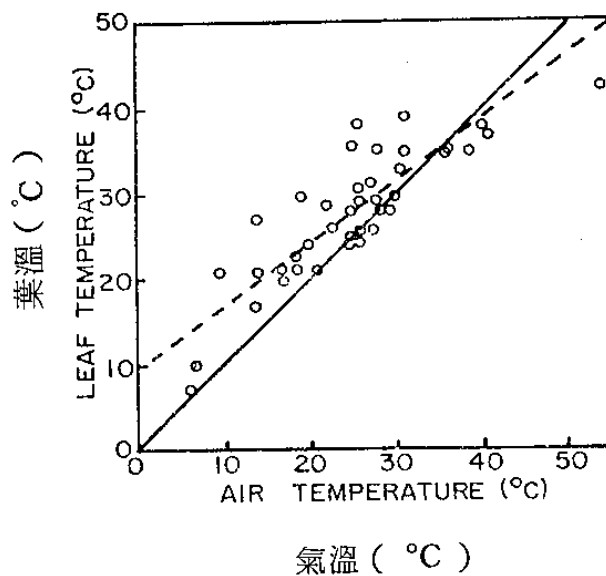


圖 4 陽光下的葉溫和氣溫之間的關係 (Linacre, 1964)

Figure 4 Relationship between leaf and air temperature when leaves are exposed to bright sunshine (after Linacre)

結 論

土壤溫度是影響農作物的外在溫度環境 ; 作物體溫是影響農作物的內在溫度環境 , 兩者對農作物的影響都非常大。

土壤溫度對農作物整個生育期都有影響 , 但以生長前期階段比較重要。農作物在栽種期間 , 增高土壤溫度對農作物的生長和發育都有幫助。

根系溫度對農作物整個生育期亦有影響。在有太陽直射情況下 , 葉溫通常比氣溫高 3°C 至 5°C ; 在陰天時刻 , 葉溫與氣溫差值小 ; 在夜間時刻 , 葉溫比氣溫低。

早年認為葉子等值點溫度為一定值 , 接近 33°C 。但近年已證明葉子等值點溫度並非定值 , 它有日變化 , 而且也隨農作物的不同而異。

參考文獻

1. 農業氣象學(上册), 1987年, 南京氣象學院農業氣象系。
2. Allmaras, R. R., Burrows, W. C., and Larson, W. E., 1964. Early growth of corn as affected by soil temperature. *Proceedings, Soil Society of America*, 28: 271-275.
3. Ansari, A. Q., and Loomis, W. E., 1959. Leaf temperatures. *Journal of Botany*, 46: 713-717.
4. Chang, Jen-Hu, 1968. *Climate and Agriculture, an Ecological Survey*. Aldine Publishing Company, Chicago, p. 304.
5. Gaastra, P., 1959. Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature, and stomatal diffusion resistance. *Mededelingen van de Landbouwhogeschool te Wageningen*, 59: 1-68.
6. Konis, E., 1949. The resistance of marquis plants to supermaximal temperatures. *Ecology*, 30: 425-429.
7. Kramer, P. J., 1963. Water stress and plant growth. *Agronomy Journal*, 5: 31-35.
8. Idso, S. B., Reginato, R. J., Jackson, R. D., and Pinter, P. J., Jr., 1981. Foliage and air temperatures: Evidence for a dynamic "equivalence point". *Agricultural Meteorology*, 24: 223-226.
9. Linacre, E. T., 1964. A note on a feature of leaf and air temperatures. *Agricultural Meteorology*, 1: 66-72.
10. Noffsinger, T. L., 1961. Leaf and air temperature under Hawaii conditions. *Pacific Science*, 40: 304-306.
11. Paw U, K. T., 1984. A theoretical basis for the leaf equivalence point temperature. *Agricultural Meteorology*, 30: 247-256.
12. Riley, J. A., 1957. Soil temperatures as related to corn yield in central Iowa. *Monthly Weather Review*, 85: 393-400.
13. Shaw, R. H., 1956. Leaf and air temperatures under freezing conditions. *Plant Physiology*, 29: 102-104.
14. Smith, A. M., 1909. On the internal temperature of leaves in tropical insolation. *Annals, Royal Botanical Garden, Peradeniya*, 4: 229-298.
15. Wang, Jen-Yu, 1962. Crop forecast without prediction. *Crops and Soils* 14: 7-9.

THE RELATIONSHIP BETWEEN SOIL TEMPERATURE AND CROP'S BODY TEMPERATURE AND CROPS

Shan-Hsin Chiang

associate professor
Department of Geography
National Taiwan University

ABSTRACT

Crops grow well within a temperature range. Temperatures above the maximum value and below the minimum value for crop growth will cause a meteorological disaster to crops. The temperature factors which affect the crop growth include air temperature, soil temperature, crop's body temperature, and the others. This paper discusses the effect of soil temperature and crop's body temperature on crops only.

Soil temperature is more significant in the early stages of crop growth. Soil temperature influences the germination of seeds, the activity of roots, the crop growth and the moisture absorption of crops.

Crop's body temperature includes leaf temperature, stem temperature and root temperature in which leaf temperature is the most important. Leaf temperature and the difference between air and leaf temperature are strongly related to crop growth. If the crop is well-watered under sunny conditions, the difference between air and leaf temperature is zero, which is known as the equivalence point temperature. This temperature is now proved not a constant value of 33°C.

