

# 土壤溫度與農作物生長

盧 光 輝

中國文化大學土地資源學系副教授

## 摘 要

土壤中之熱量領域 ( Thermal Regime ) 範圍，包含流入土壤之熱量，土壤之容熱特性，空氣與土壤熱能交換情況；一般都以土壤溫度 ( 土溫 ) 估算此一複雜之領域。

土溫對控制微生物之活動能力與農作物生長之過程，有極大之影響。溫度增加會加速有機物分解之速度，亦會使有機氮之礦化作用加速。因此，在比較高之土溫，土壤中有機物之含量會減少，其它微生物作用，亦會隨著溫度變遷而速度變更。當然，其間亦可尋到最適合此類作用之溫度界限。

剛開始，土溫會影響種子發芽之速度，進而導致農作物生長率之銳減。最後更會有礙農作物之生產量。本文旨在探討操縱土溫之可行性。

改良土溫之方法，可分為兩大類：

- (1) 調整射入及放射出的輻射量。
- (2) 改變土壤中之容熱特性。

在同一類形之土壤中，改變土溫之方法，包括：灌溉或灑水；排水；覆蓋；耕作 ( 翻土 ) ；壓土；裝置或拆除擋風用之遮蔽物 ( 如防風林等 ) 。

因此，如能根據農作物之需求及土壤之種類，適度地調整最適宜農作物生長之土溫，一定會有效地提高農作物之生產量。

## 前 言

太陽的輻射能是地球能量的來源，它決定了植物的生長及土壤的熱量形式。今日之農業，就是在提供充足的植物營養和適當的水分下，開發利用太陽能以維持植物的生長 ( Monteith, 1958 )。當太陽照射地球表面時，其輻射能一部份被反射回大氣中，一部份則被地球表面所吸收；一般而言，深色土壤能吸收約80%的太陽輻射；而淺色的砂土，則約30%。這些可供地球利用的太陽輻射能，有34%被反射回太空中，19%被大氣所吸收，而祇有47%為地球所吸收。

地球吸收的熱能則經由以下四方面散失：

- (1) 水份的蒸發。

(2)以長波長之輻射，輻射回大氣中。

(3)加熱土壤表面的空氣。

(4)加熱土壤。

在長期狀態下，熱能的消長自會臻於平衡。然在特定期間內，如果考慮白天和夏天熱能的增長將會超過其散失速度，使土壤的溫度升高；反之，在晚上和冬天，土壤的溫度則會降低。

## 土壤中熱的特性

### 一、熱 容

物質的比熱，指使一公克物質升高  $1^{\circ}\text{C}$  所需的熱量。相對而言，礦質物質的比熱均較小；如土壤粒子的比熱大約只有水比熱的五分之一。換句話說，礦質土壤的比熱，平均約為  $0.18 \sim 0.20 \text{ Cal} / \text{g}^{\circ}\text{C}$ ；而腐殖土的比熱則略高些，約為  $0.45 \text{ Cal} / \text{g}^{\circ}\text{C}$ 。

至於所謂的熱容，則是指加熱一立方公分的物質，使其升高  $1^{\circ}\text{C}$  所需的熱量。土壤的熱容隨著它含水量的多寡而有極大的不同；若是含水量高，在春天時，其溫度上升較慢，若在秋天，溫度則下降較慢。因此，排水對土壤溫度有極其重大的影響。

### 二、導熱性與熱擴散係數

土壤中熱流的速度，通常是藉著溫度梯度及其導熱性來加以定義。物質的導熱性，是指在特定的溫度梯度下，每單位長度的熱流比率。所以，若是土壤的導熱性大，則其表面之溫度變化就轉小，而土壤也就更有效的扮演一個儲熱庫的角色。決定土壤導熱性的要素，主要為：

(1)土壤粒子的導熱性。

(2)土壤粒子的大小。

(3)土壤粒子的緊密程度（孔隙多寡）。

(4)土壤的含水量。

雖然導熱性決定熱量的傳輸比率，但溫度增加會產生熱能，並且隨其熱容的大小而改變。因此，我們便稱此導熱性與熱容的商數為熱擴散係數。當熱流由鄰近的地區進入土壤的任何一部分時，這「商數」便成爲一種溫度變化的指標。所謂的熱擴散係數，即是指在一秒鐘裡，溫度梯度改變  $1^{\circ}\text{C} / \text{cm}^3$  而導致的溫度變化。土壤的熱擴散係數，隨其含水量的增加而增大，一直達到最大值後減小。存在作物間及土壤中的微量水分，會破壞空氣的絕緣；當土壤中增加更多的水分時，土壤的熱容將會快速的提高，土壤溫度將會以較緩的速率上昇。土壤中的有機物質會減低熱傳導係數，而緊壓的土壤則會增加。

# 土壤溫度的變化

## 一、晝夜與季節

土壤的溫度因晝夜及季節的差異而有不同的變化，同時二者在土壤表面的變化亦最大，並隨著深度的增加而逐漸減少。在土壤表層三公尺下的地方，其溫度幾乎保持穩定。

土壤種類型態，表面覆蓋方式及日照輻射的多寡，均會影響土壤溫度的晝夜變化。在清晨太陽未升起前，土壤的表面溫度最低，並隨其深度的增加而上升。待太陽升起後不久，土壤的溫度開始上升，直到早上七點左右，表面土壤的溫度將高於其二十公分以下的土層。當太陽下山之後，表層土壤的變化，則恰與太陽上升的情況相反。一般而言，土壤與空氣的交接面，其溫度變化最大；而正午的時候，更可能對幼株植物產生致命的溫度；在15~20公分之下的土壤溫度，則較少日夜的變化。

土壤溫度的季節性變化與其晝夜的變化非常相似。在夏季，像中午一般，代表地球輻射的尖峯和最高的溫度；而冬季，則像夜間的變化一樣。五月到八月時，表層土壤的溫度將高於空氣的溫度。在冬季，較深層的土壤則較溫暖，因其具有向上升的溫度梯度；反之，在五月初到九月中旬時，溫度梯度將由上往下降。諸如此類季節性的溫度變化，都是隨著地球輻射的多寡，土壤剖面的熱性質，含水量的變化及溫度梯度而改變的。

## 二、方位與坡度

在北半球，早上時候，座落於南面或東南面坡向的土壤，比座落於平地或北面坡向者，其溫度上升要快得多，那是因為它們幾乎和太陽光垂直，而能接收比較多的太陽輻射。在春、夏季節，南面和北面坡向的溫度變化最大；在冬季，二者間的溫度差距則較小。隨著季節的演變，南面坡的溫暖土壤將持續保持下來，而農作的開始和植物的生長也將較早展開。但出人意料的，溫度較低而延緩開花萌芽的北面坡上，則因免於寒害而有益於部分果樹。

此外，坡度的大小能決定單位面積所吸收的日照量。因此，藉著改變坡度的大小，我們能減少緯度高低所造成的影響。通常坡度大小所造成的溫度差異均特別明顯。像除去赤道地區的北半球，和緩的南面坡較平坦地溫暖；而最溫暖的坡，則是在和太陽輻射線幾近垂直的地方。

## 三、耕性的影響

翻鬆表層土壤，覆草及耕作，均會減少表層和底層土壤的熱量流動。經過覆草的土壤表面，比未翻動的土壤暴露更大的面積，並且缺乏和下層潮溼土壤相連接的毛細管作用，故耕種的土壤將因蒸發作用而快速乾枯；但在乾枯的覆蓋草之下，溼潤的底層土壤則得以保存。

耕種過的土地，其日夜溫度的變化差距比未耕種過的土地要大。在夏季的午後，土壤上方的空氣溫度，開墾過的要比未開墾的高5~10°C；在夜晚，耕種過的土地要比未

耕種過的更容易降低溫度和受寒害。在覆草之下的土壤，其情況正好相反，耕種過的土壤，溫度變化最小。

## 土壤溫度與作物產量

土壤溫度影響植物的生長，首先是在其種子萌芽的階段。在低溫下，不同植物的種子其萌芽能力亦不一樣，但在寒冷的土壤中，種子發芽則是一個緩慢的過程。實際經驗告訴我們，土壤溫度上升能加速種子的發育；而土壤溫度亦只能升到一適當的溫度。自然地，若種子發育愈快，則作物便愈早成熟及收成。

另一方面，植物的生長也受到土壤溫度的影響。在高溫或低溫下，植物根部組織的功能（如吸收水分和養分等）均會受到影響。其成長率和爾後的生產量均和溫度的形態有關。Allmaras 等人（1964）發現，在 $15^{\circ} \sim 28^{\circ}\text{C}$ 之間，玉米的產量隨著十公分深的土壤溫度直線增加（圖一）。然而，在土壤溫度超過 $27.4^{\circ}\text{C}$ 時，農作物的產量則會降低。

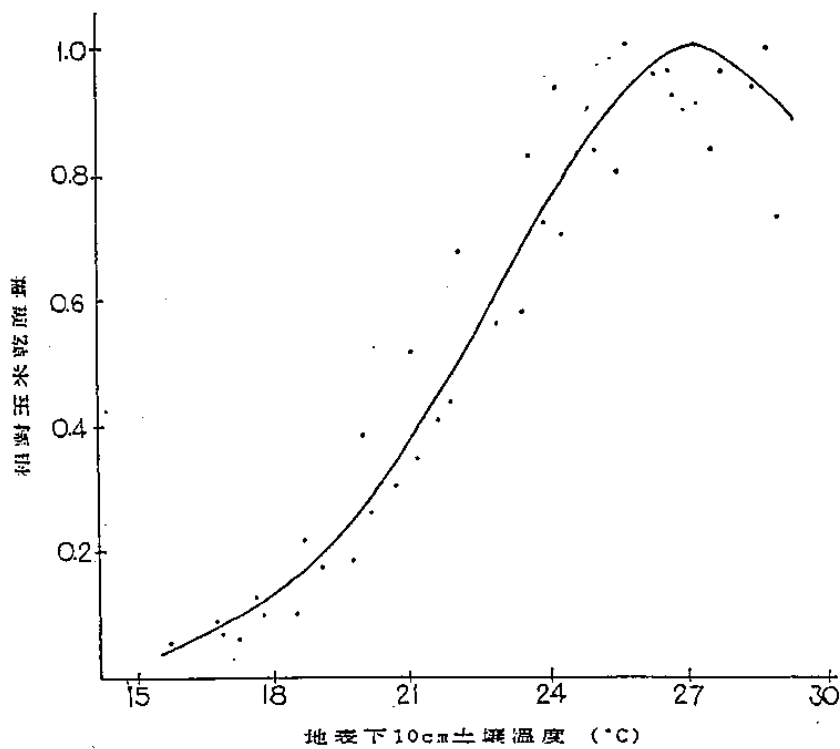


圖 1 初生玉米乾產量受地表下 10cm 土壤平均溫度之影響

雖然空氣的溫度，曾經被假設對植物生長及其繁殖有極大的影響，但在威斯康辛，Wang（1962）的報告中指出，在玉米早期的生長中，土壤溫度是構成最大的影響因素。他並且獲得不同種類的甜玉米，其平均土壤溫度和成熟期的關係（如圖二）。土壤溫度對其成熟期的長短有很大的影響。較易受影響的品種，圖形顯示的曲線斜度會比較陡峭；反之，則較平滑。

表一 地面覆蓋物對溫度及水份之影響  
 (+代表增加；-代表減低；0代表不變)

	黑色塑膠布	透明塑膠布	鋁片	牛皮紙	稻草
地面傳熱量	-	+	--	-	--
中午地表溫	0	++	-	-	--
晚上地表溫	+	+	+	0	+
3 cm地下平均土溫	0	+	-	-	-
3 cm地下日夜土溫差	-	+	----	-	--
土壤水份保持	++	++	++	+	+

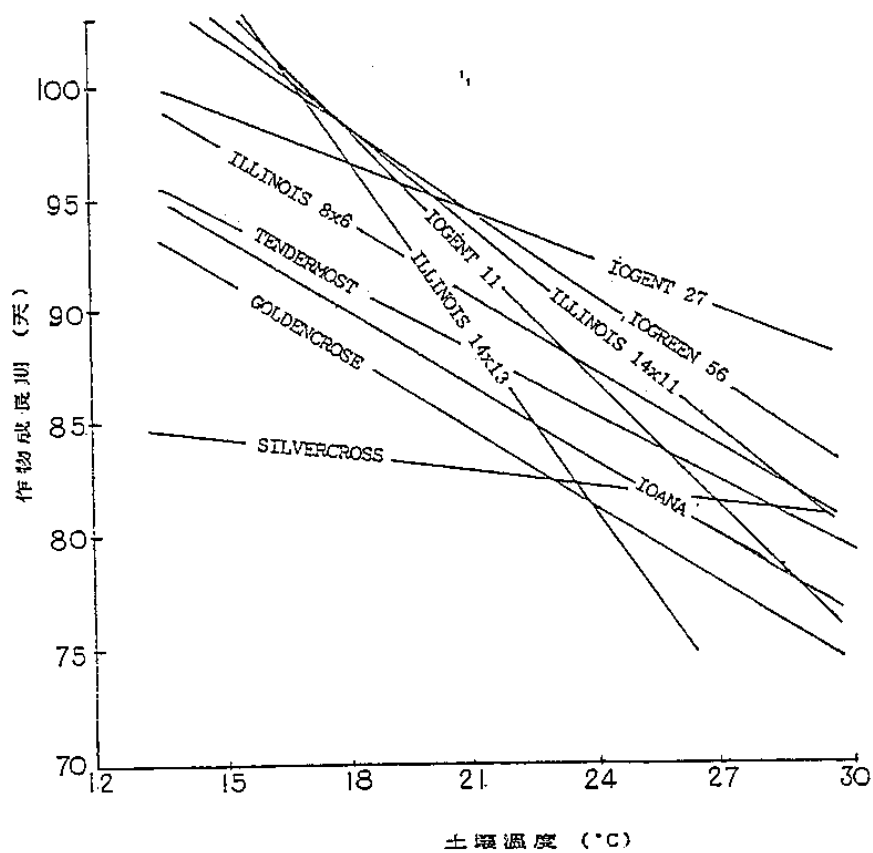


圖2 玉米成長期品種與土壤溫度之影響

## 改變土壤溫度的方法

兩種改變土壤溫度最重要的步驟為：

- (1) 能量進出的控制與管理。
- (2) 改變土地的熱性質，以不同的方法消耗能量。

### 一、控制過高的土壤溫度

非洲大部份地區，其表層土壤多為砂質土及礫石，而它們的熱擴散係數總是比表層為壤土或黏土的土壤為低。因此，它們能保持更多的熱能，特別是乾燥的時候。如此高的溫度會抑止馬鈴薯的萌芽，而且會停止玉米和黃豆幼株的生長 (Lal, 1974)。此外，在這種極端的溫度下，亦發現養分的吸收、輸導及水分的吸收等，均受到了相當的影響。

解決這個問題的方法，則是在耕種之前，以稻草或芻秣做好覆草護根的工作。覆草的導熱性通常比土壤要低，所以在覆草之下吸收和排放的熱量便較少，因此能改變土壤裡輻射能的分布，並且緩和土壤表面水分的存積。Waggoner 等人 (1960) 曾經調查過覆草對土壤熱積存量的影響，結果如表一所示。在夏天，有覆草的試驗區，通常白天較涼爽，而夜晚較溫暖；而在冬天，則能保護土壤，以免過冷。此外，在雨季時，覆草護根亦能增加土壤中的含水量 (圖三)。

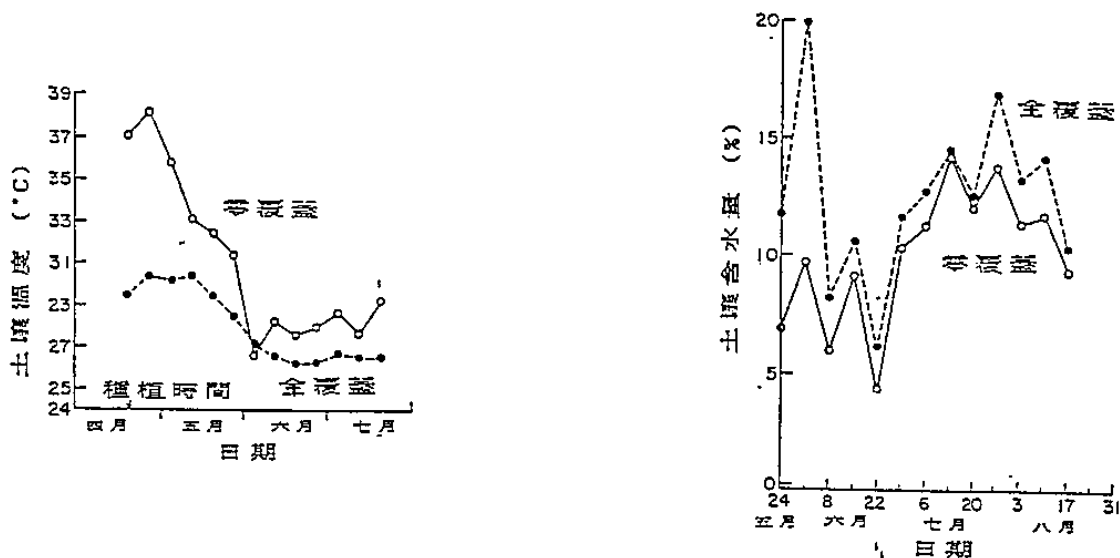


圖 3 (左) 覆蓋對土壤溫度 (3pm. 5 cm 深) 之影響  
(右) 覆蓋對土壤含水量 (10 cm 表層) 之影響

覆草護根，通常是被應用在較大範圍的土壤面上。當森林被砍伐之後，由於太陽輻射能照射至較多的暴露表面，所以表土的溫度通常會升高 7~11°C (Sanchez, 1973)。

比較高的溫度，無疑地會加速有機物的分解，甚至會不利於土壤的結構。一片裸露的土壤表面只會不斷地失去而已。因此，土壤溫度的控制，應是土壤經營管理中很重要的部分。我們可以利用整年的作物覆蓋或在休耕時以覆草護根來解決這個問題。假若我們以農作物的殘枝敗葉來做護根的話，則能減低土壤的溫度，增加土壤的含水量，解決雜草的問題，減少因降雨沖擊所造成的土壤結構破壞，避免有機質的減少，甚至因其本身的分解而增加土壤養料，以上種種，均為其所帶來的益處。

植物的覆蓋對土壤的溫度而言，扮演了一個很重要的角色。一個良好的植物覆蓋能阻擋不少的太陽輻射能，這可避免底下的土壤在夏天時和裸露的土壤一樣熱。反之，在冬天時的植物，就像一張毯子一樣，減少底下土壤的熱量散失。此外，它還能減少每日的土壤溫度變化。此一結果主要是和其所覆蓋的範圍大小有關，而不是作物種類本身特性的關係。

灌溉也被用來降低土壤和植物的溫度，因其能增加土壤的熱容，提高空氣的溼度，降低土壤表面空氣的溫度及增加導熱性。所以，灌溉能減少土壤溫度的日夜變化，並使其溫度更加穩定；而土壤表面水分的蒸發亦會增加，使土壤不致於有太高的溫度。

耕作所造成的表面護根，會降低表層和次層土壤之間的熱量流動率。已耕種過的土壤，其每日溫度變動的幅度，遠大於未耕種過者。在夜晚，鬆軟的土壤比緊密者要稍冷一些，這使得鬆軟土壤較易受到寒害。

風屏的安置，則對土壤的導熱性有正、負兩方面的影響。在降低土壤溫度方面，其藉著遮蔭及防止並限制熱空氣和土壤表層產生對流；然而卻減少風所造成的正常蒸散作用，所以導致了溫度的上升。

## 二、控制過低的土壤溫度

在熱帶高地，農作物通常能忍受低溫的限制，特別是在潮溼的時期。例如在夏威夷高地的氧化土（Oxisols）種植的鳳梨園便是。低的土壤溫度對植物養分的吸收有負面的影響，因此造成了較長的生長期及較小的生產量（Ravooft 等人，1973）。解決這問題也是利用覆蓋的方法，但卻改採透明的塑膠。透明塑膠覆蓋不像稻草覆蓋，它像個攔水蒸氣的蓋子，利用溫室效應來提高土壤的溫度。而使用聚乙烯覆蓋亦能增加土壤溫度，並且減少灌溉的需要量。在某些夏天涼爽的地區，我們發現，降低土壤溫度亦會減少其農作物的生產量。而深色的塑膠覆蓋能吸收大部分的太陽輻射，避免土壤表面的熱量流失；若我們在夏季涼爽的地區使用黑色塑膠護根，則會增加其表土的溫度，而增加產量。

潮溼的土壤若有良好的排水，則會降低其熱容，而增加土壤溫度。當我們限制水的供給，減少蒸發所造成的冷卻作用時，排水，即成為升高土壤溫度的一個重要角色。

壓緊的土壤表面能增加密度，並且增加其導熱性。所以，若以緊密的土壤和耕種過者相比較，緊密的土壤將較不會有白天溫度高，晚上溫度低的情況發生。而減少的空氣量則形成一個導體，提高表層及其次一層之間的熱量輸送。

隆起的田地會造成蒸發量的增加；而反射率會降低，這意味著進入土壤的輻射量較

多。因此，隆起的田地，其溫度將較平坦地為高。

冷空氣的密度比熱空氣大，所以冷空氣會隨坡下移，而聚集在較低處或窪地，這些地區在春天的溫度，通常較低。風扇，則藉著機械作用破壞此空氣平衡，將冷空氣倒轉並加以混合。此一結果造成了空氣逆流，並帶回了上升的熱空氣，且較原來者多增好幾倍。地表經由此方式得到的溫度提升相當小，通常小於  $3^{\circ} \sim 5^{\circ}\text{C}$ 。

在土壤表面撒播炭粉能增加日照的吸收力，藉此增加溫度（每日的極高溫及極低溫均增加）（Everson and Weaver, 1949）。此一結果則將持續好幾年。通常炭粉也被用在加速雪的融解上。

一般種植蔓越橘者，常常會在地面上增加一層薄砂。此種砂質能輕易升高地面溫度，而再以緩慢的速度降低溫度；此外，砂亦能將蒸發量減至最小，因其含水量少的緣故。壤土、黏土，甚至有機質的土壤，均能藉著砂質化而提高溫度數度左右。

灌木狀設計（Brushing）被廣泛地使用於蕃茄，南瓜和其他蔬菜作物的農場裡。在此類農場裡，我們用棕色的牛皮紙順著東西向的行列，連接在這些植物的北邊箭形莖、幹上，並使它傾向植物體，此種防禦物，使整片農場看起來像刷子一樣。而這些東西在白天時，會使太陽輻射偏向，不直接照射在土壤和植物上，並且會阻擋，破壞北風的吹襲；在夜晚，則能減少土壤輻射的散失。鋁箔亦被考慮用來做成此種防禦物。雖然它在白天會增加一些熱能進入土壤中；但在晚上，則不像牛皮紙一般有那麼大的影響。除此之外，它的價錢昂貴也不是單靠產量就能彌補的，因此至今仍未被廣泛使用。能吸收大部分的太陽輻射，避免土壤表面的熱量流失；若我們在夏季涼爽的地區使用黑色塑膠護根，則會增加其表土的溫度，而增加產量。

潮溼的土壤若有良好的排水，則會降低其熱容，而增加土壤溫度。當我們限制水的供給，減少蒸發所造成的冷卻作用時，排水，即成為升高土壤溫度的一個重要角色。

壓緊的土壤表面能增加密度，並且增加其導熱性。所以，若以緊密的土壤和耕種過者相比較，緊密的土壤將較不會有白天溫度高，晚上溫度低的情況發生。而減少的空氣量則形成一個導體，提高表層及其次一層之間的熱量輸送。

隆起的田地會造成蒸發量的增加；而反射率會降低，這意味著進入土壤的輻射量較多。因此，隆起的田地，其溫度將較平坦地為高。

冷空氣的密度比熱空氣大，所以冷空氣會隨坡下移，而聚集在較低處或窪地，這些地區在春天的溫度，通常較低。風扇，則藉著機械作用破壞此空氣平衡，將冷空氣倒轉並加以混合。此一結果造成了空氣逆流，並帶回了上升的熱空氣。地表經由此方式得到的溫度提升相當小，通常小於  $3^{\circ} \sim 5^{\circ}\text{C}$ 。

## 結 語

土壤溫度在生態上的意義，不可諱言的，和我們生命賴以維持的農業息息相關。在農作物生長期間，過當的土壤溫度會妨害農作物生長，甚至阻礙農作物之運作；特別是



在極端低溫或高溫下，將嚴重影響種子的萌芽，根部的活動、植物的生長期及生長率、及使農作物發生嚴重的病變。而土壤溫度變化，主要是取決於當地的因素，如日照、地形及是否耕種者等。如果我們知道農作物生長及耕地土壤所需要的溫度，則能藉著管理能量的進出及改變土壤的熱性質來加以調節土壤溫度。此外，灌溉、排水、覆草護根、犁耕、土壤壓緊、安置風屏、作物覆蓋、田壟、風扇、炭粉、砂層、灌木狀設計等，均可改變土壤的溫度。

至於因農耕需要而被清理之土壤，則應盡可能地多利用覆草護根或農作物覆蓋來調節土壤溫度，這對緩和表土因暴曬及有機物過快分解所造成的溫度上升有極大的幫助；因為有機物的過快分解，會影響含鐵、鋁氧化物較高之土壤的滲透量，使表土流失及逕流量因此而增加。此外，覆草護根亦能減少土壤中水份的消耗、控制雜草的生長，及提高農產量。此種方法普遍地在熱帶地區使用，吾人今後對土壤的經營管理當認真考慮此種實際有效的措施為是。

## 參考文獻

1. Allmaras, R. R., W. C. Burrows and W. E. Larson. 1964. Early growth of corn as affected by soil temperature. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28: 271–275.
2. Chang, J. H. 1968. *Climate and Agriculture*. Aldine Publishing Co., Chicago.
3. Everson, J. N. and J. B. Weaver. 1949. Effect of carbon black on properties of soils. *Industrial and Engineering Chemistry*, 41: 1798–1801.
4. IITA. 1972. Farming systems program. Annual Report, International Institute for Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria.
5. Lal, R. 1974. Soil temperature, soil moisture, and maize yields from mulched and unmulched tropical soils. *Plant and Soil*, 40: 129–143.
6. Monteith, J. L. 1958. The heat balance of soil beneath crops. *Climatology and Microclimatology, Proc. Canberra Symposium, UNESCO*, 123–128.
7. Ravoof, A. A., W. G. Sanford, H. Y. Young and J. A. Silva. 1973. Effects of root temperature and nitrogen carriers on total nitrogen uptake by pineapple. *Agron. Abstract*, 1973: 194.
8. Sanchez, P. A. 1973. Soil management under shifting cultivation. In “A Review of Soils Research in Tropical Latin America”, P. A. Sanchez (ed.), North Carolina Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 219.
9. Waggoner, P. E., P. M. Miller and H. C. De Roo. 1960. Plastic mulching: Principles and benefits. *Conn. Agr. Exp. Sta. Bull.* 634, 44pp.
10. Wang, J. Y. 1962. Crop forecast without weather prediction. *Crops and Soils*, 14: 7–9.

## ALTERING SOIL TEMPERATURE FOR OPTIMUM PLANT GROWTH

*Lo, Kwong Fai Andrew*

Associate Professor  
Department of Natural Resources  
Chinese Culture University

### ABSTRACT

The thermal regime of the soil usually includes heat flux into the soil, the thermal characteristics of the soil, and the heat exchange between soil and air. It is generally expressed in terms of soil temperature.

Soil temperature is one of the more important factors that control microbiological activity and the processes involved in the production of plants. It is a well-established fact that the rate of organic matter decomposition and the mineralization of organic forms of nitrogen increase with temperature. Consequently, the amount of organic matter that remains in soil is greater under lower than under higher temperatures. Other important microbiological processes also vary in their intensity with temperature; there seem to be certain optimum soil temperature ranges for these processes. Soil temperature affects plant growth first during the germination of seeds, and later influences the rate of plant growth and subsequent crop yields.

The thermal regime of the soil can be modified either by regulating the incoming and outgoing radiation or by changing the thermal properties of the soil. This paper attempts to look into possible ways of manipulating soil temperatures.

For a certain soil type, the soil temperature can still be altered by means of irrigation or sprinkling, drainage, mulching, tillage, compaction, and the elimination or installation of wind screens. Thus, if one is aware of the specific soil temperature requirements of the plants desired to be grown and the soil type to be cultivated, various adjustments can be made to the thermal regime to allow for optimum plant growth.

