

# 微氣象環境改善技術 與作物栽培

申 雍 土壤環境科學系

**農**作物的產量和品質不僅受作物品種遺傳特性的影響，作物在生育過程中也同時受到週遭環境因素的影響，由於環境因素在時空上的變異，使得同一種作物在不同地區、不同年期而表現出不同的產量和品質。一般而言，這些影響作物生產的環境因素可概分為氣象、土壤和生物等三大類，微氣象環境即指作物植冠內外之日射、氣溫、濕度、風、雨、二氧化碳、…，以及土壤溫度、土壤水分等重要的物理性環境因子，是屬於影響作物生長之氣象和土壤兩大環境因子中的一部份。許多農業栽培管理上的操作，即是在改善作物所處之微氣象環境，藉以達到提高作物產值、增加收益的目標。以下分別由幾方面簡單說明微氣象環境改善技術與作物栽培與生產間之關係。

## 一、行株距與行向

作物由幼苗逐漸成長以至收穫的過程中，將來自空氣中的 $\text{CO}_2$ 和來自土壤中的水分，利用太陽光能所提供的能量，經由葉片中葉綠體的光合作用合成構成體質的乾物質。因此，作物可接受的日射量越多其光合成量也越多，但當日射量增加達一定程度後，植物光合成量不會再繼續增加，此時稱為已達到光飽和。通常可依據植物對日射強度的反應區分為陽性植物與陰性植物，其中糧食與蔬果類作物多屬於陽性植物，需要充份的陽光才能獲得較高的產量。由於植冠上層葉片對下方葉片遮陰的影響，因此即使於晴天狀況下，植冠下層的葉片通常仍然未達

光飽和的程度，但是植體(根、莖、葉、…等)的呼吸作用卻會不斷消耗合成的光合產物，所以藉由行株距的調整、枝條的修剪、…等措施，以維持適當的植冠結構、葉型、和葉面積指數，是提高作物產值的必要手段。一般而言，直立型葉片的植冠結構能使日射深入植叢內，因此可行光合作用的葉片面積也較平鋪型的植冠結構為多；植被葉面積指數通常以維持3~4最為適合，指數太小則日射被葉片攔截利用的比率低，指數太高則不僅減少有效的淨光合成量，同時也會導致通風不良，容易發生病蟲害。

栽種於田間的作物，因種植行向(南北向、東西向)不同，亦可造成株間受光時數和日射量的不同。在夏季，由於中午太陽高度角較高，且日出、日落的方位偏北，因此東西向種植的作物，各行間作物相互遮陰的情形僅在早晨和傍晚時較嚴重，其餘時間各行間植株彼此遮陰的情形並不嚴重；而南北向種植的作物，除中午時候各行間的遮光情形較輕微外，早上西行的作物受東行作物遮陰，下午則反之。在冬季，由於中午時太陽高度角偏低，且日出、日落的方位偏南，於作物之株高較高行寬較窄時，東西向種植的作物，位於北行之植株受南行植株的遮陰嚴重，植株的受光時間較南北行種植者為短，但若行寬不小於株高，仍以東西向種植者可以有較長的受光時間。因此一般認為東西向栽植者，植株的受光時間與可接受的日射量都較南北行種植者為優。

## 二、耕犁與敷蓋



一般認為種植前的耕犁的功能主要在使土壤疏鬆利於根系之發展，並兼具除草的功能。但是，耕犁在使土壤疏鬆的同時，也令土表變的較為粗糙，因此會降低日射的反射率，增加短波輻射的吸收量，同時因空氣孔隙增多，表土的热導率與熱容量也都下降。白天表土吸收的日射热量增多，但能向下進入底土的热量反而減少，夜間地面長波輻射損失的热量卻又無法由深層土壤得到補充，因此土表的日夜溫差將會增大。一般而言，裸露土表土溫的日夜溫差可達20-30℃以上，種子若直接撒播在土表，則發芽率不僅低且不整齊，因此通常需要再覆以一薄層的土壤、稻桿、有機堆肥、…等數蓋物，除可降低幼苗所感受到的劇烈日夜溫差外，同時也可避免土表水分的過度蒸發。

作畦亦會使土壤疏鬆，且疏鬆層更為增厚，因此對表土溫度的效應較耕犁更為明顯。由於畦向影響所接受的日射量，因而東西向畦南邊的土溫明顯高於北邊，但南北向畦西邊的土溫僅略高於東邊。若為降低東西向畦上幼苗感受到的劇烈日夜溫差，可將種子播種於畦之北坡，但在高冷地區若為提高土溫或減少寒霜害，則可將種子播種於東西向畦之南坡。此外，作畦也會增加地面的粗糙度，地表蒸發量隨土溫提高和渦流交換增強而增加，所以表土內水分較易喪失，因而早作常利用作畦方式栽培，可使表土中的通氣孔隙儘早露出，避免雨後或灌溉後的根圍土壤過於潮濕。

利用塑膠布覆蓋土面，除具有減少雜草的功能外，也會因隔絕水分從土表之蒸發，不僅節省灌溉用水，也會降低植叢內的相對濕度，而減少病蟲害發生的機會。覆蓋用塑膠布的日射反射率通常大於土壤，因此也能使作物底層的葉片接受較多的日射以供光合作用。

採行有機栽培的農民若使用日射熱力殺菌法進行期作間之土壤消毒殺菌工作，為使日射能量能盡量深入土層，則土壤不宜先耕犁，以免降低土壤的熱傳導率；土壤水分最

好能保持在10%容積含水率，既可增加土壤的熱傳導率，也可避免土壤熱容量過度提高以致土溫不易增高；並採用透明PVC塑膠布覆蓋土面，可減少長波輻射損失和由風所引發的感熱損失。

### 三、防風措施

風具有混合的功能，風可增加地面空氣中的亂流強度，增加地表(土壤、作物)和空氣間的感熱交換，增加土壤的蒸發和植物的蒸散，補充植株光合作用所消耗的二氧化碳。但是，風亦會對作物造成直接或間接的傷害。例如，強風可使作物倒伏或折斷；造成落花、落果等傷害；作物枝葉可因風吹摩擦產生傷口，使得病菌容易侵入；風也能傳播病原體，造成病害蔓延；冷風會引起凍傷，焚風會引發脫水。

在垂直於盛行風向的方位設置防風措施(如防風林、牆、網、…等)可以減輕防護區內作物遭受的機械傷害，防護距離則與所設置防風措施的高度、密度和長度有關。防風措施的防護距離通常以其高度(H)表之，結構密實的防風屏障可以掩護10-15H的背風面地區；若防風措施具有適當的孔度，則可減少因防風屏障後之低壓所導致的空氣回流，使背風面的屏障區達到20-25H。好的防風措施的結構密實度應該隨高度之對數增加，越近土表孔隙度大。防風措施長度越長，防風的效果較好；若防風措施太短、或有較大的間隙存在，則反而易對作物造成傷害。澎湖地區利用檉柳防風林防護鹽風害已獲有相當成果，是近年來應用防風林成功的案例之一。

防風措施會改變局地的微氣象環境，在東西向防風措施北邊1-2H地區內的作物可能因遮陰的影響顯著減少可利用的日射量，但南邊作物卻會因防風措施之反射而接受到較多的日射；但若防風林呈南北走向，則作物受遮陰的影響不大。保護區域內的日夜溫差會因邊界層中渦流交換係數降低而增加，再加上防風林對長波輻射的遮蔽效應，保護區內夜間溫度下降最明顯的區域約在4-16H間。



防風措施也會降低保護區內的蒸發散量並改善作物體內水分境況（提高葉片水分勢能、降低氣孔阻力），因而提高光合作用效率及水分利用效率等。田間以條植方式混種高莖與低莖作物，如茶園間植田菁，會明顯改變田間的微氣候環境，間接提高茶葉的品質，其中又以夏茶的改善最為明顯。

#### 四、防寒措施

台灣地區作物遭受寒霜害多發生於輻射冷卻強烈的冬季夜間，可採行的防寒措施可概分為阻絕長波輻射離去、提供防護熱源、和去除冷源等三大類。通常需依作物之特性和栽培方式，採行不同的防護方法。對於低莖作物常利用塑膠布、不織布、稻草、…等進行覆蓋，藉阻絕長波輻射之離去以達保溫之目的，但此法在白天有減少光合作用可用能量和提高氣溫的缺點。若作物能耐水浸，如生育初期的水稻，可利用水具有高热容量的特性，以淹水的方式減少寒霜害。旱作則可適當調節土壤水分，使日間的日射能量能儘量被土壤所吸收，夜間再釋出以供防護使用。

對於以棚架方式栽植且有相當多葉片存在的作物，如葡萄、枇杷等，可在棚架下設置風扇以加速將儲存於土壤中的熱量釋出，提供做為防護的熱源。對於以棚架方式栽植但葉片不多的狀況，如接穗後之高接梨，可以利用水蒸氣在枝條上凝結時放出凝結熱的方式，提供防護所需之熱源。對於枝葉茂密之高大作物，如蓮霧，則可利用高架風扇將上層的暖空氣導下，以達到防寒的目的。

夜間於葉片和枝條上形成的薄霜在日出後化為水時需吸收熱量，會使傷害時間延長且受害範圍增加，因此利用噴水方式將葉片和枝條上的薄霜洗掉也是一種防護方法，但利用此法務必於日出後才可進行，若太早噴水反而可能因水分蒸發冷卻反而導致傷害加劇。於坡地沿等高線種植樹木或防風措施，阻擋夜間沿坡地下滑的山風，可避免冷空氣聚集於谷地對作物產生傷害。但是，在平坦

地形上，設置防風措施會減少夜間向下感熱的渦流輸送，反而易導致寒霜害的發生。

#### 五、降溫措施

關鍵生理期間的高氣溫會影響作物的產值，例如本省栽種的“茂木”品種枇杷之花穗發育溫度的最適範圍為 $18\sim 23^{\circ}\text{C}$ 。因此低海拔地區枇杷早花無法順利著果，導致產期多集中於3月中旬至4月，常造成盛產期生產過剩的壓力。利用遮蔭網、噴霧等處理都可能降低枇杷群落微氣象環境之溫度。當日射量愈強時，遮蔭處理降溫之成效愈明顯，且遮光率較高者具有較佳之降溫效果，而遮蔭網之顏色對降溫之效果並沒有太大之影響。使用70%的遮蔭網時，在 $600\sim 800\text{ Wm}^{-2}$ 之日射環境下，可降低單株的葉溫達 $2.4\sim 3.2^{\circ}\text{C}$ 。然若將果園全園進行遮蔭，則可能因遮蔭網會降低植叢內外空氣的交換效率，造成葉片蒸散的水氣累積於植叢內，降低葉片利用蒸散作用的降溫效果，因而使得全園遮蔭後之降溫效果不如單株的降溫效果。施行噴霧處理，若噴灑的霧滴皆能有效蒸發，理論上可使氣溫降至濕球溫度，葉溫也將會隨之降低。但當風速較高時，易將噴出的霧氣吹散，導致氣溫下降不如預期。如大面積使用遮蔭網並配合噴霧降溫處理，此時植叢間之風速因使用遮蔭網降低，因而可有效降低植叢溫度。唯仍需對是否將對枇杷之花器、授粉著果有不良之影響，或因植被內相對濕度大幅提升，導致病蟲害之發生等問題，進行深入之研究。

#### 六、設施微氣象

台灣地區處於亞熱帶地區，雖然低溫並非最重要的生產限制因子，但是因台灣地處大陸和海洋的交界處且地形複雜，春季的梅雨、夏季的颱風和熱雷雨、冬季的寒流、高濕和日夜溫差小的海洋性氣候、以及普遍存在的酸雨和空污、…等不良微氣象環境的影響，造成作物生長不良和品質劣化，因此仍希望利用設施栽培以達穩定生產及提高品質的目的。



由於有一層設施覆蓋物的存在，因此設施與露地栽培之作物微氣象環境有很明顯的差異。由於受到樑柱遮光和被覆物對日射的反射與吸收的影響，設施內的日射量較露地為低。一般而言，設施內床面平均日射量僅及露地的80%，若被覆物上的灰塵太多、或被覆材料已老化，設施內床面平均日射量甚至會降低至露地的50%以下。設施中樑柱的遮光作用和被覆材料的反光作用，則會造成設施內床面日射量呈現分佈不均的現象。設施中東西向主樑所產生的陰影，只會隨季節才有較大的位移。因此設施的棟方位以南北向為佳，可減少東西方向粗樑產生之陰影對作物生育不利的影響。簡易塑膠棚溫室雖然沒有粗的主樑，但若以連棟方式結合，棟與棟間也會產生強烈的陰影帶，因此最好也是以南北為棟方位呈東西向結合的方式為佳，可減少栽培床面光量分佈的不均一。

由於被覆材料的阻擋，設施外的風通常不易直接吹入，而設施內由自然對流所造成的空氣流動也不很強，因此設施內外空氣的交換性很差，導致設施內入射日射所累積的熱量不易釋出，因此設施內的氣溫會較露地高，在沒有降溫措施的簡易隧道式設施中，與露地的溫差在中午過後通常可達 $15^{\circ}\text{C}$ 以上；即使在高架網室內，四週尼龍網的阻風效應仍將導致設施內通風不良，晴天時設施內氣溫仍可較露地高出 $5^{\circ}\text{C}$ 以上。夜間由於被覆材料的防風效果和對長波輻射的阻隔作用，設施內的溫度會略高於露地；若被覆材料的長波輻射穿透率高，則可能因減少了感熱的向下輸送反而略低於露地。

白天設施內由於氣溫升高，因此設施內的相對溼度顯著下降，尤其在午後相對濕度可降至70%以下。高溫低濕的環境不僅使得由葉片蒸散和土壤蒸發釋出的水氣量大增，因而土壤深處的水分和鹽分也經由毛細作用向上移動，在土表富集而形成鹽害；土壤溫度升高，也將使得土壤有機質分解加快，土壤理化性質劣變程度也隨之加強。由於設施內外通風不良，白天由葉片蒸散和土壤蒸發釋

出的水氣無法順利排除，因此設施內的水氣含量高，夜間溫度下降後，設施內的相對溼度則會升至100%，結露的情形非常明顯。適合作物生長的溼度環境約在相對溼度75~85%之間，過乾和過濕的環境不僅對作物的生長不利，也易於引起病蟲害的發生。

由於設施內外空氣交換不良，若無抽風扇等強制換氣設備，白天設施內的 $\text{CO}_2$ 濃度會因作物光合作用消耗而顯著低於室外大氣中的濃度，因而降低作物光合作用的效率。因此進行設施栽培管理時必須注意有適量的通風，以維持設施內 $\text{CO}_2$ 濃度不致下降太多。

台灣地區發展設施農業目前遭遇最大的瓶頸即在於熱逆境嚴重，因此許多理想的環控作業或模式多無法達成，此與設施所用被覆材料多由溫帶地區國家所引入，材質的特性係依能保溫和減少加溫所需能源之目的而發展有關。因此必須開發或引進能減少無用之近紅外光進入，並增加長波輻射穿透率的被覆材料，減輕設施內的熱負荷，再輔以抽風設備以排出多餘的熱能並維持 $\text{CO}_2$ 濃度，才可有效消除設施內的熱逆境問題。如何利用不同穿透率與穿透光譜之被覆材料，調控作物的光型態表現，也是設施微氣象目前研究的重點方向之一。

