

設施機械通風技術

國立中興大學農機系教授

陳加忠

設施內部微氣候的環控作業項目包括了遮蔭、通風、噴霧，水牆利用，加溫等。而在亞熱帶的環境下，通風作業決定了設施栽培的成敗，各種不同的環控作業的如降溫、加溫，除濕等都需要利用到通風技術，而作物的成長，病蟲害的防治也都與通風技術極為相關。因此對亞熱帶氣候的設施生產，通風作業可稱關鍵技術。通風良好的設施已具備了生產成功的基本條件，而通風不良的設施完全沒有成功的機會。

設施型態與通風

國內花卉生產所用的設施與傳統上利用的通風技術可列舉說明如下：

- 一、溫室：溫室幾乎完全依賴機械風扇進行通風。也有少數模仿日式溫室之溫室，僅利用天窗的開啟進行自然通風，但是由於通風量不足，最後仍是必需加裝機械通風。利用機械風扇配合水牆進行降溫已成為國內蝴蝶蘭溫室必備之裝置。
- 二、溫網室：指屋頂為透光物質，四周牆壁為防蟲網或遮蔭網的設施。常用的通風方式是在屋頂開口成太子樓屋頂，或是在網壁加風扇，但是這兩種方式均不適當。水耕業者曾利用工業工廠屋頂向上的抽氣風扇，除了通風量不足之問題，更衍生另一個擋光問題。
- 三、遮雨棚：指屋頂為透光材料，四周為開放的設施。目前之通風方式是增加太子樓屋頂以利用溫差內外換氣或是純粹依賴大氣的風力。
- 四、遮蔭網室：指全部用遮蔭網覆蓋形成的設施。網愈細，內外換氣愈差，此種設施未增設人為設備時，只能依賴大氣風力進行內外換氣。

通風可分為自然通風與機械通風。自然通風則可再分類為內外溫差引起的通風與外界大自然風力引起的通風。有關自然通風技術在“台灣花卉園藝”雜誌已有報導。在國內自然通風作業中，最常誤解或誤用的通風技術有兩種：

- 一、利用自然通風可以有效疏解熱累積；在溫帶國家，不需要利用能源加溫之季節，大氣溫度為 10-25 °C。以自然通風技術，內部溫度將高於外界溫度 5-20 °C，因此溫室內部溫度可控制在 30 °C 以內（例如 25 °C 之大氣溫度增加 5 °C，或 10 °C 之大氣狀態下，增加 20 °C 等）。此溫度局限內適合溫帶作物生長。在台灣的環境下，利用自然通風內部氣溫高於外界也約為 5-20 °C。在夏季外界溫度 35 °C 時，設施內部氣溫在最佳自然通風狀態下外已超過 40 °C，而在自然通風不良時，內溫遠超過作物生長之合理範圍。由此可知，適用自然通風的地區為大氣溫度低於作物生長溫度，利用自然通風以增加溫度並進行換氣。在外界氣溫高於 30 °C 之季節，僅

利用自然通風對溫室環控是不夠的。而臺灣地區白天氣溫高於 30 °C 之時間有多久？此為栽培業者需要思考的問題。

- 二、屋頂只要有開口，即對自然通風有幫助：在屋頂增加開口，對內外溫差自然通風而言，若設計不當（如開口太小），對熱氣排出並無多大幫助。對利用大氣風力通風而言，風力對太子樓屋頂並無幫助。對不規則屋頂或單邊開啟之屋頂而言，若開口方向與風向不能產負壓，不但不能排出熱空氣，反而造成熱空氣壓降到作物位置。

通風作業對作物成長之幫助

通風作業設施內部作物之成長，有如下之功用：

- 一、帶走內部熱量，減少內部熱累積。
- 二、消除內部悶濕現象，促進作物的蒸散作用。
- 三、減少植株葉面空氣的滯留層，促成光合成用。
- 四、使內部的溫、濕度均勻，避免因溫度不均勻產生結露現象。
- 五、促使作物各部的莖、葉、花、果實之表面水份蒸發，降低感染病害之機會。

在以上五項功用中，一～三項針對作物之生長。通風使設施內部高溫或高濕現象得以消除，以改善微氣候適合作物生長。第三項係因作物在夜間行呼吸作用，若在空氣不流動之情況下，氣孔排出之二氧化碳容易在葉面上形成一附著滯留層，阻礙了第二天白日時光合作用的進展。利用通風造成空氣流動，即可消除葉面上附著層，使光合作用進行幫助作物生長，尤其對蘭科作物幫助最大。

第四、五項針對作物之病蟲管理，尤其是病害防治。由於病害中的細菌與真菌的發展與植株表面水份有相關，真正對病害感染有幫助的微氣候因子有三種可能性：

1. 植物處在高相對濕度環境下，且有一段時間以上。
2. 植物表面（植株或葉面）有水滴滴濺或結露成水滴。
3. 植物表面有水滴，且在一段時間以上。

目前之研究尚未完全確定微氣候與病害傳播的詳細原因，但是高溫、高濕與結露對作物的病害感染及傳播確實有密切關係，因此可以利用通風以以下三方式協助設施內病害管理作業。

1. 減少設施內部維持於高濕狀態。
2. 減少植株表面之水滴或結露。
3. 減短水滴在植株表面的時間。

換言之，設施內部避免維持高濕狀態，使植株表面儘量不要有水滴形成，有水滴發生時迅速使其蒸發。在第一項要求中，引入大氣空氣在大部份之時期都有除濕效果，而在外界維持於高濕時（如雨季、夜間等），引入大氣空氣雖然沒有除濕效果。

但是利用內部空氣循環，同樣對作物有幫助，可以避免結露，可以消除植株表面水滴。要減少植株表面上有水滴殘留，一方面對灌溉技術加以改進，避免多餘水份停留於植株表面，一方面要避免設施內部組件如樑柱、屋頂、覆材結露之水滴落於植株表面上。

要避免結露現象，即是要使溫室內部的空氣不要低於露點溫度。對於低濕的空氣、氣溫與露點溫度相差很大，因此不容易產生結露現象。高相對濕度的空氣，大氣溫度與露點溫度十分接近。因此溫室內部高相對濕度(90%)的空氣，只要與低於空氣溫度1-2℃的物體接觸，就因為接觸的物體本身溫度低於露點溫度，因此產生結露現象。例如內部空氣在高濕態下，傍晚或早晨溫室的屋頂，裡面的金屬柱溫度下降的比空氣快，空氣與這些物件接觸，容易結成露水。在白天、高濕且通風不良的內部，作物低層莖、葉因上部葉面擋住了陽光，底層溫度低於氣溫，也因此容易造成了結露現象。而植物本身表面有水滴，即是病害發展的良好基地。

利用通風，可解決上述三項問題。通風作業可藉由外面空氣的引入以驅逐內部的水氣。由於溫室內部通風換氣，使內部溫度均一。無論植株，金屬架或空氣都有相同的溫度，因此不再有溫度不均勻而產生結露現象。植物本身有水滴時，由於有空氣通過，加速水珠蒸發速率，減少了水滴於植物表面滯留的時間。通風作業對於病害管理之重要性，在於提供足夠的通風量，使病害發生繁殖的機率大為減少。通風良好的溫室，病害機率低。相反地通風不良的溫室，病害發生幾乎難免。通風不良時造成了種種問題，但是通風量太大，也對作物產生負面影響：

一、風量太大，造成蒸散作用高，根部水份吸收，但是肥份來不及吸收而累積於根部，產生鹽害。

二、風速過快，造成植株葉部互相擠撞而損傷，增加病菌感染之機會。

通風量的計算與吸引式通風設備

通風量的標準因作物，季節而不同，通常以每一分鐘的溫室體積交換次數為標準，但因目前設施工程還未定出共通的通風量，被使用的單位有三種：通風量、通風率與通風次數。其相互關係如下：

一、通風量(m³/min): 每分鐘的空氣交換量(m³)

$$\begin{aligned}\text{通風量} &= \text{通風率} (\text{m}^3/\text{m}^2\text{-min}) * \text{溫室地面面積} \\ &= \text{通風次數} (\text{次數}/\text{min}) * \text{溫室體積} (\text{m}^3)\end{aligned}$$

二、通風率(m³/m²-min): 每分鐘每平方公尺溫室面積的空氣交換量(m³)

$$\begin{aligned}\text{通風率} &= \text{通風量} / \text{溫室地面面積} \\ &= \text{通風次數} * \text{溫室高度}\end{aligned}$$

三、通風次數(次/分鐘): 每分鐘溫室內部空氣量交換的次數

$$\begin{aligned}\text{通風次數} &= \text{通風量} / \text{溫室體積} \\ &= \text{通風率} / \text{溫室高度}\end{aligned}$$

在有內遮蔭網或有內塑膠布形成內溫室之通風量計算中，溫室體積則為內部溫室之體積而不是原溫室體積。

通風量多少為合理？以台灣的夏季氣候下，每分鐘為 1.2-1.5 次的溫室體積交換率。美國溫室施工標準原來為 0.7-1.0 次 / 分鐘的交換率，而由於南部地區溫室面積日增，因此溫室通風交換率也調整為 0.8-1.6 次 / 分鐘。

國內主要利用的風扇為自國外進口的吸力型風扇，標準型風扇為 48 吋, 220v, 1.0 馬力，風量為每分鐘 550 立方公尺。溫室一邊為入風口或水牆，兩側在通風時加以密閉，而在另一邊加裝吸力式風扇。使外界空氣被吸入通過溫室內部後，再排出外界。使用此型風扇需留意以下要點：

- 一、入風口面積要大於風扇之總面積，最好有 1.25 倍。
- 二、風扇離地距離至少 90 公分。
- 三、在入風口無防蟲網或未裝設水牆時，風扇靜壓力要高於 0.2 公分水柱高以上。
- 四、在入風口與風扇距與風扇距離（通常等於溫室長度）小於 30 公尺時，通風率要增加，新的通風率計算公式：

$$\text{新通風率} = \frac{5.5 * \text{原通風率}}{\sqrt{\text{溫室長室}}}$$

- 五、溫室牆面有兩座以上的風扇時，風扇之間距離要小於 7.6 公尺。
- 六、風扇的吸入方向最好順風，如果在逆風，通風量至少要增加 10% 以上。
- 七、風扇排出口如果有牆壁或樹木等障礙物，距離必須大於 5 個風扇直徑之長度。
- 八、風扇在未作用時，應該有覆蓋裝置。而在通風動作時，覆蓋物應該向外開啟。

機械通風的特點在於利用電力，依風扇的馬力，數目以決定通風量。因此設施的通風量可以屏除自然通風“靠天吃飯”之狀態，而是使通風量均在人為控制之下，可依需要自主的調節通風量。

負壓通風以外之技術

除了在密閉型溫室以吸引型風扇進行負壓通風作業之外，機械式通風設備的利用方式仍有以下數種：

一、內循環風扇

此種風扇可放在地面或懸掛於溫室半空，使溫室內部空氣循環。此種內循環風扇主要利用時期在於外界空氣太冷或太濕，不適合引入內部時，利用內循環風扇內部空氣流動達到減少結露或消除葉面之功能。國內春冬兩季，增設此型風扇對作物生長幫助極大。

二、陽壓式通風扇

溫室一邊為通風扇，一邊為出風口，空氣自外界以風扇強迫壓送進入內部，再排

到外界。為順利導引風的流動，通常在通風扇加裝風管。近年來，也有在通風扇之前安裝水簾式降溫箱，使空氣因風扇吸力通過水牆降溫，再由風扇送入溫室內部。此種陽壓型風扇方式對遮蔭網室，溫網室均可適用。

三、懸掛接力式風扇

裝置於遮雨棚或是溫網室之屋頂之下，利用風扇的吸力與推力，自外界吸入空氣再向前推送，在第一具風扇的推力減弱時，第二具風扇的吸力已開始作用，因此屋頂下的熱空氣接續不斷的被推出設施內部，以達到排氣降溫效果。

四、不規則屋頂之排風扇利用

為了補助不規則屋頂的排氣作用，在不規則屋頂的開口可加裝吸排式風扇，排風的方向與屋頂開口相同。利用機械風扇將屋頂下方熱空氣對外排出，此種通風設備配合細霧裝置對降溫極有幫助。

五、遮蔭網室之機械通風

在遮蔭網形成的設施內，因風扇的排吸能力分段放置機械風扇（類似畜舍之排氣風扇），以接力方式將外氣引入以排出熱氣，配合噴頭也可進行蒸發冷卻之降溫作業。

機械通風作業之誤解

除了自然通風之外，機械通風是有效疏解熱累積，調節微氣候之良好環控技術，使設施環控由使用者自行操作。但在國內花卉設施生產業者對於機械通風仍然存有一些誤解，這些誤解都可以加以說明：

一、只有密閉型溫室才可以利用機械通風

事實上，不論是遮雨棚，遮蔭網，各種設施都可以使用適合的通風扇進行通風作業。

二、機械通風一定花錢

增加通風扇即增加了購買成本，使用電力也需要付錢，因此使用機械通風扇的確增加了生產成本。但是由於設施內部微氣候的改良，作物品質改善與產量增加，相對的收入也增加。對於通風扇的裝置應該以利潤為考量（利潤為收入與成本之差額）而不是只看到成本增加的一面。

三、利用育種即可克服內部高溫問題

國內為了針對設施內熱累積的高溫問題，另一個方式是“耐熱品種”的選育，但是育種的過程十分漫長，而新品種比舊品種的耐熱性是增加了 3°C ， 5°C 的容忍限度，不是 10°C ， 20°C 之突變。設施內部熱累積導至之氣溫往往高於 30°C 至 40°C ，又有多少耐熱品種可適種於此高溫的設施內部？

四、利用農藥可解決病害問題

對於設施之病害問題，利用通風技術可以積極改善生長環境，利用農藥應是最後之招數。未從作物環境改善而完全利用農藥，對生態之影響，對施藥者健康之影響等都是需要深思。此種依賴藥物的觀念，不僅在園藝設施生產上可見，在畜產設施、水產設施也大多如是。通風的重要在於極改善設施內部之環境，使作物強

健以抵抗病害並減少病害傳染的途徑。

結 語

國內設施生產已推廣多年，不論是蔬菜生產或是花卉生產設施內部的通風技術仍然未能受到重視。許多業者仍然在通風不良，高溫多濕的設施內部種植蔬菜與花卉。面對各種病害，完全依賴農藥。對業者而言，“能省則省”固然是降低成本的方式，但是在“因陋就簡”之心態下，生產之花卉無法提昇品質，更談不上面對未來國際化的競爭，而善用通風技術配合其他環控設備，在國內的設施生產，已創下了在夏季生產亞蔬一號蕃茄，促使文心蘭夏季開花與金線蓮量產之成就。通風作業是設施栽培的關鍵技術。設施栽培的積極面是善用環控設備，提高作物品質，雖然成本增加，但是收入增加更多，因此利潤更高。設施通風技術仍有許多技術需要研發改善，研究人員仍需努力，也期待設施生產者能重視設施內的通風，積極的改善作物環境。