

# 溫室建築的一般需求與台灣適用的溫室系統設計

方煒

國立台灣大學生物產業機電工程學系教授

台灣屬亞熱帶與熱帶型氣候，受大陸性氣團與海洋性氣流影響，氣象上變化極為劇烈，多風、豪雨、梅雨、高溫、高溼及不穩定性寒流為地區氣候上的特色。多年來農業生產受氣象影響所造成的災害損失亦多，只因它是靠天吃飯的產業。傳統的農友多半只靠勞力、直覺和經驗來謀生，收入和辛苦的程度更是不成比例。然而，也正因為此，在科技上可以且需要做的事一定很多。溫室的興起正是為因應此不良的氣候與工作條件。

本文首先說明溫室建築的一般需求，由經濟面開始，先介紹如何評估栽培什麼作物，選擇什麼溫室；其次由環控與結構面進行探討並介紹國內外一些有關自然通風的最新溫室設計，並提出個人認為適用於熱帶與亞熱帶地區的溫室設計，包括結構與環控。此新設計旨在提供國人一造價尚稱合理，結構尚稱強固、可防風、遮雨、防蟲且可提供適當溫、溼度的作物栽培設施；透過此設施，希望協助農友達到可全年栽培、可永續經營且可獲利的目標。

## 一、經濟面

### 1. 選擇最賺錢的作物

在蓋溫室之前，農友首先要問的是要栽培什麼作物？蔬菜類，瓜果類，切花類或盆花類？不同作物在栽培面的差異，在對環境的需求等先暫且不提，在經濟面上除了成本與售價是基本考慮項目外，所需栽培期、栽培密度與栽培風險等一定要納入考慮。蔬菜類的優點是栽培期短，有利現金的週轉，密度高但售價低；瓜果與花卉類栽培期長，栽培成本較高，所需技術也較高，但售價也通常較好。

農友本身。農友應針對自己熟悉的幾種作物，依據自己的栽培方式與經驗建立如表 1 所示的資料表。依據上列的步驟，應可選出對個人而言最賺錢的作物。

表 1. 選擇最賺錢的作物需考慮的因子

作物	成本 元/株	售價 元/株	粗收益 元/株	栽培 密度 株/m <sup>2</sup>	單位面積 粗收益 元/m <sup>2</sup>	栽培 天數 天	每日每 m <sup>2</sup> 的粗收益 元/日/m <sup>2</sup>	存活率 %	每日每 m <sup>2</sup> 真正的粗收益 元/日/m <sup>2</sup>
A	10	20	10	40	400	30	13.3	50	6.65
B	10	30	20	35	700	70	10.0	60	6.0
C	10	40	30	20	600	90	6.7	100	6.7

從表 1 與前面的敘述中，是否可歸納出簡單的判斷準則呢？當然可以。簡單的說，粗收益愈高的愈好，譬如嫁接苗一株十多元或更高；允許種得愈密的愈好，譬如穴盤苗；栽培期愈短的愈好，譬如嫁接苗在癒合養生室 3-5 天，在溫室 1 個月或更短；存活率愈高的愈好。所有的種苗栽培期都不長且都可用穴盤栽培，同樣大小的穴盤內可種 5 x 6 株也可種 20 x 30 株不等，穴格愈小者所需的水分養分管理技術愈高，但利潤的差也就在這裡。另外，逆向操作也是可獲利的做法，在設施中，颱風天只有你可出貨，在大熱天可種出涼季的蔬菜，甚至只需提前一個月或延緩一個月出貨，物以稀為貴是原則，擅用此原則配合好工具，獲利空間絕對不會少。

## 2. 選擇最適合的溫室

知道要種什麼作物，其次就要選擇設施。可遮風擋雨是對設施最基本的訴求，結構強固到可防颱、緊密到可防蟲、環控至可全年使用則涉及不同等級的成本。均為技術上可行，但是否經濟上可行，則又需進一步評估。台灣本身就是一個大溫室，四季均有不同的蔬果與花卉可生產。要把在戶外也能生長得很好的作物改在設施內種，選擇什麼功能的設施就決定於此設施能給你什麼優勢。優勢決定你的獲利空間。

農友蓋溫室最關心的就是一坪多少錢，然而，一分錢一分貨是不變的鐵律。

結構上的成本愈高，可栽培比例、可栽培天數與折舊年數也應愈高。

如表 2 所示為選擇最適用的溫室應該考慮的因子，除了單位面積造價之外，尚包括可栽培比例，可栽培天數與折舊年限等三項因子。假設溫室 X 為本省常見的使用 PE 或 PEP 塑膠布被覆的簡易鉸管溫室，多用於栽培蔬菜，每年的颱風季之後大抵需重建，折舊年數假設有 2 年。溫室 Y 為使用柱狀立柱的鉸管溫室，同樣使用 PE 或 PEP 塑膠布被覆，結構較強固，多用於栽培切花或瓜果類，耐用年數假設可提高至 3 年。溫室 Z 為使用 PC 或玻璃為被覆的鋼構溫室為最耐用，多用於栽培盆花或瓜果類，通常壽命可超過 5 年，但考慮業者之投資報酬率，以 5 年估算。假設溫室 X、Y 與 Z 的造價分別為每坪 2000，4000 與 10000 元，相當於 606，1212 與 3030 元/(m<sup>2</sup> 溫室面積)。圖 1 所示為上述三型溫室的典型代表。



圖 1a. 溫室 X，立管式鉸管溫室



圖 1b. 溫室 Y，立柱式鉸管溫室



圖 1c. 溫室 Z，鋼構溫室

如表 2 所示，溫室 Z 以單位溫室面積的造價看來是最高(10000 元/坪)，但若加上可栽培比例與可使用天數的考量，其變為最低(1.84 元/m<sup>2</sup>/日)；可見考量的角度不同是會影響決策的。

「每年可栽培天數」是一個模糊的名詞，應依據你所要栽培的作物允許的上/下限溫度與溫室加上降溫/加溫設備的極限能力配合當地氣候，合計三要項來決定。以下以降溫為主題做進一步說明：

如果溫室沒有任何降溫裝置、無天窗或開口面積不足且屋簷不高，則夏季在溫室內可能高達 45 度或更高，此些溫室在夏天恐怕都要荒廢了。若有適當開口面積的天窗，溫室內或許最高可不超過 42 度 C，則某些耐熱品種的蔬果應該能存活，如亞蔬六號的小蕃茄、莧菜與空心菜等。

在台灣的平地地區，通風良好的溫室可維持與室外溫度相同，上下限分別為 10 度與 40 度 C。溫室內若能配合蒸發冷卻系統進一步降溫，極限可設定在 35 度 C，若有遮蔭系統配合，極限溫度可再往下調。配合氣象局記錄多年的各地逐時氣象資料，再加上打算栽培的作物的允許溫度，可評估得知「每年可栽培天數」。

溫室可分為幾個等級：只能擋雨與遮風，能擋雨遮風兼抗風，能擋雨遮風兼抗風且可降溫，能擋雨兼抗風且可降溫與加溫。不同等級價位不同，「每年可栽培天數」也不同。農友要能自己評估各個等級的溫室能給自己增加多少收入，要與在戶外露天栽培比較。當要由一個等級升到另一個等級時，更要評估增加的功能所帶來的額外收入是否符合增加的成本。

業者應根據自己的資料填寫自己的表 1 與表 2，比較表 1 與表 2 中最終以「元/m<sup>2</sup>/日」為單位的數字，可提供一個初步的參考。由前列的表 1 與表 2 的數字看來，選擇栽培作物 C 並使用溫室 Z 似乎是最好的組合。然而，溫室 Z 涉及的初始成本(10000 元/坪)比溫室 Y(4000 元/坪)為高出許多，銀行貸款上的額外利息負擔可能高過其在造價上的優勢。選擇溫室 Y 可能更好。有些溫室業者提供

對流，一般是開天窗。沒有天窗的溫室或自然通風不良的溫室，要使熱氣遠離作物，則結構要高是一般的選擇，但愈高的建築，成本愈高且抗風性愈差。較低的結構較抗風，筆者個人認為純粹因為怕熱而拉高建築在成本投資上是頗划不來的，應由其他降溫對策上著手。台灣地區多颱風，因此在溫室結構設計上也必須加強，溫室 X 除了立管的地基要做好，四周也應以鋼纜拉地錨。溫室 Y 優於溫室 X，除了立柱的地基要做好，若能採用力霸式橫向結構則更佳。所有橫向支柱與縱向支柱都應有連結。溫室前配合破風網、擋風林、擋風土坡為更佳的设计。

台灣地區日照充足，大多數溫室均配備遮蔭網來減少日射量，除風扇外應考慮利用蒸發冷卻原理，以水牆或噴霧方式來進一步降溫。也須具有適量加溫的能力，以便在冬天尤其是夜間提供作物所需之溫度。另外，種苗在發芽階段的適溫也較高，且在濕冷的冬季，加溫可以降低濕度，兼具有效防止病蟲害之功能。

台灣地區需要的理想溫室包括要能抗風，通風還要好；要有遮蔭，降溫與加溫功能還要能防蟲。此些需求有些是彼此衝突，頗難兩全的。然而，經驗與前人的研究成果告訴我們，如何在兩難之間選擇最合適的设计。

- 結構要高與抗風：結構愈高者其抗風性愈差，要兩者兼具則使用的結構材料將所費不貲。前述的溫室 Z 結構強，屋簷可高；溫室 X 與 Y 則不宜太高，散熱可另尋對策。
- 要通風良好與加裝防蟲網：防蟲網會大幅減少空氣入口面積且增加室內外壓差，造成進入溫室的風量大幅減少。針對所要防止的昆蟲選擇適當尺寸的防蟲網就可以了，一般採 52 孔目即可。
- 要通風良好又要防風：通風良好的四邊開放的溫室在颱風來臨時，便將面臨貫入溫室內與風力施壓造成雙重上拔的破壞力，在此時如何做好防風是很重要的。捲揚式塑膠布下捲可防風，上捲可維持通風是必須的配件。溫室 Y 與 Z 結構較佳，溫室 X 的四周最好有鋼纜在四角各朝兩個方向拉住，如圖 2 中有箭頭的細線所示，另外，縱向與橫向都應該有連結來加強結構的強度。



線箭頭)較大，有較佳的自然通風效果。此種大面積天窗開口的設計通常較不抗強風，但配合風速的感測，可在強風時予以自動關閉。圖 2 的實體圖請參見圖 3。

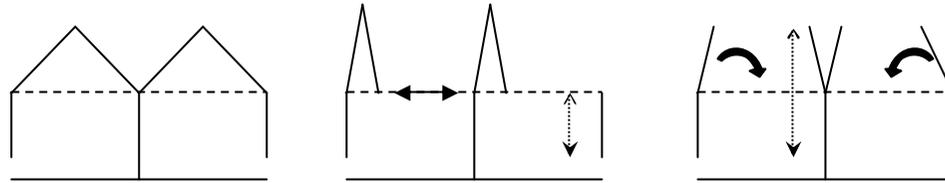


圖 2. 加強自然通風效果的新型溫室屋頂。a.屋頂關閉時，b.滑動式屋頂，c.展開式屋頂。空氣由下方進入，由上方逸出。展開式屋頂有最大的空氣開口與出口距離。



圖 3a. 圖 2b 的實體圖



圖 3b. 圖 2c 的實體圖

國內有見到在溫室的屋頂上方安裝免電力排風器的單層塑膠布溫室，其已可提供熱氣的出口，比起安裝前有明顯的改善。但若出風口與入風口高度相差不大，則煙囪效應的效果會大打折扣，出口面積少也是不利之處。

如圖 4 的溫室有雙層屋頂，但仍延續太子樓式屋頂的設計理念。雙層的屋頂中，上層只有中央部分有擋雨用的塑膠布，下層全為塑膠布被覆只有中央部分為開口。下層的開口部分再安裝防蟲網。開口面積小是本設計的缺點，自然通風的效果與太子樓式建築相同。



以下介紹使用正壓式涼風扇降溫的雙層透氣型鋁管溫室的設計理念，施工細節在此不予以討論。此設計事實上為植基於國內、外學者與溫室業者多年來的研發成果與實務經驗，筆者針對國內的需求與個人的主觀看法做一整合，在此與大家共享，亦請不吝指正。

#### 雙層透氣屋頂：

將溫室 X(立管式鋁管溫室)或溫室 Y(立柱式鋁管溫室)的頂蓬拆掉，改安裝 52 孔目的白色防蟲網(一般壽命為 3 年)，如此即可提供散熱的管道，此為內層屋頂。在防蟲網上方 30 公分處再加裝 PE 或 PEP 塑膠布的頂蓬來擋雨，此為外層屋頂。雙層屋頂的鋁管應使用套件鎖在同一垂直方向的鋁管上，鋁管上的鑽洞以最少為原則。

在植床栽培作物的溫室之屋簷高度在 2-2.5 米即可；在地面栽培作物的溫室之屋簷高度可在 2 米以內(圖 5a)，在迎風面再加上一層破風網更佳。圖 5a 之原圖中只有一層 PE 塑膠布屋頂，屋頂不高，熱氣又無出口是錯誤的設計；屋頂改為使用防蟲網，第二層屋頂(圖中手繪黑線)才用塑膠布可改良夏天溫室內太熱的缺點。單棟溫室如圖 5b 所示即為好的設計，連棟溫室在兩側之外的各棟，在塑膠布中央大約每 30 坪的面積可安裝免電力的渦輪排風器(採塑料材質可透光者尤佳)，用來抽走夾層(上層塑膠布與下層防蟲網)中的熱氣。如圖 6 所示，拱型或山型溫室均可採用此設計，虛線部分代表 52 孔目的防蟲網。



圖 5a 單層溫室的改良



圖 5b. 雙層屋頂的防蟲溫

分以內應避免雜草叢生(如圖 5b)。四周底部至少 30 公分以下範圍以塑膠布包覆。

保溫：

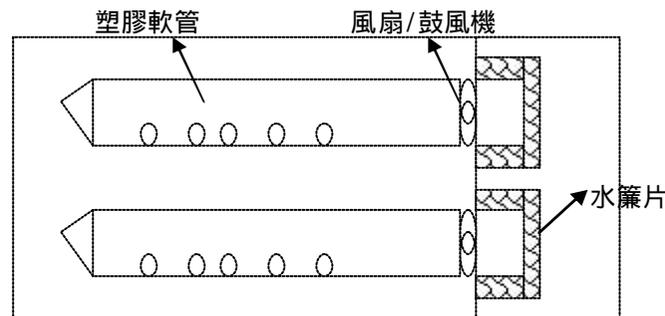
除了進出口側之外的溫室三側(至少兩側邊)由屋簷高度處加裝手動捲揚式塑膠布，允許將塑膠布由屋簷降至地面，平時即捲收於屋簷高度，側邊完全開放(仍有防蟲網保護)。此捲揚式塑膠布的目的除保溫外尚可防風，但真正颱風來時還是應捲收起來，避免加大受風面。此設計會增加成本，有些地區或許根本用不上，可參酌使用。

降溫：

採正壓式水牆風扇進行降溫，水牆與風扇(簡稱涼風扇)在溫室的同一側，仍然在溫室內，使用塑膠軟管將涼風送入溫室。系統的示意圖如圖 7 所示，涼風扇如圖 8 所示有分為下吹與側吹兩種機型。配合圖 7 使用的為側吹型。

分隔空間：

不論是否有安裝正壓式涼風扇，溫室應採分隔空間的設計，應有兩道門，人員進出先進「出入區」，關好門後再開另一道門進入「栽培區」。應訓練並要求員工，兩道門不可同時開啟。如圖 7 所示，水簾片部分即安裝於「出入區」，風扇/鼓風機在兩區的隔牆上，風管則在作物區。



## 六、新設計的優點

造價便宜、結構簡單、施工與維修容易是第一個優點。整棟溫室較低，抗強風能力更強是第二優點。上方採用防蟲網，相當於天窗的開口面積大幅增加，使熱氣能向上自然逸出，不會在溫室中累積是第三個優點。上方的防蟲網兼具遮蔭的功能，可省下額外的內或外遮蔭網的安裝成本是第四個優點。

整棟溫室以防蟲網包覆可降低蟲害的發生機率是第五個優點。負壓式水牆風扇降溫系統受室內外壓差的影響頗大，安裝防蟲網會大幅降低抽風風扇的通風量；正壓式涼風扇降溫系統較不受防蟲網的影響是第六個優點。在防蟲網外側或其他孔隙外，原來無意進入溫室的病菌與昆蟲，有可能會被負壓式水牆風扇降溫系統所吸入的風力給吸入溫室；正壓式涼風扇降溫系統在溫室中的任何開口位置的風力均是朝外，沒有前述吸入病菌與昆蟲的缺點是第七個優點。負壓式水牆風扇降溫系統在風扇側與水牆側免不了會有溫差，一般稱為溫度梯度；正壓式涼風扇降溫系統透過塑膠軟管將涼風導入溫室內，溫度梯度可較為緩和是第八個優點。

自然通風效果良好，溫室內外溫差不大(2度C以內)，可大幅降低風扇的使用時機，室內或室外的溫度過高(依栽培作物的需求而定)時，才開啟正壓式涼風扇降溫系統，可充分利用蒸發冷卻的好處而無傳統使用上的缺點是第九個優點。

傳統使用的負壓式風扇與水牆分別安裝在溫室的兩側，一定要使進入溫室的空氣都經過水牆才能發揮降溫功能，所以溫室必須保持氣密性良好是基本的要求。氣密性良好的溫室通常造價較高，另外，風扇如果不開，自然通風的效果一定不好，所以風扇又必須經常開。此類溫室完全無法利用溫室外的自然風與溫室內外自然對流的優點，完全仰賴風扇與電力是其最大的缺點。

在光線充足但不算熱的日子裡(28-30度C)，氣密性良好的溫室若不開啟風扇作通風，溫室內還是會頗熱(>35度C)，所以負壓式涼風扇必須常常開。在相同情況下，新型設計的雙層溫室的室內溫度可維持在32度C以下。換言之，正

室，無怪乎他們不使用正壓式涼風扇降溫系統，但台灣地區有許多小面積溫室，正壓式涼風扇降溫系統應可提供做為另一個選擇。

## 2. 雙層透氣屋頂的缺點

使用雙層透氣屋頂的溫室就無法使用負壓式風扇與水牆降溫系統，建築的成本也會比單層的簡易鋁管溫室稍高，但增加有限。

## 八、結論

為了使溫室在夏天仍能維持適當的溫、溼度，必須使用水牆與風扇透過蒸發冷卻方式降溫才有辦法達成。但是要使用水牆與風扇，大家以為傳統使用的負壓方式就是唯一的辦法。對大面積溫室而言，這是對的。

採負壓方式就必須有氣密性良好的溫室(通常較貴)，但這就把免費的自然風都擋了，也擋了熱氣由上方逸出的通道，造成室外不算熱，但室內已受不了的窘境，於是風扇與水牆需長時間的操作(電費較高)。為了防止斷電時溫室內因過熱造成對植物的傷害，又需添購發電機(增加成本)。平時在風扇不開時又不希望作物區太熱，於是加大溫室屋頂與作物的距離，於是溫室愈蓋愈高(增加成本)。溫室蓋高了之後，基於抗風的考量，於是結構愈用愈粗(增加成本)。長期以來的國內、外溫室有安裝負壓式水牆與風扇者都是如此的設計，是不是既矛盾卻又無奈？

對台灣地區許多的小面積溫室而言，一定要如此嗎？筆者在此介紹的正壓方式就是另一個選擇。對小面積溫室而言，此設計有其優越之處，然而，面積愈大的溫室，愈不適用。

配合正壓式涼風扇降溫系統的雙層溫室的新型設計應可解除台灣地區大多數小面積溫室面臨的矛盾與窘境，此系統對熱帶與亞熱帶地區的小面積溫室的設施與環控系統的結合做更合理的設計。透過此設計，期望農友能在合理的投資範圍內創造利潤，由累積的利潤中重新投入增加經營的規模與提昇設施內可調控的功能。所能調控的因子愈多，就愈不靈靠天吃飯。