

設施葉菜栽培夏季降溫措施

作物改良科 副研究員 林禎祥 分機 214

前言

根據內政部115年1月統計，新竹以北地區人口數約1,025萬人，約占全臺灣總人口數2,329萬人之44%，為農產品主要消費地。葉菜屬於民生必需品之一，為滿足廣大消費者的飲食需求，葉菜以設施模式栽培為主，設施栽培雖可阻隔外界不良氣候，但由於覆蓋物的隔絕作用，熱能及空氣濕度容易累積，又設施葉菜採高密度栽培，近來因夏季高溫及高濕環境，常見植株萎凋、葉片黃化及腐爛等受災等情形發生，平均造成43.5%產量減損（表1）。氣候變遷將導致極端高溫（熱浪）、強降雨等氣候事件更加頻繁發生，根據農業氣候情境查詢圖臺資訊，以AR6（IPCC Sixth Assessment Report）農業系集平均（Ensemble Average）模式，全球暖化氣溫升高2°C及4°C情境下進行分析，設施葉菜重要產區桃園市八德區8月日高溫月平均將由現況32.6°C分別升高至33.7°C及

35.6°C，日雨量月平均則由195.0 mm增加至217.2 mm及247.4 mm，顯示隨著氣候變遷，呈現溫度及雨量逐漸上升及增加的趨勢，將使設施內的高溫及高濕問題加劇，不利葉菜穩定生產。

簡易塑膠布溫室內夏季高溫蓄積情形

夏季設施葉菜栽培以薤菜、莧菜及十字花科不結球白菜為大宗，其發芽及生育適溫介於15°C至35°C之間（表2），當溫度超過生育適溫上限時，不利於作物生長，溫度高於40°C易發生生理障礙甚或產生葉燒現象；本場於114年2月至10月在桃園市新屋區、觀音區及八德區等3處農場以青梗白菜‘綠愛’移植及青梗白莧、薤菜‘桃園1號’直播，合計4期作栽培期間，以設施內溫度大於40°C為閾值，透過COUNTIF 函數計算試驗期間設施內高溫累積時間，結果顯示，設施內氣溫>40°C持續時間隨栽培期的延後而增加，日高溫部分，不論季節為何，栽培期間均可測得

表 1. 設施葉菜栽培場域春夏及秋冬季青梗白菜產量差異比較

地點	農場代號	單株鮮重 (g)		夏季 / 秋冬季 產量差異 (%)
		夏	秋冬	
桃園市八德區	A 農業生產合作社	70	124	-43.5
桃園市桃園區	B 有機農場	65	150	-56.7
新竹縣湖口鄉	C 有機農場	31	46	-32.6
新竹縣橫山鄉	D 有機農場	43	50	-14.0
平均		52	93	-43.5

備註：

1. 調查期間：114 年 6 月至 12 月。

2. 夏季產量差異：(夏季鮮重 - 秋冬季鮮重) / 秋冬季鮮重 x 100%。

40°C以上的高溫出現，顯見設施內氣溫>40°C的情形普遍發生（表3）。進一步透過計算流體力學（Computational Fluid Dynamics, CFD）軟體模擬分析顯示，溫

室內溫度主要累積於溫室頂部區域，此一結果與9處設施葉菜栽培農場紅外線熱像儀觀察情形相仿（圖1）。

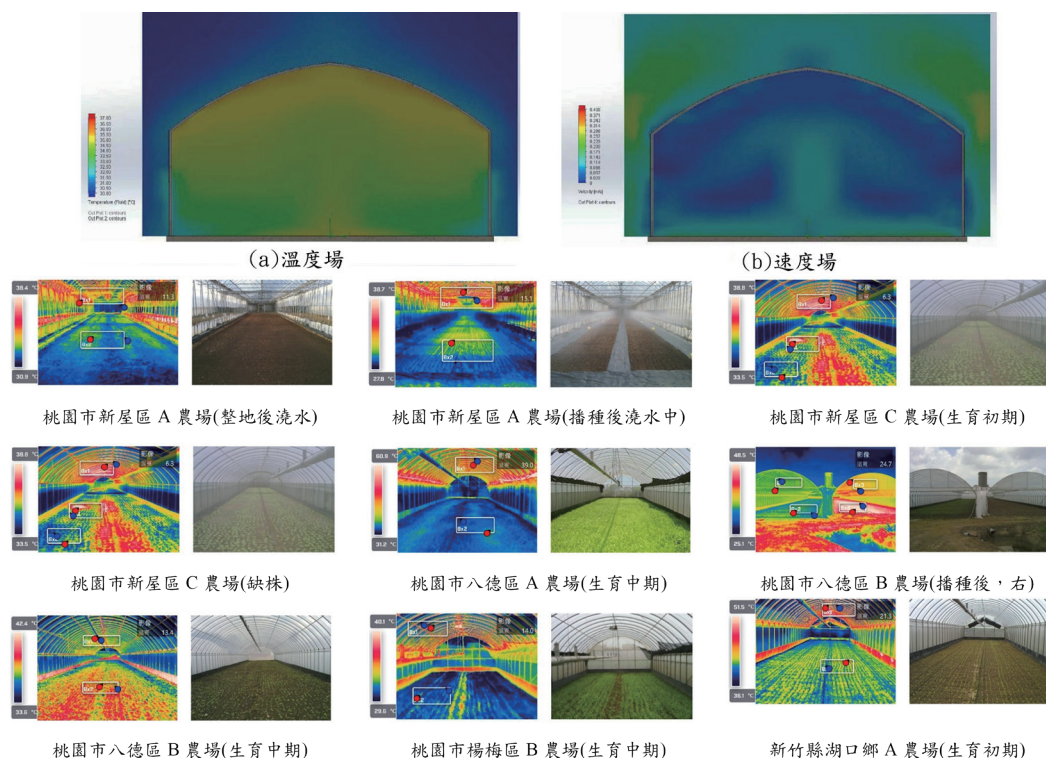
表 2. 夏季主要設施葉菜種類生育適溫

種類	發芽適溫 (°C)	生育適溫 (°C)
薺菜	20~30	> 20
莧菜	20~35	25~35
十字花科不結球白菜類	15~20	15~30

表 3. 試驗場域作物栽培期間設施內高溫累積情形

期 作	栽培日期 (day)	> 40°C持續時間 (min) ²
1	2/13 至 3/13 (28)	1,050
2	7/4 至 7/28 (24)	3,845
3	8/21 至 9/2 (12)	4,400
4	9/12 至 10/5 (23)	5,412

備註：> 40°C持續時間為 3 試驗場域各期作高溫持續時間平均值。



▲圖 1. 棟高 3m、塑膠布半開、防蟲網 24 目之簡易塑膠布溫室中心垂直剖面之溫度場與速度場 (a,b) 與簡易塑膠布溫室紅外線熱影像圖。

設施內高溫對葉菜生長及產量之影響

為了解簡易塑膠布溫室栽培之葉菜產量性狀與環境條件間之關係，以作物鮮重產量為依變數，地點、期作、株高、葉片數、株長、單株鮮重、高溫持續時間、日均溫、夜均溫、白天均溫、日高溫、夜高溫、日低溫、夜低溫、露天均溫、露天高溫、露天低溫、相對溼度及最小相對溼度為自變數，進行相關性分析，初步結果顯示，產量與葉片數、鮮重呈極顯著正相關，與日均溫及日高溫呈顯著負相關（表

4），表示日間高溫對鮮重產量表現有負面的影響。

高溫因應措施

溫室內空氣的溫度由進出溫室內外的熱量差異與大小所支配，影響環境熱能分佈及累積的因子有太陽輻射量、壁面傳遞熱量、換氣熱傳遞量、蒸發散吸收熱量、地面熱傳遞量及加溫系統提供的熱量等，而溫室內空氣溫度的升高，並非由空氣分子直接吸收太陽光熱量所致，主要係為溫室內硬體結構、地面、披覆資材或栽培器

表 4. 簡易塑膠布溫室栽培之葉菜產量性狀與環境條件間之簡單相關係數分析

調查項目	地點	期作	株高	葉片數	株長	單株鮮重	高溫持續時間	日均溫	夜均溫	白天均溫	日高溫	夜高溫	日低溫	夜低溫	露天均溫	露天高溫	露天低溫	相對溼度	最小相對溼度
產量	0.12	-0.47	-0.01	0.97**	-0.70	0.94**	0.11	-0.24*	-0.17	-0.22	-0.67*	-0.06	-0.11	-0.13	-0.17	-0.15	-0.17	0.20	0.08
地點		0.00	0.13	0.05	0.14	0.08	0.19	0.03	0.00	0.05	0.27	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00	0.03	-0.02	-0.16	-0.11
期作			0.59*	-0.48	0.35	-0.25	-0.80**	-0.69	-0.76**	-0.68*	-0.00	-0.82**	-0.79**	-0.77**	-0.75**	-0.74*	-0.76**	0.35	0.47
株高				-0.16	0.47	-0.04	-0.49	-0.57	-0.60*	-0.56	-0.10	-0.66*	-0.63*	-0.62*	-0.60*	-0.59*	-0.60*	0.45	0.53
葉片數					-0.85**	0.92**	0.08	-0.25*	-0.18	-0.24	-0.69*	-0.04	-0.12	-0.14	-0.18	-0.18	-0.18	0.48	0.13
株長						-0.77**	-0.01	0.24	0.19	0.22	0.64*	0.07	0.12	0.14	0.19	0.19	0.19	0.24	-0.07
鮮重							-0.03	-0.39	-0.37	-0.35	-0.69*	-0.28	-0.28	-0.30	-0.34	0.31	-0.35	-0.18	0.04
高溫持續時間								0.88**	0.87**	0.91**	0.47	0.81**	0.89**	0.89**	0.88**	0.89**	0.88**	-0.72**	-0.77**
日均溫									0.99**	0.99**	0.58*	0.94**	0.99**	0.99**	0.99**	0.99**	0.99**	-0.74**	-0.77**
夜均溫										0.97**	0.50	0.97**	0.99**	0.99**	1.00**	0.98**	1.00**	-0.65*	-0.69*
白天均溫											0.60*	0.90**	0.98**	0.98**	0.98**	0.98**	0.97**	-0.80**	-0.83**
日高溫												0.40	0.46	0.48	0.51	0.49	0.54	-0.65*	-0.46
夜高溫													0.97**	0.96**	0.96**	0.93**	0.96**	-0.55	-0.60*
日低溫														1.00**	1.00**	0.99**	0.99**	-0.69*	-0.75**
夜低溫															1.00**	0.99**	0.99**	-0.69*	-0.75**
露天均溫																0.99**	1.00**	-0.69*	-0.74**
露天高溫																	0.98**	-0.72**	-0.79**
露天低溫																		-0.68*	-0.71**
相對溼度																			0.95**

**：表示各因子間在 1% 水準下達顯著性相關

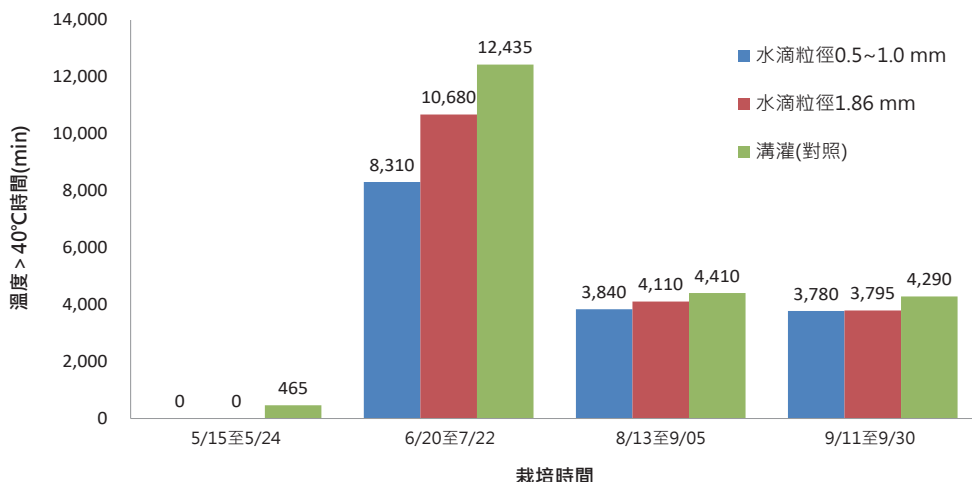
*：表示各因子間在 5% 水準下達顯著性相關

材等固體材料，吸收太陽光的輻射熱能，進而使表面溫度升高後，室內空氣再以對流方式吸收固體材料表面熱量，間接造成空氣升溫現象。北部地區葉菜農場在生產成本、計畫性生產、複種次數及穩定供應等因數考量下，多採捲揚式塑膠布溫室進行栽培，溫室內少有循環風扇、水牆及微霧系統之建置，在不過度增加生產成本為前提下，如何透過既有設備輔以適宜之栽培管理技術，減緩高溫對葉菜生長的不利影響，為產業亟待解決的課題。

(一) 灌溉模式

灌溉時藉由水滴的蒸發作用，可達到溫室內降溫效果。本場於113年夏季5月15日至9月30日進行4期作設施葉菜栽培，試驗期間分別進行水滴粒徑0.5~1.0 mm (MistAce S72側置式噴霧噴帶)、水滴

粒徑1.86 mm (Netafim SpinNet 200倒懸式噴灌) 及溝灌 (溫室開溝抽水灌溉，對照) 等不同灌溉模式對溫室內溫度變化之影響比較，結果顯示，第1期作 (5月15至5月24日) 僅溝灌 (對照) 處理，設施內溫度 $>40^{\circ}\text{C}$ 之累積時間為465 min，第2期作 (6月20日至7月22日) 高溫累積時間以溝灌最高 (12,435 min)，水滴粒徑1.86 mm居次 (10,680 min)，水滴粒徑0.5~1.0 mm最少 (8,310 min)，第3期作 (8月13日至9月5日) 及第4期作 (9月11日至9月30日) 亦呈現相同的趨勢 (圖2)，經合計4期作不同灌溉處理高溫 ($>40^{\circ}\text{C}$) 持續時間，相較溝灌之21,600 min，水滴粒徑0.5~1.0 mm (MistAce S72側置式噴霧噴帶) 及水滴粒徑1.86 mm (Netafim SpinNet 200倒懸式噴灌) 可分



▲圖 2. 不同灌溉模式對簡易塑膠布溫室內高溫 ($>40^{\circ}\text{C}$) 累積之影響。

備註：

1. 以 113 年 5 月 15 日至 9 月 30 日 4 期作設施葉菜栽培數據分析。

2. 灌溉模式：

(1) 水滴粒徑 0.5~1.0 mm：MistAce S72 側置式噴霧噴帶。

(2) 水滴粒徑 1.86 mm：Netafim SpinNet 200 倒懸式噴灌。

(3) 溝灌：溫室開溝抽水灌溉。

表 5. 不同灌溉模式對簡易塑膠布溫室內高溫 (> 40℃) 累積情形分析

灌溉模式	高溫累計時間 (min)	高溫時間減少比例 (%)
噴灌水粒徑 0.5~1.0 mm	15,930	26.3
噴灌水粒徑 1.86 mm	18,585	14.0
溝灌 (對照)	21,600	-

備註：同圖 2。

別減少26.3%及14.0%高溫持續時間 (表 5)。本試驗結果顯示，當灌溉時水滴越小對降低溫室內熱能蓄積的效果越佳，此或為水滴越小，其總表面積與空氣的接觸面積越大，水分子從液態轉化為氣態 (蒸發) 的速率就越快，降溫效果越佳所致。

(二) 遮光

透過遮光網減少夏季過多的太陽輻射，進而達到降低溫室內熱能累積效果。遮光網依據材質分為聚乙烯 (Polyethylene, PE)、壓克力及表面鋁箔塗覆，編織方法則有平織、羅紋織及針織 (百吉網) 等，顏色有白、黑、銀、綠及紅等色系，遮光網透過編織成不同大小之網目來產生特定規格之遮光率，市售遮光網的遮光率會標註於型錄上農民可自行選用。農業用遮光網之遮光率介於20% 至 95% 之間，最常見的標準規格為 50%、

60%、70%、80% 與 90%，設施葉菜栽培多採用遮光率50%及60%，以兼顧作物生長與夏季降溫需求。遮光網之鋪設有外遮蔭、內遮蔭及設施屋頂面遮蔭等3種 (圖 3)，以外遮蔭降溫效果較佳，但設置成本較高，且在強風地區易有受強風吹襲致損疑慮。因此，北部地區多採用設施屋頂面遮蔭及內遮蔭方式操作。

遮光網使用上應注意下列事項：

1. 顏色：白色或銀色遮光網反光性高且不易吸熱，可改善黑色遮光網具有容易吸熱，吸熱後二次會將熱能再釋放到設施內之缺點。
2. 濕度：遮光網建議以作物不受日光直射為原則進行設置，進而改善遮光環境下易產生空氣相對濕度較高的現象。
3. 遮光時間：相較於需要強光的瓜果類 (如番茄、甜椒)，短期葉菜類對光照



外遮蔭



內遮蔭



設施屋頂面遮蔭 (左)

▲ 圖 3. 不同設施葉菜簡易塑膠布溫室遮蔭網鋪設樣態。

的需求較不嚴格，但它們仍屬於陽生蔬菜，若長期光照低於其生理需求，易因光合作用不足而出現徒長、葉片變薄及產量下降等情形，因此若以降溫目的，可透過農業AloT (Artificial Intelligence of Things)、程式化邏輯控制器 (PLC · Programmable Logic Controller) 或集中式場域監控系統 (SCADA · Supervisory Control and Data Acquisition) 等系統的應用，感測設施內環境資訊，可設定溫度為閾值(如 $>40^{\circ}\text{C}$)，當溫度達到控制標準時啟動遮蔭作業，待環境溫度降至閾值以下時將遮蔭網收起，如此可避免過度遮蔭而影響產量之情形發生。

(三) 其他輔助措施-設施管材結構塗佈

設施管材結構物，如金屬鋁管、連接構件及PVC管等，易吸收太陽輻射進而產生蓄熱現象，可於其表面塗覆白色反光漆，藉由光線的反射減少固體材料對太陽輻射的吸收量，有助於避免設施內空氣過度吸熱，減緩升溫的效應。雲林縣西螺鎮

及荊桐鄉地區，部分葉菜栽培溫室透過結構管材塗佈白漆 (圖4) 反射太陽光，相較無塗佈白漆的溫室，在白天外界氣溫 35°C 時量測，可降低管材溫度 10°C 至 15°C ，設施內溫度約可降低 3°C ，有改善溫室內高溫蓄積的效果。

結語

設施栽培雖能阻隔外界的不良環境，但在實際應用時，生產效益常因區域、商業模式、災害種類與成本效益等相異需求而受限，例如，溫室的覆蓋物雖能帶來隔絕效果，卻也容易累積熱能，且內部空氣交換效率不如露天栽培，這種高溫的環境，常導致植株萎凋及葉片黃化與腐爛，對農作生產十分不利。目前常見的溫室降溫方法有通風、遮陰、噴霧、屋頂流水、蒸發冷卻及空調設備等。一般而言，環控設備愈多、系統運作愈精密，生產成本亦隨之增加，且其控制限度仍會受限於當地的外在氣候條件，因此在經營規劃上，合理應用設施及設備與資材，才是成功的關鍵。因此，本文針對設施葉菜的實務栽培



▲ 圖 4. 葉菜栽培溫室透過結構管材塗佈白漆，藉由反射太陽光進而改善設施內高溫蓄積問題。

情形，在不過度增加生產成本的前提下，提出因應夏季高溫的可行措施，以協助農民達到穩定夏季葉菜生產的目的。

參考文獻

1. 內政部戶政司人口統計資料 (<https://www.ris.gov.tw/app/portal/346>) 。
2. 農業氣候情境查詢圖臺 (<https://accn.ncdr.nat.gov.tw/scenario>) 。
3. 林禎祥、賴信忠。2026。從設施葉菜省工管理模式看數位工具之應用。國際農業科技新知110：11-16。
4. 陳加忠。1994。設施種類與結構模式。農業試驗所特刊第47：亞熱帶地區花卉設施栽培技術p.6-10。
5. 張簡秀容。2006。設施短期葉菜類栽培技術。桃園區農技報導 53：1-4。
6. 張金元、李聲謙、黃裕益。2020。環境控制設備與應用。p.142-231。刊於：黃裕益、李文汕、黃金川、張金元、李聲謙、楊秀珠、蔡致榮。熱帶亞熱帶溫室設計的理論與應用。財團法人中正農業科技社會公益基金會。臺北市。
7. 黃子彬。1996。宜蘭地區夏季葉菜類設施栽培。花蓮區農業專訊 16：4-9。
8. 楊上千、陳海菁、萬鍾汶。2018。臺灣設施農民擴建意願與採用決策分析。應用經濟論叢 103：241-272。
9. Kim, H. K. 2024. Evaluating the ventilation performance of single span plastic greenhouses with continuous screened side openings. Agronomy (<https://doi.org/10.3390/agronomy14071447>) 。
10. Li, H., Li, Y., Yue, X., Liu, X., Tian, S., and Li, T. 2020. Evaluation of airflow pattern and thermal behavior of the arched greenhouses with designed roof ventilation scenarios using CFD simulation. PloS one, 15 (9) , e0239851.
11. Wang, S., K. Naimin, L. Lirui, H. Yuexuan, P. Wenjun, L. Xiaohan, Q. Chi, L. Zijing, Z. Wei, J. Chengyao, L. Mengyao, Z. Yangxia and Wei L. 2025. Spatiotemporal analysis of ventilation efficiency in single-span plastic greenhouses in hot-humid regions of China: using validated CFD modeling. Agriculture. (<https://doi.org/10.3390/agriculture15161792>) 。
12. Xu, J., W. Bai, J. Wang, Z. Mu, W. Sun, B. Dong, K. Song, Y. Yang, S. Guo, Shu, S. 2023. Study on the cooling effect of double-Layer spray greenhouse. Agriculture (<https://doi.org/10.3390/agriculture13071442>) 。