溫室用創新節能披覆材料開發

蔡竣宇[*]、艾群[*]、甘若泉[**]、潘宇晨[**]、李茂田[**]
[*]國立嘉義大學生物機電工程系
[**]國立嘉義大學應用化學系

一、摘要

台灣夏天氣候炎熱，導致溫室內部溫度過高，不利於人員作業與植物生長。太陽輻射中，導致溫室溫度升高的紅外線約佔總輻射量的 50%，因此若能透過光選擇性薄膜來阻擋紅外光將可達到降溫的效果。本研究嘗試改善溫室披覆材料，使其減少紅外線穿透，且維持適當可見光的方式，以達到降低溫室內溫度。本研究選用乙烯-醋酸乙烯酯共聚合塑膠（EVA，Ethylene-Vinyl Acetate Copolymers）做為塑膠膜基材，並加入數種無機氧化物製作成薄膜。製作完成的薄膜，以原子力顯微鏡（Atomic Force Microscope , AFM）掃描其表面型態，發現其表面平均粗糙度恰好落在 CNS 訂立的粗糙度在 N3 以下（＜100nm），顯示薄膜表面平整，不會影響光線的穿透率。填加劑在薄膜內的分散性則使用掃描式電子顯微鏡（Scanning Electron Microscope ,SEM）觀察，實驗更使用 UV-VIS 光譜儀量測可見光與近紅外光之穿透與反射特性，以進行配方調整。實驗結果顯示，相較於傳統的 LDPE 塑膠膜，本研究開發之塑膠膜，可得到高達 2~3℃的降溫效果。

關鍵詞：溫室、乙烯-醋酸乙烯共聚物、高分子複合材料

二、前言

溫室（greenhouse）主要是用來種植作物的人造建築，可以透過控制溫室內部溫度、濕度等因素來提高農作物的產量，也可以降低病蟲害以及氣候變遷的影響。在太陽輻射中熱的來源主要來自紅外光，當有大量的紅外光進入溫室，若溫室內空氣沒有對流會使溫室內部溫度逐漸升高。在熱帶國家以及亞熱帶國家夏天炎熱高溫，使得溫室內溫度過高不利於人員在溫室內種植以及作物生長，因此需開發降低溫室內溫度的方法及材料。

太陽輻射主要可以分為紫外線（UV），可見光(VIS)及紅外線（IR），光譜波段。可見光包含光合有效輻射（Photosynthetic Active Radiation ,PAR）。紫外線（UV）又可分成三個波段：UV-A（320-400nm），UV-B（280-320nm），UV-C（100-280nm），可見光光譜為 400-780 nm，光合有效輻射波長為 400-700nm，光合有效輻射對植物的

生長是非常重要的光譜區域。紅外線輻射可分為：近紅外(NIR) 780-3000nm，中紅外（MIR）3000-50,000 nm 和遠紅外線（FIR）50,000 nm。在太陽輻射中紫外光佔 5%、可見光 45%及紅外光 50%，在能量較高的紫外光及長波長的紅外光會使得溫度升高，由於紫外光僅佔全光譜的 5%，所以對溫度的影響是有限的，而紅外光佔全光譜的 50%，因此紅外光是造成溫度上升的主要因素。文獻中[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11]降低溫室內溫室的方法很多.本研究透過在薄膜加入不同的化合物及添加劑，來提高紅外線反射率，降低紅外線的穿透，使得溫室內的溫度降低，配合紫外光測試儀進行強度的老化測試，從 UV-VIS 光譜探討可見光與紅外光的穿透與反射，原子力顯微鏡觀察膜的表面粗糙度，再經由掃描電子顯微鏡觀察薄膜的分散情況，最後測量溫度觀察溫度變化。

三、材料與方法

3.1 儀器設備

- 德國原子力顯微鏡（AFM）：JPK，Axiovert200，德國
- 光纖偵測器：ocean optics USB4000，美國
- 掃描電子顯微鏡（SEM）：Hitachi　SU8000
- 紫外光測試儀：UD-403，佳和科技有限公司
- 熱電偶溫度計：TECPEL，DTM-319a，台灣
- 自製塑膠膜押出機，台灣。

3.2 材料與製備

3.2.1 材料

乙烯-醋酸乙烯酯共聚合塑膠(EVA，Ethylene-Vinyl Acetate Copolymers)：台灣聚合化學品股份有限公司

3.2.2 製備方法

EVA 分別添加不同比例之奈米顆粒及添加劑，混合攪拌均勻。如表 1：

開啟機台加熱到 200 ˚C 左右，為了使螺桿的塑膠粒子熔化成膏狀，避免轉動時螺桿中的塑膠粒未熔化而導致螺桿斷裂，因此必須先熱機兩個小時後才可開始倒入塑膠粒，經過螺桿旋轉(轉速 30-32.5rpm)將塑膠料帶到模頭出料在螺桿旋轉同時會將熔化的塑膠粒，在經過成型輪(轉速 2.10-2.15m/min)擠壓而製成薄膜，成型輪中會通冷卻水，使薄膜可以降溫並且成型，而冷卻水溫度會影響膜穿透度，冷卻水溫度過高會導致薄膜霧化降低穿透，我們將冷卻水固定在 20-22 度，最後再用捲收機將薄膜捲收，塑膠薄膜可以經由螺桿轉速以及成型輪的速度來控制薄膜厚度。當在捲收輪捲收過程中，同時利用厚薄計隨機觀察塑膠膜的厚薄度，隨時調整參數來修正所需要的塑膠膜。押出機如圖 1：

表 1. 樣品配置

樣品名稱	EVA	Z(200)	Z(20)	S	IB	BC	H	A
EVA	1000g	0g	0g	0g	0g	0g	0g	0 ml
H	1000g	0g	0g	0g	0g	0g	10g	0 ml
0.2Z	1000g	2g	0g	0g	0g	0g	0g	0 ml
0.3Z	1000g	3g	0g	0g	0g	0g	0g	0 ml
0.2Z(20)	1000g	0g	2g	0g	0g	0g	0g	0 ml
0.3Z(20)	1000g	0g	3g	0g	0g	0g	0g	0 ml
0.2S	1000g	0g	0g	2g	0g	0g	0g	0 ml
0.3S	1000g	0g	0g	3g	0g	0g	0g	0 ml
0.3S+H	1000g	0g	0g	3g	0g	0g	10g	0 ml
0.3S+H+A	1000g	0g	0g	3g	0g	0g	10g	10 ml
0.3Z+H	1000g	0g	3g	0g	0g	0g	10g	0 ml
0.3Z+H+A	1000g	0g	3g	0g	0g	0g	10g	10 ml
0.2IB	1000g	0g	0g	0g	2g	0g	0g	0 ml
0.2BC	1000g	0g	0g	0g	0g	2g	0g	0 ml

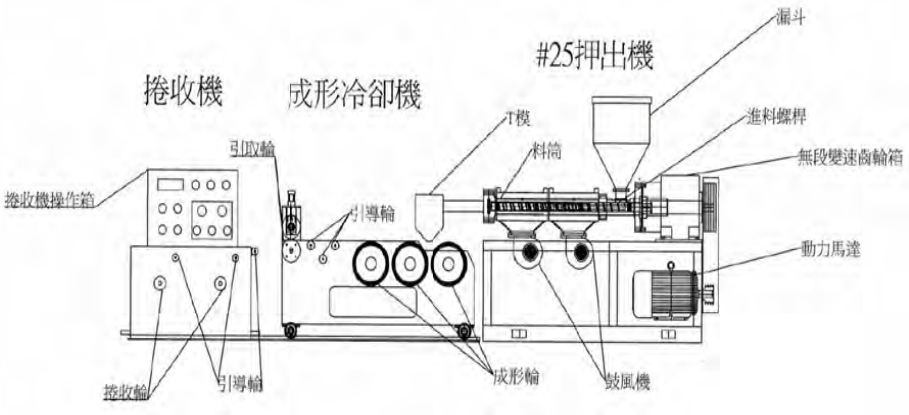


圖 1. 塑膠膜押出機

四、結果與討論

4.1 光學性質比較

4.1.1PE 與 EVA 比較

當光照射到薄膜會發生穿透、反射、吸收，而吸收。經過公式計算得到 PE 及 EVA 的可見光(400-780nm)、近紅外光穿透率(780-1040nm)及反射率，EVA 的可見光、近紅外光穿透率皆明顯的高於 PE 農業用膜，在 NIR 反射率上 EVA 也比 PE 來的高，但可見光穿透率上升，同時近紅外光穿透率也跟著上升，本篇定義可見光穿透率／近紅外光穿透率，表示穿透 1 單位的近紅外光時，可見光穿透多少單位，所以也就代表說比值越大可見光穿透率越高。吸收率從全部光線減去穿透及反射就可得知吸收率如表 2 所示，EVA

的 NIR 吸收率比 PE 低，因 NIR 是主要發熱來源因此 NIR 吸收低可以降低薄膜溫度而間接地影響溫室內部的溫度，使溫度下降。從表 2 中得知 EVA 本身有較好的可見光穿透、高反射率，及低吸收率的特性。

表 2. PE 與 EVA 的穿透率、反射率、吸收率

	VIS (Transmittance)	NIR (Transmittance)	VIS (reflectance)	NIR (reflectance)	VIS (absorb)	NIR (absorb)	VIS/NIR (Transmittance)	Thickness (mm)
PE	57.2%	68.5%	4.9%	5.7%	37.9%	25.7%	0.83	0.16
EVA	76.6%	82.9%	7.4%	8.2%	15.9%	8.9%	0.92	0.17

4.1.2 不同濃度與無機氧化物的光學性質

當光線照射到樣品時，會發生穿透、反射、吸收的現象，因此添加不同濃度的 S、Z (200)、Z (20)、藍色釉料及陶瓷粉末的 EVA 膜對可見光紅外光的消長作分析。先從不同濃度的薄膜與市售的 PE 農業用薄膜做比較，選擇出有較高的可見光穿透率以及低 NIR 穿透率，或是較接近農業用 PE 膜的可見光與 NIR 穿透率。從圖 3 及圖 4 觀察，我們用市售的農業用 PE 膜與我們的 EVA 膜比較可見光穿透率以及 NIR 穿透率，從可見光的穿透率來觀察純的 EVA 的可見光穿透率可以比市售 PE 農業用膜的穿透率來的高，可達到 74%的穿透率，因此還有空間可以添加無機氧化物來降低 NIR 穿透率。

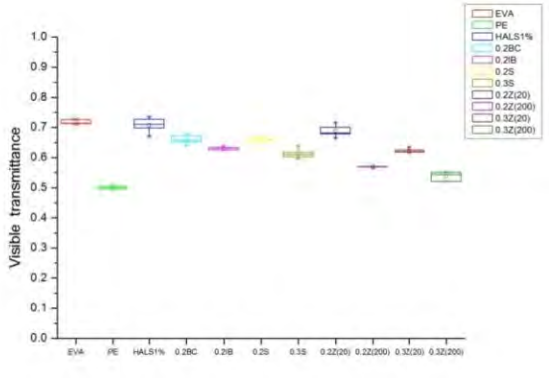


圖 3. 不同濃度及不同添加物 VIS 穿透率比較圖

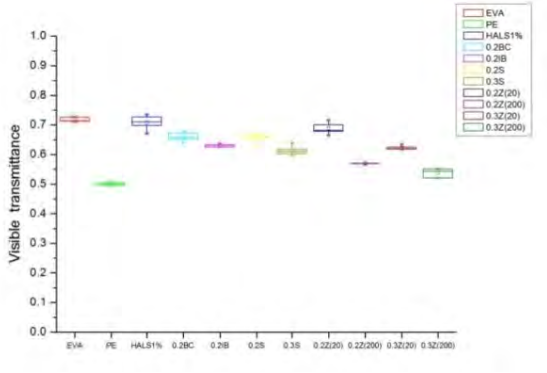


圖 4. 不同濃度及不同添加物 NIR 穿透率比較圖

4.1.3 0.3S 及 0.3Z 添加 UV 穩定劑及分散劑的光學性質

添加 UV 穩定劑（H）為了降低薄膜老化速度，而添加分散劑為了讓無機氧化物在 EVA 中希望可以有更好的分散性、提高可見光穿透及降低 NIR 穿透率避免發生團聚的現象。在圖 3 以及圖 4 我們已經確認 H 並不會影響

穿透度。

從圖 5 可觀察到在 0.3S 的所有樣品中可以發現其可見光的範圍落在 57-73%左右，在 0.3S+H+A 的樣品中可見光與 0.3S 的樣品可見光分佈範圍較相近，從可見光分佈來看，在 S 添加 A 分散劑並不會提升可見光穿透性，添加 S 的所有樣品其可見光都維持在 60%以上，0.3Z 的所有樣品中就有稍微落差，0.3Z+H+A 比 0.3Z 及 0.3Z+H 的可見光低，但是在可見光分佈範圍有重疊的部分落在 46-50%，從圖中可以知道添加 A 後其分散性可能還是不均勻的情況。從圖 6 觀察 NIR 穿透率，在 0.3S 的三種樣品當中，NIR 穿透率都較接近 PE 約 63-80%，0.3Z 的三種樣品當中，NIR 穿透率在 49-52%比 PE 的 NIR 穿透率低，相對的在可見光的部分也會跟著降低。從可見光及 NIR 穿透分佈圖中得知，添加 A 並不會使分散性更好，且不會提升可見光穿透及降低 NIR 穿透。推斷 A 對於分散 Z 及 S 在 EVA 中的分散性可能沒有明顯的效果。

4.2 表面粗糙度測量

在反射紅外光主要會受制於材料的折射率、顆粒大小、粒子分佈，黏合劑濃度及入射光的波長影響。平均粒徑、粒徑分佈、和顆粒形狀都是我們需要得知的重要訊息，其中以粒徑的大小最為重要，用於反射近紅外光波長 800-1200 nm 的粒徑大小至少應為待反射光波長的一半，即 400-600 nm。因此在壓膜的過程中要確定塑膠膜的平滑度，根據 CNS 的標準，粗糙度在 0.05 μm 以下為光滑平面，不影響可見光透射。

可以發現 EVA 的表面較為光滑平均粗糙度在 18.66nm 低於 PE 的粗糙度，0.3S 平均粗糙度 21.51nm，0.3Z 平均粗糙度 62.90nm，兩個樣品做比較可以發現添加 Z 表面粗糙較為粗糙而根據 CNS 的標準，粗糙度在 0.05 μm 以下不影響可見光，0.3Z 的表面粗糙度以大於 0.05μm，因此導致可見光穿透率下降。

4.3 溫度測試

為了確定 0.3S、0.3S+H+A、0.3Z、0.3Z+H+A 這四種薄膜是否有降溫效果，自製小型溫室分別覆蓋上四種薄膜來測量溫度，溫度測量時間在 11 點到中 12 點，分別測量薄膜溫度與溫室內溫度，以市售 PE 農業用膜當作標準在與我們的四種樣品做比較，比較薄膜溫度以及溫室內溫度的趨勢。從溫度比較在 0.3S 與 0.3S+H+A 的薄膜溫度及溫室內溫度與 PE 相比，我們的兩種樣品都有降溫的效果甚至比 PE 的降溫效果好，而 0.3S 的降溫效果較 0.3S+H+A 好，在 0.3Z 及 0.3Z+H+A 的降溫效果也比 PE 來的好。將各樣品的薄膜溫度與溫室內溫度平均後在與 PE 的溫度相減得出表 3，從表中可以得知添加在 S 的的薄膜溫度比添加 Z 的薄膜溫度來的低，表 3(a)0.3S 薄膜溫度比 PE 低 2.85℃，溫室內溫度比 PE 低 2.3℃；0.3S+H+A 薄膜溫度比 PE 低 1.69℃，溫室內溫度比 PE 低 1.32℃；表 3(b)0.3Z 薄膜溫度比 PE 低 2.62℃，溫室內溫度比 PE 低 1.98℃；0.3Z+H+A 薄膜溫度比 PE 低 1.07℃，溫室內

溫度比 PE 低 0.82℃，薄膜溫度與溫室內平均溫度都可以降 1-2℃。從文獻中可知道 S 在 7-13μm 的 IR 波段的 IR 效率較高於 Z，因而導致 S 的降溫效果比 Z 的降溫效果來的好。由於 S 的可見光穿透還維持在 60%以上，且 NIR 反射率也較高，所以希望在後續實驗可提高比例來增加 NIR 反射率並且降低 NIR 穿透率，以及有更好的降溫效果。

五、 結論

本文希望透過加入各種奈米顆粒來幫助我們減少近紅外線穿透，從原子力顯微鏡(AFM)的掃描結果，押出機壓製的塑膠薄膜表面光滑平整，表面粗糙度不影響光線穿透率的範圍內，不會造成光線的漫反射情形導致光線穿透率降低。達到「阻隔近紅外光進入溫室內」，並且同時「保留一定量可見光穿透率」。適當的修改光線穿透率有助於溫室內植物的生長，也能確保溫室內溫度不會過高造成植物生長困難。將農業用 PE 膜與我們的樣品進行比較，根據穿透率以及反射率數據篩選出最適當的比例，使薄膜能符合所要求的條件：增加近紅外光反射率，同時保留可見光穿透。溫度實驗中我們希望壓製的薄膜能夠適合台灣的氣候，我們自製了小型溫室，並覆蓋薄膜來測量薄膜溫度及溫室內溫度，將 0.3S、0.3S+H+A、0.3Z 與 0.3Z+H+A 四種樣品與 PE 做溫度比較，這四種樣品的薄膜平均溫度及溫室內平均溫度都可以比市售的 PE 農業用膜的溫度來的低 2-3℃。希望在後續實驗可提高比例來增加增加 NIR 反射率並且降低 NIR 穿透率，以及有更好的降溫效果。

六、 參考文獻

1. Sonneveld, P. J.; Swinkels, G. L. A. M.; Kempkes, F.; Campen, J. B.; Bot, G. P.A. Greenhouse with an integrated NIR filter and a solar cooling system.I*n: International Symposium on Greenhouse Cooling* 719. **2006**, pp 123-130.
2. Landsberg, J.J.; White, B.; Thorpe, M. R. Computer analysis of the efficacy of evaporative cooling for glasshouses in high energy environments. *Journal of agricultural engineering research*,**1979**,24(1), pp 29-39.
3. Morris,L.G.;Trickett,E.S.; Vanstone,F.H.; Wells,D.A. The limitation of maximum temperature in a glasshouse by the use of a water film on the roof. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **1958**, 3(2), pp 121-130.
4. Abdel-Ghany, A.M.；Kozai, T.; Abdel-Shafi, N. Y.; Taha,I.M.S.; Huzayyin,A.S. Dynamic simulation modeling for heat and water vapor transfer in the fluid-roof greenhouse. *Japan Journal of Agriculture Meteorology*, **2001**,57(4), pp 169–182.
5. Van Bavel, C. H. M.; Damagnez, J.; Sadler, E. J. The fluid-roof solar

greenhouse:Energy budget analysis by simulation. *Agricultural meteorology*, **1981**, 23, pp 61-76.

6. Garcia-Alonso, Y.; Espi, E.; Salmeron, A.; Fontecha, A.; Gonzalez, A.; Lopez, J. New cool plastic films for greenhouse covering in tropical and subtropical areas. *International Symposium on Greenhouse Cooling* 719. **2006**, pp 131-138.
7. Verlodt, I.; Verschaeren, P. New interference film for climate control. *XXV International Horticultural Congress, Part 4: Culture Techniques with Special Emphasis on Environmental Implications* 514. **1998**, pp 139-146.
8. 趙政男，有色塑膠布保溫育苗對水稻秧苗生育之影響，*中華農業研究*，**1982**，31(4)，pp 275-282。
9. Rosenfeld, A. H.; Akbari, H., Romm, J. J.; Pomerantz, M. Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction. *Energy and Buildings*, **1998**,28(1), pp 51-62.
10. Hemming, S.;Kempkes, F.; Van der Braak, N.; Dueck, T.;Marissen, N. Greenhouse cooling by NIR-reflection.In*International Symposium on Greenhouse Cooling 719*.**2006**, pp 97-106.
11. 方上維，聚乙烯膜系溫室披覆層改質與應用，碩士論文，國立嘉義大學應用化學系暨研究所，嘉義，2014。