

PVC被覆材料之光學特性測定

A Technique for Measuring Light Characteristics of Covering Materials in Agricultural Structures

侯文祥

by

Wen-Shang Hou

關鍵字：光透過率、被覆材料、日射量、照度、分光波長能量

Key words: light transmittance, covering materials, solar irradiance, illumination, spectral wave length energy

摘要：本文提供一客觀的實驗測定法以了解被覆材料的光學特性。實驗設計包括日射量透過率測定、光照度透過率測定和分光波長輻射能量透過率測定等三部分。並測定台製和日製軟質PVC布被覆材料22種，結果顯示：抵達地面的太陽輻射能量中，可見波長區佔約三分之一能量，其中短波長側含有能量比極低，紅色光側能量比高，而以黃橙色波長區（560nm以上）的單位波長能量強度最高。透明PVC布的全日光能量透過率為86~91%，其中可見光波區含有33%，不可見光波區則有67%。而可見光波區能量的透過率為90.3~93.7%。至於日製及台製產品以及材料厚度不同，在透過率差異上並無明顯差別，只有在可見光波區內的短波長側，日製材比台製材有較高的分光透過率。即使不同著色PVC布，除了黑色及黃色霧狀等少數深色且噴霧處理的材料以外，均仍有高達82%及86%以上的光量和能量透過率。其中，透過霧狀材料的光線中，仍有70%光量和87%能量為直達光強度，且可見光波長能量透過率亦仍高達85%。除黑色PVC布以外，只有黃色霧狀PVC布可減低將近一半的透過率，達到63%光量及65%能量的透過率。

前 言

為因應各種類作物光及溫度的生長環境需求，能提供諸如防光、防暑、防寒、防旱、防雨、防蟲、防鳥等多目標保護被覆材料的研究開發也趨於多樣性。基於植物主要靠光能推動光合作用，合成碳水化合物以維持正常生長。若光量不足時，不僅作物莖葉會產生徒長，更會花芽發育不良，著果率及果實品質降低。尤其對喜光作物，如黃瓜、番茄、茄子等主要果菜作物，若生長在設施內的光量僅為露地之半量以下的環境，障害就發生。因此，光特性是考慮被覆材料是否適合作物栽培利用之最主要因素。從設施投資經濟性觀點而言，如能對材料的特性有確切的認識，將有助於尋求適當的設施與材料的組合，以達節約成本的目標。本省之溫室、隧道型溫室及畦面覆蓋所使用之被覆材料在硬板方面有玻璃、FRP、FRA、MMA、PC、PE及PVC等，在軟質方

1. 台灣大學農業工程學系講師。Instructor, Department of Agricultural Engineering, National Taiwan University.

2. 本文於82年12月9日收到。Date received for publication: Dec. 9, 1993.

PVC、PE、EVA及不織布等。台灣本身可以生產者包括玻璃、FRP、PVC、PE及不織布等，其他大都有賴國外進口。從光學特性區分，在軟質材方面，從單純的保溫到具有光線選擇、抑制長波放射透過率的高保溫性等機能。在硬質材方面，則分別有散亂光高透過、短波直射光低透過或兩者均高透過特性的複層板等材料研發。甚者，針對環保與資源節省要求，材質的再生使用、紅外線反射或紫外線抑止的資材等亦在研究開發中。因此，為落實設施材料本土化的目標，不同被覆材料製造的差異與光學特性良窳之間的關係，有必要發展較明確的量化技術以作為評估的依據。

被覆材料反應出的光特性可被定量於能量透過率、遮光性及分光透過率等項目。因植物生理感應的波長範圍在300~800nm，此段波長稱為生理有效輻射（physiological active radiation），其中影響光合成作用之波長主要在400~700nm之間，此段波長又稱為光合成有效輻射（photosynthetically active radiation, PAR）⁽⁶⁾。本研究乃提出包括全日光輻射能量透過率（Global solar radiation transmittance）及散亂光透過率（Diffuse light transmittance）、照度透過率（Illuminant transmittance）及380~760nm區間波長的分光能量透過率（Spectral wavelength energy transmittance）等四種計測法的設計原理及改良之技術，於81年7月及82年6月兩度應用於多種PVC材料之光特性測定。期以簡易、客觀的測定，為國內廠商研發各種設施被覆材料提供一可簡量化各種產品光學特性的技術。

材料及方法

一、測試例用被覆材料：

台灣現有溫室或隧道型設施所使用的被覆材料以PVC材料（聚氯乙烯）使用最為普遍。經收集得由日本兩廠商及國內兩廠商等所製造之PVC產品，其類型包括軟質透明及各種著色、噴霧表面處理等共22種。其透光性，大略為透過率大，黑住曾指出日本軟質透明PVC可達92%（0.1mm）⁽⁶⁾。測試前，均先予抖拭，保持材料表面潔淨，以減少誤差。且為了客觀的比較測試結果，相似材料應於同日同時段計測，以消除因太陽高度及氣象條件不同引起的誤差。

二、測定儀器及器具：

- (一)照度計（Topcon IM-3）兩台，同步測量被覆及無被覆時的光量照度。使用前先將兩台照度計重新歸零，且計測89個同光照條件時有效讀值，各取得平均值及分散值，得相對較差比值1.0165（變動偏差 $cv\% = 1.89\%$ ），供實驗時兩台儀器的讀值相互校正用。
- (二)日射計（Eppley Solar Radiometer）兩台（含模組），同步測量被覆及無被覆時的日射能量，並和資料收集器（Fluke 2286A Data Logger）連線，由收集器控制及讀取結果。實驗前，兩台日射計也同步記錄全日光輻射能量和散亂光日射資料各20個，得相對較差比0.972（ $cv\% = 2.39\%$ ），供實驗時兩台的儀器的讀值相互校正用。
- (三)分光光度計（Model LI-1800, Li-Cor Inc., Lincoln, NY, USA）一台，向中興大學土壤系商借。測量不同波長（380~760 nm）之輻射能量，掃描一次需30秒，和IPC-AT電腦連線，並利用Procomm 軟體控制及讀取結果。從掃描到資料記錄，一個資料需耗時2分鐘。
- (四)2個遮影環黑色圓盤（直徑8cm），組合成可同步操作之功能，裝置於平板上方45cm處可阻隔直射光線，進而測得散亂光量。
- (五)測試架及儀器固定用組合材料，包括木條、壓克力條、平板及三角架一組、鐵架、黏扣帶、雙面膠、強力膠及黑色噴漆等。太陽光入射角控制用鉛直管15公分1支。
- (六)黑色塑膠布及鐵架，包圍實驗場地，阻隔外界反射光線。

三、測定比較項目：

分別計測光量(lux)和能量(瓦特, w)的通量(flux), 包括：

- (一)照度透過率, 包括散亂光照度透過率和全日照度透過率測定, 其意義為每單位時間透過單位面積被覆材料的光照度量與無被覆時入射全照度量之比。由此二測定值, 可計算得直達光量透過率。
- (二)日射量透過率, 包括散亂光能量透過率和全日光能量透過率測定, 其意義與(一)相同, 但以輻射能量($w \cdot cm^{-2} \cdot sec$)形式表示。
- (三)分光波長別輻射能透過率測定: 因不同波長的光各具有不同大小輻射能量, 而被覆材的透光率也因材質的不同, 對不同波長光的透過或阻隔程度各具有不同的特異性。不同波長的透過率就稱為分光透過率。

轉光的國際單位(SI)列於文末附錄中。

四、實驗方法：

(一)實驗場所選擇

- (1)照度與日射量透過率測定在台灣大學農業綜合館五樓頂樓及台大附設山地實驗農場(南投縣仁愛鄉梅峰, $121^{\circ} E, 24.2^{\circ} N$, 海拔2100公尺)。分光透過率測定在台大附設山地實驗農場。
- (2)在光與太陽高度角關係方面, 內嶋指出晴天時當太陽高度角接近 90° 其直達光輻射率達 90% , 但當高度角低於 10° 時將降至約 50% , 又雲層愈厚時直達光輻射率愈低⁽⁶⁾。本實驗主要計測項目包括照度、日射量及分光透過率三部分, 由於前兩者儀器監測時間較短且較不受光線穩定性的影響, 故實驗場地選擇以儀器操作及電源取得方便且較不受周圍建物反光影響為主要考慮。選擇在夏至期間(6、7月), 太陽高度較高(9:30~14:30)且於晴天空氣品質良好條件的時候, 於81年7月間, 在場地四周以鐵架圍上黑色塑膠布作屏障, 阻隔外界反射之光線作為第一次測定的地點。第二次測定則於82年6月選擇海拔2100公尺高山的梅峰台大附設山地農場內進行, 以比較兩地間讀值差異程度。分光透過率測定部分, 則因為分光光度計每掃描一次需30秒左右, 必須有相當穩定之光源。乃選擇附設山地實驗農場, 期取高山空氣清淨, 日正當中時分, 雲氣消散, 日射強度穩定, 很適合作為分光光度計掃描的地點。實驗時, 在分光光度計四周亦圍上黑色塑膠布, 阻隔外界反射之光線。

(二)實驗架設計

1. 照度及日射量測定部份：

- (1)計測時, 光對計測儀器之入射角(θ)愈大, 相對感度(測值/真值)愈小。Jones曾指出, θ 須保持在 $\pm 2\%$ 以內, 才能保證測定器的讀取值在 $\pm 2\sim 3\%$ 精度以內⁽⁶⁾。因此, 以直管垂直固定於平板上, 實驗中隨時調整平板, 保持其投影面積為零, 以確定儀器感測面正對太陽。
- (2)由於實驗中, 全日光及散亂光理論上應同時測得, 又因被覆及未被覆光量亦需同時測量, 而後者又較前者重要, 因此全日光及散亂光分兩次測得。而為減小誤差, 兩次時間的差距必須儘量縮短, 因此採用同時移入或移出二個遮影環的投影於平板面上的計測儀感應面之方式, 如此可縮短兩次測試的時間差至5秒以內。
- (3)考慮照度計及日射計之重量與外形, 分別以黏帶及木樁卡固定照度計及日射計腳架, 使避免滑動。裝置及測定方式參見圖1例。
- (4)測試架裝置完成後, 將面向太陽面完全漆成黑色, 模擬成「黑體輻射」, 使外界輻射量的干擾達到最小。

2. 分光透過率部份：以角鋼組成測試架，具有雙直交旋轉軸（模擬六分儀原理），可轉動仰角以正對太陽，因沒有微調裝置，計測時不能時刻對準太陽，為考慮計測精度，以照度計同時偵測在分光光度計掃描期間內同測面之照度變化，作為分光資料取捨判斷的參考。詳見測定方法中敘述。另外由於計測一個全日光透過率約需兩分鐘，倘若再計測直達光透過率則共需時間約五分鐘，在此時間內太陽高度已有改變且雲量亦有變化，皆可能影響到計測精度甚大，故本實驗僅計測全日光透過輻射能量，進而求得分光能量透過率，不再加測直達光的光分透過率。

(三) 測定方法：

1. 照度透過率測定步驟：

- (1) 固定兩台照度器於平板上，平板離地面約 1 公尺高，被覆材固定於距其中 1 台照度計球面上 20cm 處之木條上。
- (2) 調整平板正對太陽，並使遮影環的投影涵蓋兩個照度計感測球面。
- (3) 開始監測，同時讀取有及無覆蓋材料之散亂光照度資料。每監測一次後，儘快將遮影環投影移出測板外，再監測一次，同時讀取有及無被覆材條件之全日照照度資料。
- (4) 重覆(2)~(3)步驟 3~4 回。
- (5) 交換被覆材，重覆(1)~(4)步驟。
- (6) 測定時間分別為 81 年 7 月 22 日及 82 年 6 月 20 日，當時太陽照度分別在 117,000~122,000 lux 和 118,000~164,000 lux 之間。

2. 日射量透過率測定：(圖 1)

- (1) 固定兩台日射計於平板上，再將被覆材以雙面膠固定於距其中 1 台日射計球面上方 20cm 處之木條上。



圖 1. 日射量散亂光透過率測定情況

Fig. 1. The transmittance testing of diffuse light energy.

- (2)調整平板正對太陽，並使遮影環投影於日射計感測球面。
 - (3)開始監測，同步記錄有及無被覆材覆蓋時之散亂光日射量。監測一次後，儘快將遮影環投影移出平板外，再監測一次，得有無被覆材時之全日光日射量資料。
 - (4)重覆(2)~(3)步驟3~4回。
 - (5)交換被覆材，重覆(1)~(4)步驟。
 - (6)測定時間為81年7月24、27日、8月16日及82年6月20~22日，當時日射強度分別在500~900W/m²與600~820W/m²之間。
3. 分光透過率測定：
- (1)固定分光光度計，在四周圍上黑色塑膠布。
 - (2)將被覆材固定於光度計上20cm處，調整光度計方向正對太陽。
 - (3)由於掃描一回須30秒，其間太陽光的波長能量組成變動不可忽視，因此以照度計同時值測在分光光度計掃描時間內之照度變化，若照度量之變化超過±3%時，則重新掃描，以減少誤差。如此可記錄得覆蓋被覆材時之可見光區全日光分光波長能量曲線。
 - (4)拆下被覆材，再掃描一次，且與(3)步驟同，要求掃描期間照度變化量不得超過±3%，得無被覆材時之可見光區全日光分光波長能量曲線。
 - (5)在(3)、(4)步驟中所得兩照度範圍必須相近（中間值相差在1%以內），否則重新(3)、(4)步驟。
 - (6)更換被覆材，重覆(2)~(5)步驟。
 - (7)測定時間為81年7月8、9日及82年6月20~24日。當時太陽照度分別在90,000~115,000 lux與110,000~170,000 lux之間。
 - (8)以上計測期間，均應避免測試人員身體反射光線至測器上，遮影環也應避免受強光吹離原調整位置。

結果與討論

一、結果：

本研究除簡要提出被覆材料光學特性的客觀計測方法，提供生產業者參考外，並以軟質PVC布為例，指出台製與日製及材料表面處理(或著色或噴霧)方式對光透過率的影響程度。

(一)計測方法：

1. 實驗中，使用兩台照度計及日射計時，為得到讀取資料的相對關係，採用事先直接同時讀取兩部儀器在相同光照環境時的多個數值，然後作相對校正的方式來回歸。由兩組資料的相對分散度得知二儀器間讀取值具有很高的相關性(98.1%及97.6%)，表示此方法可行。
2. 由於探討被覆材透過率為材料研究開發的重點，因此同時比較有無被覆時感測器讀取的能量大小將比同時比較散亂光 and 全日光的步驟限制來得更形重要。在散亂光及全日光日射量透過率測定方法中，由於對遮影環的操作法改良，已可不再受到須同時作散亂光及全日光測定的步驟限制。在減少兩實驗間的時間差上，獲得很大的改善，使此二測定法更接近同步(由表2，各材料的四回測定值之相對分散度可知)，在減少實驗誤差上得到正面的改善。

(二)PVC材料計測結果：

1. 計測期間，抵達地面的太陽光中可見光波長的分光能量組成可整理成如圖2及表1(共46組資料平均)。

表 1. 可見光波長的分光輻射能量組成

Table 1. The spectral energy composition on the visible light wavelength.

光 區 別		波長區間	分光輻射 能量比	光區別 能量	分光輻射 能量	光區別 能量
		nm	%	%	uw/cm ² /分區	
可 見 光 範 圍	紫色光區	380~400	0.62	2.93	1495	7047
		400~420	1.48		3559	
	藍色光區	420~440	1.96	5.48	4718	13186
		440~460	2.66		6400	
		460~480	3.78		9105	
	綠色光區	480~500	5.09	21.27	12267	51227
		500~520	5.86		14125	
		520~540	5.93		14280	
	黃色光區	540~560	5.12	13.47	12328	32432
		560~580	7.22		17378	
	橙色光區	580~600	7.59	19.06	18287	45901
		600~620	7.75		18652	
		620~640	7.51		18094	
	紅色光區	640~660	7.03	37.80	16942	91035
		660~680	6.87		16551	
680~700		6.53	15724			
700~720		6.05	14571			
720~740		5.38	12961			
	740~760	5.56		13390		
全可見光區		380~760	100	100	240827	24087

註 1. 波長區：紫色光區380~430nm，黃色光區550~590nm
 藍色光區430~470nm，橙色光區590~640nm
 綠色光區470~550nm，紅色光區640~760nm

註 2. 測定日期：82年6月20~24日，11~13時測定

註 3. 測定地點：台大附設山地實驗農場（海拔2100m）

註 4. 資料個數：46，相對偏差 cv%=0.63~4.50

表 2. 各軟質PVC被覆材料的光量照度、日射能量及可見光波長能量之透過率

Table 2. The light transmittance of illumination, solar irradiance and visible wavelength energy for PVC films.

廠名	編號	被覆材種類	全日光照度透過率		直達光照度比	全日射能量透過率		直達光能量透過率	散亂光能量透過率		全日射能量平均	380-760nm各分光波長輻射能量透過率, %	可見光區輻射能量平均透過率, %	備註				
			%	cv, %		%	cv, %		%	d/c					w/m ²			
日製	A	紫色霧狀PVC布	81.4	0.12	57.1	3.41	0.70	131492	90.2	1.38	78.0	3.52	12.2	0.86	770.6	74.2-93.2	85.5	厚0.13mm
	B	透明PVC布	90.8	0.14	87.2	0.16	0.96	134660	90.9	1.34	89.4	0.29	1.5	0.98	720.1	79.1-93.1	91.6	厚0.13mm
	C	淡紫色PVC布	90.0	0.10	88.0	0.15	0.98	121191	90.3	0.22	89.4	1.56	0.9	0.99	696.7	83.4-96.4	94.2	厚0.13mm
	D	透明PVC布	89.7	0.09	87.4	0.16	0.97	123509	89.9	0.24	88.4	1.44	1.6	0.98	766.3	79.2-93.9	92.3	厚0.15mm
	E	透明PVC布	87.0	0.14	83.8	0.39	0.96	138626	89.4	0.31	87.5	1.34	1.9	0.98	692.1	76.9-93.1	90.8	厚0.20mm
	F	淡黃色PVC布	90.4	0.14	87.3	0.52	0.97	139630	91.2	1.28	91.2	0.36	0.0	1.00	757.5	79.0-94.0	92.8	厚0.13mm
	G	黑色PVC布	7.3	0.99	1.6	1.90	0.22	142154	18.1	1.06	10.2	1.60	7.9	0.57	786.3	1.9-14.8	8.6	厚0.13mm
	H	淡紫色霧狀PVC布	88.8	0.10	72.6	3.68	0.82	134892	92.5	0.70	86.3	0.74	6.1	0.98	784.3	76.4-90.6	88.1	厚0.13mm
	I	粉紅色PVC布	84.7	0.04	82.2	1.24	0.97	139115	91.3	0.19	89.3	0.88	2.0	1.00	786.7	72.7-93.5	88.6	厚0.13mm
	J	淡藍色PVC布	83.7	0.18	81.3	0.29	0.97	136050	88.2	0.38	88.1	1.19	0.1	0.87	764.4	65.4-92.9	86.1	厚0.13mm
	K	黃色霧狀PVC布	63.1	0.32	43.8	2.21	0.70	126084	64.8	0.74	56.1	0.88	8.6	0.99	813.6	1.7-68.8	62.1	厚0.13mm
	L	黃色PVC布	90.6	1.70	89.3	0.79	0.99	163812	90.0	0.40	88.8	2.72	1.2	0.98	646.0	44.9-90.3	87.3	厚0.13mm
	M	紫色PVC布	83.1	2.10	79.0	2.41	0.95	134823	87.0	2.33	85.6	2.41	1.4	0.97	790.1	44.9-90.7	89.7	厚0.20mm
	N	透明PVC布	91.3	1.51	85.9	1.48	0.94	129823	86.1	3.16	83.7	4.82	2.4	1.00	698.4	62.8-97.2	94.2	厚0.15mm
	O	透明PVC布	89.7	1.75	85.0	2.05	0.95	131178	89.5	1.01	89.1	1.54	0.4	0.94	720.5	58.4-93.5	90.3	厚0.20mm
P	透明PVC布	89.7	1.48	82.5	0.56	0.92	121578	87.8	2.40	82.3	4.55	5.5	0.93	740.2	52.5-94.2	91.4	厚0.30mm	
Q	透明PVC布	86.1	2.16	80.5	1.87	0.94	122567	88.5	3.36	82.1	4.84	6.4	0.99	736.8	50.8-94.0	90.3	厚0.40mm	
R	透明PVC布	89.5	1.46	87.4	3.46	0.98	123500	90.2	2.74	89.2	3.26	1.0	0.99	729.9	76.8-95.2	93.7	厚0.15mm	
S	透明PVC布	87.7	2.39	80.9	2.54	0.92	123873	90.0	1.46	89.0	1.66	1.0	0.99	749.6	67.8-94.8	92.6	厚0.20mm	
T	黃色PVC布	87.2	2.04	85.8	1.58	0.98	136672	87.2	2.93	86.5	3.68	0.7	0.99	752.4	70.1-92.8	88.0	厚0.15mm	
U	紅色PVC布	84.5	1.86	77.4	2.46	0.92	121265	89.5	2.77	82.9	2.72	6.6	0.93	780.2	80.4-94.1	92.0	厚0.15mm	
V	藍色PVC布	82.3	0.89	80.4	1.67	0.98	123370	86.8	3.04	82.4	1.44	4.4	0.95	726.4	68.8-90.6	82.7	厚0.15mm	

註 1. 照度、日射量、透過率：平均值，資料個數=4

分光能量透過率：平均值，資料個數=3

註 2. cv, %：相對偏差比 = 標準偏差值 / 平均值 × 100

2. 表2為各被覆材的光量(照度)透過率、能量透過率、可見光區分光能量透過率三部分測試結果。
3. 圖3~圖8為各種類似材質及不同廠商、不同厚度、不同著色材質的可見光波區域內分光能量透過率圖(讀取值五點移動平均統計處理)。
4. 統計在海拔2100公尺的台大附設山地農場五日的計測期間資料,包含直達光與散亂光兩部分的全日光所具有的輻射能量為 746.0 w/m^2 (由日射計測得88組資料平均,包括可見光及不可見光波長,詳見表2)。而其中,可見光波長(380~760nm)區域內具有的輻射能量為 240.83 w/m^2 (由分光光度計測得46組資料平均,詳見表1)。由此可知,全日光中可見光波長區佔有約三分之一(32.3%)能量,不可見光波長區則佔三分之二能量。
5. 由表1及圖2知,可見光波長區內全日光的能量組成中,在短波長側含有的能量比極低(紫色波長區(380~430nm)僅約佔3%),相對的紅色光側所佔能量比增加,而以黃橙色波長區(550nm以上)的單位波長能量強度最高。
6. 表2中,九種不同厚度(0.13~0.40mm)透明PVC布的全日光能量透過率為86.1%~90.9%間,而可見光區內能量的透過率為90.3~93.7%範圍。可計算得知不可見光區內能量的透過率約為84.2~89.4%,較可見光區的透過率稍低。而透過透明PVC布的輻射能量中,可見光波長區約佔33%,不可見光波長區則佔約67%。

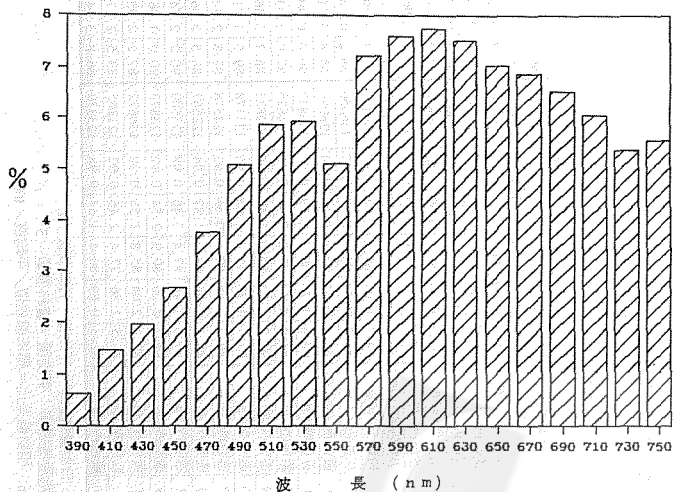


圖2. 可見光區每20nm分光波長的單位輻射能量比

Fig. 2. A ratio of spectral energy in every 20nm visible wavelength range.

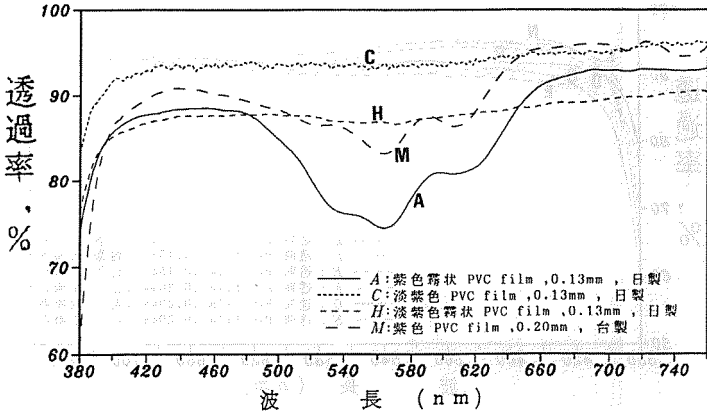


圖 3. 紫色系PVC材料的分光輻射能量透過率比較

Fig. 3. A compare of spectral energy transmittance with some purple color type PVC films.

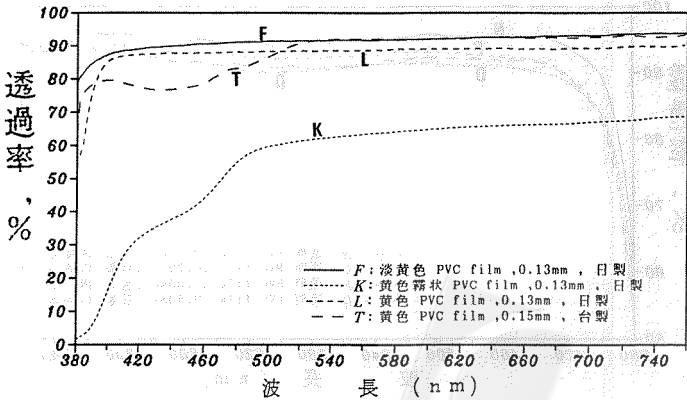


圖 4. 黃色系PVC材料的分光輻射能量透過率比較

Fig. 4. A compare of spectral energy transmittance with some yellow color type PVC films.

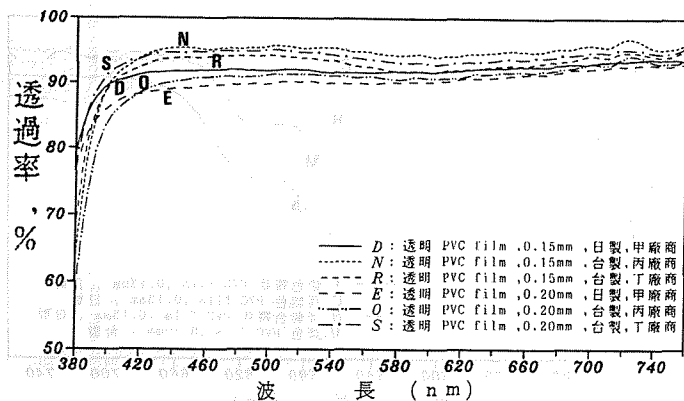


圖 5. 不同廠商製造相同厚度透明PVC布之光量透過率比較

Fig. 5. A compare of spectral energy transmittance with the same thick clear PVC films by different makers.

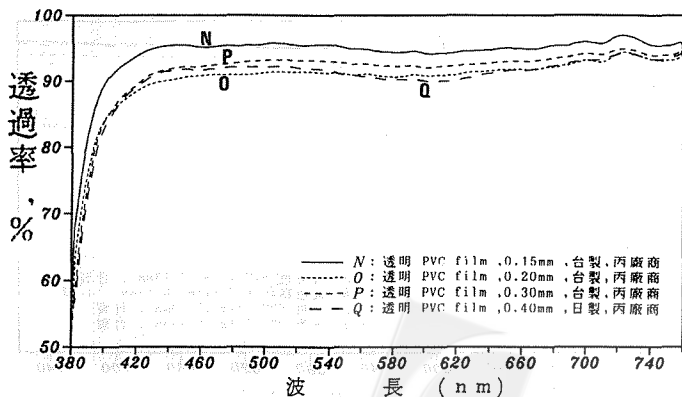


圖 6. 丙廠商製造不同厚度透明PVC布之光量透過率比較

Fig. 6. A compare of spectral energy transmittance with the different thick clear PVC films by a maker.

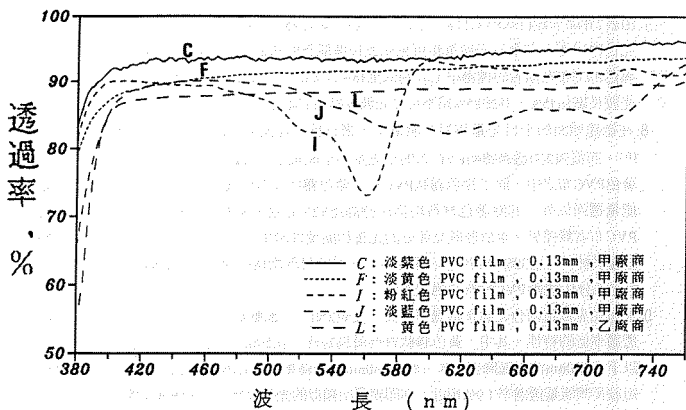


圖 7. 日製, 不同著色PVC材料的分光輻射能量透過率比較

Fig. 7. A compare of spectral energy transmittance with the some color PVC films be made in Japan.

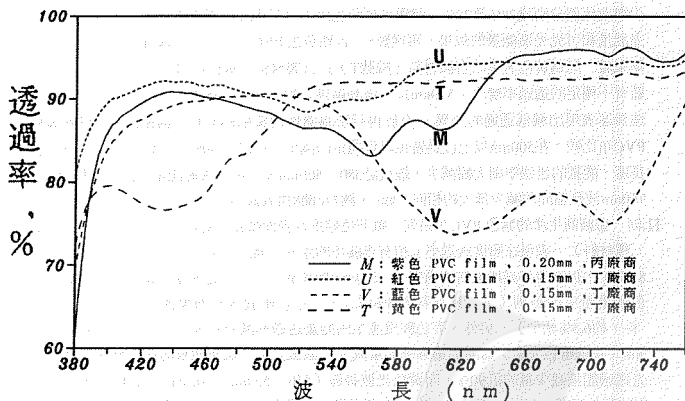


圖 8. 台製, 不同著色PVC材料的分光輻射能量透過率比較

Fig. 8. A compare of spectral energy transmittance with the some color PVC films be made in Taiwan.

7. 由表2知除少數特殊PVC材料（如黑、灰色、黃色霧狀材料）以外，大多數透明、淡色或鮮亮色PVC布，在全日光能量和可見光波長區能量的透過率上分別可達86%及83%以上。而黑色PVC布在兩者的透過率上分別低至18%及8.6%，亦即透過黑色PVC布的能量中，可見光波長區佔15%，其餘85%為不可見光波長區所含能量。
8. 在抵達地面的全日光量和輻射能量中，來自於直達光與散亂光比例大致各佔90%及10%（6）。而從表2知透過透明PVC布的全光量 and 全能量中，直達光部分均高達92%以上；即使著色PVC布之中，除了深色霧狀PVC布（紫色霧狀及黃色霧狀材）會降至70%光量及86%能量透過以外，其餘著色材料均仍保持高達92%直達光量和能量的透過率現象，與透明PVC布者無差異。至於散亂光部分的光量和能量透過率，與直達光部分相同，除了深顏色及霧狀材料可達30%及15%左右透過以外，其餘材料均僅有3%左右的透過率而已。亦即直達光部分佔透過PVC材料的絕大部分。
9. 在可見光波區內分光能量透過率方面，從表2知，全部軟質PVC材料均具有短波長側能量透過率低的特性。其中，黃色霧狀材料最為特殊，在500nm波長以下的透過率即降至60%以下，460nm波長區降至40%，而在380nm波長區更降至1.7%，此已與黑色PVC布材料在短波長側能量透過率1.9%相近，亦即表現出類似的光學反應。至於其他顏色的PVC布在短波長側雖透過率亦低，但仍有45%以上。而透明PVC布，日製及台製者均有相近似的總能量透過率，但在可見光的短波長側之透過率方面，台製材則比日製材為低。另外，材料厚度不同也沒有顯示出差異。（圖5及圖6參照）。
10. 淡黃色及黃色PVC（材料編號F、L、T）的全日光能量與可見光波區能量的透過率均大於87%，而著色深淺反應在此二者透過率上只有1.2%（全日光能量）及5.9%（可見光區能量）的差異。然而，黃色霧狀PVC布（編號K）的透過率卻分別降低至64.8%及62.1%，減少幅度比例分別達28%及29%，明顯可見黃色PVC材料表面作噴霧處理後反應在阻隔全日光能量和可見光區能量的效果。再從圖5，各種黃色PVC布的可見光區分光波長能量透過率來看，同為黃色著色的台製材料（編號T）比日製材料（編號F、L）在520nm以下波長區有不穩定的透過率變化，520nm以上波長區則大致有相同的透過率，且均沒有在黃綠色波長區表現出減低透過的差異。至於再行噴霧處理的黃色PVC布（編號K）與單純黃色PVC布比較，在500nm以上波長區也呈現穩定的減少（約25~30%），但在500nm以下波長區，能量的透過率則大幅減少，經統計380~500nm波長區內透過能量的減少量和500~760nm波長區間的減少量大約相同（圖4、圖7及圖8與表2參照）。
11. 同一家廠商生產的紫色PVC布系列，雖著色輕重及表面噴霧等處理有別（圖3中A、C、H三種材料），表現在照度透過率上稍有正關係的差異（霧狀有無差別1.4%，著色輕重差別8.4%），但在全日光能量的透過率上，則無明顯差異。至於分光能量透過率，則可發現著色輕重產生的差別（A、H材料約3%減少），小於噴霧處理有無產生的差別（C、H材料，約6.5%減少）。另外，著色輕重產生的能量透過率減少差別中，發現波長460~650nm（黃藍橙色光區）區間的透過率大量減少，該波長區內透過能量的減少量約佔全可見光透過能量減少量的近90%，而黃色光波長區（550~590nm）減少比率佔約50%，此為很特殊的現象。另外，紫色PVC布雖然考慮降低透過率目的而行著色處理，在紫色光波長區（380~430nm）的透過率仍高達74~83%。
12. 圖7中，日製粉紅PVC（編號I）與紫色霧狀PVC布（編號A）的分光能量透過率減少的圖形相似，均在500~600nm波長區急速減少。但此波長區域卻為黃色光區。圖8台製藍色

PVC布也顯示出類似結果。

(二)討論：

1. 雖然著色材料具有遮光特性，透過光的總量理應減少。但從此次9種透明材料與10種著色、3種著色加噴霧處理的全光照射、全日射能量透過率之對比來看，除黑色和黃色霧狀PVC布兩種以外，其餘材料均無明顯減少透過率的現象，在全光量、全能量及可見光區能量透過率的減少比率上，僅在3%以內。
2. 透過PVC材料的光量和能量中，屬於直達光強度者佔絕大部分，而且著色材料與透明材料相比，並無降低透過率的現象。至於霧狀材料雖為減低直達光強度目的而製造，全透過光線約70%光量和87%能量仍為直達光強度，散亂光強度僅佔30%光量和13%能量，而透過的可見光波能量仍高達85%左右。
3. 從22種PVC材料的透過率結果可知，即使透明材質內加入顏色吸收劑，仍有高達82%及86%的光量及能量透過率。而著色材料再作噴霧處理之後，只有黃色霧狀PVC布可減低至63%光量及65%能量的透過率。因此，並非全部帶霧狀顏色的PVC布，均適合在強光地區使用，必須同時考慮各材質在可見光波長區內的分光能量透過率特性以作為選擇被覆材料的參考。
4. 日製和台製PVC布，分別比較在光量、能量及分光波長能量透過率的差異，可知無論在透明和有顏色PVC布，均無明顯的差異。唯一稍有不同者，乃透明的日製材在可見光內短波長區域比台製者有較高的分光透過率。
5. 對葉綠素行光合作用時，吸收任意兩個含有相同單位能量的不同波長區域光線，具有相同的合成反應效率之特性而言，以上資料可提供研究者一新的資訊。
6. 雖然影響植物行光合成的有效波長在400~700nm間，此區間以外波長段所含有的分光輻射能量仍將轉化為熱能進入被覆材內面，亦即增加室內空氣中顯熱含量及溫度升高現象將會發生。對作物生長或管理人員工作環境舒適度而言，這又是另一個熱量運動(flux)及平衡(balance)，甚或逆境(stress)的問題。此點有待從熱平衡和波長別之輻射照度能量間關係深入探討。
7. PVC被覆材的選擇，關係著溫室設施內光環境及溫度改變，由於目前被覆材日新月異，有關其光學特性確有必要加以量化。本研究設計使用的方法，應可提供研究及開發被覆材料生產者與使用者更確實的資訊。

謝 辭

本實驗感謝中興大學土壤系申庸教授慨借分光光度計，實驗期間承台大附設山地實驗農場協助現場借用等。實驗過程中承台大農工系王鼎盛教授支持及簡榮宏等多位同學全力參與及協助資料整理，得以順利完成報告撰寫，特此致謝。

Summary

An objective measure technique is presented to measure the light characteristics of covering materials. Experimental designs include transmittance tests for solar irradiance, illumination tests, and spectral transmittance tests. Of twenty-two pieces of different PVC film covering materials tested, all of those were made in Taiwan and Japan, being tested. The results show that one third radiation energy belongs to the visible wavelength range in global solar energy, the unit wavelength energy of the short wavelength is much smaller than the long wavelength, and a yellow-orange light wavelength (above 560nm) possesses the largest unit wavelength energy within the visible wavelength range. For the clear PVC film, the solar irradiance transmittance is about 86% and is composed of 33% visible wavelength and 67% un-visible wavelength, while the total energy transmittance is about 90.3~93.7% in the visible wavelength range. Both the clear PVC films made in Taiwan and in Japan, with different thickness (0.13 ~ 0.40mm) have no visible difference transmittance, except that the PVC made in Japan have a high spectral transmittance in short wavelength range than that made in Taiwan. When the colour and mist is added in PVC film, the high illumination (82%) and solar irradiance (86%) is observed except two types of the black and yellow-mist PVC film, and about 70% of the transmitted illumination and 87% of the transmitted energy belongs to direct light. In addition, high spectral transmittance (85%) in visible wavelength range is also observed in color and mist PVC film. Among all tested PVC films except black color film only yellow-mist PVC film can get near a half transmittance of the illumination (63%) and the solar irradiance (65%).

參考文獻

1. 王鼎盛等. 1988. 設施園藝設計手冊. 中華民國行政院農業委員會. p.11~27.
2. 王鼎盛. 1989. 覆蓋資材之特性及利用. 台灣省鳳山熱帶園藝試驗所.(第二屆設施園藝研討會專集) p.93~108.
3. 王鼎盛、簡榮宏. 1992. 省製被覆材料光透過率之研究報告. 設施園藝之研究與開發成果報告之一. 農委會1992年度成果報告(付印中).
4. 王鼎盛、侯文祥、簡榮宏. 1993. 進口被覆材料光透過率研究報告. 設施園藝之研究與開發成果報告之一. 農委會1993年度成果報告(付印中).
5. 渡部一郎. 1987. 農業環境實驗法. 株式會社サイエンスハウス. p.249~258.
6. 稻田勝美. 1980. 光と植物生育. 養賢堂. p.1~49, 190~235.
7. 日本施設園藝協會. 1987. 施設園藝ハンドブック. p.276~285.



附 錄

1. 光之單位：論及輻射與生物之關係時，過去多以照度 (illuminance, lux) 表示，近年則以光能 (energy of light, $\text{lm} \cdot \text{sec}$)、光強度(intensity of light, cd)、輻射強度(radiant intensity, $\text{w} \cdot \text{sec}^{-1}$)表示，最近則以輻射束密度(radiant flux density, $\text{w} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$)、或輻射束率(flucence rate, $\% \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$) 表示。下表列出光與電磁波之國際單位 (SI)。

表一、光及電磁波之國際單位 (SI)

對 象	名 稱	單 位
輻 射 輻 射 輻射源 被照面	輻射能 (radiant energy)	J(焦耳)
	輻射束 (radiant flux)	W(瓦特)
	輻射強度 (radiant intensity)	W/sr
	輻射強度 (irradiance)	W/m ²
光 光 光源 被照面	光 量 (quantity of light)	lm · sec
	光 束 (luminous flux)	lm
	光 度 (luminous intensity)	cd
	照 度 (illuminance)	lux(lx)

註：(1) $1 \text{ W/m}^2 = 1.163 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2/\text{min}$

(2) 視覺感度 (relative luminous efficiency)：

光束/輻射束 = $1 \text{ m} \cdot \text{w}^{-1}$ ，波長555nm(黃綠色光)的輻射能量之視感度 = $680 \text{ lm} \cdot \text{w}^{-1}$ ，為可見光波長區中最大視感度。

(3) $1 \text{ lux} = 1 \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2}$, $1 \text{ Ph} = 1 \text{ lm} \cdot \text{cm}^{-2}$

(4) $1 \text{ w} = 1 \text{ erg/sec}$ (爾格/秒)

