

光度單位轉換問題之探討

農試所農工組 姚銘輝

一、前言

『光』是農作物栽培過程重要氣象因素，在田間、栽培設施及生長箱內，光度的監測或量測是精緻管理不可或缺的工作。光直接提供作物葉片行光合作用所需能量，光質影響作物型態發育及生理反應，光週期則決定開花與否的因素，光對作物之重要性不言可喻。量測光度有三種常用單位，包括輻射量(Radiometric; Wm^{-2})，照度(Photometric; lux)及光量子(Quantum; $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)等三種，每一種量測方式有特定意義及適用範圍。1982年美國農業工程學會將光量子通量密度(quantum flux density)定為農業量測光強度之基準，因此，過去常用單位（尤其是照度）需轉換為光量子單位，目前有些儀器提供轉換公式，但僅限於太陽光，至於人工光源雖也有文獻提供轉換資料(Thimijan and Heins 1983)，但限於英文資料農民取得不易，此外，每一種人工光源有特定光譜範圍，轉換係數並不相同，由於最近常有農民及研究人員

詢問相關問題，因此本文將我國目前農業栽培常用之光源作一量測，建立不同光源之光度單位轉換係數，以提供各界參考利用。

二、光度意義及單位定義

太陽輻射光譜中，與作物有關之波長範圍由290-3000 nm($=10^{-9}\text{m}$)之間，可簡單分為三部分，紫外光(ultraviolet; 290-400 nm)、可視光(visible light; 400-740 nm)及紅外光(infrared; 740-3000 nm)。紫外光依據波長又可分為為紫外線A、B及C三種。紫外線A為320-400nm的波長，不會對作物產生傷害；紫外線B為290-320 nm的波長，此波長的光所釋放出能量足以穿透植物表皮組織而引起傷害，農作物受紫外光傷害也以此波長為主；紫外線C則為更強的輻射量(<290 nm)，可引起染色體突變，殺死細胞等劇烈反應，所幸此段波長的紫外線在經過大氣層時已被臭氧(O_3)吸收，實際到達地面的量極少。有研究指出，紫外光有助於花色的鮮豔及溫室內害蟲的控制，因此，花卉生產業者應注意紫外光是否能穿透溫室覆蓋材質的問題。可視光波段中，藍光及紅光與光合作用光系統有密切關係，同時也是葉綠素及胡蘿蔔素主要吸收波長，各種光顏色、波段及能量

通訊作者：姚銘輝副研究員
連絡電話：04-23317715

如表一所示。紅外光和作物生長無直接關係，但因在設施內紅外光能被CO₂吸收而導致增溫現象，是目前夏季溫室栽培最大的問題。

三、不同光源之光譜分佈及單位轉換

太陽光是作物生長主要光源，太陽輻射量在大氣層外的能量，雖然會因地球與太陽遠近而有所差異，但基本上是穩定的數值，依據世界氣象組織(World Meteorological Organization;WMO)所定太陽常數(solar constant)為 $1367 \pm 7 \text{ Wm}^{-2}$ 。當太陽光照射至地面因受大氣層中化學組成的影響，在晴朗無雲的滿日光(full sunlight)情況下，近地面約為 500 Wm^{-2} ，如果以光量子通量表示約為 $2200 \mu \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，也就是太陽光祇有不到五分之一到達地面，其餘絕大部份反射或少部份在大氣層被吸收。太陽光光譜由280nm紫外線至4000nm之紅外光皆涵蓋，但一般量測範圍在280-2800nm之間，約佔全部輻射量之96.7%，光譜儀量測範圍300-1100nm約佔72.7%，可見光380-780nm為47.3%，至於光量子通量400-700nm約佔38.4% (Nobel, 1991)。人工光源以可見光為範圍，包括設施及生長箱內常用之螢光燈及鹵素燈，螢光燈包括長型日光燈，植物專用燈及省電燈泡等，其中植

物專用燈因用於作物栽培，又可分為一般、偏紅及偏藍等三種，至於新興光源發光二極體(LED)也屬於人工光源之列。

本研究以光譜分析儀量(EKO MS-720)量測不同光源之波譜變化，波長量測範圍為300-1100 nm之間，用以拍攝太陽光及人工光源的光譜變化。太陽光以每小時一次之連續記錄方式，其光譜以550nm（綠光）最高（圖一），而白天太陽光連續拍攝結果，在清晨藍光及傍晚紅光有較高現象，其餘時間大多維持相近的光譜變化（此部分資料未列）。人工光源皆以新購燈具材料在暗室內拍攝，以避免長期使用而光質改變或衰退。日光燈及省電燈泡屬於螢光燈源，光譜分別在435nm（藍光）及547nm（綠光）有高峰，省電燈泡在612nm另有一高峰，但此波長屬於橙色光波段並非作物栽培所需之紅光。植物燈管常用於組織培養或生長箱，因其用途主要在提升葉片光合作用對於紅光及藍光吸收的需求，又可分為一般、偏紅及偏藍等三種，相較於螢光燈管之光譜，植物燈管在特定光譜波段有增強效應。至於鹵素燈有很大部分並非在可見光的範圍內，因此就作物生長之照明需求並無效率。LED由光譜可知是單一波長的光源，如紅光及藍光LED的波譜，而白光LED分為二波長混合光（藍色光+黃色光）或

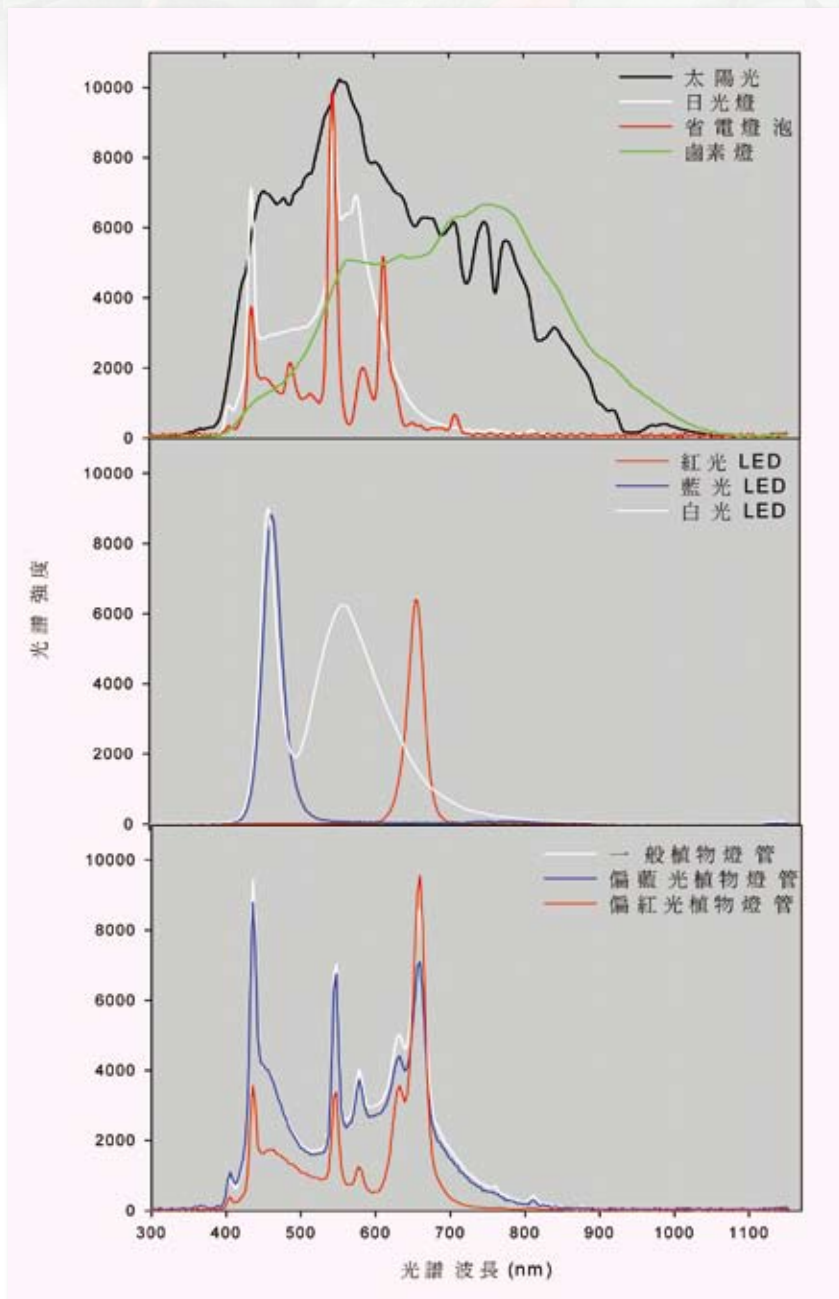
表一、光譜之波長範圍、特徵波長、波長頻率及能量

光譜顏色	波長範圍(nm)	特徵波長(nm)	波長頻率(hertz)	能量(kJ mol ⁻¹)
紫外光	below 400	254	11.80×10^{14}	471
紫光	400 to 425	410	7.31×10^{14}	292
藍光	425 to 490	460	6.52×10^{14}	260
綠光	490 to 560	520	5.77×10^{14}	230
黃光	560 to 585	570	5.26×10^{14}	210
橙光	585 to 640	620	4.84×10^{14}	193
紅光	640 to 740	680	4.41×10^{14}	176
紅外光	above 740	1400	2.14×10^{14}	85

三波長混合光（藍色光+綠色光+紅色光），本研究特別量測二波長混合光LED之光譜，其紅光比例甚低，作物栽培應避免使用此種LED燈具。

為了解不同光度單位間轉換問題，本研究利用Licor公司生產之三種光度感測器，LI-190SA量測光量子密度；LI-200SA量測輻射量；LI-210SA量測照度，三種感測器之量測波長範圍及單位如表二所列。將三種感測器同時放置於不同光源下量測，並由資料收集器(Licor 1000)進行量測記錄，將資料分析以完成光度間單位轉換對照表（表三）。表三第二欄位之可視光所佔比例，係指光源在光譜儀量測300-1100 nm範圍中可視光(400-700 nm)所佔之比例，例如太陽光為71%，鹵素燈46%，省電燈泡89%，其餘光源皆在90%以上。第三及第四欄分別是光單位轉換時所需乘以之係數，例如10萬

lux(=100 klux)在太陽光下應乘以18.13為 $1813 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，不同燈具下有不同的係數，而燈具使用年限及量測環境皆會影響轉換係數，表三僅為參考數值，若要精確數據仍以應用適當光度計直接量測為佳。



圖一、不同燈具之光譜強度及範圍。

表二、三種光度計之量測單位及波長範圍

感測器種類	量測項目	量測單位	波長範圍
LI-190SA	光量子 (Quantum)	$\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	400-700 nm
LI-200SA	輻射量 (Radiometric)	Wm^{-2}	400-1100 nm
LI-210SA	照度 (Photometric)	lux	380-770 nm

表三、不同燈具光譜特性及單位間轉換係數。

	可視光所佔比例 (%)	Wm^{-2} ↓ $\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	klux ↓ $\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
太陽光	71	4.45	18.13
日光燈	96	5.61	13.65
省電燈泡	89	5.80	14.33
鹵素燈	46	0.63	19.08
植物燈管	90	4.82	23.23
偏紅植物燈管	97	5.30	27.87
偏藍植物燈管	91	5.08	24.27
白光LED	95	5.83	15.29
紅光LED	99	5.22	84.71
藍光LED	99	7.01	52.72

至於光度計在使用上的問題，依據實際經驗，如果以感測器方式長期置於太陽光下量測，每年應校驗一次，以確保感測元件的準確度；手持式光度計一般以電池為電源，當長期不使用時應將電池拆下，以免電池液腐蝕感測面板。另外，量測時應用水平儀將光度計感測頭與光源間調整成直射角度，避免因量測角度偏差而影響測值。

四、結論

光度量測對於農業環境的監測很重要，但目前坊間光度計之廠牌或型式繁多，價位由5-6千元至十幾萬元皆有，在購買時應考慮所需光度的精確度，同時量測方法應正確，儀器的保養及維護也相當重要。另就光單位（或光度計）的選擇利用，目前農民常用之照度計，其價位較便宜，但應鼓勵改用光量子計，除了和研究報告相互比較單位一致外，

也較能反應作物實際所需之光度，而相關推廣性刊物或栽培手冊也建議改以用光量子為光度表示單位，讓農業界在光度量測之單位能統一。

五、參考文獻

1. 朱鈞。2001。光與光強度。科學農業。49:56-57。
2. Thimijan, R.W. and R.D. Heins. 1983. Photometric, radiometric and quantum light units of measure: A review of procedures for interconversion. HortScience 18:818-822.
3. Nobel, P.S. 1991. Physicochemical and Environmental Plant Physiology. Academic press, London.
4. Rosenberg, N. J., B. L. Blad and S. B. Verma. 1983. Microclimate; The Biological Environment. 4nd ed. Academic press, Inc. San Diego.