

改善人體維生素 D 合成的日光光譜 分析與研究

Spectral Analysis of Natural Solar Ultraviolet B for Improving Vitamin D Synthesis

林宇軒、邱怡文、林明彥、蔡心怡、黃國政

Yu-Hsuan Lin, Yi-Wen Chiu, Ming-Yen Lin, Hsin-Yi Tsai, Kuo-Cheng Huang

日光中的紫外線 B 為人體合成維生素 D 的最主要貢獻。本文提出了一種用於長期測量太陽紫外線 B 的光譜分析系統與分析方法。該系統具有抗候、低成本和高分辨率的優點，透過測量與分析固定位置的太陽光的絕對輻照度信息，並在考慮維生素 D 的作用合成函數與皮膚癌發生的權重函數後，即能提出出門曬太陽的最佳時期。在這段時間內，人類可以獲得最高的維生素 D 合成，而對皮膚的損害最小。這項研究為健康燈具的開發，建立了一個重要的參考方案。

The paper presents a spectral analysis system for the long-term solar ultraviolet B measurement. It has the advantages of weatherproof, low cost and high resolution. The absolute irradiance information of sunlight in a fixed location has been measured and analysed. After considering the weighting function of vitamin D action synthesis and skin cancer generation, the best period to go out for sunning could be proposed. During this period, humans can get the highest vitamin D synthesis with minimum damage of skin. This study provides a solution for database establishment of healthy lamp development.

一、前言

維生素 D 是人體重要的營養元素⁽¹⁻²⁾。過去被認為主要與人體骨骼健康有密切關係，人體維生素 D 的獲取來源可以從少數的食物中獲取 (如多脂魚類、牛奶、燕麥、優格及柳橙汁中攝取)，但最為主要來源及天然的方式是透過陽光中的 UVB (波長介於 280–320 nm) 照射皮膚產生，當人體的皮膚表皮和真皮細胞吸收紫外光後，會將皮膚表皮層

的 7-dehydrocholesterol 轉為維生素 D₃ 的前驅物，維生素 D₃ 的前驅物因為熱的關係進而轉換成維生素 D₃ 與維生素 D 結合蛋白結合經分解進入血液中被攜帶至肝臟，最後透過肝臟中的水解，水解為 25-hydroxyvitamin D₃ (25(OH)D) 成為決定人體維生素 D 的代謝產物。維生素 D 的半衰期 15–30 天，為了維持人體正常功能的運作，人體的維生素 D 需要保持在一定的濃度，正常血清 25(OH)D 濃度需要維持在 30 ng/mL 去避免許多因為維生素 D 缺

乏所帶來的不良事件，如肌肉無力、骨質疏鬆、糖尿病、呼吸道疾病、神經疾病、心血管疾病、自體免疫疾病、癌症及死亡。

人體維生素 D 缺乏的問題，在全世界都相當嚴重，根據過去不同文獻指出其盛行率約為 20—80%，以美國 2001—2006 年健康營養檢測調查資料顯示，維生素 D 缺乏的盛行率為 41.6%⁽³⁾，歐洲國家則以南歐國家較北歐國家維生素 D 缺乏的盛行率較高⁽⁴⁾，澳洲人的盛行率為 31% (男性：22%；女性：39%)⁽⁵⁾，相較於外國的資料，台灣的資料較為缺乏，根據國民營養資料庫發現超過 66% 國人其血清維生素 D 處在缺乏情況 (< 20 ng/mL)，僅有不到 2% 為充足 (> 33 ng/mL)，年輕的女性 (18—44 歲) 特別低 (平均 16.1 ng/mL)，從飲食攝取的維生素 D 來源與血清維生素 D 的關係並不好⁽⁶⁾。另有一個研究針對北部社區的老人，發現近 1/3 (31%) 的有維生素 D 缺乏的現象⁽⁷⁾。如此高盛行的維生素 D 缺乏問題，引發本團隊的高度關注，我們為了證實現代人生活 25(OH)D 缺乏問題，總共於同一季節裡尋找 15 位辦公族的健康自願受測者，測定血清 25(OH)D，結果發現無人處於維生素 D 充足的情形，如圖 1 所示，更加深了國人維生素 D 缺乏是正發生的重要問題。

從國民營養調查的結果顯示，含有維生素 D 的飲食似乎與 25(OH)D 濃度無密切相關，表示現代人的食物攝取方式無法有效改善維生素 D 缺乏

問題，另一個簡便的維生素 D 獲取方式是照射日光，研究指出增加陽光暴露一個星期後就可以發現血清的 25(OH)D 濃度明顯上升⁽⁸⁾，只要選定日光足夠的時間，照射日光 10—15 分鐘，就足以產生足夠的維生素 D，然而過去農業社會人體或許有機會照射到足夠的日光，並透過日光中的 UVB 獲取人體所需足夠的維生素 D 濃度，但隨著人類生活型態的轉變與對於美的認知的改變，現代人生活的環境與方式相當不利於人體 UVB 的獲得，如大氣環境中的雲層與空氣污染物如二氧化氮，臭氧濃度過高會阻礙 UVB 抵達地球的量，現代人工作內容多屬於辦公室環境，過多的玻璃建築，玻璃可以輕鬆的隔絕 UVB 的照射，陽光避免的行為如過渡衣物保護或使用防曬乳與陽傘都間接或直接影響人類曝曬到 UVB。服用維生素 D 補充品可能為維生素 D 獲取得來源，根據美國國家健康機構建議成人維生素 D 每日攝取劑量約在 600IU，而在特定的族群如有骨質疏鬆風險者，以及大於 60 歲老年人，應每天補充 800 到 1000IU 的維生素 D⁽⁹⁾。然而服用營養補充劑可能具有潛在不方便的問題，包含如特定族群不方便吞食 (如小孩與老年人)，無法重複使用，須要不斷的服用...等，相對而言，若能開發健康燈具就可以避免上面所提的問題。照明的需求於現代社會無所不在，當未來照明燈具與光療燈源能共同結合，在安全性的考量下將對人體有莫大助益。而日常的光暴照是人體最舒適與最直接的方式

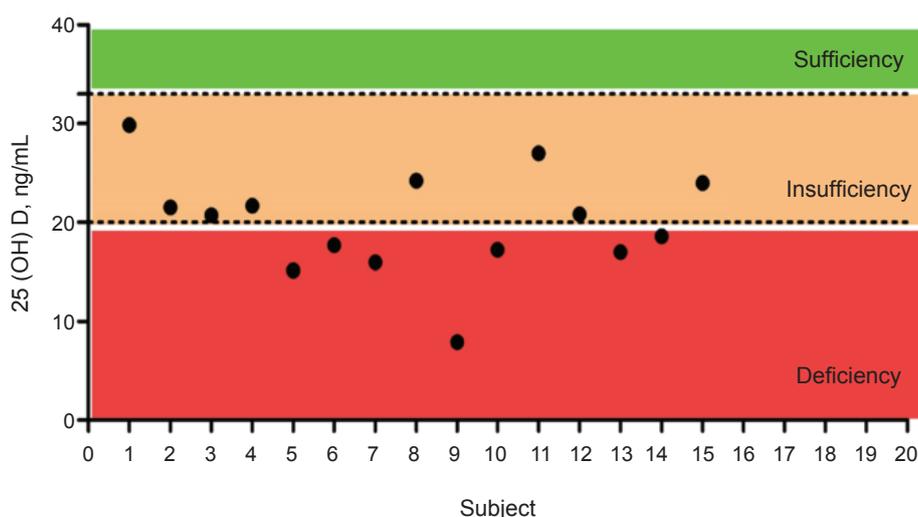


圖 1. 隨機辦公室工作健康受測者血清 25(OH)D 濃度。

來獲取相關保健能量之方式。

由於現代人長時間的室內工作和過度的陽光阻擋導致陽光輻照量大幅減少。維生素 D 缺乏不僅會導致骨質疏鬆，還會導致全身性疾病。維生素 D 之主要貢獻者是太陽中的紫外線。紫外光 (UV) 是波長為 400 nm 至 100 nm 的電磁輻射。它可分為 UV-A (320–400 nm)，UV-B (290–320 nm) 和 UV-C (100–290 nm)。眾所周知，由於大氣的吸收，UV-C 不能到達地球表面，並且 UV-A 不能有效地促進維生素 D 的生成。醫學論文指出中心波長為約 300 nm 的 UV-B 在陽光是維生素 D 產生的最大貢獻者。但是，我們不能忽視紫外線也是有害的，並且可能引起各種疾病，特別是皮膚癌。UV-A 的能量相對較弱，但在太陽紫外線中的比例約為 98%。它可能會導致人體皮膚出現皺紋和黑斑。太陽紫外線中 UV-B 的比例不到 2% 左右，但其能量相對較強，因此可能導致曬傷和皮膚癌。近年來，由於臭氧層空洞恢復緩慢以及全球變暖，人們不想曬太陽。因此，必須認真注意紫外線照射的健康與危險之間的平衡。

現存已有使用紫外光用以提升人體血清中 25(OH)D 濃度的許多研究像是日曬床 (tanning bed)⁽¹⁰⁻¹²⁾ 或 UVB 燈具 (寬波長或窄波長)。然而日曬床 (99.5% 的 UVA，0.5% 的 UVB) 的功能主要目的為透過光線使膚色出現黝黑顏色而達到美觀的效果而非以提升維生素 D 為主要目標，因此用以改善維生素 D 可能同時造成皮膚變黑的可能性大增，且美國食品藥物管理局也於 2014 年把日曬床導致黑色素皮膚癌的證據從第一級提升為第二級，再者日曬床通常體積過於龐大，多不利於多數人在平常使用或在家庭使用。紫外光治療燈具已經廣泛地被運用在病人身上治療牛皮癬，傳統治療牛皮癬是利用補骨脂素 (Psoralen) 塗抹於患處，接著照射 UVA 用以激發治療的效果⁽¹³⁾，由於長期的 UVA 照射可能產生非黑色素皮膚癌，因此後來皮膚科醫師建議採用較為安全的 UVB⁽¹⁴⁻¹⁶⁾ 或更安全的窄波長 UVB^(13, 21) 來進行治療，而目前 UVB 也被認為是較具治療牛皮癬效益的光治療方式。因此多數目前使用在提升人體血清 25(OH)D 濃度研究的相關紫外光燈具都源自於光治療燈具，儘管許多的研究

皆證實當人體維生素 D 不足時，透過這些治療燈具的照射可以有效的提升人體 25(OH)D 的濃度。然而，這些燈具潛在許多的缺點：第一這些燈具過去主要用來治療疾病，不見得最適合用來進行人體血清 25(OH)D 合成；第二部分燈具涵蓋 UVA 波段，容易導致皮膚老化等傷害；第三 UVB 頻譜過寬造成人體額外承受不必要造成皮膚紅斑、皮膚癌與 DNA 破壞的風險；第四光學劑量過高，這種醫用燈管產品的標準照度多在 2000–9000 $\mu\text{w}/\text{cm}^2$ 左右，與日光相比，其單位時間內的光學劑量太高，治療同時亦可能會造成人體損傷，因此需被當作謹慎管理的醫療設備，並不適合長期使用。

一般人體對於紫外光可承受的劑量，由「皮膚最低致紅劑量 (minimal erythema dose, MED)」來定義紫外光的強度，這樣的定義方式為假定照射不同劑量紫外光 20 分鐘後，24–48 小時讓皮膚變紅的最小紫外光劑量做為個體可承受之最低劑量紫外光，然而由於皮膚的紅熱狀態會隨著膚色以及皮膚對於紫外光的敏感度不同而有所不同，台灣針對寬波長 UVB 定義出不同膚色 MED 範圍於 122.9–165.0 mJ/cm^2 ⁽²²⁾。國外則以低劑量的寬波長 UVB (20–80 mJ/cm^2) 針對不同膚色的健康受測者，每週 3 次，連續 4 週，結果依舊可以明顯的增加 25(OH)D 的濃度⁽²³⁾。由於 MED 容易受到年齡、膚色…等因素影響，因此國際上為了統一紫外線暴露劑量單位因此訂出標準致紅劑量 (standard erythemal dose, SED)，並定義 1SED 等同於 10 mJ/cm^2 的照射劑量。Grigalavicius 等人回顧過去 8 年用不同紫外光燈具來改善白人國家人體 25(OH)D 濃度的 18 篇研究，經統合的結果證實每週 3 次，每次 2 SED 的暴露劑量，就能讓冬天身體 25(OH)D 的濃度恢復到夏天的濃度⁽²⁴⁾。然而，過去研究並無法得知最合宜的 UVB 劑量，也就是這樣的劑量是否真的適合最低傷害且維生素 D 濃度提升最大化的要件。因此，燈具波長與強度的優化是必須的，本研究需先完成前期工作，先針對台灣日照背景數據提出較適化參數的曝光劑量，並依該比例研發健康維護之燈具，再施行臨床實驗，以確保有效性與安全性。該燈具將考慮濾除曬黑主因的 UV-A 波段、不必要的部份 UV-B 波段、發熱的紅外光波

段、降低傷眼的藍光比率，僅提供最適量的有效 UV-B 成份貢獻，來達成健康維護。如此一來都會女性怕曬黑與夏日紫外線毒辣所造成的負面影響都可覓得解答，長期行動不便的老人也可以透過此方式獲得益處，目的為達成健康居家生活，早於醫療即行預防。本燈具的實現辦法有兩種，一為依照度比例直接組合與排列傳統燈泡，二為利用螢光粉與發光二極體的激發來搭配調製，在必要的情形下也會加入濾波片進行光譜純化。燈具發展的同時，將搭配計畫臨床人體 (動物) 試驗來建立 UV-B 的曝光時間、傷害與體內維生素 D 生成的確實關係，並回饋修正燈具設計時所預設的光譜比例，同時評估其對應的人體傷害風險可能，使之具有產品化之實務性。

在這項研究中，需先開發了一種用於自然太陽紫外線測量的自動化高分辨率分析光譜系統。目的是結合地理信息和太陽紫外線背景，建立長期的醫學研究數據庫。該系統由光譜儀，UV 帶通濾波器，光纖，反射式准直器和保護裝置組成。與傳統的光度計相比，光譜儀的高分辨率可以獲得每個日光波長的貢獻信息。還開發了防風雨箱來保護這種精密儀器。在自然日光下，可見光 (VIS) 和紅

外 (IR) 光的貢獻遠高於 UV。這意味著在紫外區域的正確曝光會產生大量的熱噪聲，因為 VIS-IR 區域的曝光過度。因此，使用 UV 帶通濾波器來消除 VIS 和 IR 光並保持 UV 光。為了獲得正確的太陽紫外線數值數據，測量結果由前置光學器件的測量光譜進行補償。此外，還考慮了適當的接收立體角和光擴散，以優化光線的收集。我們證明，通過建立長期數據庫，可以為決定在測量位置外出的最佳時期提供參考。此外，近年來，慢性病的臨床研究也需要高分辨率的長期環境監測數據，如空氣，水和日光。該儀器的發展將有助於醫學領域慢性病的研究。

二、實驗架構

本團隊研發台灣日照背景數據的量測方式，其目的是要供應日常健康燈具的功率設定值的上限參考，若所研發之燈具本身其輸出的光強度至少不高於天然日光的年 (月) 平均強度，甚至為其二分之一或三分之一以下，預估則該產品的安全性能提供相對性的保障。圖 2 顯示了用於自然太陽紫外線測量的自動化高分辨率分析光譜系統的設置。透過一

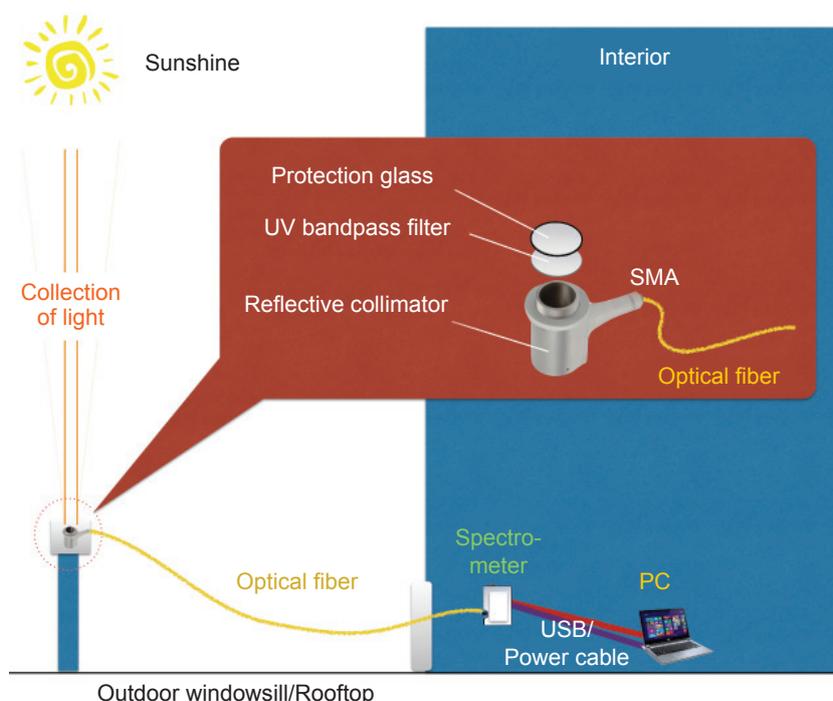


圖 2. 自行開發之日照背景數據量測用的絕對照度光譜分析系統。

收光模組、光譜儀與電腦控制軟硬體，可實現天然日光照射的長期量測。其中，收光模組由保護鏡片、間通濾片、光纖準直鏡與耐候盒子所購成。保護鏡片可有效阻隔環境中的落塵、雨水進入系統；間通濾片目的為阻擋大量可見光進入系統，進而造成長期曝光而導致的光譜儀熱雜訊。由於日光中的可見光與紅外光貢獻遠多於紫外光，因此必須予以隔絕；光纖準直鏡的目的為收取準直光源以進行空間收光標準化，原因在於傳統的積分球在收光時為360度收光，但若有空間遮蔽物如大樓牆面、電線桿甚至是飛航物件存在時，會導致收光的標準性有異。光纖準直鏡能完美濾除垂直方向入射光以外的雜光，因此其具有優質的參考性。耐候盒子為一可使雨水自兩側流出的雙層機構，內側為金屬機殼，用以固定上述所有光學元件，外側則為木頭與矽酸鈣板的組合，其上塗有隔熱漆，目的為阻隔烈日時的曝曬所造成的設備損壞。全系統透過光纖將光學訊號送至光譜儀進行分光分析，由於光譜儀與電腦為精密器材，無法承受常期的溫濕度變異，因此皆需置於室內。我們以此實驗架構，先進行單一位置的長期光譜量測，其波長有效範圍為280–380

nm，解析度為1.5 nm，如此即可進行高精度的台灣日照背景數據量測。圖3顯示了檢測頭設置的實際照片。反射式準直器和濾波器安裝在箱蓋下方。光纖雖受塑膠軟管所保護，然仍必須避免彎曲，否則將導致光傳導的損耗，在較昏暗天候時很可能造成較差的訊噪比。整個金屬保護套最後放入木箱中進行第二層保護，其結構與內部有溝軌通道能使雨水排出，避免積滯於收光面上，影響而到量測正確性。光纖的連接接口是SMA，單純是用於匹配於微型光譜儀的收光介面，但其波導材質需具有日曬抗性。

光譜儀本身雖能藉由標準校正程序來建立絕對的量測資訊，但其前端的光學元件需要被另外考量。為了逆推正確的日光的光譜貢獻，需分別實測保護玻璃，紫外帶通濾光片，反射式準直鏡和光纖的光學穿透率，結果則如圖四所示。所有的光學器件都與紫外–可見光波長兼容。在280–360nm波長範圍內，光學元件的穿透率皆高於50%。這筆光譜數值被當作補償因子來校正光譜儀的測量。由於設備的性能會隨著時間的推移而衰減，畢竟系統內部的光學材料曝置於外部環境中，會受到水氣與

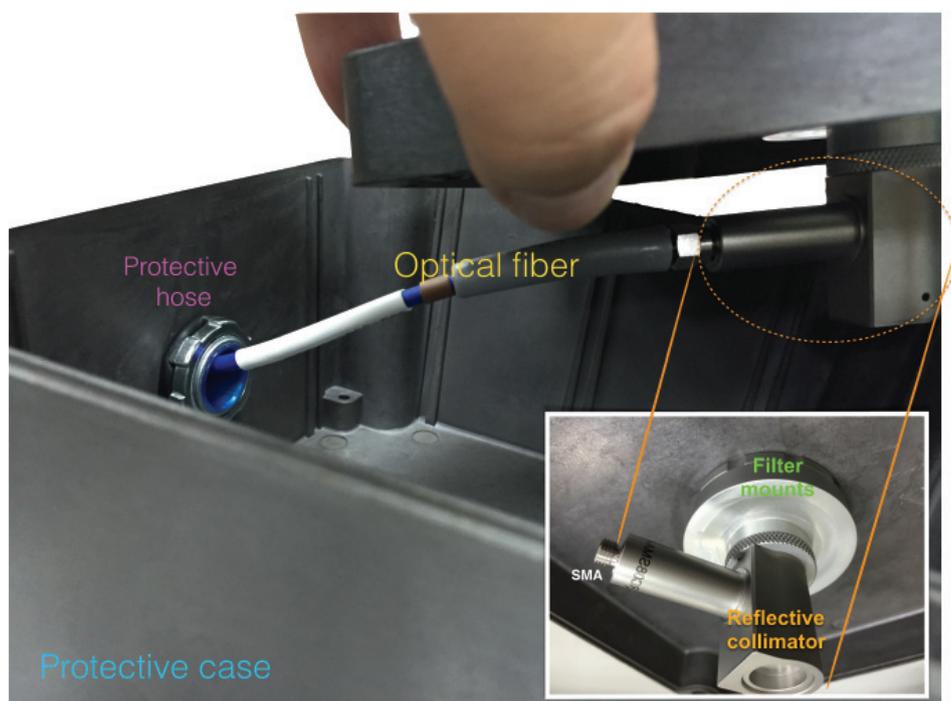


圖3. 絕對照度光譜分析系統檢測頭設置之實際照片。

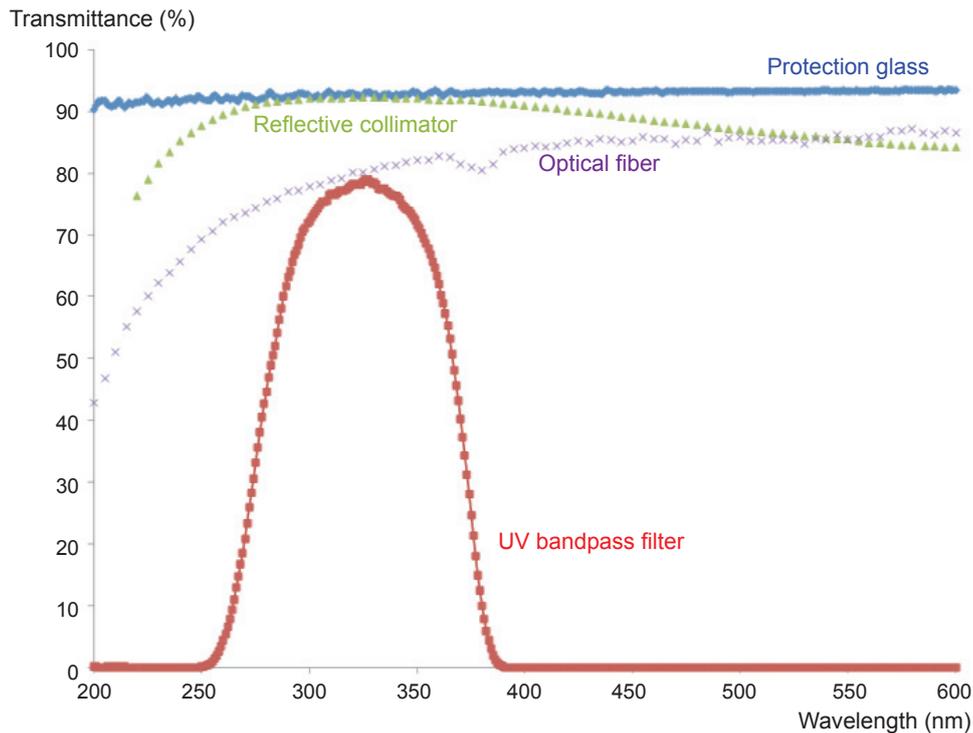


圖 4. 保護玻璃，紫外帶通濾光片，反射式準直鏡和光纖的光學穿透率。

溫度變異的傷害而變質，進而導致量測的偏差越來越大，因此需嚴格要求定期重新測量和校正，必要時需直接更換全新元件。而在這個系統中，透過在台灣環境下的實測評估，我們建議每一個月至少進行一次校準。

三、結果與分析討論

圖 5 顯示了不同積分時間下的自然陽光的相對光譜 (範例說明)。測量位置位於台灣新竹的儀器科技研究中心 (24.782754°, 120.996617°)，測量時間為 2015 年 7 月 14 日 15:00 PM。我們將光譜區分三區塊，即為 UV-A、UV-B 與 UV-C，其中 UV-B 的變化為我們關注的區域。由於紫外濾波片的帶通效應，圖 5 中已沒有可見光存在。且由於每次測量之間的曝光時間不相同，因此本量測並未執行暗雜訊扣除的程序。本圖的目的僅做為初步推斷適當的實驗參數之用。圖中的積分時間從 400 毫秒逐漸等差值地增加到 3200 毫秒，並且獲得越來越高聳之相對應光譜形狀。對於 UV-B 部分，可以發現光強度在 300–320 nm 範圍內迅速增加，但在 290–

300 nm 範圍內緩慢增加。光譜儀的 16 位 CCD 並沒有足夠的動態範圍來完整描述太陽光 UV-B 波段內的整個強度分佈。意即是較低的積分時間雖能測完整 UV-B 波段頻譜資料，但對於其前段低波長部份將使訊號被雜訊掩蓋，如 400 毫秒積分時間的光譜圖；若用過高的積分時間，則 UV-B 前段低波長部份能被量測，但後段高波長將形成過曝而無資訊，如 3200 毫秒積分時間的光譜圖。因此，我們必須謹慎選擇標準積分時間。在這種情況下，我們最終選擇 800 毫秒作為標準積分時間，因為在波長高於 320 nm 時不能引發過度曝光的條件下，波長在 290–300 nm 範圍內的光強度必須盡可能大。由於日照強度每天都不相同，光譜的熱雜訊亦會變異，所以經過該系統的長期測量後，即可提供更優化的標準積分時間。而在一個智慧化量測的系統下，理應以軟硬體兼施的方式，透過感測器隨時回饋至系統與自動化校正，這是未來可以努力的目標。

圖 6 顯示紅斑傷害、DNA 損傷、皮膚癌發生和維生素 D 合成作用的加權函數頻譜圖⁽²⁵⁾。WHO (世界衛生組織) 定義的標準日照損傷乃是採用自

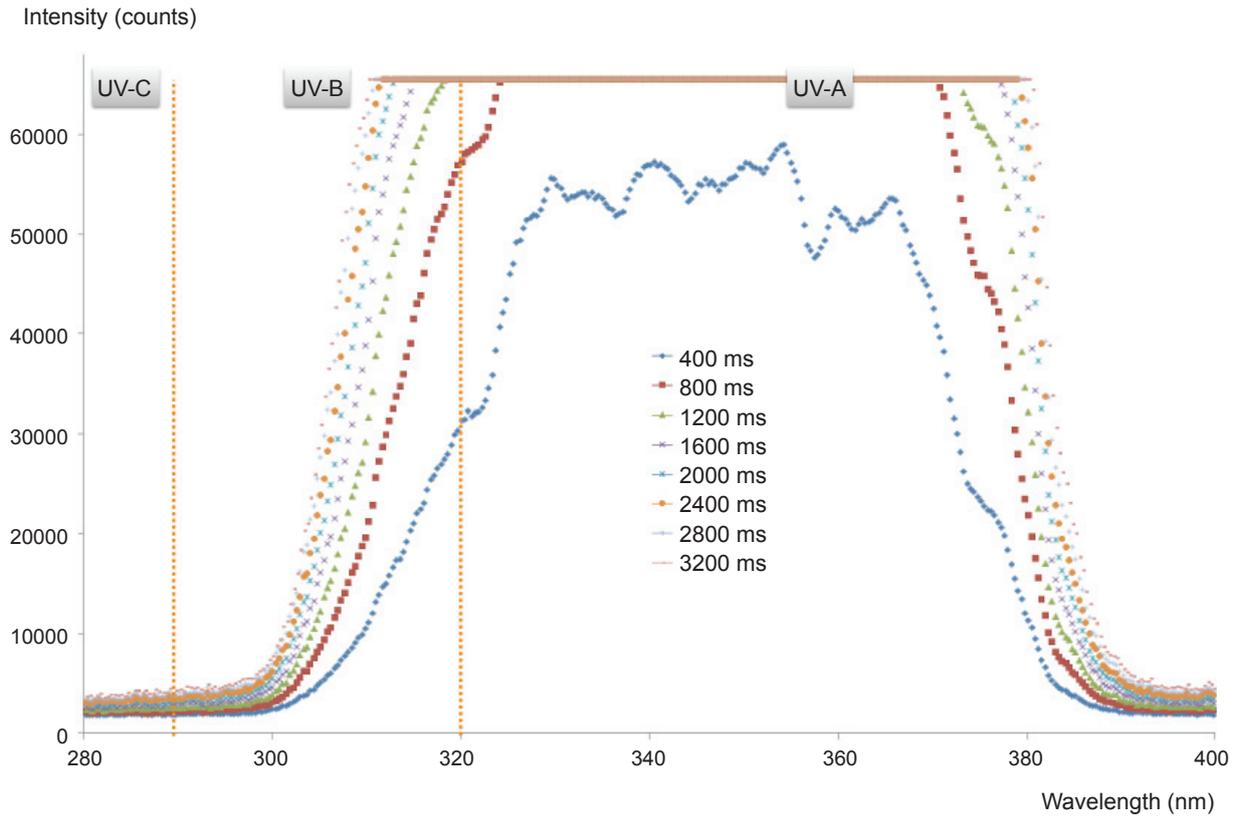


圖 5. 特定時間與位置下的不同積分時間的自然陽光相對光譜。

然日光的紫外線 B 與紅斑光譜的比對關係。對於小於 297 nm 的光波長，紅斑的相對響應直接等於 1，並且隨著波長的增加而迅速衰減，如圖 6 中的深藍線。而隨著波長的增加，DNA 損傷卻是逐漸下降，如圖 6 中的紅色曲線。DNA 損傷的相對響應在波長 260 nm 處約為 0.97，並且只要波長大於 310 nm 時，則其加權函數接近於 0。皮膚癌的權重譜則特別不同，因為一般直覺地應認為高能光源(短波長) 理應會對皮膚造成更大的傷害。但皮膚癌的權重光譜卻呈現在 299 nm 波長處具有 0.997 的最大值的山型分佈，如圖 6 中的綠色曲線所示。而人類的維生素 D 合成加權頻譜與皮膚癌生成的加權頻譜相似，如圖 6 中的淺藍曲線所示，但具有較大的腰寬，其最大響應發生在波長為 298 nm 時，一般常見大約訂為 300 nm。因此，通過考慮自然陽光下的這些加權函數，我們可以找到最合適的波長，將能最大限度地提高人體維生素 D 的合成量，並將對人體皮膚的日光損傷降至最低。

圖 7 顯示了以 2015 年 7 月 23 日單日為例，位於新竹、經緯座標為 (24.782754°, 120.996617°) 的量測結果。首先光譜儀透過校正程序，使所得資料為絕對強度光譜 (absolute spectrum)，光譜儀通過標準的氬鹵素光源 (ocean optics, DH-3-Cal) 進行校準。其橫軸為波長，單位為 nm。縱軸為絕對照度(irradiance)，單位為 $\mu\text{w}/\text{cm}^2/\text{nm}$ 。透過一日的連續量測，我們將光譜資料進行轉換，將當日時間列為橫軸，亦即是當日早上 9 點至下午 6 點，來呈現出不同紫外光波長在一天當中所貢獻的多寡。此日照背景數據的長期量測非常重要，如此我們可以藉之做為燈具開發時之天然參考標準，亦可於實驗型燈具開發後透過臨床實驗，了解真實生物所透過陽光得到的利益與損壞，以之提供大眾建議日曬的時間表，盡可能於最低日曬損傷下獲得最大維生素 D 之生成。圖八顯示相同座標於 2015 年 9 月 1 日中午 12 點測量的太陽絕對光譜。由於測量時間是正午，所以日照強度很強。我們標記為紫色的紫外線

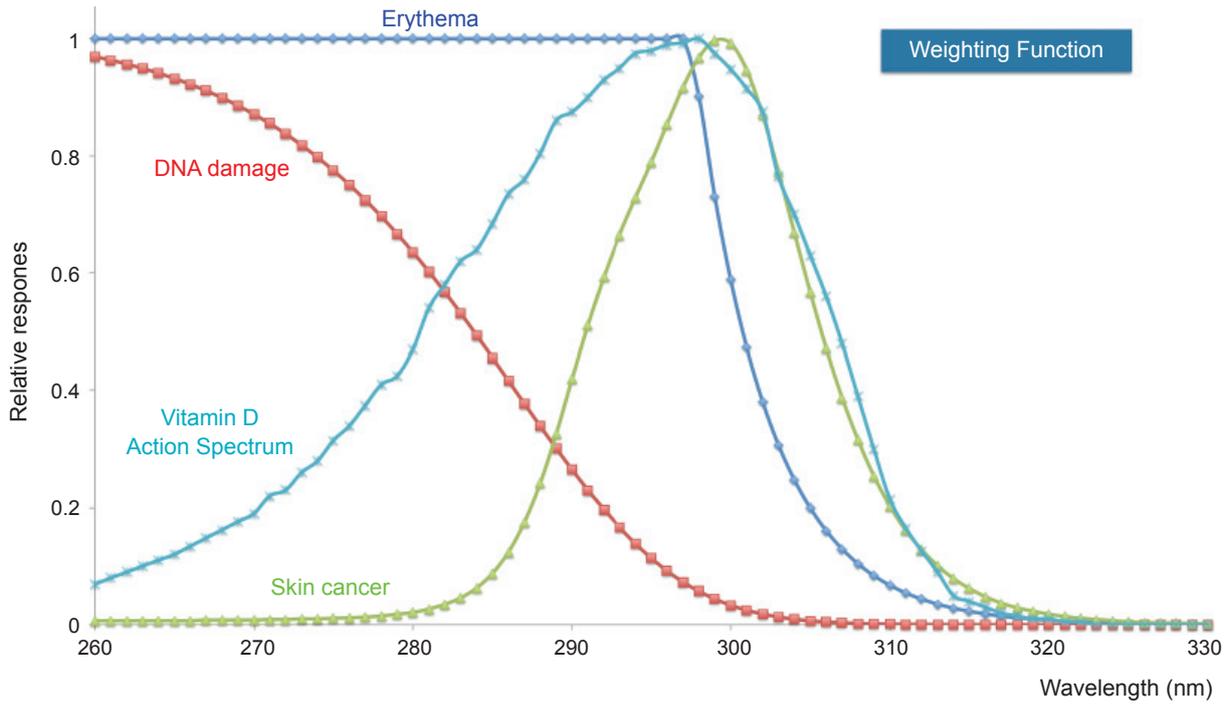


圖 6. 紅斑傷害、DNA 損傷，皮膚癌發生和維生素 D 合成作用之加權函數。

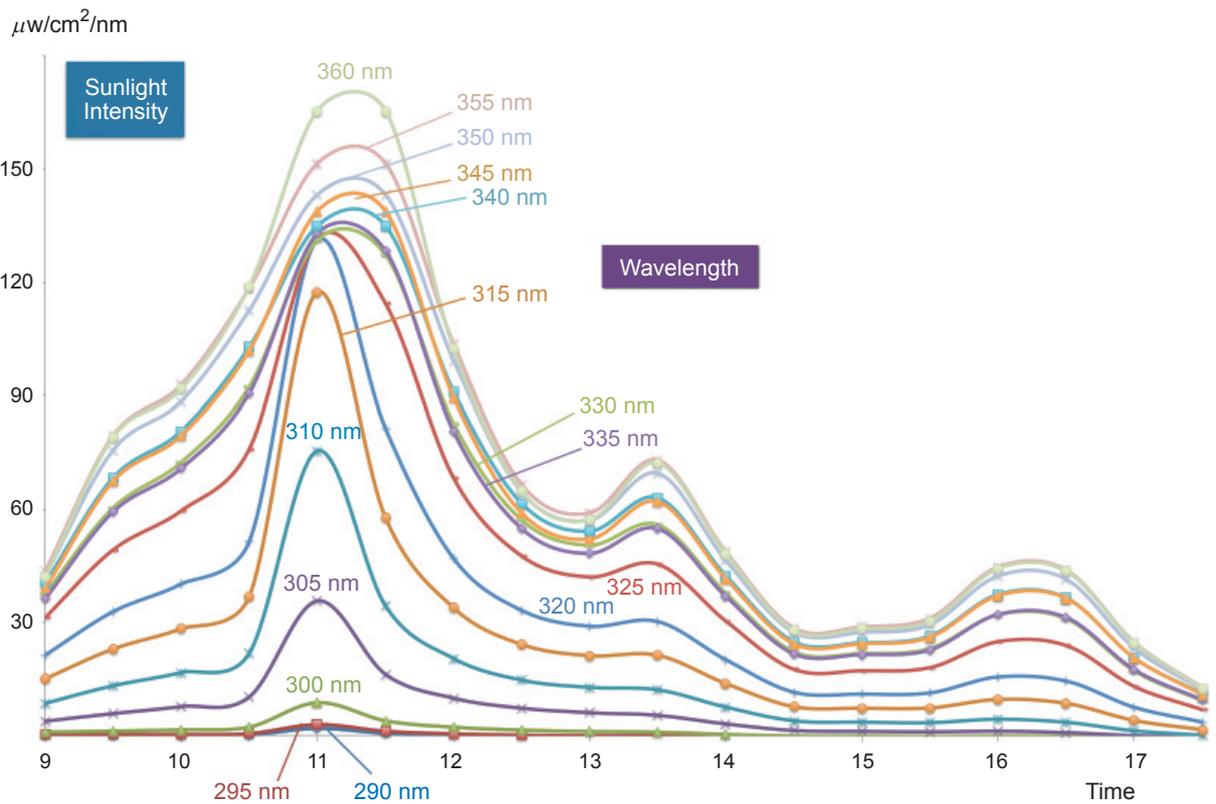


圖 7. 台灣單一區域於單日內各時間的不同光波長照射貢獻實測圖。

B 區域。由於 UV 濾光片的帶通效應，紫外線 A 和可見光區域的數值不平滑。這個問題可以通過補償圖 3 所示的光學器件的透射率來克服。事實上，我們只對紫外線 B 區域感興趣，因為維生素 D 合成僅在該區域起作用。橙色區域表示數值不值得信任的範圍，因為位於 UV 濾光片的帶通邊界。

圖 9 顯示了 UV-B 區域的加權後日光光譜。優化的日光光譜的理想概念應該積極提升維生素 D 的合成量，並降低所有皮膚相關疾病的發生可能。這意味著太陽光譜應該直接加權維生素 D 的作用光譜，然後降權紅斑，DNA 損傷和皮膚癌頻譜。但是，單純的乘除會出現異常的分析問題。由於 DNA 損傷譜中的權重值在大於 305 nm 的波長處接近零，所以加權的太陽光譜將過度膨脹而導致錯誤。這種現象會誤導我們認為較長的波長比較短的波長好得多。在圖 8 中，我們幾乎無法找到自然光在短於 295 nm 波長處的貢獻。與圖 6 比，在 295 nm 波長下，加權值的貢獻僅為 0.11。因此，應該暫且忽略 DNA 損傷的加權函數來消除我們上面描述的問題。另一方面，當波長超過 297 nm 時，紅

斑的權重衰減得太快。這種現象可能會導致我們犧牲維生素 D 作用合成的益處。換句話說，幾乎一半的 UV-B (297–320 nm) 效率可能因此被低估。由於紅斑和皮膚癌的嚴重程度沒有可比較性，我們認為紅斑的權重也可以忽略不計。最後，皮膚癌譜的分佈與維生素 D 作用光譜類似，有相當大的面積重疊。很明顯地，皮膚癌的權重頻譜不容忽視。因此，圖 9 所示的結果是通過將測得的太陽光絕對光譜 (圖 8) 和維生素 D 合成作用的權重函數 (圖 6 的淺藍曲線) 相乘，然後除以皮膚癌的權重函數而獲得的 (圖 6 的綠色曲線)。圖 9 的結果揭示理論上有益於人類健康的最有效的光譜範圍。但此部份並未評估其他日曬所可能形成之疾病種類。

回到圖 7，即能分析光輻射貢獻與不同波長時間之間的關係。理想情況下，日光光譜應該是幾乎對稱的形狀，但實際上由於雲遮蔽會產生強度波動。上午 11:00，太陽輻射強度最強。波長小於 300 nm 的光線變得明顯，不容忽視。此時 UV-B 的貢獻將比下午 13:00 多 4 倍。儘管如此，UV-A 的貢獻還不到 2–3 倍。根據圖 9 所示的結果，我

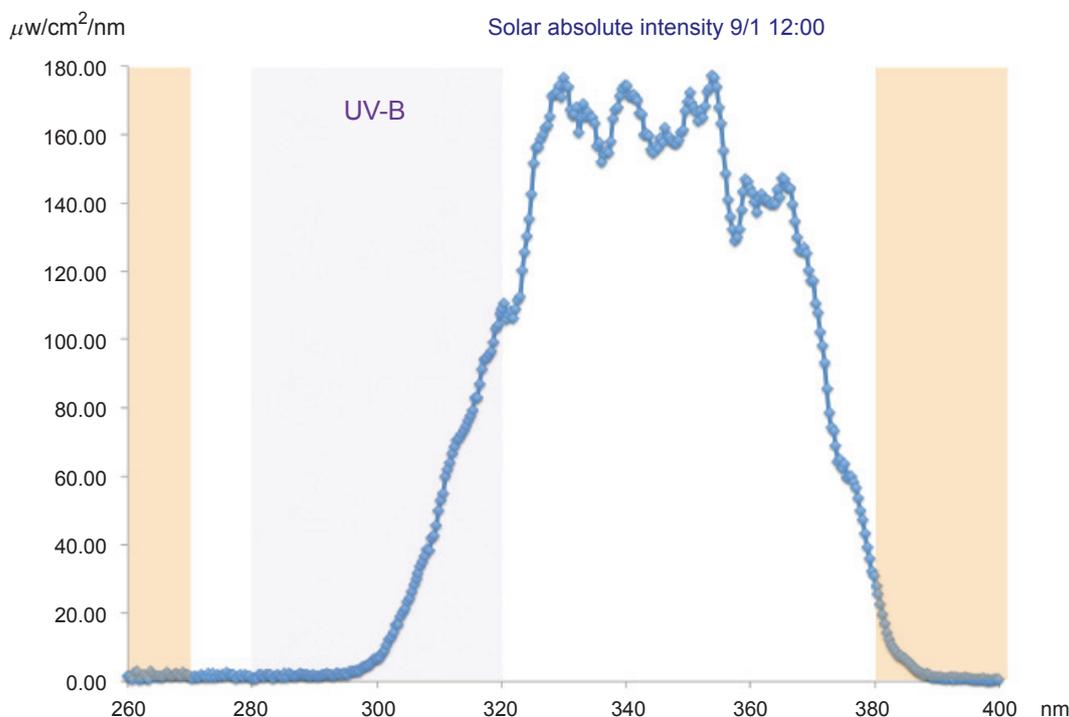


圖 8. 台灣單一區域於單時間內的太陽絕對光譜。

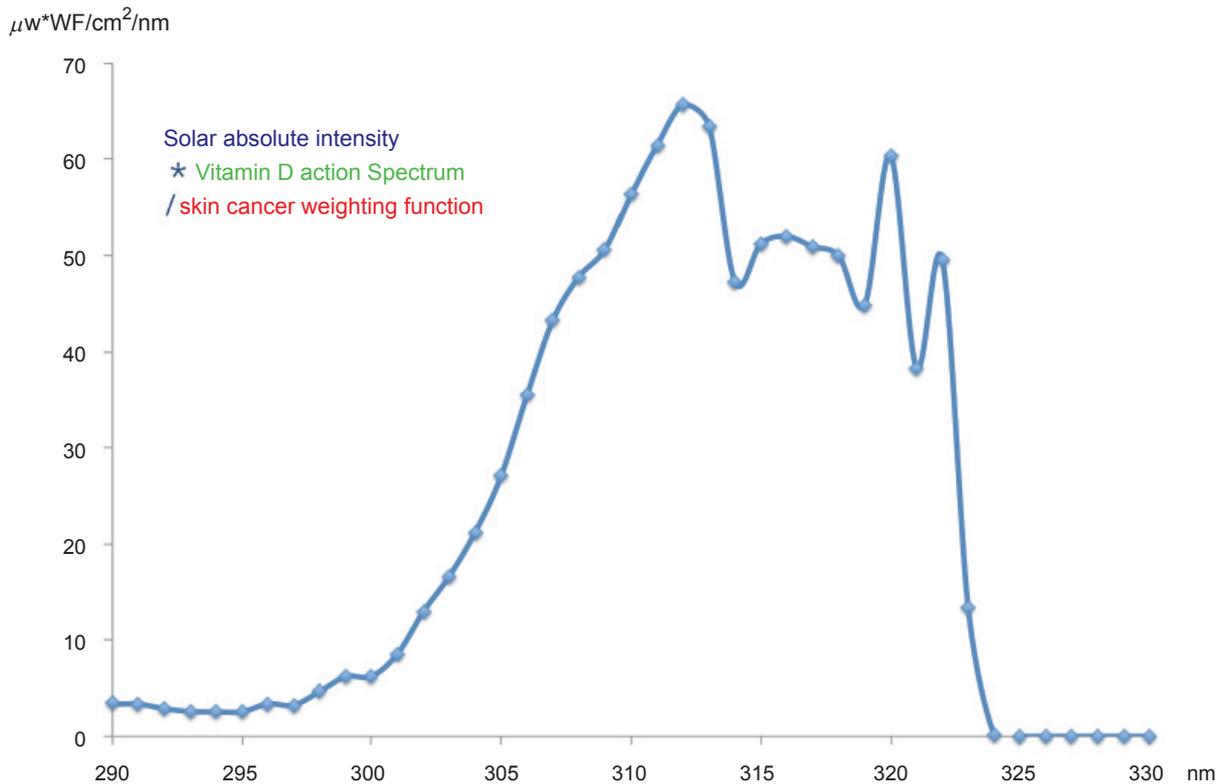


圖 9. 加權過後之日光光譜 (紫外光 B 區域)。

們了解到維生素 D 合成的更有效範圍是用約 305–320 nm 的波長輻照。但是，仍然有一個未解決的問題。由於人體對陽光的傷害有一定的抵抗力，很難估計短期 (上午 11:00) 使用高劑量暴露或長期使用低劑量暴露 (13:00–15:00 PM) 的好處。因此，它仍需要足夠的臨床生物試驗來確定劑量比。到現在為止，我們寧願提出最保守的建議：於該日內，出門曬太陽的最佳時間預估是從下午 12:30 到下午 14:30。原因在於 UV-A 相對較弱，而有效的 UV-B (305–320 nm) 仍然有足夠的量。在此期間，人類可以獲得適當的維生素 D 合成、而能同時對皮膚損害降至最小。當然，天然日光每天都在改變，這部份需仰賴我們仍在持續進行的長期台灣日照背景數據的量測，來做為更精準的參考標準。不過依照目前已量測一年之結果，其光譜的趨勢不會有太大改變，只會有峰值區域的訊號起伏。我們可以了解，305–320 nm 左右的紫外光為理論上優化之結果。而實際上則需以後續動物實驗來佐證。

目前已選定了幾種紫外燈泡方式來搭配濾片與衰減片，施行健康燈具之試製，並以台灣日光標準劑量的 1 倍、1/2 倍、1/4 倍、1/8 倍等來進行動物臨床實驗，以追求更安全且有效的健康燈具。

四、結論

本文介紹了一種用於自然太陽紫外光測量的光譜分析系統。其包含了硬體的量測結構與分析的辦法。在考慮各種影響因子的函數後，我們提供了 UV-B 波段範圍內、經過維生素 D 生成加權與皮膚傷害減權後的太陽光譜。結果表明，理論上有益於人類健康的最有效的光譜範圍應為 305–320nm。但是，仍然需要充分的臨床試驗來確定最佳劑量比，原因是天然太陽光的光譜分布未必對人體是最優化的設定。未來，我們認為通過建立長期數據庫，可以決定外出曬太陽的最佳時間，並建構出適當的健康燈具，供應人體健康與預防醫學之願景。

參考文獻

1. M. G. Kimlin, *Molecular Aspects of Medicine*, **29**, 453 (2008).
2. B. C. V. P, K. N, G. J, H. AP, S. OH, *The British journal of nutrition*, **86**, S97 (2001).
3. Autier P, Boniol M, Pizot C, Mullie P., *Lancet Diabetes Endocrinol*, **2** (1),76 (2014).
4. Hossein-nezhad A, Holick MF., *Mayo Clin Proc*, **88** (7), 720 (2013).
5. Van Schoor NM, Lips P., *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*, **25** (4), 671 (2011). D. F. EC, N.. FP, F. T, M. G., *Cancer Res.*, 64 (18), 6372 (2004).
6. 李美璇, 林以勤, 黃怡真, 黃琳媛. 國人維生素 D 營養狀況初步分析結果: 由 NAHSIT 1993-1996 到 2005-2008 .
7. Chang C-I, Chan D-CD, Kuo K-N, Hsiung CA, Chen C-Y., *Arch Gerontol Geriatr*, **50** Suppl 1, S17 (2010).
8. Adams JS, Clemens TL, Parrish JA, Holick MF., *N Engl J Med*, **306** (12),722 (1982).
9. Sheet DSF. Vitamin D. Office of Dietary Supplements. National Institutes of Health: Updated 11/13/2009. Accessed 08/17; 2010.
10. Bogh MKB, Schmedes AV, Philipsen PA, Thieden E, Wulf HC., *Br J Dermatol*, **166** (2), 430 (2012).
11. Thieden E, Jorgensen HL, Jorgensen NR, Philipsen PA, Wulf HC., *Photochem Photobiol*, **84** (6), 1487 (2008).
12. Moan J, Lagunova Z, Cicarma E, Aksnes L, Dahlback A, Grant WB, et al., *Photochem Photobiol*, **85** (6), 1474 (2009).
13. McKenzie R, Scragg R, Liley B, Johnston P, Wishart J, Stewart A, et al., *Photochem Photobiol Sci Off J Eur Photochem Assoc Eur Soc Photobiol*, **11** (7), 1174 (2012).
14. Bogh MKB, Schmedes AV, Philipsen PA, Thieden E, Wulf HC., *J Invest Dermatol*, **130** (2), 546 (2010).
15. Chel VGM, Ooms ME, Pavel S, de Gruijl F, Brand A, *Age Ageing*, **40** (2), 211 (2011).
16. Osmancevic A, Landin-Wilhelmsen K, Larko O, Mellstrom D, Wennberg A-M, Hulthen L, et al., *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, **23** (5), 172 (2007).
17. Ala-Houhala MJ, Vahavihu K, Hasan T, Kautiainen H, Ylianttila L, Viljakainen HT, et al., *Br J Dermatol*, **167** (1), 160 (2012).
18. Vahavihu K, Ylianttila L, Kautiainen H, Viljakainen H, Lamberg-Allardt C, Hasan T, et al., *Br J Dermatol*, **162** (4), 848 (2010).
19. Vahavihu K, Ala-Houhala M, Peric M, Karisola P, Kautiainen H, Hasan T, et al., *Br J Dermatol*, **163** (2), 321 (2010).
20. Cicarma E, Mork C, Porojnicu AC, Juzeniene A, Tam TTT, Dahlback A, et al., *Exp Dermatol*, **19** (8), e67 (2010).
21. Osmancevic A, Landin-Wilhelmsen K, Larko O, Wennberg A-M, Krogstad AL., *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, **25** (3), 119 (2009).
22. Li Y-W, Chu C-Y., *J Formos Med Assoc Taiwan Yi Zhi*, **106** (11), 975 (2007).
23. Armas LAG, Dowell S, Akhter M, Duthuluru S, Huerter C, Hollis BW, et al., *J Am Acad Dermatol.*, **57** (4), 588 (2007).
24. Grigalavicius M, Moan J, Dahlback A, Juzeniene A., *J Photochem Photobiol B*, **147**, 69 (2015).
25. Description of Dose-Rates, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/lantuv/docs/version2/descVersion2Database3.html>



林宇軒先生為國立台灣交通大學電子物理博士，現為國家實驗研究院儀器科技研究中心生醫與曝光機系統組副研究員。

Yu-Hsuan Lin received his Ph. D. in electrophysics from National Chiao Tung University. He is currently an associate researcher in Biomedical and Lithography System Division at the Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



邱怡文先生現為高雄醫學大學附設醫院內科主治醫師與腎臟照護學系系主任。

Yi-Wen Chiu is currently an attending physician in Kaohsiung Medical University Hospital and a director in the department of Renal Care at Kaohsiung Medical University.



林明彥先生為高雄醫學大學公共衛生博士，現任高雄醫學大學附設醫院腎臟內科醫學助理研究員。

Ming-Yen Lin received his Ph. D. in public health from Kaohsiung Medical University. He is currently an assistant researcher in the division of Nephrology in Kaohsiung Medical University Hospital.



蔡心怡小姐為國立清華大學動力機械工程學系碩士，現為國家實驗研究院儀器科技研究中心生醫與曝光機系統組副研究員。

Hsin-Yi Tsai received her M.S. in

power mechanical engineering from National Tsing Hua University. She is currently an associate researcher in Biomedical and Lithography System Division at the Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



黃國政博士為國立台灣大學機械工程學系博士，現為國家實驗研究院儀器科技研究中心生醫與曝光機系統組研究員兼組長。

Kuo-Cheng Huang received his Ph.D. in mechanical engineering from National Taiwan University. He is currently a researcher and a director in Biomedical and Lithography System Division at the Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.