

陽光 臭氧 紫外線

每年九月十六日是國際臭氧層保護日。這是聯合國在一九九四年會員大會決定的一個特別日子，以紀念 26 個國家於一九八七年九月十六日在加拿大蒙特婁市簽署的一份極具時代意義的環境保護議定書。經過二十一年的努力，這份「蒙特婁議定書」(the Montreal Protocol) 在二〇〇九年臭氧日收到了第 196 個國家的申請加入，成為第一份也是唯一的一份獲得全球承諾遵循的環保公約。今 (二〇一〇) 年臭氧日的中心議題定為「保護臭氧層：最好的治理與遵循」(Ozone layer protection: governance and compliance at their best)，展現國際間對蒙特婁議定書締造了人類歷史上嶄新又閃亮的合作典範的慶祝之情。

談起「蒙特婁議定書」或許大家並不熟悉，但若說「紫外線指數」可能就不覺陌生了，其實二者之間是有密切關係的。紫外線指數在一九九二年由加拿大環境部率先開始監測和預報，之後有多國家陸續響應，然而用的方法不盡相同，直到二〇〇二年世界衛生組織定出了標準計算法之後才趨統一。紫外線指數顧名思義是量度太陽紫外線的強度，不過表達

方式已經轉換成陽光對人類皮膚的影響程度。紫外線指數越高，人體皮膚與眼睛受傷的機會越高，造成傷害需要的時間越短。紫外線指數的每日監測和預報 (表一)，逐漸使一般大眾感受到保護臭氧層的迫切性，對於推展全民呵護地球的環保意識，與達成全球保護臭氧層的蒙特婁議定書行動目標大有幫助。

紫外線 – 生物難以承受之光

太陽是一個巨大的能源，表面溫度約有攝氏 6000 度，能量藉電磁波不斷向地球傳送。以電磁波傳遞能量的方式稱為「輻射」。輻射可以在真空中進行，不需要任何介質的幫助。能量源的溫度越高，輻射頻率就越高，電磁波的波長越短。太陽電磁波輻射頻率分布很廣，有些部分是人眼可感受 (吸收) 的，稱為可見光，有些部分人眼感受不到。不同譜域 (波長、頻率) 的電磁波和物質 (分子、原子、原子核…) 間有不同的交互作用，所以不同物質對不同的電磁波有不同反應，反之亦然。可見光的波長大約在 400 奈米和 700 奈米之間，

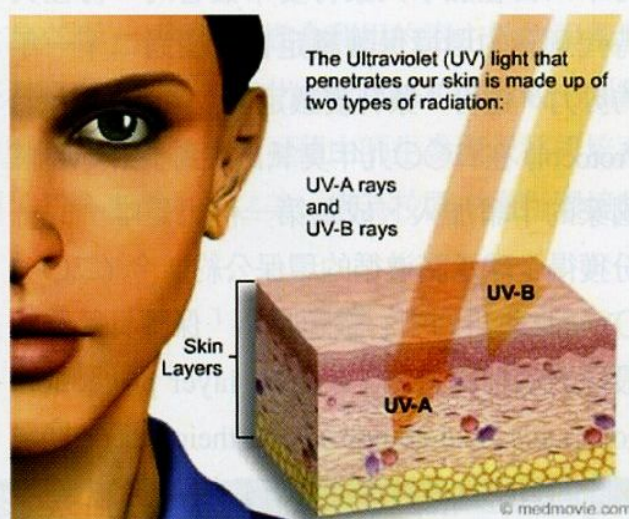
表一、紫外線指數、級數及曬傷防護

紫外線指數	曝曬級數	曬傷時間	防護措施
0~2	微量級		
3~5	低量級		
6~7	中量級	30 分鐘內	帽子／陽傘＋防曬液＋太陽眼鏡＋儘量待在陰涼處
8~10	過量級	20 分鐘內	帽子／陽傘＋防曬液＋太陽眼鏡＋陰涼處＋長袖衣物＋上午十時至下午二時最好不外出
11 以上	危險級	15 分鐘內	帽子／陽傘＋防曬液＋太陽眼鏡＋陰涼處＋長袖衣物＋上午十時至下午二時最好不外出

資料來源：行政院環境保護署空氣品質監測網 (<http://taqm.epa.gov.tw/taqm/zh-tw/default.aspx>)

占到達地球大氣層的太陽總輻射能的 43% 左右。比可見光的波長更長的紅外線、微波、無線電波等波段的電磁波所占太陽總輻射能的比例遠大於比可見光波長更短的紫外線、X 射線、伽瑪射線，這是因為短波的能量高，可不斷與太空中的氣體發生作用，能量在還未到達地球之前就大大耗損，變為能量較低的電磁波。

在電磁波譜中，波長在 10~200 奈米 (nm) 之間的波屬於「遠紫外線」，波長在 200~300 奈米屬於「近紫外線」，近紫外線又可細分為 A、B、C 三種。遠紫外線和波長最短的近紫外線「紫外線 C」(UV-C，波長 100~280 奈米) 因完全被高層大氣吸收，在地球接受的陽光中是不存在的。波長在 280~315 奈米的「紫外線 B」(UV-B) 有 90% 被臭氧和氧吸收，約 10% 能到達地面。波長最長的「紫外線 A」(UV-A) 幾乎可完全穿透大氣到



↑圖1. 紫外線穿透皮膚示意圖。地球上的陽光的紫外線 (UV) 有 A、B 兩種波段，UV-A 能量較低，UV-B 能量較高。UV-B 會破壞皮膚表層，在皮膚表層就完全被吸收。UV-A 可穿透表層，被皮膚中層吸收。(圖片來源：<http://www.fda.gov/Radiation-EmittingProducts/RadiationEmittingProductsandProcedures/Tanning/ucm116425.htm>)

達地面，所以地球上陽光中的紫外線僅包括 UV-A 和 UV-B，以 UV-B 對生物危害最大，會破壞包括 DNA 在內的生物分子，增加罹患皮

膚癌、白內障、以及許多免疫系統疾病的危險，也會影響農作物的生長。UV-B 又稱為危險紫外線，紫外線指數推估陽光對人類皮膚影響的程度就是根據 UV-B 強度計算 (圖1)。

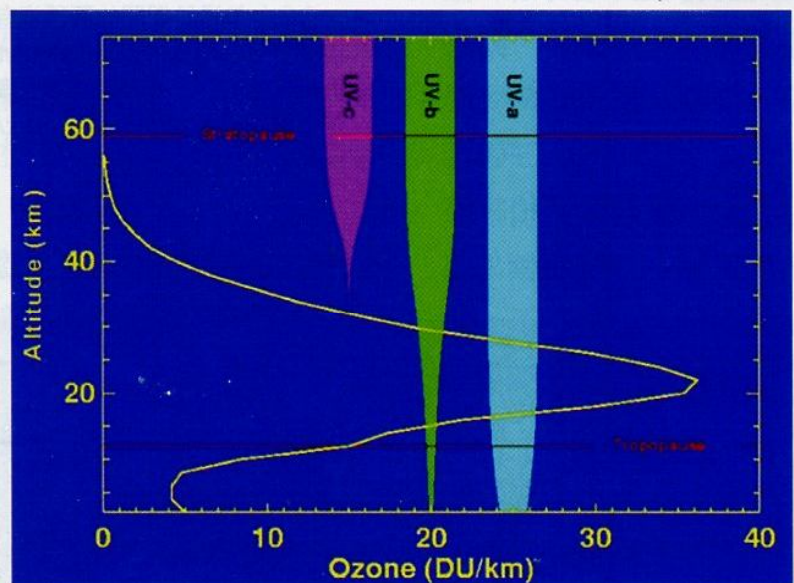
臭氧層 – 另類消波堤

臭氧層是唯一可以為地球生物遮擋危險紫外線的屏障。臭氧由三個氧原子 (O₃) 組成，具刺激性氣味，略帶淡藍色，對生物而言臭氧有「好」與「壞」之分。好臭氧主要分布在離地面 20 到 30 公里的高空，也就是所謂的「臭氧層」，是自然產生的，能吸收陽光中的紫外線，降低生物受到太陽輻射傷害的危險，對於地球上的生物非常重要。壞臭氧主要分布在近地面 10 公里內，來源為工業和石化燃料排放的化學物質，是環保單位管制的空氣污染物，對人體健康、植物生長與許多物質材料都具破壞力。

臭氧層乃是藉臭氧光化作

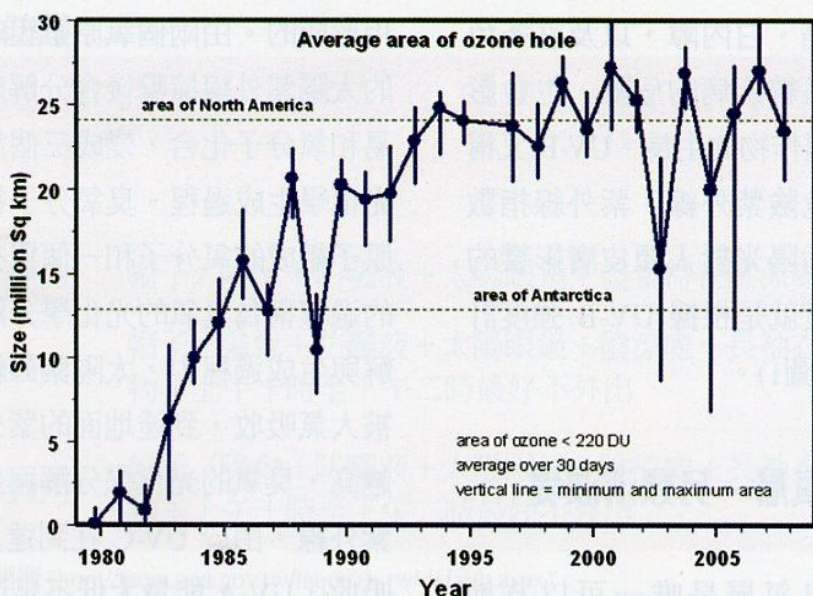
用形成的。由兩個氧原子組成的氧分子在高層大氣被能量極高的太陽紫外線撞擊後會分解成兩個氧原子，單獨的氧原子很容易和氧分子化合，變成三個氧原子的臭氧分子，這就是臭氧的光化學生成過程。臭氧分子被紫外線撞擊後會分解成由兩個氧原子組成的氧分子和一個單獨的氧原子，這個把臭氧轉變為氧的過程稱為臭氧的光化學分解過程。在一連串的臭氧光化學分解與生成過程中，太陽紫外線能量不斷耗損，也可以說是不斷被大氣吸收，到達地面的紫外線就減少了。臭氧層的臭氧含量越高，臭氧的光化學分解與生成過程就越活躍，能吸收越多的紫外線。由於 UV-C 在到達臭氧層以前已幾乎完全被氧與臭氧吸收，UV-A 能量太低不足以進行光化作用，因此臭氧層吸收的紫外線是以 UV-B 為主 (圖2)。

三〇年代以後，工業界漸漸大量生產可用於冷凍空調冷媒、電子與金屬零件清洗溶劑、塑膠發泡劑、化妝品噴霧



↑圖2. 紫外線穿透地球臭氧層示意圖。黃色曲線是臭氧層隨高度的分布，橫軸為每 1 公里大氣的純臭氧厚度，縱軸為距離地表的高度 (單位: 公里)，離地 20~25 公里左右臭氧濃度最高。紫外線分為 A、B、C 三個波段，以 UV-a、UV-b、UV-c 表示。UV-c 能量最高，進入臭氧層之前已幾乎完全被大氣吸收；UV-a 能量最低，可穿透大氣到達地表。臭氧層對 UV-b 的吸收最強，UV-b 也是對生物危害性最高的紫外線，有危險紫外線之稱。(圖片來源：http://en.wikipedia.org/wiki/Ozone_layer)

劑等等用途的氟氯碳化物 (chlorofluorocarbons, 簡稱 CFCs), 俗稱氟利昂 (Freon)。之後又接續開發其他含溴化學品, 作為海龍滅火劑、產品檢疫、農業及土壤等熏蒸用途。到了七〇年代初期, 科學家警覺到許多人工合成化學物質有破壞大氣臭氧的疑慮。一九七四年美國加州大學羅蘭德 (F. Sherwood Rowland) 及莫里納 (Mario J. Molina) 發表了一篇影響深遠的論文, 他們指出 CFCs 性質安定不易分解, 生命期長達 40~150 年, 如果長期大量使用含 CFC 的化學劑就是在大氣中囤積 CFCs, 而且從底層往上累積終將擴至臭氧層。CFCs 受紫外線照射分解即產生氯原子, 活潑的氯原子很容易與臭氧反應, 使臭氧分解消失, 降低臭氧層吸收 UV-B 的能力。由於數十年來大氣中已累積了非常可觀的 CFCs, 縱使立刻大幅降低 CFCs 的使用量, 要減緩臭氧的消失仍然需要一段相當長的時間。這篇論文很快就引起大眾傳播



↑圖3. 一九八九至二〇〇九年南極臭氧洞面積變化圖。橫座標為年分, 縱座標為臭氧洞面積 (單位: 平方公里), 實心圓點為每一年的臭氧洞面積平均值, 通過圓點線段的上端點標示當年的最大臭氧洞面積, 下端點則為當年的最小臭氧洞面積, 臭氧量低於 220 DU (Dobson Unit) 的區域即為臭氧洞, DU 是臭氧計量單位。兩條虛線標示出兩個參考面積, 下虛線是南極洲面積, 上虛線是北美洲面積。一九八〇至二〇〇一年臭氧洞面積持續擴大, 二〇〇一至二〇〇九年這段期間的面積沒有持續擴大, 呈現上下變動的狀況。全球管制破壞臭氧層物質 (Ozone Depleting Substances 簡稱 ODS) 對臭氧動的影響仍須持續觀察。臭氧洞面積是美國航空及太空總署 (NASA) 根據人造衛星觀測資料估計。(圖片來源: http://toms.gsfc.nasa.gov/eptoms/dataqual/oz_hole_avg_area_v8.jpg)

媒體的重視, 在世界各地激起了關於 CFCs 和臭氧的關係以及臭氧層對生物的重要性的廣泛的討論和研究。

臭氧洞 – 大自然的召喚

人工合成化學物質有破壞大氣中的臭氧危險的警訊到了八〇年代中期幾近變成敲響喪鐘, 「臭氧洞」的陰影籠罩全球。一九八五年科學家分析英國南極觀測站收集的一九七七至一九八四年資料發現, 七年內南極上空的春季大氣臭氧含量大約減少了 40% 以上, 許多研究指出臭氧量迅速減少區域的高度約在 12~24 公里, 面積甚至比南極大陸還大, 是為「臭

氧洞」(ozone hole)。臭氧洞並非真有一「洞」，也就是說並不是有一塊區域的臭氧完全不見了，而是指一塊區域的臭氧含量變得異常稀薄，如果「厚度」低至 220 Dobson Unit 以下，即稱為該區臭氧層有破洞。Dobson Unit (DU) 是指氣體在 0°C 與 1 大氣壓亦即標準大氣狀態時厚度為 0.001 公分的氣體量單位。全球臭氧層的臭氧厚度介於 200 至 500 DU，500 DU 相當於地球表面 0.5 公分厚的純臭氣氣體。臭氧洞在南極被觀測到後，在北極臭氧層也發現冬季有類似臭氧洞的現象，同時發現緯度偏高的地區幾乎都有高層大氣臭氧減少的傾向(圖3)。

臭氧洞明顯的南極地區由於無人居住，還不致於造成社會恐慌，但其嚴重性已足以讓全世界政府體認到人類破壞環境的影響與大自然反撲的迅速，上一代的破壞會威脅下一代甚至自己的生存安危。聯合國環境規劃署於一九八五年召集世界各國商議對策，簽訂保護臭氧層的

「維也納協定」，並在這個基礎上於一九八七年由 26 個國家簽署了極具象徵與實質意義的蒙特婁議定書，強制規定締約國的 CFCs 使用量在一九九〇年必須降至一九八六年使用量的 50%。之後，蒙特婁議定書的管制措施經過數次修訂，調整管制的範圍和削減時程，締約國的數目也不斷增加。一九九二年十一月在丹麥哥本哈根舉行蒙特婁議定書第 4 次締約國會議，參加單位突破了一百個國家，全面禁用 CFCs 的時間也提前至一九九六年一月一日，可謂是一次空前的全球大團結。

我國雖然不是蒙特婁議定書的締約國，但早在一九八三年五月，衛生署便已公告禁止化粧品噴霧劑使用 CFCs；並在一九九二年四月，由經濟部成立「臭氧層及地球溫暖化問題因應對策專案小組」，以積極配合蒙特婁議定書的管制措施，避免我國成為貿易制裁的對象。另外，一九九七年七月開始紫外線測報業務，由行政院環境保護署每天發布當日紫外線監測結果和次日的紫外線指數預報，到今天紫外線指數已和氣象預報一樣成為民眾日常生活的必備資訊。這一段由陽光、臭氧、紫外線定調譜出的天人合奏，值得再三回味與深思。更多的紫外線相關資訊，可參考行政院環境保護署空氣品質監測網。

