



塔塔加地區紫外輻射之初步監測

◎陳信雄 / 國立台灣大學森林學系教授兼系主任

◎姚榮華 / 國立台灣大學實驗林管理處研究員

◎魏聰輝 / 國立台灣大學實驗林管理處企劃組技士

壹、前言

地球大氣環境中，近年來由於人類所產生的微量氣體分子如氯氟碳化物(chlorofluorocarbons)的作用，造成平流層中臭氧分子的逐漸消滅，臭氧吸收阻隔紫外輻射(ultraviolet radiation)的能力降低，紫外輻射到達地表面的輻射量因而逐漸增加，對地表生態中的動、植物皆形成相當的衝擊。

自然界中由無機物轉化構成複雜的有機物並將此能量貯存，主要是藉著植物社會之光合作用的生命現象而達成，植物的光合作用，以至於發芽生長等形態發生皆需要不同光質分子的能量來啟動或激發，一般照射到葉片的光質中都含有少量的紫外輻射，但在臭氧層(ozonosphere)逐漸稀薄下，照射到地表的光譜中屬於短波長範圍的紫外輻射(280-320 nm)的比率也逐漸增加。由於生

物分子對此短波長皆相當敏感，即使增加少量的短波長紫外輻射，也可能導致生理或生長的阻礙，又由於植物物種間對紫外輻射的敏感度不同，大氣環境中紫外輻射的增加也可能促使生態中各植物物種間的平衡改變，終於導致自然生態環境的改變。此外，這種紫外輻射對植物的傷害也可能影響人類糧食作物的生產，直接衝擊人類的生存，如此種種的效應值得吾人加以重視。

貳、臭氧層與紫外輻射

一、臭氧洞定義

地球四周包圍著一層厚厚的空氣，稱之為大氣層，一般可依溫度的垂直分度與變化加以分層，大氣底部的空氣層為「對流層」，厚度因緯度而異，赤道附近的空氣因終年受太陽照射，對流層較厚，可達18公里；南北兩極的空氣受太陽照射的機會相對最少，對流層最薄，

只有7~8公里。對流層之上稱為「平流層」，頂部距離海平面約50公里。越過平流層先到「中氣層」，其外為「增溫層」(方力格，1987)。

臭氧層是指平流層內含有臭氧的大氣層，臭氧的結構上只有比生物賴以呼吸維生用的氧分子(O_2)，多一個氧原子(O_3)。普通的氧分子，在日光輻射下，有一部分變成臭氧，但是臭氧也不斷地被日光輻射，分解成普通的氧，此時，紫外輻射被臭氧吸收，不至於穿過平流層到達地面，來傷害地面層的生物群。平流層的臭氧分布並不平均，一般臭氧大部分是在赤道上空製造，借氣流補充產量少的南北極上空，維持南北極上空有足夠的臭氧氣體(金恆鏞，2000)。

1985英國科學家揭發南極臭氧大幅遞減的情形，其後，科學家發現每年八月底至十二月初，南極臭氧量持續降低平均介於300~150 DU或更低，而低平流層約15~20公里處，約有95%的臭氧會被破壞，這個在南極上空臭氧破壞的程度，開始受到關切。由於許多媒體報導皆使用「臭氧洞」來描述臭氧層在南極上空極度破壞的狀況，漸漸地這個名詞雖未曾被嚴格的定義，但不論是在學術界或民間，都已成爲一個極地臭氧破壞的代名詞。如美國太空總署(NASA)的總臭

氧映象分光計TOMS所顯示的資料上，臭氧洞是定義在225DU下，在國家海洋大氣機構(NOAA)的SBUV衛星資料分析下則爲300DU下(劉銘龍等，1998)。

大氣中臭氧濃度的單位，慣常採用微量氣體濃度的表現方式，例如體積混合比單位ppmv或ppbv、質量混合比單位 $\mu g/kg$ 、質量濃度單位 $\mu g/m^3$ 等；對於平流層臭氧總含量，使用了一種特殊的表示方法，假定垂直氣柱中，臭氧全部集中起來成爲一個純臭氧層，用這一純臭氧層在0°C、1,013.25 hPa條件下的厚度，來量度臭氧總含量，厚度爲1cm時定義爲1「大氣厘米」，厚度爲 $10^{-3}cm$ 時則定義爲一個Dobson Unit(DU)，而「大氣厘米」也常用來表示其他種微量氣體的總量；另外，平流層臭氧含量也經常使用臭氧的分壓力，其單位是Pa(王明星，1999)。

(一)南極臭氧洞

世界氣象組織公報(WMO Bulletin)最後一期的報告(12月3日)說明1997年南半球8-11月總臭氧遞減狀況：在極區65-90S處，總臭氧量與1970年代相比約減少33%，而在9月底10月初的2星期內，曾大幅遞減超過50%。總結而言，臭氧量低於220-200 mm且涵蓋區域超過一千萬平方公里的日數，大於80天。最

嚴重時，影響面積曾達二千萬平方公里，則是發生在9月中至10月中旬。

(二)北極臭氧之減少

據美國太空總署，在1997年4月的報告指出，2、3月至4月初，北極上空平均臭氧量，較1972-1982十年的平均臭氧量約減少40%；而去年3月與1972-1982相比，只減少24%。世界氣象組織(World Meteorological Organization, WMO)資料顯示，3月臭氧平均值介是於460-500DU間，然而1997年3月24日的臭氧量為219DU，TOMS資料顯示3月中至月底的北極上空，低於280DU的面積超過了5.3百萬平方公里。由於近年來所面臨的每年初春北極臭氧遞減情況，日趨嚴重，因此國際關注的新焦點，將著重在人口密集的北半球，與其相對之近地表紫外輻射量增加與對環境的影響(劉銘龍等，1998)。

二、紫外輻射定義

在光譜中所謂紫外輻射一般是指波長在100~400nm之間的輻射線，低於100nm波長的輻射線具有很高的能量，能破壞或分解水分子，故被稱為離子化輻射線(ionizing radiation)。紫外輻射通常分為三種，即真空紫外輻射(vacuum UV)、波長自100~200nm，遠紫外輻射(far UV)、波長自200~300nm，和近紫

外輻射(near UV)、波長在300~400nm。其中遠紫外輻射具有特殊生物作用，因為核酸和蛋白質可以吸收。

遠紫外輻射和近紫外輻射又可分为UV-A(320~390nm)、UV-B(280~320nm)和UV-C(200~280nm)三種形式，其中UV-B與日曬、皮膚癌有關。

紫外輻射來自於太陽，當自太陽中放射出來，必須經過無數氣層才可到達地面。對紫外輻射影響最大的為臭氧層，臭氧能夠有效的過濾280nm波長以下的紫外輻射。紫外輻射波長超過280nm以上，臭氧吸收效率及速減少。例如在310nm其吸收效率減半，而對330nm幾乎失去吸收效率，所以到達地球表面的紫外輻射波長最短必在280nm以上。部份低於280nm波長亦可傳遞至地面，惟其量甚微，故一般所謂紫外光線均指280nm以上，390或400nm以下之光波(朱德民，1995)。

近期的研究指出，非黑瘤皮膚癌與遭受UV-B過度曝曬關係密切，且照射紫外輻射可能造成眼珠白內障混濁，亦可能導致某些傳染性疾病更為嚴重，並且減少疫苗接種的成效(劉銘龍等，1998)；因此自1997年7月起，中央氣象局、環境保護署每天均提供紫外線指數(Ultraviolet Index)預報之服務，以提

醒國人適時做好防護措施。所謂紫外線指數，係指測報中午陽光最強的一個小時(約11:30~12:30)中，使皮膚致紅的紫外輻射到達地面單位面積的輻射量(單位為百焦耳/平方公尺，HJ/m²)，例如中午陽光最強的一個小時中紫外輻射到達地面的輻射量為500 HJ/m²，則轉換紫外線指數為5(中央氣象局，2000)。

參、紫外輻射對植物社會的影響

一、對植物生長與生理的影響

(一)對DNA的破壞

具生理活性的生物大分子如DNA與蛋白質皆可吸收短波長的UV-B，因此對紫外輻射相當敏感。一般而言，植物的DNA分子皆可吸收UV-B光質子，強烈的UV可造成DNA分子的斷裂；而較低的UV輻射下，DNA吸收UV-B後其分子上的pyrimidine鹼基最常形成cyclobutane-pyrimidine dimer分子，這種雙pyrimidine分子(dimers)造成DNA分子複製及RNA分子轉錄受阻，使細胞分裂發生變異或基因表現停滯，這些反應可導致植物細胞變異性增加或生理作用發生阻礙。在常態下，細胞多具有自然修補這種UV-B引起的DNA傷害的機轉，但是此修補作用同時需要可見光(400 nm - 700 nm)、UV-A (350 nm)的激發，在大氣臭氧層減弱時，光質中UV-B的比率增加，而

UV-A比率相對的降低，使DNA修補能力也相對的下降。

所謂紫外輻射對植物的傷害一般多指的是較短波長的UV-B部份，而較長波長的UV-A反而對DNA的修補有促進功能(盧虎生等，1998、鄭有飛等，1997c)。

(二)對光合作用的影響

照射至葉片的光質中也包含了紫外輻射的部份，因此植物在利用可見光進行光合作用的同時無可避免地也受到紫外光的照射，紫外輻射在與可見光的協力作用下，會加速光合電子傳遞系統中組成蛋白質的分解，這種分解在常態下原本可維持蛋白質的更新，但過量的紫外輻射加速分解而更新不足，導致整個系統蛋白質含量下降，電子傳遞效率減低。此光合電子傳遞系統構造中以PSII系統最敏感，容易受到紫外輻射的干擾，PSII系統構造中又以D1及D2蛋白質最容易因紫外輻射而分解。這些紫外輻射對光合作用電子傳遞的阻礙效應皆可能造成整體光合作用的下降，因而造成植物體biomass的降低。

需要注意的是，這一類的試驗多在研究室或溫室小規模進行，實際的田野試驗非常少，須要進一步的試驗才能明瞭及評估生態規模上紫外輻射對植被

(canopy)光合作用的效應(盧虎生等, 1998、鄭有飛等, 1997c)。

(三)對植物形態的影響

紫外輻射增加的環境下,可明顯的造成植物外觀生長形態的改變。常見的現象為植株高度降低,葉面積及葉上氣孔數目減少,葉片彎屈(向光源方向彎曲),節間長度減短,側芽數目增加。在葉片上,也可發現上表皮細胞增厚,臘質增加,葉片變厚,色素分子濃度增加,葉綠素分佈改變(向光面低)等現象。學理推測上,這些外觀形態的反應可能是紫外輻射影響植物荷爾蒙的活行與分佈所致,例如紫外輻射可以促使植物生長素(IAA)的分解,使植株頂芽優勢降低而側枝數目增加。

這種紫外輻射對形態的影響可直接影響植物物種在生態中生長競爭的平衡性,例如對紫外輻射敏感的物種可能因植株高度的降低而影響它在整體生態中的分佈平衡(盧虎生等, 1998)。

二、對植物生態的影響

生態的研究一般是最不易進行的,有關紫外輻射這方面的評估也最少。目前極有限的資料顯示,自然分佈於較高紫外輻射地區(如赤道、高山)的植物,對紫外輻射的適應性相對的也較高,推測其植體內可能已演生出適應較高紫外

輻射環境的生理機制。如果以植物對紫外輻射的生長反應推測,紫外輻射增加可造成敏感性物種高度、生物量(biomass)等形態上的改變,進而影響它們在生態相中的競爭力,長期下改變了生態中各物種的相對分佈情形(盧虎生等, 1998)。

肆、植物對紫外輻射的適應機制

植物在進行光合作用時自然也接受到紫外輻射照射,為適應這種光環境,植物一般具有若干的適應機制。在自然環境下,植物可經由形態上的改變,如株高降低、葉片變厚、葉面積減小等,減少對紫外輻射的接觸與吸收量,而達到適應的目地,在未來紫外輻射增加的趨勢下,此類形態上的反應會更為顯著。

除了形態上的適應外,植物體內更有一系列適應紫外輻射環境的生化機制。其中之一是增加 flavonoids 及 sinapic esters 類分子的合成,即在紫外輻射增強時,可促使植物細胞合成多量的上述分子,尤其是葉的上表皮細胞可蓄積多量的這類分子,flavonoids 與 sinapic esters 可吸收 280-340 nm 有害波長的紫外輻射,使其穿透入葉肉細胞內的量降低,相對的保留較高量有益波長的紫外輻射(321-400 nm,即UV-A,可

促進 DNA 的修補)。此外，葉片受光面表皮細胞的 質分子(waxes)組成也發生改變，可阻斷過量的紫外輻射穿透入內層細胞。紫外輻射也會促進表皮細胞木質素的合成，可過濾有害的紫外輻射。

在過量的紫外輻射光環境下，細胞內可激發出多量的有害活性分子，如活性氧及自由基(active oxygen and free radical)，此類分子可循環性的侵害如蛋白質的大分子，使細胞生理受阻。在適應上，過量的紫外輻射環境也可促進細胞執行所謂「自由基清除循環」，經由如peroxidase、catalase、superoxide dismutase (SOD)、glutathion reductase、ascobate peroxidase 等素的作用，降低活性氧或自由基的量而避免傷害。

上述的機制或過濾紫外輻射、或清除紫外輻射進入後形成的有害分子，都可減低過量紫外輻射的傷害。其中如flavonoids 與sinapic esters等分子因具有吸收紫外輻射的功能，經 取或人工合成也可被人類利用，使用於皮膚上過濾過量的紫外輻射(盧虎生等，1998)。

伍、紫外輻射之監測

一、紫外輻射監測儀器

量測紫外輻射的儀器包括二個基本

方向，其一為能配合特殊作用光譜而反應，如紅 作用光譜(Erythema Action Spectrum)，是比較實用且可直接提供民眾參考的；其二為精確量測各光譜之真正輻射量，則是比較偏向學術研究方面。目前發展出來量測紫外線輻射的儀器，依感應原理之性質，可區分為(1) 掃式光譜儀、(2)不連續光譜線儀、以及(3) 波段儀器等三類，三類儀器各有其適用範圍及優缺點(劉銘龍等，1998)。

二、塔塔加地區紫外輻射之監測

本報告應用國科會經費所補助之專題研究計畫之經費，採購兩套由義大利 Lastem 公司所產製之C502型UV-A及UV-B紫外輻射感應器，分別裝設於塔塔加長期生態研究站的雲杉林、草原區兩個永久樣區，以進行同海拔不同植被條件的地面紫外輻射之監測，另台大實驗林亦採購各兩套同型UV-A、UV-B感應器，裝設於觀山、和社氣象站，以監測不同海拔地面紫外輻射之分布情形。有關各站相關地理位置及UV-A及UV-B感應器之相關資料 列如表1和表2。

三、塔塔加地區之紫外輻射觀測值

本報告所收集之紫外輻射監測資料共有和社、觀山、塔塔加雲杉林(林內)及塔塔加草原區(林外)等四個站，其中因觀山氣象站之感應器故障，監測資料

無法獲取，於此僅列示其餘三站之監測值如表 3，據之繪製 UV-A 輻射量分布圖如圖 1、UV-B 輻射量分布圖如圖 2。其中因僅有草原區獲得完整之數據，茲將其與日射量並列如表 4，並據之繪製輻射量分布圖如圖 3。

(一) 紫外輻射的空間變化

在環境分佈上，通常低緯度地區較高緯度地區的紫外輻射量高，高海拔較低海拔地區的紫外輻射量也高(盧虎生等, 1998)。這是因為高海拔地區空氣稀薄，空氣分子、懸浮微粒比低海拔地區

弱很多(鄭有飛, 1997a)。以高海拔的塔塔加草原區監測站與低海拔的和社監測站為例，塔塔加地區 3 月份 UV-A 輻射量為 1,914.19KJ/m²、UV-B 輻射量為 277.35 KJ/m²，4 月份 UV-A 輻射量為 1,903.12KJ/m²、UV-B 輻射量為 259.93KJ/m²；和社地區 3 月份 UV-A 輻射量為 887.73KJ/m²、UV-B 輻射量為 1.54 KJ/m²，4 月份 UV-A 輻射量為 1,084.52KJ/m²、UV-B 輻射量為 3.10KJ/m²，但綜觀表 3 與圖 1、圖 2，和社站兩只 UV 感應器觀測值顯然有誤差，並未完全反映真實狀況。

表 1：塔塔加地區紫外輻射監測設置地點相關位置資料

站名	緯度	經度	海拔高度 (m)	開始觀測日期
和社氣象站	N23° 35'	E120° 53'	777	88 年 4 月 1 日
觀山微氣象站	N23° 30'53"	E120° 54'44"	1,700	89 年 3 月 9 日
塔塔加微氣象站	N23° 28'35"	E120° 54'05"	2,550	89 年 3 月 9 日
草原區微氣象站	N23° 28'49"	E120° 53'22"	2,655	89 年 3 月 9 日

表 2：C502 型 UV-A、UV-B 感應器相關資料

Kipp & Zonen	CUV B1	CUV A1
Lastem	C502 UV-B	C502 UV-A
Spectral range	280 ~ 320nm	320 ~ 400nm
Central wavelength (40° C)	306 ± 0.2nm	368 ± 2nm
Bandwidth (40° C)	2 ± 0.5nm	10 ± 1nm
Sideband rejection	10 ⁻⁸ (400-3000 nm)	10 ⁻⁶ (400-3000 nm)
Sensor signal (preliminary calibration)	5 V/W/m ² nm approx.	1V/W/m ² nm approx.
Signal range	0 to -6 V max.	0 to -2 V max.

表 3：塔塔加地區紫外輻射監測值

日期	雲杉林	草原區	和社	雲杉林	草原區	和社
	UV-A	UV-A	UV-A	UV-B	UV-B	UV-B
	(J/m ²)					
03/09	1,195.36	19.40	38,741.50	51.77	359.27	62.29
10	1,195.42	12,775.72	38,741.50	50.36	647.50	62.29
11	1,195.36	11,495.94	38,741.50	8.35	1,223.65	62.29
12	1,195.38	13,421.64	38,741.50	25.72	1,260.97	62.29
13	1,195.36	26,594.30	38,741.50	32.64	3,539.83	62.29
14	1,195.35	55,345.26	38,741.50	48.38	7,523.23	62.29
15	1,195.40	73,321.37	38,636.50	79.61	0,691.22	62.29
16	1,195.40	77,733.30	38,657.50	58.78	1,000.06	62.23
17	1,195.36	101,601.06	38,667.00	67.93	4,145.14	62.02
18	1,195.38	113,037.00	38,665.50	62.86	6,233.30	61.83
19	1,195.38	138,474.45	38,643.50	60.41	9,753.43	62.10
20	1,195.40	100,133.76	38,602.50	61.30	4,571.10	62.40
21	1,195.38	117,125.02	38,592.50	67.55	7,576.34	62.60
22	1,195.36	110,814.49	38,588.00	62.03	6,848.66	62.57
23	1,195.39	89,046.11	38,575.50	71.10	3,838.92	62.55
24	1,195.38	47,594.41	38,544.00	30.38	7,345.44	63.06
25	1,195.39	113,690.45	38,525.50	53.78	6,666.38	64.45
26	1,195.44	70,623.56	38,675.00	54.91	9,979.17	64.83
27	1,195.39	132,474.16	38,935.00	70.85	9,135.50	64.83
28	1,195.39	149,233.76	38,935.00	74.35	1,695.28	64.83
29	1,195.37	145,310.81	38,935.00	75.31	1,264.00	64.83
30	701.84	115,179.89	38,935.00	564.51	6,898.42	64.83
31	229.97	86,778.64	36,172.00	3,656.74	3,476.96	154.40
Sum(Mar)	26,034.85	1,901,824.49	887,734.00	5,389.64	275,673.77	1,540.39
Max(Mar)	1,195.44	149,233.76	38,935.00	3,656.74	21,695.28	154.40
Min(Mar)	229.97	19.40	36,172.00	8.35	359.27	61.83

表3：塔塔加地區紫外輻射監測值（續）

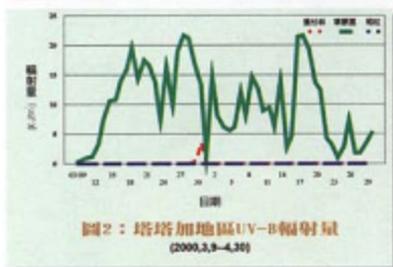
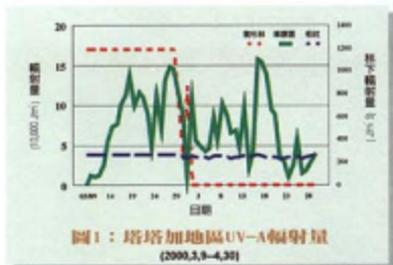
日期	雲杉林	草原區	和社	雲杉林	草原區	和社
	UV-A	UV-A	UV-A	UV-B	UV-B	UV-B
	(J/m ²)					
04/01	866.22	10,705.21	34,186.00	0.00	1,301.56	75.51
2	0.00	108,443.46	37,253.00	0.00	4,954.24	189.96
3	0.00	57,515.43	35,791.00	0.00	8,189.58	144.48
4	0.00	49,111.80	36,383.00	0.00	6,292.44	117.54
5	0.00	43,005.00	35,525.00	0.00	5,752.68	97.57
6	0.00	46,932.24	34,598.00	0.00	6,295.58	55.44
7	0.00	85,895.06	37,361.00	0.00	2,380.58	44.86
8	0.00	56,757.66	36,853.00	0.00	8,251.29	132.17
9	0.00	102,680.34	36,930.00	0.00	4,838.84	163.24
10	0.00	88,087.32	36,021.00	0.00	2,795.14	121.38
11	0.00	66,779.54	34,507.00	0.00	9,024.06	83.75
12	0.00	69,342.06	36,235.00	0.00	9,611.29	107.12
13	0.00	47,570.78	35,631.00	0.00	6,371.28	80.07
14	0.00	98,269.26	36,985.00	0.00	4,369.86	128.48
15	0.00	24,161.41	35,613.00	0.00	2,791.32	36.30
16	0.00	41,891.99	37,977.00	0.00	4,999.77	99.18
17	0.00	157,696.32	39,209.00	0.00	1,584.54	192.76
18	0.00	155,474.28	38,048.00	0.00	1,715.14	191.10
19	0.00	139,766.58	36,375.00	0.00	9,464.10	176.40
20	0.00	95,813.58	35,390.00	0.00	3,756.52	115.52
21	0.00	88,957.50	36,036.00	0.00	2,522.23	160.90
22	0.00	33,627.18	33,952.00	0.00	4,546.70	42.25
23	0.00	31,130.20	34,826.00	0.00	3,464.34	53.16
24	0.00	11,873.81	35,127.00	0.00	1,204.14	20.76
25	0.00	26,101.55	36,558.00	0.00	2,965.60	58.01
26	0.00	59,085.66	36,468.00	0.00	7,510.22	104.90
27	0.00	16,191.42	34,845.00	0.00	1,932.28	41.11
28	0.00	19,601.28	35,154.00	0.00	2,014.36	12.52
29	0.00	30,179.82	37,295.00	0.00	3,589.34	67.35
30	0.00	40,468.74	37,390.00	0.00	5,439.40	88.04
Sum(Apr)	866.22	1,903,116.48	1,084,522.00	0.00	259,928.42	3,101.81
ax(Apr)	866.22	157,696.32	39,209.00	0.00	21,715.14	192.76
Min(Apr)	0.00	10,705.21	33,952.00	0.00	1,204.14	12.52

表 4：塔塔加草原區日射量、UV-A、UV-B 觀測值

Date	Solar (J/m ²)	UV-A (J/m ²)	Ratio (%)	UV-B (J/m ²)	Ratio (%)
03/09	18,389.85	0.02	0.00%	0.36	0.00%
10	15,040.36	12.78	0.09%	0.65	0.00%
11	1,915.99	11.50	0.60%	1.22	0.06%
12	2,250.41	13.42	0.60%	1.26	0.06%
13	4,455.25	26.59	0.60%	3.54	0.08%
14	9,227.48	55.35	0.60%	7.52	0.08%
15	12,242.12	73.32	0.60%	10.69	0.09%
16	12,992.32	77.73	0.60%	11.00	0.08%
17	16,937.29	101.60	0.60%	14.15	0.08%
18	18,843.83	113.04	0.60%	16.23	0.09%
19	23,083.49	138.47	0.60%	19.75	0.09%
20	16,694.01	100.13	0.60%	14.57	0.09%
21	19,525.63	117.13	0.60%	17.58	0.09%
22	18,473.07	110.81	0.60%	16.85	0.09%
23	14,842.42	89.05	0.60%	13.84	0.09%
24	7,935.63	47.59	0.60%	7.35	0.09%
25	18,953.59	113.69	0.60%	16.67	0.09%
26	11,776.46	70.62	0.60%	9.98	0.08%
27	22,083.91	132.47	0.60%	19.14	0.09%
28	24,878.15	149.23	0.60%	21.70	0.09%
29	24,225.01	145.31	0.60%	21.26	0.09%
30	21,283.18	115.18	0.54%	16.90	0.08%
31	14,498.01	86.78	0.60%	13.48	0.09%
Sum(Mar)	350,547.46	1,901.81	0.60%	275.69	0.08%
Max(Mar)	24,878.15	149.23	0.60%	21.70	0.09%
Min(Mar)	1,915.99	0.02	0.54%	0.36	0.06%

表 4：塔塔加草原區日射量、UV-A、UV-B 觀測值（續）

Date	Solar (J/m ²)	UV-A (J/m ²)	Ratio (%)	UV-B (J/m ²)	Ratio (%)
04/01	1,813.99	10.71	0.59%	1.30	0.07%
2	18,105.56	108.44	0.60%	14.95	0.08%
3	9,601.67	57.52	0.60%	8.19	0.09%
4	8,209.86	49.11	0.60%	6.29	0.08%
5	7,189.30	43.01	0.60%	5.75	0.08%
6	7,844.64	46.93	0.60%	6.30	0.08%
7	14,325.44	85.90	0.60%	12.38	0.09%
8	9,467.13	56.76	0.60%	8.25	0.09%
9	17,123.24	102.68	0.60%	14.84	0.09%
10	14,683.43	88.09	0.60%	12.80	0.09%
11	11,134.21	66.78	0.60%	9.02	0.08%
12	11,561.60	69.34	0.60%	9.61	0.08%
13	7,931.90	47.57	0.60%	6.37	0.08%
14	16,381.74	98.27	0.60%	14.37	0.09%
15	4,031.92	24.16	0.60%	2.79	0.07%
16	6,992.91	41.89	0.60%	5.00	0.07%
17	26,293.08	157.70	0.60%	21.58	0.08%
18	25,925.67	155.47	0.60%	21.72	0.08%
19	23,305.12	139.77	0.60%	19.46	0.08%
20	15,998.17	95.81	0.60%	13.76	0.09%
21	14,843.48	88.96	0.60%	12.52	0.08%
22	5,607.33	33.63	0.60%	4.55	0.08%
23	5,196.99	31.13	0.60%	3.46	0.07%
24	1,983.77	11.87	0.60%	1.20	0.06%
25	4,360.97	26.10	0.60%	2.97	0.07%
26	9,854.54	59.09	0.60%	7.51	0.08%
27	2,707.83	16.19	0.60%	1.93	0.07%
28	3,309.49	19.60	0.59%	2.01	0.06%
29	5,116.06	30.18	0.59%	3.59	0.07%
30	6,890.31	40.47	0.59%	5.44	0.08%
Sum(Apr)	317,791.35	1,903.13	0.60%	259.91	0.08%
Max(Apr)	26,293.08	157.70	0.60%	21.72	0.09%
Min(Apr)	1,813.99	10.71	0.59%	1.20	0.06%



(二) 紫外輻射占太陽輻射的比例

紫外輻射在太陽輻射中占的比例很小，在太陽高度角很高時，占3%左右，當太陽高度降至 20° 以下時，比例值就低於1%，高海拔地區明顯高於低海拔地區(鄭有飛, 1997a)。根據草原區監測值所做的統計表(表4)，UV-A輻射量自3月11日至4月30日占太陽輻射量之0.59~0.60%，僅4月1日、28~30日為59%，總平均則為0.60%；UV-B輻射量則更低，介於0.06~0.09%之間，總平均為0.08%。

(三) 森林植被內外紫外輻射量之比較

較

植物葉片可高度吸收紫外輻射，254nm波長以下之輻射能完全被植物體所吸收，許多植物也能完全吸收313nm波長以下之輻射(朱德民, 1995)；Jagger, J.更進一步指出，336nm波長以下之輻射一點也穿不透葉子的綠色部分，而有8%可以穿過同一片葉子的白色部分，綠色部位的反射是白色的兩倍(趙清貴等, 1988)；因此到達林下之紫外輻射量已極為微小。本報告自3月30日15時起，迄4月1日24時止，於塔塔加雲杉林內紫外輻射間儀，監測得完整之UV-A監測值，UV-B之監測值則僅自3月30日15時起，迄3月31日24時止獲得完整數值，茲將兩者監測數值與同期間於草原區之監測值，並列於表5，據之繪製UV-A輻射量分布情形如圖4、UV-B輻射量分布情形如圖5；詳觀圖4與圖5，不論是UV-A抑或UV-B，林內、外之差異均極為明顯，由表5之監測值計算得淨差值(草原區站監測值減雲杉林站監測值)分別為UV-A：

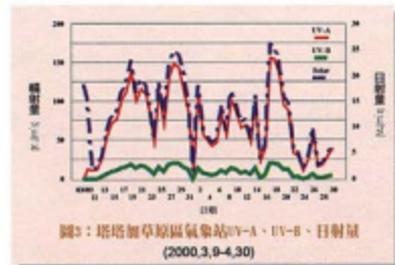


表 5：塔塔加草原區、雲杉林 UV-A、UV-B 觀測值

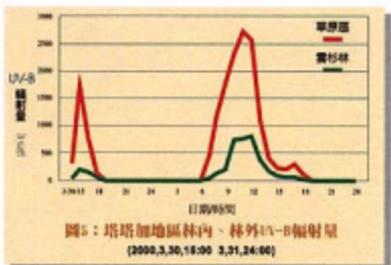
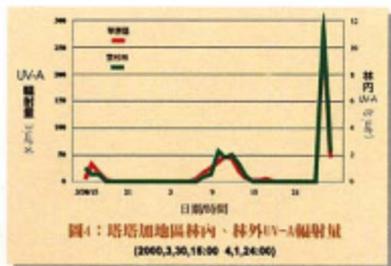
Date/Time	草原區		雲杉林		淨差	
	UV-A (J/m ²)	UV-A (J/m ²)	UV-A (J/m ²)	UV-A (J/m ²)	UV-B (J/m ²)	UV-B (J/m ²)
3/30/15	2,473.00	26.16	2,446.84	336.10	62.80	273.30
16	13,272.00	13.81	13,258.19	1,758.00	210.36	1,547.64
17	6,486.00	14.38	6,471.62	787.20	175.50	611.70
18	988.80	0.00	988.80	139.86	71.46	68.40
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/31/1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	25.24	0.00	25.24	0.00	3.32	-3.32
7	2,157.60	0.00	2,157.60	462.00	48.42	413.58
8	6,486.00	11.05	6,474.95	1,198.20	153.96	1,044.24
9	10,572.00	14.80	10,557.20	1,787.40	219.84	1,567.56
10	14,700.00	58.84	14,641.16	2,329.80	762.00	1,567.80
11	18,432.00	47.96	18,384.04	2,736.60	777.60	1,959.00
12	18,042.00	51.29	17,990.71	2,582.40	822.60	1,759.80
13	7,674.00	32.39	7,641.61	1,105.80	401.22	704.58
14	2,851.20	13.64	2,837.56	409.32	180.48	228.84
15	1,662.00	0.00	1,662.00	247.86	111.90	135.96
16	1,363.20	0.00	1,363.20	207.54	73.98	133.56
17	2,065.20	0.00	2,065.20	295.86	71.82	224.04
18	748.20	0.00	748.20	114.18	29.60	84.58
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum	109,998.44	284.32	109,714.12	16,498.12	4,176.86	12,321.26
Max	18,432.00	58.84	18,384.04	2,736.60	822.60	1,959.00

119.55KJ/mfS，UV-B：12.32KJ/mfS。

伍、結語

拜科技進步之賜，人類得以享受安逸舒適的生活空間，然其結果卻是破壞了自然生態環境。日前報章刊載，美國太空總署監測得北極上方 18 公里方圓區域的臭氧，在 2000 年 1 ~ 3 月中減少約 60%，歐洲執委會的一份聲明說：「這是九 0 年代中，北極區在此高度散失臭氧量最大的一次」，北極臭氧層雖未如南極臭氧層出現破洞，但報告中北極臭氧變為稀薄現象，顯示有些污染內含的氟氯化合物正在北極地區流連，終其原因仍是人為污染有以致之。相傳遠古時代有一稱為女媧的天神，因為天空裂開了，霖雨不止，因而鍊五色石，來為人類填補天空的破洞；然而時居科技突飛

猛進之現代，這位填補天空破洞的女媧，恐需由人類自己扮演！



參考文獻

- 方力偉, 1987 / 大氣科學概論, 農業氣象研討會論文集, 76-106, 中央氣象局, 台灣台北。
- 王明星, 1999 / 大氣臭氧, 大氣化學第 6 章, 323-378, 氣象出版社, 中國北京。
- 中央氣象局 / 2000 / 紫外線指數, <http://www.cwb.gov.tw/UVIndex/uv12.htm>。
- 朱德民, 1995 / 植物與光照逆境, 植物與環境逆境, 第七章, 253-265, 明文書局, 台灣台北。
- 金恆鏞, 2000 / 臭氧層破洞—天空裂開一個美國, 讓地球活下去, 47-56, 天地文化有限公司, 台灣台北。
- 趙清貴、林淑瑞合譯, 1988 / 多細胞系統, 日光紫外輻射生物學, 第八章, 133-158, 華香園出版社, 台灣台北。
- 鄭有飛, 1997a / UV-B 輻射增強對生物環境的驅逐, 王春乙等主編, 二氧化碳, 臭氧, 紫外輻射與農作物生產, 第十一章, 127-137, 氣象出版社, 中國北京。
- 鄭有飛, 1997b / UV-B 輻射增強與農作物關係的研究方法, 王春乙等主編, 二氧化碳, 臭氧, 紫外輻射與農作物生產, 第十二章, 138-156, 氣象出版社, 中國北京。
- 鄭有飛、王春乙, 1997c / 紫外輻射增加對我國農業生產的影響及其對策, 周秀驥主編, 中國地區大氣臭氧變化及其對氣候環境的影響論文集(二), 318-324, 氣象出版社, 中國北京。
- 盧虎生、朱鈞, 1998 / 紫外線對植物的影響, 1998 年紫外線研討會論文集。
- 劉銘龍、柳申明, 1998 / 我國之紫外線指數預報與教育宣導, 1998 年紫外線研討會論文集。