

MODIS氣溶膠產品應用於森林環境監測

文／圖 ■ 陳朝圳 ■ 國立屏東科技大學森林系教授（通訊作者）

陳建璋 ■ 國立屏東科技大學森林系助理教授

劉宜婷 ■ 國立屏東科技大學森林系碩士

胡瀨予 ■ 國立屏東科技大學亞太熱帶農業研究中心研究助理

魏浚紘 ■ 國立屏東科技大學生物資源研究所博士

一、前言

政府間氣候變遷專家委員會 IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）於 2007 年指出，由於全球氣候變遷導致全球氣候發生劇烈變化，如熱浪現象與颱風強度增強、極端降雨情形日益劇增且有增強趨勢；而大部分陸域地區的冷晝、冷夜偏暖且偏少，而熱晝、熱夜則為相反；受乾旱影響之地區逐漸增加等。全球氣候系統之變化，使得全球森林資源面臨森林面積衰減、豪雨颶風所帶來的山崩土石流、乾旱氣候造成林木枯死、造成林火及病蟲害的風險連帶增加，並影響森林的能量流動及養分之循環，而沙塵暴（Sandstorm）及氣溶膠（Aerosol）污染物質隨全球氣候變遷影響而日益增加，除使空氣品質急遽大幅度之變化外，氣溶膠污染物質所導致之酸沉降現象（Acid Deposition）亦對生態帶來嚴重衝擊。

臺灣位於東亞大陸的東南隅，為太平洋島之樞紐，北迴歸線經過臺灣中南，地處熱帶與亞熱帶間，受菲律賓與歐亞大陸板塊擠壓，因而臺灣全島高山聳立，南北綿延，在垂直氣

候帶上，含括溫帶與寒帶的氣候特徵。夏季雨量豐沛，春、冬兩季雨量稀少。此外，終年受東北與西南季風吹拂與海島地形效應，導致各地降雨量有所不同。特殊的地理位置、複雜的地形特徵與氣候條件交互作用，形成臺灣極為繁雜且多樣的生態環境，而在每年的東北季風期間，源自於亞洲大陸的大陸冷氣團，不僅使得氣溫降低，並且在適當的天氣條件下，帶來沙塵及長程傳輸的空氣污染物，影響臺灣的空氣品質（劉紹臣，2005）。

氣溶膠的形成主要來至於生質燃燒活動，例如每年的 3～5 月是東南亞地區生質燃燒旺盛的季節，除了當地農作物季節轉換外，另有大規模之燃燒農作物、廢棄物及森林砍伐等活動及森林火災等，產生大量的氣體及氣溶膠污染物（Hyer and Chew, 2010），氣溶膠濃度增加將產生空氣污染與酸沉降現象，其對於生態環境將產生嚴重的傷害，造成林木健康度下降。而酸沉降藉由二氧化硫（SO₂）及氮氧化物（NO_x）在大氣中以氣體方式存在，或者於大氣中進行一系列的化學反應後，形

成硫酸鹽、硝酸鹽等粒狀化合物，最後這些物質會藉由乾沉降（Dry Deposition）、濕沉降（Wet Deposition）方式降落至地表（劉恩好、劉瓊霏，2008）。氣溶膠光學厚度（Aerosol Optical Depth, AOD），又可稱為 AOT（Aerosol Optical Thickness）為大氣介質的消光係數在垂直方向上的積分，是描述氣溶膠對光的衰減，為氣溶膠最基本的光學特性，以表大氣混濁度之重要物理量，用為氣溶膠氣候效應的一個關鍵因子，常用於研究區域氣候效應（Hunsberger et al., 1992）。而沙塵暴是東亞地區冬末及春季經常發生的現象，主要發生地點位於強風且乾燥少雨的沙漠區，當強的冷高壓伴隨著鋒面通過強風乾旱的沙漠地區，便易形成沙塵暴，並隨著反氣旋冷高壓之移動路徑，往東和往南傳輸（劉紹臣，2005）。沙塵暴是指強風將地面大量的沙和土粒吹起，使空氣變得混濁、能見度低於 1 公里，近地面大氣層的懸浮微粒急驟增加的一種自然現象，主要出現在北非、中亞內陸、西南亞、美國西南部及澳大利亞等乾旱荒漠化氣候區（張國恩，2010；章偉偉等，2008）。

中解析度成像光譜輻射計（Moderate-resolution Imaging Spectrum-radiometer, MODIS）是美國太空總署（National Aeronautics and Space Administration, NASA）Terra 和 Aqua 衛星之酬載設備，目前研究者已開始進行 MODIS 全球的環境變化，其可研究全球之氣候和其他大型現象等，如植生指數、葉面積指數、氣溶膠等。利用 MODIS 衛星資料探討大尺度的環境生態相關課題，有逐漸攀升之趨勢，其中

對於對流層氣溶膠量測技術已發展出陸地和海洋表面氣溶膠之推估模式，可監測陸地和海洋表面所帶來的氣溶膠污染物（Hutchison, 2003），而如何應用 MODIS 產品監測空氣污染的動態變化，配合其 MOD17 淨初級生產力（Net Primary Productivity, NPP）之相關產品，進而評估對森林環境之監測，為一可研究之議題。

國內外探討氣候變遷研究之目的，在於建立氣候變遷對各項衝擊之基礎資料，藉由比較分析，以瞭解其所帶來的影響，如極端氣候對森林之衝擊影響、長期氣候變遷對森林之衝擊影響、氣候變遷對全球山坡地之影響、氣候變遷對珍貴稀有物種與外來種之影響等，其最終目的是希望可以提供決策者一個合適的選擇，營造最佳的因應策略。而在氣候變遷研究過程中，為達到區域性之問題解決，調查研究資料的整合與分享，將是達到監測研究資料庫最終目的之必要手段，透過網路的分享可建立相關空間資訊圖層。

二、研究材料與方法

（一）MODIS 數據產品

Claire and Reynold (2000) 於 EOS Data Products Handbook Volume 2 說明 MODIS 為 NASA 發射的地球觀測系統（Earth Observing Satellites, EOS）之中，最為主要的感測器（Sensor）之一。MODIS 提供了 40 種等諸多產品，其中包含標定、大氣、陸地和海洋以及冰雪等相關的 5 大類型，其種類繁多。MODIS 產品在各個不同處理階段得到不同級的產品（表 1），從最原始

的資料 Level-0 到含有統計分析結果的 Level-4 皆在內，而後利用資料級數加以獲得各項產品之影像資料（圖 1）。

在氣候模型中，氣溶膠為不確定性（Uncertainty）的最大來源之一。氣溶膠隨時間和空間變化，會牽連到雲的物理變化，這將會影響雲輻射特性和氣候。MODIS 的氣溶膠產品（MOD04）適用於氣候、水源和氣溶膠等研究方面，如硫酸鹽和生質燃燒、相互作用、氣溶膠、雲和大氣校正陸地之地表反射率。

在此之前 MODIS 衛星測量反射率之測量，僅限於 1（GOES, METEOSAT）或 2（AVHRR）波段，以確定是否真正嘗試在全球範圍內之土地來糾正氣溶膠含量。MODIS 的藍光不存在於 AVHRR，並提供了延長衍生光學厚度對土地以外的層面之可能性。該算法將 MODIS 波段 1～7 以及 20，並且需先利用 MODIS 雲覆蓋的資料做篩選。除陸地糾正過程之外，其動態氣溶膠模型將廣泛量測及使用於地面和空中。本研究透過 2001 年至今幾場影響臺灣較為嚴重之森林火災及沙塵暴進行氣溶膠影像分析，以瞭解有受到森林火災或沙塵暴影響之氣溶膠影像與無影響之影像差異為何，並探討其應用之可行性。

NASA EOS MODIS 為記錄及監測全球生物圈健康（Thornton et al., 2002）之目的，於 1999 年起開始定期估算全球陸域之 8 天光合作用（photosynthesis, PSN）及每年的 NPP，其為 1 公里的空間解析度，共由 15 億個網格組成，網格內的 PSN 和 NPP 皆為分開單獨計算（Running et al., 1999; Heinsch et

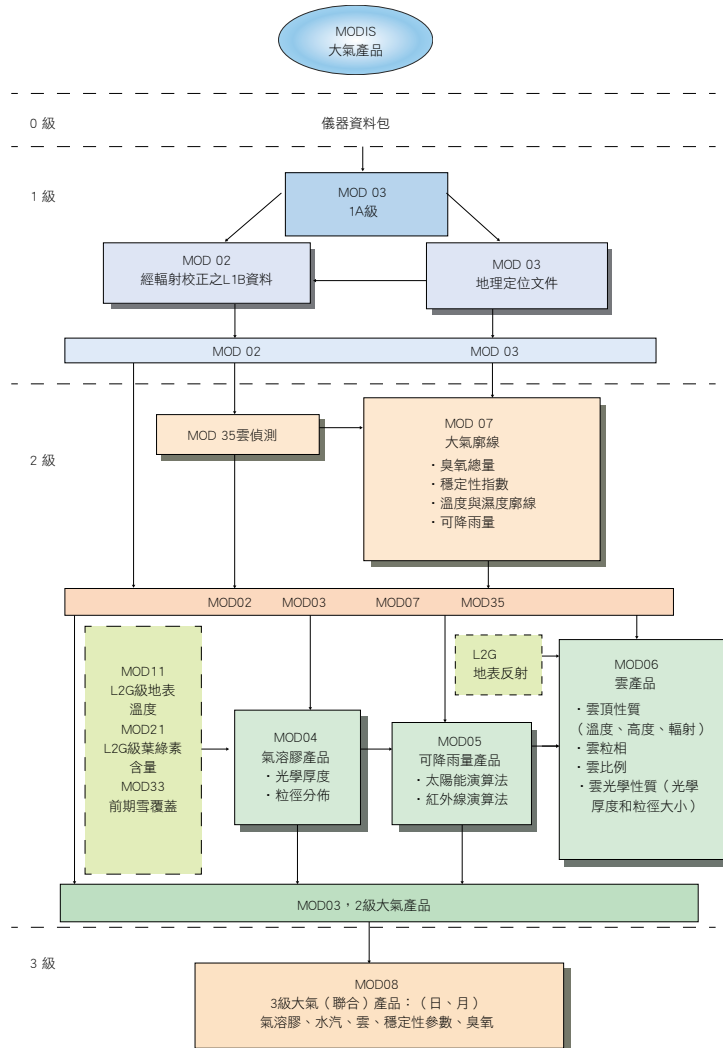
al., 2003）。MOD17A3 產品，其全名為 Net Primary Productivity Yearly L4 Global 1km SIN Grid V005，為 Terra 衛星上之 MODIS 數據資料所演算而成的全球 NPP 數據影像產品。MODIS 產品下載前需輸入相關基本資料，如欲下載位置之座標、日期與產品類別，而產品下載後亦須進行前處理，包括影像糾正、切割與合併等前處理，才可獲得合適分析的標準影像產品。

MODIS 之數值由圖譜合一之方式呈現，且為即時監測（Near real-time），其使得監測生態環境自然資源和環境之變化更於快速便利。根據劉榮高等（2009）利用 MODIS 為關鍵字於 SCI（Science Citation Index）期刊進行搜尋發現 2001 年相關文章僅 43 篇，但至 2007 年增加為 450 篇，表示 MODIS 影像資料應用性以及資料共享性越來越健全。NASA 為處理 MODIS 資料使其在地球科學應用上更具研究價值，成立了 MODIS Characterization Support Team（MCST）、MODIS Administrative Support Team（MAST）與 MODIS Science Data Support Team（SDST）等 3 個研究小組，分別負責資料接收與系統維護、資料管理以及彙整演算法產生 MODIS 產品及開發產品系統，其產品資料內容包括原始、大氣、陸域、冰雪與海洋等（表 2）。

NASA 網頁中之 MODIS Atmosphere：HDF Filenames 得知大氣產品的命名格式，其命名規則係以產品名稱＋產品級別＋衛星代號＋拍攝日期（年份及日期天數）＋產品時間＋產品版本＋產品公開時間＋檔案類型，如 MOD04-L2.

表 1、MODIS 資料的各級產品說明

資料級數	資料定義
Level-0	未經處理的原始資料
Level-1 A	Level-0級資料經由輔助資料來作一些處理，包括輻射校正、幾何校正係數和地理參數計算，與L0的資料不同
Level-1 B	L1經由感測單元作一些處理（非所有儀器皆等同於L1B）
Level-2	L1的資料在相同解析力與位置，所形成的幾何物理參數
Level-2G	與L2產品相似，且包含像元和網格的輻射糾正
Level-3	開始有製圖產生，參數常位於一致且完整的時間和空間的網格尺度之中
Level-4	以較低層次資料分析出結果或模式輸出，如：各種設備所得到的參數



▲圖 1、MODIS大氣產品生產流程圖

A2010080.0200.005.2010080135912.hdf，MOD04 為產品類型名稱，L2 為產品級別，A 為衛星代號，2010080 為年份（2010）與 365 天中的第 080 天，0200 為產品時間，005 為產品版本，2010080135912 公開時間（年日時分秒），hdf（Hierarchy Data Format）為檔案類型（資料皆可參見於 http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/products_filename.html）。

（二）MODIS 標準數據產品前處理

本研究採用 NASA 推出之 MODIS-MOD04-AOD 和 MOD17A3-NPP 等產品，其主要應用由 ITT Visual Information Solutions（ITTVIS）所提供之 MODIS Conversion Toolkit（MCTK）、The Environment for Visualizing Images（ENVI4.7）、

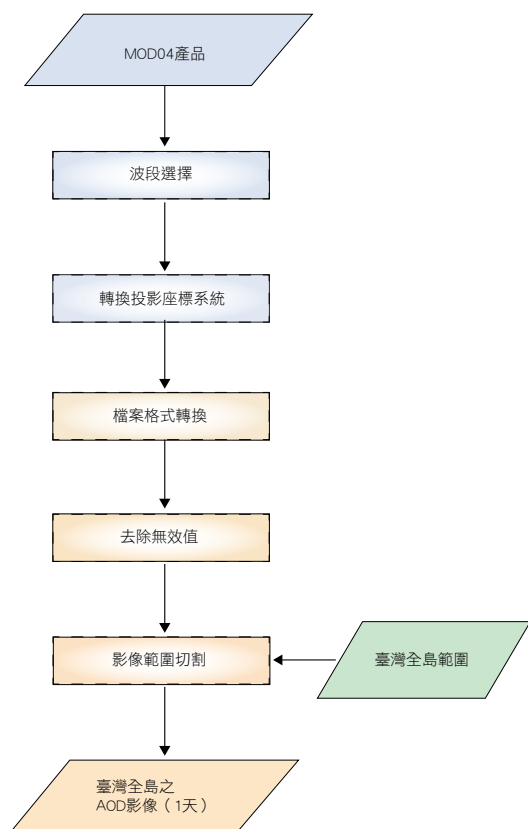
MODIS Reprojection Tool（MRT）軟體與 ESRI Arc GIS 10 套裝軟體，分別進行 MODIS 標準數據產品之資料讀取與相關處理，其各產品之前處理流程如圖 2～3。

（三）MODIS 氣溶膠應用於森林健康監測

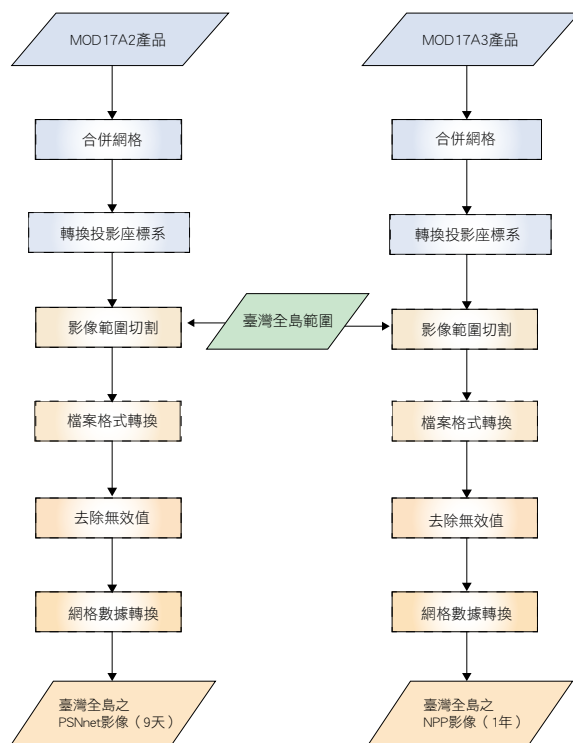
利用 MODIS-MOD04-AOD 以及 MOD17A3-NPP 等兩項產品，探討氣溶膠光學厚度對於森林 NPP 是否具有直接關係，是否會因氣溶膠污染嚴重，因而影響至森林之 NPP 下降，進而推斷氣溶膠與森林健康之相關性。本研究藉由 MODIS 的影像資料前處理獲得臺灣 4 年氣溶膠光學厚度及 NPP 之年際分布圖，並進一步以敘述性統計分析。

表 2、MODIS 衛星空間圖層產品

產品內容	產品名稱	產品說明	產品內容	產品名稱	產品說明
標定	MOD01	1A級輻射值	冰雪	MOD10	雪覆蓋
	MOD02	1B級經過標定與地理定位輻射值		MOD29	海冰覆蓋
	MOD03	地理定位資料集	海洋	MOD18	常態化水蒸發輻射率
大氣	MOD04	氣溶膠產品		MOD19	色素濃度
	MOD05	總降水量（水汽）		MOD20	葉綠素螢光
	MOD06	雲產品		MOD21	葉綠素a色素濃度
	MOD07	大氣概況		MOD22	入射光合有效輻射
	MOD08	網格大氣產品		MOD23	固體懸浮物濃度
	MOD35	雲覆蓋圖		MOD24	有機物濃度
陸地	MOD09	陸地反射		MOD25	球石粒濃度
	MOD11	地表溫度與發射率		MOD26	海水衰減係數
	MOD12	土地覆蓋/土地覆蓋變化		MOD27	海洋初級生產力
	MOD13	網格化植被指數		MOD28	海水表面溫度
	MOD14	熱異常、火與生物燃燒		MOD31	藻紅素含量
	MOD15	葉面積指數與FPAR		MOD36	總吸收係數
	MOD16	蒸散		MOD37	海洋氣溶膠特性
	MOD17	淨光合速率和初級生產力		MOD39	純淨水Epsilon係數
	MOD40	網格化熱異常			
	MOD43	地面二向性反射			
	MOD44	植被覆蓋轉換			



▲圖 2、MOD04 產品前處理流程圖



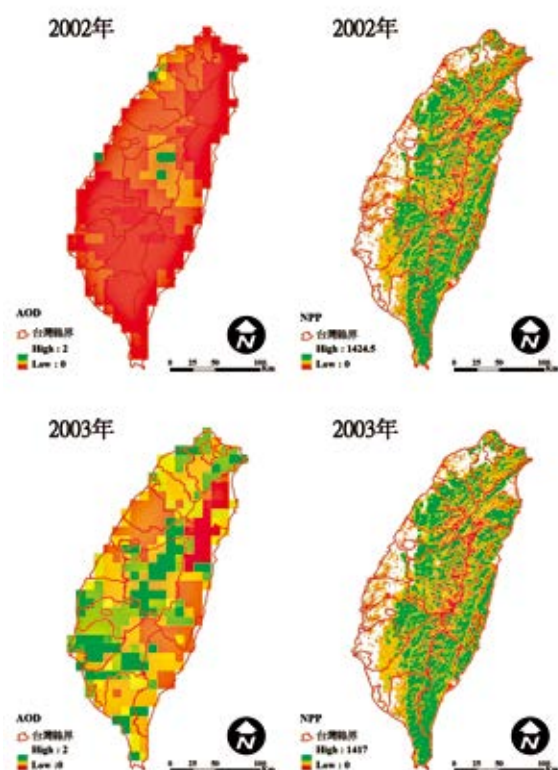
▲圖 3、MOD17A2 及 MOD17A3 產品前處理流程圖

三、結果與討論

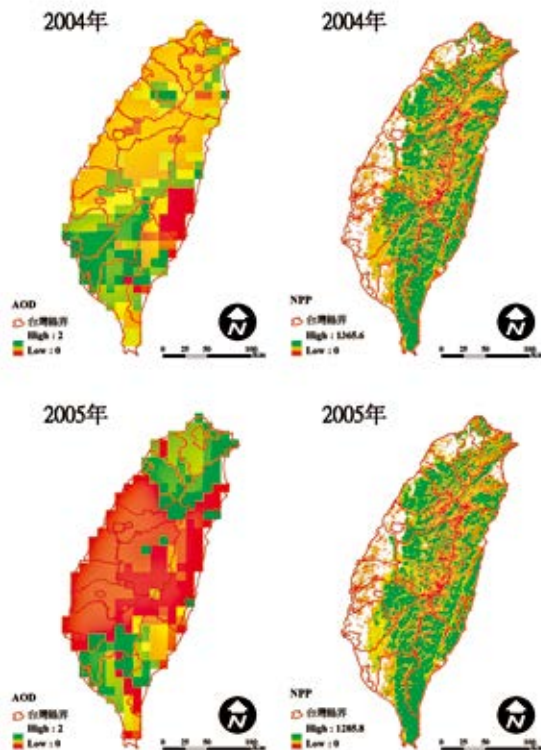
(一) MOD04 氣溶膠應用於森林健康監測

本研究藉由 MODIS 影像前處理獲得 2002 ~ 2005 年的臺灣衛星影像圖（如圖 4 ~ 5），其中包括 MOD04-AOD 及 MOD17A3-NPP 兩項產品，並以敘述性統計進行分析。於 2002 ~ 2005 年期間，其氣溶膠分布範圍以 2005 年最為嚴重，其變異值為 0.37 ± 0.31 ，當氣溶膠逐年攀升，其 NPP 卻有逐漸下降之趨勢，由表 3 得知，當氣溶膠數值從

0.10 ± 0.09 上升至 0.37 ± 0.31 時，其 NPP 數值從 875.9 ± 320.0 降至 820.9 ± 303.5 。經由本次結果得知，當氣溶膠達一定程度時，NPP 會隨著氣溶膠之變化趨勢異同，而有所不同。亦可表示氣溶膠在某種影響程度上，是會受林木之健康度之影響，故以 MODIS 衛星影像來監測氣溶膠光學厚度之分布範圍及危害程度具有其可行性。目前 NPP 於 2002 ~ 2015 年之影像處理已完成，而 AOD 部分尚有 2006 ~ 2015 年未處理完成，故本次僅探討 2002 ~ 2005 年間之變化趨勢為主。



▲圖4、2002~2003年AOD及NPP之年際分布圖



▲圖5、2004~2005年AOD及NPP之年際分布圖

表 3、臺灣 2002 ~ 2005 年 AOD 及 NPP 之變異性

year	MOD04-AOD	MOD17A3-NPP
2002	0.10 ± 0.09	875.9 ± 320.0
2003	0.25 ± 0.1	885.3 ± 319.0
2004	0.28 ± 0.24	878.1 ± 317.0
2005	0.37 ± 0.31	820.9 ± 303.5

(二) MOD04氣溶膠污染狀況

藉由本研究挑選 2005 年 11 月兩期 MOD04 影像 (圖 6) 可明顯發現其 550 nm 氣溶膠光學厚度之差異, 由圖 6 可知, 有受到沙塵暴影響日期之影像其氣溶膠光學厚度分布較為廣泛, 空氣污染較低 (2005 年 11 月 21

日, 圖 6a) 和受到沙塵暴影響空氣污染較為嚴重 (2005 年 11 月 30 日, 圖 6b) 之氣溶膠光學厚度分布變化圖來相互對照, 可看出於 2005 年 11 月 30 日之氣溶膠光學厚度分布之影響範圍由西北至東南方逐漸降低, 其值越高, 代表污染較嚴重, 值越小, 則反之。表示

出西北部之位置，明顯受其影響，導致臺灣的空氣品質下降，亦表示出可能前幾天或當日有沙塵暴來襲，使得臺灣西北地區遭受危害，而從整體之分布來看，中國大陸地區受危害較為嚴重，越往海洋之地區較為輕微或無受污染，臺灣氣溶膠酸化的原因為氣溶膠含有大量的酸性物質，成分以非海鹽硫酸鹽為主（Pakkanen et al., 1996），這些酸性氣溶膠形成水珠會造成雨水 pH 值的降低以及酸度增加等，形成酸雨造成土壤酸化等危害（方彥仁，2006），因沙塵表面生成硫酸鹽和硝酸鹽氣膠，故伴隨著沙塵一起傳輸至臺灣，因此當沙塵抵達臺灣時，可發現許多氣溶膠的硫酸鹽和硝酸鹽一起遷至臺灣。故可得知，冬季時大陸北方會有沙塵暴之形成，此時東北季風吹拂，帶來大量的沙塵，直接影響到本島的空氣品質。

Liu et al. (2009) 利用 MODIS 影像資料作為污染源地理資訊系統資料庫，透過地面觀測資料以及相關圖層，如風向、風速與海拔高等探討森林火災對空氣品質之影響發現，火災所產生的煙霧對空氣品質影響非常嚴重，單從衛星資料來探討氣溶膠的移動方向是不容易的，但衛星影像可即時鑑定火災發生位置，透過地面觀測的風速風向資料可瞭解火災煙霧或區域交通煙霧排放源可能移動的方向及影響的範圍。Hutchison et al. (2008) 與 Liu et al. (2007) 均指出，除非地點為平坦的位置，否則必須考慮地形效益，因為煙霧除了會隨著風向風速改變之外，易受到地形效益所影響，當然在考慮影響範圍的時候，亦考慮地理環境，避免高山阻擋的問題。

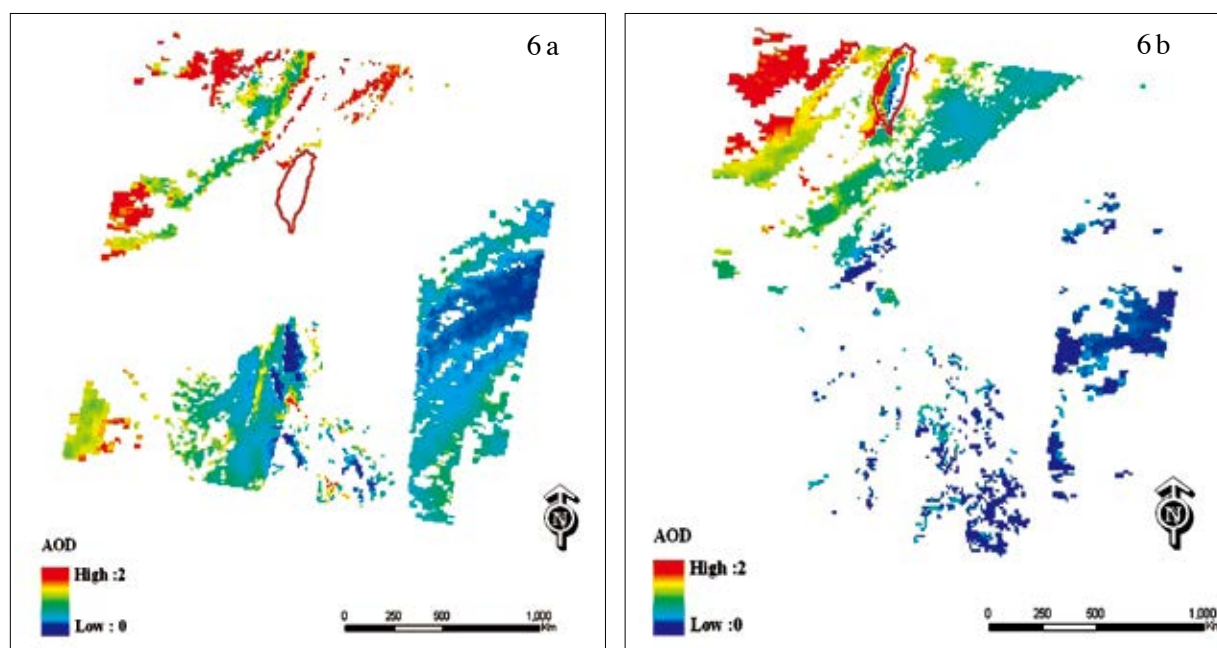


圖 6、MOD04 影像

四、結論與建議

由其結果得知，於不同年度之氣溶膠分布，所得出的結果不同；而於同一年度中，其地區、季節之變化亦有所不同；NPP 會依氣溶膠之變化趨勢異同，而呈反比成長，未來為瞭解臺灣全島氣溶膠光學厚度於 2002 年～2012 年等 11 年間之 AOD 變化，將整合出 11 年間之所有趨勢變化，加以探討森林健康是否與氣溶膠厚度有著密切關係。

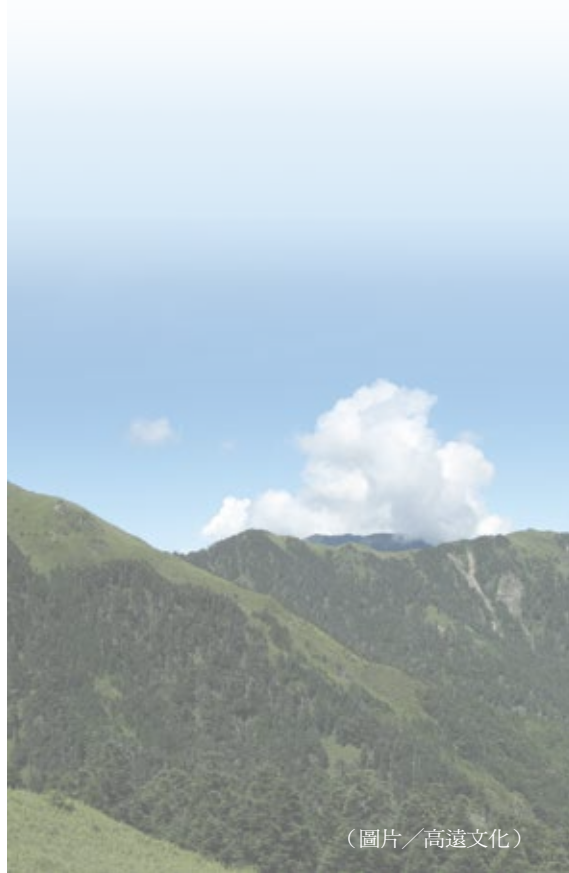
聯合國糧農組織（Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO）2006 年預測指出 2000 年至 2050 年已開發國家之森林面積，將增加約 60 ～ 230 萬公頃；開發中國家森林面積，將減少約 200 ～ 490 萬公頃，開發中國家及地區土地利用改變、森林砍伐正加速進行中，且隨著人口快速增加，人類對地球環境的影響範圍變大，速度增快，森林進一步縮小、植被消失、土地沙漠化、空氣污染，將導致全球氣候變遷更加劇烈。

全球各地發生的自然災變天氣與氣候異常之現象，氣候變遷對地球環境所造成之影響，除暴雨、強風、乾旱及聖嬰現象等極端氣候事件，帶來立即性衝擊之外，對於生態系統則以緩慢且不易察覺的方式，產生不可恢復的生態衝擊，其影響層面極為廣泛。森林在氣候變遷過程中，除扮演著碳吸存的減碳角色，同時會因氣候變遷帶來森林的衝擊與脆弱化，為發揮森林的碳吸存的功能，其最根本的森林經營管理方法，在於維持森林的生態功能，因此森林如何面對未來的氣候變化所帶來的衝擊？

如何調適？如何因應？將是未來政府施政的重點。由圖譜合一方式呈現之 MODIS 數值，具即時監測功能，使得監測生態環境，自然資源和環境之變化更於快速便利。

五、致謝

本研究承環保署國科會空污防制科研合作計畫 NSC 99-EPA-M-002-001 經費補助、美國 NASA 提供相關影像與研究室同仁技術支援，得以順利完成，特此致謝。本網站相關位置 <http://gisfore2.npust.edu.tw:8080/carbon/nouns.php> 原網址為 <http://140.127.11.124:8080/Carbon/index.php> 🏠



（圖片／高遠文化）