

^{14}C 方法在樹木年輪分析的應用

文 ■ 白創文 ■ 國立台灣大學農業化學研究所博士班

■ 陳秋萍 ■ 國立屏東科技大學環境工程研究所碩士

■ 王明光 ■ 國立台灣大學農業化學研究所教授

引言

全球各方面的變化是相互依存並有規律可循的，為了對比他們在時間的先後次序的因果關係，必須有可靠精確而且統一的時間尺度，即把各方面變化放在統一的、客觀的時間座標上來觀察，關於研究四、五萬年以來的事件，放射性碳十四或稱 ^{14}C 定年方法提供了最精確可靠的時間座標。40年前建立的 ^{14}C 方法以其應用於考古學和地質學中的年代研究而聞名於世，50年代發現了工業效應和核爆效應，尤其後者使得大氣 ^{14}C 量遽增之後，又隨自然界碳循環途徑擴散到生物、土壤、海洋等領域，因而使得 ^{14}C 可作為示蹤劑來研究所涉及領域間各類問題，60年代以來許多著名實驗室已進行大量的工作，精密的測定樹木年輪樣品中 ^{14}C 含量，以檢驗 ^{14}C 定年方法的假設前提，70年代以後則以樹木年輪年代來校正定年偏差，由於在一萬年全新世範圍內， ^{14}C 定年方法的精確度可達 ± 50 年，因此在研究全球環境變化的工作上日趨完善。隨著樹木年輪氣候學的迅速進展，利用樹木年輪寬度變異對氣候變化的反應，以獲取某些氣候要素的替代資料，已經在全球範圍內成為研究歷史時期氣候變化的

重要途徑之一。

樹木年輪學(Dendrochronology)是一門以植物生理學為基礎及樹木年輪生長特性為依據，用來研究環境對年輪生長影響的學科。就環境對年輪生長而言，經過精確定年的年輪年表，參照取樣的生態環境、樹種等可以深入分析樹木生長對氣候要素的影響，並嘗試利用合適的轉換函數來重建過去氣候變化。尤其是近年來採用年輪氣候學方法重建溫度、降雨和氣壓場變化的研究已取得重大的成果。本文就樹木年輪學的基本原理和研究途徑進行概略的描述，並以碳十四定年法為主，介紹國外已經獲得的重大成果與其應用的前景。



樹木的年輪隱藏了許多資訊

(攝影/李明宜)

基本原理

樹木生長的主要特徵之一是樹木年輪的形成與變異，它除了受到樹木本身的遺傳因子控制外亦受立地環境因子如氣候、土壤之制約。美國樹木年輪學家Fritts (1974) 就曾經詳細說明溫帶地區和寒冷地帶若干針葉樹生長受氣候要素變化影響的生理過程。儘管環境變化對樹木生長時之生理過程的實際影響可能比目前研究結果要複雜的多，甚至某些機制還不很清楚，但是可以借助合適的取樣及分析，來闡釋樹木年輪變異與環境變化之間的因果關係是不容置疑的。為確保樹木年輪資料的可靠性並從中能獲取較多的環境變化訊息，樹木年輪學除了要遵循生物科學的基本原理之外，還必須遵守地球科學的基本原理。

1. 研究方法

利用樹木年輪資料作環境變化的研究時，一般都按照下列幾個步驟進行：

2. 野外取樣

在了解研究目的之後，再選擇特定環境的樹樣。由於樣本品質的好壞與否影響到最終結果的可信度，因此在採集樣本時必須謹慎進行。對於樹木四周的環境，包括海拔、地形、土壤和植被等對採樣的方式、數量都要有詳細的紀錄和統一的編碼，以便在實驗室分析時，能對許多問題能做出準確的判斷。

3. 最終年表的建立

從樣本選擇到最後最終年表的建立有好

幾個步驟，其中最關鍵的是確定年代。由於環境的異常變化或其他干擾可能會出現非正常年輪，其不僅造成年代上的錯誤，而且也會產生對異常環境變化事件判斷失誤。因此，交叉定年始終是樹木年輪學的重要研究之一，目前國外進行交叉定年的途徑較多，但各有優缺點。

4. 環境因子變化的重建

利用年輪年表重建環境因子過去的變化，實際上是尋求現代環境要素與樹木年輪變化之間所具有一種合理的生物統計學模式及某種函數表達式，隨後再經過必要的校正和驗證，就可以用年輪資料去推斷環境因子。在缺少現代觀測資料年代的變化時，除



氣候變化影響樹木生長甚鉅

(攝影/陳吉鵬)



了重建單因子變化外，利用多個地點的年輪年表還可重建複因子場的變化，例如氣溫場(Fritts and Lough, 1985)、降水場(Fritts et al., 1979)、環流場(Fritts et al., 1980)等。

應用與進展

目前樹木年輪學的研究，無論在分析技術上或是在更多領域的應用方面，都發展得十分迅速並展現出樂觀的應用遠景。在此提出幾方面作簡單說明：

1. 古氣候重建

在此方面，無論在理論上還是應用上都已經取得相當可觀的研究成果。1980年在英國召開的學術研討會，全面的總結了年輪氣候分析各個方面的成就，特別強調了如何確保這類替代資料可靠性的有效途徑與其巨大的潛力 (Hughes et al., 1982)。Sonett和Suess(1984)報導了一個約八千年的樹木年輪系列，結果顯示經排除各種干擾因子後，單一化的輪距寬度主要反應氣候的影響，其輪距系列隨時間的變化與對應樹木年輪中 ^{14}C 的變化是同步的。

2. 同位素和其他元素含量分析

樹木年輪的木質部主要由碳、氫、氧元素組成且含有可測定的穩定同位素，測定穩定同位素比值通常代表溫度、降雨等等要素的變化。在美國、歐洲等地此項研究已進行多年(Long, 1982)，已經獲得了一些可供比較的溫度係數與濕度係數，以解決該地氣候重建時，如何將同位素比值轉換成溫度和降水量的問題。

3. 不同類型資料的合併使用

^{14}C 定年法作為環境示蹤劑必須有多學科的合作，除了樹木年輪學之外，尚可在地球物理學、地球化學和環境科學等等可得到應用。為了提高重建過去環境資料的可靠性，近來採用不同類型資料已獲得重視。已有相當多的報告引用不同其他類型資料如歷史文獻、土壤、孢粉、岩石沉積物同位素含量來作驗證或補充(Wu and Lough, 1987)，顯示了此種合併方法的可能性及潛力。

4. 地質事件的年輪分析

年輪分析也應用在研究歷史中一些偶發性事件，包括若干地質事件發生的頻率和影響範圍。Schweingruber(1988)研究阿爾卑斯山和近北極圈地區的樹木年輪發現，利用年輪資料可以推斷冰河的前進與後退活動。Sheppard和Jacoby(1987)也利用樹木年輪分析，記錄了加州歷史上的大地震。因此年輪地質學在近年來逐漸成為較活躍的學科。

結論

碳是自然界分佈廣泛的元素，它參與一系列地質活動和生物活動。任何參與碳交換庫活動，爾後停止碳的交換而形成封閉體系的樣品都是 ^{14}C 方法定年的對象。他們包括樹木、種子、動物遺骸、骨化石、泥炭和土壤。 ^{14}C 方法之所以精確可靠，一方面是方法的理論嚴格完整，其理論基礎的假設前提經過檢驗以基本確立這些前提為(1)若干萬年以來宇宙射線，每年在地球大氣層中產生的 ^{14}C 總量 $q(t)$ 是不變的；(2) 大氣圈、水圈和生物圈

這三個碳交換庫的總量N和交換速度不變。這兩個前提決定了碳交換庫中的 ^{14}C 的放射性比值，換句話說 ^{14}C 同位素豐度幾萬年以來是一個不變的常數。另一方面， ^{14}C 定年方法的優點則是可用作定年的樣品種類極為廣泛。鑒於上述兩大優點， ^{14}C 方法在對於晚更新世以來全球環境變化研究中得到普遍的應用。樹木年輪學已被證實為可獲取可靠之代用資料，並可推斷出許多環境因子變化史的有效途徑之一。目前世界上先進國家都在積極開展這方面的工作，一些國際組織在制定全球性氣候和環境變化研究計劃時，都充分肯定

了年輪分析的作用，並努力的促進更廣泛的跨國性學術合作。為求人類之永續發展，森林生態環境之資源保育已經成為全球人類所共識。從1992年在巴西所召開的地球高峰會議中有153個國家共同簽署“氣候變遷綱要公約”並發表了“森林原則”便可知其所受到重視之程度。台灣地區森林約占全島面積之52%，森林資源可謂極為豐富。筆者在本刊前幾期中介紹了 ^{14}C 在森林土壤之應用，若能與生長於該地林木的樹木年輪學資料相互配合，將使得對該地氣候重建以致於對整的森林生態系的研究，都可獲得極大助益。▲



台灣地區森林約占全島面積之52%，森林資源可謂極為豐富

(攝影/陳吉鵬)