



14 C 在森林土壤之應用

◎蔣先覺 / 行政院農委會林業試驗所

◎白創文 / 國立台灣大學農業化學研究所博士班學生

◎王明光 / 國立台灣大學農業化學研究所教授

一、引言

森林土壤為森林生態系中最重要的一環，乃孕育生命的基質。歸納土壤在生態系內所扮演的功能及角色：(1)為植物生長之基質；(2)淨化水質，儲存水源；(3)主宰生命物質之再循環；(4)為生物提供棲憩場所；(5)為保存基因之最佳場所；(6)為工廠營建之基座；(7)對國防事務之影響。林木繁殖、成活與生長是反應該生育地的各種變動與交互環境因子的綜合複雜現象。毋庸置疑的，土壤是諸多複雜因子中一個重要的因子，目前科學界提倡森林生態系永續經營，但很少人將森林土壤納入考量。因此，我們呼籲將森林土壤的研究納入森林生態永續經營的體系內。本文主要介紹以定年方法應用於森林土壤的理論與應用，期使能對森林土壤以至於整個森林生態系的研究有進一步之助益。

二、時間與土壤化育之關係

土壤生成因素經過許多學者

(Dokuchave, 1898; Neusturev, 1927; Joffe, 1936; Kellog, 1936; Byers et al., 1938; Thorp, 1941)先後發表論述，綜合以上研究可歸納為氣候 (climate)、生物 (organisms)、地形 (relief)、母質 (parent material) 四項因素。後來 Jenny (1941) 發現這四項因素不足以完成土壤之生成，在他的巨著 "Factors of Soil Formation" 內乃加入時間這的因素而列成一個函數式：

$$S = f(cl, o, r, p, t, \dots)$$

後面的小點則為後人的修正預留空間。土壤發育 (soil development) 為土壤化育 (soil genesis) 特徵變異與剖面結構之程度，在發育過程中，土壤剖面深度增加母質風化程度提升 (Phillips, 1993)。Harden 等人 (1983) 將土壤化育予以數化，其探討相異剖面形態定量的比較，進而探究年代土序中土壤特徵因時間而發生的變異。在其研究中，可見

到剖面之若干理化性質諸如黏粒含量、游離鐵含量、土壤深度等可為時間的函數。土壤發育之時間函數常以指數函數或對數函數表示之。至於土壤化育的模式評估自1980年代以來學者則以漸進式與衰退式評述土壤化育，並涵蓋前述五大生成因子而探究土壤性質隨時間而演變的情形，企求推演土壤化育隨時間的便而引導出數學函數式。綜觀以上可發現，在多數研究報告中常間接引用當地岩石之定年資料作為推估的基準，直接以土壤來作定年的材料並不多，而土壤作為土壤化育的函數之一，其為一個動態過程，在此一過程有增加也有減少的現象。然而，目前卻無法自土壤剖面特徵確認其所受時間的影響。因此在這方面必須加強研究，企圖建立土壤年代次序，並探究時間的演進與土壤剖面各化育層理化性質改變之相互關係，輔助以當地氣候變遷史與林木年輪做相互印證。

三、 ^{14}C 定年之原理

目前所知空氣圈中的 ^{16}O 、 ^{14}N 以及 $^{12,13}\text{C}$ 之穩定同位素為受到高能 (<100MeV) 的宇宙射線 (cosmic-ray) 的撞擊，發生核分裂 (spallation) 反應而產生 (Raisbeck and Yiou, 1989)。其中最明顯而重要的為宇宙射線中子 (neutron)

與穩定性 ^{14}N 核子兩者間緩慢的反應： $^{14}\text{N} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{14}_6\text{C} + ^1_1\text{H}$ ，式中 n 為中子， H 為質子。由產生核子而釋放 ^{14}C 原子隨即與氧反應或與穩定性碳交換反應結合而進入 CO_2 分子內， $^{14}\text{CO}_2$ 分子迅速經由大氣圈與水圈混合獲致恆常濃度 (constant levels of concentration)，此種平衡濃度在空氣中的維持，一方面繼續生產另一方面仍繼續衰變。 $^{14}\text{CO}_2$ 分子經由光合作用與根部吸收而進入植物組織內，生活的綠色植物體 ^{14}C 吸收與衰變濃度維持常態，而動物食用植物或經由呼吸而獲取 ^{14}C 。同樣的，其 ^{14}C 放射性濃度亦維持吸收與衰變的常態，當動物死亡自空氣中水中吸收 ^{14}C 的活動立刻停止。死亡植物組織內之 ^{14}C 強度即表示其死亡後所歷經的歲月，此即 ^{14}C 定年的原理。

四、 ^{14}C 定年的計算及儀器之間介

含碳樣本的放射性強度 (radioactivity) 的計算式： $A=A_0e^{-\lambda t}$ 式中 A 為檢測強度、 A_0 為同樣的動植物生活時 ^{14}C 的強度、 t 為時間、 λ 為係數、 e 為自然指數，取自然對數後可得時間之值。 ^{14}C 半衰期則採用於1962年於英格蘭的康橋所舉行的第五屆放射性 ^{14}C 定年會議所採用的5730±40年 (Godwin, 1962)。在儀器的應用上，由於土壤中含碳量很低，尤其是底土。加上其他干擾，一般質譜儀

分析技術無法克服，直到加速器之置入應用，提升質譜儀之解析能力。在加速質譜儀中 (accelerator mass spectrometer, AMS)，傳統質譜儀所產生的幾千伏特的加速電壓為加速器所取代，其可提供幾百萬電子伏特的加速電壓，於此高能量下發揮了下列長處：(1) 所有分子在此高能下均被破壞；(2) 需要檢測之粒子可被檢測器鑑識的機率提高，因此廣泛應用於具長半衰期的宇宙放射性同位素之分析，如 ^{14}C 定年能力於焉提升。

五、 ^{14}C 定年在林木與森林土壤應用的實例

Gunter (1980)經由樹輪學檢測木材樣本內 ^{14}C 強度做定年，首先發現放射性 ^{14}C 濃度 (radiocarbon contents) 有重大的變異，此等變異可歸納為下述幾個因素：1. 起因於太陽活動而宇宙射線流 (cosmic-ray flux) 有所改變；2. 地球磁場的改變；3. 地球上石化燃料 (fossil fuel) 之燃燒日漸增加，以及各強權國家在地下或空氣中競相核子試爆而促使 ^{14}C 擴散。Scharpenseel和Becker-Heidmann (1992)報導了德國森林土壤 ^{14}C 剖面曲線，結果顯示為位於最深樣本有降低年齡的轉折。其原因來自於土壤表育層 (epipedon) 界面有機物的含量。

Chichagoua 和 Cherkinsky (1993)說明 ^{14}C 土壤定年問題應就土壤生成年代與腐植質生成時間、碳素之再循環率加以分析，而定年數據有助於了解土壤化育與演化，腐植質生成與有機物之蛻變，並在古土壤學 (paleosol)、地質年代學 (geochronology) 與地層學 (stratigraphy) 研究具重要之角色。在台灣筆者亦採用 ^{14}C 定年法研究森林土壤，結果顯示以定年數據配合物理及化學方面的研究，有助於解釋蓮華池與阿里山森林土壤中鐵瘤 (nodules) 成長的模式。

六、結論

時間為土壤生成的函數之一，森林土壤為林木生長之基質。土壤化育深深受到地球環境的影響，且此影響具有長時期的累積效應，因此可藉由對土壤定年研究，而了解當地土壤變遷史，並結合其他研究領域，如大氣科學、地質學、古氣候學等...，可進一步探究整個地球環境的變遷。在重視森林生態系經營的今日，森林土壤的研究絕對是不能忽略的，在科學理論與儀器發展日漸精密與完整下， ^{14}C 定年法的應用可成為研究森林土壤有用的工具。筆者在此介紹此種方法，盼日後對於台灣森林的整體研究有所幫助。

