

森林—環境議題上 有關森林養分循環研究

文 ■ 白創文 ■ 中央研究院生物多樣性中心博士後研究員

王明光 ■ 國立台灣大學農業化學研究所教授

邱志郁 ■ 中央研究院生物多樣性中心研究員

一、前言

森林養分循環是森林生態學研究的傳統項目之一，長期以來人們對於森林生態系統的動態平衡，以及森林生長狀況的認識主要是建立在以下四方面的研究基礎上：（1）生態系統的物質流動循環；（2）能量流動平衡；（3）水分流動循環；和（4）生理生態過程。而在應用基礎研究的領域上主要的分支有：（1）森林養分的診斷與元素缺乏症的研究；（2）森林水文研究；（3）森林結構與生產力的研究；和（4）混交林群落的研究。綜歸其研究方向主要是關於淨初級生產力、碳截留與碳分配、營養物質循環等。尤其是在森林生態系統多種生態效益研究方面，已成為森林生態學發展的主流。然而在70年代後期，世界上許多國家相繼出現了大面積的森林生長削弱、衰退甚至衰亡的現象，此種日益加劇的局面逐漸引起世界各國的高度重視。近代的環境污染是否加速了養分的地理循環速率，或者同時又壓縮了養分的生物循環通量，此者無疑是森林生態學發展上一個新的挑戰。在這方面具代表性的應

用基礎研究包括：（1）大氣沈降及環境酸化對森林生態系統的壓力；（2）退化生態系統的研究；（3）生物多樣性的研究等等，其中包括了調查林分的生長率、死亡率和林冠狀態，這也是源自於酸沈降和其他的大氣污染物的影響而造成對森林生態系的損害，這些研究可說是代表著當今森林生態學發展的一個新的分支。著名的森林學者Smith（1981）概括性地提出了一個新的觀點，其認為森林不僅是大氣污染的蓄積庫，也是大氣污染物的一個重要發生源。根據全球碳、氮、硫循環與碳氫化合物的釋放等方面的研究結果發現，全球的森林生態系統能從大氣中除去污染物的數量，似乎等於或大於近年來人為產生這些物質的水準。根據美國農業部林業局（1978, 1979）粗略估計美國森林生態系統和人為發生源每年的釋放強度，結果顯示該國森林所產生的二氧化碳、含硫、含氮氣體和活性碳氫化合物可能超過了人類活動所產生的數量。由上述所提到的研究過程來看，森林養分循環在做為森林生態系的主要研究方法中始終佔有重要的份量，這也使得近二十



年來森林養分循環再次成為當今世界森林學研究的熱門項目之一，森林作為污染發生源與蓄積庫相對強度之假說，將使森林生態學產生新的突破。本文主要的目的在於介紹近三十年來，有關於森林-環境議題上森林養分循環研究的進展。

二、環境污染對森林生態系統危害的歷史回顧

在60年代，北歐諸國首先發現該國水體生態系統酸化的情形日益嚴重，以至於生態平衡受到破壞，此舉引起了其他地區人類的恐慌。但許多國家還不以為意，像美國和加拿大意識到這一個問題時已整整遲了十年。1972年聯合國在瑞典 Stockholm 召開了人類歷史上第一次全球環境會議，在此次會議中向全世界展示了過去三十年來人為造成的大氣污染所帶來的生態災難。1975年在美國俄亥俄州立大學召開了第一次酸降與森林系統的國際會議，1976年則在挪威的Oslo召開了大氣污染與森林的國際會議，這兩次會議有系統的交流了各國學者自60年代以來，初步研究成果，這代表了全世界環境污染危害正朝著森林生態系統直逼而來。德國環境生態學者Ulrich根據其在60到70年代對森林土壤酸化現象的大量研究，預言了80年代中歐地區將出現大面積森林死亡，事實證明如前所料出現了大面積雲杉及蘇格蘭松的死亡現象(Pearce, 1990)。90年代迄今，眾多學者應用長期定位觀測的方法，從不同的角度研究森林與大氣、土壤間營養元素交換的規律

性，並累積了為數可觀的資料，進一步讓我們知道環境污染物對森林系統所造成的影響(Society of American Foresters, 1993)。

三、森林養分循環和森林生態的理論進展

自Ulrich 的論斷被證實後，歐美各國相繼展開了有組織的大規模研究與合作，形成了一個多學科、多國家交叉組合的研究領域，在此同時也產生了一批以現代高科技為依托的理論研究，大大的豐富了林業科學的知識。以下分成五小點討論：

(一) 森林生長衰退與衰亡機制的探討

此為林學家主要的研究方向，所有這類研究基本上都與森林養分資源的地理大循環和生物小循環密切關聯，而在學術上形成兩種不同的觀點，即有害說(harmfulness hypothesis)和有益說(beneficialness hypothesis)。以德國與北歐的學者為代表的有害說論者，提出了眾多的假說，如質子消長機制，其主要研究結果為森林土壤對酸降的緩衝能力隨著土壤的酸化，使得土壤交換



▲森林生態環境保育是近年世界各國當務之急。

(圖片 / 高遠文化)

體系中陽離子的地位被氫和鋁所取代，大量養分元素被游離而淋失。此過程不僅使得樹木幼根生長發育受毒害，也抑制了土壤微生物群落的活性。而土壤劣化過程的假說，主要是指土壤有機物的礦化、分解、轉變與再利用的過程受阻，在這方面主要是從土壤碳素與養分轉化的交互作用來研究。然而尚有些科學家主要是來自英國科學機構的學者，他們的研究似乎呈現出相反的觀點即為有益說，例如一定程度的酸降反而有利於養分分化和森林的利用，也就是說大氣的乾沈降與濕沈降會為森林帶來更多的營養元素，其研究的重點在於土壤氮素的損失而非氮飽和型酸化的趨勢，並建議北歐國家適當的提高森林利用，以緩解下游湖泊區淡水的酸化。實際上北歐國家一些酸化的湖水 pH 值近年來已有回升的現象（Mason, 1990）。

（二）養分的生物循環

英國學者 Miller（1987）對此項目所持的觀點具有代表性，其認為就喬木而言，由於自然界長期的生存競爭，在相對貧瘠的山區土壤及不能作為農業利用的環境中尤其不易生存，但是喬木以其獨特的體內養分再分配和儲存機制形成了一種完善的養分循環利用方式。另有研究結果顯示，在一個擇伐（selection cutting）週期內，樹木透過根系吸收的養分只佔一生生長中累計利用養分總量的 $1/5$ 。如果再考慮到樹木龐大的根系所產生的生物風化作用，以及未來大氣的養分輸入等因素，森林系統的養分平衡是易於維持的。

（三）土壤氮飽和

硝酸態氮與銨態氮是土壤中釋放氫離子



（圖片 / 高遠文化）



主要的貢獻者，這點可能是今後環境將長期面臨的潛在危機之一。根據歐盟統計資料顯示，在1984-1994年間硫化物沈降量已得到有效的控制。英國在70年代的排放量達到高峰，且佔歐洲各國之首，但現今已緩緩下降。然而，歐洲大陸的銨態氮和硝酸態氮的沈降量仍在增加，所以總酸沈降量還是維持以前的水準，環境酸化的趨勢還是難以改變。目前歐洲大陸據估計有11% 的土壤為氮所飽和，預計到2050年，歐洲將有一半的土壤會出現氮飽和的情形 (Pope *et al.*, 1991)。

(四) 臭氧對森林的危害

早在20年代，森林學專家便把臭氧視為林木致病微生物的抑制劑 (Smith, 1987)。在60、70年代學界對其污染效應也有少量的研究。到了80年代，人們對臭氧有了比較多的認識，一般認為臭氧是向森林生態系統輸入的唯一氧化劑，通常二氧化氮光解生成氧原子和一氧化氮，而氧原子立即與氧氣結合成臭氧，但是它也可以與一氧化氮反應重新生成二氧化氮，這種平衡方式維持著臭氧在自然界的濃度。然而，由於森林本身又是活性碳氫化合物的一個大的發生源，可將一氧化氮氧化成二氧化氮，從而使得臭氧含量在森林間上升，臭氧危害的機制主要在於抑制光合作用、危害細胞膜系統以及影響植物生殖生長。

(五) 環境政策研究

從前面所提到的不同學術觀點來看，由

於特殊的地緣關係，歐洲各國之間的環境政策關係微妙，如地處於上風處的英國經常受到其他國家的指責。事實上，不管是相互指責、推卸責任或是協調環境政策最終都離不開從森林養分循環的科學研究中尋求答案。因此，近代森林養分循環研究愈來愈帶有一定的國家政策傾向，這也是此項研究為什麼越來越熱門的重要原因之一。

四、結論

在探討近代環境質量與森林生態系統的相互關係中，分析森林養分循環已成為重要的研究方法。眾多的研究成果已讓科學界累積出許多新的有關於森林的知識。森林不僅具有人們所期待的那種巨大的生態淨化功能，同時也可能對環境產生一些過去科學界所意想不到的影響。近代大氣沈降已對森林產生了一些直接或間接的危害，另一方面一些有益的證據也被發現。儘管存在著兩種不同的觀點，但這也表示了近代森林生態學的發展有了嶄新的突破。由於經濟發展、人口增多和人類生活水準的不斷提高，對於木材等林產品的需求量也愈來愈大，大量的砍伐森林的結果造成生物多樣性遽減，生態環境不斷惡化，森林生態系統的服務功能大大減退，加上各種自然災害發生的頻率增加，導致世界大多數國家的森林生態系統都處於不同程度的退化，因此對森林資源的有效管理將成為未來我們所要努力的目標。▲