

# 森林土壤之管理

## 土壤有機物中碳分配模式之理論及所推導出之實作策略一

陳尊賢

台大農化系

### 前言

很多人對森林土壤之管理 ( management ) 是否有好的對策提出存疑, 是真的有辦法加以管理嗎? 說起來當然不是一件容易的事, 尤其對森林土壤這麼一個複雜的一個生態體系。我們如何建立有效的研究結果並了解其中的變化, 進而管理它, 使森林生長快速且可永續經營。為了評估我們的管理方式對森林土壤資源之影響, 可行之方法之一就是使用模式 ( simulation models ) 去推導, 因為模式可在短時間內模擬許多複雜因子間之關係, 以及建立期間之條件以適合不同的自然環境狀況。對森林土壤而言, 碳分配模式 ( carbon allocation model ) 是一個很好的模式, 在此不詳細說明其架構及內部之特性, 但其許多假設則很重要, 但這些假設均是來自很多研究報告之結果。本文即利用此碳模式許多有用之假設, 及如何利用土壤中碳的變化, 以便對森林土壤做出有效管理之一些操作方法。

### 森林土壤碳分配模式

此模式最早由 Ruark and Blake(1991) 首先發表, 主要針對林地地面上之淨初級生產 ( net primary production, NPP ) 及碳在地下林木之小根及大根之生長之分配來建立此生長模式, 有興趣之讀者可參考原文。此模式有許多寶貴之假設, 但均有研究上之證據, 包括:

1. 林地礦質土壤表面 20 cm 內之小根之

死亡數量及小根之再生長的數量, 每年均差不多 ( 在此假設土壤之總體密度為 1.2 噸 / 立方公尺 )。

2. 有效土壤有機物 ( soil organic matter, SOM ) 每年之分解速率約為 70% 且隨雨量之多寡而變, 但一般在 50-90%。

3. 有效土壤有機物 ( SOM ) 之含量起先為 0, 但當小根死亡率大於其分解速率時, SOM 會漸增加。每年由地上部之葉片中有 15% 會再回歸至地面, 以增加 SOM 之含量。

4. 地面之土壤水分及養分供給亦會影響 SOM 之含量。

5. 在地面上產生之淨初級生產 ( NPP ) 中, 每年約有 50-80% 的碳會被送至樹芽中。

6. 許多研究結果告訴我們, 不同樹種在不同年齡時有一定量之 NPP 及大根之生產量, 而且大部份樹種在生長 15 年以後, 其 NPP 大都維持在某一平衡定值, 其後幾年之變化則由雨量及土壤中有效有機物所主導, 這點結果非常重要。

7. 土壤中有效有機物 ( SOM ) 含量, 最多會使 NPP 增加 20%, 或者影響 20% 的碳被送到樹芽部份。

8. 雨量對林木生長之影響, 包括(1)會使土壤中 SOM 之分解速率增減 20% 左右, (2)會使 NPP 增減 30% 左右, 及(3)會增加 15% 的碳分配至樹芽。

9. 由以上之結果指出, 雨量及土壤中有

機物含量是主導森林生長的主要因素。

### 模式驗證及重要結果

此模式利用兩種松樹數種，濕地松 ( slash pine, *Pinus elliottii* ) 及杜松 ( pinyon-juniper ) 之生長數據來建立，經模擬 100 年之結果並加以驗證 ( 圖 1, 2 )。這期間有兩個雨量突變期，即第 30-35 年間雨量特多，及第 65-70 年間雨量特少 ( 屬乾旱期 )。此二圖指出幾個主要之結果，說明如下：

1. 兩松樹樹種之地下小根及地面葉部之生質量 ( biomass, 或 NPP ) 在前 15-20 年均會呈線性快速增加，而後達穩定變化 ( 圖 1 )。

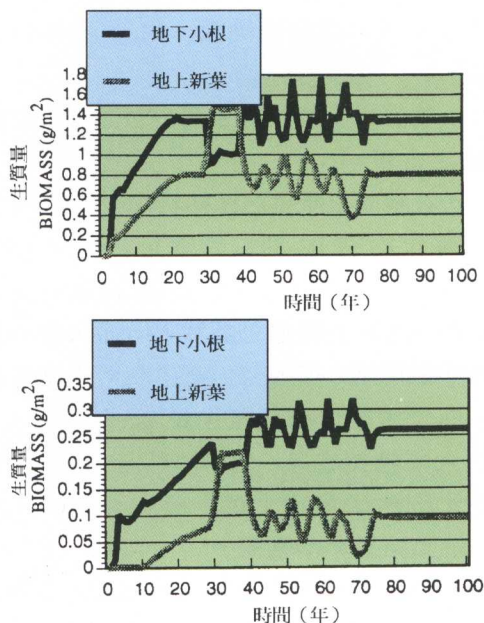


圖 1 濕地松 ( slash pine, *Pinus elliottii* ) ( 上 ) 及杜松 ( pinyon-juniper ) ( 下 ) 在 100 年之生長模擬中，其地下小根及地上新葉之生質量之變化 ( Cline and Ruark, 1995 )。

2. 兩松樹樹種地下之大根及地面之木材之生質量，在 100 年內則維持一定的線性生產速率 ( 圖 2 )。

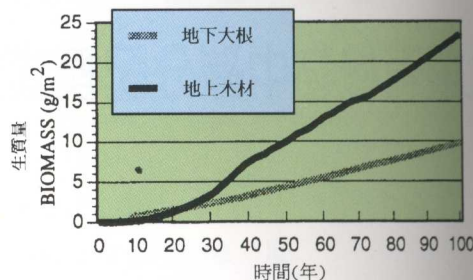
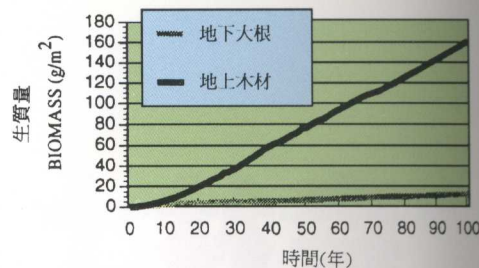


圖 2 濕地松 ( slash pine, *Pinus elliottii* ) ( 上 ) 及杜松 ( pinyon-juniper ) ( 下 ) 在 100 年之生長模擬中，其地下大根及木材之生質量之變化 ( Cline and Ruark, 1995 )。

3. 在多雨的環境下 ( 第 30-35 年間 )，會使植物之地下小根生長受限制，地下大量之碳養分會被送到樹芽及新葉，因而減少了土壤有機物含量 ( SOM )；但在乾旱之環境下 ( 第 65-70 年間 )，乾旱會使植物生長受限，但卻使得地下之小根生長增加，亦使得土壤中 SOM 增加，因此新葉及 NPP 則減少。其他時間 ( 第 35-64 年 ) 之生質量之變化完全由雨量之變化所主導，但第 70-100 年則維持一穩定值之生長 ( 圖 1、2 )。

4. 此模式假設 SOM 含量是有機碳含量的 1.7 倍，碳 / 氮比平均為 20 左右，SOM 中之有效氮部份約僅有全氮含量之 0.08%，且主要成分是硝酸態氮及銨態氮兩種。因此，土壤中碳之供給是土壤 SOM 之來源，亦是森林土壤管理之重要因子。

5. 此模式在較乾或特濕之環境下仍須作修正，例如在乾旱時，SOM 之分解率則由模式中之 70% 修正為 20%。

### 森林土壤有機物之動態變化及管理策略

森林土壤中之有機物，在枯枝落葉掉落地面之生產量 ( LP ) 超過微生物之分解 ( D ) 時，才會造成土壤有機物之累積。通常此快速之累積僅在造林後幾年 ( 約 5-10 年 )，會使其  $LP/D > 1$ ，但其後會維持一穩定狀

況 (steady state)，此時  $LP/D = 1$  (圖 3)，而此穩定時間在細質地之土壤中約需 100 年以上才可達到，但在粗質地之土壤可能需 1500 年以上才可達到。研究資料顯示，新生造林地之 SOM 累積速率約為 2.4 克碳 / 平方米 / 年 ( $g C/m^2/yr$ )，農業地為 25 至 50  $g C/m^2/yr$ ，熱帶地區之森林地約為 120  $g C/m^2/yr$ 。

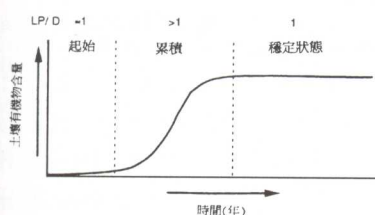


圖 3 森林土壤在正常條件下，有機物含量之累積變化圖。(LP: 枯枝落葉落至地面之累積量，D: 地面有機物之分解量，t: 時間(年)) (Johnson, 1995)

一般森林土壤之有機碳含量約在表土 20 cm 左右最高，然後隨土壤剖面之深度而遞減，但淋澱土 (Spodosols) 則在淋澱層 (spodic horizon) 會有有機碳之累積。森林土壤中有機碳之存量 (storage pool) 之計算方式，以下式計算：

$$T_d = \sum_{i=1}^k \rho_i P_i D_i (1 - S_i)$$

其中  $T_d$ ：在一平方公尺面積下某一深度  $d$  (至岩石層) 之總有機碳量 (百萬克 / 平方公尺)

$\rho_i$ ：土壤剖面中某一層  $i$  之容積比重 (百萬克 / 立方公尺)

$P_i$ ：土壤剖面中某一層  $i$  之有機碳含量 (克碳 / 克土壤)

$D_i$ ：土壤剖面中某一層  $i$  之厚度 (公尺)

$S_i$ ：土壤剖面中某一層  $i$  中  $> 2 mm$  之碎石之體積含量 (%)

依此公式，計算台灣地區低海拔森林土壤中之弱育土 (Inceptisols) 或淋溶土 (Alfisols) 有機碳存量 (算至 1 公尺深度) 平均為 20  $kg/m^2/m$  (含量變化範圍為 10-30  $kg/m^2/m$ )，中海拔之極育土 (Ultisols) 之有機碳存量平均為 10  $kg/m^2/m$  (含量變化範圍為 8-12  $kg/m^2/m$ )，台灣北部火山灰土壤之有機碳存量平均為 28  $kg/m^2/m$  (含量變化範圍為 19-33  $kg/m^2/m$ ) (Chen *et al.*, 1992)。世界各國之森林土壤中之弱育土 (Cambisols) 平均有機碳存量 (算至 1 公尺深) 為 10  $kg/m^2/m$ ，淋澱土 (Spodosols) 平均為 24  $kg/m^2/m$ ，石質土 (算至 30 公分深) 則僅 4  $kg/m^2/0.3 m$ ，火山灰土 (Andisols) 為 25  $kg/m^2/m$ ，淋溶土或灰壤化土則為 8-10  $kg/m^2/m$  (Batjes, 1996)。總體而言，台灣森林土壤中，在岩石層以上之一平方公尺面積之範圍內，碳之存量比世界各國之平均含量仍稍高，是值得安慰的。

由於人為之干擾或砍伐，此時 SOM 又會開始下降 ( $LP/D < 1$ )。因此，如何利用管理之方法使土壤中之 SOM 再度升高，而保有一定的土壤肥力供林木所需，是一個很重要的觀念 (圖 4)。為了創造土壤有機物之再增加、累積而達到新的穩定狀態之含量，必須面對兩個問題，包括 (1) 如何維持一定之再累積速率 (使  $LP/D > 1$ )，以及 (2) 新的穩定狀態之 SOM 含量如何恢復至原先之含量 (或更多，或更少) (圖 4 中之 A、B、C 三個含量)。因此，管理上之相關操作方法就值得探討。有關這方面之報告及田間示範結果已經很多，從中可歸納出如何增加土壤中碳含量之管理操作準則，這些技術可針對不同之土壤，土地利用方式，及不同土壤生成因子而有不同之管理方式，但仍不能面面顧到。如施用化學肥料可增加土壤肥

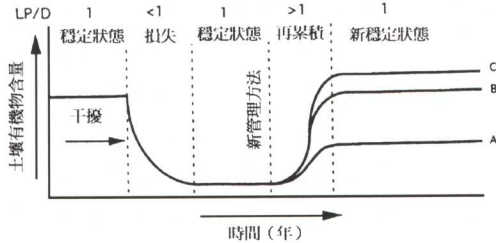


圖 4 森林土壤在人為干擾或砍伐後，此時土壤中有機物含量又會下降 ( $LP/D < 1$ )，甚至達一最低值。此時必須透過土壤管理方法，增加土壤中之有機碳，使其再繼續累積至原來的量(B) (或更多(C)，或更少(A))。(Johnson, 1995)

力，可增加林木生產量及土壤碳存量，但亦會造成溫室氣體氧化亞氮之釋放，又例如增加土壤水分含量，雖會減少土壤有機碳之分解，但又會造成甲烷之產生等，因此，管理方式仍須依試驗地點之環境狀況作修正。對台灣地區之森林地而言，以土壤有機物中碳分配模式之理論及所推導出之實作策略，本人提出若干主要管理方式供參考，條列如下：

(1) 可施用適量之有機肥料，增加土壤中碳含量及增加土壤肥力。

(2) 對於有硬磐存在之森林土壤，應在造林時將此硬磐打破，以確保根群能向下生長，增加土壤有機物，擴大根群吸收水分、養分之體積，增加造林存活率。

(3) 特別強酸性之土壤，在土層深處 (50-60 cm) 宜施用石灰，增加深根處土壤之 pH 值，提高養份 (氮、磷) 吸收及減少毒害物質 (鋁) 之影響。

(4) 使用其他生物學或微生物學之方法，降低土壤有機物之分解速率，確保森林土壤中碳之足夠存量及各種養分之供給。

(5) 配合雨量之分佈，注意水份之管理，尤其在造林之初期 5 至 10 年。

## 主要參考文獻

- Batjes, N.H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European J. Soil Sci.* 47: 151-163.
- Chen, Z.S., H.C. Chiang, H.Y. Guo, and H. Eswaran. 1992. The carbon content and pedogenic processes of soils in Taiwan. *Soils and Fertilizers in Taiwan (1992 issues)*: 41-55.
- Cline, R.G. and G.A. Ruark. 1995. Management of forest soil. pages 365-371. in R. Lal, J.M. Kimble, E. Levine, and B.A. Stewart, eds., *Soil Management and Greenhouse Effect. Advance in Soil Science.* CRC. Press, Inc., Boca Roton, Florida, USA.
- Johnson, M.G. 1995. The role of soil management in sequestering soil carbon. pages 351-364. in R. Lal, J.M. Kimble, E. Levine, and B.A. Stewart, eds., *Soil Management and Greenhouse Effect. Advance in Soil Science.* CRC. Press, Inc., Boca Roton, Florida, USA.
- Ruark, G.A. and J.I. Blake. 1991. Conceptual stand model of plant carbon allocation with a feedback linkage to soil organic matter maintenance. In W.J. Dyck and C.A. Mees, eds., *Long-term field trials to assess environmental impacts of harvesting. Proceedings, IEA/BE T6A6 Workshop, Florida, USA. Feb. 1990, IEA/BE T6A6 Report No. 5. Forest Research Institute, Rotorua, New Zealand, FRI, Bulletin No. 161.*