

# 法國「千分之四」倡議的說明及因應

◎林業試驗所育林組·林孟穎、陳財輝 (thchen@tfri.gov.tw)

## 背景

大氣中逐漸增多的二氧化碳濃度，造成的全球暖化及越發頻繁的極端氣候事件是目前眾所皆知的殘酷事實，於2015年底在法國巴黎舉行的聯合國氣候變化綱要公約第21屆締約國大會(COP21)中，所和議形成的巴黎協議(Paris Agreement)被視為對全球減碳策略具相當重要的改變，由與會各國自行承諾致力減緩溫室氣體的排放，將已開發及開發中國家皆納入為貢獻的一員，藉由開發再生能源來取代化石燃料，正式將土地部門(land sector)列為減碳及固碳的重要角色。

溫室氣體(greenhouse gases)排放來源最高的為能源部門(energy sector)占全球溫室氣體排放69%，其次為土地部門24%。土地部門包含了農林牧業，其中11%來自於農業(主要為施肥所產生的 $N_2O$ )和畜牧業，10%來自於土地利用改變(主要為毀林(deforestation)所排放的 $CO_2$ )，3%來自其他泥碳地消失及森林火災等原因。但同時農林業亦是主要固定大氣中二氧化碳的碳匯之一，尤其是林業部門，因為其地上部的植物藉著光合作用能夠將大氣中的二氧化碳捕捉固定於生物體及地下的土壤內，故於減緩及適應氣候變遷的議題上扮演了重要角色。

過去在氣候變化的高峰會中，提到能減緩溫室效應的防守對策除了減少工業碳排放的各項技術外，由自然的角度而言就是以保護森林為主，並且認為伐採林地後大部分是轉作成其他高經濟價值的農地及牧場，因此

對於林地的使用有許多的限制。

如此看似衝突的農林牧業，卻於2015年在法國巴黎舉行的聯合國氣候變化綱要公約第21屆締約國大會(COP21)中，有了新的合作關係及友善環境的發展方向，主辦國家法國在周邊會議中提出一個應對氣候變遷的新觀點—「千分之四」倡議(4 per 1000 initiative)，將農牧業列為減緩溫室效應的一員，視農林地土壤為現今減緩溫室效應的最佳解方，在會議過程中獲得許多國家及機構的支持；並結合重要的國際新氣候協議—巴黎協議(Paris Agreement)中所包含的REDD+計劃(減少毀林和森林退化造成的溫室氣體排放)，使農林牧業三大土地部門共同合作來回應氣候變遷的問題。

而於2016年6月23日在臺北舉辦的「臺法農業合作會議」中(圖2)，臺灣農林研究部門皆認同此倡議，林業部門由林試所提出希望與法國共同合作，透過在劣化貧瘠林地上復舊造林以增加林地有機質含量的研究構想，來回應支持「千分之四」倡議。

## 減緩溫室效應的關鍵—土壤

因著工業化的農業生產方式，深耕翻土、砍伐森林及使用化肥和農藥，使得土壤沖蝕及劣化的程度相當嚴重，全球許多耕地土壤流失了50%以上原有的碳貯存量，貧瘠的可怕，而這些流失的碳含量就隨著土壤的破壞，以二氧化碳的型式釋放至大氣中；伴隨著燃燒化石燃料、泥炭地耗竭等人類活動破壞了碳循環的平衡，導致了嚴重的氣候問題。簡單而言，現今地球上，大氣中的二氧

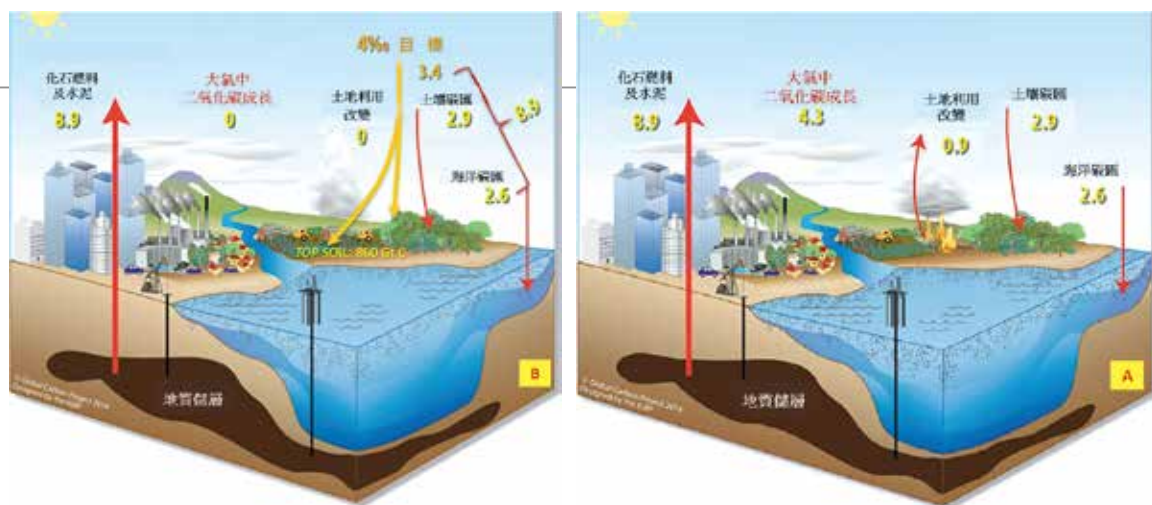


圖1 千分之四土壤碳吸存目標對於全球碳循環的影響。達到土壤碳含量千分之四目標前(A)、後(B)的年碳排放及碳固定量示意圖。(修改自Global Carbon Atlas, 2014)

化碳太多，而土壤中留存的碳太少。

因此轉換個角度思考解決氣候變遷的方法，不僅是減少工業革命後因化石燃料及科技發展過程中排放過多的二氧化碳量，而可以朝如何將大氣中的二氧化碳固定回其原本就應貯存的土壤中之方向思考，從根本的問題來解決。

大氣中的二氧化碳轉換成土壤中的碳之過程，主要藉著植物光合作用捕捉大氣中二氧化碳，除了轉化成碳水化合物供植物地上部成長，另一部份約有40%的二氧化碳經由植物根系分泌之代謝物釋放回歸於土壤中，提供土壤微生物生長，經一系列生化反應之後，一部分營養元素再提供給植物，剩下的即為不溶性的腐植質(humus)固定在土壤中，若不加以干擾，其碳素即能較穩定的固定在土壤中約幾百年。

### 「千分之四」倡議 (4 per 1000 Initiative)

目前全世界經植物光合作用吸收二氧化碳轉換成有機型式儲存在土壤中的碳含量有

15,000億噸，近乎是大氣中二氧化碳的兩倍，因此在探討減緩因溫室氣體造成的氣候變遷問題時，不能忽略土壤的角色。

經過幾十年研究之後，發現土壤為減少大氣中二氧化碳的重要關鍵，因此在2015年於巴黎舉行的第21屆氣候高峰會(COP21)中，主辦國家法國提出的「千分之四」倡議，即是針對土壤龐大的碳匯功能來著手，若是每年可以增加千分之四的碳蓄積量於土壤表層40公分中，就能平衡每年因人類活動增加至大氣中的二氧化碳量。如圖1所示，在停止毀林的假設下，土地利用改變之碳排放變為0(圖1-A和B)，並且當達到千分之四倡議的目標時，土壤將增加約3.4(GtC)的碳含量(圖1-B)，可使大氣中因人類活動所排放的二氧化碳量不再成長(4.3→0)。

4‰不是絕對標準數字，是可以因著每個國家的狀況不同能有所調整，其是要說明即使是微量的土壤碳蓄積增加(農業、森林土壤及濕地)，不僅可使土壤更加健康及提升農業產量，還能達到控制全球平均升溫低於

1.5~2°C的遠程目標。

因此「千分之四」倡議的目標為藉著改善農耕施作的方式，增加土壤中的有機質含量以增進其碳吸存的能力，達到經濟、環境及社會公益等三方面的最佳化。

土壤中若有豐富有機質，意味著將會有大量碳素的增加，同時促進了土壤中氮素的有效性，這對於土壤的肥力、團粒結構及蓄水能力都有極高的益處，代表其能成為更具生產力、對於土壤侵蝕及氣候干擾有更高的忍受力及固定更多大氣中二氧化碳的健康土壤。

## 如何增加土壤碳含量

現今全球有超過40%的土地面臨到土壤劣化的威脅，並且因著氣候變遷更急遽加速，進而造成糧食安全及農業的重大衝擊。據統計在2050年地球要產出足夠95億人口所需的糧食，而這取決於我們如何在氣候變遷的條件下妥善永續使用、保護現有的土地。因此法國在「千分之四」倡議中提出生態農業(Agroecology)、混農林業(Agroforestry)、保育農業(Conservation agriculture)和地景經營(Landscape management)的農耕施作方式來增進農地土壤有機質，除了農地土壤，其他土地利用包含森林土壤在經營方面需遵循以下五項原則：

1. 降低土壤裸露的機會，例如：減少整地耕作的方式。
2. 種植覆蓋作物(intermediate crops)，採用條狀間作(row intercropping)及草帶(grass strips)的栽培方式。
3. 種植樹籬在農地邊界並發展混農林業。
4. 優化牧場經營，例如：較長的放牧計劃。

5. 復原(restore)土壤貧瘠地。

## 法國農林業回應「千分之四」倡議的事例

「千分之四」倡議中提到增進土壤有機質的方法中，與林業息息相關的為生態農業及混農林業，法國的混農林業發展行之有年，參考自然生態系統的特性來施行，混農林業的施作方式也因長期監測及研究不斷的更新，目前最新的概念就是結合林木及作物或是牲畜來替代單一作物的種植方式，將林木種植在農地(或牧地)當中及周圍形成樹籬(hedge)，使作物及牲畜生長在部分有遮蔭的整合經營方式。這樣的經營方式因為林木能收穫、林木的枯枝落葉物如天然有機肥增加土壤肥力促進產量、促進生物多樣性的發展，並提昇土壤的碳吸存能力，對於極端氣候的發生有更多的緩衝能力，真實的透過改善經營方式在經濟、環境及社會公益上達到最佳化。

法國農業研究院(INRA)在法國Montpellier所執行的混農林業計畫，發現將小麥及胡桃木混植後，其產量較單一種植小麥的方式提升了33%，也就是說100公頃混植小麥及胡桃木的混農林業其所收成量(包含林木及農產物)等於分別種植林木及作物於133公頃土地上的收成量，並且混農林業的農地在栽植林木密度約50~100棵/公頃的情況下，每年可貯存為1~2噸/公頃的碳量。

另外法國農林部所提倡的生態農業則是以地景及生態系的尺度下，發展永續性農業，結合農業的資源生產、周遭生物多樣性保育以及提升農村的生計，是對環境友善的農法，他們致力要於2020年達到全國農業有



圖2 2016年6月23日在臺北舉辦的第1屆臺法農業合作會議。(陳財輝 攝)

一半以上採用生態農法的目標，來回應千分之四倡議中提及增加土壤有機質並增進土壤碳吸存的能力。

### 臺灣林業界如何回應「千分之四」倡議

因著人類的活動及毀林情形，大氣中額外增加了許多二氧化碳，所以森林在扮演減緩氣候變遷的角色中，有很大一部分是限制林地的使用，臺灣林業於1991年後禁伐天然林的行政命令頒布之後，不僅是天然林甚至是人工林都是以維護生物多樣性的原則在保護著，原則上限制林地轉作農地來使用。

目前林務局為回應日本提出的里山倡議，與各大學及民間社團合作，所推動的社區林業、水梯田的生態復育及推廣「綠色保育標準」等，皆是藉著改善農林地的使用方

式，達到社會—生態—生產地景的適性經營，使得土壤更健康並兼顧生物多樣性的發展，這與「千分之四」倡議中提出的生態農法及混農林業有相似的目標。

隨著臺灣陡峻的地形及越發頻繁極端氣候事件的發生，崩塌裸露林、海岸砂地及荒廢竹林等森林退化之土地面積極大，是目前臺灣林業亟需去積極改善的課題，奧地利與臺灣合作研究結果(2016)顯示臺灣的亞熱帶環境能使竹林快速累積林地的有機質，並轉換成不易分解的腐植質，具有將大氣中二氧化碳固定於土壤的潛力，若能針對臺灣面積龐大的荒廢竹林地多加研究改善對策，不僅能恢復劣化地，使森林、林地更健康，也能呼應「千分之四」倡議，期能與國際新知接軌。☀