

因應氣候變化發展氣候智慧林業

◎林業試驗所主任秘書室·林俊成 (ljc@tfri.gov.tw)
◎林業試驗所林業經濟組·吳孟珊、詹為巽、徐韻茹

森林與氣候變化

隨著全球暖化的科學性資訊的累積，氣候變化正成為21世紀的最大環境挑戰，森林兼具碳源(source)及碳匯(sink)的雙重角色，1997年，聯合國氣候變化綱要公約第三屆締約國會議 (Conference of Parties, COP3)通過京都議定書第3.3條，訂定造林與再造林的淨碳值可納入國家的減量數值。根據聯合國糧農組織(Food and Agriculture Organization, FAO)最新統計，2011~2015年間，全球森林雖然平均每年增加21億公噸二氧化碳儲存量，但因毀林和森林退化，造成平均每年排放29億公噸二氧化碳，致使森林為二氧化碳淨排放源。政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第五次評估報告(2013)指出，農業、林業和其他土地使用(Agriculture, Forestry and Other Land Use, AFOLU)占人類溫室氣體排放量的24%左右，主要排放來自毀林及其他農業活動，因此如何減少毀林和森林退化所導致的碳排放為近年來氣候會議的重要議題。COP21通過巴黎協議(Paris Agreement)，接替「京都議定書」成為2020年後唯一具法律約束力之氣候協議，協議中森林議題的共識更是一大突破。巴黎協議第5條鼓勵各國實施和支持REDD(Reduce Emissions from Deforestation and Degradation)，以及在開發中國家進行保育、森林永續發展和促進森林碳儲存的活動。各國承諾共同打擊毀林和促進

森林保育，這是一個具有關鍵性的轉變。森林不但具有碳排放及吸收的角色外，也具有碳保存與替代的功能，此外，森林對氣候變化反應敏感，影響整體陸地生態系的平衡。森林對於減少當前和未來對人類的影響也很重要，因為森林產品往往比傳統農作物更具有氣候適應能力，因此當災害發生或作物歉收時，森林就像安全網，保護社區減少作物和收入來源的損失，森林尚可提供水土保持、水資源涵養等生態系服務功能的效益。

氣候變化在世界各地已經造成重大影響，尤其是對生態物種和系統，而且這些影響會隨著時間而大幅增加。氣候變化透過減少產品交付和森林生態系統服務，對森林生態系統、依賴森林的人民和整個社會構成直接威脅，而土地使用、經濟和社會變化驅動的間接影響，也將對森林及其產品和生態系統服務的能力產生影響(FAO 2018)。極端氣候事件和氣候相關災害可能會影響各國迅速且有效應對這些災害的能力，各國需要預測氣候變化對森林、人類和生物多樣性構成的直接和間接威脅，並採取行動減少其脆弱性，增強其抵禦能力並加強其調適氣候變化的能力(FAO 2018)。

氣候變化調適方法通常涉及國家政策，這些方法須由國家驅動和參與，並遵循透明的治理原則，以確保氣候變化調適納入林業及環境把關政策和行動。國家調適計劃中與森林有關的措施可包括：提供森林就業、保持對林地和資源的獲取、並加強參與式社區



森林永續生產與更新，增加碳儲存與吸存(林俊成 攝)

治理，以提高依賴森林的人民的抵禦能力。而跨區調適措施除了透過重新造林和恢復退化的土地、流域管理和農場水土保持措施、木材燃料的永續利用之外，還包括氣候智慧農林業(FAO 2018)。

氣候智慧農業

氣候智慧農業(Climate-Smart Agriculture, CSA)是轉變和調整農業生產系統和農糧供應鏈的一種方式，用以支持永續發展，確保氣候變化下的糧食安全。氣候智慧農業有三個主要目標：1. 永續提高農業生產力和收入；2. 建立調適氣候變化的能力；3. 減緩溫室氣體排放。由於各國在經濟、社會和環境層面的永續追求多項目標。每個國家都需要在不同目標的短期和長期需求之間加以權衡，而氣候智慧農業

的主要組成，部分是針對在氣候變化架構下，氣候變化和農業永續發展政策之間的爭議而衍生。因此，氣候智慧農業提供各級利益相關者，確定適合當地情況的農業策略。

實施氣候智慧農業，會涉及到農田、牧場、森林、海洋和淡水生態系統的行動。包括不同的元素，如：

1. 土地、作物、牲畜、水產養殖和捕撈漁業的管理，以平衡近期的糧食安全和生計需求，優先考慮調適和減緩。
2. 生態系統和景觀管理，以保護對糧食安全，農業發展，調適和減緩至關重要的生態系統服務。
3. 為農民和土地管理者提供服務，使他們能夠更好地管理氣候變化的風險和影響，並採取減緩行動。

4. 包括需求方措施和價值鏈措施在內的更廣泛的糧食體系的變化，這些措施可以增強氣候智慧農業的效益。

氣候智慧林業

「氣候智慧林業(Climate-Smart Forestry, CSF)」是一種透過利用森林和其區塊及政策，盡可能利用各國的不同區域特徵和環境的方式，將氣候減緩納入主流的方法。2010年，聯合國農糧組織(FAO)在面對農業生產與氣候變遷課題所提出的調適(adaptive)策略為「氣候智慧農業(CSA)」，即一方面維持糧食生產力，另一方面可減緩氣候變化的負面影響。具體做法包括保育型農業(conservation agriculture)、混農林業(agroforestry)，以及農林漁牧整合系統(integrated forestry, farm

and fish systems)等型式(FAO 2018)。氣候智慧農業強調改善風險管理、資訊流和當地機構以支持調適能力，為激勵和促進集約化提供基礎(Campbell et al. 2014)。而氣候智慧林業是一個與氣候智慧農業相似的概念，主要目標為找到最佳措施組合，同時考慮區域情況，以最大幅度減緩氣候變化(Nabuurs et al. 2018)。氣候智慧林業不僅僅是在森林生態系統中儲存碳，因為它包括調適氣候變化，並努力實現與其他森林功能的可能協同作用(Nabuurs et al. 2018, Nabuurs et al. 2017, Jandl et al. 2018)。氣候智慧林業在儲存碳功能外，還有三個主要目標：1. 減少和/或消除溫室氣體排放；2. 調適和建立森林對氣候變化的適應力；3. 可持續地提高森林生產力和收入。

透過捕捉森林和木製品中的二氧化碳，



森林在因應氣候變化具重要角色(於德國波昂)(林俊成攝)

表1 歐盟實施氣候智慧林業的效果

森林經營措施的主要類別與子措施	減量效果(百萬公噸CO ₂ /年)
1. 改善森林經營	172
1a. 生長良好的矮林經營	56
1b. 提高生產力和改善管理	38
1c. 減少干擾、伐採森林和加強排水	35
1d. 使用木材製品替代其他材料	43
2. 擴大森林面積	64
3. 能源替代	141
4. 建立森林保護區	64
合計	441

Source: Nabuurs et al., 2017

以及透過物質和能源替代，森林和其區塊在減緩氣候變化扮演著重要的角色(Nabuurs et al. 2018)。目前的政策和市場間接或偶然低估我們從森林中獲得多種利益 - 例如木材、就業、棲息地、乾淨水源和碳儲存。因為這些政策和市場只專注短期的營利，沒有考慮到森林可以提供的各種生態系統服務，例如供應服務、支持服務、文化服務和監管服務(Park et al. 2018)，直接轉化為較低程度的木材產量、碳儲存、就業機會以及可持續生產的價值(Davies 2017)。歐盟預估有通過實施氣候智慧林業的森林經營措施，2050年將達到額外減緩441百萬公噸二氧化碳/年的效果(表1)(Nabuurs et al. 2017)。

2015年起，歐盟執委會的科研架構計畫(European Union Framework Programme)推動「氣候智慧林業(CSF)」即從氣候智慧農業所轉化而來，強調三大支柱：1. 透過永續地提高森林生態系統服務來改善山區居民的生計，

2. 強化山區森林的適應力和韌性，3. 關注於最有效減緩方案並得利於調適緩和的綜效。歐盟執委會企圖透過這些舉措，強化森林經營對溫室氣體減量的貢獻，甚至納入減量政策目標。對於此一目標，歐盟考慮從現在起到2030年之間，將1,200~1,700萬公頃的農田轉為造林地，可以提供接近7千萬公噸二氧化碳/年的額外碳匯，每年額外生產1億立方公尺木材，比目前產量多出25%(Nabuurs et al. 2015, 2017, 2018)。氣候智慧林業可以促進造林現代化，改善木材加工業的生產方法，進一步發展木製產品的消費應用(Kauppi et al. 2018)。Nabuurs等人認為氣候智慧林業可以將氣候目標納入主流，應將可持續調適和減緩氣候變化納入歐洲林業政策和森林管理，並特別關注區域情況、機遇和挑戰，如木材生產、生物多樣性和減少干擾等(Nabuurs et al. 2015)。歐盟實施氣候智慧林業的措施示例及其當地協同效應如表2所示。

表2 氣候智慧林業實施措施及與當地協同效應

森林管理措施	區域性特定氣候智能林業激勵方式	參與方	實現協同效應
利用生產力和氣候適應性更強的物種，重建完整的林地。	在有改善的地區，透過對資源再生，建立稅收優惠。	國家和地方政府及企業	實現調適氣候變化的作用。增強生物經濟和可再生能源的木質生物質流量。韌性的森林同時可促成生物多樣性目標。
促進生態系統服務的推廣和保護。	獎勵對協調碳、水、土壤和森林相互作用效益的活動。獎勵二氧化碳信用額度和其他生態系統服務。	對休閒娛樂、授粉或水土保持有興趣的私部門。	一個有韌性的森林生態系統將保持可持續的碳平衡，並保護水土資源，優化基於森林對氣候減緩和調適的效果。
於衰退的森林中加強更新，並鼓勵種植氣候適應物種。	用碳稅為獎金，獎勵創造更具生產力與韌性的混合森林生態系。	持有大面積森林的林主與私部門	再生和混淆森林可以實現調適氣候變化的作用。增強生物經濟和可再生能源的木質生物質流量。韌性的森林同時可促成生物多樣性目標。
合併或鼓勵未比鄰林主之間的合作，尤其是維持現況未經營的林主。	購買相鄰資產時可以免稅。可從碳稅和農村發展計劃編列預算。	政府、林業合作社、認證機構	促進木材生產。促進生物經濟和農村發展。
減少低生產泥炭地的排水	減少低生產泥炭地的排水並獎勵碳信用額度。	林業合作社和非政府組織	促成生物多樣性目標。增加二氧化碳匯。
減少暴風或火災干擾的風險，並新植抗旱物種。	透過收穫、再造林或修枝以減少生物量，生產用於生物能源的木材。	政府、持有大面積森林的林主、企業	減少碳排放的機會。減少了林地對氣候變化的脆弱性，並透過新植新物種，促進對氣候變化的適應。增加增強生物經濟和可再生能源的木質生物質流量。創造農村發展的就業機會。
提高區域木材原料市場的透明度，提高階層使用效果。	更好地洞察和開放獲取木材資源和品質數據，從而實現木材的最佳利用。	資料庫建立、教育推廣與研究等相關組織，	可以更好地利用木質原料，避免碳債務。發展更高的價值鏈。
促進建築行業的木材使用	透過免稅來刺激木材使用，或在使用鋼材或鋁材時徵收碳稅等。	政府、木建築為主的公共採購。建築商和建築師的教育。	減少溫室氣體排放。增加環境友好建築，改善城市環境。
綠化廢棄的農田	改進土地利用以及造林計劃。在農業政策中指定預算，並從二氧化碳信用額度和二氧化碳稅中獲取資金。	政府、企業、投資者。	新植林地生產額外的木質原料，實現更多的二氧化碳匯，創造新的生物經濟機會。創造農村發展就業機會。
在偏遠地區和/或低生產力地區建立大型嚴格的森林保護區	以二氧化碳稅作為保護現存森林保護區的信用獎勵。	政府、林業合作社、非政府組織、企業	促成生物多樣性目標。增加二氧化碳匯。

Source: Nabuurs et al. 2017

FAO認為實施氣候智慧林業發展方法的關鍵考慮因素包括：

- 應對氣候變化和其他因素，導致全球對木材和非木質林產品需求的大幅增加；
- 解決與供應、價值和利益鏈中的糧食獲取，和依賴森林為生的居民生計等具體問題；
- 與森林的新興技術、商業和社會驅動的變化或與之相關的有效互動；
- 確定森林的承載力、效率和系統復原力方面的差距，特別是氣候壓力下可能增加的差距，並制定解決這些差距的一般或具體行動；
- 確定加強林業活動協調的備選方案，以改善貨物和服務的流動，確保有效利用資源和增強抵禦能力；
- 將森林活動與其他發展目標連結，包括消除飢餓、減輕貧困、自然資源保護和恢復、營養安全和健康、個人和社區賦權，自決和減少脆弱性；
- 確保政策工作人員能夠有效地與各級從業人員，基於明確的功能和有效性證據和受益人合作；
- 可持續地管理森林使森林增長和碳儲存；
- 使用森林原料製造產品，作為儲存碳的方式；
- 保護森林提供生態系統服務，如水資源涵養和動物棲息地；並維持依賴森林的原住民和當地社區的生計；
- 透過利用森林和樹木作為生質燃料和木材產品等氣候產品的原材料，減少對石油、煤炭和天然氣的依賴。

針對不同的環境，氣候智慧林業擁有不同激勵措施的彈性。FAO針對有明確規劃和區域劃分、長期經營目標的森林，提出了11個將氣候智慧林業與森林整合的步驟(圖1)：

1. 評估氣候變化對實現森林經營管理目標的風險。
2. 確定最容易受到氣候變化影響的森林經營單位(或附近)依賴森林的人口和森林面積。
3. 確定森林管理措施，減少依賴森林的人口和森林地區對氣候變化的脆弱性，或增加其適應能力，並估算實施這些措施的成本。
4. 收集相關政策、機構的財務和技術獎勵資訊，瞭解是否有可能採取調適措施，以及獲得此類獎勵和支持的要求。
5. 確定森林經營單位減緩氣候變化的可選方案，包括採取的行動，採取此類行動的時間表，所涉及的成本以及預期的減緩效益。
6. 進行成本效益評估，以確定最具成本效益的減緩和調適方案，同時考慮它們之間的協同作用和權衡。
7. 調整森林管理計劃和其他規劃工具，適應已確定的減緩和調適措施，並納入透過脆弱性評估、風險和減緩方案獲得的知識。
8. 確定實施緩解和調適措施的能力、發展需求和機會。
9. 調整實踐方法，以實現指定的緩解和調適目標。
10. 調整森林監測和評估程序，以應對指定的緩解和調適行動中可能需要的額外變動。
11. 制定機制，確保根據監測和評估結果調整森林管理。

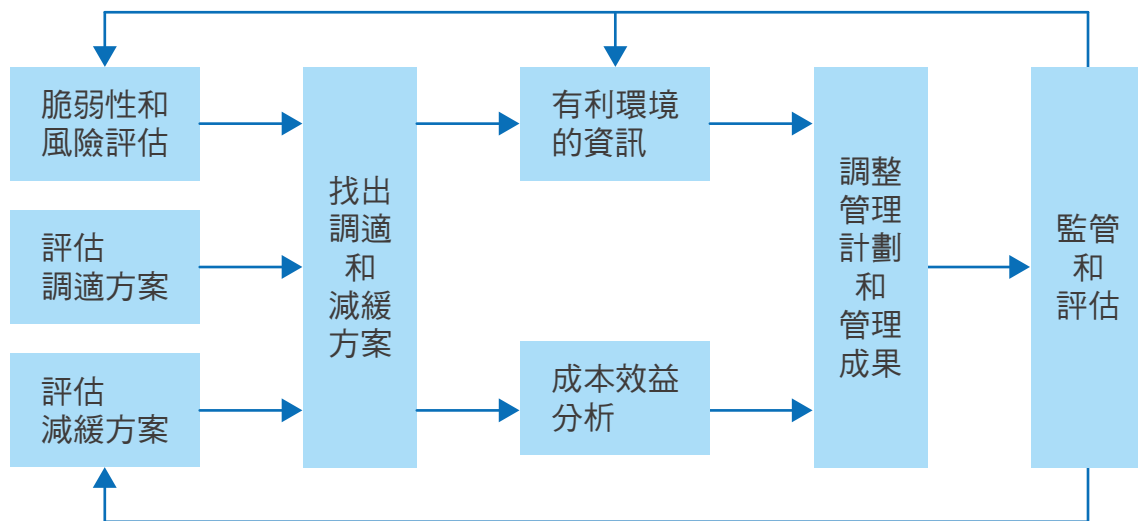


圖1 氣候智慧林業與森林整合步驟 (FAO: Climate Smart Agriculture Sourcebook)。

Nabuurs(2015)等人亦整合了氣候智慧林業對不同類型或面臨不同問題之森林提供的益處，有關不同類型森林面對的問題，以及氣候智慧林業可發揮的作用，整理如表3。

歐洲森林研究所 (European Forest Institute, EFI)分析三個歐洲地區(西班牙，捷克和愛爾蘭)實施氣候智慧林業(CSF)措施的案例，每個地區的森林和森林部門都有不同的特點，面臨不同的挑戰。針對西班牙(160萬公頃)，捷克(270萬公頃)和愛爾蘭(80萬公頃)部分森林，進行森林生態系碳平衡以及採伐木材產品和能源替代效應的情境預測，結果顯示：透過實施CSF措施，50年後平均每年可減少710萬噸二氧化碳的排放效果。相關氣候智慧林業措施包括減少對乾旱和樹皮甲蟲(bark beetle)(捷克)、暴風(愛爾蘭)和野火(西班牙)的脆弱性，使森林生態系對未來有更好的適應條件，這些措施還有其他附加價值，在捷克可轉變為天然樹種組成，可增加生物多樣性；在西班牙和愛爾蘭，透過增加木材採



森林調查與監測資料，可供森林碳管理行動策略研擬依據 (林俊成 攝)

量及獎勵投資來增加森林生產力，增加林主額外收入(Nabuurs et al. 2018)。

結語

FAO認為要實施氣候智慧林業有幾點關鍵需要考慮，應對氣候變化和其他因素導致全球對木材和非木質林產品需求的大幅增加；新興技術、商業和社會驅動的變化、與

表3 氣候智慧林業作用

國家/地區	林業問題	氣候智慧林業作用
中歐國家	需加強對生物多樣性的保護	增加保護森林的比例，大幅提高森林生物量
	過多森林蓄積	透過生產新類型產品可減少森林蓄積，同時減少暴風雨的風險
森林工業的國家	較低的砍伐/增量比	提高資源利用率，發展生物經濟，增加森林保護區與泥炭地破的保存。
易發生火災的國家	森林工業發展不良，易受火災影響	以火災風險管理為目標，增加在地對森林生物量的使用，新植抗旱物種。
東歐國家	挪威雲杉易受乾旱和甲蟲影響	逐步轉向適地的物種、建造混淆林等。轉換期間可於適當的建築中增加木材使用率。
巴爾幹國家	雜草叢生	恢復矮林區與在地生物質的使用，刺激農村發展。
城市化地區	因城市擴張導致森林伐採	停止伐採森林，建立新植森林，為健康的社會提供遊樂機會。

Source: Nabuurs et al. 2017

森林部門相關的有效互動；確定森林部門的能力、效率和系統復原力方面的差距，特別是氣候壓力下可能增加的差距，並制定解決這些差距的行動；確定加強森林部門活動協調的備選辦法，以改善產品和服務的流動，確保有效利用資源和增強抵禦能力；將森林部門的活動與其他發展目標連貫起來，包括消除飢餓、減輕貧困、自然資源保護和恢復、營養安全和健康、個人和社區賦權、自決和減少脆弱性；確保政策工作人員能夠有效地與各級從業人員和受益人合作，並且基於明確的功能和有效性證據，得到明確認可的行動；可持續地管理森林以增加森林生長和碳儲存；使用森林原料製造產品來儲存

碳；提供生態系統服務，如水體供給和動物棲息地，並維持依賴森林的原住民和當地社區的生計；透過為氣候智慧產品(如生質燃料和木製品)提供更多原材料，利用森林和樹木減少對石油、煤炭和天然氣的依賴。

國際間，氣候智慧農林業目前都是紙上談兵階段，尚未有實質成果。歐盟林業和相關部門計畫在2020年後，透過氣候智慧林業達到其氣候政策目標(Nabuurs et al. 2015, 2017, 2018)。想改善林業現況，需政策和技術雙管齊下。唯臺灣目前尚無氣候智慧林業相關的政策與技術，若相關單位就此提出規劃，應有助於臺灣農林業發展，加強減排並提升臺灣在國際市場的地位。♻️