

環境生態學書 - 永續社

第9章 森林資源



森林作為陸域生態系統的核心，不僅是地球上生物多樣性最為豐富的棲地之一，更是維繫全球生態平衡與人類社會發展的關鍵自然資源。森林資源的範疇遠超過單純的木材供給，它涵蓋了從熱帶雨林到寒帶針葉林等各式各樣的生態系統，每一種類型都承載著獨特的生態功能與社會價值。本章將深入探討森林資源的多重面向，從其生態功能與分類出發，分析全球森林的現況與面臨的危機，並檢視森林砍伐的驅動因素及其所帶來的深遠生態衝擊。最終，我們將探討森林保育與永續經營的各種策略與國際合作機制，以期在人類發展需求與生態系統永續之間尋求平衡。

森林生態系統的複雜性體現在其結構與功能的各個層面。從垂直結構來看，森林通常具有明顯的分層現象，包括林冠層、下木層、灌木層與地被層，每一層都為特定的動植物提供棲所，從而支持了極高的生物多樣性。水平結構上，森林呈現出鑲嵌式的分布格局，受到地形、土壤、水分及干擾歷史的影響。這種結構上的多樣性直接關聯到森林的生態功能，例如碳吸存、水源涵養、土壤保持以及氣候調節。森林透過光合作用固定大氣中的二氧化碳，是重要的碳匯；其林冠與枯枝落葉層能截留雨水，減緩地表逕流，補充地下水；龐大的根系網絡則能有效固持土壤，防止侵蝕。

然而，全球森林資源正遭受前所未有的壓力。根據聯合國糧農組織的森林資源評估報告，全球森林面積雖仍佔陸地面積約三分之一，但淨損失的趨勢在部分區域

持續發生，特別是生物多樣性極高的熱帶地區。森林消失與退化的原因錯綜複雜，主要驅動力包括農業擴張、基礎建設開發、非法採伐、採礦以及森林火災等。這些活動不僅導致棲地喪失與破碎化，威脅無數物種的生存，更破壞了森林所提供的各項生態系服務。例如，亞馬遜雨林的大規模砍伐已對區域乃至全球的水文循環與碳循環產生顯著影響，加劇了氣候變遷的進程。

面對這些挑戰，國際社會與各國政府已發展出多種森林保育與永續經營的框架。永續森林管理的概念強調在利用森林資源以滿足當代社會經濟需求的同時，必須維護其生態完整性與生產力，以確保後代子孫也能享有森林帶來的惠益。實踐上，這涉及了從保護區劃設、生態廊道建置、到推動負責任的林業操作標準等一系列措施。同時，結合在地社區知識與權益的社區林業，以及整合林木與農作的農林複合系統，被視為兼顧生計與保育的有效途徑。國際合作機制如減少毀林及森林退化造成的排放（REDD+）計畫，則旨在提供經濟誘因，鼓勵開發中國家保護森林，以對抗氣候變遷。透過這些多元的策略，森林資源的永續管理成為實現全球環境目標與永續發展的關鍵一環。



9.1 森林的生態功能與分類

森林作為陸域生態系統中結構最複雜、生物量最龐大的類型，其生態功能與分類體系是理解全球生態平衡與資源管理的基礎。森林不僅是眾多物種的棲息地，更是調節氣候、維持水循環、保護土壤以及提供人類社會各種資源與服務的關鍵自然資本。從生態學角度而言，森林是一個動態的、具有自我組織能力的生命系統，其功能遠超過單純的木材生產。這些功能相互關聯、彼此支撐，共同維繫著區域乃至全球的生態穩定性。同時，由於地球表面氣候、地形與土壤條件的巨大差異，森林也展現出豐富多樣的類型，從赤道附近的鬱鬱蔥蔥的熱帶雨林，到寒帶地區耐寒的

針葉林，每一種類型都演化出獨特的結構與功能，以適應其所在的環境梯度。對森林生態功能與分類的深入探討，有助於我們更全面地評估森林的價值，並為其保育與永續經營提供科學依據。

森林的生態功能可概括為生產性、保護性與調節性三大面向，這些功能共同構成了森林對人類與地球的生命支持系統。生產性功能最為直觀，包括提供木材、纖維、燃料、食物、藥材等有形的物質資源，這些資源自古以來便是人類文明發展的基礎。然而，森林的保護性與調節性功能雖較不易量化，其重要性卻有過之而無不及。保護性功能主要體現在國土保安上，例如森林的根系能固持土壤，減緩地表逕流，從而防止土壤侵蝕與山崩、土石流等地質災害；林冠層能截留降雨，減緩雨滴對地表的直接衝擊。調節性功能則更為宏觀，森林通過光合作用吸收大氣中的二氧化碳，並釋放氧氣，是重要的碳匯，在全球碳循環中扮演關鍵角色；同時，森林的蒸散作用能調節區域氣候，增加空氣濕度，影響降雨模式；此外，森林還能淨化空氣與水質，吸附粉塵，吸收有害氣體，並透過土壤與植被的過濾作用，涵養潔淨的水源。

依據氣候、地理與植被特徵，全球的森林可進行系統性的分類。傳統上，森林類型主要根據優勢樹種的形態與生態特性來劃分，例如針葉林、闊葉林以及混合林。然而，更全面的分類會納入氣候帶的影響，從而區分出熱帶、亞熱帶、溫帶與寒帶等主要森林生物群系。熱帶森林主要分布於赤道兩側，終年高溫多雨，沒有明顯的季節變化，其特徵是物種多樣性極高、層次結構複雜，並包含雨林、季風林等多種亞型。亞熱帶森林位於熱帶與溫帶之間，通常具有常綠闊葉林的特色，會經歷較為乾濕分明的季節。溫帶森林則四季分明，包括落葉闊葉林與常綠針葉林（如溫帶雨林），樹種多樣性較熱帶為低，但生物量依然可觀。寒帶森林主要指北半球的北方針葉林，又稱泰加林，其樹種組成相對單純，以松、杉、樅等耐寒針葉樹為主，林下植被較不發達。

除了氣候帶的分類，森林亦可依其起源與人為干擾程度，區分為原始林、次生林與人工林。原始林是未經人類重大干擾或砍伐後自然恢復至頂極狀態的森林，擁有完整的演替系列與生態過程，生物多樣性與生態功能最為完備。次生林則是在原始林遭受砍伐、火災等干擾後，自然或人為促進下重新生長形成的森林，其物種組成、結構與功能尚在恢復過程中，與原始林存在顯著差異。人工林則是完全由人類為了特定經濟目的（如木材、紙漿生產）而栽植的森林，通常樹種單一，齡級一致，生態功能較為簡化，但若經營得當，也能提供部分生態服務。這種分類方式凸顯了人類活動對森林景觀的深刻塑造，並提醒我們在追求經濟效益的同時，必須兼顧森林生態完整性的維護。

理解森林的分類有助於我們掌握各類森林的獨特價值與面臨的威脅。例如，熱帶雨林雖然只覆蓋地球表面積約百分之六，卻孕育了全球超過一半的陸生物種，是生物多樣性的寶庫，同時也是巨大的碳儲存庫，其破壞會對全球氣候與生物多樣性造成不可逆的衝擊。北方針葉林則儲存了全球土壤碳庫的極大份額，其凍土層的穩

定性與全球碳循環息息相關。而廣泛分布於山地的森林，則在涵養水源、防止土砂災害方面具有無可替代的功能，直接關係到下遊社區的安危。因此，森林的分類不僅是學理上的區辨，更是制定差異化保育與經營策略的基礎。針對不同類型森林的生態脆弱性與社會經濟價值，需要採取不同的管理方針，以實現保護與利用的平衡。

綜上所述，森林的生態功能多元且深遠，其分類體系反映了自然環境的異質性與人類影響的痕跡。在當前全球面臨氣候變遷、生物多樣性喪失與土地退化等挑戰之際，森林的保護性與調節性功能愈發顯得珍貴。無論是熱帶雨林的碳匯功能，溫帶森林的水土保持效益，或是人工林提供的可再生木材資源，每一類森林都在地球生命支持系統中佔據一席之地。因此，未來的森林資源管理必須超越狹隘的經濟視角，轉向一種基於生態系統整體功能的永續經營模式，這需要我們更精確地評估各類森林的綜合價值，並在國際、國家與地方層級上，推動相應的政策與行動，以確保這份綠色遺產能永續惠及當代與未來世代。

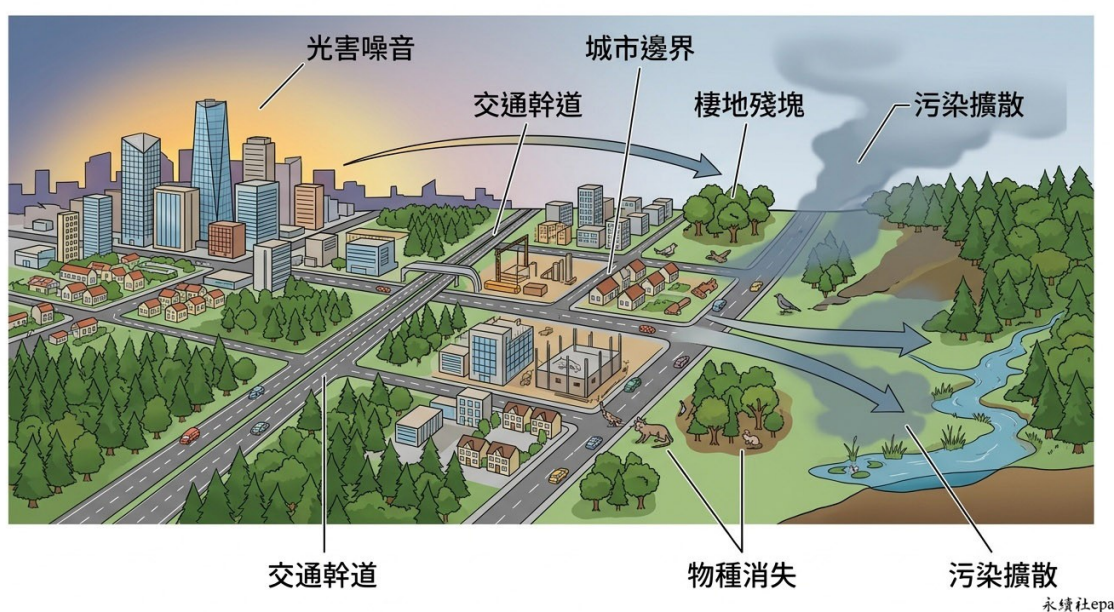
9.1.1 森林的生產性、保護性與調節性功能

森林作為陸域生態系統的核心，其功能遠超越單純的木材生產。從生態學角度分析，森林的功能可系統性地歸納為生產性、保護性與調節性三大面向，這些功能相互交織，共同維繫著生態系統的穩定與人類社會的福祉。

生產性功能是森林最為人熟知的一環，主要指其提供各種有形物質資源的能力。這不僅包括木材、薪柴、紙漿等林產品，更涵蓋了非木材森林產品，如藥用植物、食用菌類、野生果實、樹脂、藤條以及飼料等。這些資源直接支持了全球數億人口的生計，特別是在發展中國家的鄉村地區，非木材林產品往往是當地社區重要的食物來源與經濟收入。此外，森林也是重要的遺傳資源庫，保存了無數作物野生近緣種和具有潛在藥用價值的物種，為未來農業育種與新藥開發提供了不可替代的基因寶庫。這種生產性功能建立在森林生態系統初級生產力的基礎上，透過光合作用將太陽能轉化為生物質，並沿食物鏈支持著從微生物到大型哺乳動物的整個生命網絡。

保護性功能則體現在森林對其覆蓋下之土地、水體及生物資源的物理性庇護與維持作用。森林冠層能有效緩衝降雨對地表的直接衝擊，林下深厚的枯枝落葉層及發達的根系網絡則像海綿一樣吸收水分，大幅減少地表逕流與土壤侵蝕。這種水土保持功能對於防止山崩、土石流等地質災害至關重要，特別是在地形陡峭的山區。同時，森林是地球上超過八成陸域生物物種的棲息地，其複雜的垂直分層結構——包括喬木層、灌木層、草本層及地被層——創造了多樣化的微棲地，為從鳥類、哺乳類到昆蟲、真菌等無數生物提供了食物、庇護所與繁殖場所，是維持全球生物多樣性的關鍵。

調節性功能涉及森林對區域乃至全球環境過程的調控與平衡，這類功能往往具有公共財的性質。森林透過蒸散作用影響局部氣候，增加空氣濕度並調節溫度，形成更為溫和宜居的小氣候。在生物地球化學循環方面，森林是巨大的碳匯，其植被與土壤儲存了巨量的碳，有助於減緩大氣中二氧化碳濃度的上升，緩和全球暖化。森林亦能過濾空氣中的懸浮微粒與吸收污染物如二氧化硫、氮氧化物，淨化空氣品質。此外，森林在水文循環中扮演調節者的角色，能延緩融雪與降雨後的水分釋放，穩定溪流流量，降低旱澇災害的發生機率與強度，並透過過濾作用改善水質。這些調節性功能雖然無形，但其生態與經濟價值極為巨大，是支撐地球生命支持系統不可或缺的環節。



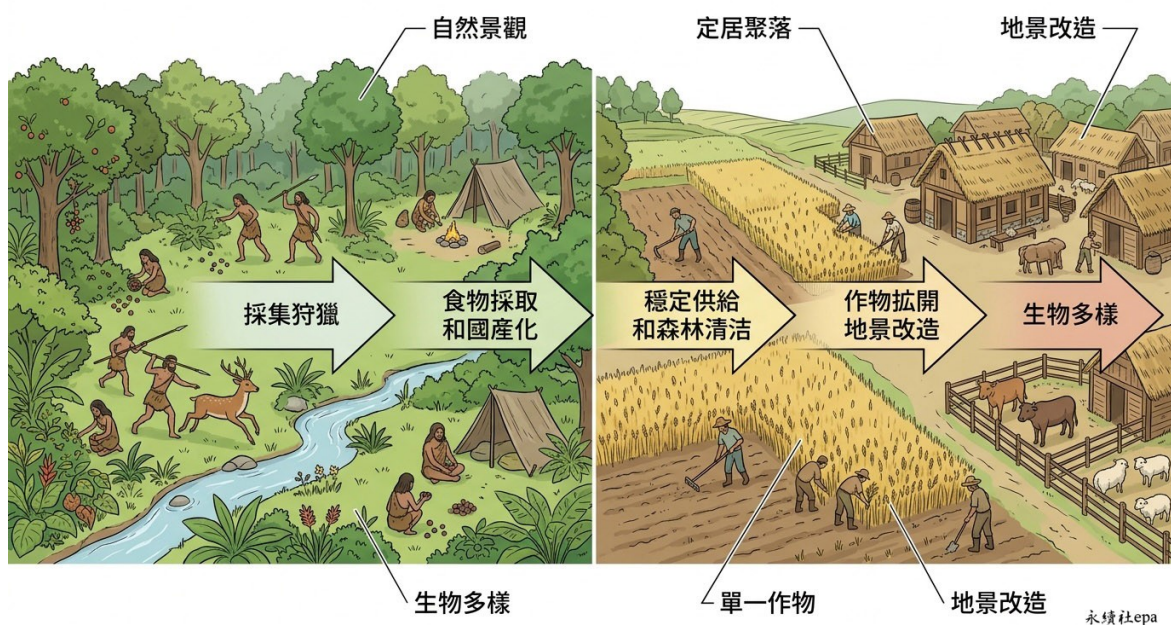
9.1.2 世界主要森林類型與分布

全球森林依據氣候、地形、土壤條件以及物種組成，可劃分為數個主要類型，其地理分布呈現明顯的帶狀格局，主要受緯度與海拔所驅動的溫度與降水模式所決定。熱帶雨林主要分布於赤道附近，即南北緯 10 度之間的區域，包括南美洲的亞馬遜盆地、非洲的剛果盆地以及東南亞的馬來群島等地。這些地區終年高溫多雨，年降水量通常超過 2000 毫米，且無明顯乾季，造就了地球上最為複雜、物種最豐富的森林生態系統。熱帶季節性森林則位於熱帶雨林的外緣，如南亞、東非及部分中南美洲地區，其特徵是存在較為明顯的乾濕季交替，樹木在乾季可能落葉以適應水分壓力。

隨著緯度升高，進入亞熱帶與溫帶區域，森林類型轉變為以闊葉林和針闊葉混交林為主。亞熱帶常綠闊葉林分布於大陸東岸，如美國東南部、中國東南部、日本

南部及澳洲東部，這些森林由常綠的樟科、殼斗科樹木所組成，適應溫暖潮濕的氣候。溫帶落葉闊葉林則廣泛分布於北半球中緯度地區，包括歐洲大部、北美東部及東亞，其特徵是樹木在冬季落葉以度過低溫與水分凍結的時期，常見樹種如橡樹、楓樹與山毛櫸。溫帶針葉林，又稱北方森林或泰加林，構成了一條橫跨北美與歐亞大陸北部的巨大帶狀區域，位於北緯 50 度至 65 度之間，主要由耐寒的雲杉、冷杉、松樹及落葉松所組成，其林相相對單純，但覆蓋面積遼闊，是全球重要的碳儲存庫。

在高海拔山區，森林類型隨海拔升高而呈現垂直分布，類似於從低緯度到高緯度的水平變化。例如，在喜馬拉雅山區或安地斯山脈，從山麓的熱帶或亞熱帶森林開始，向上依次過渡為溫帶闊葉林、針葉林，最終進入高山灌叢與草甸。此外，特殊環境條件下也發展出獨特的森林類型，例如在乾旱或半乾旱地區的疏林草原，其樹木稀疏且耐旱；在熱帶及亞熱帶海岸潮間帶則分布著紅樹林，其樹種具有特殊的氣生根與胎生苗等適應鹽漬環境的構造。地中海型氣候區，如地中海沿岸、加州、智利中部等地，則發展出以硬葉常綠灌木與矮樹為主的疏林，其葉片通常小而厚以減少水分蒸散。這些多樣化的森林類型不僅反映了地球氣候與地形的異質性，更各自承載著獨特的生態過程與服務功能，共同維繫著全球生物多樣性與生態平衡。



9.1.3 熱帶森林：全球生物量與生物多樣性的核心

熱帶森林主要分布於赤道兩側，南北緯約 23.5 度之間的區域，包括南美洲的亞馬遜盆地、非洲的剛果盆地以及東南亞的馬來群島等地。這些地區終年高溫多雨，年均溫通常在攝氏 25 度以上，年降雨量超過 2000 毫米，且無明顯的乾濕季區別，創造了極其有利於植物生長的环境條件。在如此穩定的氣候條件下，熱帶森林發展出地球上最為複雜、生物量最為龐大的陸域生態系統。據估計，全球熱帶森林雖然

僅覆蓋約百分之七的陸地面積，卻容納了超過一半的已知陸生物種，同時儲存了約百分之四十的陸域碳儲量，使其在維持全球生物多樣性與調節氣候方面扮演著無可替代的核心角色。

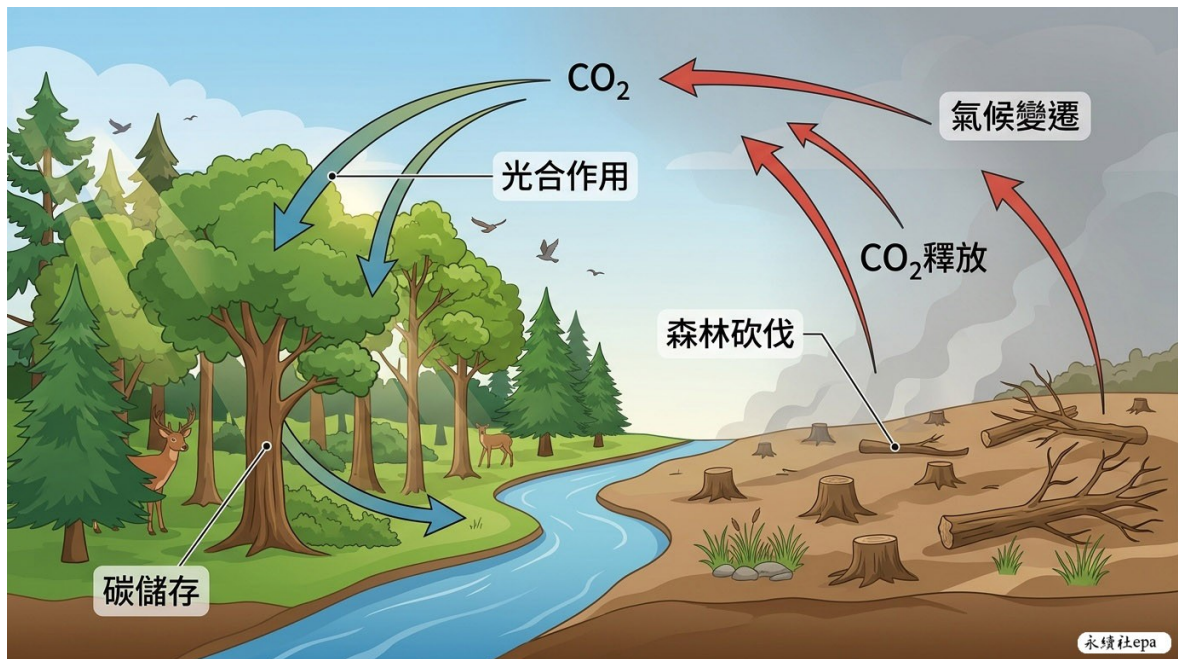
熱帶森林的生物量積累主要源於其高生產力與快速的養分循環。這裡的植物終年進行光合作用，不受季節性低溫或乾旱的限制，使得初級生產力遠高於溫帶或寒帶森林。龐大的樹冠層結構，包括多層次的喬木、灌木、藤本與附生植物，形成了巨大的光合作用表面積，能高效地固定大氣中的二氧化碳。這些固定的碳不僅構成植物體本身，更透過枯枝落葉與植物殘體進入土壤有機質庫。值得注意的是，熱帶森林的養分循環極為快速，大部分養分儲存在活體生物量中而非土壤內，這使得森林一旦被砍伐，養分極易流失，土地迅速貧瘠化，凸顯了其生態系統的獨特性與脆弱性。

在生物多樣性方面，熱帶森林是地球上物種最豐富的棲地。其高多樣性被歸因於長期的氣候穩定性、複雜的棲地結構以及物種間高度特化的交互作用。例如，在亞馬遜雨林的一公頃範圍內，可能發現超過四百種樹木，這個數字往往超過整個歐洲大陸的樹種總和。除了植物，這裡更是無數昆蟲、鳥類、兩棲類、爬蟲類及哺乳類的家園，許多物種的分布範圍極其狹窄，屬於地方特有種。這種高度的物種多樣性與特化性，使得熱帶森林成為一個巨大的基因庫，蘊藏著尚未被科學發現的潛在資源，包括新藥、新材料與具有特殊適應性的基因，對於人類的農業、醫學與工業發展具有深遠的潛在價值。

然而，熱帶森林作為全球生物量與生物多樣性的核心，正面臨著嚴峻的生存威脅。大規模的商業伐木、農業擴張（特別是油棕與大豆種植）、基礎建設開發以及氣候變遷的影響，正導致森林面積急遽縮減與破碎化。森林的消失不僅意味著無數物種的滅絕，更會釋放巨量的碳儲存，加劇全球暖化，形成惡性循環。此外，森林砍伐會破壞區域水文循環，可能導致降雨模式改變，進一步影響森林的再生能力。保護熱帶森林已不僅是區域性的保育議題，更是關乎全球生態穩定與氣候安全的核心挑戰，需要國際社會共同合作，透過永續森林管理、設立保護區、支持在地社區保育以及負責任的消費選擇等多重策略來應對。

9.1.4 森林的美學、精神與文化意義

森林不僅是生物物理實體，更是人類心靈與文化的重要載體，其美學、精神與文化意義深植於人類文明的發展歷程中。從美學角度而言，森林以其多層次的結構、豐富的色彩與動態的生命力，構成了自然景觀中最為複雜且迷人的元素。森林的美感體驗源於其多樣性：從宏觀的樹冠層起伏與林相變化，到微觀的苔蘚紋理與光影交錯，皆能引發人類的審美情感。這種自然之美不僅是藝術創作——如繪畫、文學與音樂——的永恆靈感泉源，更在景觀設計與都市規劃中，成為舒緩現代生活壓力、提升生活品質的關鍵要素。森林所提供的「森林浴」或「療癒景觀」概念，

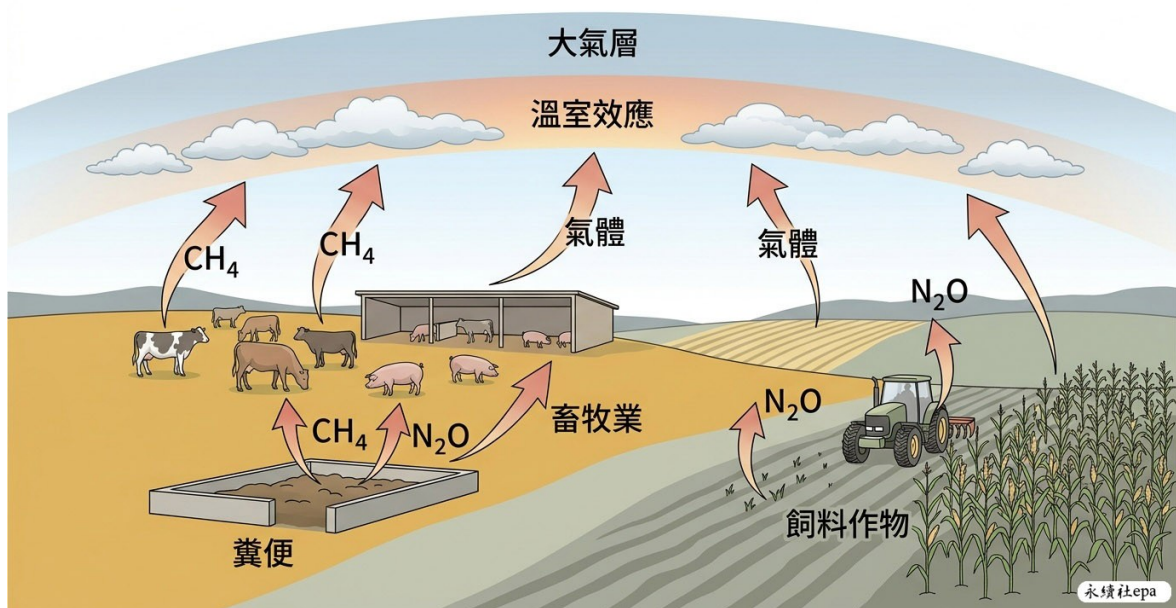


正是其美學價值與心理健康效益相互交融的體現，強調了人與自然感官連結對身心健康的深遠影響。

在精神層面上，森林自古以來便是人類尋求靈性寄託、進行沉思與內省的神聖空間。許多文化將森林視為神靈居所或通往超自然世界的門戶，這種神聖性體現在各地的宗教傳統與神話敘事中。例如，日本神道信仰中的「鎮守之森」、歐洲凱爾特文化中的聖林，乃至原住民部落視特定樹種為祖先靈魂的化身，皆彰顯了森林作為精神象徵的普遍性。森林的幽深、靜謐與生生不息的循環，往往喚起人類對生命、死亡與永恆的哲學思辨，促使人們在自然之中尋找超越世俗的意義。這種精神連結不僅塑造了個人的生態意識，也維繫了許多社群與其傳統領地之間的情感紐帶，成為文化認同與生態倫理的重要基礎。

文化意義上，森林是無數社會實踐、知識體系與物質文化的搖籃。傳統林產利用——如建築材料、藥用植物、食物來源——直接支撐了人類社群的生存與發展，並衍生出豐富的工藝技術與地方知識。更重要的是，森林作為敘事場景，深深烙印在民間傳說、文學史詩與視覺藝術中，成為文化記憶的載體。從《詩經》中的山林詠嘆到西方浪漫主義文學對荒野的崇拜，森林不斷啟發人類對理想世界的想像。此外，森林在許多社會中亦是社群集會、節慶儀式與知識傳承的場所，維繫著社會結構與文化連續性。當代社會中，森林的文化價值進一步擴展至生態旅遊、環境教育與文化遺產保護等領域，成為連結過去與未來、自然與文化的關鍵介面。

綜觀之，森林的美學、精神與文化意義與其生態功能緊密交織，共同構成了人類對森林價值的完整理解。這些非物質層面的價值雖難以量化，卻在塑造人類行為、指導資源管理與推動保育行動上扮演著不可或缺的角色。認識並珍視森林的多重意義，有助於超越純粹功利主義的資源觀，邁向更為 holistic 的森林治理模式，確保其在全球環境變遷與文化多元發展的時代中，得以永續存續並繼續滋養人類的心靈與文明。



9.2 全球森林現況

全球森林現況是評估地球生態健康與人類永續發展前景的關鍵指標。森林作為陸地生態系統的主體，不僅維繫著龐大的生物多樣性，更在調節全球氣候、水循環以及碳儲存方面扮演無可替代的角色。然而，過去數十年間，人類活動對森林的影響已達到前所未有的規模與強度，導致全球森林面積持續縮減，生態功能顯著退化。根據聯合國糧食及農業組織的定期評估，全球森林覆蓋率雖因各地區情況不同而有差異，但整體趨勢顯示，熱帶地區的森林損失尤為嚴重，而部分溫帶與寒帶地區則因人工造林與自然恢復，森林面積略有增長。這種區域性的消長並不能抵消全球森林生態系統所承受的壓力，因為新生的森林無論在物種組成、結構複雜性還是生態服務功能上，都難以與原始古老森林相提並論。因此，理解全球森林現況不能僅關注面積數字，更需深入分析森林的質量變化、分布格局以及其所面臨的威脅。

森林覆蓋率的統計數據揭示了明顯的區域差異。從洲際尺度來看，南美洲與非洲的熱帶地區承擔了全球森林淨損失的主要部分，而亞洲地區因中國大規模植林計畫的推動，近年來森林面積呈現淨增長趨勢，但這種增長背後隱藏著原生林被人工林或單一樹種林分所取代的質量劣化問題。歐洲與北美洲的森林面積相對穩定，甚至略有增加，這主要得益於長期的森林管理與部分農地棄耕後的自然演替。然而，穩定的面積數字可能掩蓋了森林健康度的下降，例如由氣候變遷引發的更大規模森林火災、病蟲害爆發等干擾事件正日益頻繁，侵蝕著森林生態系統的完整性。此外，森林的破碎化程度在全球範圍內持續加劇，大面積連續的原始森林被道路、農田與居住地切割成孤立斑塊，嚴重影響野生動物的遷徙與基因交流，並降低了森林應對環境變化的韌性。

亞馬遜雨林作為全球最大的熱帶雨林，其現況與危機尤為引人關注。這片被譽為「地球之肺」的廣袤森林，正面臨著前所未有的砍伐與退化壓力。儘管巴西等亞

馬遜流域國家已設立多處保護區並承諾減少毀林，但非法採伐、採礦以及為大豆種植與畜牧業而進行的林地清理活動依然猖獗。近年來，亞馬遜部分地區甚至已從碳匯轉變為碳源，意味著其釋放的二氧化碳已多於吸收的量，這對全球氣候目標構成嚴重威脅。森林砍伐與頻繁的乾旱相互疊加，增加了大規模野火發生的風險，形成「砍伐-乾旱-火災」的惡性循環。此外，雨林邊緣的「乾燥化」效應正逐漸向森林內部推進，改變區域微氣候，可能將部分雨林推越生態臨界點，轉變為熱帶草原生態系統，此過程一旦發生將不可逆轉，並對全球水循環與氣候模式產生深遠影響。

東南亞地區，特別是印尼與馬來西亞，經歷了全球最快速的森林消失過程。驅動力主要來自棕櫚油與紙漿木材種植園的擴張。大面積的泥炭地森林被排水、焚燒後轉為農園，不僅釋放巨量儲存於泥炭中的碳，造成嚴重的空氣汙染（跨境煙霾），更導致無可挽回的生物多樣性喪失，例如蘇門答臘虎與紅毛猩猩的棲地急遽縮小。雖然政府與企業在國際壓力下開始推行永續認證計畫，但執法不彰與土地權屬糾紛使得保護成效有限。該區域的森林砍伐還與全球大宗商品市場緊密相連，顯示本地森林命運深受全球消費模式所牽動。

聚焦台灣與東亞地區，森林資源的管理呈現另一番景象。台灣因地勢陡峭、降雨豐沛，森林覆蓋率約占全島面積的百分之六十，主要以天然更新之闊葉林與人工針葉林為主。長期以來，林業政策從早期的經濟伐木轉向以國土保安、水源涵養與生態保育為目標的多元經營。然而，仍面臨外來入侵種、森林健康維護（如松材線蟲危害）、以及極端氣候事件（如颱風引發的崩塌）等挑戰。東亞地區的日本與韓國，森林覆蓋率亦高，其森林多為戰後大規模造林所形成的人工林，目前正進入成熟期，面臨著木材生產、生物多樣性提升與防災功能等多重目標的權衡。中國的「退耕還林」等重大生態工程雖大幅增加綠色覆蓋，但如何提升這些新生林分的生態質量與穩定性，仍是長期課題。總體而言，全球森林現況呈現一幅複雜的圖景：一方面，人類認知到森林的無價並採取部分保護行動；另一方面，經濟發展的驅動力仍在許多地區持續蠶食著這些寶貴的自然資本。森林的未來，將取決於國際合作、國家政策、市場機制以及在地社區參與等多層次治理能否有效協調，真正實現森林的永續經營與保育。

9.2.1 森林覆蓋率的全球統計與區域差異

森林覆蓋率是衡量一個國家或地區森林資源豐富程度的重要指標，其統計數據不僅反映了陸地生態系統的基礎狀況，也與全球碳匯能力、生物多樣性保育及氣候調節功能密切相關。根據聯合國糧食及農業組織（FAO）的全球森林資源評估報告，全球森林總面積約為四十億公頃，占地球陸地總面積的百分之三十一。然而，這一覆蓋率在全球的分布極不均勻，呈現出顯著的區域差異。這些差異主要受到自然地理條件、氣候類型、歷史開發程度以及當代土地利用政策的綜合影響。從宏觀尺度觀察，森林資源主要集中在北半球的寒溫帶地區以及橫跨赤道的熱帶區域，而乾旱與半乾旱地區、極地以及高度都市化的區域則森林覆蓋率普遍偏低。

若以大陸為單位進行分析，歐洲（包括俄羅斯亞洲部分的廣大森林）擁有全球最大的森林面積，其中俄羅斯的西伯利亞與遠東地區、北歐斯堪地那維亞半島及中歐部分地區保存了大片的寒溫帶針葉林與混合林。南美洲則以亞馬遜雨林為核心，擁有全球最廣袤的熱帶雨林，但其面積正因砍伐而持續縮減。北美洲的森林主要分布在加拿大寒帶林區與美國西北部、東南部。非洲的森林資源集中在剛果盆地，東南亞則以印尼、馬來西亞的熱帶雨林著稱。相比之下，大洋洲的森林面積較小，而亞洲總體因人口密集與歷史開發，森林覆蓋率低於世界平均水平，但存在如東南亞雨林區等局部高覆蓋區域。

進一步從國家層次審視，森林覆蓋率的差異更為懸殊。俄羅斯、巴西、加拿大、美國和中國是森林面積最大的五個國家，合計占全球森林總面積的一半以上。然而，若以森林覆蓋率（森林面積占國土面積的比例）來看，排名則大不相同。例如，蘇利南、蓋亞那等南美國家，以及芬蘭、瑞典等北歐國家，其森林覆蓋率均超過百分之六十，甚至達到百分之七十以上，顯示其國土生態基底以森林為主體。反之，許多中東、北非國家因處於乾燥氣候區，森林覆蓋率不足百分之一。這種差異不僅源於自然稟賦，也與各國的經濟發展模式、保育政策力度息息相關。高度依賴初級產業或具備強力環境政策的國家，往往能維持較高的森林覆蓋。

區域差異的背後，隱含著深刻的生態與社會經濟意涵。高森林覆蓋率地區通常是全球重要的碳儲存庫與生物多樣性寶庫，對調節區域乃至全球氣候具有不可替代的功能。然而，這些地區也常面臨經濟發展與森林保育的衝突，例如熱帶地區的農業擴張、寒溫帶地區的木材採伐等壓力。低森林覆蓋率地區則可能面臨生態系統服務不足的問題，如水土保持能力弱、生物棲地匱乏等，並需透過造林與再造林來改善生態環境。理解全球森林覆蓋的統計與分布，是評估森林資源現狀、制定有效保育與永續經營策略的基礎，同時也為探討後續亞馬遜雨林等特定區域的危機提供了宏觀的背景框架。

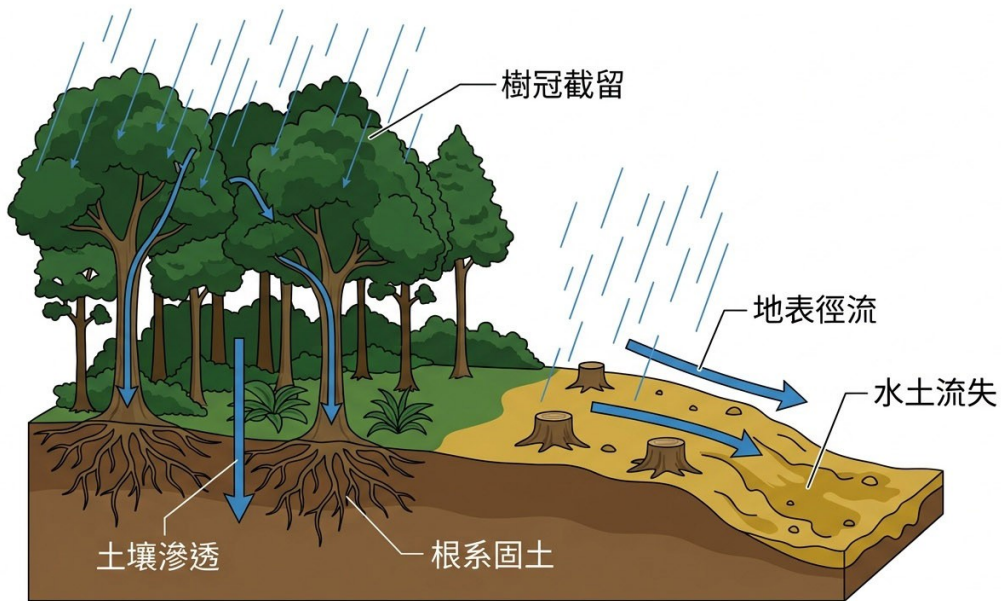
9.2.2 亞馬遜雨林的現況與危機

亞馬遜雨林作為全球最大的熱帶雨林，其生態重要性無可比擬。這片橫跨南美洲九個國家的廣袤森林，被譽為「地球之肺」，不僅擁有全球約十分之一的已知物種，更儲存了巨量的碳，對調節全球氣候扮演關鍵角色。然而，近數十年來，亞馬遜雨林正面臨前所未有的危機。根據衛星監測數據，亞馬遜地區的森林砍伐速率雖有年度波動，但整體趨勢令人憂心。大規模的農牧業擴張、基礎建設開發以及非法採伐活動，導致原始森林面積持續縮減。特別是在巴西境內的亞馬遜地區，政策方向的轉變往往直接影響森林砍伐的速率，顯示人為治理因素在此生態危機中的決定性作用。

森林砍伐所引發的危機不僅是面積的喪失，更觸及生態系統功能的根本性破壞。亞馬遜雨林本身透過蒸散作用產生大量水氣，形成所謂的「飛河」，為南美洲大陸內陸帶來降水，維持區域水文循環。大規模砍伐破壞了這種內在的水分循環機制，可能導致雨林內部逐漸乾燥化，增加發生大規模森林火災的風險。此外，森林的破碎化使原本連續的棲地變成孤立斑塊，嚴重威脅依賴廣大原始林生存的物種，如美洲豹、許多靈長類動物及無數尚未被科學描述的昆蟲與植物。生物多樣性的喪失將削弱生態系統的恢復力與穩定性。

氣候變遷與森林砍伐之間存在著危險的正回饋循環。雨林是巨大的碳匯，其植被與土壤儲存了數百億噸的碳。當森林被砍伐並焚燒，這些碳以二氧化碳形式釋放大氣中，加劇全球暖化。同時，氣候變遷導致亞馬遜地區更頻繁地出現極端乾旱事件，進一步使森林變得脆弱，更容易發生火災，並可能將部分雨林推越生態臨界點，從潮濕的森林生態系轉變為較乾燥的稀樹草原生態系。此一「稀樹草原化」的潛在轉變，將是不可逆的災難，意味著雨林喪失其原有的生物多樣性與氣候調節功能。

面對此一全球性生態危機，國際社會與區域國家已展開各種保育行動，但成效面臨挑戰。設立保護區與原住民領地是有效的保育策略之一，研究顯示這些區域的森林損失率相對較低。然而，保護區的執法能力不足、土地權屬爭議以及巨大的經濟開發壓力，持續威脅這些堡壘。國際上透過 REDD+ 等機制提供資金，鼓勵減少毀林，但其執行複雜且需要長期承諾。亞馬遜雨林的存續，不僅是區域國家的責任，更關乎全球氣候穩定與生物多樣性保育的成敗，需要更強有力的全球治理、永續的經濟替代方案，以及對雨林生態價值的根本性重新認識。



永續社epa

9.2.3 東南亞森林的快速消失

東南亞地區擁有全球生物多樣性最為豐富的熱帶雨林之一，然而自二十世紀後半葉以來，該區域經歷了全球最為劇烈的森林消失過程。這片橫跨印尼、馬來西亞、泰國、緬甸、寮國、柬埔寨、越南、菲律賓等國的森林帶，不僅是無數特有物種的棲息地，更是調節區域氣候、維持水文穩定的關鍵生態系統。然而，在經濟發展、人口增長與全球市場需求的驅動下，大規模的森林轉用與退化已成為常態，其消失速率在過去數十年間始終居高不下，對全球生態完整性構成嚴重威脅。

森林消失的驅動力主要來自於農業擴張，特別是油棕與橡膠等經濟作物的單一栽培園區。印尼與馬來西亞作為全球最大的棕櫚油生產國，其種植面積的急速增長直接導致蘇門答臘與婆羅洲等地原始雨林的大面積砍伐與焚燒。這種土地轉用模式往往伴隨著「刀耕火種」的清理方式，不僅瞬間摧毀森林結構，更引發嚴重的跨境煙霾污染，影響數百萬居民的健康與區域空氣品質。此外，工業木材採伐、基礎建設開發以及採礦活動，進一步加劇了森林的破碎化與退化。

從生態衝擊層面觀察，東南亞森林的快速消失導致了無可挽回的生物多樣性喪失。該區域是許多旗艦物種如紅毛猩猩、蘇門答臘虎、亞洲象與犀牛的最後棲地，森林棲地的喪失與破碎化將這些物種推向滅絕邊緣。同時，泥炭地森林的排水與焚燒釋放了地底儲存數千年的巨量碳匯，使印尼一度成為全球主要的溫室氣體排放國之一。森林覆蓋的減少也削弱了土地的水源涵養能力，增加洪水與土石流的發生風險，並影響區域降雨模式。

面對此一危機，區域各國政府與國際社會已嘗試推動各項保育與永續管理政策，例如實施伐木特許權管制、推動永續棕櫚油認證（如RSPO）、以及設立保護區網絡。然而，治理能力不足、法律執行薄弱、地方社區生計壓力以及全球市場的持續需求，使得森林消失的趨勢難以根本扭轉。未來若要有效遏止東南亞森林的消

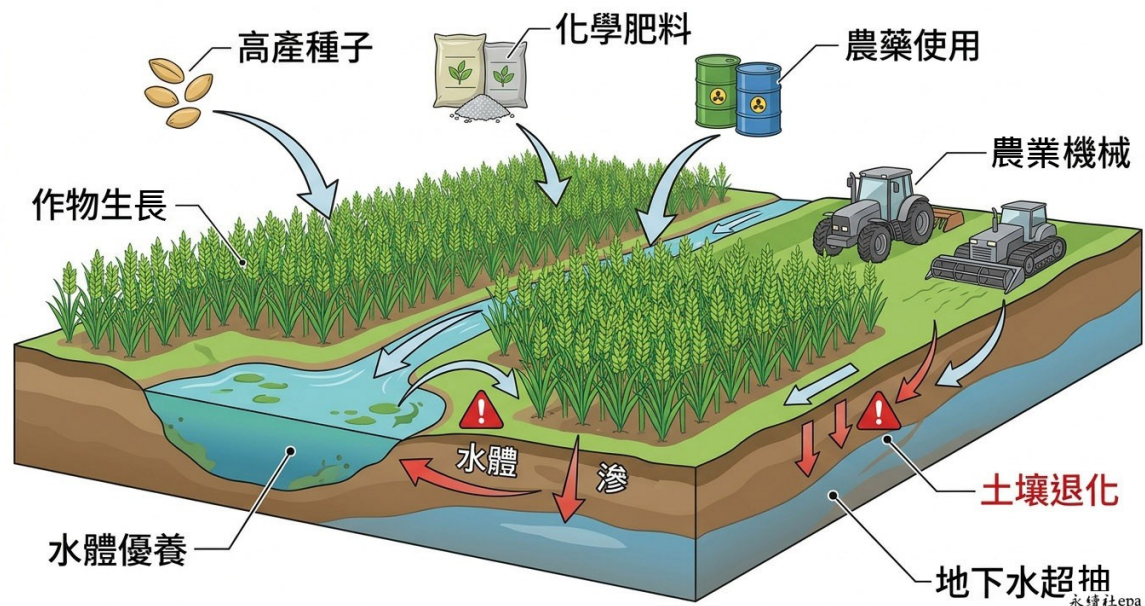
失，必須整合跨國界的保育行動、強化在地社區的森林經營權與共管機制，並引導全球供應鏈朝向真正的零毀林承諾邁進。

9.2.4 台灣與東亞森林資源的管理現況

台灣的森林資源管理現況，反映了島嶼生態系統的獨特性與高度人為干擾下的保育挑戰。台灣地處亞熱帶與熱帶交界，地形陡峭，海拔落差極大，造就了從海岸林、低地闊葉林、中海拔針闊葉混合林到高山寒原的完整垂直生態帶。根據官方統計，台灣的森林覆蓋率約佔全島面積的百分之六十，此一數據在東亞地區屬於相對較高的水平，主要歸因於中央山脈等山地地形限制了大規模農業與都市擴張，使得大量天然林得以保存。然而，這數字背後隱藏著森林品質的課題：原始天然林的面積持續受到人工林、竹林與次生林的擠壓。台灣的森林管理歷經了從日治時期以經濟利用為導向的伐木事業，到民國七十年代全面禁伐天然林的重大政策轉變。此一轉變標誌著森林經營目標從木材生產轉向國土保安、水源涵養與生物多樣性保育。目前國有林主要由農業部林業及自然保育署管理，其施政重點包括保護區系統的經營、國土綠網的建構以提升棲地連結度，以及推動社區林業，促進在地社區參與森林保育與永續利用。

在東亞地區，森林資源的管理呈現多樣化的模式，深受各國經濟發展階段、人口壓力與治理能力的影響。日本與韓國經歷了戰後大規模造林與經濟發展期的森林破壞後，目前已進入以多功能森林經營與生態系統服務提升為主的階段。日本的森林覆蓋率極高，但面臨林業勞動力老化、人工林疏於管理以及野生動物（如鹿類）過度啃食導致森林更新困難等問題。韓國則積極推動「森林療癒」政策，將森林的健康促進功能與公共衛生政策結合。相比之下，中國擁有廣大的森林資源，其森林覆蓋率在過去數十年透過大規模的造林與再造林工程（如「三北防護林」計畫）有顯著提升，但這些新造林的樹種單一、生態功能有限，且天然林，特別是東北與西南地區的原始林，仍面臨保護與開發的衝突。東南亞國家則多處於經濟快速成長期，森林資源常為農業擴張（特別是油棕與橡膠種植園）與木材出口的利益所犧牲，非法砍伐與跨境木材貿易是區域性的治理難題。

面對全球氣候變遷與生物多樣性喪失的危機，台灣與東亞各國的森林管理政策逐漸融入國際議程。台灣雖非聯合國成員國，仍自主參照國際規範，推動森林碳匯調查、強化保護區管理，並針對淺山地區的森林進行生態系服務價值評估，以因應極端氣候下的防災需求。東亞區域的合作，例如透過東協（ASEAN）框架下的森林合作，或東北亞的跨境候鳥棲息地保護網絡，顯示森林保育已超越國界，成為區域性議題。然而，挑戰依然嚴峻，包括如何平衡森林保育與社區生計、有效監測與執法以遏制非法活動，以及在氣候變遷情境下，協助森林生態系統進行適應性管理。未來，整合遙感監測技術、公民科學與在地知識，並將森林的無形生態服務價值納入政策評估，將是台灣與東亞地區邁向永續森林經營的關鍵方向。



9.3 森林砍伐的驅動因素

森林砍伐是全球森林覆蓋面積持續減少的核心過程，其背後驅動因素錯綜複雜，涉及社會經濟、政治制度、文化傳統與國際市場等多重面向的交互作用。理解這些驅動因素，是制定有效森林保育與永續經營策略的基礎。森林砍伐並非單一原因所致，而是多種壓力在不同地理與社會經濟背景下，以不同強度與組合方式共同作用的結果。這些驅動力可大致歸類為直接驅動因素與根本驅動因素，直接驅動因素指導致林木被移除、土地覆蓋改變的具體活動，例如農業擴張、木材採伐、基礎設施建設等；根本驅動因素則是指引發這些直接活動的深層社會經濟力量，包括人口增長、貧困、政策失靈、國際貿易需求、消費模式等。兩者之間存在複雜的因果鏈，使得森林砍伐問題的解決必須採取系統性的觀點，而非僅針對表徵現象。

人口增長被普遍視為森林砍伐的根本驅動因素之一，尤其在發展中國家，人口增加直接導致對糧食、燃料、居住空間的需求上升，從而對森林土地產生更大的轉用壓力。然而，人口增長與森林砍伐的關係並非線性，其影響往往透過特定的土地利用方式來中介，例如傳統的輪耕農業。在許多熱帶地區，人口增長導致輪耕週期縮短，土地休耕期不足，使得土壤肥力無法恢復，農民被迫開墾新的森林地以維持生計，形成一種惡性循環。這種生存型農業的擴張，常發生在缺乏替代生計、土地權屬不清、農業技術落後的地區，是熱帶森林邊緣地帶被逐步蠶食的重要機制。此外，人口增長也伴隨著對薪柴需求的增加，在缺乏現代能源供應的農村地區，林木砍伐作為家庭燃料來源，對森林資源構成持續的壓力。

工業木材需求與商業性採伐是另一項關鍵的直接驅動因素。全球市場對木材、紙漿、紙張等林產品的需求，驅動了大規模的商業伐木活動。合法採伐若管理不善，往往導致過度砍伐；而非法採伐更是在監管薄弱的地區猖獗，加劇森林退化與

喪失。非法採伐通常與腐敗、治理能力不足、執法不嚴密切相關，它不僅造成直接的林木損失，其開闢的道路網絡更為後續的農業墾殖者、投機者進入原始林區鋪平道路，引發更廣泛的森林轉變。此外，選擇性砍伐雖不立即移除所有林木，但會破壞森林結構，降低生物多樣性，並使森林更容易遭受火災和進一步的侵蝕，可視為森林完全喪失的前奏。

農牧業的擴張，特別是為出口市場生產的大規模商品農業，是當今全球森林砍伐，尤其是熱帶雨林喪失的最主要直接驅動力。這包括大豆種植園、油棕園種植園、牧牛場以及經濟作物農場的建立。國際市場對牛肉、大豆、棕櫚油、橡膠等商品的需求，創造了強大的經濟誘因，促使企業與農民將森林地轉變為農牧用地。這種土地轉用常常透過砍伐並焚燒森林的方式進行，過程釋放大量碳儲存，對全球氣候變遷產生顯著影響。這種商業驅動的農業擴張，其背後的資本與市場力量遠大於傳統的生存農業，能在短時間內導致大面積的森林消失，且轉變後的土地利用形式往往難以逆轉，對原生生態系統造成永久性改變。

政策失靈與治理缺陷則是貫穿上述各項直接活動的根本性驅動因素。不當的農業補貼、土地稅制、缺乏整合的土地利用規劃，可能無意中鼓勵了森林砍伐。例如，將森林地視為「未利用土地」並鼓勵其開發為農地的政策，直接促成了森林轉用。土地權屬不明確或不安全，使得社區缺乏長期保育森林的動機，反而傾向於盡快砍伐以確立使用權。治理能力不足，表現為法律執行不力、監測系統缺乏、腐敗橫行，使得環境法規形同虛設，非法活動得以逍遙法外。此外，部門政策之間缺乏協調，例如農業政策、林業政策、能源政策與保育目標相互衝突，導致資源管理碎片化，無法有效遏止森林流失。國際層面的治理挑戰，如全球供應鏈中對毀林產品的需求缺乏問責機制，也使得消費國的市場力量持續驅動生產國的森林砍伐。

9.3.1 人口增長與輪耕農業的壓力

人口增長與輪耕農業的壓力，是驅動森林砍伐最為基礎且深遠的因素之一。全球人口自二十世紀中葉以來呈現爆炸性成長，預計將持續增加至本世紀中後期。人口規模的擴張直接轉化為對生存空間、糧食生產及能源需求的急遽上升。為了滿足新增人口的居住與生計需求，大面積的森林土地被轉換為農業用地、居住區與基礎設施。這種土地轉用過程在發展中國家尤為顯著，特別是在熱帶地區，當地人口增長率往往高於全球平均，而經濟發展階段又高度依賴土地資源的初級開發。人口壓力不僅體現在絕對數量的增加，更伴隨著消費模式的改變與生活水準的提升，進一步加劇了對土地及森林產品的需求強度，形成一個不斷擴張的資源需求循環。

輪耕農業，又稱為游耕或刀耕火種，是一種歷史悠久的傳統農業系統，常見於熱帶雨林地區。其運作模式是在森林中開闢一小塊土地，砍伐並焚燒植被，利用灰燼中的養分種植作物數年；待土壤肥力下降後，便棄置該地，讓森林自然演替恢復，同時遷移至新的林區重複此過程。在人口密度低、休耕期足夠長（通常需 15 至

20年以上)的條件下,這種農業系統能與森林生態達成某種動態平衡,對環境的衝擊相對有限。然而,當人口持續增長,對糧食的需求迫使休耕期大幅縮短至不足以讓森林與土壤恢復元氣時,輪耕便從一種永續的適應策略,轉變為導致森林退化乃至永久喪失的主要驅動力。

縮短的休耕期帶來一系列連鎖的生態後果。土壤養分無法充分累積,導致作物產量迅速下降,農民為了維持生計,不得不開墾更大面積的林地,加速了森林的破碎化。同時,頻繁的火耕干擾破壞了森林的種源庫與幼苗更新機制,使得次生林群落結構趨向簡單,生物多樣性顯著降低。在極端情況下,反覆的火耕與土壤侵蝕可能使土地徹底退化,喪失森林恢復的潛力,最終形成灌叢地或劣化草地。這種轉變在亞馬遜盆地、非洲剛果盆地以及東南亞的島嶼森林周邊地區屢見不鮮,成為這些全球重要生態區域邊緣地帶森林持續退化的典型模式。

人口壓力與輪耕農業的交互作用,往往鑲嵌在更宏觀的社會經濟脈絡之中。貧困、缺乏替代生計、土地權屬不清以及基礎設施的擴張(如道路開通),共同強化了社區對森林轉用的依賴。道路的修建在降低農產品運輸成本的同時,也大幅提高了森林邊緣地區的可及性,吸引更多移民進入林區從事農業墾殖,形成「道路—移民—農墾」的經典擴張路徑。此外,在許多地區,傳統的輪耕實踐正與市場經濟日益結合,農民不僅為自給而生產,更為經濟作物(如油棕、大豆、咖啡)而擴大墾殖面積,這使得農業活動對森林的侵蝕更具目的性與規模性。因此,理解人口增長與輪耕農業的壓力,必須將其視為一個與貧困、治理失靈及全球市場需求緊密相連的複雜系統性問題,而非單純的技術或人口問題。

9.3.2 工業木材需求與非法採伐

工業木材需求是全球森林砍伐的核心驅動因素之一,其背後涉及複雜的全球供應鏈與市場機制。木材作為一種多功能材料,廣泛應用於建築、家具、造紙及包裝等產業,隨著全球經濟發展與人口增長,對木材及其衍生品的需求持續攀升。這種需求不僅來自已開發國家的高消費水平,新興經濟體的快速工業化與都市化也加劇了對木材資源的壓力。工業木材的採伐往往集中於原始森林或高生態價值的天然林,因為這些森林提供高品質的硬木與軟木,能滿足特定工業用途。大規模的商業伐木作業通常採用皆伐或高強度擇伐方式,這些方式對森林結構的破壞性極大,不僅直接移除大量樹木,更會破壞林下植被、土壤結構以及野生動物的棲息環境,導致森林生態系統功能的嚴重退化。

非法採伐是伴隨工業木材需求而生的陰暗面,它在全球許多林區,特別是治理薄弱、監管不足的區域,已成為一種猖獗的現象。非法採伐泛指違反國家法律或國際協議的木材採伐、運輸、加工或貿易活動,其形式多樣,包括在保護區內盜伐、超過許可量採伐、偽造木材來源文件以及逃避關稅等。非法木材貿易的利潤豐厚,且犯罪網絡常與腐敗官員勾結,使得執法困難重重。非法採伐加劇了森林資源的耗

竭，剝奪了國家應有的稅收，並對依賴森林為生的在地社區造成負面影響，侵蝕他們的傳統權利與生計來源。此外，非法採伐活動通常不考慮永續經營原則，其作業方式更為粗放，對生物多樣性與水土保持功能的破壞往往比合法採伐更為劇烈。

為應對非法木材貿易，國際社會已推動一系列政策工具與市場機制，例如《瀕危野生動植物種國際貿易公約》對特定樹種的貿易管制、歐盟的《森林執法、治理與貿易行動計畫》及其核心的《木材法規》，以及美國的《雷斯法案》修正案等。這些措施要求進口商進行盡職調查，確保木材來源的合法性，旨在將非法木材排除在主要消費市場之外。然而，這些制度的實施成效受到供應鏈複雜性、文件造假、以及生產國執法能力不足等因素的制約。同時，認證體系如森林管理委員會的推廣，旨在透過市場誘因促進負責任的森林經營，但認證木材的市場占比仍有限，且其標準在執行層面亦面臨挑戰。

從根本上看，緩解工業木材需求與非法採伐的壓力，需要採取綜合性策略。這包括在消費端推動木材高效利用與替代材料的研發，例如發展木質複合材料、促進廢木材回收再利用，以及在某些應用中推廣竹材等速生材料。在生產端，則必須強化森林治理，提升林業部門的透明度與問責制，支持社區林業以賦權在地居民參與森林管理，並投資於人工林建設以滿足部分工業需求，從而減輕對天然林的採伐壓力。唯有透過減少需求、打擊非法貿易、並促進負責任的生產與消費多管齊下，才能有效遏制工業木材需求對全球森林資源所造成的持續衝擊。

9.3.3 農牧業擴張與土地轉用

農牧業擴張與土地轉用是驅動全球森林砍伐最顯著且影響範圍最廣的因素之一。這種擴張主要源於全球人口持續增長與飲食結構改變所帶來的糧食與畜產品需求壓力。為了滿足不斷擴大的食物需求，大面積的原始森林、熱帶雨林及其他自然生態系統被轉變為農田、牧場或經濟作物種植園。這種土地轉用不僅直接導致森林覆蓋面積的急遽減少，更引發一系列深遠的生態後果，包括生物多樣性喪失、土壤退化、碳儲存能力下降以及區域水文循環的改變。特別是在拉丁美洲的亞馬遜盆地、東南亞的熱帶雨林以及非洲部分地區，大規模的商業化農業與畜牧業經營已成為景觀變遷的主要驅動力。

農業擴張的類型多樣，其中商業性的大豆、棕櫚油、牛肉與木材生產是導致大規模森林砍伐的關鍵產業。例如，在巴西，亞馬遜雨林的大片區域被清除以種植大豆或作為牧場，這些產品很大比例用於出口，滿足國際市場的需求。在東南亞，特別是印尼與馬來西亞，原始森林與泥炭地被大量轉換為油棕櫚種植園，以生產全球市場所需的棕櫚油。這種單一作物的大規模種植不僅破壞了原有的複雜森林生態系統，其種植過程往往涉及火耕，加劇了空氣汙染與碳排放。畜牧業的擴張同樣具有毀滅性，牧場的建立通常需要廣闊的土地，且牧場經營後土壤肥力容易耗竭，可能導致進一步的森林砍伐以尋找新的牧地。

土地轉用的過程不僅涉及植被的物理移除，更伴隨著深刻的生態系統服務功能喪失。森林原本具有的水源涵養、水土保持、氣候調節及物種棲地等功能，在轉變為農牧用地後大幅削弱或完全消失。這使得區域更容易受到土壤侵蝕、洪水、乾旱等自然災害的影響。此外，森林砍伐後的土地，其土壤有機碳會迅速氧化釋放到大氣中，加劇溫室效應。從全球碳循環的角度看，熱帶森林作為重要的碳匯，其轉變為農地或牧場意味著碳儲存庫的縮減與碳排放源的增加，形成對氣候變遷的正回饋。這種轉變也破壞了原有的營養循環路徑，往往需要依賴大量化肥投入來維持農業生產力，進而可能導致水體優養化等二次環境問題。

農牧業擴張背後的驅動力錯綜複雜，與全球經濟體系、貿易政策、消費模式及在地社會經濟條件緊密相連。國際市場對廉價農產品與畜產品的需求，鼓勵了生產國以擴張土地而非提升既有農地效率的方式來增加產出。許多開發中國家將農業出口視為賺取外匯與促進經濟發展的重要手段，因而制訂了鼓勵土地開墾的政策。同時，在地層面，人口壓力、土地所有權不清、缺乏替代生計等因素，也促使小農與移民進入森林邊緣地區進行開墾。要有效緩解農牧業擴張導致的森林砍伐，需要採取綜合性策略，包括推廣永續集約農業以提高現有農地的生產力、加強森林保護區的治理、發展對森林友善的供應鏈認證制度，以及引導全球消費轉向更永續的模式。

9.3.4 政策失靈與治理缺陷的角色

森林砍伐的驅動因素中，除了直接的經濟誘因與人口壓力外，政策失靈與治理缺陷往往扮演了關鍵的催化劑與制度性根源。這些制度層面的問題，使得原本旨在保護森林資源的政策工具失效，甚至可能加劇毀林的趨勢。政策失靈通常指政府所制定的法律、規章或計畫，在執行過程中未能達成預期的環境或社會目標，反而產生非預期的負面後果。而治理缺陷則涉及更廣泛的層面，包括政府機構的能力不足、腐敗、缺乏透明度與問責制，以及不同部門政策間的矛盾與衝突。這些因素交織在一起，形成了一個允許甚至鼓勵森林砍伐的制度環境。

在許多森林資源豐富的國家，土地所有權與使用權的界定不清是常見的治理缺陷。模糊的土地權屬為非法佔地、侵墾與盜伐提供了空間，因為行為者面臨的法律風險較低。政府部門之間權責分散、缺乏協調，也導致森林管理事權不一。例如，林業部門可能致力於永續經營，但農業部門卻推動將林地轉換為農田的補貼政策；基礎建設部門規劃的道路穿越保護區，則為後續的非法開發打開了大門。這種政策矛盾削弱了整體的保育成效，並使前線執法人員無所適從。

腐敗是加劇政策失靈的核心治理缺陷。從地方官員收取賄賂對非法採伐視而不見，到中央層級的政府與木材企業利益勾結，腐敗侵蝕了法律與制度的公信力與執行力。非法木材貿易往往透過偽造文件、行賄海關人員等方式「洗白」進入國際市場，使得打擊非法採伐的國際努力事倍功半。此外，司法體系薄弱，對環境犯罪的

起訴與懲罰力度不足，無法形成有效的威懾。當非法伐木的經濟利益遠高於被查獲的風險與成本時，砍伐行為便難以遏止。

政策設計本身的缺陷也是導致失靈的原因。一些國家曾推行以經濟發展為優先的大型開發計畫，例如在雨林區興建水壩、礦場或大型農場，這些計畫在環境影響評估不足或流於形式的情況下強行推動，導致大規模的森林喪失。另一方面，某些保育政策若未能考量在地社區的生計與權利，例如設立保護區時未經妥善協商即限制原住民的傳統利用，可能引發在地社群的對抗，反而使社區轉向與非法開發者合作，加劇管理困難。缺乏社區參與的「由上而下」治理模式，常因忽略在地知識與社會脈絡而失敗。

國際層面的治理缺陷同樣影響深遠。全球木材與農產品供應鏈複雜，消費國對進口產品的永續性要求不一，使得非法或不可永續生產的產品仍有廣大市場。雖然有像「森林執法、治理與貿易」等國際倡議，但其約束力有限，執行成效取決於生產國政府的意願與能力。全球金融體系中，對涉及毀林活動的企業投資與貸款缺乏足夠的環境盡職調查，等於間接資助了森林砍伐。因此，改善森林治理需要國內與國際雙管齊下，強化政策的一致性、執法的嚴謹性，並建立涵蓋政府、企業與公民社會的多元問責機制，才能從根本扭轉政策失靈的困境。

9.4 砍伐的生態衝擊

森林砍伐對生態系統造成的衝擊是全面且深遠的，其影響不僅限於地表植被的消失，更觸及地球系統的關鍵運作機制。當森林被大規模移除時，原本由森林所維繫的複雜生態網絡將面臨崩解，進而引發一系列連鎖反應，這些反應在空間尺度上從局部棲地延伸至全球氣候系統，在時間尺度上則從立即的物種喪失延續至長期的環境變遷。森林作為陸域生態系統中生物量最密集、生物多樣性最豐富的單元，其消失意味著地球生命支持系統中一個核心組件的功能喪失，這種喪失往往是不可逆或需要極長時間才能恢復的。

從碳循環的角度來看，森林是巨大的碳儲存庫，尤其是熱帶雨林，其透過光合作用固定大氣中的二氧化碳，並將碳儲存在植物體與土壤有機質中。大規模砍伐直接中斷了這項關鍵的生態過程，不僅停止了碳的持續固定，更因林木的焚燒或分解，將數十年甚至數百年來儲存的碳以二氧化碳形式快速釋回大氣中。此過程加劇了大氣中溫室氣體的濃度，成為驅動全球暖化的重要因素。此外，森林土壤一旦暴露，其儲存的有機碳也會因氧化作用而加速釋放。這種從碳匯轉變為碳源的劇烈轉變，深刻擾亂了全球碳循環的平衡，使得森林砍伐成為僅次於化石燃料燃燒的人為二氧化碳排放來源。

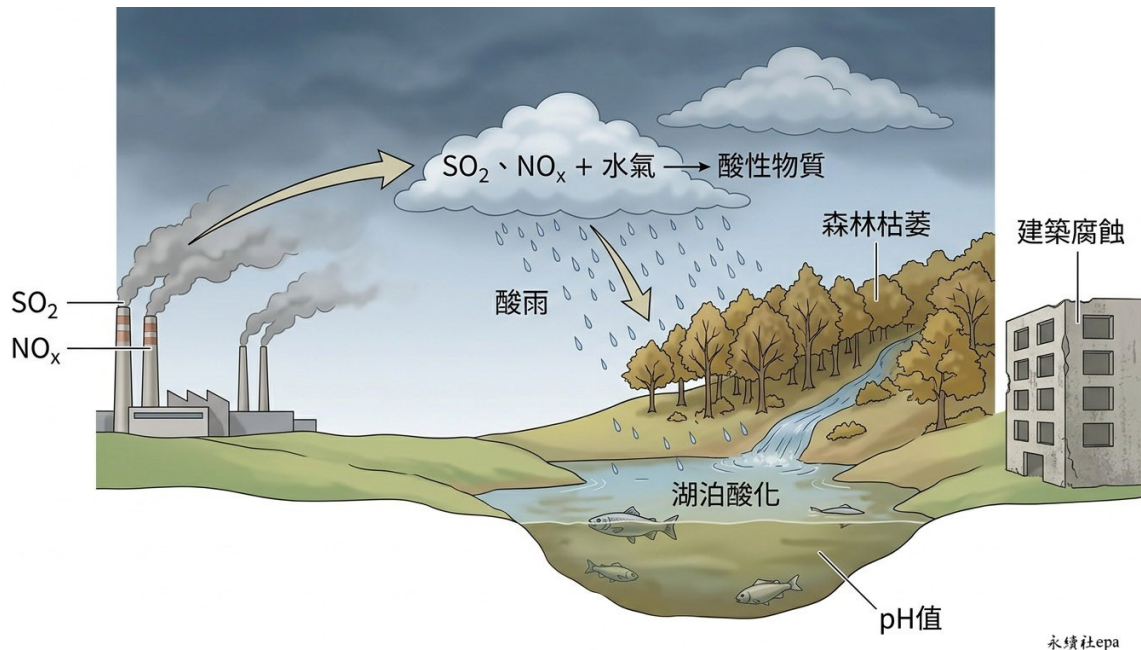
棲地喪失是森林砍伐最直接的生態後果，也是當前物種滅絕危機的首要驅動因子。森林提供了無數物種賴以生存的特定微棲地、食物資源與庇護所。當連續的森

林被切割成破碎的斑塊或完全轉為農地、牧場時，依林而生的物種將面臨生存空間急遽縮減、族群隔離與遺傳多樣性流失的困境。特別是對於活動範圍廣泛的大型哺乳動物、特化程度高的樹棲物種以及依賴內部森林環境的陰性植物而言，棲地破碎化常導致族群數量下降至不可持續的水平，最終走向局部滅絕。生物多樣性的流失不僅是物種數目的減少，更伴隨著生態系統內種間交互作用的簡化，如授粉、種子傳播、天敵控制等關鍵生態功能隨之弱化，進一步降低生態系統的穩定性與復原力。

水文循環與土壤穩定性同樣深受森林砍伐的衝擊。森林樹冠能攔截降水，減緩雨滴對地表的直接衝擊力；龐大的根系網絡則能固持土壤，並促進水分下滲。森林移除後，地表逕流增加，土壤侵蝕加劇，導致大量泥沙淤積下游河川、湖泊與水庫，不僅縮短水庫壽命，更可能引發洪患。同時，森林的蒸散作用對區域降雨模式具有調節功能，大面積砍伐會減少大氣中的水氣回饋，可能導致下風處降雨量減少，影響區域氣候。在集水區上游的森林砍伐，會破壞水源涵養功能，使旱季時基流量減少，加劇水資源供應的不穩定性。這些水文上的改變，往往對下游社區的供水安全、農業灌溉與災害防治構成嚴重威脅。

森林砍伐與氣候變遷之間存在著危險的正回饋循環。一方面，砍伐釋放碳排加劇暖化；另一方面，氣候變遷所導致的溫度上升、降雨模式改變與極端天氣事件頻發，又會進一步威脅剩餘森林的健康與存續。例如，乾旱加劇可能使森林更易發生火災或受病蟲害侵襲，而暖化也可能改變物種組成，使原本適應涼爽氣候的樹種衰退。這種交互作用可能將森林推越生態臨界點，導致其從碳匯生態系統轉變為碳源，甚至從茂密森林退化成灌叢或草原，此過程在亞馬遜等部分地區已有觀測跡象。因此，保護現存森林不僅是保育生物多樣性，更是穩定全球氣候系統的關鍵緩衝措施。

綜合而言，森林砍伐的生態衝擊是一個多層次、跨尺度的複雜問題。它從局部棲地的破壞開始，透過食物網瓦解、養分循環中斷、水文路徑改變等過程，其影響逐步放大至景觀與區域層次，最終透過碳循環與氣候系統的擾動，與全球環境變遷緊密相連。這些衝擊彼此強化，形成難以打破的惡性循環。理解這些連鎖效應的深度與廣度，是制定有效森林保育與永續經營策略的科學基礎，也凸顯了森林在全球生態平衡中無可替代的角色。



永續社epa

9.4.1 光合作用阻斷對碳循環的影響

森林作為地球陸域生態系統中最重要的碳匯之一，其光合作用能力是調節大氣二氧化碳濃度與全球碳循環的核心機制。當森林遭受砍伐，大面積的綠色植被被移除，最直接的影響便是光合作用過程的阻斷或大幅減弱。光合作用是植物利用太陽能將大氣中的二氧化碳與水轉化為有機物質並釋放氧氣的生化反應，此過程不僅是生態系初級生產力的基礎，更是大氣碳庫與陸域碳庫之間進行交換的關鍵途徑。森林砍伐導致光合作用面積急遽縮減，意味著大氣中二氧化碳被主動吸收與固定的速率顯著下降。這種吸收能力的喪失，使得原本可被森林儲存的碳持續滯留於大氣中，加劇了溫室效應。尤其熱帶雨林因其高生物量、快速生長與全年性光合活動，被視為全球最重要的陸域碳匯之一，其砍伐對碳循環的干擾尤為劇烈。

從碳循環的動態平衡角度來看，森林砍伐不僅是移除了現有的碳吸收器，更觸發了一系列連鎖反應，導致碳從陸域生態系統向大氣淨釋放。活體植物生物量本身儲存著大量以有機形式固定的碳，當樹木被砍伐後，無論是作為木材移出系統，或是就地焚燒、腐爛分解，這些儲存的碳都會通過呼吸作用或燃燒過程，以二氧化碳的形式重新釋放回大氣。此外，森林土壤，特別是在寒帶與溫帶森林富含機質的土壤中，儲存著遠高於地上生物量的碳。森林覆蓋的移除會改變林下微氣候，通常導致土壤溫度升高、濕度下降，從而加速土壤有機質的微生物分解速率，此過程即為土壤呼吸的增強，進一步將土壤碳庫中的碳釋放至大氣。因此，砍伐造成的碳循環影響是雙重的：既減少了未來的碳吸收能力，又加速了既有碳儲存的排放。

這種對碳循環的擾動具有深遠的全球性氣候意義。根據政府間氣候變化專門委員會的評估，土地利用變化，尤其是森林砍伐，是繼化石燃料燃燒之後，人類活動導致二氧化碳排放的第二大來源。當大規模森林砍伐發生時，該區域從一個淨碳吸收匯轉變為一個淨碳排放源，此轉變對區域乃至全球的碳預算產生重大衝擊。例如，亞馬遜雨林的部分地區因持續砍伐與火耕，已觀察到其碳匯功能減弱甚至在某

些年份轉為碳源的跡象。這種轉變與化石燃料排放疊加，共同推動大氣二氧化碳濃度攀升，形成一個正回饋循環：氣候暖化可能導致某些森林生態系壓力增加（如乾旱、火災頻發），進一步削弱其生存與碳儲存能力，從而釋放更多碳，加劇暖化。

減緩森林砍伐因而被視為氣候變遷調適與減緩策略的核心環節之一。國際間推動的減少毀林及森林退化造成的排放（REDD+）機制，其科學基礎正是植根於對森林光合作用碳吸收功能及其喪失後果的深刻認識。保護現存森林，特別是原始林與高生物量森林，等同於保護其持續進行光合作用與碳封存的能力。同時，透過造林與再造林恢復植被，則是重新建立光合作用碳匯，主動將大氣碳移轉至陸域儲存的有效手段。理解光合作用阻斷對碳循環的具體影響，不僅闡明了森林砍伐的氣候成本，也凸顯了森林保育與恢復在穩定全球氣候系統中不可或缺的生態功能。

9.4.2 棲地喪失導致的物種滅絕風險

棲地喪失是當代物種滅絕風險最主要的直接驅動因子，其影響遠超過單純的生存空間縮減。當一片完整的森林被砍伐或轉作他用時，原先依賴該棲地複雜結構與特定資源的物種，便面臨立即的生存危機。這種危機不僅體現在個體數量的減少，更關鍵的是生態網絡的斷裂。許多物種的生存依賴於特定的微棲地條件，例如需要古老巨木樹洞築巢的鳥類、依賴林下腐植層特定真菌共生的蘭花，或是僅在特定海拔與濕度範圍內分布的兩棲類。一旦這些細緻的環境條件因棲地喪失而消失，物種便無處遷徙，也無法在短時間內演化出適應新環境的能力，從而直接走向局部滅絕，並可能最終導致全球滅絕。

棲地喪失導致物種滅絕的機制，可從族群生態學的角度深入分析。首先，棲地面積的縮小直接導致族群規模下降，使其更容易受到隨機性事件的衝擊，陷入「滅絕漩渦」。小族群面臨近親交配機率增加、遺傳多樣性流失、以及對環境波動與疾病抵抗能力下降等問題。其次，棲地喪失往往伴隨著棲地破碎化，完整的生態景觀被道路、農田或聚落切割成孤立的小斑塊。這些破碎化的棲地斑塊如同生態孤島，限制了物種的擴散、遷徙與基因交流。對於需要廣大領域範圍的大型掠食者，或依賴季節性遷移完成生命史的物種而言，棲地破碎化切斷了其生命週期所需的空間連結，使得族群無法維持長期的續存能力。

從生物多樣性的地理格局來看，熱帶森林是地球上物種最豐富的生態系統，卻也是棲地喪失速率最高的區域。亞馬遜、剛果盆地與東南亞的雨林，蘊藏著全球半數以上的陸域物種，其中許多是分布範圍極其狹窄的地方特有種。當這些森林被大規模砍伐，物種滅絕的風險便急遽升高。物種-面積關係的經典生態學理論指出，棲地面積減少 90%，預期將導致約 50% 的物種最終滅絕。這種滅絕並非立即發生，而是存在「滅絕債務」——即棲地破壞已發生，但物種因其個體壽命或族群衰退的滯後效應，仍暫時存在，最終將在未來數十年至數百年間逐漸消失。當前全球的棲地喪失規模，意味著我們已積累了龐大的滅絕債務，其後果將在未來逐漸顯現。

此外，棲地喪失的影響具有級聯效應，會透過食物網與共生關係擴散，危及整個群落結構。當森林中的關鍵樹種消失，依賴其果實為食的動物便失去食物來源；這些動物的減少，又進一步影響以其為食的掠食者，同時也影響了種子傳播與森林更新的生態過程。基石物種或生態工程師物種的消失，往往會引發一連串的次級滅絕。例如，熱帶雨林中負責傳播大型種子的象群或大型鳥類若因棲地喪失而消失，將導致那些樹木的更新受阻，長期改變森林的組成與結構。這種連鎖反應使得棲地喪失造成的物種滅絕風險，遠大於直接受影響的物種清單，對生態系統的穩定性與功能維持構成深遠威脅。

9.4.3 水文改變與水土流失的加劇

森林生態系統在水文循環中扮演著關鍵的調節角色，其複雜的植被結構能有效截留降水、延緩地表逕流形成，並促進水分下滲至土壤深層。當森林遭受大規模砍伐後，這種精密的調節機制便會遭到破壞，導致區域水文特徵發生根本性改變。首先，林冠層的消失使降雨直接衝擊地表，減少了雨水被枝葉截留和蒸散返回大氣的過程，這不僅改變了局部地區的濕度與溫度條件，更直接增加了地表逕流的總量與流速。其次，森林土壤因有機質豐富且根系網絡發達，具有極高的孔隙度和入滲能力，能像海綿般吸收大量降水；一旦植被覆蓋喪失，土壤結構在雨滴直接打擊下迅速劣化，表土結皮現象會顯著降低入滲率，使得更多降水轉化為快速地表逕流。

這種水文過程的改變直接引發水土流失的加劇。森林砍伐後裸露的土壤表面失去植被保護，在降雨沖刷下，土壤顆粒被逕流攜帶移動的過程即為水蝕作用。其嚴重程度取決於降雨強度、坡度、土壤性質及地表覆蓋狀況，而在熱帶與亞熱帶地區，高強度降雨事件頻繁，使得新近砍伐區域成為土壤侵蝕的高風險區。水土流失不僅造成表土層的物理性喪失，更伴隨著土壤中有機質和養分元素的流失，這些物質往往是經過數百年甚至數千年才累積形成的。表土層的退化直接導致土地生產力下降，在農業擴張導致的森林砍伐區域，這種現象常使農地在短短數年內就因土壤貧瘠而被廢棄，進而迫使農民繼續砍伐新的森林，形成惡性循環。

水土流失的影響遠超越當地尺度，會對下游區域產生連鎖性生態與社會經濟後果。被侵蝕的土壤顆粒隨河川輸送，導致河流濁度增加、水體光照條件改變，影響水生光合作用與生態系統結構。大量沉積物在水庫、湖泊及河口地區淤積，不僅縮短水庫壽命、降低蓄水與發電能力，更可能改變河床形態、抬高河川水位，增加洪澇風險。例如在東南亞與亞馬遜地區，大規模森林砍伐已導致主要河流沉積物負荷顯著增加，影響三角洲地區的生態平衡與漁業資源。此外，伴隨土壤顆粒流失的還有吸附在土壤上的農藥、肥料等污染物，這些物質進入水體後可能引發優養化或毒性效應，對下游飲用水安全與水生生態系統構成威脅。

從長期生態角度來看，森林砍伐引發的水土流失會深刻改變區域的地形地貌與生態恢復潛力。嚴重侵蝕地區可能出現溝蝕甚至崩塌，使地形破碎化並喪失大量土

壤資源，這種破壞往往需要地質時間尺度才能自然恢復。土壤不僅是植物生長的介質，更是龐大地下生物群落的棲息環境，土壤流失意味著整個地下生態網絡的瓦解。當土壤層變薄或完全喪失後，即使進行人工造林，樹木也難以扎根至穩定深度，使森林生態系統的恢復更加困難且耗時。因此，森林砍伐所引發的水文改變與水土流失，實質上是在削弱地球表層最重要的生命支持系統之一，其影響的深遠性與不可逆性，值得在森林資源管理政策中給予最高程度的重視。

9.4.4 森林砍伐與氣候變遷的正回饋

森林砍伐與氣候變遷之間存在著一種相互加劇的正回饋循環，這種動態關係深刻地影響著全球氣候系統的穩定性。當森林被大規模清除時，不僅直接釋放了儲存在植物生物量與土壤中的巨量碳，更削弱了生態系統未來吸收大氣中二氧化碳的能力。這種雙重效應使得森林砍伐成為僅次於化石燃料燃燒的第二大人為溫室氣體排放源。更重要的是，氣候變遷所導致的溫度上升、降雨模式改變以及極端天氣事件頻發，反過來又會加劇森林的脆弱性，使其更容易發生大規模的野火、病蟲害爆發，甚至是大範圍的森林死亡，從而進一步釋放碳儲存並減少碳匯功能。這種自我強化的循環若無法被有效阻斷，將可能將地球氣候系統推向不可逆轉的臨界點。

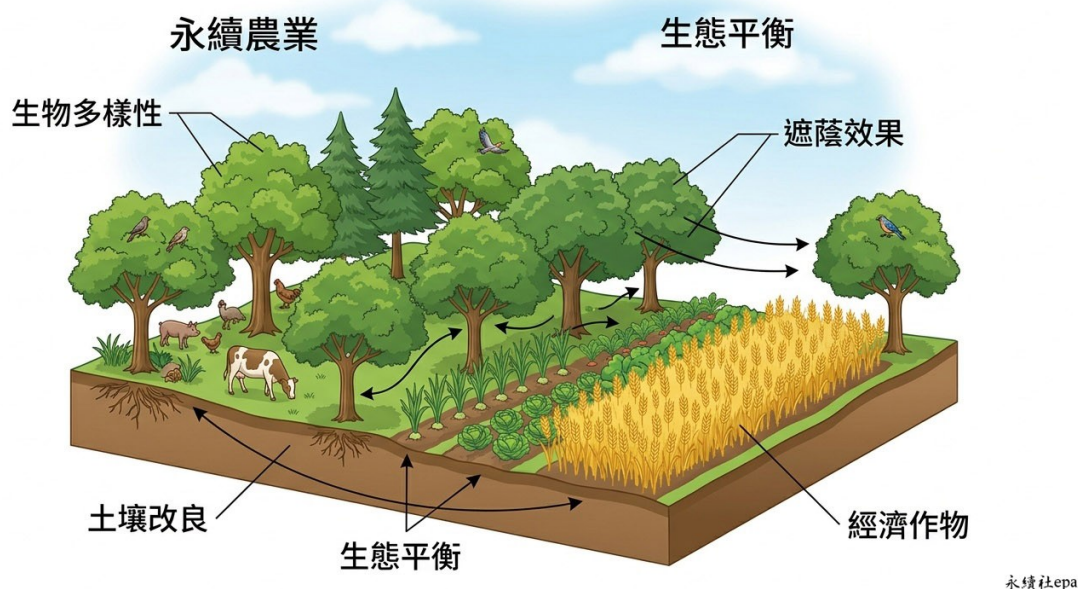
從碳循環的角度來看，森林作為重要的碳匯，透過光合作用每年固定大量的二氧化碳。熱帶雨林尤其關鍵，它們儲存了陸地生態系統中約一半的生物碳。當森林被砍伐並焚燒以清空土地時，這些碳在短時間內以二氧化碳的形式釋放回大氣中。此外，森林土壤，特別是在泥炭地森林中，儲存著更為龐大的有機碳。當森林覆蓋消失，土壤暴露於陽光與空氣中，其有機質的分解速率會大幅加快，導致持續數十年甚至更久的碳排放。這種因土地利用變遷所釋放的碳，與燃燒化石燃料產生的碳排放疊加，共同推高了大氣中的二氧化碳濃度，加速了全球暖化的進程。

氣候變遷對森林的負面影響則構成了回饋循環的另一半。升高的氣溫會增加植物的蒸散作用，若伴隨降雨減少或分布不均，便會導致嚴重的乾旱壓力。例如，亞馬遜雨林的部分地區已觀察到乾季延長的趨勢，這使得森林更容易發生火災。野火一旦發生，往往會燒毀大片林地，釋放巨量碳，並將原本鬱閉的森林轉變為易燃的灌木叢或草地，形成更易著火的植被類型。此外，暖化也改變了病蟲害的分布範圍與活動強度，松樹甲蟲等害蟲在溫暖的冬季存活率提高，得以大規模侵襲森林，造成樹木大量死亡。這些由氣候驅動的森林退化與死亡事件，進一步削弱了全球森林的整體健康與碳儲存能力。

這種正回饋循環還體現在區域性氣候的改變上。森林，特別是熱帶雨林，透過蒸散作用將大量水分釋放到大氣中，參與形成區域性的降雨。大規模的森林砍伐會破壞這種水文循環，導致下風處的降雨量減少，乾旱加劇。區域性氣候變得更加乾燥炎熱，不僅不利於殘存森林的生存，也阻礙了森林的自然再生。同時，地表反照率的改變也是一個因素：茂密的森林通常顏色較深，吸收較多太陽輻射；而轉為農

地或裸地後，地表反射率增加，可能會在局部產生冷卻效應，但這種效應遠遠無法抵消因碳損失和區域水文循環破壞所導致的暖化影響。整體而言，森林砍伐與氣候變遷的交互作用，正將一些重要的森林生態系統，如亞馬遜的部分區域，推向從雨林轉變為稀樹草原或退化生態系的潛在臨界點。

因此，減緩氣候變遷與遏止森林砍伐是密不可分、相輔相成的兩大目標。保護現存森林，尤其是原始林與泥炭地森林，被視為最快速、最具成本效益的氣候緩解策略之一，因為它能同時避免碳排放並維持碳吸收功能。國際氣候談判中的REDD+機制，其核心精神正是透過財務激勵來支持發展中國家減少毀林，從而打破上述的惡性循環。若無法有效保護森林，僅依靠能源部門的減排努力，將難以實現將全球升溫控制在攝氏1.5或2度以內的目標。這凸顯了將森林保育置於全球氣候治理核心地位的必要性與緊迫性。



9.5 森林保育與永續經營

面對全球森林資源持續減損與生態功能退化的嚴峻挑戰，森林保育與永續經營已成為國際社會與各國政府的核心議題。此議題不僅關乎生物多樣性的存續，更與氣候穩定、水源涵養、土壤保護及人類社區的生計緊密相連。永續經營的理念旨在平衡森林的經濟利用與生態保護，確保當代人的需求得以滿足，同時不損及後代子孫享有森林資源與服務的權利。這需要從單純的木材生產思維，轉向多目標、多功能的森林生態系統管理，並整合科學知識、傳統智慧、政策工具與社區參與，形成一套綜合性的治理架構。成功的森林保育策略必須能有效應對導致森林砍伐的各種驅動因素，包括農業擴張、非法採伐、基礎建設開發等，並在地方、國家乃至全球層面建立協調一致的行動方案。

社會林業與農林複合系統是將森林保育與社區發展結合的重要實踐。社會林業的核心在於將當地社區視為森林管理的關鍵夥伴，透過賦權與利益共享機制，使社區居民從森林保護中獲得實質的經濟與社會效益，從而轉變其從森林資源的掠奪者成為守護者。這類計畫通常包括社區森林管理、聯合森林管理等形式，讓社區在法規框架下擁有特定的森林使用權與管理責任。農林複合系統則是在同一土地上整合林木與農作物或牲畜的經營，創造出結構與功能更為複雜的農業生態系統。這種模式能提高土地總生產力，提供多樣化的產品如木材、水果、飼料與糧食，同時林木的存在有助於改善微氣候、保持水土、增加土壤肥力，並為野生動物提供棲所。無論是社會林業或農林複合，其成功關鍵在於尊重在地知識、確保土地權屬安全、建立公平的市場管道，並提供適當的技術支持與能力建構。

都市林業與鄉村林業的推廣，則是將森林的效益延伸至人類聚居地，回應不同空間尺度的需求。都市林業關注在城市環境中規劃、建立與管理樹木與森林，其目標遠超越美化景觀，更包括緩解熱島效應、改善空氣品質、降低噪音、提供休憩空間、促進居民心理健康，並增強城市對極端氣候事件的韌性。透過系統性的街道樹種植、公園綠地建設、綠色屋頂與垂直綠化，都市森林成為永續城市不可或缺的綠色基礎設施。鄉村林業則著眼於鄉村地區的林地營造與管理，旨在為農村社區提供生計支持、薪柴來源、防風護田，並恢復退化的農業景觀。推廣都市與鄉村林業需要跨部門的合作，整合都市規劃、建築設計、公共衛生與社區發展等領域，並透過公眾教育與參與，培養市民的環境 stewardship（管理員）意識。

造林與森林再生的技術策略，是主動恢復森林覆蓋與生態功能的重要手段。造林指在原本無林的土地上建立新的森林，而森林再生則是在已退化或遭砍伐的林地促進其自然或人工恢復。技術策略的選擇需基於對立地條件、氣候、目標樹種及社會經濟背景的深入評估。傳統上以單一樹種、整齊劃一的人工林雖能快速提供木材，但往往生態價值較低且易受病蟲害威脅。因此，近來的趨勢強調近自然造林、混交林營造及輔助自然更新，以培育更具生物多樣性、穩定性與多重效益的森林。關鍵技術包括適地適樹的物種選擇、本土樹種的使用、促進土壤健康的整地方法、以及對抗入侵種的撫育管理。此外，對於嚴重退化的土地，可能需要先進行土壤改良或引入先驅樹種以創造適宜的微環境。大規模的造林計畫必須謹慎規劃，避免對原有草地、泥炭地等高碳儲存生態系統造成無意破壞，並確保不會與糧食生產競爭土地或水資源。

REDD+機制與國際森林保育合作，代表了在全球層面透過經濟激勵來保護森林的創新嘗試。REDD+意指「減少毀林及森林退化造成的排放，以及森林保育、永續經營與提升森林碳儲量」。此機制的基本邏輯是為發展中國家提供財政獎勵，以補償其因保護森林而可能犧牲的經濟發展機會。REDD+的實施涉及複雜的技術與治理挑戰，包括建立國家級的森林監測系統以準確量測碳儲量的變化、設定可信的參考排放水準、確保減排成果的永久性，以及最重要的——保障當地社區與原住民的權利，並使其公平分享利益。國際合作除了透過 REDD+ 這類市場或基金機制，還包括雙邊與多邊援助、技術轉移、能力建構以及打擊非法木材貿易的聯合行動。例如《瀕危野

生動植物種國際貿易公約》對特定樹種貿易的管制，即有助於遏止非法採伐。這些全球性努力的成功，最終取決於各國的政治意願、透明的治理結構、充足的資金投入，以及對社會公平與生態完整性的堅定承諾。

9.5.1 社會林業與農林複合系統

社會林業與農林複合系統是森林保育與永續經營中，將人類社會需求與生態系統功能緊密結合的實踐模式。社會林業的核心精神在於將森林資源的管理權與受益權，從傳統的國家集中管控，轉向在地社區的共同參與與決策。這種轉變不僅能提升森林管理的效率，更能確保當地居民從森林保育中獲得實質的經濟與社會利益，從而建立長期的保育誘因。社會林業的實踐形式多樣，包括社區林業、農民林業、以及由非政府組織或合作社推動的集體林業等。其成功關鍵在於建立公平的資源分配機制、透明的治理結構，以及尊重在地知識與文化傳統，使森林不再是遙遠的國有資產，而是社區生計與文化認同的一部分。

農林複合系統則是將林木與農作物或畜牧活動在同一土地上進行時空配置的經營體系，它體現了模仿自然森林結構的生態農業智慧。這種系統透過物種多樣性的增加，創造出多層次的冠層結構與複雜的根系網絡，從而提高單位土地面積的總生產力與生態穩定性。常見的農林複合模式包括林下間作，即在經濟林木下種植耐蔭的糧食或藥用作物；籬笆式栽植，利用樹木作為田界或防風林，並修剪枝葉作為綠肥或飼料；以及農牧林系統，整合樹木、作物與牲畜，形成養分循環的封閉迴路。這些做法能有效減少化學肥料與農藥的依賴，改善土壤結構與肥力，並增強農地對極端氣候的緩衝能力。

從生態功能的角度的分析，社會林業與農林複合系統能顯著提升景觀層次的生物多樣性與生態系服務。相對於單一作物的大規模農場或單一樹種的人工林，這些系統提供了更為複雜的棲地結構，能支持更多樣的動植物物種，特別是為授粉者、害蟲天敵以及土壤生物提供了生存空間。此外，系統中的林木成分能加強碳吸存，有助於氣候變遷的減緩；其根系有助於水土保持，減少地表逕流與土壤侵蝕；而多樣化的生產也降低了因市場價格波動或作物病害導致的經濟風險。這些生態效益直接轉化為社區的長期福祉，例如穩定的水源供給、減輕自然災害的損失，以及維持農業生產的永續性。

在實施層面上，推動社會林業與農林複合系統面臨諸多挑戰，包括土地權屬不清、社區內部權力結構不平等、缺乏技術支援與市場管道，以及短期經濟壓力與長期生態利益之間的取捨。成功的案例往往需要政府提供明確的法律框架與政策支持，例如承認社區的森林經營權、提供技術推廣服務、並建立生態產品認證與市場連結機制。同時，跨學科的研究與監測至關重要，需整合生態學、農學、社會學與經濟學的知識，以評估不同模式在不同社會生態環境下的適應性與成效。最終，社

會林業與農林複合系統的成功，標誌著人類從資源掠奪者轉變為生態系統的協同管理者，為森林資源的永續利用與生物多樣性保育開創了兼具公平與韌性的路徑。

9.5.2 都市林業與鄉村林業的推廣

都市林業的核心理念在於將森林與樹木整合至都市規劃與發展中，以提升都市環境品質與居民福祉。都市中的綠地，包括公園、行道樹、社區花園、綠屋頂及垂直綠化等，不僅構成重要的景觀元素，更扮演著關鍵的生態與社會功能。從生態角度而言，都市森林能有效調節微氣候，透過蒸散作用降低都市熱島效應，並吸附空氣中的懸浮微粒與污染物，改善空氣品質。此外，都市綠地提供野生動物棲息與移動的廊道，有助於維持都市區域的生物多樣性，特別是在高度人工化的環境中，這些綠島成為許多鳥類、昆蟲及小型哺乳類不可或缺的避難所。社會層面上，都市林業直接影響居民的身心健康，綠意盎然的環境被證實能減輕壓力、促進體能活動並增強社區凝聚力。因此，推廣都市林業不僅是植樹，更涉及跨部門的整合規劃，包括都市設計、交通、水利與公共衛生，以建構一個更具韌性與宜居性的都市生態系統。

相對於都市林業聚焦於建成環境，鄉村林業則關注森林資源在鄉村地區的永續經營與其對社區生計的貢獻。鄉村林業的推廣旨在將林木與林產品的管理，有機地融入鄉村的農業生產體系與經濟活動中，以達成生態保育與社會經濟發展的雙重目標。在許多發展中國家，鄉村社區高度依賴森林資源獲取薪柴、建材、非木材林產品（如藥用植物、野果、蘑菇）以及放牧地，森林是生計安全的重要支柱。然而，不當的採伐與土地利用常導致森林退化與資源耗竭。因此，推廣鄉村林業的關鍵在於引入參與式森林管理，讓在地社區成為森林經營的決策者與受益者，透過培訓與技術支援，發展永續的採伐方式、林下經濟（如養蜂、種植耐陰作物）以及非破壞性的資源利用模式。這不僅能維護森林生態完整性，更能創造在地就業機會，提升社區經濟韌性，減少因貧困而導致的環境破壞。

推廣都市林業與鄉村林業面臨不同的挑戰與策略。在都市環境中，主要挑戰包括有限的土地空間、土壤與水源污染、樹木養護成本高昂，以及都市發展壓力下綠地易被侵蝕。對此，推廣策略需強調創新技術的應用，例如利用建築物立面與屋頂進行綠化，選擇抗污染、耐旱的鄉土樹種，並建立完善的樹木健康監測與管理系統。同時，透過公民科學計畫鼓勵社區居民參與植樹與養護，能有效提升公共綠地的管理效能與民眾的環境意識。在鄉村地區，挑戰則多源於制度面與經濟面，如土地權屬不清、市場通路不足、傳統知識與現代科學的整合困難，以及年輕人口外流導致勞動力短缺。成功的推廣需建構明確的社區林權制度，發展在地化的林產品價值鏈，並將林業與生態旅遊、文化保存相結合，以增加森林的附加價值。此外，政府與非政府組織需提供適當的財政誘因與技術擴展服務，支持社區發展兼顧保育與生產的混農林業系統。

綜觀而言，都市林業與鄉村林業的推廣是森林保育與永續經營中不可或缺的面向，兩者雖因環境脈絡不同而策略各異，但共同目標皆是促進人與森林的和諧共生。都市林業著眼於提升都市生態系統服務與生活品質，而鄉村林業則致力於維繫社區生計與在地生態知識。兩者的成功實踐均依賴於跨領域的合作、社區的積極參與，以及適應在地條件的創新管理方法。透過有系統地推廣，森林資源得以在不同尺度的社會生態系統中持續發揮其多元價值，為邁向永續發展的未來奠定堅實基礎。

9.5.3 造林與森林再生的技術策略

造林與森林再生是恢復退化林地、擴大森林覆蓋面積並提升生態功能的核心技術策略。這些策略不僅涉及樹木的種植，更包含從選址、樹種選擇、栽植技術到後續撫育管理的完整生態工程體系。成功的造林與再生計畫必須基於對當地氣候、土壤、水文及既有植被的深入理解，並考量長期生態演替的動態過程。傳統上，造林多以經濟用材為導向，採用單一樹種的純林營造方式，但這種做法往往導致生態系統單一化、病蟲害風險增加以及土壤退化等問題。現代造林理念則強調近自然林業，模仿自然森林的結構與組成，營造混交、異齡、多層次的森林群落，以提升森林的穩定性、生物多樣性與多重生態服務功能。

在技術策略上，首要步驟是進行詳細的立地調查與評估，包括土壤理化性質分析、微氣候條件記錄、既有植被調查以及干擾歷史的瞭解。依據評估結果，選擇適宜的樹種成為關鍵決策。選擇原則應優先考慮原生樹種，因其已適應當地環境，能與其他原生生物形成穩定的生態關係，並降低入侵風險。同時，需考量樹種的生態特性，如先驅樹種與演替後期樹種的搭配，以促進森林的自然更新與演替。在栽植技術方面，除了傳統的苗木定植，亦可採用直接播種、萌蘗更新或利用自然下種等方式。特別是在受干擾後具備種子庫或萌蘗能力的區域，封山育林、減少人為干擾，促進自然再生往往是最經濟且生態效益最高的策略。

對於土壤嚴重退化、侵蝕或污染的地區，則需要先實施土地整治與土壤改良措施。這可能包括修建水土保持工程如梯田、魚鱗坑以減少逕流，施用有機質改良土壤結構與肥力，或引入固氮植物以啟動生態系統的養分循環。在乾旱或半乾旱地區，集水技術、保水劑的應用以及選擇耐旱樹種至關重要。造林後的撫育管理同樣不可或缺，包括適度的除草、除蔓以減少競爭，間伐以調整林分密度與結構，以及病蟲害的監測與生態防治。近年來，基於生態系統服務付費概念的計畫，如碳匯造林，更將造林與氣候變遷緩解目標結合，透過科學監測驗證碳儲量變化，使造林活動同時具備生態與經濟價值。總體而言，有效的造林與森林再生技術策略，必須是融合生態學原理、在地知識與長期管理承諾的綜合性實踐，方能重建健康、永續且具韌性的森林生態系統。

9.5.4 REDD+機制與國際森林保育合作

為應對全球森林砍伐與氣候變遷的雙重危機，國際社會發展出「減少毀林及森林退化造成的排放，以及森林保育、永續經營與提升森林碳儲量」機制，簡稱 REDD+。此機制源於 2005 年《聯合國氣候變化框架公約》締約方會議的倡議，旨在透過財務激勵，促使發展中國家保護其森林資源，從而減少因土地利用變遷所產生的溫室氣體排放。REDD+ 的核心邏輯是將森林的碳儲存功能貨幣化，透過建立可測量、可報告與可驗證的碳減排成果，使森林保育成為具有經濟吸引力的選項，進而扭轉將森林轉為農地或牧場的傳統發展思維。

REDD+ 的實施包含三個階段：準備階段、實施階段以及基於成果的給付階段。準備階段涉及能力建構、國家策略制定以及監測、報告與驗證系統的建立；實施階段則執行各項政策與措施，例如強化森林治理、推動社區林業、劃設保護區或促進永續土地利用；最終，當減排成果經過獨立驗證後，捐助國或碳市場便可提供財務補償。此機制特別強調「+」所代表的額外要素，即除了減少毀林與森林退化外，更納入森林保育、永續經營及提升碳儲量的行動，使得保護現存原始林、推動負責任的伐木管理以及進行造林再生活動，都能被整合在單一框架下獲得支持。

國際森林保育合作在 REDD+ 框架下呈現多元化的資金來源與夥伴關係。資金主要來自雙邊或多邊援助，如挪威的國際氣候與森林倡議、世界銀行的森林碳夥伴基金，以及聯合國 REDD 計畫等。此外，自願性碳市場也逐漸成為 REDD+ 專案的重要融資管道，企業透過購買碳權以抵銷其碳排放。然而，REDD+ 的實踐面臨諸多挑戰，包括確保碳權的永久性、防止碳洩漏至其他地區、保障原住民與在地社區的權利與利益，以及建立公平透明的利益分享機制。這些挑戰需要透過健全的法律框架、尊重自由事先知情同意原則，以及強化在地社區的參與能力來克服。

展望未來，REDD+ 機制的成功關鍵在於將其與更廣泛的永續發展目標相結合。單純的碳支付可能不足以解決毀林的深層驅動因素，如貧困、土地權屬不清與全球農產品貿易需求。因此，國際合作需超越碳交易，轉向支持包容性的綠色經濟轉型，例如發展林下經濟、生態旅遊或非木材林產品產業，使森林在維持生態完整性的同時，也能為當地生計帶來持久收益。透過 REDD+ 這樣的國際合作機制，全球社會正試圖將森林從經濟發展的犧牲品，重新定位為應對氣候變遷、維護生物多樣性與促進社區福祉的關鍵資產。