

談竹林之環境生態功能

汪大雄^{1*}、林鴻志²

前言

竹林是熱帶和亞熱帶地區重要之森林資源，約有2,200萬公頃 (FAO 2007)。雖然許多國家之森林面積不斷減少，但竹林面積近年卻持續增加 (FAO 2020)。竹子被認為是世界上最生長最快之植物，在生長季節每天有30–100 cm之高生長，能在2–3個月長成高達36 m、胸徑1–30 cm之竹材 (United Nations 1972)。因此，竹被認為是生長最快、生產力最高的自然資源。

竹不但具有經濟價值，還具有緩和現今世界面臨之環境和社會問題之巨大潛能。竹林之環境生態功能包括防止土壤沖蝕、增加降雨截留、促進水分保育、有利土地恢復、和增進碳吸存等，本文收集有關文獻，從竹之生物特性，探討竹林在環境生態上之功能，以說明建造竹林為何是解決環境問題之有效策略。

防止土壤沖蝕

土壤沖蝕是對農業永續和生產力主要之自然威脅，也是全球許多國家共同面臨之問題。土壤流失除了風、水、重力等自然因素，急速耕種和不良之土壤管理也是關鍵。資料顯示全球可耕地之土地面積，每年以超過1千萬公頃之速度減少，有705億噸之土壤流失，造成約4千億美金之經濟損失 (Pimentel

et al. 1995)。全球土壤沖蝕因地區而異，推估現有表土流失之速度，大約以較表土形成快16~300倍的速度進行 (Barrow 1991)。

竹材除了供工業和建築使用外，竹林因具有廣泛之根系、交織之地下莖、濃密之竹葉、地表豐厚的枯枝落葉腐植質層、可抵抗大雨沖擊不破壞土壤、和由地下莖快速更新等優點，使得竹林具有控制或減輕土壤沖蝕之巨大潛能。如日本高山地區之矮竹屬 (*Shibataea*) 和箬竹屬 (*Indocalamus*) 林下，僅產生微弱之水土流失；巴西引進之刺竹 (*Bambusa blumeana*) 和孟宗竹 (*Phyllostachys pubescens*)，具有防止土壤養分流失和改善土壤結構之功能 (Fu et al. 2000)。

竹林之地下部因能形成網格狀之地下莖和根系網，能有效地抓住土壤 (圖1)，研究顯示竹林約80%之地下莖和根分布在0-30公分之上層土壤 (圖2)，對於此層最具控制土壤沖蝕

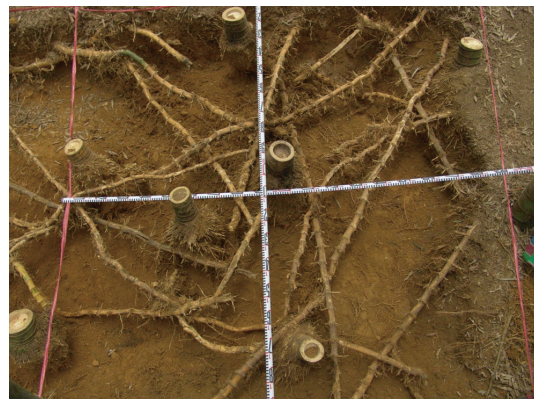


圖1 孟宗竹錯綜複雜之地下莖 (汪大雄 攝)

¹ 林業試驗所森林經營組退休研究員

² 林業試驗所育林組助理研究員

* 通訊作者 (dhwang616@gmail.com)



圖2 即使邊坡塌陷，桂竹根系仍緊抓表土(汪大雄 攝)

之效果 (Zhou et al. 2005)。單一竹子可抓住6立方公尺之土壤 (Anonymous 1997)，叢生竹類之馬甲竹 (*B. tulda*)之根可以向外平伸5.2公尺(White and Childers 1945)，散生竹如紫竹 (*P. nigra*) 和孟宗竹 (*P. heterocycla*) 其每公頃地下莖之總長度可分別達到200–320公里和50–175公里 (Xiao 2001)。

竹林內之土壤有高度之抗沖性(anti-scourability) 和抗侵蝕性 (anti-erosion)，研究顯示孟宗竹林0-14公分之上層土壤，其抗沖性指數和抗侵蝕性指數分別為0.998和1.051，高於洋槐 (*Robinia pseudoacacia*) 的0.92和0.98、水杉 (*Metasequoia glyptostroboides*) 的0.93和0.52、和楊屬植物 (*Populus*) 的0.95和0.38(Zhou et al. 2005)。矮竹類之大明竹 (*Pleioblastus argenteostriatus*) 因有發育良好之地下莖和根系，其抗沖性指數為1.404、抗侵蝕性指數為1.413，分別較體積高大之孟宗竹高40%和30% (Luo et al. 1999)。

由於穩定和充足之水分供應，河畔的竹林通常生長良好，具有保護河岸土壤之功能(圖3)。竹林高大，也常作為農田之防風材料(圖4)。波多黎各 (Puerto Rico) 之Mayaguez國



圖3 河岸邊之竹林(汪大雄 攝)



圖4 農田邊之竹林防風林(汪大雄 攝)

家作物實驗站所位於之河流會定期氾濫，造成實驗站大面積土壤流失，但河岸種植大佛肚竹 (*B. vulgaris*)後，竹林在河岸形成一道堅固的活體護岸，因此不再受害 (Anonymous 1997)。中國雲南省之大盈江和福建省之九龍江流域，土壤岩石工程和種植林木失敗，種植竹林後成功保護了河岸 (Zhou et al. 2005)。長江流域因有竹林分布，沖刷到長江的土壤沖蝕量只有黃河之一半 (Fu et al. 2000)。

地滑 (land slide) 會引起嚴重之表土流失，大幅降低土地生產力，屬於嚴重之土

地退化。波多黎各的研究顯示 (Anonymous 1997)，試驗的樹種中竹子最能控制地滑，在波多黎各山區崎曲之道路常會產生地滑，種植大佛肚竹有助於路堤之穩定。日本鹿兒島縣海岸地區使用竹做為沙丘圍籬已有百年的歷史 (Shibata 2001)。

竹和水分保育

竹葉形成後約經12–18個月，老葉會脫落，再長新葉 (Ueda 1960)。竹林內累積豐富之枯枝落葉 (圖5)，熱帶森林之竹林地，每年每公頃能產生6.6噸之地上枯枝落葉，季風雨林地區更能高達每公頃10.6噸 (Rozanov and Rozanov 1964)。印度竹林每年每公頃有3.2噸枯枝落葉 (Seth et al. 1963)。波多黎各4年生之花眉竹 (*B. longispiculata*) 能累積約2–10公分厚之覆蓋 (White and Childers 1945)。枯枝落葉量與林分之組成、林分密度和人類活動有關，如中國毛竹 (*P. pubescens*) 純林之枯枝落葉每年每公頃有5.8噸，和杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 混合之毛竹林則提高為7.2噸，和闊葉樹混合更可達到9.4噸 (Wu et al. 1992)。每公頃825株之麻竹林 (*Dendrocalamus latiflorus*) 年枯枝落葉量為每公頃3.6–3.9噸 (Xie 1999)。



圖5 竹林內豐富的枯枝落葉層 (汪大雄 攝)

竹林內之枯枝落葉等覆蓋物層，除了能預防土壤沖蝕外，也能增加土壤中的有機物量，因覆蓋物截留、有機物吸收水分，可減少土壤水分蒸發，有效地收集和保存水分。中國海南省之研究顯示，8種植被中竹林之枯落物吸收水分能力最強，能吸收其乾物重2.75倍之水分 (Huang et al. 1997)。麻竹林枯落物能吸收其乾物重2.7–2.9倍之水分 (Xie 1999)。孟宗竹和杉木混合之竹林每公頃能蓄水21.29公噸，遠比杉木純林每公頃之7.27公噸高 (Chen 2000)。

竹林土壤之保水力大小和竹林之植群種類有關，竹林土壤總保水力以和闊葉樹混合之竹林最高、竹純林次之，和針葉樹混合之竹林最低。但因竹林在砍伐後留有大量的竹叢、死地下莖和根系，產生許多非毛細管孔隙所保留的大量水分，所以就非毛細管水分容量言，則以竹純林最高、竹闊混合次之、竹針混合最低 (Wu et al. 1992)。竹林集水區0–70公分深度之總毛細管作用水分容量可達430.5 mm、有效儲水量為312.73 mm，比杉木人工林和天然闊葉林增加28% (Wu 1997)。

竹子因長年有茂密之竹葉，密集之竹冠和數量眾多之竹枝 (圖6)，故能截留相當多的降雨量。雨珠經竹林多層之攔截後，改變方向、減慢速度、降低對土壤之直接沖蝕。中國之研究指出，竹林能截留20%之降雨，比針葉林高。竹冠之大小與竹林立木株數和葉面積指數有關，如每公頃2,190株、平均胸徑8.12公分、葉面積每公頃35,100平方公尺之孟宗竹林，降雨截留量為0.95 mm、截留率21.3%。株數較密、胸徑較大和葉面積較多之孟宗竹林(每公頃6,720株、胸徑7.35 cm、葉



圖6 竹林之林冠茂密 (汪大雄 攝)

面積每公頃100,000平方公尺)，截留量為1.80 mm、截留率31.33%，較前者分別增加89.4%和47.0% (Wu et al. 1992)。叢生竹也能截留降雨，栽植距離3 m × 4 m、每叢6 株、每公頃5,000 株之麻竹林，年截留量為128.1 mm、截留率14.5%，年穿落水量為689.1 mm、穿落率78.02%，徑流係數7.47% (Xie et al. 1999)。

竹和土地恢復

全球耕地和牧地因受農藥和殺蟲劑過度使用、土壤酸化、鹽化、鹼化和養分損耗等因素，面臨土地退化之壓力。統計資料顯示，過去50年有10億2千萬公頃土地 (11%全球有植物生長面積) 退化到原有土地生物功能都被破壞之程度 (Oldeman et al. 1990)，UNEP 1992報告至少有1/4之退化農地是由人類活動引起。竹林因能在各種土地類型生長，加上其優異之

水土保持功能，使得竹林營造相當適合應用於土地休整恢復上。

由於竹林在退化地復育上之重要性，中國、印度和泰國分別發展出竹混農林作業模式 (bamboo agro-forestry model)。此類模式在中國可分成三類：

1. 竹和茶或竹和林木或竹和作物之混農育林；
2. 竹、作物、魚塢和家禽之混農林牧業 (silvopastoral systems)；
3. 竹、食用菌和藥草植物之特殊作物混農林 (Fu et al. 2000)。

這些竹混農林作業模式能改善土地之微環境，加速光合作用產物之形成和累積，同時因組成物種之多樣性，強化植群對自然災害如霜和降雪、病蟲害攻擊之抵抗力，所以竹混農林作業模式可達到退化地復育之效果。

在竹混農林體系中，因體系內不同組成

個體之根系，在地下形成不同深度垂直和水平之分布，使得竹混農林能充分使用土壤之肥沃力而促進族群之生長。此外，枯枝落葉大量增加土壤中氮、磷、鉀等有機物。在泰國有竹子和玉米花生混種，在印度有竹子和玉米大豆混種，印度之研究指出，在退化之土地上將土壤、爛泥和煤飛渣混和後種植竹子，因能快速地產生生物量，故能成功達到土地恢復之目的 (Anonymous 1997)。

越南成功地利用竹林，綠化越戰期間遭受戰爭破壞之廣大土地 (Anonymous 1997)。赤竹 (*Sasa* spp.) 等矮竹類 (dwarf bamboo) 是日本森林內最常見之地被植物，分布全日本森林面積達25% (Kato 1979)。像是生物幫浦，赤竹將土壤下層20–30公分之陽離子抽送到土壤表面，能防止山區土壤之酸化 (Takamastu et al. 1997)。西瓜哇地區推行之竹混農林業 (talun-kebun)，竹子富含枯枝落葉層能緩慢分解，大量細根泵運養分，故能成功地維持土地肥力 (Christanty et al. 1996)。在印度熱帶乾燥地區之礦坑地，印度實竹 (*Dendrocalamus strictus*) 林和天然林相比，因前者在短時間能產生和天然林相近之生物量和較高之淨生產力，對土地恢復有效達到正面效果 (Singh et al. 1999)，因此人民重視竹子，農民有「沒有竹子就沒有土地」之格言。

竹和碳吸存

自從1992年全世界166個國家在里約熱內盧高峰會議通過《聯合國氣候變化架構公約》後，陸續於1997年《京都協議書》、2009年《哥本哈根協議》和2015年聯合國氣候峰會中通過《巴黎協定》，都希望各國合作能

共同遏阻全球暖化與氣候變遷的失控趨勢。因此，全球碳源 (carbon source)、碳匯 (carbon sink) 分布之動態和機制，成為現今重要的科學、政治和經濟議題。

森林是地球上陸域最大之生態系統，儲存了1.146兆噸碳，相當於全球陸域碳儲存量之56% (Li et al. 2003)。竹林是森林生態系很重要之一部分，在碳源和匯碳上擔當重要的角色。竹林之碳儲量和年碳吸存量，隨者竹種型態有很大之差異。和散生型竹種相比，叢生型竹類通常體積及生物量較大，有較高的碳儲量和年碳吸存量。臺灣之研究顯示，刺竹地上部之碳儲量和年碳吸存量分別為114.51 Mg ha⁻¹和22.90 Mg ha⁻¹ yr⁻¹，而桂竹 (*P. makinoi*) 地上部之碳儲量和年碳吸存量則為29.14 Mg ha⁻¹和5.81 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ (Chen et al. 2012)。

碳除儲存在立竹竹材外，也存在持久性高之竹產品中。若能以工業化量產之竹產品如板材、支架、竹框等，取代高碳源之建築產品如塑膠地板和鋁門窗，則可減少後者在產製過程中所排出之CO₂。若能以竹材作為再生能源燃料，則可減少對石化燃料之依賴。竹林因生長快速，短期內就能產生竹材，並供應製成竹類產品，竹林本身和竹產品在碳儲量和年碳吸存量之效率與貢獻，非林木所能及。⊗