竹子—多面向的永續綠色資源

曾聰堯[1*)]

前言

森林有減緩氣候變遷的功效，森林法第三條「森林係指林地及其群生竹、木之總稱。…」，竹林也是森林，已知竹林的碳吸存能力高於樹林。竹類因生長快速並大量累積生物量，能行光合作用吸收大氣中的二氧化碳形成碳匯 (carbon sink)，對氣候變遷有正向的功效 (Sohel et al., 2012)，在碳權 (carbon credit) 的取得上深具潛力 (圖1)。竹子可年年收穫，具快速自行更新的能力，被視為循環永續的綠色產業。

從前竹製品在臺灣居民生活中是非常重要的材料，竹林是居民心中豐富的森林資源，舉凡搭建房子、製作家具、生活用品乃至食用的竹筍，無一不跟竹子有關。直至民國70年代以後，塑膠、金屬等材料逐漸取代了竹材，竹製品漸漸消失在你我日常生活之中，竹林經營也逐漸被忽視。時過境遷，竹子被視為永續的綠色材料重新受到重視，政府也積極振興竹產業，串聯「竹產業鏈」並開發新技術、新商品，將竹林經營與竹材加工生產之「剩餘資材」回收利用，達到「全竹利用」的目標，綠色的竹產業正在升級換裝走上世界的舞台。

「淨零排放 (Net Zero)」時代來臨，2021年歐盟首先提出「碳邊境調整機制 (Carbon Border Adjustment Mechanism，CBAM)」，減少「碳洩漏 (carbon leakage)」的情況，鼓勵非歐盟地區的企業在生產產品時也要積

圖1 竹林碳吸存能力深具潛力 (巨竹) (曾聰堯 攝)

[1)] 林業試驗所蓮華池研究中心 助理研究員
[*)] 通訊作者 (tytseng@tfri.gov.tw)

極減少碳排放，共同降低全球的碳排放，承擔企業社會責任 (Environmental, Social, and Governance, ESG)，未來可能會有更多類似的規則。2023年臺灣通過「氣候變遷因應法」，制定氣候變遷調適策略，降低與管理溫室氣體排放，以因應全球氣候變遷，同年成立「臺灣碳權交易所 (Taiwan Carbon Solution Exchange, TCX)」協助企業進行碳權交易，以期達成碳中和目標。

新生竹子4~5年就可伐採利用，同時促進竹林更新，2023年竹林經營碳匯的減量方法學將送環境部審核，竹林碳匯將成為另一種新選擇，另外也應思考如何延長竹材製品的使用年限，廣泛應用於日常生活，同時達到碳固定效果。

竹類資源

依據2012年Bamboo Phylogeny Group (BPG) 報告，竹類有115屬 (genera)，超過1,400種 (species) 以上。竹子在植物分類上屬於禾本科竹亞科 (Poaceae(Gramineae), Bambusoideae)，除歐洲及南極洲外，都有自然分布，最高可生長於海拔4,500公尺的山地，主要分布在熱帶及亞熱帶高溫多雨地區 (Kelchner et al., 2013; Lucas, 2013; Ahmad et al., 2021)。竹子依外觀型態可分為木本性及草本性竹子 (woody and herbaceous bamboos)，依地下莖型態可分為「地下莖合軸叢生型」、「莖脛走出合軸叢生型」、「地下莖橫走側出合軸叢生型」及「地下莖橫走側出單稈散生型」竹子 (呂錦明，2010)。

竹子種類最多的地方在亞洲，有50屬900種以上竹子 (Global Forest Resources Assessment, 2005; Ahmad et al., 2021)，中國擁有最多的竹種分布，達600種以上，竹林面積、竹材及竹筍產量也都是最多，經濟竹種[1]有毛竹 (*Phyllostachys pubescens*)、桂竹 (*P. makinoi*)、麻竹 (*Dendrocalamus latiflorus*)、綠竹 (*Bambusa oldhamii*) 等。印度擁有148種竹子 (Tewari et al., 2019)，主要經濟竹種有巴苦竹 (*B. balcooa*)、茨竹(*B. bambos*)、泰山竹 (*B. vulgars*)、馬來麻竹(*D. asper*)、巨竹 (*D. giganteus*)、哈米爾頓氏麻竹 (*D. hamiltonii*)等 (Banik, 2016)，日本則有130種以上的竹子，韓國、東南亞各國 (印尼、越南、菲律賓、馬來西亞、泰國等) 各自都有豐富的竹類資源，也在持續研發利用竹子。

美洲有340種以上的竹子，代表性的木本竹子為南美薊竹(*Guadua angustifolia*)，南美哥倫比亞與厄瓜多居民便以南美薊竹來建造傳統房屋，其餘多數為草本性竹子，低矮的竹子在美國常被民眾用於庭園景觀如黃竿烏哺雞竹 (*P. vivax* 'Aureocaulis')。非洲也有115種竹子、45,600公頃竹林 (Bahru and Ding, 2021)，如非洲高地竹 (*Oldeania alpina*)、銳藥竹 (*Oxytenanthera abyssinica*)等，居民利用竹子建築房屋、製作家具。歐洲沒有原生竹子，但是因為竹子具有園藝及景觀價值，引進栽植於庭園作為裝飾，近幾年更對竹葉萃取物、生物炭燃料 (或生質燃料) 等新創產品深感興趣。

臺灣有89種竹子，重要經濟竹種有孟宗竹 (*P. edulis*)、桂竹、麻竹、綠竹、莿竹 (*B. blumeana*)、長枝竹 (*B. dolichoclada*)，引進種

[1] 各地區/國家之經濟竹種繁多，囿於篇幅，本文僅列部分竹種

如巨竹、馬來麻竹、甜龍竹 (*D. hamiltonii*) (呂錦明，2010)。因民眾喜食竹筍，市場銷售量大，麻竹、綠竹及甜龍竹等農地竹筍園栽培面積亦有增加。依據林業及自然保育署 (原林務局) 第四次森林資源調查報告，臺灣竹林面積約有18萬3千多公頃，竹材約有15.8億支，應積極開發竹材加工及應用技術，善用國內豐富的竹類資源。

竹子的多面向利用

竹子應用廣泛 (圖2)，依新舊利用方式可分為傳統與現代。傳統農業社會時代，竹材利用方式從建築的竹房子到日常生活中的家具，如竹桌椅、竹床，農作用的竹竿、竹掃帚、竹斗笠，烹飪用的竹筍、粽葉，小孩子的玩具、竹蜻蜓、竹槍等，都是用竹材製作。

步入工商社會後，竹子變成加工的良材，高溫燒製為竹炭、生物炭、活性碳、生質燃料顆粒、土壤改良資材等。高科技發展的現代，人們運用更多元的技術強化建築材料，發展生質能、萃取物、藥物及創新材料等，估計超過1,500種衍生產品 (FAO, 2007; Tripathi and Vasu, 2009; Choudhary et al., 2013; Liese et al., 2015; Mathewos, 2017; Li and He, 2019; Dlamini et al., 2020; Liang et al., 2023)。

依材料保存時間可分為新鮮及經乾燥。

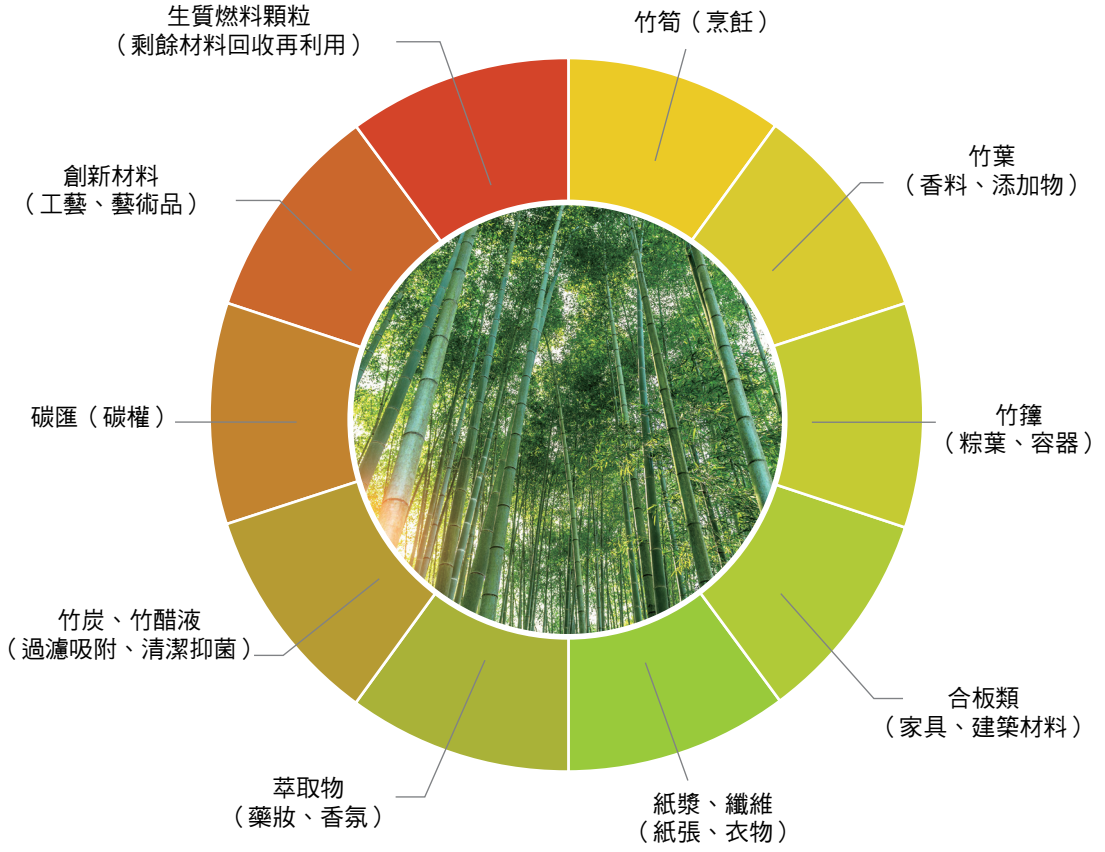

圖2 竹子的多面向利用 (曾聰堯 製)

採集新鮮的竹葉、竹稈或竹籜，可用於如竹葉製酒 (竹葉青)、竹筒酒 (竹酒)，新鮮竹稈做成竹筒飯，添加竹葉萃取物於牙膏、啤酒，或將海鹽裝進竹筒裡，高溫烘烤製成竹鹽 (bamboo salt)，以及美味的竹筍、食用竹笙 (*Phallus indusiatus*)等。

竹子伐採後，竹稈運至竹材加工廠，經過蒸煮、浸泡、烘乾製程，再進入高溫、高壓、乾燥，最後經砂磨、噴漆、塗裝，竹材變身成為現代新材料，創新的加工技術將竹材轉變為高科技建材，防腐、耐候、堅固，搭建成優美的竹構建築 (竹房子)、板材、吸睛的裝置藝術，同時也延長了竹材的固碳期限。竹產業符合8項聯合國永續發展目標 (§7,8,9,10,11,12,13及15)，並且擁有碳吸存 (carbon storage and sequestration) 及減少毀林 (deforestation) 的效果。

竹葉或竹稈萃取物如「竹葉黃酮 (類黃酮素)」為一種天然的有機混合物，含有天然的抗氧化物或抗發炎性質，作為添加劑可使產品具有特殊風味 (圖3)，極具開發利用價值。竹稈加熱產生的竹醋液，可用於農業用途，促進植物生長、減少病蟲害，也可製成家用的清潔用品。將竹稈高溫燒製而成的竹炭具多孔的特性與強吸附能力，具有淨化水質與除臭的功能，公認為良好的過濾材料。創新的加工技術與利用方式，諸如栽培介質、動物用飼料添加物等，創造了極高的產值，日漸受到重視。

圖3 各種用途的竹製產品，活性碳(上)、竹萃風味水 (下左)、保溫杯 (下中)及竹香氛 (下右) (曾聰堯 攝)

挺拔的竹子，經常出現在國畫中，竹子修長、竹葉舒展，「竹」是文人喜愛的四君子之一。以竹桿做成的竹圍籬兼具自然之美與工藝美學，讓民眾看見竹子的優美。竹林隨風搖曳婆娑起舞，竹林隧道、竹海景緻廣受遊客喜愛，更創造出具地方特色的觀光價值。

人為經營如砍伐、施肥及灌溉等，對竹子的生長與發育有長遠的影響，沒有經營的竹林，竹子數量過多、過密、通風不良，病蟲害嚴重，數年後便會逐漸衰敗；如若沒有砍除老竹，林內會有很多的枯死竹 (圖4)，新竹產量會下降，新生竹越來越細，竹林更新緩慢，竹林生長勢將日漸衰退。如能妥善經營竹林，適當砍伐竹子，竹林往往越伐採生長越繁盛，更能發揮竹林的碳吸存功效。

結語

竹子是一種生長快速且可以多面向利用的植物，在亞洲許多地區如中國、印度、東南亞及中南美洲等，一直扮演著不可或缺的角色。近年更形重要，以竹子代替木材，減少砍伐樹林 (timber forests)，防止已固定的碳減損洩失，減碳功能深具潛力。在全球減少排碳、增加造林，減塑與環保的時代潮流下，也提供竹製產品發展新契機，政府積極振興綠色竹產業 (如2021年起推動新興竹產業發展綱要計畫)，開發新技術、新商品，從生產、加工、研發到銷售重新串聯起整體產業鏈，期望發展竹林碳匯市場的過程，可以再創臺灣竹產業新時代。

圖4 沒有經營(左圖)與有經營的竹林(右圖)(孟宗竹) (曾聰堯 攝)