

# 循環經濟造林術— 加拿大卑詩省都市廢水的循環利用

林冠穎<sup>1\*</sup>、吳家禎<sup>1</sup>

筆者在本(2023)年7月藉執行「研習美加森林遺傳與育林技術因應氣候變遷之計畫」的難得機會，赴加拿大卑詩省(British Columbia)參加英屬哥倫比亞大學主辦的森林遺傳學研討會，收穫頗豐。其中的一趟實地參訪，觀察當地土地經營者如何將民生廢水循環利用於楊樹(Poplar)造林的產官合作計畫，更是令人印象深刻，深有感觸之餘，撰寫本文略作說明供各位讀者參考。

長期以來，卑詩省阿姆斯壯(Armstrong)市所產生之民生廢水，被集中排放至鄰近Spallumcheen鎮的污水蓄積池(effluent lagoon)。土地經理人David R. Derbowka嘗

試將這些都市廢水加以利用，同時達成資源循環、土壤植生復育及碳積存等目標，向Spallumcheen鎮地方政府提出植生復育工作計畫，將城市污水再利用於鄰近坡地的楊樹造林，並擔任計畫聯絡人及實際執行者，且自2016年共同執行至今。筆者於今年7月10日即與Derbowka先生、波蘭森林研究機構(Forest Research Institute)的Marzena Niemczyk及加拿大農業及農業食品部(Agriculture and Agri Food Canada)的Raju Soolanayakanahally先生等一行人，共同參觀這片Derbowka先生經營管理的楊樹造林地、相關設施及產品。



圖1 筆者與2023森林遺傳學研討會與會學者及同學，共同參觀 Derbowka 先生(圖中左4)經營管理的楊樹造林地(林冠穎 攝)

<sup>1</sup> 林業試驗所育林組

\* 通訊作者(louises@tfri.gov.tw)

## 民生廢水轉化為土地綠化資源

用於本計畫操作的土地面積僅有1.214公頃，規模及營利條件未能符合加拿大卑詩省法定之管理林地 (managed forest land) 或農業經營土地定義，而僅能屬於聯合國糧食及農業組織 (Food and Agriculture Organization, FAO) 定義之林外樹木 (trees outside forests, TOF) 經營用地。土地由阿姆斯特壯市政府以象徵性的1元租給Spallumcheen鎮，並由Derbowka先生創立之被動整治系統公司 (Passive Remediation Systems, PRSI) 進行人工林的建造及經營。在被介入經營以前，這片位於污水蓄積池堤岸坡上的土地由於缺乏天然降雨，也無人工灌溉，因而僅是片缺乏植被之裸露地。2010至2012年間，初步的雜交楊樹育苗及灌溉技術測試開始進行，期間陸續開發出一系列在地化的操作技巧及方

法，用於後續較大規模造林及監測工作的實際運用。在育苗及造林工作中，使用多種雜交楊樹作為材料，以降低遺傳脆弱風險及實現物種多樣性，楊樹品種包含：Okanese × 14 Alphas、NM6 × 14 Alphas、DTAC7 × 14 Alphas等共7個雜交組合。

計畫所進行的工作包括選拔、培育和管理合適的雜交楊樹品種以吸收計畫現地的特定城市污水，並安裝滴灌系統，在生長季節運行灌溉系統，定期監測土壤pH值等物理及化學參數。使用污水蓄積池旁原有的泵房將市政污水抽入現地灌溉系統，經由初步過濾及曝氣後，即作為栽培苗木用水。苗木培育的方法是基於當地苗圃工作中獲得的經驗及知識，並遵循其他速生雜交楊樹種植園的操作方式，其中在鄰近弗農市 (Vernon) 開展的污水灌溉雜交楊樹栽培經驗，由於地緣因素，更是作為重要的參考。灌溉量受到污水



圖2 位於加拿大卑詩省Spallumcheen鎮，匯聚阿姆斯特壯市所產生民生廢水的污水蓄積池 (effluent lagoon) (林冠穎 攝)



蓄積池營運方的限制，因此有時會以非廢水作為補充水源以維持足夠灌溉量，以確保樹木的持續生長和健康。透過這種方式經營種植園，Derbowka先生宣稱能夠達成不遜於常規經營方式的高生長率。將市政汗水用於林木灌溉，除可循環利用水資源，還可避免汗水中的營養物質被微生物利用後產生更多的溫室氣體，並減少廢水排放至開放流域造成的其他污染問題。

### 楊樹造林與碳吸存效益

計畫基地上的楊樹林建造經營也為增加碳吸存 (carbon sequestration) 作出貢獻，以確保碳抵減的永久性 (permanence) 為出發點，且該計畫以10年為量化碳吸存期限，因而以10年為界，區分為兩個時期進行經營、監控

及估算工作。在10年內時間區段，建造的每棵雜交楊樹都被單獨照顧、標記、追蹤和監控，且以週為頻率進行檢查，以即時發現任何可能對樹木破壞的威脅，並加以解決。除此之外，受損或死亡的樹木都會立即更換，以確保能夠實現高度的永久性。

在10年的量化期限結束後，封存的碳預計將繼續存在。然而，如果沒有保護樹木的土地契約，則需要採取額外的措施來維護碳永久性。計畫團隊規劃透過利用維護期間收集的枯死木和10年期限後清除的樹木來解決這個問題，認為這類木材可以用作木質顆粒燃料以取代化石燃料，也可以轉化為生物炭用於土壤改良等，其中生物炭利用途徑能確保含碳物質中的碳再度被礦化並幾乎永久地封存。



圖3 被動整治系統公司 (Passive Remediation Systems, PRSI) 在執行植物復育專案工作同時，所產製的各項產品展示 (林冠穎 攝)

本項計畫基於現階段經營及監測資料，並參考研究文獻、鄰近人工林經營情形及碳吸存估算相關準則，預期本片土地在雜交楊樹造林後，在10年量化碳吸存期限內，與非生產性草地的基線相比，地上和地下生物量的碳吸存的增加量為 240.1 噸CO<sub>2</sub>e。

### 產官共同加值土地與林產品

透過與地方政府合作執行本項廢水循環利用計畫，以及其他類似的植生復育工作，Derbowka先生的被動整治系統公司不僅能夠達成協助改善環境的企業經營理念，也利用造林工作中獲得的木材資源開發出數項產品，獲得合理利潤，其中如與原住民社群合作經營的綠色能源計畫，也裨益當地居民獲得自給電力、暖氣系統及相關工作機會。

該公司將劣化地上進行集約化造林的植物復育方法，設定為套裝商品，受眾範圍自採集頁岩油造成的水力壓裂地 (fracking sites)、各類採礦跡地至其他汙染土地等，提供服務包含工程設計、專案計畫編撰、實際執行及後續工作監控及監測等，並估算透過復育工作的執行，對於土壤及空氣等環境因子的淨化效益，以及近年來漸受重視的碳權 (carbon credit) 轉換量。公司提供的植物復育服務以

造林樹木個體數量計費，其他產品則有以楊樹木材產製的生物炭、木醋液及碳中和顆粒 (carbon neutral aggregates) 等。該司產製之所謂碳中和顆粒，為添加一定比例生物炭的水泥磚，以其作為建材，在維持建築所需強度的同時增加建物的碳儲存，可成為淨零碳排工作的另一種嘗試，惟造價不菲，售價達一般工程磚的兩至三倍之譜。

### 結語

經歷本趟參訪，深深受到Derbowka先生的創業熱情所感動，他在退休後才展開植物復育事業，歷經諸多困難，仍本著初衷進行改善環境的工作，並設法同時使公司獲得可持續經營的利潤，也為經營地區周邊的社群創造收益，令人佩服。回首臺灣，國內也不乏對於農林剩餘資材的循環利用技術及推廣實績，但若將國外成功的案例，向國內具有環保理念的投資者說明，鼓勵企業作為主體執行土地復育作業規劃及執行，或許如同Derbowka先生正在進行的廢水資源循環利用的復育工作，也能在各地以產官合作的方式開枝散葉，讓各種樣態的土地得到更妥善及永續的利用。♻️