

氣候

第40期
2024年10月

Climate Generation

少年

愛的萬物論

小草也可改變環境



跟環境

一樣重要的事

樹木吸碳，也吸甲烷

一支筆為環境

樹木也在排碳？

氣候急刻

森林是碳排放源？

主編的話

美好的環境需要新的語言

我們還在（要）認識自然

1969年7月20日，美國太空總署阿波羅11號登陸月球。這是人類首次登陸其他星體。從月球望向地球，絕美的地球盡收眼底。宇宙中懸浮的藍色星球，彷彿已為人類所掌握、認識透徹。但即使無人探測器已經遠離太陽系，人類對於自然的認識，其實仍然非常有限。

樹木，可說是地球上質量最大、最多且最普遍的生命型態。在各地、各族群、各文化當中，都有它的身影。在減碳的國際趨勢下，人們「更看見」樹木吸收二氧化碳的能力，但對於樹木的認識足夠嗎？

一般來說，樹木吸收二氧化碳、排出氧氣，透過光合作用將二氧化碳轉化為能量，以生物質的形式累積於體內。粗壯的樹幹，到飄逸的樹葉都是樹木固碳的成果。但美國賓州州立大學研究發現「在溫暖、乾燥的氣候下」，樹木可能排放更多二氧化碳、進而降低固碳效果；美國農業部報告甚至認為，逐步老化、疏於管理的森林，到2070年其釋放的碳，將超過儲存的碳。

這樣的結果像在警告大家不要亂種樹、或胡亂砍掉老樹改種小樹。但其深意，其實是不斷提醒我們：自然是「複雜的」、自然是「充滿變化的」，在更認識自然之前，以單一價值（固碳、碳捕捉）評斷樹木，必然有所偏頗。

例如，英國伯明罕大學指出，生活在樹皮或木材本身中的微生物正在清除大氣中的甲烷（比二氧化碳更強的溫室氣體），其規模「等於或高於土壤」；這項新發現的結果，使樹木對氣候的整體效益比之前想像的要高出一成。

老樹、老森林上所累積的微生物，富含有機碳且不易受擾動的土壤，在整體生態系內扮演重要的碳匯角色。這或許是只看見樹木本體，不見周圍大小生態的複雜作用所不能想像的。

高談以自然為基礎的氣候解方、甚至地球工程之前，深思明辨，對自然充滿好奇、敬畏，嘗試以全觀式、多維度的方式開啟討論，是氣候少年「接受答案」前，可以有、而且應該有的腦力體操。

最後是，不要妄自菲薄。就像加州大學聖地牙哥分校Jane Teranes教授的堅持，促成該校從2024年秋季起，將氣候課程列為畢業前的必修。校園綠色新政的倡議，可能成為翻轉美國氣候政治，強化兩黨氣候意識的行動。

氣候少年們可以有力量，更可以改變環境，創造好的、優質的環境！

發行人：臺灣地錢

主編：高木苔

作者：地球觀點

<http://www.eqpf.org>

環境品質文教基金會發行

小草也可以改變環境！

隨著氣候和生態環境的惡化，大概是因為問題過於複雜與困難，人們總習慣從高處看風景，從上位思考政策。總以為如果不是從上而下，問題不可能有解決的一天。

但實情恐怕並非如此。歷史證明，大話敘事雖有一定作用，但是真正帶來改變的總是先從小處開始。如果意志夠堅定，包括氣候正義在內的改變，或仍有可能。

在台灣，我們至少面臨高碳切不斷、空汙理不清、自然保育成效有限三大困境。從高位思考的諷刺在於，這三大困境，可說都是由高位者的思維與行為所致。

氣候之不治，對台灣是致命的，因為台灣小，又是海島，遇到高溫卻無處可逃。經濟損失更是不計其數。按理，人為氣候變遷影響的「科學證明」應該是相對明確的，但是，反應在台灣的气候政策卻充滿高度不確定性。

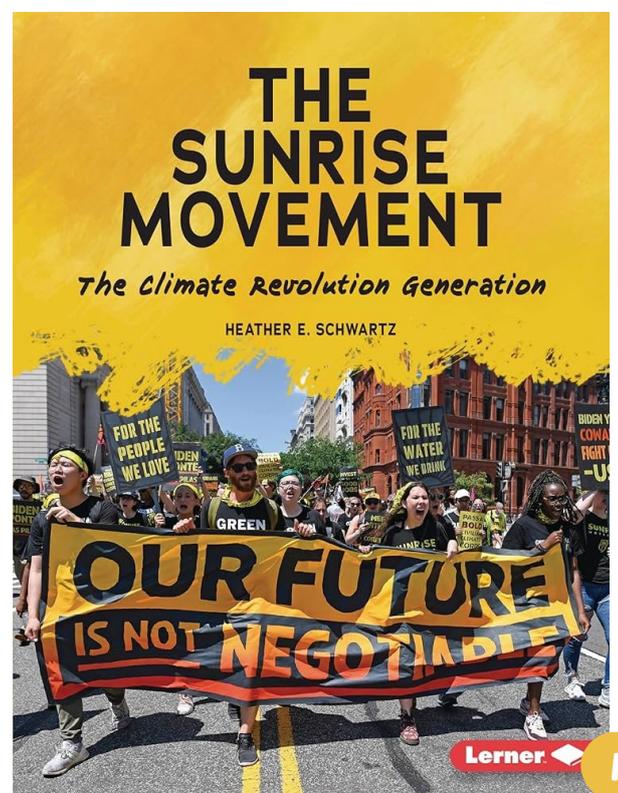
美國的日升運動 (Sunrise Movement) 間接促成降低通膨法 (Inflation Reduction Act) 的制定，儘管有一定程度的妥協。

2017年起的日升行動，推進美國氣候政策並記錄成書

美國加州大學聖地牙哥分校一群師生，透過校園綠色新政的倡議與行動，艱辛而成功的改變了該校的气候政策與作為。因為是公立大學、因為尊重師生的抗議、因為懷抱公共利益的理想，最終達到一定效果的脫碳。這是一群有決心，有堅定意志的公民，改變一個大學的故事。

這樣的故事，是不是也有可能在台灣的大學內發生？取消以化石燃料（即使是天然氣）的供電、從學術部門到行政部門都願意攜手做出改變？

這個故事還沒完結。



改變高碳的供電之後，接下來就是切斷學校與化石金融的聯繫——撤資。氣候運動越來越關注化石燃料公司如何通過捐贈和研究夥伴關係與大學建立關係，尤其是在美國。如果能夠讓金額龐大的校務基金遠離化石燃料投資，就可以削減化石燃料的影響。具體的作法就是要求「透明」——揭露投資金額與詳情，包括捐助或合作研究等。

最後就是教育的改變。

這群有心的師生認為，氣候危機教學必須超越簡單地教授全球變暖的物理科學基礎，還要涵蓋心理-社會-政治的議題，例如21世紀化石燃料行業如何系統性地扭曲科學、誤導公眾並影響政治制度的40多年歷史和氣候正義問題的成因與演進。

地球氣候系統的持續破壞不只是一個需要解決的技術問題，更是一個深深植根於社會和經濟結構的系統性問題，迫使所有人都必須面對的挑戰。

從今年秋季開始，加州大學聖地牙哥分校正在實施Jane Teranes氣候變遷教育要求 (Jane Teranes Climate Change Education Requirement, JTCCER) ，該計畫旨在確保校園所有專業的本科生有能力了解和應對氣候變遷。

新的畢業要求是以已故的珍·泰拉內斯 (Jane Teranes) 的名字命名的，她是斯克里普斯海洋學研究所深受愛戴的教學教授，也是加州大學聖地亞哥分校氣候教育的倡導者。這對加州大學而言是一個重大的教學變革。

加州大學迄今為止，仍持續使用壓裂甲烷供電、也繼續與支持化石燃料產業的金融業者往來，小草們 (綠色新政聯盟) 的努力尚未成功，「有志者應該繼續努力」。

一個沒有化石燃料污染的校園，UCSD 還在奮鬥！

樹木揭示氣候驚喜：樹皮中的微生物 清除大氣中的甲烷

根據7月24日發表在《自然》雜誌上的一項研究指出 (Global atmospheric methane uptake by upland tree woody surfaces)，樹皮表面在清除大氣中的甲烷氣體方面發揮著重要作用。

雖然長期以來人們都知道樹木可以透過去除大氣中的二氧化碳而有益於氣候，但這項新研究揭示了令人驚訝的額外氣候益處。隱藏在樹皮中的微生物可以吸收大氣中的甲烷 (一種強大的溫室氣體)。

由伯明罕大學領導的國際研究小組首次表明，生活在樹皮或木材本身中的微生物正在清除大氣中的甲烷，其規模等於或高於土壤。他們計算出，這項新發現的過程使樹木對氣候的整體效益比之前想像的要高出10%。

自前工業時代以來，甲烷對全球暖化造成了約30%的影響，目前排放量的成長速度比20世紀80年代，有紀錄以來的任何時候都要快。

科學家指出，甲烷分子與氫氧基自由基 (OH) 發生反應，氫氧基自由基是「對流層中的主要化學清除劑」，可控制對流層中大多數氣體的大氣壽命。這種將甲烷氧化過程把大氣甲烷破壞，產生水蒸氣和二氧化碳。雖然大氣甲烷的濃度因此降低，但產生的水蒸氣和二氧化碳會把輻射強迫提高，兩者是全球暖化中影響更大的溫室氣體。

另外的甲烷吸收則是土壤，土壤中充滿了吸收氣體並將其分解，以用作能源的細菌。土壤曾被認為是唯一的陸地甲烷匯，但研究人員現在表明，樹木可能同樣重要，甚至更重要。



研究的首席研究員、伯明罕大學的文森高奇教授表示：「我們認為樹木對環境貢獻的主要方式是透過光合作用吸收二氧化碳，並將其儲存為碳。然而，這些結果，展示了樹木提供重要氣候服務的非凡新方式」。

「2021年在COP26氣候變遷高峰會上推出的《全球甲烷承諾》旨在到2030年末將甲烷排放量減少30%。我們的結果表明，種植更多樹木和減少森林砍伐肯定是實現這一目標的重要組成」。

在這項研究中，研究人員調查了高地熱帶、溫帶和北方森林樹木。具體來說，他們對亞馬遜和巴拿馬的熱帶森林；英國牛津郡威瑟姆森林的溫帶闊葉樹；和瑞典的北方針葉林等進行了測量。

研究團隊說，熱帶森林的甲烷吸收最強，可能是因為微生物在溫暖潮濕的條件下繁衍生息。平均而言，新發現的甲烷吸收能力使溫帶和熱帶樹木帶來的氣候效益增加了約10%。

此外，研究團隊利用雷射掃描方法量化了全球森林樹皮的總表面積，初步計算表明，樹木對全球的甲烷貢獻總量在24.6-49.9 Tg（百萬噸）之間。

這填補了了解全球甲烷來源和匯的巨大空白。

樹形分析還表明，如果將世界上所有樹木的樹皮全部平放，其面積將等於地球的陸地面積。「樹木的木質表面為地球上的生命與大氣相互作用的方式增加了第三個維度，這個第三個維度充滿了生命，也充滿了驚喜，」牛津大學的合著者亞德溫德·馬利說。

高奇教授和伯明罕的同事現在正在準備一項新的研究計劃，以查明森林砍伐是否導致大氣中甲烷濃度增加。他們希望更多地了解微生物本身吸收甲烷的機制，並將研究是否可以增強樹木去除大氣甲烷的能力。



氣溫愈高，樹木排碳更多

最近的研究發現了令人震驚的發現，即樹木透過儲存二氧化碳來「呼吸」和應對氣候變遷的能力正在減弱。

與先前的看法相反，在溫暖和乾燥的氣候中，樹木難以吸收二氧化碳，這對我們緩解全球暖化的努力構成了嚴重威脅。

令人震驚的現實：樹木正在「咳嗽」——排出二氧化碳。

賓州州立大學地球科學助理研究教授、該研究的主要作者馬克斯·勞埃德（Max Lloyd）闡明了這一令人擔憂的趨勢。「在溫暖、乾燥的氣候下，樹木本質上是在咳嗽而不是呼吸。它們向大氣中排放的二氧化碳遠多於涼爽、潮濕條件下的樹木」，他解釋道。

樹木通常透過光合作用從空氣中去除二氧化碳，並利用它來生長，簡單講，二氧化碳是植物的食物。

然而，高溫和有限的供水等壓力條件會引發稱為光呼吸的逆過程，樹木將二氧化碳釋放回大氣中。

賓州州立大學的研究小組透過對全球樹木組織數據的全面分析，發現在溫暖的氣候下，光呼吸速率高達兩倍，特別是在缺水的情況下。

當白天平均溫度超過約華氏68度（攝氏20度）時，這種反應就會開始發生，並隨著溫度的升高而加劇。

光呼吸 (Photorespiration)

是指植物細胞消耗氧氣，產生二氧化碳，以及其所需能量物質的過程。過去認為在高氧氣濃度情況下，光呼吸效率會增加。新的研究認為，植物缺水、高溫時，也會增加光呼吸效率，排出更多二氧化碳。



重新思考植物在固碳中的作用

這項發現挑戰了關於植物在碳封存中的作用的廣泛假設。

「我們已經打破了這一重要循環的平衡。植物和氣候有著千絲萬縷的關係。大氣中二氧化碳的最大消耗是光合作用生物」，勞埃德指出。

「這是大氣成分的一個大旋鈕，因此這意味著微小的變化會產生很大的影響」。

據美國能源部稱，目前，植物和樹木每年吸收人類活動排放的二氧化碳的約25%。然而，勞埃德警告說，隨著氣候變暖，特別是在水資源變得稀缺的情況下，這一比例可能會下降。

勞埃德強調了一個重要的權衡。

他解釋說：「當我們考慮氣候未來時，我們預測二氧化碳含量將會上升，這在理論上對植物有利，因為這些是它們呼吸的分子」；「但我們已經證明，存在一些現有模型無法考慮的權衡。世界將會變暖，這意味著植物和樹木吸收二氧化碳的能力將會減弱」。

隨著氣候不斷變化，這項研究強調需要採取更細緻的方法來理解植物與大氣之間的複雜關係，指導未來更有效的氣候行動。

完整的研究發表在《美國國家科學院院刊》，請參見「Isotopic clumping in wood as a proxy for photorespiration in trees」報告。

什麼？森林不再是碳匯，而是碳源？

美國農業部的一份令人震驚的報告預測，到2070年，美國森林釋放的碳將大大超過其儲存的碳。

專家表示，除阿拉斯加以外，美國的森林在五年內每年將不再吸收1.5億噸碳。這些碳相當於約40座燃煤電廠的排放量。

報告說，要了解碳匯為什麼會成為碳源，必須考慮健康森林的生命週期，樹木變好，新變舊，年輕變老，死亡，本可為新的樹木騰出空間。但如今，在北美，沒有足夠的幼樹被種植和生長。

這意味著成熟的森林（老林）正在超過年輕的森林，而年輕的森林更有可能因野火、乾旱或風暴等氣候影響而被砍伐或殺死。

樹木整體向老樹齡的轉變意味著，未來美國森林的死亡可能會超過其生長速度。

實際上，這將使得森林從碳吸收者變成碳排放者。

老樹的碳總量最多，但達到一定大小後，它們的生長速度似乎變慢了。另一方面，幼樹會迅速吸收碳來生長。

這可能意味著，如果未來年輕的樹木減少，美國森林每年吸收的碳就會減少。

種植新森林有助於解決樹木老化問題，但空間有限且受到產業利益的激烈爭奪。

過去，一些科學家建議砍伐舊森林，為年輕森林讓路，但正如美國農業部（USDA）專家所指出的那樣，這種方法是基於過時的科學。

古老的森林生長緩慢，但一些新的證據表明，它們仍然繼續以遠遠超過年輕森林的速度固碳。



如果我們移除這些以前未受干擾且完整的生態系統，我們很可能會搬石頭砸自己的腳。

它們為我們提供了廣泛的生態系統服務，例如全球養分循環、防止侵蝕、提高水和空氣品質、穩定當地天氣條件以及為野生動物（包括農作物所依賴的傳粉媒介）提供棲息地。

大樹儲存的碳可能比想像的還要多，而砍伐它們（取決於它們的使用方式）可能會再次將所有這些排放物釋放到大氣。

美國農業部的報告警告說：「森林提供社會所依賴的商品和服務的能力將在未來50年受到挑戰」。

今年4月，美國林業局宣布了一項保護聯邦管理森林中的老樹不被砍伐的途徑。但目前政府仍允許砍伐這些樹木。這還只是公共土地上的樹木。美國的大部分森林為私人所有。

美國農業部報告中指出：「全國範圍內估計有960萬個家庭擁有森林，他們控制的林地比任何其他所有權類別都多（39%，不包括阿拉斯加內陸地區），但大多數人沒有書面的森林管理計劃，也沒有收到森林管理建議」。

更令人沮喪的是，聯邦管理的森林的管理方式也威脅到這些寶貴生態系統的未來。今年六月，美國林務局宣布計畫允許將工業產生的碳廢棄物傾倒在國家森林中。未來會不會因為總統更易，而變本加厲，令人擔憂。

「我們的國家森林中不存在只對污染行業有利的碳捕獲騙局。政府應該廢除這一規則，並制定一項保護成熟和古老的森林和樹木的規則」。

如果美國想要在2050年實現目前的淨零排放目標，就必須從大氣中清除與其排放的碳一樣多的碳。如果沒有吸收碳的森林，做到這一點將極為困難。特別是當它們從幫助變成障礙時。



Forest Service
U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE

GTR-WO-102 | July 2023