

臺灣森林芬多精釋出量監測及其功效 ——以柳杉為例

◎國立臺灣大學森林環境暨資源學系·林群雅、張上鎮 (peter@ntu.edu.tw)

◎行政院農委會林業試驗所·陳盈如

◎國立臺灣大學實驗林管理處·鄭森松

前言

科技快速發展，現代人的物質生活品質雖然大幅地提升，不過卻也因此更為忙碌和緊張，若沒有適當的舒緩壓力，長此以往勢必影響人體健康。有鑑於此，臺灣在過去幾十年來努力推廣森林浴，鼓勵社會大眾在閒暇之餘到森林裡遊憩、休息，透過吸入新鮮空氣及芬多精(Phytoncides)來放鬆心情、舒緩壓力，也讓身體更為健康。這些年來，在生態旅遊的推動下，森林浴在亞洲國家(臺灣、日本及韓國等)已蔚為風潮，且陸續有研究證實森林浴及一些芬多精的成分確實對人體健康有正面功效。

有關芬多精的研究並不多，因為林木釋出的芬多精很少，加上釋出後立即被空氣稀釋，導致芬多精在森林空氣中的濃度很低，因此，非常不容易直接收集空氣中的芬多精來分析它的化學組成分，常見的替代方法是先利用蒸餾法萃取林木葉子或木材的精油，

再分析它們的化學成分，藉此瞭解芬多精的組成分。然而，精油畢竟是透過加熱萃取所得之產物，並不能完全代表林木自然釋出的芬多精。另一方面，欲瞭解實際漫步於森林中，我們所吸入的芬多精具有何種功效，則需先瞭解林木芬多精的化學組成分以及它們的釋出量。臺灣對於本土森林中各樹種立木芬多精成分一直缺乏具體的研究，更遑論深入。有鑑於此，筆者在國內著名之森林風景遊樂區—溪頭柳杉(*Cryptomeria japonica*)森林中，利用氣體採樣袋(Tedlar bag)將柳杉葉子罩住，以避免葉子所釋出的芬多精被空氣稀釋，以此方法收集柳杉立木葉子釋出之芬多精，並分析它的化學組成分，同時，我們也萃取分析葉子精油的組成分，藉此瞭解芬多精與精油的差異。另外，筆者更進一步監測柳杉葉子釋出芬多精的動態變化，並估算溪頭地區柳杉芬多精各月份的釋出量，期望社會大眾能對森林浴有更深一層的瞭解。



綠意盎然的溪頭柳杉林。(張資正 攝)



利用採樣袋圍封收集柳杉立木葉子所釋出的芬多精。
(林群雅 攝)

芬多精採樣及成分分析

由於森林空氣中芬多精的濃度很低($\text{ng/L air, ng} = 10^{-9} \text{ g}$)，不易直接分析，因此，為了分析柳杉立木葉子自然釋出之芬多精，筆者嘗試建立現地圍封採樣技術(*in situ* Sampling with enclosure technique)，即利用透明的採樣袋將林地上健康柳杉的葉子罩住，藉此避免芬多精濃度稀釋以利分析，同時，為了使葉子維持正常的生理機能 and 釋出芬多精，試驗中持續送入乾淨的空氣到採樣袋內，讓空氣保持流動，藉此避免袋內溫度過高並維持正常二氧化碳濃度，最後，我們將袋內混有柳杉芬多精的空氣抽出並以Tenax TA吸附劑收集，再將吸附劑帶回實驗室以熱脫附儀、氣相層析火焰離子偵測器(GC-FID)及氣相層析質譜儀(GC-MS)分析其化學組成成分及含量。

透過現地採樣袋圍封的方法，筆者成功的收集柳杉立木葉子所釋出的芬多精，並由分析結果得知，柳杉芬多精都是由萜類化合物(Terpenoids)所組成，其中，單萜類、倍半萜類及雙萜類化合物各佔了38%、21%及1%，單萜類化合物主要包括Sabinene (20%)、 α -Pinene (6%)及 β -Myrcene (5%)；倍半萜類化合物則有*trans*- β -Farnesene (14%)及Cedrol (5%)；雙萜類化合物僅有*ent*-Kaurene (1%)。

葉子精油成分

一般社會大眾提到芬多精的時候，很容易直接聯想到精油，因此，對於芬多精的認知其實都是建立在葉子或木材精油組成成分上，然而，精油的組成真的與森林空氣中芬多精一樣嗎？為了釐清此問題，筆者在收集

完柳杉立木葉子所釋出的芬多精後，同時也以水蒸餾法萃取柳杉葉子精油，並分析其組成成分。分析結果顯示，柳杉葉子精油是由37%單萜類化合物、28%雙萜類化合物及14%倍半萜類化合物所組成，單萜類化合物主要包括Sabinene (12%)、Terpinen-4-ol (8%)、 α -Pinene (5%)及 γ -Terpinene (5%)；倍半萜類化合物則有 β -Elemol (7%)及Cedrol (7%)；雙萜類化合物僅有*ent*-Kaurene (28%)。相較於芬多精的組成，我們可以發現，精油與芬多精的化學組成確實不同，由於精油萃取過程需要加熱，因此，精油含有較多常溫下不易揮發的成分，如：*ent*-Kaurene在精油中的含量 (28%)明顯比芬多精中 (1%)多。綜合上述試驗結果得知，精油的組成成分並無法代表立木葉子所釋出的芬多精。

柳杉芬多精成分的功效

植物生長過程中所釋出的生物性有機揮發化合物(Biogenic volatile organic compounds, BVOCs)可吸引昆蟲或動物來幫助傳遞花粉或散布種子，藉此達成繁衍後代的目的。此外，BVOCs成分(如： α -Pinene與Sabinene)可作為抗氧化劑與臭氧反應，避免葉子過度氧化而受傷，或增加植物的耐熱性與維持正常光合作用，幫助植物適應環境變化；此外，植物釋出的BVOCs成分(如： α -Pinene或*trans*- β -Farnesene)還可作為植物的防禦武器，這些成分具有忌避性(Repellency)或毒殺性(Toxicity)的效果，讓食草動物(Herbivores)或昆蟲喪失食慾，以降低生物對植物所造成的傷害。

由上述得知，在植物生長過程中，BVOCs扮演著重要角色，不僅如此，其中一類成分(即芬多精)對人體健康具有一些正面的功效。日

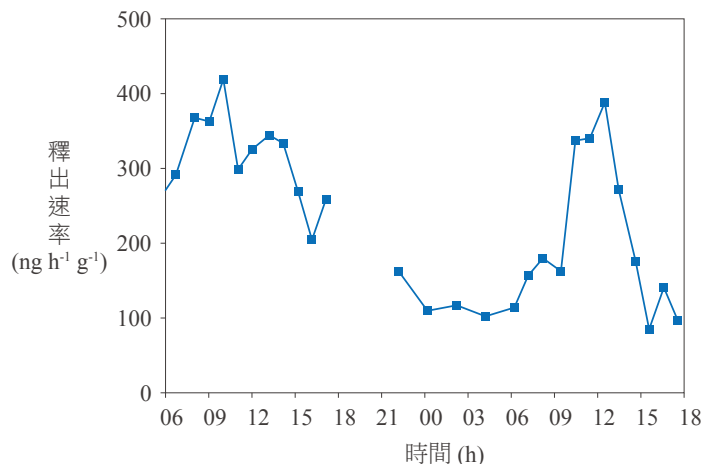


圖1 柳杉立木葉子芬多精主成分Sabinene釋出速率的動態變化。

本學者曾評估柳杉木造建築物所釋出的芬多精成分對人體生理的影響，試驗結果顯示，受試者吸入芬多精成分可以有效的達到放鬆效果。柳杉葉子芬多精成分中含有Cedrol，研究結果也顯示，受試者吸入Cedrol會影響自主神經系統活性(Autonomic activity)，它會使交感神經活性(Sympathetic activity)下降、副交感神經活性(Parasympathetic activity)上升，同時其心律、收縮壓、舒張壓及呼吸速率(Respiratory rates)均會降低(Dayawansa 2003)，顯示吸入柳杉芬多精可有效放鬆受試者的緊張狀態；另一項研究結果亦證實，吸入Cedrol會影響局部大腦血流量(Regional cerebral blood flow)，Cedrol亦可經由中樞神經系統調節自主神經系統活性(Hori et al. 2012)；所以柳杉葉子所釋出的Cedrol不但怡人芳香，更具有使人鎮靜、舒適、鬆弛之功效。雖然柳杉芬多精中的成分Cedrol已被證實對人體健康有正面效果，但其它主要成分(如： α -Pinene與Sabinene)的效果則尚未明瞭，值得未來更進一步研究予以證實。

芬多精的釋出速率及其動態變化

為了瞭解柳杉立木葉子釋出芬多精的速率，筆者於現地採樣試驗結束後，將採樣袋罩住的柳杉葉子帶回實驗室秤其絕乾重量；此

外，Tenax TA吸附劑利用TD-GC-FID定量分析後，可得知芬多精成分的重量，因此，可以計算出芬多精的釋出速率，以每克絕乾重葉子每小時所釋出的成分重量表示，即 $\text{ng h}^{-1} \text{g}^{-1}$ 。

由試驗分析結果得知，柳杉立木葉子上午9時至10時，芬多精主成分Sabinene的釋出速率為 $419 \text{ ng h}^{-1} \text{g}^{-1}$ ，而夜間10時至12時，釋出速率明顯變慢，為 $110 \text{ ng h}^{-1} \text{g}^{-1}$ ，顯示柳杉葉子並不是以固定的速率釋出芬多精，因此，筆者連續2天測量芬多精的釋出率，以瞭解其動態變化，監測結果如圖1所示，芬多精主成分Sabinene的釋出速率呈規律性的變化，也就是說，Sabinene釋出速率在清晨6點開始慢慢地加快，直至中午釋出速率達到最高，然後再逐漸下降至晚上6點最低。

溪頭地區芬多精釋出量之估算

由於柳杉芬多精釋出速率呈現規律變化，進一步研究探討，得知它與溫度變化有關，溫度上升會加快柳杉葉子釋出芬多精的速率，由非線性迴歸分析得知，兩者間的相關係數為0.837，並且可用數學式 $[E = \alpha \times \exp(\beta \times T)]$ 表示，其中，E為釋出速率，T為袋內溫度， α 與 β 為係數。

利用柳杉葉子芬多精釋出速率與溫度間

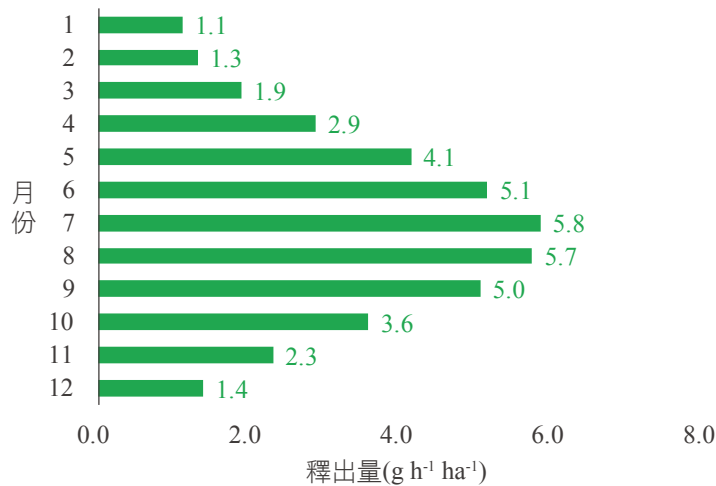


圖2 溪頭地區柳杉林芬多精主成分Sabinene的預估釋出量。

特有的關係，配合柳杉葉子生物量(單株柳杉葉子乾重)，可估算單株柳杉每小時芬多精主成分Sabinene的釋出量。進一步再配合溪頭的每月平均溫度資料及每公頃柳杉立木株數(tree ha⁻¹)可估算柳杉林芬多精主成分Sabinene每月釋出量。估算結果如圖2所示，一年之中，溪頭柳杉林一月的Sabinene釋出量最低(1.1 g h⁻¹ ha⁻¹)，七月最高(5.8 g h⁻¹ ha⁻¹)，其釋出量為一月的5倍；四季中以夏季釋出量最高(5.6 g h⁻¹ ha⁻¹)，其次為秋季(3.6 g h⁻¹ ha⁻¹)及春季(3.0 g h⁻¹ ha⁻¹)，而冬季釋出量則最低(1.3 g h⁻¹ ha⁻¹)。

綜合以上結果得知，夏季七、八月份是柳杉芬多精釋出量最多的季節，也是進行森林浴的最好時機，此時到溪頭柳杉林走走(照片3)，不僅能避暑、解熱，同時也能輕鬆呼吸有益身心健康的森林芬多精。

結語

利用採樣袋罩住柳杉葉子，可以成功收集到葉子所釋出的微量芬多精，由此證實芬多精的化學組成成分與精油不同。由監測芬多精釋出速率與溫度之間的關係，可瞭解溫度愈高，芬多精的釋出量愈多，因此，森林浴較理想的時機應在夏天。



漫步於柳杉林中享用林木釋出的芬多精。(張資正 攝)

未來可利用本研究所建立的採樣與分析方式研究臺灣森林主要林木所釋出的芬多精，根據它們的組成分及其功效，將臺灣各種純林與混合林歸類成不同療癒效果的森林，提供社會大眾選擇適合自己的森林進行森林浴。此外，可再依據森林氣候資料預估森林芬多精的釋出量，建議最佳森林浴之時段，使森林療癒獲得最佳之效果。(感謝科技部提供研究經費及臺大實驗林管理處葉永廉主任及洪志遠研究助理協助試驗。)(本文之研究數據及部分結果已發表於 Atmospheric Environment 2015, 122: 163-170)⚠