

研究報告

銀合歡廢材製炭之品質分析及高附加價值產品開發研究

黃國雄^{1,3}，李金梅¹，何振隆²，余欣怡¹

¹ 林業試驗所森林利用組；² 林業試驗所木材纖維組；³ 通訊作者 E-mail: gshwang@tfri.gov.tw

[摘要] 銀合歡為外來入侵之木本植物，對南台灣之海岸景觀與生態環境造成莫大之危害，墾丁國家公園管理處為了海岸林之復舊而將其伐除，由於樹形彎曲且直徑小，在加工利用上受到限制。本研究以該等銀合歡為原料製造木炭，藉以達到木質廢棄物資源化與碳保存之目的。木炭製造完成後於土窯內取出不同炭化溫度之木炭進行比表面積、調濕能與吸濕性等測試；並於製造過程中收集木醋液，檢討煙囪口溫度對其收集量與收集速率之影響，同時亦對不同煙囪口溫度所收集之木醋液進行基本性質測試與成分分析。試驗結果得知銀合歡木炭之比表面積隨炭化溫度之升高而增大，調濕能隨炭化溫度增高而降低，炭化溫度 750°C 以上之銀合歡木炭具有良好之吸濕性。木炭製造過程中，銀合歡進窯重量達 2334 kg 時，可收集木醋液 281.4kg，為進窯重量之 12.04%，平均每小時約可收集 5 kg，而大部份之收集量集中於煙囪口溫度 89°C 以下，佔總收集量 67.54%，木醋液比重與 pH 均隨煙囪口溫度之上升而增加，酸度與灰分均隨煙囪口溫度之上升而降低，煙囪口溫度 80°C 以下之焦油含量較其他溫度者明顯減少，不同煙囪口溫度收集之銀合歡木醋液成分中均以酸類最多，酚類次之，醇類再次之，而中性物質則最少。

關鍵字：銀合歡、炭化、木炭、木醋液

Study on Quality Analysis and Development of the High Value-added Products for Charcoal Made from *Leucaena leucocephala* Waste Wood

Gwo-Shyong Hwang^{1,3}, Chin-Mei Lee¹, Chen-Lung Ho² and Hsin-Yi Yu¹

¹Division of Forest Utilization, Taiwan Forestry Research Institute; ²Division of Wood Cellulose, Taiwan Forestry Research Institute; ³Corresponding author E-mail: gshwang@tfri.gov.tw

ABSTRACT In a coastal forest restoration project supported by Kenting National Park charcoal were made from burnt wood of *Leucaena leucocephala* for conservation of natural resource and utilization of alien invasive species. A traditional earthen kiln was used to make the charcoal. The temperatures of the carbonization and chimney in the kiln were monitored using K-type thermocouple. Charcoals, taken from various vertical positions in the kiln, were sampled to study properties such as specific surface area, humidity control capacity and hygroscopicity. Quantities of the collected wood vinegar were measured periodically. The specific gravity, pH, acidity, tar content and component analysis of the wood vinegar were tested for the samples collected at different chimney temperatures. The specific surface area of the wood charcoal increased with increasing carbonization temperature, however, the humidity control capacity of the wood charcoal



decreased with increasing carbonization temperature. The charcoal showed better hygroscopicity over others when the carbonization temperature more than 750 °C. Yield of the wood vinegar was 12.04% during the charcoaling process when chimney temperatures were below 148°C. The quantity of wood vinegar collected at chimney temperatures below 89°C made up 67.54% of the total. The Specific gravity and pH of the wood vinegar increased with an increase in chimney temperature. The acidity and ash content of the wood vinegar decreased with an increase in chimney temperature. The wood vinegar with the least tar content was found at chimney temperature 80°C. The compounds concentrations of acids, phenols, alcohols, neutral compounds ranged 45.5-55.7%, 28.6-32.8%, 9.8-13.9%, 5.7-8.2%, respectively, for wood vinegar collected at different chimney temperatures.

Keywords: *Leucaena leucocephala*, carbonization, wood charcoal, wood vinegar.

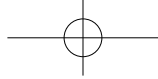
前言

銀合歡(*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit)屬含羞草科之直立喬木或灌木，為台灣唯一外來入侵之木本植物，自引進後不僅生長快速，萌芽力強，台灣各地皆可見到其蹤跡。尤其以其熱帶樹種之屬性在最南端之恆春半島分布最廣，嚴重威脅墾丁國家公園內原生动物的生存，因此銀合歡入侵監測成為墾丁國家公園的重要保育課題(金絮之等 2007)。根據呂明倫等人(2009)就恆春半島銀合歡入侵分佈之動態與區位分析之研究結果顯示，2007年銀合歡之面積較1988年呈現增加的趨勢，且入侵的規則性多偏好於低地、緩坡，以及近道路與農地等區域，大多係人為干擾明顯之區域。馮郁筑與陳朝圳(2008)於墾丁國家公園銀合歡植群之光譜反射特徵研究中，指出銀合歡與其伴生樹種間(相思樹、血桐、木麻黃、構樹)之反射光譜有顯著性差異，且以秋季與冬季為區分銀合歡與其他伴生樹種之最佳季節，其研究結果可供銀合歡入侵之衛星影像監測研究參考。

木炭係以再生資源之木材為原料，與煤炭、石油不同屬永續資源。木炭製造時體積雖然收縮約三分之一，但仍保有與木材相同之組織構造，在橫斷面上亦呈現出導管或假導管之孔洞，其直徑為數十微米，稱之為大孔。而在炭化即熱分解之過程中，大部分之氫元素與氧元素脫離木材，殘留於木材中大部分為碳元素，在其縮合與重排之過程中，於細胞壁上產生約為大孔直徑數千分之一至萬分之一的小

孔，小孔直徑約1-5 nm，為木炭之進行物理吸附之主要場所，並使得木炭具有卓越之調濕、除臭與淨化水質等功效。又木炭之基本構造為微小碳結晶不規則排列之無定形碳，其結晶程度隨炭化溫度之升高而增加，並形成結晶程度較大之「石墨構造」，其層與層間存在游離之 π 電子，使得木炭電阻降低而具有良好之導電性(炭やきの会 2004)。此外，在熱分解之過程中，由氫與氧組成含有各種不同官能基之化合物殘留於木炭表面，使得木炭具有化學吸附之效果。由上可知木炭除了作為燃料使用外，亦具有鮮為人知之機能性。石原茂久(2002a, 2002b)提出木炭作為機能性碳素材料新素材之利用，除了作為調濕材料之外，高溫炭化具高導電性之木炭，可作為防靜電材料、導電性材料、燃料電池材料與電磁波遮蔽材料等，其用途非常廣泛。

於木炭製造過程中於炭化初期煙囪口溫度80-150°C時，由木材熱分解所產生之氣體與水蒸氣等煙霧，由煙囪口排出後經收集、冷卻與凝結成滴而得木醋液。一般而言，木醋液中含有多種化學物質(本田富義與清水雅子 2008)，主要為醇類、酸類、酚類與中性物質(Yatagai *et al.* 1988)。因具有特殊之燻香味，可作為燻製食品之用(城代進等 1989)。木醋液在農業之利用非常廣泛，如作為畜舍之消臭劑、飼料添加劑、土壤改良資材、病害蟲防除輔助劑與作物生長促進劑等(岸本定吉 1999)。市川正與太田保夫(1982)曾檢討木醋液對稻苗生育之影響，認為木醋液可促進稻苗生長並影響其



黃國雄，李金梅，何振隆，余欣怡

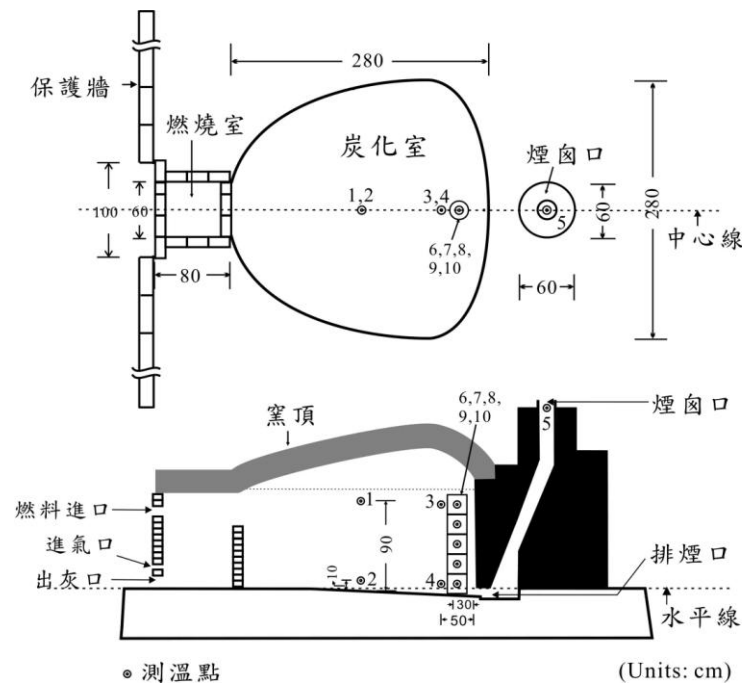


圖 1. 土窯之形狀尺寸與炭化溫度之測定點(No. 1-10)

生理作用。黃山內與林傳琦(2002)認為利用農業生產之有機廢棄物製作堆肥時，添加少量之木醋液可增加有機肥料之肥效。

墾丁國家公園為了海岸林之復舊，須進行入侵外來種銀合歡之伐除。由於銀合歡徑級大都低於 10 cm，在加工利用上受到極大之限制，若砍伐後棄置於林地除妨礙海岸林復育作業外，腐朽後分解成 CO₂ 並釋放至大氣中，又可能對日受矚目的 CO₂ 減量問題帶來負面之評價。本研究以銀合歡伐除材為原料製造木炭，除了可達到固定碳素並減少 CO₂ 排放之效益外，亦可發揮木炭之調濕、除臭與淨化水質等效果；此外，木炭製造過程中之副產物木醋液，亦可作為農業之新資材。本研究更進一步以墾丁地區之銀合歡為原料，利用土窯製造之木炭保持原有形狀與外觀之特色，配合當地之觀光旅遊業並輔導業者加工成高附加價值之炭藝品、裝飾品、紀念品或日常用品，達到提高銀合歡利用價值之目的。

材料與方法

一、試驗材料

試驗材料係墾丁國家公園管理處為海岸林復舊所伐除之銀合歡，裁斷成長度 1 m，直徑以 5-7 cm 者最多(66%)，平均容積比重為 0.61，進窯時平均含水率為 43.21%。

二、製造木炭與炭化溫度測定

木炭製造係使用土窯，其形狀與尺寸如圖 1 所示，進窯時將上述之銀合歡材料由後往前緊密直立排列，其上與窯頂之空間則橫向擺置。於進窯作業中，採用直徑 3.2 mm 之 K type 熱電偶，如圖 1 所示，於窯內設置測溫點共計 5 處，分別於窯內中央位置(如測溫點 1 與 2)與窯內後方距排煙口 50cm(如測溫點 3 與 4)，離地面 10 cm 與 90 cm 處，煙囪口溫度之測定點為煙囪口下方 5 cm 之中心處(如測溫點 5)。為探討土窯內炭化溫度對木炭性質之影響，本研究另外使用 5 個直徑與高均為 20 cm 之有孔不銹鋼圓筒，其孔徑為 0.5cm、孔距為 1.5 cm，其內置滿長度 20 cm 之銀合歡材，並於炭化室後方距排煙口 30 cm 處，將圓筒垂直堆疊成高度 1 m(由上而下稱之最上層、第四層、第三層、

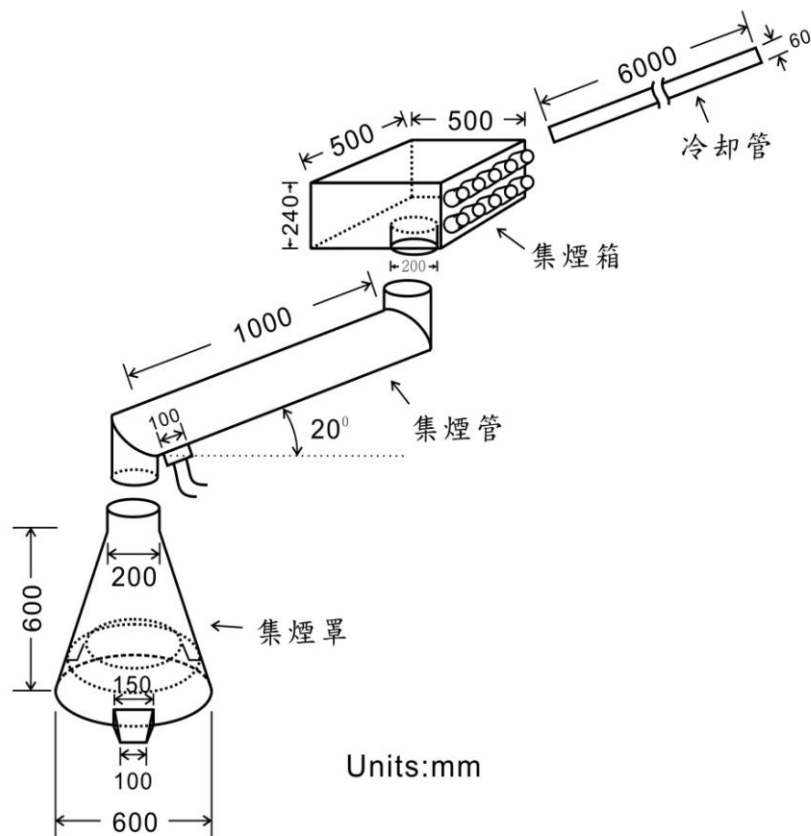
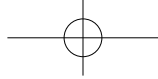


圖 2. 木醋液之收集裝置

第二層與最下層)，並以不銹鋼圓條圍繞固定，每層圓柱筒之中央位置亦以熱電偶設置測溫點(如圖 1 測溫點 6 至 10)。

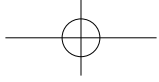
完成進窯作業後以耐火磚砌築燃燒室與窯門，經 3 天之預熱後於燃燒室添加大量燃料並將煙囪口敞開，引燃窯內上層之試材後，利用兩磚塊相距 4 cm 局部蓋住煙囪口，適度縮小開口。隨窯內炭材自發炭化之進展使窯底溫度明顯上升並完成一次炭化後，為提高木炭之品質，須進行二次炭化即精煉作業，遂將煙囪口與進氣口逐漸放大至全開，引入大量空氣使窯內溫度迅速上升。約經 4 天炭化至窯內呈現炙熱之紅光時，則進行封窯作業。再經一週之冷卻至窯內溫度下降後，即可進行出炭作業。

三、木炭比表面積之測定與吸濕試驗

自窯內溫度測定點 6-10(如圖 1 所示)，取出不同炭化溫度之木炭，進行比表面積之測定、調濕能與吸濕性等試驗。

將木炭試樣粉碎後，篩取粒徑 36 mesh-60mesh 之粉末，取約 5 g 重試樣置入秤量瓶，經 105°C 烘箱中乾燥 24-48 小時後，再精秤約 1g 之絕乾粉末至小數點第 4 位，使用 PMI Automated BET Sorptometer BET-202A 比表面積與孔徑分析儀進行比表面積測定。

將木炭試樣粉碎後，篩取粒徑 6 mesh-24 mesh 之粉末，取約 2-3 g 試樣置入秤量瓶，經 105°C 烘箱中乾燥 24-48 小時後，精秤其絕乾重至小數點第 4 位，置入 25°C、相對溼度 50%(M50)之恆溫恆濕室中至恆重後計算其平衡含水率後，同法再置入 25°C、相對溼度 90%(M90)之恆溫恆濕室並計算其平衡含水率，調濕能係



黃國雄，李金梅，何振隆，余欣怡

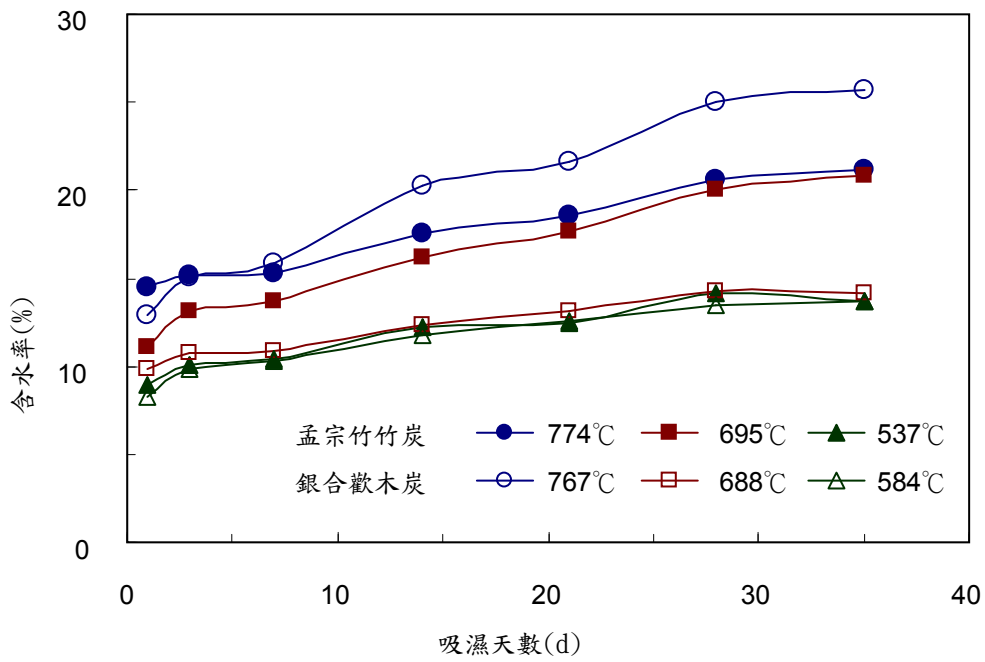


圖 3. 不同炭化溫度銀合歡木炭與孟宗竹竹炭之吸濕性

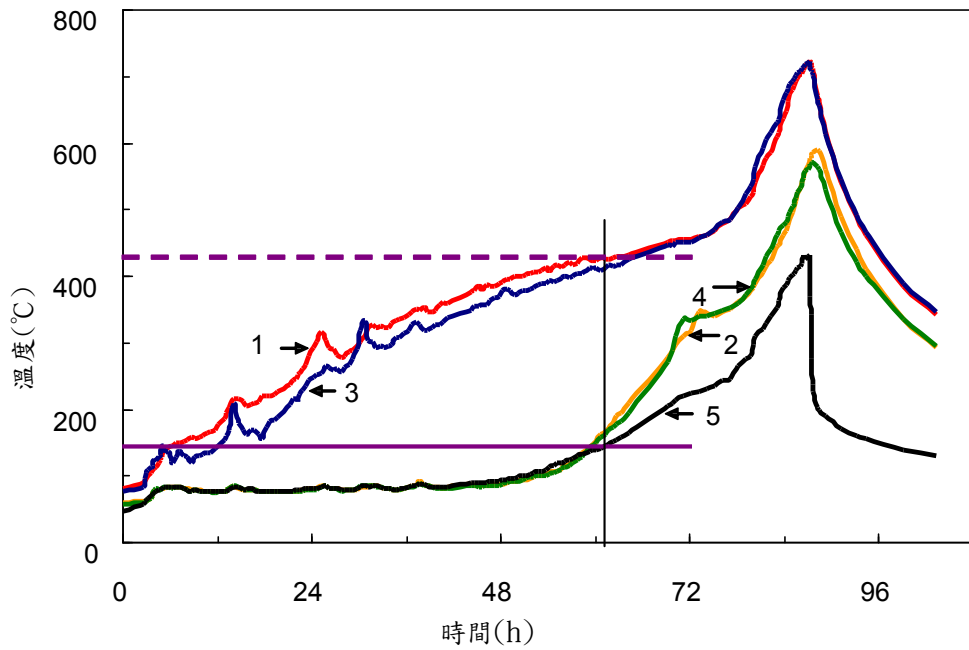


圖 4. 木炭製造過程窯內溫度與煙囪口溫度之變化(測溫點 1-4：窯內溫度，5：煙囪口溫度，如圖 1 所示)



以兩平衡含水率之差表示。為了比較之用，亦以土窯製造之孟宗竹竹炭進行相同之試驗。

同法製得之 6 mesh-24 mesh 之木炭粉末，絕乾後置入底層已盛入蒸餾水之乾燥器內，於 1、3、7、14、21 與 35 天精秤其重量，並計算其含水率。為了比較之用，亦以土窯製造之孟宗竹竹炭進行相同之試驗。

四、收集木醋液

木醋液係於煙囪口溫度 148°C 以下收集。土窯內炭化初期由木材熱分解所產生之氣體與水蒸氣等煙霧，由煙囪口排出後經不銹鋼製之集煙罩、集煙管、集煙箱與冷卻管（如圖 2）凝結後，沿管壁回流加以收集；並於一定時間收集及秤重，以計算其收集量、收集百分率與收集速率。另又分別於煙囪口溫度 80、90、100-102、120-127 與 140-148°C 收集 5 組木醋液試樣，進行基本性質與成分分析試驗。

五、木醋液之基本性質試驗

1. 比重：取一只 200 ml 之量筒倒入適量之竹醋液，再置入比重計測定之。
2. pH 值：以 pH meter 測定之。
3. 酸度：秤取 1-2 g 竹醋液於 250 ml 三角燒瓶中，再以蒸餾水稀釋 100 倍，滴入數滴酚酞指示劑，以 0.1N NaOH 溶液滴定之，並進行空白試驗，依下列算式其酸度。

$$\text{酸度}(\%) = \frac{(A - B) \times N \times 6}{S} \times 100$$

A：滴定竹醋液所用 NaOH 之 ml 數

B：空白試驗滴定 NaOH 之 ml 數

N：NaOH 之當量濃度

S：竹醋液之重量

4. 焦油率(Tar content)：秤取 1-2 g 木醋液置於坩堝內，利用本生燈加熱至木醋液呈現乾固的黑色殘渣時，測定其重量並依照下列算式計算焦油量。

$$\text{焦油率}(\%) = \frac{\text{黑色殘渣重量}}{\text{木醋液重量}} \times 100$$

5. 灰分(Ash)：精秤 1 g 木醋液置於坩堝內，放入高溫灰化爐中，設定 200°C，加熱 1 小時，秤其重量並依照下列算式計算灰分量。

$$\text{灰分}(\%) = \frac{\text{灰分重量}}{\text{木醋液重量}} \times 100$$

6. 木醋液之成分分析

木醋液成分分析係利用氣相層析-質譜儀 (Gas chromatography-Mass spectrometry) 分析，採用 HP 6890N 氣相層析儀及 5973N MSD 質譜儀，分離管柱為 BPX-70 capillary column (30 M × 250 μm × 0.30 μm)，遞載氣體為氦氣，流速為 1.0 ml/min，分流比為 1:10，注射孔溫度為 270°C，離子化電壓為 70 eV，質譜範圍 (Mass range) m/z 為 41-400 a.m.u.，分析條件與起始溫度 40°C，升溫速率為每分鐘 1.5°C，升至 46°C，而後以每分鐘 4°C，升至 209°C。成分鑑定上使用 Mass-spectra 比對，採用之 Library 為 National Institute of Standards and Technology (NIST) 及 Wiley 等，並使用標準品加以比對。

六、產品開發

為了提高銀合歡伐除材之利用價值與達到木質廢棄物資源化之目的，本研究以銀合歡木炭與木醋液為原料，進行多項產品開發。

結果與討論

一、比表面積、調濕能與吸濕性

本研究封窯時各層之最高炭化溫度由最上層至最下層(圖 1 之測溫點 6-10)，分別為 767°C、726°C、688°C、636°C、584°C。出窯後各層木炭之比表面積、調濕能與吸濕性試驗結果如表 1。另為了比較之用，亦列出類似條件之孟宗竹竹炭試驗結果。由表 1 得知兩者之比表面積均隨炭化溫度之增加而明顯增大；而無論木炭或竹炭，M50 之平衡含水率隨炭化溫度上升之趨勢均較 M90 明顯，而調濕能亦隨炭化溫度增高而有降低之趨勢。炭化溫度 700°C 以上時，銀合歡木炭之調濕能較竹炭大，而炭化

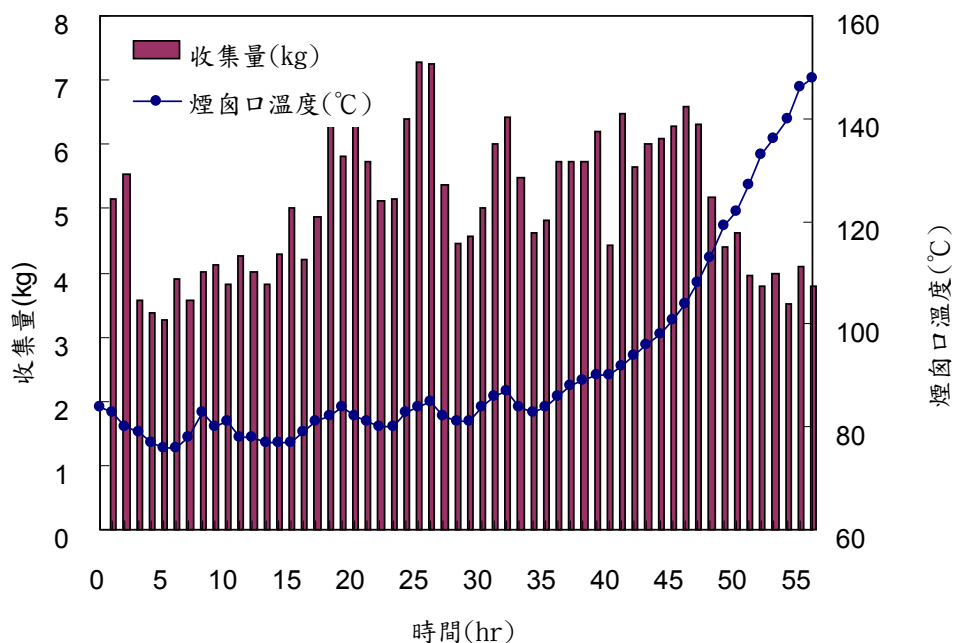


圖 5. 銀合歡木醋液之收集量與煙囪口溫度之關係

表 1. 不同炭化溫度銀合歡木炭與孟宗竹竹炭之比表面積與調濕能

炭之種類	炭化溫度 (°C)	比表面積 (m ² /g)	M50 (%)	M90 (%)	調濕能 M90-M50 (%)
銀合歡木炭	767	340.39	10.68	13.22	2.54
	726	316.68	8.96	11.29	2.33
	688	298.03	8.35	10.80	2.45
	636	226.58	6.43	9.25	2.82
孟宗竹竹炭	584	165.59	5.30	8.32	3.02
	774	369.71	12.16	14.54	2.38
	745	294.45	9.89	11.94	2.05
	695	215.27	8.01	10.59	2.58
	609	183.36	5.43	8.72	3.29
	537	67.13	4.74	8.13	3.39

M50：相對濕度 50%之平衡含水率; M90：相對濕度 90%之平衡含水率

溫度 700°C 以下時，則較竹炭小。圖 3 為不同炭化溫度銀合歡木炭與孟宗竹竹炭吸濕試驗之結果，圖中顯示銀合歡木炭經 35 天之吸濕後，炭化溫度 750°C 以上者之含水率較孟宗竹竹炭者高，炭化溫度 688°C 者之含水率較炭化溫度 695°C 孟宗竹竹炭者低，而炭化溫度 584°C 者之含水率則與炭化溫度 537°C 孟宗竹竹炭者相近。

二、木醋液之收集

一般而言，木材炭化溫度於 450°C 以上時，木質素熱分解中易產生有害之致癌物質而不宜收集木醋液，圖 4 所示為木炭製造過程窯內溫度與煙囪口溫度之變化，本研究於煙囪口溫度 148°C 時停止收集木醋液。由圖 4 得知與其相對應之窯內上層溫度(如測溫點 1 與 3)，約為 420°C，顯示本研究收集之木醋液含有害物質之機率不高。

由銀合歡木醋液之收集結果得知木炭燒製過程中，銀合歡木材進窯重量 2337kg，於煙囪口溫度 148°C 以下時之木醋液收集量為 281.4kg，其收集率為進窯木材重量之 12.04%。

木醋液收集量與煙囪口溫度隨時間之變化，如圖 5 所示。圖 5 亦顯示出木醋液收集量與煙囪口溫度之關係，由圖中得知於煙囪口溫度在 80°C 與 90°C 間變動時，每小時木醋液之收集量在 3-7 kg 變動，於煙囪口溫度達 90°C 以上時持續明顯上升，然每小時木醋液之收集量隨煙囪口溫度上升至 120°C 以上則有降低之趨勢。

表 2 所示為不同階段煙囪口溫度銀合歡木醋液之收集百分率與收集速率，由表 2 得知於煙囪口溫度 89°C 以下時，木醋液之收集時間長達 38 h，收集量 190.4 kg，其收集百分率亦高達 67.54%。其後由於煙囪口溫度上升較為快速，收集時間較短，收集百分率明顯減少，於煙囪口溫度 125°C 以上時，收集速率較低為 4.21 kg/h。

表 2. 不同階段煙囪口溫度銀合歡木醋液之收集百分率與收集速率

煙囪口溫度(°C)	收集時間(h)	收集量(kg)	收集百分率(%)	收集速率(kg/h)
≤89	38.0	190.04	67.54	5.00
90-99	6.0	34.82	12.38	5.80
100-124	6.0	33.37	11.86	5.56
125-148	5.5	23.13	8.22	4.21

三、木醋液之基本性質

不同煙囪口溫度收集木醋液基本性質之測試結果，如表 3 所示。由表中得知木醋液之比重為 1.007-1.012，隨煙囪口溫度上升而增大；pH 為 2.84-4.95，亦隨煙囪口溫度上升而增；酸度為 4.57-7.37，隨煙囪口溫度上升而有降低之趨勢；煙囪口溫度 90-127°C 之焦油含量變化不明顯，而較 80°C 與 140-148°C 者明顯增加；灰分為 0.464-0.764%，隨煙囪口溫度上升而減少。

表 3. 不同煙囪口溫度銀合歡木醋液之基本性質

煙囪口溫度(°C)	比重	pH	酸度(%)	焦油含量(%)	灰分(%)
80	1.007	2.84	6.87	0.1860	0.0764
90	1.008	3.47	7.37	0.4080	0.0664
100-102	1.009	4.08	5.70	0.4084	0.0529
120-127	1.011	4.66	5.44	0.4115	0.0499
140-148	1.012	4.95	4.57	0.2956	0.0464

四、木醋液之成分分析

不同煙囪口溫度下銀合歡木醋液之成分分析結果，如表 4 至表 7 所示。醇類成分分析結果顯示銀合歡木醋液含 13 種醇類化合物，其主

成分為 Methanol，其微量成分中之 Cyclotene 與 Maltol 等化合物，皆為香料化合物，常用於咖啡、冬瓜茶、麥茶及巧克力香料等。醇類分析結果與 Yatagai(1988)等評估五種樹木之木醋液醇類成分相似。本研究亦顯示醇類成分隨著煙囪口溫度升高而呈下降之趨勢。酸類成分分析結果顯示銀合歡木醋液含 4 種酸類化合物，分別為 Acetic acid、Propanoic acid、Butanoic acid 與 Crotonic acid，其中以 Acetic acid 含量為最高，此結果與 Matsui(2000)等與 Yatagai(1988)等評估木醋液酸類成分之結果相似。銀合歡木醋液之酸類成份之含量最高，為 45.5-55.7%，隨煙囪口溫度上升而增加(表 5)。表 6 所示為不同煙囪口溫度下之銀合歡木醋液之酚類成分分析結果，表中顯示木醋液之酚類成分種類較多，共 32 種化合物，主要成分為 Guaiacol、Phenol、Acetol、2,4-Dimethylpyridine、Syringol 與 *m*-Methylphenol 等化合物，酚類成分含量次高，為 28.6-32.8%，較酸類成分少。木醋液之中性化合物成分分析結果得知銀合歡木醋液含 9 種中性化合物主要成分為 Butyrolactone 等化合物(表 7)。此等中性化合物之含量最少，為 5.7-8.2%，此結果亦與 Matsui(2000)等及 Yatagai(1988)等評估木醋液成分之結果相似。

五、產品開發

銀合歡木炭與木醋液之產品開發，如圖 6 所示，包括銀合歡木炭除濕除臭包、銀合歡木炭手工皂、銀合歡蒸餾木醋液、銀合歡木醋手工皂、銀合歡木炭頭巾與銀合歡木炭盆景等，可配合墾丁地區之觀光旅遊業加以推廣，進而達到創造銀合歡伐除材利用價值之目的。除濕除臭包使用時應先將外包裝之塑膠拆開後，直接置於冰箱、衣櫥、鞋櫃與汽車等之內部，使用約 3-6 個月後，經陽光曝曬可重複使用；木炭或木醋手工皂可作為居家之清潔用品；蒸餾木醋液可作為浴廁與寵物棲所之除臭、蚊蟲忌避與髮膚濕潤之用。木炭頭巾係將木炭粉碎至 120 mesh 後，與彈性樹脂膠合劑混合調配，再

表 4. 不同煙囪口溫度下之銀合歡木醋液之醇類成分分析結果

滯留時間	化合物	相對含量 (%)				
		80°C	90°C	100-102°C	120-127°C	140-148°C
2.108	Methanol	9.7	4.1	4.7	3.3	2.4
2.429	Ethyl alcohol	0.4	0.1	0.1	0.2	2.5
14.213	1-Hydroxy-2-butanone	-	1.0	0.7	0.6	-
15.106	2-Cyclopenten-1-one	0.8	1.7	1.8	1.6	0.9
20.766	2,3-Dimethyl-2-cyclopenten-1-one	0.4	0.7	0.6	0.5	0.4
20.974	3-Methyl-2-cyclopentenone	0.6	1.2	0.8	0.7	0.5
23.5	3,5-Dimethyl cyclopentanone	-	0.2	0.2	0.2	0.2
24.174	3-Ethyl-2-cyclopentenone	-	0.2	0.1	0.1	-
24.804	Cyclopentene	0.7	1.3	1.1	1.1	0.8
26.177	3-Methyl-2(5H)-furanone	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1
26.497	3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2
26.692	2(5H)-Furanone	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3
27.874	Maltol	-	1.1	0.1	1.6	1.5
	Total	13.9	12.6	11.2	10.8	9.8

表 5. 不同煙囪口溫度下之銀合歡木醋液之酸類成分分析結果

滯留時間	化合物	相對含量 (%)				
		80°C	90°C	100-102°C	120-127°C	140-148°C
10.118	Acetic acid	38.7	40.5	39.8	43.8	50.5
13.418	Propanoic acid	-	-	2.5	2.3	0.8
15.865	Butanoic acid	0.3	0.7	0.7	0.6	0.6
19.574	Crotonic acid	6.5	5.9	6.3	4.7	3.8
	Total	45.5	47.1	49.2	51.3	55.7

以轉印技術將木炭粉粒黏附於頭巾裏層，由於木炭可吸附汗水與汗臭，達到頭髮乾爽之效果。木炭盆景係利用土窯製造木炭可保持材料原始形狀之特性，另搭配人造花或乾燥花等裝飾外，再配以金桔製成「炭桔盆景」，而「炭桔」之國語發音「ㄘㄞˋ ㄐㄩˊ」音譯成台灣話為「賺錢」之意，可為國內社會民眾樂意接受。由於本研究之窯內最高溫度達 750°C 以上，除了使木炭之含碳量增高與硬度增大外，亦有較佳之吸附能力，因此本木炭盆景對淨化室內空氣與調節室內濕度應具有良好之效果，一舉兩得。

結論與建議

本研究以墾丁國家公園管理處為了海岸林

之復舊而伐除之銀合歡為原料，利用土窯製造木炭，藉以達到木質廢棄物資源化之目的。木炭製造完成後於土窯內取出不同炭化溫度之木炭進行比表面積、調濕能與吸濕性等試驗，並於製造木炭過程中收集木醋液，檢討煙囪口溫度對收集量與收集速率之影響，同時亦對不同煙囪口溫度所收集之木醋液進行基本性質測試與成分分析。主要結果如下：

一、銀合歡木炭之比表面積隨炭化溫度之升高而增大，顯示炭化溫度較高者具有較佳之吸附效果，調濕能隨炭化溫度增高而有降低之趨勢，炭化溫度 750°C 以上之銀合歡木炭具有良好之吸濕性。

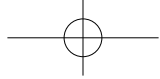
二、木炭製造過程於煙囪口溫度 148°C 以

表 6. 不同煙囪口溫度下之銀合歡木醋液之酚類成分分析結果

滯留時間	化合物	相對含量 (%)				
		80°C	90°C	100-102°C	120-127°C	140-148°C
8.047	Pyridine	0.3	0.9	1.4	0.9	0.4
9.002	2-Methylpyridine	0.1	1.0	0.1	0.2	0.3
11.782	Acetol	5.3	1.9	2.0	2.0	2.0
12.409	3-Methylpyridine	1.9	1.0	1.1	0.9	0.7
12.691	4-Methylpyridine	-	0.4	0.5	0.6	0.7
12.91	2,3-Dimethylpyridine	-	0.4	0.5	0.6	0.6
13.194	2,4-Dimethylpyridine	3.7	3.2	0.9	1.3	2.7
13.86	2,5-Dimethylpyridine	0.2	-	0.5	0.7	0.6
14.059	3,5-Dimethylpyridine	-	0.9	0.6	0.5	0.8
14.47	2-Ethyl-6-methylpyridine	-	-	-	0.3	-
19.92	3-Methoxypyridine	-	0.9	0.9	0.9	0.7
25.217	Guaiacol	5.0	4.9	4.4	2.2	2.7
27.033	<i>iso</i> -creosol	0.3	0.4	0.3	0.2	-
27.324	<i>o</i> -Cresol	-	0.7	0.9	0.8	0.6
27.459	Phenol	3.4	4.9	5.4	4.8	4.2
28.643	<i>o</i> -Ethylphenol	-	0.3	0.3	0.3	0.1
28.979	<i>p</i> -Xylenol	0.1	0.7	0.9	0.8	0.6
29.199	<i>p</i> -Ethylguaiacol	0.1	0.5	0.5	0.4	0.3
29.333	<i>p</i> -Methylphenol	0.5	0.8	1.0	0.9	0.7
29.435	<i>m</i> -Methylphenol	1.2	2.4	3.1	3.0	2.3
30.696	<i>m</i> -Xylenol	-	0.4	0.4	0.4	0.4
30.799	<i>p</i> -Propylguaiacol	0.3	0.7	0.3	0.3	-
31.134	3,5-Xylenol	-	-	1.6	1.2	1.5
31.293	<i>p</i> -Ethylphenol	0.6	1.2	-	0.4	-
31.491	<i>m</i> -Ethylphenol	0.1	0.3	0.2	0.3	0.2
31.663	Indanone	0.3	0.1	0.2	0.2	0.1
32.501	3,4-Xylenol	-	0.2	0.2	0.2	0.2
35.998	Syringol	2.8	2.4	2.4	2.9	3.4
37.523	4-methylsyringol	0.5	0.6	0.6	0.8	0.9
38.544	4-ethylsyringol	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5
39.696	4-Propylsyringol	1.1	0.2	0.1	0.2	0.2
40.493	4-Allylsyringol	-	0.1	0.1	0.1	0.1
Total		28.6	32.8	32.0	29.7	28.7

表 7. 不同煙囪口溫度下之銀合歡木醋液之中性化合物成分分析結果

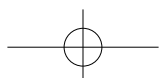
滯留時間	化合物	相對含量 (%)				
		80°C	90°C	100-102°C	120-127°C	140-148°C
16.124	Furfural	1.1	1.1	1.3	1.0	0.8
17.692	Acetylfuran	0.4	0.7	0.6	0.4	0.2
18.326	Acetol acetate	0.6	0.7	0.6	0.5	0.3
18.811	Acetdimethylamide	-	0.3	0.3	0.4	0.2
20.33	5-Methylfurfural	1.1	0.7	0.7	0.4	0.3
21.604	Methyl levulinate	0.9	0.9	0.5	0.6	0.4
25.371	Valerolactone	-	-	-	1.0	-
25.764	Butyrolactone	2.1	3.0	3.2	3.4	3.3
30.262	Methnamine	-	0.2	0.4	0.5	0.3
Total		6.2	7.5	7.6	8.2	5.7

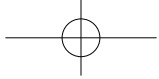


黃國雄，李金梅，何振隆，余欣怡



圖 6. 銀合歡木炭與木醋液之產品開發例





下，可收集木醋液 281.36 kg，為進窯重量 2337kg 之 12.04%，平均每小時約可收集 5 kg；大部份之收集量集中於煙囪口溫度 89°C 以下，佔 67.54%。

三、銀合歡木醋液之比重為 1.007-1.012，pH 為 2.84-4.95，均隨煙囪口溫度之上升而增加；而酸度為 4.57-7.37%，灰分為 0.464-0.764%，隨煙囪口溫度之上升而有降低之趨勢；煙囪口溫度 90-127°C 之焦油含量變化不明顯，而較 80°C 與 140-148°C 者明顯增加。

四、不同煙囪口溫度收集之木醋液成分中均以酸類最多，酚類次之，醇類再次之，而中性物質最少。

本研究針對墾丁地區外來入侵種之銀合歡製造木炭之品質分析與產品開發之試驗成果，提出下列具體建議。

一、由於銀合歡之直徑小，利用價值低，若將其製造木炭可達到資源有效利用與碳保存之目的，同時該等木炭具有良好之調濕、除臭與淨化水質等功能，可作為環保新資材。又土窯所製造之木炭保持原有之形狀，可供高附加價值之炭藝品、裝飾品或紀念品，木炭製造過程中可收集木醋液，亦可作為農業之資材與開發產品之用，目前利用銀合歡木炭與木醋液已開發多項產品，提高銀合歡廢材之利用價值。

二、土窯之建造費用較少與無須特別之保養與維護，為一般農民團體或社團法人所樂意接受，實值得大力推廣。林業試驗所目前對土窯建造與木炭製造等技術均已相當成熟，可立即進行技術移轉製造銀合歡木炭，以協助解決銀合歡廢材問題。

誌謝

本研究係墾丁國家公園管理處 99 年度委

託研究計畫「墾丁熱帶海岸林生態復舊研究及監測計畫(二)」中之子計畫，承墾丁國家公園管理處提供銀合歡試驗材料與經費，得以順利完成，特此誌謝。

引用文獻

呂明倫、黃靜宜、鍾玉龍。2009。恆春半島銀合歡入侵分布之動態與區位分析。航測及遙測學刊 14(1)：1-9。

金絮之、魏浚紘、陳朝圳。2007。墾丁國家公園銀合歡入侵之研究。華岡農科學報 20 期：41-51。

馮郁筑、陳朝圳。2008。墾丁國家公園銀合歡植群之光譜反射特徵研究。特有生物研究 10(1)：73-83。

黃山內、林傳琦。2002。台灣地區有機農業之發展現況與展望。亞熱帶農作物產業之研究發展研討會論文，屏東，98-109 頁。

本田富義、清水雅子。2008。木酢液に含まれる多様な化学物質について。愛知県環境調査センター所報 36:33-35。石原茂久。2002a。新しい機能性炭素材料素材としての木炭の利用(I)。木材工業 57(1)：2-7。石原茂久。2002b。新しい機能性炭素材料素材としての木炭の利用(II)。木材工業 57(2)：48-50。

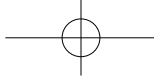
市川正、太田 保夫。1982。植物の生長發育に及ぼす木酢液の影響-1-水稻苗の生育に及ぼす影響。日本作物学会紀事 51(1)：14-17。

岸本定吉。1999。炭・木酢液の利用事典。創森社，275-298 頁。

炭やきの会。2004。炭と木酢液。家の光協会，36 頁。

城代進、矢野省一、上原徹。1989。木酢液の成分とその燻香。木材学会誌 35(6)：555-563。

Matsui T, Matsushita Y, Sguamoto K, Tokuda K, Kanata K., Oda M, Yamauhi H. 2000. Preparation



黃國雄，李金梅，何振隆，余欣怡

and analysis of carbonization products from sugi wood. *Journal of the chemical society of Japan. Chemistry and Industrial Chemistry* 1: 53-61.

Yatagai, M, Unrinin, G and Ohira, T.1988. By-Products of Wood Carbonization IV. Components of wood vinegars. *Mokuzai Gakkaishi* 34(2):184-188.