

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

快速熱裂解技術應用於生質燃料之製作

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2623-7-041-001-ET

執行期間：92 年 01 月 01 日至 92 年 12 月 31 日

執行單位：嘉南藥理科技大學環境工程與科學系(所)

計畫主持人：蔡文田

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2 年後可公開查詢

中 華 民 國 93 年 3 月 31 日

行政院國家科學委員會/經濟部能源委員會
能源科技學術合作研究計畫成果報告

快速熱裂解技術應用於生質燃料之製作

計畫編號：NSC 92－2623－7－041－001-ET

執行期間：92 年 01 月 01 日至 92 年 12 月 31 日

計畫主持人：蔡文田

成果報告類型：☐精簡報告 ☒完整報告

執行單位：嘉南藥理科技大學環境工程與科學系

中 華 民 國 93 年 3 月 31 日

**行政院國家科學委員會/經濟部能源委員會
能源科技學術合作研究計畫成果報告
快速熱裂解技術應用於生質燃料之製作**

計畫編號：NSC 92-2623-7-041-001-ET

執行期限：92 年 1 月 1 日至 92 年 12 月 31 日

主持人：蔡文田 嘉南藥理科技大學環境工程與科學系

計畫參與人員：張元銘、羅錦忠 嘉南藥理科技大學環境工程與科學系

一、中文摘要

再生能源(包括生質能及廢棄物能源)為可永續利用之潔淨天然資源。本研究計畫探討藉感應加熱快速熱裂解技術轉化國內大宗農業廢棄物為生質燃油之可行性。本研究計畫已完成目標生質廢棄物物理及化學特性分析、設計及測試感應加熱裂解反應爐之效能、建立初步的生質燃料分析條件、快速熱裂解產液及焦炭之物理及化學特性分析及所製得生質燃料特性與重要實驗參數之初步相關性。

關鍵詞：農業廢棄物，快速熱裂解，感應加熱，生質燃油，再生能源

Abstract

Renewable energy (including biomass energy and energy from waste) is a sustainable and clean source of energy derived from nature. The objective of the research is to study the feasibility of using fast pyrolysis technology with induction heating for manufacturing the bio-fuel from the main agricultural wastes in Taiwan. The following items has been carried out in the present study, including analysis of physical and chemical properties of target biomass wastes, design and test performances of fast pyrolysis furnace with induction heating, establishment of preliminary conditions for analysis of biomass fuel, analysis of physical and chemical properties of pyrolysis products (esp. tars), and establishment of preliminary relationships between characterization of bio-oil thus produced and experimental pyrolysis parameters.

Keywords: Agricultural waste, fast pyrolysis, induction heating, biomass fuel, renewable energy

二、前言(含研究目的與文獻探討)

一般而言，再生能源係指太陽能、風能、生質能、氫能、水力能、海洋能、及地熱能七項，其中生質能由於即可再生（經光合作用-最便宜的太陽能應用、乾淨-含硫量約為石化燃煤的 1 %），又可貯存與運輸（需要時才使用，不像其它再生能源受風速或太陽光強度等環境因素影響），同時可解決國內所面臨的產業廢棄物的處理/處置問題。故有關生質能轉換技術逐為國內新能源研究開發之重點對象，而此一研發領域主要係由工研院能資所進行，包括沼氣利用、稻穀氧化、廢塑膠（保利龍）油煤液化、垃圾衍生固態燃料、廢食用油及廚餘油脂轉會為生物柴油等。

農產廢棄物富含碳、氫、氧等元素，可視為一種能源作物。台灣位居亞熱帶環境，此等生質物（不含木材類、椰子殼及蔗渣）依台大農化系楊盛行教授論著中所述就有將近 300 萬公噸，而台灣目前的處理/處置方式大多乃採用就地處置、露天焚化及任意棄置，卻也直接造成空氣污染、溫室效應氣氣體 CO₂ 排放等環境問題。然而，國內有關將這些生質廢棄物轉化為生質燃油生產之研究則相當有限，以台灣目前可資商業化開發之再生能源，大致為太陽能、風能及生質能，前二者較易受外在環境影響，且在能源儲運上有所限制。為達能源政策中至 2020 年佔用國內能源需求比例 3%之目標，生質能技術發展及應用有其重要性及必要性，若能將此生質資源 (biomass resource) 藉快速熱裂解處理轉化為生質燃料，不僅可應用於能源使用，且可減緩溫室氣體的排放。

國內目前在生質能源技術發展上乃偏重

傳統熱裂解、氧化及一些生物消化方法，至於在快速熱裂解（fast pyrolysis）技術則較少研究者觸及，表 1 所示為三種熱裂解之操作方式，基於設備、安全、進料、耗能等考量，本研究計劃採取快速熱裂解(fast pyrolysis)程序，然而於加熱速率將採取 100 ~ 500 °C/min 範圍，且操作溫度高於 500 °C 以上。然而，生質燃料中最易儲運及應用者莫過於生質燃油（bio-oil），利用快速熱裂解相關技術，以提高產液之產率（yield）為本研究計畫技術發展方向，遂提出以自行組裝的一套感應加熱式快速裂解反應爐作為國內大宗生質廢棄物之反應系統，期能在適當的操作條件將之轉換成較多比率之焦油。因此，整個研究計劃之目標/目的如下：

- 利用計劃申請人與廠商合製的感應加熱式快速裂解反應爐，評估此種裂解爐之能源產率效能。
- 尋求較符合低能源耗用且產生較多重量百分率生質燃料焦油之程序條件，例如較快的升溫速率、較高的停留溫度或較長的停留時間等。
- 評估質燃料焦油之主要物理化學特性，包括元素分析、主要成分類別、pH 值、熱值等。

三、研究方法

1. 農業廢棄物樣品採集處理

(1) 本校附近既有台南區農業改良場、台糖研究所/仁德糖廠、高雄區農業改良場等農業試驗/研究/製造單位，可取得足夠量之農業廢棄物樣品稻草、稻殼、蔗渣及椰子殼，並且在取回這些廢棄物樣品後進行曝曬，以便去除廢棄物樣品中的部分水分。

(2) 利用切割式垃圾粉碎機將這些樣品粉碎，然後以振動式篩分機分選出不同粒徑大小的操作試驗樣品，同時將一些附著的砂土、細粉片等分離棄置；另一方面，為了使樣品能夠充分被熱裂解，因而只選取破碎後粒徑小於 0.5mm 的樣品來試驗(四種經由破碎、篩分後

的目標農業廢棄物樣品外觀如圖 3 所示)。

(3) 利用環保署公告的垃圾近似分析法及 ASTM 公告的方法，於實驗室分析這些樣品的水分、可燃分及灰分含量；此外，使用熱卡計分析其熱值。

(4) 將生質廢棄物樣品送至清華大學原子科學系及化學系委託分析其微量元素(ICP-AES)和熱重量變化情形(TGA-DTA)，以及中興大學化學系委託分析其主要元素(EA)，以做為快速升溫熱裂解實驗之參考。

2. 快速熱裂解實驗系統設計與測試

(1) 為達到升溫速率大於 100 °C/min，反應系統乃採用與國內廠家合力設計的感應加熱式裂解爐，主要系統包括電源供應、溫度控制、溫度監測、耐高溫碳鋼製反應坩堝、生質燃料油收集瓶(U 型管)，其感應加熱快速裂解實驗系統之簡示圖如圖 1 所示，實際實驗系統如圖 2 所示。

(2) 實驗系統測試之重點，計有反應管中與高溫爐溫度差異之量化，以確認實際設定時之溫度，以及升溫速率是否大於 100 °C/min。此外，樣品放置量、冷凍循環水槽冷凝收集溫度及氮氣流量是否適當等，皆是重要的測試對象。

3. 快速熱裂解實驗操作與能源評估

(1) 依一般已獲得知結論，欲使生質物裂解之焦油產率最大化，故依文獻資料，初設定為較低溫度(400 °C)，較高升溫速率 (500°C/min) 及較短氣體停留時間(1 min) (註：N₂ 氣體積流量固定於 1000 cm³/min)，之後針對不同的溫度(400 ~ 800 °C)、升溫速率(100 ~ 500°C/min) 及氣體停留時間(1 ~ 8 min)條件作生質物裂解之焦油產率測試。

(2) 將上述裂解後之產物，如焦炭確實在反應坩堝中經由放置乾燥箱冷卻後，完全傾倒出，並稱重；同樣地，先行將樣品收集瓶稱重，之後再對生質燃料油收集瓶(U 型管)所冷凝搜

集到的產液（如圖 4 所示）稱重，以求取燃油能源產率。

4. 生質燃料產物分析前處理

在此主要係針對產液焦油而言，透過 U 型管冷凝收集下來的產液焦油，由於裡面尚含有焦粒（char）、水溶性及非溶性裂解油，故必須在分析前進行固液分離，例如離心分離，將焦粒、油層及水層再加以分離。

5. 生質燃料物性量測

(1) 在此主要係針對產液焦油而言，於實驗室分析其熱值等，並記錄其顏色、氣味；所使用的分析方法係參考 ASTM 或環保署等標準方法。

(2) 至於固體產物焦碳除了計算其產率外，僅分析其熱值。

6. 生質燃料化性量測

(1) 主要委託貴重儀器使用中心(即中興大學和清華大學)分析裂解產物之主要元素分析及微量元素，分別使用 EA 及 ICP-AES 儀器。

(2) 焦油產液之主要成分則與本校環境分析實驗室委託合作，分析其中所含之主要含氧成分，使用 GC-MS 儀器。

(3) 產液焦油之 pH 值則由本實驗室完成。

(4) 產液焦油之熱值亦由本實驗室完成。

(5) 整體的研究方法與實驗步驟如圖 5 所示

四、結果與討論(含結論與建議)

1. 農業廢棄物樣品特性量測

(1)三成分

由表 2 分析結果所示，這些農業廢棄物的平均可燃分高達 80%，其中又以椰子殼最高。

(2)主要元素

由表 3 分析結果所示，這些農業廢棄物的主要元素乃以碳和氫為大宗，且所得數據與一般文獻資料極為相近，表中尚呈現椰子殼含碳

及氫量最高，此與三成分分析結果一致；另一方面，椰子殼含氯量也最高。

(3)微量元素

由表 5 分析結果所示，這些農業廢棄物的微量元素乃以矽和鉀為大宗，且所得數據與一般文獻資料極為相近，表中尚呈現稻殼及稻草含矽量最高，此與三成分及主要元素分析結果一致；此外，椰子殼含鉀及鈉量最高。

(4)熱值分析

由表 4 分析結果所示，這些農業廢棄物的熱值頗高，且所得數據與一般文獻資料極為相近。表中尚呈現椰子殼熱值最高，此與三成分及主要元素分析結果一致，即可燃分或其碳及氫量最高者，其熱值即為最高者。

(5) TGA-DTA 分析

由圖 7 ~ 圖 10 可以分析四種農業廢棄物 TGA-DTA 的情形，可以發現，這四種目標廢棄物大約在 270 ~ 290°C 時開始明顯的產生裂解反應，除了稻草樣品約在 470°C 時裂解反應趨緩之外，其餘三種目標廢棄物樣品約在 395°C 時裂解反應就已經趨緩。另外，對照圖 8 及表 10 的分析結果可以發現，樣品 B(稻殼)的焦碳生成比例在相同控制條件下，要比其它三種生質廢棄物樣品來的高，可由圖 8 中藍線後半段趨緩時，尚有 36.4% 的樣品進料未反應來得到證實。

另外，橘色的曲線則是代表著經由裂解反應會產生有機性物質的比例，由四張圖的分析結果可以發現這四種目標廢棄物樣品在 310 ~ 360°C 之間會經由裂解反應較容易產生有機性物質，不過一旦超過了 500°C 以上，就幾乎不會有有機性物質的產生，這和控制條件試驗中，停留溫度的提高雖會提昇生質焦油的產率，但是產率卻趨緩的原因相符合。

2. 生質產物特性量測

(1)外觀、氣味

生質焦油的外觀如圖 4 所示，呈現紅褐

色,其中以稻殼廢棄物所產的生質焦油顏色較為亮紅褐色,其餘三種廢棄物所產的生質焦油顏色則較屬暗紅褐色;另外,四種廢棄物所產之生質焦油皆有刺鼻性的味道產生,尤其在冷凝收集剛打開 U 型管時,但經過幾天的靜置沉澱後,刺鼻性的味道會有所改善。

(2)產率

由表 6 分析結果所示,在控制不同停留溫度的條件下,四種目標廢棄物的生質燃油產率在 400°C 與 500°C 兩者之間皆相差了有 24% 之多,由此可見,停留溫度為 500°C 似乎為快速熱裂解系統所必須的最低操作溫度門檻,這和文獻資料敘述相符合。另外,表中亦顯示生質燃油的產率會隨著停留溫度的增大而有所提昇,不過產率增加的趨勢會逐漸趨緩。綜觀表 6,四種生質廢棄物的最高焦油產率分別為稻草可達 40.90%,稻殼可達 40.57%,蔗渣可達 49.83%,椰子殼可達 39.66%,以蔗渣的生質焦油產率為最佳。

在控制升溫速率的條件部分,表 6 所呈現的結果似乎並沒有一定的趨勢,但若是搭配表 8 來看,感應加熱裂解爐固定經由加熱帶預熱至 50°C 時開始進行升溫裂解的控制,若停留溫度為 500°C,升溫速率為 100°C/min 時,則欲達到操作的停留溫度 500°C 時,需要 4.5min 的時間;若是升溫速率為 200°C 時,則達到操作的停留溫度 500°C 時,需要 2.25min 的時間,以此類推,因此考慮增加後續的停留時間使的五個升溫速率(100、200、300、400、500 °C/min)條件的總反應時間能夠對等,則可以發現,升溫速率的提高,搭配著停留時間的拉長,是可以使生質燃油的產率提高。

由表 7 所分析的結果顯示,控制不同氣體(高純氮氣)流量(500、1000、1500 cm³/min)的條件對於生質焦油的產率影響不大,故氣體流量控制條件並不是重要的實驗參數。由表 9 分析的結果顯示,控制不同停留時間(60、120、240、480 秒)的條件,對於生質焦油的產率會有所影響,表中顯示,當停留時間為

120 秒時,會有較大的生質焦油產率,停留時間超過 120 秒後,雖然固體產物的比例降低,但是生質焦油產率反而呈現些微的降低。

由表 10 分析的結果顯示,停留溫度為 400 °C 時的固體產物比例明顯偏高,代表著生質廢棄物樣品中的焦油並未被完全反應出來,然而,焦碳比例會隨著停留溫度的增加、停留時間的增加而減少,這是合理的現象。

(2) 熱值分析

由表 11 分析結果所示,呈現分離後純焦油之熱值,介於 890- 2312 kcal/kg,其中以椰子殼所生成的生質焦油熱值最高,但乃低於一般液態燃油,顯示此焦油中應含有大量的氧元素,或是含有些許的水分,因此導致生質焦油的熱值偏低,這是除了如何設法提高生質焦油產率之外,另一項重要且待突破的問題。

(3) pH 值

由表 12 分析結果所示,這些生質產物焦油的 pH 值相當低,約為 2.0 ~ 3.3 左右,但所得數據與一般文獻資料極為相近,顯示焦油中應含大量的含氧碳氫化合物,例如有機酸化合物(甲酸、乙酸等),導致生質焦油的 pH 值呈現酸性的結果;後續圖 6 的生質焦油 FTIR 分析圖及表 13 生質焦油可能的主要成分(GC-MS 分析結果)可以得到有機酸物質存在的證實。

(4) FTIR 圖譜分析

由圖 6 所示,四種目標廢棄物生質燃油的圖譜波形似乎大同小異,然而最明顯,也是最重要的一個波段出現在 1550 ~ 1800 cm⁻¹ 之間,經由文獻的比對(表 15)可得知,生質燃油中可能含有酮類(Ketone)、醛類(Aldehyde)、有機酸類(Carboxylic acid)、酯類(Ester)、氨基化合物(Amide)、酐類(Anhydride)及鏈烷類(Alkane^a)等。另外,在波段 950 ~ 1050 cm⁻¹ 及 1250 ~ 1350 cm⁻¹ 之間,則分別有可能是一般沒有用處的鏈烷類(Alkane)和一些醇類(Alcohol)、酯類(Ester)、有機酸類(Carboxylic acid)和醚類

(Ether)。

由此結果來看，生質燃油含有有機酸類因而導致其 pH 值偏酸的結果，在此獲得證實。

(5)GC-MS 圖譜分析

圖 11 ~ 圖 14 分別為稻草、稻殼、蔗渣與椰子殼四種農業廢棄物所產生之生質燃油的 GC-MS 分析圖譜，這是使用氣相層析儀來利用固定相將移動相在控制溫度及流速的狀況下將其混合物的各成分分離，並且由偵測器依照不同時間順序所測得訊號後，再由紀錄器顯示出來，之後再由 GC-MS 本身所具有的圖譜檔案進行相似百分比的比對，並找出測試樣品可能含有的物質，並且列出其相似的百分比，以供參考。

經由 GC-MS 的分析比對，發現四種農業廢棄物所產生之生質焦油成分有些是相類似的，因此只挑選可能含有物質較為豐富的椰子殼生質焦油來作介紹，表 13 是由紀錄器所顯示的時間點(照時間前後順序)來比對其可能含有的物質，並且列出相似百分比。由表 13 的分析結果顯示，大致可歸類出兩部分：(1) 低分子量及有機氧之化合物（水相）；(2) 高分子量 不溶性有機物(主要為芳香族)（非水相）。

(6)元素分析

由表 14(和表 3)的結果得知，四種生質焦油的碳 氮元素含量明顯的要比原來的廢棄物原料低許多，加上預估會含有較高的氧元素(委外分析，尚未收到結果)，因而導致四種生質焦油的熱值偏低，此一部份，在生質焦油後續運用時，勢必得朝降低生質燃油的氧含量，及如何產生富含碳氫化合物(例如，acetone)及氫之高能產物的目標發展。

3. 結論與建議

(1) 結論

· 利用快速裂解反應系統確可產製目標生質燃油，也可以產生熱值高達 4531 ~ 6831 kcal/kg 的焦碳，約等同於燃煤熱值，也比原先目標廢棄物 3908 ~ 5457 kcal/kg 的熱值來的高。

· 此製油系統之產率約為 30-50%(停留溫度至少高於 500°C 的條件下)，其中以蔗渣最高，焦油產率可達 50%，這樣的結果，比起國外所做的快速熱裂解試驗焦油產率(約為 50 ~ 60% 左右，最高甚至可達 70% 左右的焦油產率)，雖已經算是不錯，但還有更進一步發展的空間。

· 評估主要程序條件升溫速率對產率之影響，結果發現停留溫度越大，升溫速率越大，停留時間在 120 秒時，有利於產率提升。

(2) 建議

· 計劃主持人與廠商合製的感應加熱式快速裂解反應爐因製造費用比計畫核定費用高出 120%，再加上此種系統應是國內(至少)首次嘗試應用於生質燃油製作，計畫核准已近二月下旬，致其完成此系統之測試到開始做實驗已近年尾，故於計畫審查時須特別評估此種狀況。

· 尋求完整程序條件對產率及產液特性之影響，在報告中呈現了控制不同條件對於生質焦油產率的影響結果，顯示提高反應溫度及升溫速率有助於生質焦油的產率提昇。另外，報告中亦呈現了 FTIR 圖譜及 GC-MS 圖譜，呈現了生質焦油可能含有的成分。

· 評估此種技術於國內生質能源之經濟成本分析，裂解產氣收集與成分分析，以及如何克服此生質產液含氧成份過高所導致的熱穩定性及腐蝕性問題存在，例如添加觸媒（沸石、鹼金屬鹽類、鹼土金屬鹽類等）或注入氫氣（但有危險性且耗能），來達到提升（upgrading）燃油品質目的。

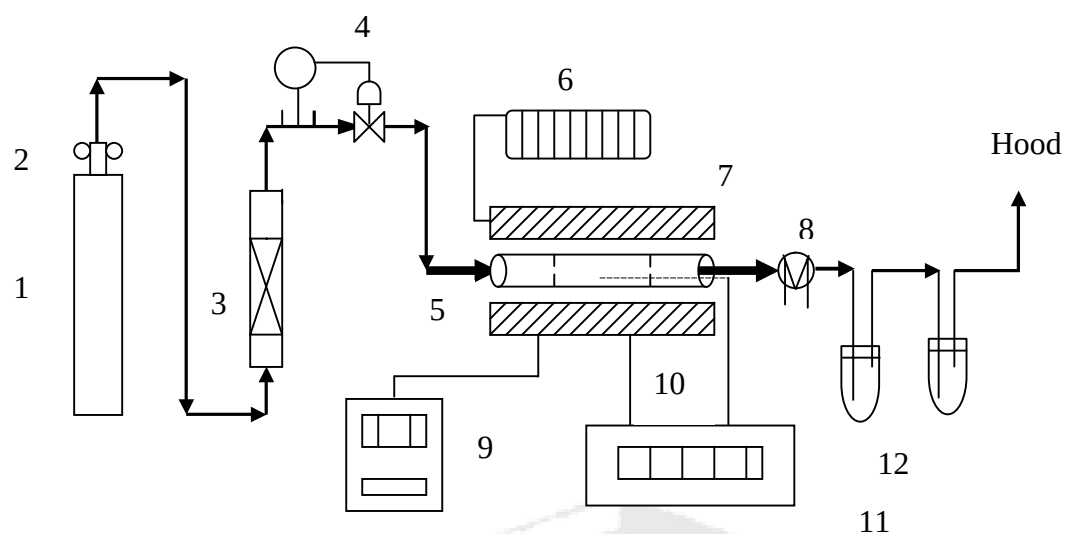


圖 1. 研究計畫感應加熱快速裂解實驗系統之簡示圖。1. 氮氣鋼瓶; 2. 氣體調節閥; 3. 分子篩填充管; 4. 質量流率控制器; 5. 加熱帶; 6. 電源供應器; 7. 感應加熱裂解爐; 8. 冷卻水冷凝系統; 9. 溫度控制器; 10. 熱電偶; 11. 溫度紀錄顯示器; 12. 生質燃料油收集瓶(U 型管)



圖 2. 實際實驗系統照片



圖 3. 經由破碎、篩分後之目標農業廢棄物實際圖；A 為稻草，B 為稻殼，C 為蔗渣，D 為椰子殼。



圖 4. 收集瓶(U 型管)所冷凝搜集到的產液；A 為稻草，B 為稻殼，C 為蔗渣，D 為椰子殼。

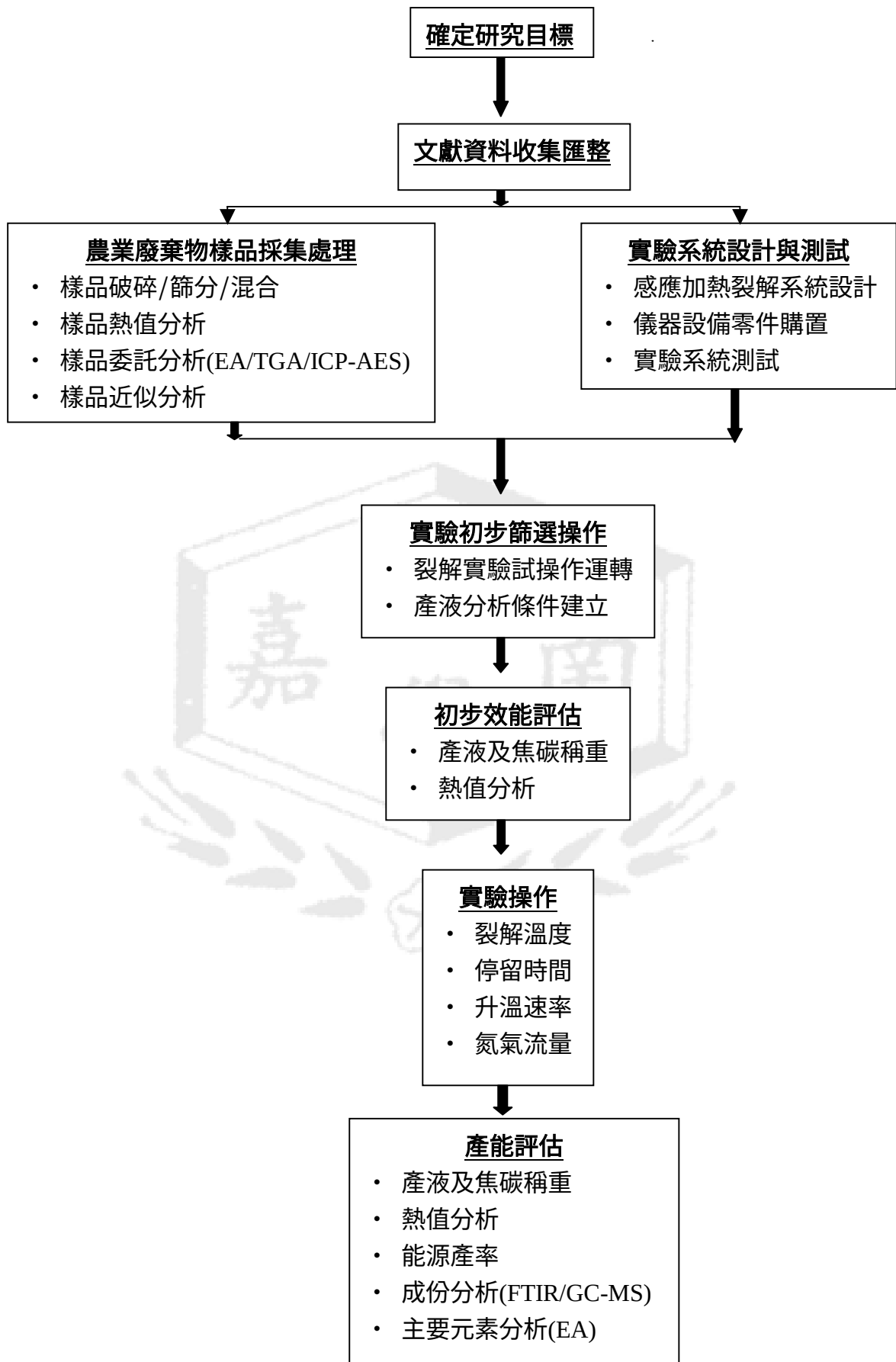


圖 5. 研究方法與進行步驟

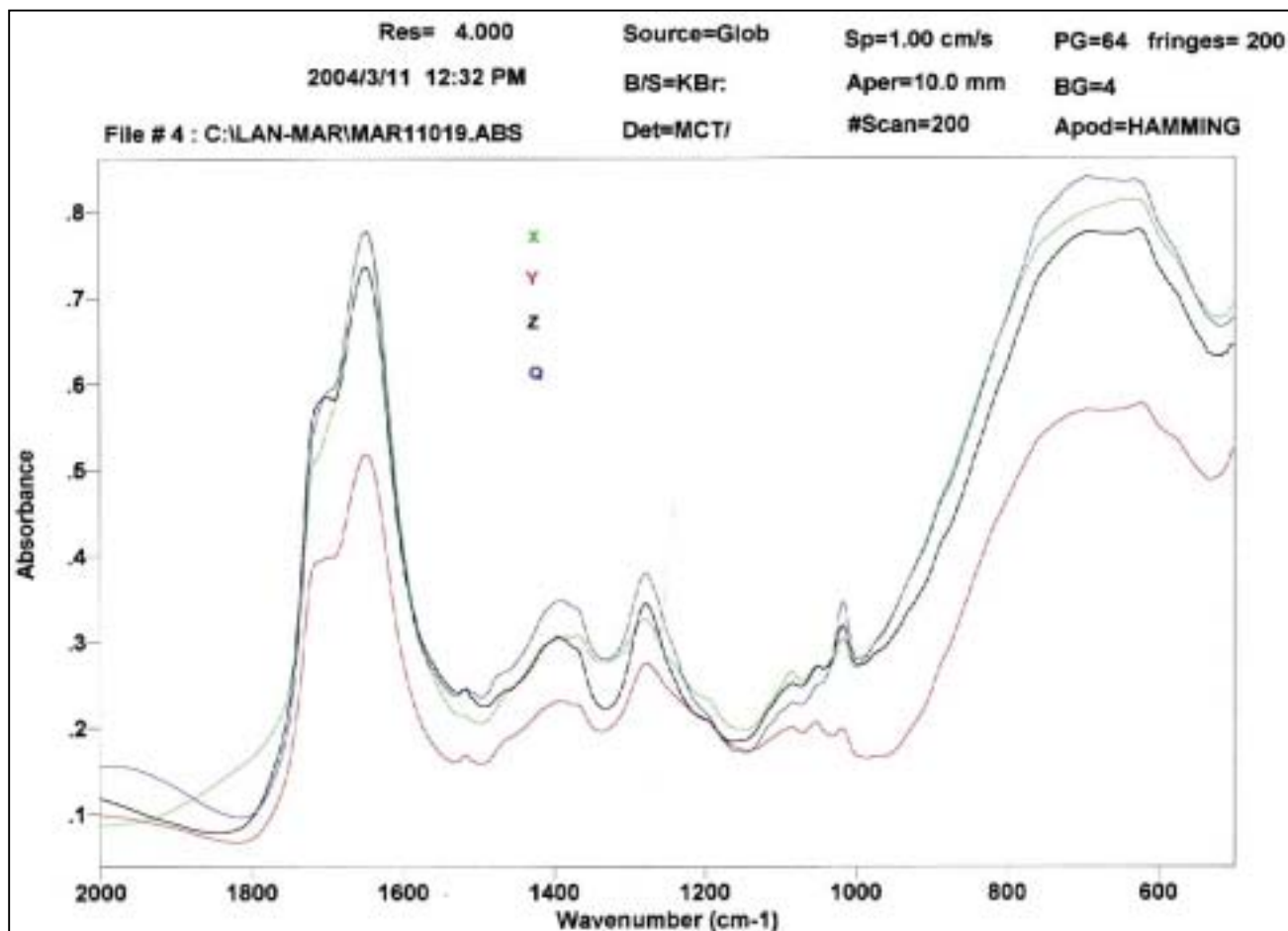


圖 6. 四種目標廢棄物生質燃油的 FTIR 圖；X 為稻草，Y 為稻殼，Z 為蔗渣，Q 為椰子殼

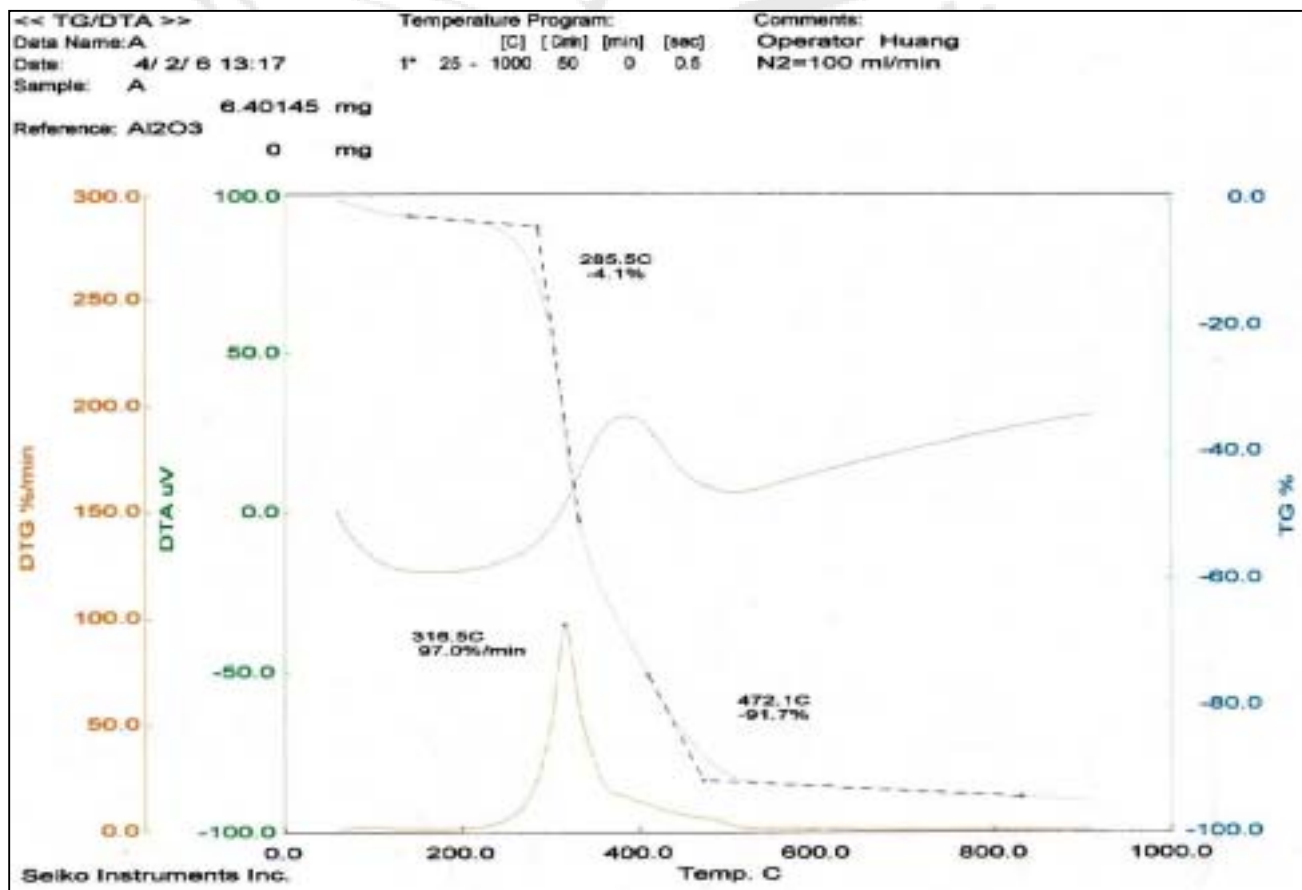


圖 7. 樣品 A(稻草)的 TGA-DTA 分析圖

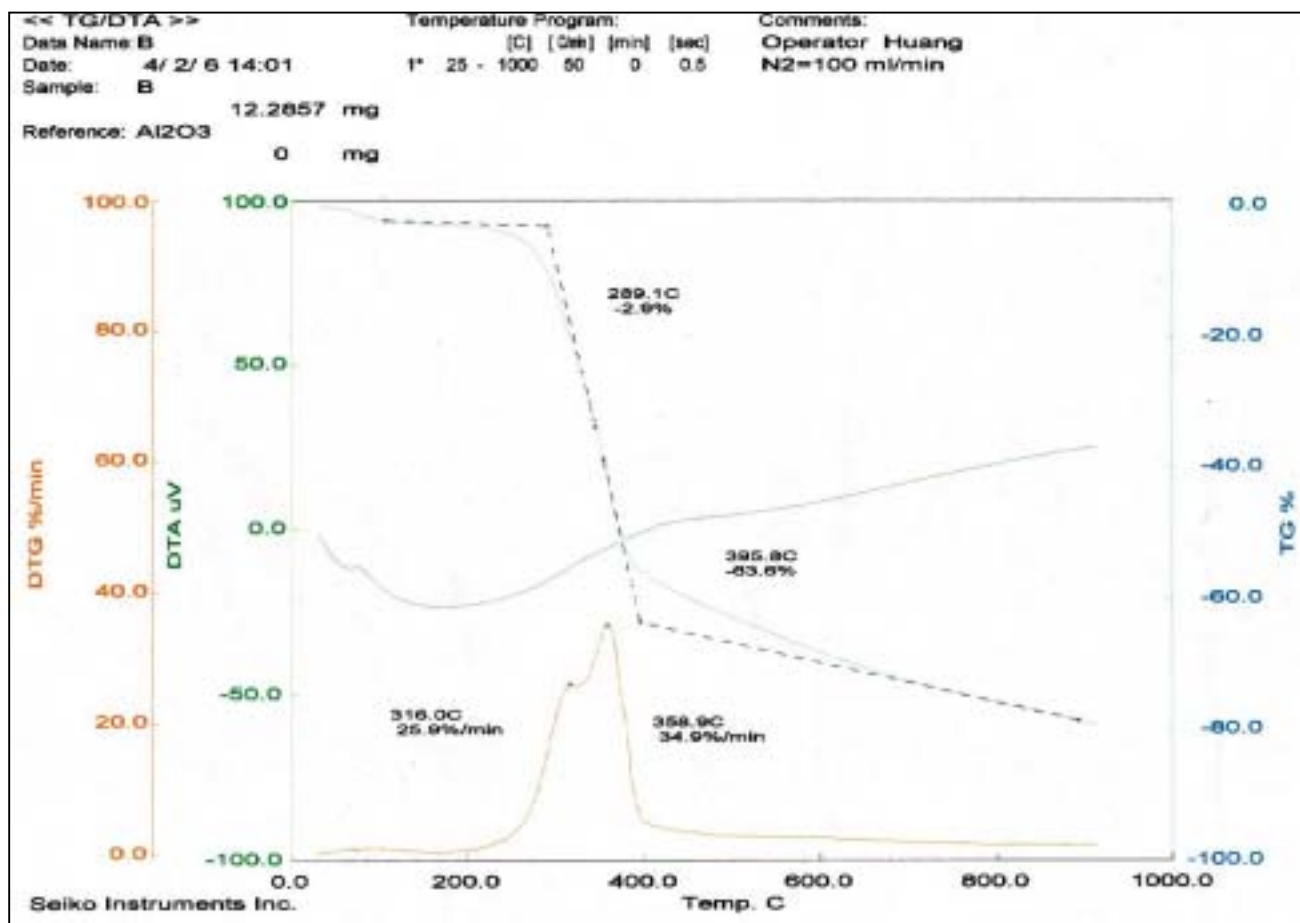


圖 8. 樣品 B(稻殼)的 TGA-DTA 分析圖

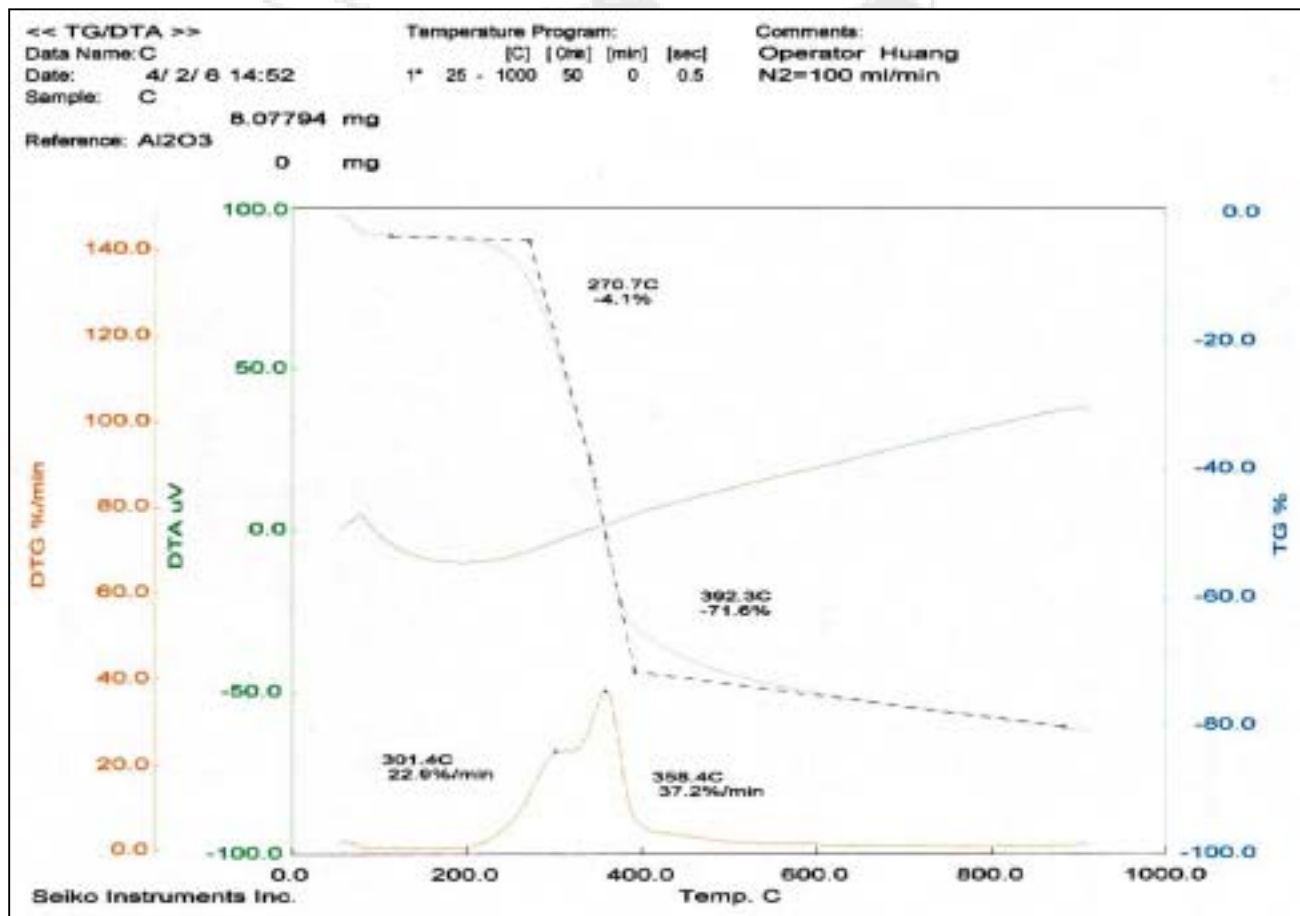


圖 9. 樣品 C(蘆渣)的 TGA-DTA 分析圖

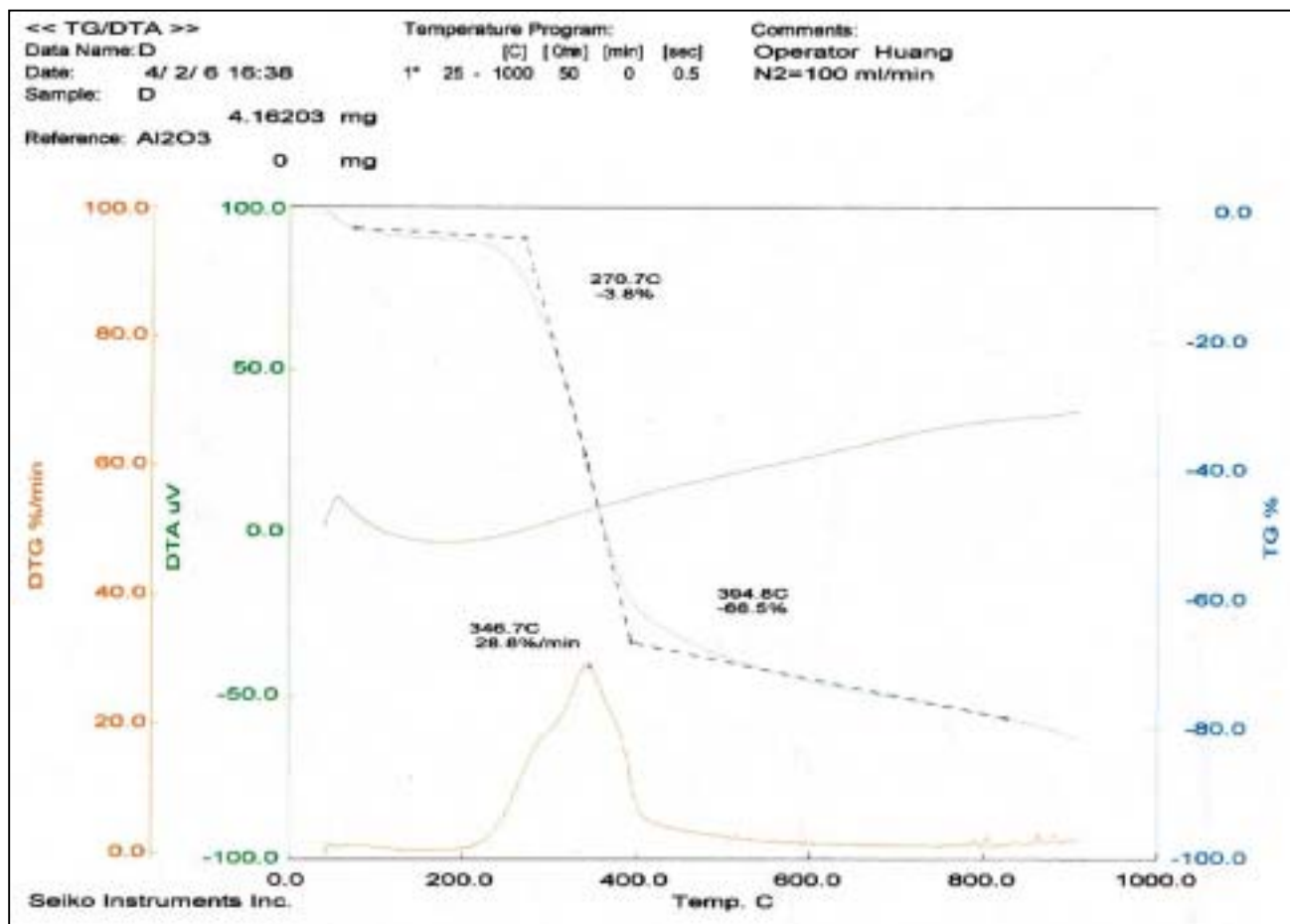


圖 10. 樣品 D(椰子殼)的 TGA-DTA 分析圖

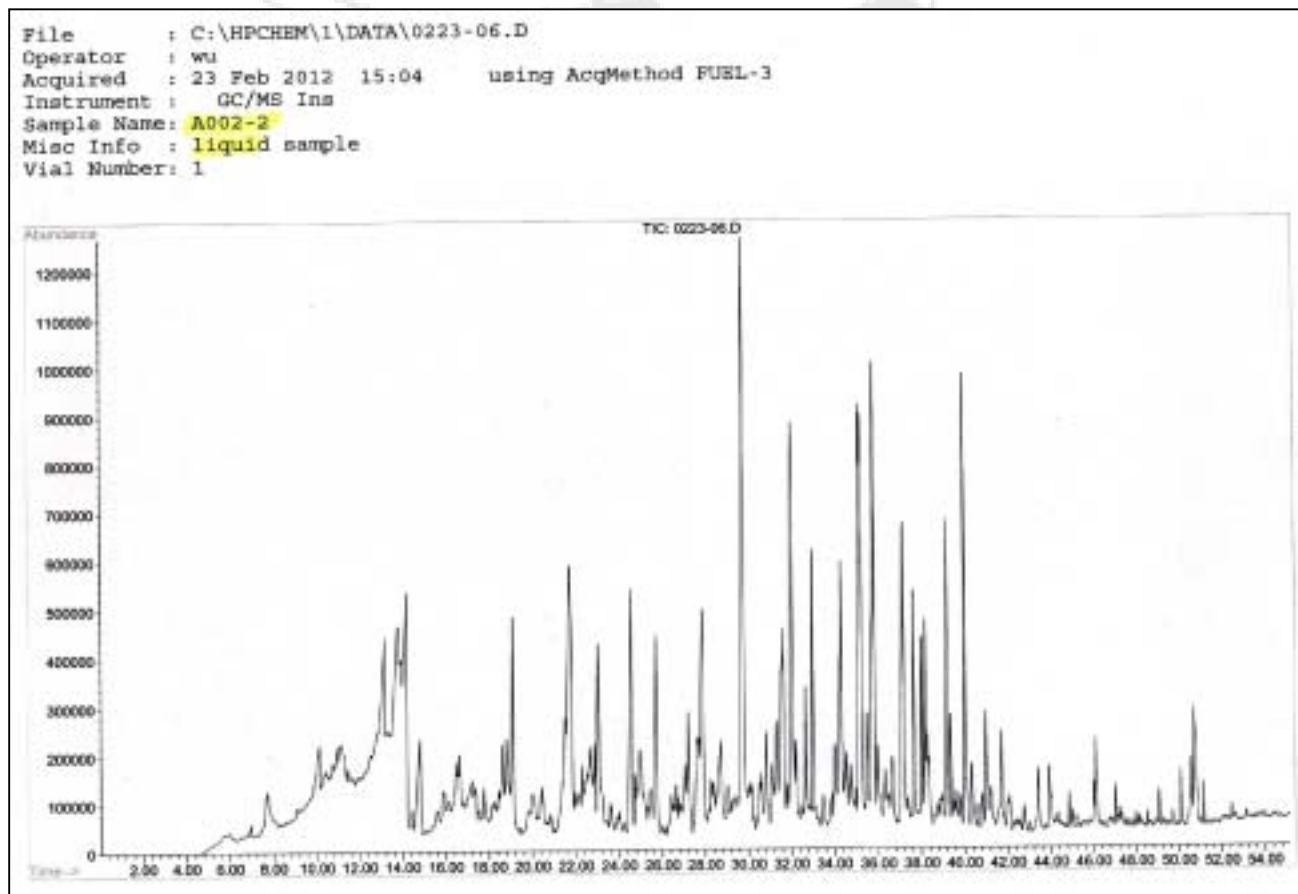


圖 11. 樣品 A(稻草)所產之生質焦油的 GC-MS 分析圖

File : C:\HPCHEM\1\DATA\0223-07.D
 Operator : wu
 Acquired : 23 Feb 2012 16:14 using AcqMethod FUEL-3
 Instrument : GC/MS Ins
 Sample Name: B002-2
 Misc Info : liquid sample
 Vial Number: 1

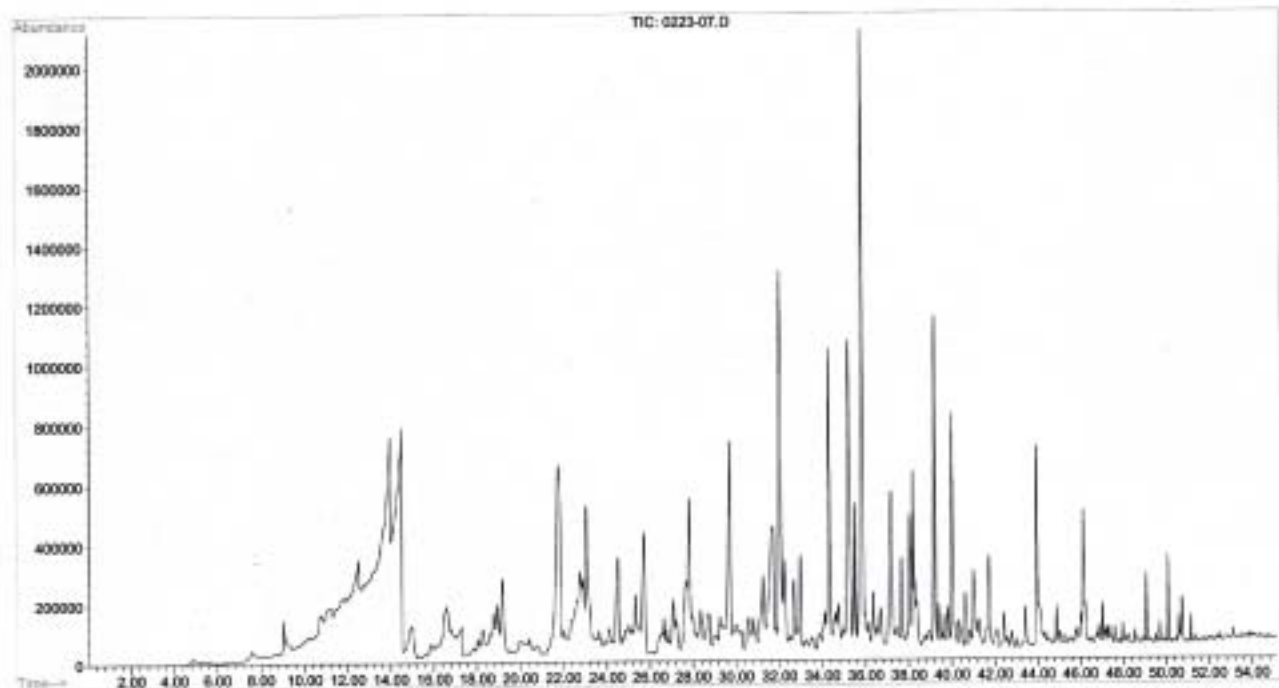


圖 12. 樣品 B(稻殼)所產之生質焦油的 GC-MS 分析圖

File : C:\HPCHEM\1\DATA\0223-08.D
 Operator : wu
 Acquired : 23 Feb 2012 17:49 using AcqMethod FUEL-3
 Instrument : GC/MS Ins
 Sample Name: C002-2
 Misc Info : liquid sample
 Vial Number: 1

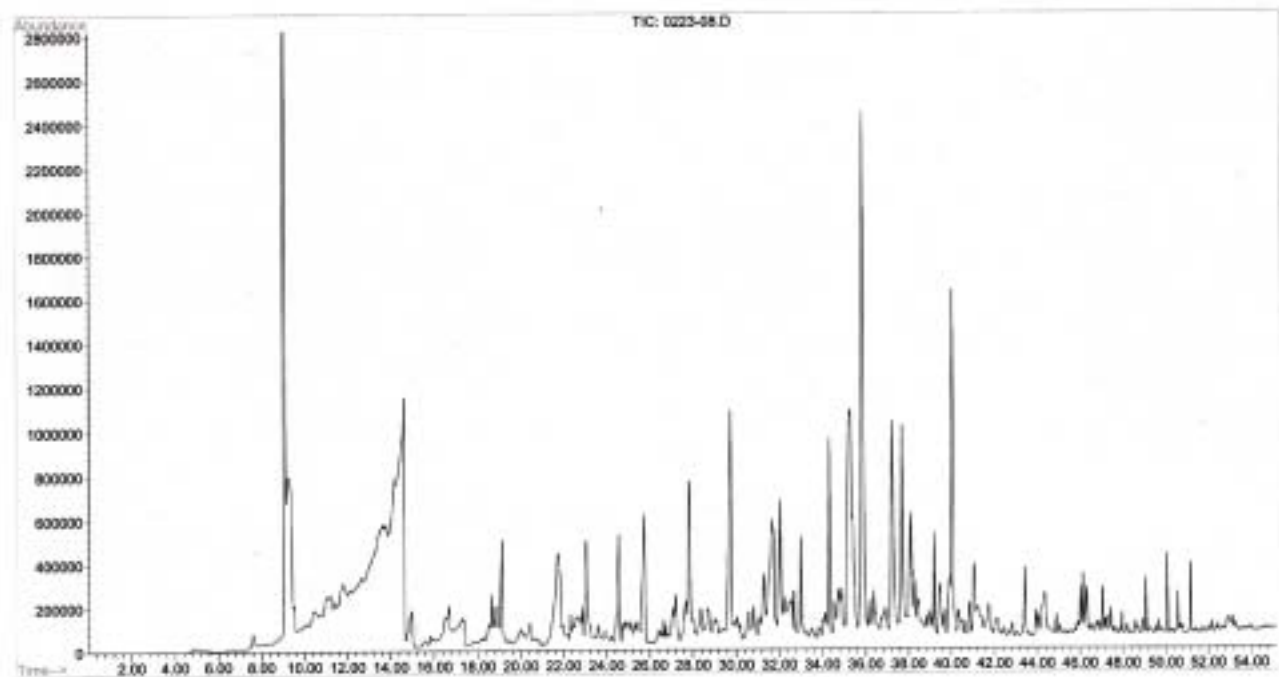


圖 13. 樣品 C(燕渣)所產之生質焦油的 GC-MS 分析圖

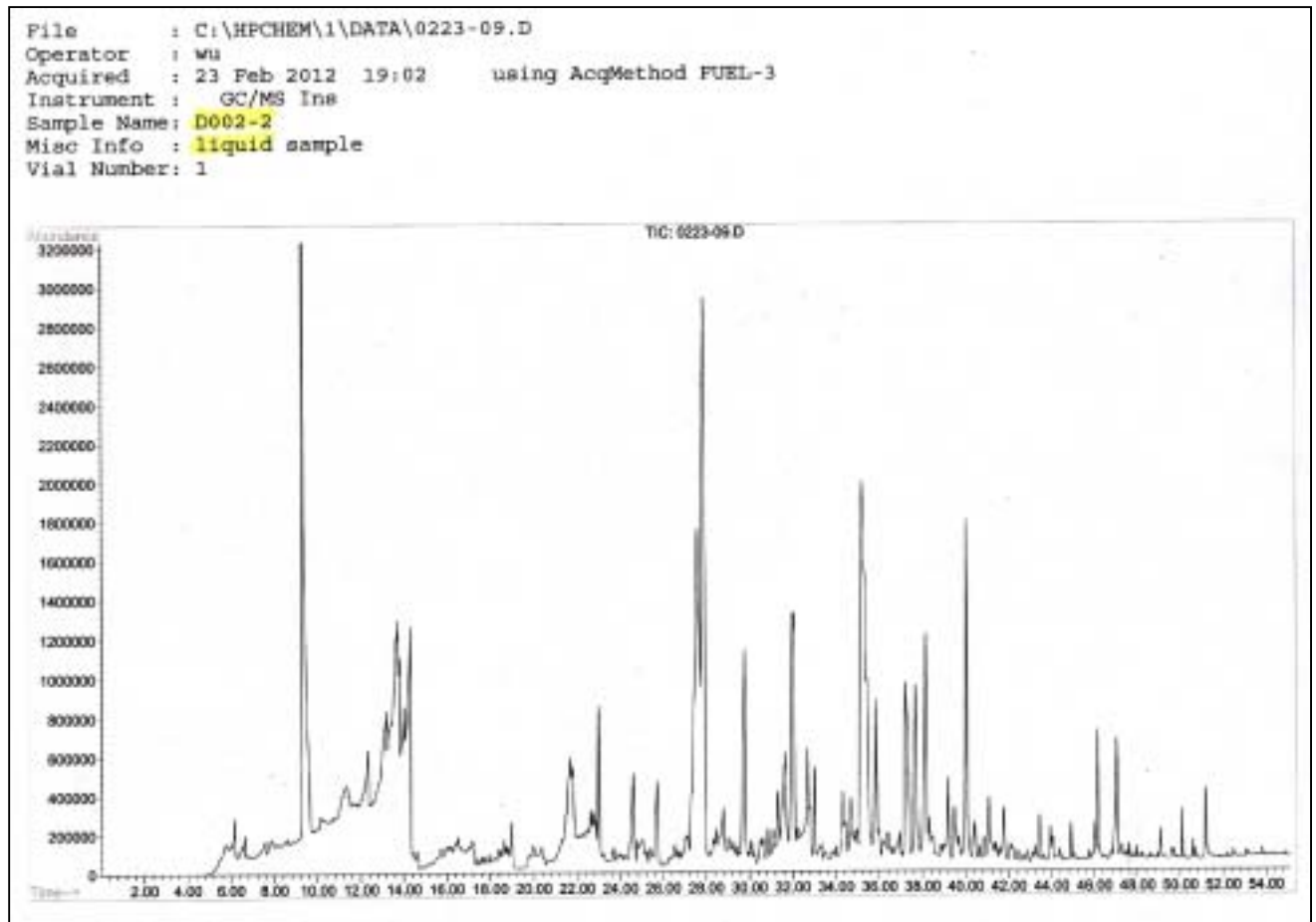


圖 14. 樣品 D(椰子殼)所產之生質焦油的 GC-MS 分析圖

表 1. 三種熱裂解操作方式*

	Conventional pyrolysis	Fast pyrolysis	Flash Pyrolysis
操作溫度 (°C)	300-700	600- 1000	800-1000
加熱速率	慢(< 50°C /min)	中(> 100 °C/min)	快(> 1000°C /min)
固體停留 時間(s)	長(~ 60 min)	短(~ 1 min)	極短(~ 1 sec)
進料粒徑 (mm)	5-50	<1	dust

*本試驗採用 Fast pyrolysis 操作方式

表 2. 目標農業廢棄物近似分析值*

樣品	水分	灰分	可燃分
稻草	13.6	9.5	76.9
稻殼	6.4	11.7	81.9
蔗渣	16.1	4.3	79.6
椰子殼	11.3	3.4	85.3

*二次量測平均值(wt%)

表 3. 目標農業廢棄物主要元素分析值*

樣品	碳 (C)	氫 (H)	氮 (N)	硫 (S)	氯 (Cl)
稻草	44.0	6.7	0.72	0.20	0.31
稻殼	44.0	5.6	0.47	0.17	0.20
蔗渣	48.8	6.9	0.58	0.16	0.30
椰子殼	56.3	7.2	0.38	0.15	0.84

*二次量測平均值(wt%)

表 4. 目標農業廢棄物熱值分析值*

樣品	平均發熱量 (kcal/kg)	誤差 (%)
稻草	3908	1.18
稻殼	4012	0.98
蔗渣	4449	0.32
椰子殼	5457	0.68

*二次量測

表 5. 目標農業廢棄物微量元素分析值

微量元素	稻草	稻殼	蔗渣	椰子殼
矽 (Si)	2.55 %	3.9 %	0.968 %	0.124 %
鉀 (K)	0.283 %	0.163 %	0.335 %	0.163 %
鈣 (Ca)	0.28 %	0.094 %	0.121 %	0.094 %
鐵 (Fe)	546 ppm	202 ppm	306 ppm	158 ppm
鋁 (Al)	643 ppm	233 ppm	274 ppm	107 ppm
鈦 (Ti)	42.2 ppm	7.23 ppm	12.3 ppm	0.0 ppm
鈉 (Na)	342 ppm	207 ppm	289 ppm	626 ppm
鋅 (Zn)	22.3 ppm	24.1 ppm	44.4 ppm	12.1 ppm
鎂 (Mg)	1710 ppm	699 ppm	494 ppm	901 ppm
磷 (P)	47.2 ppm	94 ppm	103 ppm	116 ppm

表 6. 生質產物產率值(一)

停 留 溫 度 (°C)	升溫速 率 (°C/min)	停留 時間 (sec)	生質燃油產率(%)			
			稻草	稻殼	蔗渣	椰子 殼
400	200	60	14.45	11.26	22.89	12.21
500	200	60	37.91	35.92	46.82	36.05
600	200	60	38.95	37.41	45.67	37.73
700	200	60	39.16	38.30	44.70	38.43
800	200	60	39.54	40.35	46.54	39.66
500	100	60	40.57	30.49	45.06	35.81
500	200	60	37.91	35.92	46.82	36.05
500	300	60	37.53	28.54	44.52	29.77
500	400	60	34.40	29.68	39.59	27.20
500	500	60	29.59	33.78	39.65	35.97
500	200	60	37.91	35.92	46.82	36.05
500	200	120	40.74	40.57	49.83	37.07
500	200	240	40.90	40.11	45.83	38.10
500	200	480	40.35	39.08	43.82	39.04

表 7. 控制不同氣體流量之生質產物產率*

停留溫度 (°C)	升溫速率 (°C/min)	停留時間 (sec)	氣體流量 (cm ³ /min)	燃油產率 (%)	焦碳產率 (%)
500	200	60	500	35.71	42.45
500	200	60	1000	35.92	47.06
500	200	60	1500	35.94	41.65

*只單獨針對稻殼樣品

表 8. 不同升溫速率搭配不同的停留時間條件之生質產物產率值

停留溫度 (°C)	升溫速率 (°C/min)	停留時間 (sec)	稻殼生質 燃油產率 (%) ^a
500	100	60	30.49
500	200	195 ^b	38.33
500	300	240 ^c	40.12
500	400	263 ^d	40.52
500	500	276 ^e	40.53

^a 只單獨針對稻殼樣品^b { [(500-50)/100] - [(500-50)/200] } × 60 + 60 = 195 (sec)^c { [(500-50)/100] - [(500-50)/300] } × 60 + 60 = 240 (sec)^d { [(500-50)/100] - [(500-50)/400] } × 60 + 60 = 263 (sec)^e { [(500-50)/100] - [(500-50)/500] } × 60 + 60 = 276 (sec)

表 9. 控制不同停留時間之生質產物產率*

停留溫度 (°C)	升溫速率 (°C/min)	停留時間 (sec)	生質燃油產率 (%)	生質焦碳產率 (%)
500	200	60	35.92	47.06
500	200	120	40.57	37.49
500	200	240	40.11	34.69
500	200	480	39.08	32.88
500	400	60	29.68	47.02
500	400	120	41.12	35.14
500	400	240	38.04	33.93
500	400	480	39.05	33.63

*只單獨針對稻殼樣品

表 10. 生質產物產率值(二)

停留溫度 (°C)	升溫速率 (°C/min)	停留時間 (sec)	生質焦碳產率(%)			
			稻草	稻殼	蔗渣	椰子殼
400	200	60	74.27	84.22	65.26	74.59
500	200	60	37.71	47.06	32.47	37.89
600	200	60	25.90	32.68	25.45	31.42
700	200	60	22.89	34.22	22.58	25.76
800	200	60	21.38	30.70	21.44	25.24
500	100	60	36.51	42.75	26.75	29.99
500	200	60	37.71	47.06	32.47	37.89
500	300	60	38.22	44.72	32.77	40.71
500	400	60	39.79	47.02	32.32	43.20
500	500	60	41.67	43.91	36.54	36.53
500	200	60	37.71	47.06	32.47	37.89
500	200	120	29.42	37.49	30.01	31.60
500	200	240	27.16	34.69	26.24	29.82
500	200	480	24.70	32.88	25.58	27.78

表 11. 生質產物熱值分析值 (unit: kcal/kg)

樣品	生質焦油熱值	生質焦碳熱值
稻草	1088 ~ 1457	5013 ~ 5374
稻殼	1546 ~ 1820	4531 ~ 4923
蔗渣	890 ~ 1223	5873 ~ 6327
椰子殼	1853 ~ 2312	6206 ~ 6843

表 12. 生質產物焦油 pH 值

生質燃油前驅物	pH 值
稻草	2.78 ~ 3.34
稻殼	2.31 ~ 2.69
蔗渣	2.04 ~ 2.32
椰子殼	3.11 ~ 3.28

表 13. 生質燃油可能的主要成分(GC-MS 分析結果) *

時間 (min)	可能的主要成分	比對百分比(%)
9.368	Methylene Chloride (二氯甲烷)	90
14.179	Acetic acid (乙酸)	78
21.826	Furan, 2,5-dimethyl- (喃類)	64
22.938	2-Furanmethanol	91
23.018	2-Furanmethanol	87
29.714	1,2-Cyclopentanedione	90
37.281	Hydroquinone (對苯二酚)	93
32.009	Mequinol	94
32.791	4(1H)-Pyridinone	86
33.031	2-Cyclopenten-1-one	90
35.326	1,2-Benzenediol (對-苯二酚)	90
34.324	Phenol, 4-ethyl- (苯酚)	94
37.732	1,2-Benzenediol, 3-methoxy-	95
38.133	1,2-Benzenediol, 4-methyl-	96
39.185	4-Hydroxy-3-methylacetophenone	81
39.486	1,4-Benzenediol, 2-methyl-	94
39.997	Phenol, 2,6-dimethoxy-	95
40.398	Decanoic acid	52
41.039	1,3-Benzenediol, 4-ethyl-	58
41.741	Vanillin (香蘭醛)	98
43.404	2,5-Dimethoxybenzyl alcohol	25
43.906	Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)	98
44.066	5-Methyl-2-nitrophenol	55
44.367	1,3-Benzenediol, 4-propyl-	47
44.908	Ethanone	95
46.151	Acetamide (乙醯胺基)	64
47.023	Dodecanoic acid	97

*只單獨針對椰子殼樣品

表 14. 目標農業廢棄物所產之生質焦油主要元素分析值*

樣品	碳(C)	氫(H)	氮 (N)
稻草	8.39	7.21	0.08
稻殼	11.38	5.80	0.06
蔗渣	10.36	7.68	0.18
椰子殼	10.29	7.01	0.27

*二次量測平均值(wt%)

表 15. FTIR 圖譜分析可能物質之比對表

Group	Class of compound	Frequency (cm ⁻¹)
C—C	Alkane(generally not useful)	700-1200
	Alkane ^a	1680-1620
C==O ^a	Ketone	1715
	Aldehyde	1725
	Carboxylic acid	1710
	Ester	1735
	Amide	1650
	Anhydride	1820 and 1760
C—O	Alcohol, ester, carboxylic acid, ether	1300-1000

