

生廚餘廢棄物水熱液化油品之檢測分析

陳俊延¹ 陳登鑑² 洪俊宏³ 郭子禎⁴ 張嘉修^{5*}

摘 要

本研究針對以生廚餘廢棄物料源製備之水熱液化油，進行成分組成分析，首先針對9個生廚餘廢棄物料源的組成成分、元素組成、熱值、含水率與灰分進行分析。結果發現生廚餘的脂質含量皆不高，介於10-20%之間，而不同時間地點所採集的樣本，其蛋白質、碳水化合物與粗纖維的比例皆有所差異，熱值介於3,440 kcal/kg到5,070 kcal/kg之間，水分介於84-91%之間，而灰分組成比例則相似，介於1-2%之間。接著針對24個以生廚餘廢棄物轉化為水熱液化油之樣本，進行元素組成、熱值、含水率與灰分分析，分析結果發現，雖然各樣品之元素比例不盡相同，但皆以C為主要元素，熱值介於2,570 kcal/kg到8,590 kcal/kg之間，水分介於1-19%之間，只有2個樣本水分大於30%，灰分組成比例差異很大，介於2-49%之間。最後，進一步建立生廚餘廢棄物料源以及水熱液化油成分組成分析的資料庫，可做為未來發展水熱液化油品之參考。

關鍵詞：生廚餘，水熱液化油，組成分析

1. 前 言

我國能源長年仰賴國外進口，絕大多數能源為化石燃料。大量使用化石燃料，引起嚴重環境汙染與能源安全問題。研究顯示當地球溫度平均增加2°C，將危害數百萬種類動植物，上百萬人流離失所(Ahmad *et al.*, 2011; Finley, 2013; FOE, 2006)。我國於2008年公告「永續能源政策綱領」，成為再生能源發展的重要依據。除了開發具有競爭力的自產能源、降低二氧化碳排放目標之外，也能引領出本土化的相關再生能源工業發展，因此使用再生能源、生質能源取代化石燃料，以降低溫室效應，資源循環再利用目的。

相對化石燃油，生質燃料具有較高的生物降解，較低毒性和更低的汙染物排放(Carraretto *et al.*, 2004; Çetinkaya *et al.*, 2005; Charpe and Rathod, 2011; Enweremadu and Mbarawa, 2009; Morais *et al.*, 2010)，並有與現有動力設備相容的使用特性。根據Utlü和Kocak (2008)年所做的研究，使用生質燃料可以降低14% CO₂排放量、17.1% CO排放量和22.5%總廢氣排量(Phan and Phan, 2008; Utlü and Kocak, 2008)。美國能源部於2006年時將生物燃油的生產歸類為目前立即可使用的技術，生質燃料也成為各國研究項目。我國在生質燃料產業上亦積極發展出生質燃油。

我國103年鍋爐重油使用量約為150萬公

¹ 國立成功大學生物科技中心 副研究員

² 財團法人金屬工業研究發展中心 工程師

³ 財團法人金屬工業研究發展中心 副組長

⁴ 財團法人金屬工業研究發展中心 副處長

⁵ 國立成功大學化學工程學系 講座教授

*通訊作者電話: 06-2757575 # 62651, E-mail: changjs@mail.ncku.edu.tw

收到日期: 2018年08月02日

修正日期: 2018年10月12日

接受日期: 2018年11月12日

噸，佔所有能源密集工業石油產品消費約10% (經濟部能源局，2016)。近年來為節省化石燃油使用數量，許多單位嘗試加入生質燃油混合燃燒，一方面減少化石燃油使用量，另一方面能夠減少空氣污染量。經濟部能源局委託中油公司於103年測試，證實廢食用油適合添加於鍋爐燃燒，添加比例可達5%以上，硫氧化物減量2%-12%，二氧化碳可減量5%-22%，更符合環保的要求(王玉樹，2014)，如國內廢食用油完全用於鍋爐燃燒，每年可減少約7萬公噸化石燃油使用(黃天如，2014)。然而國內廢食用油除作為生質燃油用途外，亦可作為飼料油使用，導致國內料源不足、成本過高問題。若能夠利用國內現有大量濕式生質廢棄物作為料源轉廢為油，一方面可減少生質料源不足問題、提升水熱液化油產量、減少化石燃料依存度，另一方面可減少溫室氣體排放量，以符合聯合國巴黎氣候高峰會會員國在2015年簽署，達成2100年前全球平均氣溫上升不超過2°C，並努力控制在1.5°C內的目標。

熱化學液化技術適用於含水率較高的生質物，在次臨界水的操作範圍內(如圖1中的III)為水解反應。反應溫度約略為275-370°C之間，壓力操作範圍在40-220 bar之間。水的離子積增加

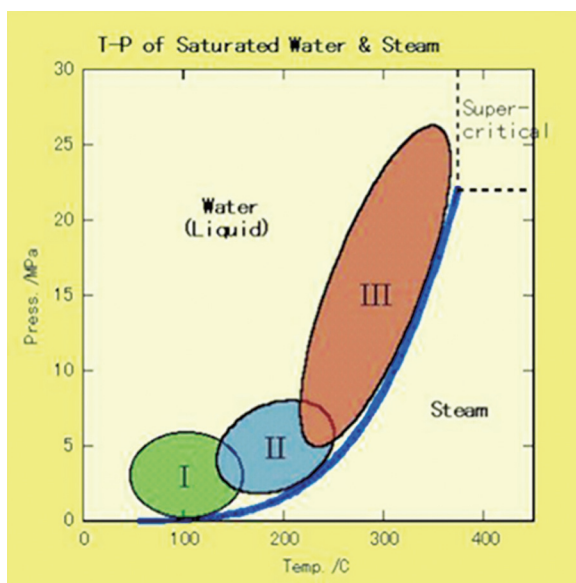


圖1 熱化學液化反應的操作範圍(Vidar and Hanne, 2015)

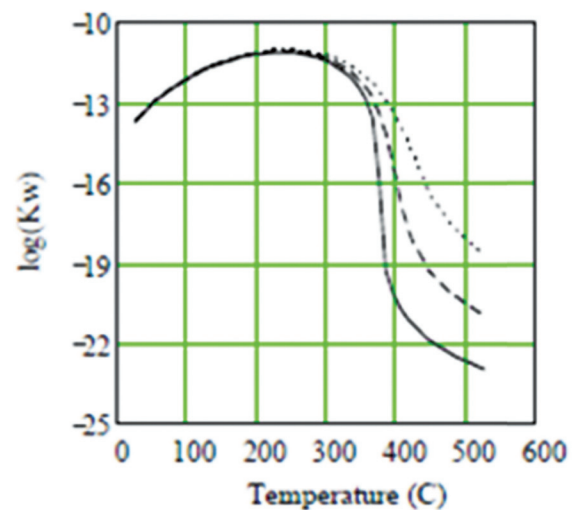


圖2 水溫度變化與離子積變化(Bach and Skreiberg, 2016)

(如圖2)，高度離子化的水可作為一種催化劑、脫氧劑，有利於生物質有機物水解，提高生質油產率與熱值。

熱化學液化操作於高壓條件下，升溫時水分保持液體狀態，所以焓值變化與熱能需求較小，在25 MPa的高壓下，將水由常溫液態溫度升溫至300°C液態時之能耗為1,300 MJ/kg，而將常溫液態水加熱至100°C水蒸氣時，能耗為2,500 MJ/kg，液化操作節省了50%熱量。

應用熱化學液化反應進行能源轉換，目的是為了克服大部分生質廢棄物中高含水率問題，相較於生質物氣化(gasification)、熱裂解技術(pyrolysis)而言，本技術可以省去龐大加熱乾燥的成本，因此可以將各種高含水率料源直接進行轉換，例如：動物排泄物、廢水處理廠之有機污泥、廚餘、農業廢棄物等，可得到高熱值、低含氧量、低含水率生質燃料油(Elliott *et al.*, 2013)，熱值29-35 MJ/Kg (Jena and Kastner, 2011)、含氧量10-15%、含水率5-10%，優於傳統熱裂解油熱值約14-20 MJ/Kg、含氧量35-40%、含水率約15-30%。

據統計臺灣地區每年約產生700萬噸濕式生質廢棄物(行政院環境保護署，2013；陳琦玲等，2008)，如表1所示。然而這些濕式生質廢棄物，因能量密度低，運送成本高，不易集中

表1 濕式生質廢棄物一覽表(本研究整理)

濕式生質廢棄物種類	數量(每年)
畜牧廢棄物	450萬公噸
下水道有機污泥	225萬公噸
廚餘廢棄物	23萬公噸
農業濕式生質廢棄物	4萬公噸

運用，且因含水率高，無法用一般焚化處理方式去化。若使用堆肥方式處理此類濕式生質污泥，其發酵時間長，需要大量土地，且容易產生臭味造成民眾反彈。因此，若能利用熱化學液化法(thermal chemical liquefaction)充分將這些濕式生質廢棄物轉化成生質燃油，將可避免其他處理方法的缺點，並能補足目前臺灣地區生質燃料料源不足的問題，可謂是一個頗具前景的替代方案。

濕式生質廢棄物種類眾多，且成分組成差異甚大，造成後續處理上的困擾，因此，相當需要在料源處理前預先分析其組成，以利後續選擇處理方式，達到事半功倍的效果，並能提高處理效率，增加生質能產能。此外，將濕式生質廢棄物轉化完成的生質燃油後，也需要進一步分析其生質燃油品的組成、純度與特性，

以確認轉化步驟的成功與否，並有利於後續生質燃油的應用。有鑑於此，本研究採用各種分析方法以測定水熱液化油的組成，以協助發展低成本水熱液化油產製技術，並建立料源及生質燃油成分組成分析的資料庫，做為未來料源以及生質燃油商業化應用的重要依據。

2. 材料與方法

濕式生質廢棄物其成分組成複雜，須採用多種分析方法與各式儀器進行測定，本研究主要分析從各地環保局所收集來的生廚餘樣本。此外，雖然轉化後水熱液化油乃由金屬中心製備，其製備條件為：溫度320°C，反應時間30分鐘，此水熱液化油之種類相對單純，但是其成分組成仍是多樣化，也需要建立多種分析方法進行測定，本研究所需測定的成分組成以及採用的分析方法與儀器如表2所列。

分析各樣品的組成成分與元素組成(乾基 dry base)時，由目標場址取得之樣品會先經過凍乾處理，而分析熱值、含水率與灰分的樣本則是直接使用儀器分析。在組成成分分析的部分，各樣品前處理的步驟如下：蛋白質與碳水

表2 料源及水熱液化油之分析項目與使用儀器(本研究整理)

分析項目	分析目的	使用儀器
料源 (廚餘、下水道污泥)	分析料源組成成分(ex. 蛋白質、脂肪類、碳水化合物、酸類、Cn)	離子層析儀(IC, Thermo Fisher)、氣相層析儀(GC, DANI)、高效液相層析儀(HPLC, Thermo Fisher)
	分析料源元素組成分析(C、H、O、S、N)	元素分析儀(EA, Elementar)
	料源熱值	熱卡計(Parr)
	料源含水率	水分分析儀(Kett)
	原料灰分	灰分分析儀(Nabertherm)
水熱液化油分析	水熱液化油組成成分(Cn、種類特性油)	氣相層析儀(GC, Thermo Fisher)
	分析水熱液化油元素組成分析(C、H、O、S、N)	元素分析儀(EA, Elementar)
	水熱液化油熱值	熱卡計(Parr)
	水熱液化油含水率	水分分析儀(Kett)
	水熱液化油灰分	灰分分析儀(Nabertherm)

化合物分析的樣本會利用酸水解後再分別以離子層析儀及液相層析儀進行分析；纖維素、木質素與半纖維素分析的樣本採用酸鹼消煮法測定，符合國際標準GB/T5515、GB/T6434的規定；脂質分析的樣本會經過破壁萃取並轉脂化後再以氣相層析儀分析。

3. 結果與討論

3.1 料源組成成分分析

料源乃由金屬工業研究發展中心提供，首先為生廚餘料源，共收到三個不同時間與地點收集的生廚餘樣本，主要分析內容第一類包含蛋白質、脂肪類與粗纖維，採用經濟部標檢局(CNS 5035 N6116)、衛福部(MOHWO0014.00)、環保署環檢所或是國外官方認可之檢驗方法分析，所使用的儀器為離子層析儀(IC)、氣相層析儀(GC)與高效液相層析儀(HPLC)。第二類包含C、H、O、S與N，一樣採取經濟部標檢局、衛福部、環保署環檢所或是國外官方認可之檢驗方法，所使用的儀器為元素分析儀(EA)。

其結果如表3所示，其中可以發現生廚餘的脂質含量皆不高，介於10-18%之間，而不同時間地點所採集的樣本，其蛋白質、碳水化合物與粗纖維的比例皆有所差異。另外，元素組成分析如表4，三個樣本皆是以C為主要，比例約35-48%，其次為H，比例介於6.5%到7.5%之間，元素組成比例相似。綜合以上可知，確實有需要建立一個料源資料庫以做為未來轉化水熱液化油的依據。

表3 生廚餘主要成份分析(本研究整理)

成分	生廚餘-1	生廚餘-2	生廚餘-3
脂質(%)	17.55%	10.03%	N.D.
蛋白質(%)	18.44%	22.63%	15.19%
碳水化合物(%)	18.79%	29.74%	41.51%
粗纖維(%)	12.23%	11.97%	29.95%

表4 生廚餘之元素組成(本研究整理)

元素種類	生廚餘-1	生廚餘-2	生廚餘-3
N	2.95%	3.62%	2.43%
C	48.27%	40.11%	35.63%
H	7.49%	6.82%	6.54%
S	N.D.	0.40%	0.38%

除了一般的生廚餘之外，我們還針對幾種高纖維、高蛋白與高油脂的特殊樣本來做為料源資料庫的對照樣本(以下稱做『特殊料源』)。此特殊料源部分共有六個樣本，分別為高纖、高蛋白、芝麻、大豆油、豬皮油以及太空包，分析方法與生廚餘相同，其分析結果如表5所示。芝麻、大豆油與豬皮油這三個樣本屬於高油脂，其脂質高達70%以上，相當適合做為水熱液化油的料源，而高纖以及太空包這兩個樣本屬於高纖維，與高蛋白樣本皆無脂質驗出。此外，元素組成分析如表6所示，其元素組成一樣是以C為主，其中比例最高的是芝麻油，達77.61%，H與N的比例不盡相同，H以大豆油與豬皮油為最高，達12%以上，N則以13.47%的高纖樣本最高，此特殊料源的組成數據，可做為未來料源資料庫的對照樣本，做為轉化水熱液化油的標準依據。

表5 特殊料源主要成份分析(本研究整理)

成分	高纖	高蛋白	芝麻	大豆油	豬皮油	太空包
脂質(%)	N.D.	N.D.	71.58%	101.76%	87.83%	N.D.
蛋白質(%)	84.19%	13.06%	25.63%	0.31%	4.00%	11.81%
碳水化合物(%)	N.D.	22.80%	4.61%	N.D.	N.D.	19.77%
粗纖維(%)	18.33%	1.61%	1.56%	N.D.	N.D.	57.9%

表6 特殊料源之元素組成(本研究整理)

元素種類	高纖	高蛋白	芝麻	大豆油	豬皮油	太空包
N	13.47%	2.09%	4.10%	0.05%	0.64%	1.89%
C	46.55%	36.08%	58.51%	77.61%	52.68%	37.99%
H	7.26%	6.58%	8.77%	12.83%	12.21%	5.32%
S	1.55%	0.62%	N.D.	0.48%	0.51%	N.D.

3.2 料源熱值、含水率與灰分之分析

除了組成成分之外，進一步分析料源的熱值(檢測方法：NIEA R214.01C)、含水率(檢測方法：CNS 5053 N6114)與灰分(檢測方法：CNS 5034 N6115)，分別使用熱卡計、水分分析儀與灰分分析儀進行分析。表7顯示生廚餘分析結果，其熱值介於3,440 kcal/kg到5,070 kcal/kg之間，最高的是生廚餘-1，其熱值高達5,063.4 kcal/kg。另外，水分雖然有所不同，但三個生廚餘樣本的水分介於84-91%之間，灰分組成比例相似，介於1-2%之間。表8顯示特殊料源熱值的分析結果，其熱值各有差異，其中最高的是大豆油，高達9,415.2 kcal/kg，而豬皮油的水分含量最高為40.35%，灰分則以豬皮油與太空包為最高，達4.8%以上。

表7 生廚餘之熱值、水分與灰分分析(本研究整理)

料源	熱值(kcal/kg)	水分(%)	灰分(%)
生廚餘-1	5,063.4	84.76%	1.03%
生廚餘-2	3,875.1	87.53%	1.63%
生廚餘-3	3,445.5	90.43%	1.04%

表8 特殊料源之熱值、水分與灰分分析(本研究整理)

成分	熱值(kcal/kg)	水分(%)	灰分(%)
高纖	4,964.2	-	-
高蛋白	3,180.7	-	-
芝麻	6,697.3	N.D.	1.18%
大豆油	9,415.2	0.30%	N.D.
豬皮油	4,072.6	40.35%	4.87%
太空包	3,518.5	27.48%	4.97%

3.3 水熱液化油組成成分分析

水熱液化油也由金屬中心提供，共有三批樣本，其來源為使用本研究料源經過水熱液化製程所產出之油品(見第二節說明)，主要分析C、H、O、S與N等元素分析，採取經濟部標檢局、衛福部、環保署環檢所或是國外官方認可之檢驗方法，所使用的儀器為元素分析儀(EA)。第一批水熱液化油元素分析如表9，以C為主要元素，其中比例最高的是6號樣本，達

74.30%，其次為N，達7.69%，而H為4與5號樣本最高，達8.65%。表10為第二批水熱液化油元素分析結果，也是以C為主要元素，其中含量最高的樣本是HF-2，達68.27%，次高的元素為H，含量最高的樣本是HF-4，達11.62%。最後，第三批水熱液化油元素分析如表11，依然以C為主要元素，其中含量最高的樣本是FF-9，達57.35%，其次的元素為H，達8.78%。

表9 第一批水熱液化油之元素組成(本研究整理)

元素種類	1	2	3	4	5	6
N	1.14%	1.40%	2.00%	5.03%	4.70%	7.69%
C	23.72%	38.68%	46.01%	66.65%	68.83%	74.30%
H	5.16%	6.57%	8.00%	8.65%	8.64%	7.41%
S	2.03%	0.24%	0.92%	0.28%	0.29%	0.55%

表10 第二批水熱液化油之元素組成(本研究整理)

元素種類	WS-1	CF-1	HF-1	HF-2	HF-3	HF-4	12-8.2	HF-5	8.2c6
N	5.88%	1.08%	2.65%	4.06%	3.62%	1.44%	3.34%	3.84%	2.79%
C	66.29%	67.99%	47.48%	68.27%	63.21%	24.88%	53.44%	65.51%	44.46%
H	8.25%	10.82%	9.71%	9.67%	9.73%	11.62%	8.60%	9.02%	7.25%
S	1.22%	0.30%	N.D.	0.22%	0.22%	0.40%	N.D.	N.D.	1.58%

表11 第三批水熱液化油元素組成(本研究整理)

元素種類	FF-8	7.2	FF-9	FF-10	FF-11	FF-12	FF-6.2	FF-4.2	FF-5.2
N	2.29%	3.01%	2.63%	2.33%	2.06%	2.02%	2.10%	2.57%	3.09%
C	35.08%	27.35%	57.35%	56.20%	42.84%	49.27%	25.21%	42.57%	48.15%
H	7.31%	6.73%	8.78%	8.63%	7.34%	7.49%	6.81%	7.01%	7.22%
S	N.D.	0.26%	0.25%	N.D.	N.D.	0.24%	N.D.	0.23%	0.24%

3.4 水熱液化油熱值、含水率與灰分之分析

除了分析水熱液化油組成成分之外，進一步分析其熱值(NIEA R214.01C)、含水率(CNS 5053 N6114)與灰分(CNS 5034 N6115)，分別使用熱卡計、水分分析儀與灰分分析儀進行分析。表12顯示第一批水熱液化油分析結果，熱值介於7,780 kcal/kg到3,080 kcal/kg之間，最高的是6號樣本，其熱值高達7,777.1 kcal/kg；另外，水分雖然有所不同，但5個樣本的水分介於2-6%之間，只有3號樣本最高為30.65%，灰分組成各不相同，最高為1號樣本，達48.99%。第二批水熱液化油分析結果如表13，熱值最高的是CF-1，高達8,590.2 kcal/kg；此批樣本的水分與灰分不盡相同，水分最高為HF-4，達

表12 第一批水熱液化油之熱值、水分與灰分分析(本研究整理)

	熱值(kcal/kg)	水分(%)	灰分(%)
1	3,082.1	5.34%	48.99%
2	4,798.4	4.09%	40.10%
3	5,560.5	30.65%	18.25%
4	7,483.8	3.08%	8.97%
5	7,766.4	2.25%	13.71%
6	7,777.1	3.27%	1.58%

表13 第二批水熱液化油之熱值、水分與灰分分析(本研究整理)

	熱值(kcal/kg)	水分(%)	灰分(%)
WS-1	7,639.1	14.31%	2.15%
CF-1	8,590.2	11.05%	2.50%
HF-1	5,089.1	33.01%	6.28%
HF-2	7,092.8	17.25%	2.84%
HF-3	8,481.0	8.12%	3.73%
HF-4	N.D.	70.98%	3.87%
12-8.2	5,857.1	16.05%	23.03%
HF-5	7,281.0	18.26%	7.26%
8.2c6	4,679.1	4.52%	37.34%

70.98%，而灰分最高為8.2c6，達37.34%。最後，表14為第三批水熱液化油分析結果，此批樣本的熱值明顯少於前兩批樣本，最高為FF-10，達6,534.8 kcal/kg；水分介於0.5-17%之間，其中FF-8最高為17.1%，與前兩批樣本相比，灰分雖較一致但稍微偏高，介於15-45%之間，以7.2最高為45.11%。

3.5 綜合討論

依據廚餘料源組成分析的結果，發現生廚餘的脂質含量不高，但由於熟廚餘可做為畜牧飼料，生廚餘廢棄物相對地較適合做為水熱液

表14 第三批水熱液化油之熱值、水分與灰分分析(本研究整理)

	熱值 (kcal/kg)	水分 (%)	灰分 (%)
FF-8	4,669.9	17.10%	24.84%
7.2	2,571.3	10.53%	45.11%
FF-9	6,236.3	8.66%	15.62%
FF-10	6,534.8	3.92%	15.96%
FF-11	5,391.2	14.56%	20.70%
FF-12	6,269.4	3.62%	29.00%
FF-6.2	4,240.1	13.06%	25.19%
FF-4.2	4,885.3	0.52%	27.74%
FF-5.2	5,510.3	1.55%	25.18%

化油的料源，符合將廢棄物重新利用的循環經濟目標。另外，在高蛋白的樣本部分，發現其蛋白質含量偏低，有可能是因為儲存或是運送的過程中，發生了腐壞造成蛋白質的降解，因而使得分析出來的蛋白質含量偏低。而在特殊料源的熱值、含水率與灰分分析中，可發現大豆油的熱值最高達9,415.2 kcal/kg，在生廚餘料源部分，熱值最高為生廚餘-1，其熱值高達5,063.4 kcal/kg，對照脂質含量來看，可知道大豆油與生廚餘-1的組成為脂質較多，由此可知脂質含量直接影響熱值表現。除此之外，芝麻的脂質含量較豬皮油少，但其熱值卻高於豬皮油，推測是因為豬皮油的水分含量較芝麻高出40%，因大量的水分而造成熱值較低。最後，高纖與高蛋白樣本沒有水分及灰分分析，原因是樣本本身已是乾燥狀態，無法進行分析。

在水熱液化油的部分，元素分析顯示C為主要元素，其次則是H與N，與熱值相對照來分析，可以發現當C的含量越高，熱值也隨之增加，在第三批樣本中CF-1熱值最高為8,590.2 kcal/kg，其C含量也高達67.99%，因此可推測兩者為正相關。另外，在第二批樣本中，並沒有測定到HF-4的熱值，那是因為其水分含量高達70.98%，導致儀器無法成功點火，因而分析失敗，水分也是影響燃燒的重要因素之一，在未來應用上須多加留意。最後，在第三批樣本中，

大部分皆有灰分偏高的問題，像是1號樣本最高達48.99%，20%以上的樣本就有11個，佔比為45.8%，比例偏高，若是雜質太多，對於往後料源之使用將成為一大阻礙，應針對此問題加以解決。

4. 結 論

本研究第一部分總共完成9個生廚餘廢棄物料源分析，包含組成成分、元素組成、熱值、含水率與灰分分析，比較這9個生廚餘廢棄物料源，其中脂質最高的是生廚餘-1，含量達17.55%，其熱值也高達5,063 kcal/kg，適合做為水熱液化油料源。第二部分為水熱液化油的元素組成、熱值、含水率與灰分分析，共完成24個水熱液化油樣本分析，其中熱值最高的是CF-1，達8,590 kcal/kg，是轉化最成功的一個樣本，可以此轉化條件進一步最佳化；另外，此24個水熱液化油樣本的灰分組成比例差異很大，介於2-49%之間，造成此結果應是跟轉化水熱液化油時的條件有關，所以更應建立料源及水熱液化油成分組成分析的資料庫，以做為未來發展水熱液化油品的重要參考。

參考文獻

- 王玉樹，2014。國內廢食用油 中油助轉化工業燃油。中國時報，臺灣。
- 行政院環境保護署，2013。中華民國環境保護統計年報。臺灣。
- 陳琦玲、郭鴻裕、徐慶霖、范揚廣與林正斌，2008。豬糞堆肥與未經處理豬糞尿-施於農地再利用之比較。技術服務，19: 20-4。
- 黃天如，2014。中油轉製生質燃油 可望解決廢食用油。中國時報，臺灣。
- 經濟部能源局，2016。臺灣能源指標。臺灣。
- Ahmad, A., N.M. Yasin, C. Derek and J. Lim, 2011. Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: a review.

- Renewable and Sustainable Energy Reviews. 15: 584-93.
- Bach, Q.V. and Ø. Skreiberg, 2016. Upgrading biomass fuels via wet torrefaction: A review and comparison with dry torrefaction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 54: 665-7.
- Carraretto, C., A. Macor, A. Mirandola, A. Stoppato and S. Tonon, 2004. Biodiesel as alternative fuel: experimental analysis and energetic evaluations. *Energy*. 29: 2195-211.
- Çetinkaya, M., Y. Ulusoy, Y. Tekin, and F. Karaosmanoğlu, 2005. Engine and winter road test performances of used cooking oil originated biodiesel. *Energy Conversion and Management*. 46: 1279-91.
- Charpe, T.W. and V.K. Rathod, 2011. Biodiesel production using waste frying oil. *Waste Management*. 31: 85-90.
- Elliott, D.C., T.R. Hart, A.J. Schmidt, G.G. Neuenschwander, L.J. Rotness, M.V. Olarte, A.H. Zacher, K.O. Albrecht, R.T. Hallen and J.E. Holladay, 2013. Process development for hydrothermal liquefaction of algae feedstocks in a continuous-flow reactor. *Algal Research*. 2: 445-54.
- Enweremadu, C. and M. Mbarawa, 2009. Technical aspects of production and analysis of biodiesel from used cooking oil—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 13: 2205-24.
- Finley, M., 2013. BP's statistical review of world energy. United Kingdom.
- FOE. 2006. The use of palm oil for biofuel and as biomass for energy. United Kingdom.
- Jena, U., K. Das and J. Kastner, 2011. Effect of operating conditions of thermochemical liquefaction on biocrude production from *Spirulina platensis*. *Bioresource technology*. 102: 6221-9.
- Morais, S., T.M. Mata, A.A. Martins, G.A. Pinto and C.A. Costa, 2010. Simulation and life cycle assessment of process design alternatives for biodiesel production from waste vegetable oils. *Journal of Cleaner Production*. 18: 1251-9.
- Phan, A.N. and T.M. Phan, 2008. Biodiesel production from waste cooking oils. *Fuel*. 87: 3490-6.
- Utlü, Z. and M.S. Koçak, 2008. The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions. *Renewable Energy*. 33: 1936-41.
- Vidar, G. and W. Hanne, 2015. Hydrothermal carbonization for biochar production. Finland.

Analysis of Hydrothermal Liquefaction Crude Oil Using Raw Kitchen Wastes as Feedstock

Chun-Yen Chen¹ Teng-Chien Chen² Jun-Hong Hong³
Zi-Zhen Guo⁴ Jo-Shu Chang^{5*}

ABSTRACT

This study was undertaken to determine the content of raw kitchen waste and to analyze the composition of crude oil produced via hydrothermal liquefaction process. First, the food wastes obtained from nine different sources were analyzed for their chemical and elemental compositions, calorific value, water content, and ash content. It was found that the lipids content in the kitchen waste was not high, ranging from 10 to 20%. The proportions of protein, carbohydrate and crude fiber contents in the samples collected at different time and place were different. The caloric value ranges from 3440 to 5070 kcal/kg. The water content falls within 84-91%. The ash composition of all the samples is similar at 1-2%. Next, the elemental composition, calorific value, water content, and ash content of 24 hydrothermal liquefaction crude oil (HL crude oil) samples were analyzed. Although the elemental proportions were different among the samples, C is the main element of the crude oil with a calorific value of 2570 to 8590 kcal/kg. The water content of the HL crude oil was between 1-19%, while 2 samples had a water content of greater than 30%. The ash content varies greatly among samples within the range of 2-49%. The database collected here for the major content of raw kitchen waste sources and the composition of HL crude oils can serve as a basis and good reference for the correlation between feedstock and HL crude oil quality. This would be beneficial to the future development of crude oil production technology using hydrothermal liquidfaction processes.

Keywords: raw kitchen waste, hydrothermal liquefaction crude oil, composition analysis

¹ Associate Researcher, Center for Bioscience and Biotechnology, National Cheng Kung University.

² Engineer, Metal Industries Research & Development Center.

³ Deputy Team Leader, Metal Industries Research & Development Center.

⁴ Deputy Director, Metal Industries Research & Development Center.

⁵ Chair Professor, Department of Chemical Engineering, National Cheng Kung University.

*Corresponding Author, Phone: +886-2-2360-1267, E-mail: u621502@taipower.com.tw

Received Date: August 2, 2018

Revised Date: October 12, 2018

Accepted Date: November 12, 2018