

回收食用油轉製生質柴油試燒 之排氣特性探討

林雅芬¹ 吳友平²

1. 國立宜蘭大學化學工程與材料工程學系助教
2. 國立宜蘭大學化學工程與材料工程學系教授

摘 要

本研究以回收食用油做為生質物之原料經轉酯化反應後生成生質柴油，並對產製之生質柴油之物性及化性分析及用於柴油引擎試燒時排放物質的量測，並比較石化柴油燃燒及生質柴油燃燒時之差異性。CO₂ 及 NO_x 排放濃度較一般高級柴油為高，而 SO₂ 及 HC 則較高級柴油低；另外由本研究之物種分析中發現 diethyl phthalate 及 diphenyl sulfone 適合作為生質柴油燃燒時排放氣體檢測的指標物種。

關鍵詞：生質柴油，生質能源，廢食用油，替代性燃料，回收

Study of the combustion characteristics of biodiesel made from recycle cooking oil

Ya-Fen Lin¹ Yo-ping Wu²

1. Associate teacher, Department of chemical and material Engineering, Nation Ilan University

2. Professor, Department of chemical and material Engineering, Nation Ilan University

Abstract

The goal of this study is to recycle the used cooking oil from restaurants to produce the biodiesel through the transesterification procedure and then use the produced biodiesel run in a diesel engine. The biodiesel engines produced higher than diesel engine did. The biodiesel engine emitted a higher CO₂ and NO_x, but lower SO₂ and HC, than diesel engine. The study also found diphenyl sulfone (C₁₂H₁₀O₂S), and diethyl phthalate (C₁₂H₁₄O₄) can be selected as the character index for the combustion of biodiesel.

Keywords : Biodiesel, biomass, used cooking oil, alternative fuel, recycle.

一、前言

目前世界各國均致力於拓展或開發新的能源，如太陽能、風能及生質能等，而其中以生質能源(Bioenergy)為最重要項目。所謂生質能源是指蘊藏在生物體(動物或植物)中以電、熱、蒸氣或燃料等形式提供的一種能源之名稱。生質物可以藉由燃燒或助燃、汽化或厭氧化產生甲烷氣體來轉化成氣體燃料；或如生質柴油及乙醇等之液態燃料提供引擎或工廠運作；由於生質能源可以再生，故被視為再生能源。依據國際能源署(International Energy Agency)的統計，目前在全世界有 11%的能源屬於生質物轉換而來，在開發中國家則佔 35%，而在貧窮國家則升高至 90%。以美國統計的資料為例，在 1999 年有超過 3.3%的能源來自生質物。

美國國家再生能源實驗室 NREL(National Renewable Energy Laboratory)對生質能源的生命週期針對其從其種植、搜集、及運輸到將其轉換成能源對空氣、土壤及水的衝擊做過詳細的調查，其中已有報告指出運用以生質物汽化成生質能源為特色的發電廠所排放的 SO_2 ， NO_x ， CO_2 ，粒狀物，甲烷及 CO 之濃度均比以煤炭為能源的發電廠要低 [1-4]。

生質柴油指的是任何由可再生的生物質能所轉換的柴油燃料替代物質，或是更明確的定義為由植物性或動物性油脂與醇類(如甲醇或乙醇)經由轉酯反應(Transesterification)後所得的脂肪酸甲酯(或乙酯)，可供應柴油引擎使用的油料。

生質柴油是以農產品或回收油脂為原料所製造之油料，燃燒後產生之 CO_2 還諸於大氣供植物行光合作用，取自於大氣經過燃燒後又回到大氣中，卻不會增加的 CO_2 量，在生物鏈中屬於“密閉型碳循環”；因此對於大氣中碳含量可達到減量。

就降低石化用油及燃料能源的消耗方面而言，使用生質柴油的優點隨著其與柴油的混合比例成正比，依據文獻資料[5-6]，公車若使用 100%的生質柴油(B100)可以降低石化柴油在生命週期的消耗達 95%，而若使用 20%的生質柴油與石化柴油混合(B20)之油料則可以降低石化柴油在生命週

期的消耗達 19%。同時生產每一單位的生質柴油僅需消耗 0.31 單位的燃料能源，而一般而言，每生產一單位的石化柴油則需消耗 1.2 單位的燃料資源。若在 CO_2 的排放上做比較，也因為生質柴油在製造時對燃料能源的有較低的需求，生質柴油在 CO_2 的排放量上比石化柴油少了 78.45%。也有研究指出使用生質柴油的公車其在粒狀物、 CO 、碳氫化合物(HC)及 SO_x 的排放上均較使用一般石化柴油的公車要來得低。雖然也有研究指出，使用生質柴油的公車所排放的尾氣中的 NO_x 含量並不一定比使用一般柴油的公車要低，但因為生質柴油具有較好的潤滑效果，在使用上而對引擎的損耗較低，故仍有其發展性。目前市場的潛力則包括卡車、發電機、船舶、公車運輸等。

由可再生物質如大豆油或自餐廳回收的食用油所製成的生質柴油即可以直接以純的(B100)或與一般的柴油混合地在一般的柴油引擎使用，也因此生質柴油可以在不增加石油的開採負擔下提高了燃油的供給量。以美國為例，生質柴油已通過其空污法(Clean Air Act)中 Tier I 及 Tire II 的健康危害測試，並且也有研究指出生質柴油的粒狀物質之致癌機率比一般的柴油要低上 80%。同時純的生質柴油更具有熱量與石化柴油類似、燃燒性良好十六烷值可達 50、是可以生物分解及對動、植物及人類沒有毒性的、耐凍性佳、潤滑性良好、可改善柴油引擎的排放廢氣品質等優點，並且其對造成溫室效應的氣體的排放量可以降低達 75%。生質柴油同時也有優於其他替代性燃料之處，例如生質柴油不需特殊的儲存設備，或因為其本身為酯類而不像乙醇在輸送上需要特別留意與水的作用。

台灣受到地理條件及氣候等因素限制，除少數如花生油及豬油的油脂原料能使用本土原料為主之外，其餘幾乎仰賴國外進口，而在原料仰賴進口，生產成本受國際原料價格及匯率牽動及考慮計算運費與加工費用後的成品在外銷上往往缺乏競爭力，也因此以內需市場為主。目前國內整體食用油脂市場已呈飽和，產業成長趨緩，在油品種類需求上，則隨著國民健康飲食意識抬頭，標榜低熱

量、低膽固醇特性的葵花籽油、芥花油與橄欖油則有逐年提高的情形逐漸取代黃豆油及牛油。因此，以食用油做為生質柴油之原料在目前的環境及條件下仍應再做評估。

周桂蘭等亦指出台灣農地耕作面積有限，利用廢食用油來產製生質柴油的做法是目前台灣較可行的方向，同時也可以解決廢棄油之所衍生的環保問題，同時在因應國際間降低 CO₂ 排放量的議題上，推廣生質柴油做為替代性燃料有其正面的意義 [7-19]。在民國 87 年五月行政院所召開的「全國能源會議」中已設定在 2020 年再生能源佔能源供應的 3% 之目標，會後並成立「新能源及潔淨能源研究開發規劃小組」就再生能源、能源新利用及各種廢棄物的能源利用等進行評估，其中生質能在 2010 及 2020 年將分別佔再生能源總量之 52% 及 45%，而生質能源中又以廢棄物能源利用最具價值 [20]。而生質柴油即可以利用農產品、植物性油脂或餐廳之廢棄食用油等做為其原料，則既可回收廢棄物達到再利用的目的，又可以達到空氣污染物排放減量的效果。同時，另外一個值得推行生質柴油的特點是以台灣的氣候條件，其氣溫較不會導致如國外因溫度過低而使生質柴油凝固的現象。

廢食用油可以由一般的家庭消費者、餐廳、速食業、油炸食品業、食品加工業、油脂業及攤販業者等所排出的廢棄油品回收而得，若能配合良好的回收系統確切執行，以廢食用油做為產製生質柴油的原料部分則可解決。

二、實驗方法

本研究利用回收食用油脂所產製之生質柴油在柴油引擎中燃燒時之排放物質的量測並與中國石油所產製之高級柴油做一比較。

1. 生質柴油的製作及分析

本研究以收集之回收食用油為原料加入甲醇 (Methanol)，經由鹼 (NaOH) 在 60°C 下反應約 5 min，產生脂肪酸甲酯及甘油，經分離甘油後收集上層油層，再以蒸餾純化方式去除未反應完全之油

脂，得到生質柴油。

2. 生質柴油之物性及化性分析

由於目前國內尚未針對生質柴油的物性或化性公佈之標準，因此，本研究參考中國國家標準 (CNS) 中針對柴油 (CNS 1471) [21] 的量測項目與美國 ASTM D6751 中較重要的項目對本研究所產製的生質柴油進行十六烷指數 (CNS 12016) [22]、密度 (CNS 12017) [23]、閃點 (CNS 3574) [24]、動力黏度 (CNS 3390) [25]、水份及沈澱物 (CNS 6358) [26]、及灰分 (CNS 3576) [27] 等項目分析。並利用實驗室已有的 HP 5890 II GC 及 Finnigan TRACE GC 2000/TRACE MS 參考 CNS 14665 [28] 及 CNSS14627 [29] 等方法分析製成的生質柴油中硫及含氧物質等之化學成份。

3. 生質柴油之試燒

本研究以承租的 2200cc，四缸的柴油引擎進行生質柴油之試燒測試工作，並測試在不同引擎轉速時，排氣之粒狀物質、CO、SO_x、NO_x 及 CO₂ 分析，其中粒狀物質之分析參考「排放管道中粒狀污染物採樣及其濃度測定方法」，(NIEA A101.71C)，CO₂、CO 及 HC 利用排氣氣體分析儀 (HORIBA MEXA-441GE) 偵測其濃度，SO_x 則參考「排放管道中二氧化硫抽取式自動檢測方法-非分散性紅外光法、紫外光法、螢光法」(NIEA A413.72C) 分析，NO_x 則依據「排放管道中氮氧化物自動檢測方法-化學發光法」(NIEA A444.70C)。本計畫同時參考「排放管道中揮發性有機化合物檢測方法-揮發性有機化合物採樣組裝/氣相層析質譜儀法」(NIEA A721.70B) 及「排放管道中總碳氫化合物及非甲烷總碳氫化合物含量自動檢測方法-線上火燄離子化偵測法」(NIEA A723.72B) 等方法對排氣進行線上採樣以本實驗室已有的 GC 及 GC/MS 作直接分析，以評估在不同轉速下，利用生質柴油及中油低硫柴油做為燃料的各項差異探討。

三、結果與討論

回收食用油收集量統計部分，表一列出宜蘭地

區某收集業者近兩年半來所提供之統計資料，由表中的所提供的數據統計及 Fig. 1 的條狀圖可以看出動物油及植物油的回收量呈成長的趨勢，其中又以植物油為大宗，而棕櫚油的回收量則呈減少的情況。由表中的統計數據推估，若考慮該回收業在宜蘭縣的普及性，宜蘭縣的廢食用油量應該至少有 350 噸/年之產生量。

本研究共收集約 60L 的廢植物性食用油及 30L 的廢動物性油脂，並經由轉酯化程序將其轉換成生質柴油。廢植物性油脂經由分離程序後所得到約 90% 體積比的甲基酯類(methyl ester phase) 及 10% 的皂化類 (glycerol phase)，而經多次實驗發現廢動物性油脂混合廢植物油轉酯化之最佳添加量為 2% 廢動物性油脂，此結果與文獻 [30-31] 中所提的自由脂肪酸在鹼性觸媒法低於 2% 的結果類似。過高的廢動物性油脂容易造成轉酯化的不完全及相分離時的操作困難。因此本研究共製作三批生質柴油，其中有廢植物性油脂 (B01, B02) 及含有 2% 動物性油脂的動植物混合油 (B03)。本計畫依據公告的各項分析方法對所獲的的產品及由中油加油站購得的高級柴油做物性及化性分析，表二針對中油的高級柴油及本研究所製成的生質柴油的主要特性做一比較。如表二所示，生質柴油具備較高的密度、動力黏度及閃火點。十六烷指數部分除了 B01 較高級柴油為高之外，B02 及 B03 的十六烷指數則與柴油相差無幾。總熱值部分則較高級柴油為低。生質柴油的組成也利用 GC/MS 分析，分析所得之結果顯示其可分為 27% 的飽和脂肪酸甲酯 (fatty acid methyl esters, FAME) 及 73% 的不飽和脂肪酸甲酯。

本計畫以高級柴油 (D) 及三批的生質柴油 (B01、B02 及 B03) 分別進行引擎試燒試驗，其中 D 及 B01 測試之轉速以 900 至 2500rpm 進行，B02 及 B03 測試之轉速則為 1000 至 2000rpm。各批油品於應用於運轉時，引擎排氣中的 CO、HC 及 CO₂ 與引擎轉速的關係可以由 Fig. 2 得知。由 Fig. 2(a) 顯示生質柴油 B01 在引擎燃燒時的 CO 排放量要比燃燒生質柴油 B02、B03 及高級柴油時來得高，而引擎轉速在 1200 ~ 2000 rpm 時生質柴油 B02、B03 之 CO

排放量則與高級柴油之排放量類似。由 Fig. 2(b) 則可得知當引擎轉速高於 1000rpm 時燃燒生質柴油 B01 及 B03 的 CO₂ 排放量普遍要比燃燒高級柴油之排放量大。Fig. 2(c) 則顯示在引擎轉速為 900, 1000 及 2200rpm 時燃燒生質柴油 B01 會有較高之 HC 排放值，其餘條件下燃燒高級柴油有較高的 HC 排放值。

Fig. 3 為不同引擎轉速試燒不同燃料時所產生的 NO_x、SO₂ 及粒狀物 (PM) 之比較圖。由圖可以得知燃燒生質柴油如預期的會產生較高含量的 NO_x；而在 SO₂ 的排放量則是生質柴油較高級柴油為低，特別是在引擎轉速 1800 rpm 以上所產生的 SO₂ 也較低，其中又以生質柴油 B02 及 B03 的排放量為最低。而燃燒生質柴油產生 SO₂ 的原因有可能是廢食用油內所含的殘餘物所導致。本研究同時針對粒狀物排放量作量測，其中 B03 僅量測 1000、1600 及 2000 等三個轉速，由圖可以發現在本計畫的測試引擎所排放的結果中生質柴油燃燒時產生較高的粒狀物濃度。

本研究針對高級柴油(D)及針對 B01 及 B02 之排放氣體物種分析中發現因回收食用油品的批次不同所產生的物種會稍有變化，例如燃燒生質柴油 B01 時所偵測到的物種有：C_nH_{2n+2}、C_nH_{2n}、Naphthalenes、anthracenes、phenanthrenes (NAPs)、phenols、diphenyl sulfone、diethyl phthalate、FAMES、Hexadecanoic acid methyl ester (C₁₇H₃₄O₂)、(z,z)-9,12-Octadecenoic acid methyl ester (C₁₉H₃₄O₂)、(z)-9-Octadecenoic acid methyl ester (C₁₉H₃₆O₂)、octadecanoic acid methyl ester (C₁₉H₃₈O₂)、benzaldehydes、C₆Cl₆、N-morpholinomethyl-isopropyl-sulfide (C₈H₁₇NOS)、hexadecanenitrile (C₁₆H₃₁N)、2-Isoamylpyrazine (C₉H₁₄N₂)、2-isoamyl-6-methylpyrazine (C₁₀H₁₆N₂) 及 3-butyl-2,5-dimethyl-pyrazine (C₁₀H₁₆N₂) 等。而燃燒生質柴油 B02 所排放的物種則有：C_nH_{2n+2}、C_nH_{2n}、Naphthalenes、Diethyl phthalate、diphenyl sulfone、Phthalic anhydride、E-2-hexenyl benzoate、dl-Alanyl-dl-serine (C₆H₁₂N₂O₄)、beta-Bisabolol (C₁₅H₂₆O)、undecyl-cyclohexane (C₁₇H₃₄)、4-hydroxy-4-methyl-

cyclohexanone (C₇H₁₂O₂)、2,4'-dichloro- 4methyl-diphenyl ether (C₁₅H₁₀Cl₂O₂)、-4dimethyl-benzenebutanal (C₁₃H₁₆O)、Nonanoic acid methylester (C₁₀H₂₀O₂) 及 n-hexadecanoic acid (C₁₆H₃₂O₂)等。由此可以得知某些物種在燃燒生質柴油時會固定形成如 diphenyl sulfone、diethyl phthalate 等，可以作為燃燒特性指標，而重複性少的物種則會因回收食用油來源不同而有所不同。

Fig. 4 將重複性高的物種在不同油品於不同轉速下燃燒時所檢測之濃度進行比較。Fig. 4(a) 所示之物種包含 C_nH_{2n+2} & C_nH_{2n}，如圖所示，在生質柴油於低轉速時引擎的 C_nH_{2n+2} 排放濃度較高且高於燃燒高級柴油的排放量，而在轉速高於 1400rpm 以上時，C_nH_{2n+2} 的排放量趨於穩定，且再高轉速(2000rpm)時遠低於高級柴油燃燒排放量。Fig. 4(b) 顯示的物種則為 diethyl phthalate (DEP)，由圖所顯示的結果，吾人發現生質柴油燃燒時所排放的 DEP 量遠高於傳統高級柴油，究其因應與食用油於高溫時容易形成 DEP 有關。Fig. 4(c) 則是 diphenyl sulfone (DPS) 的排放濃度比較，高級柴油燃燒時之 DPS 濃度有普遍高於燃燒生質柴油的情形，同時在引擎中轉速(1400~1800rpm) 之操作時燃燒各類油品時的 DPS 排放濃度較其他轉速來得穩定。

四、結論

就本研究所得的結果而言，就空氣污染指標物質如 CO、CO₂、NO_x 及 SO₂ 等，大致與其他文獻所提出的結果類似，粒狀物的排放量方面則可能因引擎特性之關係，生質柴油所排放的濃度在環境角色上並未優於高級柴油。本研究著重在排氣物質的化學性質探討，因此在確認物種的工作上特別的謹慎，執行下來所獲得的結果歸納出不同時期所回收的廢食用油亦會影響排放氣體中的微量物種，但發現除了預期的碳氫化合物(C_nH_{2n+2})之外，diethyl phthalate 及 diphenyl sulfone 適合作為生質柴油燃燒時排放氣體檢測的指標物種。

謝誌

本研究承蒙行政院國家科學委員會 NSC93-2212-E-197-002 補助。同時對環工系張章堂老師及林凱隆老師提供分析儀器，特此感謝。

參考資料

1. <http://www.biodiesel.org>
2. <http://www.nrel.gov>
3. <http://www.biodiesel-intl.com>
4. <http://www.uidaho.edu/bae/biodiesel/>
5. Mark A. Delucchi "A Lifecycle Emissions Model (LEM): Lifecycle Emissions from Transportation Fuels, Motor Vehicles, Transportation Modes, Electricity Use, Heating and Cooking Fuels, and Materials", University of California, Davis CA 95616, USA
6. L. Bournay, D. Casanave, B. Delfort, G. Hillion, J.A. Chodorge, "New heterogeneous process for biodiesel production: A way to improve the quality and the value of the crude glycerin produced by biodiesel plants", Catalysis Today 106 (2005) 190-192
7. 周桂蘭, 李宏台, 蕭文生, 吳榮華, 「台灣地區推廣新及潔淨能源之探討—生質柴油範例分析」, 能源季刊, 第三十二卷, 第一期, 九十一年一月, p.105.
8. 周桂蘭, 王振譜, 張村品, 吳榮華, 李宏台, 「綠色能源—生質柴油國際發展現況」, 能源季刊, 第三十一卷, 第一期, 九十年一月, p. 99.
9. 吳耿東, 李宏台, 「廢棄物能源利用技術」, 環保月刊, 第二卷, 第五期, 2002 年 5 月, p. 81-86。
10. 陳介武, 「廢食用油脂的再資源化與環保」, Chinese Food, 1997, 9, p. 62-67。
11. 鄭宏德, 「廢食用油資源化回收技術介紹」, 工業污染防治報導, 民國 88 年 6 月 5 日, p. 4-5。

12. 陳麗婷,「台灣食用油脂市場現況」,食品市場資訊,第 8911 期, p. 1-6。
13. 王月英,「國內植物性食用油脂之現況與展望」,產業調查與技術,第 138 期, p. 150-171。
14. 王建楠,吳宗穎,「無鉛汽油添加劑甲基第三丁基醚(MTBE)之環境污染」,中華職業醫學雜誌,8(2): 59-67, 2001。
15. Yu, C. W., Bari, S. and Ameen, A., “A comparison of combustion characteristics of waste cooking oil with diesel as fuel in a direct injection diesel engine”, Proc Instn Mech Engrs Vol 216 Part D: J Automobile Engineering, 2002, p. 237-243.
16. Nakamura, D., “Food to fuel”, Oil & Gas Journal, Nov. 18, 2002, p. 15.
17. Tyson, K. S., “Biodiesel handling and use guidelines”, NREL/TP-580-30004, Sept. 2001.
18. Strawn, N., “Global warming and biofuels emissions”, NREL/SP-420-6365, DE94006864, Dec. 1994.
19. Wang, M., Saricks, C. and Wu, M., “Fuel-cycle fossil energy use and greenhouse gas emissions of fuel ethanol produced from U.S. Midwest corn”, Center for transportation research, Argonne National Laboratory, Dec. 19, 1997.
20. 經濟部能源委員會,「新能源及潔淨能源研究開發規劃總報告」
21. 中國國家標準, CNS1471,「柴油」。
22. 中國國家標準, CNS12016,「蒸餾燃油之十六烷指數計算法」。
23. 中國國家標準, CNS12017,「原油及液體石油產品比重測定法(比重計法)」。
24. 中國國家標準, CNS3574,「潘—馬氏閃點試驗法」。
25. 中國國家標準, CNS3390,「透明及不透明液體之黏度測定法」。
26. 中國國家標準, CNS6358,「原油與燃料油中水分與沉澱物之測定法(離心機法)」。
27. 中國國家標準, CNS3576,「石油產品灰分檢驗法」。
28. 中國國家標準, CNS14665,「天然氣及氣體燃料中硫化物試驗法(氣相層析和化學)」。
29. 中國國家標準, CNS14627,「汽油中含氧化物試驗法(氣相層析—氧選擇性火焰離子化偵測法)」。
30. J. Van Gerpen, B. Shanks, and R. Prusko, “Biodiesel Production Technology”, August 2002–January 2004, NREL/SR-510-36244
31. J. A. Kinast, “Production of Biodiesels from Multiple Feedstocks and Properties of Biodiesels and Biodiesel/Diesel Blands”, NREL/SR-510-31460

表一、宜蘭縣九十二年至九十四年上半年某廢食用油業者回收統計

品名 月份 數量	九十二年			九十三年			九十四年		
	動物油	沙汙油	棕櫚油	動物油	沙汙油	棕櫚油	動物油	沙汙油	棕櫚油
一月	4	11	7	3.3	12	5.5	4	12	5
二月	3	13	5	3.3	12.5	5	3.5	13	5.5
三月	2	12	6	3.5	12.4	5	3.7	15	4
四月	3	11	6.5	3.6	13	4.5	4	15	4
五月	5	9	8	4	12.9	4.5	5	14.5	3.5
六月	2.8	7	4.5	4	13	4	5	14	3.9
七月	5.8	7.2	8	5.5	14.8	4.5			
八月	6.5	8	9	5.5	14.4	5			
九月	5.5	9	8.5	5.8	14	4			
十月	5.5	10	7.5	5.3	14.3	3.8			
十一月	4	10	7.5	5.1	13.9	3.8			
十二月	3	12	7	4.5	14	4			
小計	50.1	119.2	84.5	53.4	161.2	53.6	25.2	83.5	25.9
合計	253.8			268.2			134.6*		

表二、高級柴油及生質柴油之主要性質

	Premium diese	B01	B02	B03	Test method
Density at 20°C (g/mL)	0.826	0.86	0.86	0.87	CNS 12017
Kinematic viscosity at 50°C (cSt)	1.76	2.98	4.38*	8.08*	CNS 3390
Cetane index	46.2	52.4	44.3	45.5	CNS 12016
Flash point (°C)	89	104	124	106	CNS 3574
Water and sediment (Vo1 %)	<1	0.23	0.21	0.22	CNS 6358
Gross Heating Value (cal/g)	11411.4	9703.3	9778.7	9523.2	CNS 6359

* : Test temperature= 40°C。

回收食用油轉製生質柴油試燒之排氣特性探討

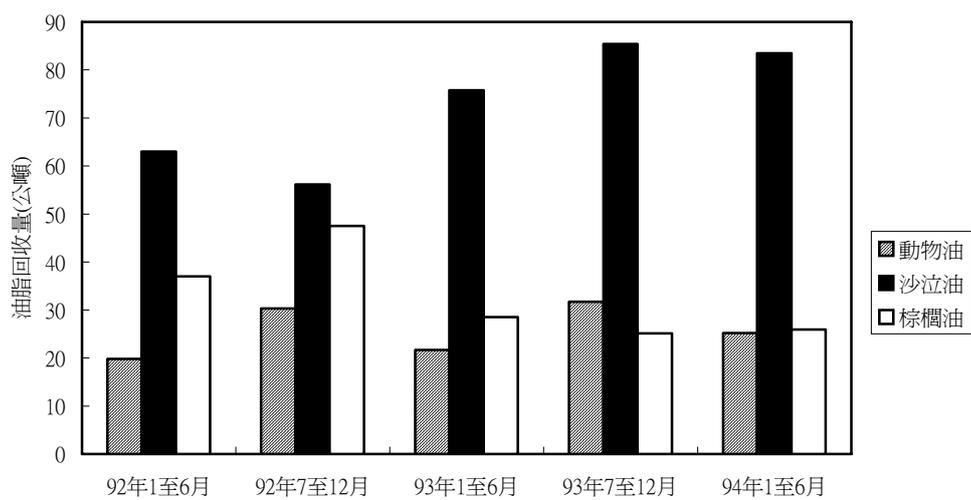


Fig. 1 宜蘭縣某廢油回收業每半年統計量

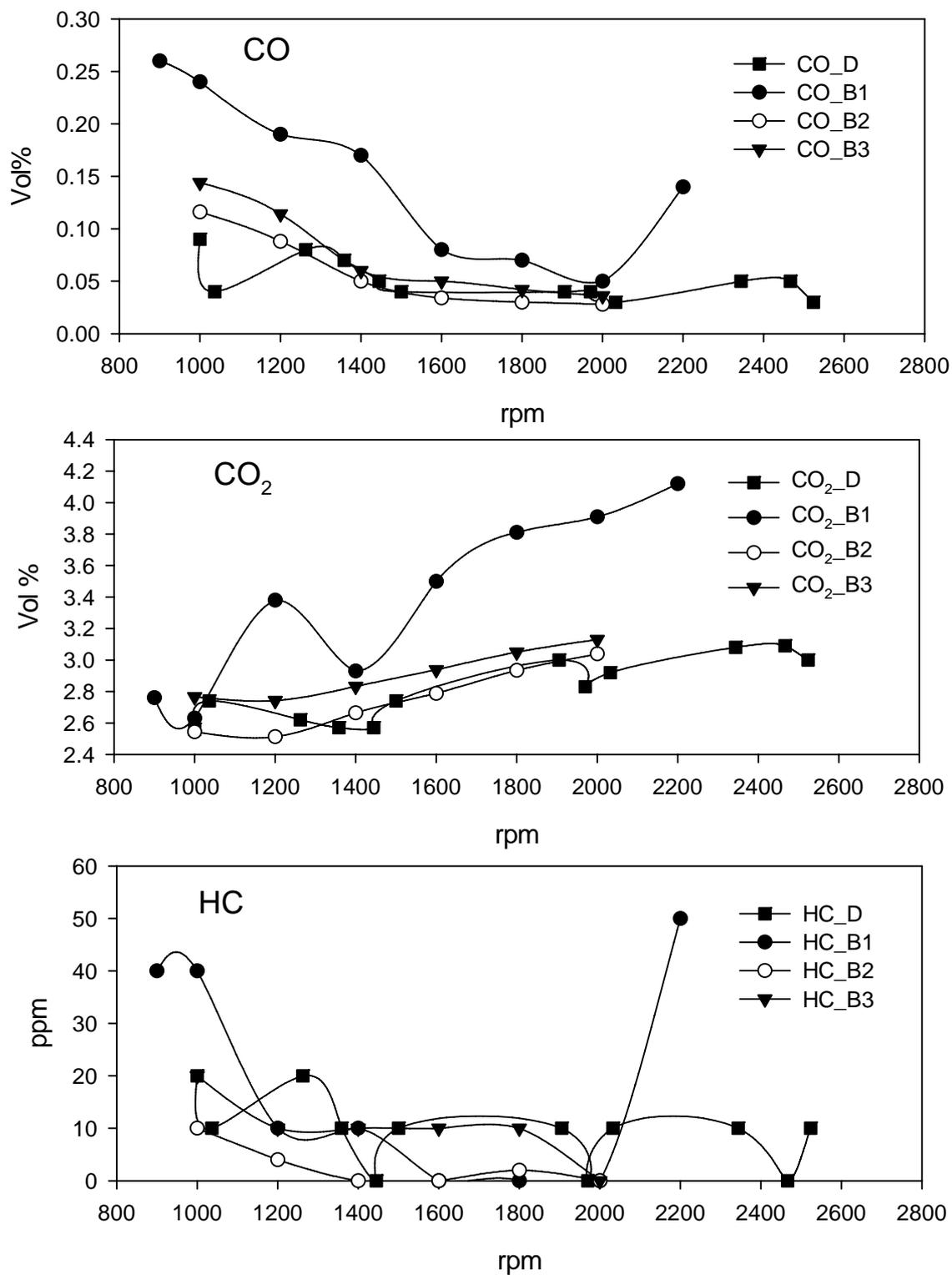


Fig. 2 不同油品於各轉速下之 CO、CO₂ 及 HC 濃度分佈

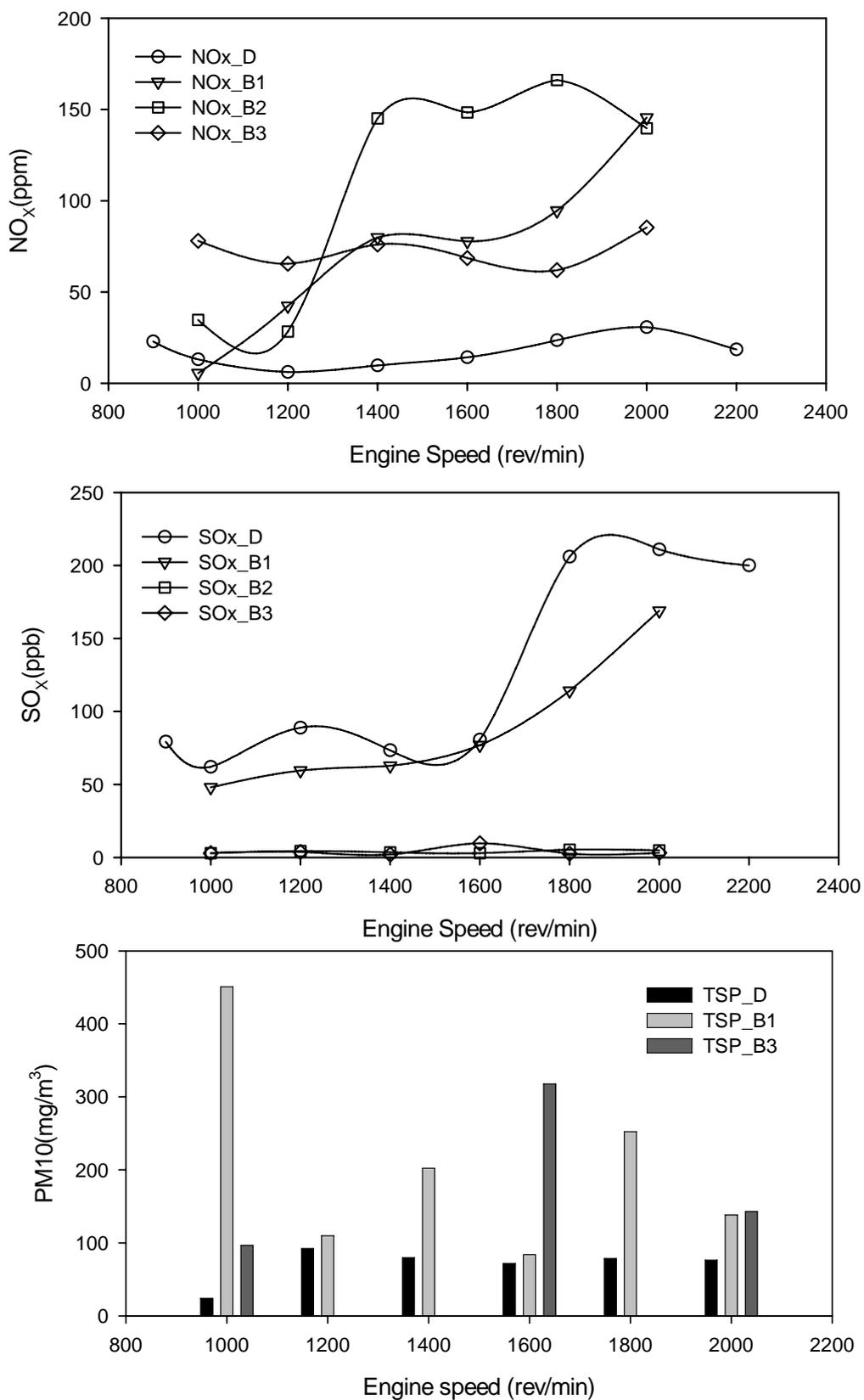


Fig. 3. 各類油品於不同轉速下的 NO_x、SO₂ 及 PM10 濃度分佈

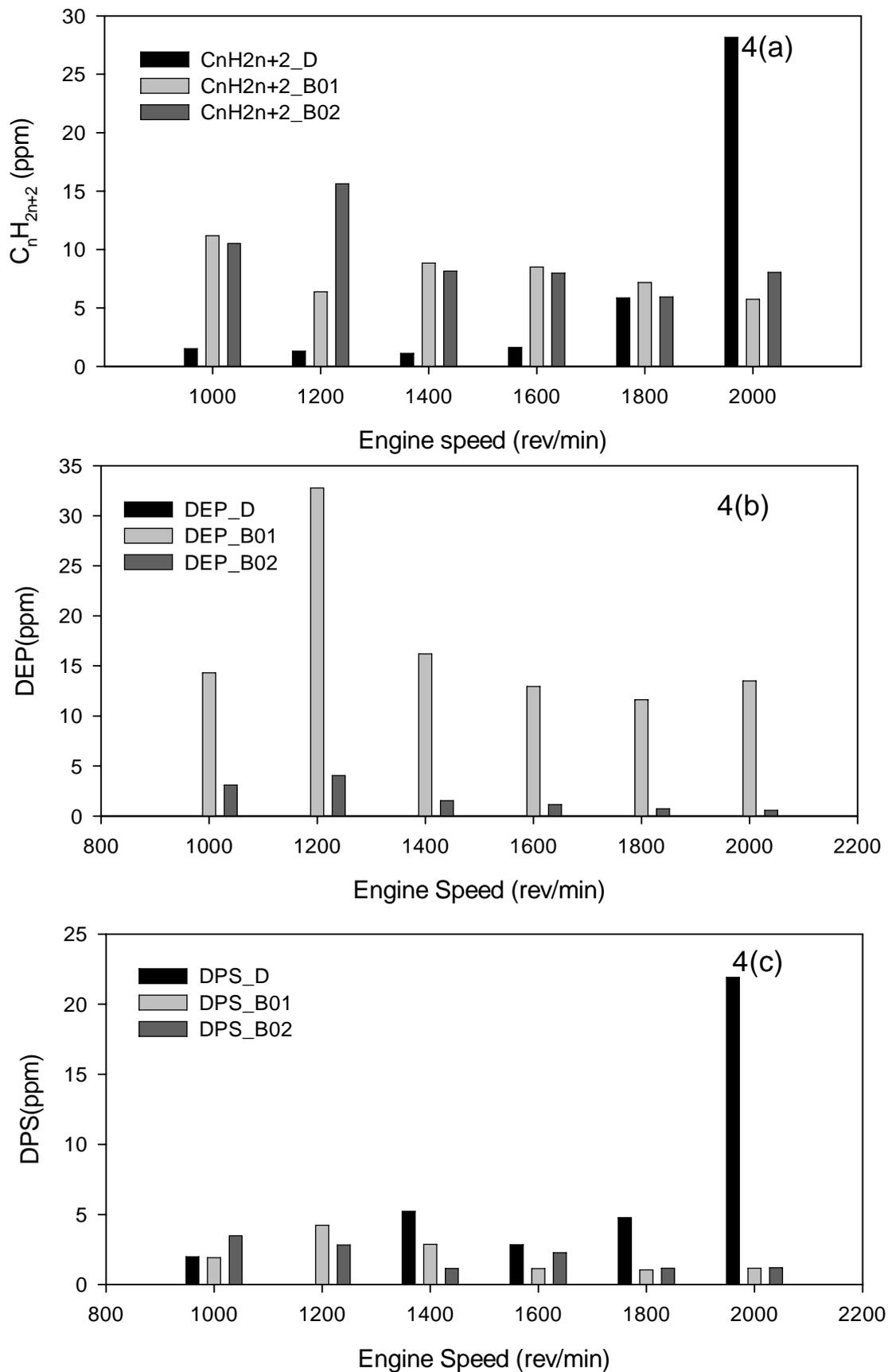


Fig. 4 油品燃燒排氣中之主要微量物種分佈