

技專院校校園班級垃圾性質分析

-以東南技術學院為例

張怡塘¹ 林景行¹ 郭天和² 陳君如³ 黃淑郁³ 廖佳文³ 吳培瑜³

¹東南技術學院環境工程系講師

²東南技術學院環境工程系副教授

³東南技術學院環境工程系專科部學生

摘要

校園班級垃圾由於性質簡單，產量穩定，可資源回收物質所佔比例高，最易於校園中推動資源回收。校園班級垃圾性質因不同地域、收集時間、季節時間變化、學生上課作息時間等有極大的差異，因此推動校園資源回收前應充分瞭解該校垃圾種類與基本性質，以助於推動資源回收，並評估資源回收成效以及管末處理策略上之依據。本研究目的為建立校園班級垃圾基本性質，提供本校實施資源回收與垃圾減量參考，以及校園班級垃圾處理之具體方案。研究結果顯示本校校園班級垃圾單位容積重介於 41.25 kg/m³ 與 56.25 kg/m³ 之間。物理組成中以紙類、塑膠、廚餘與金屬類四種組成比例最高。三成份中可燃份為 58.04-65.42%，水份 24.5%-29.81%，灰份 5.73%-13.89%。乾基發熱量、濕基高位發熱量、濕基低位發熱量分別為 5996-6246 kcal/kg、4365-4671 kcal/kg 以及 4186-4521 kcal/kg。本研究並建議資源回收與焚化處理為東南技術學院校園垃圾處理之較佳方法。

關鍵詞：資源回收、單位容積重、物理組成、三成份、發熱量

一、前言

近年來由於技專院校班級數量與種類不斷擴大，學生人數逐漸增加，使校園廢棄物每日產量增加，垃圾種類也漸趨複雜。技專院校校園廢棄物主要包括三大類：(1)校園垃圾：班級垃圾、學生宿舍垃圾、廚房餐廳垃圾、環境清理垃圾、公共區域垃圾、辦公室垃圾等；(2)實驗室廢污：包括廢液、空氣污染物、廢水、固體廢棄物；(3)其它類：包括廢器材、營建廢棄物、生活污水及一般污泥^[1]。目前技專院校配合環保署「資源回收四合一計畫」、「資源回收再利用法(草案)」與地方政府(臺北市、臺中市、高雄市等)推行之資源垃圾強制分類回收辦法^[2-4]，無不積

極推動校園垃圾資源回收工作，部份學校實施成效顯著^[5,6]，且已推廣於各級學校^[7,8]。垃圾資源回收的優點包括(1)減少垃圾量，節省處理成本，提高焚化爐處理效率；(2)降低清運成本，提高收集效率；(3)回收資源，減少損耗，回饋社會福利^[9]。

校園班級垃圾由於佔校園廢棄物比例極大，垃圾性質較其他校園垃圾性質簡單，產量穩定，可資源回收物質所佔比例高^[10,11]，最容易於校園中推動資源回收。由於各校產生之校園班級垃圾性質因不同地域、收集時間、季節時間變化、學生上課作息時間等可能有極大的差異，因此推動校園資源回收前應充分瞭解該校垃圾基本性質，以助於推動資源回收，並評估資源回收成效以及管末處理策略上之依據^[12]。例如由物理組成資料可知資源回收垃圾所佔比例，再由每日(每月或每年)產生的垃圾量，推估資源回收後所獲得之利潤；另由發熱量資料可評估校園垃圾以焚化爐處理之工程規劃與設計依據。目前技專院校進行資源回收工作多由學校總務處與學務處推動，對校園班級垃圾處理往往缺乏整體規劃，造成校區資源回收場與焚化爐處理能力不足或過剩。本研究以東南技術學院(以下簡稱本校)為例，研究目的為建立校園班級垃圾基本性質，提供本校實施資源回收與垃圾減量參考，以及校園班級垃圾處理之具體方案。研究重點包括：(1)校園班級垃圾種類與性質；(2)不同時間(月份、季節)，校園班級垃圾質與量的變化；(3)校園垃圾所含資源垃圾之比例。

二、研究流程與方法

1.採樣

本校班級垃圾與學生宿舍垃圾集中於垃圾場，採樣時考慮垃圾樣品應具有全校代表性，因此必免假期前後、學期期初期末及考試期間進行採樣，採樣期間為90年3月至90年11月，每季採樣1-2次，共計採樣6次。採樣時必免採取已進行資源回收之班級垃圾。此外亦考慮樣本應包括日間部與夜間部班級所產生的垃圾。採樣當天於垃圾場共取三個時段(7:00-8:00、12:00-13:00與16:00-17:00)樣本，其中7:00-8:00時段代表夜間部班級樣本；12:00-13:00時段代表日間部班級上午產生之樣本；16:00-17:00時段代表日間部班級下午產生之樣本。全部樣本充份混合後，以四分法(參照固體廢棄物基本實驗手冊^[13])取出適量垃圾樣品做為後續分析。

2.分析方法

本研究分析方法說明如下：

(1)單位容積重：參照環保署檢驗方法 NIEA R202.00T。

(2)物理組成

表 1 為本研究之物理組成。分類共分兩階段進行，第一階段依環保署固體廢棄物基本實驗手冊規定，垃圾物理組成共分成 11 類：1.紙類；2.纖維布類；3.木竹、稻草、落葉類；4.廚餘類；5.塑膠類；6.皮革、橡膠類；7.其它可燃物類；8.金屬類；9.玻璃類；10.陶瓷類；11.石頭及 5mm 以上之土砂類。第二階段則將第一階段部份物理組成包括紙類、纖維布類、木竹稻草落葉類、塑膠類、金屬類依材質特性再進行細分。紙類細分成 5 種；纖維布類細分成 4 種；木竹稻草落葉類細分成 3 種；塑膠類細分成 7 種 8 類；金屬類細分成 2 種。最後由實驗所得之水份數據調整為乾基物理組成。

(3)水份：參照環保署檢驗方法 NIEA R203.00T。

(4)灰份：參照環保署檢驗方法 NIEA R204.00T。

(5)可燃份：參照環保署檢驗方法 NIEA R205.00T。

可燃份為垃圾中可燃燒之成份，本研究不直接測定，以樣品總百分率(100%)減去水份和灰份所佔比例而得。

(6)發熱量^[12]

將垃圾以破碎機破碎至 2 mm 以下，秤取約 1.0000g 放入壓錠機中壓成藥錠，接著將藥錠放入不銹鋼瓶內。取 10 cm 的鎳鉻線接觸到樣品不銹鋼瓶外，加入 2L 蒸餾水，蓋緊蓋子，以壓力 25 kg/cm² 之氧氣導入不銹鋼瓶內，打開攪拌開關 30 分鐘使溫度平衡。開啟點火裝置每隔 10 秒紀錄一次溫度上升情形，直到溫度停止上升為止，即可求出高位發熱量，再經由實驗所得之水份數據，換算求出濕基與乾基低位發熱量。實驗過程依環保署規範對實驗數據進行品保與品管(QA/QC)措施，以確保數據的準確性與精密度。

表 1 本研究採用之物理組成分析

第一階段分類		第二階段分類	
可燃物	紙類	(1) 白紙	
		(2) 報紙	
		(3) 牛皮紙	
		(4) 紙餐具	
		(5) 混合紙	
	纖維布類	(1) 純纖維	
		(2) 純棉	
		(3) 混合	
		(4) 其他	
	木竹、稻草、落葉類	(1) 木	
		(2) 竹	
		(3) 落葉	
	廚餘類	-	
	塑膠類	(1) PET	
		(2) HDPE	
		(3) PVC	
		(4) LDPE	
		(5) PP	
		(6) PS	發泡
未發泡			
(7) 其他			
皮革、橡膠類	-		
其他可燃物	-		
不可燃物	金屬類	(1) 鐵	
		(2) 鋁	
	玻璃類	-	
	陶瓷類	-	
5 mm 以上之土砂類	-		

三、結果與討論

1. 單位容積重

圖 1 為本研所得校園班級垃圾之單位容積重。實驗結果為 41.25-92.64 kg/m³，除 4 月份實驗結果較高(92.64 kg/m³)外，其它月份實驗值均介於 41.25 kg/m³ 與 56.25 kg/m³ 之間，平均值為 57.79 kg/m³。此一實驗結果顯示較環保署公告之民國 89 年臺灣地區(157 kg/m³)及北部地區單位容積重平均值(150 kg/m³)為低，主要原因為目前環保署對垃圾單位容積重是採樣收集垃圾車所收集之垃圾進行分析時，垃圾由多都經壓縮與堆擠，使公告之單位容積重數值偏高。此外校園班級垃圾體積大小、垃圾量及垃圾的表面積與一般垃圾並不相同(於物理組成分析部份詳述)，亦為單位容積重有極大差異的另一原因。

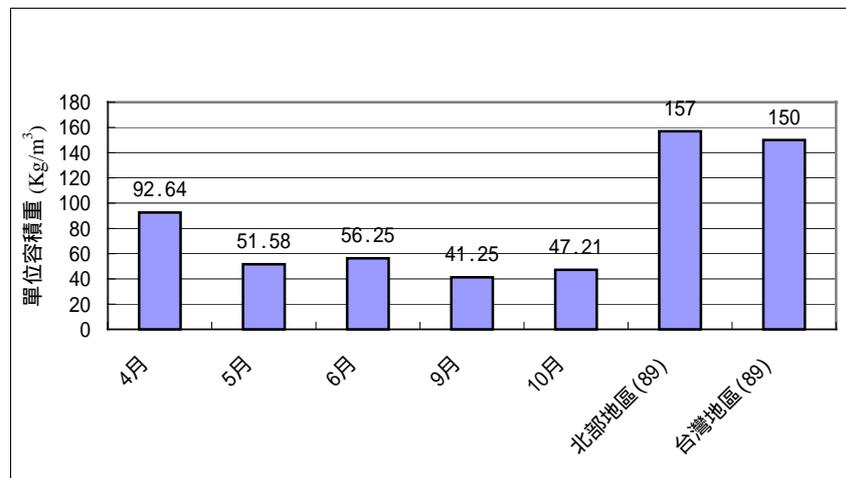


圖 1 本研所得校園班級垃圾單位容積重

2. (乾基)物理組成

各月份分為 10 類物理組成見圖 2-圖 10。實驗結果顯示本校校園班級垃圾各月份可燃份(82.85%-95.14%)與不可燃份所佔比例穩定，與臺北市政府公告(民國 89 年與 90 年)之內湖與木柵焚化廠垃圾組成可燃份所佔比例相近。可燃份中以紙類(32.42%-58.09%)、塑膠(17.19%-36.85%)、廚餘(13.75%-17.03%)三種組成所佔比例最高；不可燃份則以金屬類為主要成份，占 4.211%-13.01%。若與內湖與木柵焚化廠垃圾組成相較，本校紙類比例較多，廚餘比例較少。

進一步分析物理組成成份，其中紙類中以紙餐具(11.56%-24.21%)與混合紙類(3.87%-22.73%)為最多(圖 2)，可能原因是本校學生受限於餐廳空間不足，用餐時多買回班級食用，造成班級垃圾中以紙類紙餐具所佔比例偏高。臺灣地區

紙餐具原料一般來自北歐及美國的經濟針葉林，屬於紙質較好的長纖維所製成，為增加防水性，在餐具表面塗佈一層 PE 膠膜(約佔 5%-7%)或經浸蠟處理。研究中亦發現有些廠商為了區隔配菜及飯食，於紙餐具(便當)中會另外加上塑膠隔板；混合紙類包括書皮、影印紙、雷射印表紙、傳真紙、再生紙、擦手紙、紙板等，是很好的再生紙原料，一般混合紙類回收後，再製成再生紙或紙板或瓦楞紙的中間芯層。塑膠類主要材質為 PET(寶特瓶)(1.66%-16.35%)、PP(聚丙烯)(5.78%-16.15%)及 LDPE(低密度聚乙烯)(4.68%-5.52%)(圖 6)。PET 材質為透明、不透氣、耐酸鹼，是碳酸飲料的最佳包裝，也廣泛運用於其他飲料容器；PP 材質韌性高、具彈性與延展性，不易撕裂，硬度較 PE 高，具耐高溫特性；LDPE 材質則較具彈性，耐酸鹼性優良。金屬類材質包括鐵與鋁(圖 7)，本研究所得樣品均為飲料包裝，各月份實驗結果顯示比例以鋁材質(3.86%-7.49%)較鐵材質(0.351%-5.52%)為多，此結果應與校園中福利社與自動販賣機之販售較多鋁罐飲料有關。

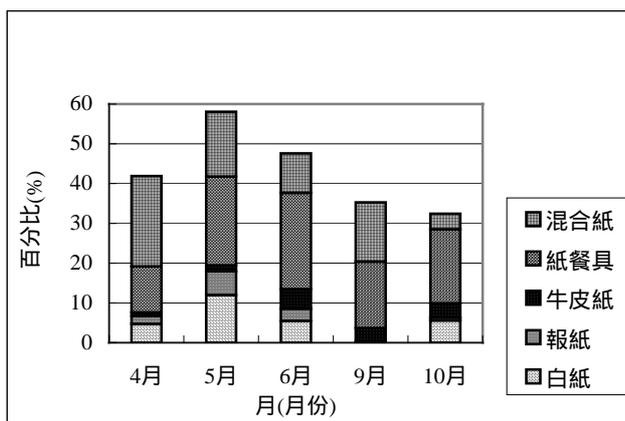


圖 2 本研所得校園班級垃圾紙類(乾基)物理組成

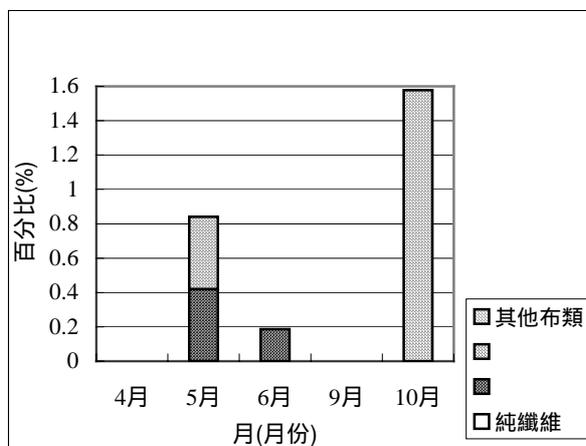


圖 3 本研所得校園班級垃圾纖維布類(乾基)物理組成

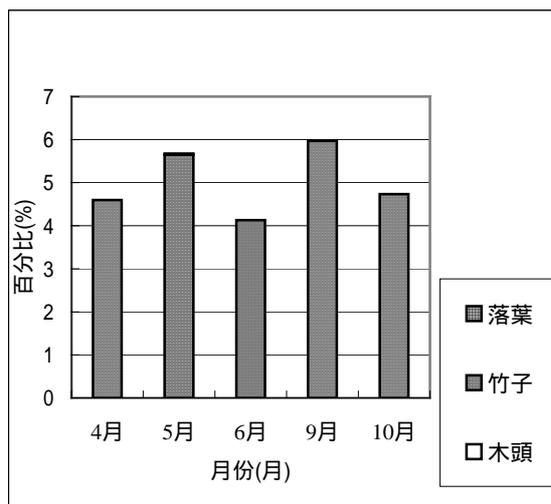


圖 4 本研所得校園班級垃圾木竹稻草落葉類(乾基)物理組成

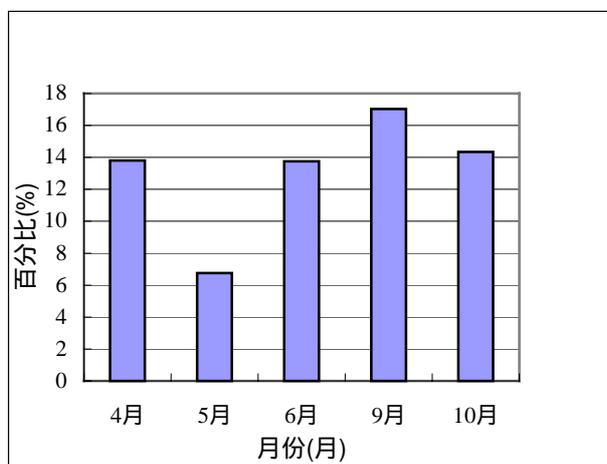


圖 5 本研所得校園班級垃圾廚餘類(乾基)物理組成

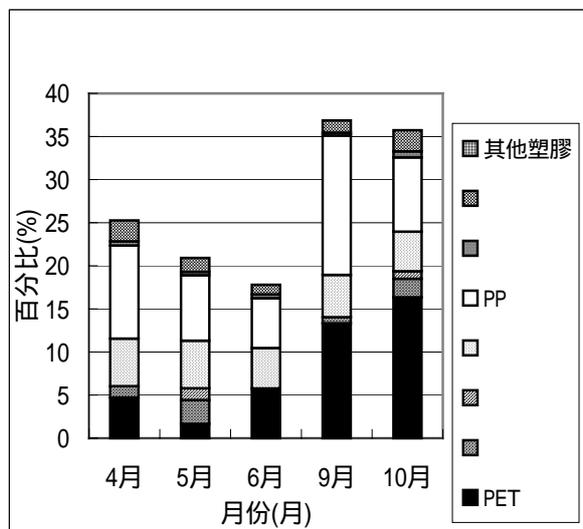


圖 6 本研所得校園班級垃圾塑膠類(乾基)物理組成

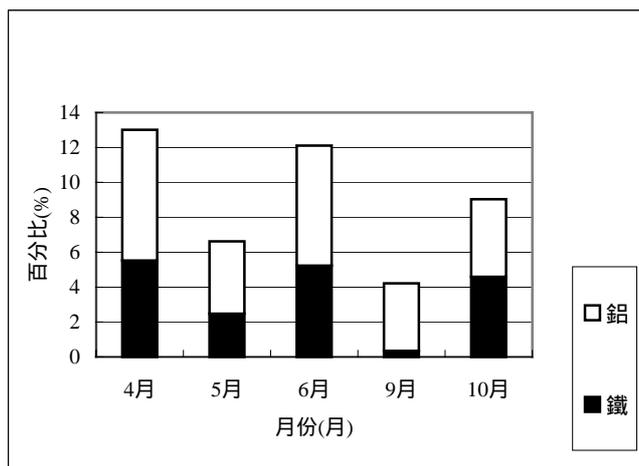


圖 7 本研所得校園班級垃圾金屬類(乾基)物理組成

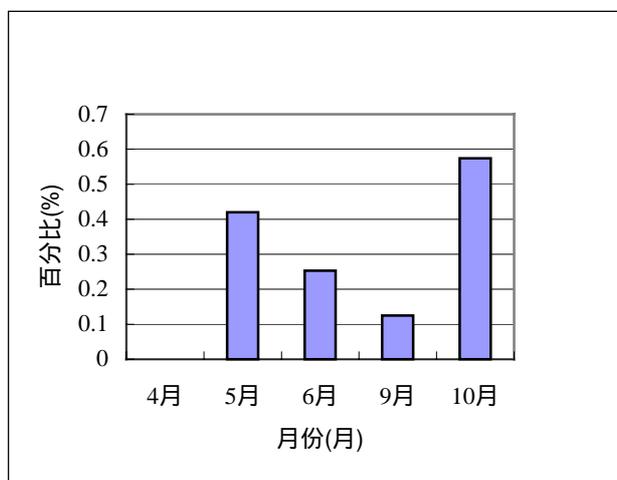


圖 8 本研所得校園班級垃圾皮革橡膠類(乾基)物理組成

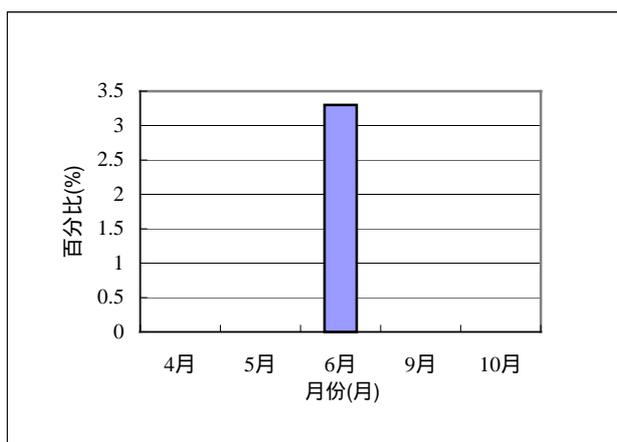


圖 9 本研所得校園班級垃圾玻璃類(乾基)物理組成

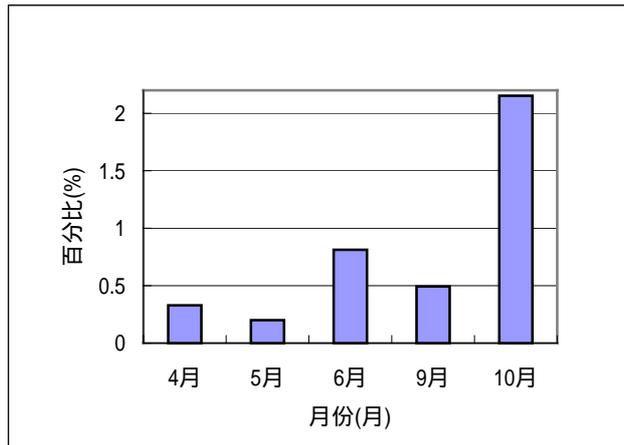


圖 10 本研究所得校園班級垃圾其他可燃物類(乾基)物理組成

分析各月份資源垃圾(包括紙類、金屬、玻璃與塑膠類)結果可知(圖 11)，本校資源垃圾所佔物理組成比例達 76.35%-86.37%，其中又以紙類與塑膠類所佔比例最高，相較於與臺北市實施資源回收後民國 90 年內湖及木柵焚化廠所佔物理組成比例(55.67%-80.00%)明顯偏高，建議本校對班級垃圾可優先考慮對紙類與塑膠類實施回收，使紙類與塑膠類資源垃圾能回收與再利用，達成垃圾減量之目的。至於廚餘因產量穩定，建議本校可利用堆肥方式進行回收。

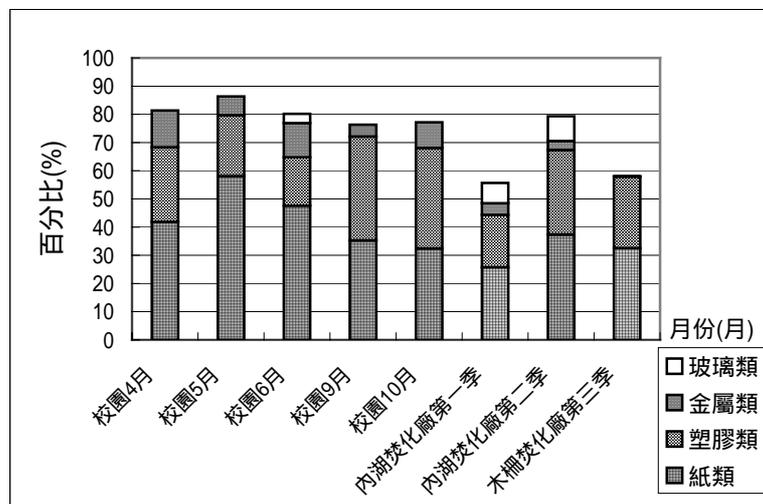


圖 11 本研究所得校園班級垃圾資源垃圾百分比

3.三成份

本校校園班級垃圾三成份的比例實驗結果如圖 12，其中可燃份為 58.04-65.42%，水份 24.5%-29.81%，灰份 5.73%-13.89%，與民國 90 年內湖與木柵焚化廠家戶垃圾三成份相較，校園班級垃圾之可燃份與灰份明顯較家戶垃圾(可燃份為 31.86%-55.72%；灰份 7.57%-10.23%)為高，水份則較家戶垃圾(32.95%-60.41%)少，

可燃份較高原因可能是本校班級校園垃圾物理組成中有較高的紙類與塑膠類兩種可燃份；灰份則因校園班級垃圾中金屬類物理組成比例較高(圖 13)。此外，各月份校園班級垃圾三成份比例穩定，且無季節性變化，說明校園班級垃圾因學期間每日學生各種活動相似，較不易受季節變化所影響，反觀焚化廠家戶垃圾水份與可燃份則因季節不同有明顯變化：第一季時垃圾中的水份較多，可燃份較少，隨第二季與第三季季節變化，可燃份所佔比例逐漸降低，水份比例則逐漸升高。

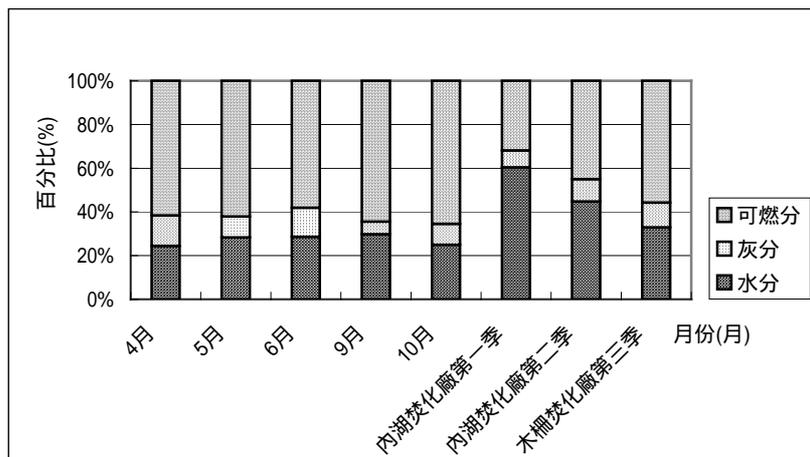


圖 11 本研所得校園班級垃圾三成份百分比

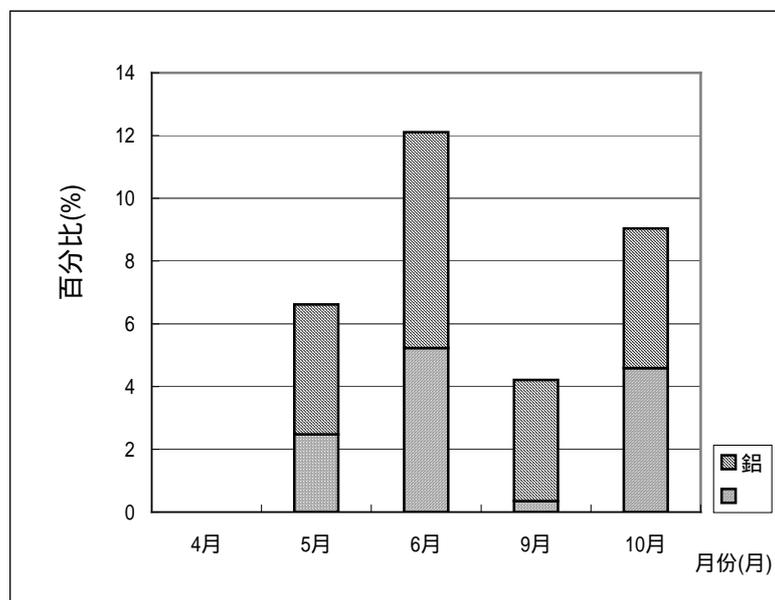


圖 12 本研所得校園班級垃圾金屬類灰份百分比

4.發熱量

本校校園班級垃圾所得乾基發熱量、濕基高位發熱量、濕基低位發熱量分別為 5996-6246 kcal/kg、4365-4671 kcal/kg 以及 4186-4521 kcal/kg(圖 13-圖 15)，添加樣品管制圖如圖 16。這與同時期內湖與木柵焚化爐家戶垃圾發熱量相較，校園班級垃圾發熱量明顯偏高，其原因為班級垃圾中以紙類、塑膠、廚餘與金屬類等發熱量較高之物理組成份占大多數，且三成份中的水份含量亦較家戶垃圾少。由於校園班級垃圾性質穩定，造成各月份產生的發熱量值變化並不大。實驗結果可說明校園班級垃圾發熱量較家戶垃圾為高，除考量回收資源垃圾之外，其餘垃圾適合以焚化方式進行處理。

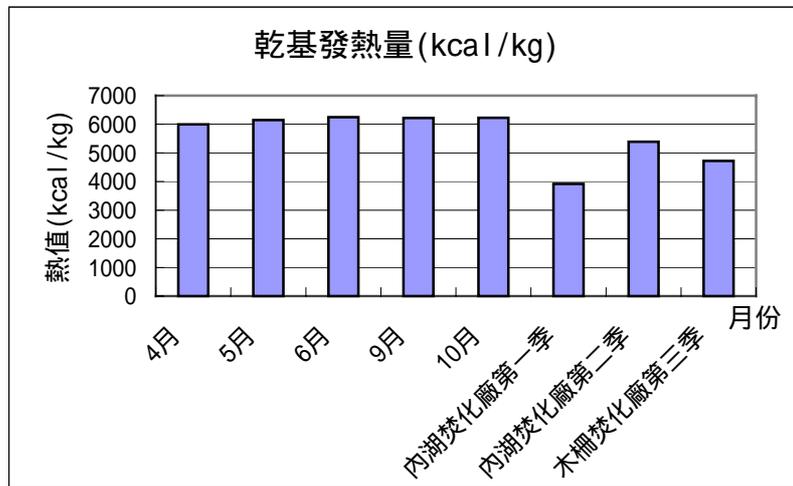


圖 13 本研所得校園班級垃圾乾基發熱量

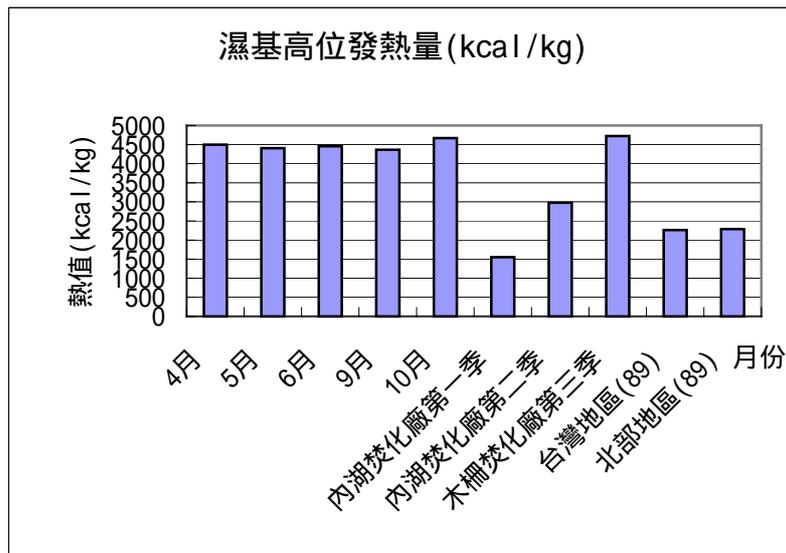


圖 14 本研所得校園班級垃圾濕基高位發熱量

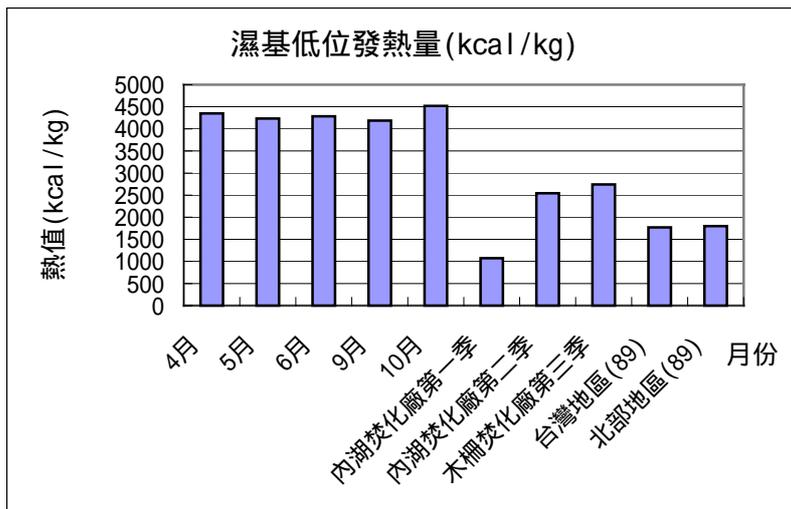


圖 15 本研所得校園班級垃圾濕基低位發熱量

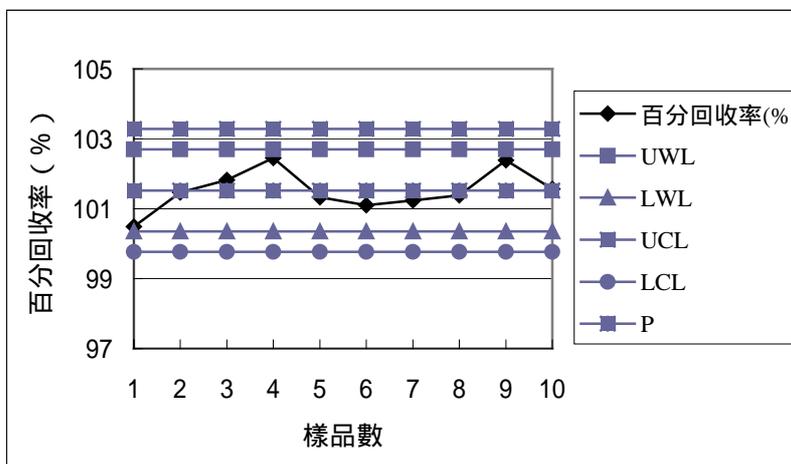


圖 16 本研學校園班級垃圾發熱量添加樣品實驗 (10 月份)

四、結論與建議

1. 本研究結果顯示，本校校園班級垃圾性質：單位容積重介於 41.25 kg/m^3 與 56.25 kg/m^3 之間。物理組成中以紙類、塑膠、廚餘與金屬類四種組成比例最高，其中紙類以紙餐具與混合紙類為最多；塑膠類主要材質為 PET(寶特瓶)、PP(聚丙烯)及 LDPE(低密度聚乙烯)；金屬類主要材質包括鐵與鋁。三成份中可燃份為 58.04-65.42%，水份 24.5%-29.81%，灰份 5.73%-13.89%。乾基發熱量、濕基高位發熱量、濕基低位發熱量分別為 5996-6246 kcal/kg、4365-4671 kcal/kg 以及 4186-4521 kcal/kg。
2. 除去假期前後、學期期初期末、考試期間等特殊期間，研究中發現不同月份與季節所得之校園班級垃圾性質差異不大，推論原因為學生於教室每日作息(活動)相

似，至於校園班級垃圾量則待進一步評估。

- 3.研究結果可知本校資源垃圾(包括紙類、金屬、玻璃與塑膠類)所佔物理組成比例達 76.35%-86.37%，建議本校總務處環安組擬定校園班級垃圾分類時可優先考慮推行紙類與塑膠類的回收與廚餘堆肥製作，一方面可使班級垃圾量迅速減少，減少學校支出代處理業處理成本；另一方面則可將資源垃圾回收與再利用，並透過學生身體力行，實行資源回收之環境教育。

五、參考文獻

- 1.陳有志、張福順、張永、陳元太、吳耀閔，「學校廢棄物處理規劃之研究-以崑山技術學院為例」，第 15 屆廢棄物處理技術研討會(2000)。
- 2.黃錦明，「資源回收再利用法草案之初探」，工業污染防治報導，第 141 期，第 9-11 頁(1999)。
- 3.洪正中，「台北市的垃圾革命-垃圾清理費隨袋徵收」，環境教育季刊，第 43 期，第 1-7 頁(2000)。
- 4.劉邦裕、張皇珍、施肇芳，「強制垃圾分類制度與資源回收工作績效之實證分析」，第 2 屆廢棄物清理實務國際研討會(2000)。
- 5.林致信、姚台珍，「大專校園實施資源回收垃圾減量之研究-以大仁藥專為例」，學校衛生，第 28 期，第 15-26 頁(1997)。
- 6.賴朝明、楊盛行，「台大校園資源回收」，第 9 屆廢棄物處理技術研討會，第 465-477 頁(1994)。
- 7.林啟燦、陳秋雲、陳志遠，「大專院校資源回收環境教育工作之推廣」，環境工程會刊，第 9 卷，第 3 期，第 77-87 頁(1998)。
- 8.葉國樑、楊冠政、汪靜明，「輔導國民中小學配合資源回收四合一計畫之探討」，環境教育季刊，第 36 期，第 63-73 頁(1998)。
- 9.謝錦松、黃正義，固體廢棄物處理，修訂五版，高立圖書有限公司(2001)。
- 10.吳照雄，「台中市垃圾中資源物質組成分析」，第 14 屆廢棄物處理技術研討會(1999)。
- 11.李嘉塗、許哲嘉、陳柏州、陳振輝、翟秀玉，「高雄市垃圾之物理分析」，第 14 屆廢棄物處理技術研討會(1999)。

12. 林景行、張怡塘、蔡美玲、莊淳元、何怡瑩、陳淳廉、林聖棋、林智翔、李世平，「以實測資料推導本土化垃圾發熱量經驗公式之研究」，第 15 屆廢棄物處理技術研討會(2000)。
13. 中國土木水利工程學會，固體廢棄物基本實驗手冊，環境工程基本實驗手冊(三)(1989)。