海洋委員會海洋保育署
OCEAN CONSERVATION ADMINISTRATION,
OCEAN AFFAIRS COUNCIL

海域微型塑膠採樣與分析指引

中華民國 115 年 10月

目　錄

一、微型塑膠指引概要.....1

二、微型塑膠型態介紹.....3

三、微型塑膠採樣方法.....5

四、微型塑膠檢測方法.....8

五、微型塑膠檢測流程.....10

六、海域水體微型塑膠採樣與分析.....12

(一)設備與試劑.....12

(二)海域水體前處理.....14

(三)海域水體分析.....16

七、生物體牡蠣微型塑膠採樣與分析.....20

(一)設備與試劑.....20

(二)生物體牡蠣前處理.....22

八、海域水體微型塑膠濃度計算.....24

九、生物體牡蠣微型塑膠濃度計算.....24

十、微型塑膠數據品質控制及管理.....25

十一、參考文獻.....26

表 目 錄

表 1　微型塑膠型態(GESPMP,2019) 3

表 2　海域水體微型塑膠採樣方法 6

表 3　微型塑膠樣品檢測方法 8

圖 目 錄

圖 1　塑膠廢棄物、微型塑膠及奈米塑膠之尺寸分類.....1

圖 2　表水微型塑膠採樣器。左圖：Manta Net 採樣器示意圖(修改於 HYDRO-BIOS 公司網站)，Manta Net 採樣器共分拖曳鋼纜、浮翼、流量計及樣品網袋等單元／右圖：流量計。.....12

圖 3　常用微型塑膠鑑定材質之所需儀器。左圖：傅立葉轉換紅外線光譜儀 ／右圖：拉曼光譜儀.....13

圖 4　樣品採集與保存。左圖：採樣與保存 ／ 右圖：過篩與沖洗樣品.....14

圖 5　微型塑膠樣品前處理。左圖：濕式氧化法 ／ 右圖：密度分離(使用碘化鈉)。 15

圖 6　樣品分類與處理.....16

圖 7　微型塑膠外觀辨識(GESAMP, 2019) 16

圖 8　微型塑膠之顆粒及纖維.....17

圖 9 傅立葉轉換紅外線光譜示意圖，微型塑膠 PE 顆粒(紅線)與 PE 標準品(藍線) 17

圖 10 拉曼光譜示意圖，上圖：海域水體 PE 樣品(紅線)與標準品(紫線)／.....18

圖 11 尼羅紅染劑對樣品進行染色.....19

圖 12 生物體中微型塑膠的放光行為.....19

圖 13 常見塑膠在藍光激發下的螢光反饋.....19

圖 14 微型塑膠所需之耗材設備。左圖：金屬濾網 ／ 右圖：恆溫震盪器.....20

圖 15 常用微型塑膠鑑定之所需儀器。左圖：傅立葉轉換紅外線光譜儀(FTIR) ／中間圖：拉曼光譜儀(Raman Spectrometer) ／右圖：螢光顯微鏡 21

圖 16　生物體牡蠣前處理步驟.....23

一、微型塑膠指引概要

1.1 方法概要

塑膠產品使用過後常變成塑膠廢棄物，並藉由自然環境中之各種途徑最終流向河流到達海洋。而這些塑膠廢棄物在海洋中受到紫外線輻射、海水沖刷導致磨損、生物誤食或分解作用等，使其破碎成不同尺寸的微型塑膠，因此這類塑膠污染為近年來僅次於氣候變遷議題研究之一。在 2008 年，美國海洋暨大氣總署(NOAA)已將尺寸小於 5 mm 以下的微型塑膠定義為微型塑膠(Microplastics, MPs)，在此尺寸以下微型塑膠容易被生物所攝取與吸收(圖 1)。國際研究顯示海洋、淡水、陸地及生物體中都已經發現微型塑膠之污染。

微型塑膠亦可按照其生產來源分為「初級微型塑膠」與「次級微型塑膠」，前者是人為製造及使用時其尺寸就小於 5 mm，例如洗面乳內含的柔珠、樹脂顆粒或塑膠粉末等；後者則遭人為棄置於環境中的塑膠廢棄物，如經過紫外線輻射長期曝曬、風化、分解、破碎等因素而形成(GESAMP,2019)。

本指引主要為國內海域環境及生物體(牡蠣)內微型塑膠之採樣及檢測方式之操作參考程序，供地方政府或研究單位參考使用。

巨大 Mega > 1 m	大型 Macro 1m - 2.5 cm	中型 Meso < 2.5 cm - 5 mm	微型 Micro <5 mm - 1 µm	亞微米 Submicron 1 µm~100 nm	奈米 Nano < 100 nm



圖 1　塑膠廢棄物、微型塑膠及奈米塑膠之尺寸分類

1.2 適用範圍

適用範圍係檢測沿近海、大洋表層海水(＜1m)中 5 mm～330 μm 之微型塑膠以及生物體(牡蠣)中 5 mm～20 μm 之微型塑膠數目濃度之檢測。由於近海、大洋表層海水之採樣受眾多環境因子影響及干擾，因此實際採樣時亦可依照本指引進行調整，以符合研究及調查之目的。本指引所列之方法(如 Manta Net 拖網法)僅為目前國際主流且較多單位使用之方法。若調查區域有特殊環境限制(如極淺水域或高濁度水域)，應由調查單位自行評估並選用最具代表性之替代採樣技術。

1.3 干擾

(1) 採樣時環境條件如風、波浪及湧浪等皆會影響微型塑膠於表水的濃度分佈，易造成採樣時的誤差，建議採樣時應於海象平穩之環境進行。此外，若海象不穩定之情況應紀錄當下水體流速、湧浪高度及風向風速之參數。

(2) 採樣水體若含高濁度之懸浮微粒、動植物碎片及藻類等，易造成濾膜孔隙或篩網阻塞或遮蔽濾膜上之微型塑膠而影響檢測。

(3) 採樣及檢測人員穿著合成纖維衣服與採樣環境充斥塑膠污染源，將會造成干擾。

二、微型塑膠型態介紹

根據 GESPMP (2019)指出，可從微型塑膠外觀或型態上如碎片、纖維或發泡塑膠等初步判斷這些微型塑膠潛在來源，舉例：塑膠纖維可能來源為紡織品、繩索或漁線等，因此**依據微型塑膠特徵及外觀以視覺判斷法分為 5 大型態**(表 1)：

(1) **塑膠碎片(Fragment)**：堅硬、厚實及不規則形狀。

(2) **發泡塑膠(Foam)**：個體呈現蓬鬆外觀且具有孔洞。

(3) **塑膠薄膜(Film)**：邊緣光滑，其組成為薄而扁平。

(4) **塑膠纖維(Fiber)**：細長形纖維材料。

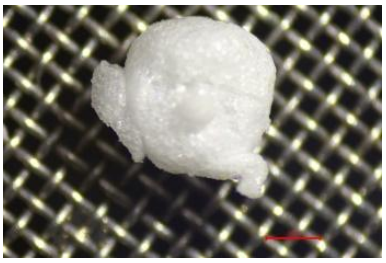
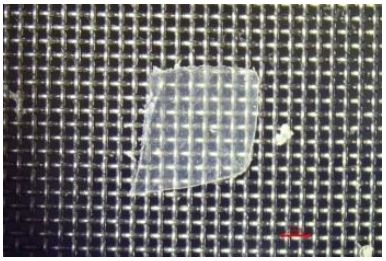
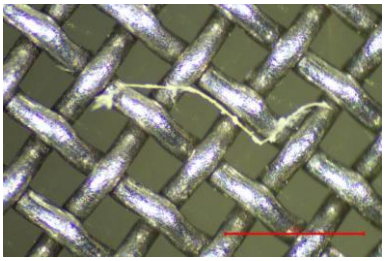
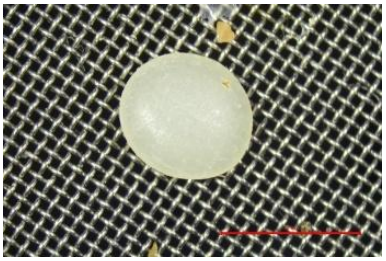
(5) **塑膠顆粒(Pellet)**：具球形、光滑或硬顆粒外觀。

2023 年 10 月 17 日起，歐盟委員會法規 (EC) No 1907/2006 附錄 17- Entry 78 正式生效，禁止在市場上投放故意添加的微型塑膠(Microplastics)或合成聚合微粒(Synthetic Polymer Microparticles)產品，微型塑膠在產品中的濃度不得高於重量的 0.01 %，則不得以單獨物質或混合物形式投放市場。5 mm 以下的顆粒狀微型塑膠、以及 15mm 以下且長度與直徑的比值大於 3 的纖維狀微型塑膠，均在禁令範圍內(Commission Regulation (EU) 2023/2055；SGS, 2023)。

表 1　微型塑膠型態(GESPMP, 2019)

材 質	描 述	特 徵	圖 片
Fragment 塑膠碎片	顆粒、片狀	不規則形狀且具硬質特徵，多來自於塑膠廢棄物破碎而來。	

表 1(續)微型塑膠型態(GESPMP,2019)

材 質	描 述	特 徵	圖 片
Foam **發泡塑膠**	保麗龍與聚氨酯發泡	接近球形或粒狀，在壓力下容易變形。	
Film **塑膠薄膜**	薄片且呈半透明狀	扁平、柔韌的型態，具有光滑之角邊且呈半透明狀。	
Line **塑膠纖維**	纖維、長絲、線	具有一定長度的長纖維材料	
Pellet **塑膠顆粒**	平滑球狀，多為工業塑膠製成使用之原粒	球形、光滑或硬顆粒狀	

註：圖片來源本署提供。

三、微型塑膠採樣方法

海洋中微型塑膠可依據不同環境受體進行採樣方法，例如海域水體(Seawater 表層／分層)、生物體(Biota)及沉積物(Sediments)等，然本指引針對海域表水及生物體提供採樣及分析指引。

根據聯合國 Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP) 於 2019 年所提出的指引「Guidelines for the Monitoring and Assessment of Plastic Litter in the Ocean」針對海域水體微型塑膠依照採樣設備提出四種方法，包含海面拖網(如使用 Manta Net 蝠鱝拖網(或稱浮游生物網)、Neuston Net 諾斯頓網或 Bongo Net 邦戈網等)、水樣過濾、水下泵浦(如 Pump 泵浦、Autosampler 自動採樣器等)及浮游生物連續採集器等。

歐盟 MSFD 海洋廢棄物技術小組於「Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas」報告中建議以海面拖網進行海域水體採樣，再過篩、萃取出微型塑膠；美國海洋暨大氣總署(NOAA)也以海面拖網拖行 15 分鐘取得海域水體微型塑膠樣品；日本環境省建議可使用常見 Manta Net (蝠魟網)或 Neuston Net (諾斯頓網) 過濾海域水體中微型塑膠，尤其是 Manta Net 較能使採樣器平穩施放於表水中，並能精準估計過濾水量體積(圖 2)。

全球海洋中的海水微型塑膠濃度分布範圍相當廣泛，差異可達數個數量級，其濃度會因地區、海洋活動、人口密度、經濟發展程度和微型塑膠分布不均勻特性等因素而有所不同。因此拖網水量、泵浦抽取水量或採樣水量之體積應取決於微型塑膠濃度(個／立方公尺)分布，但不建議採樣水量體積過小(例如＜100 L (即 0.1 立方公尺))，除非研究區域具有較高的微型塑膠濃度，以免高估實際濃度。。而採樣時亦需注意海況及天氣狀況，也應避免夜間微生物 Zooplankton 數量增加干擾，各式海域水體採樣方法各有優點及限制詳列於表 2。

針對生物體採樣方法部分，建議物種挑選應符合：具有區域性、非保育類、於調查海域中數量多、具有生態或經濟重要性或國際上有類似物種調查可做比較。

然不同物種可提供之環境資訊不同，如固著生物可提供固定位置之環境污染，尤其牡蠣，更是長期被作為重金屬及有機污染蓄積之指標性生物，利於做全球環境中微型塑膠污染分布調查。

考量數據的可比性與目前國內多數研究現況，本指引詳細規範之程序係針對『蝠紅網表層拖網法』而設計。其他如泵浦採樣或自動採樣器等方法，其操作細節請參照國際組織(如 GESAMP)之相關指引。

表 2　海域水體微型塑膠採樣方法

採樣方法		
海面拖網	**說 明**	■ 可使用 Manta Net、Neuston Net 或 Bongo Net 等。 ■ 建議採樣之船行速度＜2 Knots，至少拖行 20 分鐘。
	優 點	■ 可用小型船艇進行採樣。 ■ 以流速計估算水量體積。
	限 制	■ 易受天候影響。 ■ 需掌握採樣之拖行時間與船速。 ■ 無法收集小於網目之微型塑膠。
水樣過濾	**說 明**	■ 以容器採取大量海水。 ■ 可搭配潛水泵使用。
	優 點	■ 已知水量體積。 ■ 適用於分析小於一般 330 μm 網目之微型塑膠。
	限 制	■ 受限採樣水量體積，易高估實際濃度。 ■ 處理過程易受污染。

表 2(續)海域水體微型塑膠採樣方法

採樣方法		
Underway pumps	**說 明**	■ 船艇冷卻，引擎所抽用的海水分流一部分到 250μm 篩網。
	優 點	■ 收集航行期間海面下之微型塑膠。
	限 制	■ 採樣水量體積小，易高估實際濃度。 ■ 採樣深度受海面情況影響。
浮游生物連續採集器	**說 明**	水面下連續拖網
	優 點	海面下，可長距離採樣
	限 制	■ 一般深度約水下 10 m，離水面遠。 ■ 僅採集微小顆粒。

四、微型塑膠檢測方法

微型塑膠樣品採樣後，需注意品質管控，避免樣品受污染，並應保持實驗環境潔淨，如玻璃器皿使用前應清洗、烘乾並使用非塑膠材料(如鋁箔或鐵氟龍)蓋上；濾篩濾網使用前，以顯微鏡確認無殘留雜質；操作人員應穿著天然棉製衣物、乳膠無粉手套等，並進一步做採樣空白與方法空白，確認採樣設備、儲存溶液及所使用化學品是否產生背景污染。

聯合國(GESAMP,2019) 將微型塑膠樣品檢測分為兩大類：(1) 顯微鏡下物理特性分辨 (2)分子振動光譜化學成分定性。

物理特性分析之操作者於顯微鏡下觀察並紀錄樣品微型塑膠之數目、型態、尺寸及顏色，判斷是否為微型塑膠的基本條件不含細胞特徵、纖維粗細度均勻一致、單一顏色等。此方法對於微小尺寸、透明顆粒、纖維分辨不易，其中解決方式為尼羅紅螢光劑輔助，尼羅紅螢光劑可選擇性染於疏水性塑膠，再以螢光顯微鏡挑選顆粒，並進一步以傅立葉轉換紅外光譜確認。此方法缺點在於尼羅紅亦染到天然纖維、幾丁聚醣類與酯類，且產生的螢光會干擾後續使用拉曼光譜定性。

微型塑膠化學成分定性有利於分辨塑膠材質，最常使用方法以傅立葉轉換紅外光譜儀(Fourier-transform infrared spectroscopy, FTIR)或拉曼光譜儀(Raman spectroscopy)進行微型塑膠樣品定性分析，此兩種方法可擇一測出相似度等於或大於 70%以上，且確認該檢測材質之波數與峰形存在，即可判定為微型塑膠材質。相關說明、優點與限制等如表 3。

表 3　微型塑膠樣品檢測方法

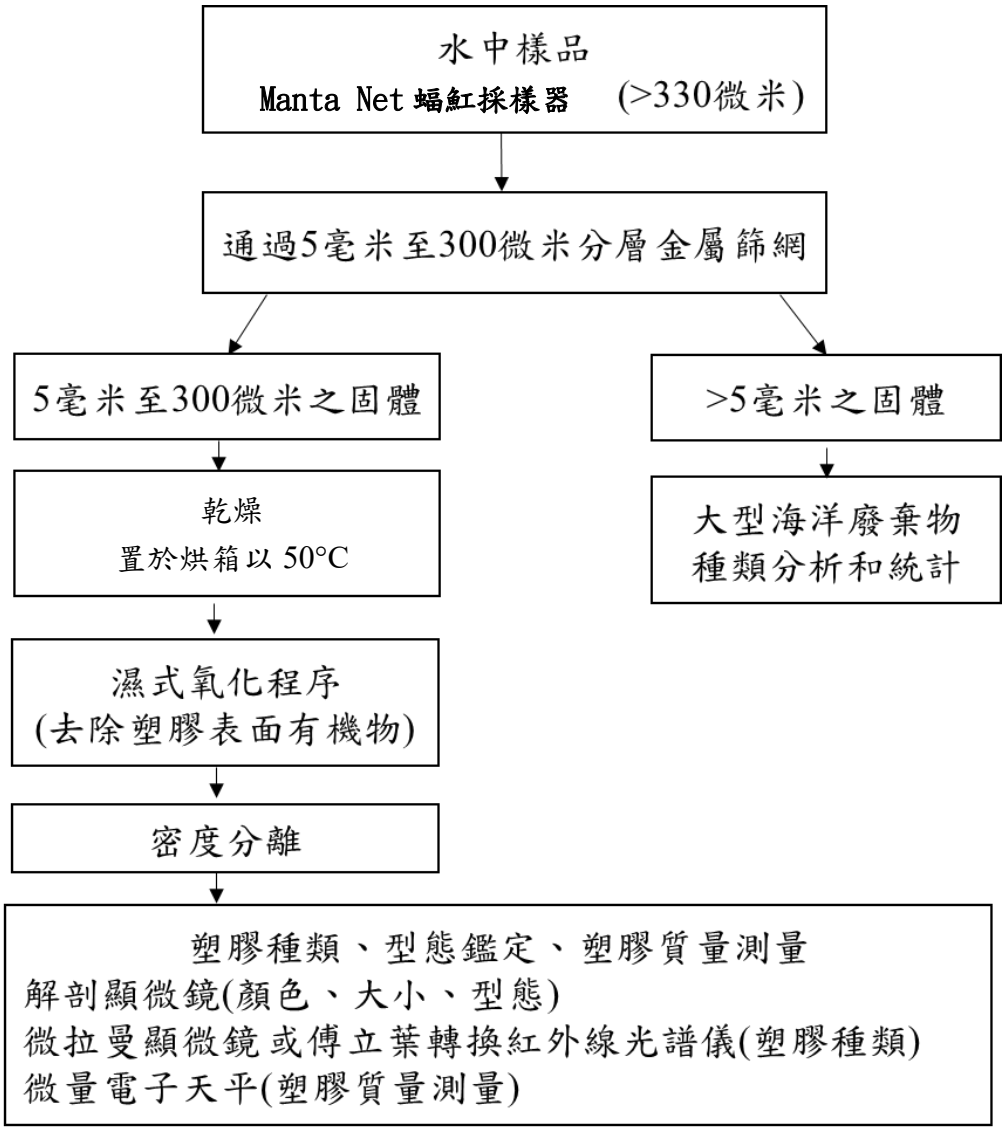
物理型態觀察方法		
Microscope **顯微鏡目測**	**說 明**	以 40 倍解剖顯微鏡觀察物理特性
	優 點	簡易、快速及低成本
	缺 點	■ 無法分辨化學材質 ■ 透明顆粒誤判率高

表 3(續)微型塑膠樣品檢測方法

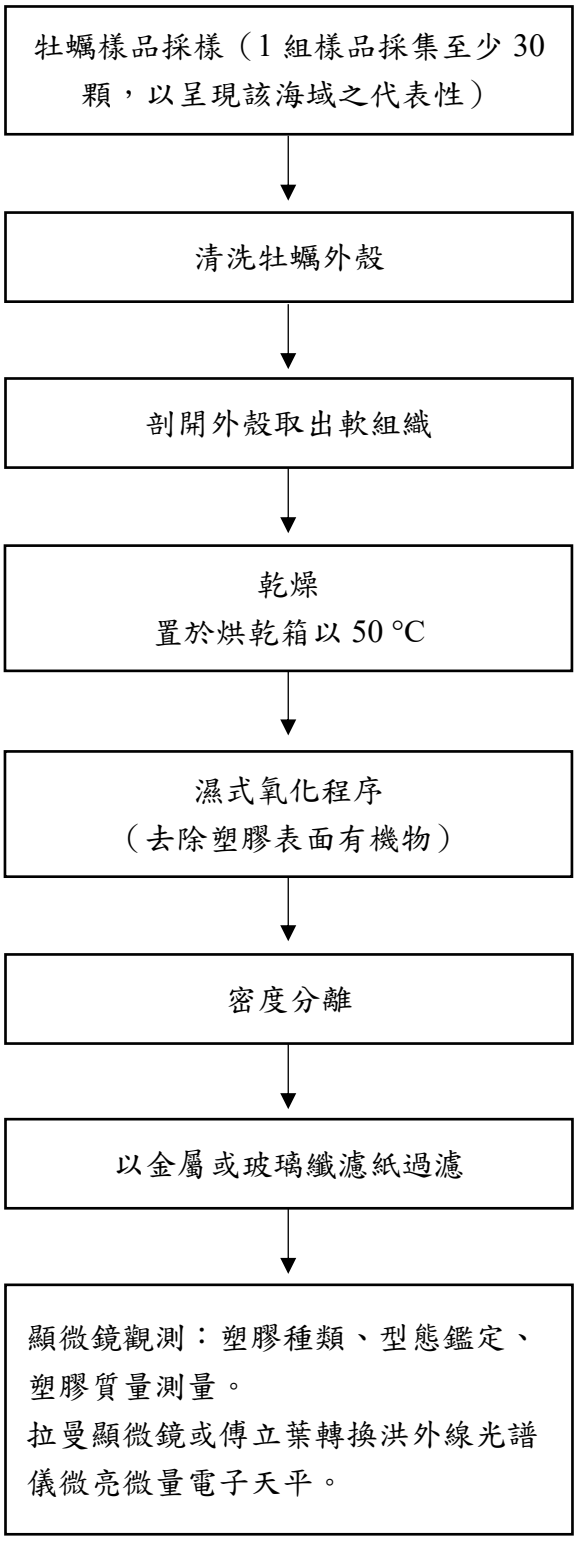
化學定性方法		
FTIR **紅外光譜**	**說 明**	■ 提供化學材質鑑定 ■ 分為穿透、反射、ATR 三種模式
	優 點	■ 分辨塑膠材質 ■ 偵測極限約 20 μm
	缺 點	儀器價格高
Raman spectroscopy **拉曼光譜**	**說 明**	■ 提供化學鑑定與化學成分資訊 ■ 具有不同波長可供選擇
	優 點	■ 分辨微型塑膠材質 ■ 偵測極限約 1 μm ■ 非接觸、非破壞
	缺 點	■ 儀器價格高 ■ 易受螢光干擾
SEM-EDS **電子顯微鏡**	**說 明**	電子顯微鏡下可分辨樣品的元素成分
	優 點	利於分辨 PVC 與 PTFE 等含異元素的塑膠
	缺 點	■ 儀器價格高 ■ 樣品處理程序複雜且費時 ■ 不易分析其他塑膠材質
DSC / TGA **示差熱掃描分析儀/熱重分析**	**說 明**	DSC / TGA 透過高分子的熔解特性和結晶點
	優 點	辨別塑膠與其他材質種類
	缺 點	對樣品具有破壞性

五、微型塑膠檢測流程

■ **海域水體微型塑膠檢測流程**



■ **生物體(牡蠣)微型塑膠檢測流程**



六、 海域表水微型塑膠採樣與分析

- 本方法係檢測沿近海、大洋水體表層中 5mm～330μm 微型塑膠。
- 海域水體微型塑膠樣品分析方法參考自美國 NOAA 及日本環境省之監測分析指引(Masura et al., 2015；Michida Y et al., 2020)。

(一)設備與試劑

1. 設備

(1) 蝠魟網(Manta Net)：一般網目為 330μm，並於網目綁附流量計以測定過量之水量(圖 2 之左圖)。

(2) 流量計：流量計應採用數字直讀式種類(圖 2 之右圖)。

(3) 樣品瓶：棕色附鐵氟龍內墊瓶蓋玻璃瓶，約 1 L 或其他適當體積。

(4) 不鏽鋼篩網：使用直徑 20 cm、孔徑 5mm 及 0.297mm 之不銹鋼篩網。

(5) 金屬濾紙

(6) 量筒：50 mL 至 100 mL 之硼矽玻璃量筒。

(7) 玻璃培養皿：硼矽玻璃製品之培養皿，大小為 60×15mm 或其他適當大小。

(8) 燒杯：600 mL 或其他適當之硼矽玻璃燒杯。

(9) 烘箱：50°C。

(10) 鑷子：前端平滑、內側無波紋之金屬製鑷子。

(11) 熱源：加熱攪拌裝置。

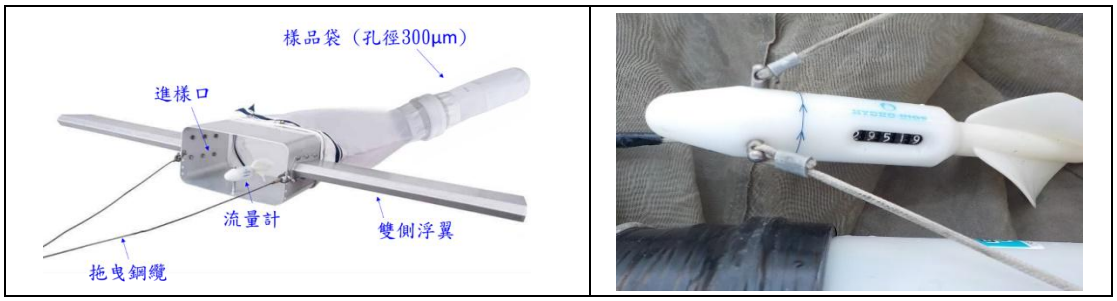


圖 2　表水微型塑膠採樣器。左圖：Manta Net 採樣器示意圖(修改於 HYDRO-

BIOS 公司網站)，Manta Net 採樣器共分拖曳鋼纜、浮翼、流量計及樣品網袋等單元／右圖：流量計。

(12) 電子天平：五位或六位數之微量天平。

(13) 解剖顯微鏡：可放大 40 倍以上之解剖顯微鏡。

(14) 傅立葉轉換紅外線光譜儀 (FTIR)(圖 3 之左圖)

- 掃描波數至少涵蓋 550 至 4000 cm^{-1}。
- 解析度≤ 4 cm^{-1}。
- 分析軟體具有圖譜比對功能。

(15) 拉曼光譜儀(Raman Spectrometer)(圖 3 之右圖)

- 掃描波數至少涵蓋 550 至 3200 cm^{-1}。
- 解析度≤4 cm^{-1}，雷射功率≥10 mW。
- 分析軟體具有圖譜比對功能。

2. 試劑

(1) 試劑水：比電阻值須大於 10 MΩ-cm 之去離子水或其他不干擾檢測方法之水。

(2) 亞鐵溶液，0.05M：溶解 7.5 克 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (MW=278.02 g/mol) 於 500 mL 試劑水中，加入 3 mL 濃硫酸。

(3) 雙氧水，30 %：可自行配製或使用市售溶液。



圖 3　常用微型塑膠鑑定材質之所需儀器。左圖：傅立葉轉換紅外線光譜儀 ／右圖：拉曼光譜儀

(二)海域水體前處理

1. 採樣與保存

以網口綁附流量計之採樣網具(請參考海域水體計算方法第 24 頁)，於測站進行水平拖曳採樣，船速原則應低於 2 節(Knots)，且採樣時控制網具拖曳速度，或加掛重錘，以確保採樣進行中，網口能沒入水中約 0.15 至 0.25 m，各測站水平拖曳時間應當一致，至少拖行 20 分鐘以上(可就濃度適時調整拖行時間)，採樣完成後樣品於室溫或冰箱(4°C)避光保存(圖 4 之左圖)。

2. 水樣過篩

將海域水體樣品倒入 5 mm 及 0.297 mm 堆疊不銹鋼篩網(圖 4 之右圖)，以內裝試劑水之洗滌瓶沖洗樣品瓶，並倒入篩網數次，此動作可以去除樣品中鹽分。瀝乾後移除＞5 mm 或＜0.297 mm 之顆粒。

3. 乾燥

燒杯以鋁箔覆蓋後，置於烘箱以 50 °C 烘至完全乾燥。

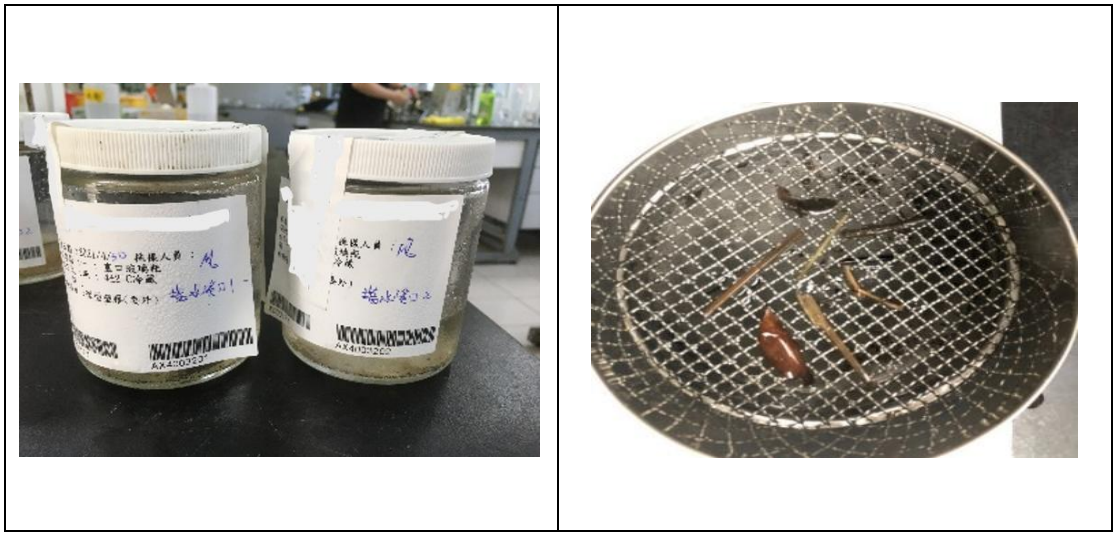


圖 4　樣品採集與保存。左圖：採樣與保存 ／ 右圖：過篩與沖洗樣品

4. 濕式氧化

將海域水體樣品移至 500 mL 燒杯中，加入 0.05 M 亞鐵離子水溶液 20 mL 和 30 %過氧化氫 20 mL(圖 5 之左圖)於室溫下反應，須避免反應之高溫導致聚合物遭受破壞。若尚有有機物質及殘渣尚為消化完成，再次緩慢倒入額外的 30 %過氧化氫 20 mL，直到完全去除塑膠表面的有機物質。

5. 密度分離

依每 20mL 樣品添加大約 16 克碘化鈉 (~5 M 濃度)，其密度為 1.6 g/cm^3，加熱混合液至 50°C 直到碘化鈉溶解，並將溶液與樣品均勻混和並轉移至密度分離器(玻璃漏斗中)用鋁箔紙密封，靜置一晚(圖 5 之右圖)。依據研究目的密度分離溶液可改用 NaCl 或 $ZnCl_2$ 等，惟飽和 NaCl 溶液之密度僅約 1.2 g/cm^3，可能會造成無法分離高密度之塑膠種類。

6. 微型塑膠樣品回收

觀察玻璃漏斗沉降顆粒中是否有微型塑膠存在，若有則使用鑷子將該顆粒取出，其餘則引流去除，收集上層漂浮顆粒至 0.297 mm 篩網，並使用拭淨紙於篩網下將殘留水分。若樣品中內含眾多纖維，則建議使用金屬篩網過濾以收集微型塑膠。

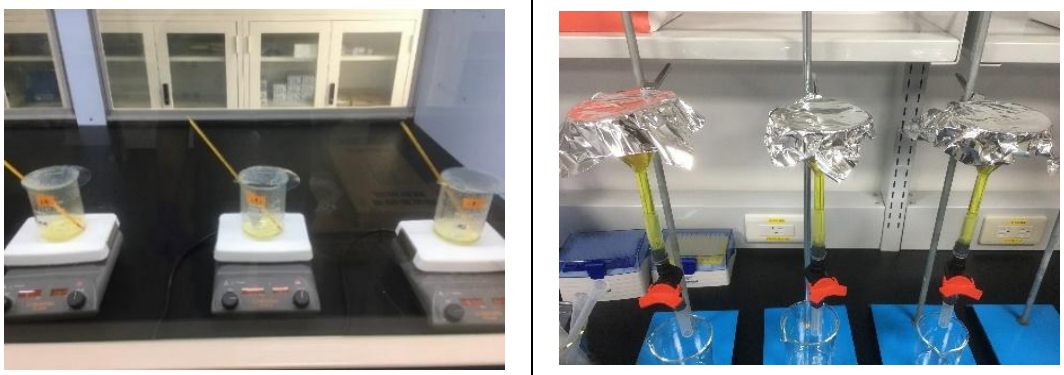


圖 5　微型塑膠樣品前處理。左圖：濕式氧化法 ／ 右圖：密度分離(使用碘化鈉)。

(三)海域水體分析

1. 樣品秤重

量測空樣品瓶重量，包括標籤及蓋子，使用倍鏡或解剖顯微鏡初步進行微型塑膠收集，將樣品從篩網中轉移到樣品瓶裡，並量測裝有樣品的樣品瓶重量，兩者相減可得到樣品重，精確到 0.1 mg。

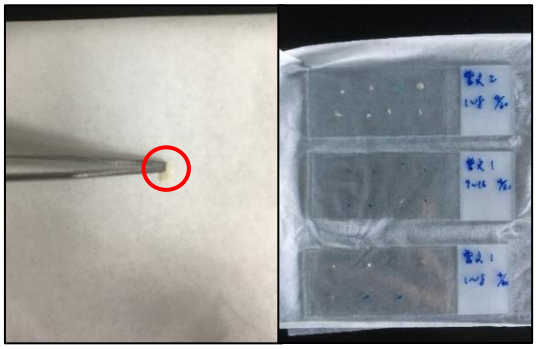


圖 6　樣品分類與處理

2. 分類及前處理

使用鑷子或針輕壓樣品，區分成硬固體或彈性固體，將樣品整齊排放於載玻片上並蓋上蓋玻片，避免樣品滾動或滑落(圖 6)，若樣品中內含眾多纖維，則建議使用金屬篩網過濾以收集微型塑膠。

3. 顯微鏡觀測

透過顯微鏡進行微型塑膠外觀種類區分，常見的種類為五大類，包含：塑膠顆粒、塑膠碎片、發泡塑膠、塑膠薄膜及塑膠纖維(圖 7)。

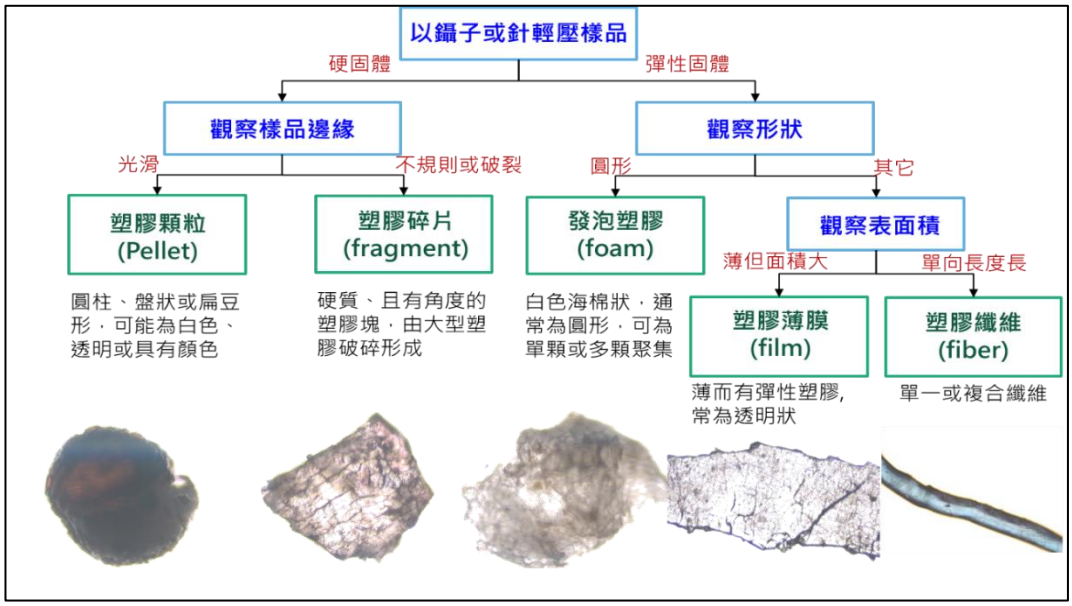


圖 7　微型塑膠外觀辨識 (GESAMP, 2019)

4. 傅立葉轉換紅外線光譜(亦可使用拉曼光譜分析)

樣品分析方式，首先將整張直徑 2 英吋之不鏽鋼濾紙先以 10 倍光學顯微鏡觀測，判斷疑似顆粒位置，再移到紅外顯微鏡樣品臺進行分析。分析前應先確認顯微鏡儀器狀態正常，進行暖機，並使用 NIST 標準之 Polystyrene 片進行紅外光譜測試。

紅外顯微鏡之偵測器配備 TE-cooled MCT 與 LN-MCT，建議可用 LN-MCT 減低雜訊強度；使用 TE-cooled MCT 需先添加液態氮，並待其降溫。

由於樣品基底微不銹鋼濾網，建議避免使用 ATR，一方面不易於施壓，另方面可能損壞 Ge 探針。可使用穿透式量測模式，視情況調整積分次數。

每顆疑似顆粒進行光譜採集，並與資料庫中的標準塑膠光譜比對，若比對相似度高於或等於 70 %，則判斷為塑膠。並紀錄顆粒之光譜、顯微鏡影像與化學材質判斷。

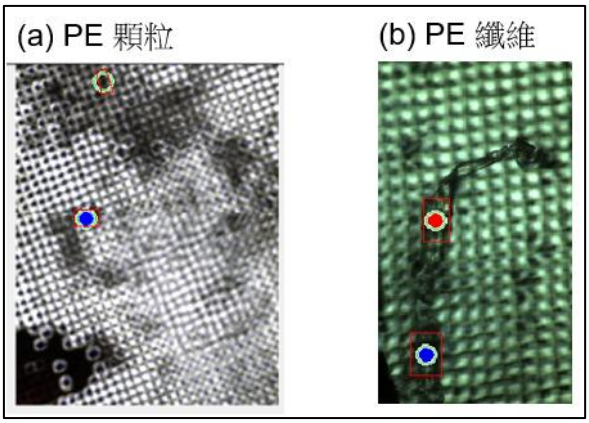


圖 8　微型塑膠之顆粒及纖維

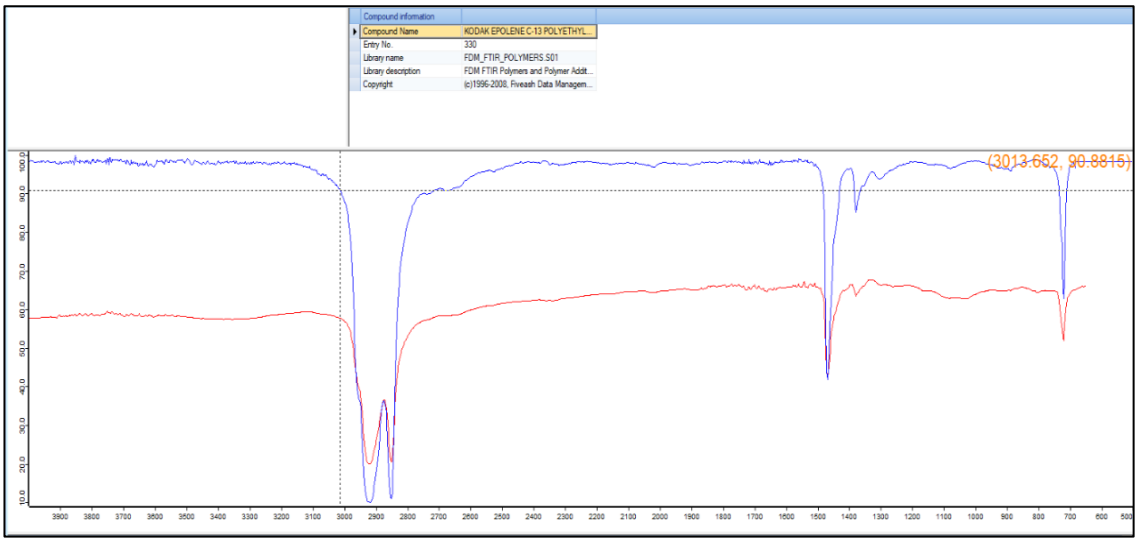


圖 9 傅立葉轉換紅外線光譜示意圖，微型塑膠 PE 顆粒(紅線)與 PE 標準品(藍線)

5. 拉曼光譜分析(亦可使用傅立葉轉換紅外線光譜分析)

樣品顆粒依尺寸分類後，放於玻片上，使用拉曼顯微鏡 532 nm 或 785 nm 光源進行光譜分析。分析前應先確認儀器狀態正常，進行暖機，並使用晶向平面為＜100＞之單晶矽進行拉曼光譜測試。矽晶片最明顯的拉曼波峰訊號出現於 520cm^{-1}，若偏差大於 1 cm^{-1} 以上須校正，校正使其波峰訊號落在 520 ± 1cm^{-1} 的位置。

532 nm 光源一般訊號較強，但若遇螢光樣品，則換 785 nm 光源可減少干擾。增加光強度可提升雜訊比，但強度過高易造成樣品因高溫而破壞，建議使用 1-5mW 之強度，可視情況調整積分時間。

每顆疑似顆粒進行光譜採集，並與資料庫中的標準塑膠光譜進行比對，若比對相似度高於或等於 70 %，且主要譜峰有吻合，則判斷為塑膠(圖 10)。

注意事項

1. 螢光干擾很嚴重時，可以改用長波雷射進行量測。
2. 拉曼訊號太弱時，可提高積分時間或使用高倍率物鏡，以獲取最佳雜訊比，增加雷射功率雖然可提升雜訊比，但注意樣品可能會因高溫而被破壞。
3. 背景干擾很嚴重時，可以改用高倍率的物鏡進行量測。
4. 比對於，要避開染料、填充劑等訊號位置。

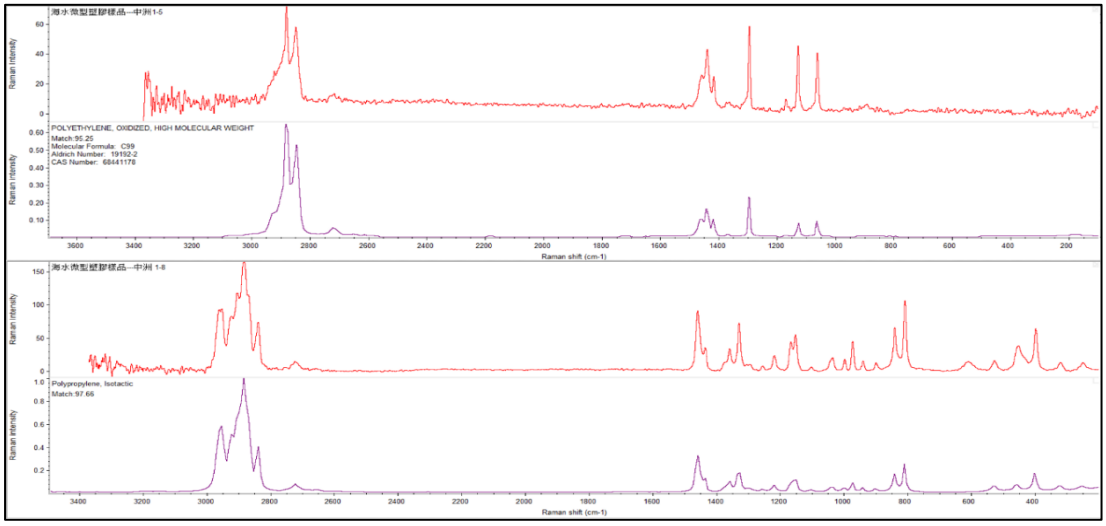


圖 10 拉曼光譜示意圖，上圖：海域水體 PE 樣品(紅線)與標準品(紫線)／下圖：海域水體 PP 樣品(紅線)與標準品(紫線)

6. 尼羅紅螢光染色法

若研究目的僅需計數微型塑膠，無須聚合物材質之定性，則可使用尼羅紅螢光染色法。首先配製尼羅紅螢光染劑 (Nile Red)，濃度為 0.01 mg/ml 溶於乙醇(丙酮)中，滴入數滴尼羅紅染劑至濾紙上進行染色，並將其置於暗室中反應 30 分鐘，反應完之後，以試劑水沖洗，並置於烘箱中以 50 °C 反應 1 小時將其烘乾 (Prata et al.,2019)。

將染色完的濾紙置於藍光波長下的螢光顯微鏡觀察，常見的幾種塑膠皆呈現強放光的情況，透過此方法判定是否為微型塑膠，生物體中塑膠粒子的放光情形(圖 12)，將具有明顯放光現象發生的粒子判定為微型塑膠，常見塑膠：PE、PP、PS、PET、PVC、Nylon 的放光情形(圖 13)。然 Nylon 無法使用此方法進行辨識，且富含脂質的生物體、藻類或幾丁聚醣之生物源顆粒等也可能被染色，因此，使用染色法之前須先將此類生物源顆粒去除。

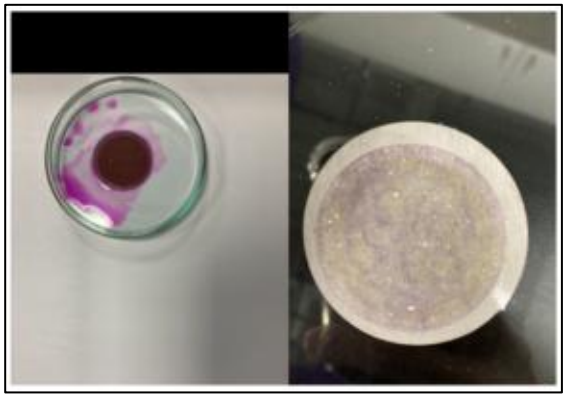


圖 11 尼羅紅染劑對樣品進行染色

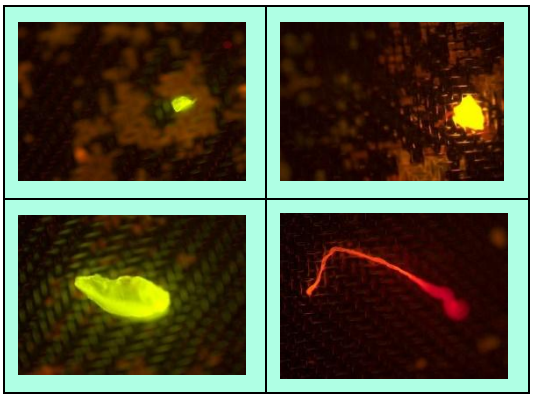


圖 12 生物體中微型塑膠的放光行為

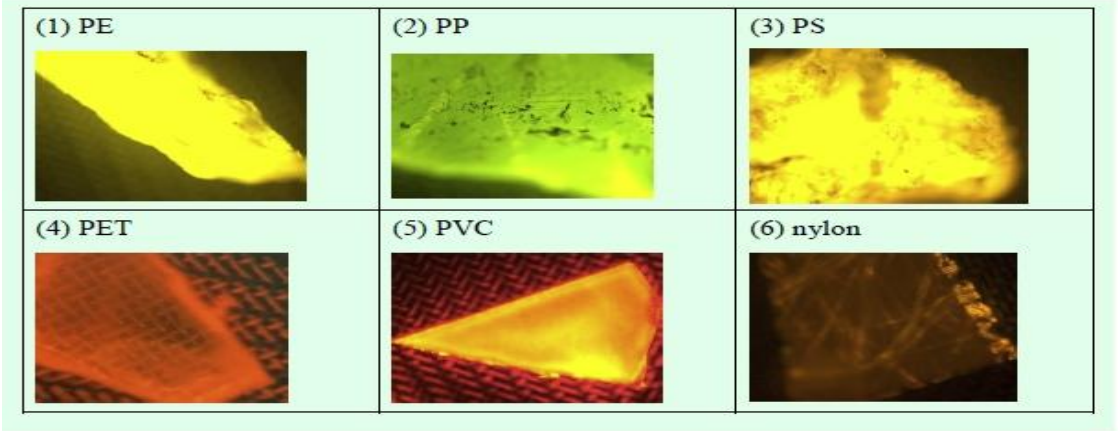


圖 13 常見塑膠在藍光激發下的螢光反饋

七、 生物體牡蠣微型塑膠採樣與分析

■ 生物體牡蠣分析方法參考行政院環境保護署檢驗所及文獻之操作方法(環檢所 107 年；Dehaut et al., 2016)。

(一)設備與試劑

1. 設備

(1) 量筒：100 mL 至 1000 mL 之硼矽玻璃量筒。

(2) 樣品瓶：棕色附鐵氟龍內墊瓶蓋玻璃瓶，約 1 公升或其他適當體積。

(3) 玻璃培養皿：硼矽玻璃製品之培養皿，尺寸大小為 60 mm × 15 mm 或其他適當大小。

(4) 燒杯及錐形瓶：600 mL 或其他適當之硼矽玻璃燒杯及錐形瓶。

(5) 金屬或玻璃纖維濾網：使用直徑 47 mm、孔徑 0.025 mm 濾網(圖 14 之左圖)。

(6) 恆溫震盪器(可設定 80 rpm、50 °C)(圖 14 之右圖)。

(7) 鑷子：前端平滑、內側無波紋之金屬製鑷子。

(8) 洗滌瓶：全鐵氟龍洗瓶。

(9) 抽氣過濾裝置：以玻璃或不鏽鋼等非塑膠材質之無縫隙濾杯之抽氣過濾裝置

(10) 電子天平：五位或六位數之微量天平。

(11) 解剖顯微鏡：可放大 40 倍以上之解剖顯微鏡。

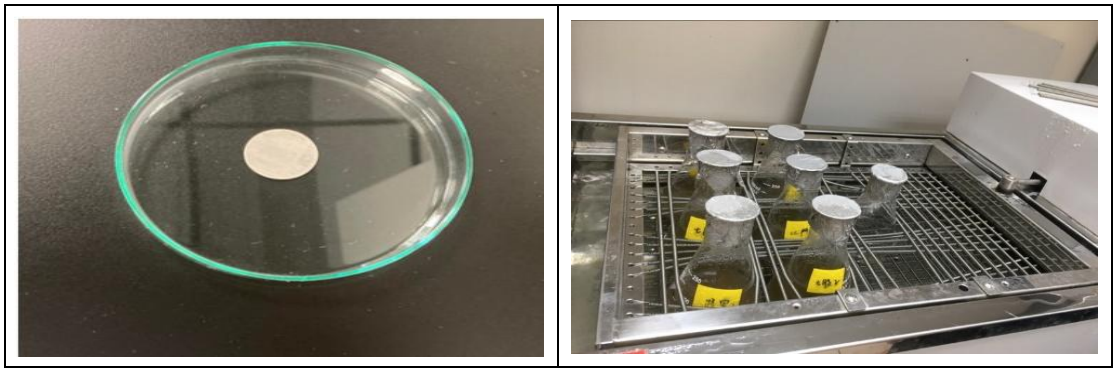


圖 14 微型塑膠所需之耗材設備。左圖：金屬濾網 ／ 右圖：恆溫震盪器

(12) 傅立葉轉換紅外線光譜儀(FTIR)(圖 15 之左圖)

- 掃描波數至少涵蓋 550 至 4000 cm^{-1}。
- 解析度解析度≤4 cm^{-1}。
- 分析軟體具有圖譜比對功能。

(13) 拉曼光譜儀(Raman Spectrometer)(圖 15 之中間圖)

- 掃描波數至少涵蓋 550 至 3200 cm^{-1}。
- 解析度≤4 cm^{-1}，雷射功率≥10 mW。
- 分析軟體具有圖譜比對功能。

(14) 螢光顯微鏡(圖 15 之右圖)

- 藍光激發濾片組。
- 顯微鏡照相機(彩色 CCD)。

2. 試劑

(1) 試劑水：比電阻值須大於 10 MΩ-cm 之去離子水或其他不干擾檢測方法之水。

(2) 氫氧化鉀 10 %：可自行配製。

(3) 尼羅紅染料：0.01 mg/ml 溶於乙醇(或丙酮)中。

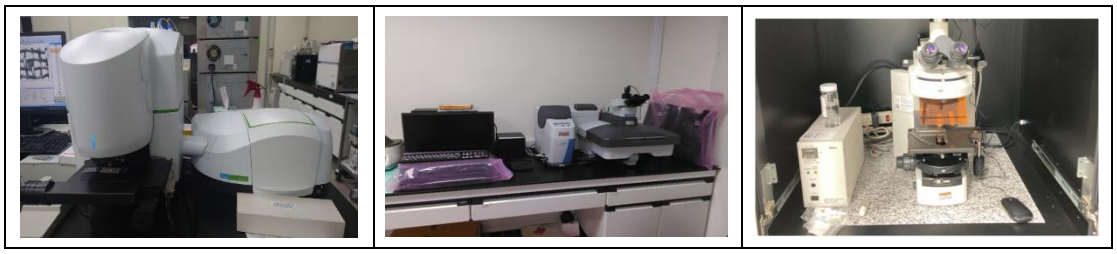


圖 15 常用微型塑膠鑑定之所需儀器。左圖：傅立葉轉換紅外線光譜儀(FTIR)／中間圖：拉曼光譜儀(Raman Spectrometer) ／右圖：螢光顯微鏡

(二)生物體牡蠣前處理

1. 牡蠣採樣

至預定地點進行牡蠣採樣，採樣後的牡蠣保存於 -20 °C 直到分析。

2. 樣品處理

將牡蠣去殼，並保持牡蠣的完整性(圖 16)，用試劑水沖洗牡蠣，盡可能將無機雜質去除，紀錄牡蠣的體長及濕重。

3. 消化震盪

配製 10% KOH 溶液，使用 M:V(1:2)的 KOH 溶液進行消化反應，使用封口臘膜將瓶口封住以免液體流出(環檢所，2018)在 50 °C 及 80 rpm 下震盪反應 72 小時後待生物體組織完全消化後再進入下一步驟，但若尚有組織未消化，則須持續反應至組織完全消化(圖 16)。

4. 密度分離

等待組織消化完成後，依每 20 mL 樣品添加大約 16 克碘化鈉 (~5M 濃度)，加熱混合液至 50°C 直到碘化鈉溶解，得密度為 1.6 g/cm^{3}之密度分離溶液，並轉移樣品至密度分離器(玻璃漏斗中)用鋁箔紙封口避免空氣沉降污染樣品，靜置一晚混合分層，靜置隔夜，取出上層液後進行過濾(圖 16)。依據研究目的密度分離溶液可改用 NaCl 或 $ZnCl_2$ 等，惟飽和 NaCl 溶液之密度僅約 1.2 g/cm^3，可能會造成無法分離高密度之塑膠種類。

5. 抽氣過濾

將分離完的液體以金屬濾紙(25μm)進行過濾(圖 16)，過濾時再用試劑水進行沖洗去除殘留的鹼，過濾完的濾紙經乾燥後回收樣品(圖 16)，即可進行後續分析工作。

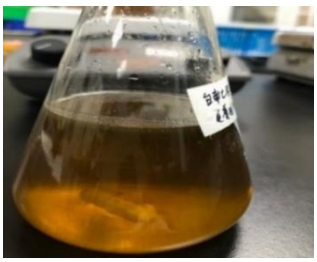
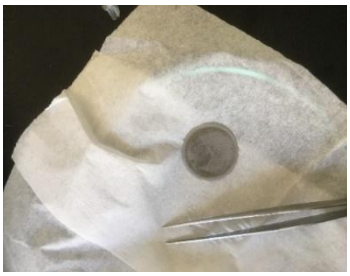
<table>
<tr><td>
牡蠣樣品去殼</td><td>
消化震盪</td><td>
NaI 密度分離</td></tr>
<tr><td>
抽氣過濾於金屬篩網</td><td>
樣品回收</td><td></td></tr>
</table>

圖 16　生物體牡蠣前處理步驟

(三)生物體牡蠣分析

1. 傅立葉轉換紅外線光譜(亦可使用拉曼光譜分析)，詳如第 17 頁或第 18 頁。
2. 尼羅紅螢光染色法，詳如第 19 頁。

八、海域表水微型塑膠濃度計算

(一)濾水量計算(以 Hydro-Bios 流量計為例)

依據流量計的轉數與網口徑計算濾水量，計算公式如下所示：

濾水量(m^3) = (採樣完成之流量計讀數 − 採樣前之流量計讀數) × d × A

註解

1. d (流量計係數)：指流量計每轉一整圈，需移動的距離，例如德製 Hydro-Bios, model 438 110 流量計的係數為 0.3 m/圈。
2. A (網口截面積, m^2)：例如 manta net 網口截面積$0.7 \times 0.3 = 0.21\ m^2$(長 × 寬)。

(二)單位件數或個體量計算

計數篩網上之微型塑膠數量總和後，以下列公式計算微型塑膠數目濃度，單位以塑膠個數/立方米(particles or items)/m^3)表示。

$$\text{微型塑膠數目濃度}\left(\frac{\text{塑膠個數}}{\text{立方米}}\right) = \frac{\text{微型塑膠數量總和(塑膠個數)}}{\text{過濾水樣體積總和(立方米)}}$$

九、生物體牡蠣微型塑膠濃度計算

單位件數或個體量計算

計數濾紙上之微型塑膠數量總和後，以下列公式計算微型塑膠數目濃度，單位以塑膠個數/牡蠣濕重(particles or items/g w.w.)表示。

$$\text{微型塑膠數目濃度}\left(\frac{\text{塑膠個數}}{\text{公克}}\right) = \frac{\text{微型塑膠數量總和(塑膠個數)}}{\text{牡蠣濕重(公克)}}$$

十、微型塑膠數據品質控制及管理

(一)執行檢測分析之 QA/QC 需符合實驗規範，以確保檢測數據之可信度。

(二)為避免微型塑膠數據不受到人為因素影響與干擾，當在採樣與保存的工作全程應避免使用塑膠材質的工具與器具。

(三)實驗者也必須著實驗衣，並配戴口罩、手套及護目鏡等，防止衣服之纖維混入樣品當中。

(四)在過篩程序中，全程得使用金屬製鑷子夾取外，微型塑膠都必需保存於預清潔之玻璃燒杯或閃爍瓶中，試驗後也得用鋁箔紙或蓋子密封，以防止樣品受污染，建議處理樣品時在 Laminer Flow 操作台中來進行實驗步驟，以降低來自於空氣沉降的塑膠污染而導致的誤差。

(五)使用的溶液及去離子水也須經由孔徑 1 μm 的濾紙進行預過濾，以減少空氣或用水之雜質。

(六)空白樣品分析:為了解樣品採樣及分析過程中遭受人為污染情形，每次樣品採集及分析時，應將 3 張潮濕濾紙放入培養皿，並置於現場環境中作為現場空白分析；放置 1L 的預過濾水於操作台內作為實驗室空白分析。

(七)使用不同粒徑之環境常見微型塑膠材質如聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)及聚苯乙烯(PS)、聚氯乙烯(PVC)等顆粒配置於人工海水中以作為標準品，確認微型塑膠過程中的添加樣品分析之回收率 P(%)，期回收率應控制 100±20%。

$$P(\%)=\frac{SSR}{SA}\times 100$$

SSR=添加樣品中待測物之實際測定量

SA=標準品添加量

十一、參考文獻

Arthur, C., J. Baker and H. Bamford (eds). 2009. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris. Sept 9-11, 2008. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30.

Caldwell et. al., 2022_The micro-, submicron-, and nanoplastic hunt: A review of detection methods for plastic particles

Cheshire, A.C., Adler, E., Barbière, J., Cohen, Y., Evans, S., Jarayabhand, S., Jeftic, L., Jung, R.T., Kinsey, S., Kusui, E.T., Lavine, I., Manyara, P., Oosterbaan, L., Pereira, M.A., Sheavly, S., Tkalin, A., Varadarajan, S., Wenneker, B., Westphalen, G. (2009). UNEP/IOC Guidelines on Survey and Monitoring of Marine Litter. UNEP Regional Seas Reports and Studies, No. 186; IOC Technical Series No. 83.

Dehaut, A., Cassone, A.-L., Frere, L., Hermabessiere, L., Himber, C., Rinnert, E., Gilles, R., Christophe, L., Philippe, S., Arnaud, H., Guillaume, D., Ika, P.-P. (2016). Microplastics in seafood: Benchmark protocol for their extraction and characterization. Environmental Pollution, vol.215, pp.223-233.

Egger, M., Sulu-Gambari, F. & Lebreton, L. First evidence of plastic fallout from the North Pacific Garbage Patch. Scientific Reports 10, 7495 (2020).

Eunomia (2016). Plastics in the marine environment.

GESAMP (2019). Guidelines or the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean (Kershaw P.J., Turra A. and Galgani F. editors), (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP/ISA Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 99, 130p.1

Issifu, Ibrahim, and U. R. Sumaila (2020). A Review of the Production, Recycling and

Management of Marine Plastic Pollution. Journal of Marine Science and Engineering 8, no. 11: 945.

Jambeck, J.R., Andrady, A., Geyer, R., Narayan, R., Perryman, M., Siegler, T., Wilcox, C., Lavender Law, K. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean, Science, 347, p. 768-771.

Kühn, S., Bravo Rebolledo, E.L., Jan A. van Franeker, (2015). Deleterious Effects of Litter on Marine Life. Marine Anthropogenic Litter, pp. 89-130.

Liao, C. P., Chiu, C. C., & Huang, H. W*. (2021). Assessment of microplastics in oysters in coastal areas of Taiwan. Environmental Pollution, 117437.

Masura, J., Baker, J., Foster, G., Arthur, C. and Herring, C. (2015). Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R

Madricardo F, Ghezzo M, Nesto N, Mc Kiver WJ, Faussone GC, Fiorin R, Riccato F, Mackelworth PC, Basta J, De Pascalis F, Kruss A, Petrizzo A and Moschino V (2020) How to Deal With Seafloor Marine Litter: An Overview of the State-of-the-Art and Future Perspectives. Frontiers in Marine Science 7:505134. doi: 10.3389/fmars.2020.505134

Michida, Y., et al. (2020). Guidelines for Harmonizing Ocean Surface Microplastic Monitoring Methods. Ministry of the Environment Japan, pp 71.

Michida, Y., Chavanich, S., Chiba, S., Cordova, M. R., Cozsar Cabanas, A., Galgani, F., ... & Wang, J. (2019). Guidelines for Harmonizing Ocean Surface Microplastic Monitoring Methods. Version 1.1.

Napper I.E. and Thompson R.C. (2020) Plastic debris in the marine environment: history and future challenges. Gobal Challenges, vol.4, 1900081.

PlasticsEurope (2020). An analysis of European latest plastics production, demand and waste data.

Prata, J. C. Reis, V. Matos, J.T.V. Costa, P. da Duarte, A. C. Rocha-Santos, T. (2019). A newapproach for routine quantification ofmicroplastics using Nile Red and automated software (MP-VAT). Science of the Total Environment, 690, pp. 127-128

Richards, Z.T. Beger, M. (2011). A quantification of the standing stock of macro-debris in Majuro lagoon and its effect on hard coral communities. Marine Pollution Bulletin, 62, pp. 1693-1701.

Shiu, R.-F., Gong, G.-C., Fan, M.-D., Chow, C.-H. & Chin, W.-C. (2021). Marine microplastics in the surface waters of “pristine” Kuroshio. Marine Pollution Bulletin 172, 112808

UNEA (2019) Marine Plastic Litter and Microplastics. UNEP/EA.4/Res.6

行政院環境保護署，民國 109 年，水中微型塑膠檢測方法-熱觸法 (NIEA M909.00C)。

行政院環境保護署，民國 106 年，化妝品及個人清潔用品中含微型塑膠材質之定性檢測方法 (NIEA M907.00B)。

行政院環境保護署環境檢驗所，民國 107 年，國內自來水、海水、沙灘砂礫與貝類中微型塑膠之現況調查。

行政院環境保護署，民國 93 年，海洋浮游動物檢測方法(NIEA E701.20C)。

Ocean Conservation Administration,
Ocean Affairs Council