

澳門微塑料調查



環境保護局
Direcção dos Serviços
de Protecção Ambiental

2023.2

為推進《澳門環境保護規劃 (2021-2025)》中“評估微塑膠環境風險”的策略，環境保護局完成了澳門微塑料調查。此項目在內地與澳門科技合作委員會下之節能及環保科技與產業工作組機制下，由華東師範大學進行。

研究團隊通過進行多方面的微塑料調查，結合微塑料環境風險綜合評價體系，評估澳門的微塑料環境風險。微塑料調查及環境風險綜合評價摘要如下：

一、關於微塑料

塑料製品由於輕便、具彈性和耐用而被廣泛應用。然而，塑料製品分裂和瓦解後會形成微型塑料。大量塑料垃圾通過多種途徑進入海洋，令海洋塑料污染成為備受關注的環境問題。聯合國環境規劃署於 2014 年發佈的《聯合國環境規劃署年鑒》將海洋塑料垃圾列為新興問題，並提出直徑不超過 5 毫米的塑料顆粒為“微型塑料”，其後多屆聯合國環境大會亦聚焦塑料污染，倡議全球應對塑料污染危機。

微塑料主要以碎塊狀、線狀、纖維狀、薄膜狀、泡沫狀等形態存在，主要化學成分及來源參見下表：

微塑料化學成分			來源
聚乙烯	PE	Polyethylene	塑膠袋、薄膜、容器
聚丙烯	PP	Polypropylene	食品包裝、日用品
聚苯乙烯	PS	Polystyrene	水產養殖行業用具
聚對苯二甲酸乙二醇酯	PET	Polyethylene terephthalate	紡織品、塑膠瓶
醇酸樹脂	AR	Alkyd resin	塗料、油漆
乙烯基酯	VE	Vinyl Ester	塗料、油漆
聚甲基丙烯酸甲酯	PMMA	Poly (methyl methacrylate)	塗料、油漆
聚丙烯腈	PAN	Polyacrylonitrile	腈綸、塗料
聚乙烯醇	PVA	Polyvinyl alcohol	黏合劑、塗料

二、微塑料環境風險評價

綜合國內外有關微塑料污染對生態系統影響的相關研究，是次研究以壓力指標、狀況指標及回應指標構建微塑料環境風險綜合評價體系，所採用的指標如圖 1 所示。



圖 1 微塑料環境風險評價指標

參照當前國際上的評價方法，本研究選取專家打分法和層次分析法，按上述評價體系，結合調查所得的數據，對澳門微塑料環境風險進行綜合評價。

三、主要的微塑料環境風險評價指標水平

為收集微塑料環境風險綜合評價體系中關於微塑料含量的資料，研究團隊進行了一系列的採樣及檢測工作，對象包括生活用品、污水、水體、大氣、沙灘、表層沉積物、水生生物、食品及飲用水，檢測結果簡介如下：

1. 生活用品微塑料含量

過去塑料微珠會被添加到一些個人護理產品和化妝品中，以加強產品的清潔或去角質功效，例如磨砂潔面產品。本研究選取了 15 組包括潔面用品、沐浴露、洗髮露、洗衣液、洗手液和卸妝水等產品進行微塑料含量檢測，結果顯示研究選取的產品均不含有塑料微珠。



圖 2 研究選取作樣本的生活用品

2. 污水微塑料含量及污水處理能力

本研究於本澳四座污水處理廠的進水口及出水口採樣，進行微塑料含量檢測。檢測結果顯示四座污水處理廠進水口中的微塑料主要為泡沫、纖維、碎塊等形態，經過污水處理廠處理後，四座污水處理廠出水口中微塑料含量均顯著下降，其中部分污水處理廠的微塑料移除效率更超過 99%。研究結果顯示各污水處理廠的處理工藝對污水中的微塑料具有較好的去除效果。



圖 3 研究團隊於各污水處理廠採集樣本

3. 水體微塑料含量

3.1 海域

研究團隊以拖網和潛水泵在澳門特區管理海域上設定的 26 個採樣點進行表層水體和水柱採樣。結果顯示水柱樣本的微塑料平均含量差異較大，介於 0-152 個/立方米，平均值為 4.34 個/立方米，而拖網採樣結果顯示，海域表層水體的微塑料平均含量為 0.39 ± 0.57 個/立方米，主要成分包括聚乙烯 (PE)、聚對苯二甲酸乙二醇酯 (PET)、聚丙烯 (PP)、聚苯乙烯 (PS) 等。海域表層水體微塑料含量低於珠江口同類型研究的含量水平，高於西太平洋、東海、渤海等的水平，詳見圖 4。

海域中的微塑料可能是塑料破碎後再進入海域。根據成分分析，這些微塑料均是比較常見的成分，其中聚苯乙烯 (PS) 多源於水產養殖行業；聚丙烯 (PP) 多源於餐盒、餐杯、玩具等；聚乙烯 (PE) 多源於塑膠袋、薄膜、水管等；聚對苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 多源於衣物合成纖維的脫落、塑膠瓶等。

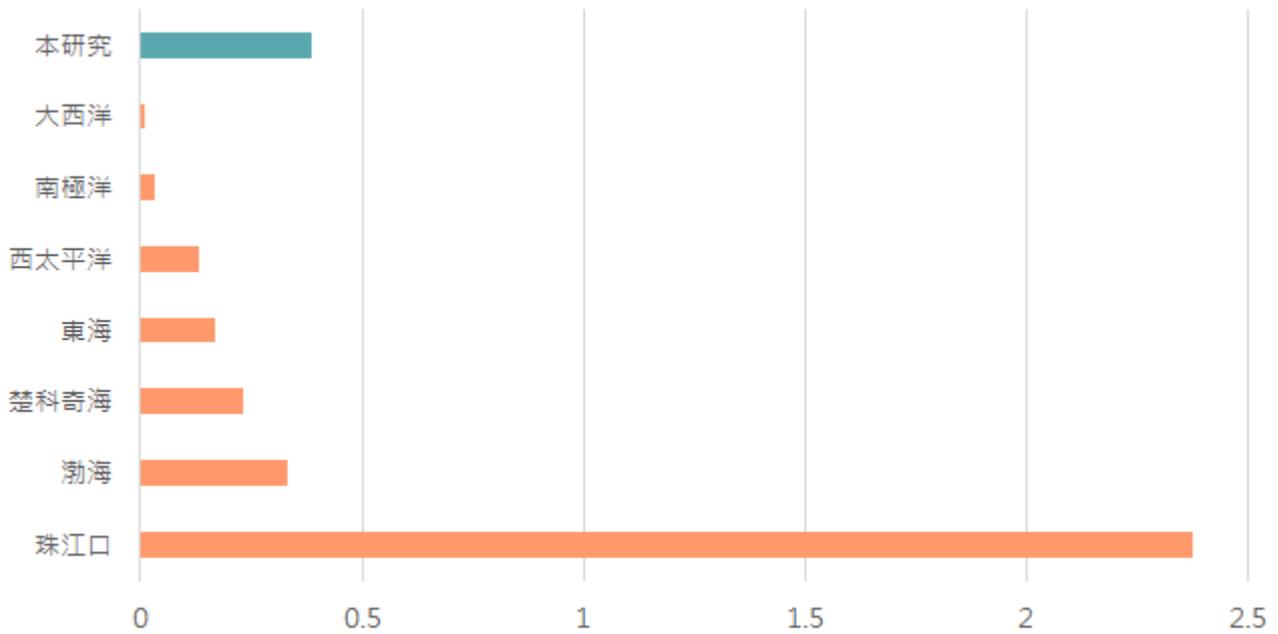


圖 4 海域表層水體微塑料含量與同類型研究結果對比示意圖 (單位：個/立方米)

3.2 水道

研究團隊於本澳與橫琴之間的夾馬口水道上設定了 6 個採樣點，使用拖網進行表層水體採樣，結果顯示拖網樣本中的微塑料含量介於 0-1.77 個/立方米。

聚乙烯 (PE) 和聚丙烯 (PP) 為樣本中最常見的成分，符合大部分關於河流微塑料研究的結論。經與同類型研究結果對比，澳門水道表層微塑料含量處於中等水平 (見圖 5)，水道中的微塑料含量會受到珠江口及南海海水中微塑料含量的影響。

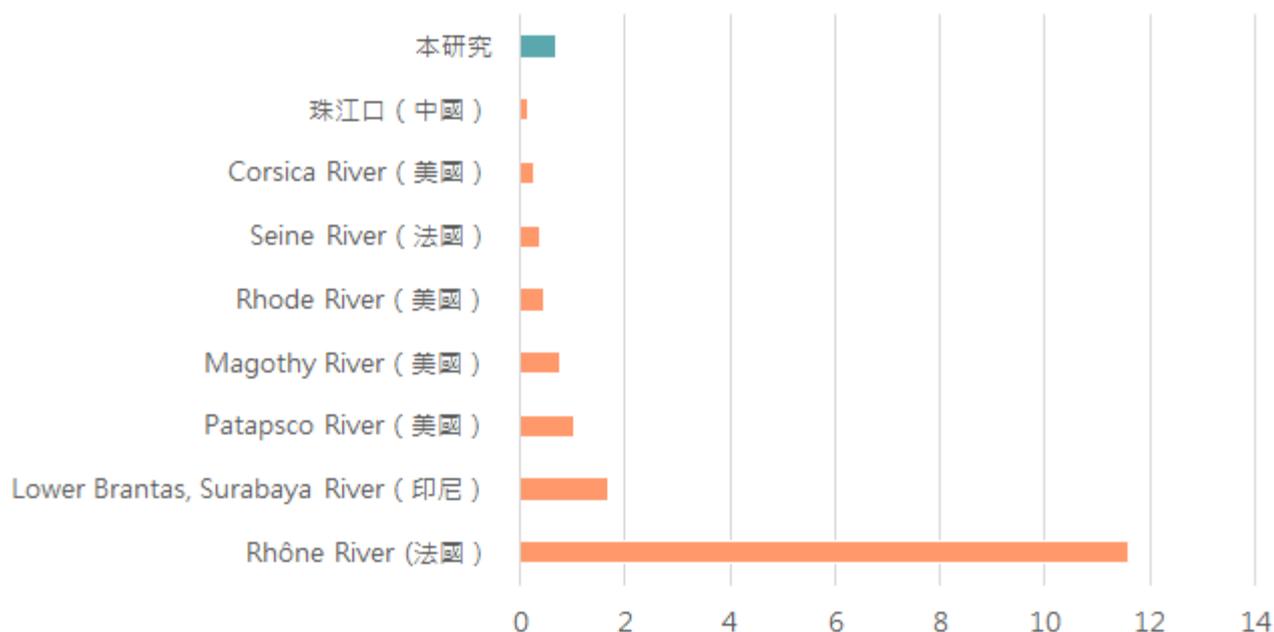


圖 5 水道表層微塑料含量與同類型研究結果對比示意圖 (單位：個/立方米)

3.3 海灣

澳門沿岸有九澳、黑沙、竹灣、筷子基北灣、外港等多個海灣。研究團隊設定了 6 個海灣採樣點，進行了拖網採樣。結果顯示海灣的微塑料平均含量為 1.05 ± 1.18 個/立方米，主要成分包括聚丙烯 (PP)、聚乙烯 (PE)、聚對苯二甲酸乙二醇酯 (PET)、醇酸樹脂 (AR)、聚苯乙烯 (PS) 等。澳門的海灣和珠江口高度交集，微塑料的主要成分也類似，這些微塑料的可能來源包括海上交通運輸、漁業、養殖業、非法海上傾倒及其他海上活動等。與同類型的研究比較，海灣微塑料含量處於中等水平，詳見圖 6。

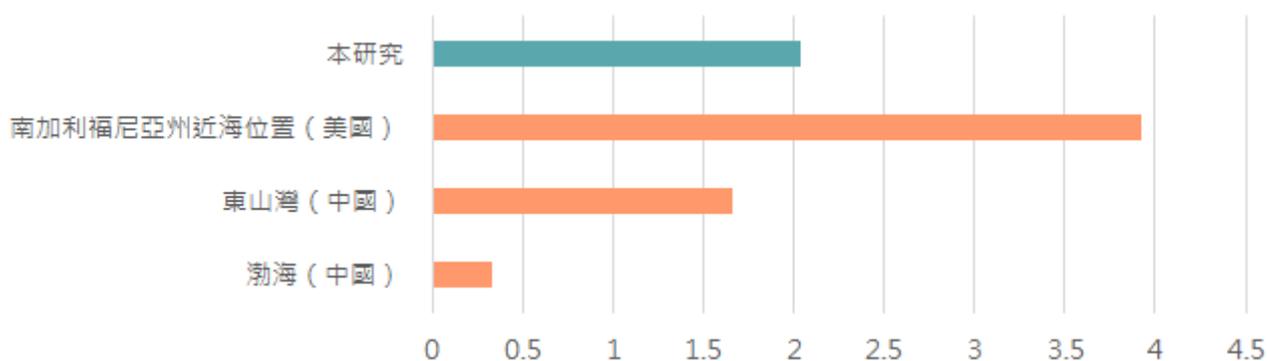
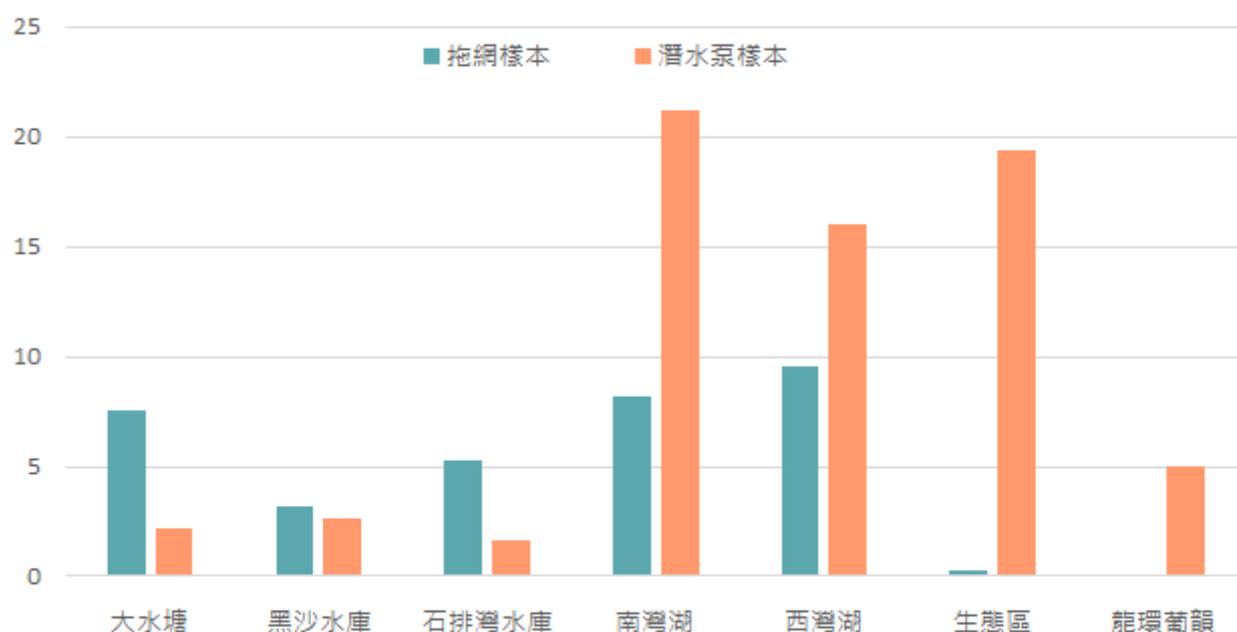


圖 6 海灣微塑料含量與同類型研究結果對比示意圖 (單位：個/立方米)

3.4 地表水

研究團隊以拖網及潛水泵於大水塘、黑沙水庫、石排灣水庫、南灣湖、西灣湖、路氹城生態保護區(一區)及龍環葡韻等地表水體進行了採樣，檢測出的微塑料成分包括聚苯乙烯(PS)、聚丙烯(PP)、聚乙烯(PE)、聚對苯二甲酸乙二醇酯(PET)等，此結果與同類型研究相近。佔比較多的PE、PP是常見日用品塑料包裝的成分；塗料類型微塑料聚丙烯腈(PAN)、聚乙烯醇(PVA)亦有被檢出，可能源於道路標誌和建築油漆；PET則較多是衣物纖維。各水體的微塑料平均含量見圖7。



註：龍環葡韻樣點因條件限制沒有進行拖網採樣。

圖7 各地表水體的微塑料平均含量(單位：個/立方米)

3.5 水體中微塑料來源

綜合海域、水道、海灣及地表水的微塑料調查及分析結果，塑料垃圾(如一次性塑料製品)及衣物纖維等是地表水及海灣微塑料的重要來源；其他源自珠江口及磨刀門河流的塑料垃圾有一部分亦會沿河流及海流輸入到澳門特區管理海域。

4 大氣微塑料含量

研究團隊於 6 個空氣監測站及澳門特區管理海域上 6 個站點進行大氣微塑料採樣。秋季及春季陸上大氣微塑料平均含量分別為 4.65 ± 3.76 個/百立方米及 2.21 ± 2.07 個/百立方米。夏季及冬季海域上大氣微塑料平均含量分別為 2.16 ± 1.03 個/百立方米及 2.68 ± 1.38 個/百立方米，與同類型近岸大氣環境微塑料研究相比，大氣微塑料含量處於較低水平（見圖 8）。

所檢測得的微塑料主要為碎塊和纖維，其中佔比最大的成分是聚對苯二甲酸乙二醇酯（PET）纖維，是紡織品及液體容器的常用物料，來源途徑可能與晾曬衣物有關。其他成分聚丙烯（PP）和聚乙烯（PE）是應用最廣泛的聚合物類型，常用於塑料包裝及紡織製品（例如繩索、保暖內衣和地毯等）。而醇酸樹脂（AR）、乙烯基酯（VE）和聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）是塗料和油漆的重要成分，常用於金屬或木材上作防水和防蟲，海域上大氣中發現的此類聚合物多源於船舶的塗料。

此外，研究團隊亦進行了大氣氣流後向軌跡模型分析，結果顯示海域上微塑料可能源於海南島的東部海域或廣東沿海。澳門特區位於中國大陸與南中國海的水陸交匯處，受亞洲季風影響，夏季與冬季期間大氣微塑料的來源及輸送會隨東亞季風系統產生季節性變化。

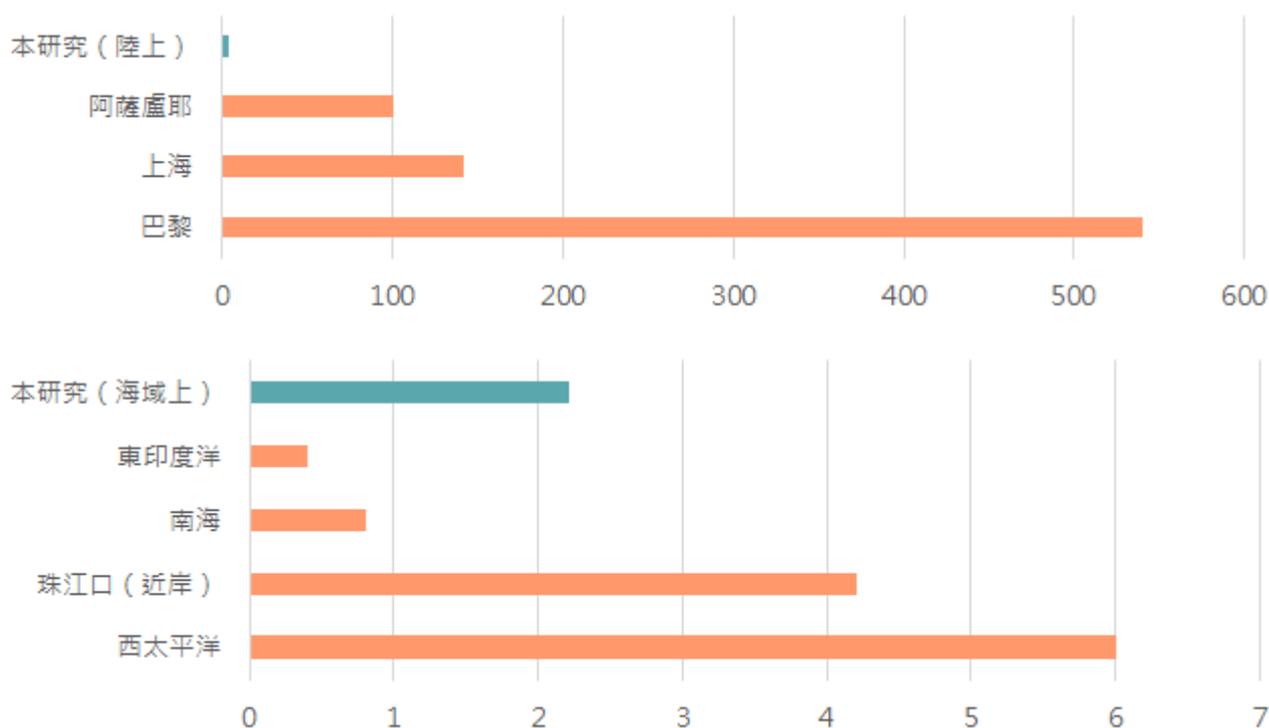


圖 8 大氣微塑料含量與同類型研究結果對比示意圖（單位：個/百立方米）

5 沙灘和表層沉積物微塑料含量

5.1 沙灘

研究團隊於竹灣沙灘及黑沙沙灘各設 3 組採樣斷面 (斷面方向和海岸線垂直, 於高、中、低潮灘各設一組) 進行採樣。

竹灣沙灘於春季及秋季測得的微塑料平均含量為 29.56-35.54 個/公斤, 成分類同, 主要為聚苯乙烯 (PS) 泡沫, 在秋季發現少量尼龍, 而在春季發現了少量丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物 (ABS), 顯示竹灣沙灘的微塑料來源主要是養殖業及沙灘的人為活動。

黑沙沙灘於春季及秋季測得的微塑料平均含量為 43.56-1129.76 個/公斤, 成分類同, 但秋季樣本中發現的聚苯乙烯 (PS) 泡沫遠高於春季。黑沙海灘位處澳門南部海灣, 潮汐作用將近海養殖泡沫微塑料沖上沙灘; 同時, 夏季東南季風也會將重量較輕的微塑料吹向沙灘, 加上暑假期間亦有大量市民及旅客到黑沙沙灘進行各類活動, 到秋季時沙灘會積累一定的微塑料, 推高了秋季微塑料的水平。

5.2 表層沉積物

研究團隊在澳門特區管理海域上設定的 11 個採樣點進行了表層沉積物採樣, 於夏季及冬季所測得的微塑料平均含量分別是 22.15 個/公斤及 10.32 個/公斤, 主要為聚丙烯 (PP)、聚乙烯 (PE) 及其共聚物等。

6 水生生物、食品、飲用水微塑料含量

6.1 水生生物

研究團隊以本地街市採購及現場取樣等方法採集樣本, 在實驗室進行樣本處理和分析, 了解水生生物如魚類、雙殼類 (貽貝、牡蠣等)、甲殼類 (蝦、蟹等) 體內的微塑料含量狀況和特徵。



圖 9 於本地街市購買的水生生物樣本

經檢測 30 個在街市購買的樣本後，共發現了 3 個微塑料。在一隻斑節對蝦體（草蝦）內發現了一個 PET 纖維，在一隻文蛤（花蛤）體內發現了 2 個 PET 纖維，如圖 10 所示。



圖 10 於水生生物體內檢得的微塑料

在現場取樣的樣本中，魚類體內均沒有發現微塑料，而三疣梭子蟹（白花蟹）和口蝦姑（瀨尿蝦）體內檢測到微塑料的存在。三疣梭子蟹體內的微塑料含量為 0.2 個/隻，口蝦姑體內的微塑料含量為 0.3 個/隻。

是次研究的結果與其他同類型研究的比較如圖 11 所示，可見水生生物微塑料含量處於低水平，儘管當中各研究所採取的控制及質量保證措施不盡相同，但結果仍有一定可比性。

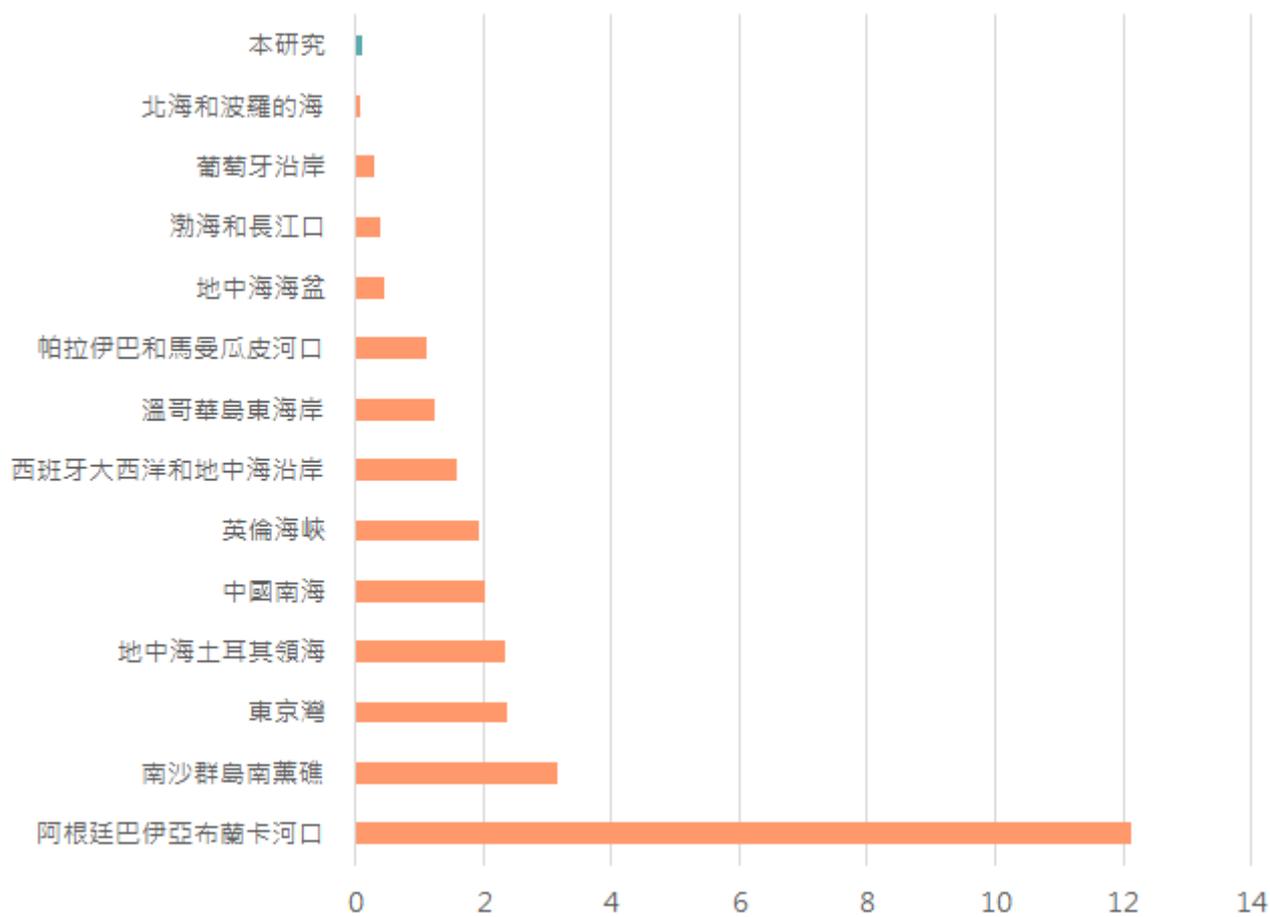


圖 11 水生生物微塑料含量與同類型研究結果對比示意圖 (單位：個/隻)

水生生物胃腸道中的微塑料並不能通過細胞膜結構，因此被攝食的微塑料只是暫時留存在水生生物的消化腔中，通常很快被排出。目前，塑料攝食對水生生物的潛在影響仍在研究當中。

6.2 食品

研究團隊根據食品受微塑料污染的風險程度與食品的日常普及性，選取食鹽、食糖、醋、生抽及啤酒等五個類別，每個類別隨機選取 2-3 個品牌作樣本進行檢測，該等樣本微塑料檢出率為 30.95%。



圖 12 研究選取作樣本的食品

食鹽樣本中，平均微塑料含量為 43.33 ± 48.07 個/千克，與其他地區關於海鹽微塑料含量的研究相比，本研究的食鹽樣本微塑料含量處於中低水平。微塑料含量高或低的原因可能與其製作工藝有關，粗鹽是未經加工的鹽，所含雜質較多，而精鹽經過進一步的加工處理，所含雜質相對較少。

食糖樣本中，平均微塑料含量為 3.33 ± 4.71 個/千克，其中只有黃糖樣本檢測出微塑料，其他白砂糖樣本未檢測到，分析可能與食糖的加工工藝有關，白砂糖與黃糖相比精製程度較高，因此所含的雜質相對較少。

液體類食品樣本中僅有少數白醋、啤酒樣本檢出少量微塑料，本研究的啤酒樣本中微塑料含量大大低於同類型精釀啤酒微塑料含量研究測得的水平。

6.3 飲用水

研究團隊隨機選取 15 個品牌的瓶裝飲用水及 7 個品牌的桶裝飲用水 (包括礦泉水、純淨水和蒸餾水) 作樣本，並於 8 個自來水取水點採集樣本進行檢測。飲用水樣本中微塑料平均含量為 0.02 個/升，顯著低於同類型研究的結果，如圖 13 所示。

飲用水微塑料含量與水源 (即初始水質)、定量方法和處理過程有關。一般成年人 (體重 60 公斤) 每天需攝入 2 升水，嬰兒 (體重 5 公斤) 每天需攝入 0.75 升水，按此計算，每人每

天潛在飲用水微塑料攝入量約為 0.015-0.04 個，且考慮到補充水分途徑的多樣性，潛在飲用水微塑料攝入量對人體構成的健康風險較低。

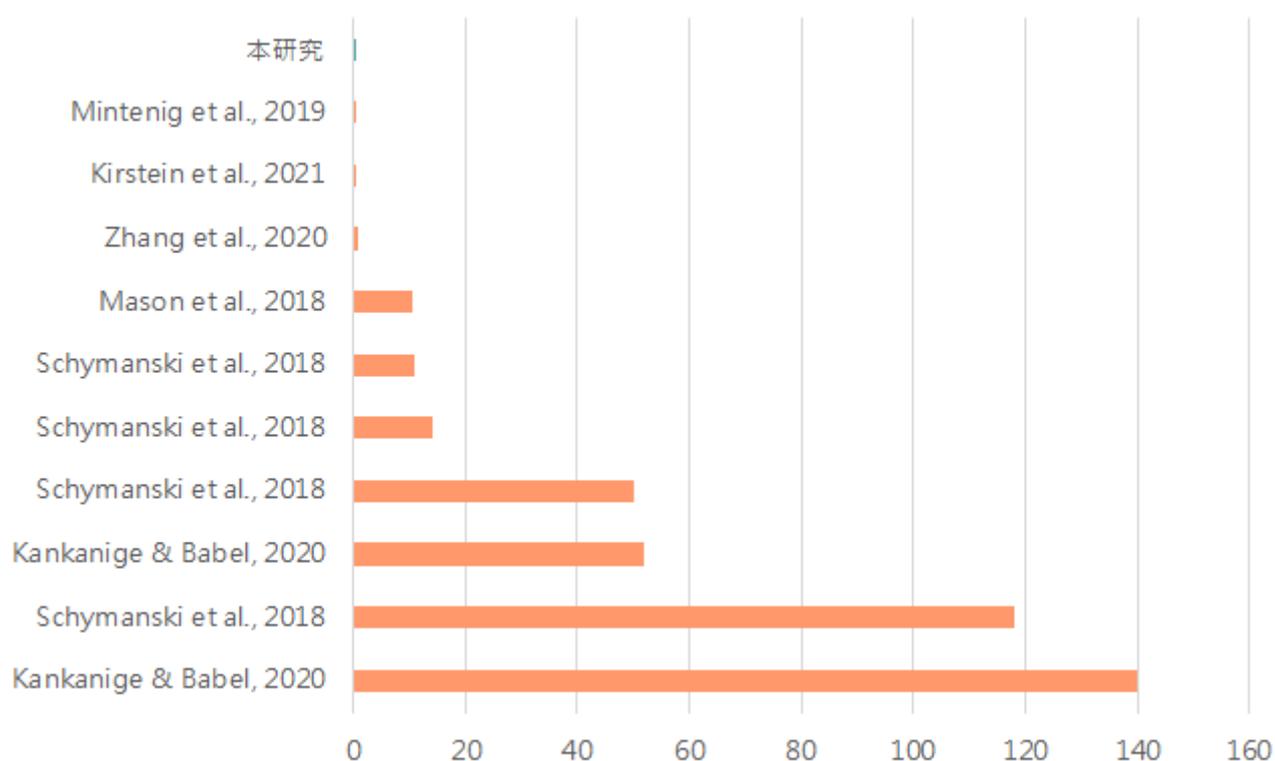


圖 13 飲用水微塑料含量與同類型研究結果對比示意圖 (單位：個/升)

四、總結

根據微塑料環境風險綜合評價體系的評價結果，大部分指標的評級為“風險較低”，綜合評價顯示目前澳門特區的微塑料環境風險較低，微塑料對本澳環境影響不大。

環境保護局近年透過多方面推進減塑工作，先後制定了第 16/2019 號法律《限制提供塑膠袋》、第 222/2020 號行政長官批示禁止進口及轉運一次性發泡膠餐具(包括餐盒、碗、杯、碟)、第 122/2021 號行政長官批示禁止進口及轉運不可降解一次性塑膠餐飲吸管及一次性飲料攪拌棒，以及第 175/2022 號行政長官批示禁止進口不可降解一次性塑膠刀、叉、匙。此外，亦推出了“減塑有著數”、“走塑好 EASY”、“自備水樽好 EASY”等減塑系列宣傳教育活動，營造社會的減塑氛圍。隨著上述工作的落實及推行，社會減塑意識明顯提升。未來將按《澳門環境保護規劃(2021-2025)》，進一步推廣及加強實踐減塑，有序推進其他不可降解一次性塑膠餐具的管制措施。