

# 海鮮中的塑膠

綠色和平科學研究室 Kathryn Miller | 2016



# 一. 問題：

## 海鮮中的塑膠

據估計，塑膠佔了全球海洋垃圾的60-80%。

海洋中大量的塑膠廢棄物雖然沒有一個確切的統計數字，而根據理論，再以量化模型推斷，扣除海床和沙灘的沉澱物後，有多於5.25兆件、重量達268,940噸的塑膠碎片在海中飄流 (Eriksen et al., 2014)。最近甚至有愈來愈多的研究估算出更高的數字，相信全球海洋可能有約50兆件的塑膠碎片 (van Sebille et al., 2015)，不過這些數據目前仍無法在現實中被證實。

特別令人擔憂的是，海洋中擴散著不同大小塑膠碎片，因為它們難以分解，而且會隨水流而散佈各地。從60年代開始，就有一些記錄報告和科學論文詳細說明大型塑膠碎片對鳥類、魚類和海洋哺乳類動物的影響；不但如此，現在「微塑膠」也令人憂慮。

微塑膠是指直徑或長度小於5毫米的塊狀、細絲或球體塑膠粒子。微塑膠可分為二種，有一種是塑膠原料（在製造時會先被塑形，成為其他塑膠製品的顆粒原料），另一種是塑膠碎片（指那些大塑膠因暴露於風、浪和紫外線下而分解或脆化，成為碎片）。而這些微塑膠對海洋環境的潛在影響，也引起科學家、政府、慈善機構、消費者團體和環保組織的關注。

**大塑膠**  
>25mm  
直徑或長度大於25毫米

**中塑膠**  
<25mm  
直徑或長度介於5至25毫米

**微塑膠**  
<5mm  
直徑或長度最大不超過5毫米

可分為兩類：

**初級微塑膠**  
人工製作某一規格的塑膠粒子，如塑膠微粒（柔珠）

**次級微塑膠**  
從大件塑膠裂解成的塑膠碎片，像塑膠瓶碎成小片

**奈米塑膠**  
<1um  
微塑膠的子集  
直徑／長度小於1微米

目前沒有微塑膠尺寸的正式定義。在這份報告裡，我們採用GESAMP(2015)報告的測量標準，將微塑膠定為從1微米到5毫米的大小。

為了增加大眾意識，認知微塑膠的問題，綠色和平英國辦公室從2016年春天開始遊說政府禁止使用固體微塑膠，包括被添加在牙膏、洗衣粉和臉部磨砂膏等生活日用品中的塑膠柔珠。聯合國環境規劃署 (United Nations Environment Programme, UNEP) 於2015年的報告《化妝品中的塑膠：我們是否因為個人護理而污染環境？》，提議全面禁用塑膠柔珠。



在過去50年間，塑膠產量激增，在2002年，全球共生產了2.04億噸塑膠，而至2013年，全球生產量增至2.99億噸；2013年的歐洲，用於包裝上的塑膠，就佔了所有塑膠量的39.6% (Plastics Europe, 2015)。由於許多塑膠製品多屬於一次性用途，所以也產生了大量廢棄物。這些塑膠廢棄物雖然最終可能被焚燒、送到掩埋場或回收，但有些可能透過下水道、掩埋場的垃圾污水滲透、人為惡意傾倒、船隻意外滲漏，或是污水處理廠的排放水，最後都流進了海洋 (Derraik, 2002)。

為什麼這些微小的塑膠碎片會備受關注？因為我們知道海洋中的微塑膠比起大塊的塑膠廢棄物影響更大。

那些被草率棄置的塑膠廢棄物將導致海洋生物被網縛、窒息，勒斃和營養不良等問題。由於微塑膠體積太小，比起大塊的塑膠廢棄物更容易被海洋生物吸食和攝取。微塑膠還會持續地吸附並釋放有毒污染物質 (所謂吸附是指微塑膠會吸引化學物質「黏附」在其表面；同時，微塑膠也具有「釋放」那些黏附在其表面的化學物質)。又或是在微塑膠的製造過程中，被添加的化學物質同時也被過濾出來。愈來愈多塑膠被丟棄，造成更多的塑膠廢棄物進入全球水系統；大型的塑膠廢棄物會分解成更多更小的碎片，每一件在海上飄流的塑膠碎片，都可以再分解成上百，甚至上千的微塑膠。

目前不少學術研究都聚焦在如何解決微塑膠在海洋中所衍生出的眾多問題。

問題包括：

- 海洋中到底有多少微塑膠？
- 微塑膠是否會累積在食物鏈中？
- 微塑膠對海洋生物的物理影響是什麼？
- 海洋生物攝食微塑膠後會怎樣？
- 海洋生物會主動攝食微塑膠嗎？
- 塑膠吸附和釋放化學物質，對人類和海洋生物具有什麼毒害影響？

這份關於海洋中的微塑膠的最新科學文獻和報告，特別關注魚類和貝類的研究，並評量人類若食用含有微塑膠的海鮮之潛在影響。



## 二. 研究摘要： 海洋中的微塑膠

**海洋中的塑膠碎片已成為全球性的環境問題，而且海洋生物會吸收和攝食這些微塑膠也是普遍的事實。**

據統計，至少有170種海洋脊椎和無脊椎動物會攝食這些由人類產生的碎片 (Vegter et al., 2014)。由於微塑膠的研究仍處於起步階段，特別要注意的是，萃取、鑑定和紀錄塑膠污染的方法也都仍在發展中，目前也尚未標準化 (Koelmans et al., 2015)。

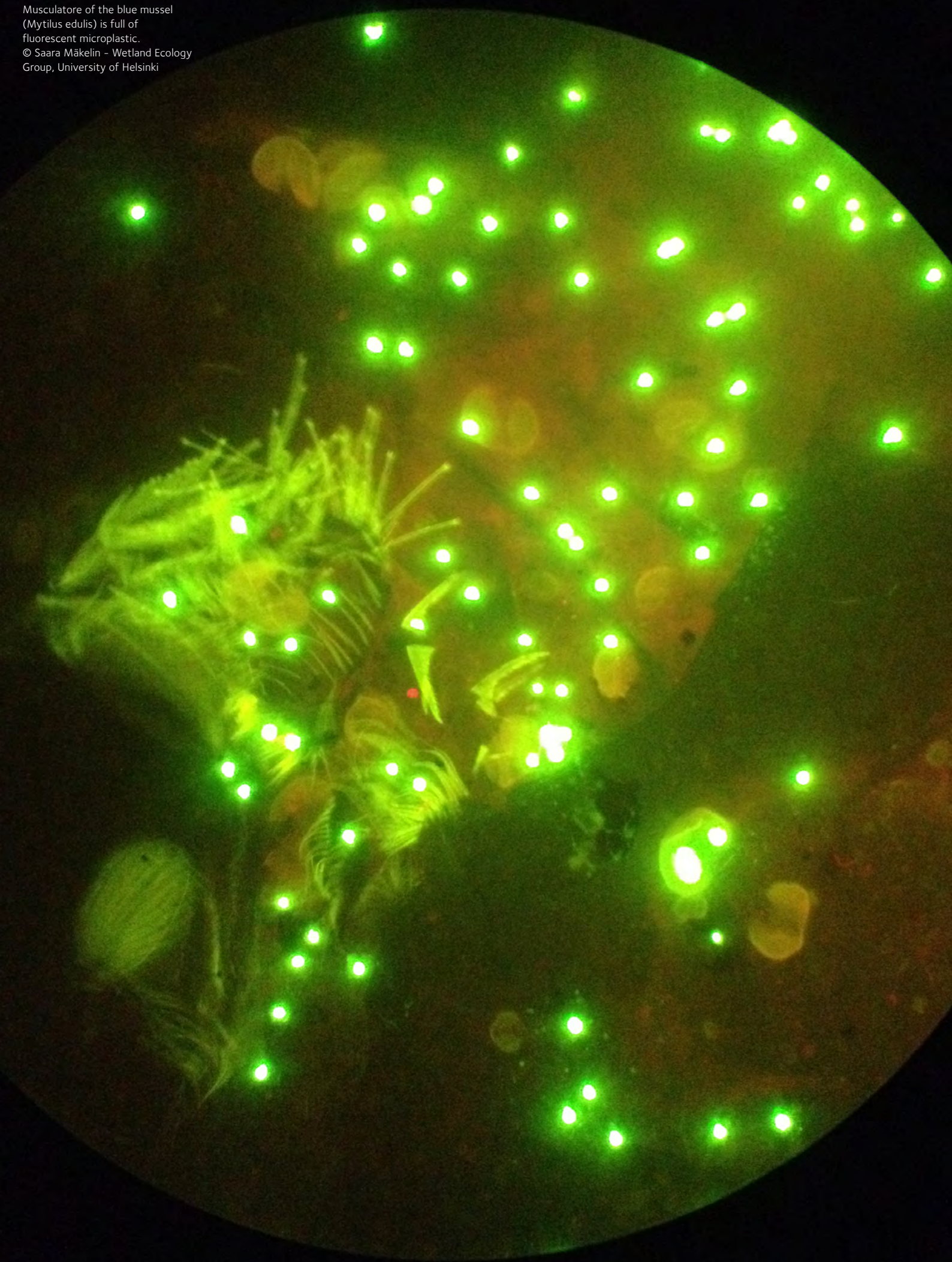
很難以量化研究監測海洋魚類和貝殼類體內的微塑膠 (見表)，而且也會產生不一致的結果。有科學期刊上的研究指出，根據實地樣本分析，每個個體都含有0-21個微塑膠 (Lusher et al., 2016; Rochman et al., 2015; Lusher et al., 2013)，這些數據並非最正確的資訊，但可以肯定的是，眾多且不同的海洋生物體內確實存在微塑膠，科學研究的重點應著重於微塑膠對海洋生物的影響。

根據科學分析，海洋生物的組織已證實含有聚合物，包括聚丙烯 (PP)、聚乙烯 (PE)、醇酸樹脂 (常用於油漆和其它塗料)，以及螺縲 (人造絲)、聚酯纖維、尼龍、聚酸甲酯 (壓克力、PMMA)、聚醯胺、聚苯乙烯 (PS)、聚對苯二甲酸乙二酯 (PET) 和聚氨基甲酸酯 (PU) (Neves et al., 2015; Rummel et al., 2016)。

許多研究集中在北半球，特別是歐洲和美國，比起南半球較多，然而趨勢已漸漸開始改變。例如，今年就有一份關於巴西聖保羅沿岸的淡菜遭微塑膠污染的研究報告 (Santana et al., 2016)。此外，在中國，也開始出現愈來愈多關於微塑膠的研究報告 (Li et al., 2016; Li et al., 2016b)；另外還有一些來自亞洲、非洲及南北極等地的研究數據。也就是說，不論是在大西洋、太平洋、印度洋，甚至南北極洋等各海域和深海沉積物中，都能發現微塑膠的蹤跡，對此，可合理推論大海中的微塑膠已無所不在 (GESAMP, 2015)。

### 研究的挑戰

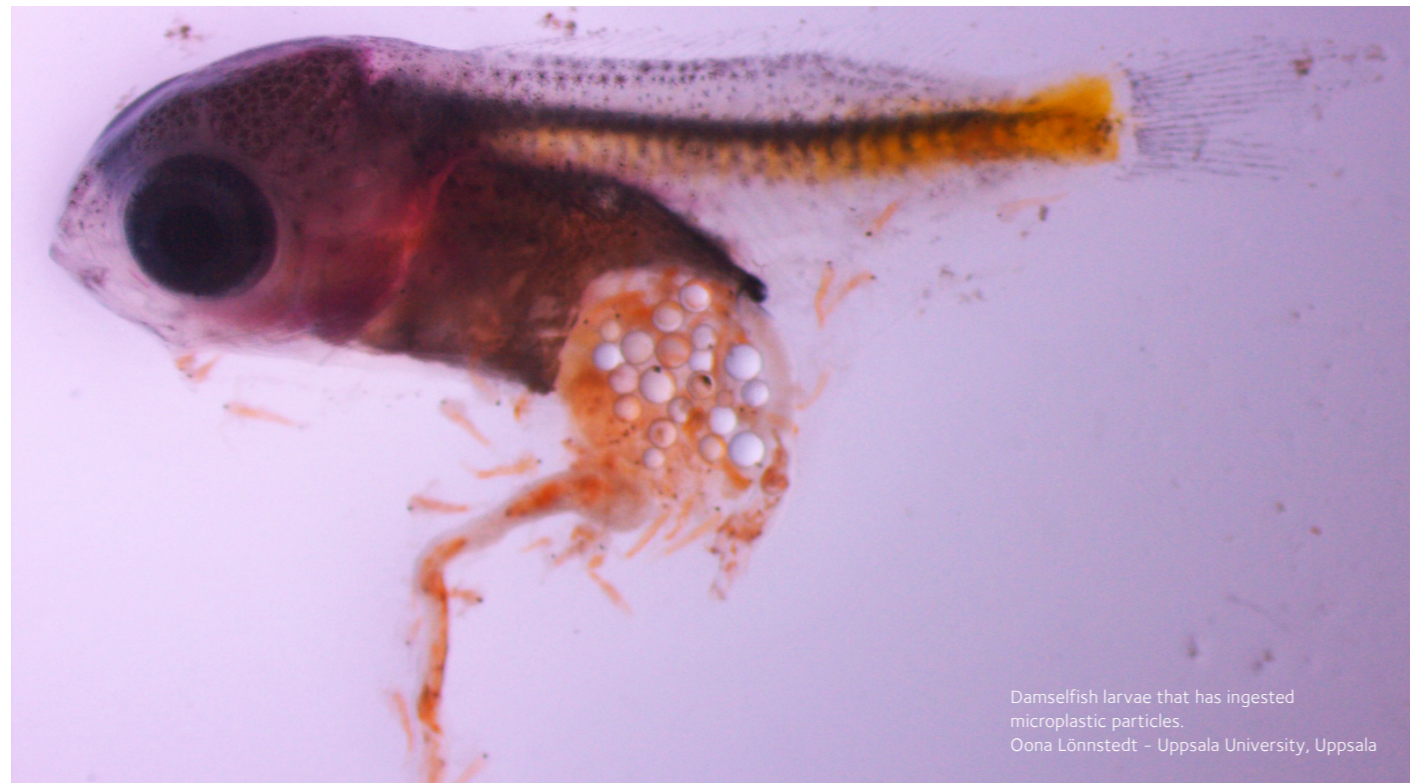
其中的難處之一在於抽取在海洋生物和海水中所含的微塑膠時，要如何界定採樣地點和數量。因為採集微塑膠樣本，通常是在船上用網子在海面上打撈，或者是在海灘上取樣本作研究，但是以網子打撈會導致難以比對數據。又因為網子只能收集到輕量、浮在海面上的微塑膠樣本，而忽略了沉積在海底的塑膠。要精準地鑑定微塑膠，過程不但複雜且耗時，通常需要專業的設備和實驗室的檢驗。有些看起來像是塑膠纖維的樣本，經檢驗後被證實只是綿花 (Song et al., 2015)。其它潛在的問題包括微塑膠樣本遭受外部其它塑膠污染，像是船隻、油漆、魚網，甚至是實驗室的空氣含有塑膠等。對於收集、調查和鑑定微塑膠，制定一套標準化流程與規範，將有助於研究小組更精確地比對不同的研究結果。



## 實地調查

- 葡萄牙一項研究指出，含有26個品種的263條漁獲中，有19.8%含有微塑膠 (Neves et al., 2015)。
- 從英吉利海峽拖網船的漁獲樣本中發現，36.5%含有合成聚合物。這項研究沒有討論魚類攝食微塑膠的影響，但作者認為魚類很可能是透過正常的覓食和飲食行為吃下微塑膠 (Lusher et al., 2013)。
- 分析121種來自地中海中部的魚類，發現18.2%的旗魚、大西洋黑鮪和長鰭鮪的樣本中含有塑膠碎片 (Romeo et al., 2015)。
- 美國的研究團隊分析了兩個地點 (印尼望加錫和美國加州) 裡野生捕撈和民生市場所販售的魚類。結果發現，28%印尼的樣本和25%美國的樣本含有合成碎片。印尼樣本中發現的碎片均為塑膠，而在美國樣本中發現的則主要為纖維。(由於研究並沒有分析纖維的類型，所以可能是棉花或塑膠。) (Rochman et al., 2015)。
- 來自北海和波羅的海的290條漁獲樣本中，5.5%內臟中含有塑膠。分析顯示40%塑膠為聚乙烯。其它成分包括聚醯胺 (22%)、聚丙烯 (13%)，以及比例較少的聚苯乙烯、PET、聚酯纖維、聚氨酯和橡膠 (Rummel et al., 2016)。
- 檢驗從北太平洋亞熱帶環流所捕獲27種、共計141條魚的胃含物，發現9.2%含有微塑膠。這些魚類以浮游生物為主食，作者認為微塑膠可能已進入海洋生物的食物鏈 (Davison & Asch, 2011)。
- 於克萊德海域以拖網捕捉挪威龍蝦 (挪威龍蝦 *Nephrops norvegicus*) 的研究發現，拖網捕獲的樣本中有83%胃含物中殘留塑膠細絲。研究人員判斷可能是龍蝦誤食塑膠或吃到被塑膠污染的獵物 (Murray & Cowie 2011)。
- 在北大西洋所採集761條深海魚的樣本中，11%攝入細小的塑膠碎片 (Lusher et al., 2016)。
- 攝取塑膠微粒的小型海洋生物，將透過食物鏈把體內微塑膠轉移到其他生物。實地研究北太平洋中心環流以浮游生物為主食的魚類樣本，發現35%的樣本均含有塑膠碎片。以浮游生物為主食的魚類，在食物鏈中也會被天敵所獵食，所以塑膠污染也會影響以小型魚為主食的鮪魚和魷魚等掠食者 (Boerger et al., 2010)。
- 巴西聖保羅桑托斯河口的淡菜 (Brown mussel) 和中國海岸的紫殼菜蛤 (*Mytilus edulis*) 體內，均發現有微塑膠 (Santana et al., 2016; Li et al., 2016b)。
- 北海的紫殼菜蛤 (*Mytilus edulis*) 和大西洋的牡蠣 (*Crassostrea gigas*) 都發現含有微塑膠，而這兩種貝類都已經是人類常食用的海鮮 (van Cauwenberghe & Janssen, 2014)。

## 攝食微塑膠的途徑



Damselfish larvae that has ingested microplastic particles.  
Oona Lönnstedt - Uppsala University, Uppsala

海洋生物以不同的途徑攝入微塑膠：  
淡菜、牡蠣等生物為濾食；螃蟹透過腮  
以及口進食；魚類以口吞食。

浮游生物在過濾食物時是沒有選擇性的，所以不會分辨微塑膠。其他會選擇性覓食的魚種，則會因吞食被污染的獵物，或是把微塑膠誤認為食物；某些物種也有可能主動食用微塑膠 (Rummel et al., 2016; Lusher et al., 2016)。今年公佈的一份研究指出，剛孵化的歐洲鱸魚幼魚偏愛微塑膠勝於浮游生物作為食物，因為微塑膠數量較為豐沛 (Lönnstedt & Eklöv, 2016)。

## 累積與轉移

值得關注的是，微塑膠會因為掠食者食用被污染的獵物，而經由食物鏈轉移或累積。

例如 Mazurais et al. (2015) 提出，如果歐洲鱸魚 (*Dicentrarchus labrax*) 被食物鏈中其他高階的生物獵食，微塑膠將轉移至獵食者體內累積。這就衍生出兩個主要問題：微塑膠於食物鏈中的物理累積，以及化學污染物的潛在影響。對於微塑膠在食物鏈中轉移的相關研究包括：

### 魚類

- 一項實驗室的試驗發現，鯡魚 (*Mugil cephalus*) 腸胃中的微塑膠已轉移至其肝臟組織 (Avio et al., 2015)。
- 一個針對海鷗幼雛的實驗中，研究人員餵食雛鳥魚類和從東京灣葛西臨海公園收集來的聚乙烯樹脂顆粒，這些餵給雛鳥的魚類中都因為獵食細小的甲殼類生物而攝入了多氯聯苯 (PCBs)。研究發現，多氯聯苯可經由海洋塑膠污染轉移至海鳥身上。海鳥可能因為食用被污染的獵物 (魚)，而令自己置身在污染風險中，而關於這些化學物質所帶來的影響，則需要更多相關的研究 (Teuten et al., 2009)。

- 一個針對微塑膠轉移的實驗，研究微塑膠如何透過食物鏈中的三個層級 (三個營養級) 轉移，研究人員觀察食物鏈頂端、屬掠食者魚類的影響。跟控制組的魚相比，食用微塑膠的魚群需要更長時間餵食、相對較不活躍、在魚缸中探索時間少和精力不旺盛等，牠們也較常停留在淺水處 (Mattsson et al., 2015)。

### 貝類

- 研究人員以受到微塑膠污染的紫殼菜蛤餵以螃蟹 (*Carcinus maenas*)。在食用被污染的紫殼菜蛤 21 天後，螃蟹體內便發現了若干微塑膠。這也表示，螃蟹會將微塑膠再轉移到其他掠食者 (Farrell & Nelson, 2013)。
- 紫殼菜蛤屬於濾食性動物，3 或 9.6 微米的微塑膠會在濾食過程中殘留體內。內臟中累積的微塑膠會在 3 天內轉移到循環系統中，並留在體內 48 天，甚至更長時間。在短期暴露下，並未導致任何不利的生物反應 (Browne et al., 2008)。

### 龍蝦

- 實驗室的餵飼試驗中，研究人員將以微塑膠為食物的魚餵給從克萊德海捕獲的挪威龍蝦 (*Nephrops norvegicus*)。24 小時後，每一隻龍蝦的胃部都含有塑膠，作者特別提出，塑膠可能隨著時間累積 (Murray & Cowie, 2011)。

### 浮游生物

- 從實驗室試驗中，研究人員餵給糠蝦 (*Mysid shrimp*) 遭塑膠污染的浮游生物。糠蝦確實攝入微塑膠，且微塑膠可能透過食物鏈，轉移至掠食者身上 (Setälä et al., 2014)。

# 微塑膠引起的物理和化學影響

多項研究結果顯示，微塑膠可能會引起海洋生物的化學以及物理反應。

在一項實驗室試驗中發現，以塑膠粒(PVC)餵食歐洲鱸魚(*Dicentrarchus labrax*)，90天後，有50%的鱸魚，腸道有顯著的改變，其中有一半是吃了污染的塑膠粒，另一半則吃了沒有污染的塑膠粒；而另外50%的鱸魚，腸道則出現明顯的改變(Mazurais et al., 2015)。

攝入微塑膠對海洋生物的影響取決於不同的物種，或是生物的生長階段。卵、幼蟲和幼體比起成熟的海洋生物更易受到傷害。從事幼魚研究的作者發現，

鱸魚孵化到幼魚的成長過程裡，微塑膠都會造成化學和物理方面的影響，包括活動作息、進食習慣和面對掠食者威脅的反應等(Lönnstedt & Eklöv, 2016)。

浮游橈足類是海洋食物網鏈中重要物種之一，同時也是魚類和無脊椎動物的食物。當螃蟹(*Carcinus maenas*)、甲殼類和浮游橈足類攝入微塑膠後，活動力會減弱、覓食速度變慢，而且孵化的幼卵亦會減少(Cole et al., 2015b)。

如果營養級別較低階的海洋生物攝入了微塑膠和吸附有毒物質的塑膠物，那麼食物鏈也可能

會受到影響。海蚯蚓(*Arenicola marina*)是翻起海洋沉積物的重要角色。在一項實驗中，海蚯蚓因為長時間接觸聚氯乙烯(UPVC)而產生了發炎反應，出現減少覓食和活動量減半的狀況，導致牠們生長、繁殖量減少，翻起海洋沉積物的活動也降低。因此，可看出對海洋生態系統的潛在影響(Wright et al., 2013)。



# 毒理學：

## 微塑膠吸附、釋放和滲濾污染物

海洋中的微塑膠是一個嚴重的問題，因為它們有可能釋放「滲濾」有毒化學物質到海水中，也可能會吸引和「吸附」化學物質沾附表面，對其它生物造成毒害。

滲濾(Leaching):科學研究已證實添加在塑膠上的物質(刻意添加在塑膠的化學物質)的毒性反應。這些毒性化學物質會從微塑膠上滲出，例如會干擾內分泌的雙酚A(BPA)(J. Michałowicz 2014; Perez-Lobato, R. et al 2016)、影響內分泌系統的王基酚(NP)(Soares et al 2008)，以及同樣具有生物毒性的溴化二苯醚(PBDEs)(Darnerud 2003)。(詳見表格1)

吸附：一旦塑膠變成微粒狀，不論是大型塑膠分裂後的碎片或是刻意製成的柔珠，它們都有可能吸引和吸收海水中一些具持久性、生物累積性和有毒的污染物質，如持久性有機污染物(POPs)。

持久性有機污染物是有毒的人工合成化學物質，像是農藥或工業產品，會在生物體內累積，難以代謝。基於它們一直留在自然環境中，將影響人類和野生動物的健康。(詳見表格1)。

研究指出，諸如聚乙烯、聚丙烯、尼龍和塑化聚氯乙烯等最易累積並成為持久性有機污染物(UNEP/GPA 2006; Stockholm Convention);而沒有塑化的聚合物，如聚氯乙烯和聚苯乙烯則不太會累積高含量的持久性有機污染物(Syberg, 2015)。事實上，也有研究指出，聚丙烯濃縮了若干有毒的化合物後，其毒性會比周圍的海水高出百萬倍。

雖然我們還不知道這些污染物如何從攝入塑膠，轉化進入活體組織的過程，但塑膠顆粒仍然可能是海洋生物、甚至是人類，接觸有毒物的相關源頭。研究模型顯示，攝食污染的食物來源仍舊是接觸這些化學物質最主要的途徑。(Koelmans et al. 2016)

在實驗室裡無法百分百營造海洋物種在自然環境中接觸化學物質的過程。不過目前已經有許多針對微塑膠、化學污染和生物間交互影響的相關研究。例如一個讓彩虹魚(*Melanotaenia fluviatilis*)連續21天暴露在溴化二苯醚(PBDEs)污染的微塑膠研究，魚體內含有相關化學物的比例比正常情況下的魚群還高。在更長期的暴露下(63天)，魚體內化學物的含量亦相對提高(Wardrop et al., 2016)。另一項研究中，讓歐洲海鱸接觸在義大利米拉佐港沉浸

三個月的微塑膠，模擬測試對污染物的自然吸附，結果顯示魚的腸道受到嚴重影響。而不僅是被餵食污染微塑膠的魚，甚至那些被餵食「乾淨」微塑膠的魚也同樣受影響，證明即使是未被污染的微塑膠，一樣會對魚的健康造成負面影響(Pedà et al., 2016)。

目前我們還沒辦法完全了解微塑膠如何隨著時間和風化分解，以及它們對污染物的吸引力(Teuten et al 2009)。

需要後續研究才能了解的情況如下：

- 污染物從微塑膠滲濾到附近水域中的程度。
- 污染物在海洋環境中被塑膠吸收的程度 (Li et al 2016; Engler, R. E. 2012)。
- 與塑膠相關的各種污染物對海水造成的影響 (Li et al 2016; Engler, R. E. 2012)。
- 哪些化學品會被哪一種塑膠吸附。
- 與塑膠相關的化學物質，對於控制生長、代謝和繁殖活動等內分泌功能的影響 (Rochman et al 2014b)。

	化學物質	作用	潛在影響	
聚合物單體	雙酚A (BPA)	聚合物單體運用於生產聚碳酸酯塑膠和環氧樹脂	潛在的內分泌阻礙物；毒性影響成長，尤其是對腹中的胎兒和嬰兒	
	添加劑	塑化劑－鄰苯二甲酸酯、鄰苯二甲酸鹽，如DEHP, DBP & DEP	使塑膠更柔軟、有延展性，尤其是添加在PVC中 作為香水和化妝品的穩定劑	一些塑化劑對生殖系統有毒；其他的會損害肝臟
		壬基酚 (NP)	運用於塑膠中的抗氧化劑、塑化劑和穩定劑。另外也會從壬基酚乙氧基化物 (nonylphenol ethoxylate) 工業洗滌劑中降解出來	對於水中生物而言，是一種劇毒。會干擾魚的內分泌系統，可能造成雌性化；對其他動物和人類的生殖和生長有毒害風險
		多溴聯苯醚 (PBDEs)	運用於某些塑膠、泡沫及紡織品的阻燃劑；或從環境中附著在塑膠表面成為污染物	潛在的內分泌影響物，尤其會影響甲狀腺功能；具有影響行為、神經系統的發展、免疫系統和肝臟的隱憂
污染物質	多氯聯苯 (PCBs)	早先用於某些塑膠中的阻燃劑和增塑劑，並作為變壓器的絕緣液體 (變壓器油)	影響大部分動物的免疫系統、生殖和神經系統的發育；可能引發肝臟損害或癌症	
	多環芳香烴 (PAHs)	燃燒不完全煤炭的產物，以及油和煤焦油中的成分	全部都具有持久性及生物累積性；有些PAHs會引發突變、癌症，或影響生殖	
	農藥殘留，如DDT和HCHs	過去在農業和城市中作為殺蟲劑使用；現在DDT只限用於控制瘧疾	DDT對水中生物是劇毒，亦對內分泌及生殖系統有潛在風險；HCHs對肝臟及腎臟有毒；有些可能會干擾內分泌，甚至致癌物	

表格1：一些與微塑膠有關的常見聚合物單體、添加劑及環境污染物質

## 三. 微塑膠對人類健康的影響：

### 人類食用受塑膠污染的魚類

**關於微塑膠被污染海洋生物轉移至人類身上後毒性影響研究，目前仍處於萌芽階段，須有更進一步的調查研究 (Law & Thompson, 2014)。**

無論如何，鑑於微塑膠廣泛存在於人類食用的海鮮身上，(特別是食用部分為整片軟肉的海鮮，如貝類)，在食用這些海鮮時，人類無可避免地把一些微塑膠吞下肚。即使試圖估算人類的攝取量，但數據仍不準確，要實際量化數字是非常困難的。

Galloway和Lewis (2016) 確定人類可能因食用海鮮而攝入微塑膠，引發各種健康問題，包括微塑膠與人類細胞和組織的直接交互作用，以及其成為主要有毒化學物質接觸源的潛在風險。因為它們的表面大部分都有吸收和滲出污染物和添加物的特性。由於科學知識和認知上對此仍然有很大的斷層，以致各種方法都難以評定其對人類健康造成的風險。

即使聯合國環境規劃署的最新報告指出，「目前海鮮中的微塑膠不造成人類健康的威脅」；但報告內文也點出報告受限於資訊和不確定因素 (UNEP, 2016)。當中特別強調，目前沒有足夠證據評定，污染物轉移至魚肉的可能，再轉移到包括人類和其它掠食者。聯合國環境規劃署的結論是：在理解微塑膠對人類產生的毒性和影響上，我們仍有嚴重的知識斷層，另外，報告也提出微塑膠的潛在風險，為散播和傳遞人類相關疾病的病原體。

許多化學添加物和污染物都被發現和微塑膠有關，或是容易累積於微塑膠的表面；這些對人類及野生動物有一定的影響。不論途徑為何，表1已列出有毒化學物質的危害性。

醫學研究文獻是最有用的指南，來確定人體食用微塑膠的潛在後果，特別是那些體積最小 (奈米) 的塑膠。醫學文獻已明確指出，小於100奈米的顆粒可以透過內噬作用，由任何細胞吸收。而大於100奈米的顆粒，則可經由吞噬作用被吸收 (被巨噬細胞吞噬)。其它關於塑膠顆粒對人類的潛在危害因素，還包括由許多顆粒積聚而成為不同大小和形狀的塑膠碎片 (球形、棒形、三角形) (Ojer et al., 2015)。





Petri dish containing a sample of marine debris and zooplankton  
© Greenpeace / Alex Hofford

微塑膠普遍存在於海洋環境中。我們從不少實地研究和實驗室試驗中得知，微塑膠可藉由被不同的海洋生物攝入，進入食物鏈。研究人員正努力尋找微塑膠可能對海洋生物和其他生物產生的物理和毒性反應。

然而要謹記，微塑膠的研究領域仍然處於萌芽階段，不確定因素和知識斷層令我們難以就微塑膠可能對海鮮、海洋環境或是人類健康的影響作出定論。在微塑膠可能產生的影響找到絕對答案之前，我們應採取預警性原則，防患未然。

## 四. 對未來研究的建議

1. 要確定海洋魚類和貝類的內臟和組織因微塑膠而產生的物理反應。驗證和分析的方法必須在實驗前經過審慎的考慮，並和其他的研究作對比。
2. 我們必須了解塑膠中的有毒污染物在魚類和貝類組織中累積的程度，特別是人類會食用的海鮮物種。
3. 在特定的物種中，魚類和貝類的壽命和塑膠的累積之間是否有關聯？
4. 攝入塑膠的物種，其體內的持久性有機污染物 (POPs) 和其它有毒化學物質累積的程度為何？以及持續性有機污染物 (POPs) 是否會在同一個營養級中作轉移？
5. 當魚類和貝類攝入微塑膠或相關有毒物質，在不足致死的情況下，會有什麼影響？或致死的攝取量又是多少？
6. 訂定識別魚類內臟、組織和貝類及海洋環境中含有微塑膠和相關化學物的標準。標準化將有助於估計污染水平和暴露程度，以及制訂風險評估。
7. 必須實地調查以評估海洋中微塑膠的含量。包括來源、水流方向和速度。我們還需要確定不同大小的塑膠在進入海洋環境後的分解速度和分佈模式。
8. 微塑膠是否會穿過魚類、貝類和其他海洋生物，甚至是人類的細胞和細胞壁？還有微塑膠會否增加魚類、貝類或其他海洋生物的壓力負擔？
9. 海洋生物是主動或是意外地攝入微塑膠？



## 參考資料

Avio, C. G., Gorbi, S. & Regoli, F. (2015) 'Experimental development of a new protocol for extraction and characterization of microplastics in fish tissues: First observations in commercial species from Adriatic Sea.' *Mar. Environ. Res.* 111, 18–26.

Boerger, C. M., Lattin, G.L., Moore, S. L., Moore, C. J. (2010) 'Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre' *Mar. Pollut. Bull.* 60, 2275–2278.

Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M., Thompson, R. C. (2008) 'Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.)' *Environ. Sci. Technol.* 42 (13), 5026–5031.

Browne, M. A., Niven, S. J., Galloway, T. S., Rowland, S. J. & Thompson, R. C. (2013) 'Microplastic Moves Pollutants and Additives to Worms, Reducing Functions Linked to Health and Biodiversity.' *Curr. Biol.* 23 (23), 2388–2392.

Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Galloway, T. S. (2015b) 'The Impact of Polystyrene Microplastics on Feeding, Function and Fecundity in the Marine Copepod *Calanus helgolandicus*.' *Environ. Sci. Technol.* 49 (2), 1130–1137.

Darnerud, P.O. (2003) 'Toxic effects of brominated flame retardants in man and wildlife.' *Environ. Int.* 29 841–853.

Davison, P. & Asch, R. G. (2011) 'Plastic ingestion by mesopelagic fishes in the North Pacific Subtropical Gyre.' *Marine Ecology Progress Series* 432, 173–180.

Derraik, J. G. B. (2002) 'The Pollution of the Marine Environment by Plastic Debris: A Review.' *Mar. Pollut. Bull.* 44, 842–852.

Eerkes-Medrano, D., Thompson, R. C. & Aldridge, D. C. (2015) 'Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs.' *Water Res.* 75, 63–82.

Endo, S., Takizawa, R., Okuda, K., Takada, H., Chiba, K., Kanehiro, H., Ogi, H., Yamashita, R., Date, T. (2005) 'Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets: Variability among individual particles and regional differences' *Mar. Poll. Bull.* 50, 1103–1114.

Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borero, J. C., Galgani, F., Ryan, P. G., Reisser, J. (2014) 'Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea.' *PLoS ONE* 9(12): e111913. doi:10.1371/journal.pone.0111913

Farrell, P. & Nelson, K. (2013) 'Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.).' *Environ. Pollut.*, 177, 1–3.

Galloway, T. (2015) in *Marine Anthropogenic Litter* (Bergmann, M., Gutow, L. & Klages, M. Eds. Ch. 13, Micro- and Nanoplastics and Human Health).

Galloway, T. & Lewis, C. (2016) 'Marine microplastics spell big problems for future generations' *PNAS* (USA) 113, 2331–2333.

GESAMP (2015) "Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment" (Kershaw, P., ed.). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/JN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 90.

Greenpeace (2006) 'Plastic Debris

in the World's Oceans'.

Koelmans, A. A., Besseling, E. & Shim, W. J. (2015) 'Nanoplastics in the Aquatic Environment: Critical Review'. *Marine Anthropogenic Litter* (Bergmann, M., Gutow, L. & Klages, M. Eds. Ch. 12.)

Koelmans, A. A., Bakir, A., Allen Burton, G. & Janssen, C. R. (2016) 'Microplastic as a Vector for Chemicals in the Aquatic Environment: Critical Review and Model-Supported Reinterpretation of Empirical Studies.' *Environ. Sci. Technol.* DOI: 10.1021/acs.est.5b06069.

Law, K. L. & Thompson, R. C. (2014) 'Microplastics in the seas.' *Science* 345(6193), 144–145.

Li, H.-X., Getzinger, G. J., Lee Ferguson, P., Orihuela, B., Zhu, M. & Rittschof, D. (2016) 'Effects of Toxic Leachate from Commercial Plastics on Larval Survival and Settlement of the Barnacle *Amphibalanus amphitrite*.' *Env. Sci. Tech.* 50, 924–931.

Li, J., Qu, X., Su, L., Zhang, W., Yang, D., Kolandhasamy, P., Li, D. & Shi, H. (2016b) 'Microplastics in mussels along the coastal waters of China.' *Env. Poll.* 214, 177–184.

Lönnstedt, O. M. & Eklöv, P. (2016) 'Environmentally relevant concentrations of microplastic particles influence larval fish ecology.' *Science* 352, 1213–1216.

Lusher, A., McHugh, M. & Thompson, R. (2013) 'Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel.' *Mar. Pollut. Bull.* 67 (1–2), 94–99.

Lusher, A. L., O'Donnell, C., Officer, R. & O'Connor, I. (2016) 'Microplastic interactions with North Atlantic mesopelagic fish.' *ICES J. Mar. Sci.: J. du Conseil* 73, 1214–1225.

Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C. & Kaminuma, T. 'Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment.' *Environ. Sci. Technol.* 35, 318–324 (2001).

Mattsson, K., Ekvall, M. T., Hansson, L.-A., Linse, S., Malmendal, A. & Cedervall, T. (2015) 'Altered behavior, physiology, and metabolism in fish exposed to polystyrene nanoparticles.' *Environ. Sci. Technol.* 49, 553–561.

Mazurais, D., Ernande, B., Quazuguel, P., Severe, A., Huelvan, C., Madec, L., Mouchel, O., Soudant, P., Robbins, J., Huvet, A. & Zambonino-Infante, J. (2015) 'Evaluation of the impact of polyethylene microbeads ingestion in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae.' *Mar. Environ. Res.* 112, 78–85.

Michałowicz, J. 'Bisphenol (2014) A sources, toxicity and biotransformation.' *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 37 (2) 738–758.

Murray, F. & Cowie, P. R. (2011) 'Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758).' *Mar. Pollut. Bull.* 62, 1207–1217.

Neves, D., Sobral, P., Ferreira, J. L. & Pereira, T. (2015) 'Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast.' *Mar. Pollut. Bull.* 101, 119–126.

Ojer, P., Iglesias, T., Azqueta, A., Irache, J. M. & López de Cerain, A. (2015) 'Toxicity evaluation of nanocarriers for the oral delivery of macromolecular drugs.' *Eur. J. Pharm. Biopharm.* 97, Part A, 206–217.

Pedà, C., Caccamo, L., Fossi, M. C., Gai, F., Andaloro, F., Genovese, L., Perdicchizzi, A., Romeo, T. & Maricchiolo, G. (2016) 'Intestinal alterations in

European sea bass *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) exposed to microplastics: Preliminary results.' *Environ. Poll.* 212, 251–256.

Perez-Lobato, R., Mustieles, V., Calvente, I., Jimenez-Diaz, I., Ramos, R., Caballero-Casero, N., López-Jiménez, F. J., Rubioli, S., Olea, N. & Fernandez, M.F. (2016) 'Exposure to bisphenol A and behavior in school-age children.' *NeuroToxicol.* 53, 12–19.

Plastics Europe (2015) 'Plastics – the facts 2014/2015: An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data.'

Rochman, C. M., Hoh, E., Kurobe, T. & Teh, S. J. (2013) 'Ingested plastic transfers contaminants to fish and induces hepatic stress.' *Nat. Sci. Rep.* 3, 3263.

Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B. S., Hentschel, B. T., Hoh, E., Karapanagioti, H. K., Rios-Mendoza, L. M., Takada, H., The, S. & Thompson, R. C. (2013b) 'Classify plastic waste as hazardous.' *Nature* 494, 169–171.

Rochman, C. M., Lewison, R. L., Eriksen, M., Allen, H., Cook, A.-M. & Teh, S. J. (2014) 'Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in fish tissue may be an indicator of plastic contamination in marine habitats.' *Sci. Total Environ.* 476–477, 622–633.

Rochman, C.M., Kurobe, T., Flores, I. & Teh, S.J. (2014b) 'Early warning signs of endocrine disruption in adult fish from the ingestion of polyethylene with and without sorbed chemical pollutants from the marine environment.' *Sci. Total Environ.* 493 656–661.

Rochman, C. M., Tahir, A., Williams, S. L., Baxa, D. V., Lam, R., Miller, J. T. Teh, F.-C., Werorilangi, S. & The, S. J. (2015) 'Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption.' *Sci. Rep.* 5, Article number: 14340 doi:10.1038/srep14340

Romeo, T., Battaglia, P., Pedà, C., Consoli, P., Andaloro, F. & Fossi, M. C. (2015) 'First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea.' *Mar. Poll. Bull.* 95, 358–361.

Rossi, G., Barnoud, J. & Monticelli, L. (2014) 'Polystyrene nanoparticles perturb lipid membranes.' *J. Phys. Chem. Lett.* 5, 241–246.

Rummel, C. D., Löder, M., Fricke, N. F., Lang, T., Griebeler, E.-M., Janke, M. & Gerds, G. (2016) 'Plastic ingestion by pelagic and demersal fish from the North Sea and Baltic Sea.' *Mar. Poll. Bull.* 102, 134–141.

Santana, M.F.M., Ascer, L.G., Custódio, M.R., Moreira, F.T. & Turra, A. (2016) 'Microplastic contamination in natural mussel beds from a Brazilian urbanized coastal region: Rapid evaluation through bioassessment.' *Mar. Poll. Bull.* 106, 183–189.

Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V. & Lehtiniemi, M. (2014) 'Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web.' *Environ. Poll.* 185, 77–83.

Silva, A. H., Locatelli, C., Filippin-Monteiro, F., Martinc, P., Liptrott, N., Zanetti-Ramos, B., Benetti, L., Nazari, E., Albuquerque, C., Pasae, A., Owen, A. & Creczynski-Pasa, T. (2016) 'Toxicity and inflammatory response in Swiss albino mice after intraperitoneal and oral administration of polyurethane nanoparticles.' *Toxicol. Lett.* 246, 17–27.

Soares, A., Guieysse, B., Jefferson, B., Cartmell, E. & Lester, J.N. (2008) 'Nonylphenol in the environment: a critical review on occurrence, fate, toxicity, and treatment in waste waters.' *Environ. Int.*, 34, 1033–1049.

Song, Y. K., Hong, S. H., Jang, M., Han, G. M., Rani, M., Lee, J. & Shim, W. J. (2015) 'A comparison of microscopic and spectroscopic identification methods for analysis of microplastics in environmental samples.' *Mar. Pollut. Bull.* 93 (1–2) 202–209.

Stockholm Convention: [www.pops.int](http://www.pops.int)

Sussarellua, R., Suqueta, M., Thomasa, Y., Lamberta, C., Fabioux, C., Pernet, M., Le Goïca, N., Quilliena, V., Minganta, C., Epelboina, Y., Corporea, C., Guyomarch, J., Robbens, J., Paul-Ponta, I., Soudanta, P. & Huveta, A. (2016) 'Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics.' *PNAS* 113, 2430–2435.

Syberg, K., Khan, F.R., Selck, H., Palmqvist, A., Banta, G.T., Daley, J., Sano, L. & Duhaime, M.B. (2015) 'Microplastics: addressing ecological risk through lessons learned.' *Environ Toxicol. Chem.* 34, 945–953.

Teuten, E. L., Rowland, S. J., Galloway, T. S., Thompson, R. C. (2007) 'Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants.' *Environ. Sci. Technol.* 41, 7759–7764.

Teuten, E. L., Saquing, J. M., Knappe, D. R. U., Barlaz, M. A., Jonsson, S., Björn, A., Rowland, S. J., Thompson, R. C., Galloway, T. S., Yamashita, R., Ochi, D., Watanuki, Y., Moore, C., Viet, P. H., Tana, T. S., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Zakaria, M. P., Akhavan, K., Ogata, Y., Hirai, H., Iwasa, S., Mizukawa, K., Hagino, Y., Imamura, A., Saha, M., Takada, H. (2009) 'Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife.' *Philos. Trans. R. Soc.*, B 364 (1526), 2027–2045.

UNEP/GPA. (2006) 'The State of the Marine Environment: Trends and processes.' UNEP/GPA, The Hague.

UNEP. (2015) 'Plastics in cosmetics: Are We Polluting the Environment Through Our Personal Care?.' Nairobi.

UNEP (2016) Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change (Advance copy). United Nations Environment Programme, Nairobi: 192 pp.


Vegter, A. C., Barletta, M., Beck, C., Borrero, J., Burton, H., Campbell, M. L., Costa, M. F., Eriksen, M., Eriksson, C., Estrades, A., Gilardi, K. V. K., Hardesty, B. D., Ivar do Sul, J. A., Lavers, J. L., Lazar, B., Lebreton, L., Nichols, W. J., Ribic, C. A., Ryan, P. G., Schuyler, Q. A., Smith, S. D. A., Takada, H., Townsend, K. A., Wabnitz, C. C. C., Wilcox, C. Young, L. C. & Hamann, M. (2014) 'Global research priorities to mitigate plastic pollution impacts on marine wildlife.' *Endang. Species Res.* 25, 225–247.

van Cauwenbergh, L. & Janssen, C. R. (2014) 'Microplastics in bivalves cultured for human consumption.' *Environ. Poll.* 193, 65–70.

van Sebille, E., Wilcox, C., Lebreton, L., Maximenko, N., Hardesty, B., van Franeker, J., Eriksen, M., Siegel, D., Galgani, F. & Law, K. (2015) 'A global inventory of small floating plastic debris.' *Environ. Res. Lett.* 10, 124006.

Wardrop, P., Shimeta, J., Nugegoda, D., Morrison, P., Miranda, A., Tang, M. & Clarke, B. (2016) 'Chemical Pollutants Sorbed to Ingested Microbeads from Personal Care Products Accumulate in Fish.' *Environ. Sci. Technol.* DOI: 10.1021/acs.est.5b06280.

Wright, S. L., Rowe, D., Thompson, R. C. & Galloway, T. S. (2013) 'Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worms.' *Curr. Biol.* 23 (23), R1031–R1033.



綠色和平是一全球性環保組織，致力於以實際行動推動積極的改變，保護地球環境與世界和平。我們在世界40多個國家和地區設有分部，擁有約300萬名支持者。為了維持公正性和獨立性，我們不接受任何政府、企業或政治團體的資助，只接受民眾和獨立基金的直接捐款。

Sampling Microplastics in Germany  
© Andreas Varnhorn / Greenpeace.

更多資訊

[www.greenpeace.org.tw/](http://www.greenpeace.org.tw/)

2016年7月出版

綠色和平東亞分部 臺北辦公室

10093 臺灣臺北市中正區羅斯福路一段83巷10號

[inquiry.tw@greenpeace.org](mailto:inquiry.tw@greenpeace.org)

TEL: +886 (2) 2321-5002

FAX : +886 (2) 2321-3209

**GREENPEACE**