

◎ 陳德豪

# 當尼莫 遇到避孕藥



小丑魚怎麼會遇上避孕藥呢？

其實我們生活中使用的各種化學物質都可能藉由汙水的排放進入環境水域，避孕藥也不例外。

水中的環境荷爾蒙除了會影響魚類的生殖外，也可能影響其社會行為。

近年來的研究顯示，藥物及個人護理產品（pharmaceuticals and personal care products，簡稱 PPCPs）逐漸成為新興的環境汙染製造者。PPCPs 廣泛應用在我們的生活中，它包含了很多種類的化學物質，如處方或非處方藥、動物用藥、健康食品、沐浴乳、洗髮精、化妝品、乳液、防曬用品等。基本上，藥妝店裡販售的商品大都可歸類為 PPCPs。

由於大量製造與使用，這些物質不斷地釋放到水域環境中。部分 PPCPs 具有干擾動物內分泌系統的性質，因此視為環境荷爾蒙，例如人工合成雌激素—炔雌醇（ $17\alpha$ -ethynylestradiol，簡稱 EE2）就是一種水域環境中常見的環境荷爾蒙。

炔雌醇 EE2 的應用頗多，它是口服避孕藥的主要成分，人類尿液中未代謝的 EE2 或棄置入馬桶的 EE2 會經由污水系統進到環境中。EE2 也應用在洗髮精、乳液或化妝品中，當然也會經由沐浴進入污水系統。此外，水產養殖業培育單一性別的魚隻時也會用到 EE2。EE2 可說是水域環境中最常發現的環境荷爾蒙。

根據文獻，亞洲、歐洲、北美洲的污水處理廠排放水中的 EE2 濃度通常在偵測極限以下至  $42\text{ ng/L}$ （十億分之一公克 / 公升）間。然而根據美國在 1999 ~ 2000 年進行的全國調查指出，有 15.7% 的排污水樣品中偵測到 EE2，最大濃度高達  $831\text{ ng/L}$ ，即使是中位數濃度也有  $73\text{ ng/L}$ 。更令人憂心的是，這些 EE2 會隨著污水進入河口及沿岸地區。另義大利一個高度都市化的瀉湖地區也偵測到  $34\text{ ng/L}$  的 EE2，中國膠州灣李村河口的

EE2 則有  $7\sim 24\text{ ng/L}$ 。筆者實驗室在墾丁地區的 3 個河口也曾測到最高達  $45\text{ ng/L}$  的 EE2。

很多研究都顯示 EE2 會影響魚類，包括誘發卵黃蛋白原表現、生殖腺雙性化、影響精子或卵子發育、雄魚雌性化、行為改變、族群崩潰等。由於它在環境中的廣泛分布以及對內分泌干擾的能力，EE2 已成為淡水及海水水域生態系中普遍存在的環境問題。

行為生態毒理學的研究指出，動物的敵對行為可以作為魚類暴露於環境荷爾蒙程度的敏感指標。敵對行為對動物在爭取食物、領域、交配機會、社會階級等重要資源時非常重要，研究顯示像 EE2 這類的環境荷爾蒙可能會改變魚類的敵對行為，進而降低個體的社會階級優勢。正常的敵對行為若被干擾具有重要的生態意義，因為那可能降低個體資源的取得、社會階級及生殖的成功率，進而造成族群負面的影響。

很多珊瑚礁魚類是社會性的群居動物，必須透過競爭取得階級地位並獲得有限的資源，例如食物和交配的權力，小丑魚就是這類最著名的社會性珊瑚礁魚。排行第一體型最大的小丑魚會性轉變成雌魚，排行第二體型次之的會性轉變成雄魚，其餘的小丑魚則維持原性別沒有分化。由此可見，位階在前兩名的才能具有生殖權力並獲得較多的資源。當排行在前的小丑魚消失（死亡或離開該群體）了，排行在後的小丑魚才有機會提升其在群體中的排行。

**[ 很多研究顯示水域環境中常發現的環境荷爾蒙會對魚類造成影響。 ]**



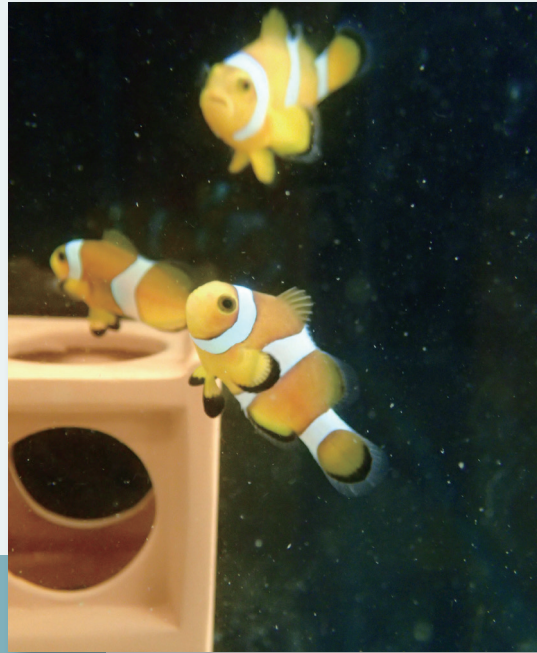
一般而言，小丑魚的階級排行主要由個體間行為互動來決定，較具優勢者會不斷以威嚇、攻擊等敵對行為來維持其嚴謹的社會結構。較弱勢者則透過屈服表態，例如逃離、顫抖等行為示弱，以降低上級施予它的敵對行為。

小丑魚的天然棲地分布於印度西太平洋的珊瑚礁區域，這是個常受到人類活動排放汙水影響的地方。由於魚類的敵對行為會受到其內分泌系統的調控，因此海洋中的環境荷爾蒙有可能影響小丑魚的敵對行為，甚至進一步影響小丑魚群體的社會互動。

為探究環境荷爾蒙對小丑魚的社會行為產生了什麼影響，筆者的實驗室把小丑魚暴露在非常低 EE2 濃度的環境中。在實驗設計中，每一個實驗缸都放入 3 尾約 4 公分大小未成年的小丑魚，它們會在一、兩天內形成高、中、低 3 種階級。把每一缸的小丑魚分別暴露在乾淨的海水或含有 30 ng / L EE2 的水體中各 28 天，並拍攝每一缸裡個體間的社會互動行為，之後藉由動物行為分析軟體量化分析其競爭過程所產生的社會行為。

我們把社會行為分為兩大類，分別是敵對行為與屈服行為。在正常的情況下，最高階級的小丑魚會顯著展示較多的威嚇行為，低階的小丑魚則展示了較多的屈服行為。

實驗結果發現，暴露在 EE2 中會影響群體內整體的敵對行為表現，造成群體內的社會穩定度降低。若進一步分析 EE2 對不同階級個體的影響時，發現中間階級小丑魚的社會行為表現較為異常。



實驗缸中的小丑魚群體



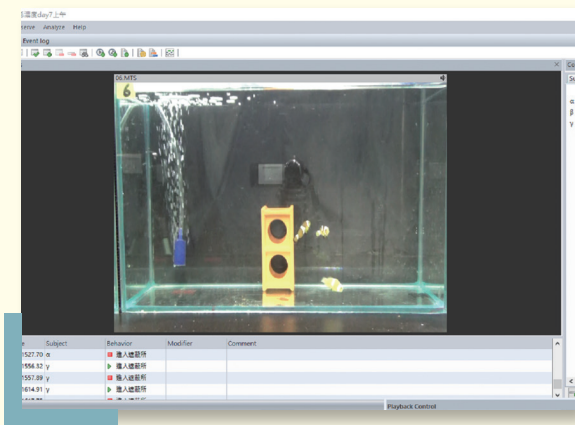
小丑魚階級與體型呈正比



實驗缸的設置



拍攝行為實驗影片



用動物行為分析軟體分析影片中群體內的社會行為



小丑魚的威嚇行為

在正常狀況下，位於中間階級的小丑魚需同時面對較高階與較低階的個體，牠們展示威嚇行為的對象應多是較低階的個體，對高階的個體應較少（反而是表現較多屈服的行為）。但暴露於 EE2 之後，中間階級的小丑魚對於威嚇行為的對象變得較無選擇性，對高階和低階的威嚇表現都差不多。換句話說，EE2 讓中間階級個體的社會行為表現得比較「不得體」。

有趣的是，也發現 EE2 組最高階的小丑魚對中間階級的小丑魚反倒是展示了較多的屈服行為，顯然高階個體的階級優勢因暴露於 EE2 中而弱化了。但在最低階的個體方面，它們的社會行為並無太大變化，對於高階和中階個體仍是屈服行為較多。

總結而言，這項實驗顯示高階和中階個體受 EE2 暴露影響最大，造成其社會互動

暴露於雌激素炔雌醇中會增加群體內整體的敵對行為表現，造成群體內的社會穩定度降低。



許多珊瑚礁魚類是社會性的群居動物，必須透過競爭取得階級地位並獲得有限的資源，例如食物和交配的權力，小丑魚就是這類最著名的社會性珊瑚礁魚。

異常、社會行為一致性降低，進而使群體內階級間的不穩定（反映在較多的相互間敵對行為）惡化。除了行為分析之外，也在行為實驗結束之後採集魚體血液，進行血漿中雄性素的分析，因為敵對行為會受到雄性素的調控。結果發現，暴露在 EE2 組的血漿中雄性素濃度顯著低於控制組，顯示 EE2 除了干擾社會行為外，也干擾了小丑魚的內分泌生理。

在小丑魚的群體裡面，敵對行為展示對象的選擇對維持階級而言十分重要。高階個體藉由威嚇行為抑制低階個體，降低其競爭的潛力，低階個體會為了躲避威嚇而對高階個體展現屈服行為。社會階級的高低決定了個體的體型大小發育及性別分化。這項研究發現受 EE2 影響較大的是最高階與中階兩種個體，而這兩者又是群體內重要的兩個階級，未來會分別分化成雌性及雄性的個體。

雌激素快雌醇造成的敵對行為改變以及社會互動異常可能會影響到群體內的性別分化，也可能影響生殖成功率。

EE2 造成的敵對行為改變以及社會互動異常可能會影響到群體內的性別分化，也可能影響生殖成功率。再者，暴露於 EE2 後，中階個體增加了對高階個體的威嚇行為，表示最高階個體的侵略性強度下降，抑或中階個體在評估威嚇對象的能力下降，這會造成群體內衝突的頻率增加，優勢階級需要花費更多的心力維持階級穩定。群體內敵對行為表現的增加會讓小丑魚消耗更多的精力維持階級穩定，而可能壓縮到進行其他重要行為（例如覓食、求偶、築巢、避敵）時所需的時間與能量。

此外，有文獻曾提到，當外來小丑魚入侵時，群體內與入侵者相同階級的小丑魚會採取行動。但若是遇到如上所述的狀況，暴露後的小丑魚可能會因群體內階級不穩定，沒能在適當時機驅逐入侵者，或做出了錯誤的應對方式，而危及到群體的利益或安全。

目前環境荷爾蒙的研究大都集中於淡水魚種，對於熱帶珊瑚礁物種的研究仍十分缺乏。這項研究顯示，環境荷爾蒙 EE2 的暴露會改變珊瑚礁魚類小丑魚的社會行為及群體內階級的穩定度。後續相關實驗可以再結合環境暴露的濃度相依性，與面對外來入侵者的行為表現等方面。未來也應加強研究各種環境荷爾蒙對生物體內分泌的干擾，使我們得以正視現今便利的日常生活會對海洋生態帶來什麼樣的影響。

---

陳德豪

國立海洋生物博物館 / 東華大學海洋生物研究所

---

