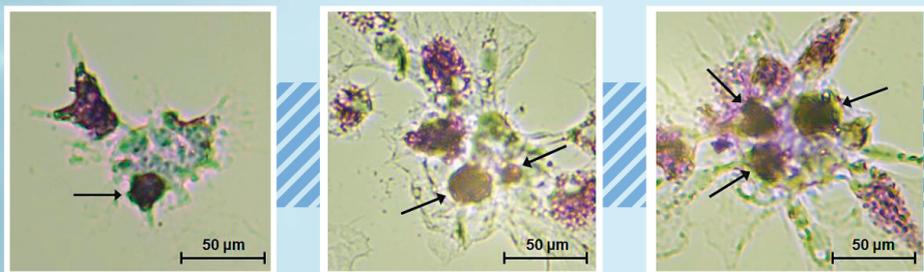


科學家
探索故事



中國海洋大學王悠研究揭示有機阻燃劑攻擊貝類生殖系統

海洋小生物控訴新污染物大危害



◆正常細胞只有一個細胞核（如左圖所示）。環境污染容易引發細胞核中染色體斷裂，在細胞漿中形成兩個或多個小核（如中間圖和右圖所示），稱為微核。微核的多少能夠表徵污染的發生及程度。鉍暴露能夠誘導紫贻貝血細胞微核率增加，表明鉍暴露干擾紫贻貝細胞核的形成。

第一次採訪中國海洋大學海洋生命學院教授王悠，是她就日本福島核污水排海發聲。基於團隊前期的研究成果，她從科學的角度分析進入海洋環境的人工放射性核素對海洋生態系統的潛在危害。

王悠的研究領域為海洋環境生態學，一直致力於全球變化背景下海洋污染對海洋低營養級生物的影響，所謂低營養級生物，包括海洋浮游生物、雙殼貝類與植食性魚類。在浩瀚的深藍生物鏈中，她的研究對象雖「小」，卻是海洋生態系統的能流基礎，足以「以小見大」，能夠預警性地闡明污染物對海洋生態系統的潛在影響。

◆文：香港文匯報記者 丁春麗 青島報道 圖：香港文匯報青島傳真



◆中國海洋大學海洋生命學院教授王悠

在中國海洋大學魚山校區辦公室裏，溫暖的陽光透過窗戶灑進屋裏。坐在香港文匯報記者對面的王悠，身上灑滿了陽光，溫暖而又知性。

如果說我們隨手丟棄的廢舊手機，會影響到海洋生物安全、海洋生態系統平衡甚至人類健康，你會不會感到驚訝？不僅是電子產品，甚至交通設施、建材、服裝中都含有這樣的物質，會不會顛覆我們的認知？

研究論文成起源性參考文獻

從2011年開始，王悠就關注海洋環境中的新污染物——「溴代阻燃劑類化合物」對海洋生態系統的效應、機制與風險評價。溴代阻燃劑是全球產量最大、用量最高的有機阻燃劑，這類廣泛使用於交通設施、建材、服裝等領域的物質，在給生產生活帶來便利的同時，也極易隨生產、使用及廢棄處理逸散到環境中而造成污染。但新污染物在環境中通常具有持久性與隱蔽性，利用海洋中低營養級的「小」生物的生理響應，則能預警性闡明新污染物對海洋生態系統的影響。

課題組通過海洋浮游動物的生殖響應、海洋貝類的免疫反應以及魚類細胞的體外毒理學研究揭示了這類物質的環境毒性決定機制與途徑，為揭示新污染物的生態環境效應提供了很好的研究方法體系與理論基礎。這項研究已得到國內外廣泛關注，關於浮游動物生殖毒性的研究論文成為該領域起源性參考文獻，得到國際知名同行的盛讚。國際著名環境毒理學家 Peijnenburg 教授 (Aquatic Toxicology 和 Chemosphere 主編) 認為這項工作「對於水生毒理學研究具有重要科學貢獻的研究，能夠推進在外源有毒物質對水生生物和水生生態系統影響方面的理解」。

海洋是一個「有等級劃分」的複雜系統。當人們觀察到或者能夠感受到污染影

響的時候，污染可能已經達到一定程度。在王悠看來，從海洋低營養級層次、從微觀水平開展系統研究更能說明核污染水排海對生態系統功能、服務功能以及人體健康的潛在影響。目前，國內外在此領域尚面臨很多信息空白。

從頭研究摸索 填補領域空白

「王老師的科研敏感度特別高，6年前就開始着手核素的研究了。」徐夢雪是王悠培養的博士，她的學位論文就是關於核事故典型核素對貝類的毒性效應研究。她告訴香港文匯報記者，相比現在社會各界對核素的高關注度，當年她着手開展相關研究的時候，可參考的文獻真是少之又少，實驗體系與實驗方法都是從頭開始摸索。

「我們現在非常關注日本核污水排海後究竟發生了什麼？到底會有什麼影響？影響範圍有多大？這些都需要科學、精準的證據來說明。」王悠說，課題組已與多方開展合作攻關，開展更系統且具有更高生態相關性的研究。

王悠說，此次日本福島核事故產生的核污染水中含有包括氫、鈾-90、鉍-137、碳-14等60餘種放射性核素，其中關注度比較高的幾種特徵性核素半衰期都比較長，比如鉍-137半衰期在38年左右，碳-14則高達5,370年。

氫是此次核污水排放事件中關注度較高的一種核素。氫的半衰期為12.5年，可產生β射線。通常β射線很難進入人體，但一旦進入又最難去除，可對多個器官的生理功能產生影響。王悠指出，氫只是60餘種核素中的一種，日本政府試圖用氫濃度為代表說明核污水排海的安全性與合理性是不科學的，是以偏概

全、避重就輕。

鉍「攻擊」紫贻貝重要生理功能

早在2016年，王悠課題組就與內地相關單位開展合作，主要研究核事故典型核素在海洋低營養級生物中的富集傳遞與生理影響。其中關於鉍對紫贻貝的生理生態學效應的研究成果發表在國際知名刊物《Environmental Pollution》(2023)上，在很短時間內得到廣泛關注。

王悠介紹說，這項研究是在實驗生態條件下採用穩定核素替代法開展的一項模擬研究，發現鉍在紫贻貝血細胞、消化腺和性腺的富集程度都比較高。王悠解釋說，在性腺中的高富集意味著對其生殖作用產生影響，而生殖變化能夠直接影響貝類種群動態變化及其在種間競爭中的作用。鉍暴露還會影響紫贻貝的攝食、消化與代謝等生理過程，以血細胞功能為指示的免疫功能在鉍脅迫條件下也受到顯著影響。而不同貝類對鉍的生理響應差異有可能導致底棲生物群落結構發生變化。

王悠告訴香港文匯報記者，雖然實驗室條件下的模擬研究與實際環境中鉍的作用濃度與暴露方式都存在較大差別，但這項研究結果還是具有科學性和代表性，它重點關注典型核素的離子屬性，這為後續的深入開展輻射屬性與離子屬性的雙重作用研究奠定基礎。



▶王悠正在給研究生授課。



◆王悠(中)和她的學生們。

「第一次打開王老師給我修改的論文，我啪的一下就關掉了電腦，一天都沒有勇氣再打開。」郭穎告訴香港文匯報記者，看着自己覺得很滿意的論文上面那些密密麻麻的批註，壓力排山倒海一樣撲面而來。郭穎是王悠的博士生，今年博士畢業後繼續留校做博士生。

在王悠嚴苛的要求下，郭穎6萬餘字的博士論文前後修改了八九遍，曾一度修改到崩潰。36歲的郭穎是一位「媽媽博士」，工作六年後帶著孩子重返校園。「家庭的身份常常讓我迷失了自己，但王老師經常會點醒我，她始終以博士生的標準給我提出更高的要求。」畢業時，郭穎流著淚感謝王悠，王悠是唯一一個對她高要求的人。王悠接納她，點醒她，提升她，而且不管多難從來沒有放棄過她。

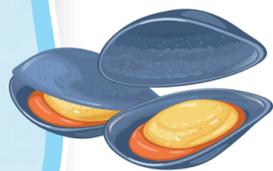
嚴謹治學 英才輩出

王悠治學嚴謹，學生們都有著切身體會。徐夢雪也告訴香港文匯報記者，每個學生的畢業論文、學術論文，王悠不但親自指導，而且每一遍都是親自修改。「她是最理想的良師標杆。」徐夢雪說，王悠對學生嚴謹、負責，學生們稱之為學術界的一股清流。

「我的導師當年也是這樣給我修改論文的，也是這樣要求我的。」王悠笑着說，「我常對學生說，一定要對得起這些年你在科研上的付出！」正是因為王悠的嚴格要求，學生們在校期間發表了高質量的論文，還獲得了一些重要獎項，這也成為他們就業求職的一塊敲門磚。徐夢雪就是受益者，博士畢業後順利進入山東省海洋生物研究院，並於入職當年申請到一項省級課題，內容就是關於核素的生態學效應。

「王老師是我從事海洋生態領域研究的領路人，她講課常常能激發學生的興趣。」臧麟今年讀大四，已經被推免至本校繼續攻讀生態學專業的研究生。當年正是因為聽了王悠給新生上的《海洋生態學》專業導航課而最終選擇並深愛上這個專業。

她是最理想的良師標杆



◆王悠堅持學習芭蕾舞4年了。

芭蕾舞「三好學生」 工作生活兩不誤

特稿

溫柔，優雅，知性，智慧，熱情……採訪王悠的幾位學生，上述詞彙是他們描述的王悠老師。「王老師腰背挺拔，體態優雅，一群年輕人都不如老師！」郭穎笑着告訴香港文匯報記者。

每周兩節瑜珈課、兩節舞蹈課，其中一節舞蹈課就是芭蕾舞。王悠表示，她堅持學習芭蕾舞已經4年了。王悠是芭蕾舞班的「大齡」學員，但也是出勤率最高的學員之一。「每一個女孩心裏都有一個公主夢。」王悠笑着說，俄羅斯國家芭蕾舞團在青島演出的《天鵝湖》也喚醒了她的公主夢。

「要開心做科研」

換上芭蕾舞裙，穿上舞鞋，王悠翩然起

舞。經常伏案工作，通過芭蕾舞和瑜珈課，王悠的身心都得到了舒展。運動不僅帶來了快樂，還提高了精氣神，她享受其中。在王悠看來，科研和工作只是生活的一部分，而不是全部。她養成了良好的科研習慣，工作的時候傾力投入，回家後盡情享受生活。

「老師工作效率實在是太高了，她打破了大家對科研工作天天熬夜加班的一貫認知。」郭穎說，作為一名女性科研工作者，王悠老師很好地掌控了工作、生活的節奏，她是一個有生活態度的人，也是一個有情調的人。「要開心做科研，更要記得你是一個女人，皺眉就不漂亮了，更不要唉聲嘆氣！」每次和王悠老師聊完天，她溫柔的話語讓郭穎就像做了一次心理疏導。