

一 “雪” 前恥！

臺灣石斑魚成功打入日本消費市場

許自研、陳陽德、王淑欣、張軒銘、吳豐成 / 水產試驗所東港養殖研究中心

前言

臺灣為一座四面環海的瑰麗島國，水產養殖產業發達，其中石斑魚養殖產量與產值最為可觀（表 1），以 2023 年漁業統計年報，包含「龍虎斑 (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ x *Epinephelus lanceolatus* ♂)」在內的石斑魚產量多達 18,327 公噸，產值更近逼新臺幣 47 億元，然而這樣蓬勃發展的產業，卻面臨外銷市場過於單一。

表 1 2023 年臺灣養殖石斑魚產業的產量與產值

種類	產量 (公噸)	產值 (新臺幣千元)
點帶石斑	1,328	303,115
鞍帶石斑	2,285	716,133
龍虎斑	13,154	3,147,167
其他	1,561	472,600
合計	18,327	4,639,015

有鑒於此，我國農業部為確保石斑魚養殖產業永續發展，長年來積極開發國際新興市場，自 2017 年起便開始拓展龍虎斑銷往日本消費市場之規劃，由於日方主要擔憂我國養殖的龍虎斑恐存有藻毒（雪卡毒素，ciguatoxins）疑慮，一直不肯同意龍虎斑輸日議案，惟案經多年雙方積極溝通，於 2023 年「第 46 屆臺日經濟貿易討論會議期中檢討會議」與同年日方派員抵臺進行龍虎斑生產訪查後結束會議之決議，希望我方未來應針對龍虎斑養殖生產區之

海水供應站水質進行毒藻監測工作，以確保養殖龍虎斑之食品安全，方能進一步討論對日銷售可行性。

爰此，本所張錦宜所長責成本中心應發揮專業與經驗，極力爭取計畫經費，全力促成此案。根據日方提供之毒藻相關的研究資料，主要針對會產生雪卡毒素的渦鞭毛藻—甘畢爾藻 (*Gambierdiscus* spp.) 進行辨識（圖 1），由於國內仍未有該屬藻類中毒事件且相關檢測方法、採樣方式及辨識技術等皆未確立，爰此日方提供該屬藻種資料給予本所，並盼未來能儘速建立有毒藻類採樣辨識方法與監測計畫，進而符合臺日雙方共識，以期順利推動國內養殖龍虎斑銷日經貿活動。

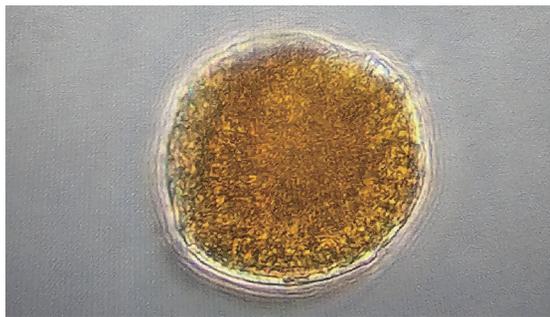


圖 1 甘畢爾藻 (*Gambierdiscus* spp.) 於顯微鏡下之形態（筆者於日本研習拍攝）

雪卡毒素與龍虎斑

臺灣養殖石斑主要魚種為龍虎斑、龍膽（鞍帶石斑，*Epinephelus lanceolatus*）及青

斑 (點帶石斑, *E. coioides*), 其中養殖龍虎斑佔比逾 7 成, 龍虎斑係由雌性老虎斑 (*E. fuscoguttatus*) 及雄性龍膽雜交而得, 為人工配育種之雜交種, 不僅繼承了老虎斑高抗病力, 同時又具備龍膽成長快速與肉質 Q 彈的特性, 既然開發了如此優質的水產品, 多年前曾有業者嘗試將養殖龍虎斑銷往日本, 但由於龍虎斑的親代之一為野生老虎斑, 在日本食品法內規定野生老虎斑歸為珊瑚礁魚類, 可能因生存環境蓄積有毒藻類毒素—雪卡毒素, 因此無法順利輸日。

雪卡毒魚類中毒 (ciguatera fish poisoning, CFP) 常發生於食用珊瑚礁魚類後, 該類毒素包括雪卡毒 (ciguatoxin, CTX)、鸚哥魚毒 (scaritoxin)、甘畢爾藻毒 (gambierol)、刺尾魚毒 (maitotoxins)、菟葵毒 (palytoxin) 及雪卡胜肽毒 (ciguaterin) 等, 「雪卡毒」為最主要的毒素, 約佔前述毒素 90% 以上。

至於這些毒素從何而來, 便是那肉眼無法看見的微細藻類—甘畢爾藻產生的。甘畢爾藻是一種雙鞭毛蟲門 (Dinoflagellata) 的單細胞生物, 該類生物多具有兩根鞭毛因而得名, 又因游動時鞭毛擺動呈螺旋狀而獲名為「渦鞭毛藻」, 且很多種類細胞外覆蓋著羽狀或角狀突起之小板片, 形如披甲戴盔的武士。甘畢爾藻的兩根鞭毛一根橫跨細胞, 而另一根環繞著細胞, 一般認為是用於運動和定位, 同時研究指出該藻有附著性, 屢屢在大型褐藻的表面被發現, 也常在熱帶、亞熱帶的珊瑚礁岩表面棲息, 甚少有大量懸浮離群個體被發現。

由於草食性魚類攝食到這些海藻上有毒的藻類後, 毒素便開始在魚體中蓄積, 接著肉食性魚類捕食含有毒素的草食性魚類, 毒素就開

始傳遞積累, 雖然魚類因本身消化及保護機制的的作用並不會中毒, 但毒素經過多種食物鏈的生物累積 (bioaccumulation)、生物富集作用 (biomagnification) 後, 代謝成毒性更強的魚毒, 最後當人類攝食到有病的魚類, 就會導致中毒, 由於常發生在熱帶或亞熱帶珊瑚礁魚類, 故又稱為熱帶性海魚毒或珊瑚礁魚毒。

該毒素本身無色無味, 為非結晶聚醚環狀化合物, 具有耐熱、耐酸之特性, 由於其穩定性高, 縱使經乾燥、冷凍、高溫烹煮或胃酸作用, 均不會被破壞, 這才導致難以加工去除。另一方面, 它為脂溶性毒素, 代謝速度較水溶性海洋生物毒素來得慢, 故需要較長的時間在人體中進行代謝, 意味著中毒症狀持續的時間會拉長, 其主要作用於神經末梢和中樞神經節, 影響神經、肌肉及心肌細胞的離子通道, 造成神經傳導受阻而引起運動失調等症狀。由於目前沒有解毒劑或專門療法可治療雪卡毒魚類中毒, 故建議最好的預防方式就是避免食用野生大型的珊瑚礁魚類, 這也是日方如此擔憂的主要原因。

本所強調我國養殖之龍虎斑, 自親代蓄養配種、種苗孵化培育到後續育成上市, 全程皆在魚塭環境中進行 (圖 2), 並未如野外棲息在珊瑚礁生態的石斑魚群, 透過食物鏈攝食而有藻毒積累之疑慮, 養殖過程主要飼餌料皆為人工配合飼料或是被稱為「下雜魚」的混獲魚種,



圖 2 臺灣龍虎斑養殖皆在人工環境下培育

幾乎不會來自珊瑚礁或海藻床中，且據食藥署統計，臺灣近 10 年來僅發生 4 起「雪卡毒素」中毒案例，其中 3 起中毒事件與雙斑笛鯛 (*Lutjanus biguttatus*) 有關，迄今尚未聽聞食用龍虎斑發生中毒的情事。

■ 水試所執行毒藻監測計畫

由於日方強烈要求我國應針對龍虎斑養殖生產區之海水供應站水質進行毒藻監測工作，以確保養殖龍虎斑之食品安全。為積極推動養殖產業發展，本中心研究人員有幸承擔該項艱鉅任務，遂根據多年藻類研究相關經驗，擬定毒藻監測頻率、合理採樣方式、鑑識技術等方法學，針對屏東地區龍虎斑養殖區兩處海水供應站（塹豐及北勢寮）取水口及陸上沉沙池進行定期採樣及毒藻辨識監測作業。

由於日方重視食安態度嚴謹，為徹底消除任何可能疑慮，監測採樣計畫擬定後，由屏東縣海洋及漁業事務管理所（下稱：海管所）鼎力相助提供巡護船舶，並居中協調海水供應站管理人員配合採樣作業，促使本計畫執行過程順利圓滿。為持續且定期完成監測報告，本所人員每季無論寒暑或晴雨，皆仍搭乘海管所之巡護船出海採樣，也曾因海象不佳而暈吐，著實相當辛苦。由於兩處海水供應站規劃為在離岸約 1 km 的水下 10 – 12 m 深處，設置 1 座鋼製取水頭，底座為混凝土澆置之方形沉塊，透過鋼製取水管將海水以連通管原理，無須額外抽水設施便能藉由重力流方式引至岸上沉沙池，將連同海水帶入之泥沙做初步沉澱處理，再透過供應站的馬達機組將海水泵至鄰近區域養殖場提供使用。爰此，監測重點主要為水下

取水頭構造物及沉砂池，未來會再由農業部漁業署持續輔導業者成為合格輪日登錄場，並自名單中隨機抽選養殖場，於末端魚塢進水口處採樣檢測覆核，確保整段海水供應鏈內任何可能存在的有毒藻類無所遁形。

由於取水頭位處水下約 10 m 處深，筆者在潛水教練戒護下，以水肺潛水方式親赴兩處取水頭進行觀察與採樣作業（圖 3）。採樣過程發現取水頭附近淤沙層厚實，水中濁度很高導致能見度極低，在此低光照與強勁水流的惡劣環境下，不僅沒有任何珊瑚礁生態，更無一絲海藻生長之蹤跡，可說是一片死寂靜默，因此顯不具備日方專家所述毒藻棲息的環境條件（圖 4）。特別一提的是，臺灣地處颱風侵襲熱區，北勢寮取水頭海面上作為記號之浮標前已



圖 3 海水供應站離岸取水頭位於水下約 10 m 處，須派遣人員潛水採樣



圖 4 取水頭設置地點透光率低，難有海藻或珊瑚生棲息



圖 5 本所人員同時採集水層中可能浮游之藻類進行鏡檢辨識

遭風浪吹斷鍊條，在還沒修復完成之前，2024 年 7 月塹豐取水頭浮標亦遭颱風吹斷，可見該地區風浪之強勁，水文變化相當激烈，故實難以維持穩定生態環境。

雖然直觀來看便可推測該處不具備毒藻棲息條件，為求務實精確，採樣過程筆者以毛刷採集混凝土結構上附著生物，並以浮游生物網撈取水樣中浮游生物，全程以攝影方式留下環境影像紀錄，連同水樣採集上岸後由技術人員王淑欣及張軒銘協助進行後續顯微鏡下藻種辨識及水質參數分析 (圖 5)，最終交付陳陽德副研究員進行資料統整及專業評估，依此模式完成該年度每季一次監測報告，現已完成 4 份成果資料並交付日方漁政單位作為評估參考 (圖 6)。

■ 水試所派員赴日研修交流

雖然本所過去曾有小亞歷山大藻 (*Alexandrium minutum*) 等毒藻監測經驗，惟本次日方所擔憂的雪卡毒素主要係甘畢爾藻所致，國內學研單位尚未有相關監測經驗。因此，針對該藻具體採用之研究方法與步驟等，需由本所派遣技研人員赴日學習相關技術及確認採

樣流程，參考日方實地教學及所提供技術資料，共同擬訂具雙方共識之標準流程，提高監測結果可信度與有效性，據以實施並提出監測報告，應可符日我雙方共識。

該次訓練規劃派遣本所陳陽德副研究員、許自研助理研究員及王淑欣技術員等 3 名人員前往日本「国立研究開発法人水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所」進行研修，由該組織「有害・有毒藻類小組」之專家西村朋宏博士負責全程指導，並由中山奈津子博士協助訓練活動，研修期間為期 4 天 (9 月 24 - 27 日)，每日安排 8 小時實習課程，內容非常豐富充實。

本所研究同仁首日與西村博士及中山博士會晤，互相介紹自身機關組織編制與所肩負之任務，據瞭解該研究所為日本海洋相關領域最大的研究和教育機構，截至 2020 年擁有 1,180 名職員，年度預算約 170 億日圓 (折合新臺幣近 36 億元)，本部轄下分為經營企劃部等四部門，另有水產資源研究所、水產技術研究所、開發調查中心及水產大學校，組織龐大且任務面向多元。

首日下午便隨著西村博士前往研究船靠泊碼頭岸際及所內排水溝進行海藻採樣，因甘畢



圖 6 經觀察辨識 2024 年常見優勢藻種為甲藻及矽藻類而未發現甘畢爾藻



爾藻習性主要為附著性，常見於海藻表面營生，將採獲之海藻裝瓶後攜回實驗室內，利用劇烈搖晃的方式將附生微藻沖刷脫落後，以雙層不同網徑大小的浮游生物網進行分離收集，再藉由顯微鏡進行檢查辨識，判斷是否有毒藻存在，如發現毒藻再進一步估算數量規模是否有致災風險（圖 7）。

翌日，西村博士率本所同仁參觀該所設施、儀器及其他研究人員從事之科研成果，其中讓人印象深刻的是負責培育海藻及海草的須藤健二博士，在他熱心的解說與導覽下，著實讓我們大開眼界。西村博士介紹到該所存有多種有毒藻類種原，因僅為保存而不需擴大養殖，故平常置於低溫及低光照的生長箱中進行培養，可供觀察辨識與比對之用。博士取出多種毒藻並以顯微鏡畫面解說著這些外觀上看極為相似的毒藻們，其形態特點與運動特性有哪些差異

點，如沒有透過活體進行仔細觀察，僅透過圖鑑或報告實難以理解箇中奧秘，確為此行一大收穫。

研修第三日，西村博士以特殊螢光染劑 (Calcofluor white M2R) 與毒藻進行混合染色，由於螢光顯微鏡可發出特定波長之光源，激發已與毒藻表面結合之螢光染劑發出螢光，對研究人員觀察與辨識來說是一大利器（圖 8）。同日下午西村博士展示毛細管製作技法，並以毛細管結合矽膠管與濾嘴，實現毒藻分離技術。該法可透過口腔負壓對毛細管尖端產生吸力，將目標毒藻單獨挑出至小培養皿中，確保培養液中僅有單一藻種，再進行後續培育工作，即為純化作業（圖 9）。

研修最後一日，西村博士指導如何利用流式細胞儀拍照系統，自動辨識藻種並上傳到公開網站平台 (Eco Taxa) 進行儲存與發布分享。

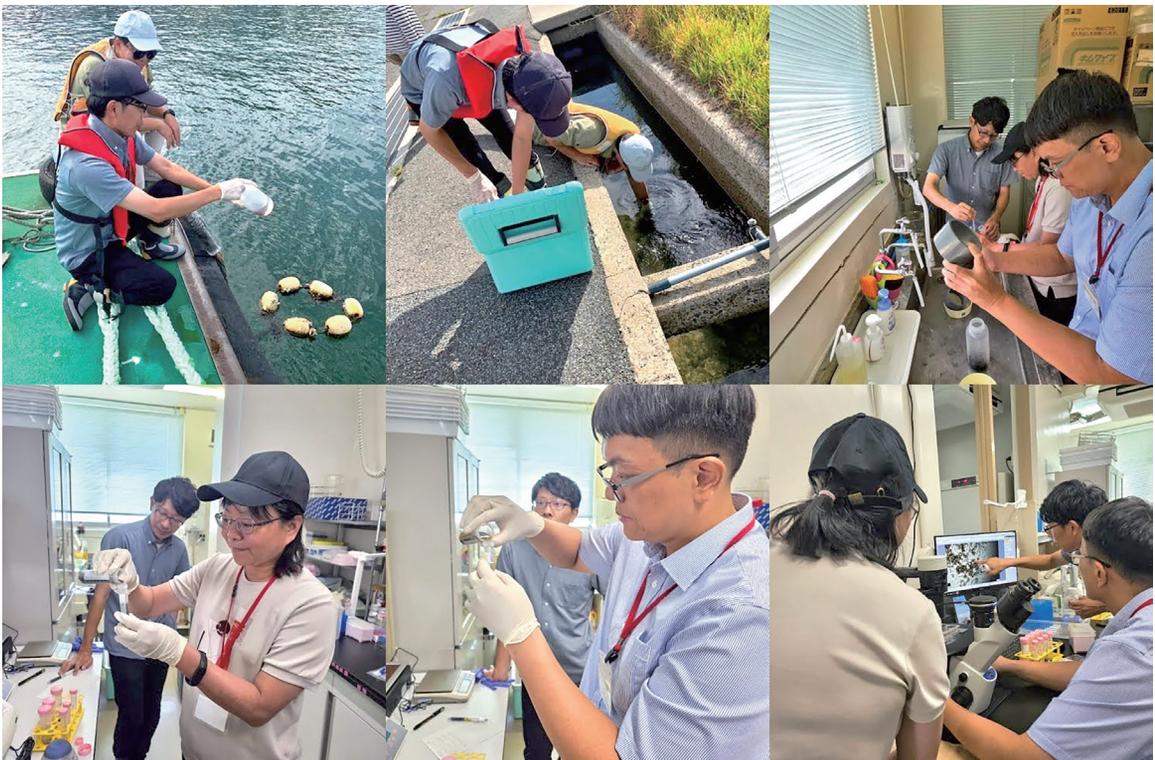


圖 7 日方專家指導採樣技巧與實際操作方法



圖 8 日方專家示範染劑及螢光顯微鏡如何提高甘畢爾藻辨識度



圖 9 日方專家展現製作毛細管之精湛手藝並指導本所人員關鍵技術

接著西村博士示範如何針對所保存的毒藻進行繼代培養作業，該方式與本所現行方式大同小異，除培養基為市售 SWM-3 外，操作過程也較為簡便快速。至此本次研修活動已告一段落。該日下午由西村博士與中山博士邀集本所同仁進行綜合討論，除針對研習內容進行進一步瞭解及反饋以外，陳副研究員藉此機會向兩位專家說明本團隊目前採樣及辨識等詳細過程與狀況，本次出行團隊攜有海水供應站結構示意圖

及水下採樣錄影畫面、鏡檢照片等作為論證依據，由於我國石斑魚重要產區之兩座海水供應站離岸水下取水頭因淤沙堆積且懸浮物質濃度高，光線難以穿透水層直達底層，故該處實難以提供珊瑚及海藻生長基質與良好的環境條件，既無珊瑚或海藻繁生，自然更無法提供微細毒藻附生其上，透過本所人員採樣鏡檢結果亦可證明此點。

經過長達一個多小時的說明與溝通，日方專家表示能確實理解我國生產現況，根據他們的研究結果與經驗，確實有足夠理由相信我國龍虎斑主要產區所抽取使用之海水，應無甘畢爾毒藻存在的可能性，但詳細評估結果與日方漁政機關後續是否接受仍有待商榷，雖然無法當下獲得日方正式答覆，但會如實轉達我國採樣與監測結果並將提供專業評估意見作為相關政策參考。

「八年努力」終露曙光

透過本所於 9 月底派遣 3 名研究同仁赴日進行技術研修與經驗交流，並積極同日方專家溝通說明後，本案歷經 8 年努力終獲日本政府於 2024 年 10 月 30 日同意開放包含龍膽、青斑與龍虎斑等 3 種石斑魚皆可順利銷日。石斑魚是臺灣主要高經濟價值養殖產業，年產量達 1.8 萬公噸、產值高達新臺幣 44 億餘元，本所非常榮幸能發揮專業所長，透過科學實證方式，攜手日方共創雙贏，讓臺灣優質的水產品能進軍日本消費市場，提供向來友好的日本朋友們多一種採購選擇。本次臺日貿易障礙解除後，後續除了可分散過度集中中國市場之風險外，亦能有效拓展如日本、美國、新加坡及馬來西亞等國外市場。