

澎湖養殖漁業因應寒害渡冬海域的選擇

謝恆毅¹、陳高松²、曾振德²、冼宜樂¹、蔡萬生¹

¹水產試驗所澎湖海洋生物研究中心、²企劃資訊組

前言

2007 年 12 月中旬開始至 2008 年 2 月底止，澎湖群島面北的海岸，包括龍門、菓葉、北寮、岐頭、後寮、橫礁、合界、二崁、青灣以及離島的虎井嶼、將軍嶼等處，發現大量魚類及無脊椎動物屍體，推估其原因可能是持續低溫，海洋生物因不耐嚴寒逐漸死亡，被東北季風及海浪沖擊上岸。採集紀錄顯示，因寒害凍斃的魚類總共有 58 科 172 種，其中尤以珊瑚礁魚類最多，如刺河魴屬 (*Diodon* spp.)、鮭科 (Serranidae)、蝴蝶魚屬 (*Chaetodon* spp.)、隆頭魚科 (Labridae)、鰻科 (Leiognathidae) 以及鸚哥魚屬 (*Scarus* spp.) 等，在數量上佔了相對豐度的前六位 (Hsieh et al., 2008)。此次寒害，受害的種類之多創歷年來新高，凍斃的數量更是不計其數，包括市場交易、養殖戶損失及海岸清理的部分就已高達 1,800 噸，而根據澎湖縣政府最後統計，損失金額高達新台幣 3 億 5 千萬元。然而這樣的數據仍屬低估，因為尚未包括沉於海底、未被觀察統計的所有海洋漁業資源生物的有形無形損失。

最早記錄澎湖的漁業寒害是古閑義康於 1917 年發表，刊登在台灣水產雜誌「澎湖通信-魚類の凍死」一文，文中指出在 1917 年 1 月 7—12 日，澎湖受強烈寒流影響，於澎湖

內灣沿岸有大量凍斃魚類被打上岸。續修澎湖縣誌當中，1918 年、1933 年及 1945 年也有類似相關的描述 (許，2004)。因此澎湖魚類在冬季因低溫致死的情形其實相當普遍，但是嚴重致災的紀錄則鮮少，比較正式的學術研究報告僅有 1934 年澎湖測候所 (佚名，1934) 及 1977 年水產試驗所 (湯，1977)，針對澎湖海域所發生的漁業寒害進行調查之記錄描述。

2008 年澎湖水域發生海水表溫異常下降，提供了研究人員一個絕佳的機會進行寒害可能成因的研究。根據陳等 (2008) 的研究報告指出，會造成澎湖大規模寒害主要原因，首先需大陸冷氣團的溫度夠低而且要持續 ($< 12^{\circ}\text{C}$ ；持續 5 天以上)，另外此冷氣團所伴隨之東北季風需達一定強度 ($> 11.0 \text{ m/s}$)，才能使冷空氣和海水的混合層充分混合，而致整個混合層的海水溫都有效降低。過去符合上述條件的年份在 1950—2008 年期間只有 1977 年及 2008 年兩年，1977 年為澎湖記載發生大規模寒害的其中一年，所以 2008 年發生的事件確屬於極端的氣候事件 (陳等，2008)。另外以衛星遙測的資料來看，在 2008 年發現低溫低鹽的大陸沿岸水，在強勢的東北季風吹拂下，往南侵入澎湖群島且將高溫的黑潮支流水壓擠至黑水溝南方，導致澎湖周邊水域水溫急遽下降 (Chang

et al., 2009)。

綜上所述，澎湖海域自古以來酷寒成災的情況並非罕見，發生的時序與期程間隔不定，但是近年來全球氣候導致極端氣候發生的頻率與強度大增，如何因應這樣的氣候條件變化，調整漁業產業的經營型態與實際操作方式，詳細的現地即時海域資料將扮演重要的角色。利用 2011 年執行之科技計畫，針對澎湖周邊海域冬季海水溫度變化進行詳細的記錄及分析，希望能找出在面臨極端低溫的情況下，是否有適合作為澎湖養殖漁業的渡冬場域，而詳細的水溫資料也可以提供漁業從業人員在飼養不同物種時，依據放養水域的實際溫度變化，選擇適當物種或是變更養殖地點，如此一來將有助於減少面臨寒害時財產的鉅額損失，進而提升漁民的實際收益以及產業競爭力。

材料與方法

一、現地海水連續溫度資料記錄與解析

於澎湖七美嶼月鯉港、西吉嶼西南海域、虎井嶼南方海域、桶盤嶼海域、林投隘門海域、望安海域、嶼坪海域等七處海域（全球衛星定位座標如表 1、圖 1）水下 6 m 深處，利用水肺潛水進行連續溫度計（HOBO H20-001, Onset Computer Corporation）之設置（圖 2），因考量養殖從業人員渡冬操作管理期間，適逢當地東北季風盛行季節，因此設置位置皆於島嶼之南端下風處，以期提供實際可操作之溫度資料參考。連續溫度記錄器測量現地水溫資料之記錄頻度以 1 小時為間隔，期能提供產官學民各界最精確的參考

需求。資料記錄時間自 2011 年 10 月 15 日至 2012 年 4 月 30 日，資料讀取之後，將計算每個調查地點之平均水溫、標準偏差（溫度變化程度）、最高與最低水溫。以水溫低於 18°C 之小時數等資料。

表 1 澎湖海域養殖漁業渡冬候選地點連續溫度記錄器安置地理資訊

地 點	經 緯 度	備 註
隘 門	23°33' N 119°38' E	
桶 盤	23°30' N 119°31' E	
虎 井	23°29' N 119°31' E	
望 安	23°20' N 119°30' E	
嶼 坪	23°16' N 119°30' E	
西 吉	23°14' N 119°36' E	
七 美	23°11' N 119°25' E	
青灣內灣	23°31' N 119°33' E	內海海域對照地點
目 斗	23°47' N 119°35' E	北部海域對照地點

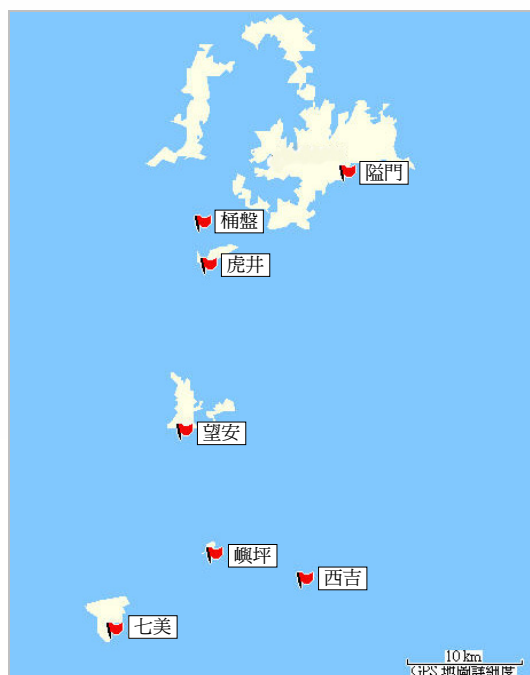


圖 1 澎湖海域養殖漁業渡冬候選地點連續溫度記錄器安放位置圖（紅色旗標所示）



圖 2 澎湖海域養殖漁業渡冬候選地點連續溫度記錄器水下設置情形

二、海水溫度與氣溫之時間序列分析

為了掌握氣溫與水溫的相對變化，利用青灣內灣過去五年的冬季水溫即時資料（每小時 1 筆）再與中央氣象局同時間的氣溫資料，利用 SPSS 統計軟體的時間序列分析法進行分析，了解水溫與氣溫之間的相關性以及時序資料之先後順序。

結果與討論

一、現地海水連續溫度資料記錄與解析

七處海域溫度記錄器囿於 4 月底至 5 月初之天候狀況尚不穩定，原本預計於 4 月底完成之連續溫度記錄器回收工作進行並不順利，直到 5/18 日才順利完成所有連續溫度記錄器之回收工作，其中七美的記錄器已經漂失，其他地點則全數順利回收，七美的水溫資料則利用本所衛星影像遙測技術進行單日

水表溫資料補遺，由於取樣的頻度限制，七美的表水溫資料僅能提供每日一筆。由於七美的溫度資料為表水溫資料，溫度受到氣溫影響的變化較水深 6 m 處為顯著，由於冬季的氣溫較水溫為低，表水溫受到氣溫影響，會比 6 m 處的水溫為低，因此文後在比較不同地點的溫度變化趨勢時，七美的表水溫視為 6 m 處水溫的低估值。

從溫度資料變化圖及分析發現，7 處調查地點 2011—2012 年的冬季水溫變化趨勢相當一致（圖 3），隨著季節變化秋季水溫逐漸下降，直至隔年 1 月下旬至 2 月初左右到達最低點，之後逐漸回暖，並未出現地區性的異常變化。若從冬季溫度原始資料看來，位處緯度最南邊的七美，每筆資料幾乎都比其他調查地點高出 1—2℃，同時七美是唯一在 2011—2012 冬季水溫沒有低於 18℃ 的海域（表 2）。除了七美之外，緯度越低，平均水溫溫度越高、標準偏差越小（溫度變化越小，水溫越穩定）、溫度極小值越高以及冬季低於 18℃ 的小時數（日數）越少（表 2）。若與澎湖內海以及北部海域的溫度資料相較，可明顯發現後兩者之冬季低於 18℃ 的天數超過 45 天以上（表 2）。

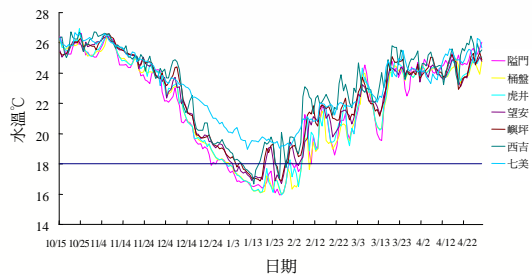


圖 3 澎湖南部海域渡冬候選地點 2011-2012 年冬季水溫變化圖

表 2 澎湖南部海域渡冬候選地點(編號依據緯度由高至低排序)·內海海域(青灣內灣)以及北部海域(目斗海域)
2011-2012 年冬季水溫各項統計數據

調查地點	1.隘門	2.桶盤	3.虎井	4.望安	5.嶼坪
平均值	21.90	21.81	22.04	22.32	22.47
標準偏差	3.21	3.19	3.15	2.86	2.85
最高水溫(°C)	26.74	26.67	26.99	27.78	27.78
最低水溫(°C)	15.75	15.77	15.87	16.56	15.49
<18°C 小時數	829	858	751	525	426
調查地點	6.西吉	7.七美	青灣內灣	目斗	
平均值	22.96	23.11	20.65	21.31	
標準偏差	2.76	2.27	3.52	3.31	
最高水溫(°C)	27.28	26.66	26.23	26.18	
最低水溫(°C)	16.65	18.95	14.58	14.22	
<18°C 小時數	252	0	1520	1116	

這樣的水溫資料趨勢變化與預期相符，在澎湖周邊海域的水溫變化越往南邊，平均水溫越高。2008 年寒害對於養殖產業造成重大損害之後，已經有養殖業者先行嘗試將箱網移往隘門、虎井及山水等地進行渡冬養殖試驗，初步嘗試的結果，在後續幾年的冬季損失的確明顯較少，不過這樣的口述經驗並無法提供澎湖周邊海域系統性的海水溫度量化數據變化全貌。由於本計畫利用連續溫度記錄器，設置範圍涵蓋澎湖南方海域各個島嶼之東北季風下風處，記錄 2011 年起冬季期間調查地點之海水溫度詳細變化趨勢，較為全面的海水溫度解析應可提供產官學民各界的產業應變、施政管理、學術研究及常民生活等參考。

養殖從業人員對於渡冬地點的選擇，除了考量實際海域冬季溫度之優勢條件外，養殖物種的耐受特性、養殖設施周邊海流條件與錨定位的考量、交通及管理成本的計算

等因素，亦須同時包括在內。因此本年度計畫的海水溫度冬季資料僅針對其中的海水溫度進行蒐集分析，而這部分的資料其實亦須搭配台灣各重要養殖物種的低溫耐受極限才有參考意義。Mora 與 Spina (2002) 針對東太平洋的常見的珊瑚礁魚類進行極限低溫操作試驗，得到不同魚種的低溫耐受極限，雖然當地的魚種與台灣周邊海域的魚種有所差異，不過很多同屬的魚種，也提供了極具參考價值的數據。其中可以發現東太平洋烏魚 (*Mugil curema*) 的低溫極限溫度 (10.7°C) 為最低，低溫耐受極限溫度較高的魚種都是一些隆頭魚、雀鯛等常見的珊瑚礁魚類，這樣的數據也有助於解釋澎湖海域 2007 – 2008 年以及去 (2011) 年度的死亡物種名錄當中，死亡物種數量的排序。

二、海水溫度與氣溫之時間序列分析

2010 年氣溫與水溫之迴歸分析結果顯示，迴歸分析的關係顯著，但是迴歸係數偏

低 (91%)。另外依時間序列 (Time series analysis) 分析的結果顯示，若把氣溫當水溫的先行指標 (leading indicator)，則氣溫和 2—3 小時後的水溫，相關性最大。由於海水的比熱較空氣為高，因此冬季氣溫因為氣候變化而降低時，水體當中的熱量會經由水氣交換面而逐漸地逸散到空氣當中，這樣的過程會使水體的溫度逐漸降低，不過其中會有一個時間差的間隔，而時間序列分析的結果顯示，水溫與氣溫的變化趨勢，大概在 2—3 小時後會較為一致。由於目前水溫的即時監測所需之設備預算以及設置普遍性，不如氣象資料來得經濟及方便取得，而且目前氣象資料的可預測性以及準確性，也可以非常容易地經由官方具公信力的機關單位確保並即時提供，因此我們可以藉由氣溫以及水溫之間的相關性，進行水溫變化趨勢的分析與預測。

結語

由於全球氣候變遷造成全球極端氣候的頻度與強度逐漸加劇，因此如澎湖海域 2007—2008 年的寒害等環境擾動，發生的週期可能會有極大的不可預測性。面對多變的環境條件，澎湖養殖產業進行必要的經營策略調整恐怕是在所難免，其中牽涉到養殖區域季節性調整、養殖物種選擇、養殖策略修正以及因應環境事件的彈性等等特質，將會決定未來澎湖養殖漁業的市場競爭力。

本研究的調查成果提供了澎湖周邊海域在冬季期間的詳細水溫變化，可提供養殖業者選擇渡冬場域的參考。今後，本中心將持

續執行的試驗研究工作有：(1)針對渡冬海域周邊海流資料進行詳細觀測，以便提供箱網設置及錨定位向之參考；(2)研發耐寒能力較佳的養殖物種或品系，究明其生理、生態相關資料，提供養殖業者選擇物種時的參考。在不同季節選擇成長速率快速的物種以及耐寒能力較佳物種的季節輪作，也是伴隨氣候環境變遷的養殖策略調整。

最後，搭配物流及終端消費市場管道的建立，主導消費者對於環境友善及環境避險能力高的物種作明智選擇消費，降低傳統消費習慣所造成的不合理養殖成本提升（例如冬/夏季加降溫、高換水率、絕對肉食性），提供消費者低碳、在地的新環保消費選擇，將會是未來的永續養殖走向。

具體建議

- (一) 若由溫度分析的初步結果看來，所有調查地點當中，七美的渡冬條件最佳，隨著緯度的增加，冬季水溫條件將逐漸不利於渡冬考量。
- (二) 若考量移動設置地點及往後管理成本，馬公本島南部沿岸的隘門（以及延伸的烏坎、鎖港、山水），以及較近的離島如：桶盤、虎井等海域亦可考量設置。
- (三) 本年度計畫僅針對 2011—2012 年冬季水溫進行記錄分析，未來仍將持續進行監測。除了溫度資料之外，其他攸關箱網養殖渡冬設置的水文資料，例如流速、流向資料，以及重要養殖物種極限低溫耐受性試驗，將在往後年度進行相關研究。