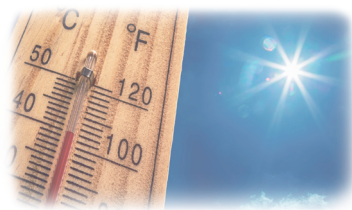


氣候變遷對淡水水產養殖之影響

李曜辰、楊順德

水產試驗所淡水繁養殖研究中心



前言

自工業革命以來，社會的快速發展造成溫室氣體的大量排放，加劇了溫室效應的影響，導致地表溫度逐年升高，進而形成全球暖化；近年來，研究發現溫室效應不僅提高了全球的溫度，也間接造成後續一連串對環境、生物和經濟等各方面的影響，於是開始以「氣候變遷」描述溫室效應所造成的氣候變化，以強調人類活動對環境及氣候的影響是全面性的。

聯合國政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 於 2021 年公布的第 6 次評估報告指出，2011–2020 年的全球平均溫度比 19 世紀後半 (1850–1900 年，工業革命後) 的平均溫度高 1.1°C ，相較於 IPCC 在 2013 年公布的第 5 次評估報告指出 2003–2012 年的全球平均溫度比 19 世紀後半的平均溫度高 0.78°C ，明顯可以發現全球均溫上升的現象仍在持續進行。在第 6 次評估報告中，IPCC 綜合考慮共享社會經濟路徑 (shared socio-economic pathway, SSP) 和等效輻射驅力 (effective radiative forcing, ERF) 後訂定出不同的預測情境 (SSP1-1.9: 極低度溫室氣體排放情境，SSP1-2.6: 低度溫室氣體排放情境，SSP2-4.5: 中度溫室氣體排放情境，SSP3-7.0: 高度溫室氣體排放情境，

SSP5-8.5: 極高度溫室氣體排放情境)，根據模擬結果顯示除了 SSP1-1.9 和 SSP1-2.6 外，其餘三種模式在 21 世紀末全球溫度都可能比 19 世紀後半的溫度高 2°C 以上，其中 SSP5-8.5 甚至高於 3°C 以上。若未能及時控制溫室氣體的排放，全球均溫將在 10 年後比 19 世紀末高 1.5°C 以上，這比 IPCC 在 2018 年的特別報告 Special Report on Global Warming of 1.5°C (SR1.5) 中估計的時間提早了 10 年。

氣候變遷對水產養殖之影響

氣候變遷對全球產生重大影響，其對環境的影響包含：溫度提高造成冰山及冰蓋的溶解，使得海平面上升，根據 IPCC 的特別報告 SR1.5 指出當全球均溫比 19 世紀後半高 1.5°C 時，海平面預計升高 $0.26\text{--}0.77\text{ m}$ ，這將導致沿海陸域被海水淹沒；同時海水溫度升高的情況下水中溶氧降低，空氣中二氧化碳濃度提高促使海水酸化，溫度升高也導致全球水循環增強，造成未來極端乾旱及強降雨事件的強度增加。這些變化短期可能使水產養殖收成量下降、養殖物種緊迫及疾病/有毒藻類/寄生蟲的興起等，長期作用下則可能導致野生種原消失、水資源限縮、海洋及陸域可利用資源降低等，表 1 為氣候變遷對水產養殖之潛在影響。

表 1 氣候變遷對水產養殖之影響

影響因子	潛在正面影響	潛在中性影響	潛在負面影響
海水暖化	養殖生物生長及代謝率提高	浮游生物的增殖及呼吸作用增加	貝類附苗行為改變、養殖物種生殖行為及性別比改變、特定疾病的傳播機率增加、藻華出現機率提高
海水酸化	促進海藻生長(海藻養殖農場)	影響二枚貝生殖	抑制貝類及珊瑚的生長、影響珍珠的形成、影響部分硬骨魚的生長及發育、加劇優養化
溶氧下降	無	無	養殖物種死亡率增加、養殖物種生長減緩、加強其他因子造成的負面效應、增加供氧成本
海平面上升	提供沿岸新的養殖機會	無	沿近海養殖區域地下水鹽度增加、人類活動向上游或內陸轉移、淡水養殖區域減少、災害發生機率增加

摘錄自 Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge adaptation and mitigation options, FAO, 2018

根據科技部及有關單位共同撰寫的 IPCC 氣候變遷第六次評估報告之科學重點摘錄與臺灣氣候變遷評析更新報告指出，臺灣在 SSP5-8.5 情境模擬下未來受氣候變遷的影響包含年均溫升高、冬季縮短，極端高溫事件發生頻率、年降雨量、單日降雨強度以及年連續不降雨日數增加，颱風數量減少但強颱風比例增加等。水產養殖產業本身易受氣候影響造成災損(圖 1)，例如 2015 年蘇迪勒颱風重創雲嘉南沿海近海牡蠣產業，造成 1 億元以上的損失，2016 年的霸王級寒流更是造成全臺養殖漁業 60 億元以上的災損。在受氣候變遷影響下，由於未來強颱風及極端氣候事件的發生頻率增加，臺灣的水產養殖產業將面臨更嚴峻的考驗。

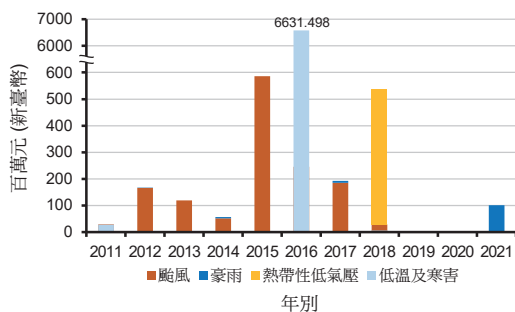


圖 1 臺灣水產養殖業近 10 年受氣候因子影響之災害損失金額 (資料來源：行政院農委會農業統計資料)

水產養殖面對氣候變遷應對措施

氣候變遷是未來水產養殖產業發展必須面對的重要課題，針對氣候變遷的影響擬定因應措施才能確保產業未來的長遠發展；目前對水產養殖產業影響程度較大的氣候變遷因子包含全球暖化、溶氧下降、海洋酸化、海平面上升等，針對這些議題主要的因應措施包含：(1)選育耐候的品系：選育耐高溫、耐低溶氧、耐鹽之品系；(2)選擇適應力強的物種：選擇耐高溫、耐低溶氧之物種，或是選擇半淡鹹水/海水物種；(3)調整養殖操作時程及養殖管理模式：改變操作模式，避開高溫期進行操作；(4)針對養殖位置選址進行風險評估：事前進行區域規劃，避開影響嚴重的區域；(5)養殖設施之改善：使用智慧化養殖設施。

除了上述的措施外，因應極端氣候事件的發生頻率日益增加，水產養殖產業未來新造的養殖設施應確保其材質及設計能夠承受極端氣候事件，也應針對極端氣候事件建立環境監控及預警系統，使得養殖戶在面對突發性災害時能有足夠的緩衝時間應對，完善的養殖災害保險機制也能降低風險。另外極

端氣候事件容易造成養殖物種的逃逸，因此設計良好的防逃設施、選擇逃逸後對環境影響小的養殖物種，以及加強逃逸物種的監測皆是未來產業的發展趨勢。

氣候變遷除了直接影響水產養殖產業外，也會造成水產養殖產業與其他產業的資源競爭，例如水資源缺乏導致水產養殖業需與畜牧業及農業競爭淡水資源。水產養殖消耗的水資源主要源自養殖池蒸散、滲漏及換水，在因應措施上藉由選址及良好的養殖池設計可以減少蒸散及滲漏造成的浪費，如何提高水資源的利用效率來減少對其他產業的負面效應將是水產養殖未來需思考的發展方向。水產養殖業除了和農業競爭水資源外，同時也和畜牧業競爭水資源及飼料原料，針對水產飼料的原料種類及配方進行調整，減少原料上農作物的使用、提高飼料效率等皆可減少與畜牧業的資源競爭，另外使用室內循環水系統、魚菜共生或是無投餵養殖(non-fed aquaculture)則可以提高資源的利用，其中無投餵養殖主要利用飼養無需投餵的物種例如藻類或是貝類，減少人工飼料製作過程中消耗的資源，來提高整體對資源的利用效率。

除了與農業和畜牧業的資源競爭外，水產養殖業和捕撈漁業也共同面對漁業資源減少的議題，漁業資源的減少同時影響野生種苗以及水產飼料原料的獲取，因此在種苗產業部分，未來應繼續針對未能完全養殖的物種進行種苗量產技術的開發，並鼓勵養殖戶以人工繁殖種苗取代野生種苗；而在水產飼料的原料需求上，一直有學者針對魚粉的替代性原料進行相關研究，例如以植物性蛋白

及水產加工剩餘物取代魚粉等，FAO 統計 2013－2015 年間水產加工剩餘物製成的魚粉佔總魚粉產量 29%，並預計 2025 年可達 38%。而目前發展趨勢則朝向以昆蟲蛋白及多元化蛋白源取代魚粉做為飼料原料。

氣候變遷對臺灣淡水養殖之影響及因應措施

在臺灣淡水養殖上受到氣候變遷的影響以高溫（包含年均溫升高及極端高溫事件的發生）、乾旱、強降雨及颱風等為主（表 2），了解這些氣候變化的影響及因應措施對於水產養殖至關重要。吳郭魚是臺灣重要的淡水養殖物種，可以從吳郭魚養殖時程（表 3）來具體了解氣候變遷對臺灣淡水養殖之影響。

吳郭魚主要在春季開始育苗，此時容易遇到低溫及乾旱問題，受氣候變遷影響，未來一年中連續不降雨的日數將會增加，造成更加嚴重的乾旱問題，旱災導致水資源缺乏，進而影響養殖時程，例如因水源不夠導致種魚無法繁殖，進而延遲放苗時間等，且缺水也導致水質惡化時無法有效的換水，因此在旱災期間避免過量的投餵、減少放養密度及採用間捕的收成方式皆能幫助降低養殖池負荷、減緩水質惡化，另外前述的節水措施及節水養殖模式也是可以採取的方案。

夏季是吳郭魚主要的育成時間，這段期間主要面臨極端高溫事件、強降雨及颱風等問題，氣候變遷造成的極端高溫事件可能導致養殖過程中魚隻熱緊迫、養殖環境惡化、疾病及寄生蟲暴發機率增加等，高溫情況下水中氨氮以 NH_3 形式存在的比例提高，導致

表 2 臺灣淡水養殖受氣候變遷之影響及因應措施

影響因子	負 面 影 響	應 對 措 施
高 溫	微生物分解速率增加、疾病及寄生蟲暴發機 率增加、氨氮毒性增加、溶氧減少、養殖物 種食慾下降、養殖物種存活率降低	加強水質/底質監控及管理、加強疾病監控及管 理、高溫期增加注水、改變養殖物種/品系、增加 增氧設備、飼料添加抗緊迫的營養劑、調整養殖時 程、減少放養密度、避免過量投餵
強 降 雨	溶氧減少、pH 降低、溫度驟減、養殖物種食 慾下降、養殖物種逃逸、水患氾濫	加強水質/底質監控及管理、增加增氧設備、大雨 前後使用石灰處理、大雨發生時減少投餵、堤岸增 高、增加防逃措施
乾 旱	地表水減少、影響放苗時程、產量下降、溫 度驟升、疾病暴發、養殖物種食慾下降	改變養殖模式、改變養殖物種/品系、減少放養密 度、間捕、減少投餵
颱 風	水質驟變、溶氧降低、養殖設施破壞、養殖 物種逃逸	加強水質/底質監控及管理、增加增氧設備、颱風 前減少投餵、提早收成、堤岸增高、增加防逃措施

表 3 臺灣的吳郭魚養殖在不同月別養殖管理階段的佔比及各階段可能遭遇的氣候因子

養殖管理	月 別												氣 候 因 子	佔 比	池塘 整備	繁殖 育苗	中間 育成	收成
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12						
池塘整備	■	■											乾旱、缺水、寒流	低				
繁殖育苗		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	春寒、梅雨、颱風	↑				
中間育成				■	■	■	■	■	■	■	■	■	高溫、颱風、水患	↓				
收 成												■	低溫、寒流	高				

不同顏色表示不同的養殖管理階段，顏色深淺表示各養殖階段佔比的高低。在同一個養殖管理階段中，顏色深的月別為該養殖階段一年中主要的操作月別，本表顯示在臺灣吳郭魚養殖產業的繁殖育苗階段主要集中在春季、中間育成階段集中在夏季、收成及池塘整備則集中在冬季（張凱傑協助製表）

對養殖生物的毒性增加，同時高溫也會降低水中的溶氧、促進水中及池底有機質分解導致養殖環境惡化，因此針對水質、底質及魚隻健康的監控與管理是必要的，避免過量的投餵能減緩水質及底質的惡化，放苗及收成等操作避開白天高溫時段能夠降低養殖物種的緊迫，增加供氧、流水及添加抗緊迫的飼料添加劑則可以幫助減緩高溫的負面效應。受氣候變遷影響臺灣未來的年降雨量及單日降雨強度將會提高，這也導致水災發生的風險提高，淹水容易造成養殖物種逃逸，同時強降雨也常導致水質驟變（溫度、pH 等）進而影響養殖池藻相，一旦倒藻，水質將嚴重惡化。降雨前確保排水順暢、堤防加固等能有效預防損失，在強降雨前後施用石灰能夠幫助穩定水質，避免水質極端變化。

臺灣地處亞熱帶區，往年夏季都會遭遇颱風威脅，颱風會造成水質驟變、養殖設施破壞、養殖物種逃逸等衍伸問題，在氣候變遷的影響下臺灣未來的強颱比例將增加，造成更大的危害。面對颱風除了參考強降雨的因應措施外，也可以參考其他國家的案例：2007 年孟加拉受到錫德颱風侵害，洪水導致水產養殖產業災情嚴重，Karim 等人針對災後狀況進行分析後提出幾種應對措施（Karim et al., 2014）：增加堤防高度、通過個人或團體保險分攤養殖風險、選擇生長快速的底棲型物種減少淹水時物種流出造成的損失等；同時 Karim 也針對不同養殖區域給予不同建議：該地南方區域因靠海，面對較高的颱風風險，選擇短期可收成的育苗產業可以降低受災風險，北方因靠內陸，較不容易

受颱風影響，則可規劃需要較長時間的中間育成產業，藉由事先評估各養殖區域可能發生的風險種類及發生頻度，因地制宜得去制定應對措施，這樣的方法也值得借鏡。

除了氣候因子造成的負面影響外，氣候變遷也可能影響未來產業分布，例如泰國蝦 (*Macrobrachium rosenbergii*) 及金目鱸 (*Lates calcarifer*) 等熱帶性物種因較不耐低溫，往年在臺灣的主要養殖區域為彰化以南，但觀察近年各縣市泰國蝦及金目鱸的放養量及收成量，發現泰國蝦往年主要的養殖縣市為屏東縣 (圖 2)，但近年臺南市和彰化縣的泰國蝦養殖產量有所提升 (圖 3)；往年金目鱸的養殖區域集中在嘉義縣、高雄市及屏東縣，近年則呈現屏東縣的養殖量逐漸下降的趨勢 (圖 4、5)，雖然養殖物種的養殖分布不僅受氣候影響，也需考慮當地市場供需、當地習俗文化以及養殖環境等眾多因素，但考量到未來氣候受氣候變遷影響甚鉅，各養殖物種的養殖區域分布是否隨之改變也是值得探討的議題。

結語

氣候變遷對水產養殖的影響無法忽視，未來水產養殖業的發展需要考慮氣候變遷之影響，包含養殖區域的選址及規劃、養殖設施之設計、養殖物種的選擇及養殖管理模式的改變等，這些應對措施的實施仰賴於事前的風險評估，而藉由將風險與區域的連結，也能提高利益相關者的理解和參與。氣候變遷是未來無法逃避的議題，如何面對未來的氣候變化是所有人應思考的問題。

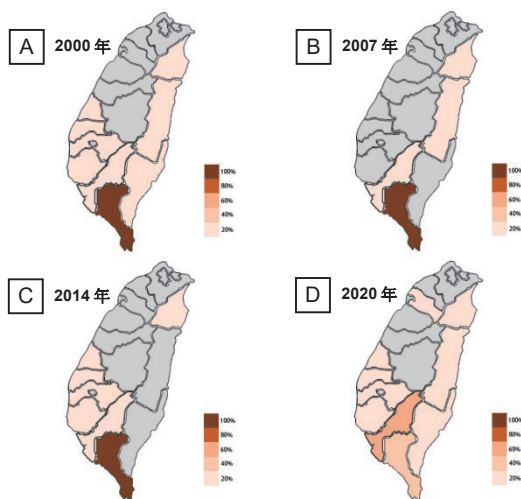


圖 2 臺灣本島近 20 年泰國蝦放養縣市之變化 (資料來源：漁業署養殖漁業放養量查詢平台)

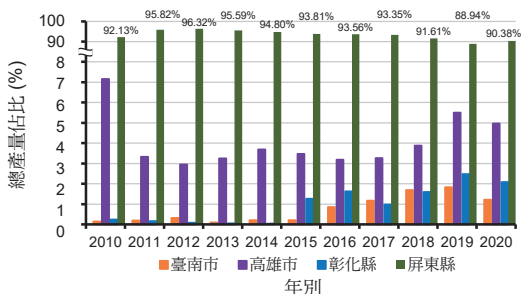


圖 3 臺灣本島過去 11 年泰國蝦產量前 4 名之縣市 (資料來源：漁業署漁業統計年報)

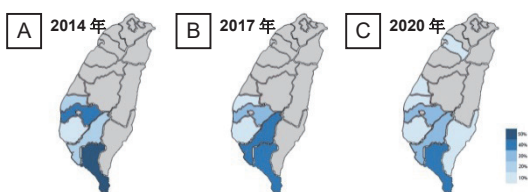


圖 4 臺灣本島過去 7 年金目鱸放養縣市之變化 (資料來源：漁業署養殖漁業放養量查詢平台)

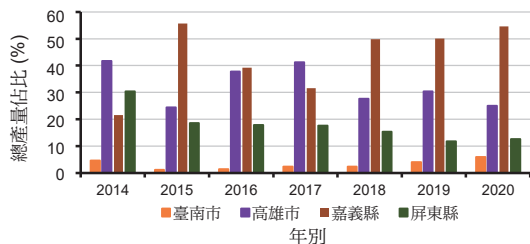


圖 5 臺灣本島過去 7 年金目鱸產量前 4 名之縣市 (資料來源：漁業署漁業統計年報)