

## 以生活史—溫度關聯模式預測魚種在海水暖化下的數量趨勢

臺灣大學海洋研究所 王慧瑜 陳穎萱 江勻楷  
中央研究院生物多樣性中心 沈聖峰  
卑爾根大學生物科學系(挪威) Mikko Heino

海洋魚類具有多重的生態功能，並提供人類重要的營養與經濟來源，因此確保海洋魚類族群的永續與穩定為維護海洋生態與社會經濟、糧食安全的重要的一步。目前在全球只有少數溫帶的經濟魚種有長期的研究資料，在亞熱帶與熱帶海域由於魚種繁多、生態調查費時耗力，大多數魚種僅有短期或單次的調查。缺乏長期的監測使得魚群數量的預測與其後的保育、經營管理極為困難。

在氣候變遷的影響下，海洋的溫度將會增加，而海水暖化可能連帶影響溶氧、初級生產力等變化。這些環境變化將如何影響魚群數量呢？要探討這個問題，我們必須考慮不同魚種的特徵，並克服資料缺乏的限制。

人口統計學研究常根據生活史（成長、成熟年紀、死亡率）來估計人口數量變化。海洋魚類具有不同的生活史特徵，例如常見的日本帶魚 *Trichiurus japonicus* 的特徵為成長率快、早成熟（大約 1-2 歲）、死亡率高（最大年齡大約 7 歲）[6]，而鯨鯊 *Rhincodon typus* 相對較晚成熟（約 20-27 歲），死亡率較低（最大年齡可達 60 歲；[4]）。魚類的生活史變異可分為快、慢類型：例如日本帶魚為快生活史型，而鯨鯊為慢生活史型。同一魚種在不同環境下生活史特徵也會產生變異，例如日本帶魚成熟年紀隨緯度增加[6]。在澳洲，許多珊瑚礁魚種的體型大小隨溫度而有改變[1]。

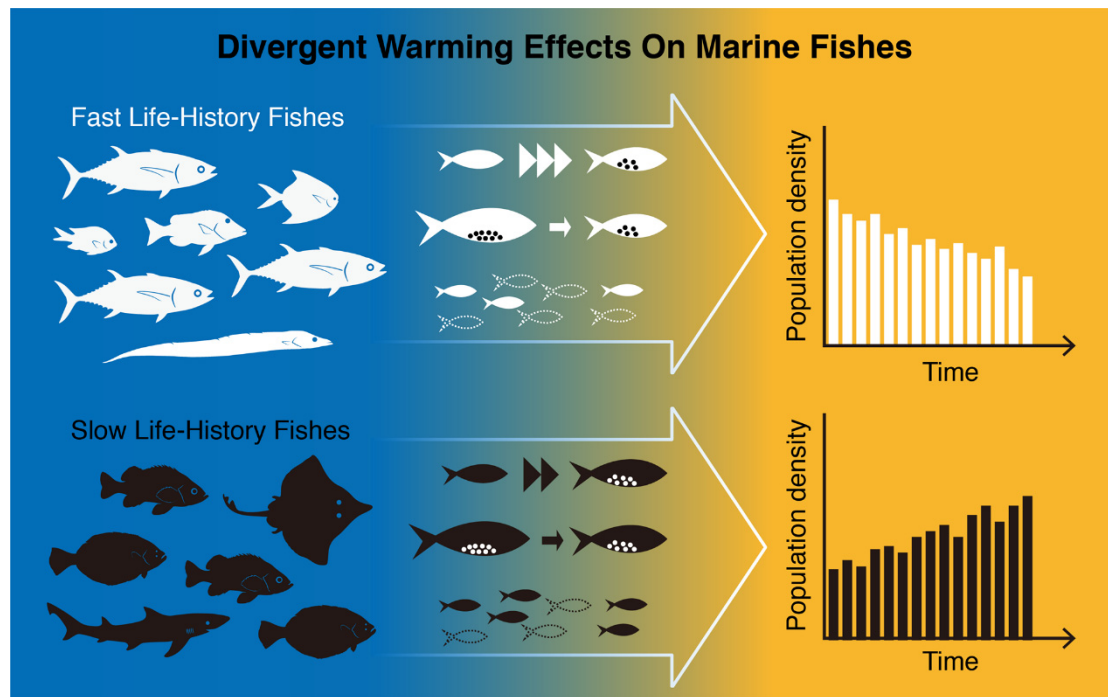
印度、太平洋海域包含多個海洋暖化的熱點[5]，但至今尚未有研究評估海水暖化對此區域不同魚種的影響。本團隊從文獻整理印度、太平洋海域 332 魚種（1402 族群）的生活史特徵與其棲地海溫資料，探討同種內生活史特徵隨溫度變化的趨勢。我們發現溫度上升對魚種的平均影響為

成長率增加、成熟年紀降低、極限體長縮小、自然死亡率提高[7]。此外，生活史特徵的變化趨勢受到棲地類型影響，例如升溫時珊瑚礁魚、底棲魚的成長率、死亡率上升幅度較高，生育率下降較多，而軟骨魚類（含鯊魚、魷魚）、深海魚類在升溫時體型縮小幅度較低，自然死亡率降低（圖一）。與其他魚類相比，表層魚類的生活史則對升溫的反應較不敏感[7]。

我們根據溫度與同種內生活史特徵的關聯性建構模式來評估升溫下魚群的數量變化[7]。根據以上關聯性我們計算升溫 1°C 時各族群的生活史特徵變化，並比較各族群年平均生育數 (annual reproductive number, a.k.a.  $\frac{R_0}{G}$ ,  $G$ : generation time) 的變化趨勢。我們計算  $\frac{R_0}{G}$  在升溫 1°C 相對於未升溫時的比率，並將此比例變化的對數轉換定義為溫度敏感度 (temperature sensitivity)。溫度敏感度 > 0 顯示此族群在升溫時的族群成長率將會上升，反之則有下降趨勢。根據這個模式，我們評估出在我們的研究族群中有 41% 具有溫度敏感度 < 0，另外，具有較快生活史的表層魚類、珊瑚礁魚族群溫度敏感度 < 0 的比例較高(40-60%)，而生活史較慢的深海魚、軟骨魚類有較高比例的族群表現溫度敏感度 > 0（圖一）。這些結果顯示海水暖化將對不同魚種產生正面或負面的影響，而我們的研究顯示生活史特徵有助於預先偵測魚種在暖化下的數量趨勢。

### 因應氣候變遷的管理建議

本團隊根據生活史與溫度的關聯分析，提出印度、太平洋多種不同棲地類型的海洋魚類在暖化下會有分歧的反應：暖化將會對生活史較快的魚種產生負成長的影響，而對生活史較慢的魚種產生正成長的效應。目前聯合國糧食與農業組織



圖一 本研究根據溫度與同種內生活史的關聯性建構模式評估海水暖化對海洋魚類的族群成長趨勢影響。我們發現暖化會導致生活史快型的魚種負成長，而生活史慢型魚種正成長。

(Food and Agriculture Organization of the United Nations)對於氣候變遷對海洋魚類與漁業資源的影響評估採取簡化的假設：所有魚種對升溫有一致的反應[2, 3]。我們的研究成果可修正此假設，增進對於氣候變遷的海洋魚類資源評估的精確度。我們的結果亦指出海洋魚類資源的保育與管理應優先針對負溫度敏感度魚種，以達到管理效果的最佳化。

### 參考文獻

- [1] Audzijonyte, A. Richards, S. A., Stuart-Smith, R. D., Pecl, G., Edgar, G. J., Barrett, N. S., Payne, N. and Blanchard, J. L., Fish body sizes change with temperature but not all species shrink with warming. *Nat. Ecol. Evol.* 4, 809-814 (2020)
- [2] Cheung, W. W. L., Sarmiento, J. L., Dunne, J., Frölicher, T. L., Lam, V. W. Y., Palomares, M. L. D., Watson, R., and Pauly, D., Shrinking of fishes exacerbates impacts of global ocean changes on marine ecosystems. *Nat. Clim. Chang.* 3, 254-258 (2013)
- [3] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), <http://www.fao.org/3/i9705en/i9705en.pdf> (2018)
- [4] Froese, R. and Pauly, D., Editors. FishBase. <http://www.fishbase.org/> (accessed in Dec 2019)
- [5] Hobday, A. L. and Pecl, G. T., Identification of global marine hotspots: sentinels for change and vanguards for adaptation action. *Rev. Fish. Biol. Fisheries* 24, 415-425 (2014)
- [6] Wang, H.-Y. and Heino, M., Adaptive and plastic variation in growth and maturation of the cutlassfish *Trichiurus japonicus* in the subtropical Pacific Ocean. *Fish. Bull.* 116, 171-182 (2018)
- [7] Wang, H.-Y., Shen, S.-F., Chen, Y.-S., Kiang, Y.-K., and Heino, M., Life histories determine divergent population trends for fishes under climate warming. *Nature Comm.* 11:4088 <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17937-4> (2020)