

「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台」計畫(111-114)

氣候變遷下臺灣近海重要漁業資源變動趨勢及調適策略

海洋漁業領域

張可揚 研究員兼任組長

葉信明 研究員

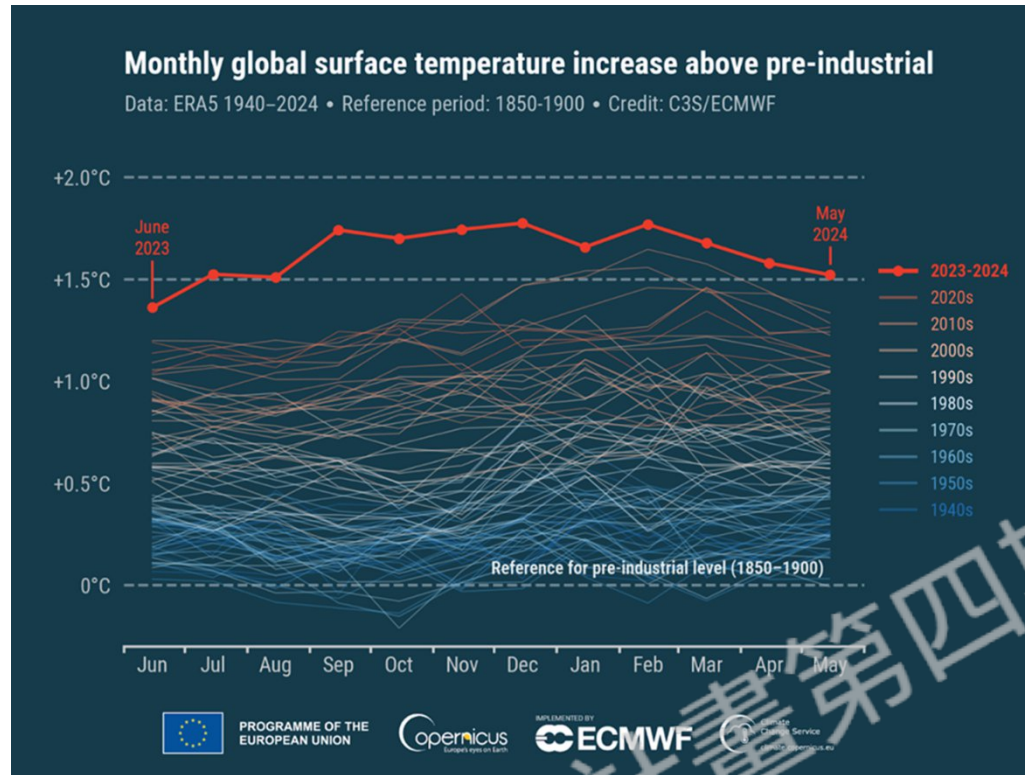
金建邦 助理研究員

莊世昌 助理研究員

陳琬琪 佐理研究員

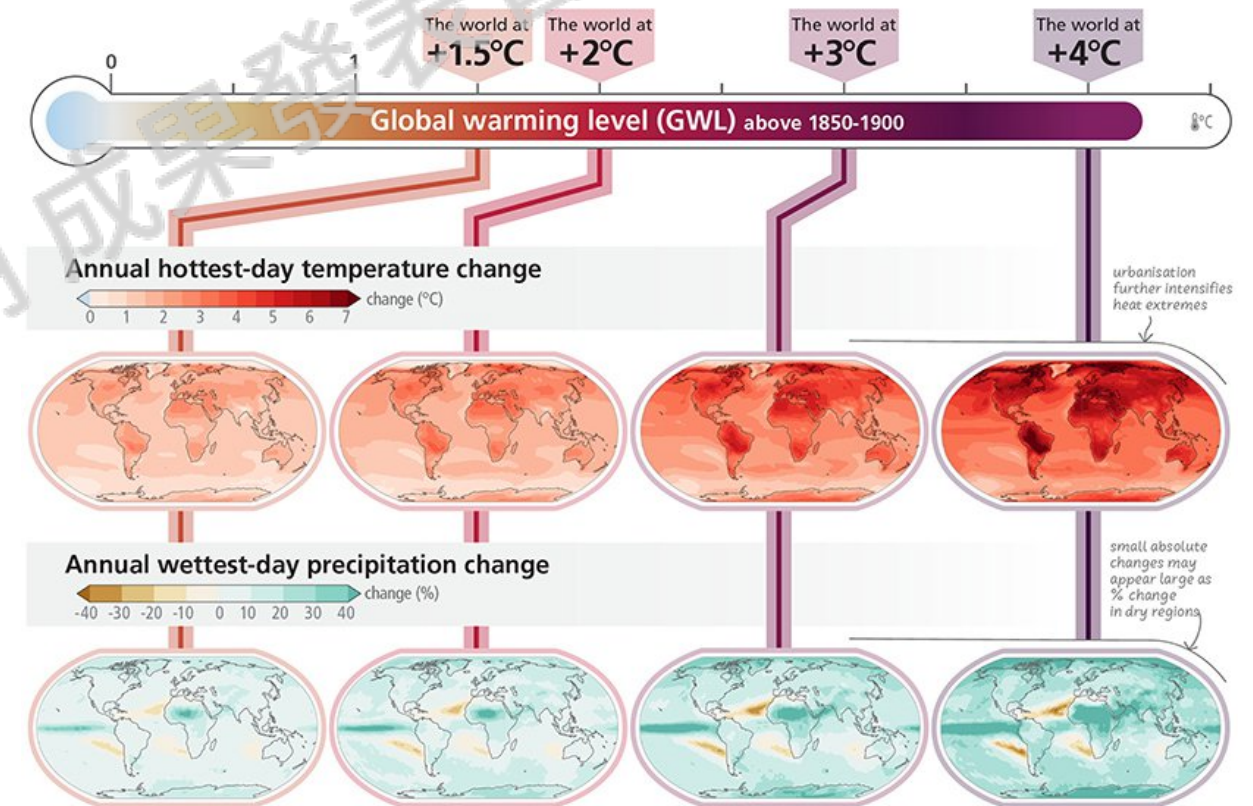


前言

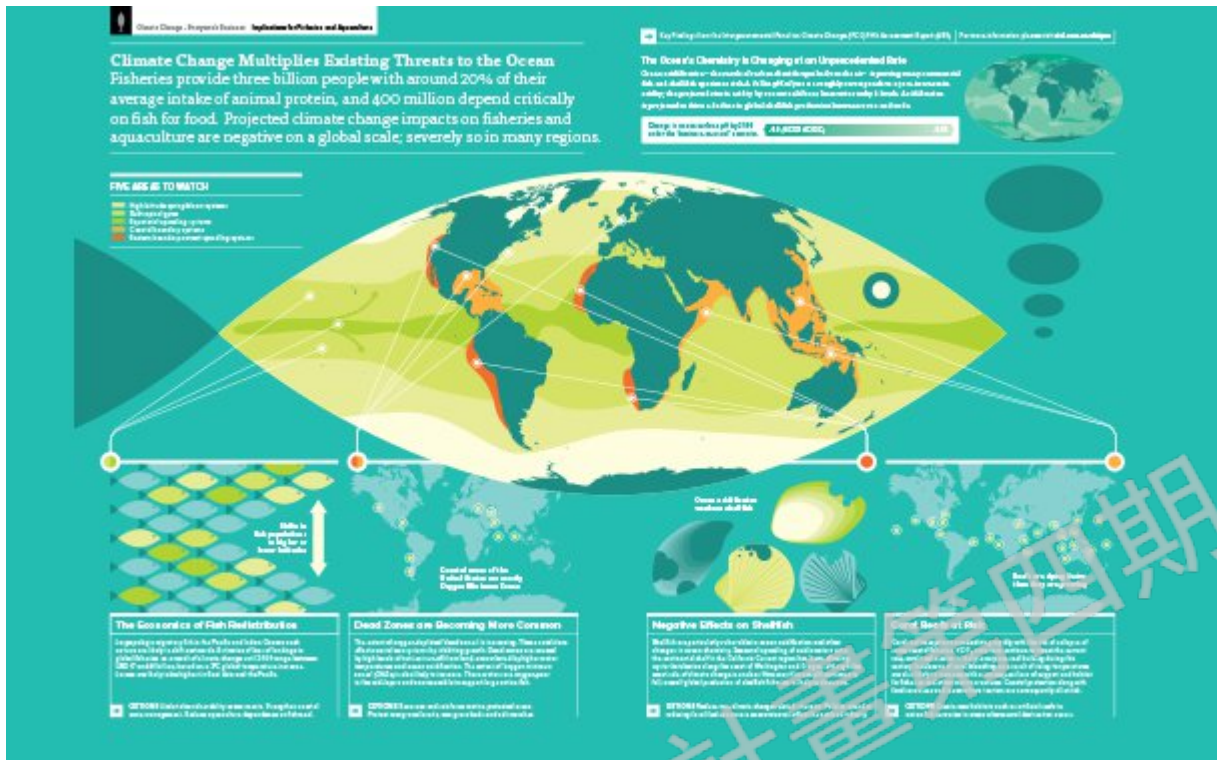


目前全球暖化程度已到達 1.5°C

With every increment of global warming, regional changes in mean climate and extremes become more widespread and pronounced



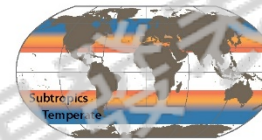
Introduction



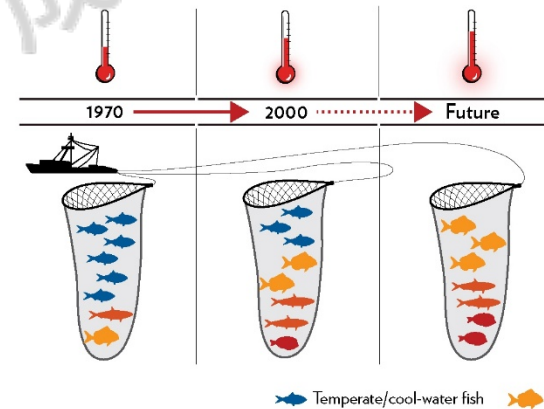
Warming Oceans Are Reshaping Fisheries

Marine species are gradually moving away from the equator into cooler waters, and, as a result, species from warmer waters are replacing those traditionally caught in many fisheries worldwide. Scientific studies show that this change is related to increasing ocean temperatures.

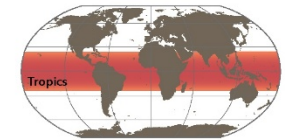
Subtropic and temperate ocean



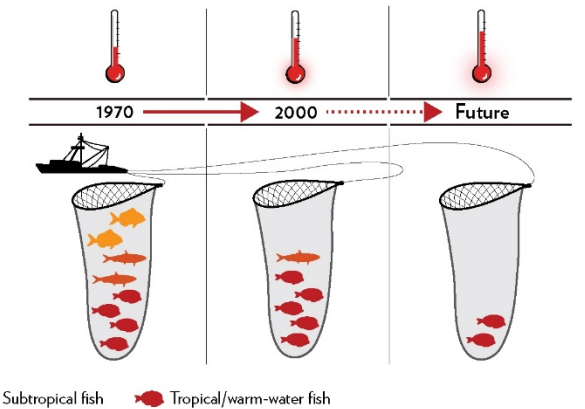
From 1970 to 2006, as open temperatures were rising, catch composition in the subtropical and temperate areas slowly changed to include more warm-water species and fewer cool-water species.



Tropics



In the tropics, the catch composition changed from 1970 to 1980 and then stabilized, likely because there are no species with high enough temperature preferences to replace those that declined.



These shifts could have negative effects including loss of traditional fisheries, decreases in profits and jobs, conflicts over new fisheries that emerge because of distribution shifts, food security concerns, and a large decrease in catch in the tropics.

This graphic presents concepts from: Cheung, WWL, R. Watson and D. Pauly. 2013. Signature of ocean warming in global fisheries catch. *Nature*. DOI:10.1038/nature12156. The thermometers are representative of trends in ocean temperature over time and the fish are representative of trends in catch composition over time. They do not represent specific values. Please consult the results section of Cheung et al. (2013) for exact data points. Graphic by The Pew Charitable Trusts' ocean science division, www.pewenvironment.org/research-programs

全球暖化會影響漁業資源的洄游、成長、生殖等

研究目的



Objectives

1. 建立鏽斑蟊與紅星梭子蟹水文環境影響模式 (HYCOM_ERA5_TReAD)。
2. 產製全球暖化程度 (GWL) 1.5°C / 2.0°C 情境下鏽斑蟊、紅星梭子蟹與烏魚之危害與衝擊圖資 (TaiESM1-ROMS)。
3. 提供漁民調適建議，以減少氣候變遷帶來的危害與衝擊。



1. 漁場範圍
2. GAM
3. 最適棲地

Fishery Data
鏽斑蟊, 三點蟹
烏魚...

ERA5
1995-2022

1. GWL model:
1.5°C 2.0°C
2. 調適圖資
3. 衝擊圖資

ROMs
2015-2074

1. 海洋環境變遷
2. 模式比較



行政法人 國家災害防救科技中心
National Science and Technology Center
for Disaster Reduction



2024 野柳假日
花點石問來海邊 活蟹市集
慶祝開市 活蟹市集
活蟹福袋只要 \$399 / 2斤裝
限量100份帶回家!
399元 9.14 6
11:30 歡慶開市
11:30 歡慶開市
11:10 發放號碼牌
11:30 準時開賣
即日起~11/24
每週六日
(含中秋、國定假日)

資料來源



資料來源	資料樣式	時間	時空解析度	變數
水試所	漁獲資料	2016-2024	0.01° 日	漁獲種類、重量、努力量、日期、經緯度等
國海院	HYCOM-ERA5-TReAD	1995-2022	5km (~0.04°) 日	分層海水溫度、鹽度、海面高度、混合層深度、洋流流速流向
台灣大學	TaiESM1-ROMS	1985-2074	9km (~0.08°) 月	

1. 漁獲努力量(CPUE)是用來評估目標魚種資源量變動最常用的資標

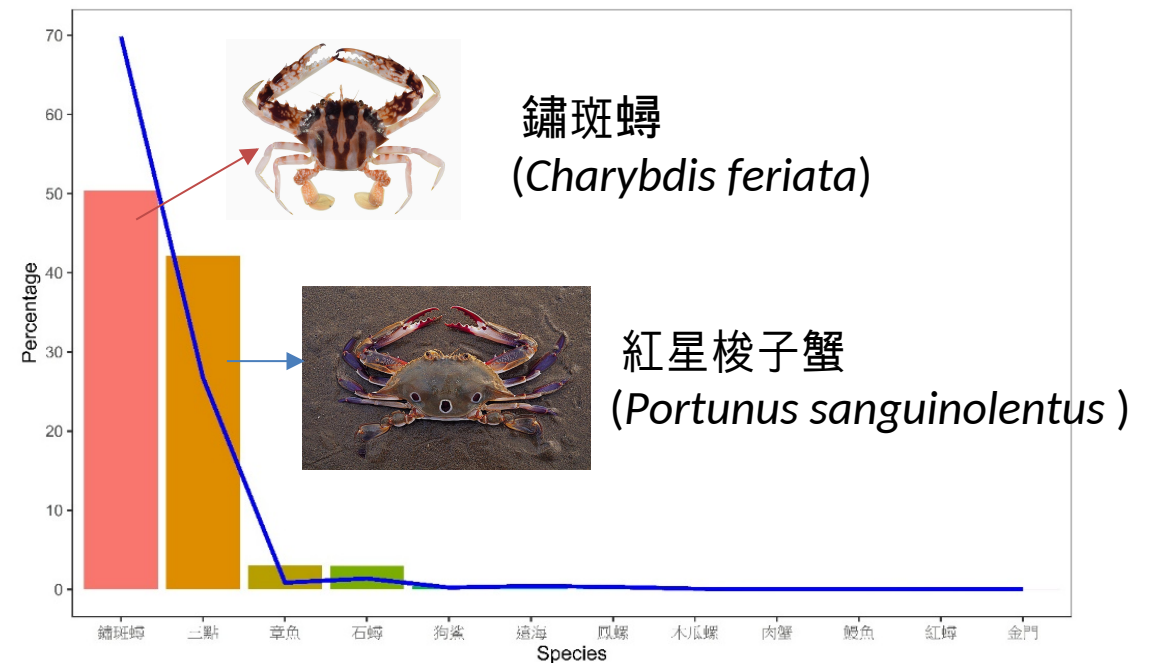
$$CPUE = \frac{\text{漁獲重量}}{\text{努力量}}$$

1. 漁獲重量(KG)
2. 努力量 (1000 籠)

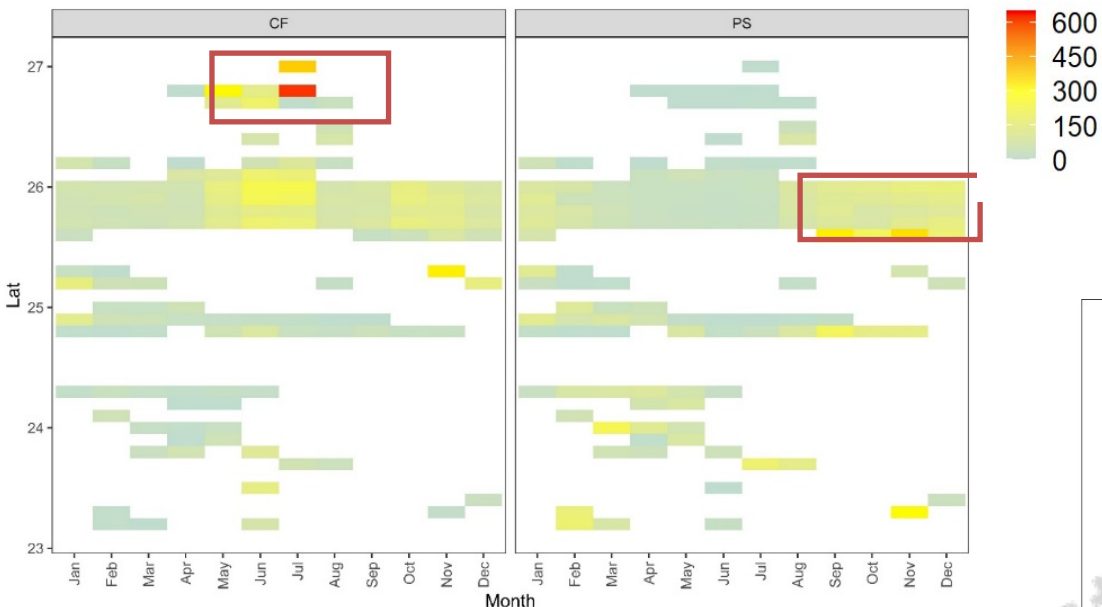
2. 海水表層溫度(**SST**), 海水底層溫度 (**SBT**), 海水表層鹽度(**SSS**),海水底層鹽度(**SBT**), 海水表面高度 (**SSH**), 混合層深度 (**MLD**), 東西與南北向洋流流速 (**u** and **v**).



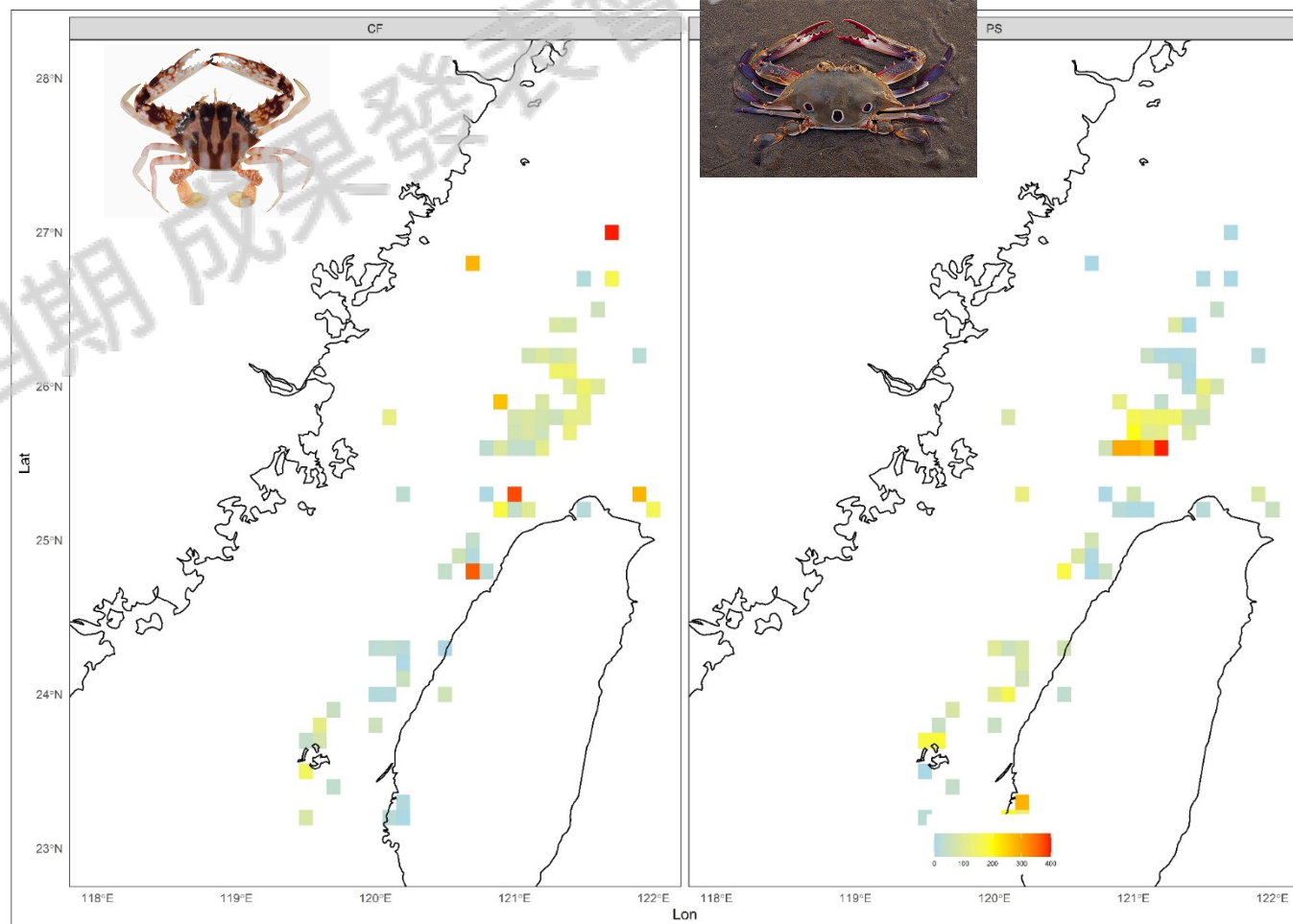
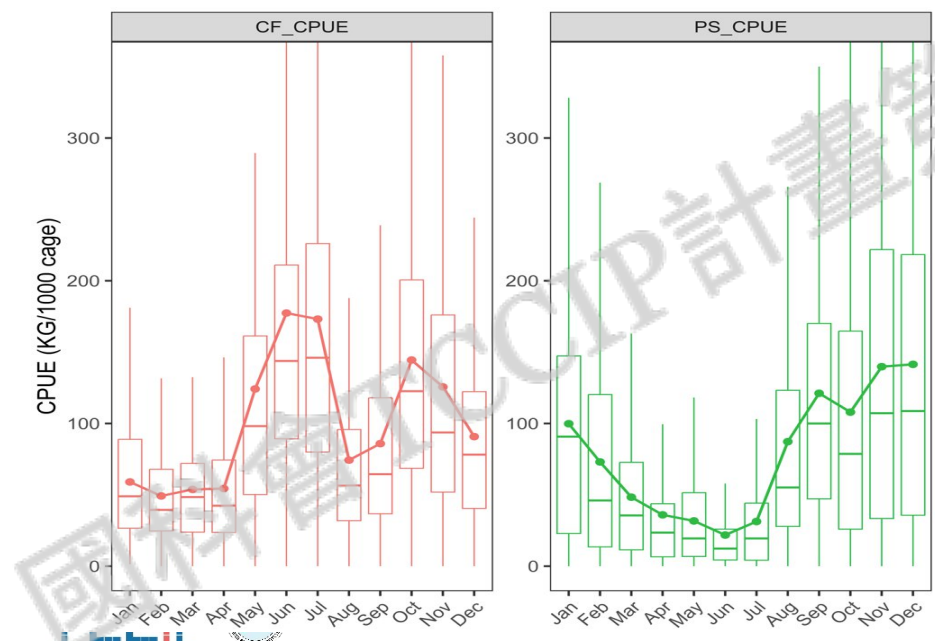
蟹籠漁業



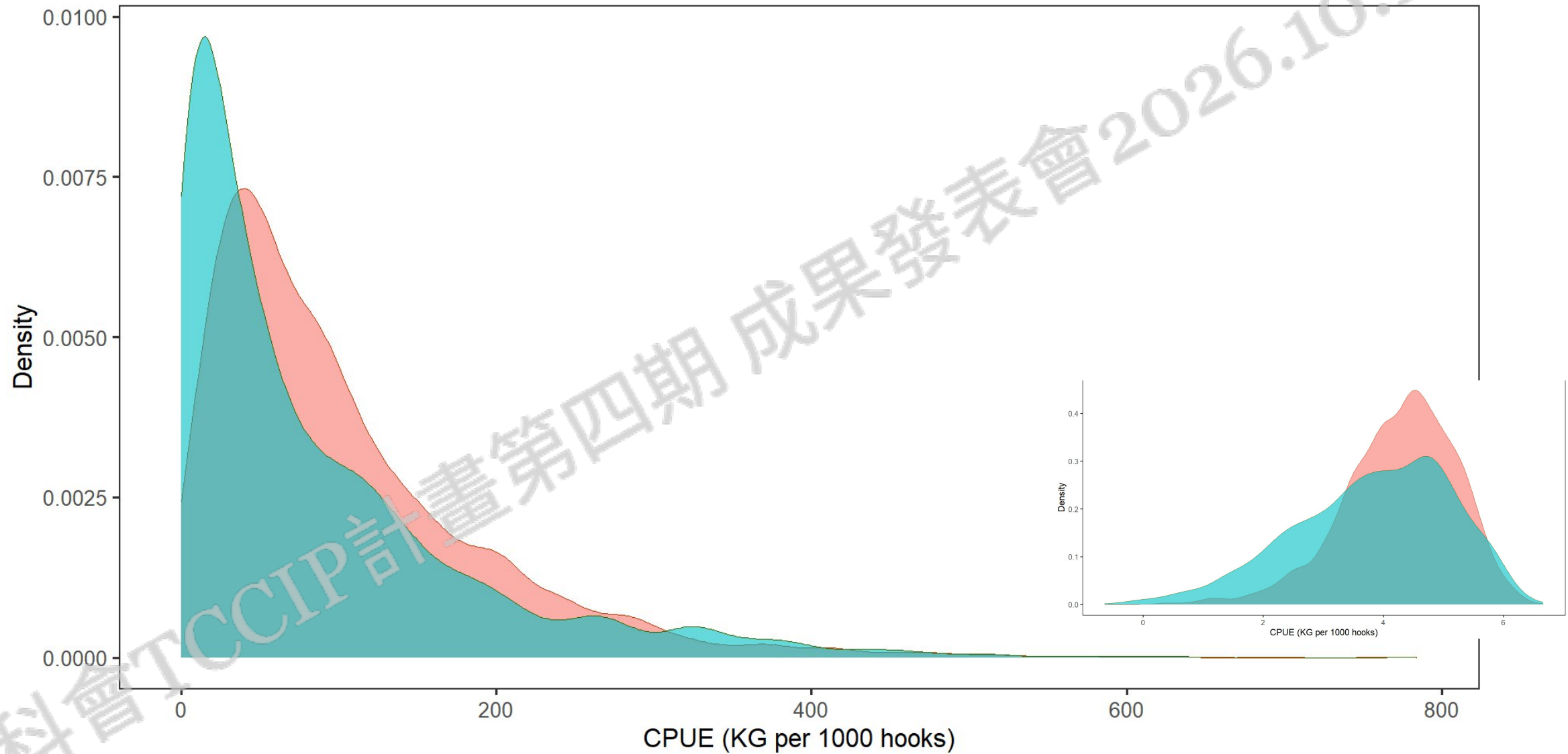
蟹籠漁業



	經度	緯度	深度 (m)
➤ 最小值	➤ 119.50°E	➤ 23.20°N	➤ 20.00
➤ 平均值	➤ 121.40°E	➤ 25.75°N	➤ 72.34
➤ 最大值	➤ 122.00°E	➤ 27.00°N	➤ 150.00



蟹籠漁業

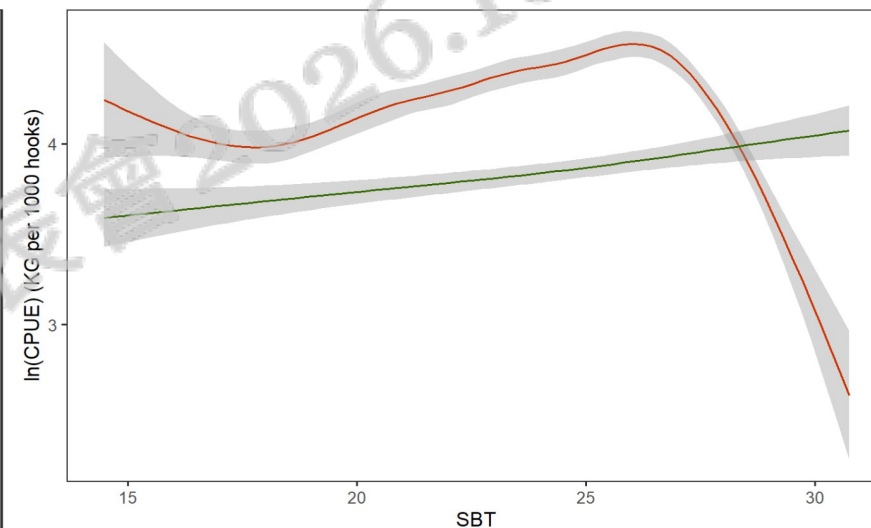
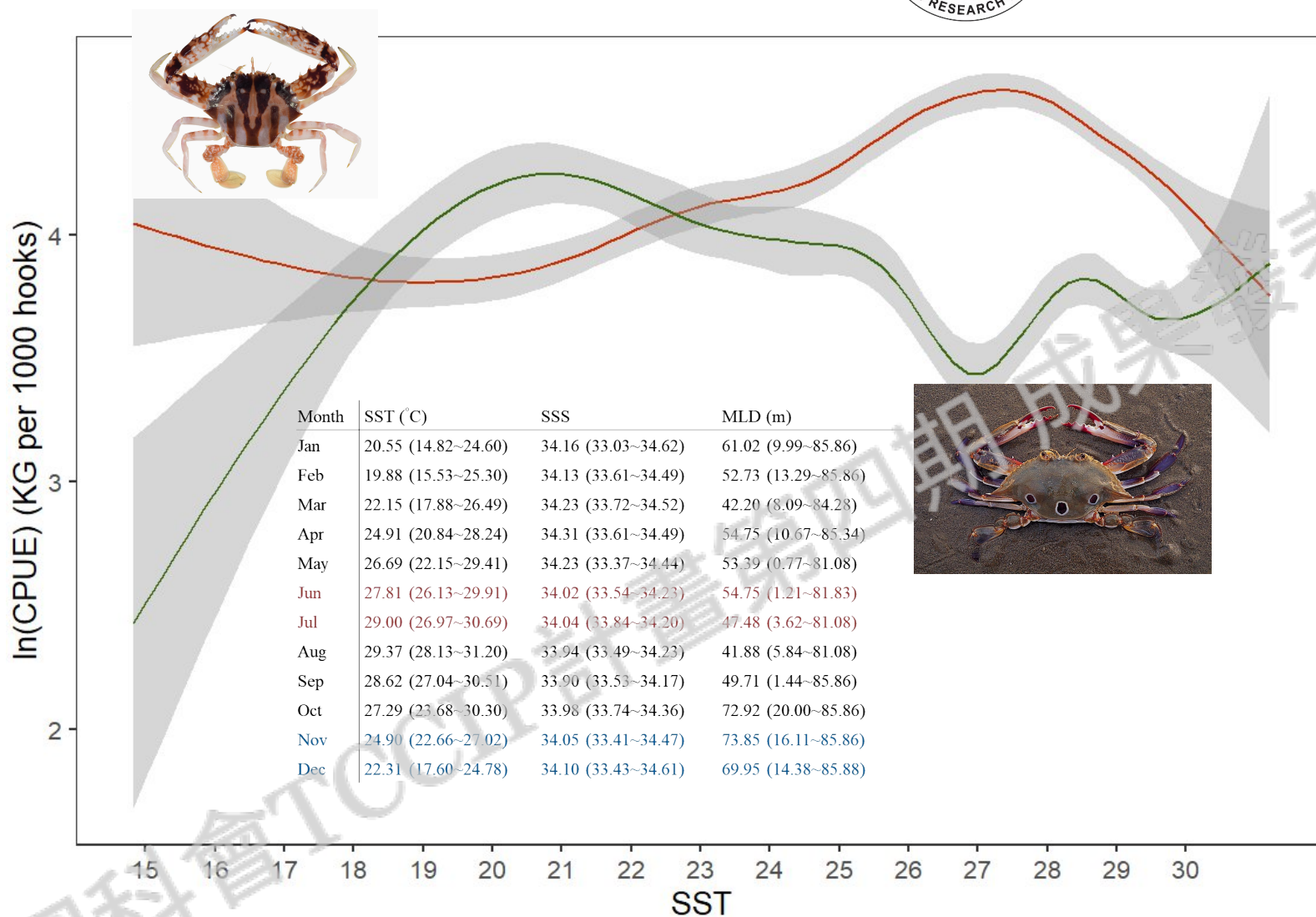


海洋環境參數

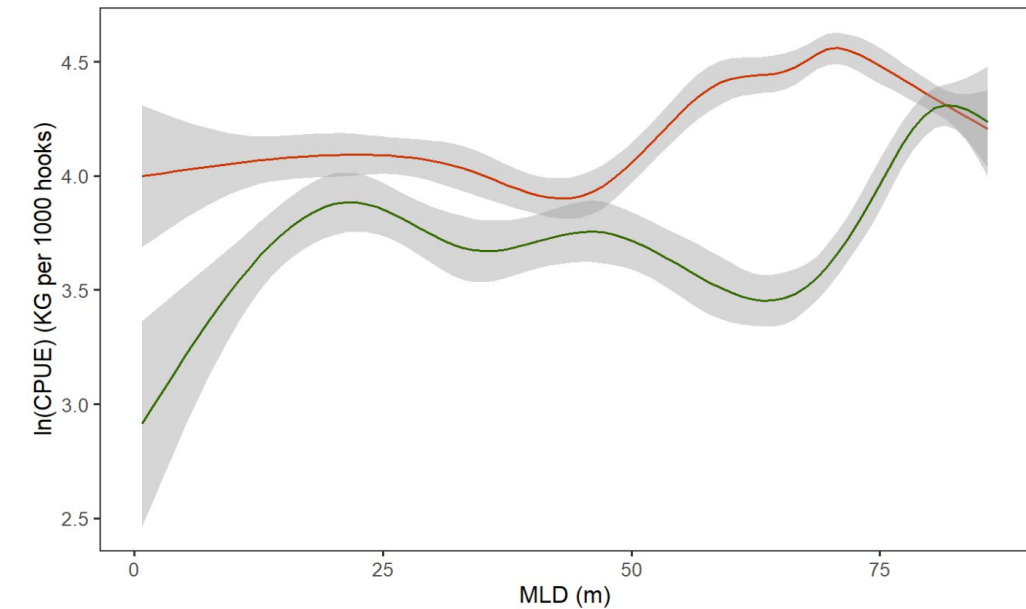
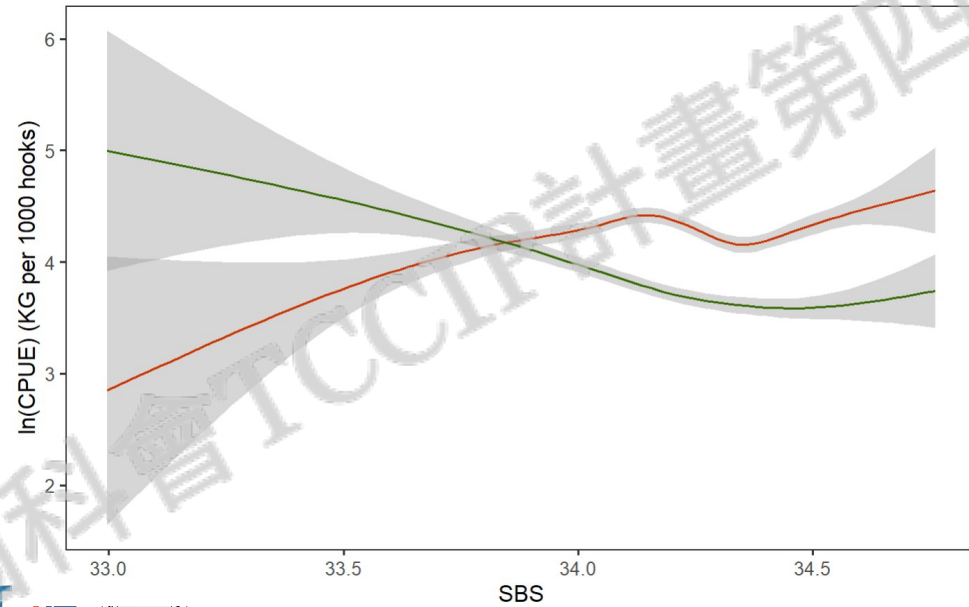
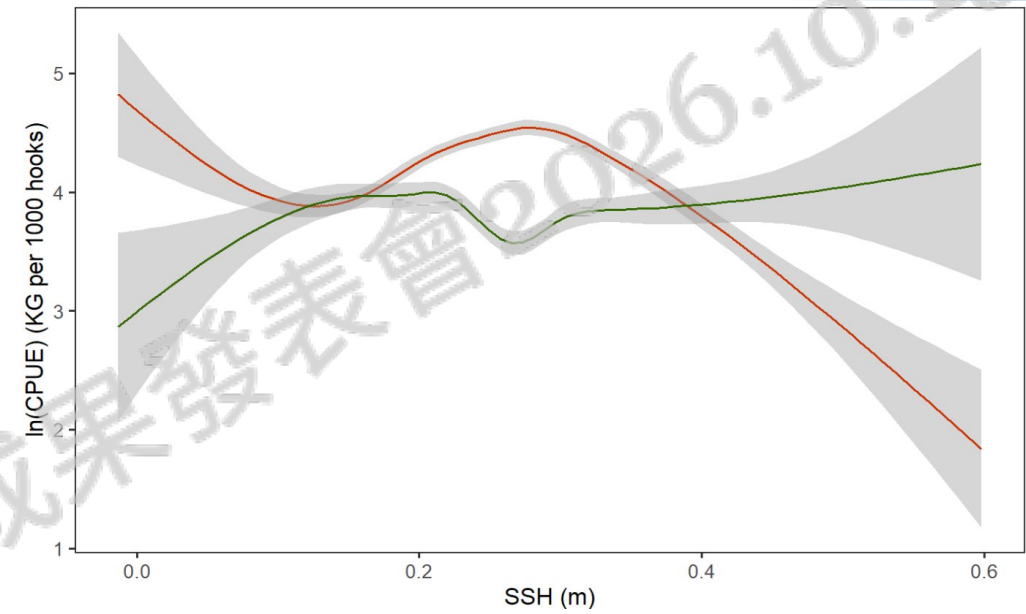
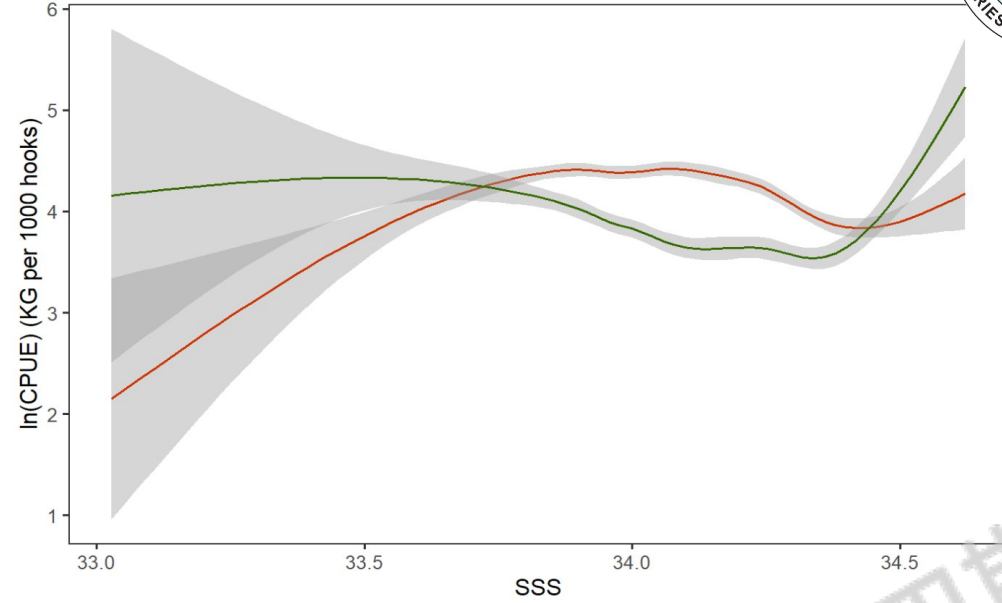


➤ 海水表層	➤ SST (°C)	➤ SSS	➤ SSU (m/s)	➤ SSV (m/s)	➤ SSH (m)	➤ MLD (m)
➤ 最小值	➤ 14.82	➤ 33.03	➤ -1.40	➤ -1.41	➤ -0.01	➤ 0.77
➤ 平均值	➤ 25.74	➤ 34.07	➤ -0.10	➤ 0.04	➤ 0.25	➤ 57.72
➤ 最大值	➤ 31.20	➤ 34.62	➤ 1.63	➤ 1.70	➤ 0.60	➤ 85.89

海水底層	SBT (°C)	SBS	SBU (m/s)	SBV (m/s)
最小值	14.48	33.00	-0.28	-0.31
平均值	23.54	34.15	0.07	-0.10
最大值	30.75	34.76	0.49	1.64



1. 相對來說**鏽斑蟳**適合的海水溫度較**紅星梭子蟹**要來的高。
2. 海水表層溫度與底層溫度的相關係數(r)是0.68



廣義加成模型(GAMs)



$$g(E(Y)) = \beta_0 + f_1(X_1) + f_2(X_2) + \dots + f_p(X_p) + \varepsilon$$

1. 模式建立 (Model Development) : 利用 R 軟體 mgcv 套件中的 gam() 函數, 將漁業資料與海洋環境資料進行配適, 建立廣義加成模型 (GAM), 分析漁業資源與海洋環境因子之關係。
2. 危害圖資 (Hazard Map) : 利用北部蟹籠漁業最適的海洋環境因子範圍, 並比較不同全球暖化程度 (GWL) 情境與基準期 (Baseline) 下, 各網格點適宜環境條件出現機率的差異, 以評估氣候變遷造成的危害程度。
3. 衝擊圖資 (Impact Map) : 將基準期及不同 GWL 情境的海洋環境資料代入 GAM, 推估各網格點的 CPUE (單位努力漁獲量), 並比較 GWL 1.5°C、GWL 2.0°C 與基準期之 CPUE 差異, 以評估氣候變遷對漁業資源的潛在衝擊。

- Y : 反應變數 (Response variable), 為鏽斑蟳 (*Charybdis feriata*) 與紅星梭子蟹 (*Portunus sanguinolentus*) 的 CPUE (單位努力漁獲量)。
- $g(\cdot)$: 連結函數 (Link function), 用於建立反應變數與解釋變數之間的關係。
- β_0 : 截距 (Intercept), 代表模型的基準值。
- $f_j(X_j)$: 平滑函數 (Smooth function), 描述第 j 個海洋環境因子與反應變數間的非線性關係; X_j 為 SST (海表水溫)、SSS (海表鹽度) 等海洋環境因子。
- $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$: 隨機誤差項 (Random error), 假設服從平均值為 0、變異數為 σ^2 的常態分布。

```
Parametric coefficients:
              Estimate Std. Error t value      Pr(>|t|)
(Intercept)  4.5323      0.0126     359 <0.0000000000000002 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:
              edf Ref.df    F    p-value
s(SST)      3.85      4 41.46 < 0.0000000000000002 ***
s(salt)     3.04      4 14.15 < 0.0000000000000002 ***
s(mlt)      2.48      4  5.52      0.00018 ***
s(lon)      2.63      4 24.93 < 0.0000000000000002 ***
s(lat)      2.91      4 24.69 < 0.0000000000000002 ***
s(YY)       3.76      4 82.35 < 0.0000000000000002 ***
s(MM)       3.32      4 38.25 < 0.0000000000000002 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

最適棲地(鏽斑蟊)



Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	4.52429	0.01247	362.9	<0.0000000000000002 ***

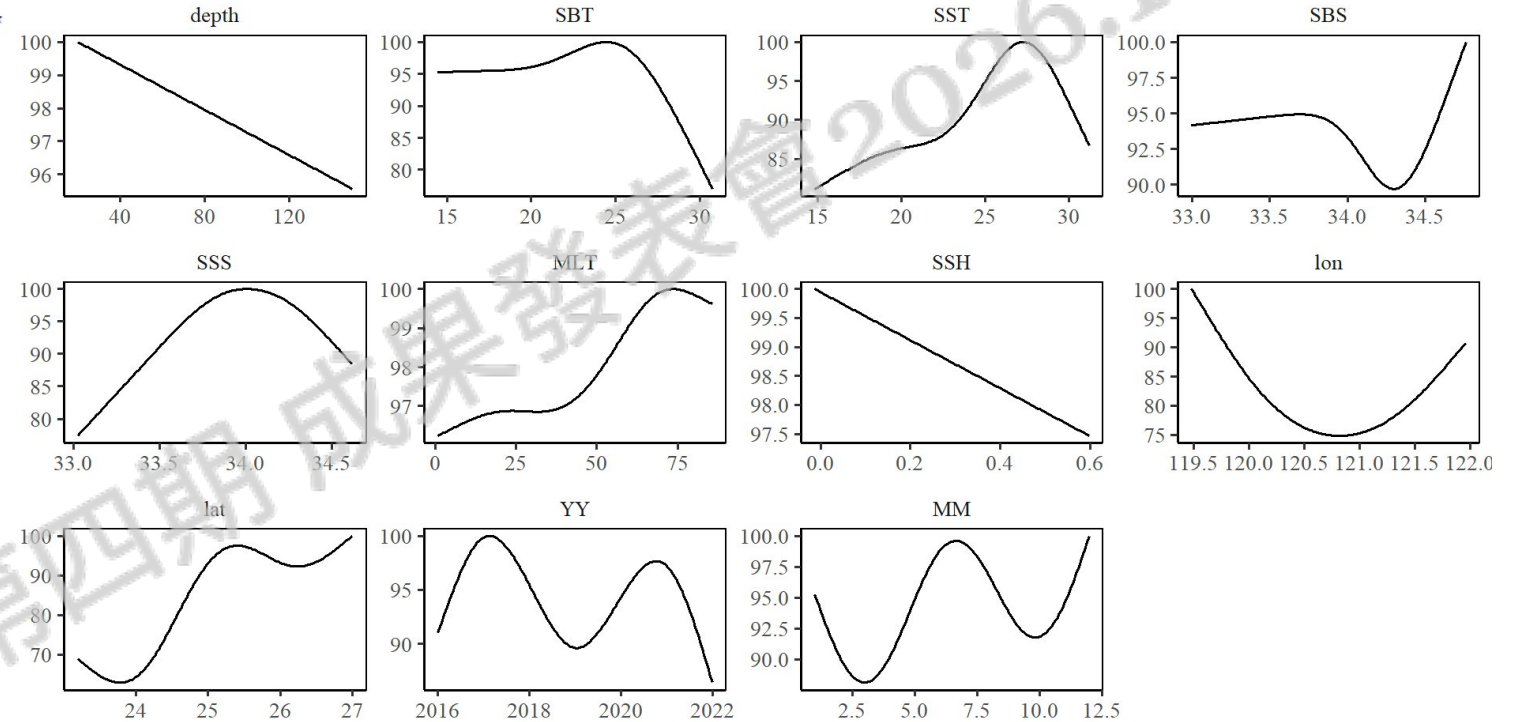
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	F	p-value
s(depth)	0.4879	4	0.276	0.119
s(SBT)	3.7288	4	22.095	< 0.0000000000000002 ***
s(SST)	3.7722	4	22.474	< 0.0000000000000002 ***
s(SBS)	3.4789	4	8.364	0.000000911 ***
s(SSS)	2.3800	4	8.936	< 0.0000000000000002 ***
s(MLT)	2.1724	4	4.743	0.000038215 ***
s(SSH)	0.4736	4	0.255	0.137
s(lon)	3.1087	4	19.431	< 0.0000000000000002 ***
s(lat)	2.9120	4	18.929	< 0.0000000000000002 ***
s(YY)	3.7626	4	85.674	< 0.0000000000000002 ***
s(MM)	3.2662	4	33.739	< 0.0000000000000002 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.573 Deviance explained = 56.8%
-REML = 18461 Scale est. = 0.52263 n = 3362



	SST (°C)	SSS	SBT (°C)
CF	22.0~30.5	33.3~34.5	≤27

最適棲地(紅星梭子蟹)



Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	4.25111	0.01721	247	<0.0000000000000002 ***

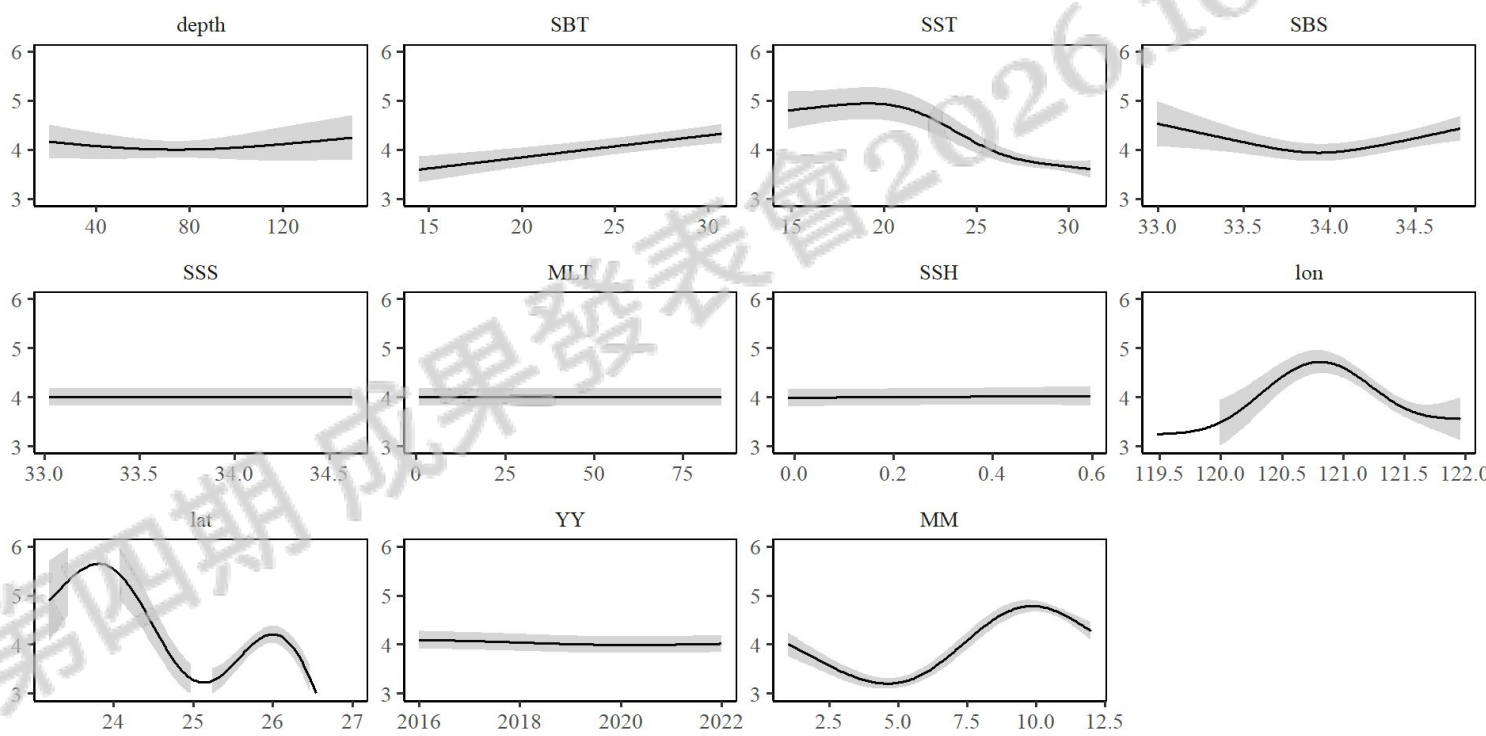
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:

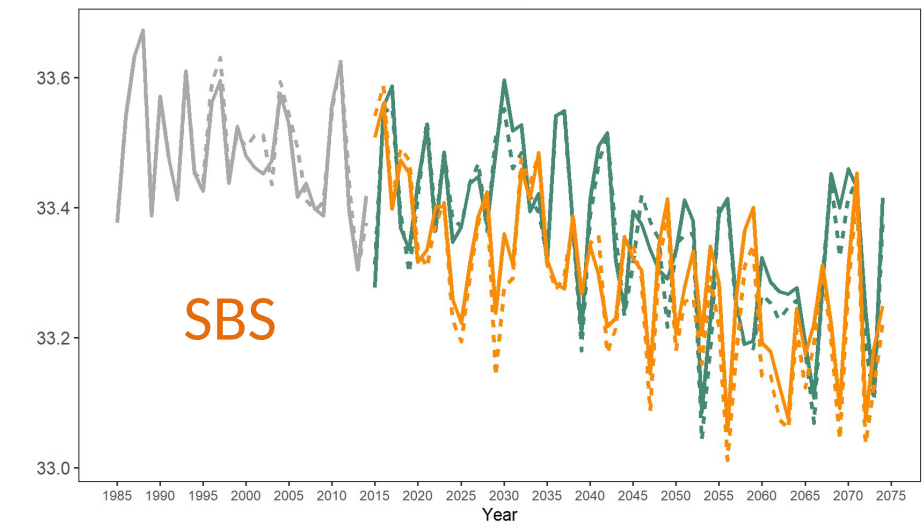
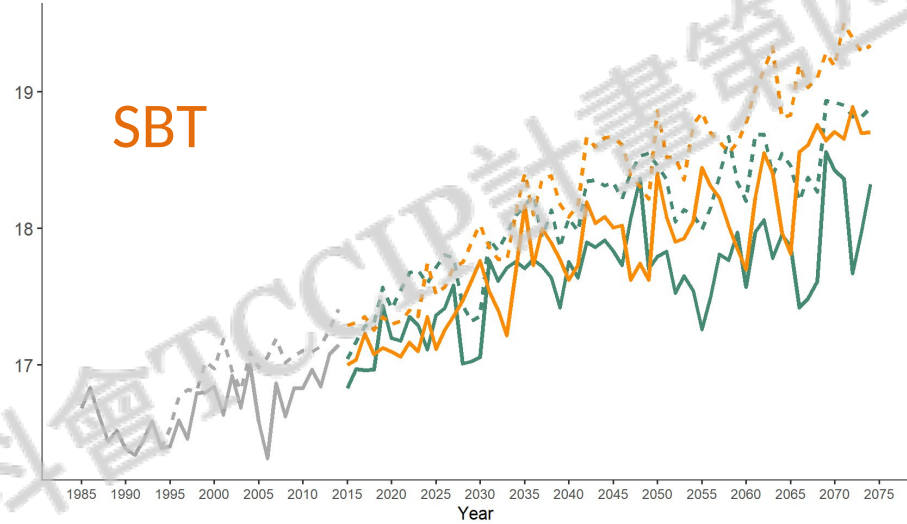
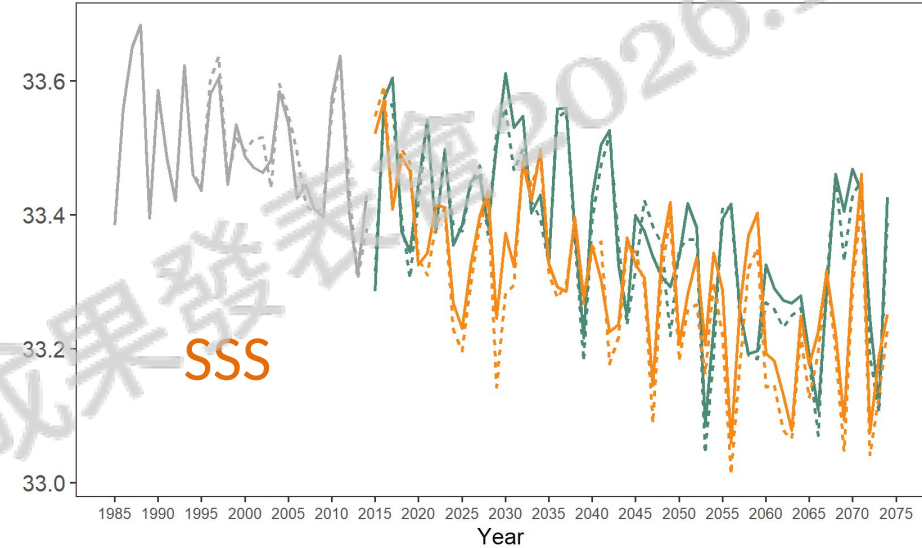
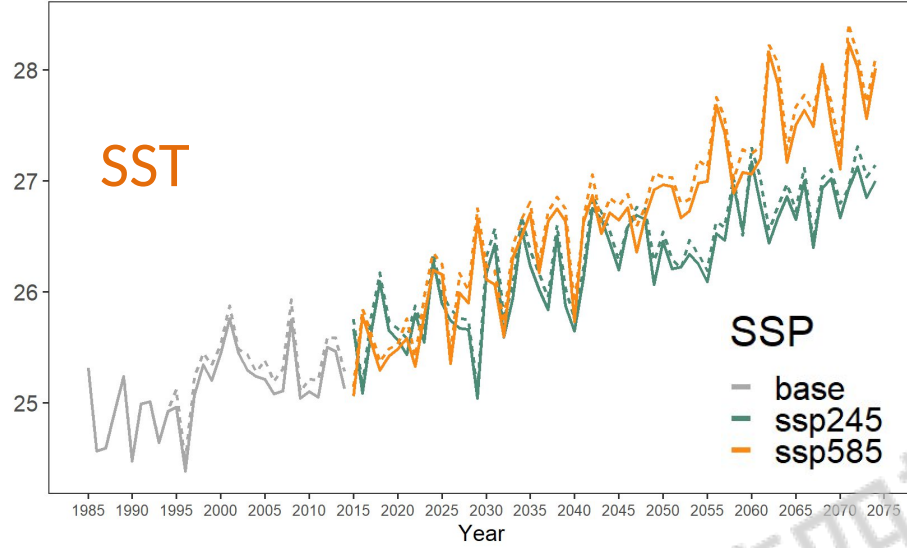
	edf	Ref.df	F	p-value
s(depth)	0.7523956	4	0.483	0.0686 .
s(SBT)	0.9341285	4	5.781	0.000000421 ***
s(SST)	2.5424207	4	14.891	< 0.0000000000000002 ***
s(SBS)	1.9368864	4	5.535	0.000002319 ***
s(SSS)	0.0007385	4	0.000	0.5432
s(MLT)	0.0007097	4	0.000	0.9697
s(SSH)	0.1175230	4	0.055	0.1658
s(lon)	2.7837572	4	34.367	< 0.0000000000000002 ***
s(lat)	3.9081117	4	42.055	< 0.0000000000000002 ***
s(YY)	1.2718277	4	1.405	0.0117 *
s(MM)	3.9021524	4	172.167	< 0.0000000000000002 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.41 Deviance explained = 43.1%
-REML = 17382 Scale est. = 0.99624 n = 3362



	SST (°C)	SSS	SBT (°C)
PS	15.2~27.2	---	---



全球暖化情境(GWL)

TaiESM1-ROMS



model	scenario	1.5°C	2°C	3°C	4°C
TaiESM1	ssp126	2027	2040		
TaiESM1	ssp245	2031	2043	2068	
TaiESM1	ssp370	2033	2043	2061	2081
TaiESM1	ssp585				

GWL	SSP245	SSP585
1.5°C	2022-2041	2019-2038
2.0°C	2031-2050	2037-2046
3.0°C		2062

全球暖化情境(GV)

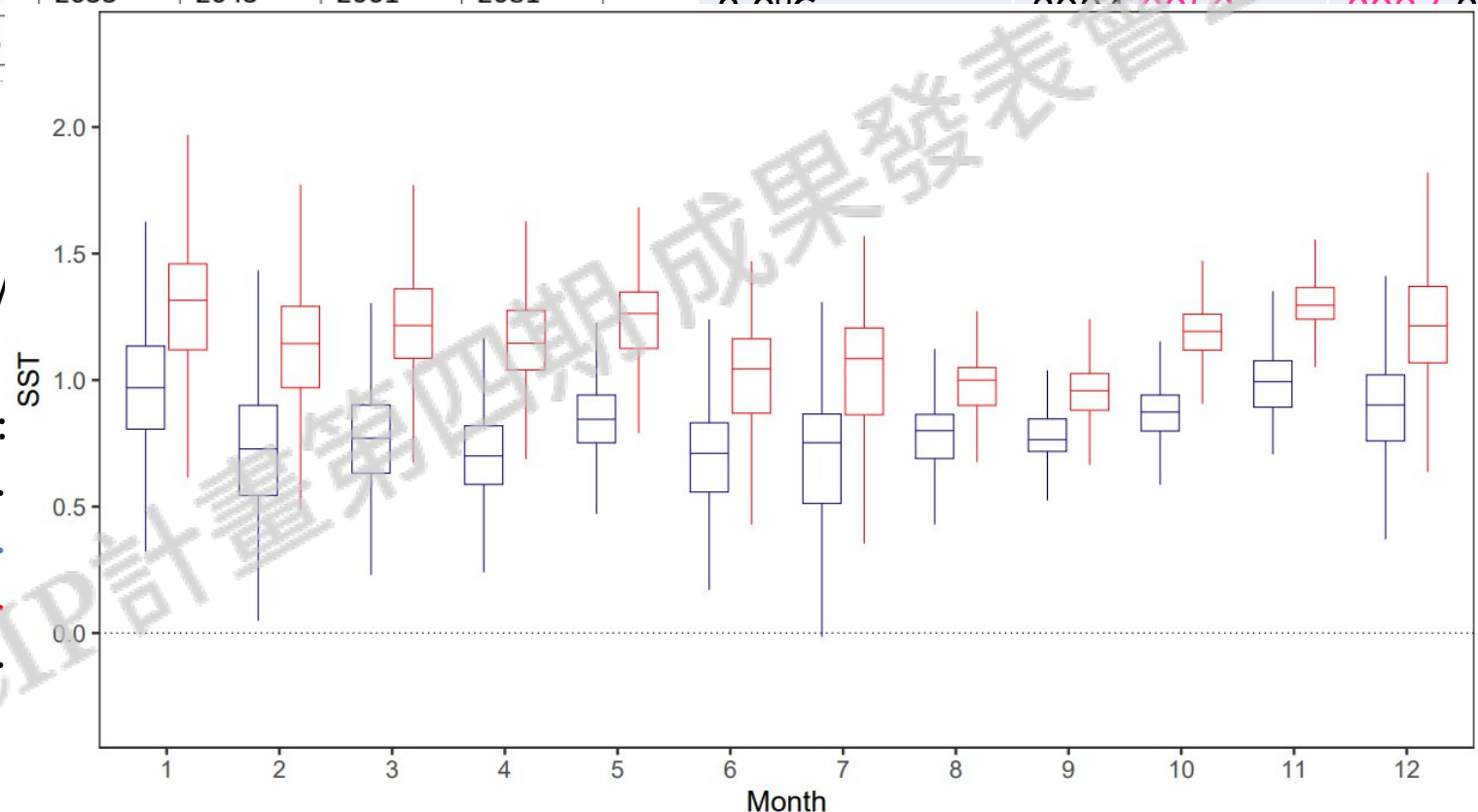
主要 GWL 門檻包括:

GWL 1.

GWL 1.

GWL 2.

GWL 3.



廣義加成模型(GAMs)



$$g(E(Y)) = \beta_0 + f_1(X_1) + f_2(X_2) + \dots + f_p(X_p) + \varepsilon$$

1. 模式建立 (Model Development) : 利用 R 軟體 mgcv 套件中的 gam() 函數, 將漁業資料與海洋環境資料進行配適, 建立廣義加成模型 (GAM), 分析漁業資源與海洋環境因子之關係。
2. 危害圖資 (Hazard Map) : 利用北部蟹籠漁業最適的海洋環境因子範圍, 並比較不同全球暖化程度 (GWL) 情境與基準期 (Baseline) 下, 各網格點適宜環境條件出現機率的差異, 以評估氣候變遷造成的危害程度。
3. 衝擊圖資 (Impact Map) : 將基準期及不同 GWL 情境的海洋環境資料代入 GAM, 推估各網格點的 CPUE (單位努力漁獲量), 並比較 GWL 1.5°C、GWL 2.0°C 與基準期之 CPUE 差異, 以評估氣候變遷對漁業資源的潛在衝擊。

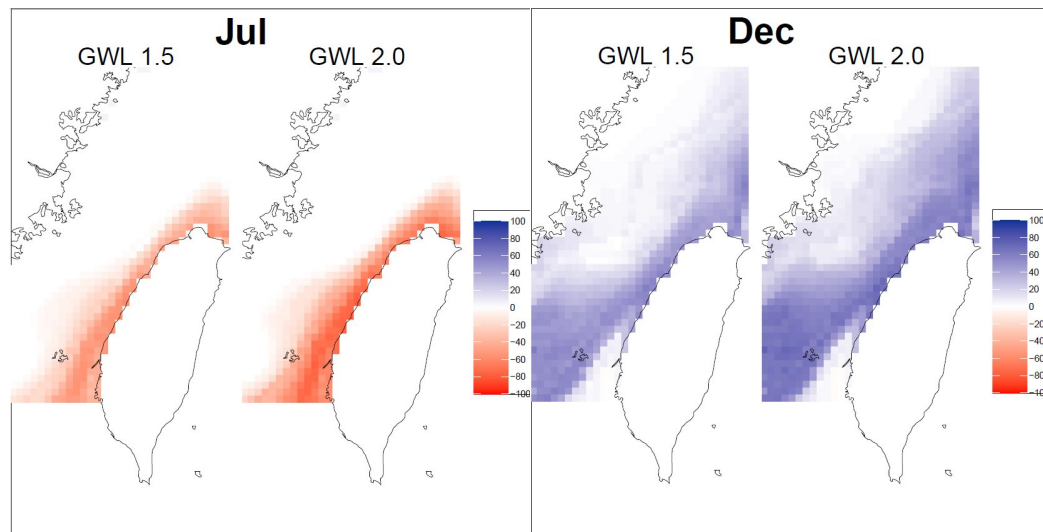
- Y : 反應變數 (Response variable), 為鏽斑蟳 (*Charybdis feriata*) 與紅星梭子蟹 (*Portunus sanguinolentus*) 的 CPUE (單位努力漁獲量)。
- $g(\cdot)$: 連結函數 (Link function), 用於建立反應變數與解釋變數之間的關係。
- β_0 : 截距 (Intercept), 代表模型的基準值。
- $f_j(X_j)$: 平滑函數 (Smooth function), 描述第 j 個海洋環境因子與反應變數間的非線性關係; X_j 為 SST (海表水溫)、SSS (海表鹽度) 等海洋環境因子。
- $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$: 隨機誤差項 (Random error), 假設服從平均值為 0、變異數為 σ^2 的常態分布。

```
Parametric coefficients:
              Estimate Std. Error t value      Pr(>|t|)
(Intercept)  4.5323      0.0126      359 <0.0000000000000002 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

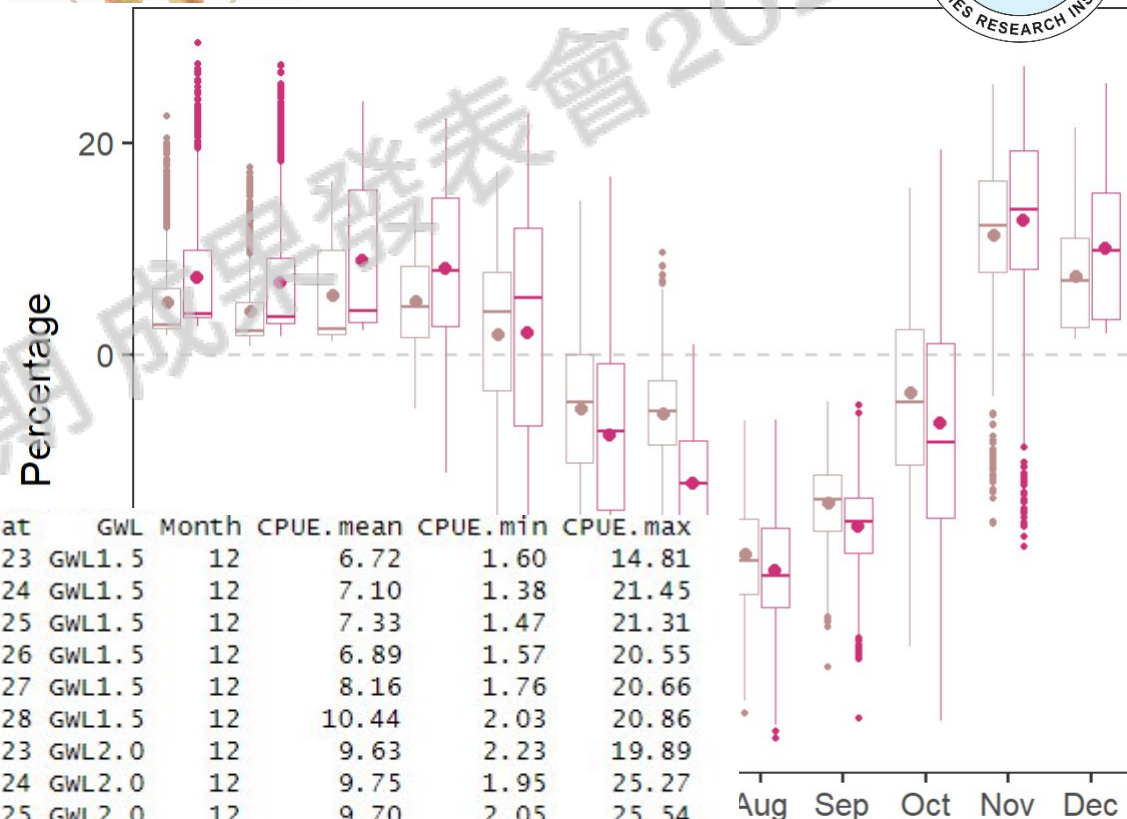
Approximate significance of smooth terms:
              edf Ref.df    F      p-value
s(SST)      3.85      4 41.46 < 0.0000000000000002 ***
s(salt)     3.04      4 14.15 < 0.0000000000000002 ***
s(mlt)      2.48      4  5.52      0.00018 ***
s(lon)      2.63      4 24.93 < 0.0000000000000002 ***
s(lat)      2.91      4 24.69 < 0.0000000000000002 ***
s(YY)       3.76      4 82.35 < 0.0000000000000002 ***
s(MM)       3.32      4 38.25 < 0.0000000000000002 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

危害與衝擊圖資

鏽斑蟊

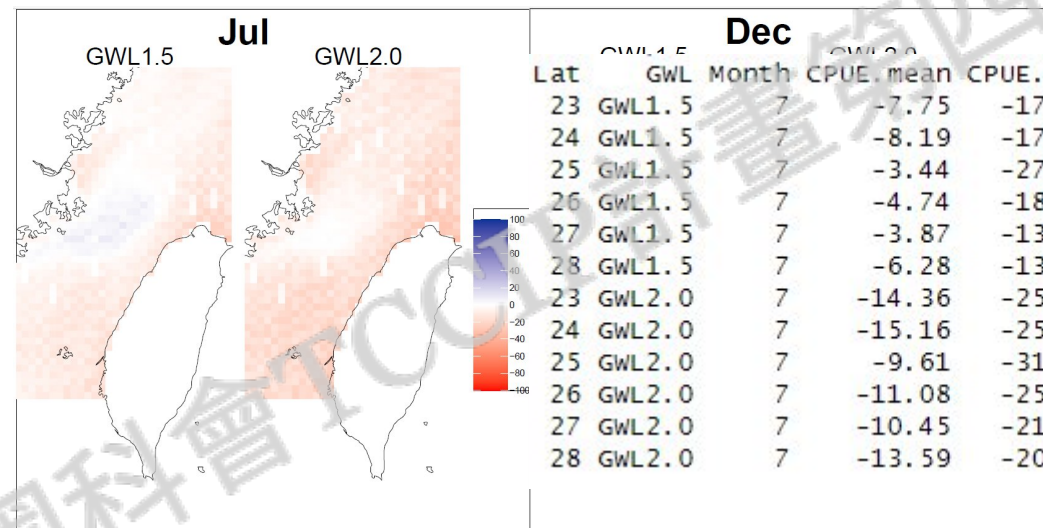


危害圖資



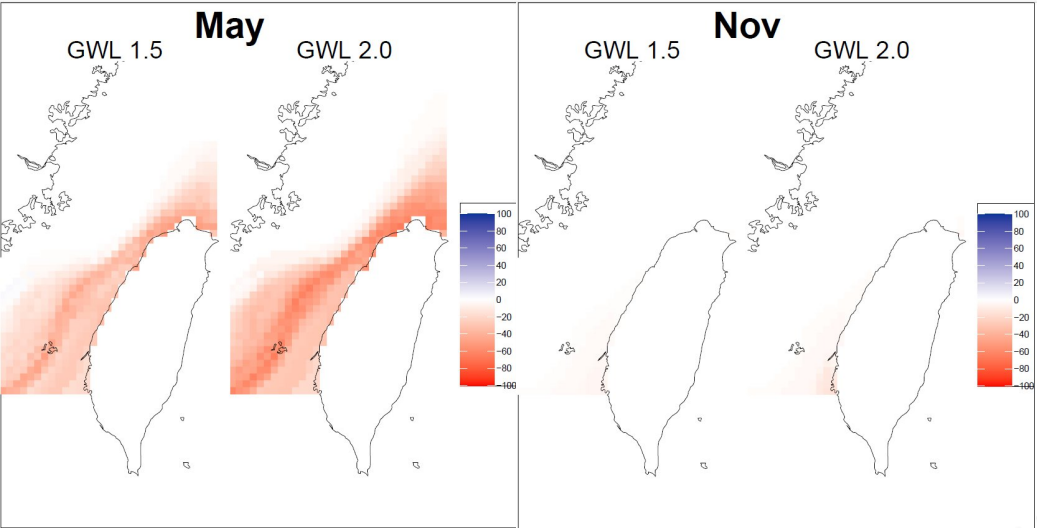
GWL

GWL1.5
GWL2.0

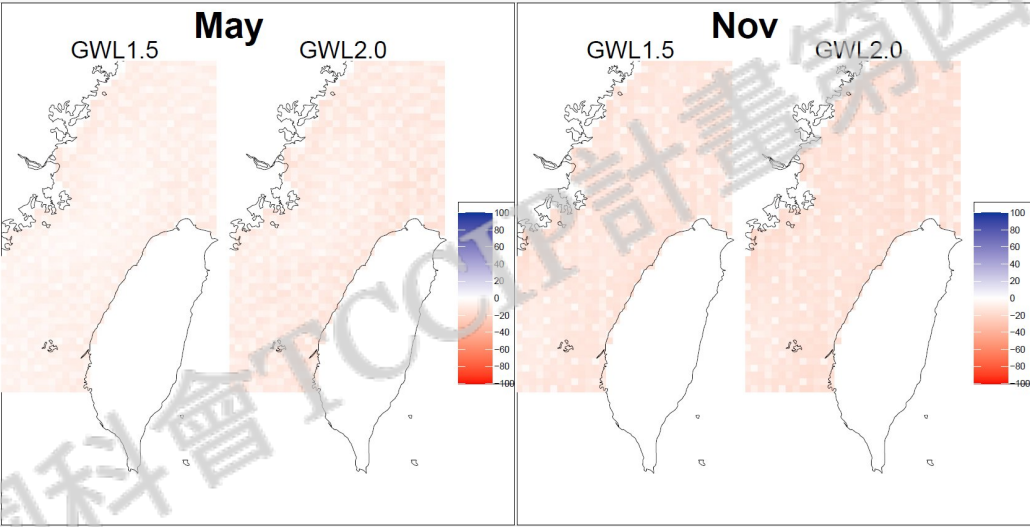


衝擊圖資 (CPUE)

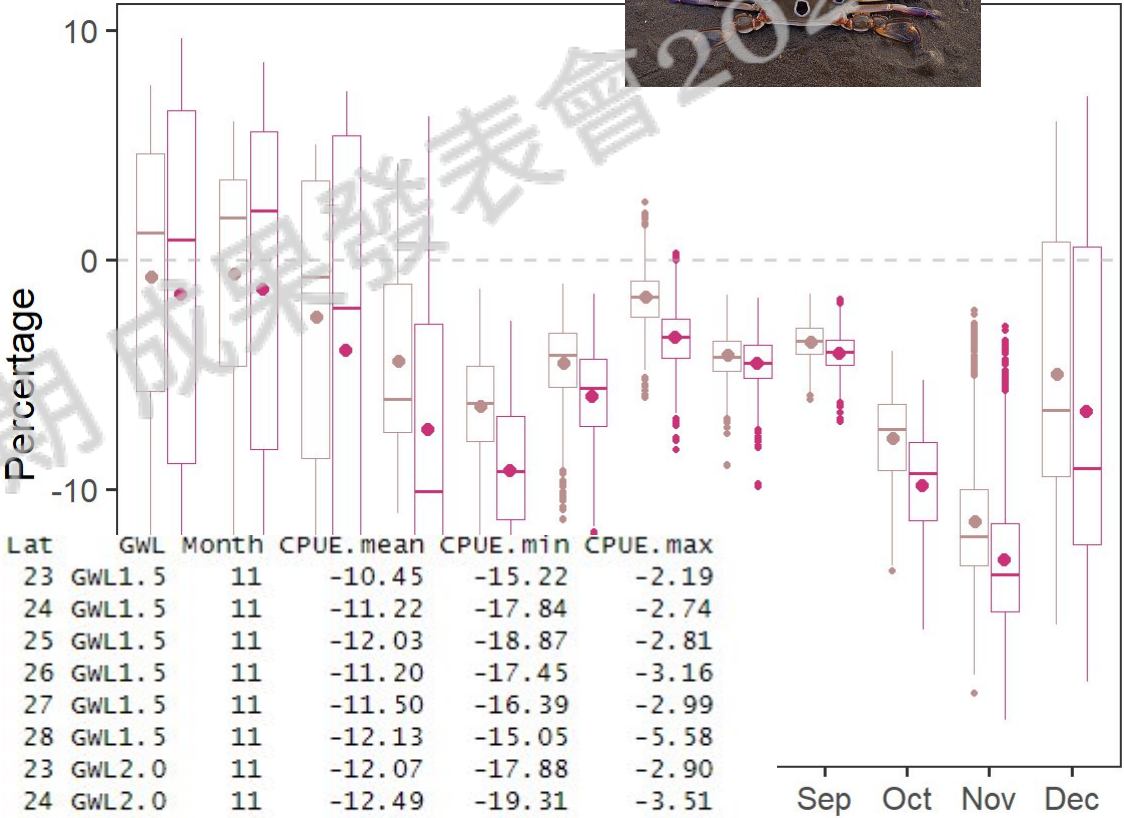
衝擊圖資(CPUE)



危害圖資

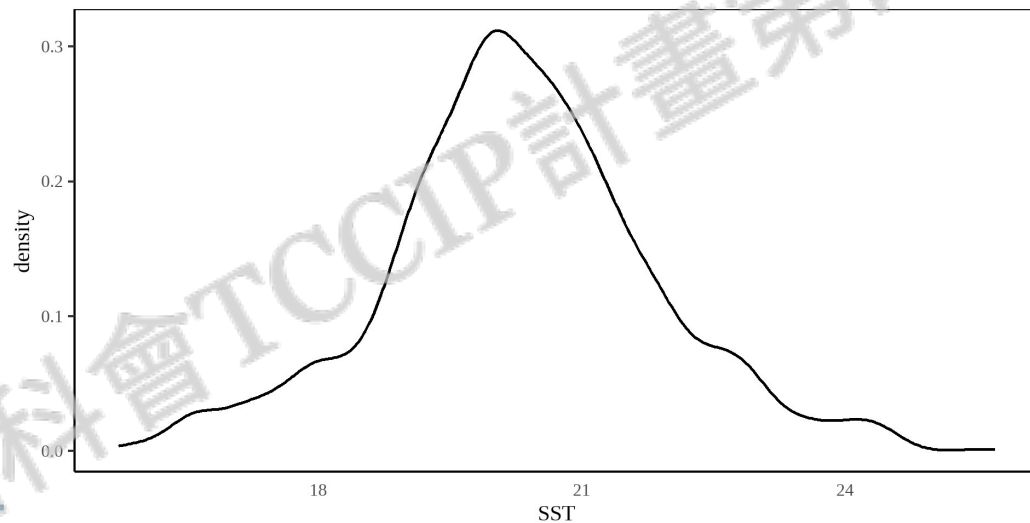
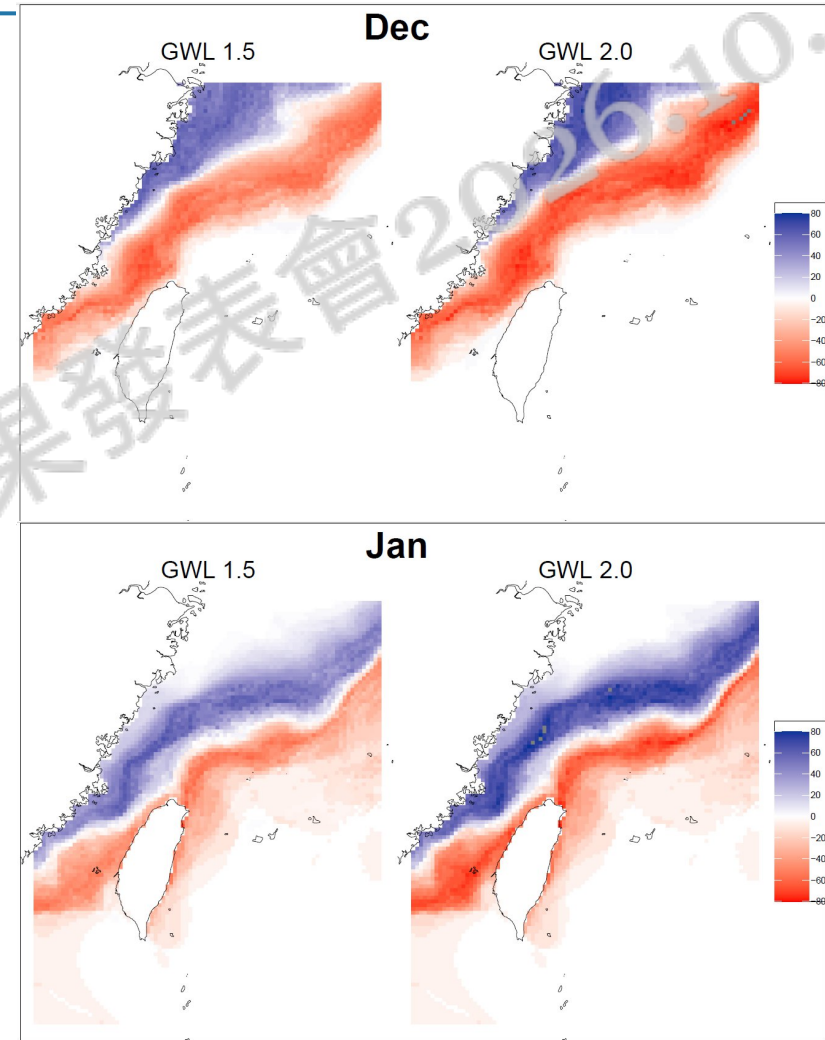
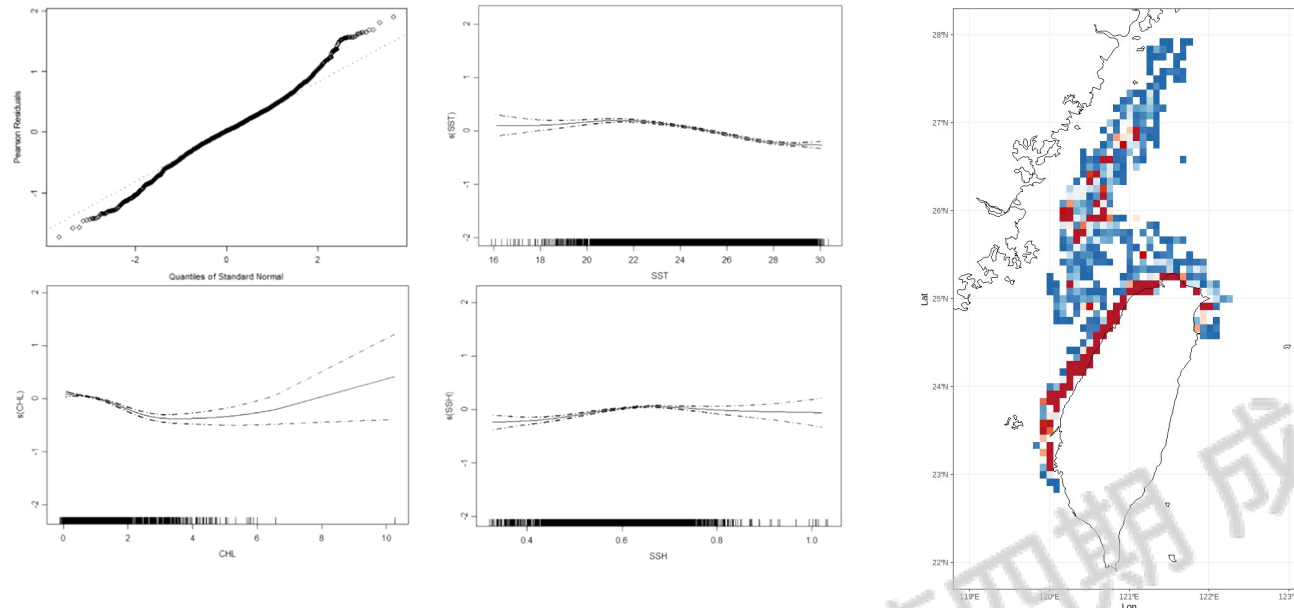


衝擊圖資 (CPUE)

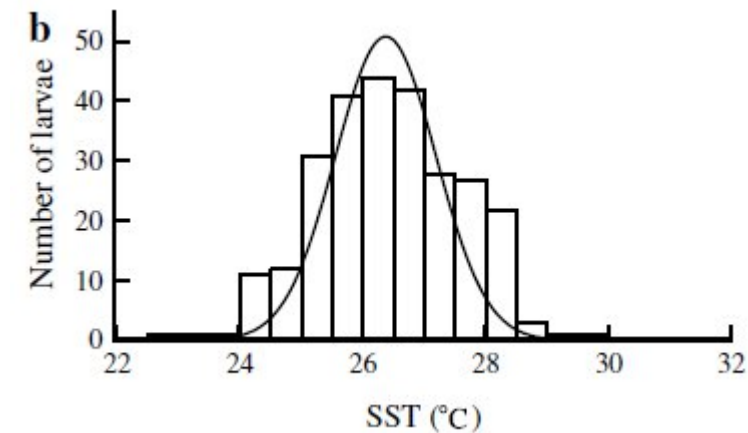


衝擊圖資 (CPUE)

全球暖化情境下對烏魚漁業之影響



Percentage change of $18.72 \leq \text{SST} \leq 21.25$ between baseline and GWL



結論

1. 利用 TaiESM 評估臺灣周邊漁場環境，基期（1996–2014 年）平均海表水溫（SST）為 25.18°C ，未來各季均呈現持續升溫趨勢。GWL 1.5°C （2019–2041 年）情境下，平均 SST 預估升至 26.02°C ；**GWL 2.0°C （2027–2053 年）**情境下則升至 26.47°C 。
2. 隨著 SST 上升，烏魚適宜漁場可能由臺灣西部沿海逐漸向北移動，並偏向中國沿岸海域，造成冬季漁期縮短，進而影響烏魚資源利用與漁業永續性，並可能衝擊臺灣沿岸漁業及漁民生計。
3. 海水溫度持續上升亦可能改變太平洋黑鮪產卵場的水溫環境，進而造成夏季漁場位置移動，使魚群偏離臺灣現有主要作業漁場，可能導致臺灣海域太平洋黑鮪漁獲量下降。

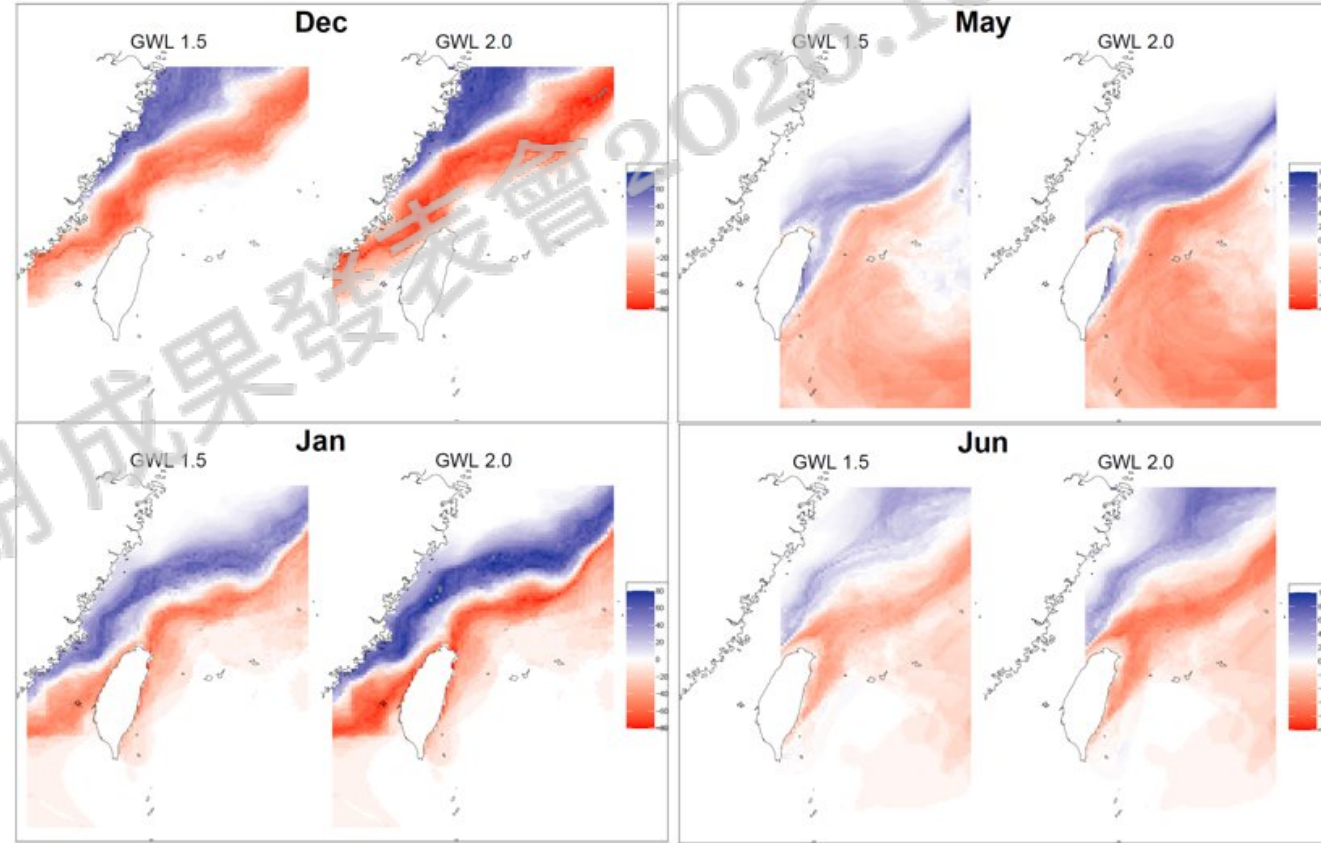
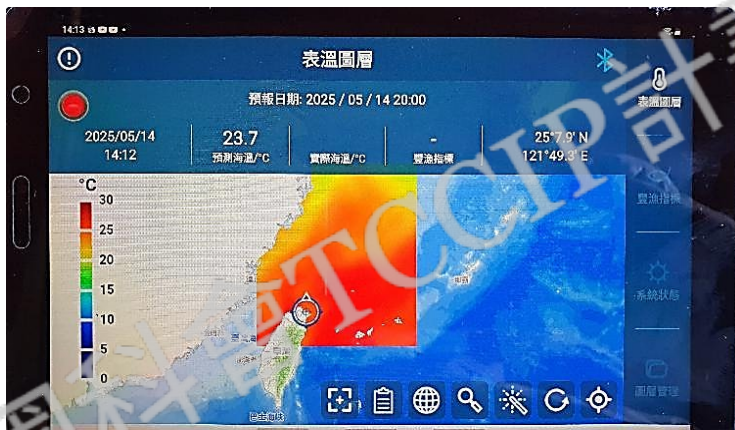
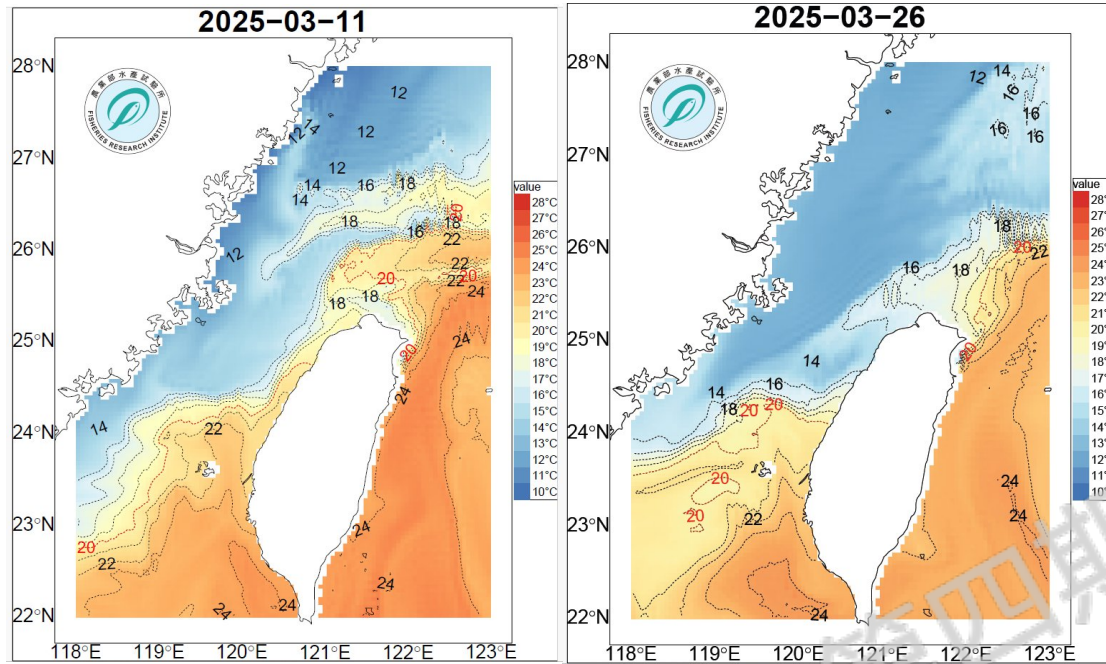


Fig. 2. Hazard maps of winter mullet catches and summer Pacific bluefin tuna catches under GWL 1.5°C and 2.0°C scenarios compared to the baseline period. Red indicates a decreased probability of optimal water temperature due to rising sea surface temperatures, while blue indicates an increased probability of optimal water temperature.

精準海況預報：提升漁獲效率的氣候變遷調適作為



1. 烏魚於每年11月至隔年1月隨著中國沿岸流洄游至臺灣沿近海域進行產卵洄游，模式顯示烏魚偏好SST在19.81°C ~21.82°C之間。
2. 本計畫每日自中央氣象署接受15日海水溫度、鹽度與流速流向分層資料，並配合魚種棲地特性圖像化，再透過水試所網站、Line、email、自行開發之互動式app與平板等方式傳輸給漁民。
3. 分析燈火漁業漁獲資料顯示，有接收漁海況資料樣本船CPUE高於未接收者 32%，顯示此方式有助於漁民提升漁獲效率，為有效氣候變遷調適作為。

Conclusion



- 在 SSP2-4.5 與 SSP5-8.5 情境下，未來海水溫度、鹽度及流速預期將產生明顯變化。
- SSP5-8.5 情境下，以冬季與春季增溫最為顯著，可能進一步影響蟹類棲地環境及漁獲分布。
- 結果顯示，在全球暖化程度達 GWL 1.5°C 與 2.0°C 時，臺灣北部海域夏季水溫升高，可能造成紅星梭子蟹 (*Portunus sanguinolentus*) 與鏽斑蟊 (*Charybdis feriata*) 漁獲量下降。
- 冬季增溫則可能有利於鏽斑蟊，使其漁獲增加；相較之下，紅星梭子蟹受到的影響較不明顯。
- 整體而言，在 GWL 1.5°C 與 2.0°C 情境下，偏暖水性的鏽斑蟊漁獲量可能增加，而偏冷水性的紅星梭子蟹漁獲量則可能下降。

Special thanks



行政法人

國家災害防救科技中心

National Science and Technology Center
for Disaster Reduction



國家海洋研究院

National Academy of Marine Research



國立臺灣大學海洋研究所

Institute of Oceanography, NTU

謝謝聆聽 敬請指教

TCCIP 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台
Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform

NSTC 國家科學及技術委員會
National Science and Technology Council

NCDR 國家災害防救科技中心
National Science and Technology Center
for Disaster Reduction

