

低度利用漁港轉型方案：整合型多營養階養殖箱網應用於海洋資源復育放流

李宏泰¹、張詠政^{2,3}、黃宥恩²、廖正信¹、徐德華^{2,3*}

¹國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系

²國立臺灣海洋大學水產養殖學系

³國立臺灣海洋大學海洋中心

摘要

全球氣候變遷與過漁壓力導致沿近海漁業資源枯竭，使部分漁港因功能衰退而閒置，其活化與轉型已成重要課題。本文旨在綜述自 2021 年至 2024 年，於新北市貢寮區美豔山漁港建立全國首座「整合型多營養階養殖(Integrated Multi-Trophic Aquaculture, IMTA)」中間育成基地之多年結果，探討此模式作為低度利用漁港生態轉型方案的可行性與效益。此系統利用漁港的遮蔽特性建置箱網，並導入 IMTA 模式，整合放流魚種(主要消費者)、牡蠣(濾食者)、鳳凰螺與海膽(食碎者)及大型藻類(生產者)，形成一個促進營養物質循環的微型生態系統。研究成果顯示，透過此模式進行中間育成，不僅有效緩解魚苗運輸緊迫、提前適應野外環境，各物種育成活存率可達 83% 以上。IMTA 系統內的生物修復功能，使得水質(如氨氮、硝酸鹽)得以維持在未檢出的水平，避免對於環境造成額外的負擔。更為重要的是，本系統的結構特性亦成功發揮了棲地營造的效果，吸引了超過 22 科 33 種野生魚類及多樣的無脊椎動物聚集，顯著提升港區生物多樣性，展現出「其他有效保育措施(Other Effective Area-Based Conservation Measures, OECM)」的實質功能。因此，低度利用漁港轉型為 IMTA 中間育成基地，是一項結合栽培漁業、生態保育、棲地營造與社區參與的多效益永續發展策略，其成功經驗為臺灣海洋資源復育提供了可複製與轉移的創新典範。

關鍵字：中間育成、整合型多營養階養殖(IMTA)、低度利用漁港、資源復育、棲地營造

Received 09 October 2025; revised 09 December 2025; accepted 10 December 2025; available online 31 December 2025

*通訊作者電子信箱：realgigi@mail.ntou.edu.tw

DOI: [10.29474/fer.202512.0107](https://doi.org/10.29474/fer.202512.0107)

一、前言

海洋生態系統健康與漁業資源的永續性，已成為全球性的重要議題。在人為活動、氣候變遷與長期過度捕撈的多重壓力下，全球海洋生物多樣性與漁業生產力正受到顯著影響(Pauly and Zeller, 2016; Sumaila and Tai, 2020; Yan *et al.*, 2021)。根據聯合國糧食及農業組織(Food and Agricultural Organization, FAO)的報告指出，全球處於生物可持續水準的魚類族群比例已降至 62.3%，顯示全球漁業資源的惡化趨勢尚未趨緩(FAO, 2024)。學界普遍認為，棲地喪失與漁業活動的雙重效應加劇了生態系統的脆弱性，進而影響物種的分布與豐度(Yan *et al.*, 2021)。此外，非法、未報告及不受規範的捕撈(IUU fishing)對海洋資源持續構成威脅，實際的捕撈壓力可能遠高於官方統計(Pauly and Zeller, 2016; Worm *et al.*, 2024; Cheung *et al.*, 2025)。儘管挑戰嚴峻，近年研究亦指出，當基於科學的漁業管理措施被有效執行時，許多區域的魚類種群展現了恢復潛力，凸顯了強化治理的重要性(Cheung *et al.*, 2025)。

臺灣作為海洋國家，同樣面臨與全球同步的衝擊，沿近海漁業產量在過去數十年間呈現顯著的下降趨勢(Lee *et al.*, 2022)。官方統計資料顯示，臺灣沿近海漁業年產量已從 1980 年的 408,201 噸，下降至 2020 年的 174,562 噸，降幅超過 50%(漁業署, 1981-2021)。此衰退不僅對沿海社區

經濟造成顯著衝擊，亦引發基礎設施的結構性問題。至 2019 年，全臺灣 221 處漁港中，有 73 處因漁獲量與漁船數減少，被歸類為「低度利用漁港」(農業委員會, 2019; Lee *et al.*, 2022)，至 2024 年仍有 62 處(農業部, 2024)。此類設施的閒置，深層地反映了傳統漁村經濟活力的衰退與社會結構的變遷。漁港的低度利用可視為漁業資源枯竭此一生態問題，在社會經濟層面的具體呈現(Liu, 2013; Hsiao and Chen, 2021)。因此，有效的應對策略需具備整合性思維，以同時處理生態復育與設施活化這兩個相互關聯的挑戰。

為了因應資源的衰退，臺灣長期以來將增殖放流作為資源永續的主要策略之一(Hsu *et al.*, 2022; Lee *et al.*, 2022)。然而，傳統的放流模式亦面臨諸多科學挑戰。舉例來說，放流種苗生長在穩定的人工環境，在經歷高密度與長途的運輸後，往往會造成明顯的生理緊迫。因此，若直接放流至變動較大的自然海域，將立即面臨劇烈的環境變化、掠食者的威脅以及主動覓食的挑戰，導致較高的初期死亡率(Tanaka *et al.*, 1998; Connerton *et al.*, 2022; Lee *et al.*, 2022)。中間育成(Intermediate Rearing)，係指在正式放流前，將人工種苗移至半自然環境中進行短期蓄養，使其從運輸緊迫中恢復，並逐步適應目標海域的水文條件與天然餌料，被視為提升放流成效的重要環節。多項研究已證實，經過中間育成的個體，其野外存活率顯著高於直

接放流者(Fairchild *et al.*, 2008; Rosenberger *et al.*, 2013; Connerton *et al.*, 2022)。

因此，中間育成場域的設置對於種苗放流至關重要。整合型多營養階養殖(Integrated Multi-Trophic Aquaculture, IMTA)模式為中間育成的實踐提供了一個潛在的有效技術框架。IMTA 的核心理念在於模仿自然生態系的物質循環，透過共養不同營養階層的物種，將高營養階生物產生的有機廢棄物(殘餌與排泄物)轉化為其他低營養階生物的營養來源，從而將廢棄物的累積達到最小化與大幅降低對環境的負面影響(Kleitou *et al.*, 2018; Shpigel *et al.*, 2018; Chang *et al.*, 2021)。此類系統不僅有助於維持養殖水體品質，亦能創造更複雜的棲地結構，從而提升系統的整體生產力與穩定性(Kleitou *et al.*, 2018; Shpigel *et al.*, 2018; Lee *et al.*, 2022)。

緣此，本研究團隊自 2021 年 8 月起，於新北市貢寮區的低度利用漁港—美豔山漁港，首度建立一套將 IMTA 模式應用於海洋資源復育放流的示範系統(Lee *et al.*, 2022)。本項研究之目的，不僅在於克服傳統增殖放流的限制，亦期望為閒置漁港的空間活化提供永續發展的雙重解方。接下來，將以回顧的方式，依序介紹與說明本研究團隊於此場域的相關研究成果，包括 IMTA 中間育成系統的設計與建置理念、實務與操作模式、放流物種的中間育成情況、周圍環境的水質影響等。此外，亦進一步說明其在棲地營造與提升在地生物多樣性方面的初步成效。期盼透過本

研究的案例分享，為全球沿近海漁業的資源管理與復育工作，提供一個具科學基礎與應用潛力的參考方案。

二、場域選定與箱網建置

(一)低度利用漁港的選址

在低度利用漁港的活化評估中，場址與周遭環境及社會脈絡的適配性是關鍵考量因素。因此，本研究在計畫初期，對全臺灣 73 處官方認定的低度利用漁港進行系統性盤點，並依據一套多標準評估框架，最終篩選出 17 處具發展潛力的候選場址(表 1; Lee *et al.*, 2022)。此評估框架旨在確保所選場址具備可持續運營的綜合潛力，其評估標準包括以下的核心面向：(1)物理與環境條件：港區面積與水深需能容納預定規模的箱網系統，且港灣結構需具備優良的防颱能力；(2)基礎設施與使用現況：港區現有漁船數需偏低，以減少潛在衝突；同時，須具備可利用的陸上平台與便利的交通條件，以利設備建置與日常操作；(3)管理與協作潛力：港區需具備易於管理的條件，如設有海巡署等常駐單位，有助於設施安全維護。此外，場址鄰近官方育苗或研究單位亦為理想條件；(4)保育政策協同：評估場址是否位於或鄰近海洋保護區，若符合則有助於將計畫與現有保育政策結合，發揮協同管理效應(圖 1)。

依據上述各項核心面向的綜合評比，新北市貢寮區的美豔山漁港為最佳的場址。該處在多項關鍵指標上表現突出，包

表 1. 台灣低利用度漁港名單內具有中間育成場域潛力之評估清單(2021 年時評估)

	面積 m ²	漁船數	防颱	平台	管理	交通	保護區	GPS
新北美豔山漁港	2000	少	佳	有	容易	佳	有	25°04'09.3"N 121°55'25.0"E
新北麟山鼻漁港	7000	少	佳	無	不易	差	無	25°17'02.4"N 121°30'36.4"E
新北石門漁港	16500	多	佳	有	容易	佳	無	25°17'41.5"N 121°34'03.3"E
新北水尾漁港	7600	少	佳	無	容易	佳	無	25°13'32.2"N 121°39'03.4"E
基隆望海巷漁港	5600	多	佳	有	容易	佳	有	25°08'14.8"N 121°48'08.6"E
台東新蘭漁港	3200	少	差	有	容易	佳	無	22°51'36.8"N 121°12'08.9"E
綠島中寮漁港	2400	少	差	有	不易	差	有	22°40'33.4"N 121°28'21.7"E
蘭嶼朗島漁港	2200	少	差	無	容易	差	無	22°04'46.4"N 121°31'47.5"E
屏東南仁漁港	1000	少	差	無	容易	差	有	22°05'15.0"N 120°53'28.1"E
高雄汕尾漁港	54000	少	佳	無	容易	佳	無	22°28'43.5"N 120°24'51.1"E
台南馬沙溝漁港	19000	少	佳	有	容易	佳	無	23°13'15.6"N 120°05'52.8"E
澎湖大池漁港	16000	多	無	無	容易	佳	無	23°37'00.4"N 119°30'17.2"E
澎湖後寮漁港	35000	多	佳	有	容易	佳	無	23°40'16.9"N 119°34'11.4"E
澎湖重光漁港	10800	少	佳	無	容易	佳	無	23°35'06.8"N 119°34'16.5"E
澎湖西衛漁港	18000	多	佳	無	容易	佳	無	23°34'51.1"N 119°35'00.8"E
澎湖井崁漁港	14000	少	佳	有	容易	佳	無	23°31'23.4"N 119°34'45.1"E
澎湖菓葉漁港	18000	少	佳	有	容易	佳	無	23°34'38.5"N 119°40'52.0"E

含優良的防颱能力、低漁船使用數、具備陸上平台、管理與交通條件便利等。其中，最為關鍵的綜合優勢則在於地理位置。該處由於緊鄰貢寮水生生物研究中心且位於東北角風景管理區內，相互串連成一條功能完整的鏈結。放流所需種苗可交由貢寮水生中心培育與供應，隨後的中間育成及放流則可於鄰近的美豔山漁港 IMTA 系統進行並持續進行放流後的相關監測。上述的各項條件，為本計畫的執行奠定了良

好基礎。

(二) IMTA 中間育成系統之建置與操作

基於前述評估選定之場址，本研究設計並建置一套適應美豔山漁港環境的 IMTA 中間育成系統，其物理結構、物種配置與操作管理旨在最大化生態功能與運作韌性。在物理結構上，系統主體框架由高密度聚乙烯(HDPE)組合式浮筒構成，具備高浮力、耐腐蝕與抗衝擊特性。系統初建於 2021 年 8 月，為一 11×11 m 平台，

內含四口養殖網箱；後於 2022 年擴增至六口箱網，平台面積達 17×12 m。每口網箱尺寸為 4×4×2 m(32 m³)，系統總養殖體積逾 190 m³。網箱採 1.5 cm 網目的尼龍網，兼顧目標魚種防逃與港內海水交換。系統頂部全面覆蓋防鳥網，並彈性配置數十個小型塑料籠(90×60×48 cm³)供小型生物培育或對照實驗使用(圖 1)。

此系統的核心設計依循 IMTA 原理，進行多營養層級物種配置，旨在建構一功

能完整的微型人工海洋生態系：(1)目標放流物種(主要消費者)：作為系統核心，歷年測試物種包括黃錫鯛(*Rhabdosargus sarba*)、嘉鱚(*Pagrus major*)及斑石鯛(*Oplegnathus punctatus*)等多種東北角具經濟價值之魚類。本研究採「策略性投餵」(strategic feeding)，初期給予少量人工飼料，後逐漸降低頻率(每日一次至數日一次)。由於箱網結構與附生藻類已形成微型棲地，孕育豐富的端足類(Amphipoda)與橈

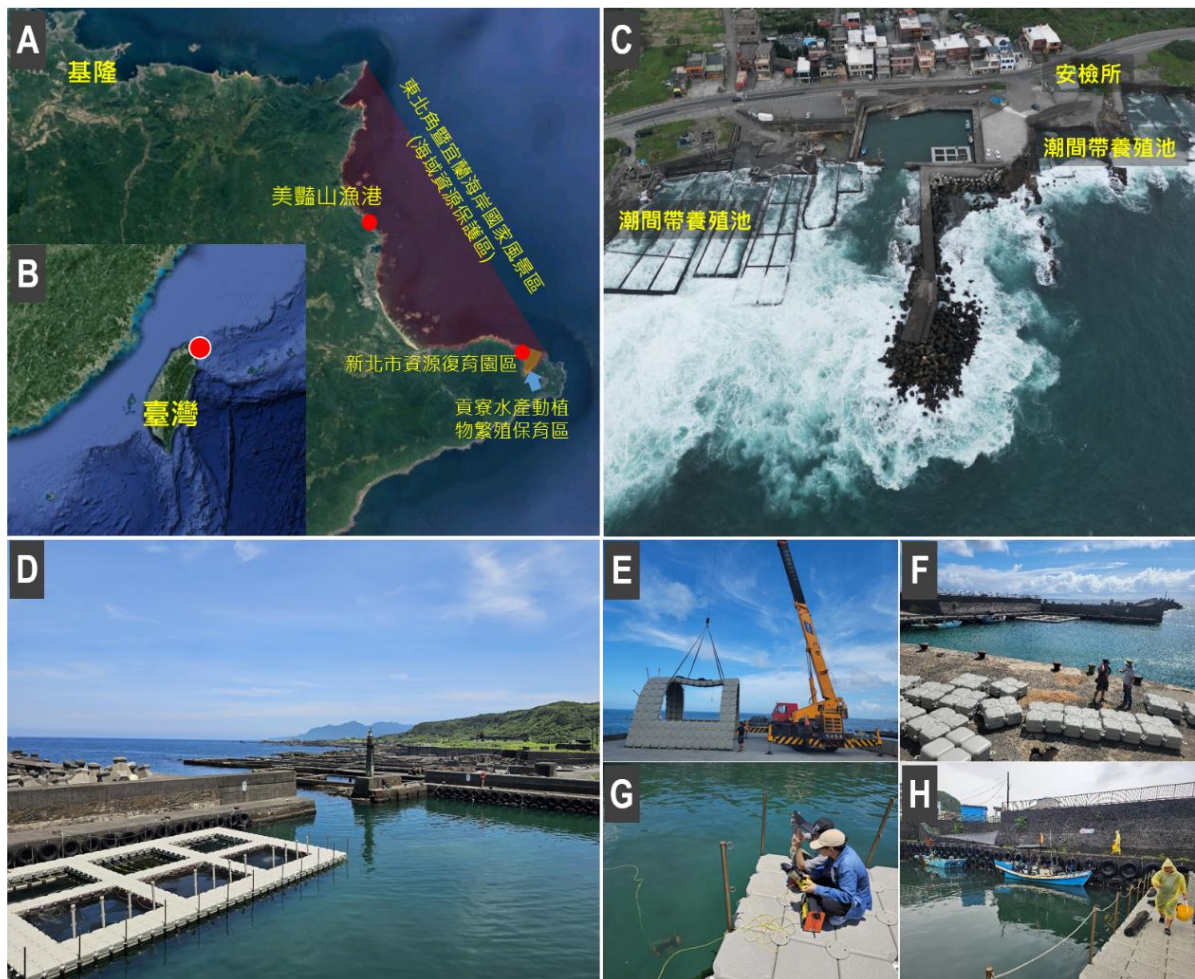


圖 1. 美豔山中間育成基地位置及操作管理。(A)臺灣東北角位置圖及海洋保護區範圍。(B)台灣東北角區域。(C)美豔山漁港空拍圖。(D)美豔山中間育成基地照片。(E)育成箱網在颱風季進行吊掛放置。(F)箱網浮桶組裝。(G)使用水下無人機進行觀察。(H)魚車停至港邊，以水桶進行魚苗運送。

足類(Copepoda)等小型甲殼類，提供了魚苗額外的天然餌料來源。藉此誘導魚苗主動攝食網內自然生物，達成野化訓練目標。育成期依物種與苗況調整為 7 至 42 天。(2)濾食性生物(Filter feeders)：於箱網周邊垂掛在地採購之牡蠣 (*Magallana angulata*) 串，作為高效的生物過濾單元 (biofilter)，持續濾除水中懸浮有機顆粒，其殼體亦提供小型無脊椎動物附著與庇護的複雜結構。(3)底棲食碎者 (Detritivores)：為處理沉降有機碎屑，於箱網下方投放自行繁殖之水晶鳳凰螺 (*Laevistrombus canarium*)，並於小型籠中培育紫海膽 (*Anthocidaris crassispina*)。此類生物作為系統的底棲分解者，完成營養循環，其中海膽的刮食亦有助維持網壁清潔，達成生物除污之效。(4)大型藻類 (Primary producers)：系統未進行人工投

放，而是利用箱網、浮筒等結構作為基質，供大型藻類自然附生。優勢藻種隨季節更替(如春夏的石蓴 *Ulva spp.*、秋冬的馬尾藻 *Sargassum spp.*等)，作為系統的基礎生產者，吸收溶解性無機營養鹽，並成為植食性生物的天然食源(圖 2)。

在操作管理層面，本研究亦建立對應的維護與應變機制。針對颱風威脅，初期規劃為將浮台吊掛上陸，並曾於 2021 年成功執行一次。隨 2022 年系統擴建後穩定性提升，且考量吊掛作業成本，策略調整為加強纜繩固定。此強化後之系統迄今運作穩定，初步證實足以抵禦非直擊性颱風所帶來的湧浪。

三、執行成效與評估

自 2021 年 8 月啟動以來，美豔山 IMTA 中間育成基地已進行了近四年的連

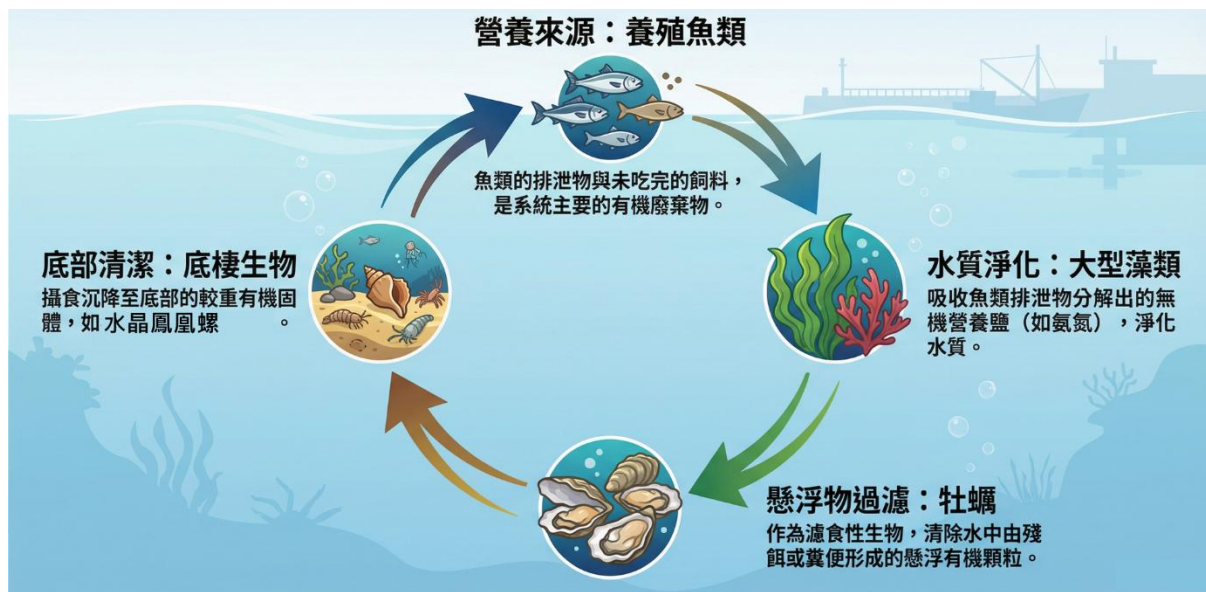


圖 2. 美豔山漁港 IMTA 中間育成系統概念示意圖。展示不同營養階層生物(魚類、大型藻類、牡蠣、底棲生物)在系統中的配置與營養物質流動關係。

續操作與監測。本章節旨在呈現其執行成效，評估面向包含對目標放流物種的直接效益、對周邊環境品質的影響，以及對港區整體生物多樣性的貢獻，以系統性地驗證此模式的綜合價值。

(一)中間育成對目標物種存活與成長之效益

歷年試驗結果顯示，IMTA 系統的中間育成，對於提升放流種苗的活存率與促進其成長(體長增加)具有顯著效益。自 2021 年至 2024 年，本系統已成功育成超過 15 物種、總數逾 8 萬尾的魚類、頭足類及海膽(表 2)。

數據分析顯示，在為期 7 至 42 天的育成後，絕大多數物種均展現出極高的活存率。如表 2 所示，鯛科(Sparidae)與石鯛科(Oplegnathidae)物種，包括黃錫鯛(*R. sarba*)、嘉鱸(*P. major*)及斑石鯛(*O. punctatus*)，其活存率頻繁地達到 95% 至 99% 的水平。相對地，部分對運輸緊迫及環境變動較為敏感的物種，如尖翅燕魚(*Platax teira*)與赤鰭笛鯛(*Lutjanus erythropterus*)，活存率則略低，但仍維持在 83% 至 90% 之間，顯示此系統對於多樣物種均具備良好的短期育成能力。

除了高活存率外，育成期間種苗的體長亦有顯著增長。例如，在 2023 年的試驗中，黑鯛(*A. schlegelii*)經過 28 天的育成，平均體長由 43.7 mm 增長至 58.5 mm；同一年度，瓜子鱸(*Girella punctata*)的平均體長更在 28 天內由 78.6 mm 增至 108.2 mm (表 2)。這些數據證實，此半開放式的港灣

環境不僅提供了充足的天然餌料來源，也使種苗得以從運輸緊迫中恢復，並提前適應目標放流海域的水文條件與攝食模式。此馴化(acclimatization)過程，預期將能有效提升其在釋放至自然環境後的存活機率與族群加入成功率。

(二) IMTA 系統對環境品質的卓越維護效益

本評估 IMTA 系統對周邊環境的影響，為本研究的核心目標之一。在近四年的研究期間，執行了系統性的水質監測。結果顯示，即便在系統內容納數千至上萬尾魚隻的高密度養殖條件下，系統內外測點之水體品質均維持穩定。水體酸鹼值(pH)穩定介於 8.2 至 8.4 之間，屬正常海水範圍。核心營養鹽指標，包含氨氮($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$)、亞硝酸鹽(NO_2^-)及硝酸鹽(NO_3^-)，在所有監測樣本中均持續低於儀器可偵測之極限值。

綜合上述結果顯示，IMTA 系統內部的多營養階生物組合，大型藻類對無機營養鹽的吸收、牡蠣對懸浮有機顆粒的濾食、以及底棲生物對有機碎屑的分解，構成了一個高效的內營養物質循環機制。該機制能即時處理養殖過程中所產生的代謝廢棄物，達到高度的資源內部再利用。此一成果顯示，IMTA 模式有潛力在水體交換相對有限的半封閉水域(如港灣)中運行，而不會對周邊水質造成顯著的營養鹽負擔，展現具備環境友善的特性(圖 2)。

表 2、美豔山中間育成基地進行中間育成及放流的種苗清單

物種	育成前 體長(cm)	育成後 體長(cm)	尾數	育成日數	存活率
2021-2022					
黃錫鯛 <i>Rhabdosargus sarba</i>	10.0	10.5	1000	14	98%
嘉鱸 <i>Pagrus major</i>	5.0	6.2	5000	30	96%
星雞魚 <i>Pomadasys kaakan</i>	3.1	5.4	3000	30	94%
條石鯛 <i>Oplegnathus fasciatus</i>	8.9	9.3	1000	30	98%
尖翅燕魚 <i>Platax teira</i>	5.0	—	200	7	83%
斑石鯛 <i>Oplegnathus punctatus</i>	8.7	8.9	2000	7-14	99%
布氏鯧鯨 <i>Trachinotus blochii</i>	3.3	3.6	2000	21-30	96%
赤鰭笛鯛 <i>Lutjanus erythropterus</i>	4.2	4.6	2000	14-24	88%
虎斑烏賊 <i>Sepia pharaonis</i>	10.0	—	30	3	97%
	2.0	—	1000	1	98%
	受精卵	—	8000	3-21	—
2023					
嘉鱸 <i>Pagrus major</i>	4.8	5.3	2000	42	99%
	7.2	8.4	3000	14	99%
黑鯛 <i>Acanthopagrus schlegelii</i>	4.4	5.9	10000	28	94%
斑石鯛 <i>Oplegnathus punctatus</i>	5.0	5.3	5000	28	99%
布氏鯧鯨 <i>Trachinotus blochii</i>	5.6	5.7	5000	7	96%
黑毛 <i>Girella punctata</i>	7.9	10.8	2000	28	90%
白星笛鯛 <i>Lutjanus stellatus</i>	4.2	5.2	2000	24	88%
川紋笛鯛 <i>Lutjanus sebae</i>	4.5	6.8	2000	28	99%
虎斑烏賊 <i>Sepia pharaonis</i>	受精卵	—	8000		
2024					
嘉鱸 <i>Pagrus major</i>	6.1	6.5	6000	14	97%
黃錫鯛 <i>Rhabdosargus sarba</i>	9.7	10.0	2000	14	95%
黑鯛 <i>Acanthopagrus schlegelii</i>	6.2	6.5	5000	14	94%
斑石鯛 <i>Oplegnathus punctatus</i>	5.9	6.0	2000	14	90%
尖翅燕魚 <i>Platax teira</i>	4.4	4.6	5000	14	86%
川紋笛鯛 <i>Lutjanus sebae</i>	6.3	6.6	10000	14	95%
虎斑烏賊 <i>Sepia pharaonis</i>	受精卵	—	8000		

註：符號 "—" 表示該批次試驗未進行該項目之數據測量。

(三)棲地營造與生物多樣性

本研究中一項非預期的顯著成果，為 IMTA 系統在提升在地生物多樣性方面所展現的效益。系統在置入海中後，透過生物附著(biofouling)過程，迅速增加了棲地的三維結構複雜度(habitat complexity)，使其演變為港區內的生態熱點。此過程主要由附著於牡蠣串、網具及浮筒上的固著生

物所驅動。其中，大型藻類群落尤為關鍵，歷年共紀錄 14 科 15 種大型藻類，並呈現鮮明的季節性演替(表 3)：石蓴(*Ulva lactuca*)與北方赤盾藻(*Rhodopeltis borealis*)為全年皆可見的優勢物種，而夏季則有羽藻科物種(Bryopsidaceae)、南方團扇藻(*Padina australis*)等物種大量生長。這些藻類與海鞘、海綿、藤壺等固著生物共同形成了一個複雜且多孔隙的立體棲

地結構(圖 3)。

此新生棲地吸引了顯著的野生魚類群聚。歷年的水下目視調查顯示，物種豐富度與相對豐度均呈現穩定提升趨勢。截至 2024 年，於系統周邊共記錄到超過 22 科 33 種魚類(表 4)。其中，雀鯛科(Pomacentridae)為優勢類群，特別是七帶豆娘魚(*Abudefduf vaigiensis*)與六線豆娘魚(*A. sexfasciatus*)四季皆可見且豐度高；鯔科(Mugilidae)的鯔魚(*Mugil cephalus*)亦為常見優勢物種。值得注意的是，系統也吸引了石鯛、笛鯛等高經濟價值的幼魚前來棲息，以及蝴蝶魚科(Chaetodontidae)、蓋刺魚科(Pomacanthidae)等典型的珊瑚礁魚類。近年觀測更記錄到銀紋笛鯛(*Lutjanus*

argentimaculatus) 與 萊 氏 擬 烏 賊 (*Sepioteuthis lessoniana*)等高階消費者的出現，顯示一條結構趨於完整的食物網可能正在此微型生態系中建立。

上述結果顯示，IMTA 箱網系統不僅是中間育成設施，其本身亦可作為一座功能性人工魚礁(functional artificial reef)。尤其在颱風等極端氣候事件後，港灣的遮蔽效應使得系統上的附生藻相仍能保持，可以持續提供生物棲息使用。

四、討論與展望

本研究系統性地呈現了將低度利用漁港結合 IMTA 模式，進而轉型為中間育成基地的相關成果。此模式在提升放流效益、維持環境品質及增進生物多樣性方面

表 3. 美豔山中間育成基地紀錄之藻種及生長時季紀錄

科	學名	中文名	豐度	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
石蓴科	<i>Ulva lactuca</i>	石蓴	****	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
羽藻科	Bryopsidaceae	羽藻	**					5	6	7	8	9	10	11	
管枝藻科	<i>Boergesenia forbesii</i>	香蕉菜	*					5	6	7	8				
松節藻科	<i>Acanthophora spicifera</i>	魚棲苔	**						6	7	8	9	10	11	
松節藻科	<i>Chondria armata</i>	樹枝軟骨藻	**			3	4	5	6	7					
網地藻科	<i>Padina australis</i>	南方團扇藻	**			3	4	5	6	7					
馬尾藻科	<i>Sargassum spp.</i>	馬尾藻	*		2	3	4	5	6	7	8	9			
萱藻科	<i>Colpomenia sinuosa</i>	囊藻	*				2	3	4	5	6	7			
杜鰻藻科	<i>Rhodopeltis borealis</i>	北方赤盾藻	****	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
仙菜科	Ceramiaceae	仙菜科	*	1	2	3	4	5	6	7	8				
乳節藻科	<i>Dichotomaria marginata</i>	扁對生藻	*			3	4	5	6	7	8	9	10		
沙菜科	<i>Hypnea pannosa</i>	巢沙菜	*	1	2	3	4	5	6	7	8				
杉藻科	<i>Chondracanthus intermedius</i>	小杉藻	*	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
海木耳科	<i>Sarcodia suiae</i>	蘇氏海木耳	*		2	3	4	5	6	7	8				
柏安藻科	<i>Asparagopsis spp.</i>	海門冬	**			3	4	5	6	7	8	9	10		

表 4. 美豔山中間育成基地潛水觀測紀錄之魚種

科	學名	種名	豐度	春	夏	秋	冬
蝴蝶魚科	<i>Chaetodon vagabundus</i>	飄浮蝴蝶魚	**	✓	✓	✓	
	<i>Chaetodon lunula</i>	月斑蝴蝶魚	**	✓	✓	✓	
	<i>Heniochus acuminatus</i>	馬夫魚	*	✓	✓	✓	
雀鯛科	<i>Chrysiptera cyanea</i>	藍刻齒雀鯛	**	✓	✓	✓	
	<i>Abudefduf vaigiensis</i>	七帶豆娘魚	****	✓	✓	✓	
	<i>Abudefduf sexfasciatus</i>	六線豆娘魚	***	✓	✓	✓	
	<i>Abudefduf bengalensis</i>	孟加拉豆娘魚	**	✓	✓	✓	
	<i>Chromis notata</i>	尾斑光鰓雀鯛	**	✓	✓	✓	
石鯛科	<i>Amphiprion clarkii</i>	克氏雙鋸魚	*	✓	✓		
	<i>Oplegnathus punctatus</i>	斑石鯛	****	✓	✓	✓	✓
	<i>Oplegnathus fasciatus</i>	條石鯛	*		✓		
單棘魷科	<i>Thamnaconus modestus</i>	短角單棘魷	**		✓		
蓋刺魚科	<i>Pomacanthus semicirculatus</i>	疊波蓋刺魚	**	✓	✓		
鱒科	<i>Dactylopus dactylopus</i>	指腳鱒	**	✓	✓		
躑魚科	<i>Antennarius maculatus</i>	大斑躑魚	*		✓		
鯷科	<i>Sardinella lemuru</i>	黃澤小沙丁魚	*****	✓			
鰻鯰科	<i>Plotosus lineatus</i>	線紋鰻鯰	*		✓		
管口魚科	<i>Aulostomus chinensis</i>	中國管口魚	*		✓		
七夕魚科	<i>Plesiops nakaharae</i>	仲原氏七夕魚	*		✓		
天竺鯛科	<i>Pristiapogon fraenatus</i>	棘眼鋸天竺鯛	**	✓	✓	✓	✓
鯛科	<i>Pagrus major</i>	真鯛	****	✓	✓	✓	✓
白鯧科	<i>Platax orbicularis</i>	圓眼燕魚	**				✓
大眼鯧科	<i>Monodactylus argenteus</i>	銀鱗鯧	**	✓	✓		✓
刺尾魚科	<i>Prionurus scalprus</i>	多板盾尾魚	*	✓	✓		
	<i>Acanthurus dussumieri</i>	杜氏刺尾鯛	*	✓	✓		
隆頭魚科	<i>Stethojulis terina</i>	斷紋紫胸魚	*	✓	✓		
	<i>Thalassoma lunare</i>	新月錦魚	*	✓	✓	✓	
	<i>Labroides dimidiatus</i>	裂唇魚	*	✓	✓		
鸚哥魚科	<i>Scarus rivulatus</i>	雜紋鸚哥魚	*			✓	
鯔科	<i>Mugil cephalus</i>	鯔魚	****	✓		✓	✓
四齒魷科	<i>Canthigaster rivulata</i>	雜紋尖鼻魷	*	✓			
舵魚科	<i>Girella mezinga</i>	黃帶瓜子鱗	*	✓	✓	✓	
	<i>Microcanthus strigatus</i>	柴魚	*	✓	✓	✓	

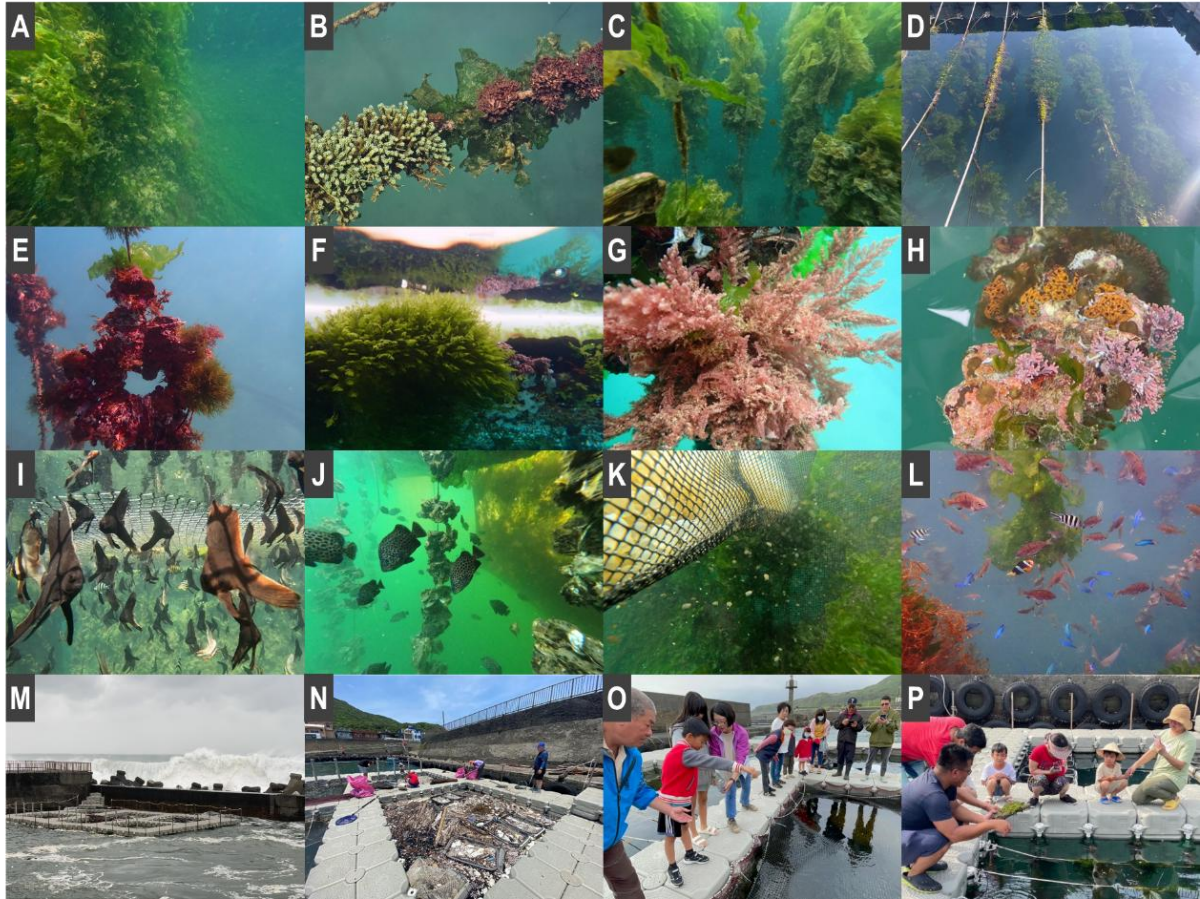


圖 3. 美豔山中間育成基地的生物及日常操作。(A 至 H)吊掛繩索及牡蠣殼串上自然生長的大型藻類及附著生物。(I)暫養在附著天然大藻箱網中的尖翅燕魚。(J)放流後仍棲息於箱網週的斑石鯛。(K)在在附著天然大藻箱網中自然孵化的虎斑烏賊。(L)棲息於中間育成基地週邊的野生魚類。(M)2023 年杜蘇芮颱風時之景象。(N)颱風後造成的漂流木及垃圾堆積。(O 至 P)在地居民及遊客參觀中間育成基地。

均具備顯著成效。接下來，將基於上述成果，進一步探討其科學意涵、潛在挑戰與管理策略，並提出未來發展方向。

(一)模式的綜合效益與科學意涵

美豔山 IMTA 中間育成系統的有效性，源於其多重效益的疊加，形成了一個整合性的生態系統管理方案：

1. 提升放流成效：本模式透過提供一處受庇護的「中間育成」環境，直

接應對了傳統增殖放流中，種苗因運輸緊迫與環境適應不良所導致的高初期死亡率問題。雖本研究未設置直接放流對照組，但對比文獻指出直接放流常導致初期大量死亡(Tanaka et al., 1998)，本系統各物種在育成期間仍能維持 83% 以上的高存活率，顯示此「野化訓練」過程，顯著改善了苗種的生理狀態

與行為適應，對於提升人工繁育苗種的放流後存活率與族群加入率，具有關鍵的應用價值(Tanaka *et al.*, 1998; Lee *et al.*, 2022)。

2. 實現環境友善型水產養殖：長期水質監測數據(關鍵營養鹽持續低於可偵測極限)證實，IMTA 系統內部的生物地球化學循環，能有效同化養殖活動所產生的代謝廢物。此成果表明，該模式有潛力在如港灣等水體交換較為有限的半封閉水域中，達成對周邊環境衝擊極小化的「零負擔」目標(e.g., Kleitou *et al.*, 2018; Shpigel *et al.*, 2018)。
3. 兼具棲地營造功能：研究發現，此系統的物理結構與生物組合，使其超越了單純的養殖設施，兼具功能性人工魚礁 (functional artificial reef) 的效益。透過提升棲地複雜度與基礎生產力，該系統不僅增補了目標物種，更對在地生態系統的整體物種多樣性與食物網結構產生了正向貢獻，實現了從「單一物種復育」向「生態系統尺度修復」的延伸。

(二)潛在風險與管理框架之建構

儘管本模式展現了正面效益，但增殖放流的潛在風險仍需審慎評估。若管理不當，大規模放流可能對野生族群造成遺傳與生態層面的負面影響，例如因親源單一導致的遺傳多樣性喪失(genetic erosion)、因馴化性狀滲入而降低野外適應性，或因

疾病傳播、資源競爭而衝擊原生生態系(Hsu *et al.*, 2022)。

因此，任何基於此模式的應用，皆須建立於一套嚴謹的科學管理框架之下。此框架應包含：(1)遺傳與健康管理：建立嚴格的種源篩選與疾病檢疫標準，優先使用遺傳背景清晰的在地親本進行繁殖，以維持野生族群的遺傳健康。(2)長期監測與評估：建立系統性的放流後追蹤機制(如標識放流、基因監測)，以量化數據評估放流個體對野生族群的實際貢獻，並作為滾動式修正放流策略(物種、體型、數量、時機)的科學依據。

(三)政策意涵與社區共管

本案例的實踐，為當前政策提供了兩個重要的參考面向：

1. 低度利用漁港的生態導向轉型：此模式為臺灣眾多閒置或低度利用漁港，提供了一條除了觀光休閒開發外，更具生態保育內涵的活化路徑 (Liu, 2013; Hsiao and Chen, 2021)。
2. 「其他有效保育措施(OECM)」的本土實踐：美豔山漁港位於「水產動植物繁殖保育區」內，其管理雖以漁業永續為目標，但客觀上達成了長期的生物多樣性保育成效，符合 OECM 之定義。而本 IMTA 系統作為一項在此 OECM 範圍內的主動式管理措施，透過棲地營造與物種增補，進一步強化了該區域的

整體保育效益，為 OEEM 的在地落實提供了具體案例。

此外，社區的深度參與是本計畫得以成功的關鍵。透過與在地漁民及社區的持續溝通，將其關注的經濟物種(如斑石鯛)納入培育標的，成功地整合了在地知識，並將居民轉化為計畫的共同管理者。這種由下而上的協作模式，體現了「里海倡議」(Satoumi Initiative)所倡導的社區共管精神，是確保長期保育成效的基石(Hsiao and Chen, 2021)。

(四)未來研究方向與應用展望

基於本研究的成功經驗，未來的發展規劃將朝向功能深化與應用擴展兩個方向：

1. 復育對象的多樣化：在現有魚類基礎上，將納入高經濟價值的甲殼類(如龍蝦、抱卵蟹類)進行短期庇護放流，並與在地產業結合，嘗試進行珊瑚等無脊椎動物的培育試驗，以擴大復育的物種光譜。
2. 棲地營造技術的深化：利用牡蠣殼及咕啞石等天然基質在系統中培養富含微生物與小型生物的附生群落，除強化水質淨化功能外，亦可為水族產業提供永續的活石替代來源，減少對自然礁岩的採捕。
3. 社會服務功能的擴展：將基地發展為一個科學、透明、可追溯的「優質放流平台」，引導企業與民間的保育資源進行有效的生態投資。同時，結合卯澳漁村的文化地景，開

發深度生態教育課程與導覽活動，實現生態保育、漁業生產與漁村生活「三生一體」的永續發展願景。

五、結論

本研究回顧並總結了將低度利用漁港轉型為 IMTA 中間育成基地的一項多年期創新實踐。實證結果表明，此模式在提升放流效益、維持環境品質、營造生物棲地及促進社區參與等多個維度上，均展現了顯著的正面成效。美豔山漁港案例，為面臨相似挑戰的沿海地區，提供了一個具體可行、具成本效益且適應性高的活化再利用藍圖。更重要的是，本研究在 OEEM 的國際保育框架下，為栽培漁業與海洋資源保育策略，提供了一條整合生態效益與產業永續的路徑，並證實了透過適當的生態工程設計與社會溝通，人為設施亦能對海洋生態系統產生正面貢獻。

參考文獻

- 農業委員會 (2019) 農委會主管計畫補助基準。
農業部 (2024) 農業部主管計畫補助基準。
漁業署 (1981-2021) 漁業統計年報。
Chang, Y.-C., C.-H. Ma, H.-T. Lee, T.-H. Hsu (2021) Polyculture of juvenile dog conch *Laevistrombus canarium* reveals high potentiality in integrated multitrophic aquaculture (IMTA). *Biology* 10(8): 812.
<https://doi.org/10.3390/biology10080812>
Cheung, W.W.L., D. Pauly, U.R. Sumaila (2025) Hope or despair revisited: assessing progress and new challenges in global fisheries. *Fish and Fisheries*

- 26(2): 257-269.
<https://doi.org/10.1111/faf.12877>
- Connerton, M.J., J.R. Lantry, C.R. Bronte, S.R. Lapan (2022) Origin, postrelease survival, and imprinting of pen-acclimated and direct-stocked chinook salmon in Lake Ontario. *North American Journal of Fisheries Management* 42(3): 713-740.
<https://doi.org/10.1002/nafm.10756>
- Fairchild, E.A., N. Rennels, W.H. Howell (2008) Predators are attracted to acclimation cages used for winter flounder stock enhancement. *Reviews in Fisheries Science* 16(1-3): 262-268.
<https://doi.org/10.1080/10641260701678181>
- FAO (2024) The state of world fisheries and aquaculture 2024 - Blue Transformation in action. Rome.
<https://doi.org/10.4060/cd0683en>
- Hsiao, Y.-J., J.-L. Chen (2021) Different perspectives of stakeholders on the sustainable development of fishery-based communities in Northeast Taiwan. *Marine Policy* 130: 104576.
<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104576>
- Hsu, T.-H., H.-T. Lee, H.-J. Lu, C.-H. Liao, H.-Y. Gong, C.-W. Huang (2022) Maintenance of genetic diversity of black sea bream despite unmonitored and large-scale hatchery releases. *Biology* 11(4): 554.
<https://doi.org/10.3390/biology11040554>
- Kleitou, P., D. Kletou, J. David (2018) Is Europe ready for integrated multi-trophic aquaculture? A survey on the perspectives of European farmers and scientists with IMTA experience. *Aquaculture* 490: 136-148.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.02.035>
- Lee, H.-T., Y.-C. Chang, C.-H. Liao, T.-H. Hsu (2022) Development of integrated multitrophic aquaculture-based cage rearing system in an underutilized fishing port and its application in marine stock enhancement. *Frontiers in Marine Science* 9: 998198.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2022.998198>
- Liu, W.-H. (2013) Managing the offshore and coastal fisheries in Taiwan to achieve sustainable development using policy indicators. *Marine Policy* 39: 162-171.
<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2012.11.001>
- Pauly, D., D. Zeller (2016) Catch reconstructions reveal that global marine fisheries catches are higher than reported and declining. *Nature Communications* 7(1): 10244.
<https://doi.org/10.1038/ncomms10244>
- Rosenberger, S.J., W.P. Connor, C.A. Peery, D.J. Milks, M.L. Schuck, J.A. Hesse, S.G. Smith (2013) Acclimation enhances postrelease performance of hatchery fall chinook salmon subyearlings while reducing the potential for interaction with natural fish. *North American Journal of Fisheries Management* 33(3): 519-528.
<https://doi.org/10.1080/02755947.2013.768567>
- Shpigel, M., L. Shauli, V. Odintsov, D. Ben-Ezra, A. Neori, L. Guttman (2018) The sea urchin, *Paracentrotus lividus*, in an integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) system with fish (*Sparus aurata*) and seaweed (*Ulva lactuca*): Nitrogen partitioning and proportional configurations. *Aquaculture* 490: 260-269.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.02.051>
- Sumaila, U.R., T.C. Tai (2020) End overfishing and increase the resilience of the ocean to climate change. *Frontiers in Marine Science* 7: 523.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00523>
- Tanaka, M., T. Seikai, E. Yamamoto, S. Furuta (1998)

Significance of larval and juvenile ecophysiology for stock enhancement of the Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Bulletin of Marine Science* 62(2): 551-571.

Worm, B., S. Orofino, E.S. Burns, N.G. D'Costa, L. Manir Feitosa, M.L.D. Palomares, L. Schiller, D. Bradley (2024) Global shark fishing mortality still rising despite widespread regulatory change. *Science* 383: 225-230.

<https://doi.org/10.1126/science.adf8984>

Yan, H.F., P.M. Kyne, R.W. Jabado, R.H. Leeney, L.N.K. Davidson, D.H. Derrick, B. Finucci, R.P. Freckleton, S.V. Fordham, N.K. Dulvy (2021) Overfishing and habitat loss drive range contraction of iconic marine fishes to near extinction. *Science Advances* 7: eabb6026.

<https://doi.org/10.1126/sciadv.abb6026>

A Transformation Strategy for Underutilized Fishing Ports: The Application of Integrated Multi-Trophic Aquaculture Cage Systems for Marine Resource Restoration and Stock Enhancement

Hung-Tai Lee¹, Yung-Cheng Chang^{2,3}, Yu-En Huang², Cheng-Hsin Liao¹, Te-Hua Hsu^{2,3*}

¹Department of Environmental Biology and Fisheries Science, National Taiwan Ocean University

²Department of Aquaculture, National Taiwan Ocean University

³Center of Excellence for the Oceans, National Taiwan Ocean University

Abstract

The depletion of coastal and offshore fishery resources, driven by global climate change and overfishing, has led to the disuse of some fishing ports as their functions decline, making their revitalization a critical issue. This paper summarizes the multi-year results from 2021 to 2024 of establishing the nation's first "Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA)" intermediate culture base at Meiyanshan Fishing Port in Gongliao District, New Taipei City. It explores the feasibility and benefits of this model as an ecological transformation strategy for underutilized fishing ports. This system leverages the sheltered characteristics of the fishing port to set up net cages and implements the IMTA model, which integrates stocked fish species (primary consumers), oysters (filter feeders), phoenix snails and sea urchins (detritivores), and macroalgae (producers) to create a micro-ecosystem that promotes nutrient cycling. The research demonstrates that conducting intermediate culture through this model not only effectively mitigates the stress on fish fry during transportation and facilitates their early adaptation to the wild environment but also achieves survival rates of over 83% across all cultured species. The bioremediation function within the IMTA system maintained water quality, with levels of ammonia nitrogen and nitrate remaining undetectable, thus preventing environmental burden. More significantly, the physical structure of the system successfully created a complex habitat, attracting over 33 species of wild fish from more than 22 families and a diverse range of invertebrates. This has markedly enhanced the biodiversity within the port area, effectively serving the function of an "Other Effective Area-Based Conservation Measure (OECM)." Therefore, transforming underutilized fishing ports into IMTA intermediate culture bases represents a multi-beneficial and sustainable development strategy that combines culture-based fisheries, ecological conservation, habitat restoration, and

community engagement. Its success provides an innovative and replicable model for marine resource restoration in Taiwan.

Keywords: Intermediate Culture, Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA), Underutilized Fishing Port, Resource Restoration, Habitat Creation

Received 09 October 2025; revised 09 December 2025; accepted 10 December 2025; available online 31 December 2025

*Corresponding Author's E-mail: realgigi@mail.ntou.edu.tw

DOI: [10.29474/FER.202512.0107](https://doi.org/10.29474/FER.202512.0107)

