

臺灣東北部沿海海域海洋生態系統 模式與預測漁業活動造成之影響

金建邦、陳威克、吳繼倫、葉信明、藍揚麒、劉國強、黃閔裕

水產試驗所海洋漁業組

前言

Van Dyne 在 1969 年即提出生態系管理 (ecosystem management) 之想法並首先應用在陸域生態系上，但以海洋生態系為基礎之漁業管理概念 (ecosystem-based approach) 卻一直到近幾年才漸漸受到重視。過去制訂漁業管理方法通常是根據單一物種的資源評估結果，而且僅聚焦於該物種的開發強度與永續利用，然而從生態系中移除單一物種的生物量不僅會危及該物種的生存，也會透過捕食－被捕食的關係影響到食物網上的每一個物種。聯合國糧農組織在 2003 年特地針對以生態系為取向之漁業管理方法 (ecosystem approach to fisheries, EAF) 提出一系列的觀點和管理建議，顯示漁業管理已經由單一物種的管理轉變為以整個或部分海洋生態系為基礎來進行的資源管理模式。

臺灣周圍海域乃西太平洋島鏈與大陸沿岸交會地帶；多樣化的棲地與複雜的海流系統造就臺灣海洋生物的高度多樣性。臺灣東北海域盛產各種蝦、蟹、花枝、小卷與赤鯨、馬頭等高經濟性魚類，是沿近海漁業的主要作業區；此外，亦是多種大洋性魚類的洄游路線，因此吸引不少鯨豚到此聚集覓食，而

成為臺灣賞鯨豚的最佳地點之一。本研究以整個生態系為基礎，使用 Ecopath with Ecosim (EwE) 進行臺灣東北部沿海海域海洋生態系統 (北緯 24.3–25.3°、東經 121.5–122.2°) 之建構，與各漁業資源時空變化之分析，並模擬不同漁業開發程度對該海域內生態系統的影響。

研究方法

一、Ecopath 模式建構原理

Ecopath 是一個由捕食者和被捕食者互動概念發展出來，用來模擬水生生態系統機制與族群動力學之套裝軟體，此軟體可建構在能量平衡狀態下的水生生態系統模式。

本研究將臺灣東北部沿海海域生物資源之生物學和生物量研究資料加以彙整 (表 1)，而後使用 EwE 軟體估算海洋或是淡水生態系中各物種之間的能量傳遞狀況，模擬不同漁業開發程度對該海域內生態系統的影響。模式的架構是根據能量平衡之原理。在一年內每一個生物族群的生產量 (production/biomass, P_i/B_i) 和遷入該海域內的生物量 (immigration, I_i) 等於被捕食量 (predatory losses, $M2_i$)、其他自然死亡量 (other natural

表 1 臺灣東北部沿海海域海洋生態系統生態參數輸入與估計

物種/群	能量位階	生物量 (mt/km ²)	生產率 (year ⁻¹)	捕食率 (year ⁻¹)	生態利用效率
鯨豚類	4.59	0.003	0.32	18.37	0.03
小型魴鰭類	3.73	0.032	0.50	2.50	0.67
小型鯊魚	3.75	0.038	0.45	2.25	0.58
鬼頭刀	4.00	0.012	1.68	8.48	0.85
鯖科魚類	3.74	0.006	3.37	32.57	0.99
蝦類	2.28	3.935	10.00	40.00	0.99
蟹與龍蝦類	3.53	0.127	1.09	6.54	0.70
油魚類	3.98	0.001	2.00	10.00	0.90
鱈魚類	3.97	0.012	0.80	4.00	0.90
鱈科魚類	3.78	0.015	1.79	7.14	0.95
鮭科魚類	3.66	0.057	0.57	2.85	0.95
石首魚類	3.63	0.019	1.50	7.50	0.95
頭足類	3.27	0.114	2.50	25.00	0.99
扁魚類	3.40	0.001	2.50	10.00	0.95
鯛科魚類	3.35	0.055	0.80	4.00	0.95
沙鯪類	2.94	5.120	2.00	10.00	0.99
海鰻類	4.05	0.021	1.00	5.00	0.85
白帶魚類	4.04	0.011	2.50	12.00	0.95
剝皮魚類	3.47	0.021	2.50	12.00	0.95
鯉魚類	3.06	3.458	3.00	15.00	0.99
其他表層性魚類	3.37	4.492	2.50	12.00	0.95
其他底棲性魚類	3.13	0.543	2.00	10.00	0.95
底棲無脊椎動物	2.47	2.645	2.00	10.00	0.95
貝類	2.06	2.518	3.00	15.00	0.95
浮游動物	2.10	4.550	50.00	200.00	0.95
浮游植物	1.00	4.740	400.00	0.00	0.50
海草	1.00	0.842	100.00	0.00	0.50

mortality, $M0_i$)、漁業開發利用的生物量 (yield, Y_i) 和遷出該海域內生物量 (emigration, E_i) 的總和。 $P_i/B_i \times B_i + I_i = (M2_i + M0_i) \times B_i + Y_i + E_i$ 。本研究以各物種被生態系中其他物種或漁業利用的比例—生態利用效率為參數，以 Ecopath 來估算各物種之生物量。

二、能量位階 (trophic level) 之估算

能量位階代表某一物種捕取營養時在生態系中距離原始最低階能量之位置。過去研究指出，全球海洋生態系皆因過度漁撈導致漁獲物能量位階降低。為了解臺灣東北部沿海海域海洋生態系之族群結構變化情形，本研究利用漁獲物之胃內容物資料估算各物種

之能量位階。

三、綜合生態影響力 (mixed trophic impact, MTI)

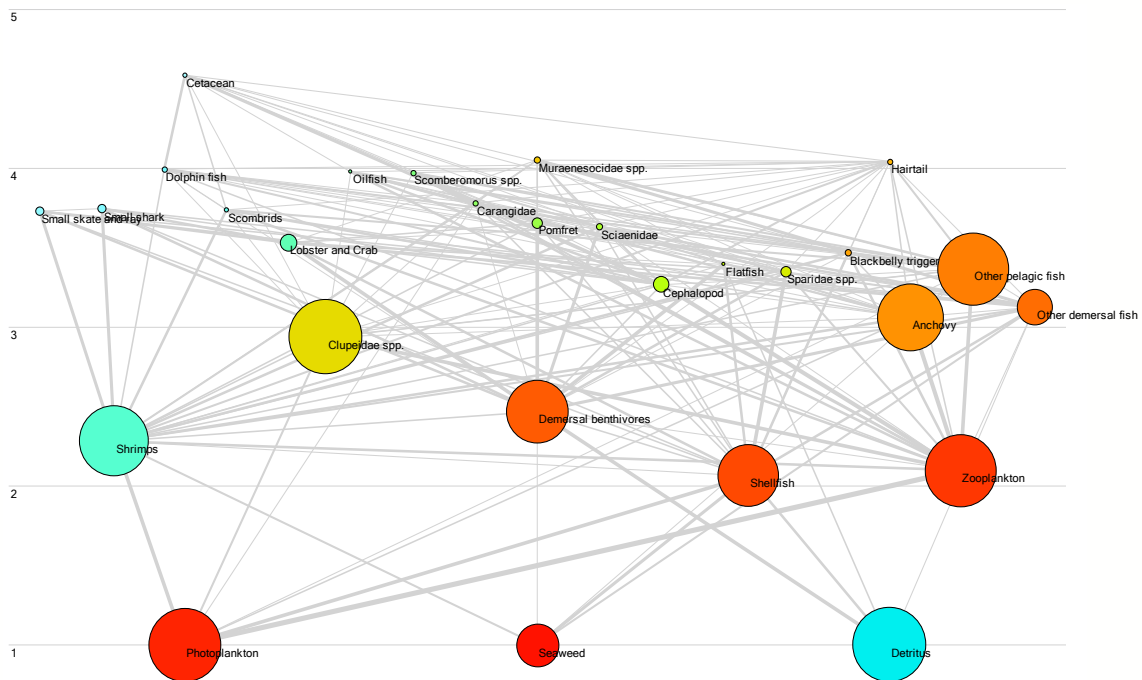
本研究係利用矩陣估算各物種之綜合生態影響力。綜合生態影響力代表 i 物種直接捕食 j 物種 (或被 i 物種捕食) 之直接影響力，與透過捕食生態系中之其他物種 (或被其他物種捕食) 對 j 物種間接影響力的總和。

結果與討論

一、能量位階

能量位階越高之物種代表在本生態系中為高階捕食者，通常體型較大以其他魚類為食，對其他物種會產生 Top-down control (下行控制)。而能量位階越低之物種則通常生態系中其他物種之主要餌料生物，並透過

Bottom-up control (上行控制) 影響生態系中其他物種。例如基礎生產者，底棲無脊椎動物與貝類等。本研究利用實地採樣與文獻蒐集之各物種胃內容物資料進行分析。結果顯示，在臺灣東北部沿海海域海洋生態系中，能量位階以鯨豚類的 4.59 為最高，底棲軟骨魚類中，小型魷類能量位階是 3.73，小型鯊魚則是 3.75。其他硬骨魚類以白帶魚類與海鰻類最高均為 4.05，鬼頭刀為 4.00，也是本海洋生態系內能量位階較高之物種。其他硬骨魚類中，鯖科魚類為 3.74、油魚類 3.98、鰹魚類 3.97、鰺科魚類 3.49、鯧科魚類 3.66、石首魚類 3.63、扁魚類 3.34、鯛科魚類 3.35、沙鯪類 2.94、剝皮魚類 3.47、鯉魚類 3.06，蝦類 2.28，蟹與龍蝦類 3.53，頭足類 3.27，底棲無脊椎動物 2.47，貝類 2.06 (如圖及表 1)。



臺灣東北部沿海海域海洋生態系統能量流動與能量位階

二、生物量之估計

本研究將所蒐集的各物種生物學，資源狀況及胃內容物資料輸入 Ecopath 軟體進行生物量估計。從生態系結構進行分析，本海洋生態系高能量位階之捕食者生物量普遍較少，如小型魷魚類與小型鯊魚類之生物量分別為 0.032 mt/km^2 與 0.038 mt/km^2 ，鬼頭刀為 0.012 mt/km^2 ，鯖科魚類之生物量為 0.006 mt/km^2 較鬼頭刀少，是由於本生態系較靠沿岸，而鯖科魚類大多洄游於較北邊的鄰近海域。油魚類 0.001 mt/km^2 ，鰹魚類 0.012 mt/km^2 ，鰱科魚類 0.015 mt/km^2 ，白帶魚 0.011 mt/km^2 ，扁魚類 0.001 mt/km^2 。

而能量位階較低的物種生物量則普遍較多，如沙鯰類 5.12 mt/km^2 ，鰱科魚類 0.057 mt/km^2 ，石首魚類 0.019 mt/km^2 ，海鰻類 0.021 mt/km^2 ，鯛科魚類 0.055 mt/km^2 ，剝皮魚類 0.021 mt/km^2 ，鯉魚類 3.458 mt/km^2 。蝦類生物量為 3.935 mt/km^2 ，蟹與龍蝦類為 0.127 mt/km^2 ，頭足類 0.114 mt/km^2 ，底棲無脊椎動物 2.645 mt/km^2 ，貝類 2.518 mt/km^2 ，浮游動物類 4.55 mt/km^2 ，浮游植物類 4.740 mt/km^2 ，海草 0.842 mt/km^2 (表 1)。

三、漁獲死亡率、漁業開發率與被捕食死亡率

本模式將死亡率分為漁獲死亡率、被捕食死亡率與其他自然死亡率，並估算各物種之漁業開發率 (漁獲死亡率/全死亡率)。小型魷魚類之漁獲死亡率為 0.308 year^{-1} ，漁業開發率為 0.617 。小型鯊魚為 0.261 year^{-1} ，漁業開發率 0.580 。重要的經濟魚種中，鯖科魚類之漁獲死亡率與漁業開發率分別為 1.347 year^{-1} 與 0.400 ，鰹魚類 0.458 year^{-1} 與 0.573 ，

鰱科魚類 0.922 year^{-1} 與 0.515 ，鰱科魚類 0.333 year^{-1} 與 0.585 ，石首魚類 0.796 year^{-1} 與 0.531 ，扁魚類 1.433 year^{-1} 與 0.573 。鯛科魚類 0.388 year^{-1} 與 0.485 ，白帶魚 1.640 year^{-1} 與 0.656 。沙鯰類 0.767 year^{-1} 與 0.384 。蝦類之漁獲死亡率為 1.002 year^{-1} ，蟹類為 0.172 year^{-1} ，此兩個物群之漁業開發率分別為 0.100 與 0.158 。頭足類之漁獲死亡率為 1.076 year^{-1} ，漁業開發率為 0.430 (表 2)。

底棲小型魷魚類與小型鯊魚之被捕食死亡率僅分別為 0.027 year^{-1} 與 0.030 year^{-1} 。鰹魚類為 0.262 year^{-1} ，經進一步分析後得知，鰹魚類主要死亡因素為仔稚魚階段被其他鰹魚類或硬骨魚類捕食。鰹魚類與其他硬骨魚類是鯖科魚類的主要捕食者，鯖科魚類被捕食死亡率為 1.989 year^{-1} (表 2)。各物種其他自然死亡率最低為頭足類的 0.025 year^{-1} ，最高為鯨豚類的 0.310 year^{-1} 。

四、漁業活動對臺灣東北部沿海海域生態系之影響

鯨豚類之生物量相對其他物種來說很低，僅對鬼頭刀、鰹類與油魚三物群有較明顯的下行控制，對生態系中其他物種影響力較小。綜合生態影響力分析結果顯示，小型鯊魚會對底棲的龍蝦與蟹類的生物量產生負面影響，對其主要餌料生物的影響力卻很小，此乃因為其生物量相對於低能階餌料生物來說是很低的。因餌料競爭關係，鯊類物群對高階的小型鯊魚，魷魚類與白帶魚都有負面影響。鯉魚類之生物量會對油魚類之生物量產生正面的影響力。底棲無脊椎動物物群對以牠為餌料的物群，包括龍蝦與蟹類、鰱科、扁魚類等捕食者有正面的影響力。

沿海漁業如底沿繩釣、拖網等對大部分物種群都有明顯的負面影響力，其中對小型鯊魚與底棲小型魷類負面影響力最大。表層漁業如延繩釣、刺網等漁業，對鯨豚類物群生物量負面影響最大，其次為鯖魚類、鰹科、頭足類等物種群，移除鯨豚類反而對鬼頭刀之生物量產生正面影響。本海域內鯨豚類誤捕主要因流刺網所造成，其漁業開發率 0.031 相較於其他物種雖然很低（表 2），

但因鯨豚類為保育類，有成熟年齡晚且產仔數少之生活史特徵。但漁民普遍認為鯨豚類會捕食本海域內高經濟價值魚類，造成漁民經濟上的損失。然而本研究結果顯示鯨豚類在本海洋生態系內僅會對鬼頭刀、鰹類與油魚類三物群有較明顯的影響。依目前結果顯示並不會造成本海洋生態系內其他物種之生物量產生劇烈的變動。

表 2 臺灣東北部沿海海域海洋生態系統各物種全死亡率、漁獲死亡率、被捕食死亡率與漁業開發率估計

物/種群	全死亡率	漁獲死亡率	被捕食死亡率	其他死亡率	漁業開發率
鯨豚類	0.320	0.010	0.000	0.310	0.031
小型魷類	0.500	0.308	0.027	0.165	0.617
小型鯊魚	0.450	0.261	0.030	0.189	0.580
鬼頭刀	1.681	0.411	1.018	0.252	0.245
鯖科魚類	3.370	1.347	1.989	0.034	0.400
蝦類	10.000	1.002	8.898	0.100	0.100
蟹與龍蝦類	1.090	0.172	0.591	0.327	0.158
油魚類	2.000	0.535	1.265	0.200	0.267
鯖魚類	0.800	0.458	0.262	0.080	0.573
鰹科魚類	1.790	0.922	0.779	0.090	0.515
鰹科魚類	0.570	0.333	0.208	0.029	0.585
石首魚類	1.500	0.796	0.629	0.075	0.531
頭足類	2.500	1.076	1.399	0.025	0.430
扁魚類	2.500	1.433	0.942	0.125	0.573
鯛科魚類	0.800	0.388	0.372	0.040	0.485
沙鯪類	2.000	0.767	1.213	0.020	0.384
海鰻類	1.000	0.304	0.546	0.150	0.304
白帶魚類	2.500	1.640	0.735	0.125	0.656
剝皮魚類	2.500	0.722	1.653	0.125	0.289
鯢魚類	3.000	0.886	2.084	0.030	0.295
其他表層性魚類	2.500	0.732	1.643	0.125	0.293
其他底棲性魚類	2.000	1.073	0.827	0.100	0.537
底棲無脊椎動物	2.000	0.189	1.711	0.100	0.095
貝類	3.000	0.703	2.147	0.150	0.234