

搶救《大》魚—漁業資源管理的新思惟

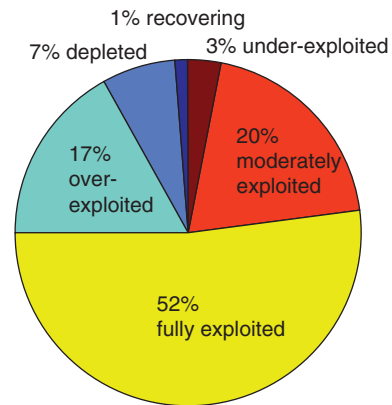
台灣大學海洋研究所 謝志豪 王惟芬

一、世界漁業資源之現狀

漁業生產力佔了全球自然資源中很重要的一部份，在 Costanza 等人[1]的估算中，全球漁業的年產值約有 9,170 億美金，漁業的經濟力量，可見一斑。臺灣漁業的經濟力量在世界上也是名列前茅，近年來臺灣漁產值每年約為 900 億台幣，這只是漁港的交易金額，若加上通路及零售，產值還要再乘上好幾倍。

漁業經濟佔全球經濟相當大的比例，但全球漁業資源量卻在走下坡。許多科學研究都顯示，全球漁業資源可能發生重大危機。例如，Myers 和 Worm [2]指出鮪魚、鱈魚這類大型魚的族群量多半在 70 年代急劇下降，反應了漁具漁法的高科技化及過漁現象。Pauly 等人[3]利用全球的漁獲組成推估出 50 年代初至 90 年代末期每年的平均漁獲食階(trophic level)，他們發現長期以來平均漁獲食階有一下降趨勢，這表示過去可以捕到許多大魚（高食階），而近年來捕到的魚越來越小（低食階），因為大魚抓光了，只好抓小魚。而 Watson 和 Pauly [4]估算全球總漁獲量發現，雖然漁具漁法不斷進步，而且漁撈的努力量持續增加，但 90 年代以來，全球總漁獲量卻沒有多大改變，這表示人類對漁業資源的使用，已達到飽和。當然，這些估算存在許多的不確定性，也有其他科學家認為這些估算太過於悲觀[5]，亦有其他研究指出，漁業資源量的變動可能受到環境變遷的影響（例如，聖嬰現象或全球暖化）[6,7]。然而，在聯合國農糧組織[8]針對全球商業魚種(commercial-target species)資源量的評估分析結果中，有 3/4 以上的魚種的漁撈程度達到完全或甚至過度（圖一），這表示全世界的漁業資源確實有過度漁撈甚至匱乏的危機。

因為漁業資源代表著龐大的經濟力量，在漁業資源管理與研究上，我們必須好好的思考。在這篇簡短報導中，我希望能提供一些漁業資源管理的新思惟。以下，我先簡要說明數十年來傳統



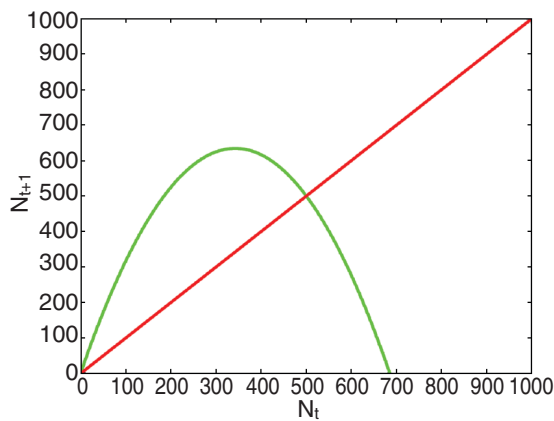
圖一 聯合國農糧組織(FAO)估計 2004 年的海洋漁業資源現況。低度捕撈(underexploited)，中度捕撈(moderately exploited)、高度捕撈(fully exploited)、過度捕撈(overexploited)、匱乏(depleted)、復原中而禁漁(recovering)。

漁業管理根本精神，接著討論何以在這樣的傳統想法中會產生忽視的風險，最後整理一些當今漁業資源管理的新思惟。

二、傳統漁業管理根本精神之「簡易版」

漁業資源管理的最大問題，當然可以說是政策面的問題。在此，不談政治，而要針對科學上的問題，提出檢討：

傳統上，漁業資源管理可以用一簡單的數學式說明： $N_{t+1} = N_t + rN_t(1 - \frac{N_t}{K})$ ， N_t 是魚群在時間 t 的族群量， r 是族群成長率， K 是環境對此族群的承載量(carrying capacity)， N_{t+1} 是魚群在下一個時間點 $t + 1$ 的族群量。當族群量穩定時，即 $N_{t+1} = N_t$ ，這個方程式有一個簡單的平衡(N)，亦即圖二中對角($Y = X$)和拋物線($N_{t+1} = N_t + rN_t(1 - \frac{N_t}{K})$)的交點。簡單的說，當族群量小於這個平衡點，魚群量會增加（想像大海中還有許多資源，魚兒可以利用之而大量繁殖生長），反之當族群量大於這個平衡點，魚群量



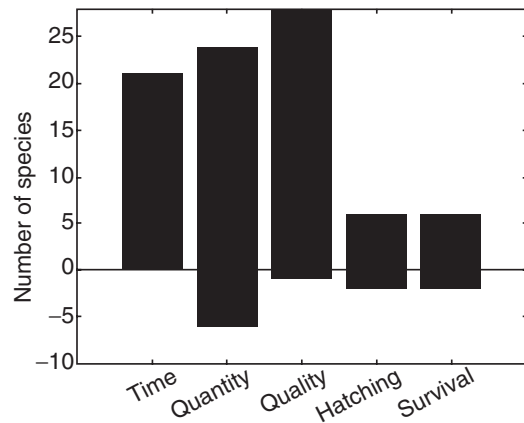
圖二 漁業管理的基本假設。拋物線為一邏輯式函數，與夾 45 度角的直線表示 $x = y$ (1 : 1) 函數。兩個函數的交集就是平衡點。

便會減少（想像海中的魚過多，因為彼此競爭而飢餓死亡）。在這簡單的系統中，不論現存的族群量如何，魚群量終將走向平衡點。在這樣的假設下，抓魚完全符合天理，只要我們不要抓的太多，魚群量最終會恢復到平衡點。而漁業科學家的最大任務就是避免漁民抓的太多，而所謂的多寡，是相對於剛提到的平衡點而言，畢竟，我們不想偏離平衡點太遠，否則要恢復到平衡點所須的時間會太長。

這樣的邏輯，乍看之下合理，卻存在著至少三個嚴重的缺點：一、管理目標在估算 N ，忽略了 N 是由不同年齡（體型）的魚所組成；二、自然環境不斷地在變動，難道 N 不會隨著環境變動而改變嗎？更簡單地說，難道 r 或 K 不會隨著環境變動而改變嗎；三、不同的魚種彼此間有交互作用，而這些作用在簡單的數學式中完全沒有考慮到。目前科學家對第三點的研究尚不足，因此，以下我僅就第一、二點加以探討。

三、忽視的風險—過漁造成魚群「年齡金字塔」的低齡化

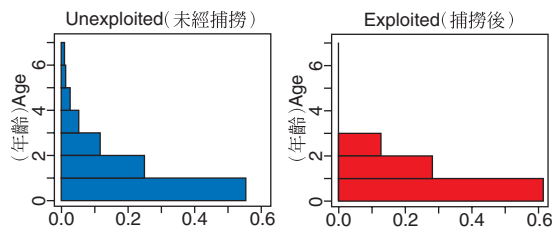
漁業管理首重於估算明年可以抓多少魚 (C_{t+1})，而 C_{t+1} 取決於知道今年有多少魚 (N_t) 以及利用上述數學式對 N_{t+1} 的估算。傳統上，在這些估算過程中，只考慮魚群總生殖量 (total spawning biomass)，無視魚群的年齡（體型）組成，通常年紀較大的魚體型也較大。也就是說，這些估算過程中假設每一單位體重的魚，無論其年齡（體型）大小，明年都會產出相同量的小魚。但這



圖三 彙整科學文獻中受到母系效應影響早期生活史特徵的魚類物種數量。(Hsieh, 2006)。時間(Time)指產卵時間，數量(Quantity)指魚卵數量，品質(Quality)指魚卵品質，孵化(Hatching)指卵的發生過程或是孵化率，存活率(Survival)指仔稚魚存活率。正值表示有正向效應，負值表示有負向效應或是沒有效應。整體來看，母系效應對魚類早期生活史特徵有正向效應。

與自然界的現象不符，在自然界中我們經常發現，魚體的大小和牠的生產力並非呈線性關係；此外，大型魚（年紀大且有經驗的個體），通常會產出更多的後代（以每單位體重來比），而且這些後代常有較佳的存活率，這便是所謂的「母系效應」(maternal effects)。在過去有相當多的研究在魚群中發現這樣的證據。圖三彙整了其他人發表的研究報告，顯示出母系效應在魚類中確實是很普遍的現象[9]。用個簡單的例子，50 隻 2 公斤魚的生產力，遠大於 100 隻 1 公斤魚的生產力，亦即 N_t 就算在兩種情況下皆等於 100，但估算出的 N_{t+1} 應該相去甚遠。

除了上述的生產力問題，母系效應還有更深一層的生態問題。之前提到環境是不斷變動的，母魚產卵後，這些卵能否孵化、長大成魚，是個機率問題。假如產卵的時間和地點環境好，這些卵長大成魚的機會就大，反之，機會就小。但是魚並沒有預知環境的能力，要解決這個困難，在演化上，魚類發展出分散風險的機制 (bet-hedging)：一是採用魚海戰術（產一大堆卵），二是在不同的時間和地點下產卵[10]。重要的是，這些分散風險機制與魚群的年齡（體型）組成有密切的關係。由圖三可以看出，大型魚（年紀大



圖四 以假設的例子說明年齡截切效應。在未經捕撈的族群中，年齡結構健康，具有一定比例的年長個體，當族群經過具有體型選擇性的捕撈後（大部分漁業都是如此），年齡結構中僅剩年輕個體。

且有經驗的個體）比年輕的魚擅長魚海戰術。並且有許多研究顯示，不同年級群的魚傾向在不同的時間和地點下產卵[10]。

由此看來，漁撈確實強烈威脅到魚群的存續。因為大家都要捕大魚，在長久的「人擇」下，魚類的年齡（體型）組成發生相當大的改變，從一個健康的年齡（體型）組成（大小魚都有），變成幾乎只剩下年輕的小個體（圖四），這種因過漁造成魚群「年齡金字塔」低齡化的過程，叫做「年齡截切」（age-truncation）。這樣的體型選擇性，有其演化效應，難以逆轉。長久下來，魚群對抗環境變動，分散風險的能力也就消失了。從環境變動和分散風險的角度來看，漁業資源管理政策，不得不好好考慮魚類的年齡群結構。若不將這些因素納入考量，估算出來的 N_{t+1} 也沒有多大的實質意義。

四、漁業資源管理的新思惟

近來的研究顯示，「年齡截切」效應使得魚群對於環境變動更加敏感[11]，而族群量的變動也更為加劇[12,13]，增加了魚群崩解的機率[14]。目前許多證據都指出，漁業造成世界上許多魚群發生年齡結構的改變。因此，若要達到永續漁業的目標，在漁業管理上除了考量總產卵生物量(total spawning biomass)，也要試圖保存魚群之年齡結構。對此，我提出下列幾點建議：(1)要保存空間異質性，這可以針對不同區域的亞族群，採取輪流禁魚的方式來達成，最好還能考量各個亞族群的生殖時間，(2)規範漁獲的最大與最小體長[10]，(3)在管理規劃中加入以年齡為依據的生物性參考點[15]，這可以參考魚群評估報告

中各年齡層之產卵量、魚卵生存力與產卵期長度，也就是在估算 N_{t+1} 時，要將 N_{t+1} 視為魚群年齡結構的函數。實際上，只要有足夠的生物資訊，是有可能估計出讓魚群量最大化的最適漁獲體長[16]，(4)設置海洋保留區，這些區域會保護到年長的大體型個體，對某些底棲性魚類的管理可能有所助益。另外值得一提的是，全世界在採用禁魚來恢復漁業生產力的政策上，多半僅以魚群總和生物量(total biomass)的回復來當成是解除禁魚的指標[10, 17]，而沒有考量年齡結構是否回復，這種政策對魚群來說，其實造成相當大的風險。

參考文獻

- [1] R. Costanza et al., *Nature*, **387**, 253 (1997).
- [2] R.A. Myers and B. Worm, *Nature*, **423**, 280 (2003).
- [3] D. Pauly et al., *Science*, **279**, 860 (1998).
- [4] R. Watson and D. Pauly, *Nature*, **414**, 534 (2001).
- [5] R. Hilborn, *Ecosystems*, **10**, 1362 (2007).
- [6] G. Beaupre et al., *Nature*, **426**, 661 (2003).
- [7] L.W. Botsford, J.C. Castilla and C.H. Peterson, *Science*, **277**, 509 (1997).
- [8] FAO, *Review of the state of world marine fishery resources* (FAO, Rome, 2005), Vol. 457, p. 14.
- [9] C. H. Hsieh, Ph.D. Dissertation, University of California- San Diego, La Jolla (2006).
- [10] S.A. Berkeley et al., *Fisheries*, **29**, 23 (2004).
- [11] C.H. Hsieh et al., *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **65**, 947 (2008).
- [12] C.H. Hsieh et al., *Nature*, **443**, 859 (2006).
- [13] C.N. K. Anderson et al., *Nature*, **452**, 835 (2008).
- [14] C.H. Hsieh et al., *Nature*, **435**, 336 (2005).
- [15] S.A. Murawski, P.J. Rago and E.A. Trippel, *ICES J. Mar. Sci.*, **58**, 1002 (2001).
- [16] R. Froese et al., *Fish. Res.*, **92**, 231 (2008).
- [17] ICCAT-SCRS, *Stock status report-Swordfish-North Atlantic, 2006*, FAO, Rome (2006).