



# 海洋生物多樣性對海洋生態系生產力的影響

葉信明 譯

水產試驗所沿海資源研究中心

人類所利用的海洋生態系正面臨物種及族群消失之危機。生物多樣性對維持生態系以及人口持續成長的人類究竟有何重要性？陸地上的區域尺度研究顯示，物種數的增加可提高生態系的生產力和安定性。但是陸地範圍尺度上的生態多樣性變化之重要性的知識有限，且由區域尺度研究結果很難推用至長期及全面性的管理決策上。由於海洋的地理範圍大及物種的複雜性，區域尺度的結果很難直接應用至全球的尺度上。海洋提供人類各種食物、貨物和服務，人類大部分的人口居住在海岸地區，海洋功能的停止如防洪或廢棄物的去毒將造成災害性的結果，海洋生物多樣性的改變可直接由資源的利用，污染和棲地的破壞造成，或間接由氣候變遷和海洋生物地質化學的干擾而來。以全球尺度來看，海洋生物的絕種速度緩慢，但地區性生態系，如河口、珊瑚、沿岸和海洋魚類群聚等則面臨族群、種類、功能群的消失。雖然已知某些特定物種提供給人類社會重要的服務，但生物多樣性在生態系角色尚未驗證。

本篇文章分析世界各地的實驗結果，以長期時間序列資料及全球漁業資料來驗證生物多樣性的減少，如何在時間和空間上影響生態系所提供給人類的服務。整體來看，多樣性減少時，資源枯竭以指數性速度增加，而生態系從干擾回復的能力、穩定性和水的品質以指數性速度減少。生物多樣性增加 1

倍平均可以帶來生產力增加 4 倍及生態系的變動減少 21%。本篇文章的結論為海洋生物多樣性的減少減低了海洋提供食物、維持水質和從干擾回復的能力，而目前可利用的資料顯示這些減少的趨勢是可以回復的。

以下為本研究綜合分析小規模實驗至全球性漁業資料來探討海洋生物多樣性改變對生態系服務的影響。

## 操作性實驗

利用已發表之 32 個操作實驗資料驗證海洋生物多樣性的改變對初級及次級生產力、資源利用、營養循環和生態系安定性的影響。上述功能過去已在海洋生態系研究上討論，雖然高多樣性和關聯性使生物多樣性在生態系統功能上的影響模糊，但上述資料經過整合後，顯示顯著的趨勢（圖 1），初級生產者（圖 1A）和消費者（圖 1B）的多樣性增加，加強了生態系的功能。多樣性較高之操作性實驗的初級和次級生產量增加 78—80%，資源的利用效率則增加了 20—36%。

提高物種多樣性和基因多樣性的操作實驗證實多樣性可加強生態系的安定性（在本篇文章中定義為從干擾回復的能力），生態系的安定性可加強抵抗干擾的能力或受干擾後的回復力。增加食物的多樣性實驗證實增加食物的種類可增加次級生產力及食物能量向

食物網傳送的效率。可能原因為生活史中的不同時期需要不同的食物，而食物的多樣性可增加生產力至最大。

總結來說，實驗結果證實生物多樣性對生產力和海洋生態系的安定性有正相關的關係。

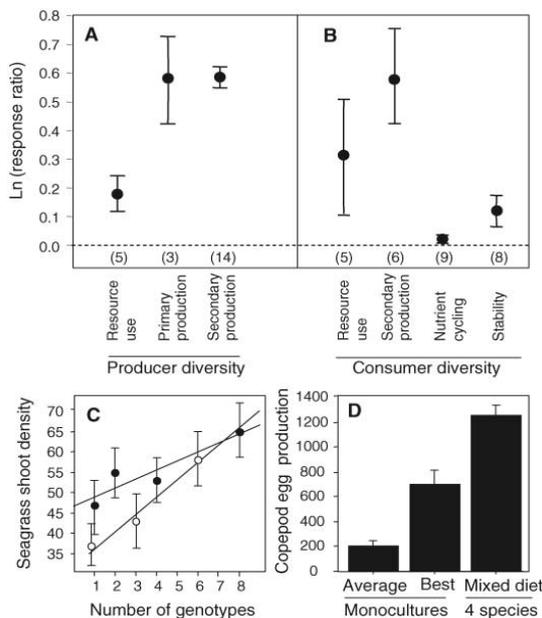


圖 1 海洋生物多樣性的改變與生態系功能關係的操作實驗結果：(A)初級生產者(植物與藻類)和(B)消費者(草食者與獵食者)。多樣性的增加顯著的增強各種生態系功能，括號內數字為研究案例數。(C)基因的多樣性增加海草床對草食動物啃食(實心圓)與惡烈氣候(空心圓)的回復力。(D)食物的多樣性增加動浮的育卵數

## 沿岸生態系

為驗證上述實驗結果是否可以在時空尺度上擴大解釋，本部分利用 12 個沿岸與河口生態系長期監測資料，分析 30–80 種 (平均 48 種) 在每個生態系中經濟與生態上的重要物種變化。結果顯示工業化以後，原生種快

速消失 (圖 2A)。生物多樣性高的地區，其魚類與無脊椎動物的消失與滅絕速度，較生物多樣性低的地區為慢 (圖 2B)。過去千年來，平均 91% 的物種減少 (個體數少於原來族群的 50% 以上)、38% 的物種消失 (個體數少於原來族群的 90% 以上) 及 7% 的物種絕種 (圖 2C)，其中只有 14% 的物種回復其族群數量，這些物種大部分為哺乳類和鳥類。

生物多樣性的減少至少降低 3 項重要的生態系功能：漁獲對象物種數 (-33%)、孵育地 (-69%) 及生物過濾和去毒能力 (-63%)。生物過濾能力的降低可能減低海水品質並增加有毒藻類的大量發生、魚貝類死亡及水中溶氧缺少的機會 (圖 2E)。沿岸洪水的機率增加與海平面上升有關 (圖 2E)，但洪積平原、沿岸溼地、岩礁和植被的消失加速了洪水的發生頻度。外來種的入侵速率增加和原生種生物多樣性的消失速率一致 (圖 2E)。外來種的入侵並不會彌補消失的原生物種多樣性及其功能，因為其包含其他共生生物類如微生物、浮游生物和無脊椎動物。雖然不能直接單純的視為因果，但生物多樣性的消失，確實造成生態系功能的減弱，並增加沿岸生態系的棲地功能消失 (圖 2A 和 2B)。操作性實驗所預測物種數多的生態系較安定的結果可推廣至 regional scale。

## 大洋生態系

為驗證上述實驗結果可推至最大的空間尺度，利用 FAO 的生物多樣性與全球漁業資源資料。將 1950–2003 年 64 個海洋區 (Large Marine Ecosystems, LME) 中的魚類及無脊

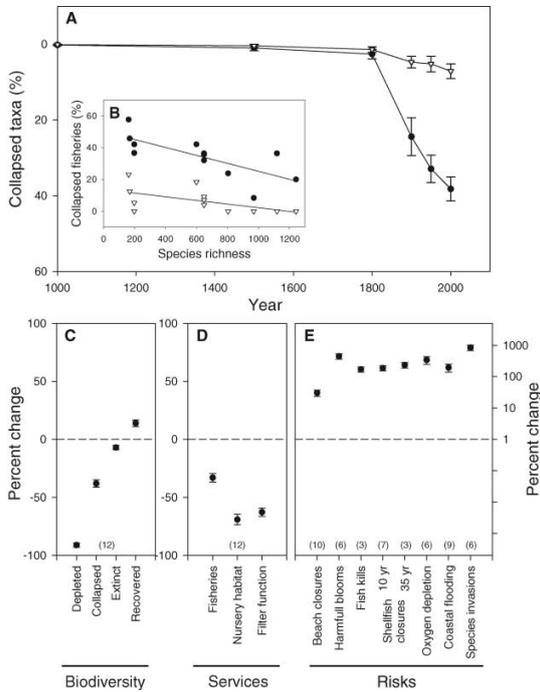


圖 2 沿岸生態系物種多樣性的改變與生態系功能的關係：(A)過去千年來生物族群消失(圓形，>90%的數量消失)和物種滅絕(三角形，100%的數量消失)的趨勢(n=12，歐州、北美和澳洲地區)；(B)魚類物種多樣性與漁業資源枯竭(圓形)和資源消失(三角形)的關係，迴歸係數為非常顯著(p<0.01)。生態系功能的減少對(C)生物多樣性、(D)生產力與(E)風險的影響(括號內為研究案例數)。

椎動物挑出進行研究。LME為從河口、沿岸至大陸棚及洋流外圍的海域 (>150,000 km<sup>2</sup>)。這些海洋區有特殊的水深、水文、生產量和食物網。過去 50 年來LME佔全球漁獲量的83%。魚類生物多樣性資料另由獨立的分類資料庫來收集分析。

全球漁業資源消失(定義為產量減少至漁獲最盛期的10%以下)的速度在加快之中，2003年預估有29%的漁業資源消失(圖3A，菱形)，累積消失的漁業資源已達65%。LME漁業資源的消失在物種數少的地區發生

的速度比物種數多的地區為快(圖3A)。魚類物種多樣性隨著不同的LME，從近20種至400餘種不等，且以不同的方式影響漁業(圖3C)。第一，漁業資源消失的比率隨物種數的增加而指數性的減少，其次，平均漁獲量在物種數多的地區較物種少的地區為高。高多樣性似乎可增加資源過度利用時生態系的抗

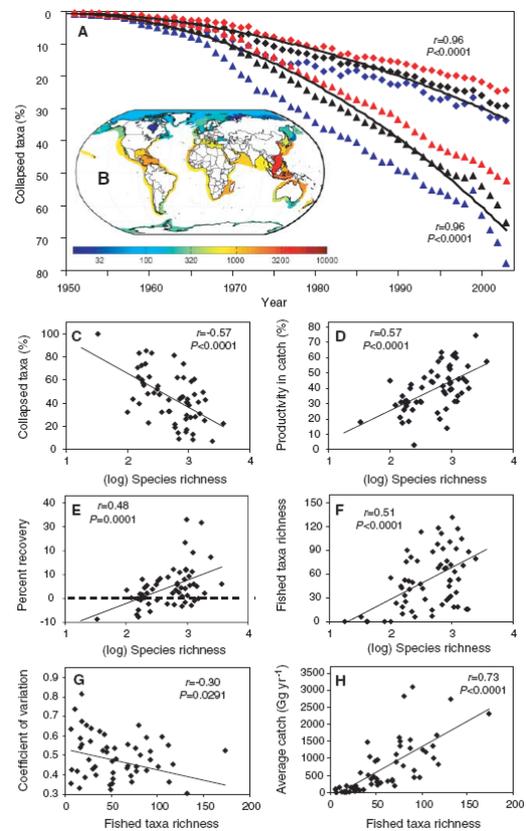


圖 3 大洋生態系的物種消失曲線：(A)過去50年來魚類和無脊椎動物分類群的消失比率(菱形：每年的消失百分比；三角形：累積消失百分比。黑色為所有大洋生態系、藍色為物種數少的大洋生態系(<500種)、紅色為物種數多的大洋生態系(>500種)；(B)64個分析之大洋生態系的魚類物種多樣性密度；(C)物種多樣性與消失族群；(D)物種多樣性與生產量；(E)魚類多樣性與族群消失後15年之物種回復量；(F)物種多樣性與漁獲對象生物分類群數；(G)漁獲對象生物分類群數與變異係數；(H)漁獲對象生物分類群數與總漁獲量。

壓性。資源的回復力（定義為資源消失後，其資源量增加 10%）與魚類多樣性呈正相關。此現象可能是生物多樣性高的海域，會有分類地位相近的物種取代原來物種的生態功能，而維持生產力和回復力。

### 海洋保護區及禁漁區

保育上的最大疑問是人為改變的生態系功能是否可以回復，為了回答這個問題，分析了 44 個海洋保護區和 4 個大型禁漁區的相關資料，結果顯示保護區平均可增加 23% 的物種多樣性（圖 4A），周圍海域的漁業單位努力漁獲量則平均提高 4 倍多（圖 4B）。雖然很多地區尚未有顯著性的差異，但保護區內生態系對風暴和溫度的抵抗力和回復力有增加的趨勢，而由魚類生物量代表之群聚的變異

係數平均減少 21%（圖 4C），觀光旅遊的收入也在保護區建立後增加（圖 4D）。由上述結果看來，生物多樣性的回復可以促使生產量增加、變異數減少，並可增加漁獲量和觀光的收入。

### 結論

由上述的例子顯示，全球多樣性在加快消失中，假如減少的趨勢維持目前速度不變時，預測在 2048 年前所有漁業資源都將消失。原生物種和族群的消失，不止導致人類糧食減少，且降低了生態系的安定性與從快速改變的海洋環境回復之能力。

註：本文譯自 Science, 314: 787-790 (2006 年 11 月 3 日)

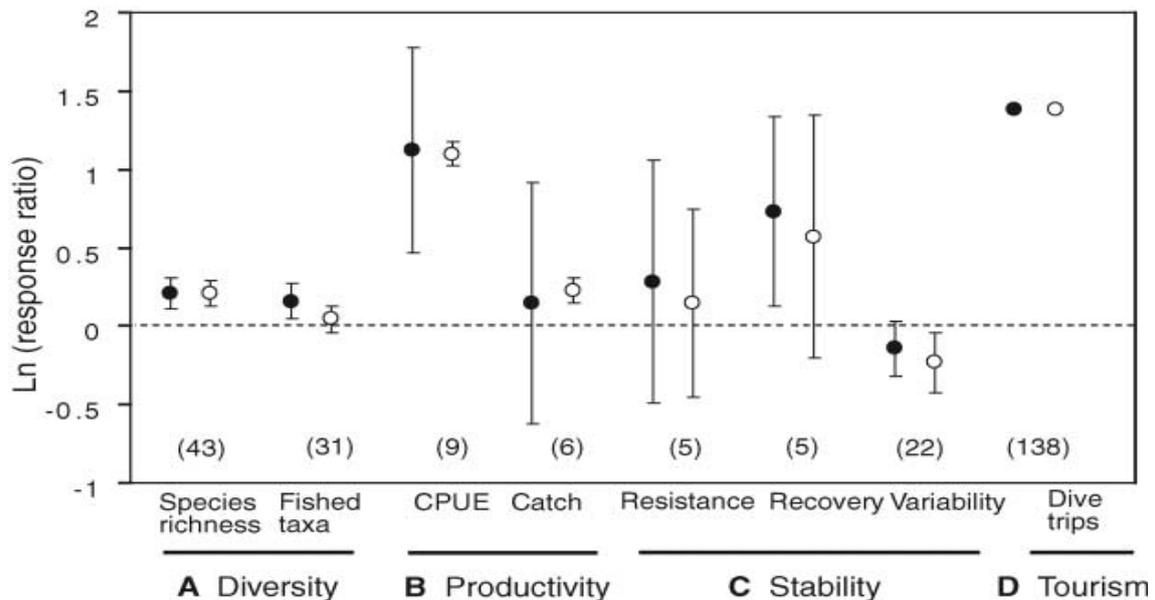


圖 4 多樣性與生態系功能在海洋生物保護區與禁漁區內外的比率：(A)物種多樣性。生態系提供之(B)漁獲量、(C)生態系安定性與(D)觀光旅遊收入