

生態工程影響因子決策分析-以彰濱工業區為例

許啓舜¹ 彭元興¹ 陳信泰² 陳宜清¹

¹大葉大學環境工程學系

²大葉大學休閒事業管理學系

51591 彰化縣大村鄉學府路 168 號

摘要

本研究針對海岸生態工程從規劃到施工過程中所必須考量的影響因子，包括安全度、棲地穩定度、生態復育度、景觀度及經濟度等五項主影響因子，及其次影響因子，從學者與工程專家對各因子所給予的權重，做為決策分析的依據。從安全度、棲地穩定度及生態復育度的變動關聯性，提出在彰濱工業區以土砂側渡、砂腸、人工岬灣及階段化潛堤等生態工法，營造該區域永續發展的基礎，此外也規劃結合體驗活動等休閒遊憩設施，創造親水空間及生態旅遊效益。

關鍵詞：生態工程，生態友善度，生態效益，生態服務。

Factors Influencing Ecological Engineering Decisions for the Changhua Coastal Industrial Park

CHI-SHUN HSU¹, YUAN-SHING PERNG¹, HSIN-TAI CHEN² and YI-CHING CHEN¹

¹Department of Environmental Engineering, Da-Yeh University

²Department of Leisure and Recreation Management, Da-Yeh University

No. 168, University Rd., Dacun, Changhua 51591, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

This study analyzes the factors that influence coastal eco-engineering, which must be considered in the processes that range from planning to construction. They include safety, habitat stability, ecological restoration levels, landscape, economic dimensions, and their secondary impact factors. The weight that scholars and engineering experts attribute to each factor forms the basis of the decision analysis. Based on the correlation of changes, eco-engineering methods are outlined to create a basis for the sustainable development of the region. They include sediments side crossing, sand sausages, artificial headland bays and the application of staged submerged breakwaters in the Changhua Coastal Industrial Park. In addition, the planning combined experience-based activities, such as recreational facilities, the creation of a hydrophilic space, and eco-tourism benefits.

Key Words: ecological engineering, eco-friendliness, eco-efficiency, eco-services.



一、緒論

生態工法 (Ecotechnology) 又稱近自然工法, 是人類在歷經以工業革命之後, 對大自然所提出的回饋與補償反思, 針對生物多樣性及環境永續發展所建構出來的一種工程概念, 而生態工程 (ecological engineering) 這個名稱, 則於 1962 年由 Odum 首次提出[25]。

(一) 生態服務系統概念

Odum et al.[26]的研究報告中顯示出海洋生態所提供的價值性相當高, Turner[30]則將生物多樣性的總經濟價值, 分為使用價值 (use value) 與非使用價值 (nonuse value), Daily[12]定義生態系統服務, 包括透過對生態系統和物種的補償, 以及維持及實現人類生活的條件與過程。DeGroot et al.[13]則將生態服務系統定義為從自然系統中獲得, 作為人類使用的材料產品。

但是 Gray[19]認為棲地破壞已經被證實是對近岸海洋生物多樣性最嚴重的威脅原因之一, Lundin et al.[22]認為棲地破壞導因於改變陸域土地利用模式, 而結果則造成包括泥質灘地、珊瑚礁群和近岸區生物棲息地的惡化, Worm et al.[34]認為過度的捕撈, 尤其底拖網的使用更是造成生物棲地損失, Agardy[8]認為海岸生態的劇烈衰退, 使得近岸生物棲息地陷入更大的風險, Worm et al.[35]認為漁撈業的崩解造成海洋生態服務系統衰退, Farber et al.[16]認為在考慮對近岸地區的開發時, 重要的不僅是生態系統商品和服務將會被影響, 也要考慮對不同社會團體的實際價值。要等到未來發展活動成本更緊密結合現在的利益, 否則海洋生態的永續發展和恢復力的維持將遙遙無期[29]。

(二) 與生態工業區的概念結合

台灣地狹人稠加上海島型環境的限制, 對於工業區的發展一直定位在積極開發的方向, 在陸域土地開發成本不斷提高之後, 濱海工業區的開發便成為取得廉價土地的最佳選項, 而彰濱工業區也應運而生。然而彰濱工業區正位於西部海岸最大的泥質灘地, 包括王功溼地、漢寶濕地和芳苑溼地, 擁有豐富的生態資源。

生態工業區 (eco-industrial park) 的概念雖然是架構在生產過程資源的回收再利用, 但是對於事業廢棄物, 尤其是廢水處理方面, 溼地本身即擁有良好的淨化水質功能, 因此若能透過生態工程的營造, 保有本區域溼地生態環境, 結合本研究中生態旅遊區規劃, 有效地與工業區結合, 將能創造

經濟與環境雙贏, 這著個前提之下, 在彰濱工業區周圍海域推動生態工程便有其必要性了。

(三) 海洋生態價值

海洋所提供的效益除了做為生態保育之外, 其實也提供了頗為直接的收益, 以旅遊的角度來看, 海洋所具備的休閒遊憩價值在未來是相當可觀的效益, Bockstael et al.[9]則強調休閒遊憩的利益, 認為大部分人類幸福感的增加和海岸景觀改善會累積到休閒遊憩的功能表現上, Phillips and Jones[27]認為旅遊是世界上最大且最快速成長的產業, 而 World Travel and Tourism Council[33]也提出報告書預測從 2007 到 2016 旅遊產業平均每年將有 4.2% 的成長。

此外, Hinrichsen[21]提出海岸生態系統在生態上為許多生物提供棲地等重要意義, 海洋生態學家也把遍布近海的珊瑚對生物多樣性的貢獻認為跟熱帶雨林一樣重要, Ray and Grassle[28]認為在海洋環境中的生物, 其基因多樣性比陸地上的多很多。

1. 從生態對經濟的貢獻分析

World Bank[32]在提出的報告中指出, 1994 年全球海洋系統資源對人類福利的直接貢獻為 1600 億美元, 相當於當年度全球 GDP 的 6.4%, Costanza et al.[11]則認為近岸生態系統, 不僅產出可在市場上銷售的產品, 也提供人類美學上的利益。Field et al.[17]認為全球有 46% 的太陽能源是從海洋和近岸的生物多樣性行光合作用所獲得。此外浮游植物 (phytoplankton) 利用光合作用將水、CO₂ 和陽光轉換成有機質, 同時也產出人類所需的氧氣, 這其中的藍綠藻 (cyanobacteria) 被估計占海洋中可行光合作用的浮游生物量的一半[15], Heer[20]從旅遊的角度探討海洋生態經濟性, 認為遊客的數量會因為容易接近該地區的海岸區所吸引, 使得大都會地區的旅遊市場發展向上提升。

2. 從生態對環境的貢獻分析

Duarte and Chiscano[14]認為全球約有 15% 的 CO₂ 被海洋中的海草等生物所吸收, Capone[10]認為生物固氮是比先前所認為的氮循環更為重要的過程, 而且對提升海洋吸收 CO₂ 的能力有直接的影響, Tortell et al.[30]則提出海洋生物在固氮匯碳和光合作用中的緊密連結關係, 而浮游生物從海洋中攝取一些可用的金屬成分, 被 Morel and Price[23]認為可以控制光合作用率和吸收其他像氮這一類的營養素, World Bank[32]估算 1994 年全球海洋所提供的降低大氣中 CO₂ 的價值是為 8790 億美元, 沉積土壤腐植質的價值為 610



億美元，若合併對人類福祉的貢獻，大概是當年度全球 GDP 的 10.1%。

二、案例介紹

營建署於 1983 年完成「台灣沿海地區自然環境保護計畫」，並於計畫中劃設了 7 個保護區，其中便包括彰雲嘉沿海保護區，該計畫於 1984 年經行政院核定[3]。

(一) 彰濱工業區開發源起

1976 年經濟部選定彰化縣海埔地作為基礎工業區預定地，1977 年行政院將伸港、線西、崙尾、鹿港等區核、編定為彰濱工業區用地，面積 6,293 公頃，原始的規畫以引進如石化、火力發電等基礎性工業為主要目標。1979 年補編定福興區、漢寶區並規劃五條對外聯絡道路，彰濱工業區的規模擴編到 6,605 公頃，1991 年行政院將彰濱工業區的開發納入國家建設六年計畫項目之一。1992 年通過行政院保護署環境影響評估報告審查，1993 年成立彰濱工業區管理中心，1995 年工業區第一家公司開工生產[7]。

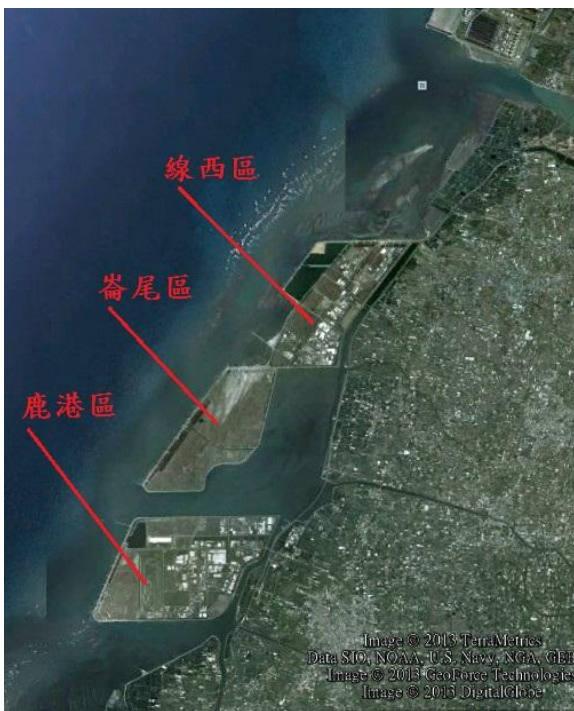


圖 1. 彰濱工業區編定開發規劃 (擷取自 google earth)

1. 價值地位

彰濱工業區的開發，不止在規劃一個工業區；更著眼於建構一個更形開闊的綜合性新市鎮，這意謂著本區的開發將

不受限於傳統模式，讓工業區也能整合成理想的生活空間。在參考各先進工業國家的開發經驗之後，著手擊劃出真正能契合生產、研發、居住、休閒等多元價值的工業新版圖[4]。

2. 區域定位

彰化地區的工業人口佔總人口 50% 以上，往北緊接著中部科學園區及新竹科學園區，往南則有麥寮工業區及台南科學園區。佔盡地利之便的「彰濱工業區」，不但擁有台灣中部優等的工業腹地及就業人口，加上鄰近的台中港區，其在國際通商之地位、潛力指日可期。

3. 汗水系統

本區於線西、崙尾、鹿港三區規劃有污水處理廠，並訂定工廠排放污水水質限值，各工廠所產生之工業廢水，先予以集中到工業區內的廢水處理廠，經過適當的處理至符合環保標準後始得排放到海域中。

4. 未來規劃與發展

本工業區未來之規劃方向朝向休閒、觀光、生活及生態方向發展，形塑與傳統工業區不同的特色[7]。而目前園區內較有名的有白蘭氏健康博物館、秀傳醫療體系健康園區與結合玻璃藝術的台明將企業台灣玻璃館，此外台電及外商英華威的風力發電機組，正為彰濱工業區建構休閒、觀光、生活及生態的新面貌。

(二) 海岸人文與生態環境分析

彰化海岸濕地包括彰化鹿港水道以南，至台塑麥寮工業區以北地區，東以舊濁水溪水道、省道台 17、台 61、芳苑海堤、大城北段海堤、大城南段海堤、下海墘海堤及西濱大橋為界，西側海域至等深線 6 公尺處[2]。

1. 海岸環境分析

營建署 2006 年委託中央大學太空及遙測中心，利用衛星影像資料測量各縣市天然及人工海岸線的長度與比率，發現彰化縣彰濱工業區的海岸線大都完全失去海岸功能，而這些破壞自然海岸線的因素包括諸多港口設置或規劃不當，造成海象的改變進而形成了所謂的「凸堤效應」[5]。

2. 生態環境分析

彰化海岸是台灣最大的泥質潮間帶，孕育多樣性的底棲生物，同時也吸引許多南來北往的過境候鳥，成為國際重要濕地，而福寶濕地、漢寶濕地，是最適合野鳥生長的生態環境，也是養牡蠣發展體驗觀光活動的好地方。

3. 水文資料分析

(1) 季風



夏季時西南季風吹起的海流流入台灣海峽，而後進入中國東海，冬季時海峽北部海面因有東北季風的吹送，海流向南，茲將台灣西岸的風向分析如下

(A) 夏季季風

台灣中北部為副熱帶季風氣候區，夏季時西風從阿拉伯海域一路到達南海，再轉為西南風直達東北亞，這也是台灣在夏天的風向以西南風為主的重要原因。台灣夏季雖然受到西南季風的影響，但這種季風的風力並不強，通常以帶來降雨為主。

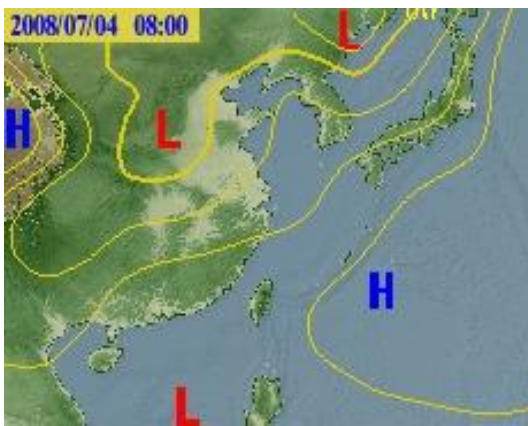


圖 2. 夏季盛行西南風 (中央氣象局)

(B) 冬季季風

以中央氣象局 2008 年鹿港地區整年的風力分析為例，5、6、7 三個夏季季風月份的平均風力為 5.0、4.0、6.5 (m/s)，這其中七月份尚受到颱風因素的影響而偏高，至於 11、12 月份的二個冬季季風月份的平均風力則為 9.3、8.3，相較於夏季季風強度相差有兩倍之多，因此對彰濱工業區海岸生態工程來說，東北季風將會是一個相當重要的考慮因素。



圖 3. 冬季盛行東北季風 (中央氣象局)

(2) 波浪與潮差

海上的波浪傳至沿岸淺水區後，波浪便破碎而造成與海岸線平行的沿岸流，可挾帶漂沙導致堆積或侵蝕作用。由於台灣海峽南、北兩端比較寬，分別承受來自南、北部傳來的風浪，建構出西海岸主要漂沙方向。至於流向則平均 6 個多小時改變一次，流速大多為 30 公分/秒左右。台灣沿海之潮汐，在金門、馬祖一帶，大潮時之高低潮位差平均約 5.5 公尺，苗栗至台中一帶，大潮時之平均潮位差平均約 4~4.5 公尺，雲林麥寮、彰化王功以北一帶的西部海岸，平均潮位差約 3.5 公尺，其他地區平均潮位差則約在 2 公尺或以下[1]。

三、研究方法

(一) 主、次影響因子定義與研究架構

本研究採專家問卷方式，問卷內容之設計參考郭金棟教授 2004 年所著之專書《海岸保護》[6]，主、次要因子內容定義與架構分述如下：

1. 安全度 (x1)：工法以及工程的安全性、能有效保障鄰近居民生命財產安全。
 - (1) 基礎穩定 (x11)：基礎安定能抵抗發生頻率為五十年一次之暴潮，及地層下陷之破壞。
 - (2) 抗沖蝕 (x12)：工程本身能對抗近岸流、沿岸流等造成之沖刷破壞。
 - (3) 耐久性 (x13)：在安全無虞的情況下，使用年限至少五十年以上。
2. 棲地穩定度 (x2)：減低工程進行當中及工程進行後對棲地造成干擾，影響生物多樣性。
 - (1) 棲地是否受到強烈施工干擾 (x21)：減低施工過程所造成的擾動及汙染導致棲地發生短期干擾。
 - (2) 棲地生態遭巨大變動而改變生物多樣性 (x22)：避免工程設計不當改變生物棲地原有的生態平衡，造成物種之間數量變化。
 - (3) 工程阻斷生態廊道致使物種消失 (x23)：避免工程設施阻斷生物遷移的路徑，導致生物習性改變而消滅。
3. 生態復育度 (x3)：透過工法的設計，能儘速復原工程的干擾，甚至讓生態環境更豐盛。
 - (1) 表面孔隙化 (x31)：結構物表面設計能讓附著性生物棲息，形成優良的藻場。
 - (2) 堤體階段化 (x32)：結構物採階段複合設計以降低高



度，減少對生態的衝擊。

- (3) 坡度緩坡化 (x33)：以緩坡式設計減少溯升波對結構物本身之衝擊。
- (4) 材質自然化 (x34)：材料盡量採用自然材質或自施工當地取得，避免造成環境改變過大。
- (5) 界面透水化 (x35)：具良好透水性，可涵養水源及淨化水質。
4. 景觀度 (x4)：避免人工化影響視覺景觀及民眾親水性，整合區域整體環境規劃。
- (1) 親水性 (x41)：營造親水空間，使人有貼近自然的機會。
- (2) 近似自然 (x42)：工程以不改變自然環境為設計主軸，維持原有景觀狀態。
- (3) 兼顧綠美化 (x43)：透過綠美化設計，減少對原有景觀的衝擊，甚至創造更優越景觀空間。
- (4) 融合區域環境 (x44)：結合鄰近區域之景觀風貌，創造工程本身以外之附加價值。
5. 經濟度 (x5)：降低工程及後續維護成本，創造遊憩休閒空間，提升生態經濟價值。
- (1) 維護管理難易度 (x51)：降低工程後續的維護及管理難易程度及所需費用。
- (2) 工法及材料成本 (x52)：降低工法及使用材料成本。
- (3) 生態旅遊收益 (x53)：提升作為生態旅遊空間所能創造的實際收益。
- (4) 生態永續經營效益 (x54)：提升因環境管理所產生的使用及非使用價值。

(二) 施測對象

本研究從相關領域選出工程專家與學者各 15 位，作為施測對象，工程界中包含國內從事海岸工程計劃與施工經驗豐富之中興工程、台灣世曦工程、環興科技等，而學者則包含國內各大學中設有海洋工程或生態、土木等相關科系之研究人員，包括海洋大學、中山大學、交通大學及成功大學等。

(三) AHP (Analytic Hierarchy Process) 權重分析

根據 AHP 分析方法，將生態友善度評估問卷之主影響因子及次影響因子，採兩兩比較方式，由前述專家與學者給予 (9,1)、(7,1)、(5,1)、(3,1)、(1,1)、(1,3)、(1,5)、(1,7)、(1,9) 等之比值，以確認兩兩比較中各影響分子在填答者心目中之重要程度，本研究將回收之問卷經整理結果，共有工程專家問卷 14 份，學者問卷 13 份。經專家決策 (expert

choice) 軟體 2002 年英文版分析，結果分述如圖 4、圖 5、圖 6。

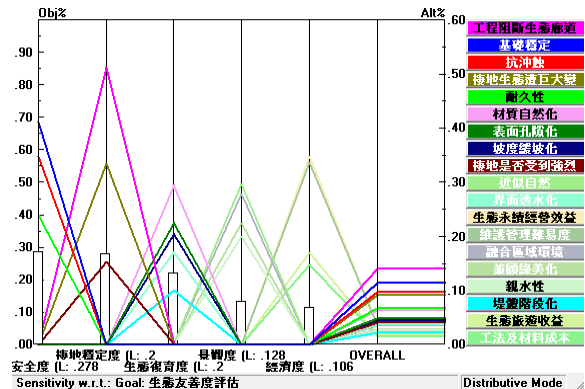


圖 4. 全體受訪者填答結果

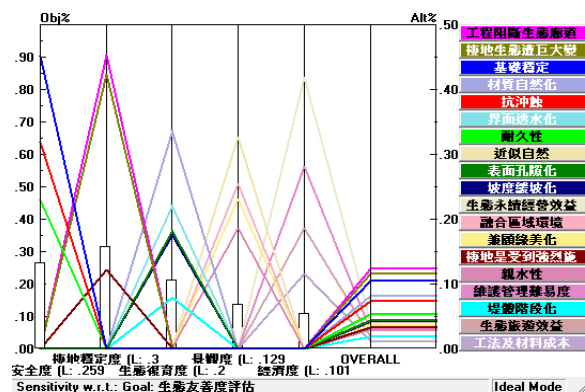


圖 5. 學者填答結果

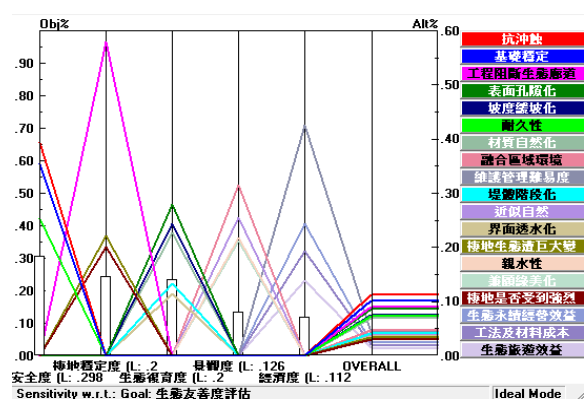


圖 6. 工程專家填答結果

1. AHP 統計結果分析

$$y = -ax_1 + bx_2 + cx_3 + dx_4 + ex_5$$

$$x_1 = -a_1x_{11} - a_2x_{12} - a_3x_{13}$$

$$x_2 = b_1x_{21} + b_2x_{22} + b_3x_{23}$$



$$x_3 = c_1x_{31} + c_2x_{32} + c_3x_{33} + c_4x_{34} + c_5x_{35}$$

$$x_4 = d_1x_{41} + d_2x_{42} + d_3x_{43} + d_4x_{44}$$

$$x_5 = e_1x_{51} + e_2x_{52} + e_3x_{53} + e_4x_{54}$$

代入各主影響因子權重的生態友善度方程式可表為

$$y = -a_1x_{11} - a_2x_{12} - a_3x_{13} + b_1x_{21} + b_2x_{22} + b_3x_{23} + c_1x_{31} + c_2x_{32} + c_3x_{33} + c_4x_{34} + c_5x_{35} + d_1x_{41} + d_2x_{42} + d_3x_{43} + d_4x_{44} + e_1x_{51} + e_2x_{52} + e_3x_{53} + e_4x_{54}$$

代入影響強度與執行難易度後的結果如表 1 所示。

$$y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$$

在假設安全度以外的因素均維持不變的情況下

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = a < 0$$

表 1. 影響因子權重係數

| 影響因子 | 係數 | 影響強度 | 執行難易度 | 權重 | | |
|-----------------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | 全體 | 學者 | 工程專家 |
| 安全度: x_1 | a | 3.9 | 3.2 | 0.278 | 0.259 | 0.298 |
| 棲地穩定度: x_2 | b | 3.4 | 2.4 | 0.273 | 0.307 | 0.237 |
| 生態復育度: x_3 | c | 3.4 | 2.7 | 0.215 | 0.204 | 0.228 |
| 景觀度: x_4 | d | 3.4 | 3.6 | 0.128 | 0.129 | 0.126 |
| 經濟度: x_5 | e | 3.4 | 3.1 | 0.106 | 0.101 | 0.112 |
| 基礎穩定: x_{11} | a_1 | 3.7 | 3.1 | 0.412 | 0.452 | 0.354 |
| 抗沖蝕: x_{12} | a_2 | 3.6 | 3.1 | 0.349 | 0.319 | 0.393 |
| 耐久性: x_{13} | a_3 | 3.5 | 3.2 | 0.239 | 0.229 | 0.253 |
| 棲地是否受到強烈施工干擾: x_{21} | b_1 | 3.6 | 2.6 | 0.153 | 0.122 | 0.200 |
| 棲地生態遭巨大變動而改變生物多樣性: x_{22} | b_2 | 3.7 | 2.6 | 0.335 | 0.424 | 0.221 |
| 工程阻斷生賴廊道致使物種消失: x_{23} | b_3 | 3.9 | 2.8 | 0.513 | 0.454 | 0.579 |
| 表面孔隙化: x_{31} | c_1 | 3.9 | 3.5 | 0.225 | 0.183 | 0.280 |
| 堤體階段化: x_{32} | c_2 | 3.1 | 3.2 | 0.101 | 0.080 | 0.134 |
| 坡度緩坡化: x_{33} | c_3 | 3.7 | 3.2 | 0.205 | 0.177 | 0.244 |
| 材質自然化: x_{34} | c_4 | 3.5 | 2.9 | 0.295 | 0.338 | 0.227 |
| 界面透水化: x_{35} | c_5 | 3.7 | 3.2 | 0.173 | 0.222 | 0.115 |
| 親水性: x_{41} | d_1 | 4.0 | 3.6 | 0.199 | 0.187 | 0.218 |
| 近似自然: x_{42} | d_2 | 3.9 | 2.9 | 0.298 | 0.327 | 0.255 |
| 兼顧綠美化: x_{43} | d_3 | 3.7 | 3.6 | 0.225 | 0.232 | 0.213 |
| 融合區域環境: x_{44} | d_4 | 3.6 | 3.4 | 0.278 | 0.254 | 0.314 |
| 維護管理難易度: x_{51} | e_1 | 3.6 | 2.7 | 0.336 | 0.281 | 0.425 |
| 工法及材料成本: x_{52} | e_2 | 3.4 | 2.8 | 0.147 | 0.115 | 0.192 |
| 生態旅遊效益: x_{53} | e_3 | 3.2 | 2.7 | 0.169 | 0.186 | 0.138 |
| 生態永續經營效益: x_{54} | e_4 | 3.5 | 3.0 | 0.347 | 0.418 | 0.244 |

當安全度被要求提高時，因應新工程技術的引進，對生態友善度的降低程度並不等比例降低，而當安全度被要求提高至超出生態工法所能負擔的技術能力時，勢必造成生態友善度的急劇下降，因此兼顧生態友善度與安全度的最佳均衡點決定於 e 點，此時生態友善度與安全度均達到最大，如圖 7。同理

$$\frac{\partial y}{\partial x_2} = b > 0, \frac{\partial y}{\partial x_3} = c > 0, \frac{\partial y}{\partial x_4} = d > 0, \frac{\partial y}{\partial x_5} = e > 0$$

2. 生態友善度 (y) 決策分析

(A) 安全度 (x_1)

(a) 主影響因子決策模式

對全體受試者來說，安全度的影響強度最大，執行難易度亦頗高，此結果表示對海岸生態工程來說，安全考量是最重要因素。然而提高安全度會造成生態友善度的下降，對海洋生態環境保育來說相當不利，其可能的決策方式如表 2。

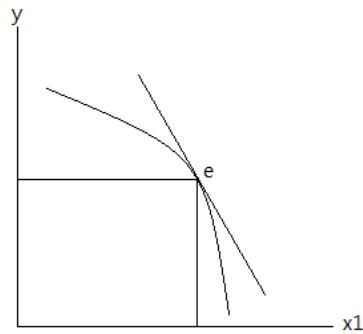


圖 7. 安全度和生態友善度的均衡

表 2. 主影響因子決策分析

| x_1 | y | | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 |
|-------|---|------|-------|-------|-------|-------|
| ↑ | ↓ | 影響 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| | | 決策順序 | 1 | 2 | 4 | 3 |
| ↓ | ↑ | 影響 | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| | | 決策順序 | 4 | 3 | 1 | 2 |

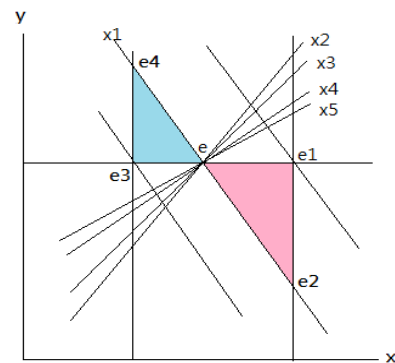


圖 8. 安全度變動與其他因子之關係



(i) 安全度↑

安全度上升，使得生態友善度降低如圖 8 (Δee_1e_2)，若要維持生態友善度不變，則必須相對的提高其他主因子的影響力，而在四個主影響因子中，不管是學者或工程專家都認為棲地穩定度的權重最高而執行難易度最低，因此以提高棲地穩定度為決策第一優先順序，而在相同的考慮因素之下，第二優先順序為生態復育度。

(ii) 安全度↓

安全度下降，使得生態友善度上升如圖 8 (Δee_3e_4)，若要維持生態友善度不變，可以相對的降低其他主因子的影響力，而其中以景觀度的執行難易度最高，因此可以將其列為第一優先順序，其次為經濟度、生態復育度和棲地穩定度。

(b) 次影響因子決策模式

(i) 安全度↑

學者及工程專家對耐久性 (x_{13}) 的執行難易度則達到顯著差異，因此可考慮提高基礎穩定 (x_{11}) 和抗沖蝕 (x_{13})，從生態復育度 (x_3) 的角度來探討，提高抗沖蝕且對海岸生態環境相對有利，因此抗沖蝕應列為第一優先順序，至於第二順序則為基礎穩定。

至於相對提升的次影響因子，不論學者或工程專家都一致認為工程阻斷生態廊道致使物種消失 (x_{23}) 的權重最大且執行難易度不高，因此應列為第一優先順序，決策分析結果如表 3。

(ii) 安全度↓

安全度影響因子中的耐久性 (x_{13}) 被工程專家認為執行難易度相當高，但生態學者給予影響權重最低，因此當考慮降低安全度時，應以降低耐久性作為第一優先順序。

至於可相對降低安全度以外的其他次影響因子，從生態保育與生態旅遊創造收益的觀點，第一優先順序可選擇權重不高但執行難易度非常高的親水性 (x_{41})，但是從敘述統計的數據分析，其影響強度卻是所有次影響因子中最高的，因此不宜單方降低對親水性的要求，可以跟同樣是權重不高但執行難易度高的融合區域環境 (x_{44}) 搭配應用，決策分析結果如表 4。

(B) 安全度以外的其他影響因子

(a) 提高棲地穩定度 (x_2) 決策分析

在所有主影響因子中，棲地穩定度的執行難易度最低，至於影響強度則與其他三個主影響因子沒有顯著差異，因此

若提高對棲地穩定度的要求，可減少日後對生態環境的「修復」與「補償」成本，有利於生態環境的營造。

(i) 次影響因子決策模式

在次影響因子中，工程阻斷生態廊道致使物種消失 (x_{23}) 所佔的權重最高，即使工程專家也給予僅次於基礎穩定 (x_{11}) 和抗沖蝕 (x_{12}) 的第三順位權重。此外從敘述性統計結果分析，工程阻斷生態廊道致使物種消失的影響強度相當高，但是執行難易度卻不高，因此可將其列為第一優先順序。

在提高棲地穩定度同時，相對可降低的影響因子則可從影響強度不高，但執行難易度偏難的堤體階段化 (x_{32}) 著手，堤體階段化在敘述統計中，學者與工程專家對影響強度的看法達到顯著差異，顯示其爭議性高，但在相對權重分析中，影響權重則相對偏低，因此將其列為第一優先順序，決策分析結果如表 5。

表 3. 安全度上升之次影響因子決策分析

| 次影響因子名稱 | 自變數 | | 因變數 | |
|---------|-----|------|----------------|--------------------|
| | 抗沖蝕 | 基礎穩定 | 工程阻斷生態廊道致使物種消失 | 棲地生態遭受巨大變動而改變生物多樣性 |
| 影響 | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| 決策順序 | 1 | 2 | 1 | 2 |

表 4. 安全度下降之次影響因子決策分析

| 次影響因子名稱 | 自變數 | | 因變數 | |
|---------|-----|-----|------------|-------|
| | 耐久性 | 抗沖蝕 | 親水性與融合區域環境 | 兼顧綠美化 |
| 影響 | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| 決策順序 | 1 | 2 | 1 | 2 |

表 5. 棲地穩定度次影響因子分析

| 次影響因子名稱 | 自變數 | | 因變數 | |
|---------|----------------|-------|----------|--|
| | 工程阻斷生態廊道致使物種消失 | 堤體階段化 | 生態永續經營效益 | |
| 影響 | ↑ | ↓ | ↓ | |
| 決策順序 | 1 | 1 | 2 | |

表 6. 以生態為前提決策分析 (棲地穩定度)

| 次影響因子名稱 | 自變數 | | 因變數 | | 延伸因變數 | |
|---------|----------------|-------|---------|--------|----------|--|
| | 工程阻斷生態廊道致使物種消失 | 兼顧綠美化 | 工法及材料成本 | 生態旅遊收益 | 生態永續經營效益 | |
| 影響 | ↑ | ↓ | ↓ | ↑ | ↑ | |
| 決策順序 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | |



(ii) 以生態為前提的決策模式

根據敘述統計分析結果及前段討論，兼顧綠美化並不等於生態工程，而且不難透過其他的作法達到相同效果，例如堤體階段化 (x_{32}) 將原先突兀的海堤設計，以潛堤的方式或是坡度緩坡化 (x_{33}) 的方式，不但降低堤防高度，更能為人類提供休閒空間而創造親水性 (x_{41})，或是採用材質自然化 (x_{34}) 的方法，進一步創造生態旅遊效益 (x_{53})，因此在生態保育的前提下，可考慮用來取代生態永續經營效益 (x_{54})。

至於工法及材料成本 (x_{52})，以生態保育的觀點來看，著重的是生態永續發展所帶來的使用與非使用價值，特別是在非使用價值中的存在價值與遺贈價值，此外若從生態旅遊收益 (x_{53}) 與生態永續經營效益 (x_{54}) 等方面來看，生態工程所創造的收益可以抵減部分工程費用，因此也可以考慮用來取代生態永續經營效益，決策分析結果如表 6。

(b) 提高生態復育度 (x_3) 決策分析

生態復育度 (x_3) 的影響強度僅次於安全度 (x_1)，但是與其他主影響因子並沒有差異，至於執行難易度則僅次於棲地穩定度 (x_2) 排在第二位，當工程技術能夠克服施工中對生物棲息地的干擾或降低干擾時，從工程本身結構體的設計優先考量營造生物棲息地以及減少對環境現狀的衝擊，便成了相當重要的影響因子。

(i) 次影響因子決策模式

從生態復育度的次影響因子來分析，這其中學者對於材質自然化 (x_{34}) 所給予的權重最高，其次是界面透水化 (x_{35})，但是對工程專家來說，權重最高的次影響因子卻是表面孔隙化 (x_{31})，其次是坡度緩坡化 (x_{33})，以海岸工程來說，最接近自然的材料為土砂及卵石，而配合這些材料較可行的工程方法為拋石堤或砂腸，此外利用砂石材料做為填充物的沉箱設計也是可以考慮的方向。

但是對工程專家來說，海岸工程所面對的是無時無刻在變動中的動態環境，執行困難度之高是可以想像的。此外從替代性來說，材質自然化雖然對棲地環境營造與區域整體環境整合能有效達到目標，但是卻可以從坡度緩坡化 (x_{33}) 及界面透水化 (x_{35}) 達到部分功能。而從 AHP 權重分析的結果來看，兩者的差異性不大，但是對於工程專家來說，坡度緩坡化則明顯高出許多，因此可將其列為第一順位，而界面透水化則列在第二位。

至於坡度緩坡化提高之後，相對的可於以調整的其他次

影響因子，雖然以工法及材料成本 (x_{52}) 權重最低，而且在執行難易度上也不高，但不論是坡度緩坡化或是界面透水化，都會造成工程成本的增加，因此改以學者與工程專家對影響強度達到顯著差異，且執行難易度偏高的兼顧綠美化 (x_{43}) 為第一優先，其原因是透過多面向的設計考量，也能達到美化效果，決策分析結果如表 7。

(ii) 以生態為前提的決策模式

在考慮生態的前提之下，界面透水化 (x_{35}) 的重要性反而高過於坡度緩坡化 (x_{33}) 而列在第一順位，至於相對考慮降低的第一順位為堤體階段化 (x_{32})，其原因是堤體階段化將造成工程成本的增加，且階段化的結果對生物棲息地的影響範圍將更為擴大，因施工對棲地干擾的時間也會變長，因此可予以降低，但在降低的同時可提高對棲地是否受到強烈施工干擾 (x_{21}) 的要求，至於第二順位則為兼顧綠美化 (x_{43})，其理由亦與前向說明相同，決策分析結果如表 8。

3. 在彰濱工業區的決策應用

根據上述的決策分析結果，針對彰濱工業區之開發現狀，提出以決策應用之生態工程規劃

(1) 彰濱工業區現狀分析

目前全區之堤防規劃以直立式混凝土結構為主，堤前排放消波塊，此外在崙尾區南端及鹿港區北端設置防波堤，各區西側堤防外施作短凸堤，以防止海岸侵蝕。本區飄砂來源主要來自北邊的烏溪和南邊的濁水溪的輸砂。

(2) 生態規劃之決策應用

在生態保育的前提之下所採用的工法必須兼顧安全及生態的存續與發展，因此以本研究之結果，規劃如表 9

表 7. 生態復育度次影響因子分析

| 次影響因子名稱 | 自變數 | | 因變數 | |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| | 坡度緩坡化 | 界面透水化 | 兼顧綠美化 | 堤體階段化 |
| 影響 | ↑ | ↑ | ↓ | ↓ |
| 決策順序 | 1 | 2 | 1 | 2 |

表 8. 以生態為前提決策分析 (生態復育度)

| 次影響因子名稱 | 自變數 | | 因變數 | | 延伸因變數 | |
|---------|-------|-------|-------|-------------|--------|----------|
| | 界面透水化 | 坡度緩坡化 | 堤體階段化 | 棲地是受到強烈施工干擾 | 生態旅遊收益 | 生態永續經營效益 |
| 影響 | ↑ | ↑ | ↓ | ↑ | ↑ | ↑ |
| 決策順序 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 |



表 9. 生態友善度在彰濱工業區的決策應用

| 影響因子 | 決策應用 |
|-------|--|
| 安全度 | <p>在安全度的考量之下，可考慮的規劃方向</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 在不改變現有堤防時，因為本區為平緩的潮間帶，平均潮差僅約 0.36m，可做為消減波能的自然機制已經具備，因此可以在近岸區設置砂腸，搭配離岸潛堤設計可達到更加有效消減波能降低堤防高度，而砂源可取自濁水溪疏濬的土砂，因料源與原區域漂砂相近，可減少對生物棲息地的變動及施工干擾。 2. 另外在消波塊的設計上可更加考慮營造近岸浮游生物適合繁衍的空間，以利生態永續發展。 |
| 生物棲息地 | <p>在考慮提高對生物棲息地保育的前提之下，因為烏溪口至線西區北側一帶目前仍呈淤積現象，主要原因是烏溪提供每年約 330 萬立方公尺的輸砂堆積在河口一帶，因此可利用東北季風期間採土砂側渡的方法將砂源補充至崙尾區及鹿港區，此外可搭配將鹿港區北側的防波堤改為人工岬灣，將砂源引入崙尾區東側，作為海洋觀光休閒遊憩專區的補充砂源。這種規劃不但可減少海岸保護工的施作、減少工程對生物棲息地的干擾與破壞，更可進一步營造生態遊憩價值。</p> |
| 生態復育度 | <p>鹿港區是目前呈現侵蝕而需要防止砂源流失的區域，以生態復育的立場來說，可針對本區的堤防拋置可供微生物附著的消波塊，搭配近岸區人工礁體的置放，可讓本區成為生態復育的重點區域。另外可在鹿港區西南側採階段化潛堤方式設置，阻絕南向漂砂，將本區南側規劃成觀光休閒漁港，帶動潮間帶體驗活動，一方面可提供民眾親水休閒空間，一方面也營造生態收益的利基，讓彰濱工業區的生態能永續發展，作為其他工業區開發的模範。</p> |

四、結果與討論

根據 AHP 分析，本研究獲致下列的結果

(一) 提高「安全度」不會讓「生態友善度」等比例下降

根據 AHP 分析的結果，當安全度被要求提高時，透過類似棲地穩定度這種執行難易度低的影響因子加以彌補，在作法上是簡單而且確實可行的，因此幅度不大的調高對安全度的要求，對生態友善度的下降並不明顯，反倒是透過其他主影響因子的補償，可以較簡單的讓生態友善度回復到原來水準，甚至更高。

(二) 適度的調高對「安全度」的要求，不見得對海岸生態環境保護不利

以海岸生態工法的觀點，提高抗沖蝕的方法可以將直立式海堤設計改為緩坡是設計，甚至可用緩坡搭配表面粗糙或多孔隙的坡面設計，若能同時考慮將消波塊設計成適合藻類

附著生長的人工礁體，或是以適當的粗糙率設計堤面，甚至將堤體孔隙化，都能達到生態保育目的。

(三) 工程進行中對棲地造成的干擾未受到重視

從 AHP 權重分析資料來看，可以發現棲地是否受到強烈施工干擾受到重視的程度相對於其他次影響因子明顯的偏低，但工程阻斷生態廊道致使物種消失的權重在全體受試者的填答中卻高居第一位，可能是工程專家認為透過「迴避」、「縮小」等緩和措施，可做到減少棲地干擾的影響。

然而如果施工期間所造成的強烈干擾造成該區域生態系中某一環節的數量失衡或消失，雖然可以「補償」措施使其回復，但對於工程所造成的棲地干擾，仍然應該謹慎的加以評估。

(四) 生態工程重視就地取材

從 AHP 權重分析結果，不論是學者或工程專家對於「材質自然化」都相當重視，對生態學者來說權重甚至高於抗沖蝕和耐久性，這種重視程度雖然頗為一致，但原因可能完全不同，工程專家考量成本因素大於生態保育，此點可以從工程專家認為工程阻斷生態廊道致使物種消失，以及表面孔隙化和坡度緩坡化的權重高於材質自然化看得出來。至於生態學者之所以主張就地取材是考量與施工地點之現有環境結合，避免因為工程大幅度改變棲地現狀，以致使生物多樣性受到影響。

(五) 以生態保育為前提的決策模式，可提高生態經濟效益，鼓勵民間投資

包括棲地穩定度及生態復育度的決策調整，可延伸生態旅遊效益及生態永續經營效益，如本研究表 6 及表 8 結果，當生態保育的結果帶來實質的經濟效益時，除可減低因提高生態友善度所造成的成本上升，甚至當這些效益成為會計上的利潤時，更能有效的說服民間團體投入生態保育工作，如此對於政府財政困難將有相當的助益。

五、結論與建議

本文以生態工程中的海岸工程做為研究主軸，最主要原因是台灣四周環海，若能有效的結合工程方法，營造休憩觀光價值，不僅能轉變台灣產業發展型態，也能達到永續發展的目標，從研究的結果可歸納如下結論

(一) 生態工程的最大疑慮仍然在工程本身是否能達到安全的要求。



- (二) 提高安全度不一定會降低對生態的友善度,只要在硬體上搭配如「界面透水化」等設計,可降低對生態的干擾與破壞。
- (三) 生態工程的決策應以營造適合生物棲息環境為基礎,對於施工要求則著重在減低對棲地干擾。
- (四) 提高「生態旅遊收益」、「生態永續經營效益」,有利於說服政府及民間企業投入生態保育。
- (五) 專家與學者在諸多的看法上產生差異,這種情形對生態工程的推動必然產生不利的影響。

針對本研究的結果,從生態工程永續發展的觀點,提出如下的建議:

- (一) 海岸生態工程應針對不同區域環境特性設計,否則將失去營造生物多樣性的生態意義。
- (二) 海岸生態工程不應刻意強調工程成本,若能將生態保育與休閒觀光收益結合,可創造人與環境共生共榮的願景,生態保育也才能獲得永續發展的機會。

參考文獻

- 中央氣象局(99年1月13日),台灣氣候特徵簡介,101年10月28日,取自
http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/climate_info/statistics/statistics_1_1.html
- 內政部營建署(民97),溼地經營與管理,亞洲溼地大會,台北。
- 內政部營建署綜合計畫組(101年4月5日),台灣沿海地區自然環境保護計畫(I),101年10月23日,取自
http://www.cpami.gov.tw/chinese/index.php?option=com_content&view=article&id=10714&Itemid=50
- 行政院經建會(民70),濱海地區實質環境改善之研究,台北。
- 林幸助、邵廣昭(民89),以生態系模式探討海洋沿岸工程濁度長期昇高對潟湖生態系之衝擊,中國生物學會論文發表會,集集。
- 郭金棟(民93),海岸保護,科技圖書,台北。
- 經濟部工業局(民87),彰濱工業區簡介,彰化。
- Agardy, T. S. (2004) Casting off the chains that bind us to ineffective ocean management: the way forward. *ocean yearbook*, 22, 1-17.
- Bocksteal, N. E., K. E. McConnell and I. E. Strand (1989) Measuring the benefits of improvement in water quality: the chesapeake bay. *Marine Resource Economics*, 6, 1-18.
- Capone, D. G. (2001) Marine nitrogen fixation: what's the fuss?. *Current Opinion in Microbiology*, 4, 341-348.
- Costanza R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limberg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton and M. Van Den Belt (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- Daily, G. C. (1997) *Nature's Services: Societal dependence on natural ecosystem*, 412, Washington D.C., Island Press.
- DeGroot, R., M. A. Wilson and R. M. Boumans (2002) A typology for the classification, and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41, 393-408.
- Duarte, C. M. and C. L. Chiscano (1999) Seagrass biomass and product: a reassessment. *Aquatic Botany*, 65 (1), 159-174.
- Falkowski, P. G., E. A. Laws, R. T. Barber and J. W. Murray (2003) Phytoplankton and their role in primary, new and export production. In: *Ocean Biogeochemistry: The role of the ocean carbon cycle in global change*. 99-101. M.J.R. Fasham (ed.) Springer.
- Farber, S., R. Costanza, D. Childers, J. Erickson, K. Gross, M. Grove, C. Hopkinson, J. R. Kahn, S. Pincetl, A. Troy, P. Warren and M. A. Wilson (2006) Linking ecology and economics for ecosystem management. *BioScience*, 56(2), 117-129.
- Field, C. B., M. J. Behrenfeld, J. T. Randerson and P. Falkowski (1998) Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 281, 237-240.
- Gowdy, J. M. (1997) The value of biodiversity: markets, society, and ecosystems. *Land Economics*, 73 (1), 25-41.
- Gray, J. S. (1997) Marine biodiversity: threats and conservation need. *Biodiversity and Conservation*, 6, 153-175.
- Heer, D. M. (2002) When cumulative causation conflicts with relative economic opportunity: recent change in Hispanic population of United States. *Magraciones*



- Internacionales*, 1 (3), 32-53.
21. Hinrichsen, D. (1998) *Coastal waters of the world: trends, threats, and strategies*, 298, Washington, DC, Island Press.
 22. Lundin, C. G. and O. Linden (1993) Coastal ecosystems: attempts to manage a threatened resource. *Coastal Ecosystems*, 22 (7), 468-473.
 23. Morel, F. M. M. and N. M. Price (2003) The biogeochemical cycles of trace metals in the ocean. *Science*, 300, 944-947.
 24. Odum, H. T., W. L. Slier, R. J. Beyers and N. Armstrong (1963) *Experiments with Engineering of Marine Ecosystems*. In: Publication of the Institute of Marine Science of the University of Texas, 9, 374-403.
 25. Odum, H. T. (1962) Man and Ecosystem: Proceedings, Lockwood Conference on the Suburban Forest and Ecology, Bulletin Connecticut Agric. Station.
 26. Odum, H. T., W. L. Slier, R. J. Beyers and N. Armstrong (1963) *Experiments with Engineering of Marine Ecosystems*. In: Publication of the Institute of Marine Science of the University of Texas, 9, 374-403.
 27. Phillips, M. R. and A. L. Jones (2006) Erosion and tourism infrastructure in the coastal zone: problems, consequences and management. *Tourism Management*, 27, 517-524.
 28. Ray, G. C. and J. F. Grassle (1991) Marine biological diversity. *BioScience*, 41 (7), 453-457.
 29. Tainter, J. A. (2006) Social complexity and sustainability. *Ecological Complexity*, 3, 91-103.
 30. Tortell, P. D., M. T. Maldonado, J. Granger and N. M. Price (1999) Marine bacteria and biogeochemical cycling of iron in the oceans. *Microbiology Ecology*, 29, 1-11.
 31. Turner, R. K., C. J. M. Jeroen van den Bergh, T. Söderqvist, A. Barendregt, van der J. Straaten, E. Maltby, C. Ekko van Ierland (2000) Ecological-economic analysis of wetlands: scientific integration for management and policy. *Ecological Economic*, 35, 7-23.
 32. World Bank (1996) *The World Bank Atlas*, 1, 15208 Washington, DC, World Bank.
 33. World Travel and Tourism Council (WTTC) (2006) Introduction: Global Travel and Tourism Summit, pp. A10-A12.
 34. Worm, B., H. K. Lotze, H. Hillebrand and U. Sommer (2002) Consumer versus resource control of species diversity and ecosystem functioning. *Nature*, 417, 848-851.
 35. Worm, B., E. B. Barbier, N. Beaumont, J. E. Duffy, C. Folke, B. S. Halpern, J. B. C. Jakson, H. K. Lotze, F. Micheli, S. R. Palumbi, E. Sala, K. A. Selkoe, J. J. Stachowicz and R. Watson (2006) Impacts of biodiversity loss of ocean ecosystem services. *Science*, 314, 787-790.
- 收件：101.12.03 修正：102.02.21 接受：102.05.02

