

行政院農委會林務局全球資訊網

林業新知專刊

主題：

生態系統服務之評估

前言

生態系統服務一詞最早出現於《Study of Critical Environmental Problems》(1970)一書，而從 Westman (1977) 開始普遍廣泛地使用。2005 年 Millennium Ecosystem Assessment 的報告將生態系統服務之廣義定為「人類從生態系中獲得的利益」，即生態系統，無論是直接或間接，提供於人類生活中相當的福利及必要的服務。然而在制訂政策時，卻常常只考慮經濟效益的層次，而忽略了環境所蘊藏的生態系統服務 (Costanza *et al.*, 1997)。隨著自然資源利用的觀念以及社會需求的轉變，生態系統中所提供的服務不再局限於有形的材料如立木材積，進而被關切的是無形的功能。其中包括大氣調節、水源調節、養分循環、棲息地、食物供給、休閒娛樂及文化價值等等。以現今大多討論的全球氣候變遷議題為例，生態系統所提供之主要服務為大氣及氣候調節。大氣調節指的是調節大氣中化學組成成分，包括二氧化碳和氧氣的比例、臭氧濃度及硫化物的濃度等等。氣候調節指調節全球的氣溫、降雨量及溫室氣體量等等。大氣及氣候調節這兩項生態系統服務之全球服務價值各被估為 13,410 億 (美元/年) 及 6,840 億 (美元/年) (Costanza *et al.*, 1997)。

王宗明等人 (2003) 在土地利用變化對生態系統服務的影響中提到，土地利用變化除牽扯到土地覆蓋變化之外，更影響生態系統的結構與功能，進而影響大氣循環及化學成分等，最後造成全球性的變化。以文中研究結果為例，在三江平原為生態系統服務價值的主導下，其價值超過整個環境的 50% 以上。濕地於 1980 年涵蓋的面積約 20,000km²，然而在 2000 年只剩下約 9,000km²。濕地面積的減少使得當地生態系統服務價值損失了約 90 億 (美元/年)。作者指出由於人口增加造成糧食需求，使得原本生態系統服務較強的濕地被開墾為農地，卻降低了當地的生態系統服務價值。這顯示在政策制定的過程中，除了市場價值的財貨之外，對於進行生態系統服務價值評估尤其為重要。

生態系統服務之種類

Costanza 等人 (1997) 整理了過去的研究論文後，將全球的生態系統服務分為以下主要 17 種，並且計算各生態系統服務的平均價值：

(1) 大氣調節 (gas regulation)

主要生態系功能為調節大氣中的化學組成，例如二氧化碳和氧氣的平衡、臭氧濃度、二氧化硫的含量等，重要性為影響人類的生活環境，以碳稅、氧氣價格來估算二氧化碳及氧氣的價格，以替代成本法計算二氧化硫清除成本估算價格，平均價值為 1,341 (美元/公頃/年)。

(2) 氣候調節 (climate regulation)

主要生態系功能為調節全球氣溫、降雨以及其他的氣候條件，例如溫室氣體調節等，重要性為影響人類的生活環境，以造林成本法估算價值，平均價值為 684 (美元/公頃/年)。

(3) 干擾調節 (disturbance regulation)

主要生態系功能為環境改變時，讓生態系維持完整的承受力，例如暴風雨來臨時時的保護作用、洪水量的控制等，重要性為預防災害發生，以替代成本法計算防護工程所需的建造經費作為價格，平均價值為 1,779 (美元/公頃/年)。

(4) 水源調節 (water regulation)

主要生態系功能為調節水文的流動，例如提供農業或工業用水的運輸過程等，重要性為維持人類生活用水，以替代成本法換算運輸水所需的費用作為價格，平均價值為 1,115 (美元/公頃/年)。

(5) 水源供給 (water supply)

主要生態系功能為水源的儲存與保持，例如集水區涵養水源提供用水來源等，重要性同樣為維持人類生活用水，以替代成本法計算建造水庫所需的工程費用，平均價值為 1,692 (美元/公頃/年)。

(6) 侵蝕控制及保留沉積物 (erosion control and sediment retention)

主要生態系功能為對土壤的維持，例如減少河蝕、風蝕作用等以及在濕地或湖泊中累積淤泥等，重要性為減少土地被侵蝕沖刷，以替代成本法計算人工維持土地所需價格，平均價值為 576 (美元/公頃/年)。

(7) 土壤形成 (soil formation)

主要生態系功能為形成土壤，例如岩石的風化作用、有機物的累積等，重要性為維持土地組成，以願付價格訪問當地民眾可得一參考價值，平均價值為 53 (美元/公頃/年)。

(8) 養分循環 (nutrient cycling)

主要生態系功能為養分的轉換、儲存、獲得的過程，例如固氮作用、氮磷的循環過程等，重要性為維持土壤肥力，以替代成本法計算同等營養的肥料及施肥所需人力價格作為價值，平均價值為 17,075 (美元/公頃/年)。

(9) 廢棄物處理 (waste treatment)

主要生態系功能為將廢棄物移除或分解的作用，例如化學排毒法、汙染控制等，重要性為移除環境中的毒素、廢棄物，以替代成本法計算人工處理廢棄物所需成本作為價格，平均價值為 2,277 (美元/公頃/年)。

(10) 昆蟲授粉 (pollination)

主要生態系功能為提供授粉者協助植物繁衍後代，重要性為維持昆蟲族群及多樣性，以替代成本法換算人工培育需要多少經費作為價格，平均價值為 117 (美元/公頃/年)。

(11) 生物控 (biological control)

主要生態系功能為規範族群大小，例如以基石物種或掠食者控制草食生物的族群，重要性為維持生態系內生物族群的平衡，以願付價格訪問當地民眾可得一參考價值，平均價值為 417 (美元/公頃/年)。

(12) 生物避難所 (refugia)

主要生態系功能為提供生物棲息地，例如提供候鳥過冬、植物生長等，重要性為維持物種的生存，以替代成本法計算若此物種瀕臨絕種，人工培育需多少經費作為價值，124 (美元/公頃/年)。

(13) 食物供給 (food production)

主要生態系功能為作為食物使用的部分初級生產力，例如穀物、水果、漁獲量、農耕等，重要性為提供生活所需之食物，價值為食物本身的市場價格，平均價值為 1,386 (美元/公頃/年)。

(14) 原物料 (raw materials)

主要生態系功能為作為原物料的部分初級生產力，例如木材、木炭、燃料、草料等，重要性為提供生活的原物料，價值為原物料本身的市場價格，平均價值為 721 (美元/公頃/年)。

(15) 基因資源 (genetic resources)

主要生態系功能為由生物萃取的材料及產品，例如藥品類、基因轉殖的材料來源等，重要性為提供生物技術材料，以替代成本法計算研發替代品的成本作價值，平均價值為 79 (美元/公頃/年)。

(16) 休閒娛樂 (recreation)

主要生態系功能為提供休閒娛樂的活動，例如生態旅遊、運動、釣魚等的戶外活動，重要性為提供人們休閒活動場所，以旅行成本法或願付價格法計算價格，平均價值為 815 (美元/公頃/年)。

(17) 文化價值 (cultural)

主要生態系功能為提供非商業價值的用途，例如藝術、教育上的作用等，以願付價格法訪問當地民眾可得一參考價值，平均價值為 3,015 (美元/公頃/年)。

生態系統服務價值評估法

從 Ecosystem Valuation (<http://www.ecosystemvaluation.org/index.html>) 中，Dennis 等人(2000) 將生態系統服務價值定義為「將生態系統服務做價錢的評估來表示對人類的影響」，並指出這些無形的功能較難只單純用市場價格去評估，因此在制定政策時常被忽略。然而生態系統服務與人類生活息息相關，為此 Dennis 等人(2000) 列出一些推估其價值的方法如願付價格及替代成本等方法以供參考。其中願付價格為最廣泛的推估方法，適用於所有評估，而替代成本法適用於能以人工工程替代的生態系統服務，如：水源涵養及廢棄物處理等等。在臺灣及中國等地至今有許多生態系統價值推估的研究報告。林俊成等人 (2002) 的全民造林運動二氧化碳吸存潛力之經濟效益評估中，以造林樹種的生長回歸式計算區域內林木的材積總量，換算碳濃度便可得到固碳量，最後以當時的二氧化碳排放碳稅計算，便可表達森林碳吸存的價值。中國許多相關的研究都以森林為主。趙同謙等人(2004) 計算中國各林分的生態系統服務價值。中國森林以亞熱帶、熱帶的常綠針葉林面積最廣，因此其佔中國生態系統服務價值的比例最高，其次為溫帶、亞熱帶落葉闊葉林。趙同謙等人 (2004) 指出光合作用及調節功能等「間接價值」所估算出來的價格是林木供給及休閒遊憩等「直接價值」的 4.6 倍，這說明了森林除直接提供產品之外，還有更巨大的間接使用價值，對人類的貢獻更為顯著。

中國國家林業局在 2008 年發布的《中華人民共和國林業行業標準》中便對森林生態系統服務功能評估規範調列了各種評估式以及參數，以利進行簡單的評估。

以下簡介幾種評估價值的方法：

(一) 市場價格法

指在市價穩定的情況下，以可取得的市價為產品價值。以市場價格制定為客觀公正，是此方法最大的優點，但缺點在於若市場價格波動較大時，就無法有效地確定市場價格。

(二) 條件評估法

設計一個類似交易市場的「模擬市場」，以問卷調查使用者對非市場財貨的願意的支付價格或接受補償的價格，是目前最廣泛使用的生態系統服務價值評估方法之一。優點為有效地反應經濟學上市場的供需法則，但缺點為評估結果會受當地國民所得影響，因此不同地區價格變動較大。此外市場上若資訊不流通也會造成人們在價格評估上有所差異。

(三) 旅行成本法

指通過人們的消費行為來評估無價格商品的方法，包括了交通費、門票費及時間的機會成本等等。大多用於休閒遊憩價值的評估，方法為建立旅遊場所的年瀏覽人次與旅行費用和其他因素的相關函數，並推斷出評價地點的需求曲線，便可以計算出旅遊人們的支付意願總和做為該旅遊區的價值。

(四) 替代成本法

指當某生態系統服務受到破壞時，需要建造一個人工工程去替代原來的生態系統功能，以工程的費用做為該生態系統服務的價值評估。

世界案例

Bockstael 等人 (1995) 認為因濕地對環境具有許多的效益，大多有關評估生態系統服務價值的研究都注重在於濕地上，如捕魚、水源淨化及休閒遊憩等服務價值。然而明確地評估濕地的貢獻較為困難，因為即使是相同條件及情況的濕地，於不同的地區所貢獻的程度也因而不同。在這考量下，較適合的評估方式為替代成本法換算及估算當地生態系統服務價值，就此而知，生態系統服務價值會隨著地域差異而有改變。

Costanza 等人 (1989) 研究路易斯安那州濕地的生態系統服務價值，針對休閒遊憩、暴風雨防護及經濟漁業以願付價格法作評估。其研究所得經濟漁業價值為 317-846 (美元/英畝)，休閒遊憩價值為 46-181 (美元/英畝)，暴風雨防護價值為 1,915-7,549 (美元/英畝)，乘上濕地面積 50 平方英里後，總計此濕地的價值介於 7,700 萬美元及 5.44 億美元之間，由此而知濕地的存在對環境相當重要。然而願付價格法所估之價格範圍相當大，若只用願付價格法計算，結果可能不太精確，因此可以加上其他推估方法以減少估計價值的差距。Turner (1991) 的研究報告中亦指出，可同時利用三種方法評估濕地生態系服務價值，此三種方法分別為以人工工程取代之服務的替代成本法，休閒遊憩價值則用旅行成本法，其餘非市場價值服務則用願付價格法。

中國案例

地域環境接近臺灣的中國地區，近年來也積極進行生態系統服務相關的研究，如魯春霞等人 (2004) 評估青藏高原生態系統服務功能的價值及張天華等人 (2005) 估算西藏拉薩拉魯濕地生態系統服務功能的價值。前者的研究中顯示，在青藏高原複雜的生態系統中，除可供直接利用的產品如木材及乾草生物量外，也有如二氧化碳吸收、氧氣釋放、水源涵養及森林淨化的功能。市場價值類包括經濟產品價值估計約為 30 億 (美元/年)。非市場價值類，如固碳總量之估計經濟價值為 175 億 (美元/年)，氧氣釋放之價值為 1,500 億 (美元/年)，水庫建設替代計算之價值為 285 億 (美元/年)，森林淨化之價值為 40 億 (美元/年)。總計青藏高原的生態系服務價值至少約有 2,000 億 (美元/年)。因此作者表示當地生態系統服務的價值遠遠大於可直接利用產品的價值，且因數據限制，沒有將野生動物棲息地、休閒娛樂等生態系統服務計算在內。然而單單從以上的結果可以看出，生態系統存在的價值遠大於將其開發利用的價值。在其研究過程中，最大的困難在於選擇評估的方法，以氧氣釋放為例，作者提出了氧氣價格有工業氧氣、醫用氧氣兩種，而醫用氧氣是工業氧氣價格的兩倍，作者指出因青藏高原是一個高海拔缺氧地區，釋放氧氣的功能對於人類生存及生活更具重要性，因此選擇較貴的醫用氧氣價格做估算，也顯示出在做評估時，參考價格方面需謹慎選擇。

張天華等人 (2005) 中使用的測量方法與前篇相似，固碳價值估為 60 萬 (美元/年)、氧氣釋放價值估為 60 萬 (美元/年)、水源涵養價值估為 470 萬 (美元/年) 及環境淨化價值估為 60 萬 (美元/年)。除此之外，此篇研究另外加上生物棲息地價值 25 萬 (美元/年)、休閒娛樂功能 90 萬 (美元/年)、文化價值 70 萬 (美元/年)、氣候調節 30 萬 (美元/年)，總計約為 865 萬 (美元/年)。雖然與面積廣大的青藏高原相比之下，生態系統服務總價值較低，但作者於文中提到，此地的生態系統服務價值遠遠高於直接開發為城市建設用地或農業用地的價值，因此在規劃開發時須重視保護生態服務功能。

臺灣現況

呂明倫等人 (2012) 在恆春半島所進行之生態系統服務價值評估中，評估了 8 項生態系統服務，其中木材原料、食物生產、水資源及遊憩資源以市場價格法計算其價值，先計算出各個生態系服務產品的供給量再乘上單價後得到其價值：木材計算量參考木材市價資訊系統，食物生產以農產品供給及農產品單價計算，水資源由水利署統計的農業用水量參考自來水公司公告之平均水價，遊憩資源則以遊客人次及門票單價計算。另外 4 項生態系統服務為氣候調節、沖蝕控制、養分循環及基因資源，屬於較難以市場價格計算的類型，因此文中以遙測的方式計算出恆春半島各地形的總面積，再參考 Costanza 等人 (1997) 所彙整之各地形與各生態系統服務價值對應的表格計算，推估以上 4 項生態系統服務的價值。研究結果顯示 8 種生態系統服務價值由高至低為：養分循環 4,500 萬 (美元/年)、木材原料 3,600 萬 (美元/年)、食物生產 3,000 萬 (美元/年)、水資源 1,500 萬 (美元/年)、沖蝕控制 1,200 萬 (美元/年)、氣候調節 1,100 萬 (美元/年)、遊憩資源 200 萬 (美元/年) 及基因資源 200 萬 (美元/年)，總計其價值約為 15,300 萬 (美元/年)。

近年來臺灣對於生態系統服務價值的探討集中在濕地及海洋。由於 2013 年通過的《濕地保育法》中提出，開發及利用行為造成衝擊，需以異地補償來使濕地面積無損失，因此為確定要補償的量為多少，必須建立良好的評估系統。彭瑞祥 (2014) 在環境資訊中心上發表的文章《開發濕地 損失知多少》(<http://e-info.org.tw/node/97751>) 中指出，以臺灣高美濕地為例，除了濕地有漁業經濟可以市場價格計算外，其餘調節層面的功能以替代成本法計算，魚苗價格至少價值 1,300 萬 (美元/年)，減緩海嘯侵襲價值約 450 萬 (美元/年)。穩定海岸線功能價值 975 萬 (美元/年)，淨化水質價值約 3.5 億 (美元/年)，碳吸存價值約 640 萬 (美元/年) 及氧氣製造約 1,000 萬 (美元/年)，從以上結果得知，粗略估計的濕地生態系服務價值每年約 4 億美元，因此在開發前仔細評估生態系統服務價值是必須的。

結論

臺灣有關生態系統服務價值的研究尚不算普遍，政策制定時往往只考慮到所帶來的經濟利益，而忽略了環境本身隱藏的生態系統服務價值，另大多研究都集中於濕地及海洋，在森林地區的評估則較缺乏，臺灣本島有 3,000 多公尺高的高山，加上東部季風的影響，使得中低海拔不同區域形成地理氣候區的分化及多樣化的植群海拔分布。在臺灣對於複雜的森林生態系統服務價值評估研究尚不多見。

由於近年來大氣溫室氣體濃度增加引起全球暖化的現象，成為全球關注的議題，大氣中二氧化碳的含量改變，使氣候的變化處於一個快速且驚人的狀態中 (IPCC,1996,2001)。因此森林生態系統中除原具有經濟目的的木材供給外，碳吸存及氧氣釋放兩種生態系統服務對人類生活而言具有極大的影響，林木所吸收的碳量若以經濟價格來表示，將更容易被理解。此外，水資源也是人類賴以為生的基本資源，吳俊賢等人(2004)的研究中指出，森林涵養水源是一種生態服務，也是臺灣森林生態系主要功能之一，因此水源涵養在估計森林生態系統服務價值中是不可忽視的。

生態系服務價值的研究已被許多學者所討論，但研究方法卻無統一，光是單價及估算方法的選擇不同，便會得出不同的結果，因此得出的結果也備受爭議，目前尚無所謂最精準的估算方法，因此雖無法確切反映真實的生態系服務價值，但評估出的價值仍可作為參考用，藉由生態系統服務補償的原理，未來若要開發當地或作經營管理手段時，便可比較付出的成本和獲益，檢驗開發是否確實有效益。

參考來源

中國國家林務局(2008)中華人民共和國林業行業標準

王宗明、張樹清、張柏(2004)土地利用變化對三江平原生態系統服務價值的影響。中國環境科學,24(1):125-128

呂明倫、黃靜宜、鍾玉龍 (2012) 恆春半島生態系服務價值之評估。中華林學季刊

吳俊賢、陳溢宏、鄭美如、黃正良、李國忠(2004) 森林涵養水源貨幣價值之研究。臺灣林業科學 19: 187-197。

林俊成、鄭美如、劉淑芬、李國忠(2002)全民造林運動二氧化碳吸存潛力之經濟效益評估。臺灣林業科學 17:311-321。

張天華、陳利頂、普布丹巴、黃瓊中、徐建英 (2005) 西藏拉魯拉薩濕地生態系統服務功能價值估算。生態學報 25(12):3176-3180

彭瑞祥 (2014) 開發濕地 損失知多少 (<http://e-info.org.tw/node/97751>)

趙同謙、歐陽志雲、鄭華、王效科、苗鴻(2004)中國森林生態系統服務功能及其價值評價。自然資源學報,19(4):480-490

魯春霞、謝高地、肖玉、于云江 (2004) 青藏高原生態系統服務功能的價值評估。生態學報 24(12):2748-2755

Bockstael N., R. Costanza, I. Strand, W. Boynton, K. Bell and L. Wainger(1995)Ecological economic modeling and valuation of ecosystems. Ecological Economics 14:143-159

Costanza, R. , Stephen C. Farber, Judith Maxwell, (1989) Valuation and management of wetland ecosystems. Ecological Economics 1:335-361

Costanza, R. , R. d'Arge, R. de Groot, S.Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg,S. Naeem, R. V. O' Neil, 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.

Dennis M. King, Marisa J. Mazzotta and Kenneth J. Markowitz (2000) Ecosystem Valuation (<http://www.ecosystemvaluation.org/index.html>)

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 1996. Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss. R.H. (Eds.), Climate change 1995.Impacts,adaptation, and mitigation of climate change:Scientific-Technicalanalysis. The contribution of working group II to the second

assessmentreport of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
CambridgeUniversity Press, Cambridge, UK. .

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001. Climate Change2001, Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of WorkingGroup II to the IPCC Third Assessment Report (TAR). CambridgeUniversity Press, Cambridge, UK.

Westman W. E. (1977) How much are nature's service worth. Science 197:960-964