

中國大陸、日本及韓國之森林生態系服務評估方法比較

文／圖 ■ 林俊成 ■ 農委會林業試驗所林業經濟組研究員兼組長（通訊作者）

何宇睿 ■ 農委會林業試驗所林業經濟組研究助理

邱祈榮 ■ 農委會林業試驗所副所長

一、前言

森林生態系所提供之功能及服務種類繁多，不但供給人類基本生活所需物質，如木材、燃料及遊憩服務等，更是分解環境廢棄物及循環養分的場所；此外，森林生態系還供應生命存續的功能，如生物基因庫、氣候調節、動植物棲息處所以及碳吸存等，其價值實不容小覷。生態系服務評估為一新興起的遊說工具，目的是要監測自然資源並了解其不凡的價值，提供決策者重審環境價值的機會。這項工作遍及各國，本文試整合中國大陸、日本、韓國之森林生態系價值評估方法，期作為臺灣森林生態系價值評估之借鏡及依據。

二、中日韓森林生態系服務評估類別簡介

中國大陸於 2008 年由國家林業局發布「森林生態系統服務功能評估規範」（國家林業局，2008），其所用資料來源包括中國森林生態系統定位研究網路、森林生態站長期定位連續觀測資料、國家林業局森林資源清查資

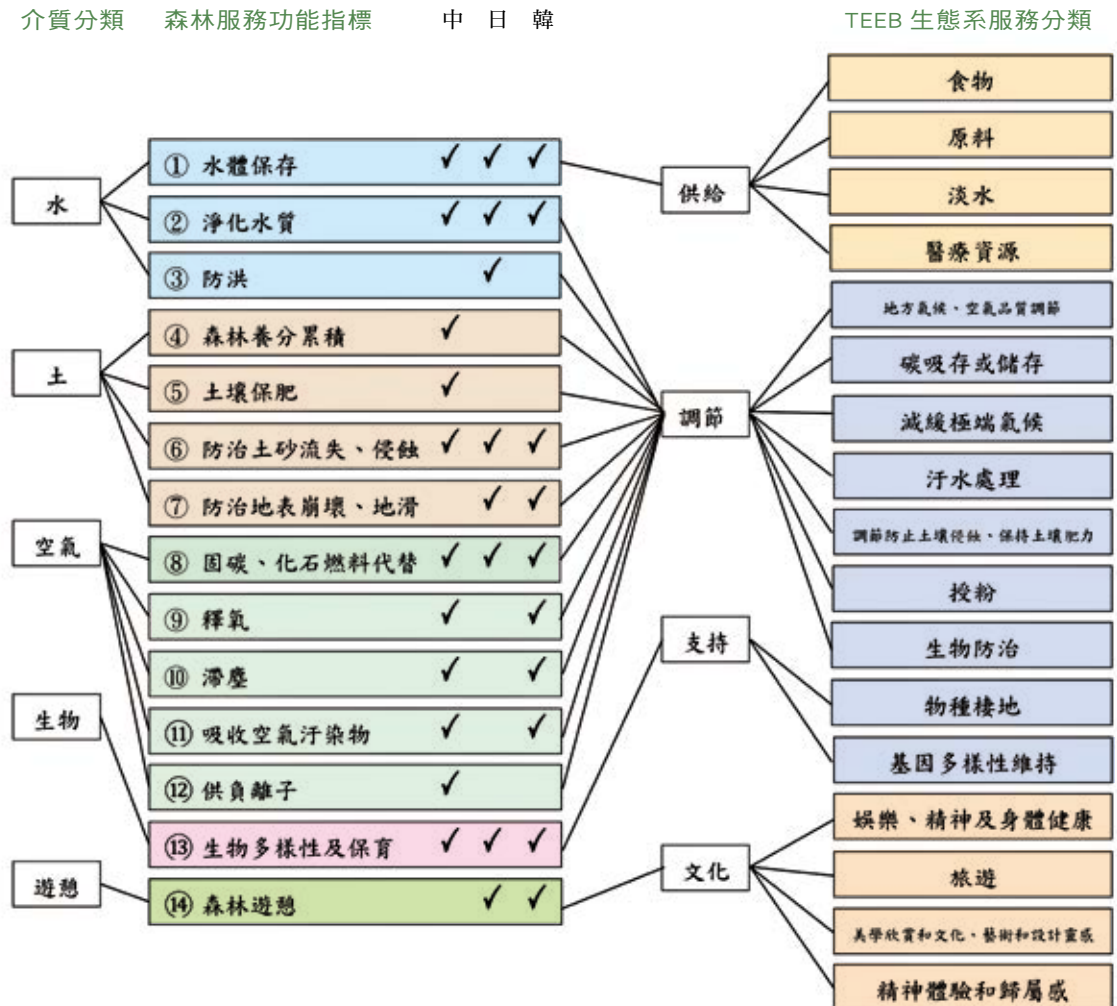
料以及權威機構公佈的公共資料。該規範將森林生態系服務區分為涵養水源、保育土壤、固碳釋氧、累積營養物質、淨化大氣環境、生物多樣性保護、森林防護及森林遊憩等 8 大類別，並再細分成 14 種功能與評估指標（調節水量、淨化水質、固土、保肥、固碳、釋氧、累積營養物質、提供負離子、吸收汙染物、降低噪音、滯塵、生物多樣性保護、森林防護及森林遊憩）。

日本對森林價值評估始於 1972 年林野廳森林公益機能計量與評估計畫，試圖找出社會在分擔森林管理費用之基準。最近一次評估在 2002 年，結合 2000 年林野廳及 2001 學術會議的資料與結論，所用資料包含林野廳調查、各部門觀察站、學校、科研、工程數據、問卷調查等統計資料，共有 9 項主要評估類別（全國林業改良普及協會，2008），即吸收 CO₂、替代化石燃料效果、防止土壤侵蝕、防止土石流、緩和洪水、蓄水、淨化水質、野生動物保護及休閒遊憩。

韓國對森林價值評估始於 1987 年韓國林務署 (Korea Forest Service, KFS) 進行森林公共效益計畫研究。2010 年最新的評估結果共評估 10 個項目，即水體保存、水質純化、空氣品質改善、防治土壤侵蝕、防治土壤崩壞、野生動物保育、森林遊憩、森林地景、生物多樣性保育及森林治療。

三、森林生態系服務評估方法比較

本研究試圖將各國的評估項目加以歸類，依據中國大陸 2011 年、日本 2002 年以及韓國 2008 年之評估項目，歸納整理為 14 項森林生態系服務功能，依功能運作的介質分為水、土、空氣、生物、遊憩等 5 類 (圖 1)。另試與生態系暨生物多樣性經濟倡議 (TEEB, The Economics of Ecosystems and Biodiversity) 將生態系服務分成供給、調節、支持、文化等功能相對應，以下分別簡述 14 項森林生態系服務功能之評估方式。



▲圖1、中、日、韓森林生態系服務功能價值評估指標分類架構 (資料來源:本研究整理)

（一）水體保存：森林在水源的保存、儲存或供應功能。

中國大陸稱作調節水量，乃將不同林型及林齡的森林降水量扣除蒸散量及地表逕流量即可得森林單位面積保留之水量，乘上面積後得總保留水量。以水庫單位庫容量的造價作為替代成本。

日本稱為水資源儲留機能，將不同行政區森林降水量乘上裸地流出係數得到雨水保留量，扣除樹冠、樹幹的蒸散量即為單位面積保留之水量（未考量地表逕流量），乘上面積後得總保留水量。根據相當水量水利設施工程成本計算其價值。

韓國稱為水源涵養，根據不同林型（針葉林、闊葉林及混淆林）及林齡分類計算孔隙通透差異以估計森林保水量。以水庫單位保水量所需之成本、維持水庫運作的成本、水壩可能導致淹沒區域放棄土地使用（林業、水稻）的機會成本，作為替代成本。

（二）淨化水質：淨化、調節、純化水質的功能。

中國大陸稱為淨化水質，將不同林型及林齡的森林降水量扣除蒸散量及地表逕流量即可得森林單位面積保留之水量，乘上面積後得總保留水量。再以水價作為替代成本。

日本稱為水質淨化機能，將不同森林種類及樹齡的森林降水量扣除蒸散量及地表逕流量即可得森林單位面積保留之水量，乘上面積後得總保留水量。水質改善乃依淨水設施營運成本以及水價分別依相關水量計算其價值。

韓國稱為水質純化，以有林地及無林地在

淨水所需混凝劑差異重量乘上混凝劑價格獲得混凝劑成本；以淨水廠無懸浮物的水排放量乘上汙泥處理成本獲得汙泥處理費用。以上兩者為變動成本，最後再加上淨水場固定費用作為總價值。

（三）防洪：森林緩和暴雨、洪水之功能。

日本稱為緩和洪水機能，以森林面積乘上平均降雨強度，得每小時於森林上方降下的雨水量，再乘上有林地及無林地雨水流出率的差，可得森林防洪水量。森林防洪量與單位防洪量營運成本的乘積，可計算森林緩和洪水的價值。

（四）森林養分累積：林木在氮、磷、鉀元素之累積、循環功能。

中國大陸稱為林木營養累積，量測每年林木淨生長量，乘上氮、磷、鉀的比例得其增加量，分別除以磷酸二胺化肥中氮、磷的比例，氯化鉀化肥中鉀的比例，計算氮、磷、鉀相當可延伸製造兩種化肥的重量，最後乘以兩化肥售價得森林養分累積價值。

（五）土壤保肥：森林林地土壤氮、磷、鉀元素之累積功能。

中國大陸乃以森林面積乘上單位面積有林地、無林地的土壤侵蝕重量的差，得森林固土量，再乘上氮、磷、鉀的比例得土壤保肥量。分別除以磷酸二胺化肥中氮、磷的比例，氯化鉀化肥中鉀的比例，計算氮、磷、鉀相當可延伸製造兩種化肥的重量，最後乘上兩化肥售價得森林養分累積價值。

（六）防治土砂流失、侵蝕：森林減少泥沙流失之防護功能。

中國大陸稱為固土功能，森林面積乘上單位面積有林地、無林地的土壤侵蝕重量的差，得森林固土重量，除土壤密度得固土體積，最後再乘上人工挖取、運輸單位體積土方所需之薪資費用計算固土價值。

日本稱為表面侵蝕防止，森林面積乘上單位面積有林地、無林地的土壤侵蝕重量的差，得森林固土重量，除土壤密度得固土體積，最後再乘上單位土方防砂堰堤工程建設成本及治水事業費用計算其價值。

韓國稱為土砂流失防治，依回歸公式（ $Y=ae^{-bx}$ ）計算有林地及無林地土壤（火成岩、變質岩、沉積岩）體積的差異，其中 a、b 為常數項，Y 為土壤侵蝕量，x 為 107 個水源地區平均岩石之齡級。最後以單位土方興建防護壩（Concrete dam）的成本費用作為替代成本。

（七）防治地表崩壞、地滑：森林防止地層滑動之防護功能。

日本稱為表層崩壞防止，以有林地與無林地發生土石流的面積差，得防止崩壞面積，再與單位面積山坡地整建工程費相乘得森林防止土石流的價值。

韓國稱為防止地滑功能，以面積及坍塌量的回歸模型，計算全國地滑面積的差異，乘上單位面積滑動體積，得防止土地滑動體積，再乘上防護屏障（Debris barrier）的建設成本計算森林防護價值。

（八）固碳、化石燃料代替：森林 CO₂ 吸收、固定之功能以及木造建築替代其他建材之 CO₂ 減量之功能。

中國大陸稱為固碳功能，以單位面積森林淨生長重量乘上森林面積，得森林生產量乘上 1.63 得 CO₂ 固定量，再乘上 27.27% 得樹木碳固定量，加上土壤碳固定量後，以計算森林 CO₂ 的固定量，以瑞典碳稅價格作為替代成本。

日本稱為 CO₂ 吸收機能，以各樹種的單位面積之材積乘上各樹種面積得其總材積。以前後齡級材積相減，可得材積年淨變化，將其乘上各樹種基礎木材密度，得材積重量，乘上生物擴展係數得地上部生質量，再乘上根莖比得整個植物體生質年變化量。乘上碳含量比及 3.67 得植物體 CO₂ 吸存量，最後再根據燃煤火力發電所的化學方法吸收 CO₂ 技術成本計算森林吸收 CO₂ 的價值。

合併計算化石燃料替代機能，計算在全國平均住宅建築面積（136m²）下木材與水泥、鋼材單位面積建物所釋放 CO₂ 重量，乘上建築面積得木造住宅較其他建材所節省之排碳重量。首先根據一年內實際的木材結構、水泥結構、鋼材結構的總住宅建築面積增加量，計算全國各建材建造房屋時所釋放的 CO₂ 量為 A，再計算將木材結構的建築面積以水泥和鋼材替代後一年內所釋放的 CO₂ 量為 B，這種換算假定總建築面積和建築之棟數不變。我們可得知非木材結構建築總釋放的 CO₂ 增加量為 B-A，即可被視為木材結構房屋能省下的 CO₂

釋放量。利用燃煤火力發電廠的化學方法吸收 CO₂ 技術的成本與木材結構房屋節省的 CO₂ 量之乘積可得到代替化石燃料效果的價值。

韓國於大氣功能中計算固碳價值，將針、闊葉樹前後 3 年的年均蓄積量相減，得年材積生長量。將其乘上基礎木材密度（0.47 ~ 0.8）、擴展係數（1.6512 ~ 1.7202）、碳含量比（0.5）及 3.62，得 CO₂ 固定量。再乘以碳交易成本得固碳價值。

（九）釋氧：森林氧氣釋出功能。

中國大陸以單位面積森林淨生長重量乘上森林面積，得森林生產量，再乘上 1.19 得氧氣釋放量，乘上農業部公布之氧氣價格。

韓國於大氣功能中計算釋氧價值，以 CO₂ 的固定量乘以 32 / 44 得氧氣釋放量，以氧氣市場價格計算。

（十）滯塵：森林粉塵吸附功能。

中國大陸以森林單位面積滯塵重量乘上森林面積得森林滯塵量，以排汙費徵收價格作為替代成本。

韓國於大氣功能中計算滯塵價值，以細塵排放量乘上森林吸收率得細塵吸收重量，以治理成本計算。

（十一）吸收空氣汙染物：植物對硫氧化物、氟化物、氮氧化物吸收、吸附之功能。

中國大陸以森林單位面積吸收二氧化硫、氟化物、氮氧化物的重量乘上森林面積得森林滯塵量，以排汙費徵收價格作為替代成本。

韓國於大氣功能中計算滯塵價值，以二氧化硫、CO₂ 排放量各別乘上森林吸收率得二氧化硫、二氧化氮吸收重量，以治理成本計算。

（十二）供負離子：森林釋放負離子之功能。

中國大陸以森林涵蓋之空間（森林面積乘上林木平均樹高）體積乘上負離子濃度量測值並給予一定之死亡率係數， $5.256 \times 10^{15} \times$ （負離子濃度 -600）/ 壽命，得以算出森林每年產生負離子數量，再以一定使用壽命之負離子機費用及耗電量產生之價格估算其價值。

（十三）生物多樣性及保育：森林提供生物與基因之多樣性，野生鳥獸保護之飼育、狩獵、市售及蟲害防治功能。

中國大陸以森林生態系統為生物提供生存與繁衍的場所，以保育並維持生物多樣性，供人類捕獵、採集等。採用 Shannon-Wiener 指數劃分森林不同生物多樣性階層，生物多樣性越高之區域其價值愈高，以野生動物市場價格及林產品替代成本計算出一維濾波值估算整合價格。

日本根據鳥類棲息地的林相密度與各林相之面積推算出森林中鳥類數量。再根據人工飼養之餌料價格計算其價值。

韓國以野生鳥類保育價值及狩獵活動價值的總和。野生鳥類保育價值為假設野鳥捕食昆蟲量的 10% 為農作物的害蟲隻數，將其除以嚴重蟲災區的單位面積害蟲數量（200,000

隻/ha)，得森林害蟲管制面積，並以單位面積之蟲害控制成本作為替代成本。狩獵價值 = 為總狩獵區進入收費收入 + 總獵者之願付價值 (Willing to pay, WTP)。

(十四) 森林遊憩：森林提供人類遊憩之功能。

日本乃根據日本旅遊協會對全國 3,000 位 15 歲以上的男、女遊客對於自然風景觀光花費之問卷調查，評價森林休閒遊憩價值。將樣本分為過夜觀光和單日觀光，分別調查其平均旅行費用、觀光參與率、平均參與次數以及參與自然風景觀光的比例，同時以森林面積與自然風景區面積的比率作為森林旅遊觀光的修正係數，最後再等比例乘上全國 15 歲以上人口總數就可以計算出全國森林旅遊的價值。

韓國以 15 歲以上的過夜及非過夜旅遊中，每位遊客的總旅行成本乘上在森林旅遊的比重得 15 歲以上森林遊憩價值，其價值的 20.8% 作為小於 15 歲之森林遊憩價值，最後予以加總。

四、中日韓森林生態系服務價值評估的差異

各國評估森林價值時廣用替代成本法 (Replacement costs 或 是 Damage cost avoided)，為一間接的經濟價值評價方法。透過在實際或替代市場上的成本，推估數量或品質變化造成的價值變動 (例如林地土壤與裸露地保水能力不同，其差異量即可表示為森林具有的保水功能，可用市場上存在之水壩維護及建設費用將其價格化)，該方法較一些虛擬市場 (Surrogate markets) 的評估，例如條件

評估法 (Contingent valuation method, CVM) 的 WTP，更能代表一實際的給付或必要花費，故較其他評估法受政府單位青睞。以下將對中、日、韓各國在使用替代成本法評估森林生態服務功能的異同作進一步說明。

中、日、韓在水體保存價值主要以水壩興建工程、維護營運、折舊等費用作為替代成本 (中國引用「中國水利年鑒」資料，日本引用「水壩年鑑 2006」資料)，此外，韓國另考量興建水壩的土地利用機會成本 (用作種植水稻與森林之機會成本)。

中、日、韓淨化水質價值以民生用水之水價 (中國採網格法計算、日本引用「水道統計」資料) 及淨水設施做替代成本，韓國指出淨水設施應包含設備折舊費、維修費、淨水費 (混凝劑費用、汙泥處理費) 及其他營運開支等。

日本評估防洪價值，引用「水壩年鑑 2006」防洪工程單位防水量之營運成本替代。

中國評估林木養分累積及土壤的保肥價值，以氮、磷、鉀的含量換算為肥料的市場價值作為替代成本。

防治土砂流失、侵蝕價值，中國以人工挖取土方費用作替代成本，日本引用「砂防便覽」，以防砂堰堤工程建設成本及治水事業費用作為替代成本，韓國同以防砂工程成本計算。

防治地表崩壞、地滑價值，日本以單位面積山坡地整建工程費用作為替代成本，韓國同以單位面積修復費用作為替代成本。

固碳、化石燃料代替價值，中國採用瑞典碳稅率作為替代成本，日本以濕式碳回收成

本作為替代成本，韓國以碳處理費作為替代成本。

釋氧價值在中國以其衛生部 2007 年春季官方公告之氧氣價格，韓國以國內液態氧價格為替代成本。

滯塵及吸附空氣污染物價值，中國依國家發展與改革委員會號令之「排汙費徵收標準及計算方法」二氧化硫、氮氧化物、氟化物、一般性粉塵之排汙費替代計算，韓國以細塵、二氧化硫、二氧化氮汙染物之處理成本作替代。

供應負離子價值，中國以台州科利達電子有限公司 KLD-2000 型負離子機之造價與損耗電費率替代。

生物多樣性及保育價值，生物多樣性部分中國以一維濾波法來結合「代表性生物之市場價值」、「林產品價值機會成本」等兩種方法，計算出大範圍地區之替代價格（張穎，2001），再依各省 Shannon-Wiener 生物多樣性指數分層找出各省對應之替代價格（王兵詳人，2008；張穎，2001）；保育部份日本以上野動物園類森林鳥類飼育費作為替代成本，韓國以病蟲害防治防護成本及狩獵願付價值及門票估算。

森林遊憩價值，日本以觀光協會資料，推估全國每年自然及森林旅行住宿、當天來回之費用，韓國以住宿、一日旅遊、設施、娛樂等費用替代。

透過分類發現各國在計算價值所使用的數據及價值替代工具並非依據同一公認標準，且各國雖均以替代成本法為主要評估方法，其

所使用之替代工具（達相同效果之人造物成本）並不一致（表 1），表示三國並未以同一原則進行價值的評估，也因此，各國在各項功能的價值評估，其金額值並不具精確的可比性。

因此，以三國均有評估的水體保存、淨化水質、防治土砂流失侵蝕、固碳與化石燃料代替、生物多樣性及保育 5 項功能加以討論影響金額高低的因素。首先我們知道每個功能的價值金額為該功能的物理量數值乘上單位物理量替代價格，物理量會與森林面積、淨生長量等有關，於前章節已討論過，單位價格的選用亦唯影響價值估算結果的重要因素。以水體保存之替代成本為例，採 2013 年幣值，中國以水庫工程之單位成本（28 元 / m^3 ），日本則以水庫營運成本（21.98 元 / m^3 ），韓國則採用兩者在加機會成本（30 元 / m^3 ），以韓國水體保存單位價格最高，中國次之，日本最小，這可能與當地水壩工程、營運技術及經濟等有關，另外韓國工程、營運及土地機會成本依比例計算為 29.62 元 / m^3 、0.30 元 / m^3 、0.09 元 / m^3 ，可見日本水庫營運費用較韓國高許多。

淨化水質的替代成本也不同，中國以水價，韓國採營運成本，日本則為兩者，日本最高，21.73 元 / m^3 ，韓國、中國次之，10.01 元 / m^3 、10 元 / m^3 ，事實上當時日本水價約新台幣 49.62 元 / m^3 ，營運成本 18.98 元 / m^3 ，可見淨化水質日本所用的單位成本也較高。

防治土砂流失、侵蝕功能，韓國以防砂工程為基，而中國採挖土人力，故中國較低，中國為挖土運輸費為 59 元／m³，是以每個人每天約 150 元台幣工資計算（每 100 m³ 需 42 工時），日本則以防砂工程建設、維持成本 1,261 元／m³，韓國以防砂工程混凝土成本 231 元／m³。日本單位成本亦為最高。

固碳、化石燃料代替三國採用的替代基準

也不同，中國以碳稅 1,524 元／t-CO₂，日本為火力發電廠化學濕式吸附法回收二氧化碳之成本 3,829 元／t-CO₂，韓國碳稅 1,691 元／t-CO₂。日本單位成本亦為最高。

生物多樣性及保育，中國大陸依地區生物多樣性豐富程度，森林單位價格落在 23,278 ~ 232,777 元／ha，日本以鳥類飼育費約 45,338 元／ha，韓國蟲害防治（占總

表 1、中、日、韓各國森林生態系服務評估項目及價值替代工具

介質類別	功能指標	價值替代工具		
		中國	日本	韓國
水	水體保存	水庫工程	水庫營運	工程、營運、土地機會
	淨化水質	水價	水價、設施	設施
	防洪	--	堤防營運	--
土	森林養分累積	化肥	--	--
	土壤保肥	化肥	--	--
	防治土砂流失、侵蝕	挖土人力	防砂工程、維持	防砂工程
	防治地表崩壞、地滑	--	山坡地工程	修復費
空氣	固碳、化石燃料代替	碳稅	回收成本	碳稅
	釋氧	官方氧價	--	液態氧市價
	滯塵	排汙費	--	處理成本
	吸收空氣汙染物	排汙費	--	處理成本
	供負離子	負離子機價格	--	--
生物	生物多樣性及保育	動物產品市價	鳥類飼育費	蟲害防治、狩獵門票及 WTP
遊憩	森林遊憩	--	旅遊成本	旅遊成本

註：韓國吸收空氣汙染物功能未涵蓋氟化物的吸收（資料來源：本研究整理）

表 2、替代物單位價格（新臺幣元）

介質類別	功能指標（單位）	中國	日本	韓國
水	① 水體保存（元／m ³ ）	28	21.98	30
	② 淨化水質（元／m ³ ）	10	21.73	10.01
	③ 防洪（元／m ³ ）	--	0.055	--
土	④ 森林養分累積（元／t）	1564-5121	--	--
	⑤ 土壤保肥（元／t）	1490-5121	--	--
	⑥ 防治土砂流失、侵蝕（元／m ³ ）	59	1,261	231
	⑦ 防治地表崩壞、地滑（元／ha）	--	26,393,437	2,950,583
空氣	⑧ 固碳、化石燃料代替（元／t-CO ₂ ）	1,524	3,829	1,691
	⑨ 釋氧（元／t）	4,656	--	12,148
	⑩ 滯塵（元／t）	698	--	152,757
	⑪ 吸收空氣汙染物（元／t）	2,900-5,600	--	56,004- 228,813
	⑫ 供負離子（元／10 ¹⁸ 個）	27	--	--
生物	⑬ 生物多樣性及保育（元／ha）	23,278-232,777	45,338	8,049
遊憩	⑭ 森林遊憩（億元）	--	6,795	3,595

註：所有幣值以匯率換算成 2013 年的單位價格

價值 99.67%)、狩獵門票及 WTP 單位價值 (占總價值 0.25%、0.08%) 約為 8,049 元/ha，基本上以中國、日本單位價格為最高。

五、結論與討論

生態系服務價值因無排他性，少有在現實市場中流動的服務，然而，這些服務卻對人類社會有著許多貢獻。從中、日、韓森林背景與其森林價值之評估中可以看出，不論其他影響因素，蓄積量及森林面積較高的中國其總森林價值較高，單位面積蓄積量高的日本其單位面積森林價值較高，然而，這只是大致推測，因為各國的評估項目、參數及替代工具等評估標準不一，並無法直接比較。

中、日、韓 3 國多以替代成本法進行國內森林價值評價，此方式所需資料難以取得，但其較具公信力，故廣受各國政府單位使用。

森林價值評估所使用之原始資料參數，必須仰賴相關單位持續更新重要數據，例如年森林降雨量、森林土壤逕流量等森林相關資訊，以及其他參數例如氧氣價格、水庫供水量、水庫營運費、防洪建設、防洪量等，若臺灣未來要進行相關評估工作，需先確認各項資料數據的來源是否可得。

生態系另具許多本文未提到的價值，例如美學、存在、遺贈等，這些價值往往無法精確評估，不當的估價和錯誤的解讀更可能導致嚴重的問題。我們不期望生態系服務或功能的價值評估是萬靈丹，但評估結果能使現任決策者更瞭解及重視生態系的價值，以在執行決策作損益評估時，能有更全面的思考。🌱

參考文獻 (請逕洽作者)

(圖片/高遠文化)