

建立農業生態系服務價值量化評估架構

ESTABLISHMENT OF VALUATION FRAMEWORK FOR AGRICULTURAL ECOSYSTEM SERVICES

國立臺灣大學
生物環境系統工程學系
研究助理

何恭慧
Kung-Hui He

行政院農業委員會
農業試驗所
助理研究員

張翊庭
I-Ting Chang

國立臺灣大學
生物環境系統工程學系
研究助理

黃妤婕
Yu-Chieh Huang

行政院農業委員會
農業試驗所
組長

郭鴻裕
Horng-Yuh Guo

國立臺灣大學
生物環境系統工程學系
博士班研究生

林冠廷
Kuan-Ting Lin

國立臺灣大學
生物環境系統工程學系
助理教授

潘述元*
Shu-Yuan Pan

摘要

我國農業面臨許多新挑戰，包括：科技快速發展轉型、環境生態變遷、政經社會蓬勃發展、農村人文地景保存及市場自由化等。本研究首先彙整農業生態系服務發展之國際動態與重要里程碑，並蒐集國外常見農業生態系服務價值量化方法與實務案例。國際先驅國家或區域(例如歐盟)持續提供相關補貼，協助農業及農村轉型，以維持農業發展且確保生態環境與地景文化等永續，因此建立農業生態系服務量化指標與補償機制，有效守護農地功能與價值，並確保農民獲得合理報償，係我國未來實現永續農業之重要目標。根據國外經驗，本研究亦研擬加速推動我國農業生態系服務之執行策略，並提出四項優先研究方向，包括：建立農地生態系服務指標評估架構、建置本土化生態系服務價值指標與量化方法、鏈結現行環境綠色補貼制度以及貢獻淨零排放路徑實現，以做為未來相關領域專家學者研究之參考依據。

關鍵詞：永續農業、國際動態、執行策略、量化指標、綠色補貼。

* 通訊作者，國立臺灣大學生物環境系統工程學系助理教授
10617 台北市大安區羅斯福路四段 1 號，sypan@ntu.edu.tw

ESTABLISHMENT OF VALUATION FRAMEWORK FOR AGRICULTURAL ECOSYSTEM SERVICES

Kung-Hui He

National Taiwan University
Department of
Bioenvironmental Systems
Engineering

Yu-Chieh Huang

National Taiwan University
Department of
Bioenvironmental Systems
Engineering

Kuan-Ting Lin

National Taiwan University
Department of
Bioenvironmental Systems
Engineering

I-Ting Chang

Taiwan Agricultural Research
Institute Council of Agricultural,
Executive Yuan

Horng-Yuh Guo

Taiwan Agricultural Research
Institute Council of Agricultural,
Executive Yuan

Shu-Yuan Pan*

National Taiwan University
Department of
Bioenvironmental Systems
Engineering

ABSTRACT

22

Agriculture in Taiwan has faced new challenges, such as rapid technological development and transformation, environmental and ecological changes, vigorous development of politics, economy and society, preservation of rural humanities and landscapes, and market liberalization. To achieve sustainable agriculture in the future, this study first summarizes the international trends and important milestones in the development of agricultural ecosystem services. International pioneer countries or regions (such as the European Union) continue to provide substantial subsidies to assist in the transformation of agriculture and rural areas to maintain agricultural development while ensuring the sustainability of the ecological environment and landscape culture. Therefore, quantitative indicators and green compensation mechanisms for agricultural ecosystem services should be established to effectively protect the function and value of farmland while ensuring reasonable incomes for farmers. This study also collects available methods/tools and practical case studies for quantifying the value of agricultural ecosystem services in foreign countries. Based on the collected successful experiences, this study proposes several implementation strategies and four priority research directions, including establishment of the framework for agricultural ecosystem service indicators, development of the quantification methods for localized ecosystem service indicators, connection with the current environmental green subsidy, and realization of net-zero emission paths. These strategies will accelerate the development of agricultural ecosystem services in the near future.

Keywords: Sustainable agriculture, Interantional movement, Implementation strategy, Indicator valuation, Green subsidies.

He, K.H., Huang, Y.C., Lin, K.T., Chang, I.T., Guo, H.Y., & Pan, S.Y.* (2022). "Establishment of Valuation Framework for Agricultural Ecosystem Services." *Journal of Taiwan Agricultural Engineering*, 68(3), 21-32.
[https://doi.org/10.29974/JTAE.202209_68\(3\).0003](https://doi.org/10.29974/JTAE.202209_68(3).0003)

一、前言

根據千禧年生態系評估報告 (Millennium Ecosystem Assessment, 簡稱 MEA)^[1], 「生態系服務」(Ecosystem Service) 廣義定為「人類從生態系中獲得之利益」, 係指生態系所提供直接或間接對人類生活之價值, 不單指有形材料供給, 更包括許多影響生態調節之價值。常見生態系服務之功能, 廣泛可分為四大類, 包括: 供給、調節、文化及支持^[2], 其中, 「供給服務」係指生態系提供原料與資源等, 例如食物、纖維、基因資源、生物資源、化學品、天然藥材、裝飾資源及淡水等; 「調節服務」係指提供調節服務, 例如空氣品質、調節氣候、調節水分、調節侵蝕、調節病蟲害及授粉等; 「文化服務」係指人類接觸生態系所獲得非物質上之益處, 例如精神、心理及美學等; 「支持服務」係指生態系為動植物提供生存空間與維護物種/品種多樣性。量化生態系提供有形及無形之價值, 可有效提供決策者關於生態系改變之科學數據及其對於人類福祉改變之後果, 並鑑別相關經營替代方案之潛在衝擊; 同時, 更好地瞭解相關市場經濟之運作效能。

臺灣以農立國, 然而隨著時代變遷與經濟結構轉變, 農業亦開始轉型。我國農業除經濟產值外, 農田生態價值及農村歷史文化與地景情感等多元價值, 亦具有相當重要之意義, 皆應納入農業施政之考量。另一方面, 氣候變遷影響逐年加劇, 我國遂於 2012 年提出「國家氣候變遷調適政策綱領」, 底下分八大領域描述衝擊、挑戰及調適策略; 其中, 於「農業與生物多樣性」領域, 面臨農業灌溉型態及農業生產之衝擊, 此綱領提出應依風險程度建構糧食安全體系, 整

合科技提升產業抗逆境能力, 並建立多目標與永續優質之林業經營調適模式。因此, 除農業產業型態改變, 亦需考量生態系平衡與農業生態系服務功能永續。我國於 2016 年提出「新農業政策」, 執行「建立農業新典範」策略, 以克服當前農業經營之困境與挑戰。此新農業政策包含十大重點, 例如指引綠色補貼政策工具之永續行為, 促進國土計畫農業區之合理土地利用、發揮其農業生態系服務價值等。此外, 我國於 2018 年舉辦「第 6 次全國農業大會」, 其中永續分組決議之一, 即係期望能透過法律及財政措施, 建立量化指標與補償機制, 發揮永續農業之生態服務價值。建立完善之農業生態服務價值與綠色補貼機制, 可有效提升我國農業之社會福祉與綠色補貼政策, 保障農民之經濟收入, 並適當提供農業技術指導, 幫助農民解決經濟及生產問題; 同時, 配合適當政策與經濟誘因, 增強各級產業間餘裕資源之交換和再利用, 融合農林漁牧產業, 形成資源循環經營體系, 連結其他非產業, 達到共同產業鏈。

有鑑於此, 為發展國內農地生態價值量化指標與綠色補貼之政策架構, 本研究首先彙整農業生態系服務發展之國際動態與重要里程碑, 並蒐集國外常見農業生態系服務價值量化方法與實務案例; 同時, 根據國外經驗, 本研究研擬加速推動我國農業生態系服務之執行策略, 並提出四項優先研究方向, 做為未來相關領域專家學者研究之參考。

二、生態系服務發展之國際動態與里程碑

關於生態系服務發展之重要里程碑, 詳如圖 1 所示, 其中, 較重要之國際報告為聯合國於 2005 年出

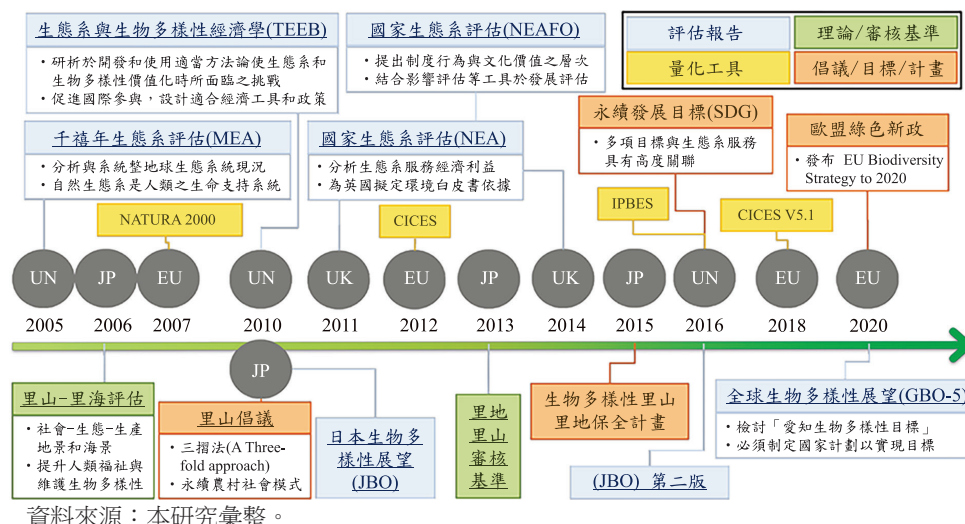


圖 1 歐洲與日本重要生態系服務相關政策之時間軸

版之「千禧年生態系評估報告」(Millennium Ecosystem Assessment, 簡稱 MEA), 統整分析地球生態系之現況, 並提出自然生態為支持人類生存之重要系統; 隨後日本於 2006 年出版「里山里海評估理論」, 提出社會-生態-生產之地景與海景理念。歐盟於 2007 年開發「NATURA2020」系統, 可做為生態系敏感區域劃分之工具; 日本於 2010 年正式提出「里山倡議」, 並出版第一版日本生物多樣性展望報告, 具體說明分類與量化生態系服務價值之方法論。英國於 2011 年出版「國家生態系評估報告」(UK National Ecosystem Assessment, 簡稱 NEA), 歐盟於 2012 年發布「生態系功能分類系統」(The Common International Classification of Ecosystem Services, 簡稱 CICES), 英國 2014 年出版「國家生態系評估後續追蹤報告」(UK national ecosystem assessment follow-on, 簡稱 NEAFO), 指出生態系服務之制度行為和文化價值存在三個層次, 包括從業者行為(微觀層面)、制度文化(中介層面)和社會政治背景(鉅觀層面), 且評估英國和經濟合作與發展組織(the Organisation for Economic Cooperation and Development)其他國家常用之三種評估類型, 包括: 影響評估、政策環境評估及環境影響評估。

至 2016 年, 聯合國發布「永續發展目標」(Sustainable Development Goals, 簡稱 SDGs)^[3], 包含 17 大目標、169 個子目標及 200 多個相關指標。各國政府肩負著發展與實踐這些目標, 將社會、經濟及環境的永續發展優先納入國家發展的目標。其中多目標都和生態系服務有著密不可分之關係, 包含消除貧窮 (SDG-1)、消除飢餓 (SDG-2)、建立良好的健康狀況 (SDG-3)、改善水及衛生 (SDG-6)、確保可負擔的起且永續的現代能源 (SDG-7)、永續的經濟成長 (SDG-8)、增加產業、創新及基礎建設 (SDG-9)、都市人類居住 (SDG-11)、永續消費及生產模式 (SDG-12)、因應氣候變遷採取的緊急措施 (SDG-13)、保育及永續利用海洋與海洋資源 (SDG-14) 及促進陸域生態系的永續使用 (SDG-15), 其中以 SDG-1、SDG-2、SDG-6 和 SDG-15 關聯性較大。聯合國於 2016 年提出之永續發展目標 (SDGs), 亦與生態系服務有重要關聯。Wood 等人 [4] 使用雙向網絡分析來繪製聯合國 SDGs 對 178 個生態系服務功能之交互關聯網絡, 分析結果顯示: 對糧食和水之提供及生態環境和生物多樣性維護服務之評估最頻繁, 也被認為對最大數量之不同目標 (分別為 21、21 和 26 個目標) 做出了貢獻, 其次是碳儲存、水質、水質監管、原材料供應及娛樂和旅遊業各自促成了 10 個或更多目標。另一方面,

目標 SDG-1、SDG-2、SDG-6 和 SDG-15 被認為是最大數量之獨特生態系服務貢獻, 其中, SDG-1 關聯著 5 項生態系服務貢獻、SDG-2 關聯著 12 項生態系服務貢獻、SDG-6 關聯著 7 項生態系服務貢獻、及 SDG-15 關聯著 14 項生態系服務貢獻。

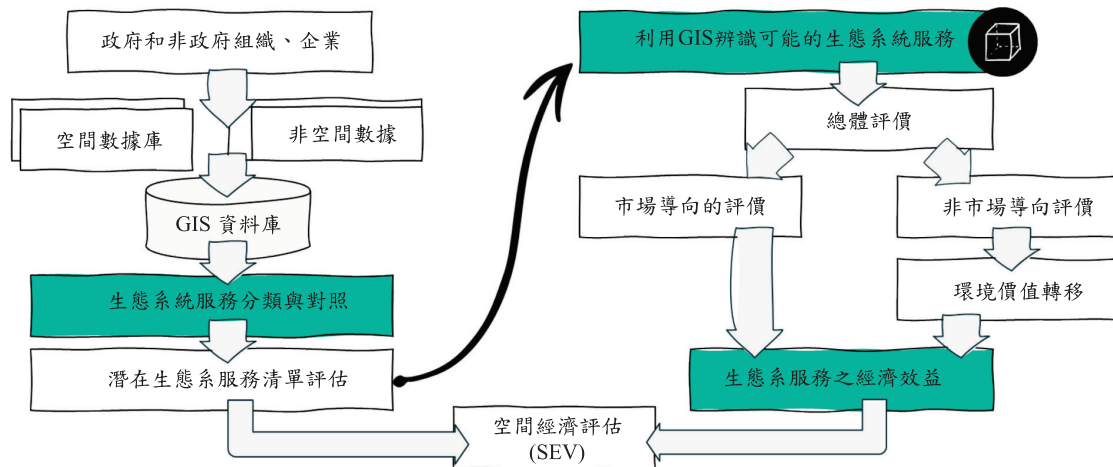
若係從農業土壤之角度分析農業生態系服務價值, 歐盟於 2006 年提出「土壤主題策略」(Soil Thematic Strategy), 以確保歐洲土壤維持其健康, 並有能力支持人類活動與生態系。隨後歐盟於 2018 年更新「CICES 系統工具」, 而歐盟棲地論壇 (European Habitats Forum) 成員於 2019 年 5 月 23 日聯合發布「歐盟 2020 生物多樣性戰略實施和對 2020 年以後生物多樣性戰略建議」, 要求歐盟成員國制定國家生態系服務 (Ecosystem Services) 指標綱領, 從評估農地功能重要性開始, 映射各區域生態系服務之供給和需求, 分析製圖並應用於農業決策和空間規劃。至 2019 年 12 月, 歐盟執委會提出「歐盟綠色新政」(European Green Deal) [5], 包括一系列深度轉型十大政策, 以減緩氣候變遷, 實現潔淨環境, 邁向綠色經濟體系。其中, 第五項為「生態系與生物多樣性」, 並於 2020 年 5 月 20 日提出「2030 年生物多樣性戰略」(EU Biodiversity Strategy for 2030), 確保歐盟於 2030 年前有效執行生物多樣性策略, 以邁向生態回復途徑, 其主要元素包括建立歐盟至少 30% 土地與 30% 海洋為保護區域; 藉由一連串措施修復已受損之生態系 (包括土地與海洋), 例如增加有機農業與生物多樣性地貌於農地上、反轉授粉者角色減少趨勢、於 2030 年前減少至少 50 % 之有害殺蟲劑使用、恢復至少 25,000 平方公里河川至無拘束狀態、及於 2030 年前種植至少 30 億顆樹等 [6], 最後, 並於 2021 年提出具體目標與行動方案 (Biodiversity Strategy to 2020)。

三、農業生態系服務價值量化

本章蒐集國外常見農業生態系服務價值量化方法與實務案例, 說明如下:

3.1 建立農業生態系服務價值量化方法

常見生態系服務分類為供應、調節、支持及文化服務, 其概念架構作為一組織結構涵蓋管理生態系及其對人類福祉貢獻的模型, 詳如圖 2 所示。生態系服務管理應包含多準則決策、資訊技術和各層級行動者參與, 屬於一永續管理生態、經濟和社會文化服務之



資料來源：本研究參考並修改自文獻 [7]。

圖 2 生態系服務經濟價值評估與分類方法概念架構

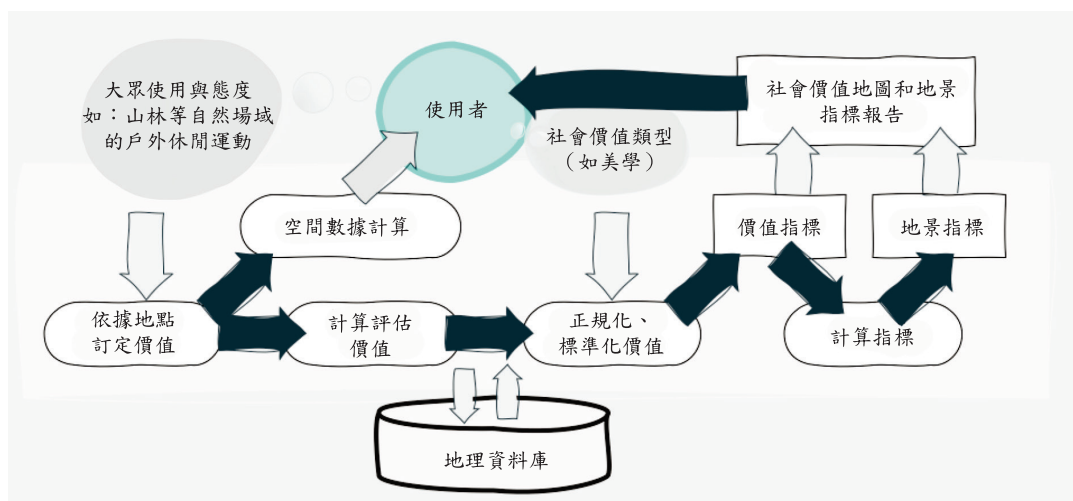


圖 3 建置生態系社會價值 (Social values for ecosystem services，簡稱 SoIVES) 判定方法架構

倡議與方法。根據國外農業生態系服務價值量化經驗，納入農業資料庫空間，從最初階的資料展示套疊、建立統計圖表，再納入生態系服務評價方法所需參數建立模型運算，甚或因地制宜或因服務目標不同調整模型，並產出評估結果。

計量生態系服務有許多方法 (說明圖 3 所示)，例如空間統計量化、地理環境比較及相關性分析等，用以解釋不同時空間尺度地理空間型式、生態過程與功能變遷，例如：建立完善農地管理需有時空屬性之農業資訊支持，整合相關部會資訊及農業環境空間資料庫，並配合各地水資源條件檢討耕作制度，以提供生態系服務解決方案所需。另一方面，建立生態系服務與社會利益 (Social Welfares) 之間的定量關係至關重要，提供一套公認且能明確衡量服務標準具有相當挑

戰性，應先鑑別對社會福祉具有重大益處之生態系服務，透過參與衡量其重要性與確定優先順序。在預測未來生態系服務的提供和權衡分析時，採用具有綜合決策支持系統之整體方法至關重要，以便於現地實施前更好地制定政策。

以美國「生態系統服務和交易的綜合評估模型」(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs, 簡稱 InVEST) 為例，其以 ArcGIS 為基礎進行評估，發展至今已為一套相當成熟之工具。InVEST 具有下列幾項特性與優勢：(1) 可根據使用者所擁有之資料量進行模式參數設定，各項資料與參數可以透過自訂或參考官方之建議數值進行設定，依不同地區因地制宜調整參數，因此相當具有彈性可應用於各個不同國家環境；(2) 可透過模擬未來情境 (例如土地利用

類型於不同年度間之變化)，或使用其開發之情境模擬功能，進行未來情境模擬分析以進行比較；(3) 空間化及視覺化的方式呈現生態系服務評估結果，彌補過去生態系服務評估模型所欠缺的價值評估法與空間特徵解釋，因此能廣泛應用於環境相關決策。

3.2 實務研究案例

計算生態系服務總經濟價值時，應個別針對擬評估之區域，研擬各種價值類型及其所對應之生態系服務類別。Martínez 等人^[8]將此價值簡化成「使用價值」(Use Value) 與「非使用價值」(Non-use Value)，並依據生態系服務功能進行細項分類。使用價值包括實際價值 (Actual Value) 與選擇價值 (Option Value)，例如糧食供應、木材供應、畜牧業、甚至是自然觀光與環境教育等；非使用價值則包括民眾對於瞭解某物種或生態系存在之滿足感、主觀美感等。此分類方式可作為我國研析某區域或農業行為之經濟評估與綠色補貼合理性時，其生態系服務價值量化分類架構參考之依據。

本節彙整國際上利用生態系服務評估相關生態與環境效益之相關研究，詳如表 1 所示。Smart 等人^[9]使用生態系服務方法來評估控制農業氨排放的替代方案之可行性，設定三種減量情境，結果表示生態系服務對於農業空氣品質管理有正面效益，其中對於生物多樣性的影響，降低氨排放有助於維持生物多樣性，並減緩氣候變遷；然而，生態系服務之經濟效益卻不顯著。Kelvin 等人^[10]針對英國劍橋郡一長期計畫，該

試驗區原為集約化耕作的耕地轉為濕地，進行生態系服務評估其生物多樣性影響，評估土地利用轉換所帶來的生態系服務變化，估算與耕地相比，恢復濕地所提供的生態系服務可貨幣化進行量化，研究顯示整體社會淨收益為每年每公頃 199 美元，濕地復育的一次性投資每年每公頃 2,320 美元，耕種生產的損失為每年每公頃 2,040 美元；其他如自然遊憩活動、放牧、防洪及溫室氣體減量收益分別為每年每公頃 671、120、48 及 72 美元，整體管理成本也下降約每年每公頃 1,325 美元，顯示土地利用轉換給整個社會帶來正面收益。MacDonald 等人^[11]於英格蘭西北部 (Hesketh Outmarsh West) 及蘇格蘭中部 (Inch of Ferryton)，利用生態系服務評估沿岸生態管理調整，對於緩解氣候變化、農業生產、自然遊憩活動及洪水風險防護等影響，並與其他農業州比較，結果顯示 Hesketh Outmarsh West 與 Inch of Ferryton 之每年邊際收益分別為 262,935 及 93,216 英鎊(單位面積收益為 1,461 與 575 英鎊/公頃)，其中沿岸遊憩活動之收益最高，且沿岸沉積物之固碳效益可高於溫室氣體排放量。Field 等人^[12]評估英格蘭東部一可耕種農場進行不同管理重點，包含糧食作物與野生動物友好農業，對於糧食生產，溫室氣體排放與生物多樣性之影響，分別設計三種不同情境，分別為基線情境 (即三年定期輪休耕地)、多樣化耕種及限制產量等，透過實際農作物產量、作物溫室氣體排放以及生物多樣性的紀錄進行整體評估，結果發現：限制產量與多樣化耕種可提升生物多樣性程度約 177 %、溫室氣體排放減少 9.4 %，整體生產成本也降低 9.6 %。

表 1 國外利用生態系服務評估相關生態與環境效益之實務研究案例

評估目標	評估方法	重點結果說明	參考文獻
農業氨排放的替代方案	最弱連結分析法 (Weakest Link Analysis)	以 47 萬噸氨氣減量替代方案 • 需投入 1.65 億歐元的社會成本 • 減少 PM _{2.5} 對人體健康影響產生 0.86 億歐元的收益 • 減少 N ₂ O 排放產生 0.44 億歐元的收益	[9]
集約化耕作的耕地轉變為濕地棲地	基於生態系服務的現場評估 (Toolkit for Ecosystem Service Site-based Assessment)	• 整體社會淨收益：199 USD ha/yr • 濕地復育的一次性投資：2,320 USD ha/yr • 耕種生產的損失：2,040 USD ha/yr • 自然遊憩活動：671 USD ha/yr • 放牧：120 USD ha/yr • 防洪：48 USD ha/yr • 溫室氣體減量：72 USD ha/yr	[10]
沿岸生態管理對於農地之影響	基於生態系服務的現場評估 (Toolkit for Ecosystem Service Site-based Assessment)	• Hesketh Outmarsh West 地區每年邊際收益：262,935 英鎊 • Inch of Ferryton 地區每年邊際收益：93,216 英鎊	[11]
農場耕種管理改變	情境分析法	• 提升生物多樣性程度約 177 % • 溫室氣體排放減少 9.4 % • 整體生產成本降低 9.6 %	[12]

四、研擬相關執行策略

落實永續農業環境經營需各部會 (包含農業、林業、漁業、礦業、水資源及環保等部門) 通力合作，進一步促成國家與地方團體之夥伴關係，並從全球尺度於國際永續議題上之合作平臺。追求永續農業生態系服務功能發展時遭遇之複雜性風險，應藉由系統性全盤規劃、不具排他性、資訊公開及因地制宜之管理方式降低；同時，顧及社會目標及不同替代方案所產生之綜合效應與得失，需建立完善之利害關係人協調機制，並制定合宜之地方政策工具。為提升農業生態系服務功能與價值，本研究從八大面向提出相關執行策略，包括行政管制、經濟誘因、資訊平台、亮點示範、指標體系、環境教育、夥伴關係及國際合作，細節說明如下：

1. 行政管制：研析我國現行政策執行狀況與限制探討，結合國土計畫法與土地利用規劃，分就土地、作物與自然環境服務價值切入補償辦法草案之探討。
2. 經濟誘因：改善現有農業補助措施，穩定農民收入，並與生產脫鉤考量生態環境之價值，例如減緩氣候變遷、維護生物多樣性、生態環境維護等，以朝向生態給付/對地環境給付之政策。
3. 資訊平台：系統性整合我國現有農地背景資料，包含水文、土壤、物種、種植作物、施肥/用藥、溫室氣體排放及生態物種等，建立農地資源評估方法與生態系服務價值量化工具 (分析量化架構、資料庫種類、適用情境、執行方法、優劣及相關限制)。
4. 亮點示範：鑑別臺灣農地生態熱點區域與韌性區，依據生態資料提出整治措施規劃；選定農地氣候變遷情境，分析未來氣候變遷與土地利用變化對於生態系服務之影響，以擬定氣候變遷對生態系服務調適策略與調適路徑。
5. 指標體系：建立完善之農地生態價值與評估指標，優化預算資源之配置，作為支援決策依據；建立農田利用計價方法，考慮生命週期評估與生態檢核概念，並適當搭配研擬政策與指導方針。
6. 環境教育：規劃生態系服務價值示範區為環境教育場址，藉由環境教育深耕民眾環境生態意識，輔助公民科學於生態系服務價值提升，並強化生態系服務於文化功能之價值。

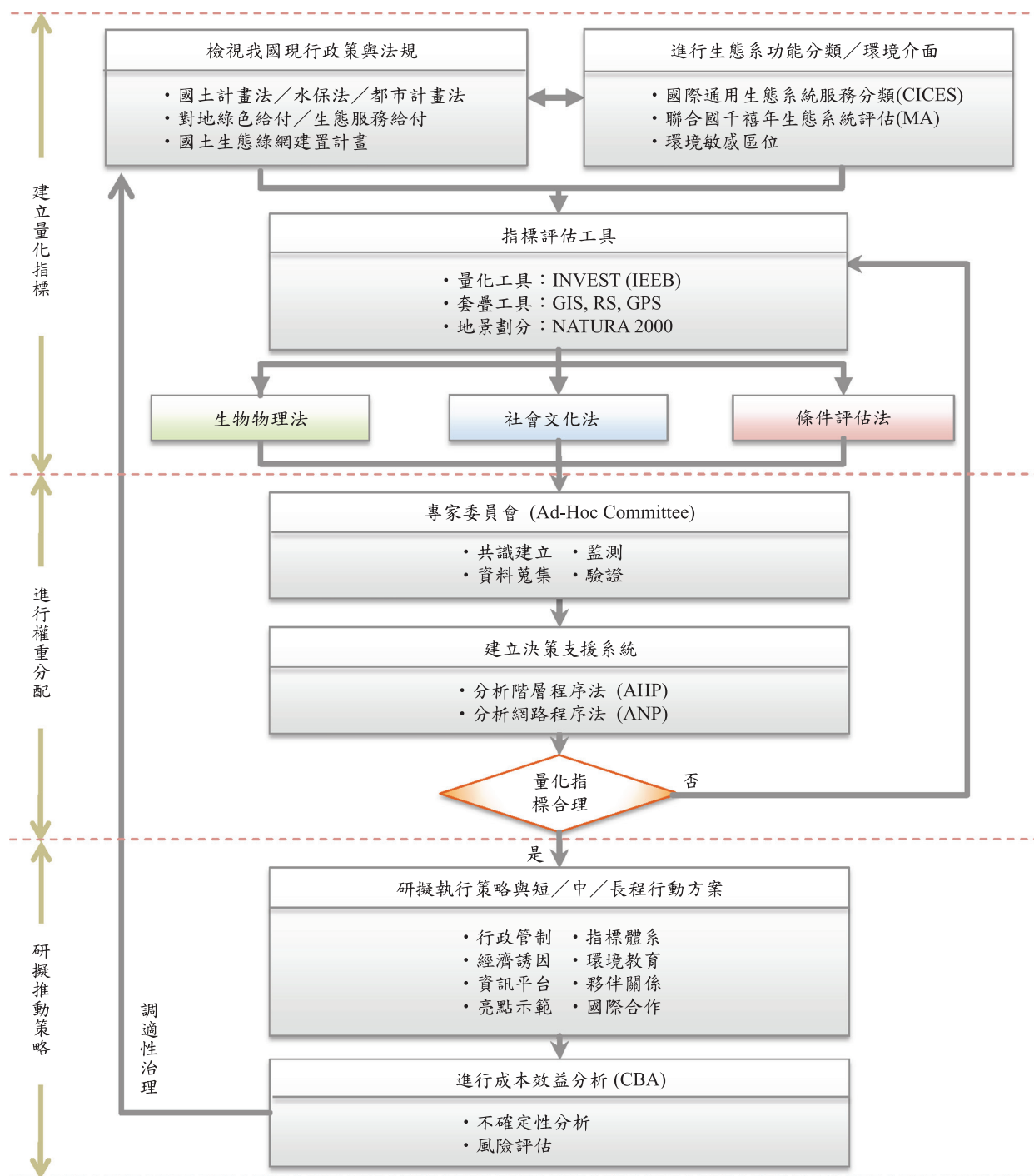
7. 夥伴關係：成立跨組織農業生態系聯盟 (包括：政府、學研、產業及民間組織)，納入跨領域專家與學者，輔助環境教育之推動；建立高效率跨政府部門間溝通平台，並強化與民間組織之溝通與合作。
8. 國際合作：比較各國相關政策與農法差異，系統性分析先進國家之國土規劃利用策略與施行成效，廣表土地利用與綠色補助方式，以借鏡我國整體農地資源規劃參考。

五、優先研究方向與展望

本研究綜合國內外相關研究現況與執行經驗，彙整提出四大未來優先研究方向，包括：建立農地生態系服務指標評估架構、建置本土化生態系服務價值指標與量化方法、鏈結現行環境綠色補貼制度及貢獻淨零排放路徑實現，以永續我國農業生態系服務功能之價值。

5.1 建立農地生態系服務指標評估架構

本研究針對建立農地生態系服務指標量化提出評估架構，詳如圖 4 所示。研擬農地生態系服務指標時，首先應先檢視我國行政政策與法規 (例如：國土計畫法、國土生態綠網建置計畫等)，並同步進行評估區域之生態系功能與環境介面分類，此分類體系可參考國際通用生態系服務分類 (CICES) 或聯合國千年生態系評估 (MEA)；同時，指標評估工具可區分成地景劃分、地理圖層套疊工具及量化工具 (例如：InVEST)，並作為後續量化評估之依據。常見量化評估方法包括生物物理法 (Bio-physical Method)、社會文化法 (Socio-cultural Method) 及條件評估法 (Contingent Valuation Method)，所得各生態系服務指標價值再透過專家諮詢法 (Ad-Hoc Committee)，確認各指標之權重與合理性，驗證並建立共識，並透過統計分析 (例如分析階層程序法)，以作為後續決策支援系統之基礎。若量化指標之合理性有待商榷，則再回饋至前端量化工具步驟，重新評估指標價值與合理性。另外，上述決策支援系統所得資訊，將作為執行策略與短中長程行動方案之參考依據，選定代表性區域，再個案進行細部成本效益分析、不確定性分析及風險評估，所得資訊將再回饋至上位政策與法規改善之參考依據，確實落實調適性治理之作法。



資料來源：本研究繪製。

圖 4 建立農地生態系服務指標量化評估架構

5.2 建置本土化生態系服務價值指標與量化方法

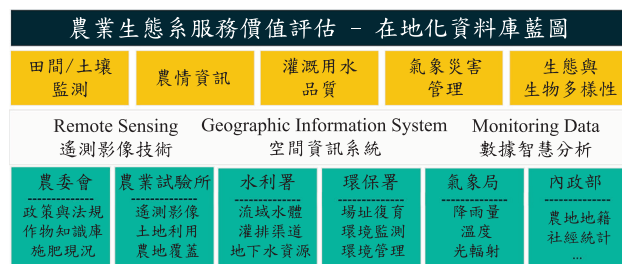
聯合國農糧組織指出「自然資源」(Natural Resource Base) 與「生態系服務」為糧食與農業系統之基礎，意即邁向永續糧食與農業之根本，例如：農業可提供野生物種之棲地，創造具美感之地貌；整合

式農耕 (Integrated Farming) 可創造陸地碳匯 (Terrestrial Carbon Sinks) 等功能^[13]。為了對現今農業生態針對不同議題有更多前瞻性目標，本研究將農業生態系之傳統四類服務屬性，依據五大環境界面進行分類，包括：大氣圈 (Atmosphere)、土壤/礦物圈 (Geosphere)、水圈 (Hydrosphere)、生物圈 (Biosphere)

表 2 農業生態系服務與環境系統之關聯與分類

類別	供應服務	支持/調節服務		文化服務
1.大氣圈	• 潔淨空氣	• 調節氣候 (溫室效應)	• 空氣品質淨化	• 價值觀教育/道德養成
2.土壤/礦物圈	• 健康土壤 • 裝飾資源	• 維持土壤肥力 • 水土保持 (調節氣候)	• 土壤形成 • 土壤碳匯	• 自然棲地文化/美感
3.水圈	• 乾淨水源	• 水質淨化/涵養 • 調節洪水 (滯洪)	• 農業供水	• 觀光遊樂體驗 • 美學/紓解壓力
4.生物圈	• 糧食、木材、纖維 • 基因資源	• 生物 (物種) 多樣性 • 物種棲息地 • 光合作用	• 病蟲害防治 • 生態恢復力 • 授粉	• 食安教育 • 生物多樣性美感
5.能源與資源	• 醫藥資源 • 生質能源生產 • 新興 (精緻) 農業產品 • 農產品跨界應用	• 初級生產 • 養分循環	• 農藥管理/削減 • 產品多元	• 非物質文化遺產 • 裝置景觀藝術 • 傳統技術傳承 • 紓解都市人潮

資料來源：本團隊彙整製作。



資料來源：本研究繪製。

圖 5 在地化的農業空間資料庫整合與參數化

及能源與資源 (Energy and Resource)，詳如表 2 所示。藉由此農業生態系服務分類執行現今農業環境生態議題，可加強跨領域或環境技術應用，且服務項目範圍可包含政府機關、學研界、農民、社會公益團體及民眾；同時，每個生態系服務功能都互有相關性，因此在確保農業生態系服務價值時，應針對具高度關聯性之功能服務 (或議題) 進行整合性討論及研析。

此外，生態系服務研究需有本土化之計量方法 (圖 5)，透過遙測技術、空間資訊系統及數據智慧分析等工具，將各部會相關資訊整合，包括：農委會、農試所、水利署、環保署、氣象局及內政部，以完善掌握田間土壤監測、農情資訊、灌溉用水品質、氣象災害管理及農業生態與生物多樣性等，提升農業生態系服務功能，甚至提供研擬生態系服務解決方案所需。

5.3 鏈結現行環境綠色補貼制度

農業發展轉型，除提升農業經濟產值，亦能提供生態環境及地景文化等多項功能，例如：歐盟深知農

業與農村多樣性功能 and 價值的重要性，長期施行農業支持政策，且持續因全球經濟貿易調整其政策與預算、補貼措施等。事實上，歐盟預算支出逾半用於農業用途，以維持農地健康、水源及農產品安全，減少農民於醫療保險上支出，同時維持農村人文與產業經濟文化等面向之保障。國際上，關於農業綠色補貼或綠色給付已行之有年，例如：英國「農業多功能環境給付」政策，推出 11 項地區型的小辯鴿復育計畫 (Lapwing Recovery Projects)，鼓勵農民配合小辯鴿的繁殖行為，適度調整農法；「韓國農業多功能給付」政策，針對環境友善 (包括水田及旱田給付) 或安全畜產 (是否使用抗生素及有機飼養) 相關作為進行給付，亦針對改善農業經營結構提供直接給付，例如老農提早退休直接給付；日本「直接給付制度」，整併坡地與山區農家的直接給付、環境友善農業直接給付與改善資源給付，增設農地維持給付等政策。

我國綠色補貼政策為促進國土計畫農業區之合理土地利用、發揮其農業生態系服務價值，目的為減緩氣候變遷，重視物種保育，維護生物多樣性與生態環境；實現農業區域發展之永續，穩定農民經濟收入；維護農業生產環境，減少農業用藥，邁向綠色健康農業生產體系。自 2018 年起，行政院農業委員會再推動「對地綠色環境給付計畫」，對地綠色環境給付是「新農業創新推動方案」中重大政策之一，全面啟動對地給付機制，以獎勵農地農用，提升農糧品質及鼓勵友善環境耕作，促進農業永續發展與兼顧農民收益，以建立農業新典範。此對地綠色環境給付計畫採堆疊加值式概念，當農作符合之獎勵條件越多，農民可請領之給付越高，不僅能提高農民收入，更能兼顧保護農地環境與提升稻米品質^[14]。

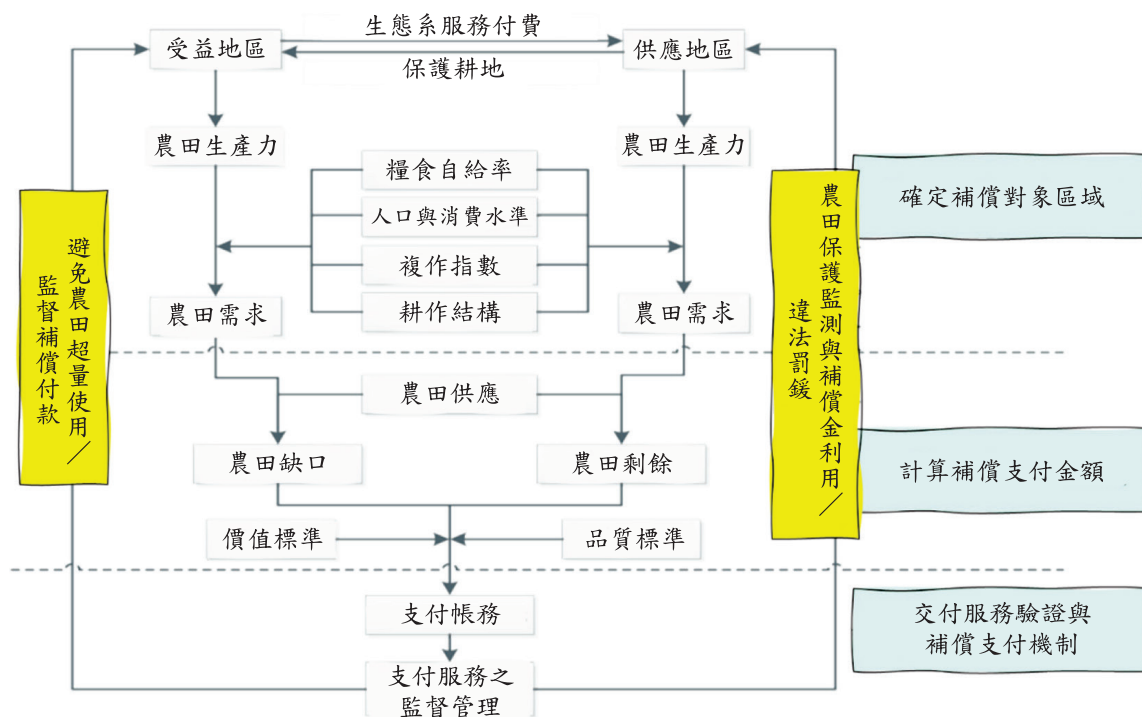
1. 換言之，我國農業政策補助已不僅係改善農民生計，更綜合考量永續生態環境之政策。目前我國農政部門針對農業相關政策與生態系服務有高度關連性之法規與行動方案，列舉說明如下，包括：
2. 有機農業促進法(農糧署)：於 2018 年 5 月公布，為維護水土資源、生態環境、生物多樣性、動物福祉與消費者權益，促進農業友善環境及資源永續利用。重要內容包括：有機農業推廣、認證及驗證機構管理、有機農產品管理等。
3. 化學農藥十年減半行動方案(防檢局)：於 2018 年 12 月提出行動方案手冊，提出三大管理策略，包括：強化綜合管理，鼓勵友善農業；汰除高風險農藥，強化分級管理；制訂配套措施，逐步達成減半。
4. 國土生態保育綠色網絡建置計畫(林務局)：執行期間為 2018 ~ 2021 年，跨域整合農業、交通、水利政府單位及民間夥伴，協力推動友善環境，架構國土綠色生態網絡，重點包括國土生態保育潛力區盤點、高風險生態與環境系統之補合策略、及社會-生態-生產地景。
5. 農村再生條例(農委會)：於 2010 年 8 月公布，為促進農村永續發展及農村活化再生，改善基礎生產條件，維護農村生態及文化，提升生活品質，建設富

麗新農村。

6. 生態農村再造(水保局)：臺灣里山生態農村實踐計畫，擴大國內推動「里山倡議」、提升推動效能。
7. 生態服務給付(林務局)：瀕危物種與重要棲地生態服務給付推動方案。

建立多元且多功能性之農業景觀，係深化糧食安全和整體生態系韌性之目標，糧食生產與複合生態系服務及農業景觀生物與農業多樣性可以互補。圖 6 研擬「生態系服務支付」(Payments for Ecosystem Services, 簡稱 PES) 架構，以農田生態系為例，首先應 (1) 確定補償對象：根據農田供需分析確定供應商區域和受益區域；(2) 確定需支付金額：為了計算補償資金，建立合理之耕地保護區域補償標準，分為品質標準和價值標準兩類，並可結合標準補償區域和價值標準計算補償金；(3) 探討支付和驗證服務的監管機制，以便有效地實施區域補償。此外，評析不同時間尺度對於地方特色生態系服務特徵與服務付費機制相當重要，應強化利益相關者之參與，並評估來自不同農業和自然系統之環境與社會評估。

綜合以上，我國未來相關推動策略建議應朝向六大方向發展，包括土地規劃、經濟給付、指標體系、示範亮點、資料盤點與在地合作等，建議重點作為詳如表 3 所彙整。



資料來源：本研究參考並修改自文獻 [15]。

圖 6 生態系服務支付 (PES) 架構：以農田保護為例

表 3 我國推動農業生態系服務價值提升之未來作為

規劃方向	建議作為
土地規劃	• 完善國土計畫與土地分區規劃。 • 整合國土利用調查與生態系服務體系。 • 落實監控與管理制度。
經濟給付	• 制定農業生態給付與補償機制，以兼顧生物多樣性。 • 制定農地環境破壞/生態補償與課稅機制。 • 補助財政法源與特別公課研析。
指標體系	• 建立農地生態與環境之生態系服務價值量化方法。 • 建立國家層級與地方使用者尺度之農地資源評估方法與量化工具。
示範亮點	• 鑑別我國農地生態熱點區域與韌性區，依據其生態資料提出整治措施與規劃執行預算。 • 選定農地氣候變遷情境，分析未來氣候變遷與土地利用變化對於生態系服務之影響，擬定氣候變遷對生態系服務調適策略與調適路徑。
資料盤點	• 建立監測資料盤點與生態系服務研究，包括水文、土壤、物種、種植作物、施肥與用藥、溫室氣體排放及生態物種等。 • 研析農業耕作方式對生態系服務價值之影響。 • 整合農地資源資料庫，計算生態系服務價值。
在地合作	• 建立跨組織農業生態系聯盟，納入跨域專家與學者，輔助環境教育之推動。 • 建立跨部門溝通平台，落實農地資源與在地文化發展，強化與民間組織合作。

5.4 貢獻淨零排放路徑之實現

淨零排放路徑規劃為世界各國減緩氣候變遷與溫室效應之重要藍圖，而土壤碳匯 (Soil Carbon Sink) 為農業生態系服務中重要功能之。土壤有機碳 (Soil Organic Carbon) 做為天然碳匯受到越來越多關注，因此持續強化土壤碳匯容量之工程技術研究相當重要。於 2016 年聯合國「氣候變遷綱要公約」中，提出「千分之四倡議聯盟 (4 Per 1000 Initiative: Soils for Food Security and Climate)」，致力於減少森林砍伐並調整農業耕作方法，增加土壤碳儲量，預期每年能於表土層增加 4‰ 之有機碳儲量，提升集約農業重要性。土壤碳匯作為減緩氣候變遷之策略，土壤碳封存可在未來 20 年內，輔助實現二氧化碳封存和低碳技術之落實。土壤是糧食生產之基礎，農地土壤碳管理研究須以提高土壤生產力、土壤碳儲存和抵消溫室氣體排放為目標。透過土壤碳儲量保護與強化，轉型糧食生產供應鏈，並作為巴黎氣候公約 (The twenty-first session of the Conference of the Parties, 簡稱 COP 21) 重要氣候變遷減緩策略途徑之一。氣候變化背景下，農業資源管理為重要一環，未來應瞭解不同生態區之有機碳庫和動態變化，例如有機質分解溫度、敏感度等。利用土壤肥力調查資料估算台灣農地土壤有機碳存量，並評估土地利用改變對農地土壤有機碳存量之影響，以了解土壤有機碳之變動量對溫室氣體減量之重要性。土壤碳匯分析更可透過適當生態系服務指標量化軟體進行分析，進行熱點分析與辨識，再選定農

地氣候變遷情境，分析未來氣候變遷與土地利用變化對於土壤碳匯之影響，進而擬定氣候變遷對生態系服務調適策略與調適路徑。

六、結論與建議

為發展國內農地生態價值量化指標與綠色補貼之政策架構，本研究彙整農業生態系服務發展之國際動態與重要里程碑，並蒐集國外常見農業生態系服務價值量化方法與實務案例，亦彙整國際上利用生態系服務評估相關生態與環境效益之相關研究，使用生態系服務概念，評估不同改善措施對於其農地生態與環境效益改善之實務結果，例如：農業氨氣排放替代方案、集約化耕作的耕地轉變為濕地棲息地、沿岸生態管理對於農地之影響、農場耕種管理改變等。事實上，經濟生產活動應將生態系功能和自然服務之多元價值納入成本考量，於地方、國家、區域和全球治理上，應考慮透過政策支持、創新、移除有害環境補貼、導入符合自然價值的誘因、促進土地與海域永續經營管理、執法等措施，以最佳化生態、經濟與社會方面之效益。根據國外現況與執行經驗，本研究從八大面向提出相關執行策略，包括行政管制、經濟誘因、資訊平台、亮點示範、指標體系、環境教育、夥伴關係及國際合作；最後，為加速推動我國農業生態系服務相關政策，本研究提出四項優先研究方向，包括：建立農地生態系服務指標評估架構、建置本土化

生態系服務價值指標與量化方法、鏈結現行環境綠色補貼制度及貢獻淨零排放路徑實現，以永續我國農業生態系服務功能之價值，以加速建立完善之農業生態服務價值與綠色補償機制，期能有效提升我國未來農業社會福祉與生態環境品質，並確實保障農民之經濟收入。

致謝

由衷感謝行政院農業委員會農業試驗所「農業生態系服務價值之量化指標與補償機制探討」計畫經費支持(編號：1093112)，使本研究得以順利進行。

參考文獻

1. Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends, in, 2005.
2. R. De Groot, B. Fisher, M. Christie, J. Aronson, L. Braat, J. Gowdy, Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation, in: P. Kumar (Ed.) The Economics of Ecosystems and Biodiversity, *Ecological and Economic Foundations*, Earthscan, London, 2010, pp. 9-40.
3. UN, *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*, in, United Nations, 2015, pp. 41.
4. S.L.R. Wood, S.K. Jones, J.A. Johnson, K.A. Brauman, R. Chaplin-Kramer, A. Fremier, E. Girvetz, L.J. Gordon, C.V. Kappel, L. Mandle, M. Mulligan, P. O'Farrell, W.K. Smith, L. Willemen, W. Zhang, F.A. DeClerck, Distilling the role of ecosystem services in the Sustainable Development Goals, *Ecosystem Services*, 29 (2018) 70-82.
5. EU, The European Green Deal - a roadmap for making the EU's economy sustainable (IP/19/6691), in, European Commission, Brussels, 2019.
6. EU, Bringing nature back into our lives, in, European Commission, Brussels, 2020.
7. H. Baral, S. Kasel, R. Keenan, J. Fox, N. Stork, GIS-based classification, mapping and valuation of ecosystem services in production landscapes: A case study of the Green Triangle region of south-eastern Australia, in: Proceedings of the biennial conference of the Institute of Foresters of Australia, Caloundra, Australia, 2009.
8. A.C. Martínez, M. García-Llorente, B. Martín-López, I. Palomo, I. Iniesta-Arandia, Multidimensional approaches in ecosystem services assessment, in: *Earth Observation of Ecosystem Services*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013, pp. 441.
9. J.C.R. Smart, K. Hicks, T. Morrissey, A. Heinemeyer, M.A. Sutton, M. Ashmore, Applying the ecosystem service concept to air quality management in the UK: a case study for ammonia, *Environmetrics*, 22 (2011) 649-661.
10. K.S. Peh, A. Balmford, R.H. Field, A. Lamb, J.C. Birch, R.B. Bradbury, C. Brown, S.H. Butchart, M. Lester, R. Morrison, I. Sedgwick, C. Soans, A.J. Stattersfield, P.A. Stroh, R.D. Swetnam, D.H. Thomas, M. Walpole, S. Warrington, F.M. Hughes, Benefits and costs of ecological restoration: Rapid assessment of changing ecosystem service values at a U.K. wetland, *Ecol Evol*, 4 (2014) 3875-3886.
11. M.A. MacDonald, C. de Ruyc, R.H. Field, A. Bedford, R.B. Bradbury, Benefits of coastal managed realignment for society: Evidence from ecosystem service assessments in two UK regions, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, (2017) 105609.
12. R.H. Field, R.K. Hill, M.J. Carroll, A.J. Morris, Making explicit agricultural ecosystem service trade-offs: a case study of an English lowland arable farm, *International Journal of Agricultural Sustainability*, 14 (2015) 249-268.
13. FAO, Transforming Food and Agriculture to Achieve the SDGs: 20 interconnected actions to guide decision-makers, in: Technical Reference Document, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018.
14. 農糧署糧食產業組，對地綠色環境給付計畫，in，行政院農業委員會，2020。
15. J. Guo, T. Zhu, M. Ou, F. Pei, X. Gan, W. Ou, Y. Tao, A Framework of Payment for Ecosystem Services to Protect Cropland: A Case Study of the Yangtze River Delta in China, *Sustainability*, 10 (2018).

收稿日期：民國 111 年 02 月 18 日
修改日期：民國 111 年 03 月 18 日
接受日期：民國 111 年 03 月 31 日