

永續農法對於農地生態系服務價值影響評估

Evaluation of Cropland Ecosystem Services for Sustainable Agricultural Practices

國立臺灣大學生物環境系統工程學系
博士班研究生 助理教授
林冠廷 潘述元
Kuan-Ting Lin Shu-Yuan Pan

行政院農業委員會農業試驗所
副研究員 助理研究員 研究員兼組長 研究員
許健輝 張翊庭 劉滄琴 郭鴻裕
Chien-Hui Syu Yi-Ting Zhang Tsang-Sen Liu Horng-Yuh Guo

摘要

近年來農地資源受到多方環境壓力威脅，包含氣候變遷、糧食危機與農地流失等議題。為了提升農業永續管理與發展，農地與土壤生態系維護為重要議題。農地具備多功能性，可提供多項生態系服務，除作物生產活動提供之供給服務外，更可從土壤、水循環與營養鹽循環中提供調節服務；然而，目前生態系服務價值仍不在市場經濟決策系統中，意味著農地資源的環境價值長期被低估，導致農地容易受到經濟發展而流失。導入農地生態系服務評估之挑戰包括：農業生態系之相關資料具備侷限性，如何在有限的資料內選擇評估項目與量化方法；為了提升決策者與民眾認知，如何以地圖方式呈現生態系服務之分布情形；此外，在永續農業政策推動下，如何從農地資源服務情形評估政策效益。因此，本研究以雲林縣之農地與土壤生態系為研究範疇，研析生態系服務量化模型，首先選定之生態系服務包含農地之供給與調節服務，並以建立地圖為目標蒐集可用之農地與環境資料庫；在資料可及性下計算農地與土壤生態系服務，生態系服務量化方式包含以現地資料計算與國際已發展的 InVEST 模型計算；接著，本研究將選定之生態系服務進行地圖繪製，包含作物供給、土壤碳儲、水資源儲存與營養鹽儲存等服務；最後，本研究研析農地資源服務提供之情形，並以生態系服務觀點探討永續農業政策與環境友善農法效益，以提升地方參與永續農業與農地資源保護。

關鍵詞：生態系服務，農地管理，永續農業，地圖繪製與評估，雲林縣

Abstract

Agriculture land has long faced the critical environmental pressures from climate change, food security and land-use change. To enhance the sustainability of agriculture, the maintenance

of cropland and soil ecosystem is an essential issue. Agricultural lands provide numerous important ecosystem function and services including not only crop provision services but also regulation services from soil, water and nutrient circulation. However, the values of ecosystem services are under-estimated in the economic decision-making (market) system, which would result in facing significant challenges to protect agricultural resources. To introduce the ecosystem services, there are still several challenges including: under the restriction of data availability, the selection and quantification of agricultural ecosystem functions and services are still lack of research; the mapping and assessment of ecosystem service in the regional space is critical for the local participation; under current sustainable agriculture policy, the agricultural resource should be evaluated through ecosystem services. Therefore, this study establishes a quantification model for ecosystem services of cropland and soil systems. The study area is Yunlin county, one of the top counties for crop production in Taiwan. We first define the scope of provision and regulation services for croplands, and collect the dataset that can be demonstrated in the map. Then, we integrate various quantification tools (e.g., local database and the InVEST model) to estimate the ecosystem services using local agricultural and environmental data, and visualize important ecosystem services, such as carbon storage, water retention, and nutrient retention. Lastly, we evaluate the sustainable agriculture policy and the benefits of eco-friendly farming practice from the aspect of ecosystem services. This study provides an insight into assessing ecosystem services in pursuit of the local participation in sustainable agriculture and land resource management.

Keywords: ecosystem service, agricultural land management, sustainable agriculture, mapping and assessment, Yun-Lin County

一、前言

自然資源與生態系服務為邁向永續糧食與農業之根本[1]，根據「千禧年生態系統評估報告」指出[2]：生態系服務廣義定為「人類從生態系中獲得的利益」，係指生態系所提供直接或間接對人類生活之價值，不只單指有形材料之供給，更包括許多影響生態調節之價值。然而，近年來農地資源受到多方環境壓力威脅，包含人口增長、土地資源競爭、氣候變遷等壓力。

為了提升農業環境的永續管理與發展，農地與土壤生態系維護為重要議題。近年來農業政策以逐漸由糧食生產導向政策，轉變為永續糧食與農業為主。農地具備多功能性，可提供多項生態系服務，除作物生產活動提供之供給服務外，更可從土壤、水循環與營養鹽循環中提供調節服務。配合 COP-26 後「淨零排放」承諾，許多國家已超前佈局相關政策法規及行動方案，並加速推動友善環境農業。以歐盟為例，歐盟棲地論壇成員於 2019 年 5 月聯合發布「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「國家生態系服務指標綱領」，評估農地功能重要性，分

析製圖並應用於農業決策和空間規劃。歐盟 2030 年土壤策略(EU Soil Strategy for 2030) [3] 亦為歐盟 2030 年生物多樣性策略之關鍵成果，制定保護和恢復土壤並確保永續利用土壤之架構。策略設定至 2050 年實現健康土壤之願景和目標，並在 2030 年前採取具體行動，頒布土壤健康法，以確保公平競爭與健康環境保護。

然而，目前生態系服務價值仍不在市場經濟決策系統中，意味著農地生態系資源的環境價值長期被低估，在經濟成長與都市擴張下，農地容易受到經濟發展而流失，如何導入生態系服務作為輔助為重要課題。在導入農地生態系服務評估也面臨數項困難：受限於農業生態系之相關資料具備侷限性，如何在有限的資料內選擇評估項目與量化方法為重要議題；政策決策者與在地民眾對於生態系服務認知不足，且各地的生態系服務分布亦不同，為了提升認知與導入適合當地環境之永續農法，如何以地圖方式繪製生態系服務之分布情形仍待釐清；此外，永續農業推動尚缺乏全面性之效益評估，目前以推動執行成果為主，在永續農業政策推動下，需釐清農地資源服務情形與評估政策效益方式。

因此，本研究以雲林縣之農地與土壤生態系為研究範疇，研析生態系服務量化模型。本研究目標釐清問題包含：在有限的資料內研析生態系服務評估項目與量化方式；以地圖方式繪製生態系服務之分布情形；評估農地資源服務情形與永續農業政策效益。研究區域鎖定雲林縣之農地生態系，該縣為國內首屈一指之農產品產地。首先選定之生態系服務包含農地之供給與調節服務，並以建立地圖為目標，蒐集可用之農地與環境資料庫；在資料可及性下計算農地與土壤生態系服務，本研究鎖定之生態系服務量化方式包含以現地資料計算與國際已發展的 InVEST 模型計算；接著，選定之生態系服務進行地圖繪製，包含作物供給、土壤碳儲、水資源儲存與營養鹽儲存等服務；最後，本研究透過比較有機農法與其他慣行農法區域，研析農地資源服務提供之情形，並以生態系服務觀點探討永續農業政策與環境友善農法效益，以提升地方參與永續農業與農地資源保護。

二、農地與土壤圖資資料庫蒐集與分析

1. 土壤資源之生態系服務範疇

土壤資源可提供多項生態系服務，Meulen [4] 指出土壤可提供糧食供給、調節洪水、污染淨化、碳封存與氣候調節、病蟲害防治、美學與文化服務等生態系服務，並可達成多項永續發展目標。審酌國內農地與土壤資源與政策需求，包含農地流失、國土利用、氣候變遷等，本研究規劃欲分析之生態系服務為：糧食供給、氣候調節、水資源調節、養分調節與支持等項目。

2. 潛在資料完備性分析

本研究優先選擇分析農試所土壤資料研究成果圖資。農試所長期針對台灣平原地區之農地執行土壤調查研究，累積豐富之台灣土壤資源與農地覆蓋相關圖資成果，有土壤肥力圖（表層土壤有機質、表層土壤酸鹼值、表層土壤保肥力、表層土壤磷等）、土壤圖

(表土質地、土相、土壤變異等)、土壤管理組圖(如非石灰性細質地排水良好沖積土、東岸母岩細質地排水不完全沖積土等)、水田生產力圖、詳測土壤圖(母質、土壤特性、土壤型態、石灰性、坡度等資料)、農地土地覆蓋圖資,經由土壤資料成果,可以後續進行量化指標之依據,以土壤的生態系服務價值來說,經由管理土壤之特性,可將土壤維持得更健康,而間接得讓農業也受益。

本研究採用的土壤調查成果資料包含表層土壤有機質與表層土壤質地圖資。土壤有機質資料源自於農業試驗所及林業試驗所土壤調查化學分析點位,透過克利金差值法(Kriging Method)進行內插估值,推估當地大略之表層土壤性質,同時可從有機質推估出有機碳含量,將有機質含量除以轉換係數 1.723(或乘以 0.580)計算得有機碳含量 [5]。表土質地資料源自於農業試驗所土壤調查成果,為依據質地粗細進行分類,由粗到細進行 0~9 的編號。為做為雨水保留程度之參數,依美國土壤保持局(SCS)將土壤質地根據排水特性區分為 A、B、C 與 D 四類(表 1):A 類表示滲水性良好之土壤,D 類表示滲水性最低之土壤。

表 1、台灣表土質地分類與美國 SCS 分類對應

代號	說明	美國 SCS 分類
0	粗砂土,砂土	A
1	細砂土,壤質粗砂土,壤質砂土	
2	壤質細砂土,粗砂質壤土,砂質壤土,細砂質壤土	
3	極細砂土,壤質極細砂土,極細砂質壤土	
4	坩土,坩質壤土	B
5	壤土	
6	砂質粘壤土	C
7	粘質壤土,坩質粘壤土	D
8	坩質黏土,砂質黏土	
9	粘土	

此外,為補充農地與土壤生態系服務資料,其他農產、雨量、土地利用、地形等相關資料庫亦可補充,資料範圍包含縣市農地水稻產量圖資、農業與農地範圍圖資、雨量資料、河川流域圖資、及 20 公尺網格數值地形模型等。針對各資料庫進行分析,探討潛在提供農業與土壤生態系服務之資料範圍,並分析各資料之特徵,確保其資料完備性與可計算性,例如資料性質(物性、化性等)、適用尺度範圍(全台、縣市、鄉鎮)、計算單位、計算單位等(詳如表 2)。

表 2、農業與土壤生態系服務之使用資料彙整

資料名稱	性質	範圍	計算單位	生態系服務	來源	年份
表土有機質	化學	全台	%	氣候調節	土壤性質分布管理圖	2015
0~30 cm 質地	物理	全台	砂土、壤土、黏土等 11 類。	水資源調節	詳測土壤圖	2016
水稻產量預測圖	物理	全台	公噸/公頃	糧食供給	農地土地覆蓋圖資	2020~2021
農地利用狀況圖	地理	全台	分區	糧食供給 氣候調節 水資源調節 養分調節	農業與農地資源盤查圖資	2019
雨量網格資料	氣候	全台	公釐/日	水資源調節 養分調節	全臺各縣市雨量網格月平均資料	2020
數值地形模型 (DTM) 資料	地理	全台	公尺	養分調節	20 公尺網格數值地形模型	2020

三、研析農業土壤生態系服務評估指標與量化方式

生態系服務的分類方式係參考國際共同生態系服務分類(Common International Classification of Ecosystem Services, CICES)第 5.1 版建立，CICES 服務分類由三個主要「部分 (Section)」組成：供給、調節與維持、和文化服務，並進一步拆分為 Divisions、Groups 和 Classes 等層級，惟支持服務不列入範疇，例如土壤形成屬於支持供給服務的功能。CICES 分類目的在於支持聯合國環境經濟核算體系 (System of Integrated Environmental and Economic Accounting, SEEA) 之生態系核算工作 (Ecosystem Accounting, EA)，故本研究以 CICES 分類為基礎進行分析。

生態系服務量化方式可透過現地資料、以及國際已發展的 InVEST 模型進行計算。InVEST 模型全名為生態系服務和權衡綜合評估模型 (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs, InVEST)，為美國史丹佛大學與多個學研機構在「自然資本計畫 (Natural Capital Project)」共同開發成果，該模型藉由連結生態功能供應、生態系服務與價值，探討生態系變化如何影響社會效益，提供生態系服務的地圖繪製與價值評估。

透過國內已建立之農業土壤資料圖資，本研究分析在糧食供給、土壤儲碳 (氣候變遷)、水資源涵養、營養鹽循環等生態系服務之指標與量化方式，簡要彙整如表 6。

1. 糧食供給

「糧食供給」在 CICES 分類為「**分類碼 1.1.1.1：陸生糧食作物**」，主要為食物，包含糧食作物與經濟作物。由於稻米為國內農業主要作物，本研究蒐集水稻產量進行估計，計算方式為每年農產量，計算方式有二：

- (1.) 農地水稻產量採用衛星預測水稻產量資料，評估單位農地面積產量（公噸）。
- (2.) 以 InVEST 作物生產之百分位產量模型進行計算，利用農地利用資料與 InVEST 內建之作物模型數據，計算農作物的單位面積生產量。

2. 氣候調節-土壤儲碳

「氣候調節」在 CICES 分類為「**分類碼 2.2.6.1：調節大氣與化學物質能力**」。農業與土壤之溫室氣體調節途徑有二：其一為土壤固定有機碳的調節功能，可提供自然碳匯能力；其二為農業活動之減碳作為，可增進生態系氣候調節功能。本研究以土壤固定有機碳的儲碳調節功能作為研究範疇，土壤儲碳能力之評估一般源自於土壤表層之每年土壤有機碳（SOC）變化作為指標，利用土壤有機質（SOM）資料與土壤容積密度資料可估算出單位面積土壤有機碳存量。以表層土壤 30 公分、土壤密度 1.3 g/cm³ (同 MT/m³) 計算，每公頃有機質含量為：

$$\text{SOM} \left(\frac{\text{MT}}{\text{ha}} \right) = \text{SOM}(\%) \times 1.3 \left(\frac{\text{MT}}{\text{m}^3} \right) \times 0.30(\text{m}) \times 10,000(\text{m}^2) \quad (\text{式 1})$$

有機質換算為有機碳比例為 0.58，故每公頃有機碳含量為：

$$\text{SOC} \left(\frac{\text{MT}}{\text{ha}} \right) = 0.580 \times \text{SOM} \left(\frac{\text{MT}}{\text{ha}} \right) \quad (\text{式 2})$$

本研究計算土壤儲碳提供之氣候調節服務的方式有二：

- (1.) 利用土壤肥力調查資料估算台灣農地單位面積土壤有機碳存量。
- (2.) 以 InVEST 碳儲存和封存模型評估，利用農地利用資料與 InVEST 建議與 Liu, et al. [6] 碳庫資料(表 3)，計算單位面積土壤有機碳存量。

表 3、農地生態系碳庫

碳庫	地上部生物質	地下部生物質	土壤有機碳	枯死與枯落物
碳含量(噸/公頃)	4.70	0.00	33.46	0

資料來源：Liu, et al. [6]

3. 水資源涵養 - 水量調節

「水量調節或儲水服務」在 CICES 分類為「分類碼 2.2.1.3：水循環和流動調節」。近年各國政府重視城市水資源管理，持續強化土地對雨水蓄水能力。InVEST 模型提供都市雨水蓄水模型 (Urban Stormwater Retention Model) [7]，計算土地植被每年滯留的雨量。該模型評估降雨落在自然植被的透水表面 (例如土壤或植被) 和不透水表面 (屋頂和都市鋪面) 時的潛在流向，土壤提供的潛在的含水層容量為雨水下滲量與植被蒸散量之間的差異。

本研究計算水量調節的方式為：以 InVEST 都市雨水蓄水模型，計算農地每年滯留的雨量。該研究需輸入雨水逕流係數與土壤質地之生物物理表(表 4)，為參考國內營建署建議範圍，並參考國際針對土壤質地類型之研究進行內插法推定[8]。

表 4、雨水逕流係數在土地利用與土壤質地之生物物理表

土壤類型 土地利用	內政部建議範圍	A 類	B 類	C 類	D 類
農地	[0.30, 0.50]	0.30	0.36	0.42	0.50
森林	[0.55, 0.75]	0.55	0.64	0.69	0.75
牧場	[0.46, 0.67]	0.46	0.53	0.60	0.67

資料來源：內政部營建署市區道路及附屬工程設計規範、McCuen [8]，本研究整理。

4. 營養鹽循環 - 養分調節

維持土壤品質為提供作物養分循環之重要來源，於 CICES 計算養分調節服務為「2.2.4.2：殘體分解作用」。InVEST 模型提供營養輸送率 (Nutrient Delivery Ratio) 評估模型，計算自然植被對養分保留的服務[7]。土地利用與經濟活動可能排放營養源，例如農業地區將肥料投入於土地，降雨時會將污染物從這些表面帶入溪流、河流、湖泊和海洋。土壤可以在這些污染物進入河流之前，提供保留或降解污染物的淨化服務。故本研究計算養分調節的方式為：以 InVEST 營養輸送率模型，計算農地每年滯留的氮磷營養量。

表 5、營養負荷在各土地利用情形之生物物理表

土地利用	負荷量 (kg ha ⁻¹ year ⁻¹)		最大保留率 [0,1]	最大保留量 (m)	溶解率 [0,1]
	N	P	N and P	N and P	N and P
潛在農地	0.88	0.01	0.05	10	0
農地	53.5	2.9	0.25	30	0
森林	3	0.15	0.8	300	0.5
荒地	0.88	0.01	0.05	10	0

草原	7	0.9	0.4	150	0
----	---	-----	-----	-----	---

資料來源：Li, et al. [9]

四、農地生態系服務評估成果與地圖繪製

整合前述農地生態系相關資料庫與生態系服務量化方式，本處將以雲林縣為標的，計算我國農地資源服務價值與繪製環境圖資。

1. 研究區域：雲林縣的農地資源

雲林縣為國內重要農業縣市，具備豐富的農業生態系，本研究選擇雲林縣進行農作生產的農地作為研究範圍。雲林縣境內多為平原地形，地勢由西向東緩慢增加。雲林位於西部平原與海岸地區，地質多屬現代沖積層，由礫石，砂及黏土組成。沖積層屬於砂質土壤，肥沃度高，為適合農作的土質。水文受到天然地形影響，皆發源於東部山區，河川短且陡，順著地形蜿蜒流貫雲林平原，而後注入台灣海峽。濁水溪橫互雲林縣北界，為台灣境內最長之河川，全長 186.4 公里，亦為雲林縣重要農業灌溉水源。鄰海將鎮地勢較低窪與抽取地下水，面臨地層下陷與淹水潛勢挑戰。由於雲林縣具備適合農業發展的自然環境資源，在全國一級產業產值最高，且以農業最為重要。當地農業從業員工佔全縣 35%，農業生產總額佔全縣 35%，農業生產總額占全國農業百分比 15.4%，主要生產作物包含稻米、甘薯、飼料用玉蜀黍、落花生、蔬菜及甘蔗，其中落花生為最具特色的作物[10]。

2. 計算方法與輸入資料

針對糧食供給、土壤儲碳（氣候變遷）、水量調節及養分保留的計算指標與方法，各服務指標計算方法如表 6。前二項服務採用現地資料進行量化，後二項採用 InVEST 模型進行分析。

表 6、農業與土壤生態系服務指標輸入資料與計算方法

生態系服務	計算指標	計算方法	輸入資料
糧食供給	農產量（公噸/平方公尺）	● 衛星資料判釋預測	水稻產量預測圖 農地利用狀況圖
土壤儲碳	土壤有機碳存量（公噸/平方公尺）	● 表土有機質計算	農地利用狀況圖 表土有機質
水量調節	蓄水體積（立方公尺/平方公尺）	● InVEST 都市雨水蓄水模型	農地利用狀況圖 表土質地 雨量網格資料

<p>養分保留</p>	<p>營養保留量(氮、磷)(立方公尺/平方公尺)</p>	<p>● InVEST營養輸送率模型(NDR)</p>	<p>農地利用狀況圖 雨量網格資料 河川流域圖資 數值地形模型資料</p>
-------------	------------------------------	-----------------------------	---

3. 生態系服務計算結果與地圖繪製

(1.) 糧食供給服務

以現地資料水稻產量預測圖計算糧食供給服務，如圖 1。計算期間之單位面積供給服務存量為每公頃 14.62 公噸稻米，兩期單位供給服務分別為每公頃 7.75 與 6.87 公噸，第一期作生產力約增加 12%。主要收穫地包含北港溪流域的大埤與斗南及濁水溪流域的二崙、西螺與荊桐。

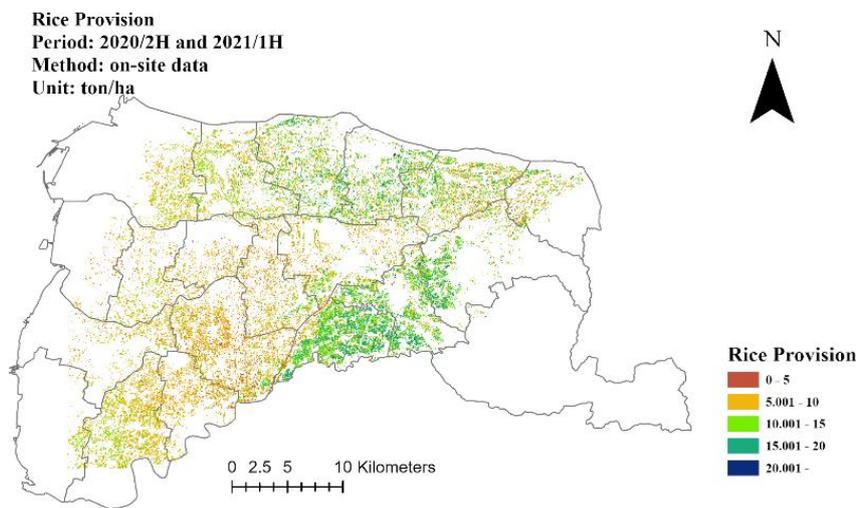


圖 1、糧食供給服務圖

(2.) 氣候調節-土壤儲碳

以現地資料土壤調查結果分析，繪製如圖 2，儲碳服務平均為每公頃 51.57 公噸。大致分布趨勢為東半部較多、西半部較少，有機碳含量較高的地點為東南方的古坑、北港溪流域的大埤、以及濁水溪流域二崙與西螺等地。

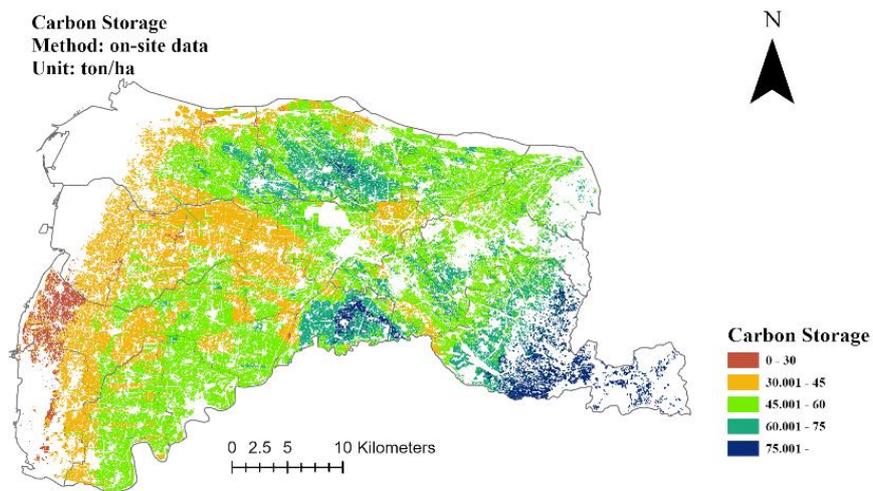


圖 2、土壤儲碳服務圖

(3.) 水資源涵養-水量調節

圖 3 顯示水量調節服務地圖，採用 InVEST 都市雨水蓄水模型繪製而成。蓄水量每個網格值單位為每平方公尺蓄水體積量（立方公尺），平均水量調節服務存量為每公頃 131.8 萬立方公尺，由西向東增加。

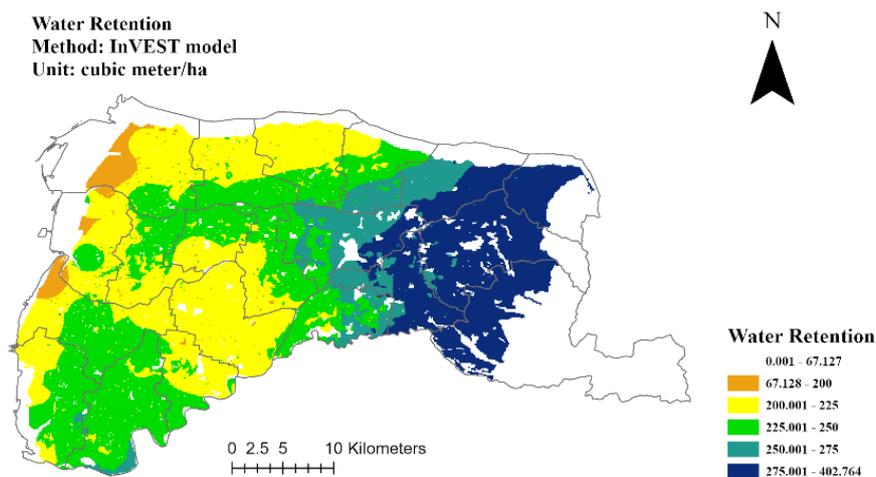


圖 3、水量調節服務圖

(4.) 營養鹽循環-養分保留

分別顯示磷與氮養分保留服務地圖，採用 InVEST 營養輸送率模型(NDR)模型繪製而成。每個網格值保留量單位為每平方公尺保留重量（公斤），磷平均保留量為每公頃 0.66 公噸，氮保留量平均保留量為每公頃 12.2 公噸。

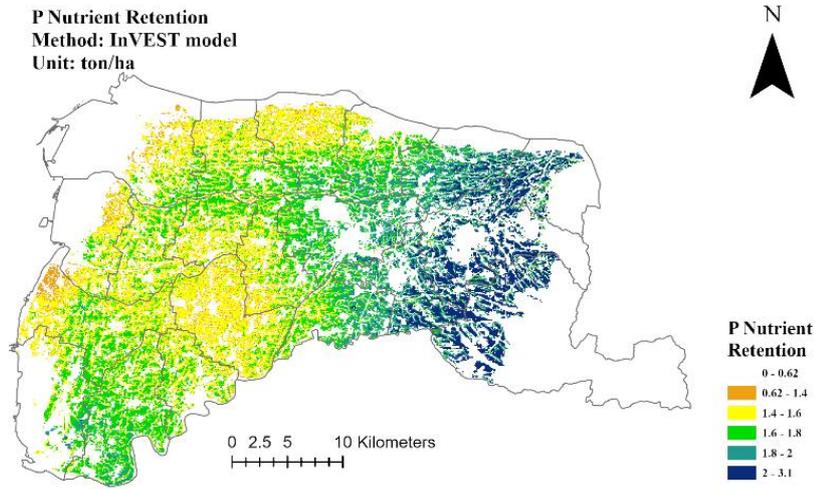


圖 4、磷養分保留服務圖

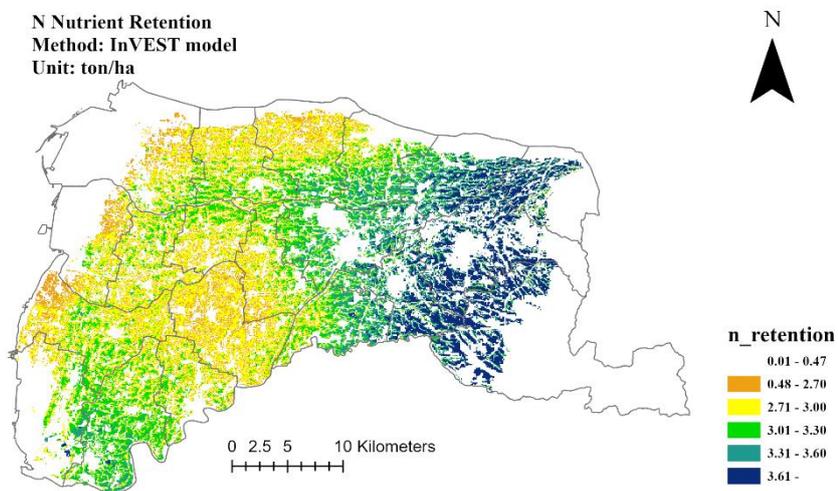


圖 5、氮養分保留服務圖

五、以農地生態系服務分析永續農業政策效益

近年在淨零排放要求下，擴大有機農業與友善耕作被視為重要措施。本研究分析國內近年有機農業政策推動狀況，以農地生態系服務指標與評價地圖，探討友善環境農法在生態系服務影響指標程度與空間差異。首先有機農業實施地區的界定，以農糧署 2014 年有機農地登記資料之範圍，佔雲林總農地面積 0.6%。接著計算該區域中的糧食供給、土壤儲碳(氣候變遷)、水量調節及養分保留等生態系服務，最後將計算結果與整體農地平均進行比較。

有機農地與整體農地之生態系服務效益分析成果如表 7，在稻米供給方面，有機與整體農地相似，供給服務分別為每公頃 14.623 公噸與 14.618 公噸；在土壤儲碳方面，有機較整體農地稍高，儲碳服務分別為每公頃 53.14 公噸與 51.57 公噸；在水量調節方面，有機較整體農地提升 2 倍，水量調節服務分別為每公頃 263 萬公噸與 132 萬公噸；在養分保留方面，有機較整體農地提升 2 倍，磷保留服務分別為每公頃 1.25 公噸與 0.66 公噸，氮保留服務分別為每公頃 23.12 公噸與 12.22 公噸。

表 7、有機農地與整體農地之生態系服務效益比較

生態系服務	有機農地	整體農地
糧食供給 (ton/ha)	14.623	14.618
土壤儲碳 (ton/ha)	53.14	51.57
水量調節 (m ³ /ha)	2,633,609	1,317,975
養分保留 (ton/ha)	磷：1.25；氮：23.13	磷：0.660；氮：12.22

六、結論與建議

在農地資源受到氣候變遷、糧食危機與農地流失等議題威脅下，農地與土壤生態系維護為重要議題。農地具備多功能性，可提供多項生態系服務，然而，目前生態系服務價值仍不在市場經濟決策系統中，意味著農地資源的環境價值長期被低估，導致農地容易受到經濟發展而流失。本研究在有限的資料內研析生態系服務評估項目與量化方式，界定農業土壤生態系服務評估指標包含糧食供給、土壤儲碳、水資源調節、養分調節與支持等範疇，分析農試所土壤資料研究成果圖資，並參考其他農產、雨量、土地利用、地形等相關資料庫進行補充，探討潛在提供農業與土壤生態系服務之資料範圍；在量化方式研究上，分類方法可採用與國際生態系服務分類方法 CICES 體系，量化方式則研究現地資料以及 InVEST 模型之計算；以雲林縣之農地與土壤生態系為研究範疇，計算生態系服務存量與地圖繪製，透過地圖方式展示生態系服務之分布情形，分析結果顯示農地之供給服務為每公頃 14.618 公噸，土壤儲碳服務為每公頃 51.57 公噸，水量調節服務為每公頃 132 萬公噸，磷保留服務為每公頃 0.66 公噸，氮保留服務為每公頃 12.22 公

噸。最後，本研究研析農地資源服務提供之情形，並以生態系服務觀點探討永續農業政策與環境友善農法效益，在糧食供給與土壤儲碳服務上單位面積服務相似，但在水資源調節及養分調節上，有機農地提供較多之服務程度。未來可藉由生態系服務評估與地圖繪製成果，協助政策決策輔助與提升民眾參與，以提升地方參與永續農業與農地資源保護。

七、致謝

由衷感謝行政院農業委員會農業試驗所「評估永續農業對我國生態系服務價值之提升潛力及效益」計畫經費支持（編號：1113019），使本研究得以順利進行。

八、參考文獻

- [1] 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. [Online]. Available: www.fao.org/3/CA1647EN/ca1647en.pdf
- [2] Millennium Ecosystem Assessment, "Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends," 2005, vol. 1.
- [3] E. Commission, "Soil strategy for 2030," EU: European Commission, 2021. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/environment/strategy/soil-strategy_en
- [4] S. M. Meulen, Linda & Bartkowski, Bartosz & Hagemann, Nina & Arrüe, José & Playán, Enrique & Herrero, Juan & Plaza-Bonilla, Daniel & Álvaro-Fuentes, Jorge & Sánchez, Marta & Lopatka, Artur & Siebielec, Grzegorz & Verboven, Jan & Cleen, Margot & Staes, Jan & Boekhold, Sandra & Goidts, Esther & Creamer, Rachel & Alberico, Simonetta & Innamorati, Angelo., *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: Soil ecosystems*. . 2018.
- [5] 行政院農業委員會農業試驗所, *土壤有機質測定方法—燃燒／紅外線測定法*. 2013.
- [6] S. Liu, N. Hu, J. Zhang, and Z. Lv, "Spatiotemporal change of carbon storage in the Loess Plateau of northern Shaanxi, based on the InVEST Model," *Sciences in Cold and Arid Regions*, vol. 10, no. 3, pp. 240-250, 2018.
- [7] R. Sharp *et al.*, *InVEST user's guide*, 3.10.2 ed. CA, USA: The Natural Capital Project: Stanford, University of Minnesota, The Nature Conservancy, World Wildlife Fund., 2020.
- [8] R. H. McCuen, *Hydrologic Analysis and Design*, 4 ed. Hoboken, NJ : Pearson Higher Education, Inc., 2017.
- [9] R. Li, R. Li, H. Zheng, Y. Yang, and Z. Ouyang, "Quantifying ecosystem service trade-

offs to inform spatial identification of forest restoration," *Forests*, vol. 11, no. 5, p. 563, 2020.

[10] 雲林縣政府, *雲林縣國土計畫*. 2021.