

農地景觀特徵之生態系統服務功能初探

陳彥勳¹、李盈潔^{2*}

摘 要 大眾對於農地生態系統服務已有相當程度的認知，但透過當前農地政策落實有效率的生態系統服務治理仍具高難度。生態系統服務仍屬於較抽象的概念，人們無法直觀的看出其效益與價值；也因如此，目前台灣的農地政策依然是以最低限度的糧食安全供給總量為農地保護的考量基礎，缺乏農地在空間格局上可以發揮其它生態系統服務效益的思維。由於景觀組成與景觀格局的變化，會影響不同生態系統服務類型的供給能力，因此，本文以景觀生態學中做為景觀結構分析工具的景觀指數為基礎，探討農地景觀特徵如何透過不同景觀指數的呈現，評估適合於各種生態系統服務類型的空間配置，冀望透過景觀的空間特徵，建立實質環境與農地生態系統服務的關聯性。經文獻評述歸納後發現，在各種農地提供之生態系統服務中，供給服務主要須考慮量體指數與形狀指數；調節服務與文化服務則主要須考慮空間結構指數。此外，本文亦強調位於都市周邊或郊區的農地，因當地居民對於生態系統服務的需求程度不同，故在農地景觀特徵上的要求也應有所差異。透過景觀指數的輔助進而配置農地，不僅能提高農地生態系統的服務效率，也有助於在農地政策執行上建立更具體的管理準則。

關鍵字：農地景觀、生態系統服務、景觀生態學、景觀指數

Preliminary Analysis of the Ecosystem Services of Farmland Landscapes

Yan-Shiun Chen¹ and Ying-Chieh Lee^{2*}

ABSTRACT The public is aware of the ecosystem services of farmland, however, current farmland policies are inadequate for effectively governing ecosystem services. Due to the abstract concept of “ecosystem services,” it is difficult to directly realize their benefits and value. For this reason, current farmland policies in Taiwan remain focused on farmland protection for the purpose of food security and lack the vision that the spatial configuration of farmlands can yield other benefits of ecosystem services. Different composition and configuration of landscape characteristics can have varying effects on the delivery of ecosystem services. In this study, we aimed at examining how farmland landscape metrics can be used to evaluate the spatial configuration of various ecosystem services from the viewpoint of landscape ecology. We also examined the spatial characteristics of landscapes to analyze the correlation between physical environments and farmland ecosystem services. Our findings revealed that area metrics and shape metrics of farmland landscape can be used to measure the provisioning services, while spatial configuration metrics can be used to measure regulating services and cultural services of farmland. In addition, we compared peri-urban and rural farmlands to emphasize that farmland landscape characteristics differ according to the location because local residents have different demands for ecosystem services. Planning the configuration of farmlands based on landscape metrics can enhance the benefits from farmland ecosystem services and serve as a reference for establishing practical management guidelines for implementing farmland policies.

Keywords: Farmland landscape, ecosystem services, landscape ecology, landscape metrics

¹ 國立中興大學景觀與遊憩學位學程碩士。Master, Program of Landscape and Recreation, National Chung Hsing University, Taiwan.

² 國立中興大學景觀與遊憩學位學程助理教授。Assistant Professor, Program of Landscape and Recreation, National Chung Hsing University, Taiwan.

* 通訊作者。Corresponding author, Email: yingchieh@dragon.nchu.edu.tw

一、前言

農地佔全球陸域面積 25 % 以上 (Millennium Ecosystem Assessment, 2005)，對於人類生存環境是相當重要的地表覆蓋類型 (land-cover)。自文明以來，人類的生活基本所需與農地緊密相連 (Waters, 2006)，時至今日，科技新興加速推動社會發展，其中農業發展轉為集約且精緻化的系統式經營，係為傳統的糧食供給模式已無法滿足當代人的生活需求，以致農業本身的產業轉型與都市土地發展需求帶動農地景觀的劇烈變化 (Zomeni et al., 2008)。

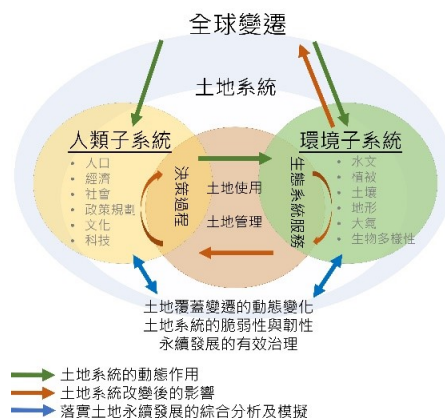
近年在都市快速發展過程中，地表覆蓋快速轉換，而此現象在土地資源集中及發展侷限的海島型國家變遷現象更為顯著，在有限的資源環境中，加速都市化現象衝擊生物生存環境與造成人類社會脆弱度增加 (Cocklin & Keen, 2000)。透過全球性的「土地使用與地表覆蓋變遷計畫 (Land Use and Land Cover Change, LUCC)」 (Lambin & Geist, 2008) 與「全球土地計畫 (Global Land Project, GLP)」 (GLP, 2005) 所奠定的土地系統動態變遷在環境研究中的重要基礎，農地的大幅轉用可透過 GLP 提出的土地使用變遷模式關係 (如圖 1)，其中第 2.2 課題「生態系統結構與功能的改變，如何影響生態系統服務的傳遞？ (How do changes in ecosystem structure and function affect the delivery of ecosystem services ?)」，也凸顯並詮釋了在全球環境變遷下，農地的土地使用變遷對於人類與環境系統間的關係。

農地流失在台灣近年國家土地發展中是極具重視的議題之一 (徐嘉偉等，2019)，台灣全國農耕地面積由

1970 年代的 92 萬公頃、1990 年代的 87 萬公頃至 2019 年的 79 萬公頃 (農委會，2011；農委會，2019)，減少比例達 15 %。基於農地的不可逆 (irreversible) 特質 (張學聖等，2013)，當前對於農地轉用、農產業轉型及農地與農業價值評估等相關研究日益廣泛，同時可看出農地資源在台灣國土規劃中的重要性。其重要性來自於農地與農業生產功能外的附加價值，其價值之認定與分類在當前研究中主要有分為兩類概念予以區別 (Huang et al., 2015)：

(一) 農業多功能性 (Multifunctional Agriculture, MFA)：農業具有生產以外之多功能價值的基礎概念是源自於農業本身在生產食品 and 食物提供營養的過程中額外提供的附加價值。最初於里約熱內盧地球高峰會 (The United Nations Conference on Environment and Development, UNCED) 的二十一世紀章程 (Agenda 21) 提出，為滿足永續發展之理念，針對農業生產賦予了多重角色的定位 (European, 1998)，以農業經濟發展為基礎，透過 MFA 的概念建立農業與社會環境的多種互聯關係 (OECD, 1999; OECD, 2001)。

(二) 生態系統服務 (Ecosystem Services, ES)：ES 是結合經濟學與生態學的綜合學說，核心價值是強調人與自然環境之互動關係 (Huang et al., 2015)。定義為人類直接或間接從生態系統中獲得的助益 (Costanza et al., 1997)，2005 年的千禧年生態系統評估報告 (Millennium Ecosystem Assessment, MEA) 更針對農地的服務類型提供了系統性的歸納，將農地界定為生態系統中重要的供給者與消費者 (Swinton et al., 2007)。



(資料來源：改繪自 GLP (2005))

圖 1、土地使用變遷模式關係圖

Fig. 1 Land system dynamics between social system and environmental system

MFA 及 ES 的相關研究至今已相當成熟 (柳婉郁、盧佩渝, 2017; Van Zanten et al., 2014; Power, 2010; Zhang et al, 2007; Metzger et al, 2006)。各國土地規劃部門在研擬發展策略時, 針對農地配置與農業政策除了以傳統的糧食供給作為評估基礎外, 開始關注農地流失對於整體環境造成的外部性 (柳婉郁、盧佩渝, 2017)。雖然農地在生態系統服務中仍有農業經營衍伸的負面影響, 但半自然生態的農業環境對於都市的永續發展確實是具有緊密關聯性 (東正則, 2018)。

欲觀察農地的變遷對於地區發展的影響, 本文由台灣城鄉發展進行剖析, 自國家經濟開始快速成長, 工業發展需求帶動的產業結構變遷, 國家土地規劃面臨必須考量農村社會轉型為都市建成環境發展衍伸的社會與環境議題 (劉曜華, 2004)。在都市形成與都市擴張的發展背景下, 台灣主要是以新訂或擴大都市計畫滿足工業化的土地利用需求 (劉小蘭, 2010)。產業結構變遷與人口從業趨勢轉變的都市化過程, 使台灣都市及都市周邊農地轉用情形加劇 (李盈潔, 2013)。且在都市計畫區內剩餘的農地也多以「都市發展儲備用地」的定位做為未來發展所需。又《國土計畫法》在 2016 年以國土保育、促進國土資源與產業合理配置等目標公告實施, 但從 2020 年的各縣市國土計畫草案的初步統計中可以發現, 全台灣約有 8.7 公頃 (約九成) 的都市農地在國土計畫下被重新劃設為城鄉發展地區, 意味著在台灣未來國土發展中, 農地留存的機率持續降低, 農地對於人類生活環境的生態系統服務能力也將面臨相當程度的改變。

從國家政策的推動與實踐可以發現, 雖然農業的多功能性與農地生態系統服務所提供的生態價值評估逐漸受到重視, 但在政策的執行上仍較難將評估價值或服務能力應用於實際環境。欲使農地資源規劃可將農地附加價值以積極管理的方式落實於計畫, 本文將針對農地生態系統服務與實質空間的關係透過景觀生態學中的景觀指數觀點提出原則性的參考依據。由於目前全面性的探討景觀指數與農地生態系統服務管理的實例研究仍較少見, 故本文嘗試在兩者之間進行探討並建立初步的研究架構, 以利具體理解農地在都市化過程中與人類生活環境的關係。

二、文獻探討

(一) 生態系統服務

生態系統服務的概念源自於 1970 年關鍵環境問題研究《Study of Critical Environmental Problems》

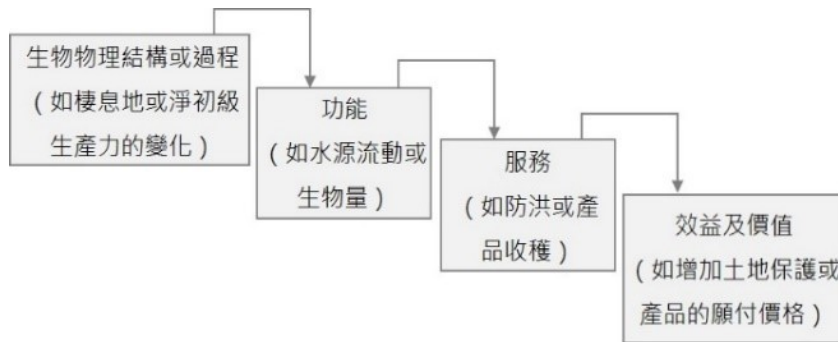
(SCEPT)。研究報告是針對在全球氣候與生態環境變遷下, 自然環境轉變對於人類社會的衝擊。農業部分在之中則是生態效應的主要關注的項目之一, 人類對於陸域環境的汙染及開發, 造成農業生產與自然環境損失, 自然環境損失導致整體環境劣化, 使各領域學者開始反思環境變遷與人類生活環境的關係。

「服務」觀念的雛形是在「千禧年生態系統評估報告 (Millennium Ecosystem Assessment)」中提出, 此報告是於 2005 年由各國生物學家針對地球當前生態系統的相關議題進行討論與解析, 在報告中重新定義與濃縮生態系統服務的解釋, 「服務」一詞象徵人類社會從自然環境中直接或間接獲得的所有利益, 透過自然系統傳遞於人類系統的累積能量 (服務), 即為自然生態所提供的不同服務 (Zhang et al., 2007; 邱祈榮、林俊成, 2017)。

農業環境亦是如此, 開發導向的都市化發展模式, 在高強度的土地利用下, 農地減少與劣化造成可提供的生態系統服務能力相對受到壓縮 (Costanza et al., 1997)。農地轉用造成的自然服務轉變若未納入國土規劃進行考量, 在缺乏妥善自然環境管理的發展下, 對於人類社會的永續發必然有所衝擊。

在生態系統服務概念中, 林地與農地屬於自然與半自然環境, 相較於建成環境是儲存自然能量的角色, 以農業系統中的稻作與旱作 (一般作物及蔬果類) 為例, 農作物在生長過程中, 透過累積自然與社會資本投入的資源, 使其在農作物本身及生長土地具含能量, 雖然初期階段無法為人類社會系統提供實質的農產品, 但土地條件已開始有提供生物棲地與增加生產力的自然服務能力出現, 透過流程中資源的傳遞, 在農作物的收成階段已能為社會系統提供實質的糧食供給服務, 由作物種植、收割到產品銷售, 各階段農地均產出不同的自然生態服務, 而過程中的服務與交易連結自然與社會的現象, 象徵兩系統間具有能量傳遞 (流量) 的概念 (如圖 2)。因此農地轉用與流失造成的不僅是糧食自給率不足的議題, 實質影響的會是整個農地產出過程中, 任一階段所能產出的自然服務流失。

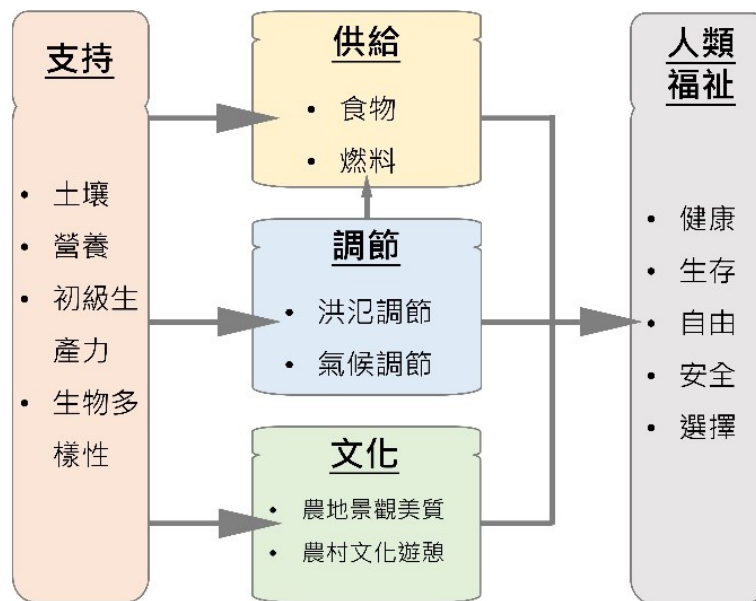
在 2005 年的千禧年生態系統評估報告中, 將自然環境為人類社會所提供的自然服務進行了系統性的歸納 (如圖 3), 此概念同樣適用於半自然環境的農地系統, 是以支持服務為基礎, 依序包含供給服務、調節服務及文化服務以達到人類生活之所需, 即人類福祉 (Millennium Ecosystem Assessment, 2005)。



(資料來源：邱祈榮、林俊成，2017)

圖 2、生態服務次序關係圖

Fig. 2 The relationships and order between ecosystem functions and services



(資料來源：改繪自 Millennium Ecosystem Assessment, 2005 ; Zhang et al., 2007))

圖 3、農地生態系統服務與人類福祉關係圖

Fig. 3 Pathways from agro-ecosystem services to human well-being

在農地的生態系統服務中，落實於政策推動的多以「供給服務」的糧食生產為主，但在整體環境系統中，農地所提供的「支持服務」，在土壤組成、營養提供、初級生產力供給及生物多樣性維護，賦予了生物成長棲地、作物生長環境與調節氣候的條件，屬於相當重要的基礎服務類型；「調節服務」，農業生產過程中的耕地具有減緩極端氣候降雨對都市的衝擊危害，土地與作物成長過程中則具有調適氣候的能力；「文化服務」，農地空間提供人類享有農村文化的契機，透過農地經營農村景觀美質、農業教育等，不同的生態系統服務均有助於使人類在社會系統中享有健康、舒適及安全等心靈層次的農地自然生態附加價值。Swinton et al. (2007) 利用 ES 於農地規劃評估，在管理農地過程中以耕作施肥為例，施肥方式不同，改變的不僅是支持服務中的土壤肥沃度生產力，對於農地土壤的固碳及碳與氮排放（即調節服務）都具影響，

基於農地經營與規劃直接影響農地 ES 的關係下，以 ES 做為農地管理工具，提供農民對於農地的經營方向外，更透過科學方法具體詮釋農地的多功能性的實質效益與功能間的交互關係。ES 的應用可促進農地對於人類生活環境的服務效率與農地價值，不同區位而言，都市化區域因高度開發造成自然環境損耗，因此更仰賴農地所提供的調節服務，在都市外圍地區農地具有完整且條件較佳地生產環境，供給服務總量與文化服務多元性能有更佳的效率（陳彥勳，2020）。ES 的應用以客觀的方式建立農業管理與環境及社會間的聯繫，深入理解不同服務類型與空間環境的關係，有助於農業生態系統服務的實質運用（Swinton et al., 2007）。

（二）景觀變遷

本文以景觀生態學角度為切入點，探討農地覆蓋變遷產生的景觀特徵對生態系統服務的影響，其主因在於

農地本身具有空間特性之特質，不同的作物別或河川、道路的配置，都會對農地的農業生產或其他環境功能產生影響。例如，水田仰賴的灌排系統與埤塘之間的配置，除了支持水稻生產，對於以水稻田為棲地的動物而言，渠道與埤塘在景觀格局中的連結度、環境品質也會影響動物的遷徙能力，而水稻田的景觀特徵變化與農業經濟發展效益也存在高度關聯性 (Huang et al., 2012)。

1. 景觀生態學對景觀特徵之詮釋

景觀生態學 (Landscape Ecology) 興起於 1980 年代，是屬於地理學與生態學結合應用的綜合性學科，因為結合地理空間的概念，又有地景生態學之稱。此學說主要目的是將複雜的空間及環境資訊以結構 (structure)、功能 (function) 及變遷 (change) 作為主要研究方向之歸納，同時也是景觀生態學的研究範疇 (鄔建國, 2003)：

(1) 景觀結構：意指景觀組成的類型、多樣性及其空間關係。例如景觀中各種地表覆蓋類別的面積、形狀、空間格局 (configuration)、及其當中的能量、物質、物種分布等。

(2) 景觀功能：意指景觀結構與當地生態系統間的相互作用、或景觀結構組成間的交互作用。

(3) 景觀動態：意指景觀在結構和功能面隨著時間的變遷而產生的變化。

景觀生態學最根本的問題就是在處理空間異質性及其結構與功能複雜性的議題，因此景觀生態學採用許多探討物種豐富度與空間複雜度關係的生態學既有理論為基礎，例如島嶼生物地理學理論 (Island Biogeography)、塊區動態理論 (patch dynamic)、複合族群理論 (Metapopulation)、以及空間滲透理論 (Percolation Theory) 等，過去許多景觀生態學領域的頂尖學者也曾各自歸納出不同的景觀生態學理論基礎與原則 (Forman, 1995; 肖篤寧, 1993)。在景觀生態學中，與本文強調之空間格局分析相關之重要理論，包括：塊區-廊道-基質模式 (patch-corridor-matrix)、以及源自於生態學中與棲地品質和空間格局相關之概念，包括干擾 (disturbance)、物種-面積關係 (species-area relationship) 與邊緣效應 (edge effect)，上述源自生態學中與棲地品質相關的理論，其重點在於強調棲地面積大小、以及棲地邊緣受外在干擾程度較高的地區，皆會影響棲地品質，進而影響物種豐富度或物種數量。

其中，由 Forman & Godron (1981) 發展出來的「塊區-廊道-基質模式 (patch-corridor-matrix)」在景觀生態學領域中，建立了描述景觀結構、功能與動態的一

種具體「空間語言 (spatial language)」，有助於分析景觀結構與功能之間的相互關係、並比較不同時序上的變化 (鄔建國, 2003)。塊區-廊道-基質模式是基於島嶼生物地理學理論與塊區動態理論發展而來，其意涵在於強調塊區、以及由塊區組成的景觀鑲嵌體 (landscape mosaics) 的空間特徵，會同時影響該地生態系統的結構與功能；換言之，物種與景觀之間是高度相互影響、且隨時空的變化而發展演替的動態生態系統。

綜合上述對於景觀生態學中與空間格局以及棲地品質相關之理論的回顧，可得知塊區格局及當地生態特徵之間是高度動態的互動影響，因此景觀格局的變化也會直接影響該地的生態過程與環境功能。本文之目的在於探討將景觀生態學中與塊區空間格局相關的分析技術應用於農地生態系統管理的可能性，透過景觀格局變遷的掌握，可進而了解一地提供生態系統服務的能力是否受到影響。

景觀指數 (landscape metrics) 是景觀生態學中描述景觀特徵與景觀組成所延伸出的計量分析方法，可對應到前述景觀生態學範疇中的景觀結構與景觀動態，透過不同指數類型對景觀生態系統(空間)能有具體的描述能力 (鄔建國, 2003)。景觀生態是將自然環境與人類社會以空間結構為基礎，綜合討論的學說，景觀一詞中包含了自然景觀 (生物系統、地理空間、土壤組成、地質及水文氣候等)、經濟景觀 (產業發展型態、公共設施、交通網絡及能源發展等) 及人文景觀 (文化、歷史、政治及信仰等)，在不同性質的景觀組成中，將其以土地空間單元進行量化，由簡易的網格單元象徵複雜的土地屬性，此為景觀指數所能分析的核心價值所在。在網格單元中是透過景觀生態學所建立的基本元素模型「塊區-廊道-基質模式 (patch-corridor-matrix)」作為延伸發展，從中可由景觀特徵 (空間格局、塊區大小及形狀異質性等) 解釋生態環境在空間上的意義 (Lee et al., 2015)。景觀指數利於解釋基地中景觀元素的組成與行程脈絡 (變遷)，透過空間組成探討不同景觀間介面的互動關係 (Botequilha Leitão et al, 2006)，應用於土地利用的合理性有助於作為保護與管理土地資源及其景觀的有效工具。Forman (1995) 將景觀變遷的歷程，描述為景觀穿孔、切割、碎裂、縮減及消耗的過程概念 (如表 1)，透過景觀指數的選取與採用，能在空間上針對景觀面積、擴張程度、數量、形狀與空間結構特徵進行描述，並做為分析景觀變遷程度的參考依據。

表 1、景觀變遷歷程

Table 1 Dominant spatial processes of landscape change

景觀變遷歷程	塊區數目	平均塊區大小	單位內塊地數量	塊區連接度	總邊界長度	棲地	
						流失	島化
 →  穿孔	不變	減少	減少	不變	增加	增加	增加
 →  切割	增加	減少	減少	減少	增加	增加	增加
 →  碎裂	增加	減少	減少	減少	增加	增加	增加
 →  縮減	不變	減少	減少	不變	減少	增加	增加
 →  損耗	減少	不變	減少	不變	減少	增加	增加

資料來源：Forman, 1995；李盈潔，2013

Riitters et al. (1995) 結合土地利用覆蓋變化為基礎下，將 55 種景觀指標簡化至最具代表性的 26 種後，透過主成分分析與因素分析，取出能在空間上針對景觀面積、擴張程度、數量、形狀與空間結構特徵等完整解釋的景觀指數做為參考依據。Huang et al. (2009) 透過景觀指數分析台北桃園地區農地變遷情形，並比較都市計畫地區與非都市土地農地景觀變遷的差異。景觀指數大致可分為塊區量體指數、形狀指數及空間結構指數三大種類 (表 2)，本文後續將以此為基礎，透過對農地景觀格局中的農地覆蓋量、分布特性、農地與其他土地使用類別交互面的連接度、碎裂情形及空間區位上的相連程度進行綜合性的觀察，進而討論這些農地景觀特徵對生態系統服務的影響。

2. 台灣農地景觀變遷之驅動力及其影響

配合台灣都市發展需求，自 1970 年代開始，農地隨著都市計畫區與都市人口增加，逐漸轉為住宅、商業、交通建設等都市發展為導向的土地利用模式，相對的，由農地與都市土地轉變的景觀中也可看出產業結構轉移在國土空間中象徵的各時期的產業結構特徵，如施孟隆、黃炳文 (2006) 提出的農工並重階段 (1969-1981 年) 與農業革新調整階段 (1982 年後)，農業生產環境流失，造成土地的混合使用程度增加，農地中出現地被切割、穿孔及破碎等景觀同時反映出各時期不同的農地景觀特徵。由上述可以理解，農地景觀變遷影響的不僅是視覺或是純粹地理空間使用上的轉變，其中包含了農地景觀變遷之於土地規劃的意義及農地景觀變遷影響的功能價值，兩者分述如下：

(1) 農地景觀變遷之驅動力

在早期土地規劃的過程中，農地被定義為滿足國人糧食安全的重要資源，在整體配置上，農地的供給量為主

要考量目標，隨後由於居住、工作及遊憩等需求漸增，以致不同類型的土地使用過度混雜並鑲嵌於農地塊區 (patch) 中，對於農業生產效率產生負面衝擊 (黃瓊萱，2019)，使農地景觀變遷的重要性逐漸浮現。

由影響農地景觀變遷的因子進行討論可發現，政策制度的推行是影響農地景觀變遷的主要且根本的驅動力之一 (劉小蘭，2010)，由吳振發 (2008) 以土地利用變遷模型的研究證實，為促進土地利用的農地釋出政策不僅加速建地覆蓋地擴散，對於農地環境及周邊。王蔓渝 (2018) 以不同的工業產業對應都市周邊的農地景觀，由工業區與工業使用發現都市發展確實對農村景觀造成侵擾，產業擴張確實促進地區經濟繁榮，但農地縮減、碎裂與分離，確實與工業區的編定及相關產業蔓延存在直接關係。

(2) 農地變遷後的影響

從農地本身為人類社會所提供的多功能價值而論，農地景觀變遷的相關研究陸續驗證了景觀生態與農地多功能的關聯性 (Lee et al, 2015)。以自然災害來看，人類因都市發展所需，建地擴張至農業土地、自然敏感區或其他自然保留度較高之區域，在近年極端氣候發生頻率加劇的時空背景下，人類財產損失與生存環境的脆弱度大幅上升。更為明顯的是，在半自然地區與自然地區比例降低的環境中，發生經濟損失的比重也就愈大，象徵環境區域自我調適的機能逐漸喪失 (李永展，2018)。在糧食安全危害方面，農地在海島型國家，因土地資源有限，在都市發展過程中難以避免農工混雜的問題。象徵性的重大事件有日本富山 1950 年代及台灣 1950 年代中部地區的鎘米汙染的事件，直至 2004 年台灣稻米檢測仍發現多處鎘含量超標的稻作地區。汙染事件紀錄的不僅是糧食污染的危險，更象徵都市發展下，農地與建地的高度混合鑲嵌，使全國糧食安全暴露在高度風險之中 (翁建民，2018)。

表 2、常見的景觀指數與公式

Table 2 The calculation formulas for landscape metrics

類型	景觀指數	指數公式
量體指數	1. 塊區數目 (Number of Patch, NP) 2. 平均塊區面積 (Mean Patch Size, MPS) 3. 塊區面積標準差 (Patch Size Coefficient of Standard, PSSD) 4. 最大塊區指數 (Largest Patch Index, LPI)	1. $NP = N$ $N =$ 景觀中的塊區總數量 2. $NPS = \frac{A}{N}$ $A =$ 景觀總面積 $N =$ 景觀中的塊區總數 3. $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left[a_{ij} - \left(\frac{A}{N} \right) \right]^2}{N}}$ $a_{ij} =$ 塊區 ij 的面積 $A =$ 景觀總面積 $N =$ 景觀中的塊區總數 4. $LPI = \frac{[Max(a_{ij})]}{A} (100)$ $a_{ij} =$ 塊區 ij 的面積 $A =$ 景觀總面積
形狀指數	1. 邊界總長度 (Total Edge, TE) 2. 景觀形狀指數 (Landscape Shape Index, LSI)	1. $TE = E$ $E =$ 塊區邊界總長 2. $LSI = \frac{0.25E}{\sqrt{A}}$ $E =$ 塊區邊界總長 $A =$ 景觀總面積
空間結構指數	1. 最鄰近距離平均值 (Eculidean Nearest Neighbor_Mean, ENN_MN) 2. 聚合度指數 (Aggregation Index, AI) 3. 塊區結合指數 (Patch Cohesion Index, COHESION) 4. Shannon 多樣性指數 (Shannon diversity index, SHDI)	1. $ENN_MN = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_{ij}}{N}$ $h_{ij} =$ 相同類型塊區鄰近邊之距離 $N =$ 景觀中的塊區總數 2. $AI = \left(\frac{g_{ii}}{Max(g_{ii})} \right) (100)$ $g_{ii} =$ 單元內 i 類型塊區的連接數 3. $COHESION = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{ij} \sqrt{a_{ij}}} \right] \left[1 - \frac{1}{\sqrt{A}} \right]^{-1}$ $P_{ij} =$ 單元範圍內的塊區 ij 周長 $a_{ij} =$ 塊區 ij 的面積 $A =$ 景觀總面積 4. $SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i)$ $P_i =$ 單元範圍內 i 塊區類型占景觀格局之比例

在生態環境衝擊方面，都市化過程中，自然生物仰賴建成地中的半生態環境與周邊自然環境提供的棲息空間，許澤宇(2017)利用景觀多樣化與均勻度的分類模式，分析特定景觀環境與鳥類族群的分布關係。而陳滢茹(2007)發現同為農地環境，但不同條件的自然與人為組成，會造就特定鳥類相似或相反的群落聚習性，由此可看出農地景觀特徵確實在生態環境中具有高度影響力(衝擊)，而附加之功能效益須以特定目的需求進行調整。而農地流失也造成了農地景觀劣化，在土地利用觀念中，經濟發展導向的思維模式建立土地效率利用的標準，但其中伴隨的是農業土地轉用為大面積的住宅及工業設施覆蓋等無機覆蓋物，大幅改變自然的農地景觀(李素馨、林敬好，2014)。

從上述兩種層面的角度看景觀生態與農地發展的關係可初步瞭解，農地在提供不同功能價值的同時，農地的特徵樣態(如尺寸、分布、面積、組成及形狀等)在各類型情況時會有不同的解釋方式，有鑒於深入空間特徵與農地轉用影響功能價值差異的現象，本文以景觀生態學中的空間結構特徵分析為基礎，對複雜的地表覆蓋樣態進行空間資訊的標準化，以利更完整的詮釋農地轉用過程中對於農地多功能的實際影響。

三、應用景觀指數於評估農地生態系統服務

在積極管理農業生態系統的方法中，除了以農業改良及友善耕作等針對農業種植與環境改善外，從農地景觀的功能、結構及變遷角度可以發現，生態系統服務中的改良食物、纖維及燃料應用的供應(供給服務)依賴於支持服務的網絡分布與生產投入(如土壤肥沃力和授粉)，景觀結構細碎化同時也會使農業系統受到損害，從而降低生產力、增加生產成本及服務能力(如規模降低和土地利用不連續)。這些服務和服務的流量直接取決於農業生態系統的管理方式以及景觀中自然生態系統的多樣性、組成和功能。管理農業景觀是為了提供足夠的支持和調節生態系統服務以及減少服務中斷。景觀指數的應用著重於促進農業生產力及發揮生態系統服務效益與降低生態系統的服務減損(Zhang et al., 2007; Lee et al., 2015)，同時透過空間層面的管理，凸顯農業生態系統服務的重要性。下列以依農地生態系統服務中的供給服務、調節服務與文化服務對應其適宜觀察與應用之景觀指數(因支持服務在千禧年生態系統服務評估報告中，是被界定為支持其他生態系統服務的基礎環境功能、非直接服務人

類，故對人類福祉而言屬於間接性的服務，故本文僅著重於探討適宜觀察農地之供給服務、調節服務與文化服務之景觀指數)，以都市環境區域與都市外圍環境區域分別敘述服務功能與景觀格局的關係：

(一) 農地供給服務與景觀指數

農地生態系統中的供給服務主要強調農作物的生產量(如糧食供給量、綠肥量產出及燃料作物量)、生產效率及農作產出品質(如營養價值及作物價值)(Lauf et al., 2014)。台灣土地資源稀少，產業發展與都市擴張需求導致都市區域的建地與農地的混合使用現象明顯，而都市以外之區域面臨都市擴張與人口外移的衝擊，優良農地保存與農地配置日益重要，基於供給服務中地農作生產量與農作品質要求，農地系統在景觀格局規劃中可參考以下指數進行評估：

1. 量體指數

(1) 塊區數目(Number of Patch, NP)及平均塊區面積(Mean Patch Size, MPS): NP值愈高及MPS值愈低表示農地分布在環境中的細碎化程度愈高; NP值愈低及MPS值愈高則反之。

(2) 塊區面積標準差(Patch Size Coefficient of Standard, PSSD)及最大塊區指數(Largest Patch Index, LPI): PSSD值愈高表示任一塊區面積與整體平均塊區面積差距愈大; 值愈小則反之。LPI則可看出景觀中最大塊區面積佔景觀總面積之比例，可與PSSD交互使用。

都市環境依作物類型與量體指標，在供給服務層面能有不同的作物選擇與配置規劃。因都市土地稀缺，農地分布相較都市外圍環境細碎，基於供給服務考量都市化下的細碎化農地景觀特徵，應以耕作面積與條件較不受耕地條件限制的旱作種植為主(陳彥勳，2020)，配合人工設施(溫室、品種改良及友善農法等)較容易於都市環境中提供穩定的生產量與品質。而水稻可在農地PSSD值與LPI值愈高的區域中，保留較大的主要塊區進行耕種，以提供都市環境中多樣化的糧食供給。

都市外圍區域中，相較都市區域農地塊區會有更高的MPS值提供區域主要糧食生產，同時PSSD值與LPI質也會有更高的數值表現，代表尚未都市化的區域可提供更完整的農地供給服務，其規劃指導應主要考量都市區域種植效益較低的水稻為主，確保農業環境的規模種植，以確保都市環境無法替代的糧食供給服務。

2. 形狀指數

(1) 邊界總長度(Total Edge, TE): 一區域農地總面積相同條件下，TE值愈大表示農地與相異使用之土地接觸程

度愈高；數值愈小則反之。

(2) 景觀形狀指數 (Landscape Shape Index, LSI) : LSI 用以觀察塊區的圓形或方形程度，在農地分析中主要會利用方形係數觀察農地的方正程度，當 LSI 值愈接近 1 時表示塊區形狀愈接近方形；當值愈遠離 1 時則反之。

都市環境中形狀指標應用於農地供給服務的部分可看出，當農地生產環境與周圍相異的土地使用 (住宅、商業或工業等) 接觸程度 (TE) 愈高時，表示農地生產受干擾的機率愈高。而耕地形狀部分之分析，因水稻耕作環境愈方正愈 (LSI 值愈接近 1) 利於機械耕作，在提高生產效率與降低勞務成本方面則會有較的表現。都市環境中 TE 值低且 LSI 值接近 1 的農地較為稀少，應首要保存在都市環境中具有此景觀特徵的農地。

都市外圍環境中，因農作耕地規模較都市環境內的農地大，在塊區尺寸較大的情況下，TE 仍值可反映農地細碎化與邊界受相異土地使用的干擾程度，但 LSI 值因土地尺寸大，並不顯著影響農業機具的工作效率。

3. 空間結構指數

最鄰近距離平均值 (Euclidean Nearest Neighbor_Mean, ENN_MN) : ENN_MN 值愈低時表示同類型塊區地聚集程度愈高，數值愈低時則反之。

都市環境中空間結構指標應用於供給服務之效益在於農業經營管理與規模生產，都市環境因高密度開發關係，對於農地的干擾程度較高，在農地塊區數相同的條件下，農地 ENN_MN 值愈低 (分布集中) 有利於在土地使用層面針對同一區域制定規範與實施管制，以確保農業基礎設施與水源的安全性。在塊區數增加的情況下，ENN_MN 值降低則表示既有農地細碎化，意即都市中的農業生產環境有完整度降低與受汙染程度增加的風險產生。

過去國內研究亦曾透過景觀指數觀察農地空間格局變遷對農業生產的影響，如李盈潔 (2013) 以七個相同面積的水稻田案例地區，透過量體指數與形狀指數、結合能值分析方法，探討水稻田規模與形狀對農業生產的影響，研究發現當水稻田規模越小 (包括平均面積與總面積) 或形狀越不規則，單位面積相對需要較高比例的財貨與勞務投入農業系統，因此對於環境產生的壓力相對較高，不利於維持農地供給服務的永續。

(二) 農地調節服務與景觀指數

農地生態系統的調節服務在當前人類生活環境中，主要強調氣溫調節、吸收溫室氣體、地表入滲及調洪蓄水的功能。都市高度發展下，因不透水鋪面增加、土地使用

強度上升與生活及產業熱能廢水釋出，導致土地可因應自然氣候與環境變遷的能力降低，使人類生活環境脆弱度增加，因此需要透過部分半自然環境與自然環境的適當配置，提供都市可因應自然環境變遷衝擊的韌性。相較之下，都市外圍環境因發展密度低，人口分布零散，主要是農業生產環境受氣候變遷 (如氣溫上升、急降雨等) 的影響較大。以下將透過不同景觀指數，將景觀格局配置落實於提升農地的生態系統調節服務能力：

1. 量體指數

塊區數目 (Number of Patch, NP) 及平均塊區面積 (Mean Patch Size, MPS) : NP 值愈高及 MPS 值愈低表示農地分布在環境中的細碎化程度愈高，NP 值愈低及 MPS 值愈高則反之。

在都市與都市外圍區域中，愈大的農地面積覆蓋普遍能提供較高的調節服務能力 (可吸收較多的溫室氣體、較高的調洪蓄水量及地表入滲量)，但因都市土地發展有限，無法持續保存大量的農地面積，因此在量體指標中，需透過農地的塊區數目與平均面積控管整體農地總量，而空間層面的有效利用須透過形狀指標及空間結構指標予以輔助。

2. 形狀指數

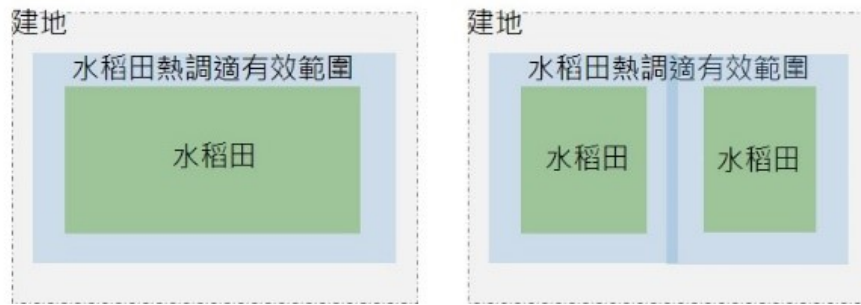
邊界總長度 (Total Edge, TE) : 一區域農地總面積相同條件下，TE 值愈大表示農地與相異使用之土地接觸程度愈高，數值愈小則反之。

當 TE 值愈高時，表示農地邊緣所接觸到的建地 (人類活動區域) 的機率愈高，由於農地屬於透水性鋪面，水稻田及旱作耕地在 TE 值愈高的情況下，能為都市空間的不透水鋪面提供調洪蓄水與地表入滲機能，其中水稻田耕地因田埂需保有灌溉深度，在非水稻種植期間又能有更佳的蓄水能力表現。水稻田種植期間因灌溉水長時間導入，對於都市熱環境有顯著的降溫能力 (吳富春、李長穎，2004)，在農地 TE 值愈高的情況下，可透過較少量的水稻田覆蓋，為水稻田周邊的建成環境相同效果或更有效率的熱調適服務 (如圖 4)。

3. 空間結構指數

(1) 聚合度指數 (Aggregation Index, AI) : 用以描述景觀中各類型塊區的聚集程度與擴散趨勢，當數值愈大表示景觀由少數團聚的大塊區組合而成，數值愈小則表示多種的景觀類型分散於景觀格局中。

(2) 塊區結合指數 (Patch Cohesion Index, COHESION) : 反映出景觀類型的自然連接程度，COHESION 數值愈大時，表示景觀的空間連接度愈高；數值愈小則反之。



(說明：水稻田面積減少，TE 增加，對建地熱調適範圍增加)

圖 4、水稻田熱調適景觀空間示意圖

Fig. 4 Oasis effect mechanism in paddy rice fields

在都市環境中大面積農地覆蓋不完全能為都市提供最佳的調節服務，由氣溫調節、調洪蓄水及地表入滲可看出，農地分布的區位選相當重要，農地要能有效提供都市環境上述服務，需要在都市環境中與人類生活環境（建地）有一定的互動程度，即為非過高的 AI 值使塊區組成過為單一。而單以農地在都市空間上的分布較難提供都市環境完整的調適服務範圍，在調適服務的觀點下，農地應結合都市中的既有綠帶，以 COHESION 數值為標準，增加都市農地與公共空間綠帶的连接度。都市外圍的農地配置則可強調高 AI 值集中於都市周邊，為都市提供外圍所供應的調適服務。

台灣亦曾有研究探討農地變遷對農地提供調節服務的影響，例如陳彥勳（2020）利用台灣夏季天數、一日水稻田可蒸散潛熱功率及當期稻作耕地面積進行水稻田降溫能量計算，當水稻田與建地共用邊界越多，代表越多的建地可以受到水稻田降溫的氣候調節服務，然而越多的建地與水稻田共用邊界、代表水稻田碎裂情況越嚴重，反而越不利於供給服務的提供。因此，以景觀格局的觀點來看，農地的生態系統服務與景觀格局間亦存在著權衡（trade-offs）關係。

（三）農地文化服務與景觀指數

農地文化服務的範疇相當廣泛且目標的相對抽象，包括農村意象、景觀美質、心靈健康、食農教育、科學研究等都屬於農地對人類社會提供之文化服務。因農地的文化服務是基於「人對於農地與農地產出物的偏好與需求」產生認知才有的服務類型（王玉真，2014），本文又強調以景觀空間結構觀點切入文化服務，故視覺景觀美質無可避免需要被討論。然而，許多研究都曾嘗試建立一套兼顧理論與現實的視覺景觀美質評估標準，已有相關研究將景觀美質表現與景觀多樣性/複雜度之間建立起連結，如 Kaplan and Kaplan（1982）以感知理論（perceptual

theory）為基礎提出了一套風景評估模型—資訊過程模型（Information Processing Model），模型的組成元素包括：複雜度（complexity）、連貫性（coherence）、神秘感（mystery）與易識性（legibility），為視覺景觀的評價建立了一個重要的基礎。Kaplan et al.（1998）認為，比起草地或單一作物的農地，土地混合使用（mixed land-use）讓景觀增加了複雜度，對人的視覺而言也應該會更有吸引力。然而，景觀美質的評定很難有一個優劣的共同標準，人對景觀元素的感知契合度（Perceived fittingness）是難以客觀呈現的、且也很難在景觀尺度上進行量測，故以景觀指數來判定景觀美質以目前的研究發展來說，仍具挑戰性，且有賴相關研究更深入探討。

綜上所述，本文僅能就農地景觀中的異質性與多樣性有助於提升視覺吸引力、大塊且完整農地形塑出的農村景觀意象、以及農地與建地相鄰邊界（農地與建地之間直接相鄰的程度越高時，都市居民越能直接享受農地的景觀美質與文化服務）為出發點，提出下列景觀指數進行討論。

1. 量體指數

- (1) 塊區數目（Number of Patch, NP）及平均塊區面積（Mean Patch Size, MPS）：NP 值愈高及 MPS 值愈低表示地分布在環境中的細碎化程度愈高；NP 值愈低及 MPS 值愈高則反之。
- (2) 塊區面積標準差（Patch Size Coefficient of Standard, PSSD）及最大塊區指數（Largest Patch Index, LPI）：PSSD 值愈高表示任一塊區面積與整體平均塊區面積差距愈大；值愈小則反之。LPI 則可看出景觀中最大塊區面積佔景觀總面積之比例，以數值可與 PSSD 交互比對使用。

在農地的文化服務中，細碎化的農地分布會降低居民日常生活中可享有的農地文化服務能力，而尺寸完整

且高 LPI 值的農地景觀可提供較優良的景觀美質 (Lee et al, 2015) 及享有資源較豐富的農業文化資源。在量體指標下，都市環境中的農地尺寸有限，較無法提供具規模的農地景觀美質，但在維持固定尺寸的條件下，多塊區的農地分布可促進居民接觸農地提供的休憩場域及農業文化教育資源。都市外圍區域因 PSSD 值與 LPI 值都相較於都市環境高，在農地文化服務中具有提供優良的農地景觀美質，且大面積農地覆蓋，在空間與資源應用也較為彈性，因此在都市外圍區應盡量保有此項農地景觀特徵，以利文化服務供給。

2. 形狀指數

邊界總長度 (Total Edge, TE): 一區域農地總面積相同條件下，TE 值愈大表示農地與相異使用之土地接觸程度愈高；數值愈小則反之。

形狀指標之應用與前述 NP 的概念雷同，在 TE 值愈高的情況下是有助於提高居民接觸農地景觀與農地資源的機會，但過高的碎裂則會造成農地經營不易與居民可享有的農地資源大幅降低。

3. 空間結構指數

Shannon 多樣性指數 (Shannon diversity index, SHDI): 當塊區類型增加或各類型塊區數量比例趨近於相似時 SHDI 值愈高，意即景觀格局中的多樣性愈高；反之，景觀組成會偏向某一塊區類型居多。

空間結構指數應用於農地文化服務服務部分可著重於農地作物類型的組成，在農地文化服務中，水稻田與旱作所能提供的服務類型有相異之處，水稻田屬於大面積耕作，在文化服務中可提供較佳的景觀美質，而旱作種植需投入相當程度的農業改良知識與技術 (如溫室、棚架、品種改良及豐富品種等)，在環境中更能提供教育知識及體驗型的教育場域，因此豐富的農業景觀組成與一定程度的建地覆蓋，在高 SHDI 值下，可使居民更容易觸及與享有環境中的農地文化服務。例如 Lee et al. (2015) 使用了 SHDI 指數，探討了當農地景觀異質性增加時，農地形狀會越趨複雜、農地與建地接觸的邊界長度增加，有助於促進居民體驗遊憩或農村文化活動的可能性。

(四) 小結：景觀指數對農地生態系統服務管理之政策建議

由於景觀指數可以將複雜的景觀結構透過數字化的方式呈現出格局特徵，因此是一項做為長期觀察空間格局與過程間關係 (pattern-process relationships) 的有用工具。就今日台灣農地碎裂嚴重、農地釋出壓力龐大的現況，將農地規劃結合景觀指數的使用，將有助於在保留

一定面積的農地下做出最佳農地空間配置，提供最優化的農地生態系統服務。除此之外，將景觀指數應用在農地政策時，亦有助於優先考慮水稻田完整度的保護。因此，以景觀指數的角度對農地景觀生態系統服務提出管理之政策建議 (landscape-metrics-derived guidelines) 就顯得具有其立論基礎。本文將前述各類景觀指數與生態系統服務之間的關係、以及相關的農地生態系統服務管理政策建議，彙整如下表 3，以作為後續研究進行案例實證時的研究設計基礎。

四、結論與建議

在都市化過程中，都市與都市周邊農地的生態系統服務透過景觀格局會有不同的詮釋結果。以都市區域為例，都市區域屬於人類主要的生活場域，對於環境的要求在便捷之餘，額外則是追求舒適的高品質生活，而農地在都市環境中則扮演了調和都市無機的空間，以自然的元素賦予整體環境更舒適的戶外活動條件 (舒緩熱環境、提供景觀美質)、自然教育資源及因應氣候變遷的韌性機能；以都市外圍區域為例，大規模的農業發展環境下，提供更高的農業生產量與生產品質，在此條件下，也具備都市環境內無法擁有的開闊農地景觀及完整的農地教育場域。兩者對於農地的發展需求可透過景觀格局、功能與變遷進而解釋，並提出相應的發展指導策略。

景觀生態學領域中的景觀指數，不應只是用來瞭解空間型態，應該強化其與社會科學領域的結合與應用，透過與生態系統功能與服務的結合討論，將有助於實質農地景觀空間在生態功能面的管理。此外，農地的管理必須先有客觀且科學的分析基礎 (例如透過景觀指數持續監測農地景觀格局的變化、碎裂程度等)，以助官方作為管理農地生態系統服務的參考依據。以下進一步針對本文所探討的農地景觀特徵與生態系統服務意義，提出農地管理的政策建議與後續研究建議：

(一) 景觀指數的應用有利於農地生態系統服務管理與提供農地治理的新方向

在都市環境中農地分布所提的高生態系統服務效率相較農地保存總量更為重要，因都市土地稀缺，可保存的農地相當有限，將農地格局系統性的納入都市綠地網絡，由景觀格局中的連結性與多樣性指數進行管理，不僅能更有效率的發揮都市熱調節、調洪蓄水與地表入滲機能，更能為都市賦予綠地無法提供的農地文化服務與糧食供給服務；又都市外圍農地提供國家主要的糧食供給服務，在農地景觀特徵中，應盡可能維持農地的最大

塊區規模與細碎塊區的形狀，相較於都市環境的農地，

農地景觀特徵更著重於提高耕作效率與生產品質。

表 3、景觀指數對農地生態系統服務管理之政策建議

Table 3 Policy suggestions based on landscape metrics for agro-ecosystem services management

生態系統服務類別	景觀指數類型	可解釋應用的景觀指數	生態系統服務與景觀指數之關係	對農地生態系統服務管理之政策建議
供給服務	量體指數	- 塊區數目 (NP) - 平均塊區面積 (MPS) - 塊區面積標準差 (PSSD) - 最大塊區指數 (LPI)	- 在農地基礎條件 (土壤、養分及周圍條件) 固定下，愈大的農地面積能提供愈高的糧食供給量。 - 水稻田與旱作種植會因農地塊區尺寸與細碎程度而影響生產量與生產品質。	農地的糧食供給服務與農地面積有直接相關，若在保留一定面積的農地前提下，優先保留平均塊區面積越大塊完整的農地，對於供給服務的永續性有正面效果。
	形狀指數	- 邊界總長度 (TE) - 景觀形狀指數 (LSI)	- 農地與相異土地使用類別的接觸程度會提高生產汙染風險。 - 小而不規則的耕地不利於農業機械耕作。	優先保留形狀完整、未破碎穿孔的農地，除了便利農業機械操作外，也能降低農地受污染的可能性。
	空間結構指數	最鄰近距離平均值 (ENN_MN)	聚集的農地經營有利於土地利用管制，且能降低基礎灌溉與汙水設施的建構成本。	優先保留農地聚集程度高的農業環境，可達成聚集經濟、降低農業設施成本。
調節服務	量體指數	- 塊區數目 (NP) - 平均塊區面積 (MPS)	吸收溫室氣體、調洪蓄水與地表入滲能力主要受農地面積大小影響，而在都市環境中結合空間結構關係更能觀察其效果。	- 若考慮氣候調節服務，保留鄰近聚落的水稻田有助於夏季降溫，調節聚落的微氣候。 - 若考慮逕流調節服務，則都市地區的農地應與都市中的綠地等一起整合為都市綠基盤，以綠地系統的角度重新檢視都市地區內的農地政策定位。
	形狀指數	邊界總長度 (TE)	以服務範圍之概念為基礎，與建地的接觸程度愈高，能提供人類生活環境有愈佳的調節服務。	若考慮氣候調節服務，水稻田鄰接建地有助於協助降溫，然而，當水稻田鄰接建地的比例越高，也代表農地碎裂越嚴重、農業環境受到汙染的風險越高；因此，應用景觀指數於農地生態系統服務管理時，應認知到農地的氣候調節服務與供給服務之間，存在著權衡關係。
	空間結構指數	- 聚合度指數 (AI) - 塊區結合指數 (COHESION)	農地的聚集程度會影響氣溫調節、調洪蓄水及地表入滲的服務效率，由空間結構則可看出農地與綠地系統的連接程度。	若考慮逕流調節服務，則應將農地與其他綠地系統一併整合，以綠基盤的角度檢視都市地區內的農地定位。
文化服務	量體指數	- 塊區數目 (NP) - 平均塊區面積 (MPS) - 塊區面積標準差 (PSSD)	農地面積主要影響教育環境供給與農地景觀形塑出的景觀美質，細碎化的農地雖然不利於農業發展，但在都市環境中相對增加居民對於農地資源接觸程度。	理論上當農地景觀異質性增加時，農地形狀會越趨複雜，農地與建地接觸的邊界長度增加，越有助於促進居民體驗遊憩或農村文化活動的可能性。但文化服務通常偏向個人感知、也很難在景觀尺度上進行量測，故以景觀指數來管理農

生態系統服務類別	景觀指數類型	可解釋應用的景觀指數	生態系統服務與景觀指數之關係	對農地生態系統服務管理之政策建議
		• 最大塊區指數 (LPI)		地文化服務，以目前的研究發展來說仍具挑戰。
	形狀指數	• 邊界總長度 (TE)	• 數值愈高代表與周遭環境的互動 (接觸) 機率愈高。	
	空間結構指數	• Shannon 多樣性指數 (SHDI)	• 豐富的農地景觀組成有助於居民們享有更高品質的農地文化服務。	

因此由景觀格局檢視農地治理可發現，農地的多功能性對於都市永續發展具其他土地利用難以取代之定位，而農地發展與都市綠基盤在空間系統性的配置與機能連接是最有效發揮其功能的方式之一，將其視為綠地系統之部分，建構都市環境調節網絡、農村文化教育廊帶(熱點)及促進都市中的參與式農業，均有助於融合農業環境於都市系統中。都市外之農地治理以穩固國家糧食安全為基礎，透過景觀格局確保農業優良生產環境，避免產業污染及都市擴張導致的穿孔現象降低農業生產效率與產出品質。因應不同區位之發展規劃，以景觀生態學角度，提供農地功能更全面的思考與指導方向。

(二) 農地生態系統服務間具有權衡關係，應針對發展目標選用適宜的景觀指數予以分析

從農地的供給服務、調節服務及文化服務可以看出，提高不同生態系統服務類型效率所需的景觀特徵有所差異。以供給服務為例，農地經營中為了提高農作物生產效率，需要大面積且完整的農地生產規模需求，相反的，在農地調節服務中，農地在都市環境中的角色更接近如綠色基礎設施的一部分，在景觀特徵上需要與建地有緊密的接觸程度(機率)才能發揮更高效率的調節功能，文化服務亦是如此，對於享有農地文化資源，是需要具有一定入侵性(穿孔或切割)的通道設施建立，居民才能有意識並實際體驗其價值。因此，在都市區域及都市外圍區域中，景觀特徵可滿足與提高不同的農地發展策略與主要的農地生態系統服務需求，但生態系統服務間的權衡需透過地區的發展目標而界定其權重進行規劃。

(三) 未來研究建議

由於台灣目前對於全面性探討景觀指數與農地生

態系統服務管理的實例研究仍然稀缺，這也是本文意圖建立景觀指數應用於探討農地生態系統服務的概念架構之目的，希冀後續研究可以在此基礎上發展研究設計進行實證分析。

其次，農地景觀的組成除了包含農地、渠道、埤塘等地表覆蓋外，亦可將農地地表覆蓋細緻化至作物別，不同作物別的農地，依其作物特性、規模、區位、所在地形等空間條件，也會影響生態系統服務的提供。即便是同樣的作物別，在不同空間條件下也會有不同的環境功能，例如位於平原低地的水稻田與位於淺山的水梯田，皆提供了稻米的供給服務，然而兩者所提供的調節服務或景觀美質之文化服務皆有所不同，值得後續研究深入探討。此外，由於支持服務屬於其他三項生態系統服務的基礎，雖非直接服務於人類社會，但其重要性不言而喻，因此未來建議可透過研究其他三種較直接關係到人類的生態系統服務與支持服務的關係，來觀察景觀指數是否也會與支持服務有相關。

最後，由於生態系統服務與景觀空間結構存在密切的關聯性，完備的景觀空間規劃，有助於都市與都市周邊農業環境的經營。不同空間對於農地生態系統服務存在截然不同的需求，透過景觀指數的輔助，區域發展需考量生態系統服務之權衡，而其權衡同時可作為景觀指數應用於生態系統服務後續的探討方向。

五、參考文獻

- [1] Botequilha Leitão A., Miller, J. A. & Ahern, J. j. and McGarigal, K. (2006). Measuring Landscapes: A planner's handbook. Washington Press.
- [2] Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S.,

- O'Neil, R.V., Paruelo, J., Belt, M., & Raskin, R. G. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253-260.
- [3] Cocklin, C., & Keen, M. (2000). Urbanization in the Pacific: environmental change, vulnerability and human security. *Environmental Conservation*, 392-403.
- [4] Europea, C. (1999). Contribution of the European Community on the Multifunctional character of Agriculture. Informal Paper. AIE/40.
- [5] Forman, R. T. & Godron, M. (1981). Patches and structural components for a landscape ecology. *BioScience*, 31, 733-740.
- [6] Forman, R. T. (1995). *Land Mosaics: The ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [7] Global Land Project (GLP). (2005). Science Plan Implementation Strategy, IBGP Report 53/IHDP Report 19. IBGP. Stockholm, Sweden.
- [8] Huang, J., Pontius Jr, R. G., Li, Q., & Zhang, Y. (2012). Use of intensity analysis to link patterns with processes of land change from 1986 to 2007 in a coastal watershed of southeast China. *Applied Geography*, 34, 371-384.
- [9] Huang, S. L., Wang, S. H., & Budd, W. W. (2009). Sprawl in Taipei's peri-urban zone: Responses to spatial planning and implications for adapting global environmental change. *Landscape and urban planning*, 90(1-2), 20-32.
- [10] Huang J, Tichit M, Poulot M, Petit C, Darly S, Shuangcheng L, Aubry C (2015). Comparative review of multifunctionality and ecosystem services in sustainable agriculture. *J Environ Manag* 149:138–147.
- [11] Kaplan, S. and Kaplan, R., 1982. *Cognition and Environment: Functioning in an Uncertain World*. New York: Praeger.
- [12] Kaplan, R., Kaplan. S. and Ryan, R.L., 1998. *With People in Mind: Design and Management of Everyday Nature*. Washington, DC: Island Press.
- [13] Lambin, E. F., & Geist, H. J. (Eds.). (2008). *Land-use and land-cover change: local processes and global impacts*. Springer Science & Business Media.
- [14] Lauf, S., Haase, D., & Kleinschmit, B. (2014). Linkages between ecosystem services provisioning, urban growth and shrinkage—A modeling approach assessing ecosystem service trade-offs. *Ecological indicators*, 42, 73-94.
- [15] Lee, Y. C., Ahern, J., & Yeh, C. T. (2015). Ecosystem services in peri-urban landscapes: The effects of agricultural landscape change on ecosystem services in Taiwan's western coastal plain. *Landscape and Urban Planning*, 139, 137-148.
- [16] McGarigal, K., Cushman, S.A., Neel, M.C., Ene, E., (2002). *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps*. University of Massachusetts, Amherst, Massachusetts, USA.
- [17] Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Living beyond our means: Natural assets and human well-being*, Island Press, Washington, DC.
- [18] Metzger, M., Rounsevell, M. D. A., Acosta-Michlik, L., Leemans, R., & Schröter, D. (2006). The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, ecosystems & environment*, 114(1), 69-85.
- [19] OECD (1998). Communiqué of the Ministerial Meeting of March. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- [20] OECD (2001). *Multifunctionality: towards an Analytical Framework*. Organisation for

Economic Co-operation and Development, Paris.

- [21] Power, A. G. (2010). Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 365(1554), 2959-2971.
- [22] Riitters, K. H., O'Neill, R. V., Hunsaker, C. T., Wickham, J. D., Yankee, D. H., Timmins, S. P., Jones, K. B. & Jackson, B. L. (1995). A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape ecology*. 10(1), 23-39.
- [23] Swinton, S. M., Lupi, F., Robertson, G. P., & Hamilton, S. K. (2007). Ecosystem services and agriculture: cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits. *Ecological Economics*. 64(2), 245-252.
- [24] Van Zanten, B. T., Verburg, P. H., Espinosa, M., Gomez-y-Paloma, S., Galimberti, G., Kantelhardt, J., Kapfer M., Lefebvre M., Manrique R., Piorr A., Schaller L., Raggi, M., Targetti S., Zasada I. & Viaggi D. (2014). European agricultural landscapes, common agricultural policy and ecosystem services: a review. *Agronomy for sustainable development*, 34(2), 309-325.
- [25] Waters, T. (2006). The persistence of subsistence agriculture: life beneath the level of the marketplace. Lexington Books.
- [26] Zhang, W., Ricketts, T. H., Kremen, C., Carney, K., & Swinton, S. M. (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological economics*, 64(2), 253-260.
- [27] Zomeni, M., Tzanopoulos, J., & Pantis, J. D. (2008). Historical analysis of landscape change using remote sensing techniques: An explanatory tool for agricultural transformation in Greek rural areas. *Landscape and urban planning*, 86(1), 38-46.
- [28] 王玉真 (2014) · 農業經營專區之農地多元功能價值探討。土地經濟期刊，第 25 期，第 132-169 頁。
- [29] 王蔓渝 (2018) · 工業區設置對農地利用變遷之影響—土地變遷、環境與社會衝擊之研究。國立臺灣大學園藝暨景觀學系碩士論文。
- [30] 行政院農業委員會 (2011) · 農委會年報。行政院農業委員會。
- [31] 行政院農業委員會 (2019) · 農業統計資料。行政院農業委員會。
- [32] 肖篤寧 (1993) · 地景生態學：理論、方法及應用。地景出版社。
- [33] 李盈潔 (2013) · 台灣西部海岸平原土地使用變遷對農地景觀與其生態系統服務影響之研究。國立台北大學都市計劃研究所博士論文。
- [34] 李素馨、林敬妤 (2014) · 農村地景破碎化與保育：以宜蘭三星鄉農地變遷為例。環境永續專題，第 15 卷，第 2 期。
- [35] 李永展 (2018) · 海綿城市之展望。經濟前瞻，第 177 卷，第 41-45 頁。
- [36] 吳富春、李長穎 (2004) · 水田生態環境微氣候之量測與數值模擬。農業工程學報，第 50 卷，第 2 期，第 64-84 頁。
- [37] 吳振發 (2008) · 土地利用管制策略對景觀格局衝擊評估。造園景觀學報，第 14 卷，第 2 期，第 1-34 頁。
- [38] 邱祈榮、林俊成 (2017) · 森林生態服務面面觀。科學發展，第 529 期，第 30-35 頁。
- [39] 東正則 (2018) · 朝向有農業的都市。農村統計出版。
- [40] 施孟隆、黃炳文 (2006) · 台灣農業發展與農業結構變遷之研究。中華農學會報，第 7 卷第 4 期，第 324-342 頁。
- [41] 柳婉郁、盧佩渝 (2017) · 農業部門多功能效益評估方法之分析。農林學報，第 65 卷，第 3 期，第 137-164 頁。
- [42] 翁建民 (2018) · 探討環境中重金屬與食品之關係—以台灣稻米為例。國立中山大學環境工程研究所碩士論文。
- [43] 徐嘉偉、李誌綿、王義善、張志維、孫正華、劉興榮、林素華 (2019) · 都市蔓延對農村土地衝擊之探討。台灣鄉村研究，第 14 期，第 99-124 頁。

- [44] 陳滢茹 (2007)，泥岩地區農塘景觀結構與生物群聚關係之研究。中興大學水土保持學系所碩士論文。
- [45] 陳彥勳 (2020)，都市化與農地景觀變遷下的農地生態系統服務研究：以台中豐原為例。國立中興大學景觀與遊憩碩士學程碩士論文。
- [46] 張學聖、陳姿伶、陳柏君 (2013)，台灣農地轉用與農地交易空間關聯性之研究。建築與規劃學報，第 14 卷，第 1/3 期，第 167-182 頁。
- [47] 許澤宇 (2017)，彩鵲棲地之景觀結構研究。環境與管理研究，第 18 卷，第 1 期，第 45-67 頁。
- [48] 鄺建國 (2003)，景觀生態學：格局過程尺寸與等級。五南圖書出版。
- [49] 黃瓊萱 (2019)，農地保護之土地變遷與生態系統服務效益評估-以彰化縣為例。逢甲大學都市計畫與空間資訊學系研究所碩士論文。
- [50] 劉曜華 (2004)，台灣都市發展史。逢甲大學，都市計畫系。
- [51] 劉小蘭、許佩璇、蔡育新 (2010)，台灣都市之蔓延。地理學報，第 58 期，第 49-63 頁。

2020 年 06 月 20 日 收稿

2020 年 08 月 13 日 修正

2020 年 12 月 13 日 接受