



國立臺灣大學生物資源暨農學院農業經濟學系

碩士論文

Department of Agricultural Economics

College of Bio-resources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

低碳農業推廣輔導政策效果：
青年農民採用意圖與行為之分析

Effects of Low-carbon Agriculture Promotion Policies: Analyses
of Young Farmers' Adoption Intention and Behavior

李宗樺

Tsung-Hua Lee

指導教授：陸怡蕙 博士

Advisor: Yir-Hueih Luh, Ph.D.

中華民國 112 年 7 月

July, 2023

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

低碳農業推廣輔導政策效果：
青年農民採用意圖與行為之分析
Effects of Low-carbon Agriculture Promotion Policies:
Analyses of Young Farmers' Adoption Intention and Behavior

本論文係李宗樺君（學號 P10627028）在國立臺灣大學生農學院農業經濟學研究所完成之碩士學位論文，於民國 112 年 7 月 28 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

指導教授： 陳怡蕙 （簽名）

口試委員： 方珍玲 （簽名）

丁春暉



謝辭

這份論文得以付梓成冊，首先要感謝我的指導教授陸怡蕙老師。謝謝老師每週不辭辛勞與我們討論研究主題，親切、溫暖又耐心地引導我們整理自己的思維，訓練解析問題的能力，並學習如何有邏輯、有條理地做出有深度與廣度的論述。在老師身上我看到令人敬佩的學者與教育家風範，對於探索知識的疆界，寧可一思進，莫在一思停，求新求變的研究精神。謝謝老師在寫作的過程中，用心指導我們，陪伴我們出席在每個字、每句話與每篇章節中。此外，特別感謝兩位口試委員方珍玲老師與邱敬仁老師，謝謝兩位老師給予我許多論文修正的建議，讓我受益良多。方老師與邱老師不僅是我的口試委員，也是我職場中啟蒙老師，每年參加老師的工作坊，讓我學到許多與實務結合的研究方法，這些經驗都在撰寫論文的過程中發揮作用，成為孕育這份論文的養分。

謝謝「小陸班底」的同學，育聖、丞叡、品萱及昱婷，懷念每週與你們一起討論論文，教學相長，笑聲伴隨著晚風「After 咪挺」的美麗時光，雖然趟旅程已寫下最終章，但我相信那綿延的故事仍未了。謝謝第 15 屆專班的同學們，還記得兩年前與各位相遇的所有細節，雖初次見面，卻充滿久別重逢的喜悅，能與各位同窗共硯是我最大的收穫與榮幸。謝謝簡班代兩年來的照顧，不僅每次上課用美食填飽大家的肚子，更多時候是用您似水無形的柔軟，滋潤了所有曾經乾涸的時刻。

謝謝桃園區農業改良場長官的栽培與勉勵，並提供學費補助，讓我得以順利完成學業。謝謝成富、志展、本原、欽翔、義善、庭邵、柏榕、瑩姿、瀅如對問卷調查的鼎力相助，有你們結伴同行，我的步伐才可以如此從容不迫。

最後，謝謝我最深愛的家人，你們永遠是我最堅強的後盾。忘記有多少苦思論文不成眠的夜，是你們眼底溫柔綻放的肯定與驕傲，把所有疲憊與淚水都化成夢中的一抹微笑，讓我一覺起來全都忘掉。

沒想到都奔向四十歲才完成碩士學位，久放十年的美麗珍瓈，能被我這個平凡之輩的誤打誤撞地破解，到現在還是覺得不可思議。在此將這本論文獻給生命中曾經照顧與幫助過我的每個人，雖無法將你們一一寫進論文的扉頁，但希望你們能與我一同分享這份得來不易的喜悅與榮耀。

李宗樺 謹誌於
國立臺灣大學農業經濟系碩士在職專班
2023 年 7 月



摘要

瞭解驅動或阻礙農民採用永續友善農業技術的影響因子，對於政府達成 2040 農業淨零政策目標具有重要參考價值。本研究提出一整合計畫行為理論(theory of planned behavior)、規範激起模型(norm activation model)與態度-行為-情境(attitude-behavior-context)模型的理論架構，以解釋農民的利環境行為，並以臺灣青年農民為研究母體，聚焦探討能促進青年農民採用能減少溫室氣體排放量、增匯等的低碳農業相關技術之驅動或阻礙因子。本文首先應用偏最小平方法結構方程模型(partial least square structural equation model)，探討採用意圖與其前置變量間的因果關係，接著利用 probit 模型及負二項迴歸(negative binomial regression)方法，探討控制社會經濟變數後，不同影響因子對實際採用行為(包括採用傾向及採用種類多寡)的效果。實證結果顯示，青年農民的利環境態度能顯著提升其對於低碳農業技術之採用意圖，而經濟誘因政策及教育輔導政策兩情境因子都能對低碳農業採用意圖產生顯著且正向的影響。此外，以理性選擇為基礎的計畫行為理論對於實際行為較具影響效果，顯示青年農民的利環境態度雖然能有效解釋採用意圖，但對於其實際行為的影響仍然效果有限，而青年農民對氣候變遷的知覺風險，則有助於其採用多種的低碳農業相關技術。值得一提的是，農業主管機關的低碳農業輔導政策對青年農民的採用行為會產生顯著的影響，而農民過去的栽培習慣則是其採用低碳農業的主要障礙。

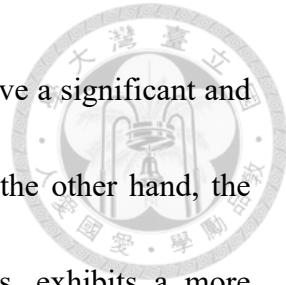
關鍵詞：氣候變遷調適、推廣輔導政策、計畫行為理論、規範激起模型、態度-行為-情境模型、低碳農業採用



ABSTRACT

Understanding the factors that drive or hinder farmers' adoption of sustainable and environmentally friendly agricultural technologies is of significant value for the Taiwanese government to achieve its "2040 Agricultural Net Zero Policy" goals. This study proposes an integrated theoretical framework combining the Theory of Planned Behavior (TPB), the Norm Activation Model (NAM), and the Attitude-Behavior-Context (ABC) Model to explain farmers' pro-environmental behavior. Focusing on Taiwanese young farmers, this research investigates the drivers and barriers that influence the adoption of low-carbon agricultural technologies, which can reduce greenhouse gas emissions and increase carbon sinks.

This study employs Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) to explore the causal relationships between adoption intentions and their antecedents. Furthermore, the probit model and negative binomial regression method are used to examine the effects of different influencing factors on actual adoption behavior (including adoption propensity and the diversity of adopted technologies), while controlling farmers' socioeconomic characteristics. On one hand, the empirical results demonstrate that young farmers' pro-environmental attitudes significantly enhance their intentions to adopt low-carbon agricultural technologies. Additionally, two contextual factors, namely economic



incentive policies and educational guidance policies, are found to have a significant and positive impact on intentions to adopt low-carbon agriculture. On the other hand, the Theory of Planned Behavior, which is based on rational choices, exhibits a more pronounced influence on actual behavior, indicating that although pro-environmental attitudes effectively explain intentions, their impact on actual behavior remains limited. Moreover, young farmers' perceived risk toward climate change contributes to the adoption of a variety of low-carbon agricultural technologies. It is worth mentioning that while the education and guidance policies aimed at promoting low-carbon agriculture are found to significantly influence both the adoption intentions and behaviors of young farmers, farmers' past cultivation habits emerge as the primary obstacle to adopting low-carbon agriculture.

Keyword: Climate Change Adaptation, Agricultural Extension and Guidance Policies, Theory of Planned Behavior, Norm Activation Model, Attitude-Behavior-Context Model, Low-carbon Agriculture Adoption



目錄

謝辭	ii
摘要	iii
ABSTRACT	iv
第一章 緒論	1
第一節 研究背景	1
第二節 研究動機與目的	2
第二章 文獻回顧	6
第一節 國內外低碳農業技術的發展	6
第二節 低碳農業技術採用的行為模式	24
第三節 探討低碳農業技術採用影響因子的研究方法	31
第三章 實證設計、資料概述與變數說明	34
第一節 研究架構及研究假說	34
第二節 研究方法	42
第三節 問卷設計、變數定義與敘述統計	47
第四章 實證結果討論	57
第一節 偏最小平方法結構方程模型實證分析	57
第二節 採用行為分析	71
第五章 結論與建議	82
參考文獻	87



表目錄

表 2-1 氣候智慧型農業與林業減緩活動清單	9
表 2-2 以自然為本的解決方案之溫室氣體減排類型與管理變化	12
表 3-1 本研究構面定義與發展文獻來源	48
表 3-2 衡量農民對低碳農業採用意圖之構面問項	49
表 3-3 變數定義與樣本敘述統計	53
表 3-4 低碳農業技術採用行為	55
表 4-1 信度及收斂效度分析	58
表 4-2 測量項目因素負荷量	59
表 4-3 區別效度分析表	62
表 4-4 路徑關係檢定表	63
表 4-5 中介效果檢定表	65
表 4-6 假設 2 至 5 檢定結果	67
表 4-7 假設 6 至 9 檢定結果	68
表 4-8 假設 10 至 11 檢定結果	69
表 4-9 假設 13 至 14 檢定結果	70
表 4-10 採用傾向 PROBIT 模型	77
表 4-11 採用種類負二項迴歸模型	80
表 4-12 假設 1 及假設 10 至 12 檢定表	81



圖目錄

圖 2-1 計畫行為理論架構圖	26
圖 2-2 規範激起模型：調節與中介模型	28
圖 3-1 本研究整合計畫行為理論(TPB)、規範激起模型(NAM)及態度-行為-情境模型(ABC)之理論架構	36
圖 3-2 PLS-SEM 模型	44
圖 4-1 偏最小平方法結構方程模型路徑關係圖	66



第一章 緒論

第一節 研究背景

聯合國政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)的第 6 次評估報告指出，人類正面臨溫室氣體排放所帶來的氣候危機，氣候變遷將會對全球各地的生態系統、人類生活、基礎設施與經濟帶來巨大的影響，若我們無法在 2050 年達到淨零排放，後果將難以想像(Masson-Delmotte et al., 2019)。在具體行動上，聯合國於 2015 年通過 2030 永續發展議程中，提出 17 項永續發展目標 (Sustainable Development Goals, SDGs)，其中第 13 項發展目標「氣候行動 (climate action)」表明各國需完備減緩、調適氣候變遷的行動，將氣候變遷政策納入國家法制、規劃與策略中，即是具體行動的展現之一。臺灣身為國際社會的一份子，自然不能置身事外。在我國 2022 年 3 月發布的「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」中，強調提供關鍵領域技術、創新及研發的路徑與策略方向，不僅展現我國淨零排放的目標與世界一致，並且也顯示為臺灣的未來繁榮及永續發展奠定基礎的決心。立法院則在 2023 年 1 月 10 日三讀通過，將《溫室氣體減量及管理法》修正為《氣候變遷因應法》，時隔多年的大幅修法，明定我國應在 2050 年達成溫室氣體淨零排放的目標，《氣候變遷因應法》自此成為我國未來氣候治理主要法源依據。由此可見，因應氣候變遷與淨零碳排相關議題，正在持續發酵，並且成為國際及國內社會的共識，相關行動正如火如荼地展開當中。

行政院農業委員會為展現我國農業部門實現淨零排放的決心，宣示農業部門將比國家訂定的期程提早 10 年達成淨零排放，故制定「2040 年農業淨零」的具體目標，這些目標包括減少 50% 農業溫室氣體排放、推動增加國有、公有和私有土地的造林面積、提升國產木材自給率、建立農、林、漁、畜業的低碳永續循環場域，以及達到農業綠能發電百分之百滿足農業用電所需。聯合國 SDGs 第 12 項「責任



消費與生產(responsible consumption and production)」中，強調鼓勵產業綠化，邁向永續發展，鼓勵生產者掌握物料使用與資源循環，推廣搖籃到搖籃生產(cradle to cradle manufacturing)的設計理念，對於農業生產而言，可透過探討如何提升農民具有環境友善與保護的認知與態度，進而採取利環境行為(pro-environment behavior)，採用可減少碳排、增加碳匯¹、農業剩餘資源循環等相關農業生產技術，減少生產過程中的溫室氣體淨排放，作為達成目標的具體策略。如何讓農業部門能順利在 2040 年達成目標，成為政府機關與學術單位、農民團體與環保團體熱烈腦力激盪討論的議題之一，也是本研究的所關注的重點。

第二節 研究動機與目的

驅動或阻礙農民採用環境友善與永續生產的農業技術之因素，在許多文獻中已有相當豐富的探討 (Boazar et al., 2019; Damalas, 2021; Raza et al., 2019; Rezaei et al., 2019; Wang & Lu, 2021; Woldegebrial et al., 2017; Yazdanpanah et al., 2014)。研究影響此類利環境、利社會(pro-social)等利他(altruism)態度與意圖的因素，並尋找能夠解釋的變數，進而促進人們採取行動，是許多環境管理、行為經濟及社會心理學者極感興趣的議題之一，亦是政府部門在制定環境管理政策，落實環境治理的重要策略方向。然而，諸多學者很早就發現人們意圖與實際行為常有不一致的現象，例如態度(attitude)、知覺規範(perceived norm)與自我效能(self-efficacy)等心理因素會影響行為意圖，但擁有意圖的人並不一定會將其行為意圖實際付諸於行動，其他的影響因素如社會經濟變數、環境限制(environment constraints)、個人能力skills and abilities都會影響行為的展現(Ajzen, 1985; Fishbein et al., 2003; Sapp, 2002; Wicker, 1971)。當然，這並不表示意圖對於行為的相關程度很低，事實上，

¹ 氣候變遷因應法第 3 條第 1 項第 9 款：「碳匯：將二氧化碳或其他溫室氣體自排放源或大氣中持續移除後，吸收或儲存之樹木、森林、土壤、海洋、地層、設施或場所。」



許多研究都證實意圖對於實際行為有實質的影響關係(Ajzen, 2002; Fishbein & Ajzen, 1977; Madden et al., 1992; Tracey et al., 2004)。因此，當我們欲解釋或預測人們複雜的意圖與行為之間的關係，若只是由單一利己(self-interest)或利他的面向來捕捉其變異，其模型預測與解釋能力可能將有限。

過去文獻中解釋行為所應用的理論模型多採用計畫行為理論(Theory of Planned Behavior, TPB)為基礎，TPB 是由理性行為理論(Theory of Reasoned Action, TRA)為基礎延伸發展而來(Madden et al., 1992)，TRA 描述純粹意志(volitional)所形塑的行為，TPB 則考量到行動時可能遭遇資源(resource)與控制(control)的問題。Rezaei et al. (2019)認為基於理性選擇模型(rational choice model)為基礎的 TPB，僅能捕捉到農民的利己考量，對於農民利環境或利社會等出於利他動機的非理性行為，較無法有效解釋，因此該研究整合 TPB 及規範激起模型(Norm Activation Model, NAM)，利用後果意識、責任歸屬、個人規範等屬於道德規範(moral norm)的變數，增加農民利環境行為模型的解釋或預測的能力。近年來環境經濟、環境管理與社會學者，紛紛投入環境友善的行為研究，Stern (2000)就曾經指出，要瞭解各種具環境意義的不同行為(environmentally significant behavior)背後的影響因素，我們需要更細膩地探討，若用同樣的行為模型來分析不同類型具環境意義的行為，可能無法做出前後一致的解釋或預測，因為不同類型的具環境意義的行為可能會受到內部及外部因子，如情境(context)、個人規範(personal norm)及信念(beliefs)等因素的影響，例如當外部因素(如：情境因素)存在的影響很強烈時，若我們只仰賴內部因素(如：利環境的態度、信念、規範等)來解釋行為，其解釋能力將不盡理想，反之亦然。回顧相關文獻發現，將情境因素加入模型分析的利環境或利社會等利他行為之相關研究，幾乎是以消費者為研究對象，並多針對其環保、環境友善的消費選擇、節能減碳或永續消費的行為進行研析(Ertz et al., 2016; Gadenne et al., 2011; Guagnano et al., 1995; Maseeh et al., 2022; Shi et al., 2019; Xu et al., 2017; Zepeda & Deal, 2009)，而運用這個觀點及理論的實證研究，在農業經濟或農業推廣領域的文獻尚付之闕



如。基於 TPB 在解釋態度及行為關係時未能考量外部影響因素的問題，Luh et al. (2023)應用整合 TPB 及強調情境因子的態度-行為-情境模型(*attitude-behavior-context model*，簡稱 ABC 模型)之行為架構，分析農民採用有機農法的態度與行為之不一致關係，該文獻是目前農業經濟領域中唯一的一篇應用 ABC 模型的相關研究，顯見相關領域仍有許多問題有待回答，而知識的缺口亦亟待填補。爰此，本研究主要目的為整合不同的行為理論架構及其思考角度，以 TPB 及 NAM 模型為基礎，並考量、整合外部情境與其他可能影響氣候變遷適應行為的解釋變數(如農民對氣候變遷的風險知覺及過去的栽培習慣)，探討青年農民採用低碳永續的農業技術之意圖與行為，填補相關領域的重要知識缺口。

本文對於相關研究領域的貢獻主要可由以下三個方面說明。首先，本研究試圖回答兩個重要的核心問題：(1)農業主管機關的低碳農業輔導政策(外部情境因素)是否能驅動農民採用低碳農業的技術？(2)農民的低碳農業技術採用意圖是否為影響其採用多種低碳農業技術的主要因素？本研究希望透過回答這兩個研究問題，探討農民採用友善環境農法的可能影響因素。本研究由低碳農業推廣輔導政策效果的角度切入，運用整合不同行為理論的架構，以聚焦於討論農業主管機關以減緩(mitigation)氣候變遷衝擊為目標的相關政策是否會對農民的採用意圖及行為產生影響，並探究相關農業政策在推廣低碳農業所能發揮的效果，此在農業經濟與農業推廣領域皆屬首次嘗試。其次，雖然目前國外相關文獻針對以減緩氣候變遷衝擊為導向的低碳農業技術採用相關研究頗為豐富(Bell et al., 2020; Kimura et al., 2022; Lehtonen & Rämö, 2022; Liu & Zheng, 2021; Magalhães & Lima, 2014; Pan et al., 2010; Qin, 2012; Vinholis et al., 2021; Wang et al., 2015; Yang et al., 2022)，但目前國內針對此主題的相關研究尚付之闕如，而本研究以國內的青年農民為研究母體，並以同時考量內部因子(信念、個人規範)及外部情境因子影響的 TPB、NAM 及 ABC 三類重要的行為模型為基礎，檢視低碳永續有關的技術採用意圖與行為，在國內外文獻中尚未有類似的應用，因此，本研究的研究視角及觀點相對新穎且具獨創性，故而



可對相關領域產生一定程度的貢獻。最後，本研究在我國 2050 年淨零戰略及 2040 年農業淨零目標的背景下，針對我國近十年來投入大量資源輔導的青壯年農民²進行調查，而這些青壯年農民不論是現在或往後 10 幾年間，都將成為我國農業生產的中流砥柱及糧食生產的主要供應者，換言之，這些人即是我國邁向 2040 年農業淨零目標的直接參與、貢獻者，因此，青壯年農民的態度對於是否能達成 2040 年的目標至關重要。而近十年來，政府為輔導青農返鄉³，一方面提供許多的從農資源，如提供低利資金貸款、補助、生產技術輔導、農地銀行耕地媒合、行銷通路媒合、農民學院教育訓練、青農創新經營與群聚整合等輔導措施，另一方面完善農民福利制度如農業保險、職災保險、農業健康保險及退休儲金等。其中與農業淨零有關的生產技術或知識之推廣教育及經濟誘因政策如補助相關設施設備等政策所創造的情境因子，不僅影響青農利環境的態度、信念、規範、意圖及實際行動，並且也與是否能直接或間接促進其採用有助於減緩氣候變遷衝擊的農耕方式與技術息息相關。故而，本研究不論是對未來農業政策、環境管理或農業推廣輔導策略之制定，都具備相當重要的參考價值。

² 依據行政院農委會辦理政策性農業專案貸款辦法第 16 條第 1 項第 1 款定義：青壯年農民年齡定義為十八歲以上四十五歲以下。<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcodes=M0070066>

³ 資料來源：青年農民輔導平台：<https://academy.coa.gov.tw/YF/>



第二章 文獻回顧

本章回顧國內外低碳農業技術的發展現況，整理我國及其他國家重要的策略與主要推廣技術之發展現況，並接續探討相關技術採用行為分析的文獻，比較前人研究常用的行为理論，最後整理相關研究常用之統計方法。

第一節 國內外低碳農業技術的發展

一、國內外低碳農業發展現況

低碳農業(Low carbon agriculture)是一種以追求減少農業生產過程中的溫室氣體淨排放為目標，同時保持作物產量與糧食安全的生產模式(de Moraes Sá et al., 2017; Fan & Ramirez, 2012; Norse, 2012; Perosa et al., 2023)。溫室氣體(greenhouse gas)係指一群會吸收太陽輻射的氣體種類，這些溫室氣體能夠把太陽輻射熱保留在地表，維持地球的溫度，是地球不可或缺的氣體，然而，若大氣中含有過量的溫室氣體會引起全球暖化現象，造成氣候變遷，有些種類的溫室氣體為人工合成，對環境造成危害。目前國際上公認的溫室氣體有水蒸氣(H_2O)、臭氧(O_3)、二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)、氧化亞氮(N_2O)、氫氟碳化物(HFCs)、全氟化碳(PFCs)、六氟化硫(SF_6)及三氟化氮，(NF_3)等，其中二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)、氧化亞氮(N_2O)、氫氟碳化物(HFCs)、全氟化碳(PFCs)、六氟化硫(SF_6)及三氟化氮(NF_3)等七種溫室氣體是國內外常見被管制的種類(Accounting, 2004; Eggleston et al., 2006; Masson-Delmotte et al., 2019)，也是我國「氣候變遷因應法」所明定的溫室氣體。Tubiello et al. (2013)指出，不同農業活動所排放的溫室氣體種類不同，家禽與家畜的腸道發酵(enteric fermentation)會造成甲烷排放；水田因湛水，土壤中有機質在無氧狀態下產生甲烷，另外，堆肥管理不當除了會產生甲烷，亦會間接產生氧化亞氮；而施用化學肥料、肥培管理所造成的氧化亞氮排放；以及森林砍伐所造成的二氣化碳排放，



則皆為農業活動主要的溫室氣體排放種類。非二氧化碳的溫室氣體對大氣環境的影響程度可換算成二氧化碳當量(carbon dioxide equivalent)表示，作為比較的基礎(Wiedmann & Minx, 2008)。因此，低碳農業中所指涉的「碳」在許多文獻中常用以泛指上述之溫室氣體，非僅限定於二氧化碳一種溫室氣體。Smit and Skinner (2002)指出，農業適應氣候變遷的方法與策略有非常多種，且因為適應的動機、預期或反應的時機、持續的時間、操作規模而有不同特徵，並且可從生產面、環境面、技術面及政策面探討。不同國家所採用的策略與其相應的技術，會依照地理環境、產業、氣候而有所不同。目前國內外已有許多研究指出，發展低碳農業，降低農業部門的碳排放量，是面對氣候變遷，減緩溫室效應的方法，並同時確保糧食安全與環境永續的策略之一(de Moraes Sá et al., 2017; Fan & Ramirez, 2012; Fraser et al., 2008; Grist, 2014; Kimura et al., 2022; Lehtonen & Rämö, 2022; Mi, 2013; Smit & Skinner, 2002; Wang et al., 2017)。

農業生產涉及作物與環境的複雜體系，若要降低整體的碳排，非採用單一技術能夠達成，通常都是多管齊下，進行栽培方式、管理制度以及作物品種等方式的整合。能夠增加土壤中有機碳含量或能減少碳排的農法，達到淨排放降低的做法，皆屬於低碳農法的一環，因此，對環境有機友善的耕作方法，如有機農法(organic farming)、保護性農法(conservative farming)等農業生產操作方式，皆可以視為低碳農法的實踐方式之一。

綜合前述國內外文獻有關低碳農業的相關技術的意涵，以下歸納整理主要三項原則：

1. 減少因為土地使用改變(land-use change)而造成的溫室氣體排放量，如恢復因開墾、砍伐或過度放牧造成土地劣化與沙漠化(Bell et al., 2020; Guo et al., 2015; Newton et al., 2016)。
2. 減少溫室氣體排放，利用相關技術減少農業生產過程中溫室氣體排放量(Norse, 2012)，如利用間歇性灌溉(alternative wet and dry)種植水稻，減少田間甲烷排放



(Thu et al., 2016)、不整地栽培(no-tillage cultivation)(Huang et al., 2018)、以及減少化學肥料施用，增加有機肥施用等(Linquist et al., 2012)。

3. 增加土壤碳匯(soil carbon sink)，利用相關技術將碳以有機碳形式封存於土壤中(de Moraes Sá et al., 2017; Mattila et al., 2022)。

以下針對世界主要國家與我國低碳農業發展與推廣之技術介紹：

(一) 美國

美國農業部指出氣候變遷對美國的農業生產、森林資源和農村經濟構成了真實的威脅。美國各地的生產者正在經歷氣候變遷，越來越頻繁和嚴重的風暴、洪水、乾旱和野火(wildfire)等氣候災害帶來的衝擊(USDA, 2023)。在美國農業部發表的 2022-2026 戰略計畫⁴(USDA, 2022)中，提出願景⁵為：建立一個公平、氣候智慧(climate-smart)的食品和農業經濟體系，保護和改善所有美國人的健康、營養和生活質量；產出健康的土地、森林和清潔的水資源；促進美國鄉村的繁榮；並餵養全世界。在該戰略計畫中認為發展兼具調適(adaptation)及減緩(mitigation)的氣候智慧型農業體系(climate-smart agriculture, CSA)是面對氣候變遷的解方之一。CSA 農業生產體系是一種整合性的方法，應用範圍包括農耕、畜牧業、森林和漁業，以應對糧食安全和加劇的氣候變化之間相互關聯的挑戰(Codur & Watson, 2018)。CSA 旨在追求三個目標：(1)可持續增加農業生產力和農民收入；(2)建立韌性並適應氣候變化；(3)在可能的情況下移除和/或減少溫室氣體排放(Matteoli et al., 2020)。簡言之，CSA 透過追求這三個目標，強調生產

⁴ USDA Strategic Plan Fiscal Years 2022-2026. (2022).

<https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/usda-fy-2022-2026-strategic-plan.pdf>

⁵ USDA (2022) 原文如下: " An equitable and climate-smart food and agriculture economy that protects and improves the health, nutrition, and quality of life of all Americans; yields healthy land, forests, and clean water; helps rural America thrive; and feeds the world."

<https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/usda-fy-2022-2026-strategic-plan.pdf>



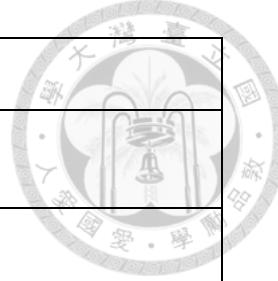
系統的生態力、調適力與恢復力，追求生產、生態及環境永續的目標。美國農業部自然資源保育局(Natural Resources Conservation Service, NRCS)提出氣候智慧型農業與林業減緩活動清單⁶(Climate-Smart Agriculture and Forestry Mitigation Activities List, NRCS, 2023)，作為農民於生產體系中實踐 CSA 的參考指引，本研究整理摘要如表 2-1。

表 2-1 氣候智慧型農業與林業減緩活動清單

氣候變遷減緩類別 Climate Change Mitigation Categories	保育性耕作標準名稱 Conservation Practice Standard Name
土壤健康 Soil Health	保育性覆蓋 Conservation Cover
	保育性輪作 Conservation Crop Rotation
	殘植與整地管理-不整地 Residue and Tillage Management, No Till
	等高線緩衝帶 Contour Buffer Strips
	覆蓋作物 Cover Crop
	殘植與整地管理-低整地 Residue and Tillage Management, Reduced Till
	田邊綠籬 Field Border
	過濾帶 Filter Strips
	草溝 Grassed Waterways
	敷蓋 Mulching

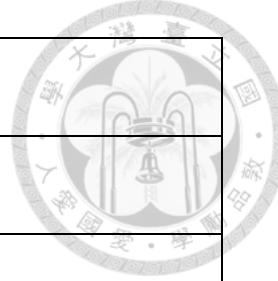
⁶ 網站資料：USDA NRCS.(2023). Climate-Smart Agriculture and Forestry (CSAF) Mitigation Activities List
[FY2023.https://www.nrcs.usda.gov/conservation-basics/natural-resource-concerns/climate/climatesmart-mitigation-activities.](https://www.nrcs.usda.gov/conservation-basics/natural-resource-concerns/climate/climatesmart-mitigation-activities)

表 2-1 氣候智慧型農業與林業減緩活動清單(續)



	Mulching 帶狀間作
	Strip Cropping 草帶
	Vegetative Barriers 草本防風帶
	Herbaceous Wind Barriers
氮素管理 Nitrogen Management	營養管理 Nutrient Management
禽畜夥伴關係 Livestock Partnership	厭氧消化 Anaerobic Digestion 廢棄物分離設施 Waste Separation Facility
放牧與牧草 Grazing and Pasture	牧草與乾草種植 Pasture and Hay Planting 定向放牧 Prescribed Grazing 放牧場種植 Range Planting
混農林業、林業、高地野生動物 棲息地 Agroforestry, Forestry and Upland Wildlife Habitat	間作 Alley Cropping 臨界區域種植 Critical Area Planting 森林農場 Forest Farming 防風林/遮蔽帶的建立和翻新 Windbreaks/Shelterbelt Establishment and Renovation 混牧林業 Silvopasture 河岸草本植被 Riparian Herbaceous Cover 河岸森林緩衝帶 Riparian Forest Buffer 野生動物棲地種植 Wildlife Habitat Planting

表 2-1 氣候智慧型農業與林業減緩活動清單(續)



	樹籬種植 Hedgerow Planting
	樹木/灌木的建立 Tree/Shrub Establishment
	高地野生動物棲地管理 Upland Wildlife Habitat Management
	林分改良 Forest Stand Improvement
恢復受擾動土地 Restoration of Disturbed Lands	土地新生，崩塌區整治 Land Reclamation, Landslide Treatment
	土地新生，廢棄礦區 Land Reclamation, Abandoned Mined Land
能源、燃燒與電能效率 Energy, Combustion, and Electricity Efficiency	燃燒系統改進 Combustion System Improvement
	有能源效率的農業操作 Energy Efficient Agricultural Operation
	有能源效率的建築圍護結構 Energy Efficient Building Envelope
	有能源效率的照明系統 Energy Efficient Lighting System
濕地 Wetlands	濕地恢復 Wetland Restoration
水稻 Rice	灌溉水分管理 Irrigation Water Management

資料來源:本研究整理

(二) 歐盟

歐盟近年來強調以自然為本的解決方案(Nature-based Solutions，以下簡稱 NbS)。NbS 的概念最早在 2008 年由世界銀行(World Bank)與國際自然保育聯盟(International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN)所提出，後續被許多國家及組織所採納，並持續發展其內涵與操作定義架構。IUCN 對 NbS 的定義為：「保護、永續管理和恢復自然或改造生態系統的行動，在有效且具調適性的應對社會挑戰的同時，提供人類福祉和生物多樣性之



效益」(Cohen-Shacham et al., 2016)⁷。歐盟沿用 IUCN 的定義，並強調利用大自然設計的解決方法(designed by nature)及重視資源利用效率(resource efficiency)(Maes & Jacobs, 2017)。Reise et al. (2022) 依據 NbS 的基本精神，依據生態系統的不同類型，分析 NbS 的做法、該作法所減排的溫室氣體種類及其管理變化(包括是否有活動轉移或土地利用變化)加以歸納而整理如下表(表 2-2)。

表 2-2 以自然為本的解決方案之溫室氣體減排類型與管理變化

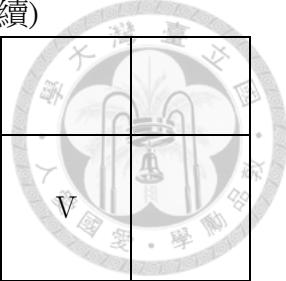
自然或修改的生態系統 Natural or modified ecosystem	以自然為本的解決方案 NbS	溫室氣體減排類型 Type of GHG emission mitigation			管理變化 Management change	
		減少 Reduction	移除 Removal	避免 Avoided	活動轉移 Practice shift	土地利用變化 Land use change
森林 Forests	更新造林與新植造林 Reforestation & Afforestation		V		V	V
	天然森林管理 Natural forest management	V	V		V	
	避免森林轉做他用 Avoided forest conversion			V		V
	森林保護 Forest protection			V	V	
	改良造林 Improved plantations	V	V			

⁷ Cohen-Shacham et al. (2016)的原文如下：“actions to protect, sustainably manage and restore natural or modified ecosystems, which address societal challenges (e.g. climate change, food and water security or natural disasters) effectively and adaptively, while simultaneously providing human well-being and biodiversity benefits.”

表 2-2 以自然為本的解決方案之溫室氣體減排類型與管理變化(續)

農地 Croplands	土壤養分管理 Nutrient management	V				
	混農林業/農地造林/ 間作 Agroforestry/Trees in croplands/Alley cropping		V		V	V
	改善動物糞便管理 Improved manure management	V			V	
	保護性農業 Conservation agriculture	V			V	
	覆蓋作物 Cover crops	V	V		V	
	改良水稻栽培 Improved rice cultivation	V			V	
草地 Grasslands	放牧最適化 Grazing optimization	V	V		V	
	種植豆科牧草 Legumes in pastures	V	V		V	
	恢復草地 Grassland restoration		V		V	V
	避免草地轉做他用 Avoided grassland conversion			V		V
陸域濕地 Peatland protection	恢復泥炭地 Peatland restoration	V	V(+)	V	V	V
	保護泥炭地 Peatland protection		V(+)	V	V	
	避免泥炭地退化/轉做 他用 Avoided degradation/conversion of peatlands			V		V
沿海濕地	恢復沿海濕地	V	V		V	V

表 2-2 以自然為本的解決方案之溫室氣體減排類型與管理變化(續)



Coastal wetlands	Coastal wetland restoration					
	保護沿海濕地 Coastal wetland protection		V	V	V	
	避免沿海濕地退化/ 轉做他用 Avoided degradation/conversion of coastal wetlands			V		V
人口集 聚地 Settlements	都市綠化 Urban greening		V		V	V

註：泥炭地移除溫室氣體的效果與其他生態系統相比非常緩慢，故以+表示非主要效益來源。

資料來源：Reise et al. (2022)

(三) 巴西

巴西國土境內有百分之 60 的面積是亞馬遜雨林，亞馬遜雨林所儲存的碳，佔全球生態系統 10%(Melillo et al., 1993)，由於經濟發展及糧食安全的考量，大面積熱帶雨林遭到開墾種植高經濟或糧食作物，去森林化(deforestation)的結果，造成大量溫氣體釋出至大氣中，成為加速全球暖化的原因之一。巴西政府在 2010 年推動為期 10 年之低碳農業計畫(葡萄牙語簡稱為 ABC 計畫)，並在 2021 年推出第二期的「ABC+」計畫，作為該國降低農業部門溫室氣體排放主要政策⁸(Ministry of agriculture, livestock and food supply, 2021)。ABC 計畫透過相關補助，提供經濟誘因引導巴西農民採用可減少或中和溫室氣體排放之農耕技術，

⁸ 網站資料：Ministry of agriculture, livestock, and food supply. (2021, April 20). Plan for Adaptation and Low Carbon Emission in Agriculture. Ministério Da Agricultura, PecuáriaAbastecimento.<https://www.gov.br/agricultura/ptbr/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivos-publicacoes-plano-abc/abc-english.pdf>



並透過教育訓練、技術推廣等措施，提升農民採用低碳農業技術的意願，並積極建立符合「聯合國氣候變遷綱要公約」(UNFCCC)架構下可監測、報告及認證(monitoring, reporting, verification, MRV)之方法學(methodology)，協助量化減少或儲存的碳，協助農民取得碳權，透過碳權交易獲得收益(Magalhães & Lima, 2014; Perosa et al., 2023)。ABC 計畫推廣的低碳農業技術可歸納為六大項，相關推廣技術如下：

1. 直播(direct planting)：減少土壤的整地(low-tillage)與耕犁，除可減緩土壤侵蝕速度、保護土壤、涵養有機質、增加土壤碳匯，亦可減省水資源及農業機械燃料的使用，達到減少溫室氣體排放。
2. 恢復過度放牧區(restoration of degraded pastures)：透過土壤管理、輪作制度等，恢復地力枯竭的放牧區之生產力，促進土壤健康，進而增加土壤碳匯。
3. 整合作物-畜產-林業耕作制度(Integrated Crop-Livestock-Forestry)：透過作物、家禽、家畜及森林之輪作、間作制度，兼顧集約生產之經濟效益與環境永續，並且增加土壤碳匯。
4. 造林(forestation)：植樹造林增加森林碳匯，並可透過商業造林，種植具有經濟價值的物種，如桉樹(eucalyptus)，保障農民收益。
5. 生物性固氮作用(biological nitrogen fixation)：透過土壤健康管理，利用土壤微生物的固氮作用，提高土壤中有機質的含量及土壤肥力，減少農民栽培過程中的肥料施用量，達到增加碳匯，減少因施肥造成之溫室氣體排放。
6. 動物排泄物管理(animal waste management)：將經濟動物排泄物轉換成有機肥料、能源等利用，減少過程中散逸至大氣中之溫室氣體。其減量的碳排，經驗證後，可作為碳權交易，提升農民獲益。

(四) 澳洲

澳洲國家土地關懷計畫(Landcare Australia)源於 1992 年，Knox and Knox



(2005)年提出針對家畜、土壤養分管理、農業水分管理、能源管理及植被管理，開始推廣低排放農法(Low Emission Agricultural Practice, LEAP)。LEAP 推廣對農民來說相對容易的操作方式，如推廣節水作物品種、適時適量符合作物所需的合理施肥技術、或補助購置低整地栽培所需的農業機械、利用等高線蓄水減緩土壤侵蝕(contour bank and swale)等栽培方式。此外，澳洲政府於 2011 年推動碳農法倡議(Carbon Farming Initiative, CFI)，並配合相關法規制度，進行國家級淨零碳排的行動。CFI 提供碳權交易與碳定價的基礎，針對澳洲國內的碳減量抵換專案進行碳權核發，碳權交易的發展，也促進了減量技術方法學的開發(Macintosh & Waugh, 2012)。CFI 核發的碳權主要基於下列技術：

1. 碳捕捉(carbon sequestration)：泛指將二氣化碳儲存在生物質(biomass)、無生命有機質 (dead organic matter)⁹ 或土壤中。常採用的作法有更新造林(reforestation)、植生綠化(Revegetation)、避免濫伐、改善植被管理、森林管理、農地及放牧地管理等能涵養土壤碳匯之方法。
2. 減排(Emissions avoidance)：主要是透過降低農業活動帶來的溫室氣體排放，如畜牧業、水稻種植、避免疏林草原(savanna)¹⁰ 及作物殘體(crop residue)燃燒等甲烷或氧化亞氮之排放。

(五) 中國

中國政府從 2009 年開始就規劃提升國內保護性耕作(conservative farming)的面積，並規劃在維持糧食生產力的前提下逐年提升保護性耕作的面積，主要採取的策

⁹ Dead organic matter 的定義如下：“matter composed of organic compounds that has come from the remains of organisms such as plants and animals and their waste products in the environment”
<https://www.eionet.europa.eu/gemet/en/concept/15112>

¹⁰ “Savanna”的定義如下：“savanna also spelled savannah, vegetation type that grows under hot, seasonally dry climatic conditions and is characterized by an open tree canopy (i.e., scattered trees) above a continuous tall grass understory (the vegetation layer between the forest canopy and the ground).”
<https://www.britannica.com/science/savanna>



略有不整地、低整地栽培、利用覆蓋作物、間作、輪作維持生物多樣性及土壤健康，精準施用化學肥料、農藥、除草劑，推廣農民採用病蟲害整合管理，多使用有機友善環境的資材、及研發適合不整地栽培使用的播種用農業機械(Chen et al., 2011; He et al., 2010; Li et al., 2015)。Li et al. (2015)在中國華北地區調查長期採用不整地栽培之農田對產量的影響，發現在配合適當輪作或間作制度下，產量不僅沒有下降，甚至提升 4%-6%不等，顯示不整地栽培透過對土壤保護，對生產、對環境皆有正面的好處。Wang et al. (2015)研究指出，中國華南與華中地區主要碳排放源來自水稻栽培，華北則來自小麥，且碳排量與產量有密切相關，在維護國家糧食安全的前提下，為降低整體的碳排量，建議需規劃適合不同地區的綜合土壤作物管理模式 (Integrated Soil-Crop Management)，若以 1985 至 2010 年作為基線情境，在每年減少 2%氮素投入並採用綜合土壤作物管理條件，在 2020 年約可降低 17%的排放量。Kimura et al. (2022)則對於中國未來低碳農業的發展，提出四個主要減碳策略及相關技術：

1. 發展重視生態的農業生產模式：發展有機農業，強調生態與生產共存的生產模式。
2. 強化禽畜剩餘資源利用效率：發展禽畜剩餘資源循環再利用技術，作為肥料、堆肥等，用於作物栽培，提高剩餘資訊利用效率。
3. 推廣應用作物殘體資源化利用：作為華北地區冬季暖氣燃料來源，或經過處理製成家禽飼料、作為肥料，替代化學肥料。
4. 加強管制農膜¹¹(agricultural film)使用：減少使用農膜，減少生產過程中資源投入，減少農產品生命週期中之碳足跡，還可減少非點源污染(nonpoint source)。

¹¹ 農膜(agriculture film)的定義為：「農業地膜也稱之為農膜、農地膜(Mulching Film)或農用塑料薄膜，是應用於農業生產的塑料薄膜之總稱。主要用來覆蓋農田，以達到提高農地表面溫度、保持土壤濕度、抑制雜草生長、促進種子發芽和幼苗快速增長之作用，按用途區別可概分為地膜、棚膜、農牧用膜等。」取自 <https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=32707>



(六) 法國

法國政府 2015 年聯合國氣候變化大會(COP21)巴黎協議後，發起千分之四倡議¹²(4 per 1,000 Initiative)，截至 2022 年 5 月¹³已有 52 個國家及 607 個組織響應加入，目標是每年在土壤中固碳 0.4%，如此一來可中和每年因為人類經濟活動所釋放至大氣中的二氧化碳，以對抗氣候變遷。本倡議基於土壤能夠涵養龐大碳匯，因此重視土壤品質管理，增加土壤有機碳含量是本倡議重要的目標。基本實踐方法是以推廣有機與友善耕作的農業操作方法，提升土壤的品質，健康的土壤擁有豐富的微生物相、良好的含水量、物理及化學性質，能夠蘊含豐富的有機質，成為碳的重要儲存庫(Chenu et al., 2019; King et al., 2018)。千分之四倡議主要有六大具體的操作方法，分述如下

1. 減少土地裸露的機會，並適當讓土地休息，如利用不整地栽培等對土壤物理結構破壞較低之技術。
2. 善用間作、草生栽培等友善環境的栽培方式。
3. 推廣種植綠籬作物並發展混農林業。
4. 優化放牧管理模式，調整放牧的排程與輪動，讓土地獲得充分休息。
5. 復育已經劣化的土地，如乾旱、半乾旱的氣候區土地。
6. 改善水分及肥料管理，推廣使用有機肥料及堆肥。

(七) 日本

日本農林水產省於 2022 提出「永續食物體系戰略(Strategy for Sustainable Food Systems, MIDORI)¹⁴」，作為日本農業部門因應氣候變遷中長期的策略指引，期透過開發與推廣創新技術，並透過政策手段，達成增加食物供應鏈的利

¹² France.(2015,December 1). The International “4 per 1000” Initiative. <https://4p1000.org>

¹³ 依據千分之四網站統計截至 2022 年 5 月。

https://www.4p1000.org/wp-content/uploads/2021/01/updated_partenaires_membres.pdf

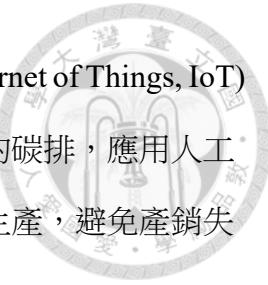
¹⁴ 資料來源：日本農林水產省 https://www.maff.go.jp/e/policies/env/env_policy/meadri.html。



害關係人參與對抗氣候變遷及推廣創新科技應用於減輕環境負擔兩大長期目標¹⁵。其細部目標策略如下述：

1. 農業部門化石燃料排放歸零：應用農村的水利設施、利用畜牧業產生的沼氣等剩餘資源作為生物能源(bioenergy)發電，降低農村用電對化石燃料的依賴，讓農村因使用化石燃料的溫室氣體排放歸零，達到減少碳排的效果，具體方法為透過研發及推動適合不同產業的電動農機。
2. 降低化學農業使用量百分之五十：減少化學農藥的投入，除了減少因農藥投入造成的碳排放，亦能間接促進生物多樣性。具體作法有推廣病蟲害整合管理(Integrated Pest Management, IPM)、推廣有機友善耕作、應用無人機科技，搭配人工智慧(Artificial Intelligence, AI)像辨識，作為判斷病害及蟲害發生的範圍與影響，作為用藥的目標、施用方法、位置及劑量的改善依據，達到減量及精準用藥的效果。另外，利用機器人科技進行間管理，如開發水田或旱田除草機器人，減少除草劑等農藥施用，也是減少用藥的對策之一。
3. 減少化學肥料施用百分之三十：透過減少化學肥料的施用，降低生產過程中直接或間接的溫室氣體排放。具體策略包含改良及推廣有機肥料，如應用農業剩餘資源來開發有機肥，加強循環利用。
4. 提升有機及友善農業栽培面積：日本政府預計在 2050 年以前，將日本國內有機栽培面積提升至 100 萬公頃以上，佔日本耕地總面積約 25%，作為減少農業部門碳排的目標之一。
5. 開發永續的進口替代材料：例如應用日本柳杉(Japanese Cedar) 開發乙二醇木質素(Glycol Lignin)合成的高強度生物塑膠(bioplastics)，作為五金零件等，減少使用石化塑膠原料，降低碳排。

¹⁵ 原文：“MIDORI,” the medium-long term strategy will pave the way for the future. Enhancing engagement of stakeholders at each stage of food supply chains. Promoting innovation to reduce environmental burden. (https://www.maff.go.jp/e/policies/env/env_policy/meadri.html)



6. 提升食物運銷替系的效率：應用資通訊科技或物聯網技術(Internet of Things, IoT)等，提升物流運輸的效率，減少運輸過程中的食物耗損造成的碳排，應用人工智慧技術預測分析農產品供給及需求，調整生產目標，精準生產，避免產銷失衡去化或報廢產生的損失，減少因為產生剩食造成的碳排。
7. 增加碳匯及碳儲存：開發生物炭產品增加土壤碳匯；利用海草(seaweed)增加海洋藍碳的儲存，評估漁業捕獲量，2050 年日本鰻魚與黑鮪魚人工苗比率達 100%，降低日本漁業對海洋的衝擊；選拔並種植具生長優勢度第一代雜交樹種 (superior varieties of F1 plus trees)，培育生長勢旺盛的森林，增加森林碳匯。
8. 碳權交易制度：建立日本碳權交易制度(Japanese Carbon Credit Scheme, J-credit)，提供農民減碳經濟誘因，開發量化溫室氣體減量或移除的方法學，作為核發碳權依據，如生物炭施用提升土壤碳匯、畜牧業應用氨基酸平衡飼糧(amino acid balanced feed)減碳等量化方法開發。
9. 消費者溝通與綠色消費推廣：在市場面，針對消費者進行推廣教育，培養綠色及永續的消費習慣。與餐廳、零售業協力推廣有機農產品、地產地消、揭露產品環境衝擊(如透過碳標籤、減量標籤)協助消費者選購的判斷參考。
10. 強化國際合作交流：與東南亞國協(Association of Southeast Asian Nations, ASEAN)合作交流，擴散日本低碳農業創新技術至其他國家。如推廣日本與國際玉米及小麥研究中心(CIMMYT)育成之生物硝化抑制(Biological Nitrification Inhibition, BNI)強化型小麥品種，可減少 60%的氮肥施用，並維持產量。

(八) 臺灣

行政院農業委員會預計在 2040 年達到農業部門的淨零排放目標，並在 2022 年提出減量、增匯、循環、綠趨勢等 4 大主軸及對應的 59 項措施來具體落實¹⁶。目前已經推動且持續執行中的相關策略包括：推廣有機、友善環境之

¹⁶行政院農業委員會(2022)。邁向農業淨零排放策略 <https://ccpo.coa.gov.tw/>。



農業耕作方式、推動對地綠色環境給付、合理化施肥、執行大糧倉計畫、畜牧廢棄物再利用、沼氣發電系統推廣、獎勵休漁及漁船(筏)收購、節能設施補助等政策(吳秉諭等，2013；林俊成，2022；施雅惠等，2021a；陳琦玲，2022)。

臺灣位於熱帶與亞熱帶環境，相較於溫帶國家，高溫潮濕的氣候，造成土壤有機質分解快速(Zech et al., 1997)，以農糧部門來說，其碳排的最大來源為土地利用的變化及土壤管理，佔農業部門碳排比例約 36.80%，其次為水稻種植，佔 18.00%¹⁷，因此，本研究針對相關減量技術主要聚焦此面向。針對相關技術及推廣教育方法介紹下：

1. 農作物管理：種植高產、耐逆境，高氮素利用效率等品種，減少生產過程中農藥及肥料的投入，如抗稻熱病、白葉枯病、縞葉枯病之水稻品種；善用輪作、間作、休耕、覆蓋作物、綠肥作物等複雜的栽培體系。
 2. 土壤養分管理：施用於田間的養分，若超過作物所能利用的量，經過土壤微生物作用後，會產生氧化亞氮散逸至大氣中。因此依據土壤肥力檢測結果，配合土壤實際狀況與作物需要量合理施肥有助於養分管理。另外，推廣使用硝化抑制劑抑制甲烷、施用銨態氮肥減少脫氮作用、適用不同作物的葉面施肥等提高氮肥利用效率之方法，都是減少溫室氣體排放之可行方法 (陳琦玲，2022)。
 3. 保護性耕作及作物殘體：耕犁或整地會破壞土壤結構，增加土壤被沖蝕的機會，並造成有機質分解，保護性耕作方式，如低整地(low-tillage)、不整地栽培(no-tillage)可減少上述情況發生(Camarotto et al., 2018; Govaerts et al., 2009; Olson et al., 2010)，此外，減少耕犁，亦減少農業機械之使用，間接減少化石燃料所排放之二氧化碳。作物殘體是土壤有機質來源之一，過往農民習慣採用燃燒方式處理，惟不當燃燒會產生空污問題(如產生 PM2.5)，目前已禁止此種做法。
- Poeplau and Don (2015)針對 30 篇研究報告及 37 個試驗點進行後設分析(meta-

¹⁷行政院環境保護署(2022)。2022 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告。臺北:

https://unfccc.saveoursky.org.tw/nir/tw_nir_2022.php



analysis)，發現長期利用覆蓋作物(cover crop)殘體，可增加土壤有機碳(soil organic carbon, SOC)。然而，覆蓋作物在土壤中分解速度，與其種類所在地氣候條件有關，選擇適合的覆蓋作物，需要有相關知識與操作技術，才能有效增加土壤有機碳(Kuo et al., 1997)。果園中推廣草生栽培技術亦是應用覆蓋作物進行土壤管理的技術之一(郭雅紋、賴文龍，2011)。

4. 水分管理：作物生產需要水分，適當的水分供給可增加作物產量與品質。但土壤水分過多、排水不良，會造成土壤微生物活性增加，增加甲烷及氧化亞碳排放(Hadi et al., 2010)，而排水過多亦會造成氮素流失，間接造成氧化亞碳排放。因此水分管理能與氣候環境、土壤、作物互相影響，形成複雜的交互作用。傳統灌溉方式為淹灌或溝灌，較難掌握用水量，水分利用效率低，推廣滴灌、噴灌等節水技術將可達到溫室氣體減排的目標。
5. 水稻栽培：水稻栽培是溫室氣體甲烷排放源之一(Minami & Neue, 1994; Neue, 1993; Seiler et al., 1983)，佔我國農業部門溫室氣體碳排 18.00%¹⁸。已有許多研究指出，間歇性灌溉比傳統連續淹灌可有效降低水田甲烷的排放，搭配合適的品種更可增加減排效果與維持產量穩定(Husin et al., 1995; Keiser et al., 2002; Yan et al., 2003)。施動物糞便或堆肥皆有會增加溫室氣體的排放(Khosa et al., 2010; Kim et al., 2014; Van Der Gon & Neue, 1995)，Das and Adhya (2014)經過一系列比較試驗結果發現，不同稻稈殘體、禽畜糞便、堆肥及尿素組合，對熱帶地區水田溫室氣體排放量有顯著影響，透過調整碳氮比例，除可兼顧產量穩定，亦可控制溫室氣體之排放。
6. 生物炭應用：生物炭(biochar)是生物質(biomass)如木材、樹葉、稻殼等，經過無氧與高溫裂解(pyrolysis)的產物，施用方式簡單。國外已有許多研究針對生物炭為土壤添加劑，生物炭的微小孔隙，可改善土壤離子交換能力、保水性等，改

¹⁸ 行政院環境保護署(2022)。2022 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告。臺北：
https://unfccc.saveoursky.org.tw/nir/tw_nir_2022.php



善土壤性質，可促進作物生長。此外，生物炭可作為將碳封存於土壤的方法之一，被視為一種兼顧生產與土壤碳封存的雙贏策略(Barrow, 2012; Jha et al., 2010; Palansooriya et al., 2019; Pan et al., 2010; Schmidt et al., 2021; Zheng et al., 2010)。

國內亦有使用竹炭、菱殼炭或稻殼炭之相關研究，農政單位指出若在全國 30 萬公頃的酸性土壤耕地中，施用 2%的生物炭，將可能增加 390 萬噸的土壤有機碳含量(施雅惠等, 2021b)。但生物炭的安全性，目前在國際上仍有些許爭議(Das et al., 2020)，Devi and Saroha (2014); Zheng et al. (2019)指出，生物炭的材料來源選擇、裂解反應等製作過程，若沒經過把關，可能會造成重金屬、致癌物質等隱憂，且在大規模推廣施用生物炭之前，仍有許多尚未解開瞭解的機制需要被研究。在目前國內生物炭分級、認驗證機制尚未成熟前，推廣仍需要多作評估。

7. 有機與友善耕作：許多研究指出，有機與友善的耕作方式本身就是一種相對低碳的農法，強調不使用農藥、善用生物防治的病蟲害整合管理方式及強調土壤健康管理的操作，能直接或間接減少碳排(Geng et al., 2021; Holka et al., 2022; Niggli, 2010; Pan et al., 2022; Qin, 2012; Venkat, 2012)。總體來說，有機與友善除了有低碳排好處，另有許多正面效益，如對環境、生態、人體健康的外部效益，但單從糧食安全及單位產量角度來看，其減碳效果則可能取決於產量、生產技術、不同作物對土壤營養的利用效率等因素，若收穫產出與能源及資源投入的比值過低，即雖然減少能源及資源投入，若減少生產過程中的碳排，但同時也造成產量下降，將可能抵銷環境效益，甚至是經濟效益(Leifeld, 2012; Tuomisto et al., 2012)。Basnet et al. (2023)以瑞典為例，並以 2010 年作為基線情境，發現有機農業配合相關策略如消費習慣改變、減少食物浪費與提升生產技術維持產量的情境下，能夠獲得溫室氣體減少排放最多的情境。



8. 農業推廣輔導：上述有關低碳農業相關的技術與知識之轉移與擴散，在臺灣常透過農業推廣¹⁹體系進行。除了正式教育體系(如大專院校、農業職業學校、公費專班等)，農業推廣教育大致上以農民團體、農會為第一線主力，提撥預算辦理農業推廣教育工作，例如農事、四健、家政等相關的短期講習、觀摩及其他教育性集會活動。另外，農業主管機關也在相關計畫的支持下委託大學院校、試驗改良場(所)，以及專業訓練機構來進行各種農業專業訓練。對於因應氣候變遷及低碳農業相關知識、技術與政策宣導，多仰賴各級農會體系、試驗改良場(所)所辦理之技術講習、示範觀摩及教育訓練進行創新擴散。針對低碳農業的推廣，亦規劃開設農業淨零排放教育課程，加強推廣淨零排放低碳食農教育，投入政策資源，引導產業朝淨零永續發展。

第二節 低碳農業技術採用的行為模式

本節歸納整理目前分析農民採用低碳農業技術相關文獻所常用之行為理論，分成三部分，前兩部分討論本研究主要應用的行為模型，分別為計畫行為理論(Theory of Planned Behavior, 簡稱 TPB 理論)及規範激起模型(Norm Activation Model, 簡稱 NAM 模型)。第三部分則討論其他關於低碳農業技術採用的行為理論。

一、計畫行為理論

計畫行為理論係由理性行為理論(Theory of Reasoned Action, 以下簡稱 TRA 理論)延伸。TRA 理論由 Fishbein and Ajzen (1977)所提出，該理論假設人們行動是受到個人意圖(intention)控制，而個人意圖則會受到態度(attitude)及主觀規範(subjective norm)所影響。換句話說，自己是否認同與旁人是否支持，會影響人們的

¹⁹ 農村發展條例第 1 條第 1 項第 18 款：「農業推廣：指利用農業資源，應用傳播、人力資源發展或行政服務等方式，提供農民終身教育機會，協助利用當地資源，發展地方產業之業務。」



意圖，進而採取行動。然而 TRA 理論僅捕捉到行為前的意志形成過程(volitional process)，並未考量人們從事特定行為時可能遭遇到的控制(control)與資源(resource)問題。因此，Ajzen (1985)以 TRA 理論為基礎，延伸後提出 TPB 理論。TPB 理論在 TRA 理論中加入知覺行為控制(perceived behavior control)來解釋個人經驗、擁有的資源與預期阻礙對行為意圖帶來的影響，並發現目標行為若具備強烈的行為控制，使用 TPB 理論將有較好的解釋力(Ajzen, 1985; Madden et al., 1992)，TPB 模型如圖 2-1 所示。TPB 模型自從提出後，在許多領域受到廣泛應用，並延伸出許多擴充的理論模型，增加其解釋特定意圖與行為之能力。Hou and Hou (2019)曾利用 TPB 架構為基礎研究中國農民採用低碳農業技術的意圖，並加入是否參與契作之決策為解釋變數，捕捉政策的影響效果。該文研究結果發現態度、知覺行為控制、主觀規範及是否參與契作，皆會對採用低碳農法的意圖產生正向影響。Yazdanpanah et al. (2014)針對伊朗農民的節水行為進行研究，在 TPB 的架構下，擴充加入知覺風險(perceived risk)、自我認同(self-identity)及道德規範(moral norm)等解釋變數，結果卻發現農民節水行為在強調知覺行為控制的 TPB 架構下的解釋能力較低，而農民節水行為反與 TRA 較有一致性，且規範相關變數對該行為具有重要影響。

Woldegebrial et al. (2017)在衣索比亞小農永續農法採用行為之研究中使用 TPB 架構分析。該研究將 TPB 架構拆解成不同外生潛在變數(exogenous latent variables)，捕捉其他社會心理相關的解釋變異。Woldegebrial et al. (2017)將態度拆解成知覺有用性(perceived usefulness)、知覺易用性(perceived easiness)及知覺相容性(perceived compatibility)，知覺行為控制拆解成個人效能(personal efficacy)與個人資源(personal resource)，並將主觀規範拆解成媒體、社會影響、農業推廣服務及技術訓練等潛在變數研究結果顯示，知覺有用性、知覺易用性、知覺相容性、個人效能、個人資源、技術訓練、社會資本及農業推廣服務對採用永續農法意願存在正向影響關係。Daxini et al. (2018)以愛爾蘭參與 Green Low Carbon Agri-environment Scheme(GLAS)計畫為例，利用 TPB 理論作為分析架構。該研究將農民分為兩群：

因加入 GLAS 計畫而需強制進行土壤營養檢驗的農民及未參加但自願檢驗者，探討兩者之間否會採用土壤肥力檢測報告建議，作為農場土壤養分管理的依據。Daxini et al. (2018)發現，被動檢驗者之主觀規範與知覺行為控制與意圖間存在正向影響關係，而態度與知覺行為控制則會正向影響自願檢驗者的意圖。國內亦有許多針對有機及友善農業相關技術採用意圖的研究應用 TPB 理論，並發現該理論能夠有效解釋農民採用相關技術之意圖 (王明妤等, 2011; 林映彤, 2022; 詹永紳, 2018) 及行為(蔡旻翰等, 2015)。綜整前述文獻可以發現，TPB 理論是一個層次與邏輯分明，易於詮釋分析且對人類意圖與行為具高度解釋力的理論模型，利用延伸的 TPB 架構，可以有效解釋農民的技術採用行為，故本研究將會以 TPB 做為主要架構。由於 TPB 是一種理性選擇模型(rational choice model)，可以解釋農民採用病蟲害整合管理的利己考量，但較無法解釋非理性因素，如對利社會、利環境的利他動機所型塑的行為(Rezaei et al., 2019)，結合考量道德義務的 NAM 將有助了解這些行為背後的動機。因此，本研究將會結合 TPB 理論及 NAM 理論，以檢視農民的低碳農業技術採用行為。以下接續討論 NAM 理論。

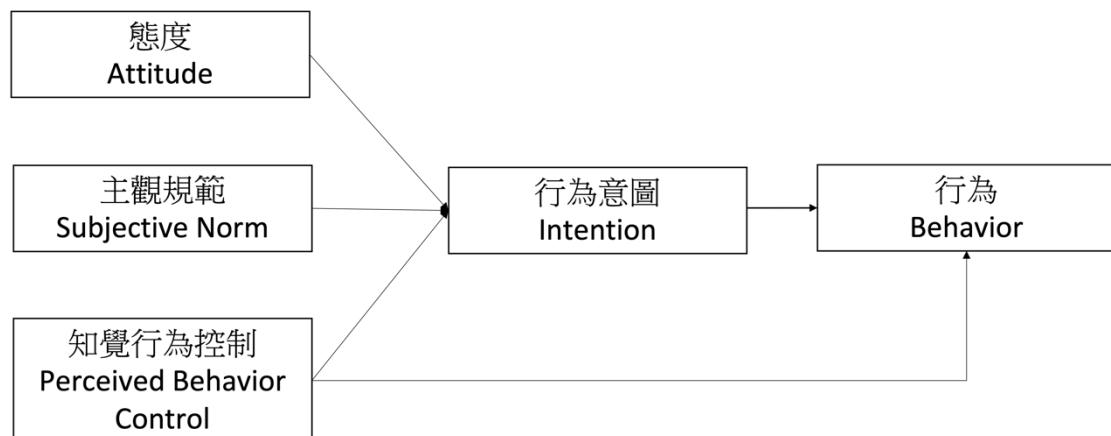


圖 2-1 計畫行為理論架構圖

資料來源：Ajzen (1991)

二、規範激起模型

Schwartz (1977)提出規範激起模型(Norm Activation Model，以下簡稱 NAM 模型)，NAM 模型主要可用來解釋一些利社會(pro-social)、利環境(pro-environment)及



利他(altruism)動機所形塑的意圖及決策過程(Onwezen et al., 2013)。NAM 模型利用三個因子解釋利社會、利環境等利他行為，第一個因子為個人規範(personal norms)，個人規範係指個人的道德義務(moral obligation)，這種道德義務源於個人的內在價值，會影響一個人採取或是克制自己從事某種行為，因此，個人規範可以解釋一個人非基於社會壓力而採取的行動。第二個因子為後果意識(awareness of consequences)，後果意識係指一個人是否意識到自己沒有採取利社會行為後的對他人造成的負面影響。最後一個因子則是責任歸屬(ascription of responsibility)，責任歸屬指個人基於不採取利社會行為後，對他人造成負面後果所引起的責任感(De Groot & Steg, 2009; Schwartz & Howard, 1981)。目前已有許多實證研究應用並支持 NAM 模型，但對於因子間的關係仍存在不同的看法(De Ruyter & Wetzels, 2000)。De Groot and Steg (2009)提出中介模型及調節模型兩種關係，這兩種關係在針對不同主題之研究中皆受到證據支持，如圖 2-2。在探討與農業生產有關的利環境行為的文獻中，多以中介模型為主(Rezaei et al., 2019; Savari et al., 2021; Wang and Lu, 2021; Zhang et al., 2020)。Rezaei et al. (2019)針對伊朗農民採用 IPM 之意圖，發現應用 TPB 探討的行為以理性選擇為基礎，足以解釋農民採用 IPM 的利己考量，但較對於非理性的因素，如對環境友善等親環因素，則無法有效捕捉到其效果。因此，Rezaei et al. (2019)進一步利用整合 TPB 及 NAM 理論的架構，考量來自道德感義務，即農民知道不採取行動的後果，所激起的責任感。該研究發現後果意識會正向影響責任歸屬，並且由責任歸屬為中介變數，影響個人規範，並且個人規範是驅使農民採用 IPM 的影響力最大的因素，這意味著驅使農民採用該技術的主要是來自個人及內在價值系統，因此該研究發現將 NAM 模型與 TPB 理論整合可有效提升模型解釋能力(判定係數 R^2)。Savari et al. (2021)利用 NAM 模型架構分析伊朗農民面臨水資源匱乏的行為模式，並近一步延伸 NAM 模型，加入環境關注(environment concern)變數，結果亦發現 TPB 理論及 NAM 理論的整合架構能有效解釋伊朗農民節水行為。Wang and Lu (2021)結合 TPB 與 NAM 模型，探討中國農民使用生態養

殖(eco-breeding)的意圖，結果顯示農民採用生態農法的意圖主要受到態度影響，其次是主觀規範，然後才是個人規範，最後則是知覺行為控制。根據前述相關文獻的回顧及整理可以發現，NAM 理論在涉及利社會或利環境的行為意圖研究中，是不可或缺的重要模型。本研究認為採用低碳農業技術對於農民而言，除了需考慮利己(self-interest)因素的影響，低碳農業技術的採用行為亦可能含有利環境、社會永續等意識或利他精神的展現。依此，本研究將 NAM 及 TPB 理論加以整合，驗證此類整合型模型對於北部青年農民環境友善農法採用行為的解釋能力。

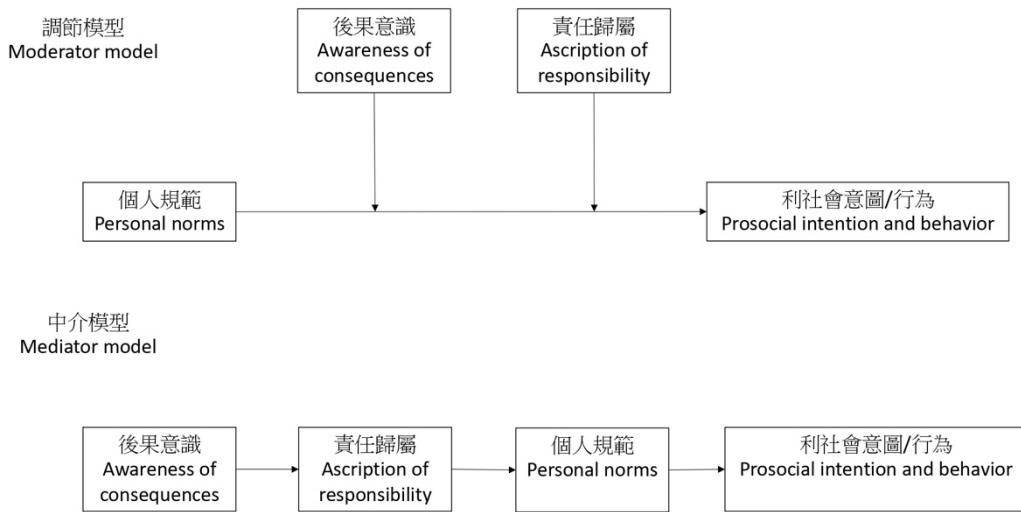


圖 2-2 規範激起模型：調節與中介模型

資料來源：De Groot and Steg (2009)

三、其他與低碳農業技術採用的行為理論

有學者認為氣候變遷調適可以被視為一種在不確定性下的決策行為探討，基於氣候變遷的三大特性，第一，人們對於氣候變遷是否真實發生，充滿不確定性，第二，氣候變遷發生進程漸進，多數人難以察覺，第三，氣候變遷發生成因複雜，充滿爭議與不確定性，使用追求最大效用的理性行為架構來思考，無法捕捉到所有解釋變異，須考慮心理因素以增加模型解釋能力，這些因素涉及到個人特質



(personality)、信念(belief)與習慣(habit)帶來的影響(Dang et al., 2012)。以下就與本研究有關的行為理論—保護動機理論及人際行為理論一進行探討。

保護動機理論(Protection Motivation Theory，以下簡稱 PMT)(Floyd et al., 2000; Rogers, 1975, 1983)最早被用來聯繫訴諸恐懼(fear appeal)與態度改變之間的關係，起初被用來研究人們採取健康保護之行為，後來受到廣泛運用，如被應用在促進水資源保護研究(Kantola et al., 1983)、消費者市場研究(Pechmann et al., 2003)及消費者節能減碳旅遊行為(Horng et al., 2014)。保護動機理論主要分成三個部分：資訊觀察(information observation)、認知中介過程(cognitive mediating process)及因應行為(coping behavior)。當人們接受到來自自身觀察、習得或溝通理解的資訊後，會利用這些資訊來結合自身過去經驗(prior experience)與個人特質(personality variables)，並一起影響認知中介過程。在認知中介過程中，個體會透過知覺嚴重性(perceived severity)、知覺脆弱性(perceived vulnerability)與恐懼(fear)影響威脅評估(threat appraisal)過程，並透過知覺自我效能(perceived self-efficacy)、知覺反應效能(perceived response-efficacy)與知覺反應成本(perceived response cost)影響因應評估(coping appraisal)，在因應評估與威脅評估的權衡之下，個體會產生適應不良(maladaptive coping)或保護動機(protection motivation)，進而採取保護行為(protection behavior)(Milne et al., 2000)。Dang et al. (2012)建議應用 TPB 及 PMT 作為整合性的思考框架，並結合其他社會經濟變數或心理變數，將更有助於瞭解農民遭遇氣候變遷時，採取調適反應的意圖與行為。

人際行為理論(Theory of Interpersonal Behavior，以下簡稱 TIB)，是由 Triandis (1979)所提出，該理論延伸自 TRA 及 TPB 理論，認為除了態度(attitude)與規範(norms)會影響意圖，過去經驗(prior experience)及習慣(habit)都會影響其意圖，並認為習慣是影響行為不可忽視的因子，若個體對於某特定行為擁有過去經驗，則再次發生該行為時，意識影響會下降。Boazar et al. (2019)曾應用 TIB 針對伊朗水稻農民面對缺水危機轉作節水作物之意圖進行研究，結果發現，個人規範與角色信念對



轉作節水作物意圖有顯著影響。此外，該研究發現，若把習慣加入模型中，習慣會透過個人規範、角色信念等因素中介，間接影響意圖，模型判定係數(Coefficient of determination)由 17%提升至 50%，大幅提升了模型解釋能力。

社會資本(social capital)最早在政治學中用來描述社交生活的特徵(features of social life)，由人際之間的信任(trust)、社會網絡(network)及規範(norm)所組成，並可以驅使人們集體行動，並追求共同目標(Putnam, 1995)。社會資本對於農民之間的知識、訊息與技術的交換具有影力，已有許多關於農民因應氣候變遷的文獻發現社會資本會影響農民對於氣候變遷的感知或調適行為(林宗弘等，2018；Jordan, 2015；Liu and Zheng, 2021；Paldam, 2000；Woldegebrial et al., 2017；Wuepper et al., 2018)。林宗弘等(2018)分析「2013 臺灣社會變遷調查」，發現臺灣民眾的社會資本對於其有關世界風險、食安風險及天災風險的因應行為有顯著正向影響。Wuepper et al.(2018)以衣索比亞農民為例，發現社會資本與收入多元性(income diversification)對於收益風險管理之影響有互補關係，即社會資本較高的農民，較專注於農業生產，收益來源以農業生產為主，反之，則會尋求農業以外的收益來源，降低收益風險。Liu and Zheng(2021)探討社會資本如何影響中國農民採用低碳農業技術之行為，結果發現，社會資本中的信任與社會網絡關係，對於採用相關技術存在正向影響，而社會規範則無顯著影響。由過去的文獻可發現，社會資本對於人們在氣候變遷之減緩與調適，是一個不能忽略的變數。

綜整上述文獻的行為模型及理論架構，本研究認為過去耕作習慣及面對氣候變遷之威脅評估等面向對於農民採用低碳農業之意圖可能會造成影響，因此，加入探討這兩類因素的影響應可增加行為模型的整體解釋能力，並對未來與農民進行氣候變遷風險溝通與推廣策略研擬有參考價值。依此，本研究將此兩因子架構加入行為模式中。另外，我國目前針對青年農民有許多促進其群聚整合的輔導政策²⁰，

²⁰ 資料來源：青年農民輔導平臺 https://academy.coa.gov.tw/YF/news.php?id=news_1648197357。



其中一個目標即是強化青年農民的社會資本，因此加入社會資本作為預測低碳農業採用意圖與行為，應能提升模型的解釋能力。

第三節 探討低碳農業技術採用影響因子的研究方法

一、數理統計分析方法

社會科學、心理學及行為經濟學中對於意圖或行為之研究常使用量化研究方法(quantitative methodologies)，量化方法透過測量並進行統計分析，連結社會現象中實際觀察現象與數理統計間之關係，是適合用於大樣本的系統性實證之方法。歸納相關文獻發現，技術採用等決策行為常用建立二元反應的統計建模方法，如 logit 迴歸模型或 probit 模型(Roberts et al., 2002; Roberts et al., 2004; Suvedi et al., 2017; Torbett et al., 2007)。Arunrat et al. (2017)使用 logit 迴歸模型，以分析影響泰國農民因應氣候變遷的調適技術採用決策之因子，發現氣候變遷調適溝通(communicating adaptation to climate change)、制度資源可取得性(institutional accessibility)及農場社會經濟特徵變數可以解釋調適技術採用的決策。該文並應用階層迴歸模型(hierarchical regression)分析影響採用行為模式的重要因子，結果發現態度、主觀規範及知覺行為控制會正向影響調適技術採用意圖與行為。Ebojei et al. (2012)利用 logit 迴歸模型研究影響奈及利亞農民採用高產雜交玉米品種與自然開放授粉兩種技術的選擇，發現年齡、教育程度、收入、是否加入契作及勞力投入量等變數會影響採用行為。Vinholis et al. (2021)曾應用三階最小平方法(Three-stage Least Squares, 3SLS)、最小平方法(ordinary least square, OLS)及 probit 模型分析影響巴西農民採用低碳農業技術的因子與經營績效之間的關係，發現低碳技術採用與經營績效之間存在相互影響關係。Payne et al. (2003)探討影響美國農民採用基因轉殖抗玉米根蟲(corn rootworm)之因素，發現有序邏輯模型(ordered logit model)的配適結果良好，



並能有效辨識出影響採用決策的社會經濟變數。Kolady et al. (2020) 曾應用卜瓦松迴歸模型(Poisson regression model)及負二項迴歸模型(negative binomial regression)分析美國農民採用精準農業技術(precision agriculture technologies)的採用強度(adoption intensity)計數資料，結果顯示應用負二項迴歸配適效果良好，並能有效辨識影響採用強度的社會經濟變數(如面積)與影響農民採用強度的心理構面。

二、結構方程模型

結構方程式模型(structural equation modeling，以下簡稱 SEM)，早期被稱之為線性結構關係(linear structural relations，簡稱 LISREL)或共變數結構分析(covariance structure analysis)，由 Jöreskog (1978)等人結合共變數矩陣與相關矩陣等分析技術所發展而來。SEM 是「一種結合路徑分析(path analysis)與因素分析(factor analysis)的多元統計技術」(張紹勳, 2017)。在社會科學量化研究(quantitative research)中受到廣泛的使用，適合用來處理複雜的多變量研究(Byrne, 1994)。SEM 的優勢在於可驗證潛在變數(latent variable)與觀察變數(manifest variable 或 observed variable)之間的關係，並同時考量誤差的問題。SEM 自從發展以來，受到許多領域研究的青睞，在心理學(Raykov et al., 1991)、經濟學(Spulbar et al., 2021)、社會科學(Tarka, 2018)、管理學(Wisner, 2003)等領域皆有許多以 SEM 做為分析工具的文獻資料。Yazdanpanah et al. (2014)利用 SEM 分析伊朗農民節水技術採用行為發現，知覺風險(perceived risk)、規範議題(norms issues)及知覺行為控制(perceived behavior control)皆會正向影響採用意圖。Hou and Hou (2019)針對中國農民低碳農業技術採用，利用 SEM 分析，有效衡量態度、知覺行為控制與主觀規範與政策存在正向影響的效果。Borychowski et al. (2022)以 SEM 方法分析波蘭農民採用低碳農業技術之意圖，發現土地生產力(land productivity)、勞動生產力(labor productivity)及資本生產力(capital productivity)對採用低碳農業技術有顯著正向影響，並提升肥料及能源利用效率。Rezaei et al.(2019)曾應用 SEM 探討影響伊朗農民採用整合病蟲害管



理技術，發現態度與知覺行為控制，對於採用意圖有正向影響。Woldegebrial et al. (2017)利用 SEM 分析衣索比亞農民採用不同程度的整地栽培措施，發現態度與主觀規範會正向影響採用意圖。Raza et al. (2019)亦應用 SEM 方法進行驗證，發現巴基斯坦農民採用永續作物殘體管理方法與知覺風險、自我效能及習慣有關。

綜合上述文獻探討，發現討論農民技術採用的文獻中，主要使用的研究方法可分為迴歸分析及 SEM 方法兩類，亦有利用將數據分為行為模式與社會經濟特徵兩部分，分別使用 SEM 與迴歸分析等作法。故本研究針對意圖與行為模式部分將採用 SEM 作為主要分析工具，後續並將以迴歸模型分析影響臺灣青年農民採用低碳農法技術的重要影響因子。



第三章 實證設計、資料概述與變數說明

本研究擬以 TPB 理論(Ajzen, 1991)為基礎、結合 NAM 模型(Schwartz & Howard, 1981)及態度-行為-情境模型(Attitude-behavior-context model，以下簡稱 ABC 模型)(Guagnano et al., 1995; Stern, 2000)，以探討影響農民採用低碳農業相關技術的意圖之因素，並瞭解採用意圖與採用行為之間的關係。本研究先使用 SmartPLS 進行偏最小平方法結構方程模型(partial least square structural equation model，PLS-SEM)檢視心理構面與採用意圖之間的因果關係，再以 probit 模型及負二項迴歸(negative binomial regression)估計在控制社會經濟變數後，心理因素及情境因素對農民採用低碳農業技術行為(包括採用傾向及採用種類多寡)之影響效果。本章第一節說明研究假說及架構，第二節說明研究方法，第三節則說明問卷設計、變數定義與敘述統計。

第一節 研究架構及研究假說

一、行為理論概念性架構

本研究提出之研究架構如圖 3-1。本研究之理論架構主要基於三個理論模型，分別是第二章回顧的 Ajzen (1991)提出的 TPB 理論與 Schwartz and Howard (1981)提出的 NAM 模型，如本研究在第二章文獻回顧所述， NAM 模型可分為中介模型及調節模型兩種關係(De Groot and Steg, 2009)，這兩種關係在針對不同主題之研究中皆受到證據支持，然由於在探討與農業生產有關的利環境行為的文獻中，多以中介模型為主(Rezaei et al., 2019; Savari et al., 2021; Wang and Lu, 2021; Zhang et al., 2020)，故本研究將採用中介模型。另外，本研究參考 Guagnano et al. (1995)與 Stern (2000)提出的 ABC 模型，補充情境因子對低碳農業採用意圖及行為之影響。



以下將由外而內的層次順序說明本研究如何整合不同理論架構之間的關係。

Guagnano et al. (1995)提出的 ABC 模型認為影響行為的因素主要是由外部條件(external conditions)所塑造的情境與內部因素作用下所形成。外部條件是由實體結構(physical structures)、經濟規律(economic forces)或社會制度(social institution)等外部變數所創造的情境組成，而內部因素則是由一般或具體的態度(attitude)、信念(belief)、資訊(information)及行為意圖(behavioral intentions)等內部變數所影響，若態度與情境的共同效果為正，則可以觀察到行為的發生，反之則否。本研究為瞭解外部條件如相關政策所形成的情境，是如何影響低碳農業技術採用意圖對採用行為之影響，將經濟誘因政策(economic incentive policy)及教育輔導政策(education and guidance policy)等政策情境納入考量。在計畫行為理論中(Ajzen, 1991, 2002)，態度(attitude)、主觀規範(subjective norm)、自我效能(self-efficacy)及控制能力(controllability)是形塑行為意圖(behavioral intentions)的主要因子，亦是 ABC 模型中的內部因子。在 NAM 模型架構中，後果意識(awareness of consequences)會透過責任歸屬(ascription of responsibility)進而影響個人規範(personal norm)，而個人規範除了會直接影響行為意圖，亦有可能成為主觀規範影響行為意圖的中介變數。從 ABC 模型的框架下來檢視，NAM 模型所衡量的以規範為基礎的信念，亦屬於內部因子，作為 ABC 模型中的態度因素。另外，Dang et al. (2012)曾提出針對農民氣候變遷調適所提出的理論分析框架，可用於捕捉採用低碳農業所包含的利環境、利社會的意圖之變異，增加模型解釋能力，故本研究參考該文獻，加入農民對氣候變遷的知覺風險(perceived risks)、社會資本(social capital)。

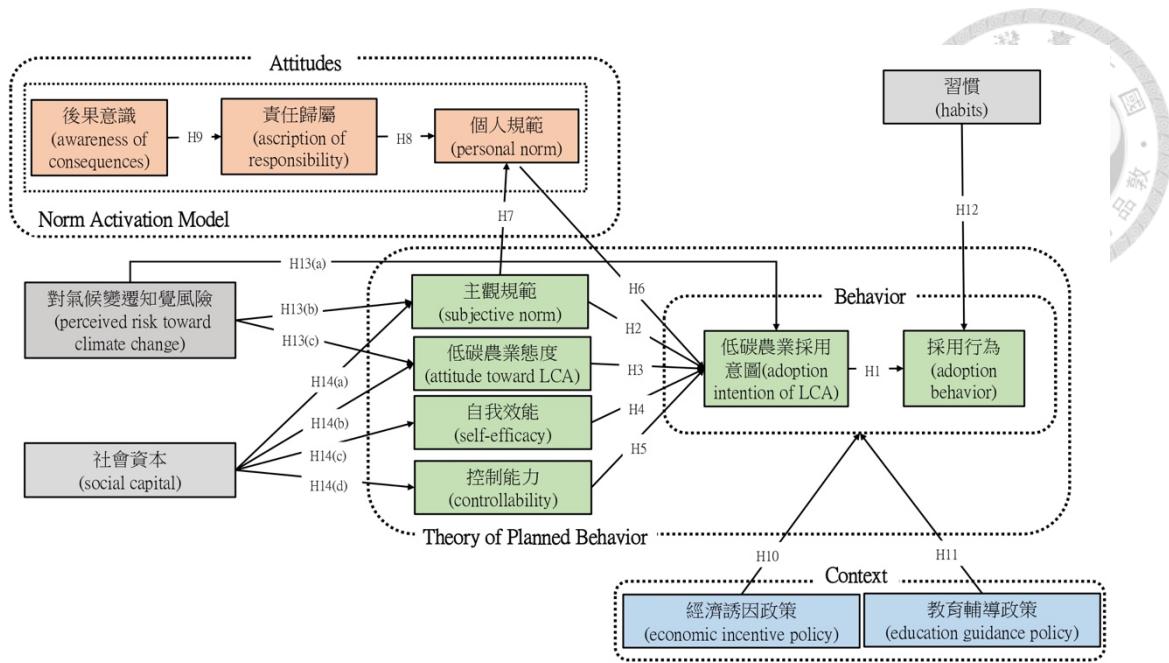


圖 3-1 本研究整合計畫行為理論(TPB)、規範激起模型(NAM)及態度-行為-情境模型(ABC model)之理論架構。資料來源：本研究整理

二、研究假說

(一) 計畫行為理論(TPB)、規範激起模型(NAM)及態度-行為-情境模型(ABC model)

本研究欲驗證 TPB、NAM 及 ABC 模型各構面因素與低碳農業採用意圖的關係。依序提出下列假設，並假設存在正向影響關係：

假設 1 (H1)：低碳農業採用意圖對於採用行為有正向影響。

假設 2 (H2)：主觀規範對於低碳農業採用意圖有正向影響。

假設 3 (H3)：低碳農業態度對低碳農業採用意圖有正向影響。

假設 4 (H4)：自我效能對低碳農業採用意圖有正向影響。

假設 5 (H5)：控制能力對低碳農業採用意圖有正向影響。

假設 1 至 5 係基於 TPB 之假設，有關本研究的假設與相關文獻立論依據說明如下。首先，綜整相關研究文獻顯示，根據 TPB 理論，採用意圖可預測採用行為的發生，作為行為的前置因子(antecedent)，且主觀規範、態度及知覺行為控制則是解釋意圖的重要因子，且彼此之間存在正向的影響關係(Hou & Hou, 2019; Tracey et al., 2004; Woldegebril et al., 2017)。因此，本研究利用 TPB 理論作為解釋採用意圖



與行為的基本架構。Ajzen (2002)研究指出，知覺行為控制的概念足以補充解釋個體行為所隱含的非意志因素(nonvolitional elements)，透過歸納相關實證研究結果發現，將知覺行為控制拆解為自我效能(self-efficacy)及控制能力(controllability)兩個獨立的潛在變數，將有助於提升模型解釋力的提升。自我效能與控制能力是兩個相關但不同的概念。自我效能用以衡量個體評估自身對於執行特定行為之能力與信心，與個人的知識、技術、先前成功或失敗的經驗相關。當人們具有較高的自我效能時，更有可能面對挑戰並努力實現目標。而控制能力則捕捉了個體對行為結果(outcome)是否操之在己的感知，換句話說，控制能力反映了人們對於自己是否能控制與影響環境的信念，當人們感受的控制能力越高，表示他們對於事件或環境的可控制性、可預測性及可改變性的信念越強。自我效能可增加對意圖的解釋變異，在另一方面，控制能力則會對預測行為有所幫助，然對解釋意圖的貢獻則較無助益。基於上述理由，本研究將自我效能視與控制能力是為兩個獨立的潛在變數，並提出假說 1 至 5。

假設 6 (H6)：個人規範對於低碳農業採用意圖有正向影響。

假設 7 (H7)：主觀規範對於個人規範有正向影響。

假設 8 (H8)：責任歸屬對於個人規範有正向影響。

假設 9 (H9)：後果意識對於責任歸屬有正向影響。

假設 6 至 9 係基於 NAM 模型之假設。Rezaei et al. (2019)比較 TPB 與 TPB-NAM 兩類模型對伊朗農民採用植物病蟲害整合管理(IPM)的研究發現，將 NAM 模型與 TPB 理論結合，比單獨使用 TPB 理論具有更高的解釋能力，並發現個人規範對於意圖、主觀規範對於個人規範、責任歸屬對於個人規範、後果意識對於責任歸屬，皆存在顯著正向關係。在 Yazdanpanah et al. (2014)針對農民節約用水的意圖與行為研究中，發現態度、自我認同(self-identity)、主觀規範與道德規範等規範傾向(norm inclination)與知覺風險對節水行為有顯著影響。Wang and Lu (2021)探討中國農民進行生態養殖之意圖與行為發現，後果意識對於責任歸屬存在正向影響關係，



而責任歸屬對個人規範亦存在顯著正向影響，並進而影響生態養殖的採用意圖。

Boazar et al. (2019)在研究伊朗農民因缺水進行作物轉作時，發現個人規範對轉作意圖影響最大，顯示個人規範對形成利環境行為意圖的重要性。歸納上述研究，本研究認為探討低碳農業採用意圖與行為時，若加入 NAM 理論中的後果意識、責任歸屬及個人規範，將能有效捕捉基於理性行為理論的 TPB 所無法解釋的面向，故提出假設六至九進行驗證。

假設 10 (H10)：經濟誘因政策對於採用行為有正向影響。

假設 11 (H11)：教育輔導政策對於採用行為有正向影響。

假設 10 至 11 係基於 ABC 模型。Stern (2000)提出「具環境意義的行為 (environmentally significant behavior)」之概念，並認為可從這些行為對環境的衝擊來定義這些行為。從人類歷史來看，環境衝擊一直都是人類活動的副產物(by-products)，即人們為了滿足各種慾望，如改善生活、移動、從勞動中獲得解放、享受方便、權力或地位等所產生的副產物。直到近年，對於環境造成的衝擊才成為人們決策時考量的因素。這樣的發展賦予具環境意義的行為不同面向的意義，而從行為者的角度來看，可分為意圖導向(intent-oriented)及衝擊導向(impact-oriented)兩種。

意圖導向及衝擊導向兩種角度的主要差異在於意圖導向視個人是否有環境保護的信念與動機為獨立的影響因子，並凸顯環境意圖無法產生環境衝擊的可能。例如，在一項針對美國消費者對於髮膠產品的調查研究中發現，即使髮膠中破壞臭氧成分已被政府禁止多年，仍有許多消費者相信避免使用噴霧產品可以保護臭氧層免於破壞，消費者保護環境的意圖，對減少環境衝擊實際上幾乎沒產生效果。這種環境意圖(environmental intent)與環境衝擊(environmental impact)之間可能存在的不一致，引起學者對具環境意義的行為背後的本質及影響人們信念的因素感到興趣。前述兩種導向的觀點對於相關研究都有重要意義，衝擊導向的觀點對於環境的改變具有重要性，而意圖導向的觀點則幫助我們理解人們背後的動機與信念。Stern



(2005)將具環境意義的行為分為四種不同類型，並認為這些行為都會受到情境(context)、個人規範(personal norm)及信念(beliefs)影響，這四種行為類型分述如下：

(1)行動主義(activism): 行動主義包括積極參與和支持環境運動或社會運動，以促進環境保護和可持續發展的目標。行動主義者可能參與抗議活動、倡導政策改變、組織環保項目或社區參與等。

(2)非行動主義的公共領域行為(nonactivist behaviors in the public sphere)：這類行為通常係指個人在公共領域中進行的與環境保護相關的行動，但不涉及明確的行動主義或社會運動，如接受或支持與環境保護有關的稅賦或政策、貢獻或參加環境保護的組織。

(3)私人領域的環保主義(private sphere environmentalism)：此類行為旨在降低個人或家庭消費時購買、使用、廢棄處理過程中對環境的直接衝擊。

(4)組織行為(behaviors in organizations): 指個人影響其所屬組織的具環境意義行為，如工程師可藉由選擇較環保的產品、開發者可以選擇對環境較環保的標準或忽視產品帶來的污染。

以上四種具環境意義的行為，都能從意圖導向的角度去解釋，然而，在許多情況下，受內部動機所影響的意圖卻不一定是最重要的。Stern (2005)認為只有當外部情境因素對行為的影響程度很低或是不存在時，內部因子才具有決定行為的影響力，此時不論情境因素對行為的影響是正向或負向，反過來說，若存在強烈外部情境的影響，則內部因子如信念(beliefs)、個人規範(personal norm)等因素對行為的解釋能力可能將有限。基於此，本研究認為農民的低碳農業技術採用行為，可能會受到情境因素如經濟誘因政策與教育輔導政策的影響，當這些外部情境因素的影響力存在時，只討論內部因子將無法有效解釋低碳農業技術的採用行為。Guagnano et al. (1995)曾利用自然實驗(natural experiment)方法，分析有無設置資源回收桶的情境對於居民的路邊回收行為影響，結果顯示，對於設有資源回收桶的家戶，Schwartz and Howard (1981)所提出的 NAM 模型幾乎無法解釋其回收行為，反之，沒有設置



資源回收桶的家戶，NAM 模型則能有效解釋回收行為。此外，該文亦發現設置資源回收桶會激起個人的後果意識(awareness of consequence)，顯示情境因素在探討利環境或利社會等利他行為時，是不能忽視的重要因子。Xu et al. (2017)應用 ABC 模型，在一項針對美國職場節約能源行為的研究中發現，對於節約能源有強烈信念的員工，更願意為了節約能源犧牲舒適程度，特別是在組織政策支持的情境下。此外，若團體規範(group norms)的情境越強烈，在組織內部進行節約能源的溝通越容易。Shi et al. (2019)曾應用 ABC 模型分析影響中國民眾排放細懸浮微粒(PM 2.5)的因素，研究結果顯示主觀規範(subjective norm)、自我效能(self-efficacy)及態度(attitude)是重要的內部因素，而外部情境如控制能力(controllability)，政策情境因素如命令與控制政策(command and control policy)、經濟誘因政策(economic incentive policy)及教育輔導政策(education and guidance policy)對於民眾將意圖轉化成實際行為的過程中，存在調節效果。Luh et al. (2023)則為農業經濟學領域唯一一篇將 ABC 模型應用於農民之有機農法的採用行為之研究。該文考量兩類情境因素—農民的經濟考量(economic concerns)及對於政策支持的知覺(perceived policy support)，並應用整合 TPB 及 ABC 的行為架構，以分析影響農民對有機農業的態度與選擇利環境行為之間的不一致性的情境或心理因素，結果顯示，相較於採用有機農法的農民，使用慣行農法的農民其態度與行為呈現更高的不一致性，且根據 TPB-ABC 模型的預測發現，農民展現態度和行為之間的不一致之傾向，會隨著他們對政策支持的感知程度而增加。

綜整上述文獻回顧發現，目前應用 ABC 模型的研究中，研究主題多半以消費者的利環境意圖為研究主題，除了 Luh et al. (2023)一文有關有機農法的採用行為分析，目前尚未有將 ABC 模型應用於農民低碳農業技術採用意圖與行為之相關研究，故本研究提出假設 10 至 11，驗證 ABC 模型中的情境因素之影響，本研究的發現應可作為研擬農民採用低碳農業技術的經濟誘因政策與教育輔導政策參考。



(二)習慣、知覺風險及社會資本

假設 12 (H12)：習慣對於採用行為有負向影響。

假設 13a (H13a)：對氣候變遷的知覺風險對於低碳農業採用意圖有正向影響。

假設 13b (H13b)：對氣候變遷的知覺風險對於主觀規範有正向影響。

假設 13c (H13c)：對氣候變遷的知覺風險對於低碳農業態度有正向影響。

假設 14a (H14a)：社會資本對於主觀規範有正向影響。

假設 14b (H14b)：社會資本對於低碳農業態度有正向影響。

假設 14c (H14c)：社會資本對自我效能有正向影響。

假設 14d (H14d)：社會資本對控制能力有正向影響。

假設 13 至 14 係基於擴充的心理構面，相關立論依據及論述如下。Zepeda and Deal (2009)應用 ABC 模型及價值-行為-規範(Value-Behavior-Norm)模型分析消費者選購有機農產品的意圖。該文發現不僅習慣會影響行為，個人規範及情境因子亦會透過習慣影響行為。Dahlstrand and Biel (1997)針對瑞典民眾清潔劑消費研究發現，利環境行為會受到個人的習慣影響，習慣越強烈的人，其利環境行為越不容易受到內部因素如價值與態度的影響。Raza et al. (2019)針對巴基斯坦農民採用永續作物殘體管理方法，發現習慣以及對氣候變遷的知覺風險對永續作物殘體管理的採用意圖有正向影響。Dang et al. (2012)亦認為習慣因素是在探討農民面對氣候變遷時之調適行為的重要影響因子之一。該文指出，農民會依據自身的知覺風險與能力評估，並做出調適行為，但習慣會讓農民保留過去經驗過的耕作方式，故須在行為模型中考量習慣的影響。Boazar et al. (2019)調查伊朗農民因應缺水問題，從水稻轉作較節水的作物之意圖時發現，若加入習慣對意圖的路徑，可提昇模型解釋力。然而，由於習慣形成過程複雜，在許多研究中常有對行為影響方向不一致的現象 (Conner & Norman, 2022)。Stern (2000)指出直到近年對環境造成的衝擊才成為人們決策時考量的因素，基於此，本研究認為過去農民經驗中，並無針對氣候變遷進行調適或減緩的考量，故過去經驗所形塑的習慣，對採用行為應該為負向，成為實際



行為的阻礙。

Yazdanpanah et al. (2014)探討伊朗農民遭遇缺水時節約用水之意圖發現，當農民對於缺水造成的機率與負面後果之知覺風險越高，對節水技術採用意圖同時也越高。此外，該研究也發現，知覺風險同時也會影響規範傾向之因素(norm inclination)，如主觀規範、道德規範、身份認同及態度。Grothmann and Patt (2005)針對德國及辛巴威農民因應氣候變遷調適行為研究中發現，農民對氣候變遷造成的天然災害(如水災)發生的主觀機率及預期災害發生可能帶來的生命財產損失之嚴重性，並影響農民採用調適行為之意圖。Castillo et al. (2021) 以 TPB 理論為主要架構，調查智利農民因應缺水而採用加壓灌溉 (pressurized irrigation) 技術的意圖，並探討農民的社會資本所造成的影响。該文結果顯示，農民擁有的社會資本對於主觀規範、知覺行為控制及採用加壓灌溉技術之態度有正向影響。Woldegebrial et al. (2017)調查低收入國家之農民採用永續農法的意圖發現，社會資本會透過態度及主觀規範間接影響採用意圖，同時也會直接影響農民的採用意圖。基於以上相關研究結果，本研究針對習慣、知覺風險及社會資本等變數之影響，提出假設 12 至假設 14。

第二節 研究方法

一、偏最小平方結構方程模型

本研究將以偏最小平方結構方程模型(partial least square structural equation model, PLS-SEM)驗證圖 3-1 中各構面之間的路徑關係並檢驗假說。PLS-SEM 最早由瑞典計量經濟學者 Wold (1975)發展而來，發展初期被稱為偏最小平方法路徑分析(partial least square path modeling)(Hair et al., 2011)，其基本原理係藉由主成分分析(principal component analysis)及最小平方法(ordinary least square, OLS)估計複雜的模型路徑(Mateos-Aparicio, 2011)。PLS-SEM 常被拿來與 Jöreskog (1970)所提供之結合因素分析及路徑分析的 SEM 進行比較，SEM 係基於資料的共變異數



(covariance)結構進行分析，對資料具有較多嚴格的假設，如多元常態性及樣本大小等限制，在另一方面，PLS-SEM 則是利用變數間的線性關係定義出一個主成份結構，並利用迴歸分析原理來解釋檢驗主成份間的預測與解釋關係，因此又被稱為基於主成分形式之結構方程模式(component-based SEM)，PLS-SEM 對變數的限制較為寬鬆，過程被認為是一種軟建模(soft modeling)，使用時機有下列情境：當研究分析的重點為如何從預測的角度對理論框架進行測試、理論潛在變數多且路徑結構複雜、理論同時包含形成型模型(formative model)或反映型模型(reflective model)、待分析的樣本大小受到實務上限制、以次級資料進行分析或缺少對資料分佈假設等狀況，在上述情境中，PLS-SEM 能提供更具穩健性(robustness)的結果，採用 PLS-SEM 進行分析將更合適(邱皓政, 2011; Dijkstra, 2009; Hair et al., 2019; Marcoulides et al., 2009; Tenenhaus, 2008; Tenenhaus et al., 2005)。PLS-SEM 與 SEM 相同，主要包含兩種變數：觀察變數 (manifest variables 或 observed variables) 及潛在變數 (latent variables)。描述觀察變數與潛在變數之間線性關係的模型稱為測量模型 (measurement model)，在 PLS-SEM 中又可稱之為外模型(outer model)，而描述潛在變數之間關係的模型稱之為結構模型(structural model)，其中根據潛在變數之間因果路徑影響關係，潛在變數又可分為外生潛在變數(exogenous latent variables)及內生潛在變數(endogenous latent variables)。一個完整的結構方程模型應包括測量模型以及結構模型。在測量模型中，將觀察變數與測量誤差合稱指標(indicators)，且認為潛在變數的變異會引起指標變異，故指標是潛在變數的效應呈現，此種模型就是基於因素分析法所代表的模型，稱之為反映型模型(reflective model)，相反地，若因指標變異造成潛在變數產生變異，這時潛在變數的本質則是由指標的組合所形成，此時稱為形成型模型(formative model)，換言之，潛在變數是由指標所定義，反映型與形成型測量模型皆會有誤差，但反映型模型的誤差是指標水準間的測量誤差；形成型模型則是指潛在變數水準間的結構誤差(Diamantopoulos et al., 2008)。

PLS-SEM 模型概念圖如圖 3-2。

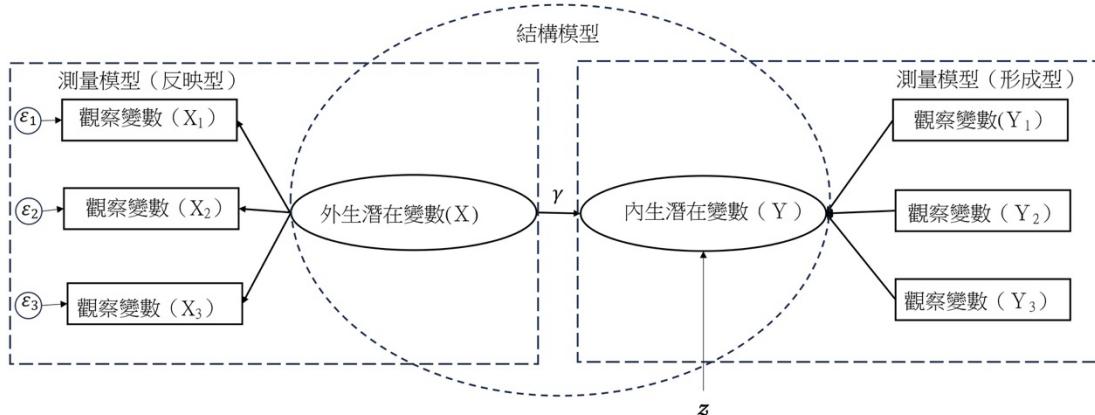


圖 3-2 PLS-SEM 模型。資料來源：本研究整理

本研究採用 SmartPLS 軟體(Wong, 2013)進行建模，並進行模型評鑑。針對反映型測量模型評估，可利用因素負荷量(factor loading)、組合信度(composite reliability, CR 值)、平均變異抽取量(average variance extracted, AVE)等指標進行信效度分析。形成型測量模型則可以利用權重顯著性、共線性、收斂效度評鑑。針對結構模型則可以利用決定係數(coefficient of determination)來評鑑預測與解釋能力，另外可利用外生潛在變數對內生潛在變數的解釋效果指標(f^2)來輔助評鑑。PLS-SEM 針對潛在變數的分配並沒有做假設，且對適用於小樣本，Chin (1998)曾提出使用 PLS-SEM 的樣本數法則，樣本數以潛在變數的測量數目 10 倍為基準。在小樣本情況下，抽樣分配因未知，故路徑係數的顯著性檢定多依賴拔靴法(bootstrapping)進行重複抽樣，透過這個過程，來近似估計統計量的抽樣分佈，以便估計樣本標準誤，雖然利用拔靴法的重複抽樣策略，對樣本大小並沒有嚴格限制，但過小的樣本仍無法保證是否會避免抽取到無關的訊息，亦無法保證變異的隨機變換，換言之，其結果對於推論較不可靠。另外，Hair et al. (2011)建議，對於驗證性的預測研究，重複抽樣次數為 5,000 以上較能獲得為佳之結果，故本研究將進行 5,000 次重複抽樣，並利用 t 分配進行路徑係數的顯著性檢定。



二、probit 模型

由於採用行為的觀察，往往只能觀察到「有採用」及「沒採用」兩種，這意味著我們只需用兩個數值(通常以 1 及 0 表達)來代表「有採用」及「沒採用」兩種決策，這類別應變數被稱為二元變數(binary variable 或 dichotomous variable)，許多探討採用行為的研究常用 probit 模型估計解釋變數對採用行為之影響(Breen et al., 2009; Donkoh et al., 2019; Mittal & Mehar, 2016; Sevier & Lee, 2004)。本研究為進一步瞭解心理構面、社會經濟變數與情境因素如何影響採用行為，將農民採用行為分為無採用者與有採用者(至少採用一項技術)兩種，並利用 probit 模型進行分析。probit 模型的基本假設為存在一個連續的潛在變量，而我們觀察到的二元結果是由這個潛在變量的閾值所決定，解釋變數與此潛在變量具有線性關係，且誤差項服從標準常態分配，因此我們可以利用標準常態分配的累積分配函數(cumulative distribution function, CDF)來連繫潛在變量與二元結果之間的關係。本研究模型設定如下：被解釋變數(y)為二元的離散變數，依據採用行為可表示為： $y=1$ 有採用者； $y=0$ 則表示無採用者。模型如(3-1)式所示：

$$y^* = X'\beta + u, u \sim i.i.d. N(0, \sigma^2) \quad (3 - 1)$$

其中 y^* 為潛在變數(latent variable)，向量 X' 為由截距項、社會經濟變數、及影響採用行為的心理構面、情境構面等解釋變數組成， β 向量則是解釋變數係數構成， u 為誤差項，並服從標準常態分佈。潛在變數與觀察結果的關係如下：

$$\begin{cases} y = 0, & \text{if } y^* \leq 0 \\ y = 1, & \text{if } y^* > 0 \end{cases} \quad (3 - 2)$$

假設採用($y=1$)之累積機率為 P ，其函數分配為：

$$\begin{aligned} P(y = 1|X) &= P(y^* > 0|X) \\ &= P(X'\beta + u > 0|X) \\ &= P(u > -X'\beta|X) \\ &= 1 - F(X'\beta) \end{aligned} \quad (3 - 3)$$



$F(\cdot)$ 是誤差項的累積分配函數。基於對誤差項服從標準常態分配的假設，可以將 3-3 式表達為：

$$\begin{aligned} P(y = 1|X) &= \Phi\left(-\frac{X'\beta}{\sigma}\right), \text{其中 } \sigma \equiv 1 \\ &= \Phi(X'\beta) \end{aligned} \quad (3 - 4)$$

其中 $\Phi(\cdot)$ 為標準常態累積分配函數。模型中的待估參數可以利用最大概似估計法 (maximum likelihood estimation)進行估計。probit 模型的邊際效果(marginal effect)可透過偏導數求得，估計模型的邊際效果可以讓我們更直觀地解釋模型中不同解釋變數對應變數的影響強度，以評估解釋變數對應變數為 1 的機率值變化的貢獻。其邊際效果的求法如下 3-5 式，其中 $\varphi(\cdot)$ 為標準常態分配函數。

$$\frac{\partial P(y = 1|X)}{\partial X} = \frac{\partial \varphi(y|X)}{\partial X} = \varphi(X'\beta)\beta \quad (3 - 5)$$

三、負二項迴歸模型

為探討農民採用低碳農業技術的數量，在控制住社會經濟變數後，是否會受到心理構面及情境因素的影響。本研究調查農民採用的技術的數量作為應變數。採用的技術數量屬於一種計數資料(count data)，因採用的技術數量資料是離散的(discrete)的非負整數，故一般研究多應用卜瓦松迴歸模型(Poisson regression model)進行分析。由於卜瓦松分配的特性是僅用一個參數描述其分佈，配適資料需要為均等離散(equidispersion)，變異數必須等於平均數(Coxe et al., 2009; Hayat & Higgins, 2014)，若資料呈現變異數大於平均數的情況即有過度離散(overdispersion)的問題，反之則稱為不足離散(under-dispersion)，此時若使用卜瓦松迴歸，則會造成估計上的偏誤(Coxe et al., 2009)。處理過度離散計數資料常見的方法有負二項迴歸模型(negative binomial regression model)。本研究所調查的採用行為計數資料有過度離散的特性，因此參考 Greene (1994)、Chang (2005)等人，嘗試採用負二項迴歸模型進行分析，其模型設定如下：若 n_i 為技術的採用數量，其卜瓦松分配為：

$$P(n_i) = \frac{\lambda_i^{n_i} \exp(-\lambda_i)}{n_i!} \quad (3 - 6)$$



$P(n_i)$ 為採用數量的機率， λ_i 為採用數量的期望值 $E(n_i)$ ，在卜瓦松模型中，採用數量的期望值與解釋變數之間的關係為：

$$\lambda_i = \exp(\beta X_i) \quad (3-7)$$

其中 X_i 為解釋變數所組成的向量； β 為待估參數之向量，其值可利用最大概似估計法(maximum likelihood estimation)估計。

負二項迴歸為了處理過度離散的問題，允許在 3-7 式中加入誤差項(ε_i)使其成為 $\lambda_i = \exp(\beta X_i + \varepsilon_i)$ ，解釋沒有被卜瓦松模型捕捉到造成過度離散的變異。誤差項 $\exp(\varepsilon_i)$ 服從伽馬分配(gamma distribution)，並令其平均值為 1，變異數為 α 。將此條件帶入 3-6 可得其條件機率分佈：

$$P(n_i|\varepsilon) = \frac{\exp[-\lambda_i \exp(\varepsilon_i)][\lambda_i \exp(\varepsilon_i)]^{n_i}}{n_i!} \quad (3-8)$$

將 3-8 式進行積分，可獲得負二項分布如下式：

$$P(n_i) = \frac{\Gamma(\theta+n_i)}{[\Gamma(\theta) \cdot n_i]} \cdot u_i^\theta (1-u_i)^{n_i} \quad (3-9)$$

其中 $u_i = \frac{\theta}{\theta+\lambda_i}$ ； $\theta = \frac{1}{\alpha}$ ； $\Gamma(\cdot)$ 為伽瑪分配函數。透過引入參數 α ，可以評估資料是否有過度離散(overdispersion)的現象，負二項分配的變異數可表示如下：

$$Var(n_i) = E(n_i) - \alpha E(n_i)^2 \quad (3-10)$$

若 α 趨近於零，則負二項分布則退回至卜瓦松分佈，故使用負二項迴歸模型配適計數資料，可放寬卜瓦松模型的假設，以處理過度離散的問題。

第三節 問卷設計、變數定義與敘述統計

一、問卷設計

本研究問卷設計以 ABC、TPB 理論及 NAM 模型設計問項內容，並加入擴充的構面。問卷內容包含農民對低碳農業的態度、主觀規範、自我效能、個人規範、責任歸屬、後果意識、社會資本、對氣候變遷的知覺風險、控制能力、經濟誘因政



策、教育輔導政策、習慣、及社會資本等構面對低碳農業採用意圖與行為之影響。

表 3-1 為本研究構面因子之定義與發展文獻來源，表 3-2 則為本研究問卷衡量之問項。

表 3-1 本研究構面定義與發展文獻來源

構面名稱	構面定義	文獻來源
態度 (A T T)	農民對低碳農業技術的正面或負面之感覺及立場。	Ajzen (1991, 2002); Hou and Hou (2019); Jiang et al. (2022); Rezaei et al. (2019); Wang and Lu (2021); Yazdanpanah et al. (2014); Zhang et al. (2020)
主觀規範 (S N)	農民對於採用低碳農業技術所感受到的社會壓力，通常來自家庭、職場、朋友或是對農民本身有影響力的重要他人。	
自我效能 (S E)	農民對於自己是否有能力採用低碳農業技術的信心。	
控制能力 (C L)	農民對於採用低碳農業技術是否操之在己的控制程度，即對採用低碳農業此一結果的掌控程度。	
低碳農業採用意圖 (I N T)	農民採用低碳農業技術的意願或推薦他人的可能性。	
政策情境 (P C)	政府政策所創造的情境對農民採用意圖與行為之間的影響。就低碳農業來說，政策規劃可能類型有以下二種：經濟誘因型(economic incentive)及教育輔導型(education and guidance)。	Gadenne et al. (2011); Stern (2005); Zhang et al. (2020)
個人規範 (P N)	農民源於內心保護環境的道德義務感(moral obligation)，因此覺得需要採用低碳農業技術以保護環境。	De Groot and Steg (2009); Onwezen et al. (2013); Rezaei et al. (2019); Savari et al. (2021); Schwartz (1977); Wang and Lu (2021); Zhang et al. (2020)
後果意識 (A C)	農民意識到若不採取低碳農業技術，則將對氣候變遷及環境造成負面的後果。	
責任歸屬 (A R)	農民認為氣候變遷及全球暖化對地球所造成的負面影響，是因為自己沒有採用低碳的農業技術所造成，因此內心所感受到的責任感。	
社會資本 (S C)	能夠影響農民行動或決策依據的重要社會資源，基於信任關係、合作關係或社會網路所組	林宗弘等(2018); Jordan (2005); Liu and Zheng

表 3-1 本研究構面定義與發展文獻來源(續)

構面名稱	構面定義	文獻來源
	成。對象如親人、朋友、鄰居、青農聯誼會、農民組織、農業改良場。	(2021); Paldam (2000); Woldegebrial et al. (2017); Wuepper et al. (2018)
對氣候變遷知覺風險 (P R)	農民對氣候變遷造成天然災害的內心擔憂、嚴重性感受程度與因氣候變遷發生天然災害的主觀機率。	林宗弘等(2018); Dang et al. (2012); Grothmann and Patt (2005); Raza et al. (2019)
習慣 (H B)	農民因過去經驗，在達成特定目標或狀態的過程中，對於特定情境，發生具有重複性(repetition)、自動性(automaticity)或自我表達身分(identity)的行動。	Boazar et al. (2019); Raza et al. (2019); Verplanken and Orbell (2003)

資料來源：本研究整理

表 3-2 衡量農民對低碳農業採用意圖之構面問項

構面	問題敘述
態度(ATT)	
ATT1	低碳農業對減緩全球暖化是有用的
ATT2	採用低碳農業技術對我的生產是有用的
ATT3	低碳農業對環境是有好處的
主觀規範(SN)	
SN1	我的家人都覺得農民應該為減緩全球暖化有所行動
SN2	我的朋友都覺得農民應該為減緩全球暖化有所行動
SN3	我同事、同儕都覺得農民應該為減緩全球暖化有所行動
自我效能(SE)	
SE1	我相信我有能力掌握低碳農業技術
SE2	我有信心我能輕易達到低碳生產的目標

表 3-2 衡量農民對低碳農業採用意圖之構面問項(續)

SE3	低碳農業生產是很簡單的事	
控制能力(CL)		
CL1	我擁有實踐低碳農業的技術	
CL2	我擁有低碳農業的知識與經驗	
CL3	即使採用低碳農業的技術，我仍然可以維持好的產量 與品質	
政策情境(PC)		
經濟誘因政策		
PC-EI1	如果政府禁止高碳排的農耕方式，會讓我想採用低碳 農業技術	
PC-EI2	補助低碳農業技術設施或設備的政策，會讓我想採用 低碳農業技術	
PC-EI3	鼓勵消費低碳足跡農產品的政策，會讓我想採用低碳 農業技術	
教育輔導政策		
PC-EG1	政府有資源協助解決低碳農業技術操作時遇到的問題	
PC-EG2	低碳農業的政策宣導，會讓我想採用低碳農業技術	
PC-EG3	政府提供低碳農業的教育訓練，會讓我想採用低碳農 業技術	
低碳農業採用意圖(INT)		
INT1	我有意願採用低碳農業技術	
INT2	我計畫未來採用低碳農業技術	
INT3	我會鼓勵親朋好友，一起發展低碳農業	
個人規範(PN)		
PN1	我覺得我有義務對減緩氣候變遷有所貢獻	

表 3-2 衡量農民對低碳農業採用意圖之構面問項(續)

PN2	如果我的生產過程對環境造成破壞，我會覺得有罪惡感
PN3	低碳農業所追求的目標，與我的價值觀與人生信念相符
後果意識(AC)	
AC1	如果我不採用低碳農業技術，未來氣候變遷將會更劇烈
AC2	如果我不採用低碳農業的生產技術，土壤將會惡化
AC3	如果我不採用低碳農業的方法，未來糧食安全將會受到威脅
責任歸屬(AR)	
AR1	若我不採用低碳農業技術，那麼全球暖化與氣候變遷，我也有責任
AR2	若要減緩氣候變遷與全球暖化，我必須要採取低碳農業的生產策略
AR3	減少農業生產的碳排放，是所有農民的共同責任
社會資本(SC)	
SC1	我會主動參加青農聯誼會等農民團體的活動
SC2	我會主動參加試驗改良場(所)的技術示範觀摩
SC3	我有很多與他人合作的機會
對氣候變遷知覺風險 (PR)	
PR1	我擔心氣候變遷造成的天災害會影響我的農業產出
PR2	我擔心氣候變遷造成的天災會影響我與家人的安全
PR3	我覺得近年來天災發生越來越頻繁

表 3-2 衡量農民對低碳農業採用意圖之構面問項(續)

習慣(HB)	
HB1	我使用現在的栽培管理方式已經很長一段時間
HB2	不用思考太多，我可以用目前的栽培管理方式來穩定生產
HB3	要我改變目前的栽培管理模式會很困難
HB4	我是一個重視環保的人

資料來源：本研究整理



二、抽樣設計

本研究抽樣對象以 18 至 45 歲之青壯年農民為主，在臺灣農業人口中約佔 5.64%²¹，若以行政院主計總處統計資料²²54.2 萬人估算，約有 3 萬人。然考量時間、人力、成本，且調查對象為實際從事農業工作之農民，故採用立意抽樣(purposive sampling)。立意抽樣是一種非機率抽樣(non-probability sampling)的方法，立意抽樣與隨機抽樣(random sampling)方法不同，立意抽樣不試圖從整個調查目標之母體中隨機選擇樣本，而是有目的地選擇與研究主題相關且有代表性的個體。這種抽樣方法通常應用於需要深入瞭解特定現象或特定人群的接觸管道。由於立意抽樣的樣本選擇具有主觀性，因此結果可能受到研究者個人的偏好或觀點的影響，這可能導致樣本的偏差，使得推論結果受到限制，無法代表整個目標人群，因此，在使用立意抽樣時，研究者需要保持透明度，清楚地描述樣本的選擇標準和過程，以及可能的偏差和限制(Andrade, 2021; Barratt et al., 2015)。本研究調查管道有兩種，第一個管道係將問卷製作成 google 表單，並於全國各區青農聯誼會官方 LINE 群組進行線上調查，第二個管道則藉由實體觀摩會、說明會及農民學院場合進行實體調查。總共回收 229 份問卷，其中 13 份問卷因栽培面積與所從事產業之常態差距過大，

²¹ 資料來源：臺灣農村數位博物館 https://rural.openmuseum.tw/rural_stats。

²² 行政院主計總處網路資料：<https://www.stat.gov.tw/public/Data/25316245Q5IT53QV.pdf>



因無法判斷受試者是否因面積換算錯誤而誤填，故僅將 229 份樣本量表部分進行 PLS-SEM 分析，涉及社會經濟變數的統計分析過程則將此 13 份予以剔除，僅保留有效問卷計 216 份進行分析。本研究量表計分方式使用李克特五點量表(Likert 5-scale)衡量，依照同意程度分別為「非常同意」、「同意」、「普通」、「不同意」、「非常不同意」五個選項來衡量，分析時並依序賦予 5、4、3、2、1 分進行後續分析。

三、變數定義與敘述統計

本節針對本研究所調查的變數進行敘述統計，初步描述樣本的結構與基本特徵。利用李克特量表衡量之間卷題項將以算數平均數及標準差描述，每題依同意程度順向編碼，故每個構面平均數越高，則表示其同意程度亦越高。社會經濟變數中，本研究調查農民的性別、產業、年齡、務農年資、栽培面積及居住地區，探討不同社會經濟背景是否會影響其低碳農業採用行為。本研究樣本變數的敘述統計如表 3-3。為敘述受訪者對於在每個構面同意程度，針對每個構面平均分數進行單一樣本 t 檢定(檢定值為 3.5)，結果顯示，除了自我效能及控制能力外，其他構面的平均皆顯著高於 3.5，高於普通並偏向同意；平均採用技術種類為 3.09 種，標準差為 2.34，顯示資料有過度離散(overdispersion)的狀況。採用行為方面，至少採用一項相關技術的農民佔 81.0%，採用最多的技術為有機及友善耕作(佔 51.9%)其次為合理化施肥(佔 47.2%)，採用最少的技術為不整地栽培(11.6%)及草生栽培(11.6%)如表 3-4。

表 3-3 變數定義與樣本敘述統計

變數定義		平均值	標準差	t value
應變數	(或百分比)			
INT	低碳農業採用意圖	3.96	0.80	8.450***
BEH_CNT	採用技術類型計數	3.09	2.34	

表 3-3 變數定義與樣本敘述統計(續)

計畫行為理論構面				
ATT	態度構面平均分數	4.12	0.67	13.567***
SN	主觀規範構面平均分數	3.81	0.85	5.327***
SE	自我效能構面平均分數	3.42	0.86	-1.373
CL	控制能力構面平均分數	3.45	0.91	-0.847
規範激起模型構面				
AC	後果意識構面平均分數	3.82	0.95	4.912***
AR	責任歸屬構面平均分數	3.92	0.86	7.215***
PN	個人規範構面平均分數	3.91	0.78	7.705***
態度-行為-情境模型構面				
PC-EI	經濟誘因政策構面平均分數	3.97	0.81	8.586***
PC-EG	教育輔導政策構面平均分數	3.75	0.83	4.508***
其他擴增構面				
SC	社會資本構面平均分數	3.89	0.74	7.705***
HB	習慣構面平均分數	3.74	0.53	6.497***
PR	對氣候變遷知覺風險構面平均分數	4.23	0.64	16.855***
社會經濟變數				
GENDER	性別 = 0 女 = 1 男		33.3% 66.7%	
CROP	主要作物 = 1 水稻 = 2 雜糧 = 3 蔬菜 = 4 果樹 = 5 花卉 = 6 茶 = 7 其他		12.5% 8.3% 39.8% 24.5% 8.3% 5.1% 1.4%	
AGE	年齡	42.53	9.07	
EXPERIENCE	務農年資	9.63	7.59	
AREA	栽培面積(自有及租賃總計)	5.07	9.33	
RESIDENCE	居住地(農業區分類) = 1 臺北市(北部地區)		0.9%	

表 3-3 變數定義與樣本敘述統計(續)



= 2	新北市(北部地區)	8.8%
= 3	桃園市(北部地區)	10.6%
= 4	臺中市(中部地區)	4.6%
= 5	臺南市(南部地區)	11.1%
= 6	高雄市(南部地區)	8.3%
= 7	宜蘭縣(東部地區)	5.6%
= 8	新竹縣(北部地區)	7.4%
= 9	苗栗縣(北部地區)	2.8%
= 10	彰化縣(中部地區)	13.4%
= 11	南投縣(中部地區)	4.6%
= 12	雲林縣(中部地區)	7.4%
= 13	嘉義縣(南部地區)	3.7%
= 14	屏東縣(南部地區)	4.6%
= 15	花蓮縣(東部地區)	2.3%
= 16	臺東縣(東部地區)	2.3%
= 17	基隆市(北部地區)	0%
= 18	新竹市(北部地區)	0.9%
= 19	嘉義市(南部地區)	0.5%
= 20	澎湖縣(南部地區)	0%
= 21	金門縣(北部地區)	0%
= 22	連江縣(北部地區)	0%

資料來源：本研究調查

註：***表示在 1% 的顯著水準下為顯著。檢定值=3.5(普通偏同意)

表 3-4 低碳農業技術採用行為

變數名稱	採用行為	採用比例
BEH	至少採用一種技術	81.0%
BEH1	有機及友善耕作	51.9%
BEH2	低整地栽培	21.4%
BEH3	不整地栽培	11.6%
BEH4	草生栽培	11.6%
BEH5	覆蓋作物	22.2%
BEH6	合理化施肥	47.2%
BEH7	深層施肥	10.6%
BEH8	施用生物炭改良土壤	14.4%

表 3-4 低碳農業技術採用行為(續)

變數名稱	採用行為	採用比例
BEH9	病蟲害整合管理(IPM)	22.7%
BEH10	使用電動農機	20.4%
BEH11	使用節能生產設備(如變頻或節能之冷藏、照明、加熱、環控設施等)	22.2%
BEH12	水分管理(如節水灌溉、智慧灌溉、水田間歇性灌溉等)	27.8%



第四章 實證結果討論

本研究針對行為模型因果關係使用 SmartPLS 4.0，本章第一節首先進行問卷量表信度、效度與偏最小平方法結構方程模型路徑進行分析及顯著性檢定；第二節則對於採用傾向與採用種類多寡之迴歸模型則應用 Stata 17 軟體進行分析，探討影響行為意圖與實際採用行為的因子之間的差異性。

第一節 偏最小平方法結構方程模型實證分析

偏最小平方結構方程分析主要有兩個階段，第一階段針對構面與測量指標進行評鑑，瞭解構面信度、指標信度、構面收斂效度與區別效度是否符合相關準則，通過本階段評鑑後，才進行以路徑分析為基礎的結構模型分析，將重點放在驗證假說及瞭解各構面因果關係。

一、構面信度、收斂與區別效度評估

如 4-1 所示，本研究首先利用過去文獻中常用之指標 Cronbach's α 評估本研究量表構面之內部一致性或穩定性。Tavakol and Dennick (2011) 指出，Cronbach's α 值介於 0.7 至 0.9 之間為佳(satisfactory to good)，並不建議高於 0.95，低於 0.7 則表示量表題項之間的內部關聯性偏低，且構面內部呈現異質性(heterogenous construct)，反之，過高的 Cronbach's α 則表示量表可能有冗餘問項，例如同樣問題用不同方式陳述時，常見此現象，亦應修正問卷。本研究個構面之 Cronbach's α 皆介於 0.731 至 0.884 之間，符合建議值範圍，顯示本研究問卷量表具有內部一致性。

建構效度主要是評估測量結果的正確性及有效性。建構效度可分為收斂效度與區別效度兩類。收斂效度可判斷量表問項間與潛在構面是否有關聯性，一般常用



平均變異萃取量(average variance extracted, AVE)作為指標，若潛在構面被量表問項解釋的程度越高，則 AVE 值越大。本研究參考 Hair Jr et al. (2021) 建議，以 0.5 為基準檢視量表收斂效度，本研究每個構面 AVE 介於 0.650 至 0.812，皆高於建議值 0.5，表示構面具有收斂效度。由於 Cronbach's α 視每個問項在母體中均一致，其估計較為保守，容易低估內部一致性，Hair Jr et al. (2021)建議對於反映型模型可應用組合信度(composite reliability rho_c, CR)進行評估，以改善 Cronbach's α 估計的限制，CR 值的建議範圍與 Cronbach's α 一致。本研各構面 CR 介於 0.882 至 0.928 間，符合前述文獻建議。

表 4-1 信度及收斂效度分析

潛在變數	Cronbach's Alpha(α)	AVE	CR
後果意識	0.878	0.804	0.925
責任歸屬	0.884	0.812	0.928
低碳農業態度	0.731	0.650	0.848
控制能力	0.863	0.785	0.916
低碳農業採用意圖	0.850	0.770	0.909
教育輔導政策	0.789	0.703	0.876
經濟誘因政策	0.778	0.692	0.871
個人規範	0.800	0.713	0.882
對氣候變遷知覺風險	0.753	0.670	0.859
社會資本	0.734	0.656	0.850
自我效能	0.798	0.714	0.882
主觀規範	0.871	0.795	0.921

資料來源：本研究整理

本研究針對測量模型指標信度進行分析，指標信度係確認指標與構面間的相關性，Hair et al. (2019)指出反映型模型中因素負荷量(factor loading)高於 0.7(約等於 0.5 平方根)即達建議標準，亦即構面至少能解釋指標 50%的變異。由表 4-2 所示，本研究各構面之測量項目因素負荷量皆高於 0.707，顯示具有高指標信度。



表 4-2 測量項目因素負荷量

研究 構面	測量項目	因素負 荷量
後果意識(awareness of consequence)		
AC1	如果我不採用低碳農業技術，未來氣候變遷將會更劇烈	0.909
AC2	如果我不採用低碳農業的生產技術，土壤將會惡化	0.866
AC3	如果我不採用低碳農業的方法，未來糧食安全將會受到威脅	0.913
責任歸屬(ascription of responsibility)		
AR1	若我不採用低碳農業技術，那麼全球暖化與氣候變遷，我也有責任	0.888
AR2	若要減緩氣候變遷與全球暖化，我必須要採取低碳農業的生產策略	0.923
AR3	減少農業生產的碳排放，是所有農民的共同責任	0.892
個人規範 (Personal Norm)		
PN1	我覺得我有義務對減緩氣候變遷有所貢獻	0.868
PN2	如果我的生產過程對環境造成破壞，我會覺得有罪惡感	0.797
PN3	低碳農業所追求的目標，與我的價值觀與人生信念相符	0.866
低碳農業態度(attitude toward LCA)		
ATT1	低碳農業對減緩全球暖化是有用的	0.813
ATT2	採用低碳農業技術對我的生產是有用的	0.778
ATT3	低碳農業對環境是有好處的	0.827
控制能力(controllability)		
CL1	我擁有實踐低碳農業的技術	0.880
CL2	我擁有低碳農業的知識與經驗	0.925
CL3	即使採用低碳農業的技術，我仍然可以維持好的產量與品質	0.852
自我效能(self-efficacy)		
SE1	我相信我有能力掌握低碳農業技術	0.861
SE2	我有信心我能輕易達到低碳生產的目標	0.914
SE3	低碳農業生產是很簡單的事	0.752
主觀規範(Subjective Norm)		
SN1	我的家人都覺得農民應該為減緩全球暖化有所行動	0.877
SN2	我的朋友都覺得農民應該為減緩全球暖化有所行動	0.910
SN3	我同事、同儕都覺得農民應該為減緩全球暖化有所行動	0.889
低碳農業採用意圖(adooption intention of LCA)		
INT1	我有意願採用低碳農業技術	0.871

表 4-2 測量項目因素負荷量(續)

研究 構面	測量項目	因素負 荷量
INT2	我計畫未來採用低碳農業技術	0.893
INT3	我會鼓勵親朋好友，一起發展低碳農業 教育輔導政策(education guidance policy)	0.868
PC_EG1	政府有資源協助解決低碳農業技術操作時遇到的問題	0.770
PC_EG2	低碳農業的政策宣導，會讓我想採用低碳農業技術	0.887
PC_EG3	政府提供低碳農業的教育訓練，會讓我想採用低碳農業 技術 經濟誘因政策(economic incentive policy)	0.854
PC_EI1	如果政府禁止高碳排的農耕方式，會讓我想採用低碳農業技術	0.815
PC_EI2	補助低碳農業技術設施或設備的政策，會讓我想採用低 碳農業技術	0.819
PC_EI3	鼓勵消費低碳足跡農產品的政策，會讓我想採用低碳農業 技術	0.860
對氣候變遷知覺風險(perceived risk toward climate change)		
PR1	我擔心氣候變遷造成的天災害會影響我的農業產出	0.827
PR2	我擔心氣候變遷造成的天災會影響我與家人的安全	0.849
PR3	我覺得近年來天災發生越來越頻繁	0.778
社會資本(social capital)		
SC1	我會主動參加青農聯誼會等農民團體的活動	0.857
SC2	我會主動參加試驗改良場(所)的技術示範觀摩	0.858
SC3	我有很多與他人合作的機會	0.704

資料來源：本研究整理

屬於同一個構面的指標必須與屬於其他構面的指標間保持較低的相關性，如此才能確保構面與構面之間具有差異性，也表示量表設計得宜，可將不同概念區隔開。常見判斷方法為 Fornell Larcker 準則，利用該準可判斷構面間是否有區別校度，其原理為先計算特定一個構面的 AVE 平方根，並將該值與其他構面的相關係數進行比較，若 AVE 平方根皆大於與其他構面的相關係數，表示該構面能有效與其他構面做出區隔(Fornell & Larcker, 1981)。如表 4-3 所示，舉例來說，本研究後果意識構面對角線數值為 0.869(即 AVE 平方根)，若本構面有別於其他構面，則此值必



須高於同一欄中下方所有本構面與其他構面之相關係數，如本構面與責任歸屬相關係數為 0.795、與低碳農業態度相關係數為 0.633，皆低於 0.869，以此類推，通過此檢驗即表示後果意識構面夠與其他構面區分，具備區別效度。本研究利用 Fornell Larcker 準則檢驗區別效度，結果顯示各構面皆能有效被區分。



表 4-3 區別效度分析表

	後果意識	責任歸屬	低碳農業態度	控制能力	低碳農業採用意圖	教育輔導政策	經濟誘因政策	個人規範	對氣候變遷知覺風險	社會資本	自我效能	主觀規範
後果意識	0.896											
責任歸屬	0.795	0.901										
低碳農業態度	0.663	0.703	0.806									
控制能力	0.556	0.514	0.477	0.886								
低碳農業採用意圖	0.716	0.785	0.704	0.502	0.877							
教育輔導政策	0.637	0.647	0.522	0.515	0.648	0.839						
經濟誘因政策	0.567	0.636	0.513	0.363	0.634	0.626	0.832					
個人規範	0.688	0.751	0.662	0.389	0.714	0.587	0.603	0.844				
對氣候變遷知覺風險	0.549	0.590	0.597	0.362	0.579	0.401	0.526	0.571	0.818			
社會資本	0.391	0.454	0.377	0.451	0.502	0.442	0.407	0.483	0.496	0.810		
自我效能	0.547	0.553	0.542	0.766	0.591	0.591	0.414	0.537	0.413	0.469	0.845	
主觀規範	0.672	0.618	0.615	0.505	0.585	0.530	0.381	0.626	0.431	0.436	0.593	0.892

資料來源：本研究整理



二、路徑分析及研究假說驗證

(一)結構模型驗證

結構模型之間的因果關係，可透過潛在變數之間的路徑分析進行驗證，本研究參考 Hair et al.(2011)建議，採用拔靴法重複抽樣 5,000 次，進行路徑係數顯著性檢定。本研究總共提出 14 個假設，其中假設 1 與假設 12 為影響實際採用行為的因素，由於本研究觀察到的採用傾向與採用種類多寡屬於二元或計數資料，故將在第二節以迴歸模型進行討論，在此以結構模型路徑之間的假設 2 開始進行驗證。本研究的結構模型路徑關係檢定表如下表 4-4。

表 4-4 路徑關係檢定表

假說路徑		標準化路徑係數	標準差
H2	主觀規範→低碳農業採用意圖	0.036	0.056
H3	低碳農業態度→低碳農業採用意圖	0.250***	0.066
H4	自我效能→低碳農業採用意圖	0.087	0.070
H5	控制能力→低碳農業採用意圖	0.039	0.067
H6	個人規範→低碳農業採用意圖	0.223***	0.085
H7	主觀規範→個人規範	0.262***	0.059
H8	責任歸屬→個人規範	0.589***	0.061
H9	後果意識→責任歸屬	0.795***	0.031
H10	經濟誘因政策 →低碳農業採用意圖	0.161*	0.084
H11	教育輔導政策 →低碳農業採用意圖	0.160***	0.067
H13(a)	對氣候變遷知覺風險→低碳農業採用意圖	0.088	0.076
H13(b)	對氣候變遷知覺風險→主觀規範	0.285***	0.072
H13(c)	對氣候變遷知覺風險→低碳農業態度	0.543***	0.061
H14(a)	社會資本→主觀規範	0.294***	0.090
H14(b)	社會資本→低碳農業態度	0.108	0.068
H14(c)	社會資本→自我效能	0.469***	0.063
H14(d)	社會資本→控制能力	0.451***	0.063

註: *、**及***分別代表在 10%、5% 及 1% 顯著水準下顯著。資料來源：本研究整理



(二)中介效果分析

若解釋變數對應變數有顯著的解釋效果，而此效果是透過第三方解釋變數影響，此時第三方解釋變數被稱之為中介變數(mediator variables)，利用中介變數分析解釋變數是經由什麼途徑影響應變數，其影響程度及影響方向，及稱之為中介效果(mediating effect)，瞭解中介效果的影響，有助於釐清因果關係，提升研究者對現象的理解。檢驗中介效果是否存在的方法可透過下列幾個步驟：(1)先確認先決條件存在，即解釋變數對應變數有顯著影響；(2)接著檢視解釋變數對中介變數的影響是否顯著；(3)最後同時檢視解釋變數、中介變數對應變數的影響效果。若加入中介變數後，解釋變數對應變數的效果變為 0，則表示該中介變數具有完全中介效果(full mediation)，若加入中介變數後，解釋變數對應變數的效果僅有減弱且仍具顯著性，表示該中介變數具有部分中介效果(partial mediation)(Baron & Kenny, 1986)。

Lockwood and MacKinnon (1998)建議可以利用拔靴法(bootstrapping)，計算間接效果的標準誤(standard error)，檢定中介效果的顯著性。當間接效果值 95%信賴區間不包含 0 時，則間接效果顯著，本研究參考 Hair et al. (2011)建議，採用拔靴法 5,000 次。本研究結果由表 4-5 所示，責任歸屬與個人規範在後果意識對低碳農業採用意圖的中介效果為 0.104($p\text{-value} < 0.01$)，此結果與 De Groot and Steg (2009)提出 NAM 中介模型一致；對氣候變遷的知覺風險對個人規範的影響，則會透過主觀規範作為中介，其中介效果為 0.075($p\text{-value} < 0.1$)；主觀規範及個人規範在對氣候變遷的知覺風險對於低碳農業採用意圖中介效果為 0.017($p\text{-value} < 0.1$)；主觀規範對於社會資本影響個人規範的存在中介效果，其值為 0.077($p\text{-value} < 0.05$)；對低碳農業態度在氣候變遷的知覺風險與採用意圖其中介效果為 0.136($p\text{-value} < 0.01$)，若將此結果與表 4-4 並置觀察，可以發現對氣候變遷的知覺風險對低碳農業採用意圖不顯著，這意味著對低碳農業態度具有完全中介效果；個人規範同時為責任歸屬及主觀規範影響低碳農業採用意圖的中介變數，其效果分別為 0.131($p\text{-value} < 0.01$)及 0.058($p\text{-value} < 0.01$)，顯示反映個人道德義務的個人規範對於採用低碳農業技術這



種利環境行為扮演重要角色；社會資本則會透過主觀規範及個人規範中介，影響低碳農業採用意圖，其中介效果為 0.017($p\text{-value} < 0.1$)。綜整以上結果發現，個人規範與對低碳農業態度對於低碳農業採用意圖存在效果為正向的中介效果。

表 4-5 中介效果檢定表

間接效果	估計值	下界	上界
社會資本→低碳農業態度→低碳農業採用意圖	0.027	-0.003	0.077
後果意識→責任歸屬→個人規範→低碳農業採用意圖	0.104**	0.025	0.190
對氣候變遷知覺風險→主觀規範→個人規範	0.075***	0.035	0.140
對氣候變遷知覺風險→主觀規範→個人規範→低碳農業採用意圖	0.017*	0.005	0.039
社會資本→自我效能→低碳農業採用意圖	0.041	-0.022	0.110
對氣候變遷知覺風險→主觀規範→低碳農業採用意圖	0.010	-0.022	0.045
社會資本→主觀規範→個人規範	0.077**	0.026	0.150
社會資本→控制能力→低碳農業採用意圖	0.017	-0.043	0.081
對氣候變遷知覺風險→低碳農業態度→低碳農業採用意圖	0.136***	0.069	0.222
責任歸屬→個人規範→低碳農業採用意圖	0.131**	0.030	0.244
主觀規範→個人規範→低碳農業採用意圖	0.058**	0.017	0.113
社會資本→主觀規範→低碳農業採用意圖	0.011	-0.022	0.052
社會資本→主觀規範→個人規範→低碳農業採用意圖	0.017*	0.005	0.042
後果意識→責任歸屬→個人規範	0.469***	0.360	0.566

註: *、** 及 *** 分別代表在 10%、5% 及 1% 顯著水準下顯著。資料來源：本研究整理

(三) 假設檢定

本研究將結構方程模型所有路徑及中介關係結果(表 4-4 及表 4-5)與顯著性檢定結果，綜合整理如圖 4-1 所示。整體模型對低碳農業採用意圖解釋變異量為



68.4%($R^2=0.684$)，顯示本研究架構對於行為意圖具有高度解釋能力。以下將針對本研究所提出 14 個主要假設分別探討。

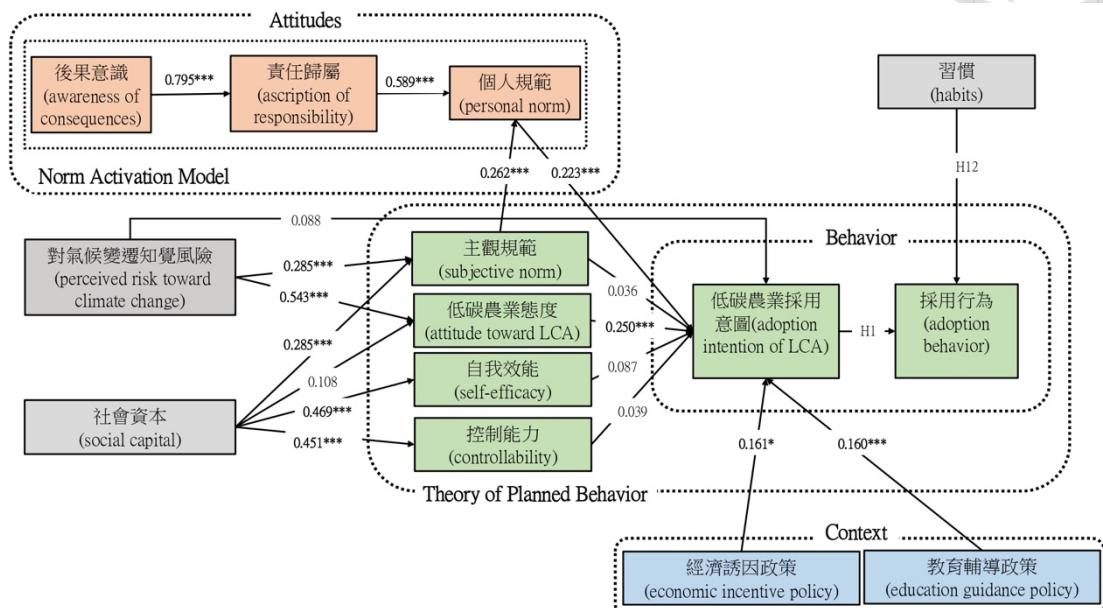


圖 4-1 偏最小平方法結構方程模型路徑關係圖。 資料來源:本研究整理

本研究假設檢定結果如圖 4-1 所示。結果顯示，僅有低碳農業態度對低碳農業採用意圖有顯著正向影響，其標準化路徑係數為 0.250($p\text{-value} < 0.001$)，僅該假設成立。換言之，若農民對低碳農業的技術，正面評價越高，例如認為使用某種技術或操作，對減緩全球暖化環境衝擊、如減少碳排放、增加土壤碳匯、對自身生產是有益處或是利環境等效益，對於採用意圖會提升。過去文獻中，有許多關於態度會正向影響行為意圖的結果(Arunrat et al., 2017; Hou & Hou, 2019; Rezaei et al., 2019; Woldegebril et al., 2017)，本研究在這方面與過去研究結果一致。惟本研究結果中，主觀規範、自我效能與控制能力，對於低態農業意圖意圖皆無顯著影響，相關假設不成立。回顧相關文獻，有許多應用 TPB 解釋行為意圖的文獻支持主觀規範、自我效能與控制能力會正向影響行為意圖的現象存在(Arunrat et al., 2017; Hou & Hou, 2019; Jiang et al., 2022; Wang & Lu, 2021; Woldegebril et al., 2017)，但亦有諸多文獻得到與本研究一樣不顯著之結果，顯示 TPB 對於解釋利己行為變異解釋能力較



高，對於利他行為解釋預測能力較低。Rezaei et al. (2019)針對伊朗農民採用 IPM 技術時，發現主觀規範對意圖無直接影響效果，僅有間接效果；Zhang et al. (2020)比較價值-行為-規範(value-behavior-norm，以下簡稱 VBN)理論與 TPB 理論對農民氣候變遷調適(adaptation)與減緩(mitigation)意圖及行為時發現知覺行為控制對減緩氣候變遷意圖無顯著影響力，但對調適行為則存在正向影響，並發現 TPB 解釋自利導向的調適意圖或行為較為有效，VBN 則較能解釋利他導向的減緩行為或意圖；Yazdanpanah et al. (2014)針對中東及北非農民節水意圖的結果，亦發現控制能力對節水意圖影響不顯著，與本研究一致。此外，本研究也與 Boazar et al. (2019)結果呼應，該研究調查農民對缺水危機進行轉作之調適策略意圖時發現，規範信念(與本研究中主觀規範意涵相同)，對於轉作意圖無顯著影響。綜整本研究與過去文獻相關結果發現，農民的採用低碳農業意圖及行為，屬於減緩生產過程帶來的氣候變遷衝擊之行為，基於氣候變遷的不確定性、複雜性和難以直接察覺的特性，減緩氣候變遷的行為較難以自利的角度探討，換句話說，採用低碳農業相關技術的意圖及行為，與利環境及利他主義較相關，故利用 TPB 的解釋能力有限，需加入更多衡量利環境或利他主義的解釋變數，如信念、價值與個人規範等，方能有效預測與充分解釋，本研究的結果也與前人相關研究論點不謀而合。綜彙前述，本研究假設 2 至 5 檢定結果如表 4-6。

表 4-6 假設 2 至 5 檢定結果

假設	命題	檢定結果
假設 2 (H2)	主觀規範對於低碳農業採用意圖有正向影響。	不支持
假設 3 (H3)	低碳農業態度對低碳農業採用意圖有正向影響。	支持
假設 4 (H4)	自我效能對低碳農業採用意圖有正向影響。	不支持
假設 5 (H5)	控制能力對低碳農業採用意圖有正向影響。	不支持



如圖 4-1 所示，個人規範對低碳農業採用意圖有顯著正向影響，其標準化路徑係數為 0.223(p-value < 0.001)；主觀規範對於個人規範有顯著正向影響，其標準化路徑係數為 0.262(p-value < 0.001)；責任歸屬對於個人規範有顯著正向影響，其標準化路徑係數為 0.589(p-value < 0.001)；後果意識對於責任歸屬有顯著正向影響，其標準化路徑係數為 0.795(p-value < 0.001)，假設 6 至 9 均成立。本研究結果與過去應用 NAM 解釋農民採用利環境生產技術等利他行為之相關文獻結果一致 (Onwezen et al., 2013; Rezaei et al., 2019; Savari et al., 2021; Wang & Lu, 2021; Zhang et al., 2020)。從本研究結果可知，當農民意識到若不採取較友善環境的生產技術或操作方式，會對環境帶來衝擊，並對氣候變遷造成負面後果，會強化其內心保護環境的責任感，進而激起源於內心保護環境的道德義務感，進而促進採用減緩氣候變遷的低碳農業技術之意圖。假設 6 至 7 的成立，也呼應前段所述，應用 NAM 解釋利環境意圖，能增加補充解釋能力，彌補 TPB 對利他行為預測與解釋不足。綜整前述，本研究假設 6 至 9，其檢定結果如下表 4-7。

表 4-7 假設 6 至 9 檢定結果

假設	命題	檢定結果
假設 6 (H6) 個人規範對於低碳農業採用意圖有正向影響。		支持
假設 7 (H7) 主觀規範對於個人規範有正向影響。		支持
假設 8 (H8) 責任歸屬對於個人規範有正向影響。		支持
假設 9 (H9) 後果意識對於責任歸屬有正向影響。		支持

對於假設 10 及假設 11 的驗證，本研究分成兩個階段。第一階段利用結構方程模型分析經濟誘因政策及教育輔導政策，這兩個外部情境因素對於低碳農業採用意圖之影響，第二階段則應用計量模型分析，在控制住社會經濟變數的情況下，瞭解這兩個情境因子對實際採用行為的效果。在此先就這兩個變數對於低碳農業



採用意圖部分進行說明，如圖 4-1 所示，經濟誘因政策其標準化路徑係數為 0.161(p-value<0.1)，對低碳農業採用意圖有顯著正向影響；教育輔導政策其標準化路徑係數為 0.160(p-value<0.001)，對低碳農業採用意圖有顯著正向影響。結果顯示，當農民感受到政府所創造的政策情境支持，如提供操作低碳農業技術所需要的生產設備或設施之補助、推廣低碳足跡農產品，拓展綠色農產品等消費市場等經濟誘因政策，對於農民採用低碳農業意圖有正向影響。此外，教育輔導政策如提供輔導資源、政策宣導或是技術操作之教育訓練，亦會正向影響低碳農業採用意圖。

表 4-8 假設 10 至 11 檢定結果

假設	命題	檢定結果
假設 10 (H10)	經濟誘因政策對於採用行為有正向影響。	對意圖支持
假設 11 (H11)	教育輔導政策對於採用行為有正向影響。	對意圖支持

由圖 4-1 所示，對氣候變遷的知覺風險對於低碳農業採用意圖標準化路徑係數不顯著(p-value > 0.1)；對氣候變遷知覺風險對於主觀規範標準化路徑係數為 0.285(p-value < 0.001)，表示對氣候變遷知覺風險對主觀規範有顯著正向影響；對氣候變遷知覺風險對於低碳農業態度標準化路徑係數為 0.543(p-value < 0.001)，表示對氣候變遷知覺風險對低碳農業態度有顯著影響。假設檢定結果顯示，除了 13a 無證據支持成立，假設 13b 及 13c 皆成立。參考過去文獻結果，農民對氣候變遷造成天然災害的內心擔憂及災害的嚴重性，對利環境行為意圖多有直接影響 (Grothmann & Patt, 2005; Raza et al., 2019; Yazdanpanah et al., 2014)，推測在本次調查中沒有證據支持此關係存在的原因，可能與近年來農業災害補助政策或農業保險政策有關，惟相關解釋變數未納入實證設計中控制，為本研究限制。然而，本研究發現農民對氣候變遷知覺風險與低碳農業採用意圖之間是透過低碳農業技術態度完全中介，此外，對氣候變遷的知覺風險亦會透過主觀規範影響個人規範，間



接影響低碳農業採用意圖，顯示農民從感知到氣候變遷的風險，進而採取風險管理意圖的認知過程中，會仰賴自身對相關技術的態度、有用性及對環境有益性等判斷，或是透過身邊重要的人的評價以及自己道德信念做出評估，進而影響其低碳農業採用意圖。

圖 4-1 所示，社會資本對主觀規範標準化路徑係數為 0.285($p\text{-value} < 0.001$)，對主觀規範有顯著正向影響；社會資本對低碳農業態度標準化路徑係數為 0.018($p\text{-value} > 0.1$)，對低碳農業態度無顯著正向影響；社會資本對自我效能標準化路徑係數為 0.469($p\text{-value} < 0.001$)，對自我效能有顯著正向影響；社會資本對控制能力標準化路徑係數為 0.451($p\text{-value} < 0.001$)，對控制能力有顯著正向影響。過去文獻研究與本研究結果大致一致(Castillo et al., 2021; Grothmann & Patt, 2005; Woldegebrial et al., 2017)，惟社會資本對低碳農業態度影響在本研究中無顯著差異。Castillo et al. (2021)將社會資本拆解成普遍信任(general trust)、制度信任(institutional trust)、人際網絡(network)及成員性(membership)，其中制度信任以及對人際網絡、合作對象中的普遍信任，有助於農民形塑對節水技術的正向態度，故本研究推測，本研究中社會資本對低碳農業態度無顯著正向影響的原因，可能源於農民對於制度或人際網路中尚未對農業淨零議題形成足以信任的論述，亦無法行程實質層面或知識層面的合作交流關係，故對低碳農業相關技術之態度無法產生顯著的影響。儘管如此，社會資本仍然會透過主觀規範及個人規範的中介作用，間接影響低碳農業採用意圖，存在間接的正向影響效果。

表 4-9 假設 13 至 14 檢定結果

假設	命題	檢定結果
假設 13a(H13a)	對氣候變遷的知覺風險對於低碳農業採用意圖 有正向影響。	不支持

表 4-9 假設 13 至 14 檢定結果(續)



假設	命題	檢定結果
假設 13b(H13b)	對氣候變遷的知覺風險對於主觀規範有正向影響。	支持
假設 13c(H13c)	對氣候變遷的知覺風險對於低碳農業態度有正向影響。	支持
假設 14a(H14a)	社會資本對於主觀規範有正向影響。	支持
假設 14b(H14b)	社會資本對於低碳農業態度有正向影響。	不支持
假設 14c(H14c)	社會資本對自我效能有正向影響。	支持
假設 14d(H14d)	社會資本對控制能力有正向影響。	支持

第二節 採用行為分析

從第一節中應用 PLS-SEM 實證結果得知，在沒有考慮社會經濟變數的情況下，農民對低碳農業態度、個人規範、經濟誘因政策及教育輔導政策，會直接正向影響低碳農業採用意圖，而對氣候變遷風險知覺、社會資本、後果意識與責任歸屬則會間接正向影響。本研究為進一步瞭解，在控制社會經濟變數的差異後，相關心理或情境因素對實際行為之效果，應用 probit 模型及負二項迴歸分別估計其採用傾向及採用種類多寡之影響效果，作為檢驗「假設 1：低碳農業採用意圖對於採用行為有正向影響」的實證依據。另外，在本節中同時檢驗「假設 12：習慣對於採用行為有負向影響」。由於習慣係直接影響行為的變項，在分析行為意圖時未放入 PLS-SEM 中進行分析，故本研究另利用 Stata 17 計算其 Cronbach's α 為 0.477，雖低於建議值 0.7，但參考 Hair et al. (1998)認為，若研究性質屬於探索性，構面的信度低於 0.7 亦可以接受，本研究將加入習慣變數，欲探索過去經驗形塑的習慣對實際採用行為的影響，故以下採用傾向及採用種類多寡之分析，皆納入分析。



一、 低碳農業技術採用傾向

本研究為瞭解在控制住社會經濟背景的差異後，內部因子與情境因子對採用傾向的影響，將完全未採用任何低碳農業技術與至少採用一種低碳農業技術，用逐步迴歸(stepwise)的方式建立較穩健的 probit 模型，並加入社會經濟變數作為控制變數，評估不同因素影響採用傾向的效果，結果如表 4-10。

在社會經濟變數方面，作物種類若以蔬菜為基準組，水稻估計係數為-0.5985($p\text{-value} < 0.1$)，但其邊際效果-0.1101($p\text{-value} > 0.1$)，無達到 10% 顯著水準，故僅在模型中作為控制作物種類造成的差異，不視為感興趣的變數做進一步討論。在居住地區方面，本研究將農民的居住地，依據行政院農業委員會農糧署各區分署劃分之區域作為農業區劃分依據(北、中、南及東部地區)重新進行分類，以南部地區為基準組，各農業地區採用傾向無顯著差異。栽培面積及其平方項之估計係數分別為-0.1583($p\text{-value} < 0.1$)及 0.0139 ($p\text{-value} < 0.01$)，顯示採用傾向與栽培面積可能存在非線性關係，且採用傾向與栽培面積整體關係呈現 U 型，其經濟意義為隨著栽培面積增加，採用機率下降，達到某轉折點後，採用機率才可能會隨著栽培面積增加而上升，推測可能是在一定範圍內，栽培面積小的農民，對採用技術損失風險感知與大面積的農民有所差異，故隨著栽培面積越大，操作方式趨於保守，採用傾向下降，直到某一特定規模轉折，抑或是源於小農與大專業農之間的差異所造成，未來需要進一步釐清。另一方面，年齡及年齡平方項估計係數分別為 0.1805($p\text{-value} < 0.05$)及-0.0021($p\text{-value} < 0.1$)，顯示採用傾向與年齡呈整體現倒 U 型關係，表示隨著農民年紀增加，採用機率上升，由於本研究調查對象主要為 18 至 45 歲之青年農民，年齡變數的取值多侷限在此區間內，故資料可能僅呈現倒 U 曲線之左半部，這意味著青年農民自承接家中事業或是轉換職涯進入農業生產事業後，在 45 歲之前，隨著年紀增加採用傾向逐漸增加，但增加的邊際效應遞減。

關於內部因子，對低碳農業的態度其估計係數為 0.6910($p\text{-value} < 0.01$)，顯示對低碳農業的態度越正向，認為採用相關技術對減緩全球暖化或環境及生產是有



用等態度，付諸於實際行動的機率也隨之提升，與過去文獻結果一致(Arunrat et al., 2017; Daxini et al., 2018; Rezaei et al., 2019)，其平均邊際效果(average marginal effect)，對低碳農業的態度每增加 1 單位，採用機率平均增加 12.23%，此外，由利環境態度所形塑的個人規範在 PLS-SEM 結構模型中同樣也是對低碳農業採用意圖有正向影響的心理構面，然而在本模型中因為對預測採用傾向無統計顯著性，在逐步迴歸的程序中遭移除，意味著對於實際採用行為，基於 TPB 的態度，可能還是農民主要決策依據之一。自我效能的估計係數為 0.5805($p\text{-value} < 0.05$)，顯示對於實際付諸於行動，取決於農民對於自己是否有能力採用相關低碳農業技術的信心，平均邊際效果估計係數為 0.1028($p\text{-value} < 0.05$)，農民對自我效能的感知每提升 1 單位，其採用機率平均增加 10.28%。將此結果與第一節 PLS-SEM 的實證結果併列檢視，在 PLS-SEM 中，自我效能對於採用低碳農業技術此類減緩氣候變遷的利環境行為意圖，沒有顯著影響，然而，在付諸於實際行動時卻扮演重要角色，本研究結果與 Zhang et al. (2020)的發現一致，對於氣候變遷調適行為，似乎還是以利己考量為主的 TPB 較有解釋能力。社會資本的估計係數為 0.7855($p\text{-value} < 0.01$)，平均邊際效果為 0.1391($p\text{-value} < 0.01$)，每提升社會資本 1 單位，採用機率平均提升 13.91%，顯示社會資本對於農民採用傾向有非常重要的影響，本研究結果與過去文獻中有許多一致之處(Castillo et al., 2021; Jordan, 2005; Liu & Zheng, 2021; Woldegebrial et al., 2017)。社會資本是衡量能夠影響農民行動會決策的重要社會資源，對制度的信任關係、普遍信任關係、人脈網絡、成員性或社會規範等，都可以反映社會資本的多寡。與前節 PLS-SEM 結果比較，在 PLS-SEM 中，社會資本對於採用意圖，僅能透過主觀規範及個人規範中介，間接正向影響採用意圖，並且對低碳農業態度無顯著影響，然而在實際付諸行動時，卻對採用傾向有顯著影響效果，推測可能由於農民社會資本有助於群聚合作，透過觀摩交流、降低資訊搜尋成本，達到互相學習並促進知識交流與外溢，進而提升採用傾向。此外，比較對低碳農業態度、自我效能與社會資本的平均邊際效果大小，可以發現對採用傾向的影響程度以社會資本



最大(平均邊際效果 0.1391)，其次為對低碳農業態度(平均邊際效果 0.1223)，最後則是自我效能(平均邊際效果 0.1028)。

習慣對採用傾向的估計係數為-0.6830(p -value < 0.01)，其平均邊際效果為-0.1204(p -value < 0.01)，顯示過去經驗所形塑的習慣會可能成為阻礙採用不同技術的因子，與本研究假設一致，過去文獻中對於習慣對行為造成的影響方向常有不同結果(Boazar et al., 2019; Le Dang et al., 2014; Raza et al., 2019)。由於農民耕作習慣受到過去經驗以及行為頻率所形塑，是具有重複性(repetition)及自動性(automaticity)的行為，常被認為屬於無意識的過程，換句話說，習慣常在無意識的情況下成為行為的驅動力或是阻礙之一，過去常被重視理性行為的決策研究所忽略，然而，若無意識對於行為的影響強烈，將成為主宰行為重要因素。由本研究的實徵結果也意味著，過去農民經驗中，可能較少對氣候變遷調適或減緩的行動，在無過去經驗形塑栽培習慣的狀況下，習慣對實際採用傾向有負效果，成為行為發生的阻礙之一，是本研究預期內的結果。

在情境因素方面，本研究發現經濟誘因政策估計係數為 0.0335，且無達到 10% 顯著水準，表示經濟誘因政情境對實際行為無顯著影響，雖然在前節 PLS-SEM 分析中，經濟誘因政策對採用低碳農業採用意圖存在顯著的正向影響，但卻無助提升採用傾向之機率，顯示目前經濟誘因政策尚未形成對行為有影響效果的外部情境。本研究推測可能原因及論述如下：經濟誘因政策制度是政府透過財政手段，利用市場機制，鼓勵或誘導行為發生的策略，在農業生產中，透過獎勵、對地環境給付或補助生產設施與設備是常見策略之一，亦是目前主要的做法，並常與其他配套措施堆疊施行。然而，補助生產的設施或設備，對農民來說，在感知上可能沒有直接與生產過程中排放溫室氣體的行為產生關聯，換句話說，農民在獲得的補助時，可能不一定需要做出利環境、減緩氣候變遷衝擊的行為，仍然能基於其他生產需求或政策目標獲得補助，更進一步說，農民並未感知到自己之所以能獲得補助，是基於自身做出利環境、減緩氣候變遷衝擊的行為之獎勵，故在實際採用傾向上，經濟誘因



並無顯著影響效果。從另一個角度思考，在環境管理領域中，對廠商的經濟誘因策略，多是促進廠商對環境負外部性(negative externality)轉化為成本效益的過程，例如透過碳權交易，將外部成本內部化，並且搭配命令控制的政策，如課徵碳費或碳稅，促使廠商採用降低污染的新技術。對農民來說，農業生產具有增加碳匯、減少碳排的潛力，在碳權交易市場中，是潛在的賣方，但相關制度在臺灣尚未完善，包含量化碳匯、減碳的方法學(methodology)、買賣碳權的交易機制或平台，此外，對於需要揭露企業 ESG(Environment, Social, Governance)的企業，低碳農產品有潛力滿足企業對於環境面的需求，亦是市場潛在經濟誘因，有待與市場經濟誘因有關情境成熟。目前臺灣正積極完善量化農業減量增匯的科學方法，並提出許多具市場誘因的公私協力政策²³，本研究受限於橫斷面調查，無法追蹤經濟誘因政策後續效應，故未來經濟誘因政策的情境因素，隨著政策實質執行細節完善及落實，其效果值得進一步追蹤及探討。

教育輔導政策情境因素估計係數為-0.7874(p-value < 0.01)，平均邊際效果為-0.1394(p-value < 0.01)，顯示教育輔導政策對採用傾向有負效果，與本研究原先預期結果相反，亦與多數過去研究相反(Arunrat et al., 2017; Opara, 2008; Suvedi et al., 2017)。儘管如此，仍有相關文獻有與本研究相似的結果，Woldegebrial et al. (2017)針對農民採用不同永續栽培技術的研究中，發現經常從農業推廣工作者取得資訊的農民，會透過對規範性問題(normative issue)產生負向影響，間接降低採用最低整地栽培(minimum tillage)之意圖，顯示推廣教育輔導的效果可能受到其他因素影響，對利環境行為產生非原先預期的效果。由於農業推廣輔導政策涉及因素廣泛，所推廣的技術複雜程度、推廣教育的傳播理論方法、農民社會經濟背景、甚至是推廣人員的專業素養等因素，皆與教育輔導政策欲創造的情境有關，並進而影響行為，相關變數在本研究實證設計上未列入考量加以控制，無法正確辨識影響的成因，故為

²³112年2月7日行政院農業委員會新聞稿-農委會推出農業永續 ESG 專案 期透過公私協力共創雙贏互利(https://www.coa.gov.tw/theme_data.php?theme=news&sub_theme=agri&id=8943)



本研究限制之一。Moser (2010)認為，許多原因可能會造成與群眾溝通氣候變遷時的困難，例如氣候變遷的成因抽象無法直觀察覺，因此民眾可能缺少直接的經驗，天然災害發生的區域與產生氣候變遷衝擊的行為(碳排)有可能屬不同地理位置，缺乏關聯感、氣候變遷發生的因果作用在時間上缺少即時性，即現在的行為產生的衝擊效應，需要多年後才會發生，此外，採取減緩活動屬於利他行為，缺乏需求滿足感，及對人們對於人類活動是否真的造成氣候變遷的懷疑(disbelief)等特性，都可能會造成氣候變遷相關知識、風險溝通與訊息傳遞之阻礙。因此，負責第一線執行推廣輔導教育的人員，其輔導教育與風險溝通能力，可能是教育輔導政策效果不如預期的關鍵。Berlo (1977)提出 SMCR 傳播理論，將傳播過程拆解成訊息來源 (Source)、訊息(Message)、管道(Channel)及接受者(Receiver)四個要素組成，大眾傳播的最後效果是由這四個要素環環相扣，共同影響溝通的效果，換言之，若其中有一個要素產生非預期的效果，對最終受眾的行為，都有可能產生與預期相反的影響。Arunrat et al. (2017)曾分析 SMCR 對泰國農民採取氣候變遷調適行為的影響，發現四個要素對技術採用機率皆呈現正向影響，並且訊息來源及訊息會分別影響主觀規範及知覺行為控制，間接正向影響採用意圖。本研究試圖從 SMCR 觀點，對於在實證資料中教育輔導政策造成採用傾向負向效果，推測可能原因分述如下：(1) 傳播的資訊與技術：由於低碳農業相關技術語言艱澀、操作所產生的效果、環境作用機制複雜，如某特定操作的減碳或增匯的機制，操作的目的可能是具有多重目標(同時減碳、增匯、穩定產量等其他環境效益)，相關的資訊量龐大，需要有適合及有效的轉譯方式，為了保持資訊精確與真實性而提供太過詳細且複雜的資訊，可能會讓接受者感到難以理解，阻礙期採取行動，但若為求溝通效率，採用過於簡化的論述，可能會讓接受者產生錯誤的預期，當預期與現實無法調和時，亦有可能產生不願行動，甚至是減少行為傾向的狀況，故傳播資訊的轉譯拿捏非常重要，這取決於推廣人員對受眾的背景瞭解程度以及推廣人員自身的溝通表達能力。此外，傳播的技術可以倚賴媒體、文字、圖像、社群媒體等媒介，並且採取哪些管道，這取決



於推廣人員對相關工具與管道的操作及掌握能力；(2)傳播者的背景：傳播者對於所傳遞知識的瞭解程度及態度，除了會影響傳播資訊的轉譯與傳播技術的效果，也會影響接受者心中的觀感，若傳播者本身對淨零碳排的知識無足夠瞭解，沒有豐富的知識與回答第一線問題的能力，較難在接受者心中建立信賴感，更有甚者，造成負效果；(3)接受者社會經濟背景：接受者的社會經濟背景，如年齡、栽培面積、教育程度、收入等，皆會影響其對訊息的解讀與信賴，本研究調查對象為 18 至 45 歲青年農民，這個世代的農民教育程度與資訊搜集能力普遍較高，對於政府政策的教育與輔導可能較容易產生質疑與挑戰，然而，資訊搜集能力並不等於擁有資訊識讀的能力，若市面上充斥錯誤或互相矛盾的訊息，容易產生認知上的混淆，造成推廣輔導政策效果不如預期，對於官方訊息產生負效果，亦不無可能。

表 4-10 採用傾向 probit 模型

解釋變數	估計係數	穩健標準誤	邊際效果	delta-method 標準誤
男性	0.3665	0.2795	0.0669	0.0511
水稻與雜糧 ^a	-0.5985*	0.3521	-0.1101	0.0690
果樹	-0.3253	0.3124	-0.0552	0.0535
花卉	-0.5111	0.4117	-0.0917	0.0813
茶及其他特作	0.3964	0.6428	0.0520	0.0751
北部地區 ^b	0.1638	0.3059	0.0290	0.0540
中部地區	0.1030	0.3284	0.0186	0.0589
東部地區	0.0407	0.4644	0.0075	0.0846
栽培面積	-0.1583*	0.0844	-0.0280*	0.0151
栽培面積平方項	0.0139***	0.0050	0.0025**	0.0009
年齡	0.1805**	0.0870	0.0319**	0.0145
年齡平方項	-0.0021**	0.0009	-0.0004**	0.0002
從農經驗	0.0179	0.0196	0.0032	0.0035
對低碳農業態度	0.6910***	0.2578	0.1223***	0.0427
控制能力	0.2076	0.1935	0.0367	0.0335
自我效能	0.5805**	0.2333	0.1028**	0.0408
對氣候變遷知覺風險	0.0357	0.2647	0.0063	0.0469

表 4-10 採用傾向 probit 模型(續)

解釋變數	估計係數	穩健標準誤	邊際效果	delta-method 標準誤
社會資本	0.7855***	0.2470	0.1391***	0.0386
習慣	-0.6803**	0.2784	-0.1204**	0.0482
經濟誘因政策	0.0335	0.2136	0.0059	0.0379
教育輔導政策	-0.7874***	0.2242	-0.1394***	0.0366
常數項	-5.9496	2.5140		
Pseudo R ²			0.3521	
LR chi-square			51.14***	

註：1.^a基準組為蔬菜；^b基準組為南部地區。2. *、**及***分別代表在 10%、5% 及 1% 顯著水準下顯著。資料來源：本研究整理

二、低碳農業技術採用種類多寡

本研究衡量採用行為的另一個指標為採用種類多寡，搜集農民採用低碳農業相關計數資料，應用負二項迴歸模型分析。為利進行行為模型穩健性評估，本模型應用與 probit 模型相同的解釋變數及控制變數，解釋影響採用數量的因素，針對影響採用傾向與採用數量差異之處進行分析，並聚焦在相異之處討論，結果如表 4-11，其中 α 值 95% 信賴區間介於 0.0183 至 0.2735，顯示 α 顯著大於 0，表示資料存在過度離散的現象，適合使用負二項迴歸進行配適。

與影響採用傾向的因子不同，社會經濟變數中，僅有從農經驗對於增加採用的技術種類，有正向影響，其估計係數為 0.0121($p\text{-value} < 0.1$)，顯示採用數量的多寡，與實際從事農業工作的經驗存在正向影響，與過去研究一致(Arunrat et al., 2017)，然而從農經驗為社會經濟變數中唯一顯著的因素，與採用傾向不同，推測可能是隨著農民從農經驗豐富，在瞭解現有技術的優勢與缺點後，會進而考慮採用其他技術，增加採用種類的數量，進行不同技術種類的互補或協同增益等多重目標。其他內部心理因子，如自我效能、社會資本及習慣，其估計係數分別為 0.2022($p\text{-value} < 0.05$)、0.2419($p\text{-value} < 0.01$)及 -0.2738($p\text{-value} < 0.01$)，其影響方向與影響採用傾向之方向皆一致，顯示自我效能、社會資本兩個因素，不論是對於採用傾向或採用



種類多寡，都具有非常重要的影響力。Capa-Aydin et al. (2018)認為自我效能會受到優勢經驗(mastery experience)直接及間接效果影響，且解釋能力達 50%，基於此，本研究推測，農民若從無任何採用經驗到初次技術採用經驗的過程屬於優勢經驗，其後續增加採用種類的機率也較高，故未來推廣策略可透過分群分眾的推廣，對於毫無採用經驗者與有相關經驗者分別推薦不同的技術，對於無採用經驗者，可聚焦在低門檻、好操作的方式，促進其優勢經驗的形塑，增加後續採用機率。對與採用技術種類多寡具有正向影響的因子中，以社會資本影響最大(平均邊際效果為 0.7506)、其次為對氣變遷知覺風險(平均邊際效果為 0.6507)最後則是自我效能(平均邊際效果為 0.6272)，與分析採用傾向的 probit 模型結果相比，社會資本都是影響效果最大的因子，而自我效能則同時對採用傾向及採用種類多寡有影響，對低碳農業態度、氣候變遷知覺風險僅各自分別對採用傾向及採用種類多寡有影響。

習慣對於採用種類多寡的影響，與對採用傾向效果相同，不只減低採用傾向的機率，同樣也會可能成為農民進增加採取其他技術的阻礙，是不容忽視的潛在阻礙因子，未來需要進一步探討其作用的機制。對低碳農業態度對於採用傾向有顯著影響，但對於採用種類多寡，則沒有影響，其估計係數未達顯著水準。值得注意的是，對氣候變遷的知覺風險期估計係數為 0.2098($p\text{-vlaue} < 0.1$)對採用種類多寡有顯著正向影響，與過去相關文獻結果一致(Raza et al., 2019)，Milne et al. (2000)針對保護動機理論(Protection Motivation Theory)進行後設分析(meta-analysis)發現，在保護動機形成的威脅評估(threat appraisal)認知過程中，不同研究都一致發現對風險的知覺嚴重性會正向影響保護動機與行為，與本研究的結果不謀而合，也意味著當農民感受到氣候變遷的知覺風險越高，對於天然災害的內心擔憂、嚴重性感受程度及對於天然災害發生的主觀機率越強烈，其擔憂將越有可能轉化成保護動機並展現實際行動，例如透過採用更多的技術種類加強自身經營的調適韌性。



表 4-11 採用種類負二項迴歸模型

解釋變數	估計係數	穩健標準誤	邊際效果	delta-method 標準誤
男性	0.1518	0.1059	0.4575	0.3115
水稻與雜糧 ^a	-0.1292	0.1558	-0.3755	0.4380
果樹	0.0947	0.1087	0.3078	0.3583
花卉	-0.1628	0.1948	-0.4657	0.5239
茶及其他特作	0.1598	0.1790	0.5371	0.6373
北部地區 ^b	0.0385	0.1075	0.1167	0.3254
中部地區	0.1478	0.1246	0.4737	0.4066
東部地區	-0.0338	0.1809	-0.0987	0.5237
栽培面積	-0.0056	0.0140	-0.0173	0.0436
栽培面積平方項	0.0002	0.0003	0.0007	0.0009
年齡	0.0520	0.0404	0.1612	0.1245
年齡平方項	-0.0006	0.0004	-0.0020	0.0013
從農經驗	0.0121*	0.0074	0.0376*	0.0228
對低碳農業態度	0.1026	0.1051	0.3184	0.3245
控制能力	0.1222	0.0838	0.3791	0.2579
自我效能	0.2022**	0.0927	0.6272**	0.2897
對氣候變遷知覺風險	0.2098*	0.1182	0.6507*	0.3704
社會資本	0.2419***	0.0829	0.7506***	0.2584
習慣	-0.2738***	0.0916	-0.8493***	0.2787
經濟誘因政策	0.0522	0.0751	0.1620	0.2319
教育輔導政策	-0.2114**	0.0822	-0.6560	0.2529
常數項	-1.9769	0.9378		
Pseudo R ²		0.0856		
LR chi-square		107.47***		
lnα		-2.649265 [-4.0020, -1.2965]		
α		0.0700 [0.0183, 0.2735]		

註：1.^a基準組為蔬菜；^b基準組為南部地區。2. *、**及***分別代表在 10%、5% 及 1% 顯著水準下顯著。[] 內為 95% 信賴區間。資料來源：本研究整理

綜整第二節分析實際採用行為的結果，本研究假設 1 及假設 10 至 12 檢定表如表 4-12。在 PLS-SEM 中，本研究觀察到以 TPB 及 NAM 模型主要形塑的採用低碳農業採用意圖，利環境態度所形塑的個人規範，具有重要角色，能提高對意圖的



解釋能力，整體模型對低碳農業採用意圖解釋變異量為 68.4%。但是在實際行為表現上，僅有以 TPB 為主的因子(對低碳農業態度、自我效能)及社會資本、對氣候變遷知覺風險對影響採用傾向及採用種類多寡有顯著的效果，顯示在付諸於實際行動上，意圖與行為有部分不一致的情形，換言之，雖然採用意圖可以被利環境的態度高度解釋，但實際行為，很可能僅來其中的利己考量的效果，對於這種利環境態度與行為不一致的情形，Stern (2000)曾指出，若只想依賴道德規範與教育方法誘導具環境意義的行為產生改變，常常有令人失望的結果，本研究結果似乎也呼應了此論點。另外值得注意的是，情境因子在本研究中雖然對意圖有正向影響，但對行為的影響與一開始預期具有落差，Stern (2000)就曾提醒，情境因素對於持有不同態度或信念的人，可能具有不同的意義，本研究的結果似乎也間接支持這個觀點。

表 4-12 假設 1 及假設 10 至 12 檢定表

假設	命題	檢定結果
假設 1(H1)	低碳農業採用意圖對於採用行為有正向影響。	支持
假設 10(H10)	經濟誘因政策對於低碳農業採用行為有正向影響。	意圖支持； 實際行為不支持
假設 11 (H11)	教育輔導政策對於低碳農業採用行為有正向影響。	意圖支持； 實際行為不支持
假設 12 (H12)	習慣對低碳農業採用行為有負向影響。	支持



第五章 結論與建議

本研究旨在瞭解外部情境因素是否能驅動農民採用低碳農業的技術，以及農民對低碳農業採用意圖是否為影響其採用傾向與採用多種不同技術的主要因素，補足對利環境意圖與行為的知識缺口。由前述的研究結果與討論，總結出以下幾點結論與建議。

一、理性選擇模型解釋意圖能力有限，研究農民利環境行為需有更多考量

基於理性選擇的行為意圖，長期以來一直是解釋人們行為動機的焦點，由於行為與意圖互為表裡，人們在現實世界的行為，背後都有一套錯綜複雜的行為機制，並且彼此之間相互影響著，瞭解行為背後的意圖與形塑意圖的成因，才有改變人們行為的可能。已有許多研究發現，僅倚賴理性行為為基礎的模型去解釋具環境意義的行為，其效果往往無法令人滿意，這樣的觀點在本文的實證結果中也得到支持。從本研究實證資料的結果顯示，農民如果能夠理解氣候變遷可能會造成哪些不良後果，並轉化成生產者願意承擔的責任歸屬，才會進一步形塑其道德意識與義務感，形成一種源於內心的個人規範，這種出於保護生態、關懷環境的利他精神為核心價值的信念，不僅對採取行動的意圖有正向的力量，亦能提升模型對意圖的解釋能力。建議未來若要針對相關議題進行研究，需考量基於道德、信念與規範等因子，並延伸擴充理論模型，方能捕捉到更多非理性決策的變異，得到較高的解釋與預測能力。

二、影響實際行為與意圖的因子有所不同，習慣是技術採用潛在阻礙

人們對議題產生態度，形塑行為的意圖，進而採取行動，這是理性行為理論的基本概念。然而，本研究結果顯示，對實際行為產生效果的因子，與會影響意圖的因子，可能有不一致的現象，正是這種現象，讓具環境意義的行為難以單純僅用一種角度，或僅用一套行為理論就能自說自話地解釋。由前述的結果顯示，結合基於



理性選擇的與個人規範的模型，能有效解釋行為意圖，本研究在調查實際採用傾向與採用數量後發現，對於實際行為，僅有自我效能、社會資本、對氣候變遷的知覺風險及對低碳農業的態度，具有顯著影響效果。顯示源於理性選擇的因素與考量，仍然是農民將採用意圖付諸實際行動主要驅動因子，實際行為可能還是取決於農民對操作能力的信心、擁有的社會資本多寡以及調適氣候變遷風險帶來的風險的心理。而個人規範等道德義務感所形成的態度，仍不足以轉化成行動力，未來需要更深入研究，瞭解背後可能干擾或影響的因子。政府近年來針對青年農民投入豐富的輔導資源與執行許多措施，如輔導成立各地區青年農民聯誼會、鼓勵青年農民群聚合作成立團隊、各種創新經營補助案等，塑造鼓勵創新經營的大環境，這些強化青年農民社會資本的措施，從本研究結果中，也看到相關政策帶來的正面效果。在相關政策上，未來建議可持續促進農會、青年農民同儕間、聯誼會之間、與農試驗改良場(所)的專家、推廣人員、產業顧問、學術界之間交流互動，強化個人、組織內及組織間不同層次的社會資本。此外，不同類型的地方青農團體，因成員及結合成因不同，亦可擬定不同的輔導策略，如以重視人脈交流、知識分享及人際互動等聯誼性質為主的開放性青年農民社群，與因有共同目標，聚焦在合作、執行與發展較緊密結合的團體，可能需要的輔導資源有所不同，就本研究議題來說，前者可能較重視知識喚醒，以瞭解氣候變遷、農業淨零碳排的科普資訊為主，後者則可能對於採用技術、執行或應用面可能有較高的採用傾向，需要更深入的知識與輔導強度。根據本研究 PLS-SEM 的結果顯示，強化社會資本，亦能正向增強農民的自我效能，進而提高採用傾向與採用種類，值得注意的是，由於自我效能是反映農民對自身能力信心的指標，而信心需要隨時間培養與累積，較難透過政策干預達到立竿見影的效果，故本研究建議未來對於氣候變遷相關知識與概念推廣的對象，除了透過農民學院課程傳遞，亦可從小開始建立相關知能，如透過農會四健會、農業公費專班或農校生，提早建構自我效能。



如果利環境的態度強烈，且順利促成行為意圖後，在實際行動上卻不盡如人意，進一步檢視有哪些因素造成行為的阻礙與限制，或許能找到改變實際行為的解方。從本研究結果顯示，習慣對於採用行為有顯著的負向影響，是主要障礙之一，然而障礙往往是共絆而生，除了心理因素的習慣帶來的障礙，社會經濟背景所造成的障礙，如教育程度、財務、收益、不同產業實務現況等障礙，亦有可能阻礙實際行為發生。由於習慣的影響方向有正向或負向的可能，故培養利環境的生產操作習慣，或是培養盡可能降低環境衝擊的生產操作習慣，亦是改變習慣影響的策略之一。對於習慣對行為造成的負面影響，建議未來輔導改善策略可從先從微小的改變做起，對於剛接觸新技術的農民，以過程導向為主，避免過度強調最終的結果或目標，例如避免對剛投入低碳農業生產的農民，就設定減碳或增匯後可進行碳權交易等難度較高目標；由於習慣是一種無意識狀態下的行為阻礙，透過作業環境設計或心理提示喚醒意識或許為可行方法，例如能源或資源購買時帳單收據標示碳排量、要求農藥或肥料產品販售時必須標示產品碳足跡、標示設施設備標示節能效率，如此一來農民生產時較容易接受到環境提示，具有意識的行為，才有打破習慣的可能；避免輔導初期大幅度的耕作制度調整，造成與過去習慣衝突，引起農民對作物生產與不穩定的擔憂；以地方社群為中心，進行氣候變遷的知識、風險或相關技術的溝通、教育與觀摩，並持續參與、觀察與調整輔導策略。另建議未來關於農民利環境行為的研究中，應將習慣的成因與效果列入考量，深入瞭解習慣在利環境決策行為中的影響機制，對於打破固守習慣，建立新的習慣將有所助益。

三、情境因子對意圖與行為皆有影響，善用政策工具創造情境，創造環境與生產雙贏

在本研究中發現情境因子對於行為意圖存在正向影響，對實際行為，卻有不一致的結果。過去在農業經濟或農業推廣研究中，情境因子對利環境的影響較少研究，本研究結果顯示，經濟誘因政策對意圖有正向影響，對實際行為則無顯著影響，未



來建議對於經濟誘因的設計，應強化農民將氣候變遷衝擊行為與補助獎勵之間的連結，提升經濟誘因誘導行為發生之效果；完善農業減量、增匯的量化方法，由於相關量化計算方法複雜，若有關單位能在以計算結果具有公信力的前提下，盡量簡化過程，將可能提升農民對相關經濟誘因的感知；完善碳權交易的機制與平台，由於碳權交易需要有足夠量體，對小農來說可能門檻較高，友善小農的交易方式為可思考的方向之一，由於本研究為橫斷面調查，受限於調查時間，建議未來研究方向，可持續針對經濟誘因政策情境進行追蹤。

針對目前的教育輔導策略對採用行為產生的負效果，本研究建議未來教育輔導策略上，可從重視資訊品質、傳播技術與管道、推廣人員的職能、接受者的背景等幾個面向探討。資訊品質方面，由於相關技術的語言、操作產生的效果、作用機制複雜，理解門檻較高，過於簡化或過於精確完整的資訊，對受眾理解都有不同程度的效果，難以理解或過度簡化的內容，可能都會成為行動的阻礙，建議對於農企業、農民等不同對象的推廣教育教材，能有不同深度與廣度的資訊內容，並確保資訊的品質、正確性與公信力，方能說服受輔導對象；傳播技術方面，大眾傳播多依賴文字、圖像、聲音等媒介，管道有實體、傳統媒體與社群媒體，不同管道的受眾，對於不同資訊載體亦有可能有不同效果，故進行推廣教育時，需要量身定做，才能得到預期的效果；推廣人員的職能方面，推廣人員對相關議題的專業知識、嫋熟程度以及態度，不僅會影響推廣教育的效果，亦會影響受眾的觀感，且農業推廣人員背景多元，除了推廣教育所需的溝通技巧外，具備能統合講述農業生產、氣候變遷、大氣科學或環境管理等相關知識的能力亦相當重要，若有不足，可能會造成受眾的質疑與抗拒，故建議未來政府須針對推廣人員進行職能建構，強化推廣人員教育輔導的量能及氣候變遷風險溝通能力；農民的背景，如社會地位、經濟能力、文化背景，會影響對氣候變遷議題先入為主的態度、信念與價值，這些因子都會影響或干擾農民對於教育輔導政策欲傳達的訊息之解讀，進而影響效果，若在制定輔導策略

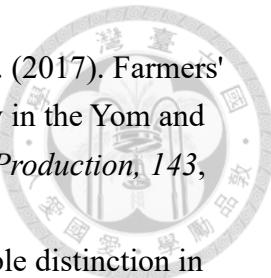
上，沒有考量接受者的背景量身定做適合的溝通與輔導策略，可能會造成反效果，故建議未來輔導策略應考量受眾不同背景差異，做出更細緻的分眾或分群輔導。





參考文獻

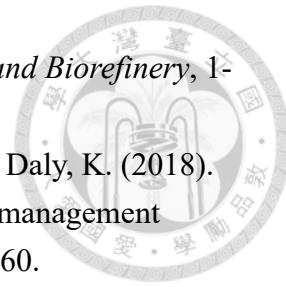
- 王明妤、林玠恒、方治文、涂安蓉、張甄育、林倩如(2011)。農民持續採用有機耕種行為意圖之研究：以計畫行為理論為基礎。台灣農學會報，12 (1)，68-88。
- 吳秉諭、何姿穎、陳琦玲(2013)。因應氣候變遷-農業生產管理與溫室氣體減排。農政與農情，252：6-10。
- 林宗弘、蕭新煌、許耿銘(2018)。邁向世界風險社會？台灣民眾的社會資本、風險感知與風險因應行為。調查研究-方法與應用，(40), 127-166。
- 林俊成(2022)。農業淨零碳排議題發展趨勢。臺中區農業改良場特刊，7-47。
- 林映彤(2022)。以計畫行為理論探討農民對植物醫師諮詢意願之研究。(碩士論文) 國立屏東科技大學。
- 邱皓政(2011)。當 PLS 遇上 SEM：議題與對話。*aβγ 量化研究學刊*，3 (1) 20-53。
- 施雅惠、林旻頡、陳琦玲(2021a)。因應 2050 淨零排放農業部門減排策略初擬。技術服務，32 (4) , 1-6。
- 施雅惠、林旻頡、陳琦玲(2021b)。臺灣農業減碳作為與碳交易機制之探討。符合環境永續之作物友善管理研討會專刊，74-87。
- 郭雅紋、賴文龍(2011)。果園土壤綜合管理技術－草生栽培臺中區農業改良場特刊，131-137。<https://doi.org/10.29563/zhwhgx.201109.0009>
- 張紹勳(2017) Stata 在結構方程模型及試題反應理論的應用。臺灣：五南圖書。
- 陳琦玲(2022)。農業部門減排與增匯技術。臺中區農業改良場特刊/48-51。
- 詹永紳(2018)。以計畫行為理論探討臺中農民耕作環境行為之研究。(碩士論文) 國立臺灣師範大學。
- 蔡旻翰、陸怡蕙、方珍玲(2015)。計畫行為或經濟考量？富里鄉稻農有機農法採用之經濟分析。農業經濟叢刊，21(1&2) , 1-40。
- Accounting, A. C. (2004). The Greenhouse Gas Protocol. *World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development: Washington, DC, USA.*
- Ajzen, I. (1985). *From intentions to actions: A theory of planned behavior*. Springer.
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes*, 50(2), 179-211.
- Ajzen, I. (2002). Perceived behavioral control, self-efficacy, locus of control, and the theory of planned behavior 1. *Journal of applied social psychology*, 32(4), 665-683.
- Andrade, C. (2021). The inconvenient truth about convenience and purposive samples. *Indian Journal of Psychological Medicine*, 43(1), 86-88.



- Arunrat, N., Wang, C., Pumijumnong, N., Sereenonchai, S., & Cai, W. (2017). Farmers' intention and decision to adapt to climate change: A case study in the Yom and Nan basins, Phichit province of Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 143, 672-685.
- Baron, R. M., & Kenny, D. A. (1986). The moderator–mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of personality and social psychology*, 51(6), 1173.
- Barratt, M. J., Ferris, J. A., & Lenton, S. (2015). Hidden populations, online purposive sampling, and external validity: Taking off the blindfold. *Field methods*, 27(1), 3-21.
- Barrow, C. (2012). Biochar: potential for countering land degradation and for improving agriculture. *Applied Geography*, 34, 21-28.
- Basnet, S., Wood, A., Röös, E., Jansson, T., Fetzer, I., & Gordon, L. (2023). Organic agriculture in a low-emission world: exploring combined measures to deliver sustainable food system in Sweden. *Sustainability Science*, 1-19.
- Bell, S. M., Barriocanal, C., Terrer, C., & Rosell-Melé, A. (2020). Management opportunities for soil carbon sequestration following agricultural land abandonment. *Environmental Science & Policy*, 108, 104-111.
- Berlo, D. K. (1977). Communication as process: Review and commentary. *Annals of the International Communication Association*, 1(1), 11-27.
- Boazar, M., Yazdanpanah, M., & Abdeshahi, A. (2019). Response to water crisis: How do Iranian farmers think about and intent in relation to switching from rice to less water-dependent crops? *Journal of hydrology*, 570, 523-530.
- Borychowski, M., Grzelak, A., & Popławski, Ł. (2022). What drives low-carbon agriculture? The experience of farms from the Wielkopolska region in Poland. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(13), 18641-18652.
- Breen, J., Clancy, D., Moran, B., & Thorne, F. (2009). *Modelling the potential supply of energy crops in Ireland: results from a probit model examining the factors affecting willingness to adopt*.
- Byrne, B. M. (1994). *Structural equation modeling with EQS and EQS/Windows: Basic concepts, applications, and programming*. Sage.
- Camarotto, C., Dal Ferro, N., Piccoli, I., Polese, R., Furlan, L., Chiarini, F., & Morari, F. (2018). Conservation agriculture and cover crop practices to regulate water, carbon and nitrogen cycles in the low-lying Venetian plain. *Catena*, 167, 236-249.
- Capa-Aydin, Y., Uzuntiryaki-Kondakci, E., & Ceylandag, R. (2018). The relationship between vicarious experience, social persuasion, physiological state, and chemistry self-efficacy: The role of mastery experience as a mediator.

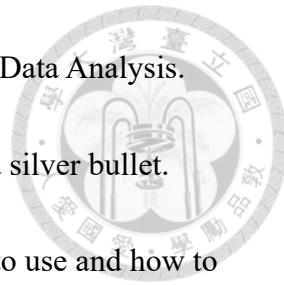


- Psychology in the Schools*, 55(10), 1224-1238.
- Castillo, G. M. L., Engler, A., & Wollni, M. (2021). Planned behavior and social capital: Understanding farmers' behavior toward pressurized irrigation technologies. *Agricultural Water Management*, 243, 106524.
- Chang, L.-Y. (2005). Analysis of freeway accident frequencies: negative binomial regression versus artificial neural network. *Safety science*, 43(8), 541-557.
- Chen, X.-P., Cui, Z.-L., Vitousek, P. M., Cassman, K. G., Matson, P. A., Bai, J.-S., Meng, Q.-F., Hou, P., Yue, S.-C., & Römhild, V. (2011). Integrated soil–crop system management for food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(16), 6399-6404.
- Chenu, C., Angers, D. A., Barré, P., Derrien, D., Arrouays, D., & Balesdent, J. (2019). Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil and Tillage Research*, 188, 41-52.
- Chin, W. W. (1998). The partial least squares approach to structural equation modeling. *Modern methods for business research*, 295(2), 295-336.
- Codur, A., & Watson, J. (2018). Climate smart or regenerative agriculture? Defining climate policies based on soil health. *Clim. Policy Brief Glob. Dev. Environ. Inst. Tufts Univ*, 9, 1-10.
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (2016). Nature-based solutions to address global societal challenges. *IUCN: Gland, Switzerland*, 97, 2016-2036.
- Conner, M., & Norman, P. (2022). Understanding the intention-behavior gap: The role of intention strength. *Frontiers in Psychology*, 4249.
- Coxe, S., West, S. G., & Aiken, L. S. (2009). The analysis of count data: A gentle introduction to Poisson regression and its alternatives. *Journal of personality assessment*, 91(2), 121-136.
- Dahlstrand, U., & Biel, A. (1997). Pro-environmental habits: Propensity levels in behavioral change *Journal of applied social psychology*, 27(7), 588-601.
- Damalas, C. A. (2021). Farmers' intention to reduce pesticide use: The role of perceived risk of loss in the model of the planned behavior theory. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(26), 35278-35285.
- Dang, H., Li, E., & Bruwer, J. (2012). Understanding Climate Change Adaptive Behaviour of Farmers: An Integrated Conceptual Framework. *International Journal of Climate Change: Impacts & Responses*, 3(2).
- Das, S., & Adhya, T. K. (2014). Effect of combine application of organic manure and inorganic fertilizer on methane and nitrous oxide emissions from a tropical flooded soil planted to rice. *Geoderma*, 213, 185-192.
- Das, S. K., Ghosh, G. K., & Avasthe, R. (2020). Application of biochar in agriculture

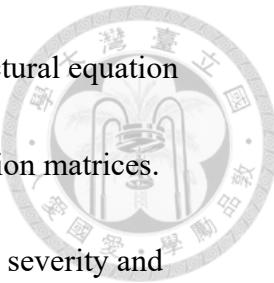


- and environment, and its safety issues. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-11.
- Daxini, A., O'Donoghue, C., Ryan, M., Buckley, C., Barnes, A. P., & Daly, K. (2018). Which factors influence farmers' intentions to adopt nutrient management planning? *Journal of environmental management*, 224, 350-360.
- De Groot, J. I., & Steg, L. (2009). Morality and prosocial behavior: The role of awareness, responsibility, and norms in the norm activation model. *The Journal of social psychology*, 149(4), 425-449.
- de Moraes Sá, J. C., Lal, R., Cerri, C. C., Lorenz, K., Hungria, M., & de Faccio Carvalho, P. C. (2017). Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. *Environment international*, 98, 102-112.
- De Ruyter, K., & Wetzels, M. (2000). With a little help from my fans—Extending models of pro-social behaviour to explain supporters' intentions to buy soccer club shares. *Journal of economic psychology*, 21(4), 387-409.
- Devi, P., & Saroha, A. K. (2014). Risk analysis of pyrolyzed biochar made from paper mill effluent treatment plant sludge for bioavailability and eco-toxicity of heavy metals. *Bioresource technology*, 162, 308-315.
- Diamantopoulos, A., Riefler, P., & Roth, K. P. (2008). Advancing formative measurement models. *Journal of business research*, 61(12), 1203-1218.
- Dijkstra, T. K. (2009). Latent variables and indices: Herman Wold's basic design and partial least squares. In *Handbook of partial least squares: Concepts, methods and applications* (pp. 23-46). Springer.
- Donkoh, S. A., Azumah, S. B., & Awuni, J. A. (2019). Adoption of improved agricultural technologies among rice farmers in Ghana: A multivariate probit approach. *Ghana Journal of Development Studies*, 16(1), 46-67.
- Ebojei, C., Ayinde, T., & Akogwu, G. (2012). Socio-economic factors influencing the adoption of hybrid maize in Giwa Local Government Area of Kaduna State, Nigeria.
- Eggleston, H., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
- Ertz, M., Karakas, F., & Sarigöllü, E. (2016). Exploring pro-environmental behaviors of consumers: An analysis of contextual factors, attitude, and behaviors. *Journal of business research*, 69(10), 3971-3980.
- Fan, S., & Ramirez, A. (2012). Achieving food security while switching to low carbon agriculture. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 4(4), 041405.
- Fishbein, M., & Ajzen, I. (1977). Belief, attitude, intention, and behavior: An introduction to theory and research.

- Fishbein, M., Hennessy, M., Yzer, M., & Douglas, J. (2003). Can we explain why some people do and some people do not act on their intentions? *Psychology, health & medicine*, 8(1), 3-18.
- Floyd, D. L., Prentice-Dunn, S., & Rogers, R. W. (2000). A meta-analysis of research on protection motivation theory. *Journal of applied social psychology*, 30(2), 407-429.
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of marketing research*, 18(1), 39-50.
- Fraser, S., Parker, W., & Smith, A. (2008). Preparing for a low carbon agriculture. *Primary Industry Management*, 11(2), 16-19.
- Gadenne, D., Sharma, B., Kerr, D., & Smith, T. (2011). The influence of consumers' environmental beliefs and attitudes on energy saving behaviours. *Energy policy*, 39(12), 7684-7694.
- Geng, Y., Wang, J., Sun, Z., Ji, C., Huang, M., Zhang, Y., Xu, P., Li, S., Pawlett, M., & Zou, J. (2021). Soil N-oxide emissions decrease from intensive greenhouse vegetable fields by substituting synthetic N fertilizer with organic and bio-organic fertilizers. *Geoderma*, 383, 114730.
- Govaerts*, B., Verhulst*, N., Castellanos-Navarrete, A., Sayre, K. D., Dixon, J., & Dendooven, L. (2009). Conservation agriculture and soil carbon sequestration: between myth and farmer reality. *Critical Reviews in Plant Science*, 28(3), 97-122.
- Greene, W. H. (1994). Accounting for excess zeros and sample selection in Poisson and negative binomial regression models.
- Grist, N. (2014). Transformative adaptation in Africa's agriculture. Contribution note for Africa progress panel meeting.“Expert Consultation: an African Agenda for Green, Low carbon development”, Geneva,
- Grothmann, T., & Patt, A. (2005). Adaptive capacity and human cognition: the process of individual adaptation to climate change. *Global environmental change*, 15(3), 199-213.
- Guagnano, G. A., Stern, P. C., & Dietz, T. (1995). Influences on attitude-behavior relationships: A natural experiment with curbside recycling. *Environment and behavior*, 27(5), 699-718.
- Guo, H.-D., Zhang, L., & Zhu, L.-W. (2015). Earth observation big data for climate change research. *Advances in Climate Change Research*, 6(2), 108-117.
- Hadi, A., Inubushi, K., & Yagi, K. (2010). Effect of water management on greenhouse gas emissions and microbial properties of paddy soils in Japan and Indonesia. *Paddy and Water Environment*, 8, 319-324.



- Hair, J., Anderson, R., Tatham, R., & Black, W. (1998). Multivariate Data Analysis. Prentice-Hall, Inc. *New Jersey*.
- Hair, J. F., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2011). PLS-SEM: Indeed a silver bullet. *Journal of Marketing theory and Practice*, 19(2), 139-152.
- Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European business review*, 31(1), 2-24.
- Hair Jr, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., Sarstedt, M., Danks, N. P., Ray, S., Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2021). Evaluation of reflective measurement models. *Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Using R: A Workbook*, 75-90.
- Hayat, M. J., & Higgins, M. (2014). Understanding poisson regression. *Journal of Nursing Education*, 53(4), 207-215.
- He, J., Li, H. W., Wang, Q. J., Gao, H. W., Li, W. Y., Zhang, X. M., & McGiffen, M. (2010). The adoption of conservation tillage in China. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1195, E96-E106.
- Holka, M., Kowalska, J., & Jakubowska, M. (2022). Reducing Carbon Footprint of Agriculture—Can Organic Farming Help to Mitigate Climate Change? *Agriculture*, 12(9), 1383.
- Horng, J.-S., Hu, M.-L. M., Teng, C.-C. C., & Lin, L. (2014). Energy saving and carbon reduction behaviors in tourism—a perception study of Asian visitors from a protection motivation theory perspective. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 19(6), 721-735.
- Hou, J., & Hou, B. (2019). Farmers' adoption of low-carbon agriculture in China: An extended theory of the planned behavior model. *Sustainability*, 11(5), 1399.
- Huang, Y., Ren, W., Wang, L., Hui, D., Grove, J. H., Yang, X., Tao, B., & Goff, B. (2018). Greenhouse gas emissions and crop yield in no-tillage systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 268, 144-153.
- Husin, Y. A., Murdiyarso, D., Khalil, M., Rasmussen, R., Shearer, M., Sabiham, S., Sunar, A., & Adijuwana, H. (1995). Methane flux from Indonesian wetland rice: the effects of water management and rice variety. *Chemosphere*, 31(4), 3153-3180.
- Jha, P., Biswas, A., Lakaria, B., & Rao, A. S. (2010). Biochar in agriculture—prospects and related implications. *Current science*, 1218-1225.
- Jiang, L., Huang, H., He, S., Huang, H., & Luo, Y. (2022). What motivates farmers to adopt low-carbon agricultural technologies? Empirical evidence from thousands of rice farmers in Hubei province, central China.
- Jordan, J. L. (2005). *Farmers' choice of using sustainable agricultural practices: a social capital approach*.



- Jöreskog, K. G. (1970). A general method for estimating a linear structural equation system. *ETS Research Bulletin Series*, 1970(2), i-41.
- Jöreskog, K. G. (1978). Structural analysis of covariance and correlation matrices. *Psychometrika*, 43(4), 443-477.
- Kantola, S., Syme, G., & Nesdale, A. (1983). The effects of appraised severity and efficacy in promoting water conservation: An informational analysis. *Journal of applied social psychology*, 13(2), 164-182.
- Keiser, J., Utzinger, J., & Singer, B. H. (2002). The potential of intermittent irrigation for increasing rice yields, lowering water consumption, reducing methane emissions, and controlling malaria in African rice fields. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 18(4), 329-340.
- Khosa, M. K., Sidhu, B., & Benbi, D. (2010). Effect of organic materials and rice cultivars on methane emission from rice field. *Journal of Environmental Biology*, 31(3), 281-285.
- Kim, S. Y., Pramanik, P., Gutierrez, J., Hwang, H. Y., & Kim, P. J. (2014). Comparison of methane emission characteristics in air-dried and composted cattle manure amended paddy soil during rice cultivation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 197, 60-67.
- Kimura, S., Chen, K., & Gong, B. (2022). Circular Agriculture for Sustainable and Low-Carbon Development in the People's Republic of China.
- King, J. K. K., Granjou, C., Fournil, J., & Cecillon, L. (2018). Soil sciences and the French 4 per 1000 Initiative—The promises of underground carbon. *Energy research & social science*, 45, 144-152.
- Knox, G., & Knox, G. (2005). *Landcare Australia: meeting the greenhouse challenge*. Department of the Environment and Heritage, Australian Greenhouse Office.
- Kolady, D. E., Van der Sluis, E., Uddin, M. M., & Deutz, A. P. (2021). Determinants of adoption and adoption intensity of precision agriculture technologies: evidence from South Dakota. *Precision Agriculture*, 22, 689-710.
- Kuo, S., Sainju, U., & Jellum, E. (1997). Winter cover crop effects on soil organic carbon and carbohydrate in soil. *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 145-152.
- Le Dang, H., Li, E., Nuberg, I., & Bruwer, J. (2014). Understanding farmers' adaptation intention to climate change: A structural equation modelling study in the Mekong Delta, Vietnam. *Environmental science & policy*, 41, 11-22.
- Lehtonen, H., & Rämö, J. (2022). Development towards low carbon and sustainable agriculture in Finland is possible with moderate changes in land use and diets. *Sustainability Science*, 1-15.
- Leifeld, J. (2012). How sustainable is organic farming? *Agriculture, Ecosystems &*

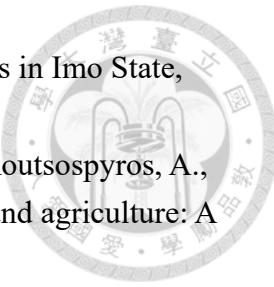


- Environment*, 150, 121-122.
- Li, H., He, J., Gao, H., Chen, Y., & Zhang, Z. (2015). The effect of conservation tillage on crop yield in China. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 2(2), 179-185.
- Linquist, B. A., Adviento-Borbe, M. A., Pittelkow, C. M., van Kessel, C., & van Groenigen, K. J. (2012). Fertilizer management practices and greenhouse gas emissions from rice systems: a quantitative review and analysis. *Field Crops Research*, 135, 10-21.
- Liu, C., & Zheng, H. (2021). How social capital affects willingness of farmers to accept low-carbon agricultural technology (LAT)? A case study of Jiangsu, China. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 13(3), 286-301.
- Lockwood, C. M., & MacKinnon, D. P. (1998). Bootstrapping the standard error of the mediated effect. Proceedings of the 23rd annual meeting of SAS Users Group International,
- Luh, Y.-H., Tsai, M.-H., & Chang, Y.-C. (2023). Actions Speak Louder Than Words: Adoption of Sustainable Farming Practices Based on an Integrated Model. . *Journal of Cleaner Production*, forthcoming.
- Macintosh, A., & Waugh, L. (2012). An introduction to the carbon farming initiative: Key principles and concepts.
- Madden, T. J., Ellen, P. S., & Ajzen, I. (1992). A comparison of the theory of planned behavior and the theory of reasoned action. *Personality and social psychology Bulletin*, 18(1), 3-9.
- Maes, J., & Jacobs, S. (2017). Nature-based solutions for Europe's sustainable development. *Conservation letters*, 10(1), 121-124.
- Magalhães, M. M. d., & Lima, D. A. L. L. (2014). Low-Carbon Agriculture in Brazil: The Environmental and Trade Impact of Current Farm Policies.
- Marcoulides, G. A., Chin, W. W., & Saunders, C. (2009). A critical look at partial least squares modeling. *MIS quarterly*, 33(1), 171-175.
- Maseeh, H. I., Sangroya, D., Jebarajakirthy, C., Adil, M., Kaur, J., Yadav, M. P., & Saha, R. (2022). Anti-consumption behavior: A meta-analytic integration of attitude behavior context theory and well-being theory. *Psychology & Marketing*, 39(12), 2302-2327.
- Mateos-Aparicio, G. (2011). Partial least squares (PLS) methods: Origins, evolution, and application to social sciences. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 40(13), 2305-2317.
- Matteoli, F., Schnetzer, J., & Jacobs, H. (2020). Climate-Smart Agriculture (CSA): An Integrated Approach for Climate Change Management in the Agriculture Sector.

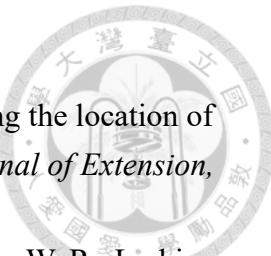
Handbook of Climate Change Management: Research, Leadership, Transformation, 1-29.



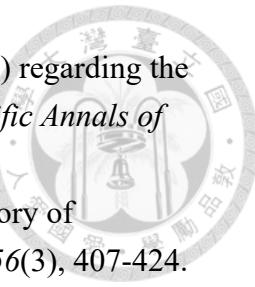
- Mattila, T. J., Hagelberg, E., Söderlund, S., & Joona, J. (2022). How farmers approach soil carbon sequestration? Lessons learned from 105 carbon-farming plans. *Soil and Tillage Research*, 215, 105204.
- Melillo, J. M., McGuire, A. D., Kicklighter, D. W., Moore, B., Vose, C. J., & Schloss, A. L. (1993). Global climate change and terrestrial net primary production. *Nature*, 363(6426), 234-240.
- Mi, S. (2013). *Study on China Low Carbon Modern Agriculture Development: From Views of Carbon Footprint Calculation and Applicable Mitigation Technology Application* [Zhejiang University Hangzhou, China].
- Milne, S., Sheeran, P., & Orbell, S. (2000). Prediction and intervention in health-related behavior: A meta-analytic review of protection motivation theory. *Journal of applied social psychology*, 30(1), 106-143.
- Minami, K., & Neue, H.-U. (1994). Rice paddies as a methane source. *Climatic Change*, 27(1), 13-26.
- Mittal, S., & Mehar, M. (2016). Socio-economic factors affecting adoption of modern information and communication technology by farmers in India: Analysis using multivariate probit model. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 22(2), 199-212.
- Moser, S. C. (2010). Communicating climate change: history, challenges, process and future directions. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(1), 31-53.
- Neue, H.-U. (1993). Methane emission from rice fields. *Bioscience*, 43(7), 466-474.
- Newton, P., Gomez, A. E. A., Jung, S., Kelly, T., de Araújo Mendes, T., Rasmussen, L. V., dos Reis, J. C., Rodrigues, R. d. A. R., Tipper, R., & van der Horst, D. (2016). Overcoming barriers to low carbon agriculture and forest restoration in Brazil: The Rural Sustentável project. *World Development Perspectives*, 4, 5-7.
- Niggli, U. (2010). Organic agriculture: a productive means of low-carbon and high biodiversity food production. Trade and Environment Review-Promoting poles of clean growth to foster the transition to a more sustainable economy. United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD),
- Norse, D. (2012). Low carbon agriculture: Objectives and policy pathways. *Environmental Development*, 1(1), 25-39.
- Olson, K. R., Ebelhar, S. A., & Lang, J. M. (2010). Cover crop effects on crop yields and soil organic carbon content. *Soil Science*, 175(2), 89-98.
- Onwezen, M. C., Antonides, G., & Bartels, J. (2013). The Norm Activation Model: An exploration of the functions of anticipated pride and guilt in pro-environmental behaviour. *Journal of economic psychology*, 39, 141-153.



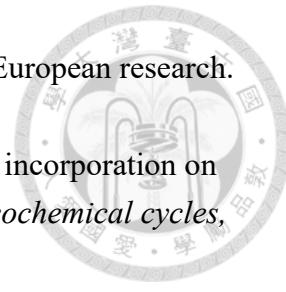
- Opara, U. N. (2008). Agricultural information sources used by farmers in Imo State, Nigeria. *Information Development*, 24(4), 289-295.
- Palansooriya, K. N., Ok, Y. S., Awad, Y. M., Lee, S. S., Sung, J.-K., Koutsospyros, A., & Moon, D. H. (2019). Impacts of biochar application on upland agriculture: A review. *Journal of Environmental Management*, 234, 52-64.
- Paldam, M. (2000). Social capital: one or many? Definition and measurement. *Journal of economic surveys*, 14(5), 629-653.
- Pan, G., Zhang, A., Zou, J., Li, L., Zhang, X., & Zheng, J. (2010). Biochar from agro-byproducts used as amendment to croplands: an option for low carbon agriculture. *Journal of ecology and rural environment*, 26(4), 394-400.
- Pan, S.-Y., He, K.-H., Lin, K.-T., Fan, C., & Chang, C.-T. (2022). Addressing nitrogenous gases from croplands toward low-emission agriculture. *npj Climate and Atmospheric Science*, 5(1), 43.
- Payne, J., Fernandez-Cornejo, J., & Daberkow, S. (2003). Factors affecting the likelihood of corn rootworm Bt seed adoption.
- Pechmann, C., Zhao, G., Goldberg, M. E., & Reibling, E. T. (2003). What to convey in antismoking advertisements for adolescents: The use of protection motivation theory to identify effective message themes. *Journal of marketing*, 67(2), 1-18.
- Perosa, B., Newton, P., & da Silva, R. F. B. (2023). A monitoring, reporting and verification system for low carbon agriculture: A case study from Brazil. *Environmental Science & Policy*, 140, 286-296.
- Poeplau, C., & Don, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops—A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 33-41.
- Putnam, R. D. (1995). Tuning in, tuning out: The strange disappearance of social capital in America. *PS: Political science & politics*, 28(4), 664-683.
- Qin, K. (2012). Construction of Low-Carbon Agriculture. *Management & Engineering*(9), 87.
- Raykov, T., Tomer, A., & Nesselroade, J. R. (1991). Reporting structural equation modeling results in Psychology and Aging: some proposed guidelines. *Psychology and aging*, 6(4), 499.
- Raza, M. H., Abid, M., Yan, T., Naqvi, S. A. A., Akhtar, S., & Faisal, M. (2019). Understanding farmers' intentions to adopt sustainable crop residue management practices: A structural equation modeling approach. *Journal of Cleaner Production*, 227, 613-623.
- Rezaei, R., Safa, L., Damalas, C. A., & Ganjkhanloo, M. M. (2019). Drivers of farmers' intention to use integrated pest management: integrating theory of planned behavior and norm activation model. *Journal of Environmental Management*,



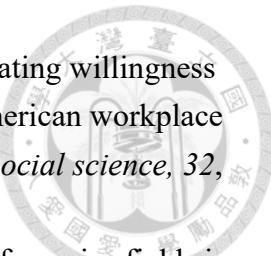
- 236, 328-339.
- Roberts, R. K., English, B. C., & Larson, J. A. (2002). Factors affecting the location of precision farming technology adoption in Tennessee. *The Journal of Extension*, 40(1), 12.
- Roberts, R. K., English, B. C., Larson, J. A., Cochran, R. L., Goodman, W. R., Larkin, S. L., Marra, M. C., Martin, S. W., Shurley, W. D., & Reeves, J. M. (2004). Adoption of site-specific information and variable-rate technologies in cotton precision farming. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 36(1), 143-158.
- Rogers, R. W. (1975). A protection motivation theory of fear appeals and attitude change1. *The journal of psychology*, 91(1), 93-114.
- Rogers, R. W. (1983). Cognitive and psychological processes in fear appeals and attitude change: A revised theory of protection motivation. *Social psychophysiology: A sourcebook*, 153-176.
- Sapp, S. G. (2002). Incomplete knowledge and attitude-behavior inconsistency. *Social Behavior and Personality: an international journal*, 30(1), 37-44.
- Savari, M., Abdeshahi, A., Gharechae, H., & Nasrollahian, O. (2021). Explaining farmers' response to water crisis through theory of the norm activation model: Evidence from Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 60, 102284.
- Schmidt, H. P., Kammann, C., Hagemann, N., Leifeld, J., Bucheli, T. D., Sánchez Monedero, M. A., & Cayuela, M. L. (2021). Biochar in agriculture—A systematic review of 26 global meta-analyses. *GCB Bioenergy*, 13(11), 1708-1730.
- Schwartz, S. H. (1977). Normative influences on altruism. In *Advances in experimental social psychology* (Vol. 10, pp. 221-279). Elsevier.
- Schwartz, S. H., & Howard, J. A. (1981). A normative decision-making model of altruism. *Altruism and helping behavior*, 189-211.
- Seiler, W., Holzapfel-Pschorn, A., Conrad, R., & Scharffe, D. (1983). Methane emission from rice paddies. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 1, 241-268.
- Sevier, B. J., & Lee, W. S. (2004). Precision agriculture in citrus: A probit model analysis for technology adoption. 2004 ASAE Annual Meeting,
- Shi, H., Wang, S., & Guo, S. (2019). Predicting the impacts of psychological factors and policy factors on individual's PM2. 5 reduction behavior: An empirical study in China. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118416.
- Smit, B., & Skinner, M. W. (2002). Adaptation options in agriculture to climate change: a typology. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 7(1), 85-114.
- Spulbar, C., Ehsanifar, M., Birau, R., Babaie, A., & Doagă, D. I. (2021). Advanced



- empirical research based on structural equation modeling (SEM) regarding the impact of tax revenue on GDP dynamics at EU-28 level. *Scientific Annals of Economics and Business*, 68(3), 285-307.
- Stern, P. C. (2000). New environmental theories: toward a coherent theory of environmentally significant behavior. *Journal of social issues*, 56(3), 407-424.
- Stern, P. C. (2005). Understanding individuals' environmentally significant behavior. *Envnl. L. Rep. News & Analysis*, 35, 10785.
- Suvedi, M., Ghimire, R., & Kaplowitz, M. (2017). Farmers' participation in extension programs and technology adoption in rural Nepal: a logistic regression analysis. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 23(4), 351-371.
- Tarka, P. (2018). An overview of structural equation modeling: its beginnings, historical development, usefulness and controversies in the social sciences. *Quality & quantity*, 52, 313-354.
- Tavakol, M., & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International journal of medical education*, 2, 53.
- Tenenhaus, M. (2008). Component-based structural equation modelling. *Total quality management*, 19(7-8), 871-886.
- Tenenhaus, M., Vinzi, V. E., Chatelin, Y.-M., & Lauro, C. (2005). PLS path modeling. *Computational statistics & data analysis*, 48(1), 159-205.
- Thu, T. N., Phuong, L. B. T., Van, T. M., & Hong, S. N. (2016). Effect of water regimes and organic matter strategies on mitigating Greenhouse Gas Emission from rice cultivation and co-benefits in agriculture in Vietnam. *Int. J. Environ. Sci. Dev*, 7, 85-90.
- Torbett, J. C., Roberts, R. K., Larson, J. A., & English, B. C. (2007). Perceived importance of precision farming technologies in improving phosphorus and potassium efficiency in cotton production. *Precision agriculture*, 8, 127-137.
- Tracey, U., Baker, D., Young, J., & Arocena, J. (2004). Ajzen, I. and Fishbein, M. (1980) Understanding Attitudes and Predicting Social Behavior. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. Alberta Forestry Resource Evaluation and Planning Division (1986) Kananaskis Country Sub-regional Integrated Resource Plan. Queen's Printer, Edmonton, Alberta, Canada. *Integrated Resource and Environmental Management: The Human Dimension*, 28(1), 265.
- Triandis, H. C. (1979). Values, attitudes, and interpersonal behavior. Nebraska symposium on motivation,
- Tubiello, F. N., Salvatore, M., Rossi, S., Ferrara, A., Fitton, N., & Smith, P. (2013). The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture. *Environmental Research Letters*, 8(1), 015009.
- Tuomisto, H. L., Hodge, I., Riordan, P., & Macdonald, D. W. (2012). Does organic



- farming reduce environmental impacts?—A meta-analysis of European research. *Journal of Environmental Management*, 112, 309-320.
- Van Der Gon, H. D., & Neue, H. (1995). Influence of organic matter incorporation on the methane emission from a wetland rice field. *Global biogeochemical cycles*, 9(1), 11-22.
- Venkat, K. (2012). Comparison of twelve organic and conventional farming systems: a life cycle greenhouse gas emissions perspective. *Journal of Sustainable Agriculture*, 36(6), 620-649.
- Verplanken, B., & Orbell, S. (2003). Reflections on past behavior: a self-report index of habit strength 1. *Journal of applied social psychology*, 33(6), 1313-1330.
- Vinholis, M. d. M. B., Saes, M. S. M., Carrer, M. J., & de Souza Filho, H. M. (2021). The effect of meso-institutions on adoption of sustainable agricultural technology: A case study of the Brazilian Low Carbon Agriculture Plan. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124334.
- Wang, S. W., Lee, W.-K., & Son, Y. (2017). An assessment of climate change impacts and adaptation in South Asian agriculture. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 9(4), 517-534.
- Wang, W., Guo, L., Li, Y., Su, M., Lin, Y., De Perthuis, C., Ju, X., Lin, E., & Moran, D. (2015). Greenhouse gas intensity of three main crops and implications for low-carbon agriculture in China. *Climatic Change*, 128(1), 57-70.
- Wang, X., & Lu, P. (2021). Drivers of Farmers' Intentions to Use Eco-Breeding: Integrating the Theory of Planned Behavior and the Norm Activation Model.
- Wicker, A. W. (1971). An examination of the "other variables" explanation of attitude-behavior inconsistency. *Journal of personality and social psychology*, 19(1), 18.
- Wiedmann, T., & Minx, J. (2008). A definition of 'carbon footprint'. *Ecological economics research trends*, 1(2008), 1-11.
- Wisner, J. D. (2003). A structural equation model of supply chain management strategies and firm performance. *Journal of Business logistics*, 24(1), 1-26.
- Wold, H. (1975). Path models with latent variables: The NIPALS approach. In *Quantitative sociology* (pp. 307-357). Elsevier.
- Woldegebril, Z., Huylenbroeck, G. v., Girmay, T., & Speelman, S. (2017). Smallholder farmers' behavioural intentions towards sustainable agricultural practices. *Journal of Environmental Management*, 187, 71-81.
- Wong, K. K. K. (2013). Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) techniques using SmartPLS. *Marketing bulletin*, 24(1), 1-32.
- Wuepper, D., Yesigat Ayenew, H., & Sauer, J. (2018). Social capital, income diversification and climate change adaptation: Panel data evidence from rural Ethiopia. *Journal of agricultural economics*, 69(2), 458-475.



- Xu, X., Maki, A., Chen, C.-f., Dong, B., & Day, J. K. (2017). Investigating willingness to save energy and communication about energy use in the American workplace with the attitude-behavior-context model. *Energy research & social science*, 32, 13-22.
- Yan, X., Cai, Z., Ohara, T., & Akimoto, H. (2003). Methane emission from rice fields in mainland China: Amount and seasonal and spatial distribution. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D16).
- Yang, X., Zhou, X., & Deng, X. (2022). Modeling farmers' adoption of low-carbon agricultural technology in Jianghan Plain, China: An examination of the theory of planned behavior. *Technological Forecasting and Social Change*, 180, 121726.
- Yazdanpanah, M., Hayati, D., Hochrainer-Stigler, S., & Zamani, G. H. (2014). Understanding farmers' intention and behavior regarding water conservation in the Middle-East and North Africa: A case study in Iran. *Journal of Environmental Management*, 135, 63-72.
- Zech, W., Senesi, N., Guggenberger, G., Kaiser, K., Lehmann, J., Miano, T. M., Miltner, A., & Schroth, G. (1997). Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, 79(1-4), 117-161.
- Zepeda, L., & Deal, D. (2009). Organic and local food consumer behaviour: Alphabet theory. *International Journal of Consumer Studies*, 33(6), 697-705.
- Zhang, L., Ruiz-Menjivar, J., Luo, B., Liang, Z., & Swisher, M. E. (2020). Predicting climate change mitigation and adaptation behaviors in agricultural production: A comparison of the theory of planned behavior and the Value-Belief-Norm Theory. *Journal of Environmental Psychology*, 68, 101408.
- Zheng, H., Liu, B., Liu, G., Cai, Z., & Zhang, C. (2019). Potential toxic compounds in biochar: Knowledge gaps between biochar research and safety. In *Biochar from biomass and waste* (pp. 349-384). Elsevier.
- Zheng, W., Sharma, B., & Rajagopalan, N. (2010). Using biochar as a soil amendment for sustainable agriculture. *Waste utilization--Biochar*.