

應用科技接受模型探討農民採用智慧農業之意圖與願付價格-以本場農業生產管理即時監控系統為例¹

李宗樺²

摘 要

本研究應用科技接受模型探討影響農民採用本場開發之農業生產管理即時監控系統的意圖與其願付價格之因素。針對本系統的潛在早期採用者（early adopters）進行問卷調查，有效問卷計 87 份。首先應用偏最小平方法結構方程模型（partial least square structural equation model）探討影響採用意圖的變數之間因果關係，接著應用序列機率模型（ordered probit model）探討在控制社會經濟變數後，影響兩種不同支付情境願付價格之因素。結果顯示，正向影響採用意圖的因素，其效果大小依序為知覺有用性，總效果為 0.551（p value<0.01）、知覺品質，總效果為 0.379（p value<0.01）、知覺易用性，總效果為 0.302（p value<0.01）及介面設計，總效果為 0.190（p value<0.01）；故建議在研發資源與時間有限的條件下，可參考此順序做為優化系統的目標，促進潛在採用者之採用意圖。另外，在控制社會經濟變數的條件下，採用意圖對願付價格有正向影響，顯示形塑採用意圖的因子會促成使用者對本系統的價值感，進而提升願付價格。

關鍵詞：早期採用者、創新擴散、偏最小平方法結構方程模型

前 言

我國農業不僅面臨人口老化、農業缺工、耕地狹小與永續發展等內部挑戰，亦遭遇全球化競爭及氣候變遷等外部威脅。然而，隨著資通訊科技的發展，越來越多創新科技應用在農業的生產，也為農業面臨的問題帶來解方。在此背景下，我國於 2017 年創新農業行動方案中，執行智慧農業計畫（楊，2019）。本場以物聯網技術開發農業

¹ 行政院農業委員會桃園區農業改良場研究彙報第 543 號。

² 桃園區農業改良場助理研究員(通訊作者，thlee@tydais.gov.tw)。

生產管理即時監控系統，使用者則可透過手機、平板或電腦，查看即時狀態及歷史數據，進行遠端操作環控設備。該系統提供多種功能之控制模組及簡易使用程式，整合環境感測、自動控制、作物生長預測及影像辨識等功能。程式積木為該系統核心功能，對於沒有程式撰寫背景的使用者亦相對友善，使用者可自行編輯與控制程式，客製化調整溫室自動控制模式，讓系統依照程式設定，對控制器傳送開或關等命令，達到操作設備的功能，並紀錄田間管理作業及網路攝影機影像，還可串接聊天機器訊息推播，整合通訊軟體與感測器及控制器，讓使用者透過手機通訊軟體就可以操作田間設備及警訊通知（桃園區農業改良場，2019）。

本研究目標為瞭解農民在接觸到新技術或生產典範轉移時，形塑其採用意願之因子，並在控制社會經濟變數的條件下，進一步探討影響農民願付價格的因素。對於調查對象與理論應用，主要基於創新擴散理論（Diffusion of Innovations）及科技接受模型（Technology Acceptance Model）。Rogers 等（2014）提出創新擴散理論，該理論認為當新觀念、新技術或新事物在社會體系中擴散時，可將社會中的行動者分為 5 種，分別為創新者（innovator）、早期採用者（early adopter）、早期大眾（early majority）、後期大眾（late majority）與落後者（laggards）等 5 大族群。創新者被形容為具冒險精神的行動者（venturesome），早期採用者被認為是具有社會影響力的意見領袖，早期大眾被認為屬於謹慎的（deliberate），後期大眾則是懷疑的（skeptical）而落後者則被形容為傳統的（traditional）（Agarwal *et al.*, 1998）。其中早期採用者因具備意見領袖與理性決策等特質，對社會具有重要影響力，常成為研究的主要對象（Catalini and Tucker, 2016；Walden and Browne, 2009；Au *et al.*, 2003），換言之，早期採用者的意向是創新技術擴散的關鍵，亦是本研究主要的研究對象。

Davis（1989）提出科技接受模型，最早用來解釋與預測使用者對電腦系統的使用意圖與行為之因果關係。該理論乃基於 Fishbein（1979）提出的理性行為理論（Theory of Reasoned Action），理性行為理論對於人們的行為有一些基本假設，並進一步探討理性行為背後的成因，例如理性行為理論假設做決策之前會綜合所有資訊並權衡其後果與自身意義，並追求自利（self-interest）。科技接受模型適用前提假設為人們因為滿足工作需求而必須接受新科技，並認為使用者會受到知覺有用性（perceived usefulness）及知覺易用性（perceived ease of use）兩個的因素的影響，形塑使用者態度，最後透過採用意圖促使行為產生（Davis, 1989）；知覺有用性指的是使用者認為使用某種技術、系統或產品將增進其工作績效或生產效率的程度；知覺易用性指的是

使用者對於使用特定系統或技術容易程度的感知，如果一個系統或產品被認為是容易使用的，使用者更有可能接受和使用它。知覺有用性與知覺易用性會共同形塑使用者態度，此外，知覺有用性亦會直接對採用意圖造成影響，而態度則直接影響採用意圖。科技接受模型自提出以來廣泛受到使用，學者透過變數擴充、與其他理論結合而有豐富的應用，例如與計畫行為理論 (Theory of Planned Behavior) 結合探討民眾使用線上報稅系統 (Wu and Chen, 2005)，Venkatesh 等 (2003) 曾結合創新擴散理論、科技接受模型、計畫行為理論、社會認知理論等 8 個不同理論，提出整合科技接受模型 (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology)。科技接受模型自提出後，由於敘述簡潔、邏輯清晰易懂，適合用於解釋與預測人們對於創新技術的採用意圖與行為，故受到廣泛應用。科技接受模型應用與科技發展史息息相關，從最早探討電腦科技、網路時代探討線上購物，直到現今多消費性電子產品與數位金融 (Ha and Stoel, 2009；Nasution and Azmin, 2018；Singh *et al.*, 2020)，顯示該理論的應用仍持續演進中。近年隨著智慧農業的發展，開始有許多針對農民採用智慧農業技術之相關研究；Mohr 和 Kuhl (2021) 擴充應用科技接受模型探討德國農民對於人工智慧應用的接受程度，結果顯示個人態度、知覺行為控制、知覺有用性、知覺易用性與個人創新性對採用意圖有正向影響；值得一提的是，該研究發現農民對於系統所蒐集資料的智慧財產權及後續加值分析亦相當重視，並且是影響採用的重要因素。Thomas 等 (2023) 曾對 16 篇不同國家應用科技接受模型探討農民採用智慧農業系統之研究進行統合分析 (meta-analysis)，結果顯示增加生產力、蒐集資料可取得性、技術支援等 3 個因素，在不同研究中，對於採用意願普遍存在正向影響關係；系統複雜程度、基礎設施需求則普遍會造成農民負擔，降低採用意願。而普遍存在的擔憂，例如學會操作系統所預期付出的努力、機會成本、系統效用、與使用者價值觀整合等問題，則在不同研究中僅有限的影響。換句話說，對於不同國家，來自不同社會經濟、文化背景或產業的使用者，其重視的因子將有所不同，若要推廣擴散相關技術，應針對系統目標使用者進行調查研究，擬定相應策略。

本研究將以科技接受模型為基礎，分為兩部份，第一部份探討本場轄內屬於潛在早期採用者的農民，對於本場研發之農業生產管理即時監控系統的使用意圖，作為未來推廣策略或系統教育訓練之參考。第二部分則探討影響農民對於設置農業生產管理即時監控系統的願付價格之因素，分析使用者對本系統產生之價值感來源，並提供智慧農業設備、系統服務業者未來定價與行銷參考。

材料與方法

一、研究架構與假設

在最初的科技接受模型中，態度為採用意圖的內生變數（endogenous variable），受到其他變數的影響，是反應使用者偏好的變數，而知覺有用性與知覺易用性會形塑使用者態度，是從模型外部影響模型的變數，故為前置變數（antecedent variable）；此外，知覺有用性亦會直接影響採用意圖（Davis, 1989）。相關文獻亦指出，科技系統知覺品質可解釋知覺有用性，並增加模型解釋力（徐等，2013；Calisir *et al.*, 2014）。Alam 和 Saputro（2022）針對數位金融研究發現，介面設計會影響使用者對於系統操作知覺易用性的認知，並進而影響採用意圖，可作為知覺易用性的前置變數，國內亦有針對數位典藏系統的研究發現，使用介面對於知覺易用性具有正向影響（Hong *et al.*, 2011）。資訊安全的重要性隨著物聯網技術普及受到相當大的重視，每年企業或使用者受到資安事件造成的損害不計其數，越來越多系統設計者意識到資訊安全的重要性，然而安全與便利乃一體兩面，系統資訊安全設計越縝密，對於使用者來說，越容易感受到不方便，故本研究推測會影響使用者的知覺易用性，作為知覺易用性之前置變數，可提升模型解釋能力。過往文獻針對資訊安全多以數位金融、加密貨幣或醫療系統（Taherdoost, 2022；Alsyounf *et al.*, 2023；Hu *et al.*, 2019；Singh *et al.*, 2020），較欠缺農業生產者對智慧農業系統資訊安全看法的研究；參考過往文獻，本研究假設，資安要求越高的系統，越有可能造成使用者使用上的不方便，進而降低認知易用性。基於前述文獻，本研究以科技接受模型為核心架構，擴充知覺品質、介面安全性與介面設計等三構面，提出研究架構及模型建立方式（圖 1）；並提出下列 9 個研究假設，假設 1 至 8 為探討形成採用意圖的果關係變數之間的效果，採用偏最小平方法結構方程模型建立分析模型，而願付價格部分則採用序列機率模型進行計量分析。

假設 1（H1）：農民對智慧農業系統的知覺有用性會正向影響採用意圖。

假設 2（H2）：農民對智慧農業系統的知覺有用性會正向影響態度。

假設 3（H3）：農民對智慧農業系統的知覺易用性會正向影響態度。

假設 4（H4）：農民對智慧農業系統的知覺易用性會正向影響知覺有用性。

假設 5（H5）：農民對智慧農業系統的態度會正向影響採用意圖。

假設 6（H6）：農民對智慧農業系統的知覺品質會正向影響知覺有用性。

假設 7（H7）：農民對智慧農業系統的資訊安全會負向影響知覺易用性。

假設 8 (H8)：農民對智慧農業系統的介面設計性會正向影響知覺易用性。

假設 9 (H9)：農民對智慧農業系統的採用意圖會正向影響願付價格。

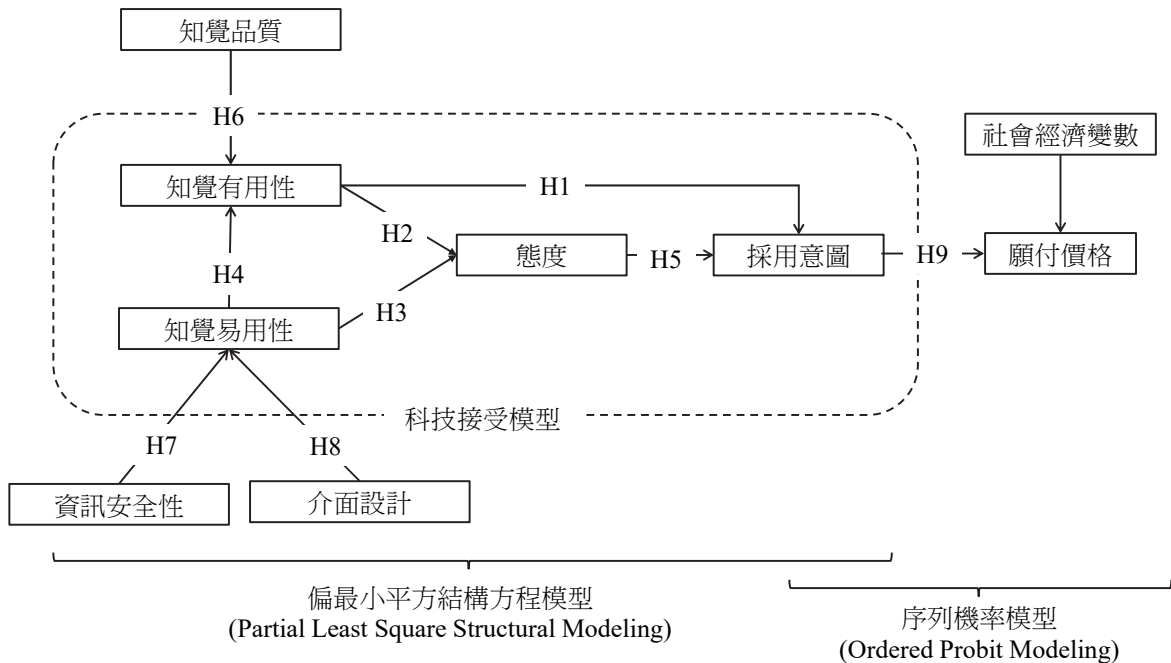


圖 1. 本研究架構

Fig. 1. Research Framework.

二、問卷設計與調查方法

本研究採用結構式問卷作為測量工具。所有測量尺度皆採用李克特五點量表評量，就受訪者同意程度，由「非常不同意」至「非常同意」順向依序給予 1 至 5 分，構面操作型定義與題項設計參考過去文獻（表 1），總計 27 題。社會經濟背景調查則包含性別、年齡、農場規模、年營業額及願付價格。調查方法採立意抽樣（purposive sampling）針對本場 2022 至 2023 年辦理「設施智慧灌溉系統安裝水電工程及應用實務課程」，課程學員即潛在早期採用者進行調查。計回收有效問卷 86 份。

表 1. 構面操作型定義與問項發展來源

Table 1. Conceptual definition and operational definition of constructs.

構面	操作型定義	題數	問項發展參考
知覺有用性	使用者主觀認為使用某一特定系統有助其未來工作績效及生產效率的程度	3	Venkatesh 等 (2003) 、 Davis (1989)
知覺易用性	使用者主觀認為採用某特定系統容易學習或使用的程度	4	
態度	使用者對所使用的特定資訊系統的正面或負面的感受與評價	4	
採用意圖	使用者有意願持續使用某特定系統的程度	4	
知覺品質	使用者對系統運作、可靠性、資料正確性等產品特性所產生的判斷與評價	4	徐等 (2013) 、楊 (2018)
資訊安全性	使用者對系統資訊隱私權及信任與安全性的評價	4	姬 (2023)
介面設計	使用者對與系統之間互動時，對於資訊組織（布置、編排、分組、標籤或定位）、資訊呈現（顏色、尺寸、形狀、視覺線索）之評價	4	楊 (2018) 、 Bevan 等 (2015)

三、分析方法

(一) 偏最小平方法結構方程模型 (Partial Least Squares Structural Equation Model, PLS-SEM)

本研究以偏最小平方法結構方程模型(Partial Least Squares Structural Equation Model, PLS-SEM) (Wold, 1975) 驗證本研究架構中假設 1 至 8 之路徑關係。PLS-SEM 由兩個部分組成：結構模型 (structure model) 與測量模型 (measurement model) 。本研究第一部分採用此分析方法的原因係因 PLS-SEM 適用於估計複雜模型路徑，能同時估計測量誤差，並有小樣本之適應性，與基於共變異數的傳統 SEM 相比，在對資料的要求假設較低的條件下，依然保持良好的預測能力。故本研究依據 Chin (1998) 方法，結構模型與測量模型之參數估計以進行假設考驗，並應用 Cronbach’s α 、組合信度 (composite reliability, CR)、平均變異萃取量 (Average Variance Extracted, AVE)、Fornell-Larcker 準則進行模型信度與區別

效度評鑑，並參考 Hair 等 (2011) 建議，針對預測性驗證研究，利用拔靴法 (bootstrapping) 重複抽樣 5,000 次，利用 t 檢定進行路徑係數顯著性檢定。結構模型的遞迴路徑及測量模型可用下列方程式表達：

$$\text{結構模型：}\eta_j = \Sigma_i \beta_{ji} \eta_i + \Sigma_i \gamma_{jh} \xi_h + \zeta_j$$

其中， η_j 為內生潛在變數向量； β_{ji} 及 γ_{jh} 為路徑係數矩陣； ξ_h 為外生潛在變數向量； ζ_j 為誤差項所構成之向量。

$$\text{測量模型：}\mathbf{x} = \Lambda_x \xi + \varepsilon_x$$

$$\mathbf{y} = \Lambda_y \eta + \varepsilon_y$$

其中 $\mathbf{x}$ 及 $\mathbf{y}$ 分別為外生潛在變數 (ξ) 及內生潛在變數 (η) 的測量變數； Λ_x 及 Λ_y 為因素負荷量矩陣； ε_x 及 ε_y 則為測量模型之誤差項。

(二) 序列機率模型 (Ordered Probit Model)

為進一步瞭解控制社會經濟變數後，由前述心理變數所形塑的採用意圖對農業生產管理即時監控系統願付價格的影響，以評估影響使用者對本系統隱含價值的來源，考量抽樣方便性與成本，本研究假設兩種出價機制，第一種採系統月租訂閱制，調查願付月租費率，第二種為一次性投資的願付價格，由於問卷設計觀察值願付價格 ($\mathbf{y}$) 採用排序性質的離散型應變數，故本研究分析方式採用序列機率模型。模型設定如下：

$$y^* = \beta_0 + \beta X + u$$

其中假設 y^* 為無法觀察到的潛在變數， β_0 向量為截距項，向量 β 為估計係數，向量 X 則是由本研究假設會影響願付價格之解釋變數與社會經濟變數所組成。 u 為誤差項，序列機率模型基本假設為誤差項服從標準常態分配，針對無法觀察的 y^* 透過不同域值 (threshold) μ_i 將其分組，對應於觀察到的有序應變數 $\mathbf{y}$ ，並應用最大概似估計法 (maximum likelihood method) 估計待估參數。本研究模型如下：

$$y = 1 \text{ if } y^* \leq 1$$

$$y = 2 \text{ if } 1 \leq y^* \leq \mu_1$$

...

$$y = n \text{ if } \mu_{n-1} \leq y^*$$

基於對 u 的假設，我們可以估計 y 的累積機率：

$$\text{Prob}(y = k) = \begin{cases} \Phi(-\beta X) & \text{if } k = 1 \\ \Phi(\mu_k - \beta X) - \Phi(-\beta X) & \text{if } k = 2 \\ \Phi(\mu_k - \beta X) - \Phi(\mu_{k-1} - \beta X) & \text{if } k = 3 \dots n-1 \\ 1 - \Phi(\mu_{k-1} - \beta X) & \text{if } k = n \end{cases}$$

其中 $\Phi(\cdot)$ 為標準常態分佈累積機率密度函數，且 $\mu_i > 0$ 。

結果與討論

本研究針對形成採用意圖的心理構面因果關係應用 SmartPLS 4.0 進行偏最小平方結構方程模型進行分析；影響願付價格因素探討則應用 STATA 17 進行分析。

一、樣本特性分析

本研究樣本中，男性佔 64.0%，女性佔 36.0%；受訪者教育程度主要為大學或大專畢業，佔全體樣本 59.3%，顯示教育程度偏高；作物種類以蔬菜產業最多，佔全體樣本 46.5%，此原因係本系統設計時主要就是提供設施短期葉菜類栽培，故推廣時多針對設施蔬菜農戶為主；年營業額 20 萬元以下最多，佔 26.7%，其次為 21 至 70 萬元，佔 24.4%，第三則為 71 至 300 萬元，佔 20.9%，若從營業額來看，使用者多以中小型農場為主；建置本系統一次性資本投入願付價格主要 2 至 5 萬元最多，佔全體 27.9%；若提共每月訂閱資訊服務等分析，每月願付價格集中在 101-300 元，佔 32.5%（表 2）。本研究樣本平均年齡約 42.61 歲，標準差為 10.68，中位數為 42.50 歲，顯示受訪者年齡較集中，屬於青壯年族群；栽培面積平均數為 3.04 公頃，標準差為 8.85，中位數 0.7 公頃，顯示經營規模差距程度較大，偏態係數為 5.22、峰度 29.08，屬於正偏態，表示其分配集中在平均數以下且較常態分配來的高狹，栽培面積小的個體較多（表 3）。

表 2. 樣本背景類別變數次數分配表

Table 2. Frequency table of sample background categorical variables.

背景變數	組別	次數	百分比(%)
性別	男	55	64.0
	女	31	36.0
教育程度	國中或以下	2	2.3
	高中(職)	13	15.1
	大學或大專	51	59.3
	研究所以上	20	23.2
作物種類	水稻	6	6.9
	雜糧	1	1.1
	蔬菜	40	46.5
	果樹	24	27.9
	茶	2	2.3
	菌菇	2	2.3
	花卉	7	8.1
	其他	4	4.6
年營業額	20 萬元以下	23	26.7
	21-70 萬元	21	24.4
	71-300 萬元	18	20.9
	301-500 萬元	13	15.1
	501-1,000 萬元	3	3.4
	1,000 萬元以上	8	9.5
建置系統願付價格(一次性投資)	1 萬(含)元以下	15	17.4
	2-5 萬元	24	27.9
	6-10 萬元	17	19.7
	11-15 萬元	9	10.4
	16-20 萬元	11	12.7
	21 萬元以上	10	11.6

背景變數	組別	次數	百分比(%)
每月訂閱資訊服務願付價格	100 元 (含以下)	17	19.7
	101-300 元	28	32.5
	301-500 元	22	25.5
	500 元以上	19	22.0

表 3. 樣本背景連續變數敘述性統計

Table 3. Descriptive statistics of sample background continuous variables.

背景變項	平均數	標準差	中位數	偏態(std err)	峰度(std err)
年齡	42.61	10.68	42.50	0.36(0.26)	-0.03(0.51)
栽培面積(公頃)	3.04	8.85	0.70	5.22(0.26)	29.08(0.51)

二、偏最小平方法結構方程模型實證分析

(一) 構面信度、收斂與區別效度評估

本研究先就 PLS-SEM 結果進行評鑑，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，模型必須通過評鑑才得以進行後續分析。參考過去文獻（Tavakol and Dennick, 2011；Hair *et al.*, 2011; Hair Jr *et al.*, 2021）建議，構面信度一般多利用 Cronbach's α 評估，針對反映型模型可用組合信度（composite reliability, CR）進行評估，且須高於 0.7 才有較佳之內部一致性，本研究各構面 Cronbach's α 皆高於 0.7，符合建議值範圍。針對收斂效度，本研究參考 Hair 等（2021）建議，AVE 值須高於 0.5 才有較好之收斂效度，本研究各構面 AVE 皆介於 0.692 至 0.876 間，符合建議值（表 4）。

表 4. 信度與收斂效度分析

Table 4. Reliability and convergent validity analysis.

構面	Crobnach's α	CR	AVE
態度	0.944	0.960	0.857
介面設計	0.927	0.948	0.820
採用意圖	0.953	0.966	0.876
資訊安全性	0.940	0.957	0.846
知覺易用性	0.891	0.924	0.752
知覺有用性	0.914	0.946	0.854
知覺品質	0.850	0.899	0.692

針對測量模型評估，Hair 等（2021）建議反映型模型因素負荷量（factor loading）高於 0.7，即高於 AVE 為 0.5 之平方根，表示測量指標能解釋構面至少 50%變異。本研究測量項目因素負荷量皆高於 0.7，顯示具有良好指標信度（表 5）。

表 5. 測量項目因素負荷量

Table 5. Factor loading of measurement items.

研究構面	因素負荷量
態度	
使用智慧農業系統是明智的	0.944
我會推薦其他人使用此系統	0.910
我不會排斥使用智慧農業系統	0.941
整體而言，我對智慧農業系統是支持的	0.907
介面設計	
智慧灌溉系統的介面設計是人性化的	0.877
智慧灌溉系統的介面設計簡單、直覺且易懂的	0.924
智慧灌溉系統的介面設計架構是好的	0.892
整體而言，我對智慧灌溉系統的介面設計是滿意的	0.929

研究構面	因素負荷量
採用意圖	
未來我會使用智慧農業系統	0.945
我打算繼續使用智慧農業系統	0.929
我會推薦親朋好友使用本系統	0.931
整體而言，我對使用智慧農業系統意願很高	0.939
資訊安全性	
智慧農業系統的數據儲存在雲端是安全的	0.931
智慧農業系統的安全防護是完善的	0.923
我放心讓智慧農業系統蒐集、上傳並分析我的農場經營數據	0.898
整體而言，我對智慧農業系統的資訊安全是安心的	0.927
知覺易用性	
智慧農業系統操作簡單	0.822
不用專家協助，我也能獨立操作	0.821
我能輕易使用系統的各種功能	0.903
整體而言，智慧農業系統是容易使用的	0.916
知覺有用性	
智慧農業系統能提高我的生產效率	0.912
智慧農業系統能節省我的管理時間	0.940
整體而言，智慧農業系統是有用的	0.920
知覺品質	
智慧農業系統各管理部門系統之間是容易整合的	0.706
智慧農業系統是可靠的	0.896
智慧農業系統蒐集的資料是正確無誤的	0.843
智慧灌溉系統運作是穩定的	0.870

區別效度係為評估構面之間的獨立性，確保其區隔，即屬於同一構面之指標必須與其他構面之指標保持低度相關。本研究使用 Fornell Larcker 準則(Fornell and Larcker, 1981) 比較特定一構面 AVE 平方根是否皆大於該構面與其他構面之相關係數，若皆大於與其他構面之相關係數，則能表示構面之間皆能有效區隔，本研究結果顯示 7 構面之間皆能有效被區分（表 6）。

表 6. 區別效度分析

Table 6. Discriminant validity analysis.

	態度	介面設計	採用意圖	資訊安全性	知覺易用性	知覺有用性	知覺品質
態度	0.926						
介面設計	0.556	0.906					
採用意圖	0.889	0.557	0.936				
資訊安全性	0.358	0.602	0.349	0.920			
知覺易用性	0.565	0.726	0.554	0.538	0.867		
知覺有用性	0.826	0.516	0.788	0.352	0.545	0.924	
知覺品質	0.588	0.705	0.616	0.548	0.564	0.666	0.832

(二) 路徑分析及研究假設驗證

本研究總共提出 9 假設，其中假設 1 至假設 8 應用 PLS-SEM 進行驗證，實證資料顯示，除了假設 1 及假設 7，路徑係數無達到顯著差異，假設不成立，其餘路徑皆呈成立（表 7）。內生潛在變數模型採用意圖之決定係數（ R^2 ）為 0.799，能解釋模型中 79.9%之變異量，顯示模型有高度解釋力（Chin, 1998）。另外，為瞭解解釋變數影響應變數的途徑、影響程度及方向，提升對於使用者採用意圖背後心理機制的理解，本研究應用拔靴法（bootstrapping）檢測中介效果（mediating effect），若信賴區間不包含 0，則表示中介效果存在（表 8）。整合路徑分析與中介分析的結果顯示（圖 2），使用者對系統的態度，會直接且正向影響採用意圖，標準化路徑係數（ β ）為 0.748（ p value<0.001）；知覺有用性與知覺易用性，會形塑使用者對系統的態度，並存在正向關係，其 β 分別為 0.736（ p value<0.001）

及 0.164 ($p \text{ value} < 0.05$)。換言之，若使用者對系統帶來的生產效率提升，滿足其省時省工需求、並且能獨立上手操作，不需要經常求助支援，能提升使用者對系統的正面態度；此外，從標準化路徑係數亦可觀察到，知覺有用性對態度的影響大於知覺易用性，顯示知覺有用性對態度的影響扮演最重要的角色。另外中介分析結果顯示，知覺有用性對採用意圖無直接顯著影響(路徑係數 $p \text{ value} > 0.05$)，而是透過態度完全中介 (full mediation)，與模型原假設不一致；雖然知覺有用性與採用意圖之間的正向關係相對穩定(樓和曾，2016)，然而過去亦有相關研究發現知覺有用性與採用意圖之間無顯著的關係(吳等，2019)。本研究推測可能原因係知覺有用性與使用者本身農場規模、產業特性、年收入等社會經濟條件有關，如：若農場規模較小，無省工或省時等急迫需求者，即使覺得系統有用，亦可能出於成本考量、適用性等因素，無助直接提升其採用意圖，故知覺有用性，在形塑態度的過程中，可能隱含成本考量或其他社會經濟變數的影響。

在另一方面，由於態度往往反應出使用者偏好 (preference)，故知覺有用性亦有可能透過使用者偏好所中介，間接影響採用意圖；如特別喜歡科技產品的農民，可能因具有創新性、開放性的人格特質，對類似科技的使用容易產生親和感，當覺得系統有用的條件下，更容易產生強烈的採用意圖。使用者對系統的品質，會正向影響知覺有用性，並透過知覺有用性與態度中介，正向影響採用意圖；顯示使用者若對於系統運作的穩定性、耐用程度、可靠性、資料品質與正確性等特徵感到滿意，則能感受到系統有用之處，進而提升其採用意圖。介面設計則會直接正向影響知覺易用性，並間接正向影響知覺有用性、態度及採用意圖，與過去許多研究一致；顯示介面設計的良窳，對使用者體驗具有重要性，如果介面對於系統功能、系統資訊、操作線索的組織、編排或視覺設計上能有助於使用者體驗，將能有效提升使用者採用意願。另外，本研究實證結果顯示，資訊安全性對知覺易用性不顯著(路徑係數 $p \text{ value} > 0.05$)，與過去研究及本研究假設不一致，推測可能是本系統尚未有高強度的資安操作程序，故使用者尚未感受到資安防護與知覺易用性之間的關聯。參考智慧農業於起步較早的國家，Mohr 和 Kuhl (2021) 曾針對德國農民對於人工智慧應用於農業生產的研究發現，德國農民重視數據後續智慧財產、安全性等隱私問題，意味著隨技術擴散與普及後，未來系統資訊安全將可能成為我國農民重視的因素，亦可能是未來大規模商業化運轉會面臨的問題，值得未雨綢繆。

表 7. 假說路徑關係檢定

Table 7. Hypothetical path relationship testing.

假說路徑	標準化路徑係數 ^z	標準差
H1：知覺有用性 -> 採用意圖	0.170	0.119
H2：知覺有用性 -> 態度	0.736***	0.082
H3：知覺易用性 -> 態度	0.164*	0.075
H4：知覺易用性 -> 知覺有用性	0.248***	0.081
H5：態度 -> 採用意圖	0.748***	0.112
H6：知覺品質 -> 知覺有用性	0.526***	0.093
H7：資訊安全性 -> 知覺易用性	0.159	0.132
H8：介面設計 -> 知覺易用性	0.630***	0.111

z. **及***分別表示 p 值<0.05 及 0.001。

z. *and***, p value<0.05, and <0.001, respectively.

表 8. 中介效果檢定表

Table 8. Mediation effect test table.

間接效果	估計值 ^z	下界	上界
介面設計 -> 態度	0.218***	0.105	0.359
介面設計 -> 採用意圖	0.190***	0.091	0.320
介面設計 -> 知覺有用性	0.157***	0.05	0.283
資訊安全性 -> 態度	0.055	-0.025	0.169
資訊安全性 -> 採用意圖	0.048	-0.022	0.146
資訊安全性 -> 知覺有用性	0.040	-0.018	0.128
知覺易用性 -> 採用意圖	0.302***	0.170	0.439
知覺有用性 -> 採用意圖	0.551***	0.350	0.771
知覺品質 -> 態度	0.387***	0.212	0.549
知覺品質 -> 採用意圖	0.379***	0.206	0.540

z. ***表示 p 值< 0.001。

z. *** denotes p value<0.001.

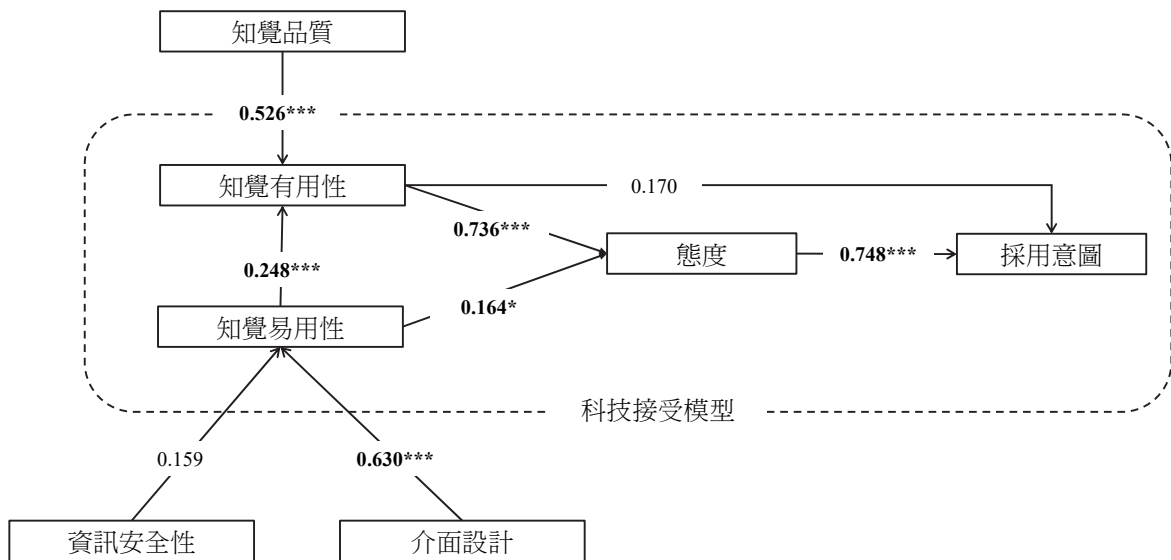


圖 2. 偏最小平方法結構方程模型路徑分析結果

Fig. 2. Results of path analysis using PLS-SEM.

二、願付價格分析

本研究將社會經濟變數做為控制變數 (control variables)，研究影響使用者願付價格的因素，推估使用者對系統價值感可能來源。問卷中設計兩種情境，調查使用者願付價格，使用序列機率模型 (ordered probit model) 進行分析 (表 9)。模型 1 為每月訂閱資訊服務願付價格；模型 2 為建置系統願付價格 (一次性投資)。模型 1 結果顯示，男性使用者、年營業額 71 萬元以上及採用意圖越強烈者，其願付價格提升的機率則越高，其估計係數分別為 0.6144 (p value<0.01)、0.9894 (p value<0.001) 及 0.2107 (p value<0.05)；將本結果與 PLS-SEM 結果併置比較，發現促成使用者採用意圖的心理因子中，態度以及直接形塑態度的知覺有用性、知覺易用性具有顯著正向影響，而知覺品質、介面設計則會間接正向影響態度。換言之，業者欲提升使用者對系統的認知價值，可從影響採用意圖的因子著手，提升使用者對相關因子的知覺程度；在教育程度方面，以國中或以下為基準組，高中 (或高職) 及研究所或以上者，對其願付價格皆為負向影響。模型 2 結果顯示，男性使用者 (估計係數為 1.0781, p value < 0.001)、年營業額 71 萬元以上 (估計係數為 1.0853, p value < 0.001) 與採用意圖 (估計係數為 0.2168, p value < 0.05)，對願付價格有正向影響。

表 9. 願付價格序列機率模型

Table 9. Ordered probit model of willingness to pay.

變數	每月訂閱資訊服務願付價格		建置系統願付價格	
	估計係數	穩健標準誤	估計係數	穩健標準誤
性別 ^y	0.6144**	0.2649	1.0781***	0.2787
教育程度 ^y				
高中(或高職)	-0.8376*	0.4673	-0.6948	0.4977
大學(或大專)	-0.3459	0.3464	-0.1699	0.3054
研究所或以上	-0.7780**	0.3889	-0.3577	0.3846
年齡	0.1121	0.0838	0.2019***	0.0642
年齡平方項	-0.0013	0.0009	-0.0024***	0.0007
栽培面積	-0.0099	0.0381	0.0164	0.0670
栽培面積平方項	0.0001	0.0007	-0.0002	0.0012
作物(非設施) ^y	0.0369	0.2509	0.3682	0.2347
年營業額 71 萬元以上 ^y	0.9894***	0.3212	1.0853***	0.3408
採用意圖	0.2107*	0.1087	0.2168*	0.1246
μ_1	2.2287	2.0345	4.4687	1.5136
μ_2	3.2904	2.0551	5.5419	1.5497
μ_3	4.1228	2.0726	6.2211	1.5619
μ_4	-	-	6.6190	1.5419
μ_5	-	-	7.3192	1.5553

y. 基準組分別為：女性、國中或以下、設施作物、年營業額 70 萬以下。

z. *, **及***分別表示 p 值<0.05,0.01 及 0.001。

y. base group: female, education background under junior high school, facility crops、annual revenue below 700,000 NT dollars.

z. *, **and***, p value<0.05, 0.01and 0.001, respectively.

此外，在模型 2 中年齡與願付價格有非線性關係，年齡一次項估計係數為 0.2019 ($p\text{ value} < 0.001$)，二次項係數為 -0.0024 ($p\text{ value} < 0.001$)；顯示建置系統一次性投資之願付價格與年齡呈現為凹向下之二次曲線，其經濟意義為隨著使用者年齡增加，願付價格增加機率亦提升，但其邊際效應遞減；推測可能原因為年輕經營者可能基於經驗或風險承擔能力較不足，對於投入一次性投資在智慧農業生產設備上較為保守，然而隨著年紀增加，累積足夠經驗後，可承擔的風險提升，對於一次性投資在設置智慧農業系統願付價格亦增加，但增加的效果則隨年齡增加趨緩。然而，將本結果與模型 1 相比較，年齡對於每月訂閱制的願付價格無顯著影響，推測訂閱制的收費方式，可能被視為較無負擔的收費方式，使用者年齡、經驗較無直接影響。此外，併列兩模型結果可觀察到，性別、營業額與採用意圖對不同模型的願付價格，皆有一致且穩定的方向與效果；顯示這三個因素的對於使用者對系統的認知價值，以至於願意付出的價格，具有重要影響性。

結論與建議

本研究因受限於本系統正在推廣中，使用者及樣本較少，然而調查樣本皆屬於潛在採用者，亦具有相當參考價值，以下針對分析結果，提出結論與未來推廣實務上之建議：

一、提升知覺有用性、知覺易用性、知覺品質與介面設計將有助提升採用意圖

科技接受模型是一個簡潔、有邏輯且能有效衡量使用者採用資通訊科技處理工作上面臨問題的行為架構。本研究基於科技接受模型進行構面擴充，結果顯示知覺有用性、知覺易用性、知覺品質與介面設計對於會形塑使用者對於系統的態度，並進一步影響採用意圖。使用者對系統是否能提高生產績效、如降低成本、節省工時、提高效率等，是影響使用者態度與採用意圖最重要的變數，未來需要持續在不同場域中持續驗證，使用案例研究與見證觀摩，提高農民對有系統有用性的感知程度。此外，使用者對本系統的知覺有用性不會直接影響採用意圖，但會透過使用者態度完全中介；換言之，使用者經濟背景、偏好與人格特質，亦可能透過態度影響採用意圖，未來辦理推廣教育訓練時，可針對不同背景的學員設計不同的學習路徑，如透過硬體安裝維修、程式積木軟體設計、場域實作等課程比例的分配與難易度規劃，滿足不同態度、偏好

或特質的使用者。提升知覺易用性，系統操作或設定上可朝向追求簡易、直覺的介面，並加強對系統功能、系統資訊、操作線索的組織、編排或視覺設計，提升使用者體驗；且大部分情況下能夠獨立操作，不需時時求助相關技術專家，亦可朝向智能客服，簡化故障排除的流程，提高使用者認知易用性。另外，在「知覺品質」方面，系統的穩定性對農民採用本系統有顯著的影響，本研究所衡量的知覺品質其操作變項有軟硬體設備之穩定、可靠與資訊的正確性，顯示對使用者而言，軟硬體的穩定運作與維護等要求，會影響使用意願；在農場運作的系統硬體設備（如感應器、控制器、監視器等物聯網設備）需要有穩定的品質，才不會因農場高溫、高濕之惡劣環境影響運作，建議開發者針對硬體極端環境多做測試，以降低經營者預期之維運成本及風險，提升知覺品質。另外，雖然本研究未發現資訊安全性對採用意圖有影響之證據，但近年來個人資料外洩事件層出不窮，從新聞媒體上，亦常看到駭客攻擊行為，不僅造成經濟損失，更造成國家安全的問題；智慧農業系統，除了蒐集作物生長數據外，多半都會蒐集農場營業資訊、經營者個人資料，隨著數據越多，越能拼湊出經營個體的全貌，成為資安風險。遵守相關資安規範與法規，亦是商業運轉需要面對的課題。

二、社會經濟背景會影響願付價格，採用意圖具正向影響，背後影響因素為價值感來源

本研究發現，使用者社會經濟變項會影響願付價格，其中性別達到顯著差異，結果顯示，男性使用者願付價格較女性高，其差異是否與系統設計有關，或源自於農家傳統上男性經營者負責生產管理，女性經營者負責財務或行銷等分工慣性所導致之差異，超過本研究調查內容，有待未來更深入的探討，或透過質性訪談補充不足。本研究另外將年營業額分為 70 萬元以下與 71 萬元以上兩組，兩種願付價格模型中，年營業額 71 萬以上者願付價格皆較高，顯示類似本系統的智慧農業設備，對有經濟規模之農民較具吸引力，此結果符合實務上預期。未來推廣建議以較具經濟規模，產值較高之農民為對象，較容易被採用。由於本研究聚焦於採用意圖的形成與其對願付價格的影響，僅將社會經濟變數做控制變數，並受限於調查範圍與成本，未針對其效果做更進一步的分析，建議未來相關研究可針對社會經濟變數的調節或混淆等效果進一步研究。另外，本研究結果亦顯示，採用意圖對願付價格高低有正向影響，與預期結果相符；本研究發現採用意圖與使用者態度、知覺有用性、知覺易用性、知覺品質與介面設計等因素息息相關。若以影響程度而言，知覺有用性總效果 0.551 ($p\text{ value}<0.01$)、

知覺品質總效果 0.379 ($p\text{ value}<0.01$)、知覺易用總效果 0.302 ($p\text{ value}<0.01$) 及介面設計總效果 0.190 ($p\text{ value}<0.01$)，若未來在資源與時間有限的情況下，想透過優化系統以提升使用者對系統的價值感，在投入研發資源有限的情況下，可以上述之效果大小依序，並考量改善項目可能產生的成本、技術面難易程度，作為未來系統改善優先順序與配置相關研發資源之參考。

參考文獻

- 吳勤榮、詹詠誠、徐茂洲。2019。以科技接受準備模式探討心率偵測手環使用意圖之研究。臺灣體育運動管理學報 19(1):31-62。
- 姬永旻。2023。以科技接受模型探討老年人對於遠距監測系統及裝置之使用意願。中山醫學大學職能治療學系學位論文。89pp。
- 徐欽祥、曾智樑、何篤光。2013。以科技接受模式和資訊系統成功模式探討大專運動會官網使用意圖。休閒運動保健學報。5:9-23。
- 農業部桃園區農業改良場。2019。應用雲端系統打造數位農場，行動管理智慧生產。
<https://www.tydares.gov.tw/theme_data.php?theme=news&sub_theme=agri&id=6690&print=Y>。
- 楊智凱。2019。智慧農業發展現況。菇類智慧化生產與農場經營管理研討會專刊。p. 21-27。
- 楊雅婷。2018。OTT 影音平台的使用者研究：以整合科技接受與資訊系統成功模式探討行為意圖與付費意願。政治大學傳播學院傳播碩士學位學程學位論文。92pp。
- 樓永堅、曾威智。2016。以後設分析法探討科技接受模式之研究。科技管理學刊。21(2):1-28。
- Agarwal, R., M. Ahuja. P.E. Carter, and M. Gans. 1998. Early and late adopters of IT innovations: Extensions to innovation diffusion theory. In Proceedings of the DIGIT Conference. p. 18.
- Alam, A. and I.A. Saputro. 2022. A Qualitative Analysis of User Interface Design on A Sharia Fintech application Based on Technology Acceptance Model(TAM). Jurnal TAM (Technology Acceptance Model). 13(1):9-16.
- Alsyouf, A., A. Lutfi. N. Alsubahi. F.N. Alhazmi. K. Al-Mugheed. R.J.Anshasi. N.I. Alharbi,

- and M. Albugami. 2023. The use of a Technology Acceptance Model (TAM) to predict patients' usage of a personal health record system: The role of security, privacy, and usability. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 20(2):13-47.
- Au, Y. A., Y.A. AU, and R.J. KAUFFMAN. 2003. What do you know? Rational expectations in information technology adoption and investment. *Journal of Management Information Systems*. 20(2):49-76.
- Bevan, N., J. Carter, and S. Harker. 2015. ISO 9241-11 revised: What have we learnt about usability since 1998? *Interacción*. p. 143-151.
- Calisir, F., C. Altin Gumussoy. A.E. Bayraktaroglu, and D. Karaali. 2014. Predicting the intention to use a web-based learning system: Perceived content quality, anxiety, perceived system quality, image, and the technology acceptance model. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*. 24(5):515-531.
- Catalini, C., and C. Tucker. 2016. Seeding the Technology S-Curve? The Role of Early Adopters in Technology Diffusion. *SSRN Electronic Journal*.
< <https://ssrn.com/abstract=2822729> >.
- Chin, W.W. 1998. The partial least squares approach to structural equation modeling. *Modern Methods for Business Research*. 295(2):295-336.
- Davis, F.D. 1989. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*. p. 319-340.
- Fishbein, M. 1979. A theory of reasoned action: Some applications and implications. *Nebraska Symposium on Motivation*. p. 65-116.
- Fornell, C. and D.F. Larcker. 1981. Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*. 18(1):39-50.
- Ha, S. and L. Stoel. 2009. Consumer e-shopping acceptance: Antecedents in a technology acceptance model. *Journal of Business Research*. 62(5):565-571.
- Hair, J. F., C.M. Ringle, and M. Sarstedt. 2011. PLS-SEM: Indeed a Silver Bullet. *Journal of Marketing Theory and Practice*. 19(2):139-152.
- Hair, J. F., G.T.M. Hult. C.M. Ringle. M.Sarstedt. N.P. Danks, and S. Ray. 2021. Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) using R: A workbook. 1st ed. Springer

Nature, Switzerland.

- Hong, J.-C., M.-Y. Hwang, H.-F. Hsu, W.-T. Wong, and M.-Y. Chen. 2011. Applying the technology acceptance model in a study of the factors affecting usage of the Taiwan digital archives system. *Computers & Education*. 57(3):2086-2094.
- Hu, Z., S. Ding, S. Li, L. Chen, and S. Yang. 2019. Adoption intention of fintech services for bank users: An empirical examination with an extended technology acceptance model. *Symmetry*. 11(3):340.
- Mohr, S. and R. Köhl. 2021. Acceptance of artificial intelligence in German agriculture: An application of the technology acceptance model and the theory of planned behavior. *Precision Agriculture*. 22(6):1816-1844.
- Nasution, M.D.T.P. and A.A. Azmin. 2018. Consumer acceptance of trustworthy e-commerce: An extension of technology acceptance model. *Academy of Strategic Management Journal*. 17(6):1-13.
- Rogers, E.M., A. Singhal, and M.M. Quinlan. 2014. Diffusion of innovations. In *An integrated approach to communication theory and research*. p. 432-448.
- Singh, S., M.M. Sahni, and R.K. Kovid. 2020. What drives FinTech adoption? A multi-method evaluation using an adapted technology acceptance model. *Management Decision*. 58(8):1675-1697.
- Taherdoost, H. 2022. A critical review of blockchain acceptance models-Blockchain technology adoption frameworks and applications. *Computers*. 11(2):24.
- Tavakol, M. and R. Dennick. 2011. Making sense of Cronbach's alpha. *International Journal of Medical Education*. 27(2):53-55.
- Thomas, R.J., G. O'Hare, and D. Coyle. 2023. Understanding technology acceptance in smart agriculture: A systematic review of empirical research in crop production. *Technological Forecasting and Social Change*. 189:122374.
- Venkatesh, V., M.G. Morris, G.B. Davis, and F.D. Davis. 2003. User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*. p. 425-478.
- Walden, E.A. and G.J. Browne. 2009. Sequential adoption theory: A theory for understanding herding behavior in early adoption of novel technologies. *Journal of the Association for Information Systems*. 10(1):31-62.

- Wold, H. 1975. Path Models with Latent Variables: The NIPALS Approach. In *Quantitative Sociology* p. 307-357.
- Wu, L., and J.-L. Chen. 2005. An extension of trust and TAM model with TPB in the initial adoption of on-line tax: An empirical study. *International Journal of Human-Computer Studies*. 62(6):784-808.

Exploring the Factors Affecting Farmers' Intention to Adopt Smart Agriculture and Willingness to Pay Using Technology Acceptance Model¹ – A Case Study on Agricultural Production Management Real-Time Monitoring System

Tsung Hua Lee²

Abstract

In this study, we apply the Technology Acceptance Model to investigate the factors influencing farmers' intentions to adopt an agricultural production management real-time monitoring system developed by our institution and the price they are willing to pay. A questionnaire survey was conducted among potential early adopters of the system, yielding 87 valid responses. Initially, a Partial Least Squares Structural Equation Model (PLS-SEM) was employed to explore the causal relationships between variables affecting the adoption intention. Subsequently, an Ordered Probit Model was used to investigate the factors affecting the willingness to pay under two different payment scenarios, controlling for socio-economic variables. The results indicate that the factors positively influencing adoption intention, in order of effect size, are the total effect of perceived usefulness (0.551, p-value < 0.01), perceived quality (0.379, p-value < 0.01), perceived ease of use (0.302, p-value < 0.01), and interface design (0.190, p-value < 0.01). It is suggested that under conditions of limited resources and time, the system can be optimized in this order to enhance the adoption intention of potential users. Controlling for socio-economic variables, the intention to adopt has a positive impact on willingness to pay, indicating that factors shaping adoption intention enhance the users' perceived value of the system, thereby increasing their willingness to pay.

Key words: early adopter, innovation diffusion, partial least square structural equation model

¹. Contribution No. 543 from Taoyuan DARES, COA.

². Assistant Researcher (Corresponding Author, thlee@tydais.gov.tw).