



技術準備度 在農業科技管理之應用¹

黃靖嵐² · 莊凱恩³ · 林盈甄³ · 江秀娥³ · 郭坤峯⁴ · 李翎竹²

一、技術準備度概述

技術準備度（Technology Readiness Level；或稱技術準備度、技術成熟度、技術就緒指數等）是評估科技計畫研發進展程度之系統性量測指標。最初為 1980 年代，美國太空總署（NASA）為了發展太空系統的技術，必須解決所面臨的研發、營運及社群之間溝通與協調之問題，所設計出的評估模式。之後陸續為其他部門，如美國國防部、能源部所採用。近年包括美國國家食品與農業機構（NIFA）、歐洲智農網絡（Smart AKIS）、環地中海農業研發組織（PRIMA）等農業領域單位亦開始採用此科研管理工具。國內如中科院、科技部，及經濟部亦將技術準備度作為評估產業應用潛力、徵求補助計畫的參考依據。

註 1：感謝行政院農業委員會農業試驗所「重點農產業資訊探勘與科技策略規劃：技術成熟度之應用－以蝴蝶蘭產業為例」計畫經費的支持。本文之參考文獻可逕洽作者。

註 2：台灣農業科技資源運籌管理學會。

註 3：行政院農業委員會農業試驗所。

註 4：行政院農業委員會科技處。

技術準備度此科研方法要求在研發初期即需確立研發目標、定義達成此目標的關鍵技術（Critical Technology Element, CTE），並在過程中建立商品化評估指標。故透過技術準備度除了可以讓研究單位規劃研究進展，也有助於計畫管理單位檢視技術可應用性之推進過程，在不同階段適時投入政策工具，以使技術更快擴散至產業應用。

二、技術準備度在農業領域的應用現況

農業領域與其他領域相同，以應用研究或商品化為科技研發的目標，其成果應符合產業需求與市場趨勢。根據相關案例之蒐集分析（表 1），技術準備度在政策與研發資源的應用上，主要可分成 6 種類型：（1）分析產業鏈技術：衡量特定產業之各環節技術發展狀況；（2）組織研發評鑑：衡量組織的核心能力與關鍵技術發展；（3）研提競爭型計畫：盤點技術缺口、設定里程碑，研提新研究計畫；（4）審查研發計畫：用於徵求研發計畫時的自評或他評；（5）協助界定所需政策介入標的及工具：根據不同技術準備度階段，提供所需的政策介入標的及工具；（6）資源配置：根據不同目標，以技術準備度作為評估依據。

表 1. 農業技術準備度案例彙整表

類別	使用時機	應用目的	案例
1	產業鏈技術分析	分析技術路徑	UND-WINDER
2	組織研發評鑑	整合型計畫績效報告	Smart AKIS
		組織內關鍵技術盤點	Uniquest
3	競爭型計畫研提	應用策略規劃	PRIMA
		大型計畫的技術研提盤點	RHC-Platform
4	研發計畫審查	計畫徵求	Teagasc
		個別計畫評估應用	Penn State University
5	協助界定所需政策介入標的及工具	配套政策評估	NIFA
			ICAR-IARI
6	資源配置	作為資源分配依據	European Conference

三、技術準備度判定標準

目前技術準備度的判定標準上，在美國通常是以 NASA 的技術準備度定義為基礎，根據產業特徵加以修正。歐盟則多採用 HORIZON 2020 – WORK PROGRAMME 2014 – 2015 General Annexes 中對於技術準備度的定義。

技術準備度的等級基本上以 9 等級居多，但亦可見自 9 等級區分為 4 階段，或區分為 10 等級的分級方式，對於等級的應用端視機構或領域需要而調整，但可根據技術

表 2. 技術準備度層級

類型	多數技術使用者		單一技術使用者	
	階段	Horizon 2020	階段	NASA
1	技術構想可行性分析	基本原則發掘	基礎研究的可行性	觀察及提報基本原則
2		技術概念探討		技術概念及應用研擬
3	實驗測試階段	初次評估可行性概念及技術		分析性及實驗性重要功能及特性概念驗證
4		驗證整合原則（實驗室環境下）	實驗室環境下的零件或線路板驗證	
5	商品化可行性評估	測試原型（使用者環境下）	技術發展及示範	相關環境下的零件或線路板驗證
6		生產前產品		在相關環境下的系統 / 次系統模型或原型示範
7	商業化推廣	小規模試驗性生產示範	技術驗證及實施	太空環境下的系統原型示範
8		製造完整測試驗證及完備		經由測試及示範的實際系統完成及具飛行能力
9		生產及產品完全可運作		經由成功任務操作的實際系統飛行驗證

的使用者為單一或多數加以區分。儘管分類內涵有所異同，但以多數技術使用者為目標的技術準備度分級應用，基本上歷經技術構想可行性分析、實驗測試、商品化可行性評估及商業化推廣 4 階段（表 2）。

四、我國農業技術準備度評估標準與案例

由於農業技術研發是以多數使用者為前提，加上美國國家食品與農業機構（NIFA）已綜合農業特色與美國國防部技術準備度及製造成熟度概念，本研究援引 NIFA 技術準備度評估標準，並參考工業領域技術準備度表單、歐盟 HORIZON 2020 評估問項，研擬我國農業領域之技術準備度評估標準。

農業領域涵蓋廣泛，作物、機械、資訊系統等軟硬體皆屬於農業技術。表 3 以「智慧型除草系統」（農業機械）以及「藍紫色蝴蝶蘭育種」（作物）為例，說明不同技術準備度階段所具有的技术特徵。經由本研究多次測試，目前所提出的技術準備度評估標準，易為研究人員所理解與操作，將有助於後續推廣應用。

以〈智慧型除草系統之開發〉計畫為例，其主要關鍵技術為作物辨識系統，若現階段已完成作物位置辨識系統，並在乾淨田間完成測試、取得研究數據，但卻未裝設於未來實際應用之載具，且未進行複雜田間測試，則其屬於 TRL3。再者，以〈藍紫色蝴蝶蘭育種〉計畫為例，若確定市場有此顏色需求但缺乏相關產品，且已掌握特定育種材料，但尚未成功雜交出具藍紫色表現之實株後代，則為 TRL2；若在實驗環境下，確認品種性狀符合商品化品種所需之特徵，並完成量化生產測試則為 TRL5。

表 3. 農產業技術準備度評估標準與範例

階段	定義	評估問項	智慧型除草系統之開發	藍紫色蝴蝶蘭育種
TRL1	界定機會與挑戰	<ol style="list-style-type: none"> 1. 進行現況分析與已設定所開發技術的使用者，及確認技術開發目標。 2. 已掌握明確的基本技術及原理。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 國內有機栽培業者逐漸擴大，對於除草人力需求日增。目前既有除草系統僅能應用於水稻田，且只能進行田間除草。 2. 智慧除草系統＝載具＋作物辨識系統＋除草機械。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 確認藍紫色為目標市場的偏好顏色。 2. 目前市面上缺乏藍紫色系之蝴蝶蘭。
TRL2	構思因應方案	已掌握關鍵技術所需之素材。	植物智慧辨識系統市面上已有類似商業化技術。	掌握具有藍色表現的育種材料，如：指甲蘭亞族、朵麗蘭、CYT62、CYT115。
TRL3	進行概念性驗證實驗	已在實驗室等模擬環境確定主要關鍵技術的可行性。	在實驗田試驗作物位置辨識系統雛型機，並取得研究數據。	成功雜交出具藍紫色表現之實株後代，並完成出瓶種植。
TRL4	進行關鍵要素之現場試驗	已在實際應用環境確定主要關鍵技術的可行性。	在實際草相複雜的田間試驗作物位置辨識系統雛型機，並取得研究數據。	完成種植測試，如出瓶時間、肥培管理、種質環境等因素進行測試，並完成評估報告。
TRL5	驗證商品化之可行性	已將主要關鍵技術與其他要素結合，完成產品原型，並在實驗室等模擬環境檢證性能、機能、效益。	完成載有智慧除草系統的載具／曳引機實驗田之田間測試，並評估系統效益。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 進行量化生產測試，如分株組數是否足夠。 2. 確認後代藍紫色表現的機率與穩定性，足以達成生產效益。 3. 品種性狀符合商品化品種所需之特徵如葉型、株高、花梗數目等。
TRL6	完成實用性原型開發	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已在實際應用環境中，檢證產品的性能、機能、效益。 2. 已完成最終產品之成本、應用區域之導入成本試算。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成智慧除草系統的載具／曳引機實際田間試驗。 2. 完成智慧除草系統最終產品成本及應用區域之導入成本試算。 	在一個以上實際生產場域（量產溫室）進行測試，並確定可行。
TRL7	市場可及性	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已開始示範、展示產品或技術。 2. 已完成最終產品之實際成本、應用區域之導入實際成本的評估。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 於農民推廣會上示範智慧除草系統。 2. 完成實際成本評估。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成品種、品系登記。 2. 完成該品種量產所需之相關管理流程。
TRL8	建立商用	至少有一位最終使用者使用這套產品。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 技轉一家廠商。 2. 有一家以上農企業或一位以上農民實際使用此系統。 3. 提供機器使用的操作手冊。 	市面上已有少量業者進行該品種的量產，市場端尚未普遍流行。
TRL9	達成持續生產	已有足以證明產品普及化之數量的最終使用者在使用該套產品。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 有數家以上農企業使用此系統。 2. 除草機械普及率達 10%。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 有數家以上農企業種植此新品系。 2. 新品系累計產值達國內蝴蝶蘭年出口值的 1% 以上。

五、技術準備度在農業科技管理應用之效益

本研究初步將農業技術準備度應用於分析產業鏈技術、整合型計畫管理，認為技術準備度在農業科技管理應用具有下列效益：

首先，應用於農業產業鏈分析的主要效益為：(1) 藉由關係人的技術需求訪談確認關鍵技術，有助於確認產業技術缺口，也可從需求訪談界定我國產業國際競爭優劣勢及瞭解不同型態廠商對技術之需求。(2) 有助於比對產業技術需求與學研之研究現況。(3) 可作為相對客觀且持續追蹤技術進展之評估方法。(4) 科技管理單位可應用於盤點資源投入對產業效益與科技發展的進展、盤點研發缺口，並及早調整資源配置。(5) 可較有系統地呈現農業研發成果在各產業的布局與應用情形。

其次，應用於整合型計畫管理的主要效益為：(1) 近年大型計畫被要求提出計畫結束時的階段性目標 (endpoint) 與界定技術發展過程的里程碑 (milestone)，技術準備度有助於計畫執行單位從以終為始的觀點，設定合理的目標，並思考研發成果最後落實應用所需具備的元素，進而開展技術應用的執行步驟，確認研發計畫持續累積商品化所需元素，並透過計畫準備度的自評與他評，提升研究團隊對產業應用的認知，提升研發成果商品化成功的機會。(2) 對計畫管理單位而言，在整合型計畫中，由於各類型的技術發展階段不一，技術準備度提供相對清晰的研發成果階段性評估標準，有助於降低統籌單位的負擔，並整體呈現整合型計畫研發組合的布局狀態與階段性效益。(3) 技術準備度有助於輔助科技管理決策，評估研發資源配比的合理性，避免過度偏重短期有成效的計畫，並配合計畫發展階段輔以配套的政策工具 (如補助示範基地、創投)，以助於提升研發成果的產業化推廣效果。

六、結論

技術準備度雖然已有一些國外農業應用的案例，目前臺灣在科技部與經濟部也開始使用技術準備度作為科技計畫管理的工具。透過此文拋磚引玉，期能傳達技術準備度的核心概念，以提升研發成果獲致應用的機會及提升管理單位在科技管理的效能。