



整合智慧精準高效
開啟數位育種
新局面



面對全球氣候變遷加劇、糧食安全風險升高、農業勞動力高齡化及耕地資源受限等議題，傳統農作物與經濟動物育種模式正面臨諸多挑戰，包括育種周期長、效率低及應變能力不足。在環境快速變遷與市場日趨多元需求下，如何整合新興數位技術與工具協助進行兼具高產量、優良品質與逆境適應力之新品種選育，已成為農業永續發展之重要課題。

撰文—財團法人農業科技研究院產業發展中心 陳南宏、邱星媛、蘇柏如
農業科技司 錢岳

數位育種引領農業創新

為提升育種效率與應變能力，數位育種已成為全球農業轉型之關鍵角色，各國政府紛紛將其納入農業創新政策與研究布局中，發展具高度精準性與效率之育種工具，加速重要作物及經濟動物之新品種改良開發，更強調跨資料整合、平台建構及產業落地之綜合應用。以下簡介美國、歐盟與日本近年於數位育種領域政策與實踐概況。

美國基因體育種戰略： 從資料整合到精準選育跨域創新藍圖

自2018年起，美國農業部（USDA）推動「國家研究計畫」（USDA-ARS National Program），以提升作物與經濟動物之生產效率與遺傳資源應用，促進農業體系永續性與氣候韌性。透過整合遺傳資源保存、基因體學、代謝體學與分子育種等資料整合，加速優良性狀開發、監測及品種多樣性建立，並推動資料標準化與共享平台，強化遺傳多樣性以促進研究整合與應用。

《USDA Science Blueprint 2020 – 2025》進一步提出跨領域整合與科技導向之育種願景。在作物領域，整合基因



歐盟自2018年起，推動多項物種之前瞻計畫，聚焦於基因體註釋與表觀遺傳學應用，結合跨體學與機器學習技術，發展實用性狀預測模型以強化育種決策效能。

圖譜、微生物與環境交互模組，應用光譜、感測影像與自動化等高通量表型技術，建立規模化性狀量測機制；同時依循FAIR原則建構數位資料庫，導入人工智慧與機器學習進行性狀預測與決策支援。在動物領域，則導入高通量資料平台，與體學等資料整合，建立複雜性狀預測模型，以提升繁殖力、抗病性與氣候適應能力等目標，因應未來挑戰。

歐盟育種創新布局： 跨體學資料整合驅動永續農業與科技轉型

歐盟自2018年起，推動多項物種之前瞻計畫，聚焦於基因體註釋與表觀遺傳學應用，結合跨體學與機器學習技術，發展實用性狀預測模型以強化育種決策效能。同時為整合跨物種與跨領域之大數據資源，於2023年啟動EuroFAANG計畫，作為基因型至表型（Genotype-to-Phenotype, G2P）研究之核心樞紐，統籌並標準化各項基因體與表型體資料，促進資料共享與平台互通。此計畫致力於建構開放、科學嚴謹且具永續導向之育種體系，進一步提升歐洲在全球育種研究與國際協作中之影響力。

近年更積極推動植物與經濟動物育種創新，強調遺傳資源在氣候調適、糧食安全與永續農業轉型中扮演關鍵角色。為因應遺傳多樣性流失風險，歐盟透過「從農場到餐桌」（Farm to Fork）與「2030生物多樣性策略」等政策，倡議地方遺傳資源與傳統品種之保育與活化，並在2021至2027年之Horizon Europe科研框架下推動逾60項相關計畫，內容涵蓋氣候韌性作物、有機與地區性育種、豆科作物創新，以及地方品種之經濟與生態價值等領域。

日本「綠色糧食系統戰略」： 以數位育種串聯農業全鏈轉型

日本農林水產省於《糧食・農業・農村政策白皮書》中提出「綠色糧食系統戰略」，目標於2050年前實現農業

綜觀美國、歐盟與日本育種發展，各國皆將數位育種視為強化農業體系之重要手段，並依據自身農業條件與需求，發展出全球育種多元且分工互補之發展格局。

淨零排放；透過減少化學農藥與肥料、擴大有機農業與環境友善農業轉型。為加速育種科技創新，啟動「加速綠色品種開發項目」，整合產學研資源，推動農業價值鏈從品種選育、田間管理到加工與消費之全面整合，打造數位育種平台。

技術層面以基因體選拔為核心，透過基因型、性狀資料分析以及預測模型，在育種初期即能辨識目標性狀提升育種效率；導入數位感測與高速影像技術，進行非破壞性、即時之表型與生長特徵監測，亦能同步監測根系發育與溫室氣體排放，實現育種與環境監測整合。

決策支援方面，結合人工智慧建構資料整合平台，具備資料倉儲、查詢與模擬功能，透過歷史資料輔助選拔與配種決策，有效節省人力與時間成本。為克服多物種資料整合挑戰，日本亦推動跨作物資訊平台，使資料得以結構化整合與應用，拓展育種策略至全產業鏈，實現技術與制度創新共進，推動農業永續發展。

綜觀美國、歐盟與日本育種發展，各國皆將數位育種視為強化農業體系之重要手段，並依據自身農業條件與需求，發展出全球育種多元且分工互補之發展格局。

各國育種政策與研究重點一覽表

項目	美國	歐盟	日本
因應目標	氣候韌性 提生產量	氣候韌性 糧食安全 環境友善	氣候韌性 環境友善 淨零碳排
研究重點方向	<ul style="list-style-type: none">跨體學關聯分析研究高通量表型性狀感測技術資料管理系統與整合平台應用機器學習於性狀預測輔助	<ul style="list-style-type: none">跨體學資料解析研究功能性基因體與環境交感研究高通量表型性狀預測與模型多物種資料整合與共享機制	<ul style="list-style-type: none">基因體與性狀選拔研究應用非破壞性數位表型感測技術作物育種數位資訊整合平台育種決策支援系統
研究領域	農糧、畜產	農糧、畜產、漁業	農糧

數位育種 3 大核心技術與研究重點



強化我國農漁畜育種動能

為因應全球農業永續發展挑戰，農業部自114年推動「重要作物及經濟動物數位育種技術實用化計畫」，導入數位科技強化我國育種能量。計畫聚焦農、漁、畜三大領域，選定甘藷、番茄、蝴蝶蘭、白蝦、種豬、種鴨、毛豆、硬質玉米、甜瓜、白菜、水稻、臺灣鯛、紅羽土雞共13個具代表性經濟物種，進行基因體與表型之體學研究，強化關聯性分析與重要性狀特徵選拔，並藉由整合跨體學數據、歷史選拔資料及環境條件等，建構數位育種平台，提升育種資訊應用與世代經驗傳承，故以「體學資料整合」、「表型調查元件開發」及「育種決策模型驗證與經驗傳承」3大模組為核心（如上圖），透過跨域智慧科技應用協助縮短育種時程並提高成功率，以引領我國育種產業邁向高精準與高效率之願景。

核心關鍵技術三軸並進

體學資料整合與應用

整合基因體、轉錄體與代謝體等資料，建構標準化跨體學平台，加速多物種性狀關聯分析與潛力材料篩選，結合高通量數據，提升育種效率並降低成本。

以種鴨為例，為提升飼料效率相關性狀之選拔與準確性，針對消化器官及肝臟進行基因體、轉錄體與蛋白質體等研究，辨識關鍵候選基因，並透過標準化格式架構與API設計，建構跨體學分析平台，有助於快速檢索相關商業性狀指標，加速種鴨產業的數位育種與精準管理。



表型調查元件開發與建立

為突破傳統育種調查人力限制與誤差問題，計畫開發多尺度影像感測與自動化量測工具，應用於多物種性狀調查，快速取得生長、健康與產量等資料，提升效率並降低表型分析門檻。

以硬質玉米為例，運用國家植物表型體分析系統與自動化影像辨識技術，開發可連續且非破壞性掃描之表型性狀調查模式，進行玉米雜交品種於缺氮與缺水雙逆境下根系資訊收集，高效收集大量性狀影像與數據進行基因體關聯分析，同時透過機器深度學習模型，協助篩選植物性狀與耐逆境表現，降低人力成本與數據判讀時間，以提供耐逆境品種選拔之數位育種核心工具。



育種決策模型之驗證與經驗傳承

透過大數據資料與機器學習等演算法，建構性狀預測、環境表現預測與歷史選拔等綜合分析模式，導入科學化輔助決策，使選拔過程更具預測性與可重複性，並有助於培養新一代育種專業人才。

以水稻為例，整合歷年水稻區域試驗之數據資料，並結合臺灣氣候歷史氣象資訊，運用多環境穩定性分析方法進行解析，針對目標品種之品質與產量性狀，建立多年期不同環境下性狀表現之選育模式，並導入機器學習演算法建構重要性狀選拔模型，建立品種與環境交互作用之性狀表現預測，提升優良品系選拔效率與精準度，以作為水稻選拔決策與經驗傳承之數位育種工具。



從「選得快」到「育得對」 接軌國際邁向未來

數位科技正重塑全球育種研發格局，臺灣亦積極投入其中。然而實務上面臨數據格式不一、育種流程未全面標準化、跨平台數據整合複雜及跨域專業人才供應不足等問題，均為技術落地應用帶來挑戰。為此，我國未來發展建議聚焦於以下4大策略：

加速高通量與自動化應用落地

導入高通量感測與自動化調查設備，建構具實用價值的應用示範場域，強化現地驗證與技術擴散，提升數位技術實作可行性。

推動橫向系統整合

整合基因體、表型體、環境數據與決策模型，建立資料互通與流程串接機制，促進從「資料收集」向「智慧決策」轉化，加速育種資訊鏈效能。

積極對接國際平台與標準

參照美國USDA與歐盟EuroFAANG等案例，導入資料標準化規範與共享機制，強化臺灣數位育種成果之國際能見度與合作潛力。

建構跨域人才培育體系

建立涵蓋生物科技、資訊工程與育種實務複合式人才培育機制，培養具備數位工具操作與資料解讀能力之次世代育種人才，厚植產業升級基礎。

未來，臺灣數位育種將朝向「本土應用彈性」與「國際對接能力」雙軌並進策略，提升研究成果轉化為產業應用效率，推動智慧化、資料共享與具國際競爭力之育種產業，以加速因應氣候變遷與糧食安全挑戰，為我國農業注入創新動能並邁向高效永續新局面。