



整合智慧精準高效

# 開啟 數位育種 新局

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"> <li>• 跨體學關聯分析研究</li> <li>• 高通量表型性狀感測技術</li> <li>• 資料管理系統與整合平台</li> <li>• 應用機器學習於性狀預測輔助</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 跨體學資料解析研究</li> <li>• 功能性基因體與環境交感研究</li> <li>• 高通量表型性狀預測與模型</li> <li>• 多物種資料整合與共享機制</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 基因體與性狀選拔研究應用</li> <li>• 非破壞性數位表型感測技術</li> <li>• 作物育種數位資訊整合平台</li> <li>• 育種決策支援系統</li> </ul>
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。🌱