



2017 年加拿大農業與農業食品部-農業科技創新報告

許書華

國立臺灣大學農藝學系 博士候選人 編譯

摘要

加拿大農業與農業食品部歷經長達 140 年的努力，致力於建立強韌、健康及創新的農業生產系統。為達到強化農業產業的目標，加拿大農業與農業食品部與學界、產業界、地方及各行政單位都有緊密的合作關係。該食品部不僅具有完整的國際合作網絡，且共有 20 個研究發展機構遍佈整個加拿大。研究導向涵蓋許多重要農業相關議題及具發展潛力的技術，各研究團隊之間合作密切，注重跨界合作的團體精神；探討議題包含農業食品、牛肉、穀物、乳製品、青貯飼料、園藝作物、油料種子、肉類及豆莢等各項生產。該單位所執行的各項研究計畫同時重視生物多樣性、生物資源永續利用，確保在追求學術研究同時可以維持整體農業生態系統的生產力及環境健全。

2017 年加拿大農業與農業食品部出版「農業科技創新」報告，彙整加拿大農業與農業食品部近期農業科學研究成果，同時探討各研究成果對農業、農業食品更甚至是加拿大經濟的貢獻。加拿大近期農業創新發展可分為六個部分：(一)針對提升農業生產力之技術開發，分別介紹作物生產氮素利用最適化之評估平臺、永續農業之作物授粉系統、農業氣象預測工具及衛星影像技術遙測土壤水分含量等技術開發；(二)探討農業生產中如何強化環境保護績效，其中，加拿大酪農業十分發達，如何降低牛隻飼養所產生的生態足跡及環境友善之酪牛農場經營方法之建立為酪農發展主要的兩項議題，同時，減少農業土壤水徑流污染並且了解農業操作對於城市近郊環境的污染也是加拿大政府於生態保護議題的重點研究方向；(三)為確保農業資源的應用不被浪費，分別開發蔬菜發酵技術平臺以及培育健康附加價值高之藍莓品種；(四)為農產各界面臨危機可能應變策略的探討，如田間蟲害預警系統的建立、蜜蜂原生族群弱化的解決辦法以及牛隻抗病之育種計畫；(五)遺傳工程在農產品檢疫及小麥病害防治上進展與成果；(六)以小麥蚜蟲防治及冬季作物殘體放牧法呈現科學研究成果於回饋農產業的實質效益。

關鍵詞：加拿大農業與農業食品部(Agriculture and Agri-Food Canada)、環境保護績效(Environmental performance)、永續(Sustainable)、生態高效(Eco-Efficient)、農業預警系統(Agriculture forecasting system)





2017 年加拿大農業與農業食品部-農業科技創新報告

壹、前言

加拿大農業與農業食品部(Agriculture and Agri-Food Canada, AAFC)建立於1868年，積極發展至今已邁向第150年，主要掌管加拿大農業生產、研究、開發、動植物檢驗及農村發展等政策。其中有關農業科學研究開發部門負責針對加拿大境內農業挑戰，開發應對策略並具體實踐。

加拿大農業與農業食品部所屬研究單位遍佈全加拿大，主要分為三個區域，海岸氣候地區(coastal region)、大草原區(Prairie region)、安大略省及魁北克省區域(Ontario / Quebec region)。海岸氣候地區分別有西岸的 Agassiz、Summerland 及東岸的 Fredericton、Kentville、Charlottetown、St-John's 共六個研究單位；大草原區則包含 Lacombe、Lethbridge、Saskatoon、Swift Current、Brandon、Morden；安大略省及魁北克省區域則擁有最多研究單位，除了五大湖區的 London、Harrow、Guelph，尚有 Ottawa、St-Jean-sur-Richelieu、Sherbrooke、St-Hyacinthe、Quebec 等八個研究單位。



資料來源：Agricultural innovations. (2017)

圖 1 加拿大農業與農業食品部所屬研究單位分佈



加拿大國家佔地雖大，然而可耕地面積僅有國土的7%，約6,400萬公頃，又位於溫帶低溫地區，作物選擇有限的條件下，自然資源於農業生產上的管理與應用需要格外的謹慎，除了先天環境資源的限制，當今地球環境被嚴重破壞，資源被過度使用以及氣候變遷的威脅下，面臨的當今挑戰，為建立二十一世紀農業生產創新系統，AAFC提出四個主要農業議題亟須應對，首先分別是提升農業生產力(Increasing agricultural productivity)所需的植物養份需求評估系統、氣象及土壤水分預警系統。再者是強化農業系統環境保護績效(Environmental performance)，如何降低農業生產對環境的衝擊如農業溫室氣體釋放、農產品碳足跡水足跡評估以及農業操作徑流污染是主要探討對象。第三為加強農產資源的利用，務必充分使用農業產出，減少營養浪費。最後則是田間蟲害預警系統及農產品貿易檢疫問題的解決，以下以各主題介紹加拿大近期農業創新發展。

貳、提升農業生產力

一、作物氮素利用效率最適化之評估工具

AAFC研究團隊開發之土壤、作物及環境大氣氮素循環(Soil, Crop and Atmosphere for Nitrogen, SCAN)線上評估系統，針對土壤、作物及大氣氮元素循環狀態進行估測，用以建議農民田間作物生產氮肥精確施用量。

氮素是作物生長發育必要元素之一，作物對於氮元素的需求受到許多因子影響，包括土壤性質、降雨及生長積溫(如玉米生長積溫Corn heat units, CHU)，導致實際田間需要量難以計算，因此田間氮肥常施用過量或是因降雨淋洗而導致氮肥不足，對於農民經濟收益或是環境都有負面的衝擊。此項新工具可藉由評估當地土壤性質、降雨、前期作物類別、作物經濟收穫指數(Harvest index)、土壤有機質含量以及作物含氮量等指標，計算出作物栽培最適氮肥施用量。同時，廣泛利用的SCAN系統可完善魁北克及安大略地區主要農業生產地區土壤資料，帶給農民利潤及永續經營等正面的效應。研究結果顯示，於不減損產量之前提下，SCAN應用可減少加拿大境內半數商業玉米田栽培的玉米穀粒(含氮量25%)，精確的肥料用量也實質的降低農戶的生產成本。



進行商業田間試驗期間，根據不同年度的資料計算，SCAN平均經濟效益範圍為每公頃25至49美元，正向的效益也包含減少農業用氮肥逕流至環境中，減少環境水源污染的危機。AAFC現正優化界面，建置方便農民使用的網頁，希望將SCAN系統推廣至各地農業耕作團隊組織，同時加拿大官方正在商討SCAN商業化的認證，預計於2017年釋出商業版本。

二、農業作物永續授粉策略

加拿大矮灌林藍莓(Lowbush blueberry)的生產需要依賴蜜蜂授粉，然而因為當地人工飼養授粉昆蟲(蜜蜂)的短缺，驅使加拿大大西洋省地區的農民需要尋找多元的授粉策略，期望進一步提升現有的藍莓生產效率。

棲地的喪失及環境結構的轉變是蜜蜂族群每年持續衰弱的主要原因，有鑒於此，加拿大農業與農業食品部正著手分析農業景觀及棲地多樣性與原生蜂群授粉能力之間的關係，結果指出周圍植相¹多樣性高且花卉種類多的藍莓產區產量較高，而且500公尺範圍內的藍莓田僅需要5%的景觀比例就可足以支持原生蜂群覓食及棲息。這相對微小比例的景觀設置也可反映出原生蜜蜂族群復育對於農業生態的影響。研究團隊開發一套評估的準則，可以幫助藍莓農民規劃管理藍莓田區以外的鄰地，提供當地原生蜂群足夠的覓食範圍與棲地，穩定維持甚至是提升藍莓的產量，並進一步著重探討景觀結構如何提供蜜蜂棲地與食物豐富的多樣性，透過擴大蜂群的族群同時抑制害蟲的數量，達到減少化學殺蟲藥劑的使用。

三、遙感探測技術-利用衛星影像技術遙測土壤水分含量

氣候是影響農業生產的重要因子，適時適地的土壤含水量對農民來說格外重要，極端氣候災害如水患或乾旱所造成的農田濕害或土壤有效水分不足都將衝擊農業生產。AAFC研究團隊所提供的土壤濕度資料，有利於農民將極端氣候對農產的損害降到最低。研究團隊利用加拿大太空總署(Canadian Space Agency's)RADARSAT-2 雷達衛星偵測系統，建構地表土壤濕度圖譜。一般而言，土壤吸收春天高山融雪的承載力是評估土地淹水逆境耐受性的關鍵因子，有鑒於水患對於農田土壤的衝擊，研究團隊利用衛星影像建構的土壤濕度圖譜，給予農民水患的預測，此圖譜大大的提升

¹ 植相：係指植物種類。



融水流向預測的準確度，同時提供足夠的資訊以建立預防水患的基礎建設，對於鄉村區域應對水患的能力亦有提升的效果。了解土壤對於水分吸收的承載能力(如土壤含水量是否已飽和)可幫助農民們更有效的搭配氣象預報做正確的水分管理，此團隊未來主要的研究方向為土壤濕度圖譜對於特定作物病害管理上的應用。

大規模區域試驗下，研究團隊提供美國太空總署(National Aeronautics and Space Administration, NASA)完整的地面數據，用以校正及驗證土壤濕度主動暨被動探測衛星(Soil Moisture Active Passive satellite, SMAP)的系統，SMAP所建立的系統主要目的是建立全球的土壤濕度圖譜。2012至2016年期間，AAFC於境內曼尼托巴省(Manitoba)進行一系列詳盡的試驗，為就是提供完整且連續的資料給NASA，進行土壤濕度偵測模式的校正，最終目標是協助NASA建立精確的預估模式。

四、新興的農業氣象預測工具

農民憑藉氣象調整田間栽培管理，加拿大現在有兩個新興的農業氣象決策系統可提供更多的協助，分別為AgWeather Quebec(www.agrometeo.org)及AgWeather Atlantic(www.atl.agrometeo.org)。這二種線上系統皆可提供農民即時資訊，同時降低取得農業氣象資料的難度，農業操作決策系統可以幫助農民管理田間病蟲害、農業資財的投入以及最終生產的管理。兩個系統的建構整合超過400個Quebec及Atlantic Canada地區氣象站資料，再利用奧克拉荷馬大學(University of Oklahoma)所研發的系統進一步處理驗證數據，最後將數據視覺化後再釋出。

AgWeather Quebec及AgWeather Atlantic所提供資訊的是經由科學家驗證與設計，可直接應用於田間的決策流程，再者兩系統的數據將全數匯入加拿大農業與農業食品部電腦中心，提供加拿大一級行政區英屬哥倫比亞省開發相關農業軟體的依據，如農業害蟲預測系統(Computer Centre for Agricultural Pest Forecasting, CIPRA)軟體及灌溉規劃系統，這些工具可提供快速氣象趨勢的辨認與最新的害蟲管理策略，達到改善整體盈利的目標。



五、開發促進作物生長之土壤有益微生物

自然界中1克土壤內估計含有至少上百萬個細菌，且種類高達6,000至8,000種，其中有一類微生物主要棲息於植物根圈部位，可促進植物生長，稱為根圈有益微生物。AAFC研究團隊已發現數種可促進植物生長同時減低農業化學肥料投入的有益微生物。AAFC研究團隊已分離許多對植物生長有益菌株，這些有益菌株主要可提高作物根系生長，其較強健的根系有助於土壤養分的固定與吸收，如植物生長必須之氮元素的固定與吸收，吸收面積較大的根系有助於植物提高環境中養分的利用與吸收，促進地上部莖葉之生長，以提高整體生產量。

這些被篩選分離的有益微生物中，AAFC由玉米根部所分離純化的有益菌可進行生物固氮、分泌植物荷爾蒙及抗菌物質的特色，不僅提高土壤含氮量，且分泌的植物賀爾蒙促進作物生長，抗菌物質則可抑制環境中病原菌的滋生，幫助我們發展更多生物防治機制策略。綜括上述機制，研究計畫結果可幫助農夫減少農藥肥料支出成本，減少農田化學肥料流失造成的周圍環境衝擊，甚至減少化學肥料製作過程中溫室氣體二氧化碳的產生。

參、強化環境保護績效(Environmental performance)

一、降低酪農業牛隻飼養所產生的生態足跡

加拿大研究團隊在這部分的研究成果顯示，過去三十年來牛隻畜牧業者如何由畜牧生產操作過程中減少溫室氣體產生，約每公斤牛肉減少15%的溫室氣體釋放。這個團隊由AAFC、加拿大環境氣候變遷研究中心(Environment and Climate Change Canada)、曼尼托巴大學(University of Manitoba)三方組織而成，該團隊主要的規劃則是針對溫室氣體釋放、牛隻育種目標及土地利用等三方面進行全面且詳盡地研究調查，目標是完整的估算畜牧生產過程中所製造的生態足跡。

研究團隊比較加拿大1981年與2011年之牲口數量及肉品產率，數據結果顯示2011年牛畜產業牲口數量少29%，土地使用量減少24%，但是生產出的肉品品質及產量卻與1981年相當。Holos軟體是由AAFC所開發，是一套畜牧用的整場模式溫室氣體排放評估系統，利用Holos計算結果顯示，



2011年畜牧生產總共減少15%的甲烷(Methane)，16%的氧化亞氮(Nitrous dioxide)以及13%的二氧化碳(Carbon dioxide)釋放量。總括而言，平均每克肉品生產可減少15%溫室氣體排放。減少的溫室氣體排放主要歸功於牛畜生產的效率提升和畜牧產業新技術應用，研究顯示30年研究所產生的累積效益帶給加拿大牛肉產業發展的重要幫助，AAFC牛隻遺傳、營養、生殖生理及牧群管理研究團隊將持續提供畜產農戶協助，未來2018年的畜產生態足跡研究尚有四項主要目標，依序為水資源利用、空氣品質、生物多樣性以及畜牧生態系統服務供給(Provision of ecosystems services)。

二、生態高效(Eco-Efficient)之酪牛農場經營

牧場管理是酪牛農場經營不可或缺的部份，特別是場內作物及牧草管理，目標達到最高牛乳產量，再者現今牧場內牛畜糞尿處理面臨相當大的挑戰，牧場內基本的工作為飼料牧草生產及糞尿處理，這兩項操作皆會對環境及農業經濟永續性帶來衝擊，若操作不當易增加牧場的生態足跡。新的生態高效管理策略不僅可減少生態足跡，同時可增加酪農的收入。AAFC研究團隊正對牧場管理各項目進行全方面詳細的評估探討，包含如何增加牧草產量及品質、牧場高附加價值作物的選擇以及減少碳足跡之糞尿處理方法。試驗範疇橫跨整個加拿大，科學家結合區域試驗與畜牧整場評估模式評量各項管理操作的利弊，以期得到完整的數據開發相關決策系統。

初步調查結果尚且樂觀，研究者發現，若牧場轉為種植苜蓿類(Alfalfa)作物可改善牛畜消化問題，同時增加單位重量牧草之產乳量，除此之外，建議將苜蓿與一般牧草混合種植，可增加每單位面積產乳量，提高牧場土地利用效率。牧場附加價值作物試驗過程中，甜高粱(Sweet sorghum)及甜珍珠粟(Sweet pearl millet)展現較高的產量，且栽培過程中產生較低的環境衝擊，結果亦指出若將牲畜排泄物作為栽培牧草的肥料，不但可使糞尿中氮素的利用效率達到最高，還可增加牧場內土壤的碳封存率。各地田間試驗資料的彙整進一步提升整合型牧場系統模式(Integrated Farm System Model)的準確度，能更精確的評估加拿大酪農業的經濟及環境足跡。透過環境友善的方式生產牧草與處理牛隻糞尿，不僅減少環境污染的風險，也



可提高牧場盈利，結果皆指向這項研究計畫對加拿大酪農有實質上的幫助。

三、溫尼伯湖盆地：減少農業土壤水徑流(Lake Winnipeg Basin: Reducing Agricultural Runoff)

湖泊或河流內氮、磷等養分的流動會增加藻類的繁殖，且劣化水質。這是加拿大第六大淡水湖泊-溫尼伯湖(Lake Winnipeg)，連接溫尼伯湖的所有水體正面臨污染之危機。溫尼伯湖盆地主要腹地是農田用地，因此加拿大農業和農業食品科學家(AAFC)正與大學、政府機構、保護組織和農民合作，積極改善湖泊水質、提供永續和經濟上可行的解決方案。為評估營養物質損失和土地管理影響，該團隊在溫尼伯湖分水嶺地區建立監測網絡，包含25個觀測站，以提高農業操作磷肥和氮肥的利用效率為整體目標，減少徑流污染，並將有價值的養分留在農田裡。研究團隊發現，磷會往低窪地區累積，但隨田間整地方式、周圍景觀以及磷肥的施用方式而累積量有所不同，因此必須開發新的磷肥施用方法以減少低窪地區因操作不當所造成的磷素累積，同時研究人員探討不同牛畜越冬系統對氮肥及磷肥流失的影響。

他們比較限制性飼養(Confined feeding)與冬季放牧(Bale grazing)之方式，限制性飼養是一種高密的冬季飼養方式，將牛隻的活動及餵養範圍侷限在特定地區；冬季放牧則是在冬季對牛隻進行農田放牧或捆綁牧草餵養。雖然放牧增加土壤肥力和減少糞便運輸成本，但卻帶來水質劣化的挑戰。若比較單一牛隻單位飼養時間內牧場氮磷的徑流損失，限制餵養與冬季放牧方式下氮磷流失率相同。然而需要更多的研究來降低土壤養分徑流以及水質劣化問題，透過新技術和最佳管理辦法，AAFC團隊將有助於提高土壤養分利用效率和作物產量，開發相對應保護措施，提高生產者盈利能力。

四、地下水污染監控系統的建立

農業活動造成的肥料徑流污染對環境影響深遠，加拿大農業與農業食物部研究團隊與多所大學合作，一同研究加拿大境內農業用水管理與地下水硝酸鹽污染之間複雜的聯結，研究團隊已調查農業氮肥淋洗的可能污染



源頭，一處位於英屬哥倫比亞省的作物栽培區的砂質土層及礫石含水層，另一處於愛德華王子島(Prince Edward Island)的破裂岩體層及裂隙含水層，這兩地區皆是當地飲用水來源，這項計畫說明由農業操作流失的氮素，如何在這些含水層中流動運輸。研究團隊發現，英屬哥倫比亞省的藍莓農民可以結合數種田間管理技術達到有效減少硝酸態氮淋洗至田間的風險，這些栽培管理技術包含施用有機肥料、訂定田間有效灌溉時間表以及開發藍莓肥液灌溉系統(Fertigation system)，同時在藍莓植株間規劃種植草地也可以有效地吸收多餘的氮肥；另一方面，愛德華王子島上的栽培系統則較為複雜且研究報告較少，主要研究報告則是著重於探討氮素在水體之間的循環及運輸。愛德華王子島計畫研究主體有二，第一為釐清作物輪作系統是否會影響作物根部吸收氮肥的能力，第二為作物輪作系統土壤中氮素流失速度的比較，此項試驗同時建構氮元素於田間移動的時間表，可說明農業操作淋洗至土壤的水及氮素由水層到地下水所需要的時間。

以上兩地計畫最終的目標是幫助科學家開發一套農業徑流污染評估工具，不僅可預測地下水氮肥污染程度，同時提供農民田間管理策略規劃，以降低農業操作期間化學肥料對環境的污染。

五、監控農業操作對於城市近郊的環境污染

不停增加的人口及土地資源有限的情形下，市郊的集約農業應運而生，若不加以適當的管理，最終會造成資源養分的流失以及環境污染問題。位於英屬哥倫比亞下弗雷澤谷區為人口稠密且集約耕作的地區，AAFC科學家推動一種多管齊下的耕作策略，目的是將養分資源的循環更有效地在野外、農田間運用。針對農場方面，研究團隊找到飼料及肥料的最佳使用量，以最少的肥料投入產生最大產值；針對周圍區域環境健康管理，主要是將糞尿處理系統與肥料管理結合，致力降低整個城郊地區硝酸態氮淋洗的問題。為此，研究團隊開發一個可精確估算肥料使用量的軟體工具(NLOS, soil nitrogen cycle simulation model)²，當地的農民在網路上就可輕易使用這項軟體工具。這套軟體系統內建有全加拿大超過100個氣象站所蒐集的氣象

² 精準田間養分管理模擬系統：www.nlos.ca



資料，一旦農民將自己田區的土壤跟作物種類輸入軟體中，系統會將農民資料與當地氣象資料結合，提供當地適宜的土壤肥力管理策略。

AAFC團隊開發更新型的畜牧糞便的精密應用技術，提高回收使用的牛隻糞尿的肥效，如牛隻糞尿蒐集槽的水分中含有高濃度的氮源，若將水分單獨分離使用，適合作為牧草的肥料；另外，沈積底層的泥渣中富含大量的磷，適合以注射入土壤內的方式種植青貯玉米。該綜合管理策略讓農民不需耗費多餘的金錢成本購買化學肥料，同時也可提升產量，相對的也減少糞尿發酵過程中氨氣的排放，減少空氣污染的風險。

這類的農場操作示範觀摩現正在加拿大各地進行中，其中田間牛畜糞尿精密土壤注射法已在荷蘭及近期丹麥的試驗報告中被證實有效，並在德國北邊的商業農場中也大量使用這樣的技術，藉由多管齊下的農場管理策略可有效的同時解決多種營養元素的管理問題，在城市與農村的範疇下，這樣的管理操作系統可減少農業生產對環境的衝擊，同時獲得更高的盈利。

肆、增進食物及非食物之農業生產貢獻

一、鮮食蔬菜發酵平臺之開發

發酵蔬菜食品是一個現正蓬勃發展的產業，不論是對於慣行農法³或是有機農場都相當受歡迎，特別是高經濟價值的作物，食物保存技術隨著人類歷史不斷演進，近十年間，科學家不斷地研究如何改善保存的方法，AAFC研究團隊發展一個常溫食物保存方法，可保存蔬菜營養長達一年之久，不需使用化學藥劑、高溫殺菌或者冷凍保存。這項新的發酵程序需要啟動因子，如存在植體上的微生物，一起被冷凍乾燥保存於收穫的蔬菜上，最後直接被用於蔬菜保存處理作用中，這樣的新技术已被用在泡菜(Kimchi)的製作上。

除此之外，這項發酵技術適用於多種蔬菜保存，特別是櫥架時間較短的包心菜、蒜頭以及嫩蕨菜，該技術亦可確保食品穩定性及安全性，同時提高儲運時間，不僅更符合消費者需求，也使加拿大的食品工業更具產業競爭力。基於食品工業發展的需求，AAFC科學團隊正積極的建立有關食

³ 慣行農法：係指有使用農藥、化學肥料的一般栽培方式。



物發酵的相關基礎科學，包含食物處理標準過程、發酵食品的功能性化合物以及發酵食品衛生安全之規範。

二、藍莓：人工栽培補貼野生藍莓產量策略

加拿大人工栽培藍莓生產如何補貼野生藍莓產量一直是重要的研究議題，科學家正致力培育新穎的高產且高品質的藍莓品種，如矮灌林藍莓是一種原生於加拿大的野生小粒種藍莓，已是北美常見的進口農產品；半高藍莓品種(Half-high blueberry variety)為高叢與矮叢藍莓雜交的成果，具有極高的商業價值，半高品系藍莓耐寒性較好，平均產量可比矮叢藍莓高出50%。AAFC 研究團隊積極與各界合作、開發高產、高營養價值以及適合加拿大溫帶地區種植的藍莓品種，從各大學、省級單位至藍莓產業界都是AAFC的合作夥伴，合作計畫方向也包含建立藍莓有機栽培系統。

AAFC的藍莓品種庫中蒐集許多野生及栽培種，部分為溫帶低溫區適合的栽培種，AAFC利用藍莓品種庫，進行許多品種的篩選育種、目標性狀如高抗氧化能力、適應多種環境以及病蟲害耐受性。由於加拿大為溫帶國家，多數作物不易在溫帶寒冷的地區生長，而藍莓卻可在較低溫區域種植，且藍莓為高經濟價值作物，故選拔可抗病蟲害的藍莓品種相當重要，因為抗病蟲害的品種特性不但可減少農民農藥的成本，亦可在不施用殺蟲劑的狀況下，提高藍莓在市場上的競爭力，這對於加拿大的農業發展相當重要的研究，也是在加拿大農業作物選擇及耕地有限的條件下，無疑是最好的作物選擇。

伍、農業與農業食品產值鏈結危機應對策略

一、田間害蟲發展預警系統

AAFC 開發一項害蟲發生預警系統，農業害蟲預報中心 (Computer Centre for Agricultural Pest Forecasting, CIPRA)，幫助農民有效地控制田間病蟲害，保障農作物的生產。CIPRA是一個免費提供給農民使用的預測系統，該系統根據氣象資料，以精密的數學模型預估病蟲害的發展，現今CIPRA已有超過100種作物/害蟲模式可供使用。實際使用範圍遍及魁北克、安大略省、加拿大大西洋省及英屬哥倫比亞地區，超過200個科學家與相



關領域專家都使用CIPRA系統提供農民病蟲害防治的策略建議。同時，也因為加拿大建立此大型的生物氣候預估模式，科學家將CIPRA-2016系統視為一個「擬真實驗室」，意指CIPRA系統是一個擁有完整田間背景資料的模擬平臺，CIPRA-2016不但可以幫助我們了解歷史氣候趨勢，也可以模擬未來可能的氣候變化與衝擊。

CIPRA-2016幫助加拿大政府建立正確的植物檢疫規範(例如適時的最佳用量)，有助於減少殺蟲劑的使用，減少的程度依不同氣候及作物種類下有所不同，平均約減少25至75%。綜合來說，可幫助農民生產無農藥殘留高品質的加拿大水果、蔬菜與禾穀類作物，此病蟲害預警系統也可以幫助農民避開蟲害發生的高風險期、調整產期與穩定市場價格。

二、控管外來的果蠅危害-點狀翅果蠅

點狀翅果蠅(Spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*)原生於亞洲，現正大舉入侵北美地區，危害漿果作物的生產。第一起果蠅入侵案例發生在2009年的英屬哥倫比亞省，然而因為這類害蟲的宿主範圍廣泛難以控管，爾後嚴重危害當地莓果及櫻桃的生產。一般果實蠅只能在表皮損壞的水果內產卵，點狀翅果蠅帶有鋸齒狀的產卵管，可將卵置於健康的果實中，造成果實潰爛，失去市場價值。

為此，AAFC研究團隊已在這外來種果蠅研究得到成果，正著手驗證防治的策略，瞭解點狀翅果蠅的繁衍有助於科學家研發新的防治策略，同時也可以幫助農民決定施用殺蟲劑的時機，精確的殺蟲劑施用量不僅可以降低成本；另一方面也可以減少果實農藥的殘留帶來的健康風險。根據研究結果，研究團隊發現點狀翅果蠅的季節性避難宿主植物，同時發展二種生物防治的方法，第一種生物防治方式是利用寄生蜂，有一類小型的雀蜂可將卵產在點狀翅果蠅的蛹當中，降低點狀翅果蠅幼蟲成活率；另一種則是利用真菌感染點狀翅果蠅的成蟲，直接降低點狀翅果蠅的族群數量。這兩種生物防治策略的效用皆正在持續驗證當中，以確保未來開發永續性的抑制害蟲技術。



三、維持農業生產所需原生蜜蜂授粉族群之健全

對於加拿大的農業而言，健康的蜜蜂族群是維持長期穩定且生態永續授粉機制的關鍵，當蜜蜂族群漸有成長，衍生的病蟲害問題仍需仰賴田間管理加以控制，另外，加拿大境內野生蜂群的種類的數量都大不如前，顯示蜂群正逐漸地弱化，AAFC也針對野生蜜蜂族群的健康與存活率加以研究探討。

西方蜜蜂，又稱歐洲蜜蜂(*Apis mellifera*)，為主要的農業生態系統的授粉者。已有許多文獻探討影響西方蜜蜂授粉的因子，如寄生蟲、蜂群病害、營養不足以及化學殺蟲劑皆可影響蜜蜂授粉成功的機率，AAFC進一步利用大規模試驗設計，試圖了解各別因子交互作用結果如何影響族群的大小，為探討不同田間管理對蜂群影響，研究團隊分別在油菜田及藍莓生產田間都設有相同的試驗。根據這項試驗研究的結果，AAFC研究團隊對於加拿大境內影響野生蜂群族群發展的主要原因已有相當的成果，肇因分別有生態弱化、棲地破碎、農業操作的干擾(特別是殺蟲劑的使用)以及病原菌的感染。因此為積極應對此問題，AAFC建立加拿大境內農業生態中的蜂群的種類與密度資料，進一步取樣各地的蜜蜂，分析蜜蜂身上殺蟲劑的殘留情形以及病原菌的感染，調查的結果可以幫助各地農民調整田間栽培管理方法，提高蜜蜂族群於各農業生態系生存的穩定性。

四、乳牛約尼氏病(Johne's disease, 又稱副結核桿菌病)的遺傳學研究

約尼氏病(Johne's disease)遍及加拿大境內，約尼氏病導致乳牛的提早淘汰，不僅降低產乳量同時也減輕牛隻體重，每年造成加拿大酪牛產業的損失高達9千萬美金。牛約尼氏病是具傳染性、病程緩慢且無法根治的細菌性病害，通常感染對象是犢牛，牛隻僅會在感病後二到三年後才會出現病徵。AAFC對於約尼氏病的研究主要針對牛隻體內的免疫反應，進一步開發抗病基因分子遺傳鑑定技術，以期選育出抗約尼氏病的牛隻品系。

現行加拿大對約尼氏病的診斷與防治主要由省級的管理方案主導，這樣的策略不僅繁複且相當耗費成本，相對地，以遺傳改良的方式提升牛隻的抗病力，才是應對此牛畜傳染病長遠且持久的解決方案。科學家正在研究約尼氏病之宿主與病原菌之間的交互關係，試圖釐清牛隻的遺傳背景變



異與感病程度之間的聯結，這將有助於抗病基因標誌的開發，最終可以協助抗約尼氏病牛隻品種改良。這個計畫提供酪農產業選育抗病品系的遺傳工程工具及資源，以天然育種的方式提高牲畜對疾病的抗性，降低約尼氏病對加拿大酪農產業的威脅。

陸、遺傳工程研究

一、利用遺傳工程技術追蹤大腸桿菌E. Coli於加拿大境內散佈情形

來自加拿大六個聯邦部門的科學專家聯合研究大腸桿菌(*E. Coli*)所帶來的風險，大腸桿菌常應用於現代分子生物學中，然而若不嚴格控管可能會帶給人類及環境危害甚至致命的危險。這個研究團隊成員來自加拿大農業與農業食品部、加拿大漁業與海洋部(Fisheries and Oceans Canada)，環境與氣候變化部(Environment and Climate Change Canada)，加拿大衛生部(Health Canada)，加拿大國家研究委員會(National Research Council Canada)，以及加拿大自然資源部(Natural Resources Canada)，此團隊分別從加拿大6個省，超過100個淡水及海水的蒐集取樣點，蒐集的水產樣品進一步分析所含之E. Coli含量及種類，期望透過建構E. Coli散佈傳染途徑，追溯源頭控制風險。致病性與非致病性E. Coli菌株之間的差異相當細微，基因體學技術可精確辨認不同E. Coli菌株，基因的資訊甚至幫助我們比較不同菌株基因體序列的差異。獲得加拿大境內致病性菌株分佈，研究人員可以通過更有效的土地利用管理措施來減少下游污染，以及在地方，省和聯邦各級進行更有效的管理公共衛生。

二、生態多樣性：檢疫與入侵物種控管計畫

國際貿易頻繁再加上全球暖化導致加拿大昆蟲，植物及病蟲害種類及活動皆有重大改變，加拿大食品檢驗局(Canadian Food Inspection Agency, CFIA)及加拿大的貿易對象持續發現以往未曾見過的生物安全問題。在AAFC領導下，來自數個部門的科學家開發一種新的檢疫工具，利用遺傳物質DNA檢測分類檢疫各種生物和侵入性害蟲。AAFC的國家生物資源庫中蒐集超過2,000萬種昆蟲、致病真菌和植物標本，該研究小組致力於開發高風險生物的DNA數據庫。



AAFC所建立的「DNA條碼系統」縮短準確識別檢疫所需的時間，可檢出的生物囊括所有威脅加拿大農業，林業和自然資源的入侵物種，因此加拿大2016年聯邦預算中，特別將3,000萬美元分配用於加速AAFC國家生物資源庫的DNA分析及其數位記錄。DNA條碼系統⁴已被用於解決加拿大現有的貿易難題(如大豆露菌病)，並避免錯誤警報(加拿大資料庫中害蟲的相似品種，被錯誤地辨認成不必要的害蟲種類)，改良系統不僅可保護加拿大國內自然和植物資源，還可增加加拿大農產品進入國際市場的機會。

三、基因體學在小麥赤黴病防治上的應用

小麥赤黴病(Fusarium Head Blight, FHB)是一種真菌性病害，一旦感染，麥穀則不適合被人或動物食用，被認為是加拿大小麥生產面臨的最大問題。除影響食物的供應，自90年代中期以來，估計小麥赤黴病已經導致小麥收入損失高達15億美元。身為加拿大小麥聯盟(Canadian Wheat Alliance)的成員之一，加拿大農業與農業食品部和國家研究委員會正在與曼尼托巴大學合作開發基因遺傳學技術來對抗小麥赤黴病。為開發新的小麥品系，研究人員正在調查AAFC的小麥品種庫中的所有抗性基因，包括AC® 艾默生(加拿大首個抗赤黴病之冬小麥品種)。新的小麥赤黴病品種將提供給AAFC合作夥伴進行評估，未來將參與跨國的育種計畫。

2017年將釋出AAFC所開發的兩個操作簡便且可直接用於分子育種工作中的分子標記，加拿大西部小麥的新型抗性來源將增加赤黴病抗性基因的遺傳多樣化，並有助於保護加拿大的小麥產量供應、穩定出口市場，並向消費者提供安全營養的食物。值得一提的是加拿大小麥聯盟展現AAFC、薩斯卡徹溫大學、薩斯卡徹溫省與加拿大國家研究委員會十一年合作無間的成果，該聯盟研究目標為支持和推進加拿大小麥生產農戶盈利能力。

⁴ 2000年在愛德華王子島發現馬鈴薯癌腫症，當時AAFC參考加拿大的國家生物資源庫資料，查找與該疾病相關的所有病原體，開始合成DNA序列，耗時六個星期合成該病原體DNA序列，並將樣品發送加拿大食品檢驗局(CFIA)，鑑定發現病徵的農場和馬鈴薯作物。直至今日，AAFC已知馬鈴薯癌腫症病原體的DNA序列，可在短時間內幫助CFIA回應相關貿易問題。



柒、科學研究成果於農產業的實質回饋案例

一、小麥蚜蟲的防治

小麥蚜蟲是加拿大西部春小麥的慢性病害，幼蟲以小麥籽粒為食，小麥蚜蟲的出現不僅會減少作物產量，同時也降低收穫的品質，且近年來推出抗蚜蟲品種有助於農民保護作物，亦顯著減少殺蟲劑的使用。加拿大農業和農業食品科學家首先發現一個新穎的小麥基因(*Sm1*)，*Sm1*基因可防止蚜蟲的幼蟲在種子發育成熟，再透過與北美的小麥育種團隊合作，相繼開發新的耐蚜蟲小麥品種，然而科學家發現，當僅使用單一基因來開發抗性品系時，小麥蚜蟲可迅速的適應，導致失去防治的效果，因此為解決蚜蟲危害能力演化問題並保護基因的有效性，新抗病品系將以混合品系方式種植，以90%的抗蚜蟲小麥種子混合10%的蚜蟲易感種子。此混合品系的策略可防止致病性蚜蟲(天然具有*Sm1*抗性的蚜蟲)的族群擴大，因為混合品系種植可保持非致病性蚜蟲的數量，一旦非致病性與致病性蚜蟲交配，則可自然減少致病性蚜蟲數量。另外，品系混合策略有助於保護*Macroglenes penetrans*的族群(一種寄生蜂)，其為小麥蚜蟲的主要天敵，計算顯示該策略可使抗蚜蟲小麥品種的有效性由十年延長至九十年之久。

自1983年第一次加拿大小麥蚜蟲大爆發後，AAFC科學家們立即開始與研究夥伴及相關產業合作。制定一個全面的病蟲害管理計畫，現在為農民提供風險預警地圖、監測工具、改良的農業規範以及文化與生物控制建議，幫助他們管理小麥種原庫，同時維持天敵數量保護生態平衡。隨著抗蚜蟲小麥品種數量的增加，加拿大小麥農戶現在擁有全方位的農作物害蟲綜合管理系統⁵，據估計該項研究成本與盈利的比例為，蚜蟲研究每投資1美元可獲得37美元的盈利。

二、穀類作物殘體放牧策略之優化

冬季飼養是北美大平原生產肉牛中最耗費成本的管理環節，由於AAFC科學家的努力，現在很多農民正在使用穀物殘體放牧，延長牛畜放牧時間，減少儲藏的飼料的消耗和降低冬季飼料成本。作物殘體放牧的做法是於秋季種植禾穀物類作物，大約在9至10月份收穫後將刈割後的作物

⁵ 小麥蚜蟲防治訊息網站: www.midgetolerantwheat.ca



殘體留在田間，冬季時田間的作物殘體則直接作為牛隻的飼料，不需蒐集殘株，直接以放牧的方式餵養牛隻。到目前為止，這項新技術在亞伯達省 (Alberta)內採用率是30至50%，根據平均表現，作物殘體放牧方式與傳統飼料系統相比，若肉牛生產商在100天內飼養100頭牛隻，作物殘體放牧方法可節省大約12,000美元(小麥混合黑麥草)；9,300美元(玉米)或7,400美元(大麥)。科學團隊已經發現數個品種的小麥可以比大麥更早種植，且相同成本下產量更高。同時他們也開發提升小麥產量的栽培方式。作物殘體放牧可節省資金，穀物的收成也增加酪農額外收入，提高肉牛生產產業的環境可持續性。穀物殘體放牧方法的主要優勢可歸納為以下三點：

- (一) 節省時間和勞動力：平均節省66%的飼養時間，換言之，單一農民管理的牛群數量較大。
- (二) 提高土地利用效率：透過提高刈割作物選用，冬季牛群所需的土地面積可以減少多達50%。
- (三) 節省能源投入，降低溫室氣體排放：作物殘體放牧僅使用傳統飼養系統所需能源的50%；柴油使用量減少25%，飼料每噸生產所消耗的能源是傳統做法的34%，有效減少牛肉生產的碳足跡。

最後，據估計本項研究成本與盈利的比例為牧場管理研究每投資1美元可獲得170美元的盈利。

捌、結論

綜合本篇農業科技創新報告內容，加拿大農業與農業食品部提出21世紀農業生產挑戰主要有三，分別為全球氣候變遷、地球資源耗盡以及農業生產造成環境衝擊導致不可逆轉之環境污染。因應上述危機，AAFC提供數種農業決策平臺供農民使用(表1)。

全球氣候變遷下，農作物的生產長受到極端氣候的影響，全球農產品大規模欠收案例此起彼落，病蟲害的發生也因氣候異常更加難以管理，各種的非生物性逆境的挑戰下，若要提升農業生產力，各方面的農業預警系統的建立則為當務之急，AAFC所開發的農業氣象決策系統及農業害蟲預警中心，幫助農民管理田間病蟲害、農業資財的投入甚至最終農作物收穫產程的規劃；RADARSAT-2雷達衛星土壤養分偵測系統，可以幫助農民進



行農業用水利用的管理。現今臺灣推動智慧農業的開發項目其中也包含環境監控以氣候蟲害風險預警控管系統，2017年成功發射福爾摩沙衛星5號也可以成為發展農業氣象之潛力載具。然而各項計畫尚處於開發階段，諸多方法可參考AAFC的成果。另一方面地球資源耗盡的危機下，如何精準的施用肥料與農藥是十分重要，AAFC所開發地產程決策支援如土壤、作物及環境大氣氮素循環評估系統、精準田間養分管理模擬系統都可有效地評估肥料用量、避免浪費，再者永續農業中的農業資材循環的核心經營理念可減少自然資源耗費的情形。

臺灣農業生產推廣合理化施肥多年且累積許多經驗與知識，臺灣有機農業耕種面積自2004年的1,246公頃成長至2016年為6,784公頃，顯示對於有機農法之永續農業的推廣也不遺餘力，將來可效仿AAFC，整合各方資料，建立線上評估系統，同時蒐集全國農業生產即時田間資料，進一步優化各項農業決策系統，並以資源分享平臺方式降低獲取資料的難度。

表 1 2017 年加拿大農業與農業食品部創新農業科技農業決策規劃軟體系統

| 系統名稱 | 評估對象 | 功能敘述 |
|--|----------|--|
| 1 土壤、作物及環境大氣氮素循環評估系統 (Soil, Crop and Atmosphere for Nitrogen, SCAN) | 作物氮素利用效率 | 線上評估系統，是針對土壤、作物及大氣氮元素循環進行預測，以幫助農民可以在田間精確施用氮肥 |
| 2 雷達衛星偵測系統 (RADARSAT-2) | 土壤濕度 | 衛星遙測土壤濕度，協助農民作田區水分規劃，協助政府做產區規劃 |
| 3 農業氣象決策系統 (AgWeather Quebec & AgWeather Atlantic) | 農業氣象 | 彙集 400 個地區氣象站資料，協助農民田間病蟲害、農業資財的投入以及最終生產的管理 |
| 4 畜牧整場模式溫室氣體排放評估系統 (Holos) | 畜牧生產生態足跡 | 系統會根據牧場管理操作，計算溫室氣體產生總量，分別以各操作類別顯示環境衝擊數值，如糞便處理、作物系統及能源使用等 |
| 5 整合型牧場系統模型(Integrated Farm System Model) | 牧場整體效益 | 綜合牧場管理各項目操作，評估牧場生產效率 |
| 6 精準田間養分管理模擬系統 (NLOS: Soil nitrogen cycle simulation model) | 土壤肥力 | 農民可自行輸入作物種類與土壤數據，系統結合當地氣象資料運算後，給予農民適宜的土壤肥力管理 |
| 7 農業害蟲預警中心 (Computer Centre for Agricultural Pest Forecasting, CIPRA) | 田間害蟲發展 | 根據氣象資料，以精密的數學模型模擬預估蟲害發生與進展，適用於 100 種作物/害蟲系統以上。 |
| 8 DNA 檢疫條碼系統 | 進出口農產品 | 根據加拿大國家生物資源庫的昆蟲、致病真菌和植物標本 DNA 庫，精確辨別外來入侵害蟲 |

資料來源：本文彙整。



玖、參考文獻

1. Agriculture and Agri-Food Canada (2017). *Agricultural innovations*. Retrieved from <http://publications.gc.ca/site/eng/9.838780/publication.html>