

出國報告(出國類別：研究)

氣候變遷對於牧草生產之因應

服務機關： 行政院農業委員會畜產試驗所恆春分所

姓名職稱： 陳嘉昇 副研究員兼系主任

派赴國家： 日本

出國日期： 一〇〇年八月十八日至八月卅一日

報告日期： 一〇〇年十月十四日

摘要

台灣的飼料自給率低，牧草也有半數仰賴進口；而全球氣候變遷影響農業生產，也將影響台灣的畜產業。因此，因應氣候變遷的農業生產是一個重要課題，日本在因應氣候變遷方向的研究有牧草耐逆境育種、減少溫效氣體排放的草地管理經驗可供國內相關研究之參考。此行至五個研究機構參訪，分別為畜產草地研究所、農業生物資源研究所、農業環境研究所、京都大學，及九州沖繩農業研究所的都城旱作研究中心。畜產草地研究所是日本最主要的國家級牧草研究機構，在此研習課題包括：日本飼料用玉米品種開發的動向、耐水及抗病之青割玉米育種、因應暖化之溫帶牧草育種、基因改造玉米與牧草的監控與評估、生質用纖維作物育種與發展現況、草地管理與溫效氣體收支。另訪問京都大學畜產資源研究室了解生命週期評估方法，及討論自給飼料與動物生產的環境衝擊研究；訪問都城旱作研究中心了解九州耐逆境玉米育種現況；此外，並參訪農業生物資源研究所的種原評估設施與基因庫運作，以及農業環境技術研究所的「開放性高二氧化碳」設施，討論模擬二氧化碳上升環境之試驗設計等。借鏡日本因應氣候變遷的措施，對國內牧草研究及生產建議事項為：一、掌握青割玉米生產，加強青割玉米耐逆境育種；二、開發一種超越青割玉米耐逆境性極限、營養價值佳的芻料作物；三、發展台灣可行的減少溫效氣體排放的牧草栽培管理方法；四、引導草食動物產業成為區域性養分循環的產業。

目 錄

壹、研習目的	1
貳、行程.....	2
參、內容.....	4
一、日本牧草生產現況與畜產草地研究所的核心任務.....	4
二、因應氣候變遷的牧草育種.....	5
三、減少溫效氣體排放的草地管理.....	6
四、整合芻料與動物生產的環境影響評估方法.....	7
五、生質用纖維作物發展現況.....	8
六、農業生物資源及模擬高二氧化碳設施.....	9
肆、研習心得	11
一、因應地球暖化整體策略的連結.....	11
二、因應氣候變遷的牧草育種.....	12
三、減少溫效氣體排放的草地管理.....	13
四、本土芻料應用的 LCA 環境影響評估.....	14
五、畜產草地研究所的核心任務.....	14
伍、建議事項	16
一、掌握青割玉米生產，加強青割玉米耐逆境育種.....	16
二、開發一種超越青割玉米耐逆境性極限、營養價值佳的芻料作物.....	16
三、發展出台灣可行的減少溫效氣體排放的牧草栽培管理方法.....	16
四、引導草食動物產業成爲區域性養分循環的產業.....	16
附錄.....	18

壹、研習目的

台灣大宗飼料的自給率低，牧草亦有半數仰賴進口。因農業生產受全球氣候變遷影響甚鉅，由氣候變動所造成的生產與供應穩定性降低，將大幅影響台灣的畜產業。為提升糧食自給率及穩定國內畜產業飼料來源，國內已有獎勵種植牧草與飼料作物的政策，然暖化與異常天候下的牧草及飼料作物因應措施仍需借助國外經驗。日本氣候條件雖與我國不同，但牧草產業的環境卻相似，都是除了自行生產外，每年尚需自國外進口大量的牧草與飼料作物，在面對全球氣候變遷的可能衝擊，其因應之道值得參考，此外，日本在減少溫效氣體排放、增加碳蓄積、友善環境的草地管理也值得借鏡，以做為兼具環境維護的農地活化措施參考。

本計畫目標為赴日本研習：一、因應氣候變遷之良質牧草及飼料作物生產技術；二、減少溫效氣體排放、增加碳蓄積之牧草地管理技術；三、草地畜產研究所對氣候變遷整體因應策略，做為我國相關研究之參考。

貳、行程

8 月 18 日由松山機場啓程，由於日方有入境三日之內不得進入動物飼養單位的規定，故 8 月 19 日先行安排參訪位於筑波之農業生物資源研究所(National Institute of Agrobiological Sciences, NIAS)，在遺傳資源國際連繫室上席研究員 Dr. Okuizumi 的引導下參觀種原評估與繁殖田間設施、基因庫(NIAS Genebank)運作與引種分配程序，及拜會 NIAS 種原庫主管 Dr. Kawase。其後，參觀農業食品產業技術綜合研究機構的農業成果展覽館。下午參訪農業環境技術研究所(National Institute for Agro-Environmental Sciences, NIAES)，了解該研究所有關農作物因應氣候變遷之議題，並由 Dr. Yoshimoto 引導參觀「開放性高二氧化碳設施」(Free Air CO₂ Enrichment, FACE)，討論模擬未來二氧化碳上升環境之試驗設計與成果。

8 月 21 日抵達畜產草地研究所所在的那須塩原市，22-25 日於畜產草地研究所(NILGS)研習。畜產草地試驗是日本整合各試驗研究單位成立的獨立行政法人日本農業、食品產業技術綜合研究機構(NARO)的八個研究所之一，是日本國家級牧草研究的最主要機構。在遺傳資源研究室上席研究官 Dr. Kobayashi 的協助安排下拜訪各研究室，研習有關氣候變遷下牧草的遺傳改良，及減少溫效氣體的草地管理，各項子題均由各研究人員準備資料先行講解，再赴現場實習觀摩，再進行雙向溝通及研討，研習內容多樣、充實。子題包括：Dr. Tamaki 及 Kikawada 講授的耐水及抗病之青割玉米育種，Dr. Sato 講授的日本飼料用玉米品種開發的動向，Dr. Uchiyama 講授因應暖化之溫帶牧草育種，Dr. Kobayashi 講授生質用纖維作物育種及發展現況，Dr. Matura 講授草地管理與溫效氣體收支，Dr. Takamizo 講授基因改造玉米與牧草的監控與評估。研習過程充實緊湊，並充分雙向交流。

結束畜產草地研究所的研習後轉往京都，26 日拜訪京都大學畜產資源研究室的 Hirroka 教授與 Oishi 助教授，了解生命週期評估(LCA)方法，及討論日本自給飼料與動物生產之環境衝擊相關研究，並蒙允諾相關研究經驗上的協助。之後轉往青割玉米育種的另一重鎮—位於宮崎縣都城市的九州沖繩農業研究中心旱作分場，進行相關子題的研習，包括 Dr. Sawai 的九州沖繩農試所玉米育種現況，Dr. Muraki 的耐逆境青割玉米育種，Dr. Hiroshi 的高廩肥施用之土壤氮素動態長期觀測。結束都城旱作分場的研習後赴福岡搭機返台。

表 1. 赴日研習行程表

日期	地點	研習概要
8 月 18 日	台北—日本東京	起程
8 月 19 日	農業生物資源研究所(National Institute of Agrobiological Sciences, NIAS) 農業環境技術研究所(National Institute for Agro-Environmental Sciences, NIAES) (筑波市)	NIAS: 1. 種原評估與繁殖田間設施 2. 參訪基因庫(NIAS Genebank) 設施與運作 3. 參觀農業食品產業技術綜合研究機構的農業成果展覽館 NIAES: 1. 參訪 FACE(Free Air CO ₂ Enrichment)設施 2. 模擬未來二氧化碳上升環境之試驗設計與成果
8 月 21 日	那須塩原市 Nasushiobara city	抵達那須塩原市
8 月 22 日- 8 月 25 日	畜產草地試驗所 Institute of Livestock and Grassland Science, NILGS-Nasu	1. 耐水及抗病之青割玉米育種 2. 日本飼料用玉米品種開發的動向 3. 因應暖化之溫帶牧草育種 4. 生質用纖維作物育種及發展現況 5. 友善環境草地管理與溫效氣體收支 6. 基因改造玉米與牧草的監控與評估
8 月 26 日	京都大學 Kyoto University	自給飼料與動物生產之生命週期評估
8 月 28 日	宮崎市	啓程往宮崎市
8 月 29 日- 8 月 30 日	九州沖繩農業試驗所 KONARC Upland Farming Research Station (Miyakonojo city).	1. 耐逆境青割玉米育種 2. 高廐肥施用之土壤氮素動態長期觀測
8 月 31 日	福岡、桃園、墾丁	回程

參、內容

一、日本牧草生產現況與畜產草地研究所的核心任務

日本畜產業以養牛業為最大宗，國內雖有超過 100 萬公頃面積的牧草地與芻料生產，但飼料自給率仍偏低，每年需自國外進口大量飼料與乾草。日本全國芻料作物面積為 1,012,000 公頃，其中多年生牧草地 767,200 公頃，青割玉米 92,800 公頃，高粱 31,800 公頃，燕麥 53,300 公頃；以區域言，北海道佔 65%，東北佔 12%，九州佔 12%，關東 5%。日本地形狹長，區域間產業特性有異，如：北海道乳牛業大於肉牛業，九州則肉牛業大於乳牛業；各區作物比例亦不同，如：九州總芻料面積為 118,300 公頃，其中多年生牧草地 63,000 公頃，青割玉米 15,200 公頃，高粱 15,200 公頃，燕麥 5,210 公頃。多年生牧草地佔地廣草種多樣，除九州南部沖繩有熱帶禾科草種外，其他都為溫帶型草種；禾本科中北海道以梯牧草最多，本州則果園草、黑麥草為主。品種除國內試驗場所育成者之外，國內種子公司及外國種子公司進口品種亦佔重要份量。飼料作物中與台灣很大的不同是，日本國內並無穀粒用飼料玉米的品種改良或生產，自行生產的飼料用玉米全為青割玉米，所謂提升飼料自給率亦不包括穀粒用玉米，穀粒用飼料玉米全自國外進口，年進口量 1700 萬噸。

畜產草地研究所(NILGS)，幾經轉型，目前是整合於獨立行政法人日本農業、食品產業技術綜合研究機構(NARO)的八個研究所之一，總部設於筑波。畜產草地研究所是日本國家級的畜產科學研究機構，以促進整合草地、動物生產、廢棄物再利用研究技術發展為宗旨，核心任務為有效利用土地資源，提升飼料自給率貢獻於安全高品質的動物生產，並經由研究，發展有益於現在及未來的畜產技術供應飲食營養，而最終能經由畜牧產業貢獻於國土的保育與永續利用。

有關牧草地與飼料作物的研究大都放在位於那須塩原市的 NIGLS-Nasu，NIGLS-Nasu 佔地 222 公頃，設有飼料作物系、草地管理系、動物飼養及管理系以及牧草研究支援中心。為達成上述揭櫫任務，目前飼料作物系主要目標為(一)高產及耐逆境玉米與牧草育種；(二)發展提升牧草生產力及品質與改善能源效率技術。草地管理系主要目標為(一)發展植基於多

樣性土地資源的友善環境放牧體系；(二)利用草地生態系的多功能性保育土地及自然。動物飼養管理系當前目標為(一)有效利用耕地與草地發展永續性資源循環的動物生產體系；(二)發展飼料水稻及副產物的飼養及普及技術以提高飼料自給率。

二、因應氣候變遷的牧草育種

(一)青割玉米育種

日本青割玉米育種的重鎮為畜產草地研究所、九州沖繩農業研究所的都城旱作研究中心、北海道農業研究所及另一縣級的長野縣中信農業試驗所。目前自交系改良都採馬齒種、硬粒種間相互輪迴選種；母族群改良於 S1、S2 自交評估，S3 至 S5 頂交組合檢定，優良自交系 S6 再雜交進入另循環。自交系的改良為上述國家級機構的主要任務，其育成授權者除以 F1 品種形式外，也有以自交系授權民間種子公司，再與民間育成的自交系雜交成為商業品種。

育種目標方面，全國共通性的重要育種目標為抗倒伏性、總可消化養分(TDN)的提高及抗病蟲性。抗倒伏性的重要性甚至不在產量之下，新近育成品種均強調其抗倒伏性；總可消化養分的提升來自兩個元素，一是莖葉部分的消化率，另一是雌穗的比例，是育種過程一定要評估的項目；病蟲害抗性在關東以西以抗葉枯病為重點，北海道及東北地區則炭紋病及黑穗病的抗性為重要。

為因應氣候變遷及極端天候變化，除上述的抗倒伏性外，有耐淹水性育種、往北限擴展的耐冷性育種、九州地區夏作區域及高溫時段的抗南方銹病、Wallaby ear disease 等。耐淹水性育種方面，耐淹水性來自三個機制：地表不定根形成、通氣組織形成及根部在土壤還原狀態下的抗性，這些特性須來自玉米的近緣種，如大芻草等。以優良自交系與具備通氣組織的近緣種雜交，導入耐淹水性等的研究正進行中，包含數量性狀基因座(QTL)的定位，利用數量性狀基因座協助選種等；帶耐淹水性基因座的自交系或 F1 的田間評估有相當大的規模。導入近緣種基因通常會夾帶相當多非所要的特性或降低產量、組合力等，所以利用 QTL 以協助獲得帶不同淹水性特性的優良自交系的同遺傳背景系的育

種也正進行中。

九州地處日本南方，屬亞熱帶氣候，飼料作物有多種輪作形式。本地的青割玉米種植期長達 8 個月，可雙期作，雙期作玉米約佔 1/3-1/4；玉米的植期有春作、晚春作及夏作三個時期。因應地球暖化，九州地區預估可能增加晚春及夏作區域及高溫時段，除抗倒伏性外，抗南方銹病及 Wallaby wilt 的育種為重要目標，目前進行中並已選出抗南方銹病的自交系。因應氣候變遷北海道玉米種植往北限擴展，耐冷性、早熟品種的選育為當前目標，已有克服低溫授粉不良品種的育成。

(二)多年生禾草

果園草約 150 年前自美國引入，在日本中部地區廣為栽培，與義大利黑麥草是本州最重要的多年生禾草，面積約有 5 萬公頃，若目前果園草栽培種對溫度反應特性未能加以改良，預測未來地球暖化後果園草的適栽區域將大幅縮小，因此選育耐夏季高溫及抗旱性的果園草為當前目標。

果園草耐熱性育種的材料來源為 12 個收集自熊本的生態型，自然交配後的實生苗以高溫下的存活率，及不同生育階段的耐高溫、耐旱性表現進行表現型的輪迴選種，每輪迴兩年，經過三個輪迴選拔，目前已證明有顯著的選拔反應，八月酷暑時在田間確可看出其選拔效果。此外，繼續進行具耐夏季高溫者與高產、抗病品系雜交，其後代也正進行田間評估中。除果園草外，為因應暖化，畜產草地研究所也另發展夏季高存活率的羊茅黑麥草(*Festulolium*)品系以適應日本的暖地。

三、減少溫效氣體排放的草地管理

「建立良好管理措施以降低日本牧草地溫效氣體排放」是一個由日本競馬協會基金所支持的計畫，由日本草地農業及牧草種苗協會邀集數十位專家共同參與，並成立委員會統籌研究的規劃與執行。計畫緣由是：(一)地球暖化威脅日深，各行各業都要設法減少溫效氣體的排放以減緩暖化；(二)日本的畜產業進口大量飼料，製造大量排泄物，但回歸土地利用的比例卻有限，造成過度失衡與環境問題，因此，希望畜牧產業能有效利用堆肥生產自產的牧草或飼料，以強化畜產的循環功能。

計畫從 2004 年開始，目前還繼續進行中。試驗在四個地點的收穫型牧草地進行，分別是北海道的中標津、靜內、那須塩原的畜產草地試驗所及九州的宮崎，各分為試驗組及對照組，試驗組每年施入相當於每公頃 200 公斤氮素量的堆肥，對照組施化學肥料，每年收穫 4 次。從 2004 年起連續偵測記錄牧草地(含植物、土壤)的氣體收支，包括：二氧化碳、甲烷與氧化亞氮。二氧化碳的的氣體收支(Net ecosystem production, NEP)再加計收穫物(算排放)及堆肥施入的碳量稱為 Net biomass production (NBP)。二氧化碳以 eddy-covariance 方法測定，甲烷、氧化亞氮以箱型法測定。

對牧草地而言，甲烷、氧化亞氮的量相對少，牧草地的氧化亞氮都是釋出的，因為權值大所以影響也不小；而甲烷有排放也有吸收，但對收穫型牧草地而言，數量很少不太構成影響。將上述碳、甲烷及氧化亞氮三者加權起來是為地球暖化潛勢(Global warming potential, GWP)。

NEP 跟光合作用效率、日照、產量等有關，以畜產草地研究所的試區為例，從 2005 到 2009 年，對照區(化學肥料施用)的 NBP 經常是正的(碳固定的量少於排放的量)；但是施堆肥將碳施回到土裡，讓整體牧草地固定的碳多於排掉的碳量，NBP 轉為負值。

目前初步的結論是：

- (一)施化肥的牧草地經常出現負面作用，堆肥施用有助於減緩地球暖化。
- (二)牧草地的暖化效應主要來自二氧化碳，次為氧化亞氮。
- (三)暖化潛勢受溫度及日照長短影響，更新草地提高生產力有助減緩暖化。
- (四)休耕地、旱田的二氧化碳、氧化亞氮釋出較多，水田的甲烷釋放量多，都是促進暖化，只有牧草地會有減緩暖化的效果，而施堆肥者更顯著。

四、整合芻料與動物生產的環境影響評估方法

京都大學應用生物學專攻為統合京都大學內生物領域的研究所，跨植物、動物昆蟲海洋生物等，其中 Dr. Hirooka 所主持的畜產資源研究室近年研究主題含：動物生產體系的模式評估、動物生產的環境衝擊問題、非傳統飼料資源利用、生命週期方法(LCA)評估畜牧生產的環境負荷，並與開發中國家合作進行動物與作物整合的小農經營永續畜牧場系統研究，在畜產資源與體系的研究頗受矚目。畜產草地研究所近年發表有關以日本自產飼料水稻

替代進口牧草的 LCA 評估的論文即是與該研究室合作完成。

訪問期間由 Dr. Hirooka 教授及 Oishi 助教授介紹 LCA 評估的方法、工具、界線定義及可參採的數據等，並以日本酪農場使用自產飼料水稻環境衝擊的 LCA 評估為例。

日本數十年來的集約生產，進口大量的飼料穀物與牧草，鼓勵本土飼料的生產與利用是可以顯著提升糧食自給率的方法。水稻在日本面積大但消費量漸少，然除食用外，水稻有其他如保持地下水、控溫、防洪功能，對草食動物飼養來說，在水田調整計畫下將水稻做成全株青貯供牛隻利用，而動物堆肥再由水田利用，應為提升糧食自給率的可行方法，因此飼料水稻成為日本獎勵提升本土飼料生產的主要作物。高品質水稻青貯及飼養已多所研究，也是畜產草地研究所主要任務之一，但在環境意識高漲之下，本土水稻飼料化利用在環境衝擊問題上應有量化的與評估。LCA 是一種整合性的環境衝擊評估方法，已有國際標準，近來已有多個研究用 LCA 評估酪農場及其相關生產系統。

LCA 的第一步是定義分析的目標及範圍、功能單位(Function unit)及系統限界(System boundaries)，數據來源有引用及自行調查，再整合估算生產系統的環境衝擊指標；地球暖化以二氧化碳當量表示，酸化、優氧化分別以二氧化硫當量、磷酸當量表示，以及能源消耗。該研究評估酪農場以青貯水稻與傳統進口乾草為重的比較，從成分飼料作物的生產或運輸(含進口)、餵飼到廢棄物處理整個生命週期的計算，結果顯示青貯水稻餵飼的環境衝擊比較小(比傳統飼養少 1.1%)，但差異不大，推廣青貯水稻的理由還應包括非環境因素的考慮。該研究室的另一研究指出，由營養、經濟的觀點，青貯水稻的生產必須仰賴政府的補貼才能存在。

五、生質用纖維作物發展現況

Erianthus arundianceus 做為能源作物的優點是：(一)在日本中部地區具有越冬能力、有較廣的適栽性、持久性長、低成本生產；(二)在田間乾燥時落葉少，因此可在低含水量時收穫；缺點是：(一)種植初期產量低且一年收穫不到一次；(二)栽培及研究的資料尚少。經過前三年的選種與產量初探，畜產草地研究所飼料作物系遺傳資源研究室目前在日本通產省新能源及工

業技術發展組織(NEDO)計畫支持下，進行栽培模式的研究，目的是發展低成本的生產模式，供應生質酒精的前驅工廠。栽培模式探討含：肥料、密度、廐肥利用與氮素動態探討等。本計畫為通產省大型計畫內的一支，除作物之外，生質能源的生產研發由機械公司負責，糖化、發酵由化學及石化公司負責，前驅工廠的選址建設另有營造公司承擔。生質酒精的目標生產成本是每公升 40 日圓，據稱以目前日本田間收穫乾物每公斤 40 日圓尚不容易，距目標尚有相當的難度與距離。

農林水產省另有整合型生質能源計畫，目標在選育高產作物；另與三菱重工(Mitsubishi Industry)合作建置 Nourin Biomass1 生質氣化酒精合成前驅工廠，並用以評估各種能源作物的轉化效率。Nourin Biomass1 產能為每日原料 240 公斤，目前酒精產量是 9-13%，目標是 40-60%。

Erianthus 屬作物與其他作物做為能源原料的比較上具有優點。總結畜產草地研究所以 *Erianthus* 屬作為能源作物的產業化問題：(一)生產成本、機械化及配合其他作物做為全年性供應原料尚待解決；(二)糖化效率及循環利用問題待改進。雖然做為生質原料距量產還有很多關卡待突破，但 *Erianthus* 做為菇床或做為直接燃燒的粒狀燃料是已可實現的利用方式。

六、農業生物資源及模擬高二氧化碳設施

農業生物資源研究所在組織上並不屬於 NARO，而是另一獨立行政法人。其下所轄之基因庫(NIAS Genebank)是日本國家級的植物、微生物、動物遺傳資源的中央銀行，任務含遺傳資源的探勘、收集、歧異度研究、生物系統鑑定及繁殖保存。目前基因庫保存的植物種原有 24 萬個，規模為全球第 5 為；微生物種原 2 萬 5 千個，動物種原 1 千個，DNA 基因組訊息 28 萬個。

在 Dr. Hisato Okuizumi 引導下參觀各部門或設施的實地運作。基因庫設施含種子活力檢查室、田間評估繁殖、資料庫與網站、保存與長程保存檢疫溫室、基因改造作物隔離區、GMO 作物展示場等。Dr. Hisato Okuizumi 負責國際合作事務，正從事蜀黍屬的引種保存與評估，蜀黍除飼料用途之外，也嘗試做為能源用途的探討。另參觀飼料水稻用途的品種保存，及近年由國外引進種源的隔離檢疫設施。基因庫保存牧草及飼料作物種原 35,433 個，

豆科、禾本科牧草 29 屬。在基因庫中除觀摩保存種原的自動化作業，也參觀北海道農研寒地飼料作物及沖繩縣畜產研究所牧草種子的進庫作業。

「開放性高二氧化碳」設施為農業環境研究所為模擬未來高二氧化碳濃度而設立，由 Dr. Yoshimoto 引導參觀及說明。由於預測顯示未來二氧化碳濃度的提高，有多個國家、地區設置大小規模不一的「開放性高二氧化碳 (Free-Air CO₂ Enrichment, FACE)」設施，以研究高二氧化碳濃度環境對作物生長或農業生態系的影響，做為因應氣候變遷研究的平台。日本 FACE 原設立於 Shizukuishi, Iwate，2010 年才遷移至筑波，設定條件是周圍大氣二氧化碳濃度加 200 ppm，八角型環狀設施直徑 17 公尺，面積 240 平方公尺，在 10 公頃田區共設置四重複，每重複均有處理組與原大氣狀況之對照組。日本 FACE 設立至今共經歷四階段課題，第一階段(1998-2000)發現：(一)水稻產量提升 14%，主要來自分蘗數增加；(二)低氮限制增產，因此二氧化碳濃度及氮素是增產的關鍵。第二時期(2003-2004)結果顯示：(一)高二氧化碳濃度的增產幅度在年度間有所變動，例如涼夏年僅增產 6%；(二)品種間對於高二氧化碳濃度的產量反應不一，而差異並非早熟或晚熟之故。第三時期(2007-2008)則是探討二氧化碳濃度與土壤/水等溫度變化的交感效應。搬到筑波之後主要的課題是做為氣候變遷下水田生態系反應的試驗平台，探討重點為：(一)未來的基因型；(二)未來二氧化碳狀態下的逆境反應；(三)反應的生物回饋作用；(四)水田轉換為旱作的生態系反應。

肆、研習心得

一、因應地球暖化整體策略的連結

目前日本牧草試驗研究雖無特別界定於因應氣候變遷的整合計畫，但飼料作物、草原管理的研究均含有為氣候變遷的可能衝擊所做的準備，而日本國內農業研究體系龐大，各機構間相互支援連結成因應暖化的體系。統合牧草因應氣候變遷的研究方向有：

(一)預估未來環境與模擬各類草原變遷

日本國內不同的研究包含自然草原、人工牧草地的消長，群落結構的改變，栽培草種區域的變化，以及栽培限界的更往北移，九州的夏作型擴增及本州的夏季高溫區域等，由預估環境的變遷做為因應的依據。

「開放性高二氧化碳(FACE)設施原為模擬水稻於二氧化碳提高下反應的平台，本期起的課題也將加入轉化為旱作後的反應。

(二)改良品種以適應未來環境

因應氣溫提高、氣溫提高後的病蟲害增加及極端天候下的抗性，都已列入目前主要的育種目標。如因應栽培區北移的北海道青割玉米耐低溫及早熟性育種、溫帶禾草的夏季耐高溫性選拔、青割玉米耐淹水性的導入，以及九州耐夏季品種，及夏作抗南方型銹病和 Wallaby disease 的育種。抗倒伏性做為全國一致性的育種目標也是因應極端天候變化所必須，轉殖抗逆境基因的研究也為未來氣候變遷做準備。

(三)減緩暖化的措施

京都議定書以來，日本已投入不少的排放溫效氣體與減碳的計畫，畜產的排放、堆肥處理都已有數據成果，現正投入人力執行「建立良好管理措施以降低日本牧草地溫效氣體排放」，除取得傳統施用化學肥料牧草地溫效氣體收支之數據外，重點在證明及量化施用堆肥於牧草地對環境的效益，並釐清其影響因素。堆肥施入土壤在日本同時也是一個全面性的鼓勵措施，不限於牧草地。但目前所謂「建立良好管理措施」僅限於「堆肥施入」，應該還有其他值得探討的空間。

(四)將牧草做為能源作物、將水稻飼料化，可以降低石化能源及進口飼料的依賴，也是廣義的因應氣候變遷措施，但能源作物雖提供了能源卻可能

加速暖化，水稻飼料化是否是符合環應永續？都有討論的空間，也都有相關的研究進行。

總言之，日本已把未來環境變化下的挑戰目標化，因應氣候變遷的適應與減緩有關的研究都在進行中，構成整體的因應策略。對牧草的而言，可謂有具體的因應措施；但從對畜牧業的立場，若氣候極端變動、各國搶糧，每年進口 1700 萬噸飼料玉米的缺口甚大，這與台灣的狀況類似，應該認真面對。

二、因應氣候變遷的牧草育種

育種是與時俱進的工作，同時也是非常耗時的工作，育種者除了要解決目前的問題外，也應該為十年後的問題而準備，因應氣候變遷的牧草育種更要有前瞻的考量，然資源有限而牧草物種多樣，何者為重需要取捨。牧草不同於特定的糧食或園藝作物，具備相當程度的可替代性，因此，目標作物與育種目標的確認尤為重要，育種體系與資源配置則左右其成果。

(一)牧草育種的體系與配置

人力配置反映物種的重要性。日本畜產草地研究所飼料作物系的育種部門劃分為四個研究室：遺傳資源三位研究員、青割玉米育種四位研究員、溫帶牧草育種兩位研究員及生物技術研究室兩位研究員；九州沖繩農業研究所都城旱作分所的飼料作物育種也僅有青割玉米一項，青割玉米的重要性可見一斑。雖有部分縣級育種場停止青割玉米計畫，但身為國家級機構的全國性玉米自交系改良則未曾中斷過，且不斷累積改良成果。以從近緣種引進耐淹水性育種為例，研究人員從確認未來問題、種原的尋找、遠緣雜交、QTL 的定位、特性的評估，耗時耗力但一步一步累積成果，將原物種不具備的特性轉化為可達成的目標。外部資源的確立、體制上的分工，使研究人員可心無旁騖、按部就班地朝向目標是主要的原因。

(二)育種目標及方法

台灣牧草研究的人力遠少於日本，育種的規模更是不及，但重要的作物仍應把握目標、提綱挈領，尤其是未來所需但目前無法展現成果者更應堅持到底。育種者通常無法自行決定整體的育種資源，需要經過外

部的評估再形成組織的計畫與決策。日本對氣候變遷議題的反應較早，對目標的確認值得借鏡，目標確認之後則有餘裕從較源頭的部分做起，如探勘、遠緣種引進等，並可以規劃長程的遺傳改良，而不只是偶發的選種。QTL 的利用在日本育種界似乎頗受重視，尤其用在近緣基因的導入上。近緣基因的導入通常會夾帶相當多非所要的特性，導致產量或組合力降低等，利用 QTL 的協助，以獲得帶不同淹水性特性的優良自交系的同遺傳背景系，是一個相當能提高效率的做法。日本溫帶禾草的耐高溫育種歷史雖不長，但隨著輪迴代數的推進，已從現場及數據中看到一代代累積的選拔反應，這也是立定目標、隨著時間推進累積成果的很好案例。另印象深刻的是青割玉米抗倒伏性所受的重視，顯見因應未來極端天候變化，青割玉米抗倒伏性是最基本必須具備的特性。

三、減少溫效氣體排放的草地管理

改良品種以適應未來變遷中或變遷後的氣候，是人類破壞了環境後求生存的手段，如果來得及，更積極的做法是減少溫效氣體的排放。農業本來應該是最傳統、最保護環境的綠色產業，但現行的農業卻更像石化產業（化肥、動植物用藥、環控等）加上運輸產業。現今，地球暖化威脅日深，各行各業都要設法減少溫效氣體的排放以減緩暖化，「節能減碳」不僅是風潮，更應該是道德與責任。

動物的生產本與土地、植物循環運轉，植物餵飼動物，動物再回頭滋養植物；但畜產業進口大量飼料，排泄物回歸土地利用的比例卻有限，造成過度失衡與環境問題，日本鼓勵畜牧產業有效利用堆肥回歸於自產的牧草或飼料，是一個具體矯正循環失衡的辦法，而研究亦證明堆肥回歸土壤可以減少溫效氣體排放。種植大片的牧草或青青草地是不是減碳的方式？很值得商榷。何者相對比較節能減碳容易評估，但絕對的固碳或排碳則需要更嚴謹的證明。日本這個大型試驗雖然已有多年的結果，但試驗還繼續進行當中，它所累積的所有與環境交互影響的結果可以提供充分的訊息。

由日本多個試驗的統合，休耕地、旱田的二氧化碳、氧化亞氮釋出較多，水田的甲烷釋放量多，都是促進暖化，只有牧草地會有減緩暖化的效果，而施堆肥者更顯著。這也提供國內畜產業者一個重要訊息，應該要更重視我們

的禽畜堆肥，珍惜它在友善環境裡的角色，發揮一己的力量，善用堆肥友善地球。

四、本土芻料應用的 LCA 環境影響評估

LCA 環境影響評估是一個完整而冗長的過程，會因界定的範圍而影響結果。用本土飼料究竟可以節多少能、減多少碳？其實還沒真正做過飼料生產與餵飼整個生命週期的評估。

由於日本已經推動多年，我國也開始研議推動飼料水稻，但在政府宣示邁入低碳社會之下，實需要各角度的評估。根據日本乳牛場青貯水稻與傳統飼養 LCA 評估結果，一公斤校正乳的二氧化碳當量分別為 987 克與 972 克，二氧化硫當量為 6.87 克與 7.13 克，磷酸當量為 1.19 克與 1.23 克，能量為 5.53 MJ 與 5.81MJ，青貯水稻相較於進口傳統飼養雖在酸化、優氧化及節能方面有所效益，但由於水稻田甲烷釋出的量大，換算為二氧化碳當量稍大於傳統飼養。另有研究指出自產飼料水稻反而增加環境負荷、減少利潤，因為還需外購大量的飼料，飼料水稻與乳牛場整合的體系在無補貼之下是無法建立的。

然而以上是日本的狀況，台灣也應從營養平衡、經濟的觀點來探討此一問題，而不僅只探討「提高產量」、「可以餵飼」而已。「永續」(Sustainable)是各行各業耳熟能詳的說法，而「永續」指的是環境、經濟、社會可行，不只是該產業得以延續的意思。節能減碳的生產是「永續」的一環，也已是重要的施政項目，從節能減碳的觀點、經濟的觀點，農地利用應有更細緻的評估與選擇。舉例而言，同樣是為了種植飼料用的玉米或水稻，似更應該獎勵以環境永續的方式生產，以補貼顯現出農業的環境利益，而 LCA 評估是重要的依據。

五、畜產草地研究所的核心任務

日本畜產草地研究所在簡介上明載：「以促進整合草地、動物生產、廢棄物再利用研究技術發展為宗旨，核心任務為有效利用土地資源提升飼料自給率貢獻於安全高品質的動物生產，並經由研究，發展有益於現在及未來的畜產技術供應飲食營養，而最終能經由畜牧產業貢獻於國土的保育與永續利用」。簡明數語闡明了一個國家級的研究機構最終的任務依歸，釐清何者為

主何者為從，何者是手段何者是目的，國家級機構更重視的是整體國土的長期利益，而不只追求某產業的短期利益。台灣地少人稠，土地彌足珍貴，產值低的飼料作物的種植若能貢獻於國土保育，使台灣成為生活者大國應是其更高的價值。

為達成上述褐蘊任務，目前飼料作物系主要目標為(一)高產及耐逆境玉米與牧草育種；(二)發展提升牧草生產力及品質與改善能源效率技術。草地管理系主要目標為(一)發展植基於多樣性土地資源的友善環境放牧體系；(二)利用草地生態系的多功能性保育土地及自然。動物飼養管理系當前目標為(一)有效利用耕地與草地發展永續性資源循環的動物生產體系；(二)發展飼料水稻及副產物的飼養及普及技術以提高飼料自給率。短短幾個口號式的目標包含的這些關鍵文字：「耐逆境」、「改善能源效率」、「友善環境」、「草地生態系的多功能性」、「保育土地及自然」、「永續性資源循環」、「提高飼料自給率」是這次研習很重要的心得，也是追尋的境界。

伍、建議事項

借鏡日本經驗，因應氣候變遷的可能衝擊，對國內牧草研究及生產的建議事項如下：

一、掌握青割玉米生產，加強青割玉米耐逆境育種

青割玉米號稱芻料之王，相對於其他熱帶禾本的低消化率及乾草調製的困難，青割玉米是台灣唯一比進口乾草還高品質、且能自行低成本生產的芻料。進口乾草價格節節高漲已經是現在進行式，進口缺貨時有所聞，對草食動物的料源及成本影響甚大，但台灣只要掌握青割玉米生產，配合其他國產物料即可讓草食動物能量不虞匱乏，這也是日本的牧草育種中青割玉米也佔最大份量的原因。而因應氣候變遷應加強耐逆境育種，抗倒伏性是首要目標，耐淹水性及抗病蟲性也應加強。

二、開發一種超越青割玉米耐逆境性極限、營養價值佳的芻料作物

雖然青割玉米重要性很高，但是物種的耐逆境能力總有極限，未來的氣候變遷不是僅於逐漸暖化，影響作物生產更大的是劇烈天候頻率的增加，如：颱風、淹水、乾旱、極端溫度等。相對於其他物種，青割玉米不是逆境能力極佳的芻料作物，有必要在青割玉米之外再找一個逆境性優於青割玉米、營養價值優於狼尾草的物種，做為極端天候變化下青割玉米的替代性芻料。

三、發展出台灣可行的減少溫效氣體排放的牧草栽培管理方法

為減少對石化肥料的依賴，並盡一份對環境的責任，不應只是沿用過去的方法進行牧草的栽培管理，應發展出一套盡量往節能減碳方向的栽培技術或制度。日本以「堆肥施入」為訴求，除這之外，台灣還可以有自己的節能減碳方法，從種植、管理到收穫、調製一定還有空間，並且以 LCA 評估來證明。若政府的補貼政策也能條件式地在「經濟」上獎勵有利於「環境」的措施，而獲得「社會」的認同，牧草產業可以成為「經濟、環境、社會」三者均可行的永續產業。

四、引導草食動物產業成為區域性養分循環的產業

台灣的土地面積要能滿足大量的畜產是另一個問題，但區域性養分循環的

草食動物產業卻不難達成。青割玉米加芻料大豆已內含了草料、飼料玉米與飼料大豆；禾本科乾草外加禾豆混植可提高消化率及蛋白質；利用禾豆的輪作、間植減少氮肥，牛糞施入耗肥的玉米與狼尾草，飼料玉米改爲節能的生產；草食動物還可消耗掉別的動物不能利用的農副產物。如果能改變習慣、逐步調適，草食動物對氣候變遷的憂慮可以在別的產業之後，而且可以發展爲模範性的自給自足、有益國土的產業。

附錄



畜産草地研究所：青割玉米耐淹水性評估



畜産草地研究所：青割玉米抗倒伏性選拔



都城旱作試験場：自交系抗南方型銹病檢定



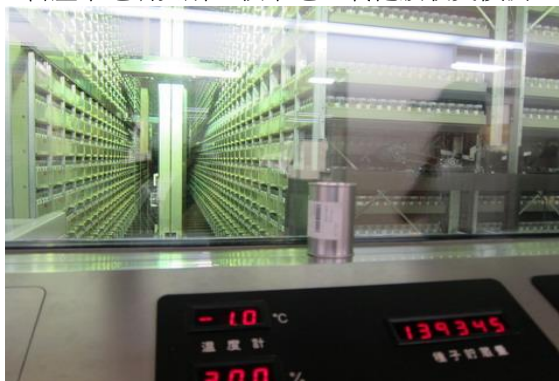
畜産草地研究所：溫帶牧草耐高溫選拔



畜産草地研究所：牧草地二氧化碳收支偵測



畜産草地研究所：基因轉殖牧草



農業生物資源研究所基因庫種子保存室



農業環境研究所開放性高二氧化碳設施