

出國報告（出國類別:研究）

「生理與行為研究應用於動物福祉評估」

服務機關：行政院農業委員會畜產試驗所

姓名職稱：李佳蓉助理研究員

派赴國家/地區：美國印第安納州西拉法葉

出國期間：2023/5/10-2023/5/24

報告日期：2023年5月26日

摘要

為發展我國乳牛產業、強化動物福祉與行為研究，以及培育熱耐受品種，赴美國 USDS-ARS 轄下的畜產動物行為實驗室進行訪問與研究交流。該實驗室位於普渡大學，並使用普渡大學動物進行試驗。本次訪問內容包含參與動物福祉研討會、學習符合動物福祉的試驗操作、熱耐受試驗設計思維與討論、參觀研究設備、乳牛試驗動物舍訪問與交流外，分別與實驗室主持人 Dr. Johnson、仔牛實驗負責人 Dr. Pempak、普渡大學遺傳育種教授 Dr. Brito 與普渡大學試驗牛舍牧場管理人單獨討論與交流。依本次訪問結果，後續規劃二項研究，包含「確認乳牛在臺灣是否產生基因上的熱適應性」以及「尋找臺灣乳牛熱耐受基因」。除研究外，本次額外學習到「犢牛肺臟超音波掃描技術」，後續將帶回國內應用在犢牛疾病偵測、動物福祉與熱負荷相關試驗。

目錄

壹、 日程一覽.....	5
貳、 計畫性質與出國目的.....	6
參、 日程內容.....	6
一、 學習交流－動物福祉研討會.....	6
二、 新技術取得－胸腔超音波掃描（Thoracic ultrasound scoring（TUS））技術應用於3月齡以下仔牛肺炎診斷.....	7
三、 試驗參與－母豬懷孕初期熱緊迫與對仔豬之影響.....	8
四、 試驗乳牛場參訪.....	9
肆、 交流與討論.....	11
一、 ARS 與普渡大學共生系統.....	11
二、 臺美環境與研究差異.....	12
伍、 資源爭取.....	14
陸、 心得.....	14
柒、 結論及建議事項-後續計畫試驗設計與工作.....	15
一、 確認乳牛在臺灣是否產生基因上的熱適應性.....	15
二、 尋找臺灣乳牛熱耐受基因.....	16
三、 其他後續工作－犢牛肺臟超音波掃描.....	17
捌、 其他照片.....	17

壹、日程一覽

時間*	內容
5月11日 (四)	1. 會見實驗室主持人，參觀 ARS 與普渡大學共用之動物行為研究大樓**。 2. 參加研究生研究成果競賽（演講）。
5月12日 (五)	1. 參加 ARS 與普渡大學每週例行內部研討會。 2. 參觀普渡大學自給自足的畜牧系統。 3. 與仔牛計畫主持人 Dr. Pempak 討論試驗規劃。
5月15日 (一)	1. 和 ARS 研究人員一起進行實驗室操作。
5月16日 (二)	1. 動物福祉研討會。 2. 與 ARS 實驗室主持人 Dr. Johnson 和普渡大學基因育種老師 Dr. Brito 討論研究方法與試驗設計。
5月17日 (三)	1. 胸腔超音波掃描（Thoracic ultrasound scoring（TUS））技術應用於3月齡以下仔牛肺炎診斷。 2. 牧場練習 TUS 技術。
5月18日 (四)	1. 動物福祉研討會。 2. TUS 練習、動物操作與乳牛試驗動物舍參觀。
5月19日 (五)	1. 母豬熱緊迫試驗與母豬乳腺採樣與分析。 2. 符合動物福祉的趕豬。
5月22日 (一)	1. 與 ARS 實驗室主持人 Dr. Johnson 做研究案總討論。

* 時間皆為美國時間

**行程由美方安排。

貳、計畫性質與出國目的

本案為臺美雙邊計畫，屬科發計畫下「生產技術優化擴散技術-動物推廣研發成果及橋接國際畜產業」—第二組「動物生產 (Group 2: Animal Production) 之第二大項「減少熱緊迫對農場動物生產影響的策略 (Strategies for Reduction of the Impact of Heat Stress on Production in Farm Animals)」之第二工作項「生理與行為研究應用於動物福祉評估 (Project-1.2: Welfare measurement)」，該計畫總體預計透過動物生理與行為研究，評估乳牛熱緊迫或熱負荷程度，以利應用於後續基因檢測，以期能找出熱耐受基因 (heat tolerance gene) 作為育種依據。

本次出國目的包含三點：(1) 學習畜產動物行為的研究方法與設計思維；(2) 交流臺美飼養環境與動物行為應用於熱耐受基因之研究方法；(3) 討論乳牛熱耐受生理與行為試驗設計、可行性、預期結果及後續措施。本所於行前提交需求後，全程由美方對口單位 USDA-ARS Livestock Behavior Research 之實驗室主持人 Dr. Jay Johnson 協助安排行程以及各項試驗討論。

參、日程內容

一、學習交流—動物福祉研討會

本次總計參加二場小型動物福祉研討會，該研討會性質屬於 ARS 新進研究人員面試，須進入 ARS 之研究員必須博士畢業，並針對過去研究經驗進行報告，涉及多物種研究及切確研究成果尤佳。相關可應用於臺灣或參考進行類似研究的內容如下：

1. 仔乳牛鼻腔投予催產素 (OT)，以透過引發 HPA 軸的機制，減少離乳緊迫。試驗比較血中皮質素濃度，並同時比較投予 ACTH 的效果。結果顯示，每公斤體重仔牛鼻腔給予 0.3 IU OT (離乳 80 公斤投予 24 IU，約 0.5 ml OT) 可以有效減少離乳緊迫。後續運輸實驗也同樣有效果。
2. 使用熱影像儀偵測削蹄中的蹄底蹄甲 (並非有皮膚的軟組織)，可以有效協助判斷蹄部損傷位置。
3. 影響牛隻活動三大因素：硬體設施 (stall hardware)、畜舍表面 (surface) 和空間 (space)，當這些因素越符合牛隻需求、限制牛隻越少，牛隻的活動就會越多。維持的運動量，可以減少疾病並且利於偵測發情。實驗使用加拿大 National Dairy Code 評估牧場 friendly housing system 分數，並比較 tie-stall、free-stall、bedding、out-door yard 和 pasture 五系統，牛隻在 free stall 系統中，身上有傷口的頻率較高。
4. One welfare：擴展且部分重疊人類和動物健康的 One Health¹ 理念 (圖 1)。One welfare 促進「動物福祉」與「人類福祉」和「環境友好型動物飼養系統」的直接和間接聯繫。依 One welfare 理念，成立一組織，該組織支持糧食安全、可持續性，減少人類痛苦和提高農業部門的生產力，除了促進跨學科合作和加強教育等，還提供相關協助。

¹ One Welfare 相關資料取自 One Welfare 官網 <https://www.onewelfareworld.org/>



圖 1. One welfare 組織的理念、任務與核心價值(擷取自官網)

二、新技術取得—胸腔超音波掃描 (Thoracic ultrasound scoring (TUS)) 技術應用於 3 月齡以下仔牛肺炎診斷

本次研修期間，美國科羅拉多州大學獸醫師前來指導超音波應用於犢牛肺炎之臨床診斷技術。該診斷技術為美國當地獸醫師團隊，收集七千隻以上小牛肺臟超音波資訊，並搭配數百隻患病小牛解剖所發展之新技術，可用於：(1) 小牛緊迫後懷疑有二次性細菌感染的亞臨床病例檢查與治療介入評估，提早治療可避免發展成臨床症狀，而後預後不佳或死亡，(2) 針對已有肺炎的小牛進行恢復監測，(3) 針對容易喘的小牛進行預後 (prognosis) 評估。但因為 TUS 只能針對肺臟表面進行掃描，深層肺炎無法透過超音波診斷出來，因此敏感性 (74 - 94%) 與特異性 (94 - 100%) 有限制。

診斷工具僅需使用一般直腸觸診超音波與直線型探頭 (5 mHz)，進行雙側肺臟掃描，掃描後搭配肺臟評分系統，當評分 0 - 1 分為正常，2 - 5 分為程度不等的亞臨床性肺炎，4 分或 5 分可能會有臨床症狀出現 (也可能沒有)。2 - 3 分即可進行預防性治療，並評估後續是否有更多肺小葉或肺葉出現肺炎影像。

該技術除可進行亞臨床肺炎診斷之外，在熱耐受研究上，可透過該技術排除亞臨床性肺炎干擾喘氣行為，增加研究準確性。

本次參與操作發現之優缺點如下：

1. 優點：(1) 對小牛的操作非溫柔，保定過程不抓取小牛的耳朵和尾巴，僅靠給予手指吸吮吸引仔牛注意力；(2) 每操作一隻小牛就換手套。
2. 缺點：(1) 因為不抓取肢體，所以當小牛掙扎時操作人員會比較危險；(2) 即使要做超音波，也不給小牛剃毛，而以大量酒精替代，造成時間拉長且不易診斷。



圖 2.研修照片。胸腔超音波掃描（Thoracic ultrasound scoring (TUS)）技術內臟練習（左）與牧場練習（右）。

三、試驗參與－母豬懷孕初期熱緊迫與對仔豬之影響

研修期間參與母豬熱緊迫試驗。該試驗使用美方篩選多年、擁有熱耐受基因群之母豬以及一般母豬進行（如圖 3），於早期懷孕期間入住氣候室調節舒適或熱緊迫環境，並比較後續仔豬的表現。本次參與內容為懷孕 60 天乳房組織採樣與抽血。

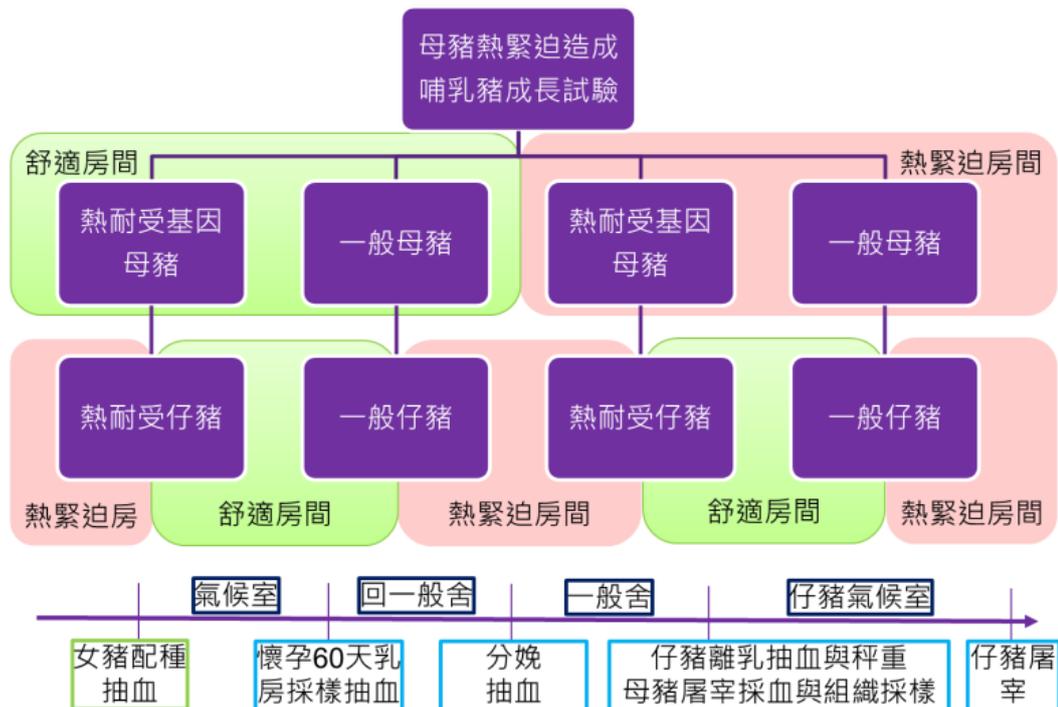


圖 3.母豬懷孕初期熱緊迫與對仔豬之影響試驗設計。

本次參與試驗操作發現之優缺點如下：

1. 優點：（1）由於乳房組織採樣為高緊迫操作，且該母豬多為懷孕中期，因此除了吻部勾引保定外，還會在保定前先進行鎮靜；（2）比照外科程序進行消毒；（3）嚴謹的操作次數避免過多傷害而影響仔豬哺乳；（4）趕豬的過程全程沒有任何一隻豬

發出慘叫，磅重過程非常穩定，讓豬自願上運輸車；(5)運輸車採雙層鋁合金設計，可以快速散熱，且有可拆式多層分隔(圖4)；(6)使用簡單而有效的棉花糖玩具引誘豬(圖5左與中)；(7)水泥地板刻特殊防滑設計，讓人與動物沒幾乎不會有滑倒風險(圖5左與右)。

2. 缺點：(1)注射針具重複使用(為避免組織排斥反應，針具理論上不能重複使用)；(2)藥品暴露於空氣中，使用前藥罐無消毒習慣；(3)消毒水原液未稀釋直接用於器械消毒上，可能會造成組織嚴重受損或無法治癒。



圖4.通用型動物運輸車(左圖)，可組裝分隔板進行不同物種需求的隔間。該車使用雙層鋁合金(右圖)，透過特殊壓合使鋁板結構堅硬，鋁合金可有效降低車內溫度，並且輕巧、不生鏽。



圖5.使用簡單而有效的棉花糖玩具引誘豬(左圖)。該玩具使用馬桶刷裝在水管上延伸手把長度，把大顆棉花糖壓在馬桶刷上(中圖)，刷子吸引豬的好奇，當棉花糖靠近豬鼻子，香氣會吸引豬跟著走，前提是豬不能對棍子感到恐懼。在趕豬的路徑上，地板經過防滑切割(左圖)或是使用二層凹陷設計的特殊切割磚(右圖)，避免人與豬滑倒。

四、試驗乳牛場參訪

普渡大學試驗乳牛場飼養泌乳牛約200頭、乾奶牛約50頭(free barn)、懷孕末期女牛約10頭(free barn with out-door yard)以及0-2個月犢牛約20頭(戶外小牛屋)。普渡

大學為減少飼養管理的繁複，將離乳架仔牛送到第三方牧場飼養，並於女牛懷孕末期運送回普渡大學試驗乳牛場。泌乳牛有二間畜舍:tie-stall 區與 free-stall 區。其中 free-stall 又分為四區，包含轉換後期、初產女牛以及經產母牛（二間）。除此之外，還有榨乳室（阿菲金系統搭配魚骨式榨乳機）以及隔離治療區（圖 6-7）。

和普渡大學試驗牧場負責討論下列議題：

1. 乳房炎：雖然美國一份 2014 年度報告，於全美各州大小牧場的抽樣調查，發現全年牛隻乳房炎的發生率可以達 75%（發生牛號/全部牛號）、某些時間點的乳房炎盛行率可能高達 24.8%，但現階段（2022 - 2023 年）美國牧場在涼季平均乳房炎盛行率僅 1%（100 頭泌乳牛 1 頭乳房炎）。
2. 動物福祉：提高動物福祉是否會提高產量，還要看牧場的飼養管理是否有足夠效率，經濟效益亦同，重點都是牧場的飼養管理與操作。
3. 水床的應用：雖然普渡大學實驗牛舍目前 free-stall 使用水床，但負責人預計汰除水床。水床雖然有降溫效果，但水床的特性使得乳牛膝蓋與關節的病灶比例變高，造成開放性創口的風險也大幅增加，總體而言對牛隻有負面影響。臺灣方面，早期部分民間牧場也引進水床，也發現此特性，因此陸續汰除，後續進口商也暫停進口。

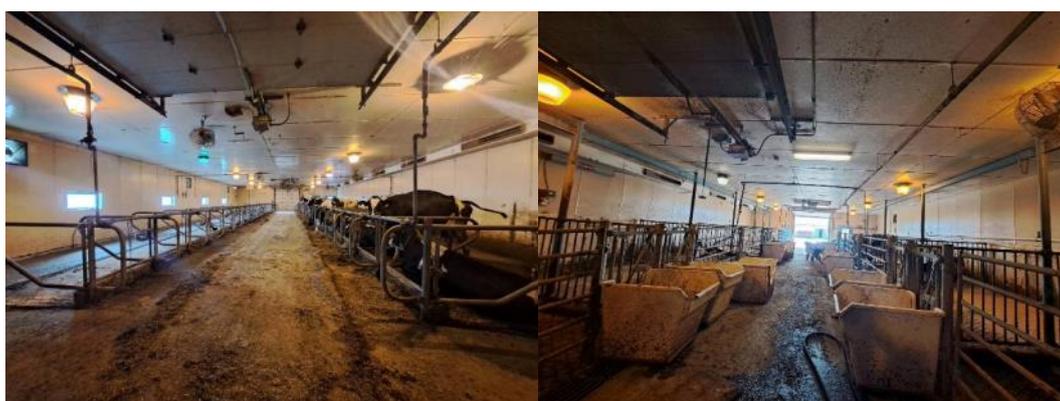


圖 6.普渡大學試驗乳牛舍泌乳牛 tie-stall 區(左)以及隔離治療區(右)。Tie-stall 區可以做個體試驗。



圖 7. 普渡大學試驗乳牛舍中，泌乳牛 free-stall 環境和我國牧場與本組相似(圖左)，但由於環境乾燥，所以牛床上可以鋪木屑所為墊料與保護(圖右)。

本次參與試驗操作發現之優缺點如下：

1. 優點：（1）普渡大學試驗牛舍乳牛相當親人；（2）乳牛耳標設計涵蓋較多資訊，包含全美身分證號、出生日期、出生牧場號以及公牛名號，看到牛即一目了然（圖 8 左）；（3）牧場地板防滑設計並非以地墊為主，而是在水泥上切割出深淺不一、各種方向的防滑溝達到防滑效果。使用年限較地墊長，亦不用擔心地墊釘子年久凸起而傷到牛蹄（圖 8 右）。
2. 缺點：（1）普渡大學牛場畜舍為矮屋簷設計，但自然風與風扇風相反（風扇可能吻合夏季風向，現在仍是春季），由於反向風入侵導致風速降低，雖因氣溫低、濕度低，所以整體還不悶熱。
3. 其他：泌乳牛 free-stall 區在牛床上鋪木屑做為墊料，但臺灣不適用，部分農戶會使用碳酸鈣粉做為墊料，且碳酸鈣粉有消毒效果。



圖 8.美國牛隻耳標不僅標示場內管理號碼，亦標註牛隻出日（左圖右耳）、父親牛名號、全美統一編號以及牧場號碼。牧場防滑並非以地墊為主，而是靠各種方向的水泥割痕達到防滑效果。使用年限較長，亦不用擔心地墊釘子年久凸起而傷到牛蹄。

肆、交流與討論

一、ARS 與普渡大學共生系統

ARS 在普渡大學有三個實驗室（動物行為、土壤改良與殺蟲劑毒物實驗室），三個實驗室沒有自己的實驗牧場也沒有實驗田，都依靠普渡大學的農業設施進行研究。ARS 的動物行為實驗室的研究員除了在普渡大學做研究之外，所有研究員都必須是博士畢業，工作內容包含 ARS 研究以及指導碩士班與博士班學生進行研究。但是 ARS 的研究人員不必當牧場管理人員。

普渡大學有完善的自給自足系統，屬於美國一州一農業大學計畫下，在印地安納州被國家資助的唯一一所農業大學。有研究碳排和代謝的代謝室，例如豬的一棟代謝室有 12 間

畜舍、每間可飼養 12 隻豬。ARS 本身擁有二間氣候室，可以在任何時間進行氣候調節研究，每間可以關 18 隻豬、6 - 8 隻泌乳牛。氣候室內豬欄、雞架等裝備皆為可拆式。

ARS 實驗室中有許多值得學習的職安設計和管理設計，詳細如下：

1. 將實驗室安全每週、每月、每半年和每年作業、掛置在牆壁上（圖 9 左），檢查結果無論是實驗室人員還是管理員都可以一目了然。
2. 每一個實驗室洗手臺下方都設有防滑踏墊，避免實驗人員因各種原因滑倒，並且有洗眼專用反向水龍頭（圖 9 右）。
3. 物料管理採條碼掃描，方便清點、遠端確認並進行後續採購（圖 10 左）。
4. 試驗畜舍裡，工作人員更衣處使用特殊防滑地磚（二層凹陷設計），即使底板有水也不容易滑倒，且水會順著凹槽迅速擴散（圖 10 右）。



圖 9. 實驗室需定期檢測作業皆掛於牆上（左圖），是否有檢查以及檢查結果一目了然。為保護人員避免滑倒，每一個水槽前皆有防滑地墊（右圖）。



圖 10. 取用時透過手機掃條碼，可以簡單快速完成清點（左圖）。試驗畜舍更衣處，確保工作安全的防滑措施（右圖）。

二、臺美環境與研究差異

以印地安納州西拉法葉（ARS 與普渡大學所在地）為例，最炎熱月份為七月，平均溫度在 19 - 29°C 之間（圖 11），夜間溫度皆可進入乳牛溫度舒適帶（thermal comfort zone；15

-25°C)，在溫度舒適帶乳牛可以透過多重管道（如溫度梯度、蒸散作用），將體溫散於空氣中；在高溫環境下，則以蒸散作用帶走體溫為主。普渡大學試驗泌乳牛舍中，針對夏季熱緊迫僅提供遮陰與風扇，並無提供水線散熱，夜間泌乳牛熱負荷即可舒緩，並回到正常低溫。因此美國針對熱的研究，多著重於減緩白日短時間高溫的「熱緊迫（heat stress）」。

此外，因為夜間溫度過低，導致美國出現母豬與仔豬降溫困境（表一），此問題臺灣不容易看到。

反觀臺灣，以臺南為例，六至九月平均低溫皆高於溫度舒適帶，因此乳牛於夜間無法得到有效降溫。白日正午戶外空氣濕度僅 65%，透過灑水系統，畜舍內濕度雖增加至 80%，仍低於阻礙牛隻體表蒸散上限的 85%。但臺南夜間戶外濕度高達 95%，如於夜間在畜舍中使用水霧（mist）或水扇（sprinkler）將阻礙皮表蒸散作用。本組於 2022 年八月進行夏季夜間運動試驗，並全天監測體溫變化，夜間運動組（操作組）泌乳牛平均體溫高於對照組，且操作組夜間有較長久的體溫高峰。原因除了夜間濕度高以外，夜間運動場沒有電扇僅靠自然風，因此體表蒸散作用低於控制組（夜間有風扇）。除此之外，相較於普渡大學當地氣候，臺南從三月開始即相當於西拉法葉夏季（圖 12），夏季時間持續到 11 月。因此臺灣在乳牛的熱平衡研究上，應著眼與結合持續時間（duration）、溫度、濕度與風速等因素的「熱負荷（heat load）」議題上。

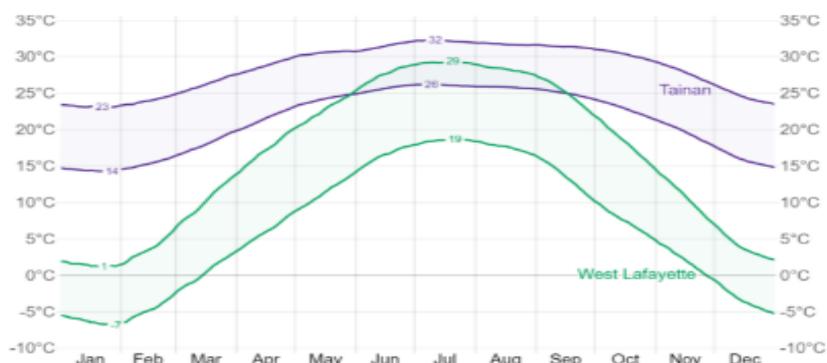


圖 11.美國印地安納州西拉法葉普渡大學所在位置全年氣溫與臺南全年氣溫比較。

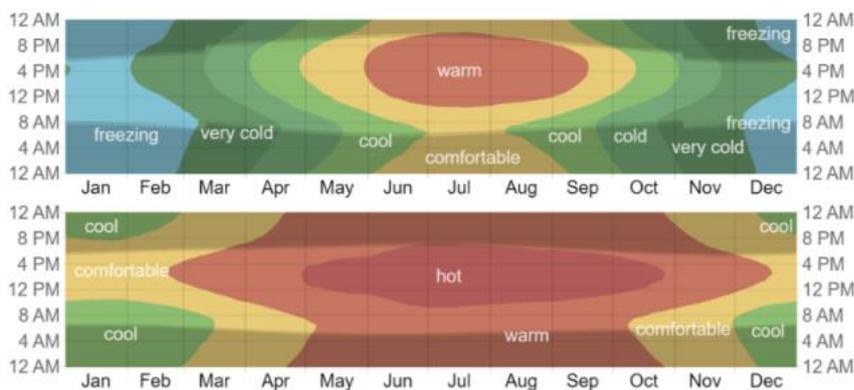


圖 12.美國印地安納州西拉法葉全年全天氣候變化（上半）與臺南氣候變化（下半）比較。

表一、研修期間發現臺美動物科學研究相異一覽表

議題	臺	美	備註
	問題著眼點與研究	問題著眼點與研究	
熱平衡管理	高溫高濕，夏季天氣穩定高於溫度舒適帶，需研究如何減少熱負荷。 降溫困境-高濕環境下，如何增加蒸散或帶走體熱的有效降溫措施（灑水、風速、集中淋浴等）	天氣變化劇烈，白天乾熱、晚上乾冷，減少熱緊迫是重要議題（近期逐漸著重熱負荷）。 降溫困境-夜晚過於低溫，母豬仍處於高熱負荷，與哺乳豬的需求相反。	熱負荷除了環境外，有時間加乘和動物本體健康的概念。
動物福祉（牛）	著重臨床性疾病的診治與預防。	由於臨床症狀只占盛行率的冰山一角，因此逐步著重亞臨床性疾病的預防。	
熱耐受動物育種（牛）	牛隻部分:以引進國外精液為主，基因檢選與育種仍需更多研究。	牛隻精液已經完成熱耐受基因揀選，並有認證，但是仍想尋求更多耐受基因與表現的可能性。	含熱耐受基因精液目前無法進口。

伍、資源爭取

由於緩解動物的熱負荷，其中重要議題為熱耐受基因的育種。本次拜訪由 Dr. Johnson 安排普渡大學動物科技所基因遺傳工程助理教授 Dr. Brito 一同討論「尋找熱耐受基因」之研究方法與試驗設計。討論期間 Dr. Brito 願意提供三項資源以利臺美國際合作、計畫執行以及人才培育：

- (一) 提供台灣一個 1 - 2 年學習的名額，研究內容: (1) 針對臺灣乳牛熱耐受基因庫收集與後續分析；(2) 尋找臺灣乳牛 heat tolerance gene 並比對該實驗室在世界各地已收集之結果。進修身分須為博士在學生或是博士畢業生。
- (二) 針對 GWAS 操作，Dr. Brito 每年都會針對新進碩士生進行為期一週的 GWAS 操作訓練。如果想要參與訓練，他亦可以安排與協助。
- (三) GWAS 晶片價格昂貴導致實驗不易的問題，Dr. Brito 可以協助聯繫美國的晶片廠商，給予試驗研究的專屬優惠價格。

陸、心得

本次出國改變了很多錯誤觀念。在未與美國交流前，對美國乳業與動物福祉有錯誤刻板印象，以為美國以經濟為導向，所以對動物福祉的著重會屈就於經濟表現；美國牛奶比水便宜，所以乳品質、乳體細胞的要求並沒有臺灣嚴苛等。

經過交流與討論後，發現美國的動物福祉其實相當先進，並且在試驗牧場觀察到對牛的操作和照顧相當接近於動物福祉歷史悠久的歐洲，例如使用犢牛吸吮反射進行保定，非緊急狀況不會抓取小牛尾巴、耳朵或四肢作為保定目標；在做超音波操作時，如犢牛躁動不願意，不會強制定保定進行，也不會為了獲取良好影像對掃描窗口剃毛；在趕豬時，會透過玩具與美食引誘，或羊群效應（herd Behavior）等方式，讓母豬「自願」走進運輸車。這些符合動物本身反射與意願的操作（符合動物福祉）可大幅減低試驗操作對試驗本身的影響。乳牛乳品質方面，美國每五年會做一次涵蓋全國各州的牛乳品質、乳牛疾病以及淘汰原因調查。根據牧場負責人的說法美國泌乳牛乳房炎盛行率約為 1%。此外依據全美實際統計報告，總乳體細胞隨季節變化約 20 到 30 萬不等、平均生菌數也未高於 10 萬/c.c.，並非當初酪農口耳相傳的「美國牛奶便宜，所以不注重體細胞與生菌數」。

除錯誤刻板印象以外，其餘都未超乎預期。例如美國日夜溫差大，環境變化過快，因此動物部分生理變化快於行為變化，因此在美國動物熱平衡研究中，biomarker 的研究較行為本身更為重要。此外，美國研究經費遠高於臺灣的研究經費，因此得以使試驗非常完整。相較臺灣雖然申請很多研究，但單一研究往往受限經費，試驗數據量以及完整程度難以步入正規國際期刊。此外，由於 ARS 研究人員不必進行試驗動物飼養管理，因此經費資源與人力可以專心於研究而不必分散於牧場管理，試驗設計與產出得以更完整與豐富。

柒、結論及建議事項-後續計畫試驗設計與工作

本次出國屬臺美國際合作研究，依訪美期間討論內容提出二項試驗計畫作為結論與建議事項，並規畫後續應進行之工作：

一、確認乳牛在臺灣是否產生基因上的熱適應性

- (一) 計畫提案緣由：本次拜訪期間，密集討論到臺美之間飼養與環境差異，美方認為在臺灣條件下即使進口精液多來自美國，但在數十年的飼養與選留下，乳牛母牛群很有可能已經發展出在地熱適應性。建議在進行較昂貴的基因分析之前，可以透過動物行為研究確認牛隻是否已經發展出熱適應性。
- (二) 試驗規劃：第一階段於臺灣完成，第二階段於美國完成。
- (三) 第一階段參與單位：產業組，泌乳牛約 16 頭牛。
- (四) 數據收集：
 1. 荷蘭乳牛完整資料（三代以上完整系譜、出生資訊、生產階段、體重、BCS、疾病與病史，甚至包含黑色毛面積等）、熱相關行為表現（呼吸、體溫、血液生化、臥坐行為、毛髮皮質醇等），以及產能（日增重、乳量、乳成分、繁殖表現等）。
 2. 持續且精準之環境資料：溫度、濕度、風速、輻射與蒸散速率。

- (五) 需要資源：畜舍內微氣候偵測器組（溫度、濕度、風速與輻射）四組（資本門）、可移動式攝影機 5 組、體內溫度計 20 個、血液檢驗費與試驗耗材。合計資本門 12 萬，經常門 40 萬。
- (六) 時程與安排：產業組預計安排 2023 年 7 至 9 月、使用泌乳牛進行數據收集，並將環境數據傳送給 ARS，ARS 安排 2024 年春季進入夏季時，以相同狀態的泌乳牛在氣候室進行同樣時間長度的數據收集。試驗結果即可知泌乳牛經過數代選留，是否已發展出熱適應性（安排夏季的原因包含時間安排較充裕、冬季有其他計畫，此外配合牛隻進入夏季的狀態時，進入『臺南的夏季』可以更有效比較差異）。
- (七) 後續結果與配套：
1. 有發展出熱適應性（結果有差異）：進行 GWAS 檢測並尋找熱耐受基因是否異同。若基因有差異，即可解釋熱適應性所在；若基因無差異，可能是 RNA 轉錄成蛋白質的過程中，甲基化的程度有差異或其他原因。
 2. 無發展出熱適應性（結果無差異）：可能為持續使用美國公牛精液，使基因與表現差異不顯著。後續需從飼養管理面投入更多研究，或開放引進已研究出之熱耐受基因精液，亦或是規劃育在地品種。

二、尋找臺灣乳牛熱耐受基因

- (一) 計畫提案緣由：延續試驗一「確認乳牛在臺灣是否產生基因上的熱適應性」，若確認臺灣乳牛經過數十年的在地飼養已發展出熱適應性，建議進行熱耐受基因分析，除可透過基因分析結果應用於種畜群選育外，可搭配人工生殖技術快速拓展熱耐受族群。學術方面亦可比對在臺灣海島型濕熱環境下發展出的熱耐受基因和美國 ARS 與普渡大學已有之其他大陸乾熱國家、大陸濕熱國家的乳牛熱耐受基因是否相同。
- (二) 試驗規畫（美方提供）：
1. 荷蘭牛：分三至五年收集 300 隻以上荷蘭乳牛完整資料（三代以上完整系譜²、出生資訊、體重、BCS、疾病與病史，甚至包含黑色毛面積等）、熱相關行為表現（呼吸、體溫、臥坐行為、毛髮 cortisol 等），以及產能（成長重、乳量、乳成分、繁殖表現等）。並收集該三百頭牛的 DNA 進行 GWAS 檢測。
 2. 黃牛：收集一百頭黃牛 DNA 進行 GWAS 檢測，如果有完整牛隻資料、熱相關行為表現與產能，能更有效比對到熱耐受基因。
- (三) 參與單位：
1. 方案一（300 頭荷蘭牛）：產業組負責動物數據收集（要包含 2023 年試驗一的那些牛），恆春分所負責黃牛 DNA 採集或資料提供，遺傳育種組負責 GWAS。

² 父系需多樣，不可來自少量公牛。

2. 方案二（600 頭以上荷蘭牛）：產業組、新竹分所或其他民間牧場加入動物數據收集（每個單位 300 隻，產業組要包含 2023 年試驗一的那些牛），恆春分所負責黃牛 DNA 採集或資料提供，遺傳育種組負責 GWAS。

(四) 需要資源：試驗經費與 GWAS 檢驗經費，依方案不同而不同。

(五) 後續配套：考量運送生體樣本到美國的防疫限制，建議在臺完成 GWAS 檢測，帶著基因資訊到普渡大學進行後續研究（三-（一）研究內容）。

三、其他後續工作－犢牛肺臟超音波掃描

(一) 6-7 月完成產業組所有犢牛與下架牛肺臟超音波掃描。

(二) 收集資料製作成教材以備後續使用。

捌、其他照片



研修照片。普渡大學的動物科學大樓（左上與右上）。於動物科學大樓前與 ARS 動物行為實驗室主持人 Dr. Johnson 合影（左下）；參加 ARS 與普渡大學每週例行內部研討會（右下）。