

出國報告（出國類別：研究）

臺灣-澳大利亞乳牛性能資料庫進行  
熱緊迫環境下牛隻產能與行為之  
合作研究

服務機關：農業部

姓名職稱：涂柏安副研究員兼系主任

派赴國家：澳大利亞

出國期間：113年3月29日至9月28日

報告日期：113年12月9日

## 摘要

本次出國研究的主要目的是結合臺灣與澳大利亞兩地在熱緊迫條件下的差異，進行乳牛生理反應、行為變化及生產力的綜合研究。由於兩地在地理位置與氣候特性上存在顯著差異，澳大利亞和臺灣的冬夏季節相反，並且溫濕度條件也有不同，導致乳牛面臨的熱緊迫類型有所不同。臺灣的熱緊迫通常由高溫和高濕度共同引發，而澳大利亞的熱緊迫主要源自高溫和乾燥環境。本次合作研究旨在整合雙方的科研資源，通過數據分析技術，共同應對由氣候變遷引發的熱緊迫問題，以促進乳牛健康和酪農業的永續發展。

本研究的核心目標包括建立數據分析驅動的酪農決策支援模型，通過感測器數據的收集與整合，幫助乳牛生產系統在熱緊迫條件下做出精準的管理決策，進一步提升乳牛健康和生產效率。這些感測數據涵蓋環境溫濕度、牛隻健康狀況及乳成分等多方面資訊。此外，研究還著重於牛隻健康的偵測和風險因子的分析，利用中紅外線光譜法（MIR）、傅立葉轉換紅外線光譜儀（FTIR）等先進感測技術，定期監測牛乳中的代謝產物及健康相關成分，為選拔耐熱性狀動物提供依據。

合作過程中，我們深入了解澳大利亞在牛隻耐熱性狀選拔和數據處理方面的方法與經驗，這些經驗將有助於應對臺灣日益嚴峻的氣候變遷挑戰。我們也發現，數據驅動的決策支援系統能夠顯著提高乳牛生產管理的精準度與效率，從而幫助酪農業者有效應對高溫引發的生產困難。研究結果顯示，乳牛在不同熱緊迫條件下的生理反應存在顯著差異，泌乳牛對高溫高濕環境的耐受能力較低，而乾乳牛相對較為耐熱。熱緊迫對乳牛乳脂肪酸組成也有顯著影響，長鏈不飽和脂肪酸比例在高溫條件下上升，而短鏈及中鏈飽和脂肪酸比例下降，且這些變化在熱緊迫結束後的恢復期並未立即恢復至正常水準。

本次合作研究的成果為推動數據驅動的決策支援系統建設、推廣動物福利、強化營養管理、發展高附加值乳製品以及推動自動化和智能化生產等，這些措施將幫助酪農業者應對氣候變遷和市場挑戰，促進乳牛健康和產業的永續發展。

## 目 次

壹、目的.....	1
貳、過程.....	3
參、心得.....	13
肆、建議.....	14
伍、照片.....	16

## 壹、 目的

精準畜牧技術（Precision Livestock Farming, PLF）是近年農業科技的重要發展方向，旨在提升動物健康、福利與生產效率。然而，實踐過程面臨許多困難，例如牧場網路連接的不穩定性、數據應用的複雜性，以及技術與實際牧場操作間的落差。儘管 PLF 技術有潛力大幅優化生產過程，但在全球層面，技術實際應用的速度遠落後於其理論進展。當前推廣的困難在於，只有少數技術開發者和研究者具備長期的實地測試經驗，且僅有少數人願意面對技術落地的挑戰。

本次出國研究的主要目的是執行農業部農業菁英培訓計畫「臺灣-澳大利亞乳牛性能資料庫進行熱緊迫環境下牛隻產能與行為之合作研究」，旨在針對在熱緊迫環境下的牛隻產能與行為進行分析。全球氣候變遷正在不斷推動極端氣候事件的發生，例如高溫、熱浪、乾旱等，這些都給全球的乳牛養殖業帶來了挑戰。臺灣及澳大利亞兩地的合作研究計畫，將充分利用雙方的科研資源與專業知識，結合現代化的數據分析技術，共同應對由氣候變遷引發的熱緊迫問題，進而促進乳牛健康和酪農業的永續發展。

本研究的核心目標之一是建立數據分析驅動的酪農決策支援模型，以幫助乳牛生產系統在熱緊迫條件下做出精準的管理決策。通過收集與整合來自於環境、牛隻健康狀況以及牛乳成分等多方面的感測數據，建立一個具有全面性的決策支援系統。這些感測數據包括但不限於環境溫濕度、動物的呼吸速率、體溫、採食行為、自動餵飼系統數據以及牛乳中的健康相關成分，透過這些數據，我們能夠了解牛隻在面對熱緊迫時的各種生理與行為反應，並根據分析結果為酪農提供決策建議。第二部分則著重於牛隻健康的偵測與風險因子的分析。利用各種先進的感測技術，如中紅外線光譜法（MIR）、傅立葉轉換紅外線光譜儀（FTIR）等技術，來定期監測牛乳中的代謝產物以及其他健康相關成分。這些健康數據將用於了解牛隻在面對熱緊迫時的生理反應，並作為選拔耐熱性能動物的依據。

本次出國研究的另一個重要目的，是學習澳大利亞在牛隻健康管理及耐熱性狀選育方面的經驗與技術。澳大利亞由於地處南半球，擁有較為炎熱乾燥的氣候環境，因

此在動物的耐熱性狀研究上有著豐富的經驗。澳大利亞研究人員在牛隻耐熱性狀選拔和數據處理方面的方法和經驗，可做為寶貴的參考，幫助我們應對臺灣日益嚴峻的氣候變遷挑戰。我們希望借鑑澳大利亞的數據處理模式與合作，應用於臺灣酪農業的實際場景中，進而輔助我國乳牛產業在面對未來熱緊迫挑戰時，能夠建立精準的管理策略，以達到減少乳量損失的目標。

熱緊迫對於牛隻的影響不僅限於乳量的下降，還包括繁殖性能的下降、健康狀況惡化等多方面。隨著氣溫的上升，乳牛的採食量會下降，進而影響到泌乳量，同時牛隻在高溫條件下還會出現呼吸加快、心率上升等生理反應，這些反應均會對牛隻的長期健康造成不良影響。而在臺灣，由於地處亞熱帶地區，年均溫相對較高，且相對濕度常年維持在 80%以上，高濕度環境會加劇牛隻的熱緊迫程度，對牛隻的生理健康產生更大挑戰。因此，透過本次與澳大利亞的合作，我們將系統性地分析熱緊迫對乳牛生產效能及健康的影響，並提出具體的解決方案。

此外，本研究亦探討動物耐熱性能的選育方法，這包括耐熱品種的選拔標準與方法。在面對高熱承載環境的情況下，乳牛必須具備有效的生理散熱能力，以維持體內的熱平衡。因此，本次合作研究亦關注如何利用動物體溫、呼吸頻率、汗腺功能等性狀作為耐熱指標，以進行有效的動物選育。

從應用的角度來看，在臺灣由於氣候變遷造成的高溫熱浪頻繁發生，如果不採取有效的調適措施，將會面臨乳牛生產效能下降以及經濟損失加劇的風險。因此，透過本次研究計畫所建立的決策支援系統，可以有效幫助酪農業者優化飼養管理方案，包括調整牛舍環境、優化餵飼計畫以及提高動物福利等，進而減少熱緊迫對乳牛產量的影響。對於澳大利亞而言，本次合作也有助於進一步完善其在高溫高濕條件下的乳牛選育與管理體系，推動雙方酪農業向更加科學化和永續的方向發展。

## 貳、 過程

### 一、 本次出國行程如下：

日期	工作內容
3月29日(五) — 3月30日(六)	搭機前往澳大利亞阿德雷德機場
3月31日(日) — 9月27日(五)	1. 參訪阿德雷德大學 2. 參訪阿德雷德大學-Roseworthy Campus，進行學術交流 3. 研究資料與偵測-資料驅動牛隻健康危害因子偵測 4. 研究資料與決策-數據資料整合酪農決策支援 5. 進行學術研究報告撰寫、討論與發表
9月28日(六) — 9月29日(日)	搭機返回臺灣

## 二、研究設施參訪與澳方相關研究成果分享

### (一)仔牛體重非接觸式監測系統

Weight-Detect™是基於影像分析的技術，透過非接觸式的深度感測技術，能即時估算圈舍內仔牛的平均體重（APWs），並生成每日增重（ADG）數據，為牧場管理提供高頻率且準確的科學基礎。在澳大利亞昆士蘭多個農場進行的實地測試中，Weight-Detect™ 展現了極高的精度，其平均誤差僅為 2.6%，最大誤差低於 7.6%，足以應用於商業環境。研究中同時發現，影像取樣的均勻性、攝影機的安裝位置及畜舍管理方式對數據的精確性有重要影響。例如，將攝影機安裝於畜舍中央而非餵食區，可以減少樣本偏差，提升數據的代表性。阿德雷德大學的研究也分析動物行為及環境因素（如飼料攝取、排泄行為）造成的體重波動，這些因素在解讀數據時須被正確解讀。

該技術的實用價值包含提供精確的體重監測，並幫助管理人員診斷生長低效期，進而調整飼料配方或管理策略以提升經濟效益。研究人員以模擬數據顯示，若透過 Weight-Detect™ 精準調整飼料，每 1,000 頭規模的仔牛場可增加約 27% 的利潤，相當於每年額外收益約 176,000 澳元。此外，及早檢測健康問題並進行干預，可進一步減少高達 15% 的經濟損失。但同時本工具在某些牧場的安裝可能面臨困難，尤其是在偏遠地區由於網路連接不穩定導致數據傳輸問題。建議採用當地點或增強天線信號等方法來改善網路連接問題。

Weight-Detect™是體重數據的管理平臺，為仔牛飼養提供精準視角。但若是在臺灣這樣以中小型農場為主的環境下，如何調整技術以適應本土需求將是未來發展的核心議題。

### (二)Herdsman+ 綜合農場管理系統

Herdsman+ 是一個基於人工智慧（AI）和物聯網（IoT）的綜合牛群管理系統，專為整合多維數據流和提供數據決策支援設計。該系統通過頸部加速度傳感器提升發情檢測準確性，由傳統人為觀察的 38% 提高到 80%-90%。這可以為農場帶來額

外的經濟效益，因為每頭牛因錯失妊娠而導致的經濟損失可高達 140 澳幣（基於每日 21 公升奶產量的市場價值）。此外，Herdsman+ 採用了低功耗的物聯網技術，其核心硬體包括 MEMS 加速度計和無線射頻技術，每天數據處理的能耗僅為 35 至 70 mAh，使設備的電池壽命可達 5 至 10 年。這套系統每秒生成的數據量高達 300 bits/s，通過邊際計算技術進行壓縮和優化，有效降低了雲端傳輸的負擔。

在健康監測方面，Herdsman+ 對牛隻的進食與反芻行為進行持續監控，作為健康狀況的重要指標。健康乳牛每天的反芻時間通常在 500 至 600 分鐘之間，當產乳熱等健康問題發生時，反芻時間可能下降 25% 以上，觸發系統預警。該技術在乳腺炎檢測中的應用則是通過將加速度計數據與機器擠乳設備的導電率數據相結合，進行乳房炎的早期準確診斷，並減少由繁殖治療引起的假信號。此外，該系統可用於日常餵飼管理優化，在肉牛場的應用實驗中，通過監測餵食時間和進食量，對飼料轉化率（FCR）可進行高精準度預測，相關模型的  $R^2$  值在高濃度日糧中達到 0.93，在高纖維日糧中為 0.83。在一項 32 頭肉牛的實驗中，該系統可將牛群分為三個性能群體，準確分類率分別為 69%（高效群體）、58%（中效群體）和 88%（低效群體）。

Herdsman+ 為農場帶來的經濟效益十分顯著，包括降低藥物與人力成本、提高乳肉生產效率以及減少單位產量的碳排放。此外還可提供透明的動物福利數據，增強乳製品與肉類在市場中的競爭力。Herdsman+ 的商業模式注重在技術融合與標準化，採用 5G 與物聯網技術提升偏遠地區的數據傳輸效率，同時以訂閱的服務模式以降低用戶的初始設備投資成本。

### **(三) 豬隻咬尾行為偵測與預警系統**

豬隻咬尾行為係豬隻飼養過程中的一大問題，不僅影響動物健康與福祉，還會導致經濟損失。阿德雷德大學與比利時魯汶大學合作，開發一套咬尾行為預警系統，即時監測豬隻行為與環境變化，提前預測咬尾風險，幫助養殖者在問題發生前及時因應。研究首先定義「尾部損傷」作為咬尾判定標準，定義為至少一頭豬出現新鮮流血傷口，便於觀察者進行標準化記錄。

在技術選擇方面，研究選用了水流量計和圈舍溫度計，分別監測飲水模式及活動區和休息區的溫度變化，並將這些數據作為主要特徵變數，包括飲水量、水流啟動頻率、活動區溫度和休息區溫度。這些特徵變數的選擇基於其易於在不同牧場環境中監測，以及與已知咬尾行為存在相關的潛在因果關係。然而感測器易損壞以及豬舍內的惡劣環境（如高濃度氨氣與粉塵）給技術應用帶來困難。為了解決這些問題，必須對感測器進行保護設計，並優化設備安裝位置。預測模型的建構採用灰箱模型方法（Grey-Box Model），通過提取日均值、最大值、最小值等特徵，減少過度擬合風險，並提升模型在不同環境下的泛化能力。內部驗證結果顯示，該模型對 14 起尾損事件的預測準確率較高，但以單一特徵變數（如水流量）為基礎的模型錯誤警告率達 46%。當擴充為多變數結合時，錯誤警告率降至 28%，但仍產生 553 次錯誤警告。如此高的錯誤警告率可能影響飼養管理人員對系統的信心，因此研究指出仍需進一步提升預測的專一性。

咬尾行為的早期預警系統有助於改善動物福利，且能顯著降低治療成本並提高生產效益。本研究分享從判定標準的選擇、特徵變數的篩選到模型構建與驗證，全面說明系統開發過程及所面對的問題。

#### **(四)火雞啄羽行為偵測與預警系統**

本研究由漢諾威獸醫學院與阿德雷德大學合作，開發一種基於影像辨識技術的自動化監測系統，用於檢測火雞因啄羽行為引起的傷害。研究指出，啄羽行為和由此引發的同類相殘對火雞飼養業造成了嚴重的動物福利與經濟損失。這項研究利用機器學習技術和攝影機即時監測火雞群，實現早期預警以便在問題擴大之前進行因應。

研究選用了 2,170 隻火雞作為樣本，安置於德國一處研究農場，使用高於地面 3 米的攝影機進行影像拍攝。初步數據收集持續了兩個飼養週期，共取得 19,556 幅影像，經人工標註傷害部位後用於訓練 U-Net 架構的卷積神經網絡(CNN)。然而在人工標註時發現觀察者之間的一致性較低（0.25-0.43），而同一觀察者的一致性也僅達到中等水平（0.56），影響了模型的訓練效果。經測試，神經網絡的

檢測結果與人工標註的像素精度一致性僅為 0.32，這樣數據未達實際可以應用標準。

為改善數據品質，研究開發第二步的 MEMO（多專家-多意見）軟體系統，透過「人類-機器協作」方法對影像標註進行重新評估。過程中重新檢視 24,173 個標註，81.5%的標註被確認為真實傷害，進一步提升觀察者間的一致性（達 81.6%）。此外，傷害根據部位進行分類，其中 81.5%屬於羽毛損傷，90.8%屬於頭部損傷，而 98.2%為冠肉損傷。這些優化可生成更準確的訓練數據，用於改進神經網絡的傷害檢測性能。

影像分析相比現場檢測具備非侵入性與高效性，但受限於標註不一致和訓練數據品質。未來工作將著重於改進自動化系統的精度，降低誤報率，以在牧場環境進行早期預警應用。本研究可提升火雞飼養的動物福利，包含防止啄羽行為擴散以減少群體損失。

#### **(五)PigHealth+ 母豬健康與行為監測系統**

PigHealth+系統是一款整合光容積描記圖（PPG）感測器和加速度計的耳標式設備，用於監測母豬在生產期的健康狀況與行為變化。此為歐盟 IoF2020 項目的一部分，PigHealth+的目標是透過持續數據監測，幫助飼養者精確掌握母豬分娩過程並進行及時因應，以降低疾病風險並提升生產效益。

PigHealth+系統透過捕捉靜態心率與活動數據，用於預測與健康相關的問題，例如產後乳房炎綜合徵（PPDS）。PPDS 對母豬泌乳能力有嚴重影響，經濟損失估計每頭母豬達 300 至 470 歐元。研究發現，母豬靜態心率與體溫之間存在顯著相關性，當體溫每升高 1°C，靜態心率會增加 10-15 次/分鐘，可用於早期疾病預警。加速度計的活動數據能有效識別母豬的築巢行為，該行為通常在分娩前 6 至 12 小時達到高峰。實驗數據顯示，築巢行為的活動均值為 135，而站立時為 116，躺臥時僅為 15。

此系統在瑞典的一個擁有 400 頭母豬的商業農場中進行現場測試，共有 70 頭母豬參與試驗。耳標設備通過藍牙傳輸數據至雲端伺服器。設備掉落與數據遺失

等仍然是問題。設備外殼採用鈦金屬以保護內部電子元件，雖然堅固但成本較高，需要進一步優化以實現商業化。

PigHealth+系統應用精準畜牧技術監測母豬健康與行為，未來將著重於優化演算法以提高預測敏感性和專一性，並與飼養業者合作改進系統使用經驗。

#### **(六)動物行為追蹤系統評估：idTracker、ToxTrac、BioTracker 和 Ctrax 在群體豬隻行為監測中的應用表現**

本研究由密西根州立大學和阿德雷德大學的研究人員合作完成，聚焦於評估四款開源軟體（idTracker、ToxTrac、BioTracker 和 Ctrax）在群體豬隻行為監測中的效能。豬隻行為的自動化追蹤有助於提升生產效率和動物福利，但傳統人工方法耗時且易出錯，而現有軟體面臨遮擋、光線不均及地板與豬隻對比不足等困難。

實驗分為兩階段進行。第一階段在一般農場條件下測試，發現所有軟體在處理豬隻遮擋、群體數量增加及光照不足等情況時表現不佳。例如，idTracker 在兩頭豬的測試中錯誤辨識率為 3.72%，而 BioTracker 在單分鐘內最多發生 25 次身份辨識錯誤。當群體數量增加至八頭時，所有軟體效能顯著下降，其中 idTracker 因影像參考數量不足而無法完成追蹤。

第二階段改進了測試環境，包括提升光照、改用對比強烈的地板顏色及優化相機位置，部分軟體辨識效能有所提升。例如，BioTracker 在單頭豬的追蹤準確率提升了 25%。然而，當豬隻數量增加至九頭時，所有軟體仍然表現不穩定。ToxTrac 僅能追蹤一頭豬，且僅持續約 30 秒，這顯示現有技術難應對高複雜度的群體行為監測需求。idTracker 在小群體條件下表現相對最佳，但隨群體規模增大，其效能顯著下降，難以滿足長時間牧場應用的需求。這些軟體需進一步改進演算法和影像參數設置，特別是在豬隻身份辨識保持和遮擋情境下的精準性。未來應加強軟體在複雜牧場環境中的適應能力，為群體豬隻行為監測提供更高效率、更穩定的技術支援。

#### **(七)IoF2020 Dairy Trial 系統**

IoF2020 Dairy Trial 系統是一個涵蓋多個使用案例的大規模歐洲物聯網 (IoT) 應用試驗，旨在整合感測器數據、雲端技術與人工智慧，提升乳業生產的精準化。該項目由 IoF2020 主導，包括 7 個主要使用案例，從乳牛健康監測到牧場管理，系統性探索 IoT 在乳品供應鏈中的價值創造能力。研究目標集中於實現從「牧草到牛乳」(Grass-to-Glass) 的全供應鏈數據管理，並應用 FAIR (可查找、可訪問、可互操作、可靠) 的原則進行數據共享與應用。

在技術設計上，IoF2020 系統包含多個核心組件，包括感測器、雲端數據管理、基於已知規則的預警系統，以及簡單易用的界面應用 (如 Happy Cow 和 Silent Herdsman+)。例如，Happy Cow 系統利用頸部加速度計追蹤乳牛行為，結合人工智慧檢測健康問題，為飼養管理人員提供客製化的繁殖建議和健康警告。測試顯示該系統能準確辨識乳牛的發情期，顯著提高配種效率。此外，Silent Herdsman+ 系統則監測進食與反芻行為，提前預警疾病風險，通過雲端服務整合數據，增強診斷的準確性。

在數據共享和操作性方面，IoF2020 面臨的困難主要在現有農場管理系統 (FMIS) 之間的數據格式不一致以及牧場主對數據隱私的顧慮。項目透過使用 365FarmNet 平台促進數據在供應鏈中的整合。例如，Remote Milk Quality 使用紅外感測器技術遠程校準牛乳品質監測，讓乳品加工廠和牧場的數據校正更加自動化與可靠。

技術測試顯示，該系統在大規模應用中依然需要克服設備穩定性和數據傳輸的困難。特別是室內外定位的精準度提升和數據整合方面，Grazing Cow Monitor 使用 GPS 和藍牙技術定位乳牛，結合雲端數據儲存，可降低了農場成本與管理壓力。在實驗階段 MVP (最低可行產品) 已經過多次更新，證明了精準畜牧技術的潛在經濟效益。例如，精準礦物質補充系統 (Pitstop+) 通過客製化的礦物質配方餵飼，預估每頭乳牛每年可節省 60-100 澳元，同時降低疾病風險。

IoF2020 Dairy Trial 的整體成果顯示，透過 IoT 技術的深度整合，可以顯著提高酪農的決策能力，並同時改善動物福利和生產效率。

### 三、研究成果概述

#### (一)赴澳大利亞合作研究的目的

此次合作研究的主要目的在於結合澳大利亞和臺灣兩地在熱緊迫條件下的不同時機和類型，以便更全面地觀察和分析乳牛在不同環境下所面臨的熱緊迫影響。由於澳大利亞和臺灣的地理位置與氣候特性存在顯著差異，兩地在季節變化和溫濕度條件上呈現出不同的特徵。澳大利亞和臺灣的冬夏季節相反，在臺灣的夏季高溫高濕環境中，正值澳大利亞的冬季低溫乾燥，而在澳大利亞的夏季炎熱乾燥時，臺灣則處於冬季相對涼爽的環境中。此外，兩地的溫濕度差異也導致乳牛面臨的熱緊迫類型有所不同，臺灣的熱緊迫多由高溫和高濕度共同作用所致，而澳大利亞則主要是高溫和乾燥引起的。此次合作能夠整合來自兩地的研究數據，快速有效的完成探討在不同氣候條件下，乳牛在生理反應、行為變化及生產力方面的差異性。不僅有助於更加深入地理解熱緊迫對乳牛的綜合影響，也能為兩地的酪農業者提供更具針對性的管理策略。在澳大利亞，我們可以研究乳牛在乾燥、高溫環境下的生理適應機制，而在臺灣，我們則可以聚焦於如何應對高溫高濕的熱緊迫負面影響。透過這種跨區域的合作，能夠研析更加全面且科學的應對策略，以提高乳牛的健康和生產效能，從而增強兩國乳業的市場競爭力。

#### (二)熱緊迫對乳牛生理反應的影響

首先研究的重點在於分析熱緊迫對乳牛生理指標（如呼吸頻率、直腸溫度及流汗量）的影響。透過長期的觀測及數據的整合，我們發現泌乳牛和乾乳牛在面對不同程度的熱緊迫時，其生理反應存在顯著差異。泌乳牛在熱緊迫條件下更容易出現呼吸頻率增加、直腸溫度升高等現象，而乾乳牛則顯示出不同的耐受能力。本研究的重要發現是不同生理狀態（泌乳期與乾乳期）牛隻的溫濕度指數（THI）閾值有所不同，這為乳牛場在應對熱緊迫時提供了精準的降溫策略依據。此外本研究還發現了在高濕度環境中，適時啟用降溫設備對於減輕牛隻熱緊迫的必要性。

我們的研究首先對於泌乳牛和乾乳牛在不同的熱緊迫情境下進行了詳細的生

理監測，包含呼吸頻率、直腸溫度、流汗量等指標。在高溫環境下，泌乳牛的呼吸頻率顯著增加，這是因為牛隻透過加快呼吸來加強蒸發散熱的效果。直腸溫度的升高則是熱緊迫對牛隻的直接生理影響之一，泌乳牛的直腸溫度在熱緊迫時明顯升高，達到 40°C 以上，顯示其體內熱量累積過多而無法有效散熱。相較之下，乾乳牛雖然同樣受到高溫影響，但其直腸溫度的上升幅度較泌乳牛小，顯示其對高溫環境的耐受能力較強。

合作研究時還發現，不同生理階段的牛隻在面對熱緊迫時，其生理指標的反應存在顯著差異。乾乳牛的溫濕度指數（THI）閾值普遍高於泌乳牛，這表示乾乳牛能夠在較高的溫度與濕度環境下保持較為穩定的生理狀態，而泌乳牛則在較低的 THI 下便會出現明顯的熱緊迫反應。建議在泌乳期的牛隻管理中應更加注重降溫措施的及時啟用，以降低熱緊迫對其生產力的影響。

此外在高濕度環境中，降溫設備的作用尤為重要。高濕度使得牛隻通過流汗來散熱的效果降低，因此適時啟用風扇和噴水裝置等降溫設備，可以有效幫助牛隻降低體溫。本研究中觀察到，當環境溫濕度指數達到 70 以上時，適當的降溫措施能顯著降低牛隻的直腸溫度，並且減少呼吸頻率的增加幅度，從而有效減少熱緊迫對牛隻健康及生產力的負面影響。

綜合而言，本研究提供有關乳牛在熱緊迫條件下的生理反應的詳細資料，並為乳牛場在面對氣候變遷帶來的高溫緊迫時提供實用的管理建議。透過在適當時機啟用降溫設備，並針對不同生理階段的牛隻進行差異化管理，酪農業者可以有效減少熱緊迫對牛隻健康和生產力的負面影響，進而提升整體酪農生產效率。

### **(三)熱緊迫對乳脂肪酸組成的影響**

這項研究探討了熱緊迫對乳牛乳脂肪酸組成的影響。結果顯示，當環境溫度及濕度升高時，乳牛乳中的長鏈不飽和脂肪酸（LCFA）含量顯著增加，而短鏈及中鏈飽和脂肪酸（SCFA 和 MCFA）則顯著下降。這些變化表示在熱緊迫條件下，乳牛的代謝系統會進行調整，以應對高溫帶來的熱負荷。這些脂肪酸組成的改變在熱緊迫結束後的恢復期中並未立即恢復至基礎水準，這表示熱緊迫對乳牛代謝系統的影響

是持久的。

我們對乳牛在熱緊迫期間和恢復期間的乳脂肪酸組成進行了詳細的分析，涵蓋了飽和脂肪酸（SFA）、單不飽和脂肪酸（MUFA）、多不飽和脂肪酸（PUFA）等多種脂肪酸類型。結果顯示在熱緊迫期間，乳中的長鏈不飽和脂肪酸如 C18:0（硬脂酸）和 C18:1（油酸）的含量顯著增加，而短鏈和中鏈飽和脂肪酸如 C4:0（丁酸）、C6:0（己酸）及 C12:0（月桂酸）則顯著下降。這些變化顯示出在高溫條件下，乳牛的代謝系統偏向於更多地以體脂肪分解應對能量需求，這導致乳中的長鏈不飽和脂肪酸比例上升。

此外，乳脂肪酸組成在熱緊迫結束後的恢復期中並未立即恢復至基礎水準。即使在環境溫度恢復到正常範圍後，乳中的長鏈不飽和脂肪酸含量仍然保持在較高水準，而短鏈及中鏈飽和脂肪酸的含量則未完全恢復。這表示熱緊迫對乳牛代謝系統的影響具有一定的持久性，乳牛需要較長的時間來進行代謝調整，恢復到正常的生理狀態。

此外，乳牛在面對熱緊迫時，乳脂肪酸組成的變化與其能量代謝和體內脂肪分解密切相關。在高溫環境下，乳牛的乾物質攝入量通常會下降，這導致其能量供應不足，為了滿足泌乳的能量需求，乳牛會分解體內的脂肪儲備，這也是為何長鏈不飽和脂肪酸比例上升的重要原因之一。而短鏈和中鏈脂肪酸主要是通過乳腺細胞的新生合成過程產生的，當能量供應不足時會抑制這一過程，導致這些脂肪酸在乳中的含量下降。

我們建議在熱緊迫及其恢復期中，應對乳牛採取預防性的降溫措施，以預防並促進其代謝系統的恢復，以幫助乳牛更好地應對熱緊迫帶來的能量短缺。此外在恢復期間，應特別關注乳牛的营养狀況，確保其能夠迅速恢復正常的乳脂肪酸合成能力，以維持乳品質的穩定。

## 參、心得

與澳大利亞合作的研究過程中，顯示跨國合作在推動科學研究和技術創新方面的潛力。合作研究可拓展我方對乳牛在熱緊迫條件下生理反應、乳脂肪酸組成的數據分布與完整性，這可以為雙方研究人員提供豐富的數據庫，以建立決策模型。澳大利亞的乳業在面對乾熱環境方面具有豐富的實踐經驗，在訪問期間參與現場觀摩和技術交流，了解澳大利亞在乳牛健康管理、熱緊迫應對及乳製品生產方面的各種做法。對於如何利用環境數據和牛隻健康數據進行整合，以支持酪農的管理決策，這為我們未來在臺灣推動類似的管理系統提供重要參考。

此次合作數據的整合和應用是提升乳業管理的關鍵。澳大利亞團隊在資料收集和數據處理方面的經驗，尤其是在感測器數據的應用與管理。相關研究方法注重數據的準確性和全面性，也強調如何通過有效的數據分析來進行具體的農場管理決策。例如，利用感測器數據即時監測牛隻的生理狀況，並結合環境溫濕度指數（THI）來預測熱緊迫的風險，這樣的數據應用模式對我國酪農業具有參考價值。除了能提升乳牛的健康和福祉，還能有效提高生產效率和產品品質。

在與澳大利亞研究人員共同撰寫學術論文的過程中，也感受到跨國合作不僅需要克服語言和文化上的差異，還需要在研究方法、數據共享及學術標準上進行協調，並讓彼此的知識和經驗得以交融，產生新的研究靈感和成果。此次合作成功完成了三篇學術論文的撰寫與投稿。此外，澳大利亞也十分重視動物福利，在乳牛管理中強調牛隻的福利和舒適度，與傳統上主要關注生產效率的管理方式有所不同。良好的動物福利不僅能增進牛隻的健康，也有助於提高乳製品的品質，最終實現永續的酪農生產。國際合作在研究資源共享、數據和技術提升方面的優勢。通過這次合作能夠接觸到最新的研究數據收集與處理設備，並且整合兩地不同的氣候與乳牛相關數據，快速有效的在國際學術社群中分享研究成果。

## 肆、 建議

### 一、 加強數據整合與的決策支援系統

數據的整合和應用是提升乳牛健康管理和生產效能的關鍵。建議乳牛產業應加強數據驅動的數據收集與決策支援系統建設，通過使用環境感測器、牛隻行為感測器及自動化乳品分析設備，來收集並分析與牛隻健康和環境相關的數據。這些數據可以用來及時預測和應對熱緊迫風險，幫助牧場管理者制定科學的管理策略，減少氣候變遷對乳牛產業的不利影響。同時，應鼓勵酪農業者採用數據管理工具，以進行更精準的日常管理和長期生產規劃，這將有助於提升整體產業的競爭力和永續性。

### 二、 畜舍降溫設計概念與實踐

動物福利是現代農業管理中的一個重要議題。在與澳大利亞的合作中，了解到良好的動物福利不僅能促進牛隻的健康，還能提高生產力和乳品品質。在牛舍設計、飼養管理和降溫措施等方面應加強實踐與改善。優化牛舍環境，以確保良好的通風和充足的陰涼區域，並在高溫季節中適時啟用降溫設施，如風扇和噴霧裝置。加強對酪農業者的動物福利教育與推廣，使其認識到改善動物福利的重要性，並將其視為提升生產效率和產品品質的長期投資。

### 三、 發展高附加值乳製品

面對自由貿易協定帶來的市場競爭，我國乳業應積極發展高附加值乳製品，以差異化策略應對市場挑戰。例如，針對健康消費趨勢，可以開發富含不飽和脂肪酸、具抗氧化特性的功能性乳製品，以滿足消費者對於健康和營養的需求。此外，還可以發展適合不同年齡層需求的產品，如針對兒童的高鈣乳製品或針對老年人的高蛋白乳製品，以擴大市場覆蓋範圍。提升乳製品的品質和多樣性，不僅有助於增加市場競爭力，還能为酪農業者帶來更高的經濟回報。

### 四、 推動自動化和智能化生產

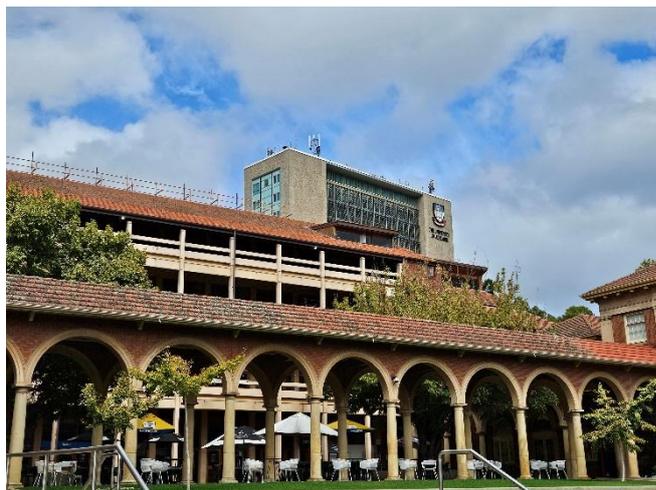
乳牛產業的自動化和智能化是提升生產效率和應對勞動力短缺的有效途徑。建議應持續推動自動化和智能化設備的普及應用，例如自動餵飼系統、自動清潔系統及智能健康監測系統等。這些技術不僅可以顯著降低勞動力需求，還能提高生產管理的精準性和科學性，從而有效提高乳牛的健康和生產力，並進行數位育種。

## 五、建立氣候變遷應對策略

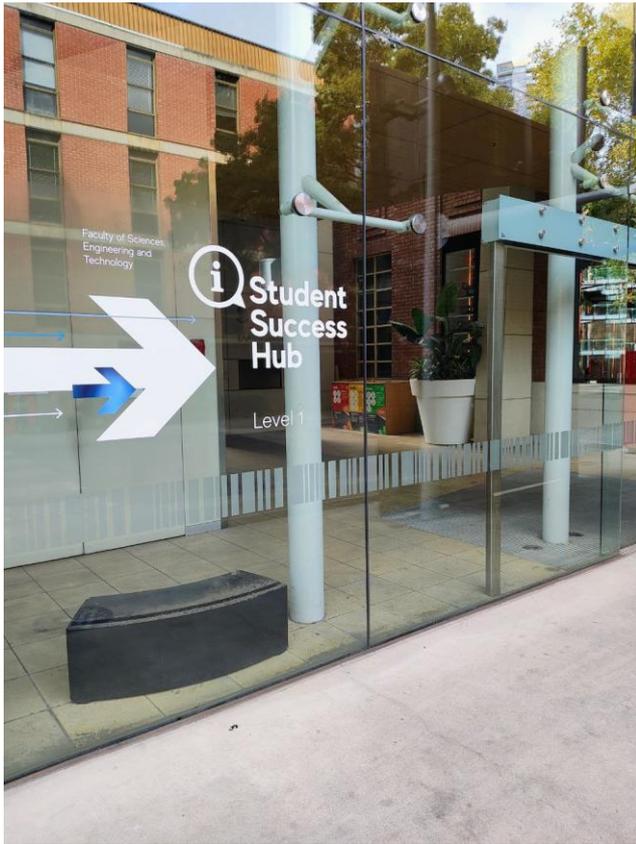
隨著全球氣候變遷的加劇，極端氣候事件對乳牛產業的影響日益顯著。建議應建立系統化的氣候變遷應對策略，包括熱緊迫的監測與預警系統、降溫設備的升級和應急措施的制定等。透過先進的數據分析和預測模型，可以在熱緊迫發生之前及時採取應對措施，降低極端氣候對牛隻健康和生產力的負面影響，以提高牛群的抗逆境性，確保乳品生產的穩定性。

# 照片

## 一、參訪阿德雷德大學



赴阿德雷德大學總區國際交流合作中心報到



前往臨時辦公室Student Hub，於Student Hub設置訪問研究人員臨時辦公室

## 二、參訪Roseworthy Campus，進行學術交流



赴Roseworthy Campus參訪動物醫院



仔牛研究設施



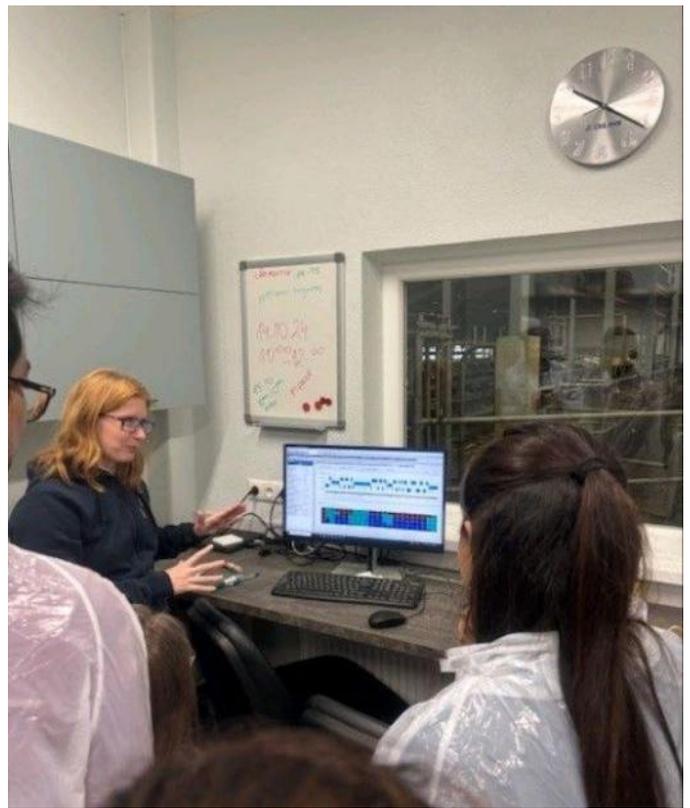
放牧乳牛群



以小型飛機進行牧草除草劑施用



燕麥草乾草儲存設施



擠乳設備控制與監控電腦



放牧綿羊群



試驗用瘤胃開窗牛



動物營養研究設施



動物醫院分為大動物與小動物醫院分部



肉牛飼養設施

### 三、研究資料與偵測-資料驅動牛隻健康危害因子偵測



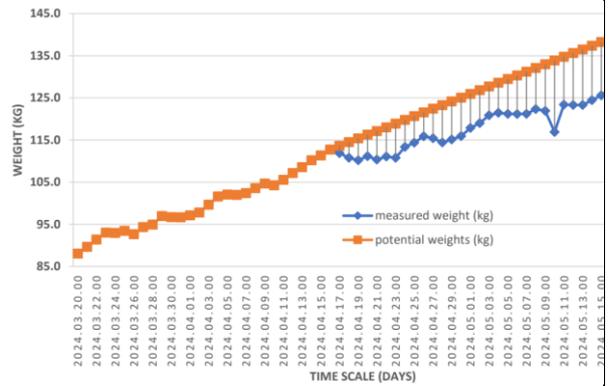
安裝設備牧場場地勘查與溫溼度感測器儀器整合與安裝



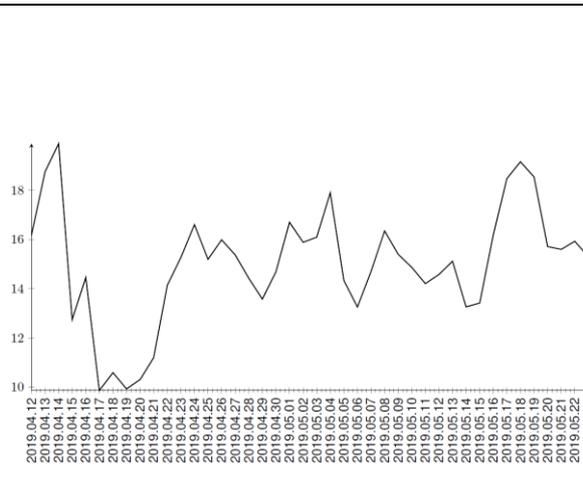
空氣汙染偵測與記錄儀



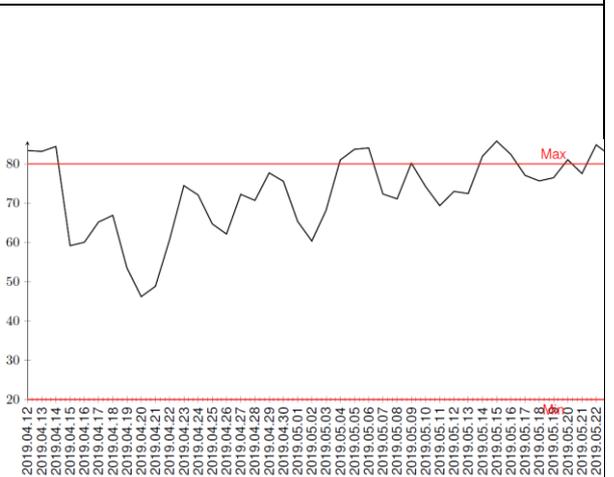
自動體重影像監測與記錄儀



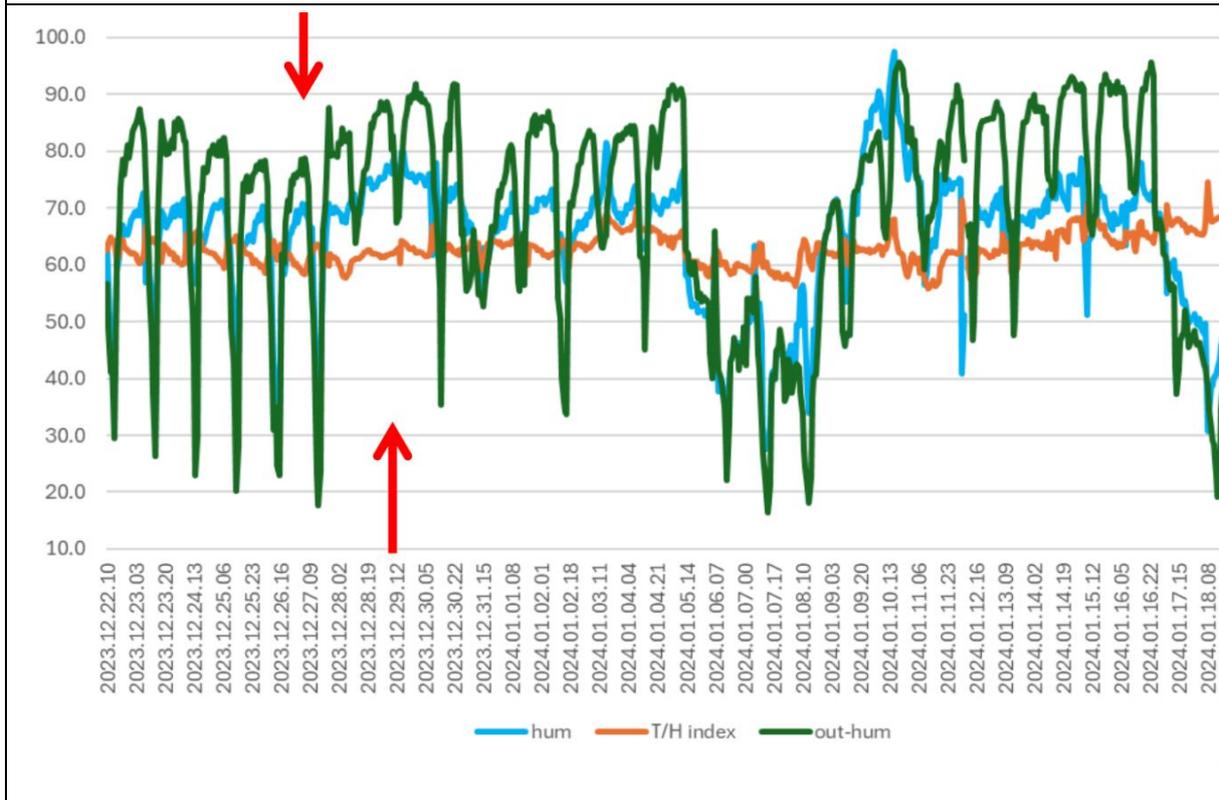
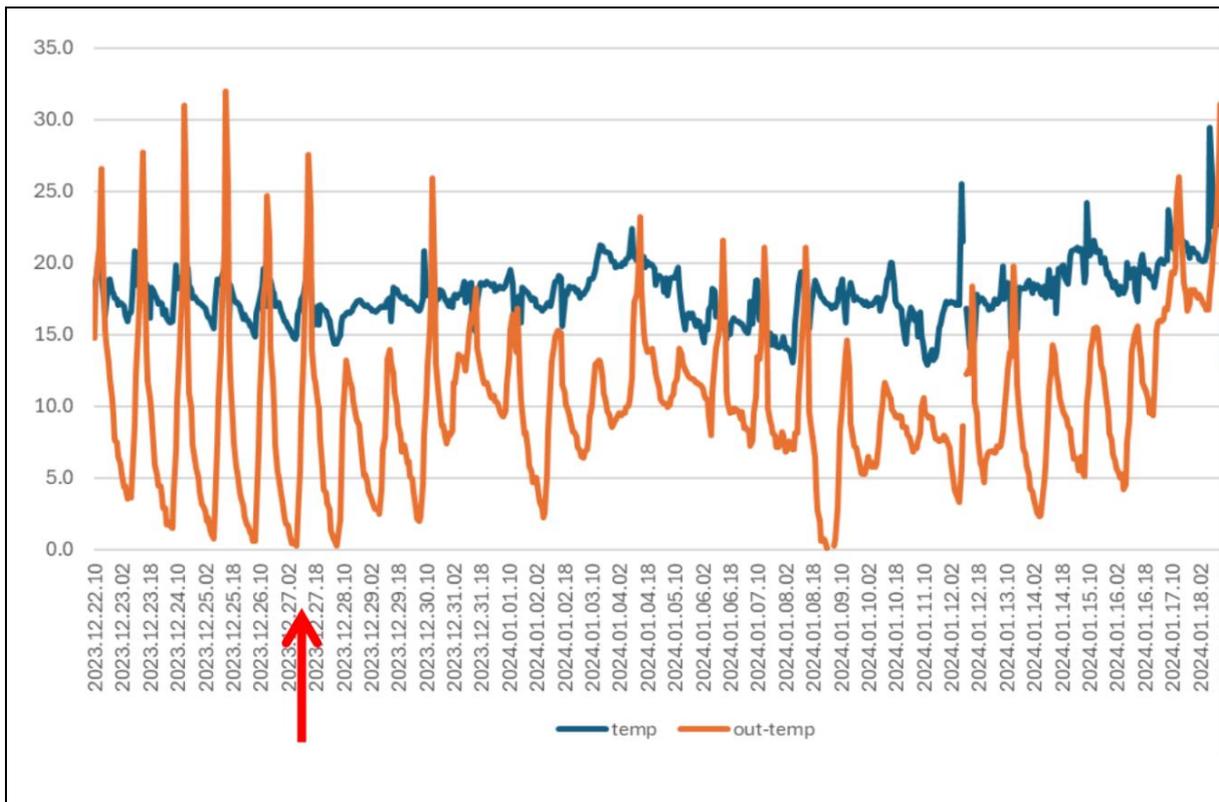
中央控制電腦與紀錄備份設備



體重數據監測與預估



全時溫度與濕度監控與紀錄



畜舍室內與室外溫度、濕度與溫溼度指數監控與紀錄

#### 四、研究資料與決策-數據資料整合酪農決策支援



攜帶相關試驗整合數據，赴阿德雷德大學機器學習中心討論與合作分析



於機器學習中心討論與合作分析時與兼任教授Thomas Banhazi合影

## 五、進行學術研究報告撰寫、討論與發表

> J Dairy Sci. 2024 Nov 7:S0022-0302(24)01286-4. doi: 10.3168/jds.2024-25392. Online ahead of print.

# Stage-Specific Milk Yield Losses and Associated Sweating, Respiration, and Rectal Temperature Responses Under Varying THI Thresholds in Lactating and Dry Cows

P A Tu<sup>1</sup>, Y H Yeh<sup>1</sup>, Y H Chen<sup>1</sup>, J W Shiau<sup>1</sup>, T Y Lin<sup>2</sup>, Thomas Banhazi<sup>3</sup>, M K Yang<sup>4</sup>

Affiliations + expand

PMID: 39521426 DOI: 10.3168/jds.2024-25392

Free article

## Abstract

Heat stress (HS) may result in changes in the behavior, endocrine system, and physiological characteristics of dairy cows, and it may even lead to death in severe cases. As the effects of global warming have become more notable, the prevalence of HS has increased among dairy cows. Therefore, comprehensive strategies, including not only cooling measures but also dietary adjustments and genetic improvements for heat tolerance, are required to help these animals regulate their body temperature and avoid HS. In addition, detecting HS signs is essential for both lactating and dry cows to ensure appropriate interventions. The temperature-humidity index (THI) is a widely used tool for evaluating the effects of HS on livestock. Since the physiological state of cattle significantly influences their responses to HS, it is imperative to establish specific THI thresholds for both lactating and dry cows to implement appropriate cooling regimens and optimize animal welfare. In this study, we used the THI to investigate the relationship between rectal temperature (RT), respiration rate (RR), and sweating rate (SR) in lactating and dry cows. We also explored the relationships between milk yield at different lactation stages and THI thresholds. The results indicated that lactating and dry cows had different THI thresholds based on their immediate physiological responses. Compared with lactating cows, dry cows had higher THI thresholds for RT, RR, and SR. In addition, cows in early-, intermediate-, and late-lactation stages under thermoneutral conditions produced significantly more milk than did those under mild, moderate, and severe HS conditions, indicating that milk yield losses occur under HS conditions. Taken together, these findings provide valuable insights into how HS can be mitigated in subtropical dairy farms. For lactating cows, implementing cooling measures is recommended when the THI reaches 66 to 67, whereas for dry cows, waiting until the THI reaches 73 is recommended. Milk yield losses may occur when lactating cows are under HS conditions. Therefore, appropriate cooling measures should be implemented at accurate THI thresholds to ensure optimal animal welfare for both lactating and dry cows.

**Keywords:** heat stress; temperature–humidity index threshold.

The Authors. Published by Elsevier Inc. on behalf of the American Dairy Science Association®. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

部分研究成果發表於Journal of Dairy Science