

出國報告

出國類別：研究

農業科技研發成果之國際交流與擴散策略研究-減少熱緊迫對家畜生產的影響的策略

服務機關：農業部畜產試驗所北區分所

姓名職稱：趙俊炫副研究員

派赴國家：美國

出國期間：民國 112 年 9 月 24 日至 112 年 10 月 8 日

報告日期：民國 112 年 12 月 1 日

摘要

本計畫旨在赴美國進行參訪學習，參訪加州大學戴維斯分校農業與環境科學學院動物科學系 Dr. Anna Denicol 實驗室，該實驗室致力於動物繁殖及熱緊迫調適研究。熱緊迫影響牛隻生產及繁殖性狀，Dr. Anna Denicol 實驗室的研究重點之一是乳牛 *SLICK1* 短毛基因耐熱性研究。本次赴美與乳牛相關領域專家及學生討論與心得交換，了解 *SLICK1* 短毛基因乳牛的研究及最新進展，先前 *SLICK1* 短毛基因的研究是以荷蘭泌乳牛來驗證其較一般荷蘭泌乳牛更具抵抗熱緊迫之能力，而該實驗室是第一個研究團隊，以小於一歲齡之年輕荷蘭牛為研究對象來進行小牛耐熱性狀評估，此外更朝向解析 *SLICK1* 短毛基因影響毛髮生長的分子機制。預見未來全球將面臨更多熱緊迫威脅，氣候狀態越是讓乳牛需承受更多熱緊迫，就越顯示 *SLICK1* 短毛基因其抗濕熱特性之重要性。因此聯合國政府間氣候變化專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）2022 年 2 月公布第六次評估報告（IPCC AR6）將飼養短毛基因牛列為家畜因應熱緊迫的調適措施之一。了解包含美國及紐西蘭的公牛冷凍精液公司因應氣候變遷趨勢生產 *SLICK1* 短毛基因公牛冷凍精液，以提供該國酪農選配育種較耐濕熱牛群。討論在臺灣執行短毛基因牛研究之牛隻配種期程實驗設計及 *SLICK1* 基因型檢測方法，顯示美方對於臺灣濕熱環境之乳牛耐濕熱研究分析甚感興趣，本次參訪將有助日後進行雙邊之研究合作。

目 次

壹、 目的	4
貳、 行程	5
參、 研究過程	
參訪美國加州大學戴維斯分校農業與環境科學學院動物科學系Dr. Anna Denicol實驗室	6
一、 <i>SLICK1</i> 短毛基因研究介紹	6
二、 以基因編輯法所產製 <i>SLICK</i> 短毛牛之風險評估	7
三、 加州大學 Denicol 教授實驗室有關 <i>SLICK1</i> 基因近期研究	7
四、 公牛冷凍精液公司生產販售 <i>SLICK1</i> 短毛公牛冷凍精液	9
五、 產製 <i>SLICK1</i> 短毛牛之配種計畫期程	9
六、 <i>SLICK1</i> 短毛基因型檢測方法	9
肆、 心得及建議	11

壹、 目的

臺灣主要乳牛品種荷蘭牛是從溫帶地區進口而來，面對因氣候變遷導致熱季天數延長，預期將使牛隻受到更長期的熱緊迫影響。為了有效降低熱緊迫，除利用物理方式改變飼養環境及改善營養管理外，耐熱品種的牛隻選育是根本之道。為減少熱緊迫對乳牛性能影響，利用短毛公牛冷凍精液配種方式，將具耐濕熱特性之短毛基因引入臺灣荷蘭乳牛群是有效且相對簡單的方法，用以建立耐濕熱荷蘭乳牛群。

本次至美國加州大學耐熱性荷蘭乳牛研究專家Dr. Anna Denicol教授實驗室進行學術交流與研習（圖1），參加例行性實驗室進度會議、研討會及分享臺灣乳業現況。學習耐熱性荷蘭乳牛研究及選育策略與工具。與Dr. Anna Denicol及試驗室成員博士班學生Montana Altman有關*SLICK1*短毛基因乳牛的研究最新進展及討論在臺試驗計畫執行內容（圖2），並規劃日後專家來臺交流行程。氣候變遷已逐漸造成全球乳業生產負面影響，美方亦希望短毛種公牛冷凍精液引入臺灣，進行選配試驗並收集相關生理數據。期許日後在臺灣濕熱氣候環境下，這些短毛基因能扮演重要角色。進行逆境選育耐濕熱特質乳牛評估研究，共同努力因應及減輕氣候變遷所造成效應。

貳、 行程

日期	起迄地點	行程內容
9月24日(日)	臺灣桃園(TPE) - 加州薩克拉門托(Sacramento)	去程自臺灣桃園經舊金山至加州薩克拉門托(Sacramento)
9月25日(一) -9月29日(五)	薩克拉門托	參訪加州大學戴維斯分校動物科學系 Professor Anna Denicol 實驗室及牧場，參加例行性實驗室進度會議、研討會及分享臺灣乳業現況。學習耐熱性荷蘭乳牛研究及選育策略與工具。規劃日後專家來臺交流行程。
9月30日(六) -10月1日(日)	薩克拉門托	參訪資料整理
10月2日(一) -10月6日(五)	薩克拉門托	參訪加州大學戴維斯分校動物科學系 Professor Anna Denicol 實驗室，參加例行性實驗室進度會議及研討會。與 Professor Anna Denicol 及實驗室成員討論在臺試驗計畫執行內容。
10月7日(六) -10月8日(日)	加州薩克拉門托- 臺灣桃園	回程自加州薩克拉門托經舊金山至臺灣桃園

參、研究過程

參訪美國加州大學戴維斯分校農業與環境科學學院動物科學系 Dr. Anna Denicol 實驗室

一、*SLICK1* 短毛基因研究介紹

畜禽本身耐熱能力對於維持健康及生產力甚為重要，尤其是飼養在熱帶和亞熱帶氣候環境。與不耐受熱緊迫的牛相比，在熱緊迫環境下能夠維持正常體溫意味著牛隻具有較佳抗病能力、產乳較多、較佳繁殖力或是生長體型較大等優勢表型。為了在暖化的氣候下保持較高的乳牛生產效率，進行耐高溫品種選育已是各國乳牛育種首重目標。Denicol 教授說明 *SLICK1* 短毛基因的發現過程，屬顯性遺傳之 *SLICK1* 短毛基因最早發現在加勒比海聖克羅伊島的 Senepol 牛種。Senepol 牛具有極佳的耐熱性，並已與其他牛種雜交用以發揮其耐熱性優點。由此自然突變產生的表型是具有短而光滑的被毛，在外觀上與多種 *Bos indicus* 牛種相似。研究發現 *SLICK1* 位點是在第 20 號染色體上，為泌乳素受體基因第 10 顯現子失去一個胞嘧啶，導致此蛋白質 C 端 120 個氨基酸缺失。此外，在 Limonero、Carora 及其他有短毛表型的牛種中也發現泌乳素受體基因自然突變個體，這些則被標示為 *SLICK2-6* 短毛基因，分別導致此蛋白質 C 端 85、117、155、116 及 103 個氨基酸缺失，相關 DNA 序列標示在圖 3。具有 *SLICK* 短毛表型的牛在濕熱環境中表現較佳的體溫調節能力，因此在濕熱環境中牛隻所承受的熱緊迫不良效應較少。

Denicol 教授說其博士學位指導教授佛羅里達大學 Dr. Peter Hansen 曾表示，*SLICK* 短毛的出現必定是一個很好的突變現象，否則它不會經過多次自然選拔。一般在自然選拔中具有優勢特徵的個體才更有可能生存和繁殖。在濕熱氣候下這種短毛突變為各乳牛品種添具較耐濕熱之優勢。預見未來全球將面臨更多熱緊迫威脅，氣候狀態越是讓乳牛需承受更多熱緊迫，則短毛基因就越顯示其抗濕熱之重要性。

極端氣候影響農業和漁業生產力，對糧食安全和生計造成負面影響。聯合國政府間氣候變化專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）2022 年 2 月公布第六次評估報告（IPCC AR6）已將飼養短毛牛列為家畜因應熱緊迫的調適措施之一。收錄在第二工作小組第五章節內（Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Chapter 5: Food, Fibre and Other Ecosystem Products, 5.5 Livestock-Based Systems）。七項畜禽因應熱緊迫風險的調適作為（圖 4），包括育種及雜交策略、品種轉換、低成本遮陽替代方案及通風和建築設計選項。其中

第二項即是 *SLICK* 短毛牛育種作業，其說明為加勒比海地區透過與 Senepol 牛種雜交，已將「*SLICK* 短毛」基因引入荷蘭乳牛，以提高牛隻耐熱性和生產力。

二、以基因編輯法所產製 *SLICK* 短毛牛之風險評估

Denicol 教授指出 2022 年 3 月初美國食品藥物管理局 (FDA) 經科學審查確定以基因編輯法所產製 *SLICK* 短毛肉牛，其肉製品風險評估低，並無任何消費安全問題。是第一個可用於食物生產的有意圖改變基因組 (IGA, intentional genomic alteration) 動物。此報告指出多年來數個品種牛已經自然選拔而育成數種不同短毛突變牛，適應於亞熱帶和熱帶環境。這些自然 DNA 突變位點雖不同，但都造成泌乳素受體蛋白質變短並導致這些牛隻具有相同的短毛外觀。因此在多年前所飼養肉牛群中已涵蓋這些自然突變牛隻，一直安全食用來自具有短毛外觀牛的相關肉製品。其審核通過主因是利用基因編輯法所產製 *SLICK* 短毛肉牛只是仿製原本在農業畜產品生產中安全使用的傳統飼養牛隻中所發現的基因組序列。FDA 確定利用基因編輯法所產製 *SLICK* 短毛牛及相關產品 (包括後代、精液、胚胎和源自它們的製品) 對於人類、動物、此供應食品及環境具低風險。因此，FDA 無意反對利用基因編輯法的 Acceligen 公司銷售 *SLICK* 短毛牛及相關製品。

三、加州大學 Denicol 教授實驗室有關 *SLICK1* 基因近期研究

加州大學 Dr. Anna Denicol 教授實驗室所研究的是 *SLICK1* 短毛基因型。Denicol 教授說明在前人的研究，有關荷蘭泌乳牛及荷蘭雜交牛，與一般型牛隻相比，攜帶 *SLICK1* 短毛基因的乳牛能夠在熱帶和亞熱帶熱緊迫環境下維持產乳量表現及較低體溫。耐熱型短毛荷蘭乳牛相較於無攜帶短毛基因之半同胞牛及一般型荷蘭乳牛，在夏季的陰道溫度約低 0.6°C；此外，耐熱型短毛荷蘭乳牛在夏季和冬季乳量表現相近，而一般型乳牛在夏季乳量較低。

一般認為女犢牛比泌乳牛更能抵抗熱緊迫。然而在最近研究顯示，當 THI 數值為 65 至 69 時，離乳前犢牛可能開始出現熱緊迫跡象，此數值遠低於先前所估計的 77 數值，而與針對泌乳牛之 THI 閾值 68 相似。離乳前荷蘭女牛的體溫在 THI 數值 70 時體溫已超過 39°C。越來越多的研究評估女犢牛對環境過熱的反應，皆顯示熱緊迫可能會對牛隻未來健康及表現具有長期性負面影響。因此 Denicol 教授想了解及探討飼養在加州和佛羅裡達州之短毛基因荷蘭犢牛和小女牛對熱緊迫的生理反應，是否如同荷蘭泌乳牛，短毛基因亦有助荷蘭離乳前犢牛和離乳後小女牛對抗熱緊迫效應。Denicol 教授也舉例在近期其他學者研究，檢測短毛

Criollo Limonero 牛種（可能攜帶其他 *SLICK* 短毛基因）一歲齡小女牛在亞熱帶條件下對熱緊迫的生理反應，發現與一般型小女牛相比，短毛小女牛具有較低體溫及呼吸頻率。她說明該實驗室是第一個研究團隊，以小於一歲齡之年輕荷蘭牛為研究對象來進行評估。進一步細分有 2 個研究目的：（1）評估短毛基因是否有助離乳前荷蘭犢牛和離乳後小女牛對抗熱緊迫效應；（2）評估在濕熱和乾熱條件下是否都會存在著短毛基因對抗熱緊迫效應。

該實驗室在加州資料收集期間 THI 平均數值為 72（範圍介於 61-82），而在佛羅里達州數值為 90（範圍介於 83-100），這兩個州夏季時期每天都超過牛隻熱緊迫閾值（圖 5）。該實驗室結果顯示，飼養在這兩州離乳前的犢牛和離乳後的小女牛都經歷體溫過高，證實這些牛隻正處於相當程度的熱緊迫狀態。先前所有研究有關帶有 *SLICK* 短毛基因的牛隻對熱緊迫的生理反應研究都是在亞熱帶或熱帶氣候環境下進行。這些氣候特徵是白天的高濕溫會延續至夜間。相反地，加州屬於地中海氣候，其氣候特徵是白天氣溫高、濕度低，而夜間時氣溫下降、濕度增加。Denicol 教授說明這兩個州另一個重要差異是，在佛羅里達州牛隻每天要經歷數小時的極嚴重熱緊迫，但到了晚上卻無法緩解。他們的試驗結果顯示帶有 *SLICK1* 短毛基因具有明顯的短毛外觀，該實驗室發現飼養在佛羅里達州濕熱環境下，帶有 *SLICK1* 短毛基因荷蘭女牛體溫低於一般型之半同胞牛（圖 6）。而飼養在加州乾熱環境下是否帶有短毛基因型則對離乳前後牛隻體溫表現並無差異。他們檢視 THI 對 *SLICK1* 短毛小女牛和一般型半同胞小女牛直腸溫度的影響。隨著 THI 數值增加，*SLICK1* 短毛牛保持更穩定的直腸溫度狀態，而一般型之半同胞牛則隨著 THI 數值的增加而使體溫升高（圖 7）。

佛羅里達州的熱緊迫狀況嚴重，足以引發可觀察到的牛隻生理反應，促使 *SLICK1* 短毛牛和一般型牛體溫調節具差異性。牛隻利用排汗和呼吸速率，透過熱蒸發方式來消散多餘的熱負擔，這些過程的效率主要取決於空氣濕度。佛羅里達州的高濕度氣候影響熱蒸發效率，而在加州低濕度氣候，水蒸氣很容易離開毛皮則有助於冷卻。Denicol 教授指出在前人研究熱蒸發或水蒸氣從皮膚轉移到空氣的過程越快，消除牛隻體內熱負擔的速度就越快。因此，該實驗室觀察到在加州飼養的牛隻具有較低的直腸溫度、呼吸頻率及皮膚溫度和較高的排汗率。儘管這兩個州的直腸溫度都達到或高於高溫閾值，但與離乳前小犢牛和加州的兩個年齡組牛隻相比，佛羅里達州離乳後小女牛的直腸溫度和呼吸頻率明顯更高。相反地，加州飼養的離乳後小女牛的排汗率最高，這可能導致其體表溫度低於佛羅里達州牛隻。Denicol 教授指示很明顯地在加州飼養的牛隻能夠有效地透過排汗來散熱。

四、公牛冷凍精液公司生產及販售 *SLICK1* 短毛公牛冷凍精液

包括美國、荷蘭及紐西蘭的公牛冷凍精液公司，為因應氣候變遷趨勢生產數頭 *SLICK1* 短毛公牛之冷凍精液，用以提供該國酪農選配育種耐濕熱牛群。美國佛羅里達大學 Tim Olson 教授在 1990 年開始培育 *SLICK1* 短毛荷蘭牛。從一開始是美國佛羅里達大學所培育 2 頭 *SLICK1* 短毛公牛（名號 Slick-Gater Blanco 及 Slick-Gater Lone Ranger），可供商業化生產販售冷凍精液。後經 3 代選育進展已顯著提升 *SLICK1* 短毛公牛的終身淨值，也增加市面上可供選擇的 *SLICK1* 短毛公牛頭數。圖 8 即是名號 Slick-Gater Lone Ranger *SLICK1* 短毛公牛部分家族，其後裔 *SLICK1* 短毛種公牛群已供商業生產販售冷凍精液。其中名號 C-HAVEN KENTUCKY-ET 及 TTM GEORGE SLICK-ET 則是賣至紐西蘭。

紐西蘭 Thermo Regulatory Genetics 冷凍精液公司為減輕熱緊迫、提高產乳量並改善牛隻動物福祉，提供該國酪農有關 *SLICK1* 短毛遺傳解決方案，用以培育適合嚴熱氣候條件的乳牛群。該公司培育世上第一頭 *SLICK1* 短毛純合子娟珊公牛，宣稱擁有世上最大的 *SLICK1* 短毛乳牛繁殖核心，除了娟珊公牛之外，也生產具有極佳耐熱性能力的荷蘭公牛和雜交牛的冷凍精液。荷蘭 K.I SAMEN 公牛冷凍精液公司則是從美國引進名號為 COLGANADOS JB AVIATOR SI rf (Sinba x Robust x Planet x Shottle) *SLICK1* 短毛種公牛，生產冷凍精液給荷蘭及歐洲酪農使用。

五、產製 *SLICK1* 短毛牛之配種計畫期程

經與 Denicol 教授討論如何利用 *SLICK1* 短毛公牛冷凍精液配種於臺灣荷蘭乳牛，用以產製 *SLICK1* 短毛仔牛之期程（圖 9）。考量配種率及所使用公牛屬於 *SLICK1* 短毛基因雜合子型，選定先利用 40 劑 *SLICK1* 短毛公牛冷凍選性精液配種於臺灣荷蘭母牛（施作於 2 場乳牛場），約可生產 20 頭仔牛，再經 *SLICK1* 短毛基因型檢測，預估其中約 10 頭為攜帶 *SLICK1* 短毛基因型，10 頭為非 *SLICK1* 短毛基因型半同胞牛，此可作為試驗對照組。期間檢測體溫、呼吸速率資料，泌乳期間則增加記錄乳量等。

六、*SLICK1* 基因型檢測

泌乳素受體基因位在牛第 20 號染色體上，經美國 NCBI 網站 DNA 序列搜尋顯示與 *SLICK* 基因型相關所在序列 GeneID: 281422 如圖 3。*SLICK1* 基因型為

泌乳素受體基因第 10 顯現子失去一個胞嘧啶 (C)，導致此蛋白質 C 端提前獲得一個轉譯停止子 (TAA)，故停止轉譯無法產生其後 120 個氨基酸。

在檢測 *SLICK1* 基因型的方法有三種，第一種方法可利用 DNA 序列分析此段序列便可知道牛隻基因組是否為此等序列及純雜合情況。第二種方法可參考佛羅里達大學 Dr. Peter Hansen 教授所發表的 KASP 法。所需引子序列如下，並在上述 DNA 序列對應：

Primer Allele 5' -FAM GGACCAAACAGACCAACATGC-3' (wild-type allele, red color)

Primer Allele 5' -HEX CTGGACCAAACAGACCAACATGT-3' (*SLICK* allele, red color)

Primer Common 5' -CCTTCCCTGCCAGTTTCAATGGTTT-3' (3' , grey color)

此外，為因應熱緊迫環境牛隻選育趨勢，Neogen 基因體檢測公司亦將 *SLICK1* 基因型納入其乳牛基因體檢測 100K 晶片中，作為耐熱基因檢測目的。其基因型分析結果分類為三種，SL1N 為一般型無攜帶 *SLICK1* 基因，SL1C 為 *SLICK1* 基因雜合子型，SL1A 為 *SLICK1* 基因純合子型。用以得知檢測牛隻耐熱基因型狀態，並可搭配整體基因體檢測評估結果，具有選育既耐熱又產能性狀佳的牛隻目的。

- SL1N – wildtype, 'normal'.
- SL1C – Heterozygous 'carrier'.
- SL1A – Homozygous 'affected'.

肆、心得與建議

- 一、參訪實驗室所進行的為全球首次對不同溫濕度氣候下 *SLICK1* 短毛荷蘭離乳前犢牛及離乳後小女牛因應熱緊迫的生理反應之研究，結果顯示在佛羅里達州高濕熱環境下有助於 *SLICK1* 短毛基因發揮其耐熱性功能，甚至在牛隻離乳前階段即有此等耐熱性功能。但渠等在屬於地中海型高溫環境的加州則發揮不大。本次赴美國加州大學與乳牛相關領域專家及學生討論與心得交換，了解 *SLICK1* 短毛基因乳牛的研究及最新進展。
- 二、利用遺傳育種選拔以提高乳牛生產力、福祉及酪農營收至為重要，尤其在氣候變遷加劇熱緊迫威脅下，此等短毛耐熱基因的研究可做為乳業永續進步遺傳改進之基石。IPCC 於 2022 年 2 月公布第六次評估報告（IPCC AR6）將飼養 *SLICK1* 短毛牛列為家畜因應熱緊迫的調適措施之一，顯示 *SLICK1* 短毛基因其抗濕熱特性之重要性。為減少熱緊迫對乳牛泌乳性能影響，利用短毛公牛冷凍精液配種方式，將具耐濕熱特性之短毛基因引入臺灣荷蘭乳牛群是有效且相對簡單的方法。並可延伸至培育優質 *SLICK* 短毛本土公牛。
- 三、*SLICK1* 短毛牛在濕熱環境中表現出較優的體溫調節能力，因此在濕熱環境中承受的熱緊迫壓力較少。與美國加州大學與乳牛相關領域專家及學生討論在臺灣執行 *SLICK1* 短毛牛研究之牛隻配種期程實驗設計及 *SLICK1* 基因型檢測方法。美方對於臺灣濕熱環境之乳牛耐濕熱研究分析甚感興趣，本次參訪將有助日後進行雙邊之研究合作。應與之保持研究合作關係，有助提升臺灣研發乳牛耐濕熱育種科研能力。



圖 1。美國加州大學戴維斯分校農業與環境科學學院動物科學系 Dr. Anna Denicol。



圖 2。Dr. Anna Denicol 博士班學生 Montana Altman 說明 *SLICK1* 短毛基因乳牛的研究最新進展。

183661 gaagctggag aatccccgaaa caaaccttac atgtctccag gcccttcaga gcacaagcgg^μ
 183721 ggaaggcaaa atccccctatt ttctggccaa tggacccaaa tcttccacat ggcccttccc^μ
 183781 gcagcccccc agcctataa gccccagata ttcttaccac aacattgctg acgtgtgtga ^μ
 (SLICK4, C to G)^μ

183841 gctggccctg ggcattggccg gcaccacagc cacttcgctg gaccaaacag
 accaacatgctttaaagcc tcaaaacca ttgaaactgg caggaagga aaggcaacca agcagagga ^μ
 (SLICK1, del **C**, and get the TAA: a stop codon), Primer5' (FAM for wild type) (or
 HEX for slick) and 3' (Primer Common) KASP assay^μ

^μ

(SLICK3, C to A) (SLICK5, A to T) (SLICK6, C to T)^μ

183961 gtcagaaggc tgcagttcca agcctgacca agacacggtg tggcca gac cccaagacaa...
 (SLICK2, C to T)^μ

184021 aaccccccttg atctctgcta aacccttggg atacgtggag atccacaagg tcagccaaga^μ
 184081 tggagtgctg gctctgttcc caaaacaaaa cgagaagttt ggcgcccctg aagccagcaa^μ
 184141 ggagtactca aaggtgtccc ggggtgacaga tagcaacatc ctggtattgg tgccggatcc^μ

Pair of primers used to generate PCR amplicons to be Sanger-sequenced encompassing the *PRLR* locus containing truncating mutations⁸ ^μ

Primer Forward 5' to 3' ^μ

ACCTTACATGTCTCCAGGCC^μ

Primer Reverse 5' to 3' ^μ

GGGACACCTTTGAGTACTCCT ^μ

⁸Sonstegard T. S. *et al.* (2019) *US Patent* 20190223417A1. ^μ

圖 3。SLICK1-6 短毛基因型相關 DNA 序列，因自然突變導致泌乳素受體蛋白質基因 C 端提前獲得一個轉譯停止子並導致不同長度氨基酸缺失。

Table 5.7 | Selected adaptations to heat stress in livestock systems.

Adaptation	Example	Reference
Breeding for heat stress tolerance	Sheep and cattle farming systems in southern Australia under IPCC Special Report on Emissions Scenarios (SRES) A2. Projected not to improve livestock productivity by 2070, even in drier locations.	Moore and Ghahramani (2014)
'Slick hair' breeding	In the Caribbean, introduction of a 'slick hair' gene into Holstein cows by crossbreeding with Senepols to increase thermo-tolerance and productivity. An integrated approach to heat stress adaptation will still be needed, including shading strategies, for example.	(Ortiz-Colón et al. (2018)
Crossbreeding	Crossbreeding with Indigenous sheep breeds as an adaptation option in Mongolia produced some benefits in productivity and improved adaptation to winter cold. Best combined with other improved management interventions. In general, effectiveness of crossbreeding as an adaptation strategy will be dependent on context.	Wilkes et al. (2017)
Species switching	Switching from large ruminants to more heat-resilient goats for dairy production in Mediterranean systems to adapt to increasing heat stress. Switching from cattle to more heat- and drought-resilient camels in pastoral systems of southern Ethiopia as an adaptation to increasing drought.	Silanikove and Koluman (2015) Wako et al. (2017)
Shading, fanning, bathing	Low-capital relief strategies (shading with trees or different types of shed; bathing animals several times each day; installing electric fans in sheds) are effective at reducing heat stress impacts on household income in smallholder dairy systems in India. Different tree arrangements in silvopastoral systems in Brazil were effective in reducing thermal loads by up to 22% for animals compared with full-sun pasture.	York et al. (2017) Pezzopane et al. (2019)
Ventilation and cooling systems	A wide range of different ventilation systems, cooling systems and building designs for confined and seasonally confined intensive livestock systems (pigs, poultry, beef, dairy) in temperate regions. Economic consequences and profitability of different options under different RCPs are still being assessed.	Vitt et al. (2017) Derner et al. (2018), Hempel and Menz (2019), Mikovits et al. (2019), Schauberger et al. (2019b)
<i>In utero</i> exposure to heat stress	Potential as an adaption option is uncertain, as there are different effects of <i>in utero</i> heat stress exposure and the mechanisms are not completely understood: – Cows may be better adapted to heat stress conditions at maturity via improved regulation of core body temperature – Cow milk yield at first lactation was reduced – Nutrient partitioning and carcass composition were altered in pigs	Ahmed et al. (2017) Monteiro et al. (2016), Boddicker et al. (2014)

圖 4。IPCC 第六次評估報告 (IPCC AR6) 有關畜禽因應熱緊迫風險的七項調適作為，其中第二項即是 *SLICK* 短毛牛育種作業。

Average temperature-humidity index (THI) calculated over 24 hours in California and Florida during the experiment

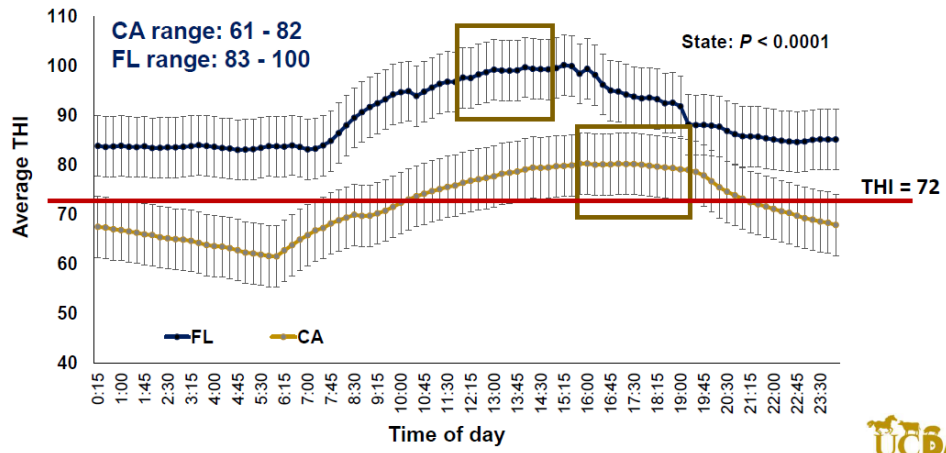
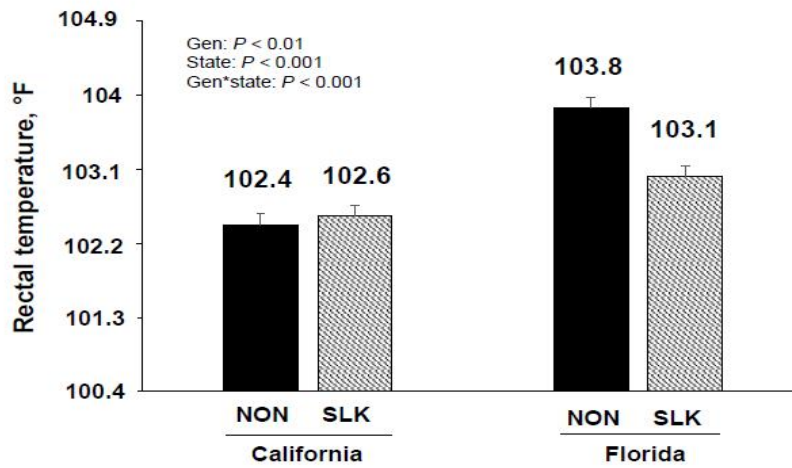


圖 5。該實驗室在加州資料收集期間 THI 平均數值為 72(範圍介於 61-82)，而在佛羅里達州 THI 平均數值為 90 (範圍介於 83-100)。



Sick animals in FL had lower RT



圖 6。飼養在佛羅里達州的 *SLICK1* 短毛荷蘭離乳後小女牛較一般型牛有較低體溫。

Slick animals had higher tolerance to increasing THI

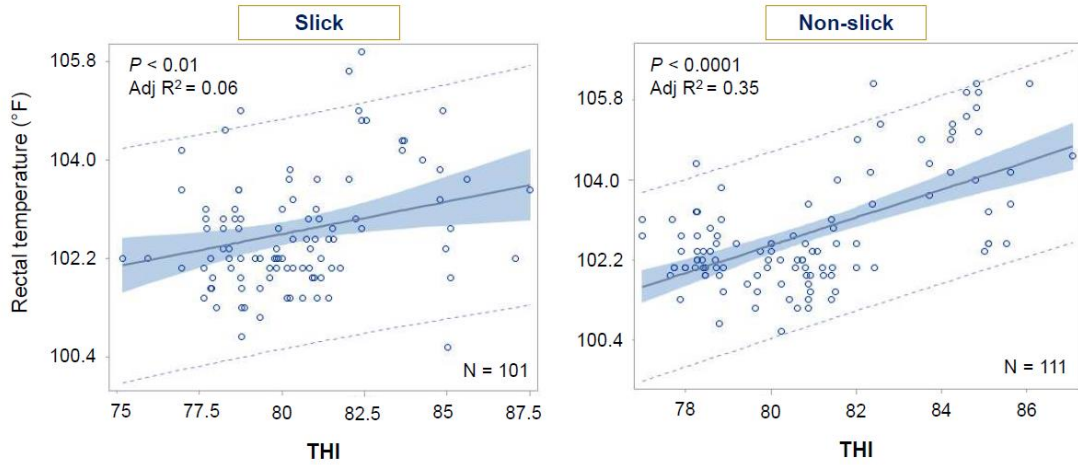


圖 7。SLICK1 短毛荷蘭小女牛較一般型小女牛對環境 THI 增加有較高的耐受性。

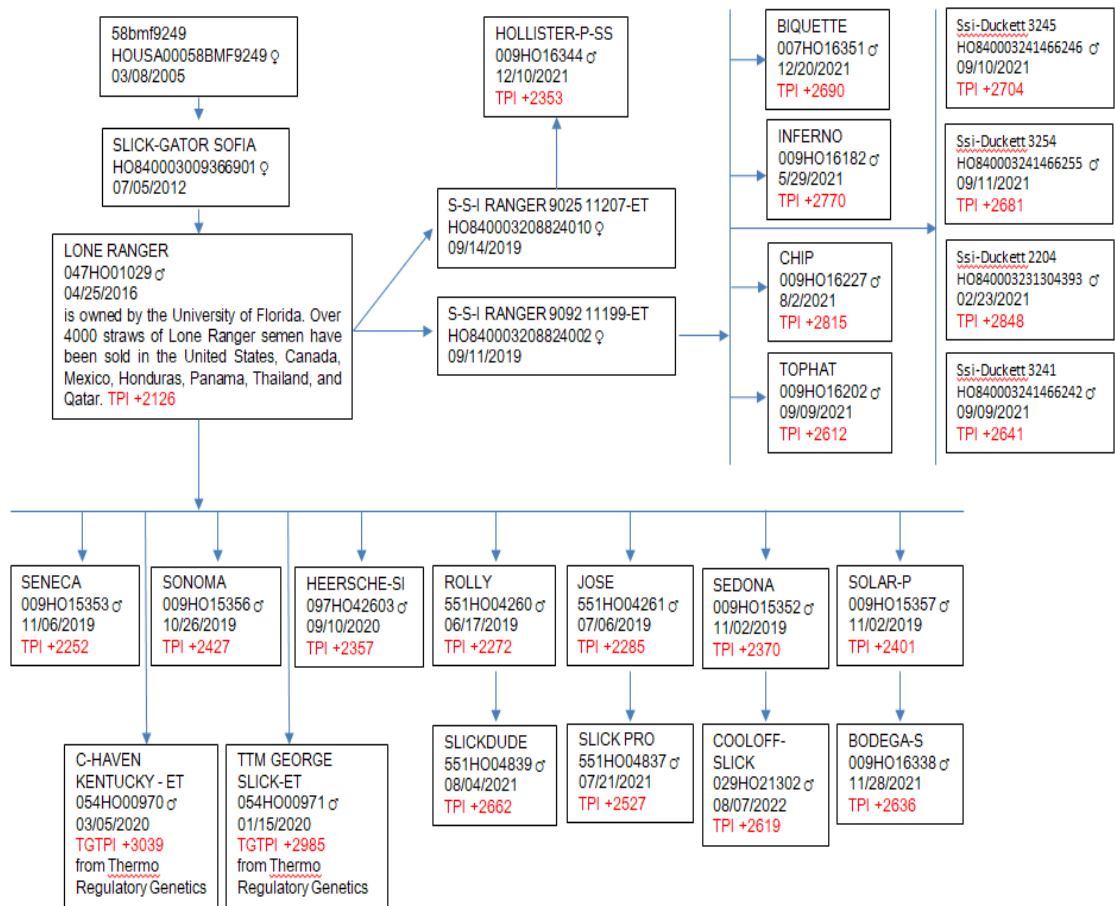
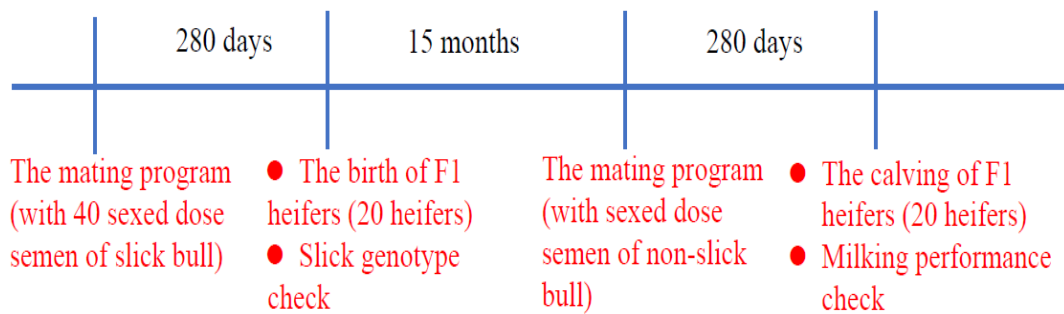


圖 8。名號 Slick-Gator Lone Ranger *SLICK1* 短毛公牛家族，其後裔 *SLICK1* 短毛種公牛群已供商業生產販售冷凍精液。

Breeding program schedule of short-haired cattle



Milk production, reproductive, and heat tolerance data will be collected on these cows.

圖 9。產製 *SLICK1* 短毛牛之配種計畫期程。