

氣候變遷對台灣乳牛產乳量損失之影響分析

陳怡璇⁽¹⁾施意敏⁽²⁾陳玥彤⁽¹⁾柯美如⁽¹⁾蕭振文⁽¹⁾涂柏安⁽¹⁾

(1) 農業部畜產試驗所北區分所

(2) 農業部畜產試驗所

摘要

本研究旨在評估氣候變遷對臺灣乳牛產乳量之潛在影響。研究採用 IPCC 第五次評估報告 (AR5) 中的 RCP 8.5 情境，結合臺灣氣候變遷推估資料 (TReAD) 與高解析度大氣模式 (HiRAM)，於 5 公里網格解析度下模擬不同暖化情境 (基期 1995–2014、21 世紀中期 2034–2053、及 21 世紀末期 2073–2092) 之溫溼度指數 (THI) 變化與乳產量損失。以 THI = 72 為乳牛熱緊迫臨界值，並計算乳量損失。結果顯示，與基期相比，升溫 2 °C 及 4 °C 情境下 THI 均顯著上升，THI 超過臨界值 72 的日均時數將由 12.55 小時增至 15.54 小時。乳量損失在不同時期呈持續增加趨勢。在僅採取最低限度降溫措施之條件下，於基期，中部地區乳量平均損失約 1.3 公斤/頭/日，南部地區約 6.7 公斤/頭/日；至 21 世紀中期，中部與南部損失分別增至 3.6 公斤與 5.4 公斤/頭/日；21 世紀末期時更上升至 6.7 公斤與 8.9 公斤/頭/日。本研究之結果可作為未來乳牛熱緊迫風險評估與降溫策略規劃的重要依據。

關鍵語：氣候變遷、乳牛、溫溼度指數、熱緊迫

前言

當環境溫度與相對溼度超過乳牛的熱中性區時，動物必須將原本用於生長、繁殖與泌乳的能量轉為體溫調節，導致乳產量下降 (Kadzere et al., 2002; De Rensis et al., 2015)。在亞熱帶的臺灣，2024 年年均溫達 24.97 °C，較歷史平均高出 1.65 °C，為有紀錄以來最熱的一年。近 30 年來，臺灣年均溫上升速率为每十年 0.32 °C，高於全球平均的 0.23 °C (中央氣象署, 2025)。熱緊迫 (Heat Stress, HS) 已成為全球乳業的重大挑戰，氣候變遷預期將增加極端高溫事件的頻率與強度 (IPCC, 2023)。研究指出，每上升 1 °C，乳產量可減少約 0.09 公斤 (Ji et al., 2020)，甚至可能下降 35–40% (West, 2003)。此外，極端氣候亦造成病媒蚊增生與傳染病風險上升，間接加劇乳牛健康問題 (Facts and Figures, 2022)。臺灣位於北回歸線，南北氣候差異明顯，北部為亞熱帶季風氣候，南部則為熱帶季風氣候 (Wang et al., 2021)。乳業集中於彰化、臺南與屏東等縣市，占全國總產量約 57%，對區域氣候變化特別敏感。

材料方法

本研究採用 HiRAM 模式之動力降尺度資料，結合 TReAD 再分析資料，以 5 公里解析度進行氣候模擬(圖1)。從 HiRAM 輸出資料中提取逐時氣溫與相對溼度，用 NRC (1971) 推薦之公式計算溫溼度指數 (THI)：

$$THI = (1.8 \times T_{air} + 32) - (0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times T_{air} - 26) \quad THI = (1.8 \times T_{air} + 32) - (0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times T_{air} - 26)$$

以 THI = 72 為臨界值，在最小調適進行模擬計算每日 THI 超過閾值的累積時數 (D)，並利用 St-Pierre et al. (2003) 之乳損模型估算各縣市乳量損失。利用內插法產製平滑熱緊迫風險圖，以顯示不同氣候情境下臺灣乳牛產業潛在影響分布。

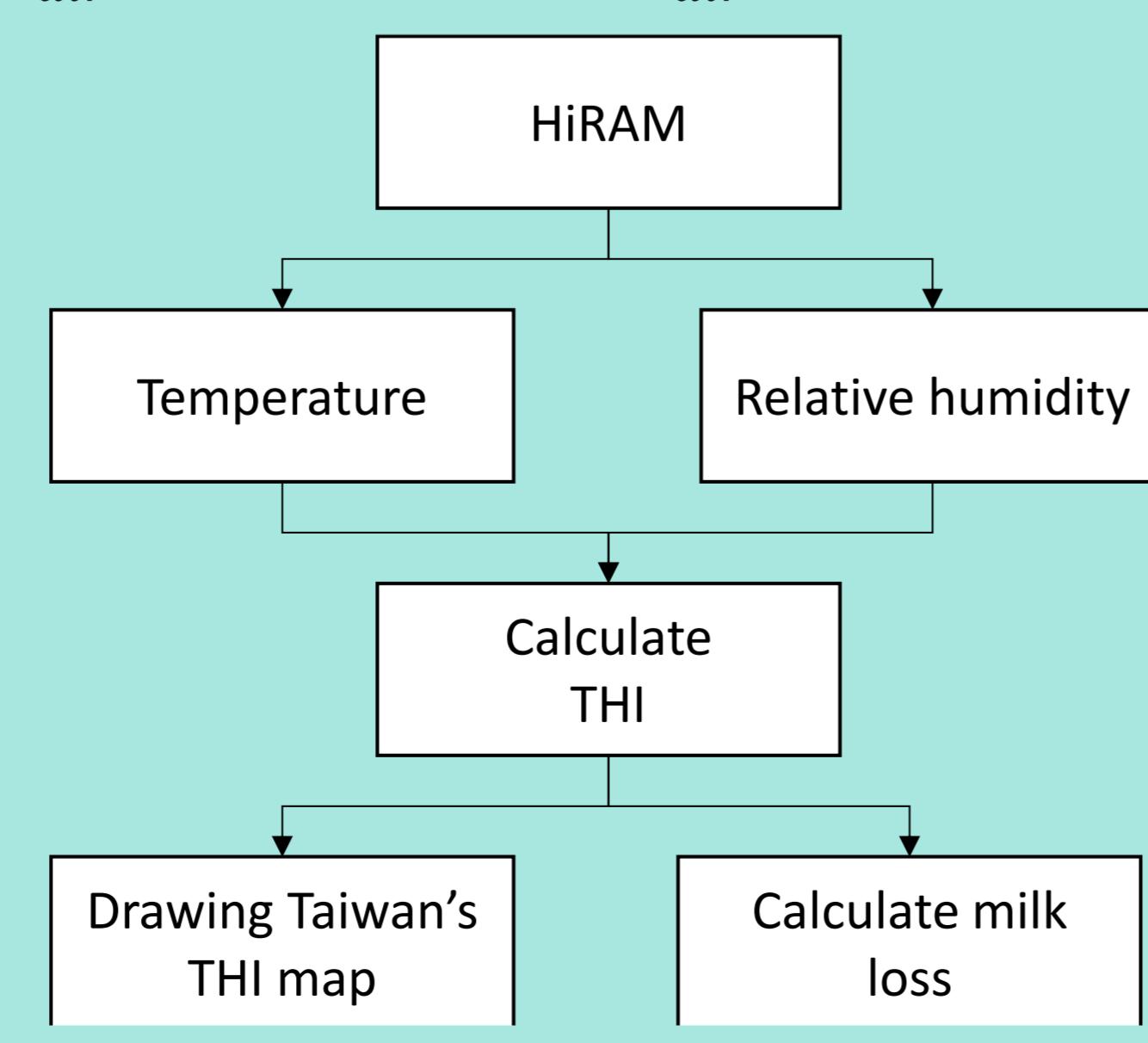


圖 1. 方法流程圖

結果與討論

一、THI 變化趨勢：在 RCP 8.5 情境下，全臺各地溫溼度指數 (THI) 隨氣候變遷呈顯著上升趨勢。與基期相比，升溫 2 °C 時 THI 平均上升 2.3–2.6%，升溫 4 °C 時則上升 5.2–5.8%。THI 超過臨界值 72 的日均時數，從 20 世紀末的 12.55 小時/日增加至 21 世紀末的 15.54 小時/日(圖2A)，顯示乳牛暴露於熱緊迫的時間將明顯延長，顯示氣候變遷下熱緊迫風險的空間範圍正在擴大。

二、乳量損失預估：在不同模擬時期呈現逐步增加的趨勢。於基期 (1995–2014) 時，中部地區乳量平均損失約 1.3 公斤/頭/日，南部地區達 6.7 公斤/頭/日；至 21 世紀中期 (2034–2053)，乳量損失分別增加至 3.6 公斤與 5.4 公斤/頭/日；而於 21 世紀末期 (2073–2092)，中部與南部的乳量損失分別進一步上升至 6.7 公斤與 8.9 公斤/頭/日(圖2B)。這顯示未來在高溫情境下，乳產量下降的速率與幅度將持續加劇，且中南部酪農區因乳牛數量密集及高溫暴露時間較長，影響最為明顯。

三、產業覆蓋率與調適措施：本研究繪製之乳牛產業危害與衝擊地圖涵蓋全臺主要牧區，量化未來不同氣候變遷情境下之熱緊迫風險分布。近年來，臺灣酪農場陸續安裝風扇、灑水與噴霧系統等降溫設施，顯示熱緊迫調適技術逐步改善。然而，隨氣候變遷持續加劇，現行措施仍難完全緩解乳量損失與經濟衝擊，未來應發展具成本效益、區域化與永續導向的熱緊迫調適策略，提供政策與產業調適決策依據，確保乳業生產韌性與穩定供應。

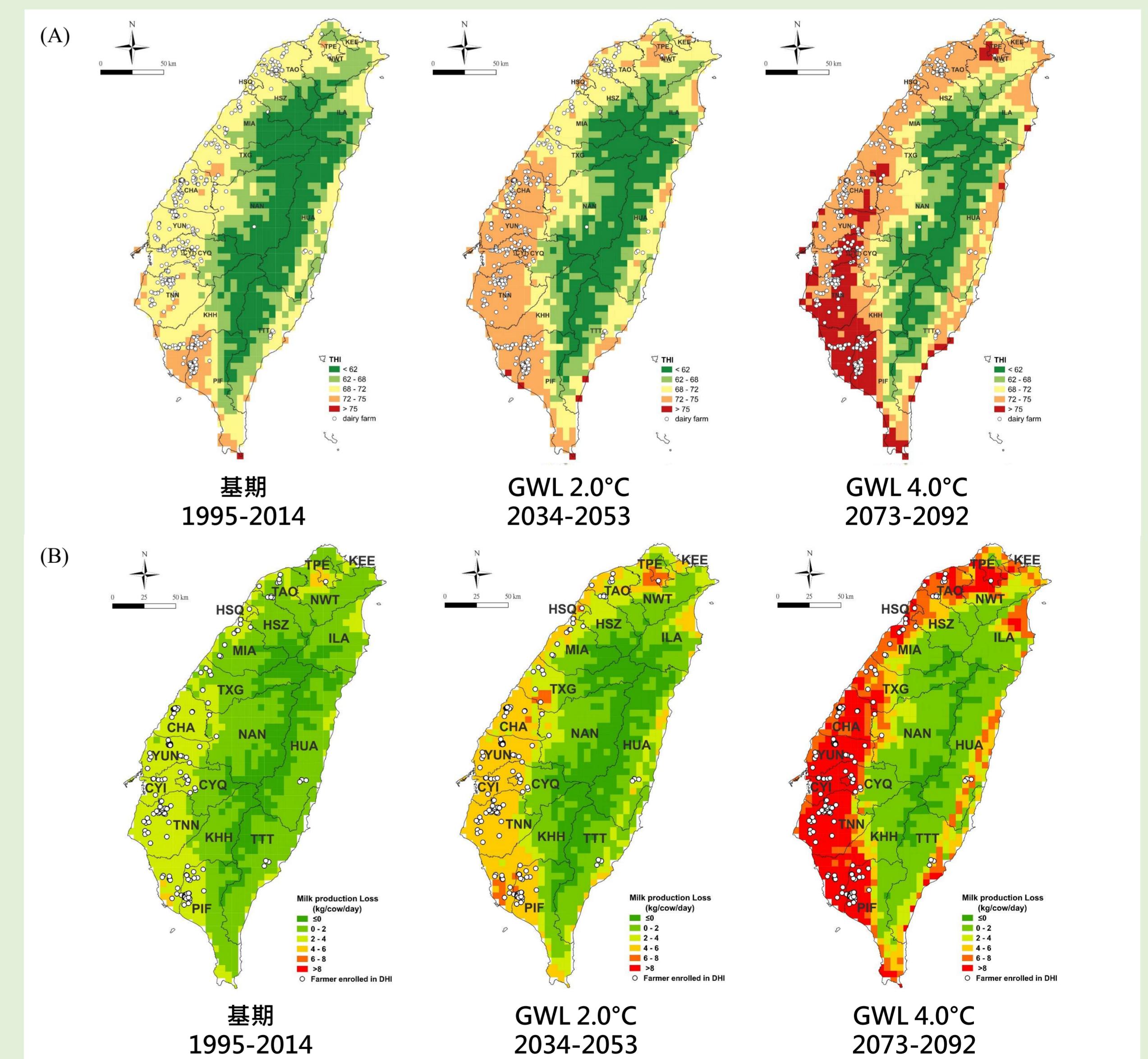


圖 2. 以基準期 (1995–2014) 為基礎，預估在升溫 2 °C (2034–2053) 與升溫 4 °C (2073–2092) 情境下之 (A) 溫濕指數 (THI) 變化；(B) 臺灣牛乳產量損失 (kg/cow/day) 衝擊分析圖。CHA：彰化縣；CYQ：嘉義縣；HSQ：新竹縣；HUA：花蓮縣；ILA：宜蘭縣；MIA：苗栗縣；NAN：南投縣；PIF：屏東縣；TTT：臺東縣；YUN：雲林縣；CYI：嘉義市；HSZ：新竹市；KEE：基隆市；KHH：高雄市；NWT：新北市；TAO：桃園市；TNN：臺南市；TPE：臺北市；TXG：臺中市。