

臺灣乳牛熱緊迫脆弱性之量化評估及其在 氣象防災預警系統之應用

柯美如^{1,2}、陳玥彤¹、陳怡璇¹、蕭振文¹、施意敏³、涂柏安¹

¹農業部畜產試驗所北區分所、²國家災害防救科技中心、³農業部畜產試驗所

摘要

氣候變遷導致極端氣象事件頻率與強度增加，全球乳牛牧場面臨日益嚴重之熱緊迫（Heat stress）風險，影響乳牛健康、產乳性能及牧場經濟效益。臺灣地處亞熱帶，乳牛牧場更頻繁面臨高溫高濕之嚴重熱緊迫問題，本研究旨在利用氣象防災與跨域應用之方法，結合歷史氣象數據分析進行乳牛牧場熱緊迫經濟風險之量化評估與調適策略探討。

研究期間蒐集2014年至2024年共十年間，臺灣北、中、南、東共八座乳牛牧場之場級日平均乳量資料，並同步取得各牧場所在地區之逐日歷史氣象資料，包括日最高溫濕度指數（Temperature-Humidity Index, THI_{max} ）與牛隻每日暴露於超過熱緊迫臨界值（ $THI \geq 70$ ）之時間比例（Exposure proportion, D）。透過結合氣象條件、乳牛乳量損失觀測值與熱緊迫指標，本研究建立臺灣本土化之乳牛熱緊迫風險評估模式，並以最小平方方法（OLS）估算出乳牛熱緊迫之脆弱度係數（vulnerability coefficient, $k = 0.0200$ ）。

本研究進一步應用蒙地卡羅隨機模擬方法，以歷史氣象數據為基礎，模擬未來可能出現之熱浪與高溫事件情境，並結合短期氣象預報資訊，進行乳牛乳量損失風險之模擬與量化分析。模擬結果顯示，臺灣乳牛牧場在熱緊迫條件下平均每日乳量損失約2.07公斤（kg/cow/day），且在95%信賴區間之極端情境下，單日乳量損失可能達到6公斤以上，換算經濟損失約為新臺幣0.55至167.33元/頭/日。研究發現，透過氣象預報系統提供即時之熱緊迫預警與調適建議，可提前調整牧場餵飼管理及牛舍降溫設施，有效降低乳牛熱緊迫期間之經濟損失，並顯著提升乳牛健康與產乳性能之穩定性。

本研究首創本土化的乳牛熱緊迫經濟風險量化框架，以歷史氣象分析與氣象預報為基礎之跨域應用於乳牛牧場熱緊迫風險評估。本研究結果可作為我國乳牛產業未來應對氣候變遷之政策制定及牧場熱緊迫經營調適策略的參考依據，未來可藉由與短期氣象預報系統對接，能實現對牧場的即時熱緊迫預警，採取預防性管理措施。進一步促進我國氣象防災跨域應用於農業領域之發展，亦可為我國氣候調適政策、災害補助及農業保險等風險分攤機制之設計，提供關鍵的實證依據。

關鍵字：乳牛熱緊迫、跨域氣象防災、蒙地卡羅模擬