

# 臺灣乳業研究新視角： 於《Journal of Dairy Science》 探討熱緊迫對乳牛生產的影響

◎北區分所／楊明桂

◎遺傳生理組／涂柏安

## 前言

近年全球氣候變遷加劇，使乳牛遭受熱緊迫（Heat Stress, HS）之頻率與強度逐年增加。乳牛在高溫高濕環境下不僅會出現呼吸速率（Respiration Rate, RR）上升、出汗率（Sweating Rate, SR）增加、及食慾下降與直腸溫度（Rectal Temperature, RT）升高等生理反應，嚴重時更會造成功能衰退、泌乳量降低，甚至影響繁殖表現。臺灣地處亞熱帶，夏季高溫期長，使乳牛面臨HS的風險更為明顯。北區分所近期於國際頂尖期刊《Journal of Dairy Science》發表研究成果，針對不同泌乳階段乳牛之生理反應與泌乳量下降進行系統性量化，進一步提出更精準的溫濕度指數（Temperature - Humidity Index, THI）警示值並確立對應之乳牛熱緊迫生理指標閾值。此研究成果將有助於臺灣乳業在精準畜牧與智慧降溫管理上取得更具前瞻性的參考依據。

## 研究結果

本研究（Tu *et al.*, 2025）收集北區分所乳牛場832頭荷仕登乳牛資料，透過折棒迴

歸模型（Broken-Stick Regression）建立乳牛在不同THI條件下的生理反應特徵，並評估泌乳量於HS下之變化。

1. 泌乳牛對HS的敏感度高於乾乳牛（表1）：  
：本研究顯示泌乳牛的RR、RT、SR閾值分別落在THI 66 - 70之間，皆明顯低於乾乳牛的閾值（THI 73 - 82）。此結果與國外文獻報告一致，泌乳牛因泌乳代謝熱高，使其對環境熱負荷更為敏感，而高產乳牛因攝食量增加，消化產熱（heat increment）亦同步上升，乾乳牛則因代謝產熱低、攝食量少、胎兒代謝熱較低，熱耐受力顯著較佳（Ouellet *et al.*, 2021）。
2. 嚴重熱緊迫（HS）條件下，泌乳中期乳量受影響最顯著（表2）：  
：一般線性混合模型（General Linear Mixed Model）乳量模型分析結果顯示，在嚴重HS（THI 71）環境下，乳量下降幅度：以泌乳中期最顯著（-19.8%），其次依序為泌乳早期（-14%）及泌乳晚期（-13.2%）。此結果與Chen等

(2024) 報告結果一致，在嚴重HS環境，乳量下降最明顯出現在泌乳中期（泌乳第 61 - 150天）。主要原因包含：

(1) HS使採食量下降，直接限制合成乳所需的可利用能量；(2) 乳牛在高溫時將能量由「泌乳」轉向「散熱與維持」，造成乳量自然降低。

3. 生理指標反應以呼吸速率最敏感，直腸溫度反應慢：綜合研究結果可發現，RR最先上升，其次為SR增加，RT則最後升高。此生理反應順序符合國際研究指出的典型熱緊迫反應順序：(1) RR 是最即時的熱反應指標，每分鐘呼吸速率增加可迅速散熱，並常在 THI 65 - 70 即會發生；(2) SR 受濕度影響較大，高濕度條件會降低蒸發效率，使 SR 增加幅度有限，本研究顯示泌乳牛在達到 THI 67.5 後 SR 上升趨緩；(3) RT 屬於較慢反應指標，必須在呼吸與出汗率下降後才會顯著上升，故其閾值 (70.0) 高於 RR (66.2)

。上述生理指標的反應順序使得本研究的 THI 閾值更具生理意義，可供乳牛場作為預警系統設計的依據。

4. 臺灣 HS 期間長，一年超過 8 - 9 個月可能處於 THI > 67：資料顯示北區分所 THI 從 3 月開始上升並持續至 11 月，並有長達 9 個月均超過泌乳牛 RR 與 SR 閾值 (THI 66 - 67)。與其他研究地區比較，中國北部約為 3 個月 (7 - 9 月)，地中海地區則約 5 - 6 個月，美國佛羅里達則與臺灣類似約有 8 - 9 個月，顯示在亞熱帶地區熱緊迫已非季節性問題，而是近乎全年皆須面對之挑戰。

## 結語

綜上所述，本研究的貢獻在於首次以臺灣亞熱帶環境，量化泌乳牛與乾乳牛具體生理指標 THI 閾值差異，在 HS 衝擊所造成的乳量下降幅度 (13 - 20%) 與地中海、北美及中國北方的研究相近，亦可顯示 HS 是全世界酪農產業皆遭遇到之挑戰。此外，依本研究之結果可得知：泌乳牛 THI 66 及乾乳牛 THI 73 時已達 HS 閾值，需啟動降溫設施如風扇加噴霧。藉由監測 THI 數值再開降溫設施，除可延遲乳牛達 HS 之時間，亦有助於乳牛場提升能源使用效率，達到「精準降溫管理」之目的。

## 參考文獻

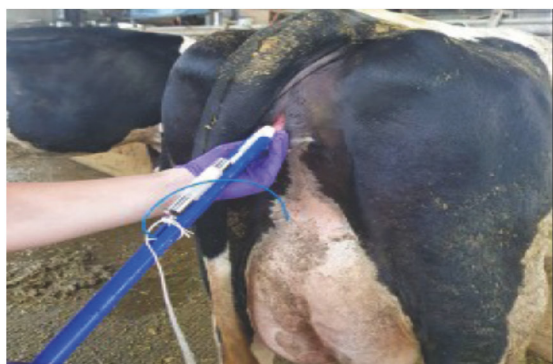
1. Chen, L., V. M. Thorup, A. B. Kudahl, and S. Østergaard. 2024. Effects of heat stress on feed intake, milk yield, milk composition, and feed efficiency in dairy cows: A meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 107:3207-3218.
2. Ouellet, V., I. M. Toledo, B. Dado-Senn, G. E. Dahl, and J. Laporta. 2021. Critical temperature-humidity index thresholds for dry cows in a subtropical climate. *Front. Anim. Sci.* 2:706636.
3. Tu, P. A., Y. H. Yeh, Y. H. Chen, J. W. Shiau, T. Y. Lin, T. Banhazi, and M. K. Yang. 2025. Stage-specific milk yield losses and associated sweating, respiration, and rectal temperature responses under varying temperature-humidity index thresholds in lactating and dry cows. *J. Dairy Sci.* 108: 2023-2035.

表 1、不同生理狀態乳牛（泌乳／乾乳）之熱緊迫（HS）生理指標 THI 閾值

生理指標	泌乳牛 THI 閾值	乾乳牛 THI 閾值	重點說明
呼吸速率（RR）	66.21	81.92	泌乳牛最早出現熱反應，顯示對 HS 高度敏感
出汗速率（SR）	67.52	73.00	泌乳牛於較低 THI 即啟動蒸散調節
直腸溫度（RT）	70.00	79.19	RT 為較慢反應指標，泌乳牛閾值顯著較低

表 2、嚴重熱緊迫（HS）下不同泌乳階段（DIM）之乳量變化

泌乳階段	HS 條件（THI ≥ 71）乳量變化	影響程度
泌乳早期（DIM ≤ 60）	- 14.0%	中度下降
泌乳中期（DIM 61 - 150）	- 19.8%	下降最顯著
泌乳晚期（DIM ≥ 151）	- 13.2%	相對較低



▲圖1. 量測乳牛直腸溫度



▲圖2. 量測乳牛出汗率