

迎戰氣候變遷： 從「熱緊迫」到「熱負荷」，被忽略的飼養管理

農業部畜產試驗所 李佳蓉、賴京佑、吳尚峰、范耕榛

近年來，全球暖化與極端高溫已成為全球畜牧業不容忽視的嚴峻挑戰。聯合國氣候變遷專門委員會（IPCC）的報告指出，未來30年內地表平均氣溫預估將上升達1.5°C，中緯度陸地的升溫更可能高達3°C。在臺灣，過去百年間年平均氣溫已上升約1.6°C，未來夏季長度將增加到約155-210天，冬季則僅剩0-50天，而各地極端高溫36°C以上日數將增加6.8日以上。在這樣的長時間高溫烘烤下，對熱極為敏感的乳牛正經歷著一場攸關生存與生產力的熱威脅。在討論氣候變遷下該如何改善乳牛熱威脅之前，我們必須先從釐清兩個核心科學概念開始：熱緊迫（Heat Stress）與熱負荷（Heat Load）。

觀測環境的「熱緊迫」vs. 累積個體的「熱負荷」

在傳統畜牧氣象學中，「熱緊迫」主要用來描述環境條件對動物造成的壓力。當大環境出現高乾球溫度、高濕度、高輻射以及低空氣流動速度（風速）時，環境狀態便會超出乳牛的「熱中性區」，限制了牛隻將代謝熱排出體外的能力。

單純觀測環境指標，往往無法

完全精確反映牛隻當下的真實處境。因此，科學界近年更傾向使用「熱負荷」一詞。相較於熱緊迫，熱負荷這個用詞與觀念更強調時間的累積效應與動物本身的實際狀態。環境熱源對動物的影響其實具有累積與延滯效應。試想生活常見的案例，一天之中氣溫最炎熱的是中午，但是人體溫度最高的時間卻是下午。以另一個更顯著差異的情境為例，當自己在牛舍工作四個小時吸收了環境熱，體溫呈現高溫狀態渾身燥熱時，進到冷氣房中體溫不會馬上降低，此時環境已經降為無熱緊迫環境，但身體仍呈現高熱負荷狀態；反之，在冷氣房吹了三小時冷氣之後，體溫恢復正常，雖然走出戶外豔陽下高熱緊迫環境，但身體此時還處於低熱負荷狀態尚且舒適，隨著時間累積熱能，體內熱負荷才會逐漸累積造成體溫升高。

牛的狀態也是一樣。牛的體溫不會隨溫度升高立即攀升，而是有數個小時的延遲，在炎熱仲夏環境中，如果沒有適當控制環境的溫溼度指數（temperature-humidity index, THI）或是集中淋浴，太陽下山剛進入涼爽狀態的早夜往往才是體溫最高值，這狀態主要來自白天無法有效排出體內熱量，直到晚間環境終於變

成涼爽而不再繼續累積熱能時，乳牛體溫才慢慢下降。如果不幸地出現連續多日高溫、夜間亦悶熱，乳牛會帶著前一天未排出的殘餘熱量至隔天繼續累積，直到失衡。這也是為什麼國外新聞提到肉牛熱死往往不是熱浪當天中午死亡，而是熱浪過後的數天或是夜間。

熱負荷這個概念不僅考慮了環境因子的曝露強度，還增加了持續時間的概念，更將「動物個體因子」和「飼養管理」結合再一起。動物個體因素包括品種、毛髮長度、顏色、生產階段（高產乳牛耐熱程度較低）以及健康狀態等（Gaughan et al., 2008）。而日養管理則包含墊料狀態等。這些都會影響牛的耐熱程度。而道明乳牛的耐熱程度，最直接的指標則是以「閾值（threshold）」作為界定，例如健康狀態不佳的乳牛較健康乳牛的閾值較低，或是高產泌乳牛的閾值較低產牛低，亦健康狀態的不佳的乳牛與高產泌乳牛較不耐熱。

簡單來說，「熱緊迫」是環境給予的考驗，而「熱負荷」則是牛隻個體在環境、生理與管理共同交互作用下，體內真正累積的熱平衡狀態。
畜舍內外自行監測溫度與濕度的重要性

看天氣預報是日常生活中的一環，當發布高溫警報時，大家往往繃緊神經想盡辦法不要讓泌乳牛退

料。但是大家是否有注意到，天氣預報的溫度和牧場實際的溫度相差多少？以畜試所為例，當天氣預報臺南地區高溫是 34°C 時，新化地區當地預報溫度往往是 36°C，而畜產試驗所牛舍現場的室外環境透過多種不同品牌感測器監測，得到數值都是接近 38°C！，只因為畜試所牛舍現場在新化的東北方，氣候狀態更接近山上區或玉井區一帶這類易受焚風影響的淺山區。即便是西邊僅僅距離牛舍二公里的農業測站溫度，都比畜舍測得溫度低 1°C 以上。因此以新化畜試所為例，如果單看臺南地區天氣或是新化地區預報，往往會低估環境的炎熱程度。

如前段所述，在自家的畜舍內外自行監測溫度與濕度有相當的重要性，畢竟每個地區都幅員廣闊，地區的預報是地區的平均值，自身畜舍所在的位置運氣好較平均值低，但若是運氣不好常態超出平均值許多，則必須更用心注意環境散熱與牛隻熱平衡管理。畜舍外的監測是針對氣候預報的差異進行調整，而畜舍內的監測則是針對環境降溫成效的確認。在 35°C 環境下，依日常降溫管理紀錄顯示，平常戶外與舍內 THI 差都是 4，今天卻變成 3 或 2，代表可能降溫系統哪邊出了問題，噴霧秒數跑掉了？還是噴頭塞住了？還是風扇轉速變慢了？必須立刻檢查降溫效果變差的原因。

光泉廠農通訊(132)

<https://www.kuangchuan.com/FacInfo/Dairy>

夜間降低熱負荷的重要性與策略

建置好畜舍內外的溫度與溼度監測器，除了熱季白天監測降溫效果外，夜間亦可以告知涼爽是不是只有人類覺得涼爽，其實乳牛並不覺得涼爽。

人類的熱中性區上限約為 28℃，而乳牛約在 25℃，因此必須要永遠記得，當人都覺得熱的時候，乳牛會覺得更熱。但是當人類覺得涼爽的時候，對乳牛而言不一定涼爽，例如溫度來到 26-27℃，有些人覺得牛舍持續強烈電扇有點冷，但對乳牛而言，這個溫度還遠遠不夠舒適。如果此時關掉電扇，牛的核心溫度可能會逐漸往上增，而皮表溫度因為夜間涼

爽氣溫影響不見得顯著增加。必須特別強調，並不是夜間環境溫度降到 25℃ 以下，就可以省去夜間降溫的工作，畢竟在沒有監測核心體溫的狀況下，不容易分辨牛到底有沒有好好散去體內多餘的熱！

由於乳牛體內的熱量調節，主要依賴傳導、對流、輻射與蒸發四種散熱方式(Hahn, 1994, DeShazer et al., 2009)。如同前面提到，當盛夏白日環境溫度逼近牛隻體溫時，前三種依靠物理溫差的「顯熱(Sensible Heat)」散熱途徑在自然狀態下幾乎完全失效，此時牛隻極度仰賴蒸發這種「潛熱(Latent Heat)」散熱途徑來帶走體熱，因此許多農戶都知道夏天的白天一定要有風扇吹牛、採食時

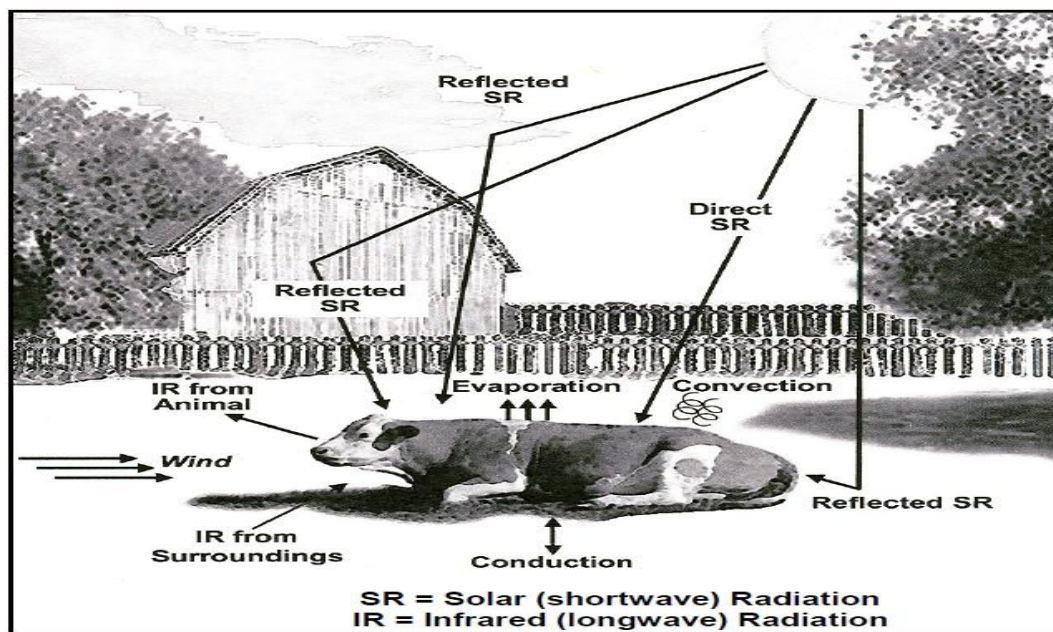


圖 1、太陽輻射熱可以透過直接輻射熱 (direct SR)、反射輻射熱 (reflected SR) 與遠紅外線 (infrared radiation) 三種方式增加牛隻體熱。而乳牛的體熱調節主要依賴傳導 (conduction)、對流 (convection)、輻射 (radiation) 與蒸發 (evaporation) 四種方式。(Hahn, 1994, DeShazer et al., 2009)。

光泉廠農通訊(132)

<https://www.kuangchuan.com/FacInfo/Dairy>

透過灑水與吹風可以帶走熱，環境部分則是用噴霧降溫。如果沒有集中淋浴強制降低牛的核心體溫，炎熱夏季環境往往必須等到上半夜(19 時至 24 時)，當環境溫度開始下降、牛隻的散熱能力終於可以大於環境蓄熱量時，牛的核心體溫才有辦法開始逐漸回歸正常值。因此早夜往往才是體熱正要散去的關鍵時機。研究發現，乳牛的乳量能否在熱季維持穩定，與夜間體溫是否能達到正常的低值有關(Spiers et al., 2018)，晚上體溫降低之後可能可以補回白天吃不下的日糧，讓次日清晨的泌乳量維持或得到補償。因此過去飼養管理不斷強調「夜間加強散熱」是夏季飼養管理的重要課題之一。而且不可諱言地，強力風扇吹風和集中淋浴(集中淋浴操作會搭配吹風，因此本文後續提到集中淋浴都包含吹風的動作)是臺灣多數地區夜晚有效散熱的少數幾種手段。

由於臺灣屬於高溫多溼亞熱帶氣候，夏季夜晚相對濕度通常高達 90% 以上，這種高濕度狀態宛如人類進入三溫暖蒸氣室，讓牛透過汗液蒸發帶走熱的途徑受阻，因此夜間想通過噴霧再次降低環境溫度是不可行的策略，而畜舍內頸夾灑水同樣會再次增加濕度，除此之外地面潮濕無法乾燥往往導致更嚴重的腳蹄問題。因此目前臺灣夏季夜間想要盡速或高效地散去牛體內累積的熱，僅能靠維

持高風速和集中淋浴。值得注意的是，下雨天也是高濕度環境，和夜晚散熱策略面臨同樣的問題。

風速可以增加牛隻體表的蒸發效率，透過蒸發汗水帶走體表熱能；而集中淋浴則是結合傳導與蒸發二種方法，比牛體溫低的水可以直接從體表透過傳導帶走熱，而沾濕牛隻身體的水透過吹風蒸發帶走更多的熱。除了白天進行集中淋浴外，若能在早夜進行一次集中淋浴，不僅可以刺激反芻與淋浴後的採食，還可讓核心體溫提早回到正常的低值，並有利提升整個夜晚的採食量。

了解夜間散熱的重要性與策略後，還必須注意在氣候變遷影響下，夜間最低溫超過 25°C 的天數逐年增加。中部地區變化尤為明顯，以彰化農業測站(測站編號 72G600)數值為例，平均最低溫高於 25°C 的累積天數由 1995 至 1999 年平均 59.2 ± 13.4 天，2020 至 2024 年則增加到平均 92.0 ± 6.7 天、雲林測站(測站編號 72K220)由 18.4 ± 8.1 天增加到 46.4 ± 14.7 天，臺南測站(測站編號 B2N890)則由 19.6 ± 9.9 天增加到 44.0 ± 11.4 天，也就是說，夜間牛隻無法好好散熱的天數比過去更多。這最直接影響到暖季的夜間是否要加強降溫的判斷，因為熱季大夥兒通常不敢懈怠，但是到了暖季，日間不那麼熱、夜間人的體感變涼了，偶爾會忽略掉牛隻此時可能還處於

高熱負荷的狀態，因此議題又回歸到是否有安裝畜舍內的溫度濕度監測器上。

被忽略的輻射熱威脅

當我們談到氣候變遷與全球暖化對乳牛產業的衝擊時，多數人的第一反應往往是「極端高溫（中央氣象署 2018 年以前定義為 35°C，2018 年之後修正為 36°C）」與日益增加的 THI。然而，對於身上披著厚重毛皮、體型龐大且新陳代謝極為旺盛的乳牛而言，大環境中還潛藏著另一個更容易被忽視、卻更具破壞力的隱形殺手——那就是持續攀升的日照時數與相應累積的輻射熱。

雖然前述內容僅談及溫度與濕度，但實際影響動物體溫的主要環境因素是乾球溫度、濕度、輻射和風速 (Dikmen and Hansen, 2009)。當這些環境條件足以限制牛隻熱損失，或當周圍溫度高於動物表面溫度，或是動物從其他物體獲得輻射熱時，維持恆定體溫的能力可能會受到影響。但是傳統的乾球溫度或是 THI 指數中，並沒有納入到輻射熱的威脅。

針對臺灣近三十年（1995 至 2024 年）彰化、雲林、臺南、高雄等主要酪農區域進行趨勢分析，臺灣各地的平均氣溫、最高氣溫與 THI 正全面顯著上升。但在溫度與 THI 數值之外，亦發現這些觀測站的日照時數與日射量皆呈現顯著上升的趨

勢。這意味著，未來的臺灣乳牛不僅要面對更熱的空氣，還要承受更長、更烈的烈日曝曬。

科學研究指出，當太陽日射強度高於 600 W/m²/hr（照射 8 小時約等於 17.3 MJ/m²/day），就會顯著推高牛隻的體表溫度，並嚴重抑制體表的蒸發率 (Gebremedhin et al., 2008)。簡單來說，高輻射熱不僅直接把熱量灌進乳牛體內，還封鎖了乳牛最核心的散熱能力（蒸發）。而輻射熱具有傳播與蓄積的特性。在牧場環境中，光亮的屋頂、太陽能板以及水泥地都會直接反射輻射熱進入牛舍內，而高量的輻射熱會使地面、水泥結構和畜舍的金屬屋頂迅速吸熱升溫，並轉化為遠紅外線能量持續向外釋放。這意味著，即使乳牛乖乖待在沒有陽光直射的遮蔭陰影區內，周圍環境建築物所傳遞過來的「反射輻射熱」以及遠紅外線熱能依然會讓牛隻承受巨大的熱壓力，進而引發採食量下降、呼吸急促，最終導致泌乳量與繁殖率大打折扣。

回顧過去三十年觀測站數值，臺灣西半部的環境日照時數增加導致日累積日射量加劇現象極為明確。而日射量是指單位面積在單位時間內接收到的太陽輻射能量。以彰化農業測站為例，1995 至 1999 年間的日照時數為 6.2 ± 3.6 小時，到了 2020 至 2024 年已增加至 9.0 ± 1.8 小時，平均每日累積日射量則從

10.3 ± 4.1 MJ/m²/日增加至 17.2 ± 5.9 MJ/m²/日；南臺灣的高雄（測站編號 72Q010）日照時數更從 4.9 ± 3.2 小時增加至 9.1 ± 1.8 小時、日射量從 10.7 ± 4.2 MJ/m²/日 翻倍攀升至 21.4 ± 7.9 MJ/m²/日。如此高強度的能量累積，會促使畜舍結構在日間不斷蓄熱，在夜間將使畜舍內日夜溫差縮小，進一步延長乳牛的熱緊迫回復期，形成嚴峻的全天候高熱緊迫環境。如果有設畜舍內、外監測器的狀況下，不難觀察到日間畜舍內溫度低於戶外、濕度高於戶外，而夜間溫度與濕度都高於戶外。必須注意的是，無論是日間的反射輻射熱，還是日夜皆會產生的遠紅外線熱能，都不會直接增加一般溫度感應器測得的數值，所以，牛隻實際感受到的溫度（熱），日夜都比溫度計顯示的還要高！想要知道輻射熱以及遠紅外線帶來的影響，需要使用黑球溫度計。然而納入黑球溫度評估牛隻熱負荷程度的文獻相對少，在高溫多濕環境中的試驗結果又更少，目前即使測得數據尚難以落地應用。因此現行策略建議針對畜舍進行輻射熱的防範，並且減少遠紅外線的影響。

在畜舍環境中，當周圍通風不良或是以透光材料（如玻璃、塑膠棚膜）替代遮蔽材料，輻射熱容易累積，造成升溫現象，畜舍的屋頂若使用鐵皮或鋼鐵等金屬材料，會因其高導熱性，在高日射量下迅速吸收熱

能，導致屋頂溫度升高。增加屋頂高度可以顯著減少來自屋頂底部的遠紅外線對牛隻的影響，但必須注意，增加屋簷高度會讓側面透入的直接日曬與反射輻射熱增加，因此須著重屋簷外的遮蔭及阻絕輻射熱。部分文獻建議在現有的金屬屋頂上加裝第二層金屬板，利用雙層結構的空氣層阻絕熱能導入，或是在屋頂使用銀色反射塗層(Eigenberg et al., 2010) 或 遮 陽 網 (Blackshaw and Blackshaw, 1994)，這些措施能削弱結構對輻射熱的吸收與蓄積。在畜舍周邊建置遮蔽遮光網棚架，降低牧場大環境周圍地表（如泥地或水泥地）直接曝曬的時間與面積，並直接減少反射輻射熱與遠紅外線傳遞。在屋頂灑水則可以直接透過蒸發快速帶走屋頂的熱能，不僅能降低畜舍內遠紅外線還可以直接降低畜舍內空氣溫度。

結語

氣候變遷是一場無聲的馬拉松，而極端高溫、夜間低溫增加、日照時數與輻射熱的增加，正是乳牛飼養管理必須面對的關卡。未來的乳牛熱負荷管理，除了必須了自身牧場的實際變化之外，需要著重包含夜間加強降溫、集中淋浴、阻斷輻射熱等，以牛本身熱負荷為主的管理，酪農產業才能在這場抗熱戰役中逆風前行，守護臺灣乳牛的健康與產乳韌性。

1. Blackshaw, J. K. and A. Blackshaw. 1994. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. *Australian journal of experimental agriculture* 34(2):285-295.
2. DeShazer, J. A., G. L. Hahn, and H. Xin. 2009. Basic principles of the thermal environment and livestock energetics. Pages 1-22 in *Livestock energetics and thermal environment management*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
3. Dikmen, S. and P. Hansen. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of dairy science* 92(1):109-116.
4. Eigenberg, R. A., T. M. Brown-Brandl, and J. A. Nienaber. 2010. Shade material evaluation using a cattle response model and meteorological instrumentation. *International Journal of Biometeorology* 54:509-515.
5. Gaughan, J., T. L. Mader, S. Holt, and A. Lisle. 2008. A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 86(1):226-234.
6. Gebremedhin, K. G., P. Hillman, C. Lee, R. Collier, S. Willard, J. Arthington, and T. Brown-Brandl. 2008. Sweating rates of dairy cows and beef heifers in hot conditions. *Transactions of the ASABE* 51(6):2167-2178.
7. Hahn, G. 1994. Environmental requirements of farm animals. *Handbook of Agricultural Meteorology*. Oxford University Press, New York.
8. Spiers, D., J. Spain, M. Ellersieck, and M. Lucy. 2018. Strategic application of convective cooling to maximize the thermal gradient and reduce heat stress response in dairy cows. *Journal of dairy science* 101(9):8269-8283.

光泉廠農通訊(132)

<https://www.kuangchuan.com/FacInfo/Dairy>