

國立臺灣大學生物資源暨農業學院動物科學技術學系

碩士論文

Department of Animal Science and Technology

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis



夏季集中噴淋於荷蘭牛經產乾乳牛的應用效果

Effect of Group Soaking on Holstein Multiparous Dry

Cows in Summer

王法鈞

Fa-Chun Wang

指導教授：徐濟泰 博士

Advisor: Jih-Tay Hsu, Ph.D.

中華民國 111 年 7 月

July 2022

謝誌



碩士班生活即將畫下句點，我最感謝的是我的指導老師 徐濟泰教授，從實驗設計到進行實驗時的種種問題，老師都能不厭其煩的引導，並讓我慢慢修正並找出最好的解答，而徐老師引導我時的邏輯方式，也讓我理解何謂思考，何謂解決問題，在這兩年中因為自己的惰性及拖延症，讓徐老師總是感到十分頭痛，老師也從沒放棄過我，而再多的文字，都無法確切的表達我心中對於徐老師無盡的感謝，無論過去的煩惱，甚至是未來想走的路，徐老師都能夠提供我最大的幫助，何其榮幸，能夠成為徐老師的學生，造就了現在的我，謝謝老師。謝謝王翰聰老師、吳錫勳老師、陳筱薇老師擔任我的口試委員，並給予許多建議，幫助我將論文修改至最好的狀態。

感謝弘勝牧場的吳振村老闆、惠婷，在當初尋找實驗牧場時一口答應，並在實驗過程中提供牛隻及各種幫助。特別感謝我的摯友王場長彥傑，在我最需要時伸出援手，給了我實驗最初的架構，並幫我協調牧場的同仁使我能夠順利實驗，在實驗過程中也願意教導我並與我討論許多跟乳牛有關的大小事，有甚麼好康的也會想到我，甚至在我徬徨的時候給予我寶貴的建議及實質的幫助，總是二話不說的相挺，雖然你時常說我用友情換實驗，但能夠有彥傑這般交心的摯友，是我此生的福氣。

感謝營養研的夥伴，東東、融姊、宇哲、苓祐、玟淇、佩禧、怡文、宥靚及冠緯，因為有你們 307 才經常充滿溫暖與歡笑。感謝我的閨蜜芷晴這兩年的作伴，在陌生的校園裡有熟悉的晴學霸，讓我不致於感到寂寞，沒有芷晴我也不會在這。感謝我的好友兼實驗室好夥伴威廷，時常揪我一起運動，不論是實體還是線上，都讓我不至於成為肥宅。感謝我的辣妹好友雯媛，在每次的揪團出遊總是說到做到，從不說說。感謝我的酒肉好友蘇揚，時常帶我做一些有的沒的，真讚。感謝我的室友兼 15 年摯友宇呈，有你真好。感謝文成、玉仁及麒祐從大學到現在的陪伴。

最後感謝我的爸爸、媽媽、姊姊、阿姨及阿嬤，因為有你們我才能無憂無慮的求學，並走在自己最喜歡的道路上，我愛你們。

中文摘要



台灣為亞熱帶季風氣候，長期處於高溫及高濕度的環境，因此熱緊迫為夏季最常見的問題。台灣常見的降溫設備為頸夾灑水，此種方式除了增加畜舍相對濕度外，也會使料槽容易潮濕，且此灑水設備多設置於泌乳牛區，鮮少設置於乾乳牛區。已有研究指出乾乳期遭受熱緊迫對於隨後而來的產乳期之生產性能有負面影響。因此，本試驗研究目的為提供乾乳牛集中噴淋降溫處理，減少對於畜舍微環境的影響，並評估其降溫效果及對於牛隻的影響。

本試驗於桃園的一家商業乳牛場進行，分為兩個階段。試驗第一階段將可自動記錄體溫之溫度計置於牛隻陰道中，依照乳量及泌乳天數分為低產、中、高產及乾乳牛，每一類別乳牛設定兩隻進行降溫處理組及一隻對照組，進行頸夾噴淋及集中噴淋的降溫效果評估與比較。試驗第二部分探討乾乳牛於不同時期開始進行集中噴淋，牛隻依照開始降溫時期分為乾乳組 (Dry, 六頭)、轉換期組 (Transition, 六頭) 及不進行降溫的對照組 (Control, 六頭)，評估降溫處理對於微環境的影響、牛隻分娩前生理、行為表現及分娩後產乳表現、繁殖表現及犢牛生長狀況的影響。

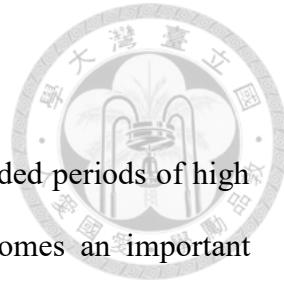
試驗第一階段結果顯示在中、高產牛不論是實施集中噴淋或是頸夾噴淋，其陰道溫度皆顯著低於處理前 ($P<0.01$)，綜合比較兩種降溫方式，顯示集中噴淋處理前後的陰道溫度差顯著高於頸夾噴淋 ($P<0.01$)，兩種降溫方式擇優於乾乳牛及低產牛實施集中噴淋，處理組處理後陰道溫度皆顯著低於處理前 ($P<0.01$)。試驗第二階段分娩前結果顯示，不論在白天或晚上實施降溫處理後的牛隻，其呼吸速率及核心溫度皆顯著低於處理前 ($P<0.01$)，較多的全日步伐 ($P<0.05$)，而乾乳組具有較長的反芻時間 ($P<0.05$)。分娩後產乳表現無顯著差異。繁殖表現部分乾乳組產後初次發情所需天數較短 ($P<0.05$)，對照組及轉換組有胎衣滯留發生。犢牛出生重在三組之間無顯著差異，但乾乳組的犢牛至二月齡前的日增重有較多的趨勢 ($P<0.1$)，代表乾乳組犢牛體重差異隨著年齡增長會與其他兩組而增加。畜舍微環



境部分，則是集中噴淋區噴頭以下的區域隨著噴淋裝置的啟動，使該區域之相對濕度及溫濕度指數高於乾乳牛休息區域 ($P<0.01$)。

綜合上述，在夏季提供乾乳牛整個乾乳期集中噴淋使分娩前的生理、行為表現及分娩後的繁殖表現更好，且集中噴淋對於牛隻休息區域無影響，可提供酪農另一種降溫參考模式。

關鍵詞：乾乳牛、噴淋、降溫處理、繁殖表現、微環境

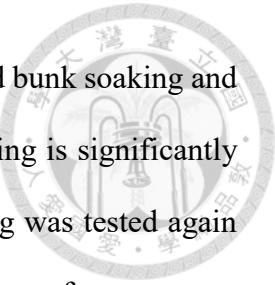


Abstract

Taiwan has a subtropical monsoon climate and is subject to extended periods of high ambient temperature and relative humidity. Thus, heat stress becomes an important negative factor on dairy cow performance in summer. The most common cooling setup in Taiwan is the feed bunk soaking which will increase the relative humidity of the barn, and make the feed trough wet. Feed bunk soaking is mostly installed in the lactating cow pen, and is rarely installed in the dry cow pen. Studies have indicated that heat stress during the dry period has a negative impact on the performance in the subsequent lactation period. Therefore, the aim of this study is to provide dry cows with group soaking cooling treatment to reduce the impact on the microenvironment of the barn, and to evaluate its cooling effect and the impact on cows.

This study conducted at a commercial dairy farm in Taoyuan and divided into 2 parts. In the first part of study, we put the thermometer which can automatically record the body temperature into cow's vagina. According to milk yield and day-in-milk, the cows were divided into low yield, medium yield, high yield and dry cows. In each group, 2 cows were assigned to the treatment group and 1 cow to the control group to evaluate the cooling effect and difference between feed bunk soaking and group soaking. The second part of the experiment studied the cooling effect difference of group soaking starting at different periods. The cows were divided into the cooling during entire dry period (Dry, n=6), the cooling during transition period (Transition, n=6) and that without cooling (Control, n=6). The effects of cooling treatment on the microenvironment, antepartum physiological and behavioral performance, postpartum milking, reproductive performance and growth performance of calves were monitored.

The results of the first part showed that the virginal temperature of middle and high



yield cows was lower than that before treatment ($P<0.01$) for both feed bunk soaking and group soaking. The virginal temperature change after the group soaking is significantly higher than that of the feed bunk soaking. Accordingly, group soaking was tested again on low yield and dry cows, the virginal temperature of treatment group after treatment was lower than that before treatment ($P<0.01$). In the second part, the respiration rate and core temperature of dry cows with group soaking during the day or night time were significantly lower than before treatment ($P<0.01$), and they also had more daily footsteps ($P<0.05$). The Dry group had more rumination time than the other two groups ($P<0.05$). After calving, the milking performance had no difference among three groups. Lower first estrus day was observed in Dry group ($P<0.05$). Retained placenta were found in Transition and Control groups. There was no deference in calves birth weight among three groups. The daily weight gain in 2 months after birth was tended to be higher in Dry group ($P<0.1$). The difference in body weight of calves in the Dry group increased with age compared with the other two groups. The under soaker area in the group soaking had higher relative humidity and THI than dry cow pen ($P<0.01$).

In conclusion, group soaking for dry cows throughout the entire dry period in summer can improve the prepartum physiological condition and postpartum reproductive performance, and the group soaking has no effect on the dry cow pen microclimate, which can provide another cooling practice for dairy farmers

Key word: dry cow, soaking, cooling treatment, reproductive performance, microclimate



目錄

謝誌.....	i
中文摘要.....	ii
Abstract.....	iv
目錄.....	vi
圖目錄.....	vii
表目錄.....	viii
前言.....	1
壹、文獻探討.....	2
一、熱緊迫.....	2
二、乳牛乾乳期及轉換前期受熱緊迫的影響.....	9
三、如何改善熱緊迫.....	18
四、在乾乳期不同階段實施降溫處理的差異.....	23
五、蒸發散熱降溫系統對於畜舍微環境的影響.....	23
六、台灣環境現況.....	24
貳、材料與方法.....	28
參、結果與討論.....	45
一、兩種降溫方式對於不同產乳階段牛隻的影響.....	45
二、集中噴淋於乾乳牛的應用效果.....	58
三、集中噴淋整體討論.....	86
肆、結論.....	88
伍、參考文獻.....	89



圖 目 錄

圖 1. 不同環境溫度之體溫變化	3
圖 2. 乳牛熱緊迫程度與溫濕度指數對照表	6
圖 3. 每小時測定平均呼吸速率與平均體溫的混合線性效應模型	8
圖 4. 常見風扇通風方式（左：隧道式通風；右：交叉式通風）空氣流向圖	20
圖 5. 臺灣各地區 1976 至 2005 年之月溫濕度指數(●為最高 THI,○為平均 THI, 虛線為 THI=68，實線為 THI=72)	26
圖 6. 台南地區乳牛場畜舍內 2015 年至 2017 年之月平均溫濕度指數	27
圖 7. 泌乳牛及乾乳牛區域配置圖	29
圖 8. 集中噴淋示意圖	37
圖 9. 溫濕度記錄器	38
圖 10. Semex Ai24 頸圈活動量偵測器	40
圖 11. 超音波儀器驗孕	43
圖 12. 實驗期（2021 年六月至九月）牛舍內一日平均 THI 變化	46
圖 13. 以陰道溫度計監測在不同降溫處理下中產牛之平均一日體溫變化	49
圖 14. 以陰道溫度計監控在不同降溫處理下高產牛之平均一日體溫變化	52
圖 15. 以陰道溫度計監控在不同降溫處理下低產牛之平均一日體溫變化	55
圖 16. 以陰道溫度計監控在不同降溫處理下乾乳牛之平均一日陰道溫度變化	57
圖 17. 集中噴淋處理白天時段於牧場內不同區域相對濕度、溫度、THI 的影響	83
圖 18. 集中噴淋處理晚上時段於牧場內不同區域相對濕度、溫度、THI 的影響	85



表目錄

表 1. 不同熱緊迫模型之公式	4
表 2. 西元 2021 年 6 到 9 月桃園市中壢區之月平均溫、最高溫、最低溫統計 ...	28
表 3. 乳牛完全混合日糧之營養組成	33
表 4. 牧場內與桃園中壢氣象局天氣觀測站於試驗一試驗期 (2021 6/17-22) 時的平均氣溫、相對濕度及溫濕度指數	46
表 5. 兩種降溫方式於中產牛之陰道溫度的效果	48
表 6. 兩種降溫方式於高產牛之陰道溫度的效果	51
表 7. 比較兩種降溫方式對於中產牛與高產牛陰道溫度之降溫效果	53
表 8. 集中噴淋處理於低產牛陰道溫度的影響	54
表 9. 集中噴淋處理於乾乳牛陰道溫度的影響	56
表 10. 上午時段集中噴淋前後之呼吸頻率 (次/分鐘) 及直腸溫度 (°C) 變化 ...	61
表 11. 晚上時段集中噴淋前後之呼吸頻率 (次/分鐘) 及直腸溫度 (°C) 變化 ...	62
表 12. 集中噴淋於預期分娩前 60 日到 21 日於三組間乾乳牛隻行為的影響	65
表 13. 集中噴淋於預期分娩前 0-21 日至分娩日於三組間乾乳牛隻行為的影響 ...	65
表 14. 集中噴淋於預期分娩前 60 日到 21 日於三組間乾乳牛隻活動量相關行為的影響	68
表 15. 集中噴淋於預期分娩前 0-21 日至分娩於三組間乾乳牛隻活動量相關行為的影響	68
表 16. 不同組別泌乳牛之乳量與乳成分	75
表 17. 集中噴淋於不同組別泌乳牛之繁殖表現	78
表 18. 集中噴淋處理於小牛生長表現的影響	81
表 19. 文獻不同降溫處理之生理反應	87



前言

台灣為亞熱帶季風氣候，長期處於高溫及高濕度的環境，且國內選用乳牛品種多為畏熱的荷蘭牛，因此熱緊迫為夏季最常見的問題，隨著全球暖化的發生，熱緊迫為酪農產業迫切需解決的問題。台灣常見的降溫設備為頸夾灑水，此種方式除了增加畜舍內相對濕度外，也會使料槽潮濕，導致飼料酸敗。一般認為乾乳牛相較泌乳牛具有較好的熱負荷能力，乾乳牛的降溫處理也就不受關注 (West, 2003)，因此降溫設備多設置於泌乳牛區，鮮少設置於乾乳牛區。已有研究指出乾乳期遭受熱緊迫對於隨後而來的產乳期之生產性能有負面影響，除了會直接影響泌乳量之外，對於產前的採食量以及其所生產的犢牛之生長性能都有不好的影響 (Karimi et al., 2015; Seyed Almoosavi et al., 2021; Tao et al., 2011)。因此，改良現今降溫處理方式，並評估提供乾乳牛使用降溫設備後對於其生理、行為及生產性能的影響為我們所需了解的。

本試驗研究目的為提供牛隻集中噴淋降溫處理，比較集中噴淋與現今常用頸夾噴淋的降溫效果差異，並透過提供乾乳牛集中噴淋，減少對於畜舍微環境的影響，並評估其降溫效果及對於牛隻產前生理、行為及產後生產性能的影響。



壹、文獻探討

一、熱緊迫

氣候是包括溫度、濕度、降雨、空氣流動、輻射、氣壓和電離在內的多種因素的組合，世界各地不同的氣候帶則取決於其不同的緯度、盛行風、蒸發條件、水的可用性、海拔、靠近山脈和其他因素等等。然而環境溫度很大一部份取決於緯度，尤其地處熱帶及溫帶的地區，其熱季或溫季的持續時間相對其他地區而言是較為長的，且隨著全球暖化的影響，一年四季中高溫的持續時間也漸漸拉長，較高的環境溫度對包括生長、繁殖和泌乳在內的乳牛生產性能指標有重大影響(West, 2003)。此外，隨著每頭乳牛的平均產量逐年成長，每頭動物的代謝熱產出也大大增加，使動物更容易受到熱緊迫(Heat stress)的影響(Collier et al., 2006)。熱緊迫是提升養牛效率的主要障礙之一，它對牛隻產生許多不良影響，其中，核心體溫升高會引發生理失衡，並啟動下視丘—腦下垂體—腎上腺軸(Hypothalamic-pituitary-adrenal axis)的反應，以對抗由於熱緊迫帶來的壓力因子，從而對繁殖的效率、動物的健康和乾物質採食量(Dry matter intake, DMI)產生不好的影響，也嚴重影響乳牛的牛奶產量和肉牛的體增重(Kamal et al., 2018)。近年來，產業與社會團體對於動物福祉(Animal welfare)重視程度也逐漸上升，我國牛乳友善生產系統也明確規範畜舍中的溫溼度條件，以避免牛隻受到熱緊迫。因此，如何降低熱緊迫帶來的影響，成為了養牛業者最嚴峻的挑戰。

(一)、熱緊迫的定義

緊迫(Stress)為動物因環境或其他外在因素的改變，迫使動物產生負面的生理反應，並改變恆定狀態(Homeostasis)，才可適應或對抗外在緊迫因子(von Borell, 2001)。動物可以在固定的環境溫度範圍內保持恆定的核心溫度，此範圍稱為中間溫度帶(Thermoneutral zone, TNZ)，當溫度超出範圍時，動物會啟動體溫調節機制



(Godyń et al., 2019; Ehrlemark and Sallvik, 1996)。恆溫動物又可以細分為三個溫度帶：中間溫度帶(TNZ)、恆溫區(Homeothermia)和生存極限區(Survival limits)，如圖1所示。牛的中間溫度帶介於下臨界溫度-5到5°C(Lower critical temperature, LCT)和上臨界溫度25°C(Upper critical temperature, UCT)之間(Dash et al., 2016)，當牛隻處於中間溫度帶，代謝率最低，不會啟動生理機制將熱量發散至環境或產生內源性熱量，從而保持體溫並分配所有可用能量以最大限度地提高生產性能(產乳、繁殖等)。當環境溫度升高並超過UCT，牛隻則會啟動散熱機制，例如：開始尋找陰涼處、增加飲水量或是增加喘氣及排汗以排出熱能，當體內熱能蓄積超過可維持熱平衡之閥值則產生熱緊迫(Kadzere et al., 2002)。

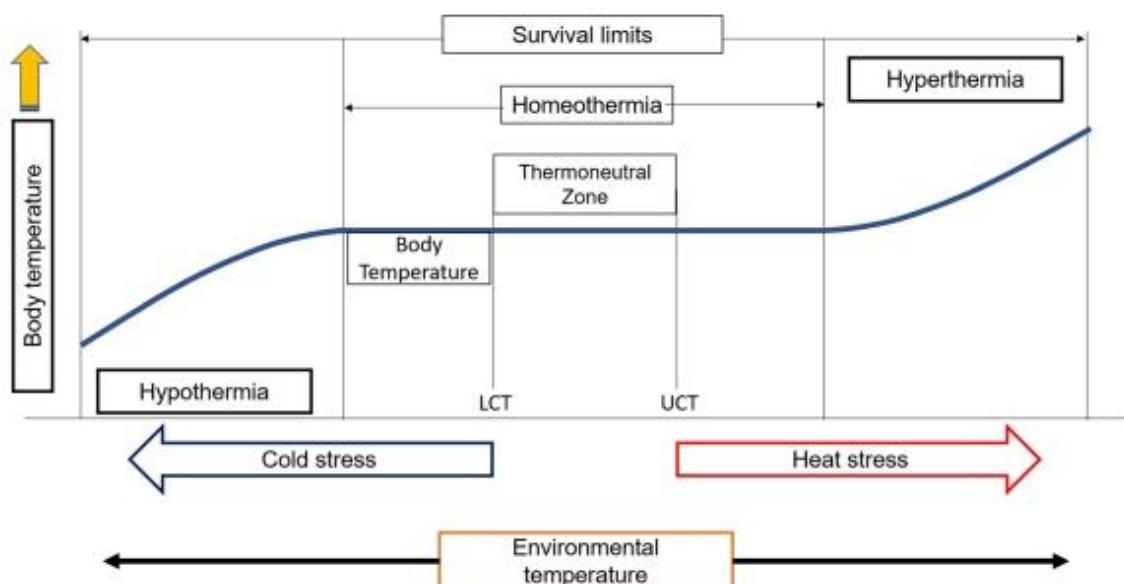


圖 1. 不同環境溫度之體溫變化。

Figure 1. Body temperature variation with different environmental temperature. (dos Santos et al., 2021, adapted from Ehrlemark and Sallvik, 1996).



(二)、熱緊迫的指標

目前可透過兩種指標評估牛隻是否處於熱緊迫的狀態，可從環境溫度及濕度計算溫濕度指數（Temperature-humidity index, THI），亦可從生理表現上判斷牛隻是否處於熱緊迫狀態中。

1. 環境溫濕度指數

環境溫濕度指數已被多數農民使用於評估牛隻熱緊迫的依據，近年來已開發許多制訂 THI 的公式(表 1；Dash et al., 2016)：

表 1. 不同熱緊迫模型之公式

Table 1. Different heat stress models for formulating temperature humidity indices

Formulae	References
$[0.4 \times (T_{db} + T_{wb})] \times 1.8 + 32 + 15$	Thom, 1959
$(0.35 \times T_{db} + 0.65 \times T_{wb}) \times 1.8 + 32$	Bianca, 1962
$(T_{db} + T_{wb}) \times 0.72 + 40.6$	NRC, 1971
$(1.8 \times T_{db} + 32) - (0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 T_{db} - 26)$	NRC, 1971
$(0.55 \times T_{db} + 0.2 \times T_{db}) \times 1.8 + 32 + 17.5$	NRC, 1971
$T_{db} + (0.36 \times T_{db}) + 41.2$	Yousef, 1985
$(0.8 \times T_{db}) + [(RH/100) \times (T_{db} - 14.4)] + 46.4$	Mader et al., 2006
$(0.15 \times T_{db} + 0.85 \times T_{wb}) \times 1.8 + 32$	Bianca, 1962

T_{db} =Dry bulb temperature

T_{wb} =Wet bulb temperature

RH= Relative humidity

Bohmanova et al. (2007) 比較上述公式後發現存在差異，需依不同氣候條件使用，潮濕氣候適合較重視濕度之公式，半乾旱氣候則較適合重視環境溫度的公式。當 THI ($(1.8 \times T_{db} + 32) - (0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 T_{db} - 26)$) 大於 72 時則代表牛隻處於輕度熱緊迫的狀態，此時牛隻會開始尋找遮陰且啟動散熱機制；當 THI 大於 89



時則視為重度熱緊迫，可以發現牛隻開始明顯的喘氣，且會嚴重影響繁殖表現；當 THI>98 時則會導致死亡（圖 2；Armstrong, 1994）。

2. 生理表現的變化

當環境溫度超過中間溫度帶的上臨界溫度或是 THI 大於 72 時，為了抵抗外在環境溫度升高所造成的壓力及增加散熱，牛隻會改變其行為及生理反應，例如：增加核心溫度（Core temperature）、增加飲水且減少採食量（Intake）、增加呼吸頻率及排汗、改變內分泌（Bitman et al., 1984; Berman et al., 1985），因此可依某些特定且易觀察到的生理變化作為牛隻是否處於熱緊迫狀態的指標。

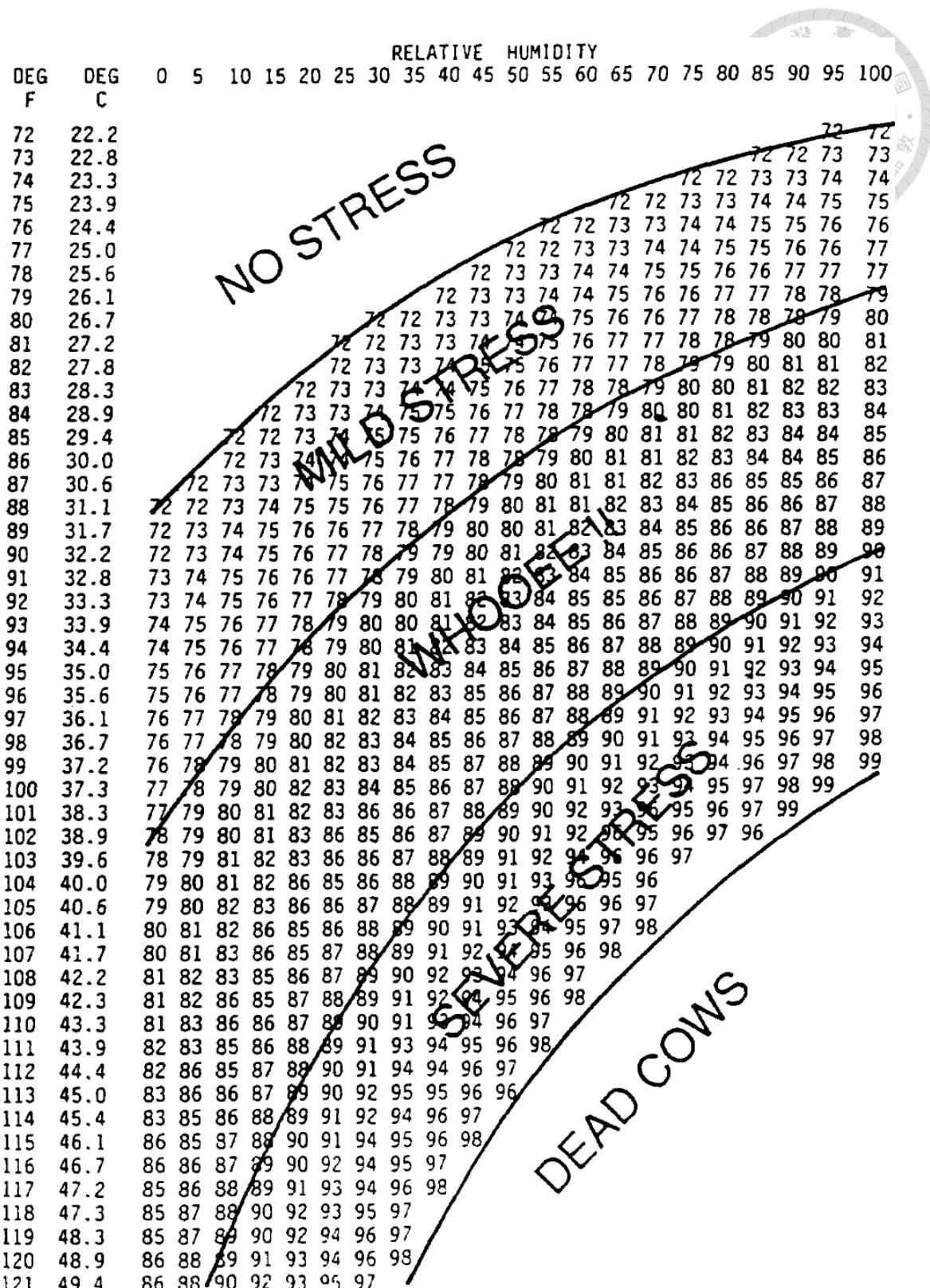


圖 2. 乳牛熱緊迫程度與溫濕度指數對照表。

Figure 2. Temperature-humidity index table for dairy producer to estimate heat stress for dairy cows. Deg = Degrees. Relative humidity expressed as percentage.
(Armstrong, 1994)



a. 核心溫度

直腸溫度是評估人類和動物健康狀況的最常見也最簡單的方法。因為直腸具有散熱少且隔熱良好的特性，可以較完整保留核心溫度 (Durotoye and Grayson, 1971)。除了直腸溫度外，陰道溫度也可以作為評估牛隻核心溫度的指標，陰道內部溫度與直腸溫度呈現高度相關性($R^2>0.8$) (Godyń et al., 2019; Suthar et al., 2013)。一般而言牛隻正常情況下的直腸溫度會介於 38.0°C - 39.2°C 之間 (Ammer et al., 2016)，恆定的核心體溫表示動物平衡了熱量的產生和損失，不平衡的熱交換則會使核心溫度產生變化，當散熱 (Heat dissipation) 大於產熱 (Heat production) 時，核心溫度會下降，反之則會上升。即使核心溫度本質上是動態的並且具有晝夜節律，核心溫度還是可以清楚的表明動物體受到外在環境溫度變化所產生的壓力大小 (Brown-Brandl et al., 2003)。研究顯示，當牛隻處於熱緊迫時，核心溫度會上升至 39.0°C 以上 (Bohanova et al., 2007; Dikmen and Hansen, 2009; Yan et al., 2021)，只有當正常的應對機制 (如喘氣和排汗增加) 無法處理累積熱負荷的程度時，核心溫度才會升高 (Koltes et al., 2018)。

b. 呼吸速率

在牧場環境中，呼吸速率也經常被用於評估牛隻是否處於熱緊迫，由於呼吸速率相對好取得，且不須對於牛隻使用具侵入性的觀測方法 (Li et al., 2020)，呼吸速率是一種重要的體溫調節反應，牛隻可以透過蒸發呼出體內更多的水分來消散多餘的體熱，透過每蒸發 1 毫升的水，牛隻可以消散 2.43 焦耳的能量 (Beatty et al., 2006; Silanikove, 2000)。一般無熱緊迫情況下，牛隻的呼吸速率約為 20-50 次/分鐘，沒有熱緊迫時候體溫沒有變化，而當牛隻產生熱緊迫時，呼吸速率與核心溫度高度正相關 (圖 3) (Atkins et al., 2018; Li et al., 2020)。

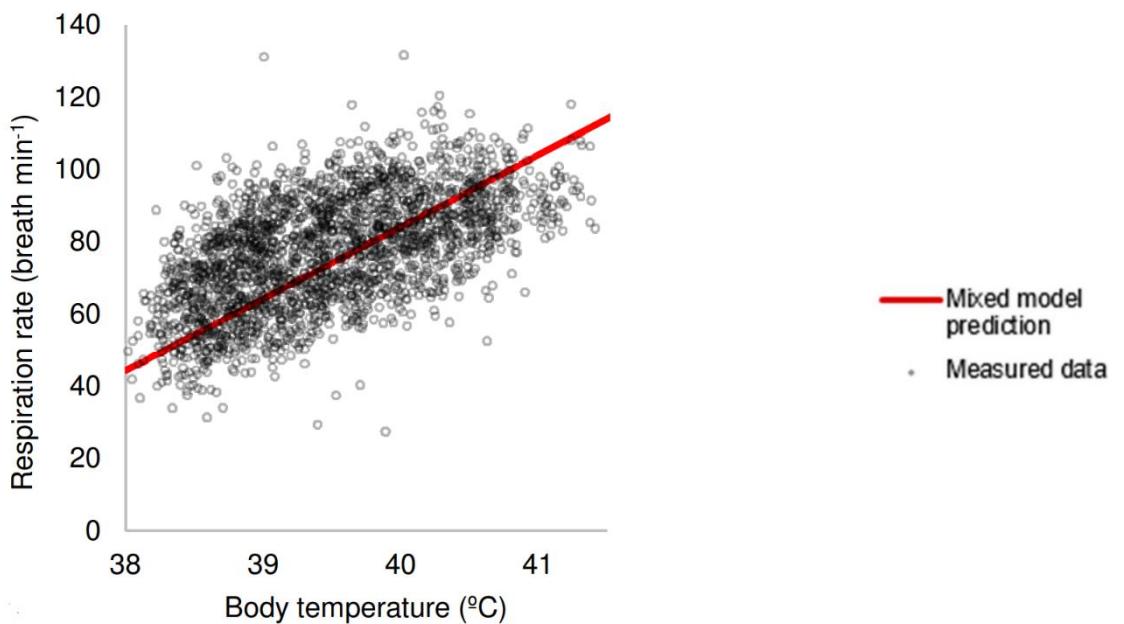


圖 3. 每小時測定平均呼吸速率與平均體溫的混合線性效應模型。

Figure 3. Hourly measured average respiration rate vs. average body temperature and prediction of linear mixed effects model (Atkins et al., 2018).

當溫溼度指數超過 72 時，牛隻呼吸速率會提高到 50-60 次/分鐘，顯示牛隻處於熱緊迫的狀態，需要透過更高頻率的喘氣將體熱排出，研究顯示環境溫度每提高 1°C ，呼吸速率會提高 3-9.3 次/分鐘（Das et al., 2016; Brown-Brandl and Jones, 2016; Gaughan et al., 2000）。

動物血液中的 pH 值的恆定，是透過複雜的緩衝系統維持在穩定的範圍內，一般狀態下會維持在 7.35 至 7.45 之間，而緩衝系統中的二氧化碳及重碳酸根則扮演了至關重要的角色 (Constable, 1999)。當呼吸速率上升，從肺部排出的二氧化碳也明顯增加，使血液中的碳酸濃度下降，這將可能會導致發生呼吸性鹼中毒 (Respiratory alkalosis) (Das et al., 2016)。因此動物需要通過排泄尿液中的重碳酸根來緩衝升高的血液 pH 值，以維持碳酸及重碳酸根的比例，重碳酸根為體內重要的血液 pH 緩衝系統，且碳酸及重碳酸跟比例最佳為 1 : 20，研究顯示，處於熱緊迫狀態下的動物，其血液中的碳酸及重碳酸根比例皆顯著低於無熱緊迫的動物，然而重碳酸根的流失卻會導致血液酸鹼緩衝能力下降，而上述現象也減少了可透



過唾液流入瘤胃緩衝和維持 pH 值的重碳酸根濃度，較常喘氣的牛隻伴隨流口水，減少了可流入瘤胃的唾液量，使熱緊迫牛隻更容易出現亞臨床和急性瘤胃酸中毒 (Beatty et al., 2006)。

二、乳牛乾乳期及轉換前期受熱緊迫的影響

相較於泌乳期乳牛，非泌乳期的乾乳牛所產生的代謝熱量較少，對於較高溫的環境耐受度較高，並且具有更高的上臨界溫度 (Hahn, 1999; West, 2003)。即使如此，熱緊迫仍然會影響牛隻在乾乳期的表現，且負面影響會延續到下一次泌乳期，而除了對該產次之泌乳期間的產奶量有直接影響外，也對後續產次的泌乳性能有殘留效應 (Carryover effects)。乾乳牛的熱緊迫也會影響牛隻的免疫和代謝功能，並改變胎兒生長和產後犢牛發育 (Tao and Dahl, 2013; Fabris et al., 2019)。

(一)、乾乳期及轉換期的重要性

乾乳期一般泛指分娩前 40-60 日停止泌乳直到分娩，而轉換期則為產前 21 日至產後 21 日，又依分娩日前與後分為轉換前期及轉換後期，此時期對於牛隻產後的健康、生產能力是非常重要的，這是由於牛隻準備從懷孕的非泌乳期轉換至非懷孕的泌乳期，對於牛隻來說是高危險性的轉變 (Drackley, 1999; Rastani et al., 2005)。

乾乳期是乳牛生產週期的關鍵時期。在此時期胎兒會快速生長約 60% 的出生體重。乾乳期也對於最大化該胎次的泌乳至關重要，在這個時期會更新衰老的乳腺上皮細胞 (Mammary epithelial cells) 並為下一次產乳做準備 (Grummer and Rastani, 2004)，除此之外這個時期也容易發生免疫功能障礙和能量負平衡 (Negative energy balance)，而導致健康和代謝紊亂的發生率增加 (Mallard et al., 1998)。懷孕後期同樣對於孕女牛後續泌乳表現有重大的影響，在這段期間除了牛隻本身體重的增長之外，約有 48% 到 94% 的乳腺的導管系統 (Duct system) 及上皮組織生長發生在此階段，為降低乳房脂肪組織比率的重要階段，顯示懷孕後期對於不只對於經產牛，



對於初產牛隻也同樣重要 (Knight and Peaker, 1982)。

乾乳期發生的熱緊迫不僅會對妊娠產生負面影響，亦會對後代產生負面影響 (Ouellet et al., 2020)，而轉換期的成功也決定了乳牛整個泌乳期的獲利能力，在此期間營養及飼養管理的限制可能會阻礙乳牛達到最大產乳量的潛能，而乳牛主要面臨的挑戰是由於產乳所突然而顯著增加的營養需求，而此時的乾物質採食量及營養補給都是遠遠不足的，而熱緊迫也被證實會顯著影響牛隻的採食量 (Drackley, 1999; Tao et al., 2020)，因此瞭解乾乳期熱緊迫對生產損害的潛在機制可作為改善乾乳期牛隻管理、提高牛群生產力和健康的基礎。

(二)、牛隻行為

懷孕後期牛隻一天中約花費 12-14 小時在躺臥休息，1.5 小時的時間進食，4-10 小時進行反芻 (Huzzey et al., 2005; Schirrmann et al., 2016)，牛隻在某些行為指標上，每日的花費時間呈現高度一致，而牛隻行為也被用於評估動物舒適度的指標，例如疾病、緊迫等等 (DeVries et al., 2003)。環境溫度是影響牛隻舒適度中非常重要的環境因素之一，而高溫和濕度相互作用後，牛隻遭受熱緊迫，嚴重降低了牛隻的環境舒適度，而熱負荷增加的牛隻可能會改變牠們的行為以改善散熱 (Polsky and von Keyserlingk, 2017)。

a. 躺臥及站立行為

躺臥行為的測量是乳牛舒適度的重要指標，在炎熱的條件下，牛隻將花費更多的時間站立並減少活動量，站立可以增加與體表面積與空氣接觸，有助於水分蒸散 (Evaporation)、輻射 (Radiation) 以及空氣流通所增加的對流 (Convection) 之散熱 (Polsky and von Keyserlingk, 2017)。

已有許多研究指出熱緊迫顯著影響牛隻的躺臥及站立行為，無論是乾乳期或是泌乳期，熱緊迫的牛隻相較於未受熱緊迫或有接受冷卻降溫處理的牛隻，皆表現較



少的躺臥時間及較多的站立時間 (Cook et al., 2007; Tucker et al., 2008; Nordlund et al., 2019; Karimi et al., 2015)。躺臥時間在牛的健康中具備重要作用，隨著躺臥時間的增加，蹄病和跛行的發生率會減少，若是無法給予牛隻足夠的躺臥時間，將對於未來的蹄部管理也造成影響 (Allen et al., 2014)。

b. 採食量

乾乳期(產前)乾物質採食量下降可能導致脂肪組織中的脂質動員，以非酯化形式釋放來自脂肪組織的游離脂肪酸 (None-esterified fatty acids, NEFA)，NEFA 可被許多組織用作能量來源能量平衡，但過多的 NEFA 導致牛隻產後發生脂質相關的代謝性脂肪肝 (Fatty liver) 和酮症 (Ketosis) 等疾病。因此，確保一致的採食量可降低進入能量負平衡狀態的風險，從而降低罹患代謝性疾病 (如酮症) 的風險，(Drackley, 1999; Hayirli and Grummer, 2004)。

乾乳期遭受熱緊迫的牛隻，相較於接受冷卻降溫或是未遭受熱緊迫的牛隻，約降低 10-25%的乾物質採食量 (Karimi et al., 2015; Seyed Almoosavi et al., 2021; Tao and Dahl, 2013)，這是由於環境溫度的升高對下視丘的食慾中心有直接的負面影響，而且牛隻為了減少因發酵所產生的內源性產熱，從而降低採食量(Das et al., 2016)。

c. 飲水、採食及反芻行為

反芻是反芻動物的自然行為，它需要降低食糜的顆粒大小，以便它們能夠通過蜂巢胃，除此之外，反芻可以使食糜在微生物發酵過程中為瘤胃細菌提供更多的接觸面積，反芻長期以來一直被認為與乳牛的健康有關，也可做為評估牛隻是否感到舒適的指標之一 (Schirmann et al., 2012)。高溫的環境條件會使牛隻體內蓄積熱能，從而影響它們的生理和行為，例如：牛隻會尋找陰涼處，透過減少活動量和採食量來降低熱量產生 (Tucker et al., 2008)。對於熱緊迫牛隻來說，水也是非常重要的，牛隻會透過皮膚出汗及呼吸排出體內水分，並藉由蒸散作用蒸散熱能，

當環境溫度超過上臨界溫度時，每上升 1°C ，飲水量也會上升 1.2 公斤/日 (West, 2003)。

研究顯示，無論使用偵測器觀測或是肉眼觀測的結果，遭受熱緊迫的牛隻，相較於接受冷卻降溫或是未遭受熱緊迫的牛隻有顯著較少的採食行為及較多飲水行為 (Chen et al., 2013; Chen et al., 2016; Ramón-Moragues et al., 2021; Tsai et al., 2020)，也觀測到顯著較少的反芻行為 (Müschner-Siemens, 2020; Abeni and Galli, 2017)。反芻行為除了被草料中物理有效中性纖維 (Physically effective neutral detergent fiber) 含量影響以外，環境造成的熱緊迫也會降低瘤胃的運動性 (Motility)，如收縮幅度和頻率，這種影響是直接的，並不受採食量變化的影響 (Attebery and Johnson, 1969)。

(三)、產乳表現

在乾乳期，乳腺會經歷 3 個時期：主動退化期 (Active involution)，即在泌乳停止後立即開始，代表從泌乳狀態過渡到非泌乳狀態的時期；穩定狀態 (Steady state)，代表非泌乳狀態；最後是再發育期 (Redevelopment)，此時開始發生乳生成 (Lactogenesis) 和初乳生成 (Colostrogenesis) (Hurley, 1989)。此過程乳腺組織經歷廣泛的生長和細胞更新，修復前一次哺乳期間的乳腺細胞損傷和替換衰老的分泌性上皮細胞 (Tao et al., 2011)。因此在乾乳期間遭受熱緊迫除了對乳腺更新產生損傷外，後續的泌乳性能也會受到負面影響 (Fabris et al., 2019)。

a. 產乳量

乳腺退化和再發育對於後續哺乳期的最佳產奶量很重要 (Hurley, 1989)，研究顯示乾乳期沒有受到熱緊迫或是接受降溫處理的牛隻，相較於乾乳期遭受熱緊迫的牛隻，擁有較高的產乳量及泌乳曲線，平均提高約 1.4-7.5 kg/day (Adin et al., 2009; Davidson et al., 2021; Fabris et al., 2017; Fabris et al., 2019; Tao et al., 2011; 陳, 2019)。



產前遭受熱緊迫除了與採食量直接影響牛隻生產之外，最主要則為影響乳腺細胞的更新，研究顯示產前熱緊迫的牛隻，相較於接受冷卻降溫處理的牛隻，其乳腺細胞增殖率顯著較低 (1.0 vs. 3.3%) (Adin et al., 2009; Tao et al., 2011)。

b. 乳脂肪

牛隻乳脂肪的合成，主要來自於瘤胃中微生物分解碳水化合物所產生的乙酸及丁酸，一般情況下乙酸為乳脂肪合成的主要碳源，而丁酸代謝後產生的 β -羥基丁酸 (β -hydroxybutyrate, BHBA) 也會進入脂質新生的路徑輔助乳脂肪的生合成 (de novo)，而當能量負平衡時，牛隻則會動員脂肪組織，並將脂肪分解為 NEFA，以 NEFA 為主要碳源合成乳脂肪，且佔有比例會依負平衡程度成正比 (Bauman and Griinari, 2003)。在泌乳期間遭受熱緊迫會產生由於採食量下降及牛隻傾向採食精料而非芻料所導致的乳脂肪含量的下降，且當 THI>72 時，THI 每上升一個單位，則乳脂肪會減少 0.012 公斤 (Bernabucci et al., 2015; Bertocchi et al., 2014; Bouraoui et al., 2002; Liu et al., 2019)。在乾乳期間遭受熱緊迫的牛隻則無觀察到類似影響 (Avendaño-Reyes et al., 2006; Davidson et al., 2021; do Amaral et al., 2011; Fabris et al., 2017; Fabris et al., 2019; Tao et al., 2011)。

c. 乳蛋白

牛隻採食後，瘤胃微生物將食團中的瘤胃可降解蛋白質 (Rumen degradable protein) 分解為胺基酸及氮，而胺基酸及氮經過微生物消耗能量合成微生物蛋白質 (Microbial protein)，並流入小腸吸收，因此食糧中的能量與蛋白質的搭配，在微生物合成微生物蛋白質的效率扮演相當重要的角色 (Broderick, 2003)。流入十二指腸中的微生物蛋白為牛隻重要的必需胺基酸來源，當血液流經乳腺時，乳腺可透過吸收利用血液中的必需胺基酸及葡萄糖合成乳蛋白 (Doepel et al., 2004)。泌乳期遭受熱緊迫會導致乳蛋白率的顯著下降 (Bernabucci et al., 2015; Bertocchi et al., 2014;



Bouraoui et al., 2002; Hill and Wall, 2015; Liu et al., 2019)。研究指出泌乳期遭受熱緊迫所導致的乳蛋白率的下降，採食量下降只佔成因的一部份，熱緊迫也會改變牛隻的內分泌影響乳腺合成蛋白質，當牛隻遭受熱緊迫會改變生長激素軸 (Somatotropic axis) 的內泌素分泌，導致降低了乳腺對於營養份的利用，並增加肝臟對於營養份的利用，以利於對抗環境造成的緊迫 (Rhoads et al., 2009)。在乾乳期間遭受熱緊迫的牛隻則只有在初乳合成階段觀察到乳蛋白較低的現象 (Avendaño-Reyes et al., 2006; Davidson et al., 2021; do Amaral et al., 2009; Fabris et al., 2017; Fabris et al., 2019; Tao et al., 2011)。

d. 乳糖

乳糖具有調節滲透壓的功能，乳糖量在一定程度上決定了乳量的多寡。乳腺細胞的高基氏體透過源自血液的葡萄糖合成為乳糖，為了維持滲透壓，高基氏體會將水經濃度梯度被動滲透進囊泡稀釋乳糖，因此乳糖具調節乳汁中水份含量的功能，一般情況下乳糖含量約為 4.6% (Holt, 1983)。牛隻為低血糖動物，血中的葡萄糖主要來自瘤胃微生物發酵產生的丙酸，在經肝臟代謝後合成為葡萄糖。Baumgard 等人於 2011 年的研究表示，當處於熱緊迫時，牛隻會增加胰島素 (Insulin) 的分泌量，降低體內血糖含量及葡萄糖使用率，並迫使身體重新分配能量，減少乳腺對於葡萄糖的使用，使得乳量及乳糖降低。在泌乳期間受到熱緊迫的牛隻相較於有接受降溫處理的牛隻，有較低的乳糖含量，但仍在標準值範圍內 (van Laer et al., 2015; Wheelock et al., 2010)。只在乾乳期受到熱緊迫影響的牛隻則無觀察到類似現象 (Avendaño-Reyes et al., 2006; Davidson et al., 2021; do Amaral et al., 2009; Fabris et al., 2017; Fabris et al., 2019; Tao et al., 2011)。

e. 體細胞數 (Somatic cell count)

體細胞主要是從乳腺內壁脫落的分泌乳汁的上皮細胞，以及因損傷或感染而



進入乳腺的白血球。在炎症期間，體細胞數的主要增加是由於嗜中性白血球流入乳中以抵抗感染，目前體細胞數已被作為乳房內感染（Intramammary infection）的重要指標，並可用於監控牛隻是否發生乳房炎（Mastitis）(Sharma et al., 2011)。體細胞數為我國生乳評級的重要標準之一，根據我國國家標準 CNS3055 之規範，主要分為四級，A 級為體細胞數每毫升 3×10^5 以下，B 級為每毫升 $3-5 \times 10^5$ ，C 級為每毫升 $5-8 \times 10^5$ ，D 級為每毫升 $8-10 \times 10^5$ ，當體細胞數超過每毫升 10^6 時則視為廢棄乳。泌乳期的牛隻，環境 THI 與體細胞數為正相關，當環境 $\text{THI} > 72$ 時，體細胞數也會隨之上升 (Hammami et al., 2013; Smith et al., 2013)。由於長期熱緊迫會迫使細胞免疫降低，也會增強體液反應和血漿皮質醇濃度升高，使得免疫能力下降 (Lacetera et al., 2005)，目前相關文獻對於在乾乳期間遭受熱緊迫是否使產後乳房炎發生機率上升的結果仍不一致 (Menta et al., 2022; Thompson and Dahl, 2012)。

f. 酮體 (Ketone body)

酮體為肝臟的代謝產物之一，酮體包括丙酮 (Acetone)、乙醯乙酸 (Acetoacetate) 及 β -羥基丁酸 (β -hydroxybutyrate; BHBA)，血液中酮體的含量可以反應牛隻的代謝狀態，在能量正平衡的狀態下，牛隻可以利用丙酸、胺基酸、乳酸與甘油做為原料，透過肝臟糖質新生 (Gluconeogenesis) 產生葡萄糖為血糖提供身體組織使用，然而泌乳期的牛隻由於需要大量血糖製作乳糖以提供泌乳使用，當採食量不足以提供足夠糖質新生的材料時，牛隻會進入能量負平衡的狀態並動員脂肪組織，分解脂肪酸產生 NEFA 並給予肝臟使用，而過多的 NEFA 迫使肝臟啟動酮體生成路徑 (Ketogenesis) 產生酮體，當體內循環的酮體過高則為酮症 (Ketosis) (Herdt, 2000)。測量血液中的酮體可作為酮症的指標之一，而研究指出牛乳中與血液中的 BHBA 含量成高度正相關，因此檢測牛乳中的 BHBA 為監控牛隻是否酮症的“黃金標準方法” (Carrier et al., 2004; Enjalbert et al., 2001)。在乾乳期間遭受熱緊迫使產後酮症的機率增加 (Thompson and Dahl, 2012)。



(四)、繁殖表現

繁殖表現是乳牛場盈利能力的主要決定因素之一，乾乳期及轉換前期管理一直是影響產後繁殖表現的一大關鍵，例如：維持轉換前期的採食量可加速卵巢活動的恢復，轉換期間的能量平衡也可以提高分娩後的類胰島素生長因子（Insulin-like growth factor 1）與胰島素濃度，防止發情延遲及黃體功能受損等等（Gumen et al., 2011）。熱緊迫已被證實對於發情週期牛隻之繁殖表現有許多負面影響，由於熱緊迫會影響性腺激素（Gonadotropin）的分泌，例如：減少黃體生長素（Luteinizing hormone, LH）分泌及卵巢上 LH 受體(Receptor)的敏感性，影響優勢濾泡(Dominant follicle) 及功能性黃體 (Corpus luteum) 的發育和延遲排卵的發生，使動情素 (Estrogen) 與孕酮 (Progesterone) 分泌減少，導致懷孕率 (Conception rate) 下降、胚胎早期流產及卵巢囊腫發生率增加、乏情期 (Anestrus) 延長及駕乘行為減少。除 LH 之外，熱緊迫也會導致血液中的抑制素 (Inhibin) 濃度下降，並協同因優勢卵泡發育不良而減少的負回饋 (Negative feedback)，造成濾泡刺激素 (Follicle-stimulating hormone, FSH) 濃度上升，可能為夏季雙胞胎機率增加的原因。研究顯示受熱緊迫影響的泌乳期牛隻具有較長的空胎期 (Days open)、較低的懷孕率及較多的配種次數(Das et al., 2016; Mellado et al., 2013; Negrón-Pérez et al., 2019; Sammad et al., 2020; Wolfenson and Roth, 2019)。只在乾乳期受到熱緊迫的牛隻，相較於有使用降溫處理或是未受到熱緊迫影響的牛隻，具有較短的懷孕期(Fabris et al., 2019; Seyed Almoosavi et al., 2021; Tao et al., 2012)，然而目前對於乾乳期的熱緊迫是否影響隨後產乳期的繁殖表現仍有不同結論，Thompson and Dahl (2012) 研究顯示乾乳期遭受熱緊迫的牛隻，在隨後的泌乳期表現較長的空胎期、需要較多的配種次數。Pinedo and DeVries (2017) 研究指出，夏季分娩的牛隻相較於冬季分娩，具有較長分娩後初次發情所需的天數與空胎期。Karimi et al. (2015) 的研究顯示，在分娩前 21 日開始接受冷卻降溫處理的牛隻與熱緊迫的牛隻，其空胎期、配種次數及



懷孕天數之間並沒有顯著差異，作者認為降溫處理時間若延長至整個空胎期才會表現出差異。Avendaño-Reyes et al. (2006) 在分娩前 60 天接受降溫處理的牛隻，比起熱緊迫的牛隻，具有較短的空胎期及較少的配種次數。

(五)、後代表現

懷孕期間的母體環境是影響後代成年後表現型的關鍵因素，例如：懷孕期間的營養、同時泌乳、產乳量和胚胎發育過程中發生疾病，都可能成為後代充分表現其遺傳潛力的阻礙 (González-Recio et al., 2012)。在同時泌乳和懷孕的乳牛中，營養物質必須在胎盤和乳腺之間分配，胎盤的主要作用是提供胎兒和母體系統之間的生理交換，懷孕期間胎兒體重、胎盤大小以及子宮和臍帶血流量之間的關係十分密切，牛隻從懷孕中期到晚期，子宮血流量增加約 4.5 倍，因此，充足的胎盤血流量對胎兒的生長至關重要 (Reynolds et al., 2006)。由於熱緊迫會導致胎盤與子宮的血流量減少，使胎兒的氧氣及營養物質供應減少，對胎兒的發育產生負面的影響，如：出生體重減少、日增重較少及較低的離乳體重 (Ahmed et al., 2021; Dahl et al., 2016; Tao et al., 2012)。熱緊迫除了影響後代生長性能之外，也會影響後代免疫功能，在乾乳期受到熱緊迫的牛隻，其血液中泌乳素 (Prolactin, PRL) 的循環濃度較高，影響了母畜 PRL 信號的傳遞，PRL 信號已被證實可調節先天性免疫及後天性免疫功能，也觀察到受到熱緊迫牛隻的初乳中免疫球蛋白 G (Immunoglobulin G) 含量相較於有接受冷卻降溫處理的牛隻顯著較低 (do Amaral et al., 2011; Ouellet et al., 2020; Tao et al., 2012; Tao and Dahl, 2013)。對於犢牛而言，在子宮內受到熱緊迫影響的小牛，對於移行抗體 (Maternally derived antibody) 也具有較差的表面吸收率 (Apparent efficiency of absorption) (Laporta et al., 2017; Tao et al., 2012)。在乾乳期於子宮內遭受熱緊迫的犢牛，成年後乳腺細胞發育也會受到影響，研究顯示，於母牛乾乳期在子宮內受到熱緊迫的犢牛，相較於母牛有接受降溫冷卻處理的犢牛，在成年後第一次泌乳時，其乳腺細胞在結構學上有所不同，受熱緊迫的小母牛



之乳泡較小，乳泡數量也較少 (Dado-Senn et al., 2019; Skibiel et al., 2018)

除了發育受到影響之外，乾乳期時受到熱緊迫的小女牛成年後的泌乳表現同樣也會有遺留效應，Skibiel et al. (2018) 的研究顯示在乾乳期沒有受到熱緊迫的小女牛成年後，其泌乳量優於受到熱緊迫者。Laporta et al. (2020) 研究發現，在母畜乾乳期受到熱緊迫的犢牛 (F1)，在第一、二、三個泌乳期的產乳量，皆低於沒有受到熱緊迫的犢牛，且除了產乳量外，也具有顯著較短的壽命及較高的淘汰率，但由於 F1 的犢牛來自不同父畜精液，因此是否為熱緊迫遺留效應仍是待研究之事。

三、如何改善熱緊迫

鑑於熱緊迫對於牛隻的影響，如何改善牛隻熱緊迫對於養牛業者來說成為一個迫切待解決的問題。牛隻的散熱主要以四種方式來維持熱平衡 (Heat balance)：非蒸發性的輻射 (Radiation)、傳導 (Conduction) 及對流 (Convection) 與蒸發 (Evaporation) 散熱，在低溫環境下由於身體與環境之間溫差較大，則主要依靠非蒸發性、顯熱 (Sensible) 傳遞的方式進行散熱，身體的顯熱損失主要依靠體內外的溫度梯度 (Gradient)，將熱能自高溫處透過不同介質或不同方式傳遞至低溫處，以達到散熱的效果。若環境為高溫環境時，非蒸發性散熱的熱損失效率下降，則牛隻會增加蒸發性、潛熱 (Latent) 的方式進行散熱，透過喘氣 (Panting) 及出汗 (Sweating) 將體內水分排出體外，並透過環境溫度將水分蒸發，並藉此帶走較多的熱能。可以透過調整環境因子以達到增加散熱的效果，例如：提供風扇增加空氣對流、改變地板材質使牛隻躺臥時的傳導散熱增加、使用灑水降溫 (Spraying) 策略搭配風扇增加牛隻的蒸發散熱 (Kadzere et al., 2002; Maia et al., 2005)。

除了增加散熱之外，也可以透過減少熱能的產生與蓄積以達到改善熱緊迫，包含透過改善環境及營養策略，以緩和炎熱氣候帶來的影響，例如：使用遮蔭 (Shade) 避免陽光直接照射、改變遮蔭天花板使用的材質減少輻射熱、改變飼糧中芻料中中性纖維 (Neutral detergent fiber, NDF) 及酸性纖維 (Acid detergent fiber, ADF) 的比



例以減少因熱緊迫導致的採食量下降所導致營養攝食不足之壓力、增加飼糧蛋白質含量提供瘤胃合成足夠的微生物蛋白質以提供乳腺有足夠的胺基酸使用 (Das et al., 2016; Kadzere et al., 2002; West, 2003)。

1. 遮蔭

陽光輻射 (Solar radiation) 為環境中主要的熱能來源，且為影響赤道附近地區的主要環境因素，輻射包括直接來自太陽的直接輻射，以及被雲層反射的漫射 (Diffuse)，對於黑球溫度 (Black globe temperature) 影響甚鉅，但較不影響 THI (Buffington et al., 1981; Da Silva et al., 2015)。

遮蔭可以防止太陽輻射直接作用於牛隻身上，當牛隻受到陽光照射時，核心體溫會逐漸上升，牛隻也會傾向尋找遮蔭處躲避太陽直接照射，且當遮蔭處距離水槽越近，則牛隻願意花費在遮蔭處的時間會更多。在溫帶環境下，使用遮蔭的牛隻的每日產乳量也顯著高於沒有使用遮蔭的牛隻，陰道、直腸溫度及呼吸速率也顯著較低，且遮蔭可使牛隻的輻射熱負荷降低約 45% (Kamal et al., 2018; Kendall et al., 2006; Oliveira et al., 2019; Schütz et al., 2010)。

研究建議乳牛遮蔭設置在高於牛隻 4.3 m，以減少從屋頂反射的陽光輻射 (Collier et al., 2006)。遮蔭使用的材質也會影響遮蔭的效果，其中鍍鋅鐵板 (Galvanized iron)、木質及瓦製屋頂為佳，並於屋頂下加上隔熱材質如：木栓 (Cork)、發膨聚苯乙烯 (Expanded polystyrene)、玻璃棉 (Glass wool) 或保利生 (Polyurethane) 等等，使用隔熱材質最多可以減少高達 90% 的輻射熱。除增加隔熱，亦可以使用白色或灰色塗料，增加反射率，使用白色塗料之反射率可達 55%。還可以在屋頂上增加植被，透過植物進行全天候的蒸發循環以達到降溫效果，或是可以在屋頂上噴灑水霧，透過蒸發散熱降低熱傳導，避免輻射熱影響牛隻 (Firfiris et al., 2019; Kamal et al., 2018; Schuberger et al., 2020)。



2. 風扇

空氣流動是緩解熱緊迫的方法之一，可以透過增加空氣流動以提升對流和蒸發散熱，對流散熱是透過體表與空氣之間的溫度梯度傳導熱能，風扇可以增加空氣流動使體表接觸較多溫度較低的空氣以增加對流，倘若自然通風或機械通風提供的氣流量不足，則於畜舍內設置風扇增加空氣對流。相較於乾燥區域，濕度較高的區域，設置風扇可以有效地增加牛隻的蒸發散熱（Fournel et al., 2017; Turner et al., 1992）。對流傳熱的量取決於體表與空氣之間的溫度梯度的大小。因此對流散熱的最大梯度一般出現在夜晚，此時空氣溫度通常為一天中最低，而空氣與體表的溫度梯度通常最大，在夜晚時釋放每天暴露於熱緊迫期間累積的熱能對於牛隻的熱平衡是極為重要的，夜晚也持續使用風扇進行散熱時，可以達到最大的對流熱交換（Igono et al., 1992; Spiers et al., 2018）。風扇除了實現對流散熱之外，也可以增加畜舍內的換氣率（Ventilation rate），不同的通風方式也會有不同的空氣流向及換氣率（圖 4），良好的換氣率有助於保持畜舍內壓力較小的環境，並保持更好的空氣品質，可以減少病原菌及有害氣體，以避免牛隻發生呼吸道及眼睛周邊的感染疾病（Mondaca, 2019）。

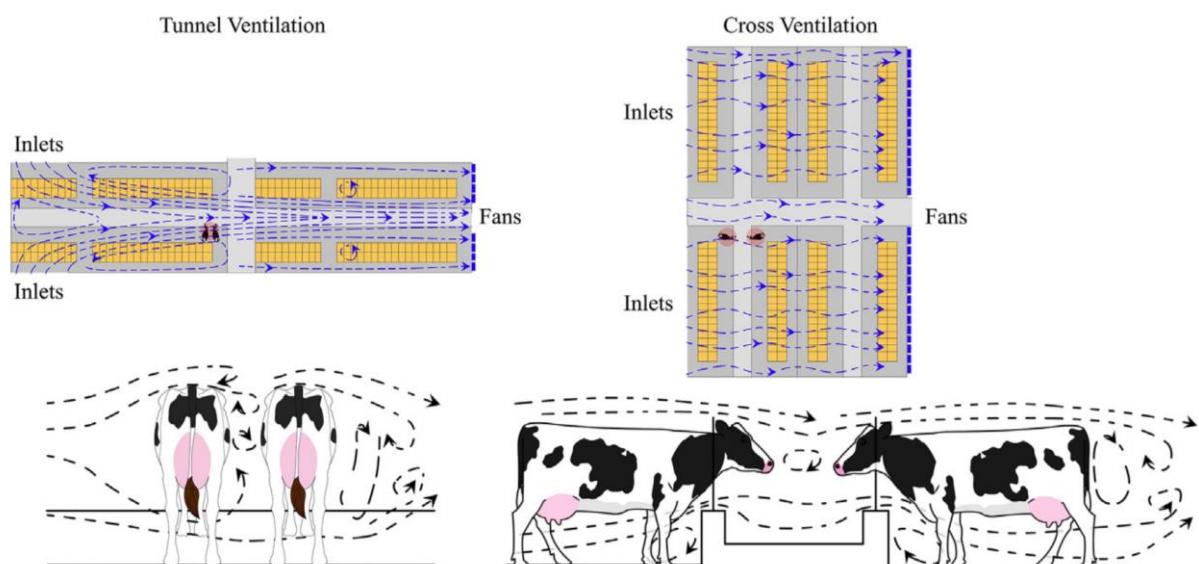


圖 4. 常見風扇通風方式（左：隧道式通風；右：交叉式通風）空氣流向圖。

Figure 4. Typical flow profiles for tunnel-ventilation (left) and cross-ventilation (right) systems (Mondaca, 2019) .



3. 灑水降溫

灑水降溫是利用水滴蒸發的汽化焓 (Enthalpy) 進行冷卻的方法，依照水珠不同的大小分為水霧 (Mist)、灑水 (Spray; Sprinkle) 及淋浴 (Soak)，可使用不同的噴頭 (Nozzle) 調整，並搭配風扇提升蒸發的速度。水霧是利用水滴較小 (直徑約 10-20 微米) 的水霧快速吸收環境的熱量，當水霧噴出時，水霧會立即散佈在風扇的氣流中，並且很快被蒸發，可以藉此降低空氣的溫度，而當冷卻的空氣吹過牛隻的身體並吸入冷卻的空氣時，牛隻會感到寒冷，研究指出使用水霧可以將環境溫度降低 2 到 9°C，但也會使環境濕度提高，因此適合使用於乾燥的氣候 (Almuhanne et al., 2021; Calegari et al., 2012; Chaiyabutr et al., 2021; Ryan et al., 1992)。灑水及淋浴是將水透過灑水器直接噴灑在牛隻身上，大水滴會弄濕牛的毛皮和皮膚，使其表面透過體表與水的接觸增加傳導散熱，且牛隻的體溫也會幫助水滴蒸發，然而單獨使用灑水並不能減少牛隻的熱緊迫，必須搭配風扇，風扇迫使空氣流過牛隻的身體，提高牛隻體表的水滴汽化的速度，增加牛隻的蒸發散熱，研究顯示使用此方式降溫，可以使環境溫度降低 0.2 到 4.9°C，和相對濕度增加 0.6 到 24.4%，而牛隻的核心溫度也可以下降 0.3 到 1.1°C，呼吸速率每分鐘則可以減少 7 到 55 次，而此種降溫方法也較適用於相對濕度較高的區域 (Brouk et al., 2005; Chen et al., 2015; Collier et al., 2006; Igono et al., 1985; Ji et al., 2020)。然而空氣中的相對濕度會影響蒸發散熱的效果，水氣的蒸發是一種動態平衡 (Dynamic equilibrium) 的過程，動物體表的水會與空氣中的相對濕度形成濃度梯度，此時若蒸發速率 > 凝結速率，藉此將水氣蒸散至空氣中並達到降溫的目的。因此當相對濕度高時，蒸發速率 \leq 凝結速率，導致水分無法散失到空氣中，進而影響降溫系統的效果 (Caplan, 1966; Girard et al., 2008)。Haeussermann et al. (2007) 於豬舍水霧風扇系統降溫的研究指出，當相對濕度高於 80% 時，則蒸發速率只有相對濕度 53% 時的 0.65 倍，顯示當相對濕度高時，並不適合使用水霧或灑水風扇系統進行動物體的降溫。

此外，由於灑水淋浴降溫系統可能需要大量的水資源，且會產生大量的畜牧廢



水。隨著環保意識的興起及相關法規的設立，減少用水並達到最大的降溫效果，成為使用灑水降溫系統所需考慮的最重要的一環。

4. 營養策略

熱緊迫狀態會導致牛隻採食量下降，使得牛隻可利用的營養攝取量減少，進而影響牛隻的產乳表現及繁殖表現，而良好的營養策略可以協助牛隻維持體內生理平衡及防止因熱緊迫所引起的能量負平衡，減緩因熱緊迫引起的產乳表現及繁殖表現的下降 (dos Santos et al., 2021; Min et al., 2019)。

為了消化及代謝飼糧中的纖維，牛隻體內會產生較高的食餘熱(Heat increment)以及發酵熱 (Baumgard et al., 2014)，因此協助牛隻消化飼糧中的纖維，可以降低熱緊迫帶來的影響。當飼糧中的中洗纖維，使用非芻料的纖維來源取代一定比例的芻料纖維時，可以提高飼糧的適口性及消化率，進一步提高採食量，研究指出在熱緊迫情況下使用較易消化的木薯或是大豆殼取代部分草料的纖維，可以顯著提升採食量，進而提升產乳量及 4%脂肪校正乳量，而在行為表現的部分，可以觀測到餵食纖維取代物的牛隻具有較多的躺臥時間，推測可能是因較少的芻料纖維，會產生較少的食餘熱及發酵熱，使牛隻的熱緊迫狀態較為緩解 (Halachmi et al., 2004; Kanjanapruthipong et al., 2015)。除了取代纖維之外，無論是初產牛或經產牛，在飼糧中提供額外的過瘤胃脂肪也可以提高在熱緊迫時牛隻的產乳表現，若是直接添加不飽和脂肪酸提高飼糧中的脂肪含量，可能會干擾瘤胃發酵，影響乙酸及丙酸的比例，雖然可以有效提高產乳量，卻會顯著降低乳脂肪率 (Drackley et al., 2003)。

在日糧中添加微生物製劑同樣能改善熱緊迫狀態下的牛隻表現，例如酵母 (Yeast) 或酵母培養物，酵母可以提高瘤胃微生物對於纖維消化的能力，避免瘤胃因微生物產生過多的乳酸所導致的過酸症。酵母菌添加於熱緊迫牛隻時，無論是泌乳初期或中期，對於牛隻採食量、乳脂肪率及乳量皆有顯著的正面效果 (Dehghan-Banadaky et al., 2013; Perdomo et al., 2020)。



四、在乾乳期不同階段實施降溫處理的差異

乾乳期的不同時間開始接受降溫處理對於牛隻的效果有差別，Karimi et al. (2015) 研究在分娩前 21 日開始接受降溫處理，接受降溫處理的牛隻於分娩後乳量相比對照組，提升了 4.1 kg/day。Fabris et al. (2017) 則在分娩前 46 天開始接受降溫處理，接受降溫處理的牛隻於分娩後的乳量相較於對照組，則提升了 4.6 kg/day。Seyed Almoosavi et al. (2021) 則於分娩前 45 日開始接受降溫處理，而接受降溫處理的牛隻於分娩後的乳量相較於對照組，提升了 3 kg/day。上述結果顯示在乾乳期不同時間開始接受降溫處理對於提升牛隻分娩後的乳量皆有良好的效果。因此有其他作者比較乾乳期不同時期接受降溫處理對於牛隻分娩後的表現有何種的影響，研究比較分娩前 46-21 天的乾乳前期，分娩前 21 天的乾乳後期、完整乾乳期接受降溫處理及對照組，結果顯示，在完整乾乳期接受降溫處理的牛隻，其乳量顯著高於其他三組，而其他三組間則無顯著差異。在乾乳期的任一時期暴露於熱緊迫的環境中，會使乾乳期的乳腺退化期受到延長，而乳腺細胞的細胞自噬及細胞凋亡的相關的基因信號也會受到延遲，進而影響乳腺細胞的更新，導致乳房結締組織的增生，使該次泌乳期的產乳表現受到負面影響 (Fabris et al., 2019; Fabris et al., 2020)。

五、蒸發散熱降溫系統對於畜舍微環境的影響

台灣乳牛飼養方式為集約式飼養，且多為半開放式畜舍。牧場常見的蒸發散熱降溫方式為透過灑水噴頭搭配風扇進行降溫，然而不論使用何種口徑的灑水噴頭，皆會對於畜舍造成一定的影響。使用水霧可以有效降低空氣溫度，但卻會顯著提升空氣中的相對濕度，在高環境溫度及高相對濕度的氣候條件下會使得蒸發散熱的效率下降，甚至使牛隻的體溫上升；在牛隻休息區域使用較大直徑水滴的淋浴及灑水，雖然可以顯著降低牛隻體溫及呼吸速率，即使有配合隧道式風扇，卻亦會造成地面及環境的潮濕 (Brouk et al., 2005; Lin et al., 1998)。

環境的潮濕為牛隻發生乳房炎 (Mastitis) 及蹄部病變的主要因素之一。乳房



炎的發生原因為環境性、遺傳性及傳染性，而環境性的乳房炎主要為大腸桿菌屬 (*Escherichia*)、鏈球菌屬 (*Streptococcus*) 及克雷氏桿菌屬 (*Klebsiella*) 等環境常在菌感染導致，環境常在菌的來源則主要為糞尿中的腸道菌，牛隻一天花費 12-14 小時躺臥在地板上，位於腹側的乳房也同樣與地板接觸，潮濕的地面環境混和糞尿後會使病原菌大量孳生，使得乳頭暴露於大量病原菌之中，而導致乳房炎的發生率增加 (Blowey and Edmondson, 2000; Sinha et al., 2021)。

趾間病變及蹄底潰瘍為乳牛常見的蹄部病變，趾間病變包含趾間皮膚炎 (Interdigital eczema)、趾間毛髮疣 (Digital dermatitis) 及趾間皮膚增生症 (Interdigital fibroma)，趾間病變為細菌性感染所引起的疾病，會造成牛隻不適及疼痛進而跛行，主要引起細菌為螺旋菌屬 (*Treponema*)，潮濕的環境會使病原菌增生致使趾間病變的機率增加。蹄底潰瘍則是因蹄部長期浸泡在潮濕環境中，導致蹄部軟化，再因牛隻行進間大角度的轉彎或是踩到硬物所引起 (Kofler, 2017; Palmer and O'Connell, 2015)。因此保持環境乾燥則可以使蹄部病變發生率降低，減少牛隻因跛足的淘汰。

六、台灣環境現況

台灣位於亞熱帶季風氣候，除了氣溫高以外，相對濕度也相當高，所以溫濕度指數也相對提高，且熱季的時間也很長，使得台灣的乳牛長時間處於熱緊迫的狀態。謝等人 (2007) 根據中央氣象局的資料，整理台灣各地從 1976 年至 2005 年，一年間平均及最高溫濕度指數的變化(圖 5)，圖中顯示台灣的低海拔地區熱季相當長，以北部區域(台北、新竹)為例，以平均溫度計算 THI 時 (THI 值以 National Oceanic and Atmospheric Administration (1976) 法計算最高及平均 THI 值。其公式： $THI = 9/5T + 32 - 0.55 \times (1 - RH) \times (9/5T - 26)$)，從四月開始直到十月，有六個月的時間會使牛隻處在熱緊迫的狀態 ($THI \geq 72$)，使用最高溫度計算 THI 時，則會從三月開始直到十一月，有八個月的時間使牛隻處於熱緊迫狀態 ($THI \geq 72$)，尤其台灣選用



不耐熱的荷蘭牛做為乳牛，對於高溫環境更加敏感，勢必會降低產乳表現及繁殖表現。張等人（2018）則記錄了台南地區乳牛場畜舍內之月平均 THI（圖 6），記錄時間從 2015 年到 2017 年，使用與謝等人（2007）相同的計算公式計算 THI，結果顯示南部區域從四月開始直到十一月，有七個月的時間處於熱緊迫狀態 ($\text{THI} \geq 72$)，且台灣熱季經常伴隨梅雨季節，對於牛隻緊迫狀態無疑是更加一級，且也會明顯影響牛隻的產乳表現。

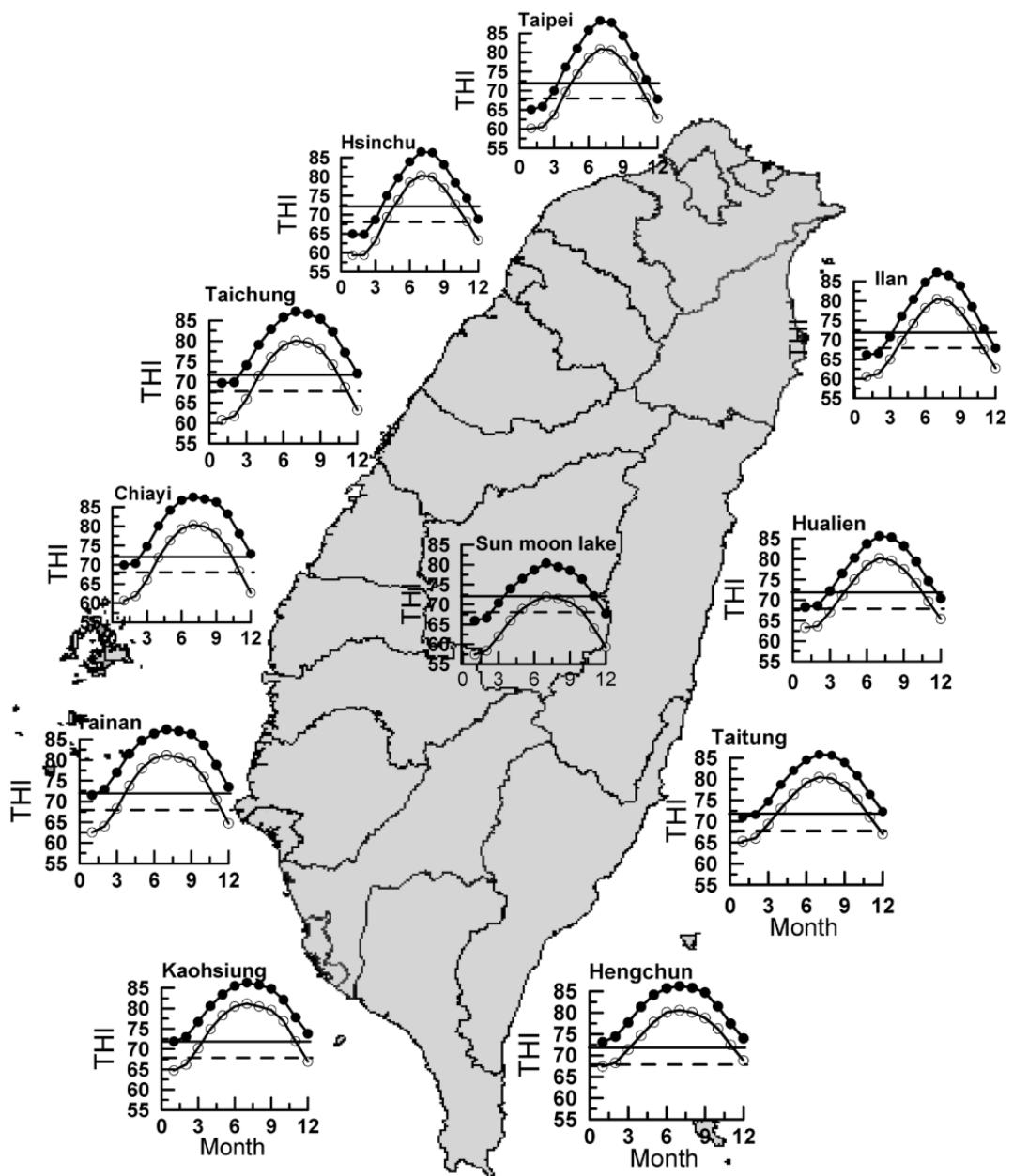


圖 5. 臺灣各地區 1976 至 2005 年之月溫濕度指數（●為最高 THI，○為平均 THI，虛線為 THI=68，實線為 THI=72）。

Figure 5. Monthly THI from 1976 to 2005 in Taiwan area (● for maximum THI, ○ for average THI, dotted line for THI=68; solid line for THI=72).

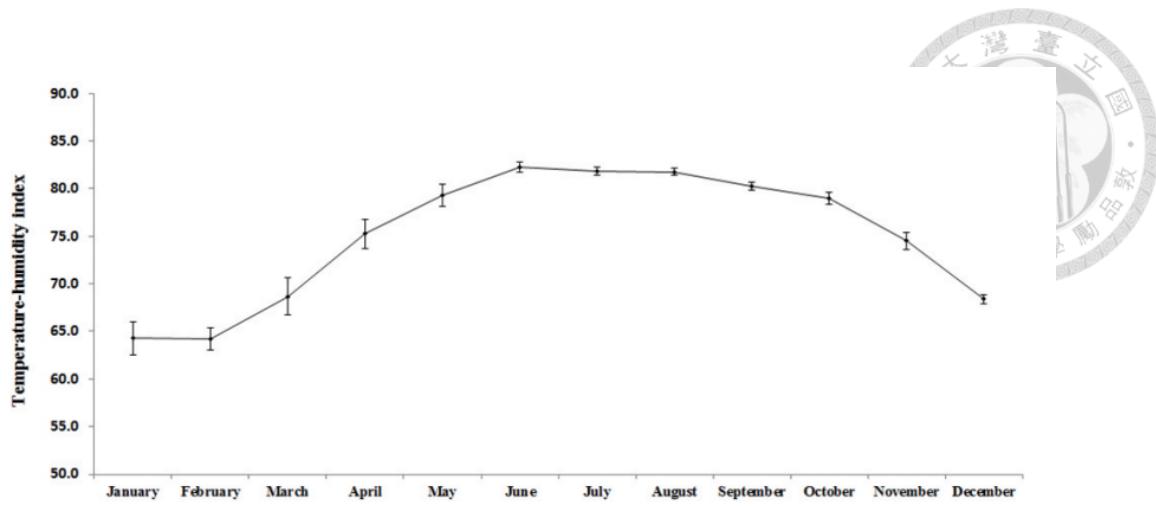


圖 6. 台南地區乳牛場畜舍內 2015 年至 2017 年之月平均溫濕度指數。

Figure 6. Monthly average temperature-humidity index of dairy farm from 2015 to 2017 in Tainan area.

貳、材料與方法



本研究於桃園市中壢區之商業乳牛場進行，試驗期為西元 2021 年 6 月至 2021 年 9 月執行完畢，試驗處理期間各月平均溫度與最高溫、最低溫如表 2 所示（交通部中央氣象局）。試驗分為兩階段，第一階段搜集使用不同降溫方式（集中噴淋及頸夾噴淋）後之不同產乳階段的泌乳牛隻以及乾乳牛在一日間核心體溫變化及兩種處理間影響程度差異，第二階段為延伸第一階段之試驗結果中較佳降溫方式及條件，使用於不同階段之經產乾乳牛，搜集試驗期間牛隻生理、行為及產後表現，環境溫度及濕度變化，並計算溫濕度指數，於牛隻產後追蹤產乳紀錄、繁殖表現及犢牛生長表現，以比較不同時期進行降溫對於乾乳牛隻與畜舍環境的影響。

表 2. 西元 2021 年 6 到 9 月桃園市中壢區之月平均溫、最高溫、最低溫統計

Table 2. The average temperature, maximal temperature, minimal temperature in Zhongli District, Taoyuan City, Taiwan in June to September, 2021

Month	T _{Aver} (°C)	T _{Max} (°C)	T _{mini} (°C)
June	28.1	34.1	20.9
July	29.1	35.7	23.4
August	28.2	34.2	23.0
September	28.5	34.3	23.7

T_{Aver} : Average temperature

T_{Max} : Maximal temperature

T_{mini} : Minimal temperature



一、試驗動物

本研究的動物試驗經本校實驗動物照護及使用委員會審查同意，動物實驗申請表暨同意書標號：110 實證字第 00071 號。本試驗總計共使用 29 頭荷蘭牛（Holstein-Friesian），平均胎次 2-6 胎，第一階段試驗期使用 9 頭泌乳牛及 3 頭乾乳牛，泌乳牛群依照不同產乳階段及乳量（高產、中產、低產）及乾乳牛分別隨機選取 3 頭作為試驗動物。第二階段受限於牧場空間，因此只選用 18 頭經產乾乳牛作為試驗動物。

二、畜舍環境

該牧場規模為 500-600 頭荷蘭乳牛，分為三大區域，分別為：女牛區、孕女牛區、泌乳牛及乾乳牛區（圖 7），所有欄位皆使用自扣式飼槽頸夾，除乾乳牛區外皆具備走道區及牛床，且凡牛隻會使用之區域皆鋪設塑膠軟墊防止蹄部傷害。

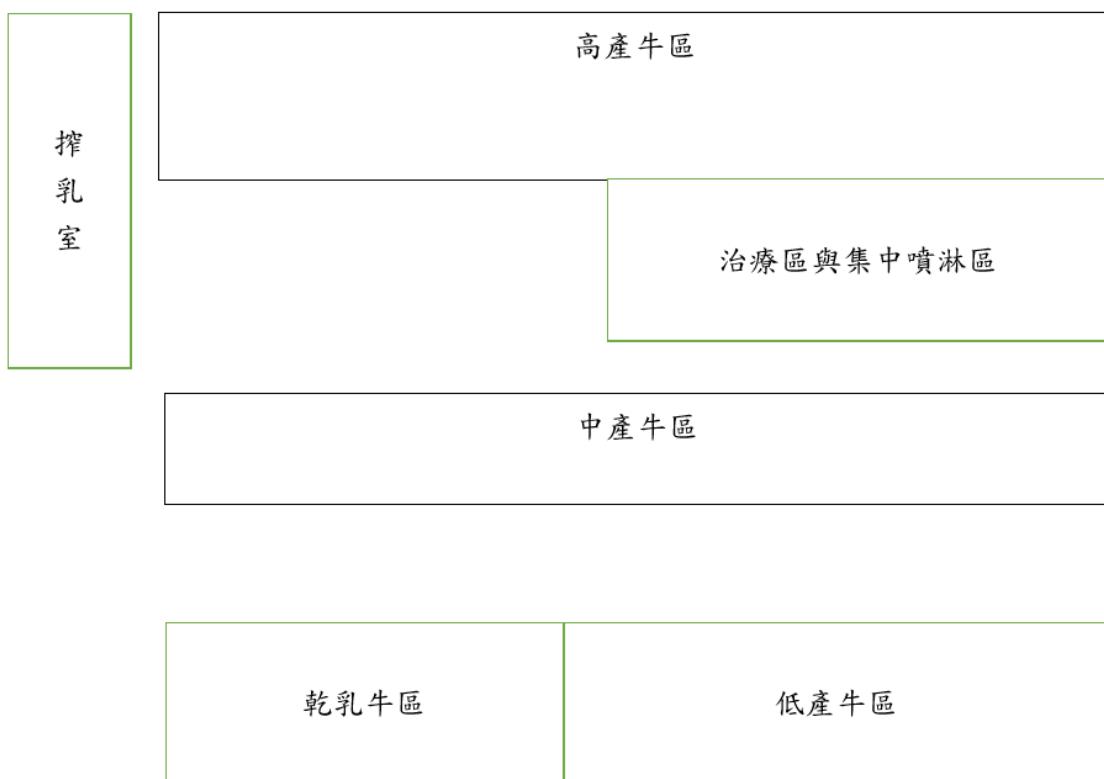


圖 7. 泌乳牛及乾乳牛區域配置圖。

Figure 7. Site plan of dairy cows and dry cows.



(一)、低產牛、乾乳牛區

本區屋頂遮蔭為外層不鏽鋼及內層木造條狀式，並搭配太子樓構造，太子樓為屋脊處開設開口，可使熱空氣不蓄積於屋頂內。此區配置四個水槽，風扇設有筒式風扇及吊扇，筒式風扇設置於頸夾上方約 2 公尺處，每間隔六頭牛設置一個風扇，風扇傾斜角度約為 45 度，風速為 3 m/s。全區皆有室外活動場，活動場與牛隻生活區域設有黑色網狀帆布遮蔭，並依照光照程度調整。牛隻生活區域為水泥地板，且於水泥地板上鋪設墊料，墊料為乾燥米糠，厚度約為 6-10 公分，每週會進行一次全區更換。牛隻在此區可以自由活動，於上午噴淋時間前及晚上噴淋時間後開放室外活動區，讓牛隻於戶外活動，室外活動區為泥土草地，以鐵欄杆圍住活動範圍，全區域無遮蔽物。

(二)、泌乳牛區

泌乳牛區依照泌乳時期及泌乳量將牛隻分為中產及高產，每區皆有兩個欄位，每欄有三至五個水槽，屋頂遮蔭為外層不鏽鋼及內層木造條狀式太子樓構造。料槽側走道上方設有筒式風扇，每間隔六格頸夾設置一台，兩條走道中間設置牛床，高產區牛床上方裝設大型吊扇，中產區裝設大型筒式風扇，高產區與中產區每個頸夾上方皆設有灑水噴頭。

(三)、仔牛區

仔牛區分為兩區，A 區為出生三日內，B 區為出生後三日至離乳前。兩區遮蔭皆是外層不鏽鋼內層木造條狀式屋頂，A 區為單面水泥牆，其餘兩面為木頭牆面方便觀察與遮風，地板鋪設乾燥盤固拉乾草作為墊料，並使用兩台直立式風扇保持換氣率；B 區為左右雙面水泥牆，前後則為開放式空間保持通風，小牛飼養在單獨的高床架上，高床架內鋪設塑膠軟墊，降溫設備有高床上方的大型吊扇。



三、飼養管理

(一)、乾乳牛區

泌乳牛在產前 60 天左右開始為期 3 天的漸進式乾乳，漸進式乾乳為開始乾乳時減少牛隻 TMR 的採食，使牛隻產乳減少，在漸進式乾乳第一天將餵飼方式從 TMR 任食改為半天的盤固拉乾草任食，第二天時將搾乳次數由兩次改為一次，第三天時採取全天盤固拉乾草任食，並在下午搾乳時完成乾乳，此種方式可減少因乾乳急遽改變飼糧所產生的緊迫及突然中止搾乳可能導致乳房炎的發生，也會在漸進式乾乳期間進行乾乳前的修護蹄作業，確保牛隻乾乳期間的蹄部健康。進入乾乳牛區後飼糧為盤固拉乾草任食，並在上午 5:00 及下午 4:00 時給予乾乳牛精料（大成飼料，台灣），每頭每次為一公斤，當牛隻在分娩前三週時開始進入轉換前期，從此時除了原本的盤固拉乾草任食及兩公斤精料以外，開始額外給予低產牛用 TMR，每頭每次為兩公斤，以協助瘤胃菌相進行轉換。

(二)、泌乳牛區

1. 泌乳牛

泌乳牛採取 TMR 任食，依照各區乳量表現及泌乳天數（分為高產、中產及低產）進行營養濃度的調整，配方為依據康乃爾大學淨碳水化合物及蛋白質系統（Cornell Net Carbohydrate and Protein System，CNCPS）配置，營養組成如表 3，本表來自牧場營養顧問使用近紅外線光譜機（Near infrared）分析。其中飼料部分為盤固拉乾草、燕麥乾草（或百慕達乾草）及苜蓿乾草混合，精料部分為膨化玉米、玉米粉、玉米酒糟、大豆粕、維生素/礦物質預混料、氧化鎂、小蘇打粉、食鹽、黑麴菌萃取物及酵母菌萃取物的混合，再透過 TMR 車輛加水後混合均勻。每日的餵飼時間為上午 5:30 及下午 4:00 開始，放料前會將料槽清理乾淨避免剩餘料影響新料。於每次搾乳前進行清洗乳房，清洗裝置為由牛隻下方出水口噴出強力水柱以清洗牛隻乳房，再利用風扇吹風使牛隻乾燥，搾乳後扣於頸夾上約 30-40 分鐘，並進行頸夾上方灑水裝置的噴淋，頻率為灑水一分鐘，風扇吹風五分鐘，約莫進行至六



到八次後關閉。上午 11 點及晚上 8 點，若室溫過高 ($>30^{\circ}\text{C}$) 則於下午 1 點半移動牛群至集中噴淋區進行灑水降溫，頻率為灑水一分鐘吹風五分鐘，循環六次後結束。

2. 轉換後期牛

轉換後期係指分娩至分娩後 21 日，此階段牛隻在上午及下午搾乳前餵飼每頭每次約一到兩公斤的燕麥乾草，目的為協助瘤胃固相建立堅固的草層避免小顆粒飼料原料快速進入液相導致快速發酵，以及避免因採食過多高濃度營養 TMR 導致瘤胃異常狀態，並在搾乳後給予高產牛用 TMR。每日早上搾乳後測量體溫並記錄每日體溫動態變化，並於分娩兩週內進行直腸觸診確認子宮恢復及排髒狀態。

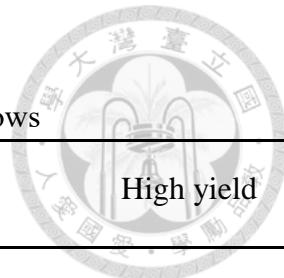


表 3. 乳牛完全混合日糧之營養組成

Table 3. Nutritional composition of total mixed ration for lactating cows

Item	Low yield	Middle yield	High yield
Dry matter, %	43.12	42	43.66
Ash, %	6.68	6.21	6.47
Crude Protein, %	13.7	14.14	14.46
Crude Fat, %	3.1	3.75	4.94
NDF, %	39.42	38.06	38.05
ADF, %	22.45	21.29	20.82
ADL, %	2.01	1.69	1.25
AIA, %	0.67	0.53	0.5
Starch, %	28.28	27.85	27.26
peNDF, %	29.92	27.89	31.74

NDF : Neutral detergent fiber

ADF : Acid detergent fiber

ADL : Acid detergent lignin

AIA : Acid insoluble ash

peNDF : Physically effective neutral detergent fiber



(三)、仔牛區

1. A 區

A 區為分娩三日內的仔牛，於出生 8 小時內使用奶瓶餵飼 2-3 公斤的初乳，一天兩餐持續三天。初乳皆會經過糖度計及比重計測試品質後裝進加熱袋並隔水加熱消毒(60°C , 60 分鐘)，冷卻放入 -20°C 冰箱保存，餵飼前透過隔水加熱回溫至 39°C 後裝入奶瓶餵飼。第三天開始改使用水桶餵飼初乳，確認仔牛學習會使用水桶後便移動至 B 區。

2. B 區

B 區為獨立高床，每頭小牛有獨立欄位間隔開，餵飼時間為每日早上 8 點及晚上 7 點，依照採食量及出生天數給予不同份量經消毒後的廢棄乳，從一餐一公斤至四公斤，不足量部分會使用代乳粉混合廢棄乳補足份量。自上架後開始給予水，一週齡開始給予教槽料(維樂佳，貿立實業股份有限公司)，依照採食量從一餐 200 克加至一餐 1 公斤，當一餐可以採食 1 公斤的教槽料後給予芻料並開始為期一週的漸進式離乳，以兩日為一週期，每一週期將乳汁份量減半，芻料為苜蓿乾草與燕麥乾草的 1:1 混合，給予一週後離乳下架並移動至女牛區，於開始漸進式離乳日進行小牛去角芽處理。

四、試驗設計

(一)、試驗一

試驗開始前於不同分群牛隻(高產、中產)各隨機選取三隻，並隨機選取一頭作為對照組及而另外兩頭作為處理組，配合牧場工作週期於體溫上升時段(上午 10 點及晚上 7 點半後)給予處理組不同方式降溫處理(集中噴淋、頸夾噴淋)，上午及晚上各一次，集中噴淋的順序為中產牛先行進入集中噴淋區，噴淋結束後將中產牛趕回中產牛區，再換高產牛進入集中噴淋區。並延續牧場原有降溫模式，早上及下午搾乳前與後，泌乳牛需接受 36 分鐘的頸夾噴淋。



確定不同降溫方式於高產、中產牛何者較優之後，選定集中噴淋降溫方式實施於低產牛及乾乳牛，試驗開始前各隨機選取三隻，並隨機選取一頭作為對照組及而另外兩頭作為處理組，配合牧場工作週期於體溫上升時段（上午 10 點及晚上 7 點半後）給予處理組集中噴淋的降溫處理，上午及晚上各一次，由於低產牛及乾乳牛數量較少，因此可以同時進行集中噴淋，並透過集中噴淋區之欄杆區隔開。

(二)、試驗二

確認試驗一的有效降溫處理條件後，將選用的 18 頭經產牛隻於乾乳開始前依乾乳前一期 DHI(Dairy Herd Improvement) 資料的 305-2X-ME 校正乳量並除以 305 後取得每頭牛隻的一日校正乳量平均分為三組，分別為乾乳期一開始即進行降溫處理的乾乳組(Dry)、產前 21 日轉換前期開始進行降溫處理的轉換期組(Transition) 及不進行降溫處理的對照組 (Control)。前一期的 305-2X-ME 所計算每日乳量(kg/day)以平均值±標準偏差表示：乾乳組為 33.23 ± 5.74 ，轉換組為 31.60 ± 7.11 ，對照組為 31.98 ± 5.22 。此分組經 ANOVA 測試後 P 值大於 0.1，三組間不具顯著差異。由於牛隻可能發生延遲分娩及早產的情況，且牧場作業為批次乾乳，因此牛隻可能無法取得完整 60 日的資料，本實驗牛隻分娩時間最早為 2021 年 8 月 4 日，最晚為 2021 年 9 月 15 日。分娩後所有牛隻皆進入轉換後期牛隻區，且無論產前組別為何，皆於分娩後接受相同的降溫處理，降溫模式為早上及下午搾乳前與後，接受 36 分鐘的頸夾噴淋，於上午 11 點及晚上 8 點進行 36 分鐘的集中噴淋。

(三)、牛隻配種之精液編號

所有牛隻的配種皆由牧場內同一專業配種人員進行，精液編號為 200H10259。

五、噴淋降溫裝置

噴淋降溫方式參考 Brouk et al. (2005)的研究總結以及以色列農業部的推薦，從上午 10:30 及晚上 7:30 開始實施，噴淋方式為透過牛隻上方之灑水噴頭（集中噴



淋之灑水噴頭位於牛隻上方，頸夾噴淋灑水噴頭位於頸夾上方)噴出水於牛隻背部並持續 1 分鐘，再由牛隻上方筒式風扇持續吹風 5 分鐘將牛隻身上的水吹乾，以此為一個循環，每頭每次進行六個循環共 36 分鐘，若環境相對濕度高於 85% 則停止進行乙次，防止因高濕度降低水分蒸散效率，使得噴淋效果不佳，在 6 月時停止兩日，七月時停止六日，八月時停止八日。

(一)、頸夾噴淋

頸夾噴淋為每一個料槽頸夾上方約 30 公分處皆設置一個灑水噴頭，出水量為每分鐘 10 公升，水為地下水，為每日晚上 10 點自地下水體抽取至位於地下的儲存槽備用，水溫約為 20-25°C，風扇設置於牛隻上方約 2 公尺處，每間隔六頭牛設置一個風扇，風扇傾斜角度約為 45 度，風速為 3 m/s。

(二)、集中噴淋

集中噴淋為將牛隻引導至一固定區域，此區域於牛隻上方約 1 公尺處設置 10 個能使水柱向下傘狀噴灑的灑水噴頭，出水量為每分鐘 20 公升，噴頭間隔 2 公尺，共兩排，每一排設有 3 個風扇，風扇傾斜角度約為 45 度，風速為 3 m/s。此區域中間有一間隔欄杆，遵守乳牛友善系統之建議，避免因擁擠產生緊迫影響牛隻，且確保每一頭牛隻可以確實且完整的接受噴淋與吹風 (圖 8)。



圖 8. 集中噴淋示意圖。

Figure 8. Schematic of group soaking.

六、資料搜集及樣品採集

(一)、分娩前

1. 環境資料

共設有三台溫濕度記錄器 (Onset HOBO MX2301A，慧技科學有限公司)，可記錄環境溫度及濕度，每 20 分鐘紀錄一次，儲存於機體中，可持續紀錄 2 年。兩台設置於集中噴淋區，其中一台安裝於灑水噴頭下方，約牛隻背部高度，可實際記錄牛隻感受到的環境溫度及濕度，另一台安裝於灑水噴頭上方約 30 公分處，避免因水氣影響紀錄。第三台則安裝於乾乳牛區，約莫牛隻背部高度位置，並靠近飼料槽，因乾乳牛區另一側為完全開放式，本試驗安裝位置可避免因陽光直射干擾機器判讀環境參數 (圖 9)。



圖 9. 溫濕度記錄器。

Figure 9. Temperature and relative humidity date logger.

資料收集後計算溫濕度指數並記錄。

環境溫濕度指數公式如下：

$$\text{THI} = (1.8 \times T + 32) - [(0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times T - 26)]$$

T = Temperature (°C)

RH = Relative humidity (%)



3. 體溫資料

本實驗兩階段使用不同測量方式測量溫度，係因試驗一時需蒐集牛隻一日體溫變化，且陰道溫度計為與廠商借用，因此無法於試驗二使用。

a. 試驗一 陰道溫度

試驗開始前利用 CIDR (Controlled intravaginal drug-releasing device) 裝置並將溫度記錄設備 (Thermocron DS-1922L, USA) 緝綁於裝置上並固定於陰道中，每五分鐘記錄一次，儲存於機體中，試驗結束後取出下載紀錄數據。

b. 試驗二 直腸溫度

分別於上午及下午集中噴淋開始前 25 分鐘內及結束 25 分鐘內，利用電子式溫度計 (Kruuse digital thermometer Digi-Vet SC 12, 波克生醫股份有限公司) 測量。

3. 呼吸速率

於測量直腸溫度前，以人工觀測方式，觀察牛隻腹部在 30 秒起伏次數。

4. 行為

行為採用兩種活動量偵測器進行記錄，分別為頸圈式活動量偵測器 (Semex Ai24, Canada) 及前肢計步式活動量偵測器 (Semax Ai24, Canada)，兩種活動量偵測器皆以兩小時為間隔記錄一次，搜集一日資料後相加為一日，由於活動量偵測器需配戴七天才可建立動物的行為模式，因此於試驗開始前兩週便先安裝於牛隻身上，且持續記錄至分娩。

a. 頸圈式活動量偵測器

此偵測器 (圖 10) 配戴於牛隻頸部上，並留有約三指寬的空間，而因偵測器數量受限並非每一頭實驗牛隻皆有配戴，而是選取三個組別之三隻預產期時間接近的牛隻配戴。透過內部感應器可偵測活動量、反芻時間 (Ruminating)、採食時間 (Feeding)，並將其餘時間記錄為不活動時間。因此偵測器無法分辨飲水及採食間



差異，因此會將飲水一併計入採食時間，而不論躺臥、站立或移動，只要牛隻沒有進行採食相關動作皆會被判斷為不活動時間，由於該頸圈式活動量偵測器之移動量相關數據會經由管理軟體轉換至與前肢計步式活動量偵測器合併的活動量，無法取得頸圈式偵測器的原始數據。



圖 10. Semex Ai24 頸圈活動量偵測器。

Figure 10. Semex Ai24 neck mounted activity monitor sensor.



b. 前肢計步式活動量偵測器

此偵測器配戴於牛隻右前腳的球節關節處，實驗內每頭牛隻皆有配戴。此偵測器可記錄每日步伐(Footstep)、躺臥時間(Laying)，並透過管理軟體(Semex Ai24, Canada) 計算每兩小時間活動量變化。

(二) 分娩後

1. 乳量

於每個月測乳時間利用分流瓶裝設於搾乳設備上，並記錄牛隻當天單次乳量後，記錄人員會記錄於紙本，於每月一次收取數據時抄錄。於牛隻分娩後開始記錄，持續記錄至分娩後四個月。

2. 乳成分

於每個月測乳時間利用分流瓶採集牛乳樣品，裝入 DHI 採樣瓶後保存於 4°C 冰箱中，隔日寄送至畜產試驗所新竹分所檢驗。於牛隻分娩後開始記錄，持續記錄至分娩後四個月

3. 小牛體重

a. 出生重

於出生六小時內，待母牛舔食乾淨且較無羊水殘留後，於尚未餵食第一次初乳前利用磅秤進行體重測量。

b. 一、二月齡體重

於小牛達一月齡及二月齡時，於上午 6-7 點尚未餵食當日第一餐前利用磅秤進行體重測量。

c. 日增重

測得體重後，將每月齡測量體重相減並除以間隔天數得之。



4. 繁殖資料

a. 初次發情

分娩後觀察牛隻狀態，經配種人員確認：1.活動量記錄器偵測活動量上升或出現駕乘反應。2.陰道及子宮頸充血，陰道黏液分泌物增加。3.經直腸觸診確認左或右側卵巢出現濾泡或排卵溝。

須第一次完全滿足以上條件才可記錄為初次發情，避免因產後內分泌些微潮湧導致誤判。

a. 配種次數、空胎期

牛隻分娩後滿足 40 日的生理空胎期，且經獸醫及配種人員確認子宮恢復良好後才會進行配種。於配種後 35 至 40 日期間無出現發情徵兆，則進行驗孕。配種人員會使用超音波儀器（Draminski iScan2，波克生醫股份有限公司）進行驗孕（圖 11），並依照胚胎著床位置判斷配種時間並記錄該次為受孕。



圖 11. 超音波儀器驗孕。

Figure 11. Pregnancy test by supersonic machine.

5. 產後疾病判斷

a. 胎衣滯留

分娩後 12 小時內，若胎衣沒有完整排出，且經直腸觸診確認子宮內仍有殘留胎衣，則會記錄該牛隻為胎衣滯留。

b. 子宮炎、乳熱、低血鈣症

產後 10 天內於每日上午搾乳結束時使用電子式溫度計測量體溫，記錄每日體溫變化，若過高或過低，則會由管理員進一步依照病徵初步判斷疾病，再通知獸醫師出診檢查。

c. 酪症

每日每次搾乳後會將牛隻扣在頸夾上以觀察牛隻採食是否正常，若採食量驟降則會檢查體溫並確認是否為前述疾病，檢查糞便性狀是否為消化問題，若以上皆



非則會使用人用血酮機 (eBketone，暉世生物科技股份有限公司) 檢查。

d. 乳房炎

於擠乳時間透過人工觀察乳汁是否有異常，若有結塊或是顏色異常，則管理員會使用加州乳房炎試驗 (California mastitis test) 判斷是否為乳房炎，無論產後發生幾次乳房炎皆紀錄為有發生乳房炎牛隻。

七、統計分析方法

本試驗一及試驗二之數據皆使用 GraphPad Prism version 9.0.0 進行分析。試驗二中的分娩前之呼吸速率與體溫，分娩後乳量、乳成分、小牛體重、繁殖表現的部分，三組不同時期開始進行降溫處理的組別，以及三個不同區域的環境資料，以 ANOVA 來測試三組間是否有顯著差異，若有顯著差異則使用 Tukey 檢定進行兩兩之間比較。而試驗一第一部分的體溫則透過 Unpaired t-test 進行分析，同一牛隻不同時段實施降溫處理前後視為一次重複，檢測處理前後是否有差異，若 $p < 0.05$ 則視為有顯著差異。

參、結果與討論



本論文之結果討論分為 2 個部分：試驗一搜集使用不同降溫方式（集中噴淋及頸夾噴淋）後之乾乳牛以及不同產乳階段的泌乳牛隻一日間陰道溫度變化及兩種處理間影響程度，試驗二為延伸試驗一之試驗結果中較佳降溫方式，並使用於不同階段之經產乾乳牛，分別為乾乳期接受噴淋處理的乾乳組（Dry）、預產日前 21 日開始接受噴淋處理的轉換期組（Transition）及乾乳期皆不接受任何噴淋處理的對照組（Control），搜集試驗期間環境溫度及濕度變化並計算 THI、牛隻生理、行為及產後產乳、繁殖表現及犢牛生長表現，以比較不同時期進行降溫對於畜舍環境與乾乳牛隻的影響。

一、兩種降溫方式對於不同產乳階段牛隻的影響

(一)、溫濕度指數

於牧場內架設的溫溼度記錄器記錄的溫度及濕度資料，將試驗日期 2021 年 6 月 17 日至 2021 年 6 月 22 日的資料匯出，再由中央氣象局網站取得鄰近實驗牧場的中壢天氣觀測站之溫度及濕度資料，並計算日平均 THI，得到牧場內的平均 THI 為 82.32，顯著高於中壢觀測站的 81.07，氣溫之間無顯著差異，相對溼度也是牧場內顯著高於中壢觀測站(表 4)，而牧場內的 THI 值於試驗期六月到九月的全天 THI 皆對於實驗牛隻則會造成熱緊迫 (≥ 72) (圖 12)。

研究指出，在牛舍內的 THI 會顯著高於天氣觀測站 3 到 7 個單位值，尤其在夏天更為明顯，這是由於在夏季時，牧場內的相對濕度會顯著高於天氣觀測站，作者認為在夏季時牛隻會因為 THI 的上升使喘氣增加，而每隻牛為增加散熱，每小時可透過蒸散作用蒸發 1.5 公斤的水分，若牧場內通風條件較不佳就會造成牧場內相對濕度的提高，因此通風的存在，無論是正壓還是負壓系統，都可以減少牧場內的極端環境的發生，而作者也發現無論天氣觀測站的位置或是與牧場的距離遠或近，牛舍內與牛舍外所觀測到的環境數值之間無顯著相關性，因此在牛舍內裝設溫濕度記錄器才可以確保取得牛隻所暴露環境數值的正確性 (Schüller et al., 2013; Shock et al., 2016)。



表 4. 牧場內與桃園中壢氣象局天氣觀測站於試驗一試驗期（2021 6/17-22）時的平均氣溫、相對濕度及溫濕度指數

Tabel 4. The average temperature, relative humidity and THI of farm and Zhongli meteorological station in the experiment 1 period (6/17-22, 2021)

	Farm	Meteorological station	S.E.M.	p-value
Tempertaure, °C	30.1	30.5	0.32	>0.1
Relative humidity, %	74.7 ^a	63.4 ^b	1.60	<0.01
THI	82.3 ^a	81.1 ^b	0.27	<0.01

^{a,b}Values in the same row with different letters differ according to the unpaired t-test (P<0.05)

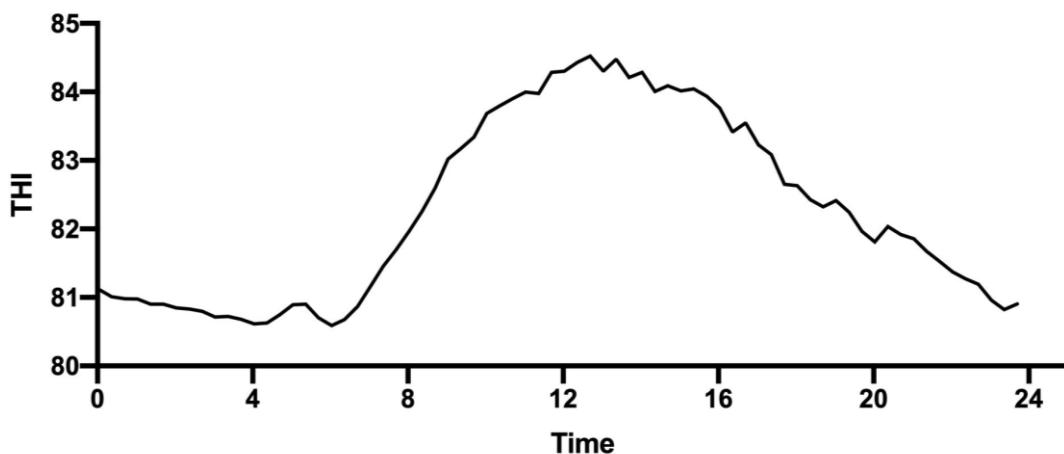


圖 12. 實驗期（2021 年六月至九月）牛舍內一日平均 THI 變化。

Figure 12. Daily average THI change during experiment period (from June to September, 2021) in dairy barn.

(一) 兩種降溫方式對於高產、中產牛的影響程度

試驗一分別使用頸夾噴淋 (Feedbunk soaking) 及集中噴淋 (Gorup soaking) 於試驗牧場內高產及中產牛隻，並透過陰道內放置的溫度計紀錄一日間體溫變化，以比較兩種降溫方式的影響程度及持續效果。



1. 中產牛

處理組 (Treatment) 分別於 2021 年 6 月 17、18 日接受兩天的集中噴淋，噴淋時間為早上 10 點及晚上 20 點 20 分，上午處理前採樣時段為 9:30-9:55，處理後採樣時段為 10:40-11:05，晚上處理前採樣時段為 19:50-20:15，處理後採樣時段為 20:55-21:20。於 2021 年 6 月 19、20 日接受兩天的頸夾噴淋，噴淋時間為早上 10 點 50 分及晚上 20 點 20 分，上午處理前採樣時段為 10:20-10:45，處理後採樣時段為 11:30-11:55，晚上處理前採樣時段為 19:50-20:15，處理後採樣時段為 21:55-21:20。表 5 為兩種降溫方式對於牛隻陰道溫度的效果，處理組部分無論是頸夾噴淋或是集中噴淋，處理後的陰道溫度皆顯著低於處理前，且兩種降溫處理後，牛隻的陰道溫度皆低於 39°C，顯示牛隻在接受降溫處理後解除了熱緊迫的狀態，且溫度變化無超過 1°C，屬於正常範圍內 (Das et al., 2016)。

對照組的陰道溫度在處理後時段顯著高於處理前時段，這是由於無論處理組或對照組的泌乳牛在搾乳後在上午 7:30 及下午 17:30 會接受牧場原有的頸夾噴淋降溫處理，而牛隻在接受處理後體溫下降，從無熱緊迫狀態轉變為熱緊迫狀態時 ($\text{THI} \geq 72$)，核心溫度逐漸上升 (Allen et al., 2015)，導致處理後時段的陰道溫度顯著高於處理前時段。

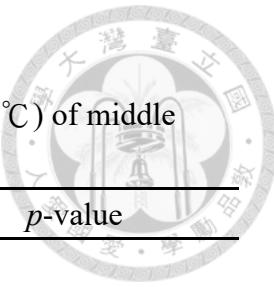


表 5. 兩種降溫方式於中產牛之陰道溫度的效果

Table 5. Effect of different cooling treatment on vaginal temperature (°C) of middle yield cows

	Before	After	S.E.M	p-value
Feedbunk soaking				
Control	39.4 ^a	39.8 ^b	0.09	<0.01
Treatment	39.1 ^a	38.8 ^b	0.06	<0.01
Group soaking				
Control	39.5 ^b	40.0 ^a	0.17	<0.01
Treatment	39.3 ^a	38.7 ^b	0.13	<0.01

^{a,b}Values in the same row with different letters differ according to the unpaired t-test ($P<0.05$). Control is without any type of soaking.

陰道溫度計監測的陰道溫度變化的結果顯示無論是頸夾噴淋(藍色框框處)或是集中噴淋(紅色框框處)，皆會使牛隻的陰道溫度明顯的下降，且噴淋結束30分鐘-60分鐘後，陰道溫度仍然持續下降，直到噴淋結束後60-90分鐘後，陰道溫度才會回升至噴淋前的溫度(圖13)。其他研究指出，在相對濕度低，氣溫高的地區，當牛隻接受流量為4.6 L/min的頸夾噴淋並停止12分鐘後，再進行下一次的噴淋，持續1小時，停止噴淋期間不給予額外風扇，在噴淋結束後30-60分鐘體溫持續下降，且2小時後體溫才會回升至與對照組相同。而當在環境溫度較低的地方($77>\text{THI}>65$)，給予牛隻90分鐘的噴淋處理，結果顯示進行噴淋處理後，則須2至4小時後體溫才會回升至處理前的溫度。在噴淋結束後仍有蒸發散熱作用的遺留效應，當噴淋結束後，牛隻身上未蒸發完整的水滴持續蒸發，而在噴淋結束後提供風扇吹風也可以延長體溫回升的時間(Chen et al., 2015; Kendall et al., 2007)，而由於本實驗牧場之環境條件為高氣溫且高相對濕度的環境，相較於其他研究結果，噴淋後的體溫回升的速度較快。



- Group soaking
- Feedbunk Soaking
- Control

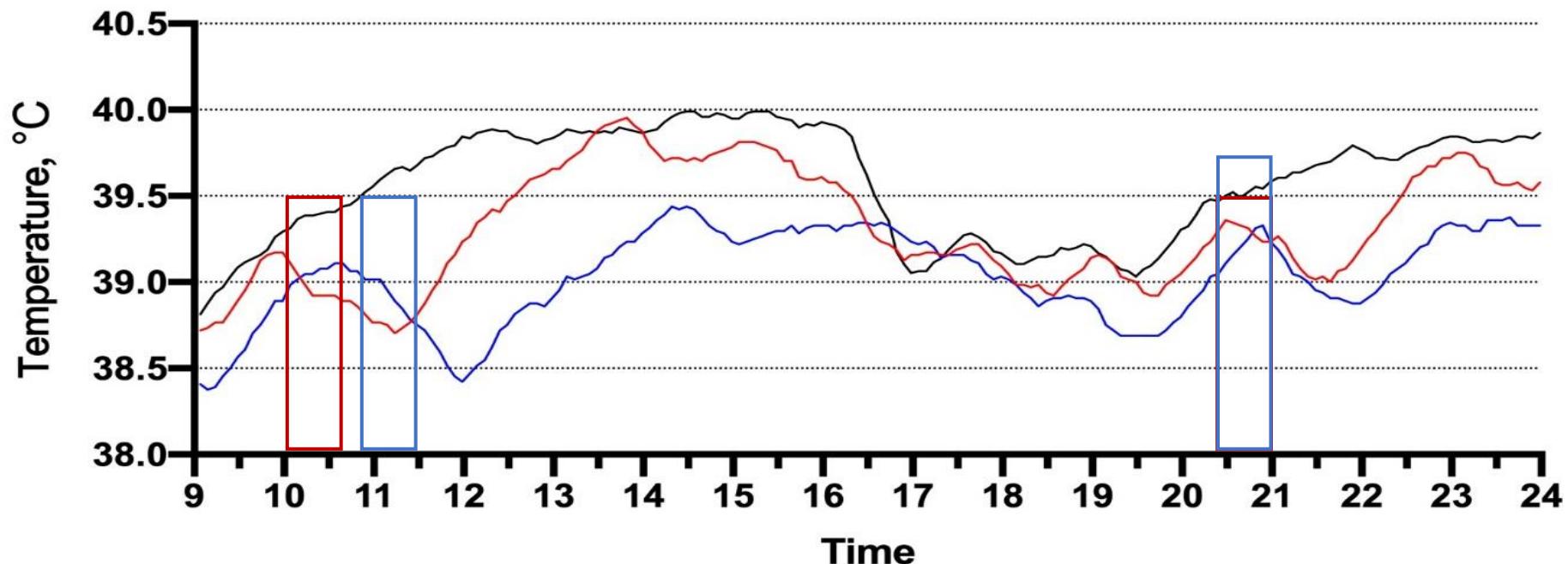


圖 13. 以陰道溫度計監測在不同降溫處理下中產牛之平均一日體溫變化。

Figure 13. Effect of different cooling treatment on vaginal temperature (°C) of middle-yield cows monitored by vaginal thermometer.



2. 高產牛

處理組分別於 2021 年 6 月 17、18 日接受兩天的集中噴淋，噴淋時間為早上 11 點 20 分及晚上 21 點，上午處理前採樣時段為 10:50-11:15，處理後採樣時段為 11:55-12:20，晚上處理前採樣時段為 20:30-20:55，處理後採樣時段為 21:40-22:05。於 2021 年 6 月 19、20 日接受兩天的頸夾噴淋，噴淋時間為早上 11 點 30 分及晚上的 20 點 20 分，上午處理前採樣時段為 11:00-11:25，處理後採樣時段為 12:05-12:30，晚上處理前採樣時段為 19:50-20:15，處理後採樣時段為 20:55-21:20，由於牧場內高產牛區與集中噴淋區噴淋用水來源為同一水管，因此無法同時啟動，故在上午時為配合牧場內工作順序因此先進行集中噴淋與中產牛區之頸夾噴淋，待集中噴淋完成後才可以進行高產牛區頸夾噴淋。表 6 為兩種降溫方式對於牛隻陰道溫度的效果，處理組部分無論是頸夾噴淋或是集中噴淋，處理後的陰道溫度皆顯著低於處理前，且兩種降溫處理後，牛隻的陰道溫度皆低於 39°C，顯示牛隻在接受降溫處理後解除了熱緊迫的狀態。

對照組則是沒有任何降溫處理，對於高產牛的陰道溫度在處理前收集資料的時段及處理後收集資料的時段皆無顯著差異。Schüller and Heuwieser (2016) 的研究指出，即使在同一開放式牛舍內，不同位置所觀測到的溫度及濕度也存在差異，特別是越靠近牛舍中心，牛隻飼養密度較高且通風較不佳的區域，相較於外圍通風較佳區域之 THI 值平均約多出 2.33 個單位，由於牛隻透過對流、傳導、輻射及蒸發釋放熱量和濕氣到其環境，從而影響其居住區域的微環境。由於本實驗牧場高產牛的欄位位於牛舍較靠外圍，且是迎風處，全日皆有強勁的自然風，因此此區通風及換氣率較佳，相對溼度也較低，環境對於牛隻的影響比靠內的中產牛區少。

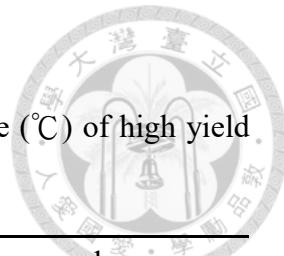


表 6. 兩種降溫方式於高產牛之陰道溫度的效果

Table 6. Effect of different cooling treatment on vaginal temperature (°C) of high yield cows

	Before	After	S.E.M	p-value
Feedbunk soaking				
Control	38.5	38.5	0.06	0.95
Treatment	39.1 ^a	38.4 ^b	0.09	<0.01
Group soaking				
Control	38.9	38.8	0.06	0.08
Treatment	39.1 ^a	38.3 ^b	0.05	<0.01

^{a,b}Values in the same row with different letters differ according to the unpaired t-test($P<0.05$). Control is without any type of soaking.

陰道溫度計監測的陰道溫度變化的結果顯示無論是頸夾噴淋（藍色框框處）或是集中噴淋（紅色框框處），皆會使牛隻的陰道溫度顯著的下降，而同樣在噴淋結束 30 -60 分鐘後，陰道溫度仍然持續下降，直到噴淋結束後 60 -90 分鐘後，陰道溫度才會回升至噴淋前的溫度（圖 14）。

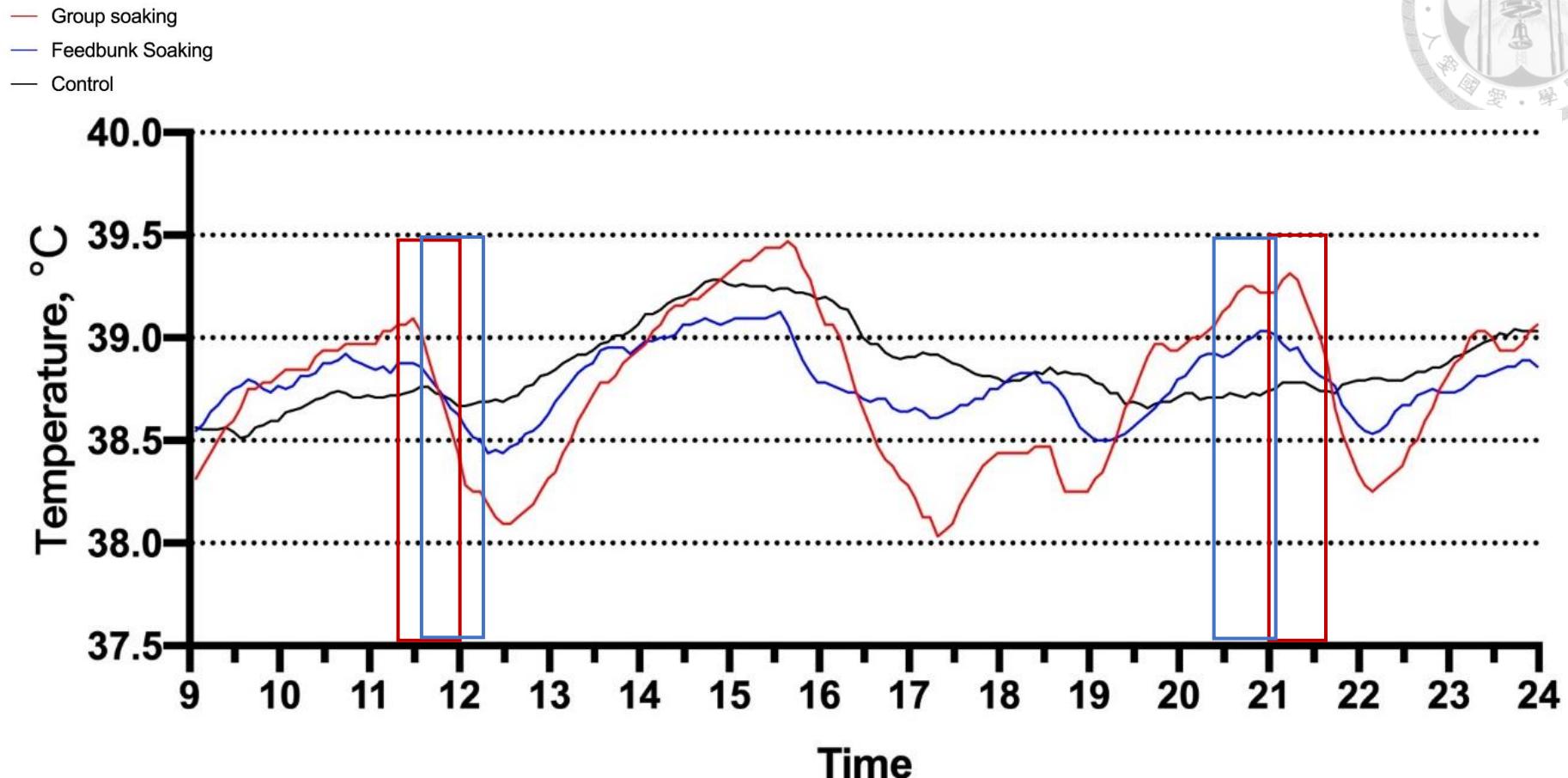


圖 14. 以陰道溫度計監控在不同降溫處理下高產牛之平均一日體溫變化。

Figure 14. Effect of different cooling treatment on vaginal temperature (°C) of high-yield cow monitored by vaginal thermometer.



3. 兩種降溫方式於高產牛及中產牛的降溫效果

蒸發散熱是一種皮膚及環境相對濕度梯度動態平衡的結果，空氣中較高的相對濕度會抑制牛隻透過皮膚蒸發作用的熱損失，而高環境相對濕度也會影響透過呼吸道散熱的呼吸熱損失，其他研究也指出頸夾噴淋會提高牛隻休息區域的相對濕度，而高相對濕度對於噴淋後的體溫下降幅度也會有減緩的效果 (Berman, 2006; Chen et al., 2015; Lin et al., 1998)。

表 7 比較兩種降溫方式對於牛隻陰道溫度下降幅度的影響，結果顯示兩種噴淋方式對於高產牛的降溫效果之間無顯著差異，由於高產牛區之通風及換氣率較佳，因此頸夾噴淋後對於環境中相對濕度的影響較小，也使兩種降溫方式處理後體溫下降的幅度較大。中產牛則是集中噴淋的降溫效果顯著優於頸夾噴淋，由於集中噴淋區與中產牛區不同位置，在集中噴淋後不會造成牛隻休息區域的相對濕度提高，在集中噴淋結束後體溫下降的幅度相比頸夾噴淋的下降幅度也較大，而頸夾噴淋在中產牛區執行，對於中產牛區的相對濕度影響較大，也影響噴淋之後體溫下降的幅度。

表 7. 比較兩種降溫方式對於中產牛與高產牛陰道溫度之降溫效果

Table 7. The vaginal temperature difference ($^{\circ}\text{C}$) between different treatment of high and middle yield cows

	Feedbunk soaking	Group soaking	S.E.M.	p-value
High yield	-0.79	-0.70	0.09	0.28
Middle yield	-0.31 ^b	-0.59 ^a	0.05	<0.01

^{a,b}Values in the same row with different letters differ according to the unpaired t-test ($P<0.05$).

比較兩種降溫方式對於中產牛及高產牛的降溫效果之後，確定集中噴淋的降溫效果優於頸夾噴淋，故選定集中噴淋的降溫方式實施於低產牛及乾乳牛，並進行降溫效果的測試，確定集中噴淋於低產牛及乾乳牛的降溫效果後則進入第二階段的試驗。



(二)集中噴淋降溫方式於低產牛與乾乳牛的降溫效果

1. 低產牛

處理組分別於 2021 年 6 月 21、22 日接受兩天的集中噴淋，噴淋時間為早上 10 點 30 分及晚上 19 點 30 分，上午處理前採樣時段為 10:00-10:25，處理後採樣時段為 11:05-11:30，晚上處理前採樣時段為 19:00-19:25，處理後採樣時段為 20:05-20:30。

表 8 為集中噴淋降溫方式對於牛隻陰道溫度的效果，處理組接受集中噴淋處理後的陰道溫度皆顯著低於處理前。

表 8. 集中噴淋處理於低產牛陰道溫度的影響

Table 8. Effect of group soaking treatment on vaginal temperature (°C) of low yield cows

	Before	After	S.E.M.	p-value
Control	39.7	39.6	0.08	0.47
Treatment	39.5 ^a	39.0 ^b	0.12	<0.01

^{a,b}Values in the same row with different letters differ according to the unpaired t-test ($P<0.05$). Control is without any type of soaking.

陰道溫度計監測的陰道溫度變化的結果顯示集中噴淋過後（紅色框框為噴淋時段），會使牛隻的陰道溫度顯著的下降，而同樣在噴淋結束 30-60 分鐘後，陰道溫度仍然持續下降，直到噴淋結束後 90-120 分鐘後，陰道溫度才會回升至噴淋前的溫度（圖 15），除了環境影響之外，一頭 600 公斤的乳牛約有 31% 的熱量產生來自於代謝產熱，而低產牛每日產生的熱量相比中產牛及高產牛少了約 21%，因此低產牛對於環境溫度的敏感程度也較中產牛及高產牛要來得低 (West, 2003)，在體溫的回升中，低產牛回升的速度也較中產牛及高產牛慢。

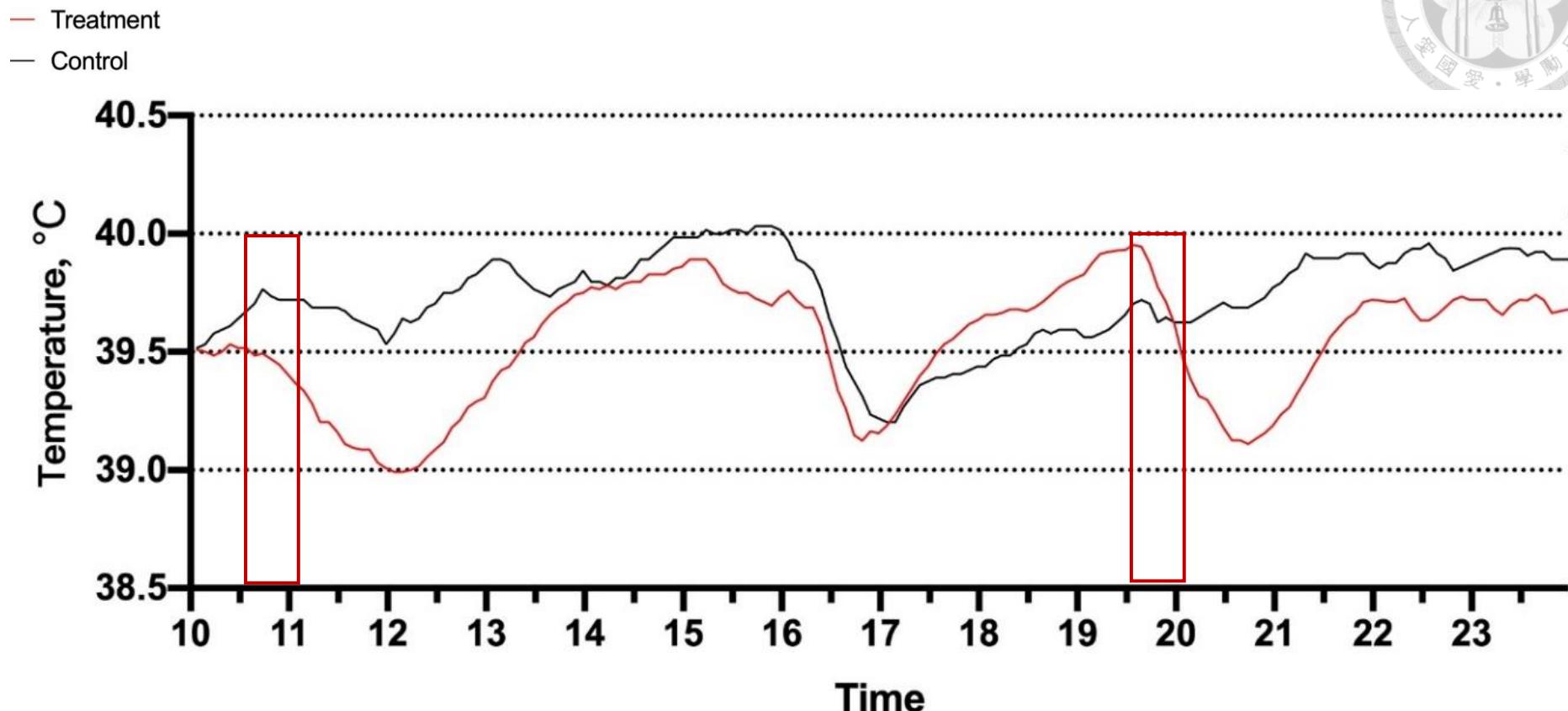


圖 15. 以陰道溫度計監控在不同降溫處理下低產牛之平均一日體溫變化。

Figure 15. Effect of different cooling treatment on vaginal temperature (°C) of low-yield cows monitored by vaginal thermometer.



2. 乾乳牛

處理組分別於 2021 年 6 月 21、22 日接受兩天的集中噴淋，由於集中噴淋區可以同時容納低產牛與乾乳牛，因此於同時間進行。表 9 為集中噴淋降溫方式對於牛隻陰道溫度的效果，處理組部分接受集中噴淋處理後的陰道溫度皆顯著低於處理前，牛隻的陰道溫度皆低於 39°C ，顯示牛隻在接受降溫處理後解除了熱緊迫的狀態。

表 9. 集中噴淋處理於乾乳牛陰道溫度的影響

Table 9. Effect of group soaking treatment on vaginal temperature ($^{\circ}\text{C}$) of dry cows

	Before	After	S.E.M.	p-value
Control	39.6	39.6	0.11	0.87
Treatment	39.1 ^a	38.7 ^b	0.11	<0.01

^{a,b}Values in the same row with different letters differ according to the unpaired t-test ($P<0.05$). Control is without any type of soaking.

陰道溫度計監測的陰道溫度變化的結果顯示集中噴淋過後（紅色框框為噴淋時段），會使牛隻的陰道溫度顯著的下降，而同樣在噴淋結束 30-60 分鐘後，陰道溫度仍然持續下降，直到噴淋結束後 90-120 分鐘後，陰道溫度才會回升至噴淋前的溫度（圖 16）。Bar et al. (2019) 同樣使用陰道溫度計追蹤懷孕晚期之乾乳牛，在接受以灑水 30 秒及風扇吹風乾燥 4.5 分鐘為循環，連續接受一小時的降溫處理時的陰道溫度變化，在接受降溫處理後陰道溫度開始下降，且在停止噴淋後的 2 小時到 3 小時後體溫才會回升至噴淋前的溫度，顯示當降溫處理實施於乾乳牛時，由於乾乳牛體內的代謝產熱相較於泌乳牛低，因此對於環境的敏感度也較低，承受熱緊迫的能力也較佳，因此噴淋後體溫回升的所需的時間也較長。

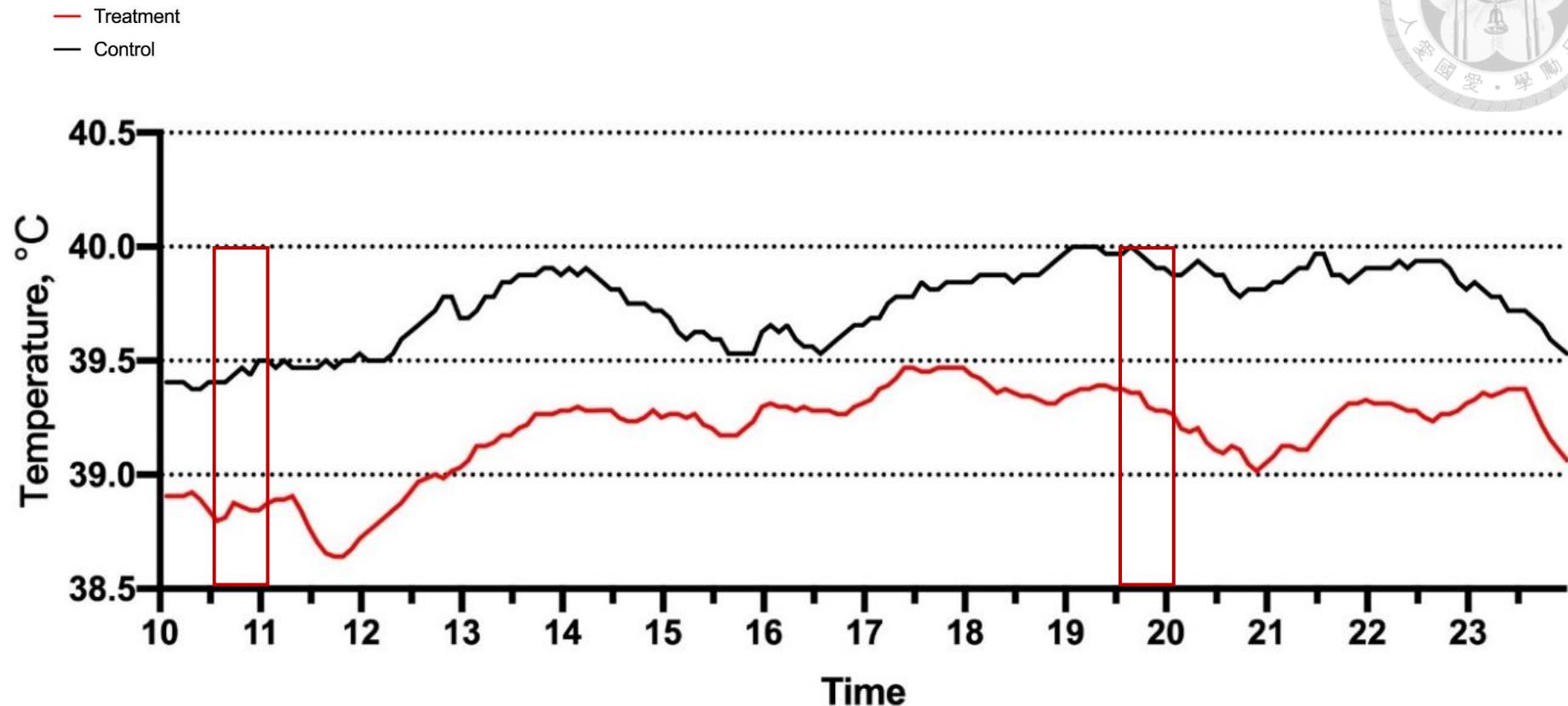


圖 16. 以陰道溫度計監控在不同降溫處理下乾乳牛之平均一日陰道溫度變化。

Figure 16. Effect of different cooling treatment on vaginal temperature ($^{\circ}\text{C}$) of dry cows monitored by vaginal thermometer.



透過上述實驗內容，可以確定集中噴淋對於高產牛與中產牛核心溫度的降溫效果優於頸夾噴淋，而集中噴淋應用於乾乳牛及低產牛同樣也有良好的效果，因此第二階段試驗將透過在懷孕晚期的乾乳牛，在不同時間開始接受降溫處理之後，相互比較對於牛隻影響的差別。

二、集中噴淋於乾乳牛的應用效果

(一) 分娩前

呼吸速率及直腸溫度有接受集中噴淋的所有牛隻及沒有接受噴淋處理的對照組，接受集中噴淋前 25 分鐘內及集中噴淋後 25 分鐘內測量的呼吸速率與直腸溫度，並依照上午實施噴淋（10:30）及晚上實施噴淋（19:30）的前後差異分別呈現於表 10 以及表 11。

(1) 呼吸速率

當呼吸速率超過每分鐘 50 至 60 次時，顯示牛隻處於熱緊迫的狀態 (Das et al., 2016; Hahn, 1999; Kadzere et al., 2002)。在分娩前 60-21 天之上午的測量時間點中，對照組及轉換期組(在此階段尚未接受噴淋)在檢測噴淋前及噴淋後時段的呼吸速率無顯著差異，且呼吸速率超過每分鐘 50 次，有接受噴淋處理的乾乳組，從噴淋前到噴淋後的呼吸速率顯著下降 ($P<0.01$)，從每分鐘超過 50 次下降至每分鐘少於 50 次，在分娩前 0-21 天，有接受噴淋處理的乾乳組及轉換期組，從噴淋前到噴淋後的呼吸速率顯著下降 ($P<0.01$) (表 10)。在分娩前 60-21 天之晚上的測量時間點中，對照組及轉換期組在檢測噴淋前及噴淋後時段的呼吸速率一樣無顯著差異，有接受噴淋處理的乾乳組，從噴淋前到噴淋後的呼吸速率顯著下降 ($P<0.01$)，且也下降至每分鐘少於 50 次，在分娩前 0-21 天，有接受噴淋處理的乾乳組及轉換期組，從噴淋前到噴淋後的呼吸速率顯著下降 ($P<0.01$) (表 11)。上述結果顯示，無



論是在上午及晚上實施集中噴淋降溫處理，都對於降低牛隻呼吸速率具有顯著的幫助，且每分鐘的呼吸速率可以減少約 20 次，顯示集中噴淋處理可以解除牛隻的熱緊迫，並提供牛隻舒適的感受。

其他研究成果也顯示以噴淋加上風扇的組合可以有效地改善乾乳牛隻熱緊迫的狀態，Fabris et al. (2019) 提供懷孕後期乾乳牛隻噴淋加上風扇的組合，冷卻組在全天呼吸速率上相較於對照組每分鐘減少了 20 次，Seyed Almoosavi et al. (2021) 的實驗結果，提供懷孕後期的乾乳牛隻噴淋加上風扇的組合，可以有效改善牛隻在熱緊迫狀態下全天的呼吸速率，相比於對照組，冷卻組在全天的每分鐘呼吸速率顯著下降 10 次，陳 (2019) 在懷孕後期的乾乳牛，在一天中除了噴霧加風扇以外，額外給予四次且每次 30 秒，全天共計 2 分鐘的人工淋水後，除了在淋水後可以降低牛隻呼吸速率之外，對於牛隻全天的平均呼吸速率也具有顯著降低的效果。因此，可以推測本研究提供牛隻上午及晚上共計 72 分鐘的集中噴淋，在噴淋後可以馬上解除牛隻熱緊迫狀態。

(2) 直腸溫度

在分娩前 60-21 天之上午的測量時間點中，對照組及轉換期組在檢測噴淋前及噴淋後時段的直腸溫度無顯著差異，有接受噴淋處理的乾乳組，從噴淋前到噴淋後的直腸溫度顯著下降 ($P<0.01$)，在分娩前 0-21 天，有接受噴淋處理的乾乳組及轉換期組，從噴淋前到噴淋後的直腸溫度顯著下降 ($P<0.01$) (表 10)。在分娩前 60-21 天之晚上的測量時間點中，對照組及轉換期組在檢測噴淋前及噴淋後時段的直腸溫度一樣無顯著差異，有接受噴淋處理的乾乳組，從噴淋前到噴淋後的直腸溫度顯著下降 ($P<0.01$)，且也下降低於 39°C ，在分娩前 0-21 天，有接受噴淋處理的乾乳組及轉換期組，噴淋前到噴淋後的直腸溫度顯著下降 ($P<0.01$) (表 11)。上述結果顯示，集中噴淋除了可以有效降低牛隻呼吸速率之外，也可以有效的降低牛隻的核心溫度，而此次測量結果也與試驗一之陰道溫度監控結果相似，顯示在上午時段



對於乾乳牛隻之熱緊迫是相對較輕微的，雖然呼吸速率達熱緊迫標準，但直腸溫度則是無熱緊迫的狀態($<39^{\circ}\text{C}$)，而在晚上的時段在噴淋後的時段雖然也低於 39°C ，然而離 39°C 只有0.01的差距，顯示在晚上的時段對於牛隻是較為不舒服的。

其他研究顯示，呼吸速率與核心溫度呈現正相關，且當核心溫度每上升 1°C ，呼吸速率也隨之提高20到47次/分鐘，然而當牛隻呼吸速率開始上升時，核心溫度並不會馬上上升，表示呼吸速率與核心溫度在熱緊迫的生理反應中可能為不同的層級，當熱負荷上升時，牛隻的首要反應便是尋找蔭涼處減少輻射熱，再來是增加身體與空氣接觸表面積以增加傳導及對流散熱，並增加呼吸速率提高呼吸熱損失，而當上述反應皆無法排除體內的熱能時，才會使核心溫度隨之上升(Atkins et al., 2018; Gaughan et al., 2000; Yan et al., 2021)。推測在本論文試驗期中的上午時段，對於牛隻來說為輕度熱緊迫需要增加散熱但未達體溫上升閥值的環境，而試驗一的全日陰道溫度也顯示，乾乳牛牛隻在下午一點後核心溫度才會開始上升至 39°C 以上，因此觀察到呼吸速率達熱緊迫標準但核心溫度為未達熱緊迫標準，但也能觀察到噴淋後的體溫顯著低於噴淋前，表示集中噴淋對於降低牛隻體溫具有良好的效果。

表 10. 上午時段集中噴淋前後之呼吸頻率（次/分鐘）及直腸溫度（ $^{\circ}\text{C}$ ）變化
 Table 10. Effect of group soaking treatment on respiration rate and body temperature in the day time

Item	Before	After	S.E.M	p-value
60-21 day before expected calving				
Control				
RR (Times/min)	50.4	50.8	1.01	0.69
BT ($^{\circ}\text{C}$)	38.6	38.6	0.02	0.90
Transition				
RR(Times/min)	52.2	52.2	1.38	0.96
BT ($^{\circ}\text{C}$)	38.7	38.7	0.05	0.91
Dry				
RR(Times/min)	57.8 ^a	38.5 ^b	0.90	<0.01
BT ($^{\circ}\text{C}$)	38.7 ^a	38.2 ^b	0.03	<0.01
21-0 day before expected calving				
Control				
RR (Times/min)	52.1	52.3	1.45	0.85
BT ($^{\circ}\text{C}$)	39.0	39.0	0.04	0.63
Transition				
RR(Times/min)	55.3 ^a	35.5 ^b	1.55	<0.01
BT ($^{\circ}\text{C}$)	39.2 ^a	38.8 ^b	0.07	<0.01
Dry				
RR(Times/min)	57.7 ^a	39.4 ^b	1.13	<0.01
BT ($^{\circ}\text{C}$)	39.0 ^a	38.5 ^b	0.04	<0.01

^{a,b}Values in the same row with different letters differ according to the t-test ($P<0.05$).

RR: Respiration rate, BT: Body temperature

表 11. 晚上時段集中噴淋前後之呼吸頻率（次/分鐘）及直腸溫度（ $^{\circ}\text{C}$ ）變化
 Table 11. Effect of group soaking treatment on respiration rate and body temperature in the night time

Item	Before	After	S.E.M	p-value
60-21 day before expected calving				
Control				
RR (Times/min)	46.0	45.6	0.98	0.77
BT ($^{\circ}\text{C}$)	38.9	38.9	0.03	0.46
Transition				
RR(Times/min)	48.4	47.8	1.16	0.57
BT ($^{\circ}\text{C}$)	39.0	39.0	0.05	0.53
Dry				
RR(Times/min)	54.2 ^a	37.1 ^b	0.84	<0.01
BT ($^{\circ}\text{C}$)	38.9 ^a	38.3 ^b	0.04	<0.01
21-0 day before expected calving				
Control				
RR (Times/min)	57.6	57.3	1.33	0.85
BT ($^{\circ}\text{C}$)	39.4	39.3	0.04	0.10
Transition				
RR(Times/min)	52.6 ^a	33.0 ^b	1.71	<0.01
BT ($^{\circ}\text{C}$)	39.5 ^a	38.9 ^b	0.06	<0.01
Dry				
RR(Times/min)	53.7 ^a	35.2 ^b	1.31	<0.01
BT ($^{\circ}\text{C}$)	39.4 ^a	38.7 ^b	0.06	<0.01

^{a,b}Values in the same row with different letters differ according to the t-test ($P<0.05$).

RR: Respiration rate, BT: Body temperature



1. 牛隻行為

本論文之牛隻行為主要為 Semex Ai24 行為活動量偵測器記錄之結果，並分別依照頸圈活動量偵測器及前肢計步式活動量偵測器的記錄結果，剔除掉因下雨所以沒有進行集中噴淋處理的相對時段數據後，分為採食相關行為（頸圈）及活動量相關行為（前肢計步式），再依照不同起始階段進行比較，為乾乳期開始到轉換前期日（預期分娩前 60 日到預期分娩前 21 日）及轉換前期至分娩（預期分娩前 21 日至分娩日）。

(1) 採食相關行為

A. 採食時間

採食時間在預期分娩前 60-21 日及預期分娩前 21 日至分娩兩個時段，三個組別間無顯著差異（表 12、13），由於此活動量偵測器無法分辨飲水及採食之間的不同，會將飲水行為的時間併入採食中，因此會高估採食時間。當牛隻遭受熱緊迫時，會降低乾物質採食量，並增加飲水量，由於熱緊迫時牛隻需要藉由排出體內的水分達到蒸發散熱的效果，因此會增加飲水量並使飲水時間增加，當環境上升 1°C 時，牛隻的飲水量也會相對增加 1.2 公斤（Becker et al., 2020; Polsky et al., 2017）。陳（2019）的研究顯示，使用人工判斷牛隻行為時，有接受額外降溫處理的牛隻，其採食時間顯著高於沒有接受額外降溫處理的對照組，然而使用活動量偵測器判讀時，由於該研究使用的活動量偵測器同樣會將飲水併入採食行為中，因此結果顯示在採食時間上無顯著差異。Karimi et al. (2015) 提供懷孕晚期（預期分娩前 21 日）的乾乳牛降溫處理時，在採食相關行為的結果上，採食時間及每次進食時間都顯著高於對照組，而飲水時間則是對照組顯著高於處理組。因此推測本研究在兩個時期間的採食行為無顯著差異也是由於偵測器的採食時間有併入飲水時間所導致。

由於牛隻在越接近分娩時，胎兒成長越壓迫瘤胃空間，因此會降低採食量，當分娩前 7 日時，其採食量會下降約 30%，而採食行為的部分則會減少約 40%，但對於飲水時間則無影響（Grand and Albright, 1995; Huzzey et al., 2005）。因此，在預



期分娩前 0-21 天的平均採食時間相比預期分娩前 60-21 日的採食時間下降許多。

B. 反芻時間

反芻時間在預期分娩前 60-21 日為乾乳組顯著高於對照組及轉換期組（表 12），而在分娩前 0-21 日則是乾乳組顯著高於對照組（表 13），而轉換期組與對照組及乾乳組間無顯著差異，結果顯示當牛隻接受集中噴淋降溫處理後，會使反芻時間顯著高於沒有接受降溫處理的牛隻（表 12）。此偵測器可以透過麥克風感測食糜通過頸部的聲音判斷反芻行為及採食與飲水行為的差別，因此可以比較各組間反芻時間的差異。Karimi et al. (2015) 的研究發現，有接受降溫處理的懷孕後期乾乳牛隻（分娩前 0-21 日），反芻時間會顯著高於沒有接受降溫處理的對照組，實驗結果中，牛隻反芻時間為（對照組:243.2、冷卻組:282.5 分鐘/日），而本實驗則超過 500 分鐘/日，由於本論文餵飼方式與該文獻餵飼 TMR 不同，本論文之乾乳牛主要餵飼未經額外切割的盤固拉乾草及上下午各一次的精料，未切割之盤固拉乾草具有較多且長的物理有效性中洗纖維，牛隻需要較長的時間反芻並降低芻料的長度，因此本實驗結果有較長的反芻時間。在其他對於泌乳牛的實驗結果同樣顯示，有接受降溫處理的牛隻，其反芻時間會顯著高於沒有接受降溫處理的對照組 (Corazzin et al., 2021; Kleinjan-Elazary et al., 2020)。

反芻時間與採食時間成正相關，當牛隻一天花費越多時間採食，則會花費較多的時間反芻 (Schirrmann et al., 2012)，而有接受降溫處理的牛隻（預期分娩日前 60-21 天的乾乳組及預期分娩前 0-21 日的乾乳組），相比對照組皆有較長的反芻時間（表 12、13），因此推測可能也具有較長的採食時間。反芻行為也可以視為牛隻是否舒適的指標，本文作者於噴淋期間觀察到，當噴淋進行到第 2 到 3 個循環時，約有 8 成牛隻開始進行反芻行為，代表噴淋處理對於牛隻而言無緊迫發生，且在噴淋的過程中對於牛隻而言是舒適的過程。



C. 不活動時間

不活動時間在預期分娩前 60-21 日及預期分娩前 21 日至分娩兩個時段，三個組別間無顯著差異（表 12、13），本實驗所使用之活動量偵測器，不活動時間包含站立、移動及躺臥，只要不是從事反芻、飲水及採食以外的時間，皆會被算入不活動的時間內。

表 12. 集中噴淋於預期分娩前 60 日到 21 日於三組間乾乳牛隻行為的影響

Table 12. Effect of group soaking treatment on behaviors on dry cow during 60-21 days before expected calving

	Control	Dry	Transition	S.E.M.	p-value
Feeding time(min/d)	436.0	436.1	380.8	28.87	0.40
Rumination(min/d)	529.9 ^b	588.3 ^a	532.7 ^b	4.70	<0.01
Non-active(min/d)	471.0	405.9	504.6	30.33	0.45

^{a,b}Values in the same row with different letters differ according to the Tukey test (P<0.05).

表 13. 集中噴淋於預期分娩前 0-21 日至分娩日於三組間乾乳牛隻行為的影響

Table 13. Effect of group soaking treatment on behaviors on dry cow during 0-21 day before expected calving

	Control	Dry	Transition	S.E.M.	p-value
Feeding time(min/d)	317.1	345.2	321.0	27.13	0.37
Rumination(min/d)	535.8 ^b	571.6 ^a	556.6 ^{ab}	5.36	0.02
Non-active(min/d)	586.0	537.4	553.9	33.43	0.74

^{a,b}Values in the same row with different letters differ according to the Tukey test (P<0.05).



(2) 活動量相關行為

A. 躺臥時間

躺臥時間在預期分娩前 60-21 日及預期分娩前 21 日至分娩兩個時段，三個組別間無顯著差異（表 14、15），三組牛隻一日間的躺臥時間達到一日至少 12 小時，與文獻中提到之懷孕後期牛隻躺臥時間一日需 12-14 小時相同 (Huzzey et al., 2005; Schirmann et al., 2016)。在轉換期組部分，預期分娩前 21 天至分娩的躺臥時間相比預期分娩前 60-21 日的採食時間下降約 100 分鐘/日，由於轉換期組於預期分娩前 21 日開始接受集中噴淋，集中噴淋需要在上午及晚上分別接受各 36 分鐘共計 72 分鐘的降溫處理，在噴淋期間為了使水能夠確實淋濕牛隻的全身，因此會強迫牛隻在集中噴淋區站立，推測因為此原因才會導致轉換期組在開始接受集中噴淋處理後相比未接受集中噴淋時減少約 100 分鐘的躺臥時間，本文作者也有觀察到，當時間接近噴淋時間時，有固定接受集中噴淋降溫處理的牛隻會提前約 10 到 20 分鐘在欄杆旁邊等待前往集中噴淋區接受噴淋，而降溫處理結束回到休息區時則會馬上進入頸夾進行採食，採食約 5-10 分鐘後才會躺下休息，因此對於躺臥時間會有較多的影響，而乾乳組牛隻編號 551 於分娩前 15 日發生跛行及蹄底潰瘍，因此大幅增加躺臥時間（跛行前 839.1、跛行後 1025.3 分鐘/日），導致乾乳組於分娩前 0-21 日的數據上顯示高的躺臥時間。本試驗所使用之集中噴淋無法達到提高乾乳牛躺臥時間的目的。

熱緊迫的牛隻會傾向增加一日間的站立行為並減少躺臥行為，由於牛隻感受到熱時，牛隻將花費更多的時間站立，站立可以增加與體表面積與空氣接觸，協助牛隻透過對流與傳導的方式散熱 (Becker et al., 2020; Polsky and von Keyserlingk, 2017)。Karimi et al. (2015) 的研究結果顯示，當懷孕後期的乾乳牛隻有額外接受降溫處理時，其一日間的站立時間顯著低於未接受降溫處理的牛隻（降溫組:390.4 分鐘/日、對照組:474.0 分鐘/日），陳 (2019) 的研究指出用人工觀察牛隻行為時，有接受額外降溫處理的懷孕後期乾乳牛隻，其站立時間顯著低於沒有接受額外降



溫處理的對照組（降溫組:240 分鐘/日、對照組:308 分鐘/日），躺臥時間則兩組間無顯著差異。

B. 活動量

本論文以計步式活動量偵測器紀錄牛隻一天的步伐來評估牛隻一日的活動量，在預期分娩前 60-21 日為乾乳組顯著高於對照組及轉換期組（表 14），而在日期分娩前 0-21 天則是乾乳組及轉換期組顯著高於對照組（表 15），結果顯示當牛隻接受集中噴淋降溫處理後，會使全天步伐顯著高於沒有接受降溫處理的牛隻。Honig et al. (2012) 的研究同樣使用計步器記錄高產泌乳牛隻活動的時間，並比較提供 8 次及 5 次降溫處理的牛隻間的差異，結果顯示，有提供 8 次降溫處理的牛隻，其活動時間會顯著高於對照組（8 次:148.8 分鐘/日、5 次:131.7 分鐘/日）。當牛隻感受到熱緊迫時，除了增加站立時間減少躺臥時間以增加散熱之外，也會減少運動與步伐避免多餘的熱量產生 (Allen et al., 2015; Becker et al., 2020; Polsky and von Keyserlingk, 2017)。在轉換期組部分，預期分娩前 0-21 天的步伐高於預期分娩前 60-21 日的步伐，顯示當牛隻有接受集中噴淋時，可以增加每日的活動量。



表 14. 集中噴淋於預期分娩前 60 日到 21 日於三組間乾乳牛隻活動量相關行為的影響

Table 14. Effect of group soaking treatment on activity behavior on dry cow during 60-21 day before expected calving

	Control	Dry	Transition	S.E.M.	p-value
Laying time(min/d)	776.3	753.0	801.3	23.07	0.39
Footstep(steps/d)	2152 ^b	3386 ^a	2262 ^b	200.5	0.01

^{a,b}Values in the same row with different letters differ according to the Turkey test($P<0.05$).

表 15. 集中噴淋於預期分娩前 0-21 日至分娩於三組間乾乳牛隻活動量相關行為的影響

Table 15. Effect of group soaking treatment on activity behavior on dry cow during 0-21 day before expected calving

	Control	Dry	Transition	S.E.M.	p-value
Laying time(min/d)	731.1	787.0	699.0	25.86	0.40
Footstep(steps/d)	2486 ^b	3289 ^a	3609 ^a	195.1	0.04

^{a,b}Values in the same row with different letters differ according to the Tukey test($P<0.05$).



(二) 分娩後

1. 泌乳表現

轉換期組牛隻編號 639 因分娩後體溫持續偏高且無子宮炎及乳房炎相關疾病發生 ($>40^{\circ}\text{C}$)，經直腸觸診後發現有兩顆腫瘤存在，因此獸醫師診斷為腫瘤熱 (Tumor fever) 引起之高燒，且腫瘤位置為靠近子宮處，獸醫師判斷此牛隻已不適合繼續配種及受孕，分娩後即淘汰，不列入統計分析中。

(1) 乳量

本論文每頭牛分娩後依據牧場 DHI 採樣日期，每 30 天採樣一次至泌乳天數 120 天，乾乳組、轉換期組及對照組，三組間乳量及 4% 乳脂肪校正乳量無顯著差異，雖未達顯著差異，然乾乳組平均 4% 乳脂肪校正乳量高於對照組及轉換期組約 2 公斤，仍具經濟意義 (表 16)。轉換期組及乾乳組的乳量較高推測可能為在產前接受集中噴淋的影響，分娩前數據顯示接受集中噴淋處理的牛隻，受到熱緊迫的影響較少，且集中噴淋後的體溫可以維持約 90-120 分鐘，對於緩解熱緊迫具有良好的效果。乾乳期歷經乳腺細胞的更新，乾乳期遭受熱緊迫時，會使乳腺細胞的細胞自噬及細胞凋亡的相關的基因信號受到影響，進而影響乳腺細胞的更新，乳量的多寡與乳腺細胞的數量有相當大的關係，因此在分娩前的乾乳期緩解牛隻的熱緊迫，對於牛隻後續的產乳表現也會有正面的影響 (Fabris et al., 2020)。

其他研究同樣給予懷孕後期的乾乳牛隻額外的降溫處理，相較於沒有給予降溫處理的組別，在該次分娩後皆表現較高的乳量，且該次泌乳期全期的泌乳曲線皆顯著高於沒有給予降溫處理的組別，顯示在乾乳期遭受熱緊迫會降低後續的產乳表現 (Adin et al., 2009; Davidson et al., 2021; Fabris et al., 2017; Fabris et al., 2019; Tao et al., 2011; 陳, 2019)。Fabris et al. (2019) 則比較了在懷孕後期時間點開始給予降溫處理對於牛隻的影響，結果顯示即使從分娩前 21 天開始給予降溫處理，其該次泌乳期的產乳量一樣顯著低於從分娩前 46 天開始給予降溫處理的組別，且與無



進行降溫處理的組別間無顯著差異，而 Karimi et al. (2015) 則是從分娩前 21 天開始給予降溫處理，處理組於產後 21 天內的產乳量也顯著高於對照組。本論文中三組間無顯著差異，推測可能為因乳量及乳成分分析為配合場內 DHI 採樣日期，採樣日時發生乳房炎之牛隻的數據同樣會計入統計分析中，研究指出當牛隻產乳高峰前發生乳房炎，乳量會下降約 10.4% (Hortet and Seegers, 1998)。而分娩前躺臥時間結果三組間無顯著差異，顯示本實驗集中噴淋的降溫方式可能不足，導致牛隻還是有遭受熱緊迫，對於乾乳期乳腺細胞修復可能具有影響。

(2) 乳脂肪率

李等人 (2015) 調查 2012 年到 2013 年台灣荷蘭牛平均乳脂肪率約為 3.80%，本實驗之乳脂肪率三組皆低於台灣平均值，且三組間無顯著差異 (表 16)。

先前的研究中對於懷孕後期乾乳牛遭受熱緊迫對於乳脂肪率是否有影響的結果不同，陳 (2019) 的研究於分娩後一至三周每周採樣一次，結果顯示產前接受額外降溫處理的牛隻之乳脂肪率顯著低於無接受額外降溫處理的牛隻 (無冷卻組: 4.93 %、冷卻組: 4.18 %)，作者認為無接受額外降溫處理的牛隻在產前有較低的採食量，對於產後能量負平衡狀態較嚴重因此出現動員體內脂肪的情形發生，導致沒有額外降溫的組別有較高的乳脂肪率。而在其他文獻中，自分娩後開始記錄，最短至產後 7 周而最長至產後 30 周，無論是則是產前有接受降溫處理及熱緊迫的組別間無顯著乳脂肪率差異 (Adin et al., 2009; Davidson et al., 2021; do Amaral et al., 2009; Fabris et al., 2017; Fabris et al., 2019; Karimi et al., 2015; Tao et al., 2011; Tao et al., 2012)，即使在初乳的乳脂肪率之間也無顯著差異 (Seyed Almoosavi et al., 2021)。Avendaño-Reyes et al. (2006) 的研究中則分別在兩種實驗中使用不同的降溫處理，並於分娩後八周內每周進行乳樣品的檢測，在實驗一使用水管在 11:30 與 14:30 對乾乳牛各淋 25 公升水的降溫處理中，在分娩後八周內的平均乳脂肪率無顯著差異 (無冷卻組: 3.12 %、冷卻組: 3.13 %)，而在實驗二使用風扇加上噴霧的一天 8 小時降



溫處理中，在分娩後八周內的平均的乳脂肪率則是有進行降溫處理的組別顯著高於沒有進行降溫處理的組別（無冷卻組:2.97%、冷卻組:3.27%），作者認為兩種降溫處理對於牛隻的降溫效果存在差異，實驗一的呼吸速率與體溫的結果中並未得到改善，顯示實驗一之降溫效果不佳，而實驗二之呼吸速率與體溫得到明顯改善，因此在產後具有較好的表現。Fabris et al. (2020) 則認為由於懷孕後期遭受熱緊迫會直接影響乳腺細胞的更新，因此對於產乳量的影響較大，而乳成分主要受到營養狀態及乳量所影響，因此在分娩後出現的乳脂肪率差異可能來自於乳量的影響所導致。

(3) 乳蛋白率

李等人(2015)調查2012年到2013年台灣荷蘭牛平均乳蛋白率約為3.19%，本實驗之乳蛋白率三組皆低於台灣平均值，且三組間無顯著差異(表16)。本實驗營養配方之粗蛋白含量低於NRC之推薦值，因此導致出現乳蛋白率較低之情形。

先前的研究中對於懷孕後期乾乳牛遭受熱緊迫對於乳蛋白率是否有影響的結果也與乳脂肪率一樣存在差異，Seyed Almoosavi et al. (2021)的研究中發現產前遭受熱緊迫的牛隻，在產後2小時之初乳的乳蛋白率顯著低於有接受降溫處理的組別（無冷卻組:9.75%、冷卻組: 13.50 %），作者表示由於熱緊迫會影響懷孕期流向乳腺細胞的血流量，進而影響乳腺細胞的營養供給，使初乳中的Ig及IgA含量降低，也會影響初乳中的總蛋白率。而 Tao et al. (2011)的研究結果則是在產前有接受降溫處理的牛隻，其產後記錄至280天之乳蛋白率顯著低於產前遭受熱緊迫的牛隻（無冷卻組:3.01%、冷卻組: 2.87 %），作者表示確切原因仍未知，推測可能與降溫組別較高的乳量有關，導致乳蛋白率受到稀釋。其他文獻則是顯示自分娩後開始記錄，最短至產後7周而最長至產後30周，而不管產前有無接受降溫處理，對於產後的乳蛋白率不會有影響，有降溫及熱緊迫的組別之間無顯著差異(Adin et al., 2009; Davidson et al., 2021; do Amaral et al., 2009; Fabris et al., 2017; Fabris et al., 2019;



Karimi et al., 2015; Tao et al., 2012)。

對於文獻中乳蛋白率及乳脂肪率的結果出現差異，Karimi et al. (2015) 認為是降溫處理開始的時間所導致，作者推測由於他的實驗為分娩前 21 日開始接受降溫處理，對於隨後的乳成份可能影響較小，然而在 Fabris et al. (2019) 的研究中直接比較預期分娩前 46 天與預期分娩前 21 天開始接受降溫處理的差異，結果顯示無論接受降溫處理的時間早或晚，對於乳脂肪率及乳蛋白率皆無影響。而本研究結果也顯示預期分娩前 21 日與預期分娩前 60 日開始接受降溫處理間的乳脂肪率與乳蛋白率之間無顯著差異，顯示降溫處理對於乳脂肪率及乳蛋白率無影響，或本實驗之降溫處理次數不足導致效果不佳。

(4) 乳糖率

乳糖為乳汁中最穩定的成份，一般情況下乳糖含量約為 4.6% (Holt, 1983)，李等人 (2015) 調查 2012 年到 2013 年台灣荷蘭牛平均乳糖率為約為 4.7%，而本研究中的乳糖率皆高於平均值，且三組間無顯著差異 (表 16)。由於乳糖為乳汁中穩定的成份，因此在其他研究中也觀察到在產前遭受熱緊迫的牛隻與接受降溫處理的牛隻之乳糖率間無顯著差異，且皆為 4.7% 左右 (Adin et al., 2009; do Amaral et al., 2011; Fabris et al., 2017; Fabris et al., 2019; Tao et al., 2011; Tao et al., 2012)。

(5) 總固形物與無脂固形物

李等人 (2015) 調查 2012 年到 2013 年台灣荷蘭牛平均無脂固形物約為 8.57%，總固形物為 12.38%，行政院農委會之乳品加工廠收購酪農原料生乳驗收及計價要點中須符合無脂固形物不低於 8%，本研究結果之無脂固形物略高於平均值，總固形物部分略低於平均值，推測與配方營養濃度有關，本實驗之實驗牧場的營養配方策略著重於乳量，因此有較低的乳成份，而三組間在總固形物及無脂固形物之間無顯著差異 (表 16)。在先前的研究中較少呈現總固形物與無脂固形物，陳 (2019)



的研究結果顯示在產前有接受額外降溫處理的牛隻，其總固形物顯著低於無給予額外降溫處理的牛隻，而在無脂固形物之間無顯著差異，而作者認為是由於乳量差別引起的差異，由於該文獻中的乳脂肪率結果與總固形物結果相同，總固形物與無脂固形物之間差異為乳脂肪率，因此導致在總固形物間有顯著差異。Karimi et al. (2015)的研究結果顯示，有進行降溫處理的牛隻與遭受熱緊迫的牛隻在無脂固形物無顯著差異，由於該文獻其他乳成分也皆無顯著差異，因此作者無額外解釋該數值的原因。

(6) 尿素氮

尿素氮含量在三組間無顯著差異，行政院農委會乳牛群性能改良計畫之尿素氮標準為 11-17 mg/dL，而本研究的尿素氮含量皆低於標準值（表 16），瘤胃可降解蛋白質是瘤胃微生物蛋白質合成所需的主要氮源，需要搭配足夠的碳水化合物以生成能量進行合成微生物蛋白質，微生物蛋白質吸收後則會透過血液進入乳腺組織合成乳蛋白質，而瘤胃中未被微生物利用的氮，經吸收後進入肝臟或腎臟合成尿素氮，再透過尿液及乳汁排出，而乳中尿素氮與血中尿素氮成高度正相關($r>0.9$)因此可以作為飼糧中蛋白質含量是否足夠的指標 (Broderick and Clayton, 1997; Souza et al., 2021)。而本論文中的乳蛋白率為正常值範圍內，因此推測在飼糧中瘤胃可降解蛋白質與碳水化合物含量足夠，然粗蛋白質含量可能不足 (<16%)，導致尿素氮呈現較低的情況。過去相關文獻中對於產前遭受熱緊迫是否影響尿素氮鮮少探討，Adin et al. (2009) 的研究結果顯示，產前熱緊迫與有接受降溫處理的牛隻，在產後的乳中尿素氮含量無顯著差異。顯示產前熱緊迫可能對於尿素氮含量較無影響。

(7) 檸檬酸

檸檬酸在三組間無顯著差異，行政院農委會乳牛群性能改良計畫之尿素氮標



準為 119-190 mg/dL，而本研究的檸檬酸含量皆於標準值內，轉換期組別的檸檬酸偏高，但也於標準值內（表 16）。在其他相關研究中無呈現檸檬酸含量的差異，顯示產前熱緊迫可能對於乳中檸檬酸含量較無影響。

(8) 體細胞數

體細胞數在三組間無顯著差異，行政院農委會生乳品質分級基準中最高級別之 A 級乳定義為體細胞數 $30 \times 10^6 / mL$ 以下，而本研究中三組體細胞數皆是 A 級乳等級，對照組及乾乳組數據上高於轉換期組，由於採樣日為每月一次統一採樣，對照組牛隻編號 676 與乾乳組牛隻編號 750、753 及 511 分別在第 2-4 個月、第 3-4 個月、第 1 個月及第 1-2 個月採樣時發生乳房炎，因此出現較高的體細胞數，而三組間於採樣期間乳房炎盛行率（Prevalence）的牛隻占比相近（表 16）。

在相關文獻有呈現體細胞數的結果中，在產前有接受降溫處理的牛隻與沒有進行降溫處理的牛隻，在體細胞數上無顯著差異（Fabris et al., 2017; Fabris et al., 2019; Karimi et al., 2015; Tao et al., 2012）。Menta et al. (2022) 的研究結果顯示，無論產前是否有遭受熱緊迫，對於產後乳房炎發生率皆無影響。因此推測本實驗中發生的乳房炎與分娩前是否有接受集中噴淋降溫處理可能無相關。

(9) 丙酮與 β -羥基丁酸

丙酮與 β -羥基丁酸在三組間無顯著差異，丙酮與 β -羥基丁酸可作為監測牛隻酮症的指標，丙酮在乳中的濃度應低於 0.7 mmol/L， β -羥基丁酸在乳中的濃度應低於 1.2 mmol/L，文獻指出在乾乳期間遭受熱緊迫會使產後酮症的機率增加，然而三組牛隻的兩項指標皆低於亞臨床性酮症的標準，由於酮症好發期為產後一個月，而本研究採樣至產後四個月，因此較難看出差異（Gustafsson and Emanuelson, 1996; McArt et al., 2012; Thompson and Dahl, 2012）。

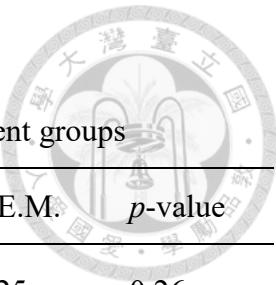


表 16. 不同組別泌乳牛之乳量與乳成分

Table 16. Milk yield and milk composition of lactating cows in different groups

Item	Control	Dry	Transition	S.E.M.	p-value
Milk yield(kg)	39.33	42.03	41.99	1.25	0.26
4% FCM (kg) ¹	35.36.	37.38	35.21	0.78	0.12
Fat (%)	3.43	3.40	3.28	0.11	0.85
Protein (%)	3.15	3.08	3.03	0.04	0.46
Lactose (%)	5.02	4.94	5.05	0.03	0.36
Non-fat solid (%)	8.87	8.72	8.78	0.05	0.39
Total solid (%)	12.29	12.12	12.06	0.12	0.73
Urea N.(mg/dL)	8.00	8.46	7.75	0.28	0.62
Citric acid (mg/dL)	169.07	168.92	184.54	4.64	0.35
Somatic cell count ($10^4/\text{mL}$)	28.01	24.17	2.34	8.18	0.52
Acetone (mmol/L)	0	0	0	0	
BHBA(mmol/L)	0.01	0.03	0.02	0.004	0.33
Mastitis prevalence (%)	66.7	66.7	60	-	-

¹4% FCM: Fat corrected milk= milk yield x 0.4+ milk fat yield x 15 (NRC 1989).



2. 繁殖表現

分娩後繁殖表現資料收集至 2022 年 6 月 1 日，其中對照組牛號 6141 及乾乳組牛號 721，因長期乳房炎無法痊癒因此淘汰。轉換期組牛號 639 淘汰、牛號 2124 及 6112 至資料收集結束尚未配種成功，因此轉換期組資料過少不列入統計。

(1) 產後疾病發生

對照組牛號 676、轉換期組 2124 及 639 於分娩後發生胎衣滯留，且對照組及轉換期組平均懷孕期少於 271 (表 17)。正常情況下，當牛隻分娩完成，母體滋胚層細胞 (Trophoblast cells) 會對胎兒抗原的免疫識別，藉此觸發免疫炎症反應，讓胎兒胎盤能夠被識別為外來組織並有效分離，並有助於分娩後 12 小時內將胎衣的排出，當胎衣超過 12 小時尚未被排出時則視為胎衣滯留。胎衣滯留的主要成因為分娩期間的免疫抑制所導致，當牛隻懷孕後期遭受緊迫、採食量減少、能量負平衡、胰島素阻抗等等狀況時，會導致免疫功能受到抑制無法正常表現，會使牛隻分娩期間子宮發生細菌感染的機率上升並產生發炎反應，導致免疫功能受到抑制，無法順利將胎衣辨識為需要排出體外的組織，進而引起胎衣滯留 (Davies et al., 2004; Mordak and Stewart, 2015)。目前相關文獻觀察到當牛隻在懷孕後期遭受熱緊迫時會使採食量下降且有較短的懷孕期，當懷孕期縮短時 (<271 d) 會使胎衣滯留的發生率增加，也觀察到在懷孕後期受到熱緊迫的牛隻相較於有接受降溫處理的牛隻更容易發生產後疾病如子宮炎、胎衣滯留、第四胃異位、乳熱、酮症等等 (Adin et al., 2009; Han and Kim, 2005; Menta et al., 2022; Tao and Dahl, 2013)。本論文之對照組與轉換期組為有在懷孕後期受到熱緊迫的影響，有較高的產後疾病發生率，顯示在懷孕後期受到熱緊迫對於牛隻產後的健康狀況具有一定程度的影響。



(2) 產後初次發情、空胎期及配種次數

乾乳組產後初次發情天數顯著低於轉換期組及對照組，在空胎期及配種次數上由於轉換期組資料不足因此不進行比較，而在乾乳組及對照組間無顯著差異（表 17）。Castro et al. (2012) 的研究指出，懷孕後期乾乳期的能量與代謝狀態對於分娩後卵巢恢復活動有至關重要的影響，在分娩後 3 周內有出現濾泡波周期的牛隻，分析其產前 6 周內的血液生理生化值時，顯示其採食量、胰島素、類胰島素生長因子 I、血糖及甲狀腺素之血漿濃度皆顯著高於分娩後 3 周內沒有出現濾泡波週期的牛隻。然而乾乳期受到熱緊迫是否對於產後繁殖表現有影響，目前相關文獻中的研究結果仍不一致。Karimi et al. (2015) 的研究發現，在產前 21 天開始接受降溫處理的牛隻，其分娩前的乾物質採食量顯著高於對照組，然而在空胎期及配種次數間則無顯著差異。Avendaño-Reyes et al. (2006) 研究顯示當整個乾乳期都接受降溫處理時，牛隻產後的空胎期及配種次數皆顯著低於沒有接受降溫處理的組別。Pinedo and DeVries (2017) 研究結果表示，夏季分娩的牛隻相較於冬季分娩，具有較多分娩後初次發情所需的天數與空胎期。陳 (2019) 的研究同樣顯示有接受額外降溫處理的牛隻，相比只有接受灑水及風扇的組別具有較高的配種成功率。Menta et al. (2022) 的研究成果則發現，經產牛產前熱緊迫對於產後初次配種的成功率無影響，而是分娩後遭受熱緊迫才會對初次配種的成功率有顯著的影響。綜合上述文獻與本論文研究結果，推測牛隻需在懷孕後期整個乾乳期進行降溫處理，相較於在乾乳期間有遭受到熱緊迫的牛隻，具有顯著較短的產後初次發情的天數。

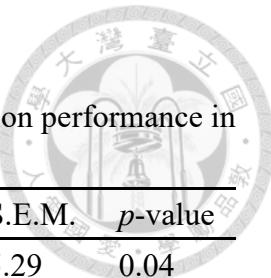


表 17. 集中噴淋於不同組別泌乳牛之繁殖表現

Table 17. Effect of group soaking treatment on postpartum reproduction performance in different groups

	Control	Dry	Transition	S.E.M.	p-value
First estrus(d) ¹	54.17 ^a	24.80 ^b	49.00 ^a	5.29	0.04
Days open ²	122.80	94.40	-	28.19	0.34
Number of services ²	1.8	1.6	-	0.55	0.72
Retained placenta	1	0	2	-	-
Gestation length (d)	268.7	271.2	267.6	1.03	0.77

¹ a,bValues in the same row with different letters differ according to the Tukey test (P<0.05).

²Analysis by unpaired t-test.

3. 瘦牛生長表現

試驗二出生的小牛中，乾乳組牛隻編號 750 的小牛於半夜出生，因不明原因死亡，轉換期組牛隻編號 2124 的小牛，診斷分娩前 15 天於子宮內死亡並引產，因此不列入統計分析中。乾乳組小牛為一隻公牛及四隻母牛共五隻，轉換期組小牛為四隻公牛及一隻母牛共五隻，對照組小牛為三隻公牛及三隻母牛共六隻。

(1) 瘦牛出生重

對照組、轉換期組及乾乳組三組間的瘦牛出生重無顯著差異，母牛懷孕天數三組間也無顯著差異（表 18）。與其他文獻不同，文獻指出當產前受到熱緊迫時，會因為母體流向胎盤的血液流量減少，導致母體與胎兒之間的營養交換減少並造成懷孕後期熱緊迫的牛隻所生的瘦牛有出生體重顯著低於在懷孕後期接受降溫處理的牛隻（Ahmed et al., 2021; Dahl et al., 2016; Laporta et al., 2017; Ouellet et al., 2020; Tao et al., 2012）。Seyed Almoosavi et al. (2021) 的研究結果同樣顯示在懷孕後期乾乳期的牛隻遭受受緊迫時，會使瘦牛的出生重顯著低於在懷孕後期有接受降溫處理的組別（無冷卻組 30.7、冷卻組 37.0 kg），作者認為除了與胎盤血流量有關以外，在懷孕後期的受到熱緊迫的牛隻有觀察到早產的現象（無冷卻組 268、冷卻組



276 day)，而胎兒會在懷孕後期的 60 天成長 60% 的體重，當懷孕期被縮短時可能導致胎兒生長的時間不足進而出現較低的出生重，而作者分析母牛血液生理生化值時，發現當懷孕後期受到熱緊迫時，母牛體內的腎上腺皮質素 (Cortisol) 濃度顯著高於在懷孕後期有接受降溫處理的牛隻 (無冷卻組 10.88、冷卻組 5.27 mg/dl)。胎兒及母體所分泌的腎上腺皮質素為反芻動物啟動分娩的關鍵內泌素，懷孕後期遭受熱緊迫的犢牛在出生時觀察到相較於懷孕後期有接受降溫處理的犢牛具有較高的腎上腺皮質素，但在懷孕後期遭受熱緊迫的母體則具較高的腎上腺皮質素可能會使母體提前分娩，然而各篇文獻對於妊娠期間的遭受熱緊迫的皮質素濃度變化解釋不同，因此還需要更多研究探討懷孕後期熱緊迫與提前分娩之間的關係 (Guo et al., 2016; Seyed Almoosavi et al., 2021; Tao et al., 2012; Wood, 1999)。陳 (2019) 及 Monteiro et al. (2016) 的結果顯示在懷孕後期不論有無接受額外的降溫處理，且產前的躺臥時間無顯著差異，對於犢牛的出生重皆無顯著差異，與本論文的研究結果相同，顯示犢牛出生重可能與懷孕天數具較大的關係。

(2) 犢牛生長

對照組、轉換期組及乾乳組三組間的犢牛一月齡重、二月齡重、一月齡間日增重及一到二月齡間日增重無顯著差異，而總日增重則是隨著集中噴淋的天數增加有較高的趨勢 ($0.05 < p < 0.1$)，因此可以預期隨著犢牛生長，三組間的體重差異會越來越大 (表 18)。

本論文之研究成果於其他文獻相符。Tao et al. (2012) 的研究結果顯示，產前有接受降溫處理的犢牛，除了顯著較高的出生重以外 (無冷卻組 36.5、冷卻組 42.5 kg)，在二月齡離乳時體重也顯著高於產前遭受熱緊迫的犢牛 (無冷卻組 65.9、冷卻組 78.5 kg)，作者認為會有此情形是由於出生重的差異才導致離乳重有差異。陳 (2019) 的研究成果顯示，產前有接受額外降溫處理的牛隻，相比於沒有接受額外處理的牛隻所生的小牛，會隨著生長導致兩組間體重差異越來越大。Larpota et al.



(2017)的結果指出，產前有接受降溫處理的犢牛，相較於產前遭受熱緊迫的犢牛，具有顯著較高的出生重（無冷卻組 39、冷卻組 41.9 kg），雖然一月齡前的日增重無顯著差異，然後到離乳（7 周齡）前會有顯著較高的日增重（無冷卻組 1.36、冷卻組 1.56 kg/d）。上述兩篇文獻皆有對於兩組不同處理的犢牛進行腸道 IgG 的表面吸收率進行評估，結果皆顯示產前有接受降溫處理的犢牛，相較於產前遭受熱緊迫的犢牛，具有顯著較高的表面吸收率。Ahmed et al. (2021) 則對於產前有接受降溫處理及遭受熱緊迫的小公牛進行在出生後 1-2 日解剖分析，結果顯示在產前有遭受熱緊迫的小公牛具有較高的空腸細胞凋亡率，解釋了具有較低的表面吸收率的原因，除了腸道以外，產前受熱緊迫的小公牛也具有顯著較輕的心臟、肝臟及脾臟，顯示產前熱緊迫的確會影響胎兒的器官發育，對於胎兒後續生長可能造成影響。Monteiro et al. (2014) 則持續追蹤小牛體重至一歲，結果顯示產前有接受降溫處理的小牛的體重相比於產前遭受熱緊迫的小牛有較高體重，顯示懷孕後期熱緊迫對於後代的影響具有遺留效應。

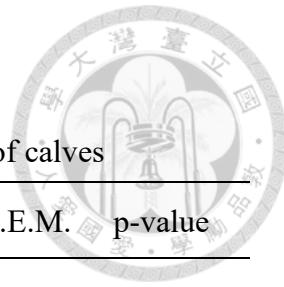


表 18. 集中噴淋處理於小牛生長表現的影響

Table 18. Effect of group soaking treatment on growth performance of calves

Item	Control	Dry	Transition	S.E.M.	p-value
Birth weight (kg)	40.33	40.00	37.20	1.40	0.77
1 month weight (kg)	57.33	60.60	55.00	1.40	0.31
2 month weight (kg)	88.67	96.80	88.80	2.21	0.25
1 st month daily weight gain (kg/d)	0.56	0.67	0.58	0.03	0.37
2 nd month daily weight gain (kg/d)	1.01	1.15	1.08	0.03	0.30
0-2 month daily weight gain (kg/d)	0.78	0.91	0.84	0.07	0.08



(三) 集中噴淋對於微環境的影響

本論文於實驗牧場內裝設溫濕度計的地點分別為乾乳牛休息區 (Dry cow pen), 集中噴淋區之灑水噴頭下方區域 (Under soaker) 及灑水噴頭上方區域 (Above soaker)，分別在上午的時段及晚上時段開啟，並記錄溫濕度及計算 THI。

1. 集中噴淋於白天時段對於牧場內不同區域微環境的影響

白天時段集中噴淋降溫裝置開啟時段為上午約 10 點至 11 點(紅框處)，結果顯示在集中噴淋區灑水噴頭下方區域之相對濕度在進行噴淋後會顯著高於其他區域，且需一小時後才會恢復，且最大差異達 4%，可藉由濕度變化的結果發現當噴淋開始之後，噴淋區灑水噴頭以下區域的相對濕度與乾乳牛休息區的差距逐漸增加並達顯著差異，而灑水噴頭以上的區域則影響較小，而可以看到乾乳牛休息區域在牛隻前往集中噴淋區時 (10:30) 相對濕度開始下降，當牛隻從集中噴淋區域返回時則相對濕度上升 (11:10)，再隨外界環境一起緩慢下降。溫度部分同樣在噴淋降溫裝置開啟後，噴淋區噴頭下方域之溫度顯著低於乾乳牛休息區，與濕度變化不同，隨著噴淋結束後便無顯著差異，同樣藉由溫度變化的結果顯示，隨著噴淋開始進行，溫度的差異擴大，但隨著噴淋結束後差距急速縮小。THI 的變化結果顯示噴淋開始後噴淋區噴頭以下區域之 THI 與乾乳牛休息區之差距擴大，但隨噴淋結束後即馬上縮小 (圖 17)。

本論文結果與其他文獻相符，Lin et al. (1998) 研究比較不同降溫方式之間對於環境的影響，結果顯示使用淋水+風扇的組合會使環境的溫度影響較小 (對照組 29.3、淋水+風扇 28.7°C)，但會使濕度顯著高於對照組 (對照組 68.3、淋水+風扇 72.1 %)。本論文結果顯示使用集中噴淋，會對於該區域之溫度及相對濕度造成影響，然而目前無其他文獻探討使用灑水加風扇的組合影響環境後需要多長時間才會使微環境復原。

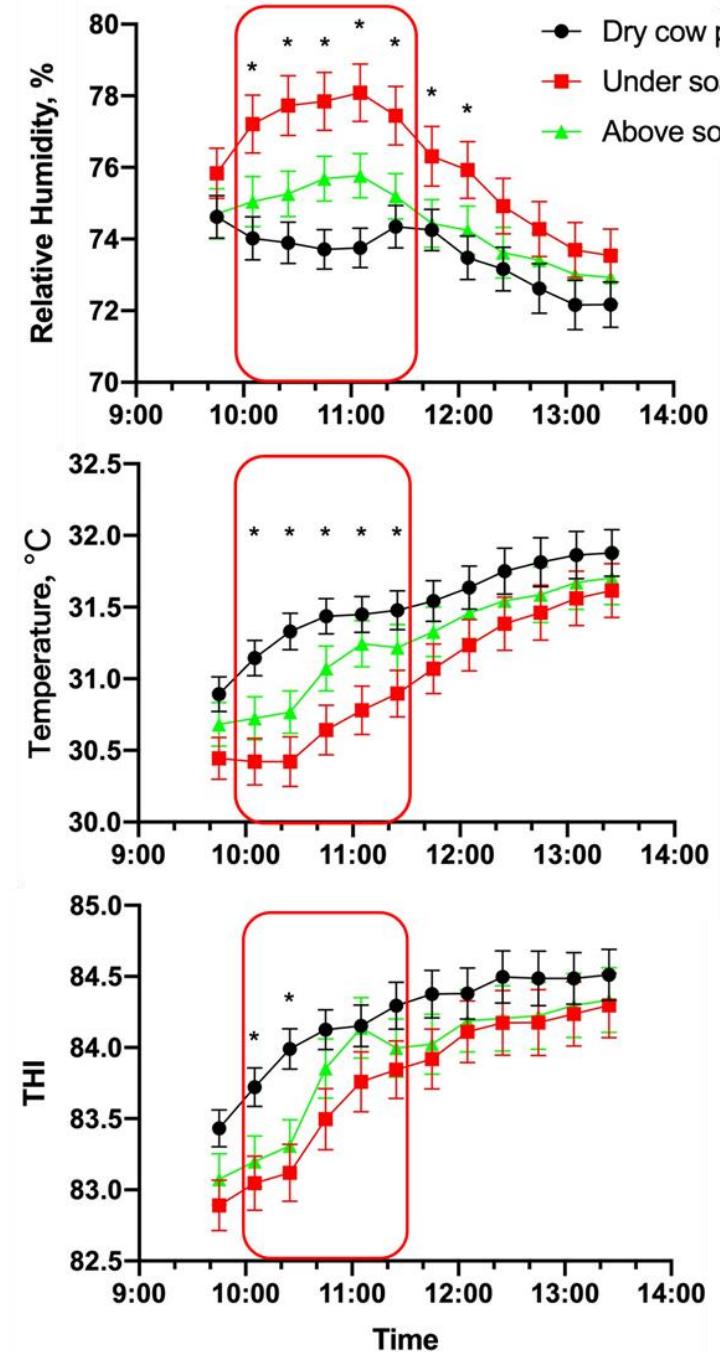


圖 17. 集中噴淋處理白天時段於牧場內不同區域相對濕度、溫度、THI 的影響。

Figure 17. Effect of group soaking treatment on farm relative humidity, temperature and THI in the day time ($\pm S.D.$)



2. 集中噴淋於晚上時段對於牧場內不同區域環境的影響

晚上時段集中噴淋降溫裝置開啟時段為晚上約 19 點 30 分至 21 點(紅框處)，結果顯示在尚未開始進行集中噴淋處理前，集中噴淋區噴頭下方區域之相對濕度已顯著高於乾乳牛休息區，然而當集中噴淋裝置開啟後，集中噴淋區噴頭下方區域之相對濕度與乾乳牛休息區的差異增加，且噴淋結束後一小時相對濕度差異仍然維持，最大相對濕度差也達 4%。從晚上時段的相對濕度變化圖顯示，隨著集中噴淋裝置的啟動，相對濕度的差異擴大，且於噴淋結束後仍舊維持差異性。溫度部分在乾乳牛休息區域皆在噴淋開始前顯著高於集中噴淋區噴頭以上及噴頭以下區域，在集中噴淋開始後乾乳牛休息區域顯著高於集中噴淋區噴頭以下區域，而噴頭以上區域則與兩區無顯著差異，在溫度變化圖可以看到，當乾乳牛隻於 19 點 30 分離開乾乳牛休息區前往集中噴淋區進行集中噴淋時會使乾乳牛休息區溫度下降，而開始噴淋之後集中噴淋區噴頭以下區域與乾乳牛休息區的差距也慢慢加大。THI 部分結果與溫度結果類似，在乾乳牛休息區域皆在噴淋開始前顯著高於集中噴淋區噴頭以上及噴頭以下區域，在集中噴淋開始後乾乳牛休息區域顯著高於集中噴淋區噴頭以下區域，而噴頭以上區域則與兩區無顯著差異，THI 變化圖與溫度變化圖結果類似，而當噴淋結束後由於溫度的差異導致 THI 之前的差異在噴淋結束後也持續存在(圖 18)。

在進行噴淋前即存在溫度差異，推測原因為在搾乳結束時，高產牛欄位會進行頸夾噴淋，而集中噴淋區位於高產牛欄位的下風處，因頸夾噴淋產生的水霧會隨著風向吹至集中噴淋區，使集中噴淋區之起始溫度較低，且乾乳牛區為西側靠近外圍半開放式區域，而此區域並無側邊遮陽措施，接受西曬的太陽直射後會具較高的溫度，Schüller et al. (2013) 的研究指出牛隻呼出的熱氣可能為畜舍溫度上升的關鍵之一，因此當牛隻前往集中噴淋區後溫度會明顯下降。由於在晚上的時段外界的溫度會低於畜舍內溫度，使畜舍內外產生大氣壓力差，使水氣無法外溢，在晚上時需要較長的時間使相對濕度的差異縮小(圖 18)。

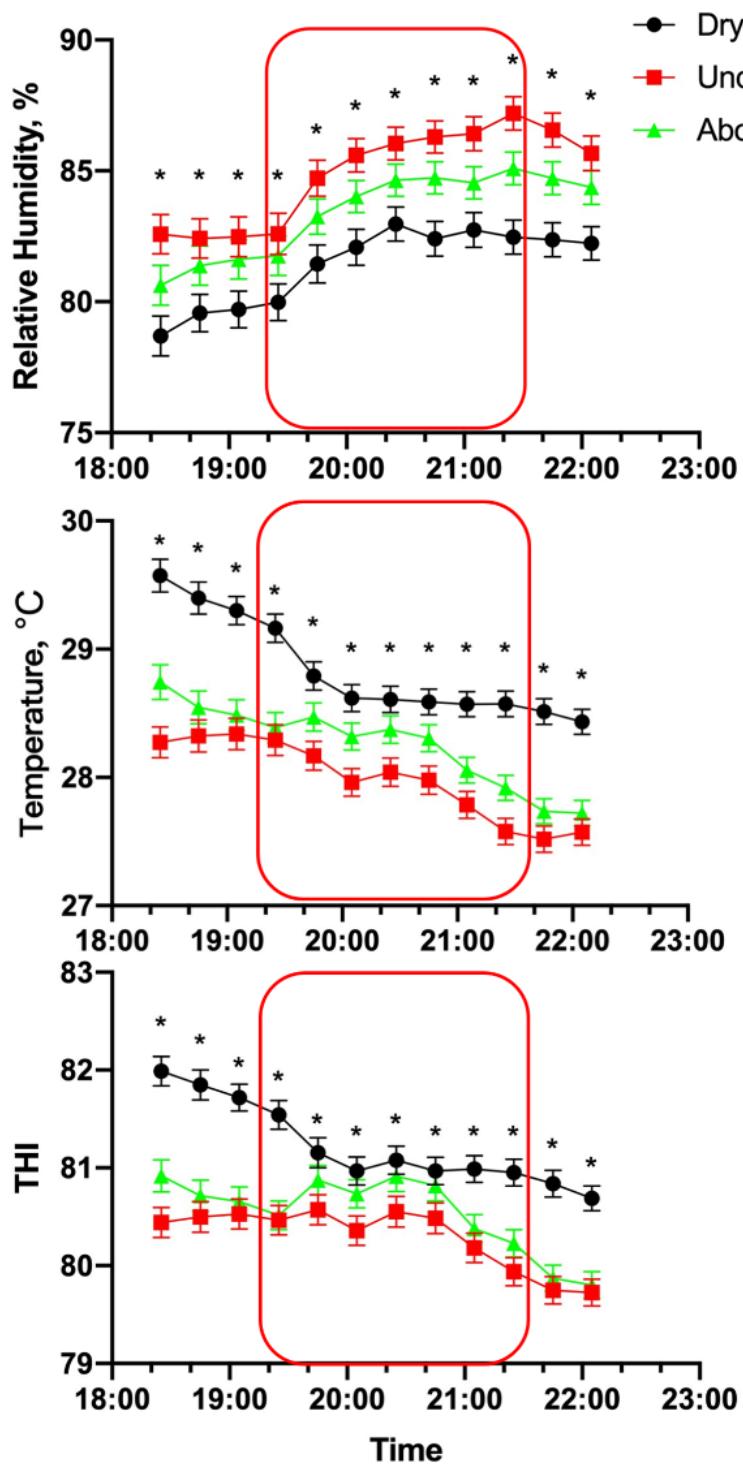


圖 18. 集中噴淋處理晚上時段於牧場內不同區域相對濕度、溫度、THI 的影響。

Figure 18. Effect of group soaking treatment on farm relative humidity, temperature and THI in the night time (\pm S.D.).



三、集中噴淋整體討論

試驗一及試驗二的體溫及呼吸速率結果顯示，集中噴淋可以有效的紓緩牛隻的熱緊迫，且進行集中噴淋後可以使核心溫度降低約 0.5°C ，相較於其他降溫方式（表 19），對牛隻直接降溫可以最有效緩解牛隻的熱緊迫，而集中噴淋也因不增加牛隻休息區域的相對濕度，因此在進行降溫後可以使效果維持較長的時間。

試驗二分娩前的結果發現雖然一天進行兩次的集中噴淋後的牛隻具有較多的反芻時間，對於躺臥時間及採食時間卻無顯著影響，其他文獻顯示在乾乳期間實施足夠的降溫處理時，都可以有效提升牛隻的躺臥時間及採食時間，對於牛隻的採食量也有正面的影響 (Karimi et al., 2015; 陳, 2019)，顯示本實驗之降溫處理的次數可能不足，因此對於分娩後的產乳表現及小牛出生重也出現無顯著差異的情況。試驗設計時因需配合牧場內的工作週期，及擔心過多的集中噴淋會影響牛隻休息的時間，因此本實驗將噴淋次數設定為上下午各一次，然而試驗一的陰道溫度監控結果發現，當上午及下午各實施一次集中噴淋時，在下午 1 到 2 點時體溫仍然會超過 39°C ，顯示集中噴淋可能需要在此時段再增加一次以維持牛隻的體溫在全天皆低於 39°C 。Honig et al. (2012) 的研究成果發現，當使用與本研究類似的降溫方式時，當降溫次數從一天 5 次提高至一天 8 次時，可以顯著增加牛隻的躺臥時間及活動量，牛隻分娩後的產乳表現也有顯著的提升，顯示噴淋次數的增加並不會影響牛隻的休息時間，因此在使用集中噴淋時應注意噴淋的次數，確定牛隻在一日中體溫上升的時段，以達到足夠的降溫效果。

集中噴淋雖然不影響牛隻休息區域的微環境，且具有優良的降溫效果，然而集中噴淋需要移動牛隻，因此需要額外的人力進行，對於酪農產業人力缺乏的現況下，可能較難有足夠的人力進行足夠次數的集中噴淋，因此除了集中噴淋外，搭配陳 (2019) 所使用之水霧，直接對環境進行降溫，進而舒緩牛隻的熱緊迫，對於酪農的收益也會有顯著的提升。



表 19. 文獻不同降溫處理之生理反應

Table 19. Effect of different cooling treatment on physical reaction in literatures

	Location	Experiment period	Cooling protocol	CT and RR reaction
Adin et al.(2009)	Israel	35d before calving	1min wetting 4min fan + fogger supply for 12 times. 4 times per day.	RR: reduce 10 times/min CT: reduce 0.3°C
Avendaño-Reyes et al.(2006)	Mexico	60d before calving	Fans+ mist head.1000-1800 per day.	RR: reduce 8 times/min CT: reduce 0.2°C
Karimi et al.(2015)	Iran	21d before calving	Fans+ mist head.0700-1900 per day	RR: reduce 7 times/min CT: reduce 0.24°C
陳 (2019)	Taipei	42d before calving	Fan + spray + misting: 4 times spray by hose for 30s	RR: reduce 5 times/min CT: reduce 0.1°C
Tao et al.(2011)	Florida	46d before calving	soakers for 1.5 min at 5-min intervals.	RR: reduce 32 times/min CT: reduce 0.32°C

CT: Core temperature; RR: respiration rate



肆、結論

透過試驗一的試驗結果顯示，集中噴淋對於各階段牛隻皆具有明顯的降溫效果，並顯著優於頸夾噴淋，且噴淋後之降溫效果可持續至噴淋結束 60 至 90 分鐘。

試驗二的試驗結果顯示，集中噴淋以不同時期應用於懷孕後期的經產乾乳牛，在分娩前在採食時間及躺臥時間沒有觀察到明顯的效果，但具有較多的反芻時間，對於牛隻的體溫以及呼吸速率皆有顯著的改善。在分娩後的乳量及乳成分無明顯差異，在繁殖表現部分乾乳組接受集中噴淋處理具有較短的初次發情天數，犢牛生長的總日增重也有正面的影響，且集中噴淋對於牛隻休息區域影響較小。

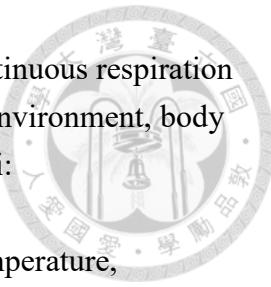
透過上述實驗了解集中噴淋對於改善牛隻有良好的效果，在乾乳期全期進行降溫處理對於產前熱緊迫所帶來的影響得到一定程度的改善，可提供酪農另一種降溫參考模式，避免因忽略乾乳牛的熱緊迫所影響的經濟效益。



伍、參考文獻

- 李素珍、鄭志明、丁進來、張勝保、張菊犁。2015。DHI 酪農戶與非 DHI 酪農戶
總乳品質之比較(2012 ~ 2013)。畜產研究 48:45-52。
- 陳莘惠。2019。懷孕牛於不同季節及不同降溫模式紓解熱緊迫之生理、行為變化與
產後表現。碩士論文。臺北：國立台灣大學。動物科學技術學系研究所。
- 張俊達、蕭宗法、楊德威、林義福、李春芳、吳鈴彩、王思涵。2018。不同溫溼度
指數對荷蘭泌乳牛乳產量與乳成分之影響。畜產研究 51：179-184。
- 謝昭賢、蕭宗法、楊德威、陳志成。2007。臺灣地區溫濕度指數之分布。畜產研究
40：269-278。

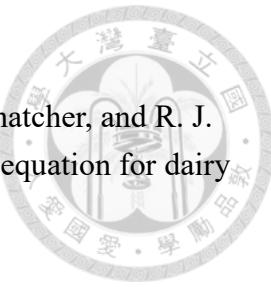
- Abeni, F., and A. Galli. 2017. Monitoring cow activity and rumination time for an early detection of heat stress in dairy cow. Int. J. Biometeorol 61:417-425. doi: 10.1007/s00484-016-1222-z
- Adin, G., A. Gelman, R. Solomon, I. Flamenbaum, M. Nikbachat, E. Yosef, A. Zenou, A. Shamay, Y. Feuermann, S. J. Mabjeesh, and J. Miron. 2009. Effects of cooling dry cows under heat load conditions on mammary gland enzymatic activity, intake of food and water, and performance during the dry period and after parturition. Livest. Sci. 124:189-195. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.01.014>
- Ahmed, B. M. S., U. Younas, T. O. Asar, A. P. A. Monteiro, M. J. Hayen, S. Tao, and G. E. Dahl. 2021. Maternal heat stress reduces body and organ growth in calves: Relationship to immune status. JDS Communications 2:295-299. doi: <https://doi.org/10.3168/jdsc.2021-0098>
- Allen, J. D., L. W. Hall, R. J. Collier, and J. F. Smith. 2015. Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress. J. Dairy Sci. doi:98:118-127. doi: 10.3168/jds.2013-7704
- Almuhanna, E. A., G. R. Gamea, O. E. Osman, and F. M. Almahdi. 2021. Performance of roof-mounted misting fans to regulate heat stress in dairy cows. J. Therm. Biol. 99:102984. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102984>
- Ammer, S., C. Lambertz, and M. Gauly. 2016. Comparison of different measuring methods for body temperature in lactating cows under different climatic conditions. J. Dairy Res. 83:165-172. doi: 10.1017/S0022029916000182
- Armstrong, D. V. 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. J. Dairy Sci. 77:2044-2050. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77149-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77149-6)



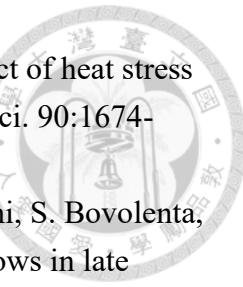
- Atkins, I. K., N. B. Cook, M. R. Mondaca, and C. Y. Choi. 2018. Continuous respiration rate measurement of heat-stressed dairy cows and relation to environment, body temperature, and lying time. *Trans. ASABE* 61:1475-1485. doi: <https://doi.org/10.13031/trans.12451>
- Attebery, J. T., and H. D. Johnson. 1969. Effects of environmental temperature, controlled feeding and fasting on rumen motility. *J. Anim. Sci.* 29:734-737. doi: <https://doi.org/10.2527/jas1969.295734x>
- Avendaño-Reyes, L., F. D. Alvarez-Valenzuela, A. Correa-Calderón, J. S. Saucedo-Quintero, P. H. Robinson, and J. G. Fadel. 2006. Effect of cooling Holstein cows during the dry period on postpartum performance under heat stress conditions. *Livest. Sci.* 105:198-206. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.06.009>.
- Bar, D. M. Kaim, I. Flamenbaum, B. Hanochi, R. L. Toaff-Rosenstein, 2019, Technical note: Accelerometer-based recording of heavy breathing in lactating and dry cows as an automated measure of heat load. *J. Dairy Sci.* 102:3480-3486. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15186>
- Bauman, D. E., and J. M. Griinari. 2003. Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annu. Rev. Nutr.* 23:203-227. doi: [10.1146/annurev.nutr.23.011702.073408](https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.23.011702.073408)
- Baumgard, L., M. Abuajamieh, S. Stoakes, M. Sanz-Fernandez, J. Johnson, R. Rhoads, and M. Eastridge. 2014. Feeding and managing cows to minimize heat stress. In: Proceedings of the 23rd Tri-State Dairy Nutrition Conference, Fort Wayne, Indiana, USA. p 14-16.
- Baumgard, L. H., J. B. Wheelock, S. R. Sanders, C. E. Moore, H. B. Green, M. R. Waldron, and R. P. Rhoads. 2011. Postabsorptive carbohydrate adaptations to heat stress and monensin supplementation in lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 94:5620-5633. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4462>
- Beatty, D. T., A. L. Barnes, E. G. Taylor, D. W. Pethick, M. McCarthy, and S. K. Maloney. 2006. Physiological responses of Bos taurus and Bos indicus cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *J. Anim. Sci.* 84:972-985. doi: <https://doi.org/10.2527/2006.844972x>
- Becker, C. A., R.J. Collier, A.E. Stone. 2020. Invited review: Physiological and behavioral effects of heat stress in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 103:6571-6770 doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17929>.
- Berman, A., Y. Folman, M. Kaim, M. Mamen, Z. Herz, D. Wolfenson, A. Arieli, and Y. Gruber. 1985. Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate. *J. Dairy Sci.* 68:1488-1495. doi: [10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80987-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80987-5)
- Berman, A. 2006. Extending the potential of evaporative cooling for heat-stress relief. *J.*

Dairy Sci. 89:3817-3825. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72423-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72423-7)

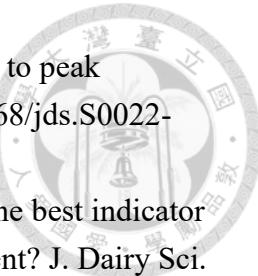
- Bernabucci, U., L. Basirico, P. Morera, D. Dipasquale, A. Vitali, F. Piccioli Cappelli, and L. Calamari. 2015. Effect of summer season on milk protein fractions in Holstein cows. J. Dairy Sci. 98:1815-1827. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8788>
- Bertocchi, L., A. Vitali, N. Lacetera, A. Nardone, G. Varisco, and U. Bernabucci. 2014. Seasonal variations in the composition of Holstein cow's milk and temperature-humidity index relationship. Animal 8:667-674. doi: <https://doi.org/10.1017/S1751731114000032>
- Bianca, W. 1962. Relative importance of dry- and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle. Nature 195:251-252. doi: 10.1038/195251a0
- Bitman, J., A. Lefcourt, D. L. Wood, and B. Stroud. 1984. Circadian and ultradian temperature rhythms of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 67:1014-1023. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(84)81400-9
- Blowey, R., and P. Edmondson. 2000. The environment and mastitis. In Practice 22:382-394. doi: <https://doi.org/10.1136/inpract.22.7.382>
- Bohmanova, J., I. Misztal, and J. B. Cole. 2007. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. J. Dairy Sci. 90:1947-1956. doi: 10.3168/jds.2006-513
- Bouraoui, R., M. Lahmar, A. Majdoub, M. n. Djemali, and R. Belyea. 2002. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. Anim. Res. 51:479-491.
- Broderick, G. A. and M. K. Clayton. 1997. A Statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. J. Dairy Sci. 80:2964-2971 doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76262-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76262-3).
- Broderick, G. A. 2003. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 86:1370-1381. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73721-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73721-7)
- Brouk, M. J., D. Armstrong, J. Smith, M. VanBaale, D. Bray, and J. P. Harner. 2005. Evaluating and selecting cooling systems for different climates. Proc. Western Dairy Management Conference:33-40.
- Brown-Brandl, T. M., J. A. Nienaber, R. A. Eigenberg, G. L. Hahn, and H. Freetly. 2003. Thermoregulatory responses of feeder cattle. J. Therm. Biol. 28:149-157. doi: [https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(02\)00052-9](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(02)00052-9)
- Brown-Brandl, T. M., and D. D. Jones. 2016. Characterizing feedlot heifer response to environmental temperature. Trans. ASABE 59:673-680. doi:



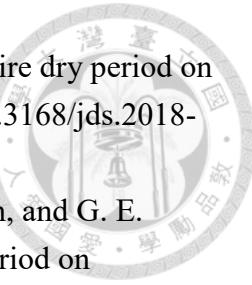
- <https://doi.org/10.13031/trans.59.10855>
- Buffington, D. E., A. Collazo-Arocho, G. H. Canton, D. Pitt, W. W. Thatcher, and R. J. Collier. 1981. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transactions of the ASAE* 24:711-0714. doi: <https://doi.org/10.13031/2013.34325>
- Calegari, F., L. Calamari, and E. Frazzi. 2012. Misting and fan cooling of the rest area in a dairy barn. *Int. J. Biometeorol* 56:287-295. doi: 10.1007/s00484-011-0432-7
- Caplan, P. M. 1966. On the evaporation of raindrops in the presence of vertical gradients of temperature and relative humidity. *J. Atmos. Sci* 23:614-617. doi: 10.1175/1520-0469(1966)023<0614:OTEORI>2.0.CO;2
- Carrier, J., S. Stewart, S. Godden, J. Fetrow, and P. Rapnicki. 2004. Evaluation and use of three cowside tests for detection of subclinical ketosis in early postpartum cows. *J. Dairy Sci.* 87:3725-3735. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73511-0
- Chaiyabutr, N., S. Sitprija, S. Chanpongsang, and S. Thammacharoen. 2021. Exogenous bovine somatotropin and mist-fan cooling synergistically promote the intramammary glucose transport for lactose synthesis in crossbred Holstein cows in the tropics. *Vet World* 14:1247-1257. doi: 10.14202/vetworld.2021.1247-1257
- Castro, N., C. Kawashima, H.A. van Dorland, I. Morel, A. Miyamoto and R.M. Bruckmaier. 2012. Metabolic and energy status during the dry period is crucial for the resumption of ovarian activity postpartum in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 95:5804-5812. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5666>.
- Chen, J.M., K.E. Schütz, C.B. Tucker, 2013. Dairy cows use and prefer feed bunks fitted with sprinklers. *J. Dairy Sci.*, 96:5035-5045 doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6282>
- Chen, J. M., K. E. Schütz, and C. B. Tucker. 2015. Cooling cows efficiently with sprinklers: Physiological responses to water spray. *J. Dairy Sci.* 98:6925-6938. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9434>
- Chen, J. M., K. E. Schütz, and C. B. Tucker. 2016. Cooling cows efficiently with water spray: Behavioral, physiological, and production responses to sprinklers at the feed bunk. *J. Dairy Sci.* 99:4607-4618. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10714>
- Collier, R.J., G.E.Dahl, M.J.VanBaale. 2006. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *J. D. Dairy Sci.* 89:1244-1253. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72193-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72193-2)
- Constable, P. D. 1999. Clinical assessment of acid-base status: Strong ion difference theory. *Vet. Clin. N. Am. - Food Anim. Pract.* 15:447-471. doi: [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(15\)30158-4](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(15)30158-4)



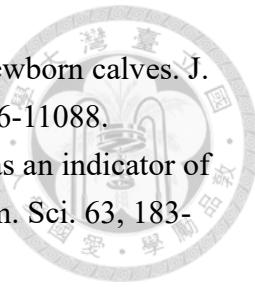
- Cook, N. B., R. L. Mentink, T. B. Bennett, and K. Burgi. 2007. The effect of heat stress and lameness on time budgets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90:1674-1682. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2006-634>
- Corazzin, M., A. Romanzin, V. Foletto, C. Fabro, F. D. Borso, M. Baldini, S. Bovolenta, E. Piasentier. 2021. Heat stress and feeding behaviour of dairy cows in late lactation. *Ital. J. Anim. Sci.* 20:1, 600-610. doi: [10.1080/1828051X.2021.1903818](https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1903818)
- Da Silva, R. G., A. S. C. Maia, and L. L. de Macedo Costa. 2015. Index of thermal stress for cows (ITSC) under high solar radiation in tropical environments. *Int. J. Biometeorol* 59:551-559. doi: [10.1007/s00484-014-0868-7](https://doi.org/10.1007/s00484-014-0868-7)
- Dado-Senn, B., A. L. Skibiel, T. F. Fabris, G. E. Dahl, and J. Laporta. 2019. Dry period heat stress induces microstructural changes in the lactating mammary gland. *PLOS ONE* 14:e0222120. doi: [10.1371/journal.pone.0222120](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222120)
- Dahl, G. E., S. Tao, and A. P. A. Monteiro. 2016. Effects of late-gestation heat stress on immunity and performance of calves. *J. Dairy Sci.* 99:3193-3198. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9990>
- Das, R., L. Sailo, N. Verma, P. Bharti, J. Saikia, Imtiwati, and R. Kumar. 2016. Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. *Vet World* 9:260-268. doi: [10.14202/vetworld.2016.260-268](https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.260-268)
- Dash, S., A. K. Chakravarty, A. Singh, A. Upadhyay, M. Singh, and S. Yousuf. 2016. Effect of heat stress on reproductive performances of dairy cattle and buffaloes: A review. *Veterinary world*, 9:235-244. doi: [10.14202/vetworld.2016.235-244](https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.235-244)
- Davidson, B. D., B. Dado-Senn, N. R. Padilla, T. F. Fabris, L. T. Casarotto, V. Ouellet, I. M. Toledo, G. E. Dahl, and J. Laporta. 2021. Late-gestation heat stress abatement in dairy heifers promotes thermoregulation and improves productivity. *J. Dairy Sci.* 104:2357-2368. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18998>
- Davies, C.J., J. R. Hill, J. L. Edwards, F. N. Schrick, P. J. Fisher, J. A. Eldridge and D. H. Schlafer. 2004. Major histocompatibility antigen expression on the bovine placenta: its relationship to abnormal pregnancies and retained placenta. *Anim. Reprod. Sci.* 82-83:267-280. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.05.016>
- Dehghan-Banadaky, M., M. Ebrahimi, R. Motameny, and S. R. Heidari. 2013. Effects of live yeast supplementation on mid-lactation dairy cows performances, milk composition, rumen digestion and plasma metabolites during hot season. *J. Appl. Anim. Res.* 41:137-142. doi: [10.1080/09712119.2012.739085](https://doi.org/10.1080/09712119.2012.739085)
- DeVries, T. J., M. A. G. von Keyserlingk, D. M. Weary, and K. A. Beauchemin. 2003.



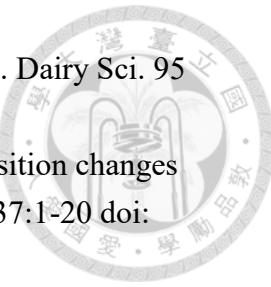
- Measuring the feeding behavior of lactating dairy cows in early to peak lactation. *J. Dairy Sci.* 86:3354-3361. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73938-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73938-1)
- Dikmen,S. and P. J. Hansen. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *J. Dairy Sci.* 92:109-116. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1370>
- do Amaral, B. C., E. E. Connor, S. Tao, M. J. Hayen, J. W. Bubolz, and G. E. Dahl. 2011. Heat stress abatement during the dry period influences metabolic gene expression and improves immune status in the transition period of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94:86-96. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-3004>
- Doepel, L., D. Pacheco, J. J. Kennelly, M. D. Hanigan, I. F. López, and H. Lapierre. 2004. Milk protein synthesis as a function of amino acid supply. *J. Dairy Sci.* 87:1279-1297. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73278-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73278-6)
- dos Santos, M. M., J. B. F. Souza-Junior, M. R. T. Dantas, and L. L. de Macedo Costa. 2021. An updated review on cattle thermoregulation: physiological responses, biophysical mechanisms, and heat stress alleviation pathways. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28:30471-30485. doi: [10.1007/s11356-021-14077-0](https://doi.org/10.1007/s11356-021-14077-0)
- Drackley, J. K. 1999. Biology of dairy cows during the transition period: the final frontier? *J. Dairy Sci.* 82:2259-2273. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75474-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75474-3)
- Drackley, J. K., T. M. Cicela, and D. W. LaCount. 2003. Responses of primiparous and multiparous holstein cows to additional energy from fat or concentrate during summer. *J. Dairy Sci.* 86:1306-1314. doi: [10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73714-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73714-X)
- Durotoye, A. O., and J. Grayson. 1971. Heat production in the gastro-intestinal tract of the dog. *J Physiol* 214:417-426. doi: [10.1113/jphysiol.1971.sp009441](https://doi.org/10.1113/jphysiol.1971.sp009441)
- Ehrlemark, A. G. and K. G. Sällvik. 1996. A model of heat and moisture dissipation from cattle based on thermal properties. *Trans. ASAE* 39: 187-194. doi: [10.13031/2013.27497](https://doi.org/10.13031/2013.27497)
- Enjalbert, F., M. C. Nicot, C. Bayourthe, and R. Moncoulon. 2001. Ketone Bodies in Milk and Blood of Dairy Cows: Relationship between Concentrations and Utilization for Detection of Subclinical Ketosis. *J. Dairy Sci.* 84:583-589. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74511-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74511-0)
- Fabris, T. F., J. Laporta, F. N. Corra, Y. M. Torres, D. J. Kirk, D. J. McLean, J.D. Chapman, G. E. Dahl. 2017. Effect of nutritional immunomodulation and heat stress during the dry period on subsequent performance of cows. *J. Dairy Sci.* 100:6733-6742. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12313>
- Fabris, T. F., J. Laporta, A. L. Skibiel, F. N. Corra, B. D. Senn, S. E. Wohlgemuth, and



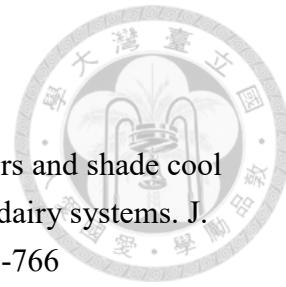
- G. E. Dahl. 2019. Effect of heat stress during early, late, and entire dry period on dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 102:5647-5656. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15721>
- Fabris, T. F., J. Laporta, A. L. Skibiel, B. Dado-Senn, S. E. Wohlgemuth, and G. E. Dahl. 2020. Effect of heat stress during the early and late dry period on mammary gland development of Holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 103:8576-8586. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17911>
- Firfiris, V. K., A. G. Martzopoulou, and T. A. Kotsopoulos. 2019. Passive cooling systems in livestock buildings towards energy saving: A critical review. *Energy Build.* 202:109368. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109368>
- Fournel, S., V. Ouellet, and É. Charbonneau. 2017. Practices for alleviating heat stress of dairy cows in humid continental climates: A literature review. *Animals.* 7:37 doi: 10.3390/ani7050037
- Gaughan, J., H. Sm, G. Hahn, T. Mader, and E. Ra. 2000. Respiration rate—is it a good measure of heat stress in cattle? *Asian-Australas J Anim Sci* 13:329-332 doi: <http://doi.org/10.2527/jam2016-1285>
- Girard, F., M. Antoni, S. Faure, and A. Steinchen. 2008. Influence of heating temperature and relative humidity in the evaporation of pinned droplets. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 323:36-49. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2007.12.022>
- Godyń, D., P. Herbut, and S. Angrecka. 2019. Measurements of peripheral and deep body temperature in cattle – A review. *J. Therm. Biol.* 79:42-49. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.11.011>
- González-Recio, O., E. Ugarte, and A. Bach. 2012. Trans-generational effect of maternal lactation during pregnancy: A Holstein cow model. *PLOS ONE* 7:e51816. doi: 10.1371/journal.pone.0051816
- Grand, R. J. and J. L. Albright. 1995. Feeding behavior and management factors during the transition period in dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 73:2791-2803 doi: <https://doi.org/10.2527/1995.7392791x>
- Grummer, R. R., and R. R. Rastani. 2004. Why reevaluate dry period length? *J. Dairy Sci.* 87:E77-E85. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)70063-6
- Gumen, A., A. Keskin, G. Yilmazbas-Mecitoglu, E. Karakaya, and M. C. Wiltbank. 2011. Dry period management and optimization of post-partum reproductive management in dairy cattle. *Reprod. Domest. Anim.* 46:11-17. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2011.01851.x>
- Guo, J. R., A.P.A. Monteiro, X. S. Weng, B.M. Ahmed, J. Laporta, M.J. Hayen, G.E. Dahl, J.K. Bernard, S. Tao. 2016. Short communication: Effect of maternal heat



- stress in late gestation on blood hormones and metabolites of newborn calves. *J. of Dairy Sci.* 99:6804-6807. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11088>.
- Gustafsson, A. and U. Emanuelson. 1996. Milk acetone concentration as an indicator of hyperketonaemia in dairy cows: The critical value revised. *Anim. Sci.* 63, 183-188. doi:10.1017/S1357729800014739
- Haeussermann, A., E. Hartung, T. Jungbluth, E. Vranken, J.-M. Aerts, and D. Berckmans. 2007. Cooling effects and evaporation characteristics of fogging systems in an experimental piggery. *Biosyst. Eng.* 97:395-405. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.03.019>
- Hahn, G. L. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Anim. Sci.* 77:10-20. doi: 10.2527/1997.77suppl_210x
- Halachmi, I., E. Maltz, N. Livshin, A. Antler, D. Ben-Ghedalia, and J. Miron. 2004. Effects of replacing roughage with soy hulls on feeding behavior and milk production of dairy cows under hot weather conditions. *J. Dairy Sci.* 87:2230-2238. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)70043-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70043-0)
- Hammami, H., J. Bormann, N. M'hamdi, H. H. Montaldo, and N. Gengler. 2013. Evaluation of heat stress effects on production traits and somatic cell score of Holsteins in a temperate environment. *J. Dairy Sci.* 96:1844-1855. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5947>
- Han, Y. K. and I. H. Kim. 2005. Risk factors for retained placenta and the effect of retained placenta on the occurrence of postpartum diseases and subsequent reproductive performance in dairy cows. *J Vet Sci.* 6:53-59 doi: <https://doi.org/10.4142/jvs.2005.6.1.53>
- Hayirli, A. and R. R. Grummer. 2004. Factors affecting dry matter intake prepartum in relationship to etiology of peripartum lipid-related metabolic disorders: A review. *Can. J. Anim. Sci.*, 84:337-347. doi: <https://doi.org/10.4141/A03-122>
- Herdt, T. H. 2000. Ruminant adaptation to negative energy balance: influences on the etiology of ketosis and fatty liver. *Vet. Clin. N. Am. - Food Anim. Pract.* 16:215-230. doi: [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(15\)30102-X](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(15)30102-X)
- Hill, D. L., and E. Wall. 2015. Dairy cattle in a temperate climate: the effects of weather on milk yield and composition depend on management. *Animal* 9:138-149. doi: <https://doi.org/10.1017/S1751731114002456>
- Holt, C. 1983. Swelling of golgi vesicles in mammary secretory cells and its relation to the yield and quantitative composition of milk. *J. Theor. Biol.* 101:247-261. doi: [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(83\)90339-9](https://doi.org/10.1016/0022-5193(83)90339-9)
- Honig, H., J. Miron, H. Lehrer, S. Jackoby, M. Zachut, A. Zinou, Y. Portnick, U. Moallem. 2012. Performance and welfare of high-yielding dairy cows subjected



- to 5 or 8 cooling sessions daily under hot and humid climate. *J. Dairy Sci.* 95:3736-3742 doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5054>.
- Hortet, P. and H. Seegers. 1998. Loss in milk yield and related composition changes resulting from clinical mastitis in dairy cows. *Prev. Vet. Med.* 37:1-20 doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(98\)00104-4](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(98)00104-4)
- Hurley, W. L. 1989. Mammary gland function during involution. *J. Dairy Sci.* 72:1637-1646. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(89\)79276-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79276-6)
- Huzzey, J. M., M. A. G. von Keyserlingk, and D. M. Weary. 2005. Changes in feeding, drinking, and standing behavior of dairy cows during the transition period. *J. Dairy Sci.* 88:2454-2461. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72923-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72923-4)
- Igono, M. O., G. Bjotvedt, and H. T. Sanford-Crane. 1992. Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *Int. J. Biometeorol* 36:77-87. doi: [10.1007/BF01208917](https://doi.org/10.1007/BF01208917)
- Igono, M. O., B. J. Steevens, M. D. Shanklin, and H. D. Johnson. 1985. Spray cooling effects on milk production, milk, and rectal temperatures of cows during a moderate temperate summer season. *J. Dairy Sci.* 68:979-985. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80918-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80918-8)
- Ji, B., T. Banhazi, K. Perano, A. Ghahramani, L. Bowtell, C. Wang, and B. Li. 2020. A review of measuring, assessing and mitigating heat stress in dairy cattle. *Biosyst. Eng.* 199:4-26. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.07.009>
- Kadzere, C. T., M.R. Murphy, N. Silanikove, and E. Maltz. 2002. Heat stress in lactating dairy cows: A review. *Livest. Prod. Sci.* 77:59-91. doi: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00330-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00330-X)
- Kamal, R., T. Dutt, M. Patel, A. Dey, P. K. Bharti, and P. C. Chandran. 2018. Heat stress and effect of shade materials on hormonal and behavior response of dairy cattle: A review. *Trop. Anim. Health Prod.* 50:701-706. doi: [10.1007/s11250-018-1542-6](https://doi.org/10.1007/s11250-018-1542-6)
- Kanjanapruthipong, J., W. Junlapho, and K. Karnjanasirm. 2015. Feeding and lying behavior of heat-stressed early lactation cows fed low fiber diets containing roughage and nonforage fiber sources. *J. Dairy Sci.* 98:1110-1118. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8154>
- Karimi, M. T., G. R. Ghorbani, S. Kargar, and J. K. Drackley. 2015. Late-gestation heat stress abatement on performance and behavior of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98:6865-6875. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9281>
- Kendall, P. E., P. P. Nielsen, J. R. Webster, G. A. Verkerk, R. P. Littlejohn, and L. R. Matthews. 2006. The effects of providing shade to lactating dairy cows in a

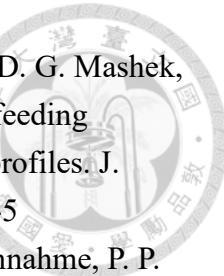


- temperate climate. *Livest. Sci.* 103:148-157. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.02.004>
- Kendall, P. E., G.A. Verkerk, J.R. Webster, C.B. Tucker. 2007. Sprinklers and shade cool cows and reduce insect-avoidance behavior in pasture-based dairy systems. *J. Dairy Sci.* 90:3671-3680. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2006-766>
- Knight, C. H., and M. Peaker. 1982. Development of the mammary gland. *J. Reprod. Fertil.* 65:521–536. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0650521>.
- Kleinjan-Elazary, A., Y. Ben-Meir, H. Gacitua, H. Levit, A. Fridman, D. Shinder, S. Jacoby, J. Miron, I. Halachmi, E. Gershon. 2020. Cooling management effects on dry matter intake, metabolic hormones levels and welfare parameters in dairy cows during heat stress. *J. Dairy Res.*, 87, 64-69.
doi:10.1017/S0022029919001055
- Kofler, J. 2017. Pathogenesis and treatment of toe lesions in cattle including "nonhealing" toe lesions. *Vet. Clin. N. Am. - Food Anim. Pract.* 33:301-328. doi: [10.1016/j.cvfa.2017.02.005](https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2017.02.005)
- Koltes, J. E., D. A. Koltes, B. E. Mote, J. Tucker, and D. S. Hubbell, III. 2018. Automated collection of heat stress data in livestock: new technologies and opportunities. *Transl. Anim. Sci.* 2:319-323. doi: [10.1093/tas/txy061](https://doi.org/10.1093/tas/txy061)
- Lacetera, N., U. Bernabucci, D. Scalia, B. Ronchi, G. Kuzminsky, and A. Nardone. 2005. Lymphocyte functions in dairy cows in hot environment. *Int. J. Biometeorol* 50:105-110. doi: [10.1007/s00484-005-0273-3](https://doi.org/10.1007/s00484-005-0273-3)
- Laporta, J., T. F. Fabris, A. L. Skibiel, J. L. Powell, M. J. Hayen, K. Horvath, E. K. Miller-Cushon, and G. E. Dahl. 2017. In utero exposure to heat stress during late gestation has prolonged effects on the activity patterns and growth of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 100:2976-2984. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11993>
- Laporta, J., F. C. Ferreira, V. Ouellet, B. Dado-Senn, A. K. Almeida, A. De Vries, and G. E. Dahl. 2020. Late-gestation heat stress impairs daughter and granddaughter lifetime performance. *J. Dairy Sci.* 103:7555-7568. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18154>
- Li, G., S. Chen, J. Chen, D. Peng, and X. Gu. 2020. Predicting rectal temperature and respiration rate responses in lactating dairy cows exposed to heat stress. *J. Dairy Sci.* 103:5466-5484. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16411>
- Lin, J., B. Moss, J. Koon, C. Flood, S. Rowe, J. Martin, B. Brady, F. Degraves, and R. Smith. 1998. Effect of sprinkling over the feed area and misting free stalls on milk production. *Prof. Anim. Sci.* 14:102-107 doi: [10.15232/S1080-7446\(15\)31802-7](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31802-7)
- Liu, J., L. Li, X. Chen, Y. Lu, and D. Wang. 2019. Effects of heat stress on body

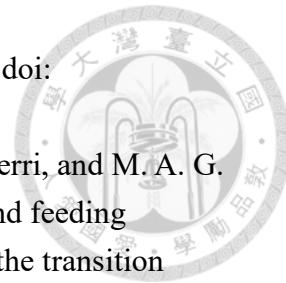
- temperature, milk production, and reproduction in dairy cows: a novel idea for monitoring and evaluation of heat stress — A review. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 32:1332-1339. doi: 10.5713/ajas.18.0743
- Müschner-Siemens, T., G. Hoffmann, C. Ammon, and T. Amon. 2020. Daily rumination time of lactating dairy cows under heat stress conditions. *J. Therm. Biol.* 88:102484. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.102484>
- Mader, T. L., M. Davis, and T. Brown-Brandl. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84:712-719.
- Maia, A. S. C., R. G. daSilva, and C. M. Battiston Loureiro. 2005. Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. *Int. J. Biometeorol* 50:17-22. doi: 10.1007/s00484-005-0267-1
- Mallard, B. A., J. C. Dekkers, M. J. Ireland, K. E. Leslie, S. Sharif, C. Lacey Vankampen, L. Wagter, and B. N. Wilkie. 1998. Alteration in immune responsiveness during the peripartum period and its ramification on dairy cow and calf health. *J. Dairy Sci.* 81:585-595. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75612-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75612-7)
- McArt, J.A.A., D.V. Nydam and G.R.Oetzel. 2012. Epidemiology of subclinical ketosis in early lactation dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 95:5056-5066. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5443>
- Menta, P.R., V.S. Machado, J.M. Piñeiro, W.W. Thatcher, J.E.P. Santos and A. Vieira-Neto. 2022. Heat stress during the transition period is associated with impaired production, reproduction, and survival in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 105:4474-4489. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21185>.
- Mellado, M., E. Sepulveda, C. Meza-Herrera, F. G. Veliz, J. R. Arevalo, J. Mellado, and A. De Santiago. 2013. Effects of heat stress on reproductive efficiency of high yielding Holstein cows in a hot-arid environment. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* 26:193-200.
- Min, L., D. Li, X. Tong, X. Nan, D. Ding, B. Xu, and G. Wang. 2019. Nutritional strategies for alleviating the detrimental effects of heat stress in dairy cows: A review. *Int. J. Biometeorol* 63:1283-1302. doi: 10.1007/s00484-019-01744-8
- Mondaca, M. R. 2019. Ventilation systems for adult dairy cattle. *Vet. Clin. N. Am. - Food Anim. Pract.* 35:139-156. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2018.10.006>
- Monteiro, A. P. A., J. R. Guo, X. S. Weng, B. M. Ahmed, M. J. Hayen, G. E. Dahl, J. K. Bernard, S. Tao. 2016. Effect of maternal heat stress during the dry period on growth and metabolism of calves. *J. Dairy Sci.* 99:3896-3907. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10699>
- Mordak, R. and P.A. Stewart. 2015. Periparturient stress and immune suppression as a



- potential cause of retained placenta in highly productive dairy cows: examples of prevention. *Acta Vet Scand* 57, 84. <https://doi.org/10.1186/s13028-015-0175-2>
- National Research Council (U.S.). Committee on Physiological Effect of Environment Factor on Animal. 1971. *A Guide to Environmental Research on Animals*. National Academy of Sciences.
- Negrón-Pérez, V. M., D. W. Fausnacht, and M. L. Rhoads. 2019. Invited review: Management strategies capable of improving the reproductive performance of heat-stressed dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 102:10695-10710. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16718>
- Nordlund, K. V., P. Strassburg, T. B. Bennett, G. R. Oetzel, and N. B. Cook. 2019. Thermodynamics of standing and lying behavior in lactating dairy cows in freestall and parlor holding pens during conditions of heat stress. *J. Dairy Sci.* 102:6495-6507. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15891>
- Oliveira, S. E. O., C. C. de Melo Costa, M. Chiquitelli Neto, F. A. Dalla Costa, and A. S. C. Maia. 2019. Effects of shade location and protection from direct solar radiation on the behavior of Holstein cows. *Int. J. Biometeorol* 63:1465-1474. doi: [10.1007/s00484-019-01747-5](https://doi.org/10.1007/s00484-019-01747-5)
- Ouellet, V., J. Laporta, and G. E. Dahl. 2020. Late gestation heat stress in dairy cows: Effects on dam and daughter. *Theriogenology* 150:471-479. doi: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.03.011>
- Palmer, M. A., and N. E. O'Connell. 2015. Digital dermatitis in dairy cows: a review of risk factors and potential sources of between-animal variation in susceptibility. *Animals* 5:512-535. doi: [10.3390/ani5030369](https://doi.org/10.3390/ani5030369)
- Perdomo, M. C., R. S. Marsola, M. G. Favoreto, A. Adesogan, C. R. Staples, and J. E. P. Santos. 2020. Effects of feeding live yeast at 2 dosages on performance and feeding behavior of dairy cows under heat stress. *J. Dairy Sci.* 103:325-339. doi: [10.3168/jds.2019-17303](https://doi.org/10.3168/jds.2019-17303)
- Pinedo, P. J., and A. De Vries. 2017. Season of conception is associated with future survival, fertility, and milk yield of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 100:6631-6639. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12662>
- Polksy, L., and M. A. G. von Keyserlingk. 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *J. Dairy Sci.* 100:8645-8657. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
- Ramón-Moragues, A., P. Carulla, C. Mínguez, A. Villagrá, and F. Estellés. 2021. Dairy cows activity under heat stress: a case study in Spain. *Animals*. 11:2305doi: [10.3390/ani11082305](https://doi.org/10.3390/ani11082305)



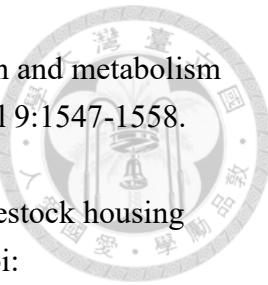
- Rastani, R. R., R. R. Grummer, S. J. Bertics, A. Gümen, M. C. Wiltbank, D. G. Mashek, and M. C. Schwab. 2005. Reducing dry period length to simplify feeding transition cows: Milk production, energy balance, and metabolic profiles. *J. Dairy Sci.* 88:1004-1014. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72768-5
- Reynolds, L. P., J. S. Caton, D. A. Redmer, A. T. Grazul-Bilska, K. A. Vonnahme, P. P. Borowicz, J. S. Luther, J. M. Wallace, G. Wu, and T. E. Spencer. 2006. Evidence for altered placental blood flow and vascularity in compromised pregnancies. *J. Physiol.* 572:51-58. doi: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.104430>
- Rhoads, M. L., R. P. Rhoads, M. J. VanBaale, R. J. Collier, S. R. Sanders, W. J. Weber, B. A. Crooker, and L. H. Baumgard. 2009. Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin1. *J. Dairy Sci.* 92:1986-1997. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1641>
- Ryan, D. P., M. P. Boland, E. Kopel, D. Armstrong, L. Munyakazi, R. A. Godke, and R. H. Ingraham. 1992. Evaluating two different evaporative cooling management systems for dairy cows in a hot, dry climate. *J. Dairy Sci.* 75:1052-1059. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)77849-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77849-7)
- Sammad, A., S. Umer, R. Shi, H. Zhu, X. Zhao, and Y. Wang. 2020. Dairy cow reproduction under the influence of heat stress. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 104:978-986. doi: <https://doi.org/10.1111/jpn.13257>
- Schauberger, G., I. Hennig-Pauka, W. Zollitsch, S. J. Hörtenhuber, J. Baumgartner, K. Niebuhr, M. Piringer, W. Knauder, I. Anders, K. Andre, and M. Schönhart. 2020. Efficacy of adaptation measures to alleviate heat stress in confined livestock buildings in temperate climate zones. *Biosyst. Eng.* 200:157-175. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.09.010>
- Schüller, L. K., O. Burfeind, and W. Heuwieser. 2013. Short communication: Comparison of ambient temperature, relative humidity, and temperature-humidity index between on-farm measurements and official meteorological data. *J. Dairy Sci.* 96:7731-7738. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6736>
- Schüller, L. and Heuwieser, W. 2016. Measurement of heat stress conditions at cow level and comparison to climate conditions at stationary locations inside a dairy barn. *J. Dairy Res.*, 83, 305-311. doi:10.1017/S0022029916000388
- Schütz, K. E., A. R. Rogers, Y. A. Pouloquin, N. R. Cox, and C. B. Tucker. 2010. The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 93:125-133. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2416>
- Schirrmann, K., N. Chapinal, D. M. Weary, W. Heuwieser, and M. A. G. von Keyserlingk. 2012. Rumination and its relationship to feeding and lying



- behavior in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 95:3212-3217. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4741>
- Schirmann, K., D. M. Weary, W. Heuwieser, N. Chapinal, R. L. A. Cerri, and M. A. G. von Keyserlingk. 2016. Short communication: Rumination and feeding behaviors differ between healthy and sick dairy cows during the transition period. *J. Dairy Sci.* 99:9917-9924. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10548>
- Seyed Almoosavi, S. M. M., T. Ghoorchi, A. A. Naserian, H. Khanaki, J. K. Drackley, and M. H. Ghaffari. 2021. Effects of late-gestation heat stress independent of reduced feed intake on colostrum, metabolism at calving, and milk yield in early lactation of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 104:1744-1758. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19115>
- Sharma, N., N. K. Singh, and M. S. Bhadwal. 2011. Relationship of somatic cell count and mastitis: An overview. *Asian-Australas J Anim Sci* 24:429-438. doi: 10.5713/ajas.2011.10233
- Shock, D. A., S. J. LeBlanc, K. E. Leslie, K. Hand, M. A. Godkin, J. B. Coe, and D. F. Kelton. 2016. Studying the relationship between on-farm environmental conditions and local meteorological station data during the summer. *J. Dairy Sci.* 99:2169-2179. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9795>
- Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest. Prod. Sci.* 67:1-18. doi: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00162-7)
- Sinha, R., B. Sinha, R. Kumari, V. M.R, A. Verma, and I. D. Gupta. 2021. Effect of season, stage of lactation, parity and level of milk production on incidence of clinical mastitis in Karan Fries and Sahiwal cows. *Biol. Rhythm Res.* 52:593-602. doi: 10.1080/09291016.2019.1621064
- Skibiel, A. L., B. Dado-Senn, T. F. Fabris, G. E. Dahl, and J. Laporta. 2018. In utero exposure to thermal stress has long-term effects on mammary gland microstructure and function in dairy cattle. *PLOS ONE* 13:e0206046. doi: 10.1371/journal.pone.0206046
- Smith, D. L., T. Smith, B. J. Rude, and S. H. Ward. 2013. Short communication: Comparison of the effects of heat stress on milk and component yields and somatic cell score in Holstein and Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 96:3028-3033. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5737>
- Spiers, D. E., J. N. Spain, M. R. Ellersieck, and M. C. Lucy. 2018. Strategic application of convective cooling to maximize the thermal gradient and reduce heat stress response in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101:8269-8283. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14283>



- Souza, V. C., M. Aguilar, M. Van Amburgh, W.A.D. Nayananjalie and M. D. Hanigan. 2021. Milk urea nitrogen variation explained by differences in urea transport into the gastrointestinal tract in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 104:6715-6726. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19787>.
- Suthar, V., O. Burfeind, B. Maeder, and W. Heuwieser. 2013. Agreement between rectal and vaginal temperature measured with temperature loggers in dairy cows. *The J. Dairy Res.* 80:1-6. doi: 10.1017/S0022029913000071
- Tao, S., J. W. Bubolz, B. C. do Amaral, I. M. Thompson, M. J. Hayen, S. E. Johnson, and G. E. Dahl. 2011. Effect of heat stress during the dry period on mammary gland development. *J. Dairy Sci.* 94:5976-5986. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4329>
- Tao, S., A. P. A. Monteiro, I. M. Thompson, M. J. Hayen, and G. E. Dahl. 2012. Effect of late-gestation maternal heat stress on growth and immune function of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 95:7128-7136. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5697>
- Tao, S., and G. E. Dahl. 2013. Invited review: Heat stress effects during late gestation on dry cows and their calves. *J. Dairy Sci.* 96:4079-4093. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6278>
- Tao, S., R. M. Orellana Rivas, T. N. Marins, Y.-C. Chen, J. Gao, and J. K. Bernard. 2020. Impact of heat stress on lactational performance of dairy cows. *Theriogenology* 150:437-444. doi: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.02.048>
- Thom, E. C. 1959. The discomfort index. *Weatherwise* 12:57-61. doi: 10.1080/00431672.1959.9926960
- Thompson, I. M., and G. E. Dahl. 2012. Dry-period seasonal effects on the subsequent lactation. *Prof. Anim. Sci.* 28:628-631. doi: [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30421-6](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30421-6)
- Tsai, Y.-C., J.-T. Hsu, S.-T. Ding, D. J. A. Rustia, and T.-T. Lin. 2020. Assessment of dairy cow heat stress by monitoring drinking behaviour using an embedded imaging system. *Biosyst. Eng.* 199:97-108. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.03.013>
- Tucker, C. B., A. R. Rogers, and K. E. Schütz. 2008. Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 109:141-154. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.03.015>
- Turner, L., J. Chastain, R. Hemken, R. Gates, and W. Crist. 1992. Reducing heat stress in dairy cows through sprinkler and fan cooling. *Appl. Eng. Agric.* 8:251-256.
- van Laer, E., F. A. M. Tuyttens, B. Ampe, B. Sonck, C. P. H. Moons, and L. Vandaele.



2015. Effect of summer conditions and shade on the production and metabolism of Holstein dairy cows on pasture in temperate climate. *Animal* 9:1547-1558. doi: 10.1017/S1751731115000816
- von Borell, E. H. 2001. The biology of stress and its application to livestock housing and transportation assessment. *J. Anim. Sci.* 79:E260-E267. doi: 10.2527/jas2001.79E-SupplE260x
- West, J. W., 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86:2131-2144. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)
- Wheelock, J. B., R. P. Rhoads, M. J. VanBaale, S. R. Sanders, and L. H. Baumgard. 2010. Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows1. *J. Dairy Sci.* 93:644-655. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2295>
- Wolfenson, D., and Z. Roth. 2019. Impact of heat stress on cow reproduction and fertility. *Animal Frontiers* 9:32-38. doi: 10.1093/af/vfy027
- Wood, C. E. 1999. Control of parturition in ruminants. *J. Reprod. Infertil.* 54:115-126 PMID: 10692849
- Yan, G., K. Liu, Z. Hao, Z. Shi, H. Li. 2021. The effects of cow-related factors on rectal temperature, respiration rate, and temperature-humidity index thresholds for lactating cows exposed to heat stress. *J. Therm. Biol.* 100:103041. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.103041>
- Yousef, M. 1985. Physiological adaptations of less well-known types of livestock in arid zones: donkeys. *Stress Physiology in Livestock. Volume II. Ungulates.*:81-97.