



糧食安全與生態主題工作坊 氣候變遷下臺灣酪農的挑戰與未來

主講人：畜產試驗所北區分所 涂柏安 主任

計畫辦公室



行政法人國家災害防救科技中心
National Science and Technology Center
for Disaster Reduction



臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台
Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform

指導單位



國家科學及技術委員會
National Science and Technology Council



大綱

- ▶ 臺灣畜牧產業概況
- ▶ 氣候變遷對全球糧食安全與畜牧業的挑戰
- ▶ 熱緊迫是什麼？
 - 熱緊迫對乳牛的健康影響
 - 熱緊迫評估方式
 - 預測氣候變遷下臺灣的溫濕度變化
- ▶ 臺灣酪農業與熱緊迫之相關研究
 - 評估臺灣相應之熱緊迫之THI閾值
 - 氣候變遷對於臺灣乳牛生理與生產之預測
- ▶ 熱緊迫的調適策略
- ▶ 未來展望

臺灣畜牧產業發展現況



畜產品總產值1,858億元，豬 767億元，白色肉雞280.7億元，有色肉雞248.1億元，牛乳117.6億元

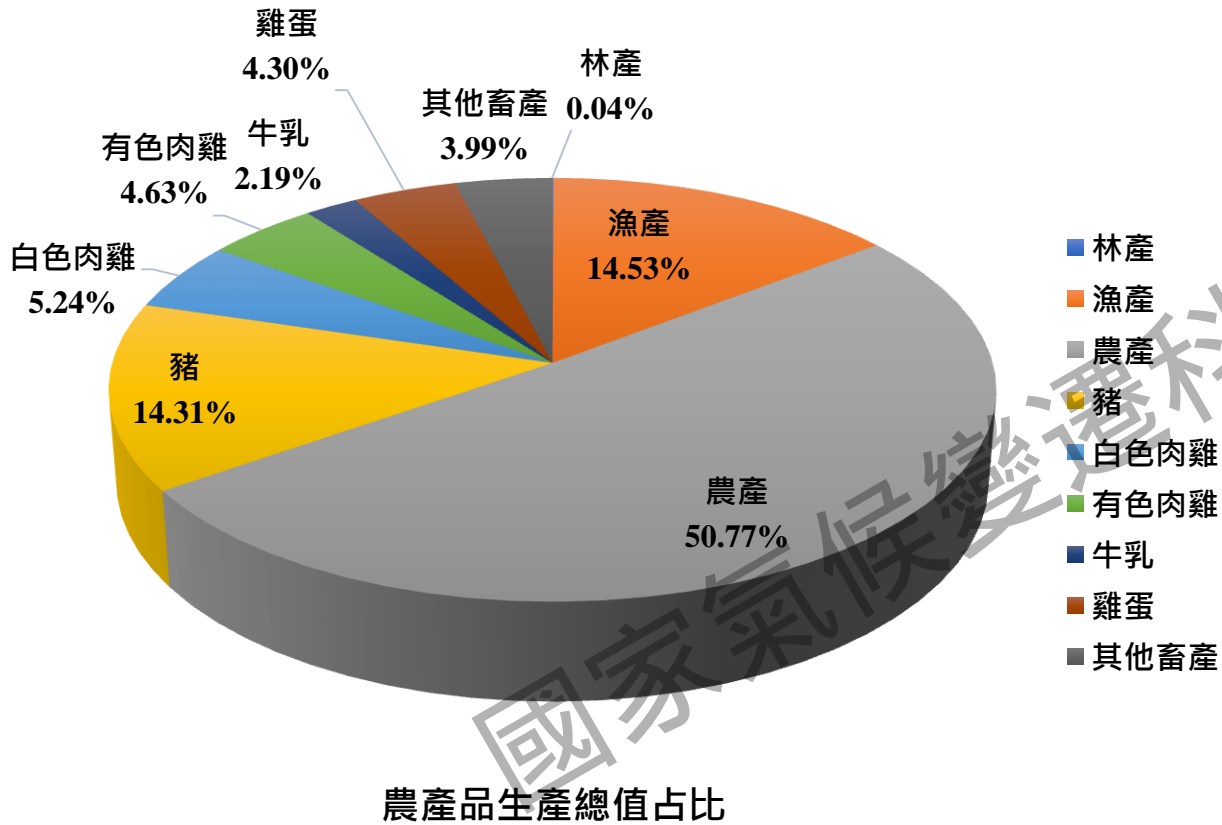


圖1、2021年臺灣農產品生產總值占比。

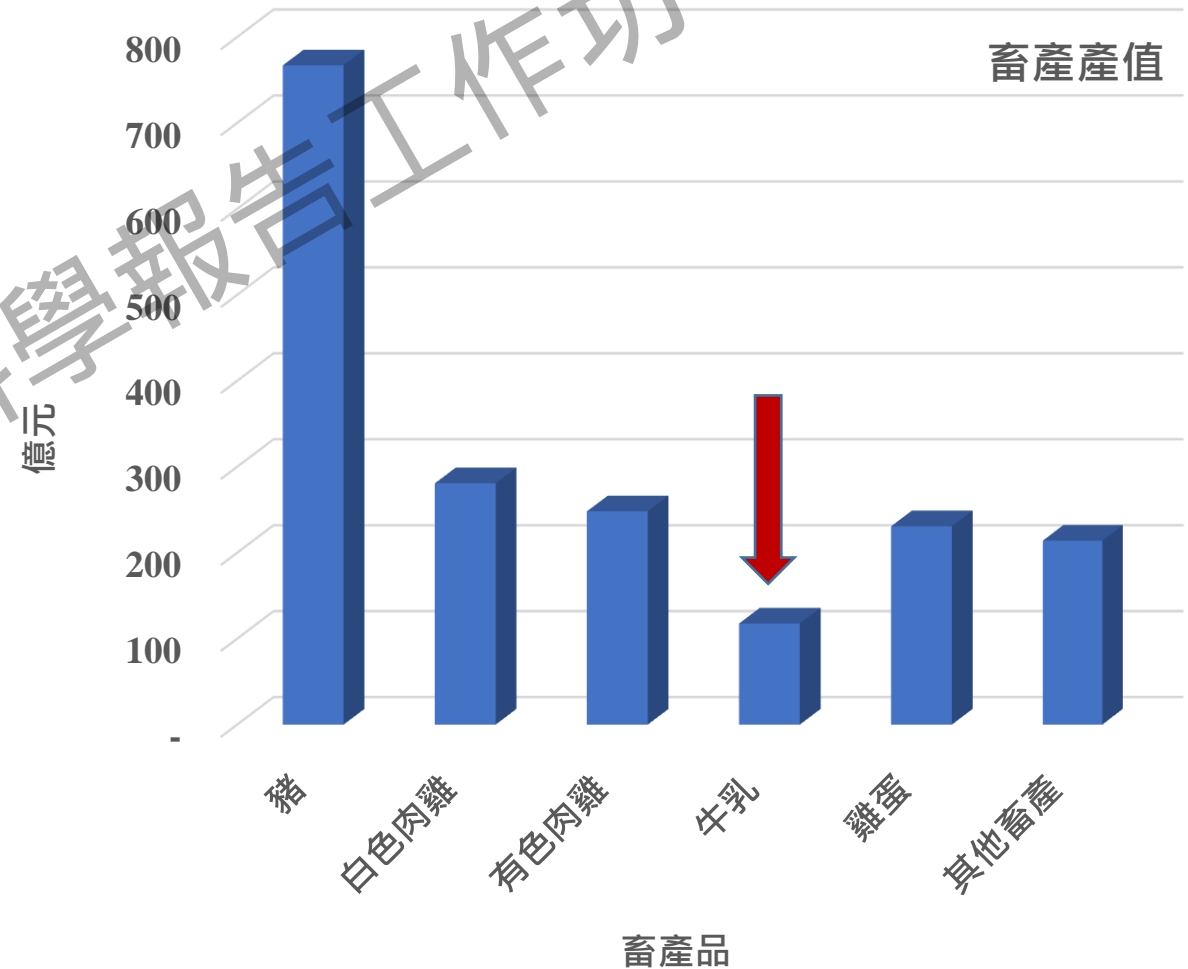


圖2、2021年臺灣畜產產值圖。

臺灣乳業發展趨勢與潛力



產業發展的趨勢和市場成長潛力：進口鮮乳持續增加，消費市場具成長潛力。

國內6萬頭乳牛，年產47.2萬公噸，產值154.6億元。進口約4萬公噸鮮乳，持續增加。

改善夏季高溫的乳損，提高產乳量，增加收益為可行的策略之一。

液態乳進口量及其單價

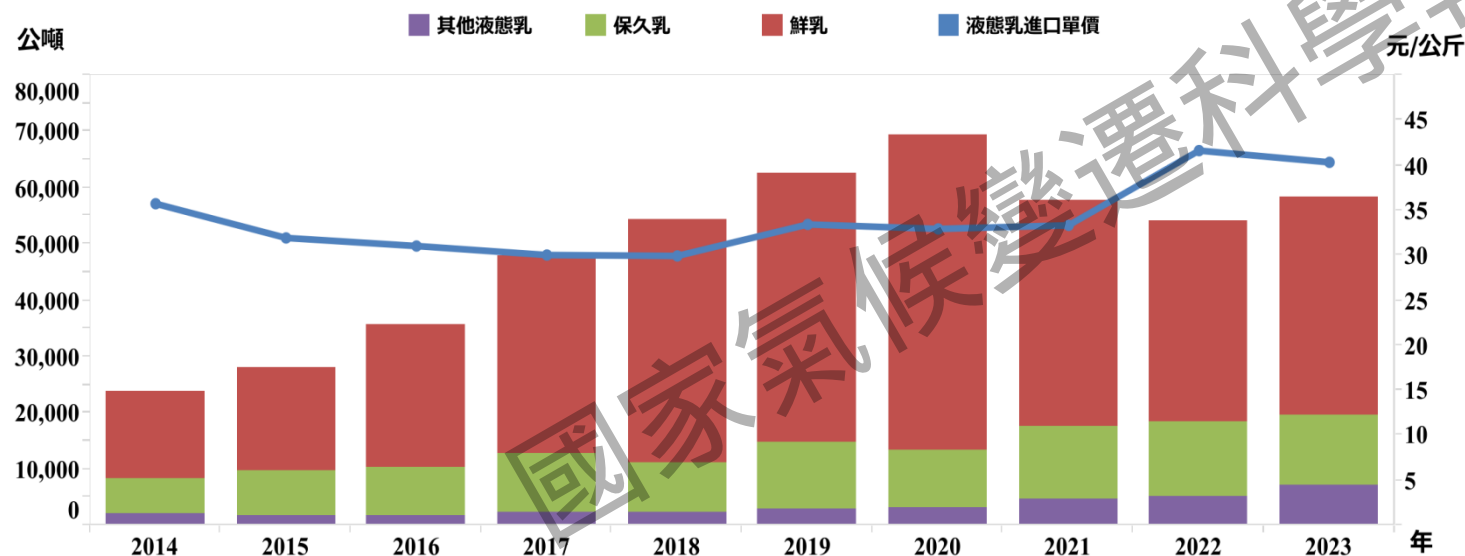


圖3、2014-2023年臺灣液態乳進口量及其單價。

2012~2022月份乳量平均

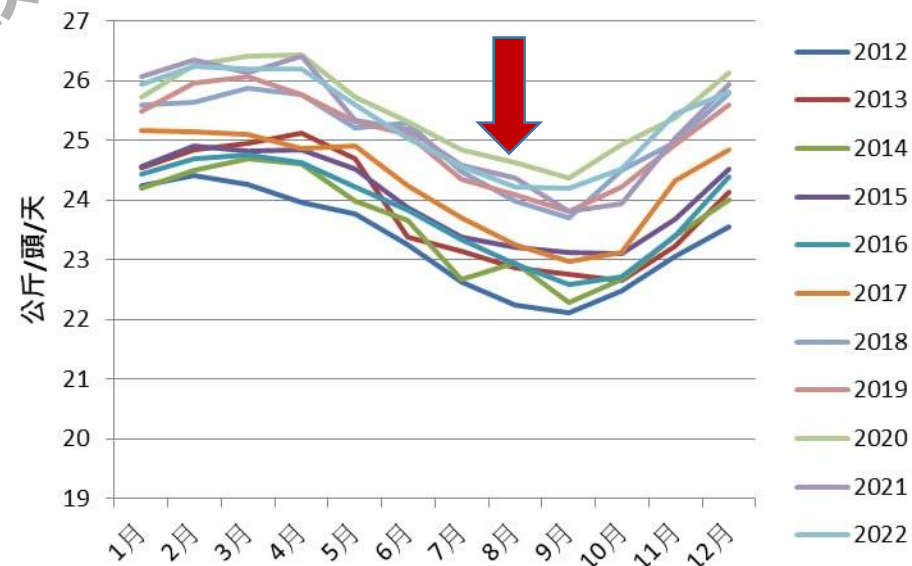


圖4、2012-2022年臺灣每月平均乳量。

臺紐經濟合作協定 (ANZTEC)

- ▶ 臺灣與紐西蘭在WTO架構下，於2013年7月10日簽署「臺紐經濟合作協定 (ANZTEC)」。
- ▶ 近五年，紐西蘭為臺灣農產品五大進口國家之一。
- ▶ 協定在紐西蘭承諾在生效後，液態乳配額內零關稅，且配額量將每三年增加1,500公噸，2025年起則**取消進口配額**，

全面零關稅進口
(農產部，2017)。

- ▶ 此政策的重大調整，將使紐西蘭液態乳以更低成本進入臺灣市場，對本地酪農業的競爭力構成挑戰。

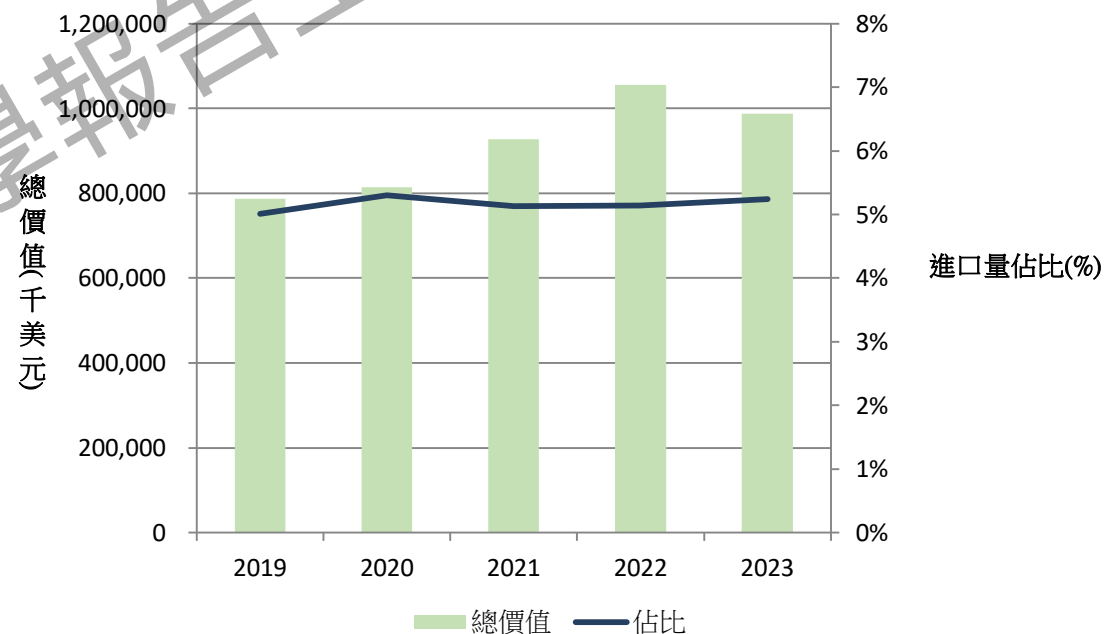
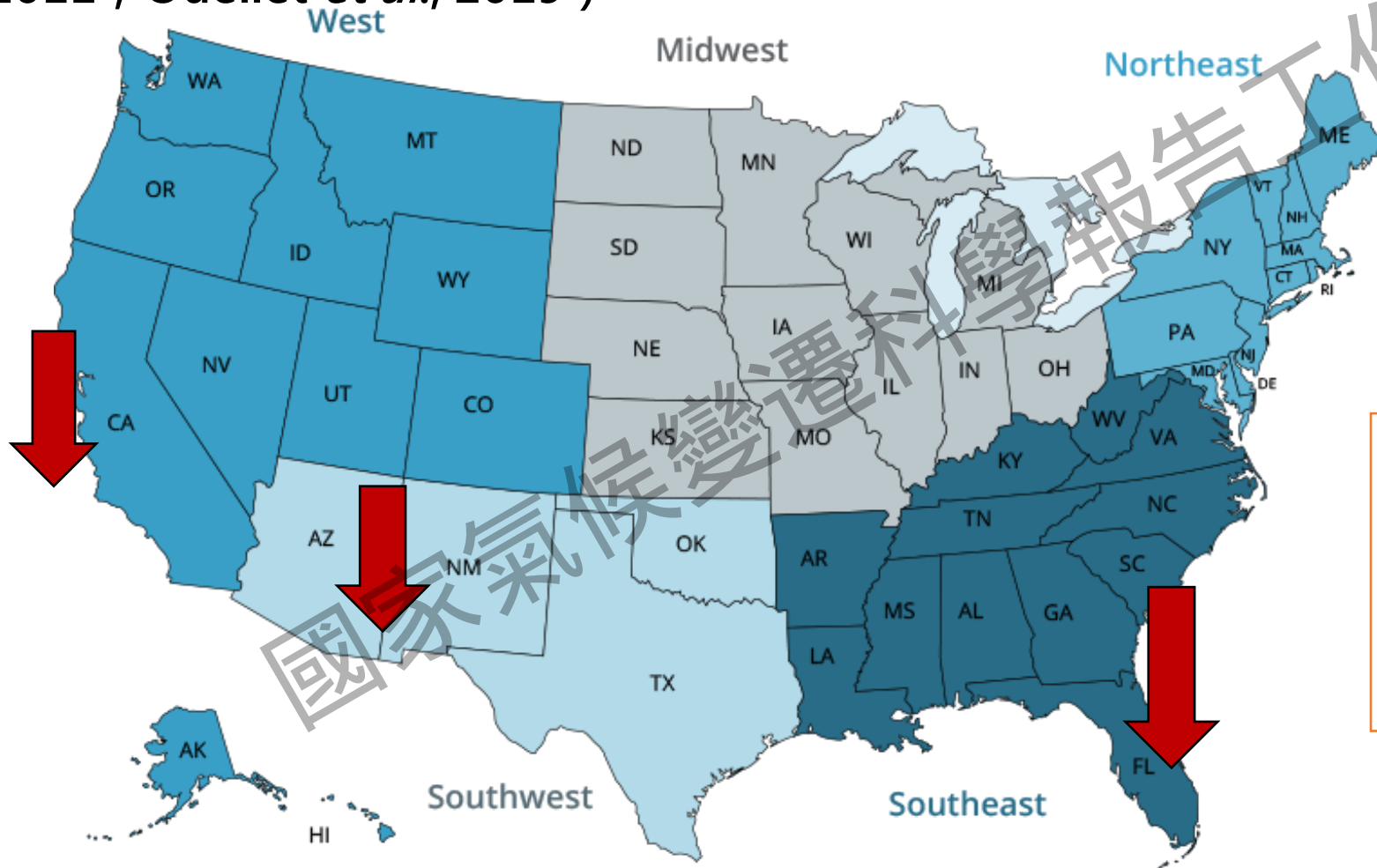


圖5、2019-2023年間紐西蘭進口臺灣之農產品的總價值及進口量佔比。

氣候變遷對全球糧食安全與畜牧業的挑戰

- ▶ 氣候變遷下的熱緊迫將成為乳牛養殖過程中的重要挑戰 (IPCC, 2014 ; T. Kuczynski *et al.*, 2011 ; Ouellet *et al.*, 2019) 。



- ▶ 預計到21世紀末，氣候變遷可能導致美國乳產量損失增至6.3%，經濟損失將增至22億美元/年。
- ▶ 受影響最嚴重的州包括佛羅里達州（可能損失高達25%）。

影響澳洲畜牧業的乾旱與洪水



巴西基於林牧系統的環保牛肉生產

- **背景**：氣候變遷使亞馬遜地區遭受森林砍伐和牧場退化的負面影響，對原有畜牧系統及農民生計重大威脅。
- **原理**：「基於林牧系統的再生牲畜」的新生產模式，利用林牧系統，將樹木、灌木、草和豆科飼料納入，增加農場中植物多樣性，進一步增加放牧肉牛數量，同時使養牛生產與環境保護相協調。
- **成效**：在巴西馬拉尼昂州莫納利薩莊園的林牧系統中，內洛爾牛以灌木和草料為食。本飼養系統有助於減少牛肉生產對森林砍伐和牧場退化的負面影響，減少與牛肉生產相關的溫室氣體排放，並為森林、濕地和水源的保護和恢復做出貢獻。



印度以氣象數據分析氣候變遷造成的動物健康風險

- **背景**：氣候變遷的影響給畜牧生產帶來了更大的不確定性。由於牛的熱緊迫，氣候變遷可能導致產量和繁殖下降，並且在炎熱和潮濕的條件下某些疾病，特別是蜚傳疾病的發生率可能更高。
- **原理**：透過更明確的數據分析以進行明智的決策，來了解並應對氣候變遷可能造成動物飼養上的更多疾病和一般健康風險。
- **應用**：借由收集動物生產力和健康資訊的完整數據，即使在氣候變遷及其相關風險的壓力下，印度的酪農不僅可以維持生產，而且可以蓬勃發展。



熱緊迫是什麼？

熱緊迫對乳牛健康有何影響？

- ▶ 動物面臨熱緊迫（Heat Stress）所帶來的**健康與福祉**問題尤為嚴峻（Ouellet *et al.*, 2019）。
- ▶ 當乳牛暴露於熱緊迫環境時，其**乾物質攝取量減少**、**躺臥時間縮短**，並降低反芻頻率，進一步導致**乳產量下降**（Wheelock *et al.*, 2010；Grant, 2012），並對健康產生不良影響（Polsky and von Keyserlingk, 2017）。
- ▶ 極端氣候影響不僅限於溫度升高，歐洲部分地區因**病媒蚊數量增加**，導致傳染病風險上升，進一步**加劇乳牛健康問題**（Facts and Figures, 2022）。

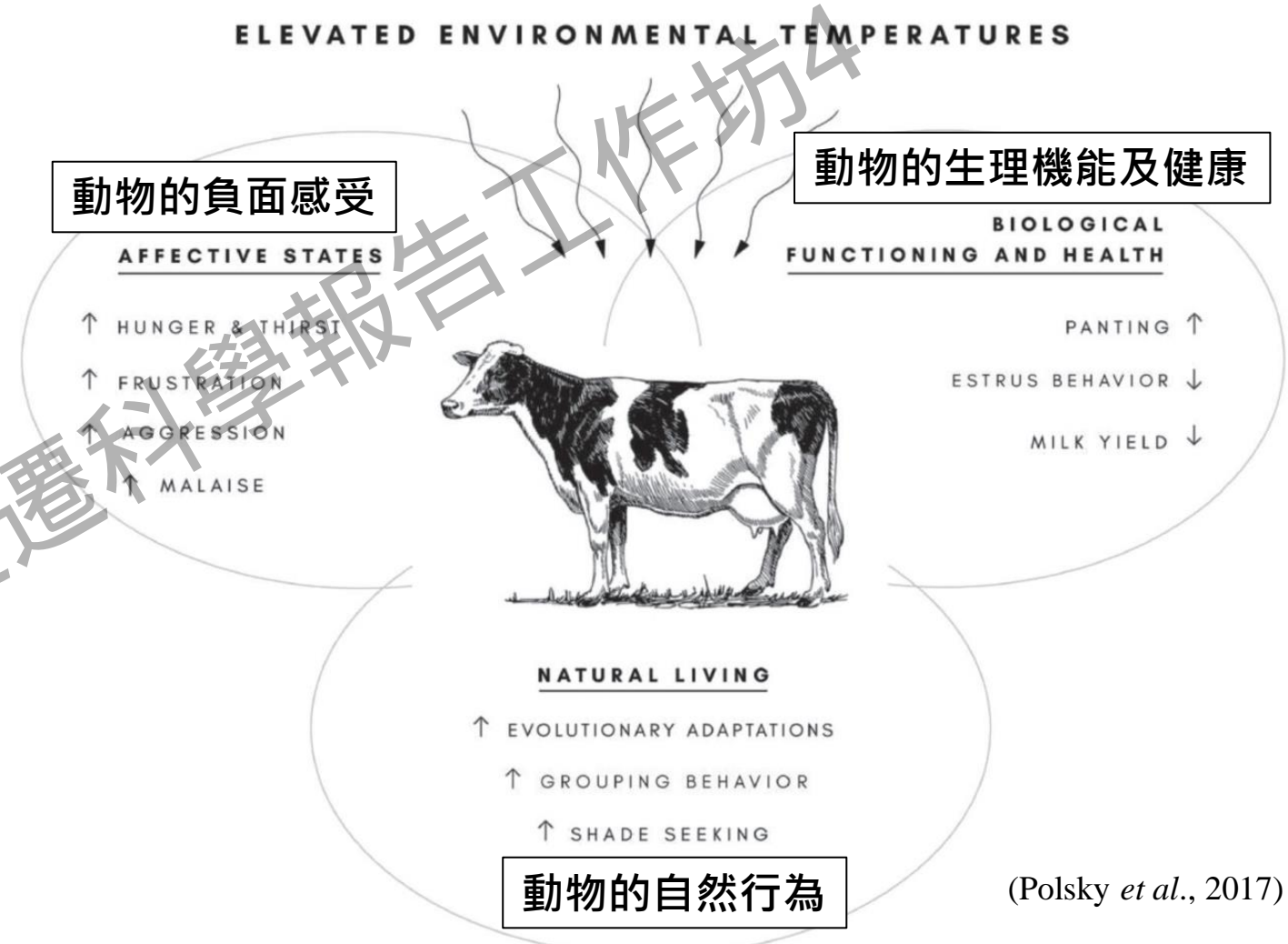
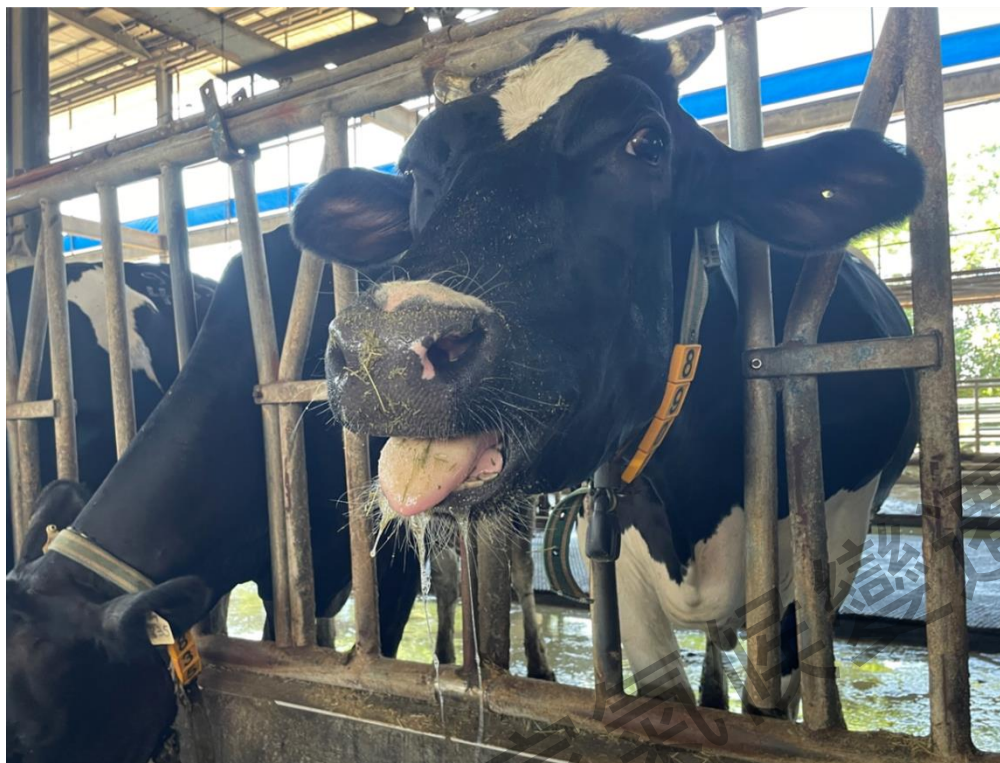


圖6、熱緊迫影響與動物福利三大核心概念的關係圖。

乳牛熱緊迫的表徵



張大嘴、伸出舌頭、垂下粘稠的口水或這些跡象組合的乳牛。



當乳牛呼吸加快、喘氣和出汗時，牠們就會失去水分，因而增加飲水量。

乳牛熱緊迫的表徵



乳牛會遠離牛舍的光照處，尋求遮蔭，因為牠們將光的強度與熱聯繫起來。



乳牛躺下時的核身體溫會升高，乳牛遭受熱緊迫時，站立的時間增加，而躺下的時間減少。



利用溫濕度指數評估乳牛熱緊迫

Temp (°C)	% Relative Humidity																		
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
22	64	65	65	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71
23	65	65	66	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	71	72	72
23.5	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73
24	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74
24.5	66	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75
25	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76
25.5	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77
26	67	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	76	76	77	77	78
26.5	68	69	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	76	77	78	78	79
27	68	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	78	79	80
28	69	69	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	79	79	80	81
28.5	69	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82
29	70	70	71	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82	83
29.5	70	71	72	72	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84
30	71	71	72	73	74	74	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84
30.5	71	72	73	73	74	75	76	77	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	85
31	72	72	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	86	86
31.5	72	73	74	75	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	85	86	86	87
32	72	73	74	75	76	77	78	79	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88
33	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	89
33.5	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	85	86	87	88	89	90
34	74	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	85	85	86	87	88	89	90	91
34.5	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	86	86	87	88	89	90	91	92
35	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
35.5	75	76	77	78	79	80	81	82	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
36	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	91	92	93	94	95
36.5	76	77	78	80	80	82	83	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
37	76	78	79	80	81	82	83	84	85	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
38	77	78	79	81	82	83	84	85	86	87	88	90	91	92	93	94	95	96	98
38.5	77	79	80	81	82	83	84	86	87	88	89	90	92	93	94	95	96	98	99
39	78	79	80	82	83	84	85	86	87	89	90	91	92	94	95	96	97	98	100
39.5	78	79	81	82	83	84	86	87	88	89	91	92	93	94	96	97	98	99	101
40	79	80	81	83	84	85	86	88	89	90	91	93	94	95	96	98	99	100	101
40.5	80	80	82	83	84	86	87	88	89	91	92	93	95	96	97	99	100	101	102
41	80	81	82	84	85	87	88	89	90	91	93	94	95	97	98	99	101	102	103
41.5	80	81	83	84	85	87	88	89	91	92	94	95	96	98	99	100	102	103	104

◆ 溫濕度指數 (THI) , 為畜牧業生產所需環境指標 , 利用空氣中的溫度(T)與相對濕度(RH)結合計算。

◆ 監測環境對動物所產生的熱緊迫程度。在此以酪農業為主 , 計算公式為 :

$$THI = (1.8T + 32) - (0.55 - 0.0055RH) \times (1.8T - 26)$$

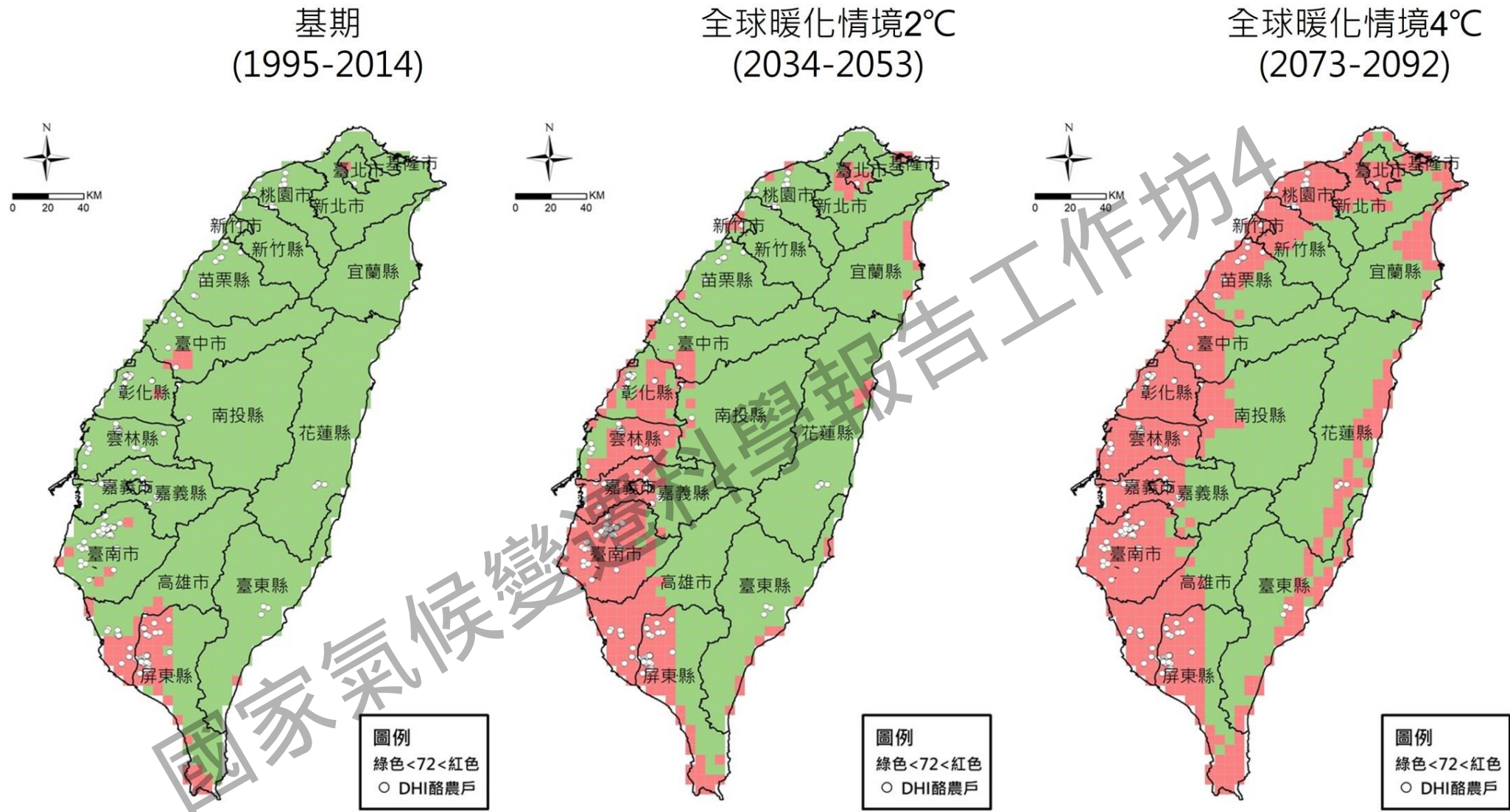


圖7、氣候變遷下臺灣溫溼度指數 (THI) 變化情形圖。

生理指標測量

- ▶ 於牛舍使用 HOBO Pro 溫度探測器，每 15 分鐘測量一次環境溫度 (Ta, °C) 與相對濕度 (RH, %) 並根據美國國家研究委員會 (NRC, 2001) 提供的公式計算溫濕度指數 (THI) :

$$THI = (1.8 \times Ta + 32) - (0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times Ta - 26)$$

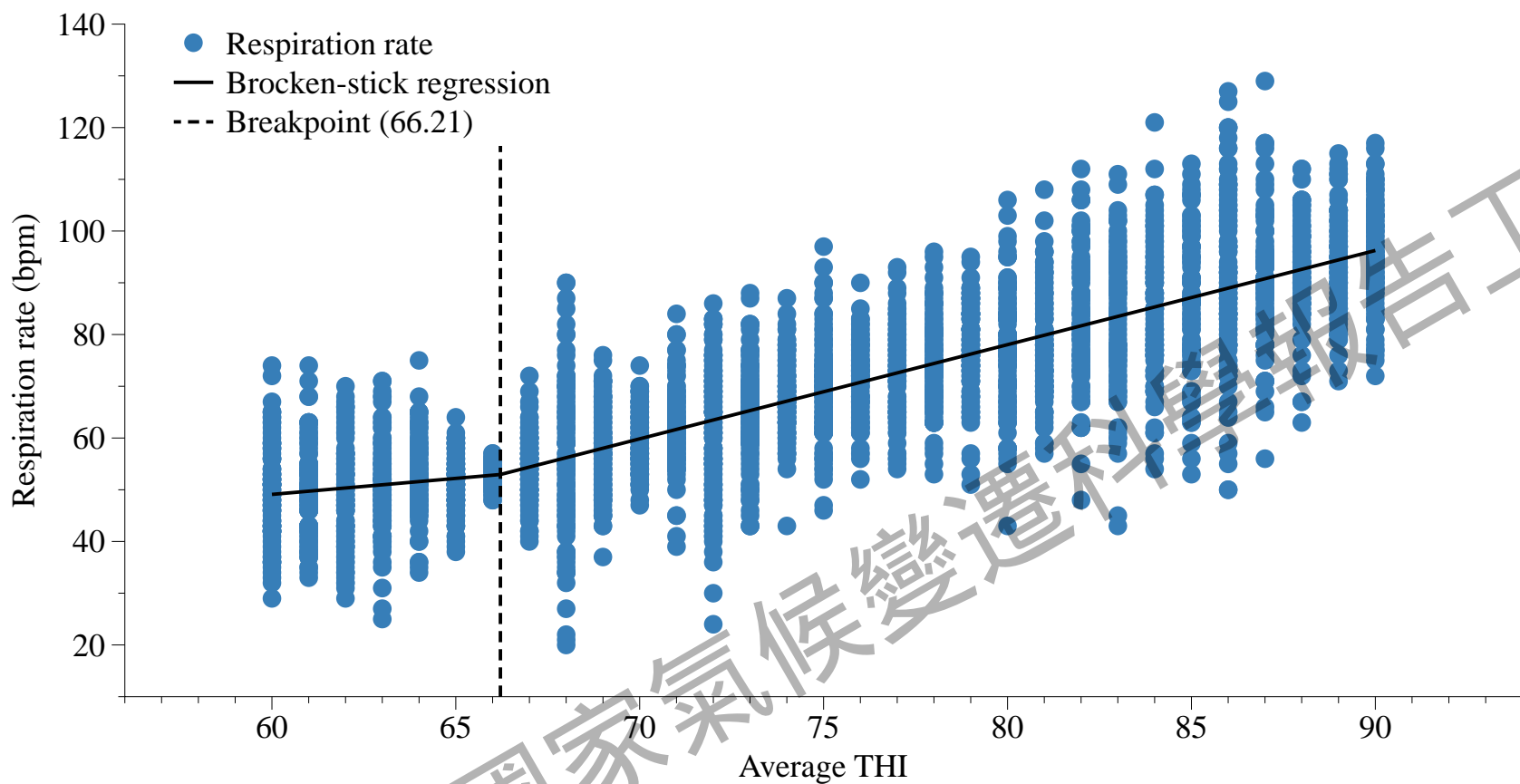
表1、乳牛生理指標測量工具、部位及測量頻率

測量項目	測量工具	測量部位/方式	測量頻率
直腸溫度 (RT)	HOBO Pro 數位溫度計	直腸	
呼吸速率 (RR)	觀察腹部起伏	腹部起伏次數 (次/分鐘, bpm)	每週一至週五，每天測量兩次
出汗率 (SR)	VapoMeter 測量儀	臀部兩側未剃毛區域	



圖 8、(A) HOBO Pro 溫度探測器。
(B) VapoMeter 測量儀。

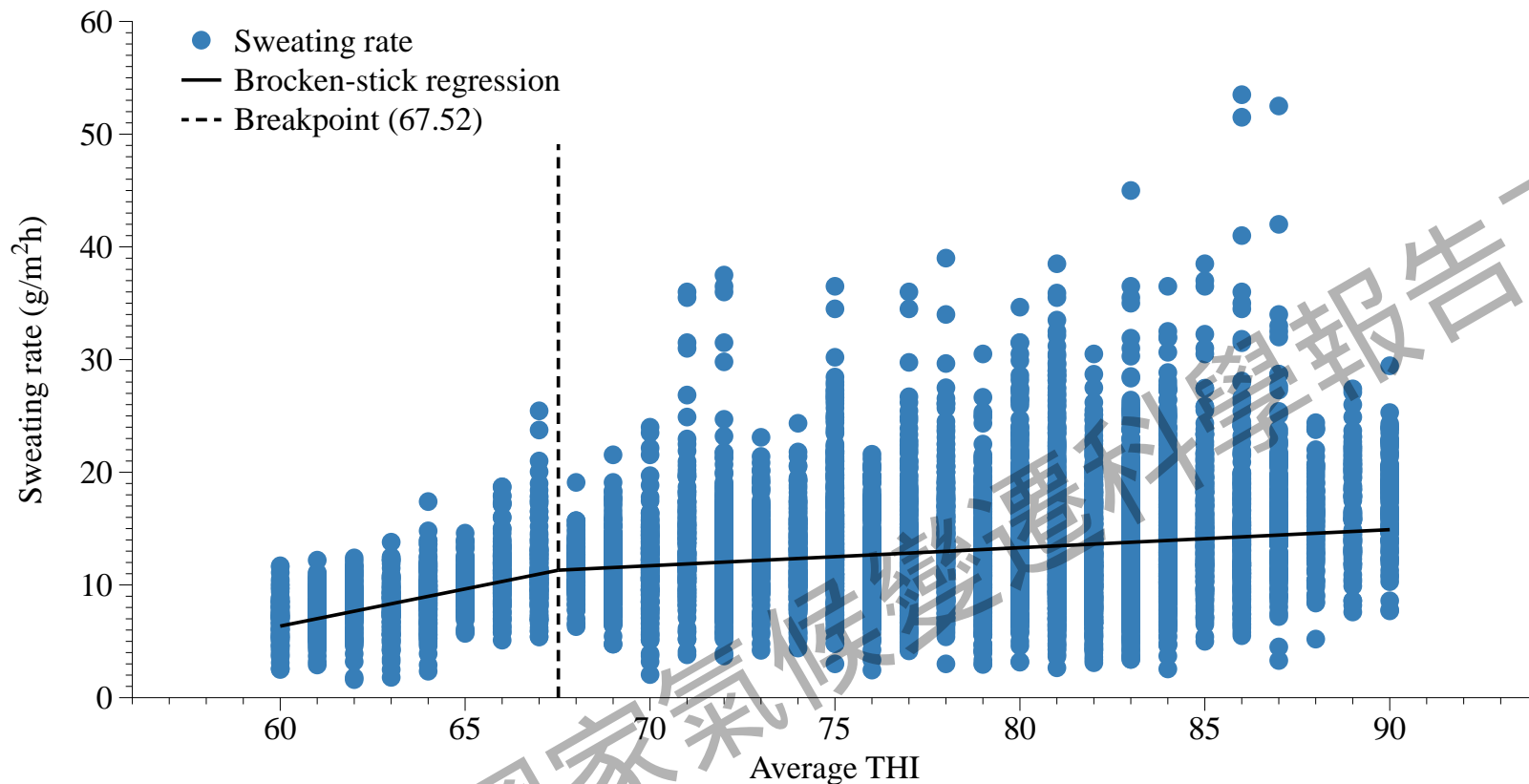
呼吸頻率的熱緊迫THI閾值



呼吸頻率(reps/min)

圖9、斷點回歸模型顯示泌乳牛之呼吸頻率 (RR) 與平均溫濕指數 (THI) 之間的關係。虛線表示依變數發生顯著變化的斷點。

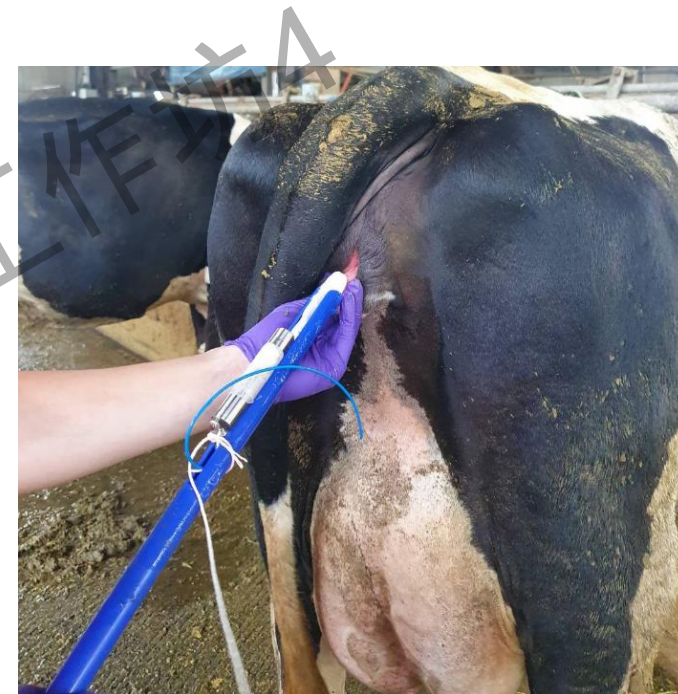
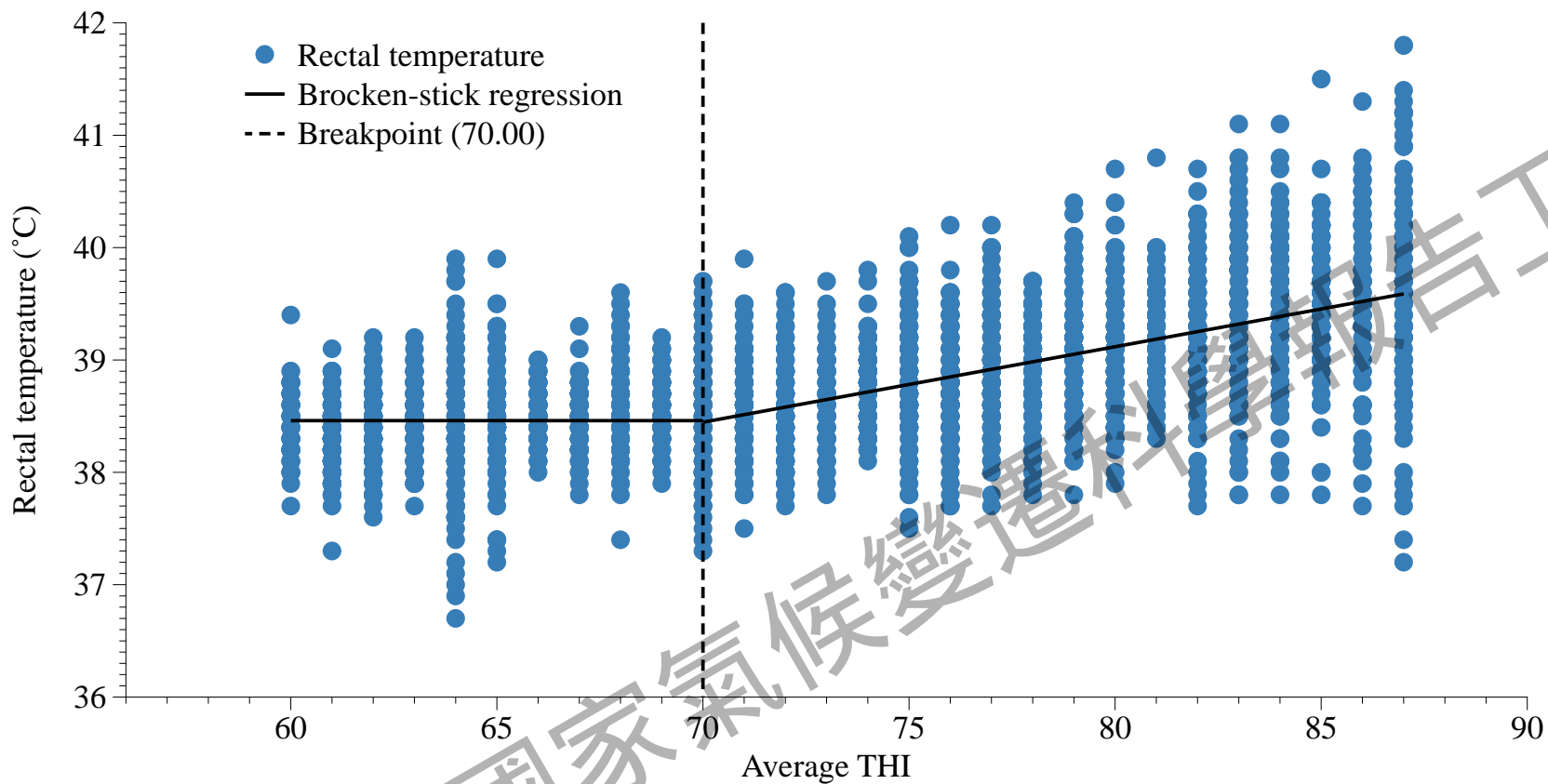
流汗速率的熱緊迫THI閾值



流汗速率(g/m²h)

圖10、斷點回歸模型顯示泌乳牛之流汗速率 (SS) 與平均溫濕指數 (THI) 之間的關係。虛線表示依變數發生顯著變化的斷點。

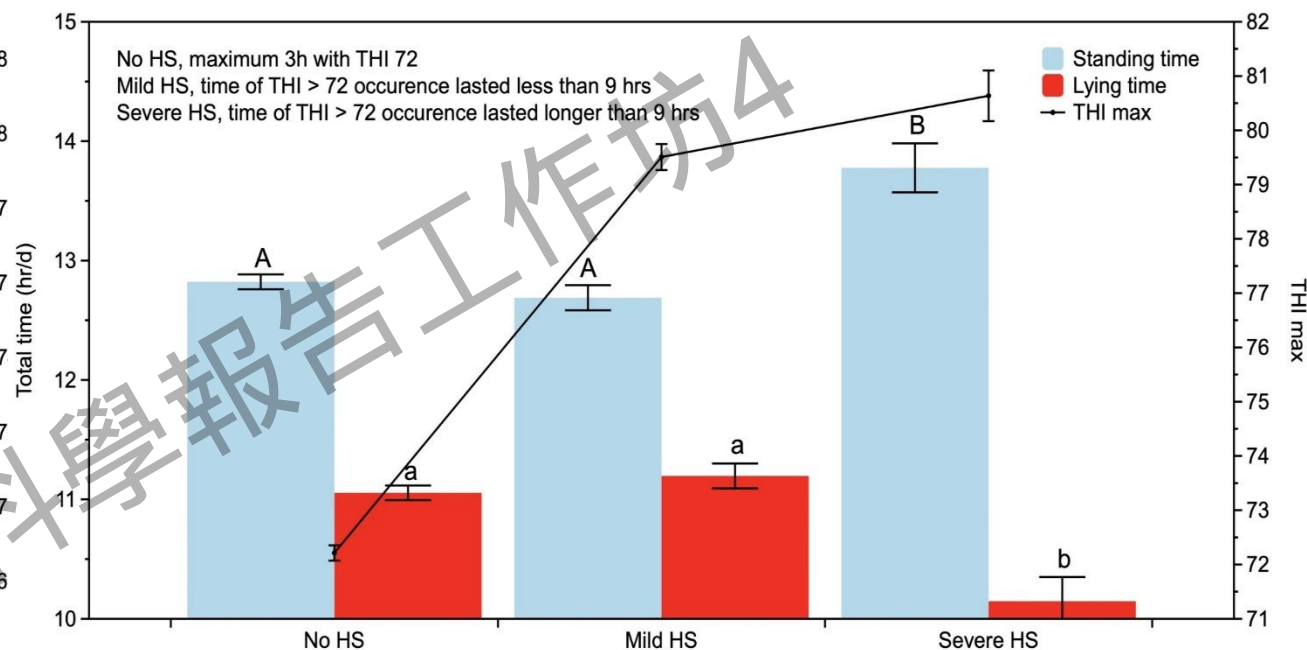
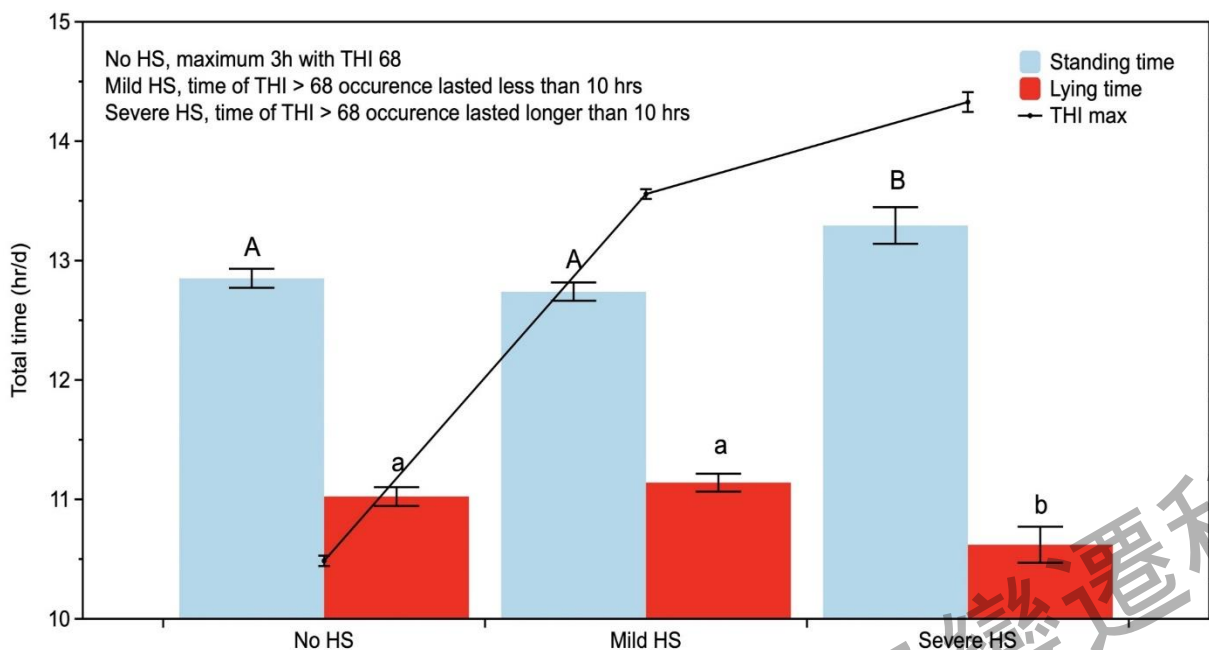
體溫的熱緊迫THI閾值



連續體溫 (°C)

圖11、斷點回歸模型顯示泌乳牛之直腸溫度 (RT) 與平均溫濕指數 (THI) 之間的關係。虛線表示依變數發生顯著變化的斷點。

熱緊迫的受熱累計時間會改變牛隻行為

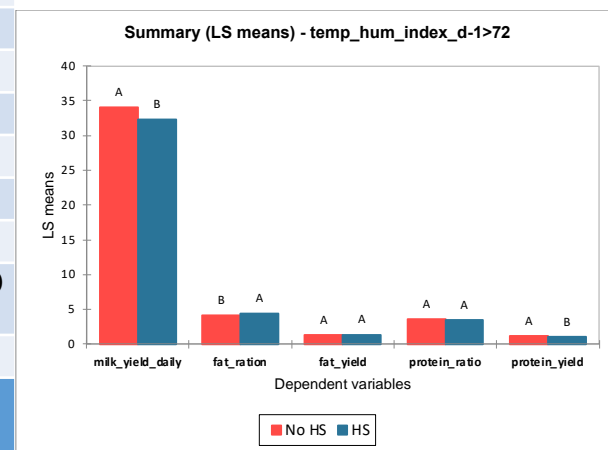
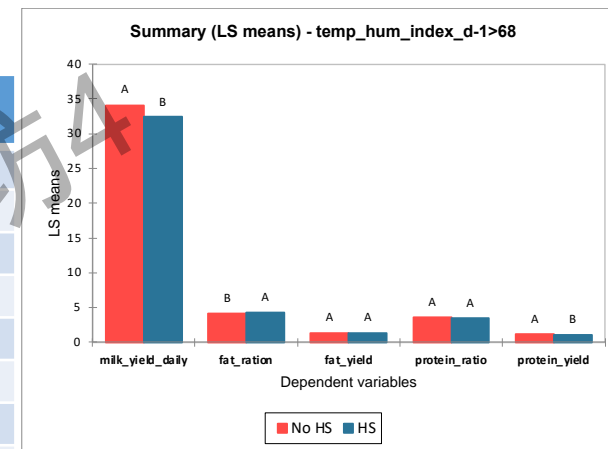


總體趨勢表明，隨著熱緊迫從“無熱緊迫”增加到“嚴重熱緊迫”，乳牛站立時間更久，躺臥時間降低，這可能是不適的指標。線圖顯示THI最大值與站立時間增加有關，這表明較高的THI水平與熱緊迫對乳牛行為的影響更顯著相關。

降低泌乳量及乳品質10-33%

表 2、熱緊迫時不同泌乳階段（初期、中期和晚期）乳牛的乳量、乳成分產量及乳成分組成。

THI threshold ¹	Lactation stage ²	Heat stress level ³	Milk yield, kg ⁴	Fat ration, %	Fat yield, kg	Protein ration, %	Protein yield, kg
68	Early lactation	None	43.964 ± 1.677 a	3.710 ± 0.175 a	1.627 ± 0.078	3.235 ± 0.054 a	1.422 ± 0.054 a
		Mild	42.600 ± 1.967 ab	4.200 ± 0.206 ab	1.679 ± 0.091	2.893 ± 0.064 b	1.248 ± 0.064 b
		Severe	39.293 ± 0.660 b	4.298 ± 0.069 b	1.676 ± 0.031	3.111 ± 0.021 c	1.219 ± 0.021 b
	Mid lactation	None	42.500 ± 2.209 a	4.367 ± 0.219 a	1.825 ± 0.095 a	3.442 ± 0.098	1.451 ± 0.081 a
		Mild	38.138 ± 1.225 a	3.842 ± 0.122 b	1.466 ± 0.053 b	3.553 ± 0.054	1.351 ± 0.045 a
		Severe	35.066 ± 0.528 b	4.023 ± 0.052 ab	1.396 ± 0.023 b	3.495 ± 0.023	1.224 ± 0.019 b
	Late lactation	None	31.048 ± 1.203 a	4.384 ± 0.100	1.340 ± 0.053 a	3.747 ± 0.057 ab	1.146 ± 0.039 a
		Mild	29.787 ± 1.006 ab	4.242 ± 0.043	1.251 ± 0.045 ab	3.781 ± 0.048 a	1.111 ± 0.032 a
		Severe	28.142 ± 0.518 b	4.242 ± 0.084	1.187 ± 0.023 b	3.649 ± 0.025 b	1.016 ± 0.017 b
72	Early lactation	None	45.696 ± 0.973 a	4.013 ± 0.074 a	1.822 ± 0.048 a	3.168 ± 0.036 a	1.445 ± 0.031 a
		Mild	37.784 ± 0.637 b	4.305 ± 0.113 b	1.605 ± 0.031 b	3.080 ± 0.023 b	1.161 ± 0.020 b
		Severe	-	-	-	-	-
	Mid lactation	None	37.457 ± 0.653 a	4.017 ± 0.065	1.485 ± 0.029 a	3.602 ± 0.027 a	1.346 ± 0.022 a
		Mild	34.083 ± 0.692 b	4.006 ± 0.069	1.361 ± 0.030 b	3.388 ± 0.028 b	1.149 ± 0.024 b
		Severe	-	-	-	-	-
	Late lactation	None	37.300 ± 3.781 a	4.595 ± 0.323	1.712 ± 0.164 a	3.205 ± 0.185 a	1.192 ± 0.121 a
		Mild	30.913 ± 0.635 a	4.329 ± 0.054	1.331 ± 0.028 b	3.730 ± 0.031 b	1.145 ± 0.020 ab
		Severe	26.991 ± 0.561 b	4.200 ± 0.048	1.119 ± 0.024 c	3.661 ± 0.027 b	0.972 ± 0.018 b



¹ Temperature humidity index (THI) = $(1.8 \times T + 32) - (0.055 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times T - 26)$, according to the formula in (NRC, 1971).

² Early lactation : days in milk less than 101 days; mid lactation : days in milk from 101 to 200 days; late lactation : days in milk over 201 days.

³ The lactating cows were grouped into 3 heat-stressed (HS) categories : No HS, maximum 9h with THI 68 or 72 within 3-day period; Mild HS, time of THI > 68 or 72 occurrence lasted less than 36h within 3-day period; Severe HS, time of THI > 68 occurrence longer than 36h within 3-day period.

⁴ Values (mean ± SE) with different superscripts among different heat stress levels within each lactation stage and THI threshold are significantly different (P < 0.05).

牛隻熱緊迫對牛乳脂肪酸的變化

基線階段(Days 1-3)

建立基線資料的控制期。

熱緊迫階段(Days 4-7)

每日平均THI > 70 表示熱緊迫

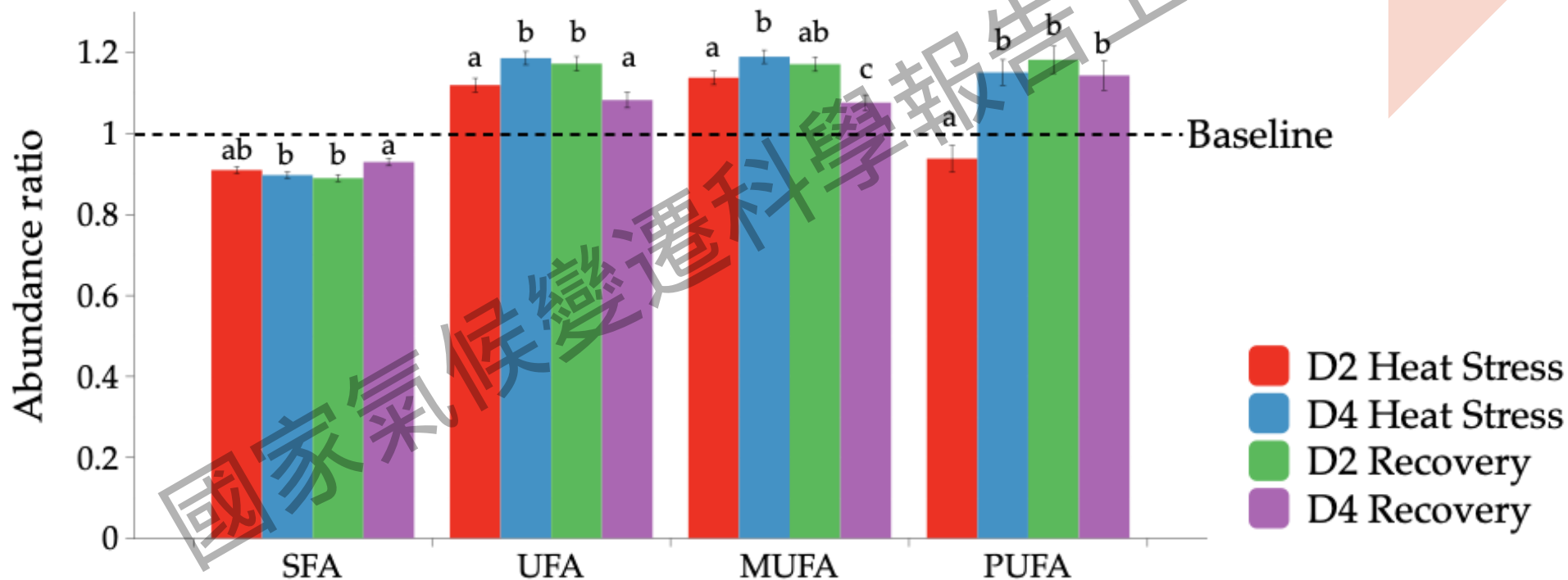


圖12、熱緊迫 (HS) 對乳牛乳中脂肪酸組成的影響，比較熱緊迫之前、期間和之後的階段。脂肪酸的變化凸顯了 HS 對乳牛代謝的影響。

牛隻熱緊迫對牛乳脂肪酸的變化

基線階段(Days 1-3)

建立基線資料的控制期。

熱緊迫階段(Days 4-7)

每日平均THI > 70 表示熱緊迫

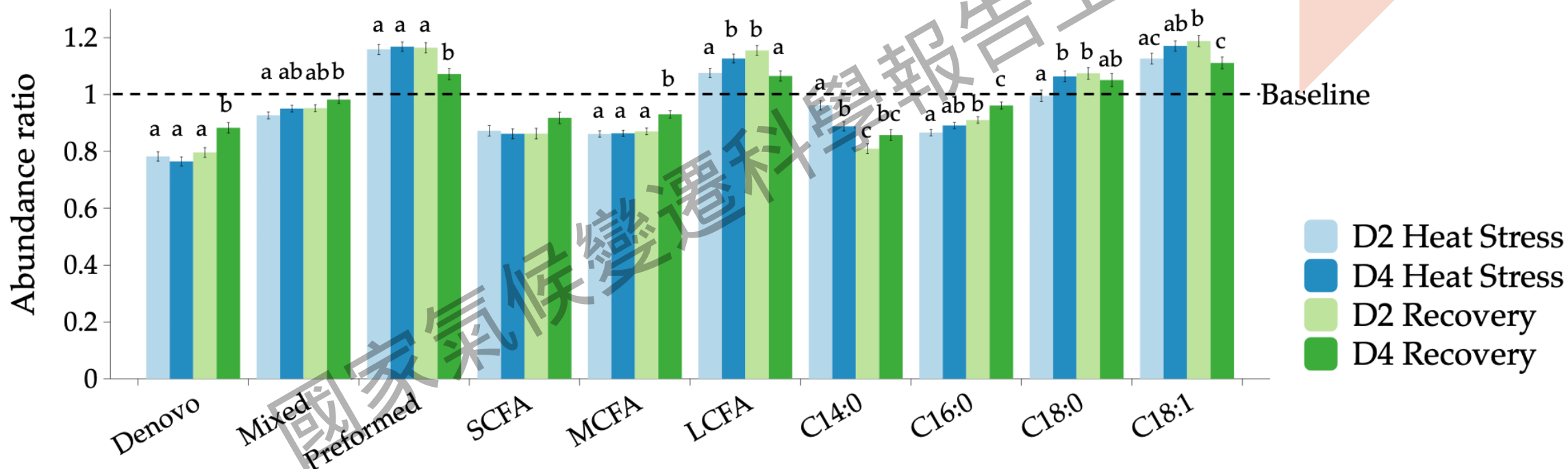


圖13、熱緊迫對乳牛脂肪酸譜的影響。

熱緊迫期間各種脂肪酸 (D2、D4) 含量的顯著變化反映了乳牛的代謝適應。

危害衝擊分析計算

AR5 HiRAM

- 時間解析度：日資料
- 資料指標：溫度/相對溼度
- 情境：基期/升溫2°C/升溫4°C

THI
溫溼度指數

- THI > 70, 造成乳牛熱緊迫

Hazards
危害圖

乳牛持續受到熱緊迫

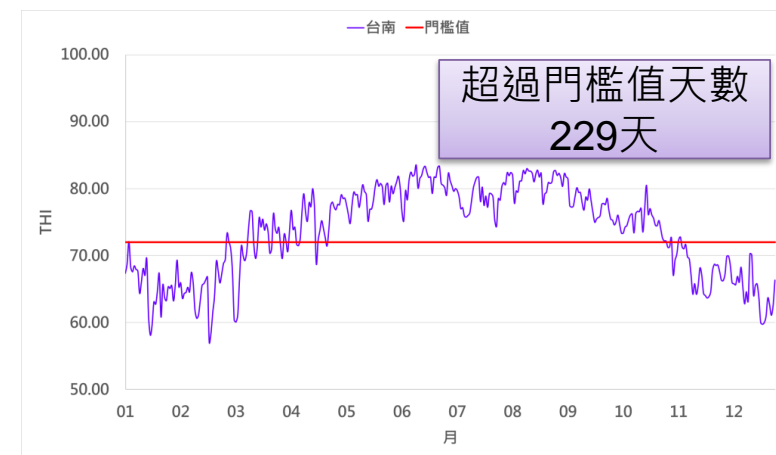
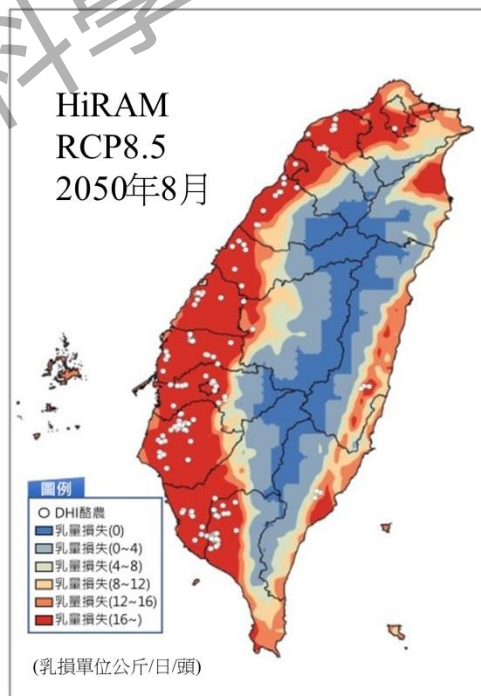
Impact
衝擊圖

- 依據2003年N.R. St-Pierre之公式量化衝擊預測成果，並繪製乾物質採食量損失、空胎天數延長、死亡率及未來乳產量損失

THI>70

Longitude 經度	Latitude 緯度	Temperature 溫度(°C)	Relative Humidity 相對 溼度(%)	THI
119.2	21.5	22.36	81.59	72.63
119.2	21.55	22.26	81.67	72.46
119.2	21.6	22.18	81.68	72.32

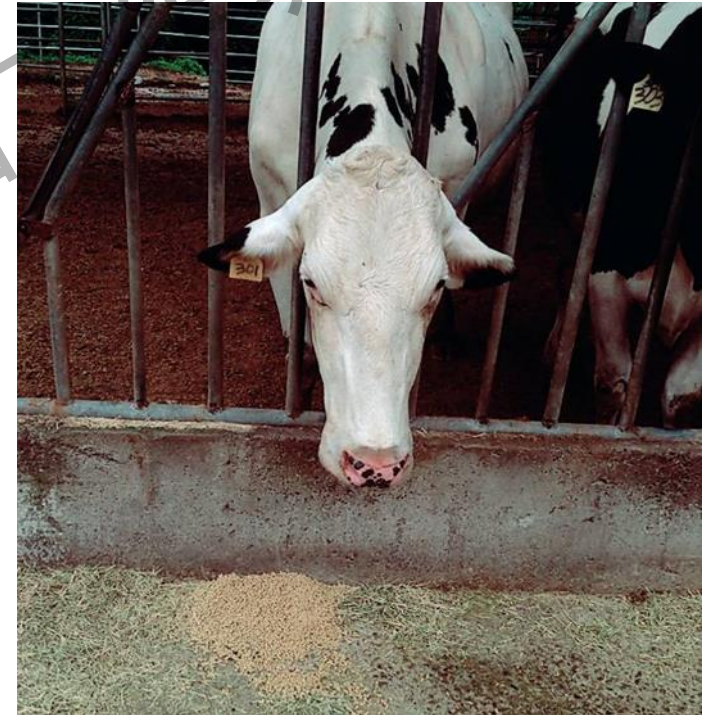
119.2	22.95	19.40	76.98	66.59
119.2	23	19.35	77.29	67.27



2050年台南市酪農戶溫溼度指數

氣候變遷與乳牛乾物質採食量影響的數據模型

- ▶ 乾物質採食量：飼糧中不含水分的部分之重量。



乾物質採食量 (DMI) 的下降會直接影響乳牛的营养攝取，導致乳產量下降 (每減少1公斤DMI，乳量損失2至2.5公斤)、繁殖性能降低以及疾病風險增加，最終影響經濟效益。因此，需研究與採取有效的管理對策來緩解熱緊迫對乳牛的不利影響 (Weiss, 2015)。

氣候變遷與乳牛乾物質採食量影響的數據模型

- ▶ 泌乳動物的乾物質採食量約為每日20公斤 (Haas *et al.*, 2015)，本研究以此作為基準，計算不同暖化程度下的乾物質採食量損失百分比。
- ▶ 數據顯示，基期時臺灣主要產乳縣市的乳牛平均每日DMI介於2.09至3.91公斤。當增溫2°C時，每日乾物質採食量損失介於14.65%至26.82%；而當氣溫升高4°C時，損失範圍擴大至20.55%至36.12%。

表3、不同升溫情境下臺灣主要產乳縣市之乾物質採食量損失與損失百分比

主要產乳縣市	升溫情境				
	基期	2°C		4°C	
	(1995-2014年)	(2034-2053年)	損失百分比	(2073-2092年)	損失百分比
桃園市	2.23	3.19	15.94%	4.49	22.45%
彰化縣	3.43	4.84	24.19%	6.41	32.05%
雲林縣	3.16	4.44	22.20%	5.98	29.91%
嘉義縣	2.22	3.19	15.97%	4.44	22.20%
臺南市	3.91	5.36	26.82%	7.22	36.12%
高雄市	2.09	2.93	14.65%	4.11	20.55%
屏東縣	2.53	3.53	17.65%	4.97	24.84%

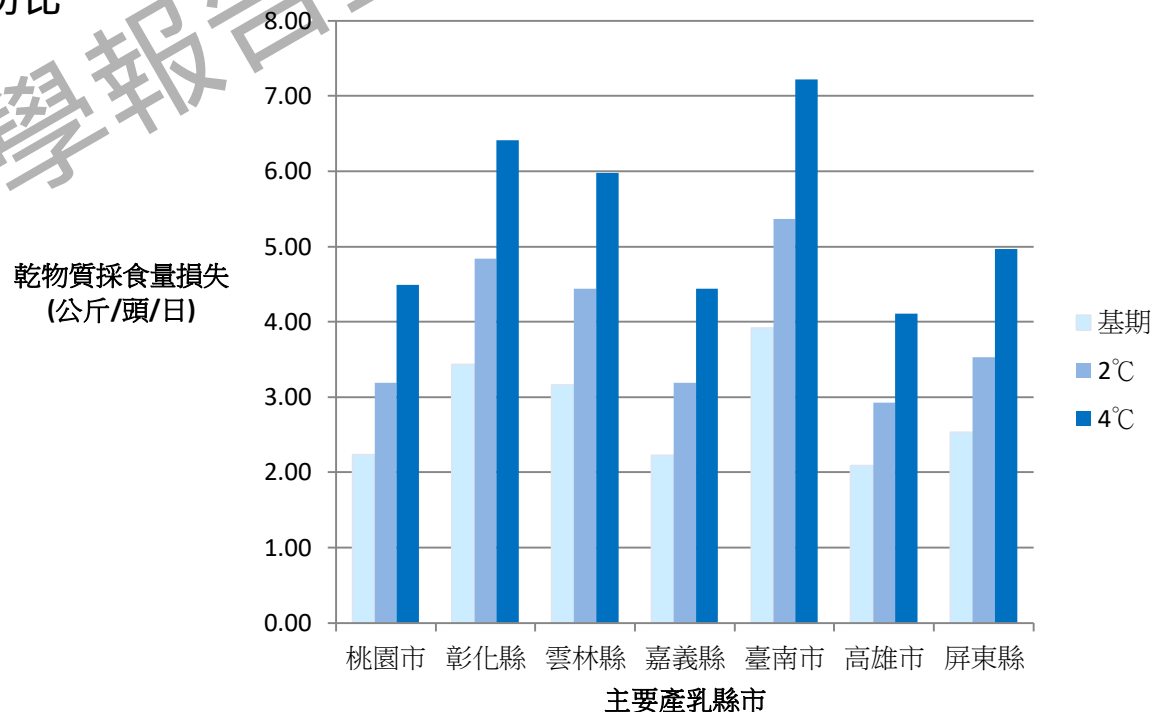
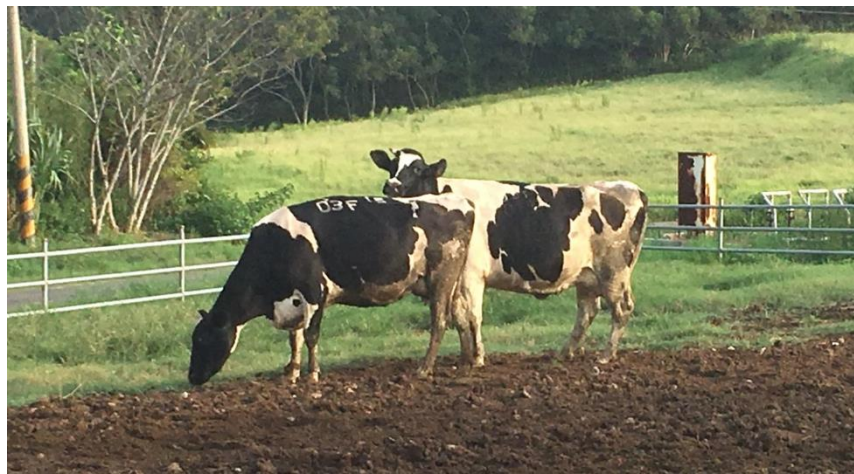
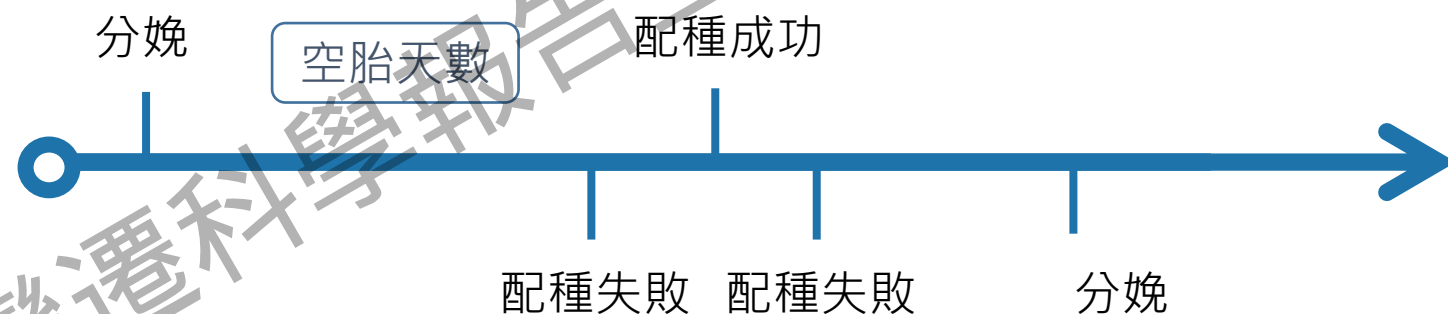


圖14、不同暖化程度情境下主要產乳縣市乾物質採食量損失。

繁殖低下與空胎天數延長之氣候適應模型



- ▶ 空胎天數：分娩到下一次配種成功的間隔天數。



- ▶ 空胎期延長原因：

- 熱緊迫造成發情徵兆不顯著，導致配種不成功。
- 導致繁殖疾病，如子宮炎機率增加。
- 病媒蚊數量增加，導致傳染病風險上升。

繁殖低下與空胎天數延長之氣候適應模型

- ▶ 結果顯示，乳牛空胎天數均顯著增加，於增溫2°C情境，增加天數為1.74至10.58天。當溫度升高4°C，空胎天數增加5.52至16.22天。
- ▶ 一般而言，成熟乳牛的發情週期為21天(Larson, 2008)，以其為基準，於世紀末模擬情境，除嘉義市及高雄市外，其餘皆延長了一個發情週期，其中，臺南縣及屏東縣受影響最為嚴重，繁殖性能下降情況最為嚴重。

表4、不同升溫情境下臺灣主要產乳縣市之空胎天數及延長百分比

主要產乳縣市	升溫情境				
	基期	2°C		4°C	
	(1995-2014年)	(2034-2053年)	延長百分比	(2073-2092年)	
桃園市	14.75	18.80	89.52%	23.57	112.24%
彰化縣	14.33	18.06	86.00%	21.97	104.62%
雲林縣	13.56	17.13	81.57%	21.03	100.14%
嘉義縣	10.29	13.23	63.00%	16.65	79.29%
臺南市	17.68	21.86	104.10%	26.61	126.71%
高雄市	12.76	16.15	76.90%	20.30	96.67%
屏東縣	16.83	21.23	101.10%	26.47	126.05%

(單位：日)

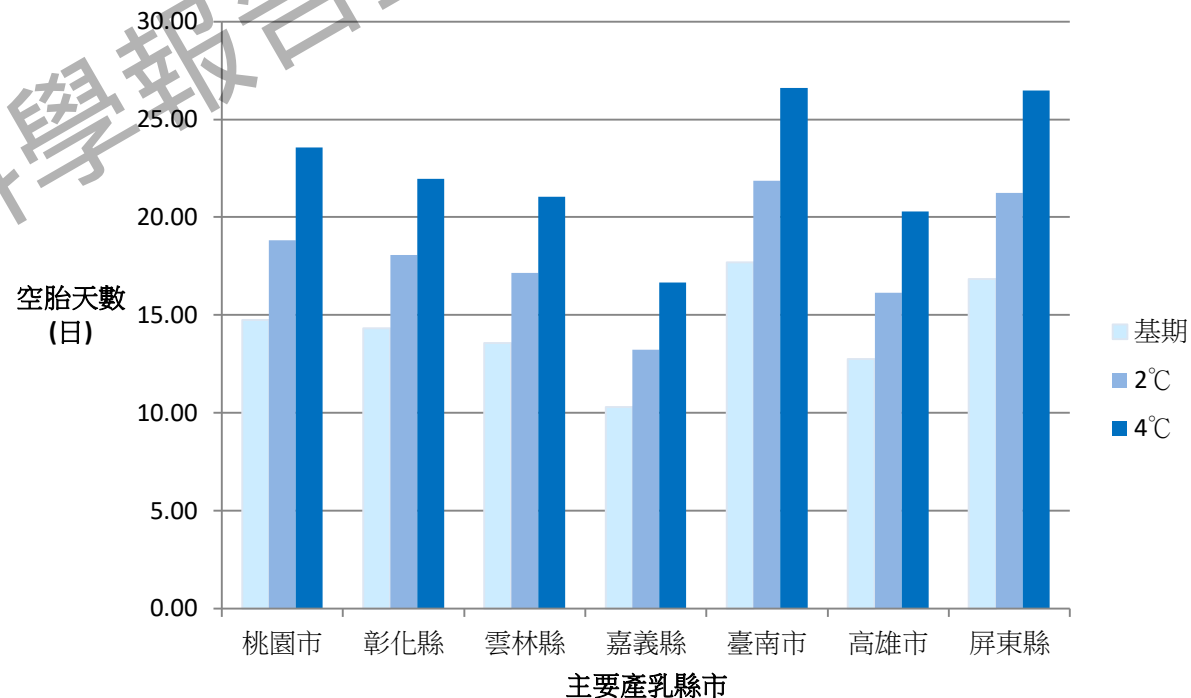


圖15、不同暖化程度情境下主要產乳縣市空胎天數趨勢變化。

死亡率之氣候適應模型研擬

- ▶ 基期時，主要產乳縣市每個月的死亡率約為**1.08至2.80%**，而在升溫4°C則上升至**3.28到7.47%**，其中又以屏東縣有最高的死亡率。

表5、不同升溫情境下臺灣主要產乳縣市之死亡率

主要產乳縣市	升溫情境		
	基期 (1995-2014年)	2°C (2034-2053年)	4°C (2073-2092年)
桃園市	2.68	4.40	7.18
彰化縣	1.86	3.13	4.85
雲林縣	1.71	2.92	4.62
嘉義縣	1.08	1.98	3.28
臺南市	2.53	4.24	6.67
高雄市	2.05	3.33	5.37
屏東縣	2.80	4.57	7.47

(單位：%/月)

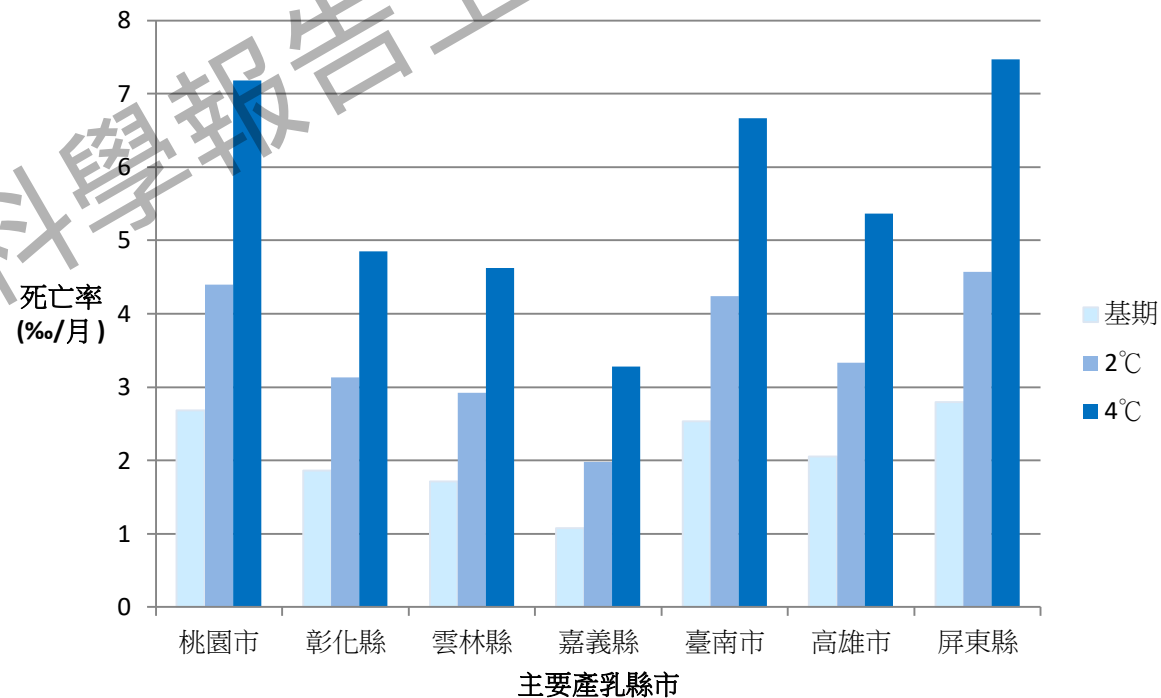


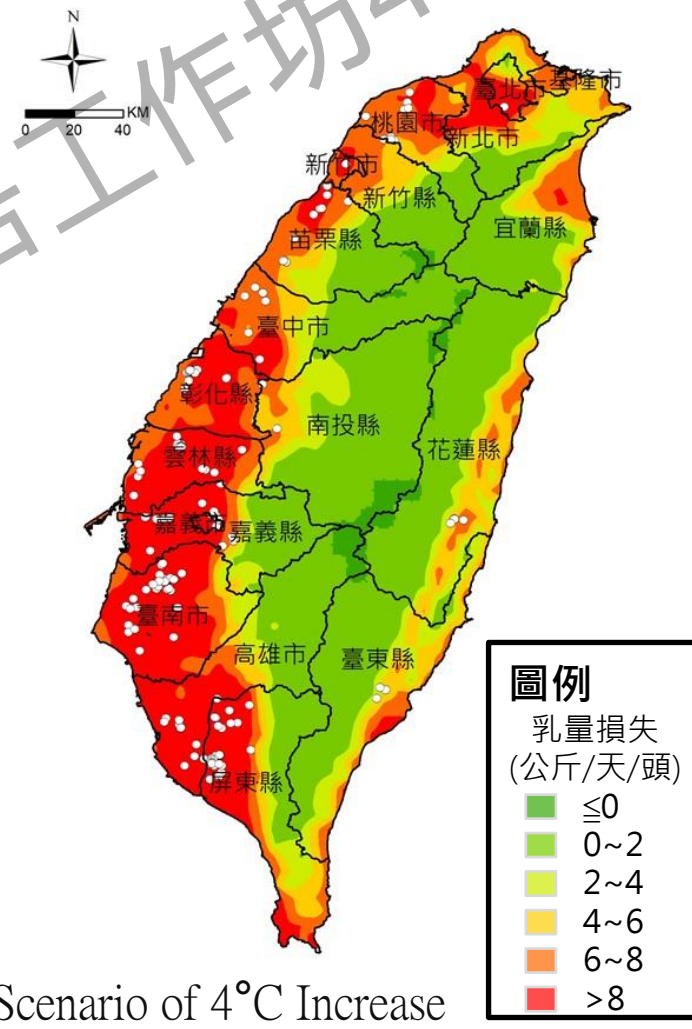
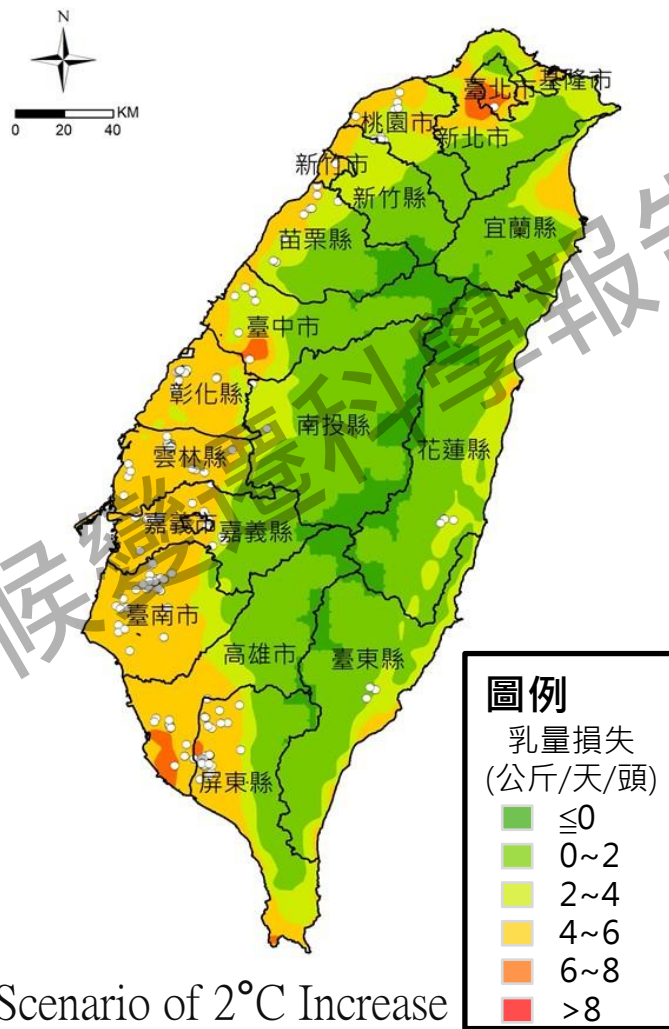
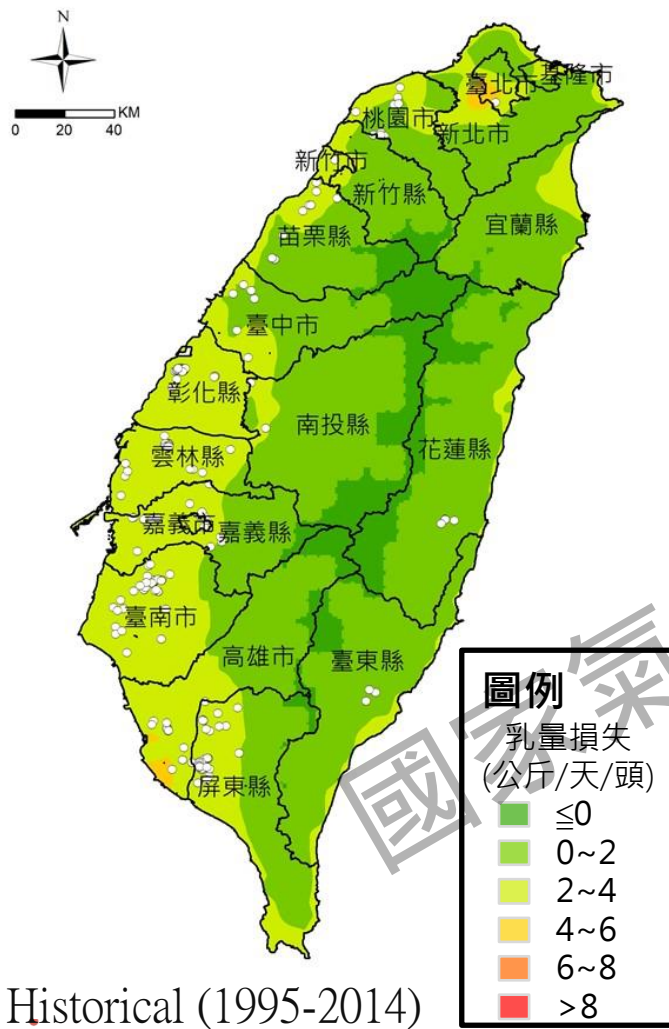
圖16、不同暖化程度情境下主要產乳縣市死亡率趨勢變化。

全球暖化情境乳量損失(HiRAM)

基期
(1995-2014)

全球暖化情境2°C
(2034-2053)

全球暖化情境4°C
(2073-2092)



Historical (1995-2014)

Scenario of 2°C Increase
(2034-2053)

Scenario of 4°C Increase
(2073-2092)

氣候變遷與乳牛產乳量與經濟損失評估

- ▶ 根據112年牛乳生產費用與收益分析，顯示每公斤牛乳價值為32.78元/公斤（農業部，2024）。
- ▶ 本研究結果顯示，在升溫2°C的情境下，經濟損失介於193.4元至354.4元；升溫4°C時，經濟損失進一步擴大至271.4元至476.9元。其中，臺南市受影響最為嚴重，顯示該地區在極端氣候條件下，乳牛生產效率下降程度最高。

表6、不同升溫情境下臺灣主要產乳縣市之乳產量損失及經濟損失

主要產乳縣市	升溫情境		
	基期	2°C	4°C
	(1995-2014年)	(2034-2053年)	(2073-2092年)
桃園市	4.50	6.42	9.05
彰化縣	6.92	9.75	12.91
雲林縣	6.36	8.94	12.05
嘉義縣	4.48	6.43	8.94
臺南市	7.88	10.81	14.55
高雄市	4.21	5.90	8.28
屏東縣	5.09	7.11	10.01

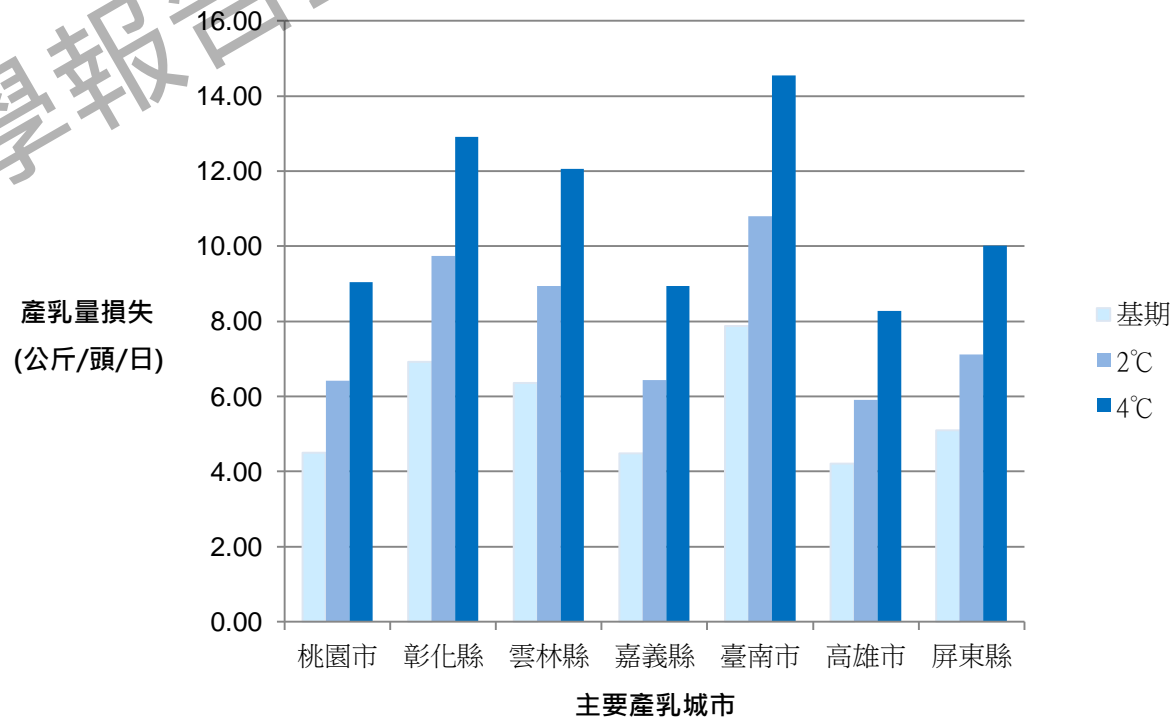


圖17、不同暖化程度情境下主要產乳縣市產乳量損失圖。

(單位：公斤/頭/日)

依據預估的熱緊迫衝擊，採取調適行為



營養調控

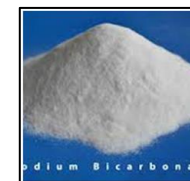
提高日糧濃度
(增強能量密度)



控制日糧纖維含量
使用優質乾草

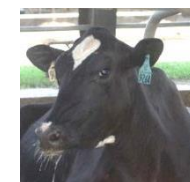


平衡電解質與礦物質



育種

乳牛抗熱性狀選拔



飼養管理

充足且易取用的清潔飲水



畜舍降溫設施



營養調控

▶ 熱緊迫導致乳牛乾物質採食量下降，飲水量增加，易造成攝取能量不足、代謝性疾病等問題。

▶ 營養調控：

➢ 維持日糧纖維含量，提供優質乾草

-避免瘤胃過酸症

➢ 提高日糧能量濃度

-增加日糧中精料比例

➢ 提高日糧礦物質、電解質平衡

-補充添加鈣、磷、鉀、鎂和鈉等礦物質



農業氣象資訊於牧草生產與乳牛管理之應用



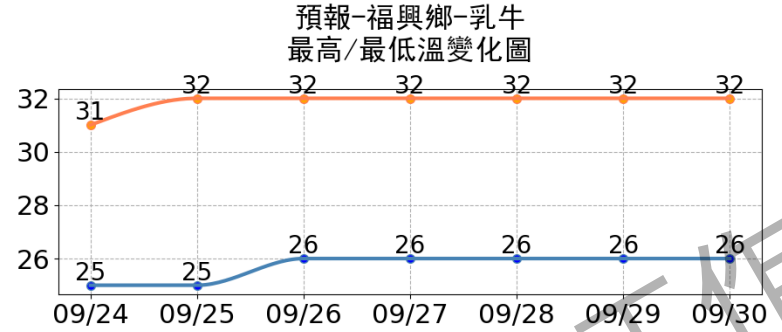
- ▶ 降雨機率預報系統應用於盤固乾草生產
- ▶ 熱緊迫對酪農業造成之影響以及改善方法
- ▶ 農業氣象溫溼度指數(THI)預報系統結合牛舍降溫設施應用於乳牛生產管理熱緊迫調適



國家氣候變遷科學報告工作坊4



降雨前搶收盤固草減少災損



時間	天氣	風向風速	溫濕度指數	濕度	降雨機率
早	5級 偏北風	5級 偏北風	81	56%	0%
	3級 西北風	3級 偏北風	81	68%	10%
	3級 偏北風	3級 偏北風	81	66%	0%
	3級 偏北風	3級 偏北風	81	66%	0%
	3級 偏北風	3級 偏北風	81	68%	0%
	3級 偏北風	3級 偏北風	81	68%	0%
	3級 偏南風	3級 偏南風	81	66%	0%
晚	4級 東北風	3級 偏北風	78	77%	0%
	2級 偏南風	2級 偏北風	78	81%	0%
	2級 偏北風	2級 偏南風	78	81%	0%
	2級 偏南風	2級 偏北風	78	82%	0%
	2級 偏南風	2級 偏南風	78	81%	0%
	2級 偏南風	2級 偏南風	78	82%	0%
	2級 偏南風	2級 偏南風	78	79%	0%



農業氣象
應用服務
QR code

農業氣象應用服務...

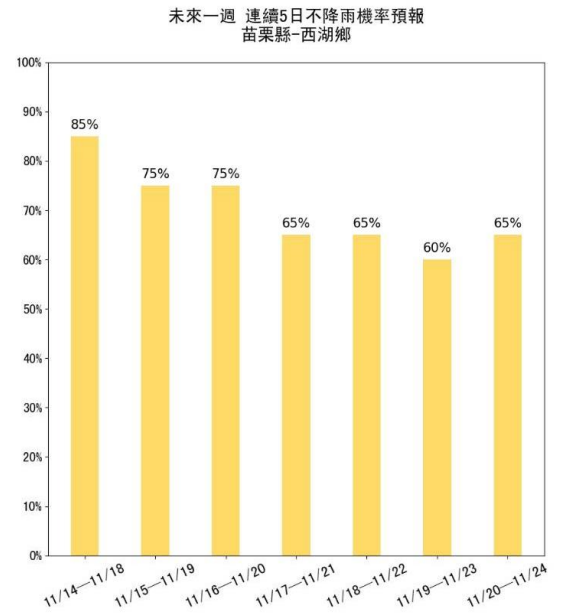
一週預報

5 DAYS
連續5日
不降雨機率預報

下午12:32

已讀
下午12:32

[鄉鎮預報]連續5日不降雨機率預報 苗栗縣-西湖鄉



育種—基因選拔及配種

- ▶ SLICK1短毛基因荷蘭泌乳牛比起一般荷蘭泌乳牛更具抵抗熱緊迫之能力(Dikmen., 2014)。
- ▶ 聯合國政府間氣候變化專門委員會 (IPCC) 2022年2月公布第六次評估報告 (IPCC AR6) 將飼養短毛基因牛列為家畜因應熱緊迫的調適措施之一。



飼養管理—供應充足且乾淨之水源



- ▶ 飲水量不足引起的最常見的臨床症狀是熱緊迫與受孕率低。
- ▶ 牛隻擠完乳回到餵飼區時，應該特別注意給予乾淨、新鮮且充足的水源，此時的母牛需要消耗大量的水。
- ▶ 每 20 頭牛就應該分配到一個供水裝置。

飼養管理—降溫設備

- 最小降溫：開放式牛棚
- 中度降溫：開放式牛棚+風扇
- 高度降溫：開放式牛棚+風扇+噴霧
- 強烈降溫：室內空調牛棚



降溫級別：最小

→ 強烈

Minimal cooling
Open Barn



Moderate cooling
Open Barn with Fans



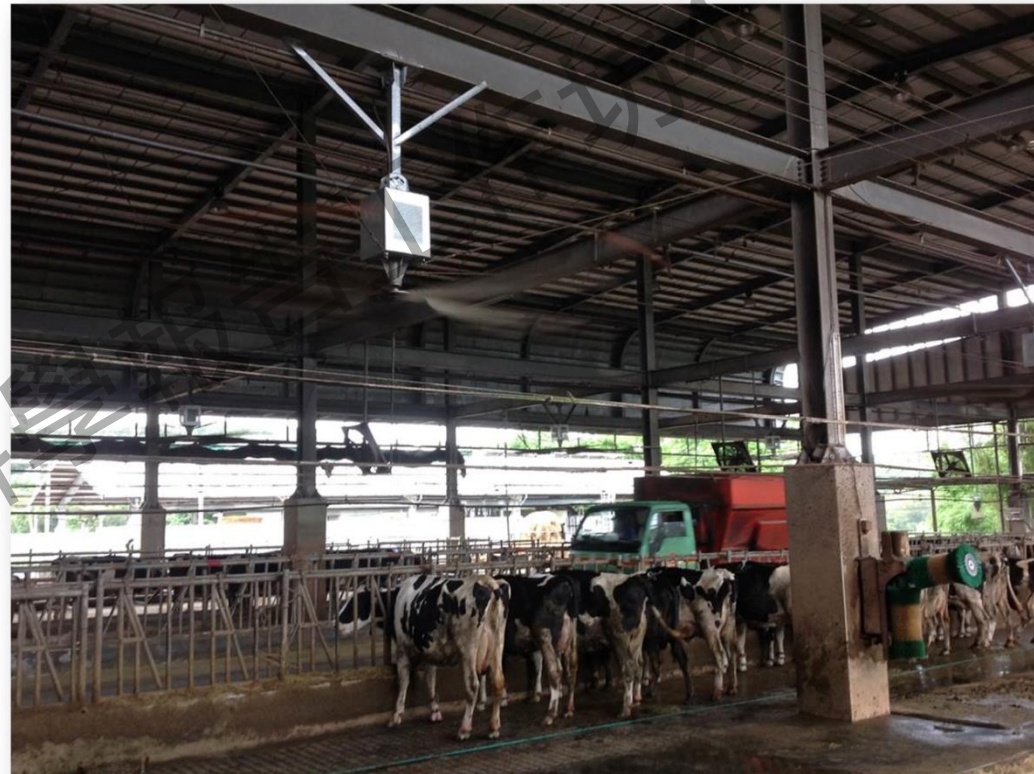
High cooling
Open Barn with Fans & Misters



Intense cooling
Barn with Air Conditioning



Four levels of barn cooling systems 牛舍的四種不同降溫級別。



風扇降溫：在欄位上方安裝風扇，迫使空氣穿過牛舍，以促進空氣交換。



灑水器降溫：灑水器將較粗的小水滴直接噴灑在乳牛身上，藉由水氣帶走乳牛身體體表的熱能，達到降低體表溫度的目標。

體溫變化的延遲效應約2小時

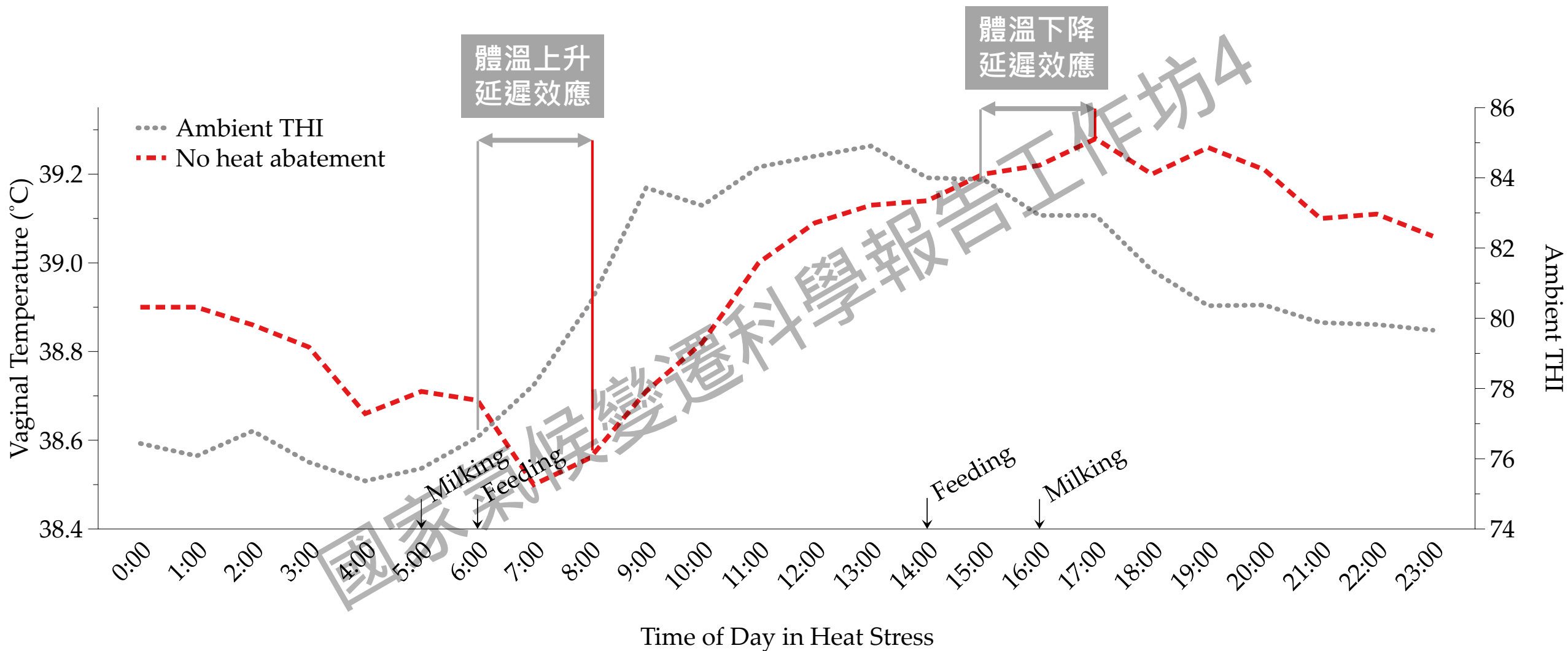


圖18、2022年8月北區分所乳牛無開啟降溫設施之全日小時體溫紀錄與溫濕度指數紀錄。

降溫設施延遲及抑制體溫上升並加強散熱效果

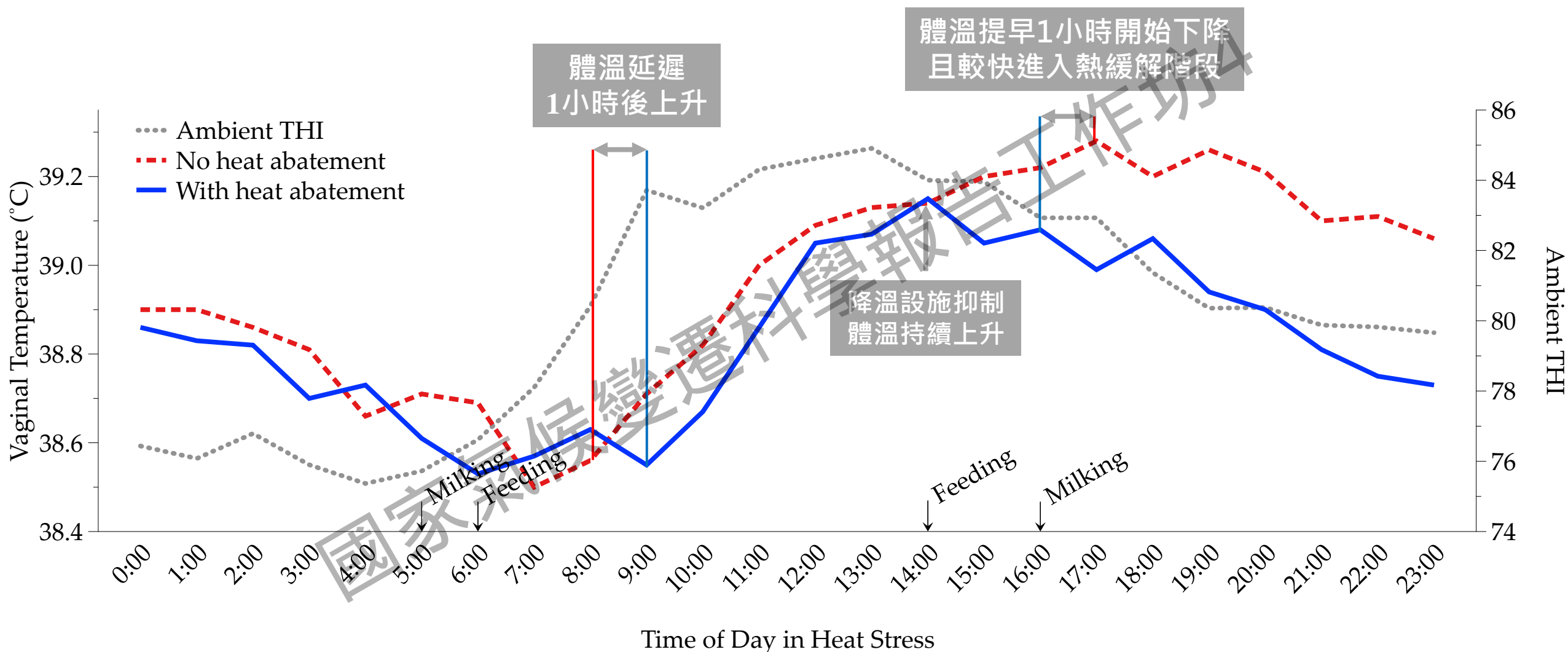


圖19、2022年8月北區分所乳牛有無開啟降溫設施之全日小時體溫紀錄與溫濕度指數紀錄。

降溫系統減少牛隻個體的熱承載量

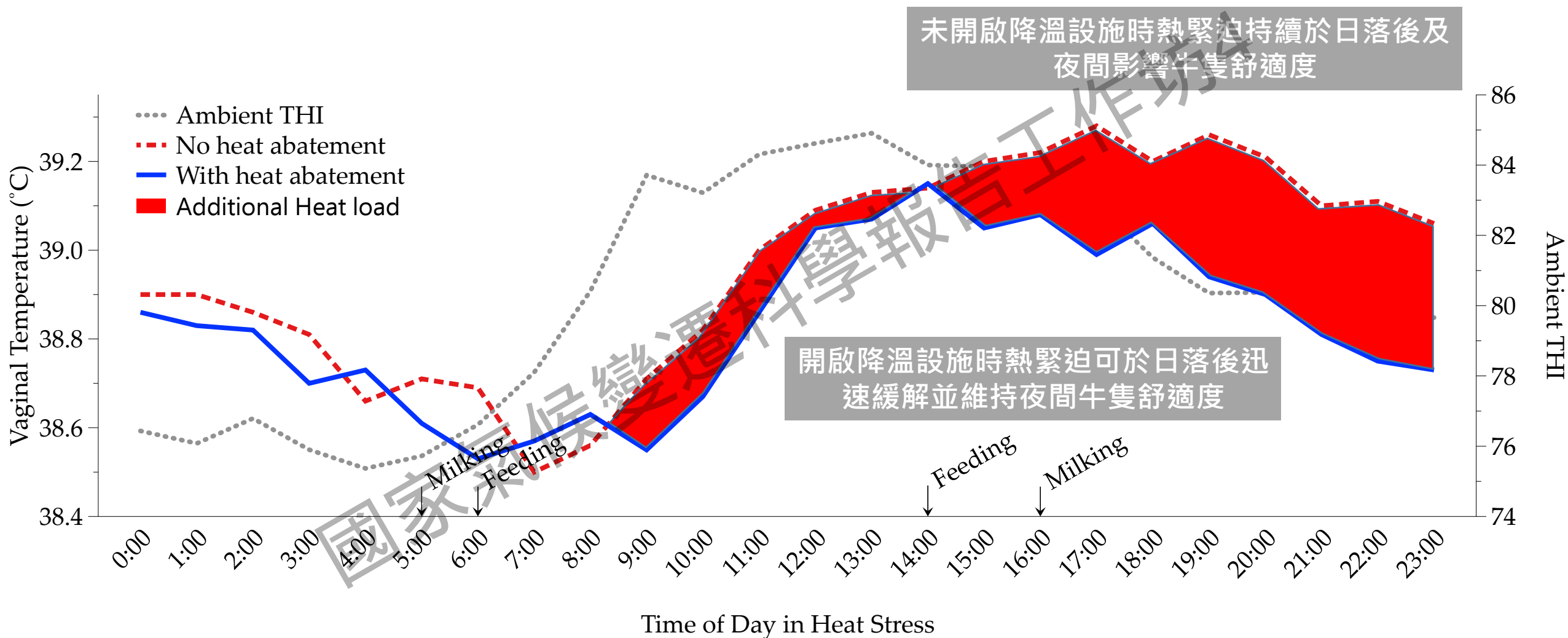


圖20、2022年8月北區分所乳牛有無開啟降溫設施之熱承載量 (heat load) 比較。

降溫系統減少牛隻受熱緊迫的時間區間

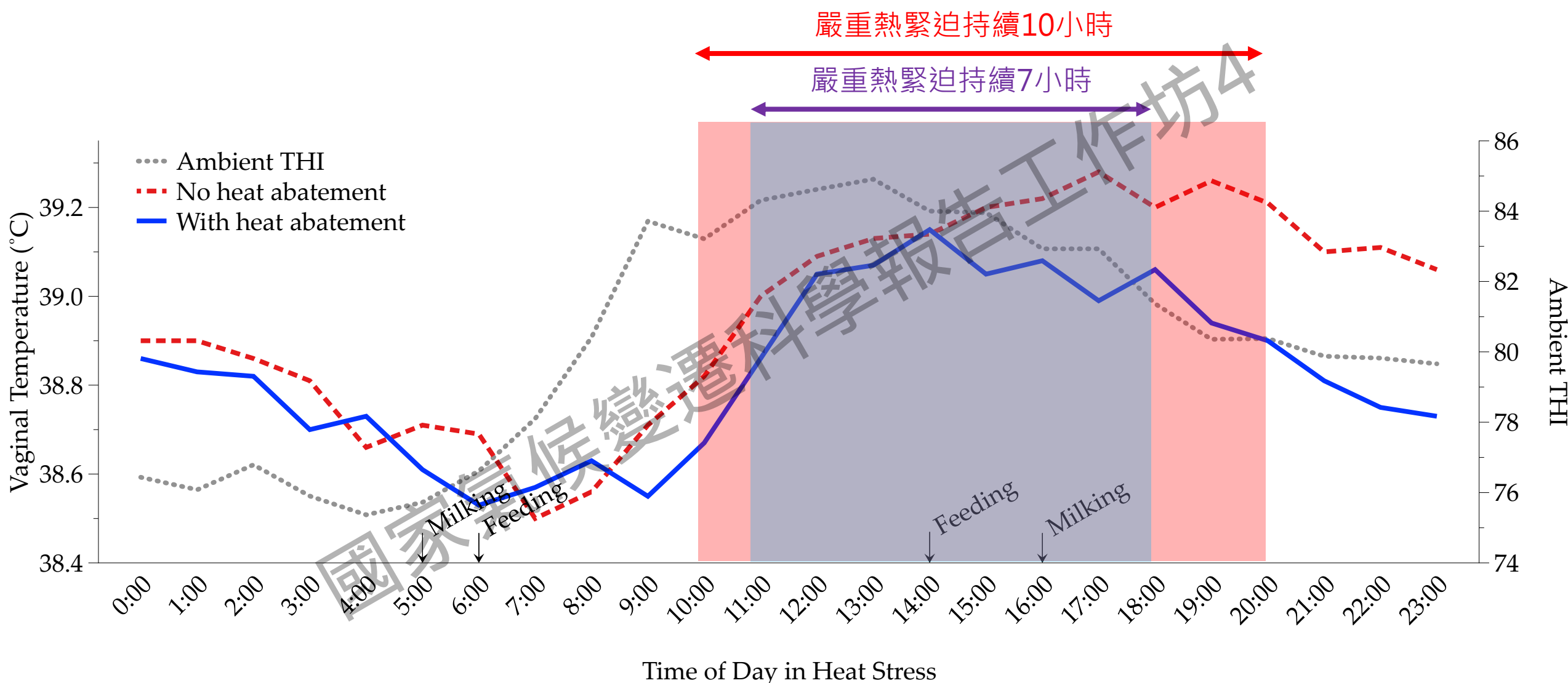
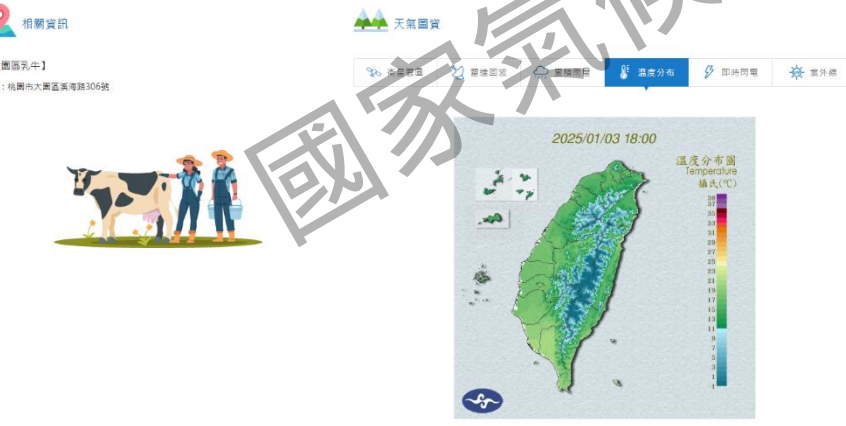
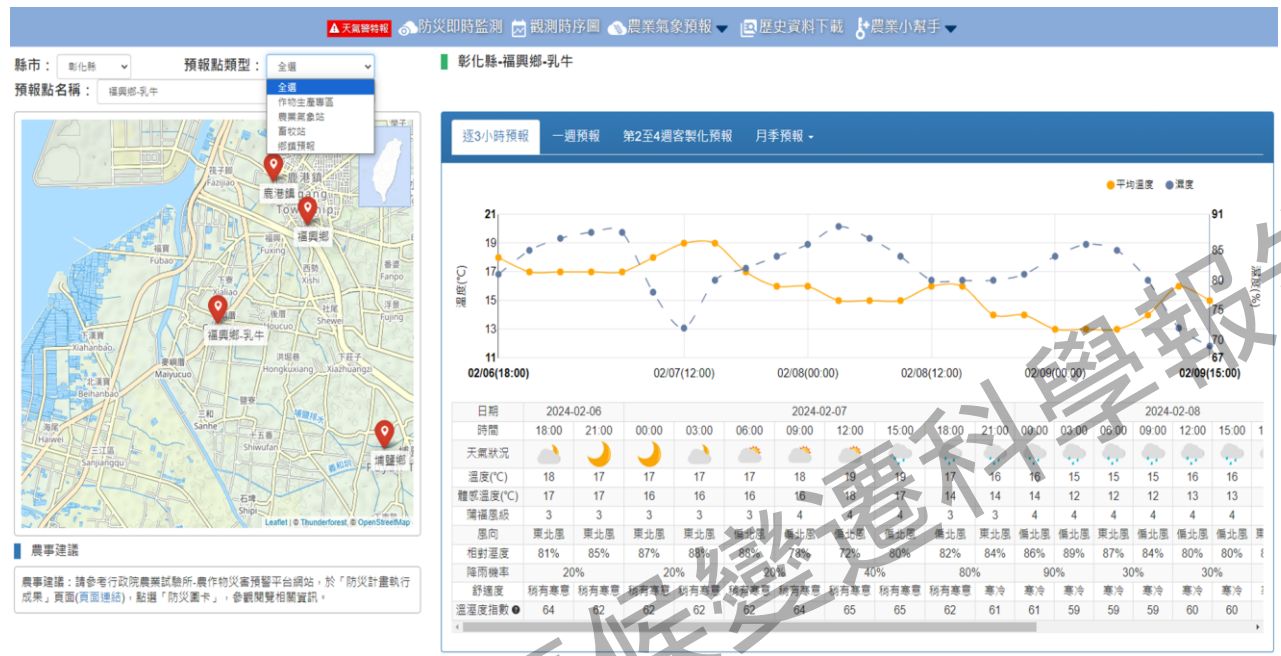


圖21、2022年8月北區分所乳牛有無開啟降溫設施之受熱緊迫累計時間。

SDG2. 跨域合作 交通部氣象署 農業部畜產試驗所 開發客製化氣象預報系統 確保糧食安全

◆ 農業氣象客製化預報產品及應用-溫濕度指數預報



熱緊迫程度以溫濕度指數(THI)為指標，環境溫度及濕度升高時，**熱緊迫程度▲**，將使**乳牛泌乳能力▼**。

氣候暖化造成熱緊迫程度加劇，乳牛生產環境管理成本及技術門檻增加。**交通部氣象署與農業部畜產試驗所合作提供未來一週THI預報**，增進管理應變能力。

面對氣候變遷，全國首例應用創新科技，開發**酪農生產專區THI預報系統**，讓酪農及早開啟降溫設施，控制夏季熱緊迫所造成生產過程的乳量損失於每日泌乳量10%以下(2.5 kg/ head/day)，達成糧食安全之目標。

相關發現發表於美國乳業科學學會期刊



J. Dairy Sci. TBC
<https://doi.org/10.3168/jds.2024-25392>
© TBC, The Authors. Published by Elsevier Inc. on behalf of the American Dairy Science Association.
This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Stage-Specific Milk Yield Losses and Associated Sweating, Respiration, and Rectal Temperature Responses Under Varying THI Thresholds in Lactating and Dry Cows

P. A. Tu,¹ Y. H. Yeh,¹ Y. H. Chen,¹ J. W. Shiau,¹ T. Y. Lin,² Thomas Banhazi,^{3,4} and M. K. Yang¹

¹Northern Region Branch, Taiwan Livestock Research Institute, Ministry of Agriculture, Shihou, Miaoli 360446, Taiwan
²Taiwan Livestock Research Institute, Ministry of Agriculture, Hsinhua, Tainan 71246, Taiwan
³InnoTech Vision ApS, Tjele, Denmark
⁴Wroclaw University of Environmental and Life Sciences, Wrocław, Poland

ABSTRACT

Heat stress (HS) may result in changes in the behavior, endocrine system, and physiological characteristics of dairy cows, and it may even lead to death in severe cases. As the effects of global warming have become more notable, the prevalence of HS has increased among dairy cows. Therefore, comprehensive strategies, including not only cooling measures but also dietary adjustments and genetic improvements for heat tolerance, are required to help these animals regulate their body temperature and avoid HS. In addition, detecting HS signs is essential for both lactating and dry cows to ensure appropriate interventions.

The temperature-humidity index (THI) is a widely used tool for evaluating the effects of HS on livestock. Since the physiological state of cattle significantly influences their responses to HS, it is imperative to establish specific THI thresholds for both lactating and dry cows to implement appropriate cooling regimens and optimize animal welfare. In this study, we used the THI to investigate the relationship between rectal temperature (RT), respiration rate (RR), and sweating rate (SR) in lactating and dry cows. We also explored the relationships between milk yield at different lactation stages and THI thresholds. The results indicated that lactating and dry cows had different THI thresholds based on their immediate physiological responses. Compared with lactating cows, dry cows had higher THI thresholds for RT, RR, and SR. In addition, cows in early-, intermediate-, and late-lactation stages under thermoneutral conditions produced significantly more milk than did those under mild, moderate, and severe HS conditions, indicating that milk yield losses occur under HS conditions. Taken together, these findings provide valuable insights into how HS can be mitigated in subtropical dairy farms. For lactating cows, implementing cooling measures is recommended when the THI reaches 66 to 67, whereas for dry cows, waiting until the THI reaches 73 is recommended. Milk yield losses may occur when lactating cows are under HS conditions. Therefore, appropriate cooling measures should be implemented at accurate THI thresholds to ensure optimal animal welfare for both lactating and dry cows.

Keywords: heat stress, temperature-humidity index threshold

INTRODUCTION

When cattle experience heat stress (HS), they exhibit reduced dry matter intake (Chang-Fung-Martel et al., 2021), lying time (Nordlund et al., 2019), and feeding time (Calamari et al., 2013). HS has adverse effects on cattle; it is associated with decreased production (growth, milk yield), elevated respiration rate (RR) and panting, increased drooling and core body temperature, and increased heart rate and sweating (Galán et al., 2018). HS also has a negative effect on the reproductive performance of cattle, leading to decreased conception rates, impaired follicular development, and reduced embryo survival (Dash et al., 2016; Penev et al., 2021; Roth, 2020). In addition, it causes them to display increased dominance behavior and aggression, particularly that associated with seeking shade. These effects are general indications associated with HS (Kadzere et al., 2002).

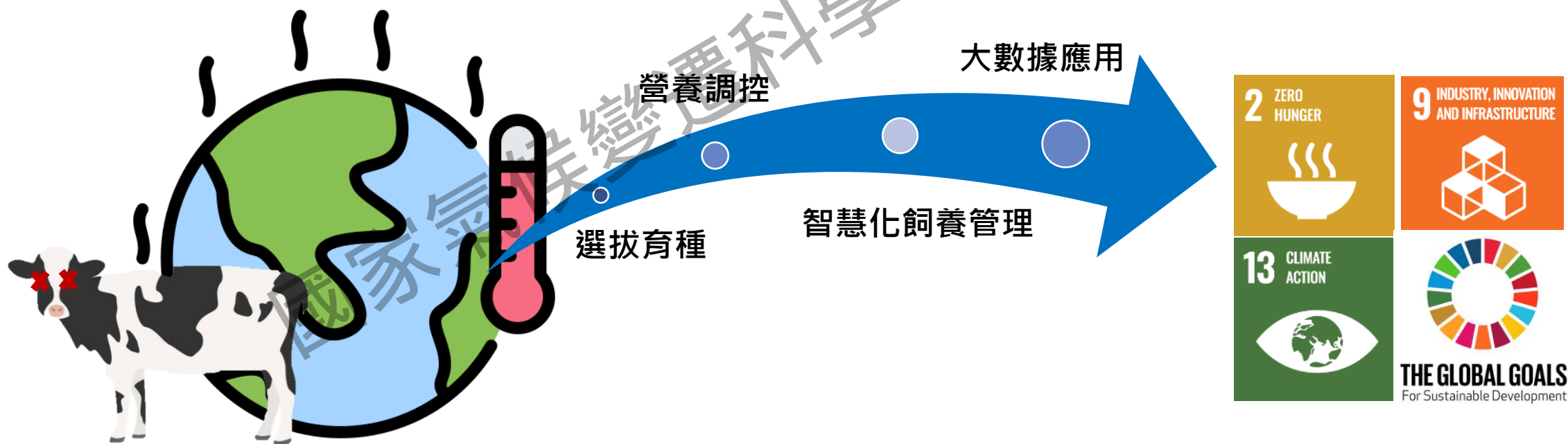
The temperature-humidity index (THI) is a measure of the combined effects of environmental temperature and relative humidity (RH), and it is commonly used to evaluate the levels of HS in dairy cows (Chang-Fung-Martel et al., 2017; Polsky and von Keyserlingk, 2017). Although the THI is limited because it does not account for solar radiation or wind speed (St-Pierre et al., 2003; Brown-Brandl et al., 2005; Mader et al., 2006), it remains

Received July 3, 2024.
Accepted October 15, 2024.
*Corresponding Author: max1986@mail.tlri.gov.tw

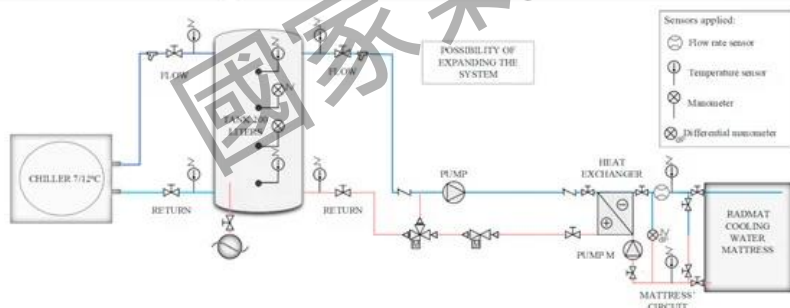
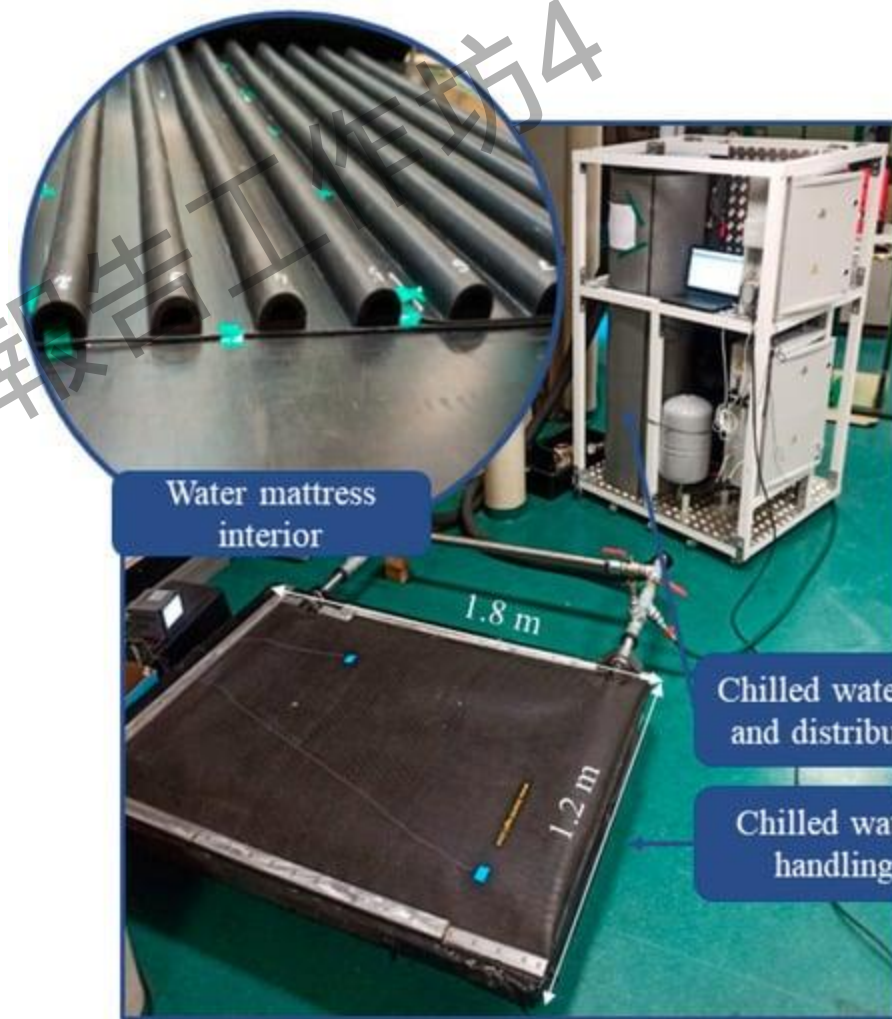
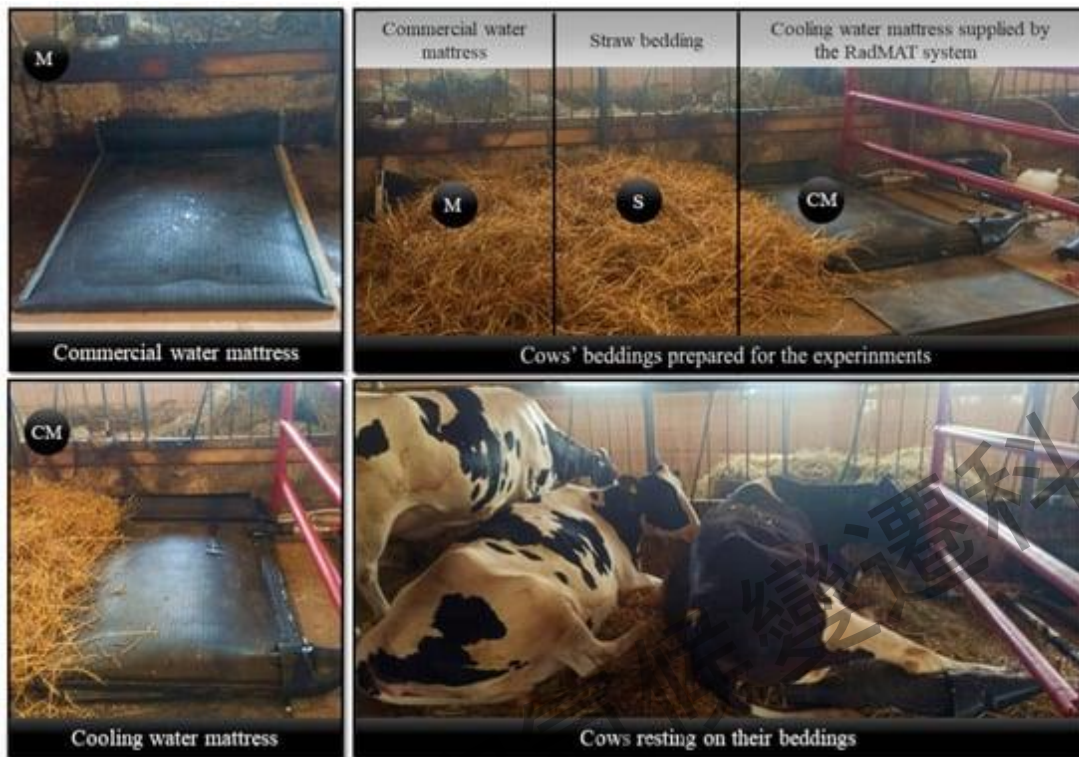
The list of standard abbreviations for JDS is available at [adsa.org/jds-abbreviations-24](https://www.adsa.org/jds-abbreviations-24). Nonstandard abbreviations are available in the Notes.

未來展望

- ▶ 為確保**糧食安全**與**畜牧業永續**發展，透過我們對於臺灣酪農業的研究，未來可以更精準地藉由**選拔育種**、**智慧化飼養管理**、**營養調控**與**大數據分析**等，發展適合臺灣本土的**調適策略**，以降低熱緊迫的衝擊，提升產業韌性。
- ▶ 達成**SDG 2 (零飢餓)**、**SDG 13 (氣候行動)**、**SDG 9 (產業、創新及基礎建設)**，共創臺灣永續酪農業。



新型智慧降溫水床



(Błotny *et al.*, 2025)



謝謝聆聽

國家氣候變遷科學報告工作坊4