

高溫環境對生長豬生長性能、營養分表相消化率及生理性狀之影響⁽¹⁾

李恒夫⁽²⁾ 楊琿菁⁽²⁾ 謝怡慧⁽²⁾⁽³⁾

收件日期：113 年 3 月 28 日；接受日期：113 年 6 月 20 日

摘 要

本研究旨在探討環境溫度對生長豬生長性能、營養分表相消化率及生理性狀的影響，作為熱緊迫造成豬隻生理與生產負面影響之飼養管理參考。18 頭平均體重 57.2 kg 之 LYD 雜交肉豬，公母各半，個別飼養於代謝架，並隨機分配至三環控室處理組，即低溫組 (LT 組, 22°C)、中溫組 (MT 組, 26°C) 及高溫組 (HT 組, 30°C)。豬隻採任食飼予含 CP 15.2%，ME 3,300 kcal/kg 之飼料及飲水。試驗期間 14 天，含適應期 7 天與全糞收集期 7 天，於收集期第 3、4 及 5 天量測定呼吸頻率及直腸溫度。代謝試驗開始及結束後，豬隻秤重後採血。結果顯示，相較於 LT 及 MT 組，HT 組豬隻有顯著較差的生長性能，環境溫度不影響各組之營養分表相消化率；HT 組豬隻有顯著較高的呼吸頻率及直腸溫度，亦有較低的鹼性磷酸酶、較高的肌酐酸及較低的平均紅血球體積。綜合上述，高溫環境降低生長豬的生長性能，與較低的採食量有關，高溫亦負面影響豬隻生理反應，主要在增快呼吸頻率及直腸溫度升高，可作為豬隻是否受熱緊迫之指標。

關鍵詞：生長豬、生長性能、高溫熱環境、生理反應。

緒 言

臺灣地處亞熱帶，全年高溫期長達 8 個月以上，因全球氣候變遷，臺灣過去 100 年的平均溫度已經上升攝氏 1.6 度 (IPCC, 2021)，且預期未來將有比以往更炎熱及更長的熱季。氣候條件為諸多限制畜生產效率的因子中主要因子之一，豬隻的期望採食量 (desired feed intake) 之定義為豬隻為滿足能量和蛋白質需求而消耗的飼料量，並由飼料的能量濃度和環境因素所決定 (Kyriazakis and Whittemore, 2006)，而環境溫度影響動物的採食行為和採食量 (王等, 2009)。高溫加上高潮濕的環境常造成豬隻熱緊迫，提高豬隻呼吸頻率與直腸溫度 (王等, 2009)，改變血液性狀 (Christon, 1988; Renaudeau *et al.*, 2012)，降低食慾及營養代謝 (王等, 2009; Quiniou *et al.*, 2000; Collin *et al.*, 2001; Kouba *et al.*, 2001; Wu *et al.*, 2016)，降低種豬繁殖性能 (Liu *et al.*, 2022)，以及生長性能變差 (Rinaldo and Le Dividich 1991; Cottrell *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2022)，直接或間接降低整體生產效率。

因應熱緊迫所引起的豬隻生長性能降低的問題，透過豬舍設計及環境調控，例如應用冷氣房、通風扇、蒸發冷卻系統 (evaporative chilling system)、霧氣系統 (foggy system) 或水簾式畜舍可有效地降低豬舍內溫度 (Haeussermann *et al.*, 2007; Renaudeau *et al.*, 2012)，但其建置成本都相對高昂。除此之外，飼料營養調控與飼養管理 (Kerr *et al.*, 2003; Spencer *et al.*, 2005; Cottrell *et al.*, 2015) 亦可紓解熱緊迫。因此，本研究將先探討不同環境溫度下對生長豬生長性能、營養分利用、生理值及血液生化值與血球性狀之影響，根據其基礎生理值作為熱環境下管飼養理豬隻之指標，同時作為未來更進一步調整營養策略之依據。

材料與方法

I. 動物及飼養管理

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2797 號。
(2) 農業部畜產試驗所動物營養組。
(3) 通訊作者，E-mail: elaineh@mail.tlri.gov.tw。

本試驗動物之使用、飼養及試驗內容通過農業部(原行政院農業委員會)畜產試驗所實驗動物管理委員會核准,同意書編號 110-29。

試驗選取 18 頭 LYD (LY ♀ × Duroc ♂, LYD) 雜交肉豬,公母各半,以任飼方式個別飼予試驗飼糧(表 1),至平均體重達 57.2 ± 3.9 kg 時將豬隻個別移至於不銹鋼代謝架上飼養,代謝架前端具有一不鏽鋼飼料槽及一水碗式飲水器,提供飲水任食。豬隻站立之代謝架底部為條狀地板,其下一層設有不銹鋼細網承接糞便,並可使尿液流入下一層之不銹鋼尿盤所承接,再由末端導管引至儲存桶。

表 1. 試驗飼糧組成

Table 1. The composition of experimental diet

Ingredients	%
Yellow corn, ground	71.65
Soybean meal, 43% CP	22.71
Soy oil	1.08
Molasses	1.5
Salt	0.5
Choline chloride, 50%	0.1
Dicalcium phosphate	1.3
Limestone, pulverized	0.7
Lysine	0.21
Vitamin premix ^a	0.1
Mineral premix ^b	0.15
Total	100.0
Calculated ME, kcal/kg	3,303.1
Analysed values, %	
Crude protein	15.2
Calcium	0.67
Total phosphorous	0.54
Lysine	0.92
TSAA	0.47

^a Vitamin premix provided per kilogram of diet: Vitamin A, 6,000 IU; Vitamin D₃, 400 IU; Vitamin E, 40 IU; Vitamin K, 2 mg; Vitamin B₁, 2 mg; Vitamin B₂, 6 mg; Vitamin B₆, 3 mg; Vitamin B₁₂, 0.03 mg; Niacin, 30 mg; Pantothenic acid, 30 mg; Folic acid, 0.6 mg and Biotin, 0.2 mg.

^b Mineral premix provided per kilogram of diet: Fe, 80 ppm; Cu, 5 ppm; Mn, 6 ppm; Zn, 45 ppm; I, 0.2 ppm; Se, 0.1 ppm and Co, 0.35 ppm.

Abbreviation: CP, crude protein; ME, metabolic energy; TSAA, total sulfur amino acid.

豬隻平均分配至三間環境控制室,其空間長×寬×高為 1,930 × 246 × 246 cm,試驗期間環境控制室溫度分別為高溫組 ($30.5^{\circ}\text{C} \pm 1.95^{\circ}\text{C}$, HT 組)、中溫組 ($26.2^{\circ}\text{C} \pm 0.9^{\circ}\text{C}$, MT 組) 及低溫組 ($22.4^{\circ}\text{C} \pm 2.7^{\circ}\text{C}$, LT 組),相對溼度則介於 72 至 83%。參考 NWSCR (national weather service centre region)1976 年的豬隻溫溼度指數 (Temperature humidity index, THI) 公式, $\text{THI} = [(1.8 \times T) + 32] - [0.55 \times (\text{RH} / 100)] \times [(1.8 \times T) + 32 - 58]$,其中 T 為環控室內溫度,單位為 $^{\circ}\text{C}$,RH 為環控室內相對溼度,單位為%。計算各組 14 天之 THI。HT 組之 THI 介於 72.4 至 77.5,平均 74.7;MT 組之 THI 介於 67.1 至 70.7,平均 69.5;而 LT 組之 THI 介於 62.5 至 69.8,平均 65.6。

II. 試驗飼糧及餵飼及處理

試驗飼糧以玉米—大豆粕為主調配而成(表 1),飼糧代謝能 (metabolic energy, ME) 計算值為 3,300 kcal/kg,依 AOAC (1990) 方法分析飼糧粗蛋白質 (crude protein, CP)、鈣、總磷、離胺酸及總含硫胺基酸 (total sulfur amino acid, TSAA) 含量,分別為 15.2、0.67、0.54、0.92 及 0.47%。

當試驗豬隻於 7 月份自個別欄飼養之肉豬舍移入環控室後，進行 7 天適應期，分別於每日上午 09:00 及下午 3:00 各餵飼一次，飲水則採任食。適應期間收集每頭豬每日之剩料，以 105°C 烘箱乾燥 6 小時後，再置於室溫下曝氣 48 小時，扣除剩料量後計算個別豬隻每日採食量。以適應期平均每日採食量乘以 1.2 倍作為隨後 7 天收集期的每日餵飼量，確保豬隻足夠飼料量，同時每日收集記錄剩餘飼料量以計算採食量。每日收集條狀地板及其下一層不銹鋼細網所承接之糞便，並以 55°C 烘箱乾燥 48 小時後於室溫存放以備分析。代謝架最下一層為不銹鋼尿盤，收集之尿液由導管引至預先加入 0.1N HCl 500 mL 之儲存桶。每日記錄尿液量，並取樣之十分之一量冰存，待所有尿液樣品混合後，取樣 500 mL 冷凍冰存以備分析。

III. 測量及樣品分析

豬隻於適應期開始前及收集期結束後秤量體重，並且以套索保定後自頸靜脈竇處採取血液約 8 mL 供後續生化學分析，包括葡萄糖 (glucose, Glu)、三酸甘油酯 (triglyceride, TG)、總膽固醇 (total cholesterol, TChol)、高密度脂蛋白 (high-density lipoprotein, HDL)、低密度脂蛋白 (low-density lipoprotein, LDL)、麩胺酸草醯乙酸轉胺酶 (glutamate oxaloacetate transaminase, GOT)、麩胺酸丙酮酸轉胺酶 (glutamate pyruvate transaminase, GPT)、鹼性磷酸酶 (alkaline phosphatase, ALP)、肌酸激酶 (creatine phosphokinase, CPK)、血清尿素氮 (serum urea nitrogen, SUN)、肌酸酐 (creatinine)、總蛋白 (total protein, TP)、白蛋白 (albumin, Alb)、球蛋白 (globulin, Glo)、血鈣 (blood calcium) 以及免疫球蛋白 G (Immunoglobulin G, IgG)。血中皮質醇 (cortisol) 濃度以 8D15-25 套組 (ABBOTT RCHITECT Cortisol®, USA) 分析。另以離散型多測試同步分析系統 (discrete-type multi-test simultaneous analysis system, HITACHI LST008 AS, JAPAN) 分析血球分類血液生理值，包括白血球 (white blood cells, WBC)、紅血球 (red blood cells, RBC)、血紅素 (hemoglobin, Hgb)、血小板 (platelets)、血球容積比 (hematocrit, HCT)、平均紅血球血紅素 (mean corpuscular hemoglobin, MCH)、平均紅血球容積 (mean corpuscular volume, MCV)、平均紅血球血紅素濃度 (mean corpuscular hemoglobin concentration, MCHC)、嗜中性球 (neutrophils)、淋巴球 (lymphocytes)、單核球 (monocytes)、嗜鹼性球 (basophils) 以及嗜酸性球 (eosinophils)。

在收集期的第 3、4 及 5 日下午 13:30 時，以人工計數測量豬隻 1 分鐘呼吸次數，測量三次取平均值後，以動物用溫度計 (SHANG NONG, China) 量測豬隻直腸溫度。

收集之糞便樣品以 55°C 烘箱乾燥 48 小時，剔除沾附的豬毛後，以研磨機 (榮聰精密公司, RT-04A, 臺灣) 粉碎。粉碎後之糞便樣品及尿液以 AOAC (1990) 方法分析乾物質 (dry matter, DM)、粗蛋白質 (crude protein, CP) 及總能 (gross energy, GE) 之含量，據以計算營養分消化率及代謝率。

營養分消化率 = (飼料中採食之營養分 - 糞便中排出之營養分) × 100 / 飼料中採食之營養分。

營養分代謝率 = (飼料中採食之營養分 - 糞便中排出之營養分 - 尿液中排出之營養分) × 100 / 飼料中採食之營養分。其中豬隻產生甲烷之總能約佔消化能之 0.5% (Bowland *et al.*, 1970; Fuller and Boyne, 1972)，因量少，故忽略不計。

IV. 統計分析

試驗每處理共有三頭閩公豬及三頭母豬，因各項測定中性別無顯著差異，因此每處理採六重複分析，以 $Y = \mu + T + E$ 數學模式，其中 Y 表觀測值， μ 表族群平均，T 表溫度效應，E 表機差。試驗數據以 SAS 統計分析套裝軟體之一般線性模式程序 (general linear model procedure) 進行變方分析 (SAS, 2015)，再以 Tukey's 多重比較法 (Tukey's Multiple Range Test) 比較各處理間的差異顯著性，當 $P < 0.05$ 代表差異顯著。

結果與討論

I. 生長性能

豬隻經連續 14 天高溫處理 (HT 組, 30°C) 後的日增重、採食量和體重均顯著低於 LT 和 MT 處理組 ($P < 0.05$)。HT 組的飼料效率也顯著低於 MT 組 ($P < 0.05$)，而 LT 組和 MT 組之間之生長性能無顯著差異 (表 2)。

豬的期望採食量 (desired feed intake) 之定義為豬隻為滿足能量和蛋白質需求而消耗的飼料量，並由飼料的能量濃度和環境因素所決定 (Kyriazakis and Whittemore, 2006)，而環境溫度也同時影響動物的採食行為和採食量 (王等, 2009)，王等 (2009) 發現當環境溫度由 21°C 上升至 33°C 時，體重 60 公斤的豬隻每日採食量由 2.2 公斤降至 1.6 公斤。本研究中各組處理的飼糧為等熱能飼糧 (表 1)，因此環境溫度顯然為改變其採食量的主要因素。此外，中間溫度帶 (thermoneutral zone) 之定義為動物可以透過調節熱量逸散來維持體溫的環境溫度範圍 (Mount,

1975)。當環境溫度低於低臨界溫度 (lower critical temperature) 時，動物增加新陳代謝率，產生熱量以維持體溫。相反地，當環境溫度高於高臨界溫度 (upper critical temperature) 時，則調整生理機制，如發汗及喘息，以加速熱量散失，避免造成體溫過高 (Mount, 1975)。Amavizca-Nazar *et al.* (2019) 認為豬隻的中間溫度帶介於 18 至 25°C 之間，而環境溫度高於 25°C 就會引起熱緊迫。在熱緊迫狀態下，動物將降低自主採食量以減少熱產生 (Quiniou *et al.*, 2000)。然而這樣的調節將影響豬隻的日增重、飼料利用效率和較差的生長性能 (王等, 2009; Rinaldo and Le Dividich, 1991; Cottrell *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2022)。

表 2. 不同環境溫度對生長豬生長性能之影響

Table 2. Effects of different ambient temperatures on growth performance of growing pigs

Item	Treatments [§]			SEM	P-value
	LT	MT	HT		
No. of animals, hd	6	6	6	—	—
Initial BW wt, kg	56.97	57.02	57.60	1.31	0.964
Finish BW wt, kg	71.43 ^a	72.45 ^a	68.25 ^b	1.31	0.038
ADG, kg/day	1.033 ^a	1.102 ^a	0.761 ^b	0.04	0.004
Feed intake, kg/day	2.449 ^a	2.486 ^a	2.039 ^b	0.06	0.005
Feed efficiency, gain/feed	0.422 ^{ab}	0.445 ^a	0.371 ^b	0.01	0.022

[§] LT (low temperature), MT (mild temperature), and HT (high temperature) represented the chamber temperature as 22°C, 26°C and 30°C, respectively.

^{a, b} Means in the same row with the different superscript differ significantly ($P < 0.05$).

本研究結果顯示，30°C 以上的高溫顯著降低了豬隻的採食量，從而導致增重不佳，與上述的研究結果一致。除此之外，LT 和 HT 組表現出相似的飼料效率，LT 處理組較 HT 組的豬隻有較高的採食量，推測 LT 組採食的飼料中，部分能量被用來產生熱量用於較低溫的環境下維持體溫，而非用於生長。

II. 營養分表相消化率

各組間乾物質、粗蛋白、能量的表相消化率均在 80% 以上，各組間無顯著差異 (表 3)。過去的研究指出高環境溫度會影響豬的脂肪代謝，而環境溫度對氮代謝的影響因不同的研究而有所差異。當豬隻處於低臨界溫度以下的環境，豬隻將消耗更多的能量來維持體溫，脂肪累積的速度也因而降低。相反地，高環境溫度會降低豬隻的採食量，脂肪的沉積也會改變 (Verstegen *et al.*, 1973; Kouba *et al.*, 2001)。Kouba *et al.* (2001) 指出，熱緊迫會增加脂肪組織中脂蛋白解脂酶 (lipoprotein lipase) 的活性以及血漿中極低密度脂蛋白 (very low-density lipoproteins) 的濃度，顯示熱緊迫會增強脂肪組織中的脂肪代謝，促進脂肪組織吸收和儲存血漿中的三酸甘油酯得到，導致更多的脂肪沉積。Wu *et al.* (2016) 亦發現，在熱環境下，骨骼肌中的脂肪酸 β - 氧化作用會被抑制。在此狀態

表 3. 不同環境溫度對生長豬營養分表相消化率及代謝率之影響

Table 3. Effects of different ambient temperatures on nutrient apparent digestibility and metabolic rate of growing pigs

Item	Treatments [§]			SEM	P-value
	LT	MT	HT		
No. of animals, hd	6	6	6	—	—
Digestibility, %					
Dry matter	0.874	0.887	0.891	0.06	NS
Crude protein	0.826	0.849	0.854	0.01	NS
Energy	0.845	0.862	0.864	0.08	NS
Metabolic rate, %					
Crude protein	0.655	0.670	0.674	0.01	NS
Energy	0.836	0.850	0.850	0.01	NS

[§] LT (low temperature), MT (mild temperature), and HT (high temperature) represented the chamber temperature as 22°C, 26°C and 30°C, respectively.

下，血漿中非酯化脂肪酸將行再酯化作用而在肝臟中重組成極低密度脂蛋白，隨後被脂肪組織重新吸收，而增加了豬背脂和板油脂肪的累積，因此，高環境溫度會促進體脂肪的增加。另一方面，Verstegen *et al.* (1973) 認為氮的蓄積不受環境溫度的影響，影響氮的蓄積的主要因素為營養分含量的高低而不是環境溫度。然而 Collin *et al.* (2001) 卻發現，任飼的生長豬在 33°C 高溫環境下比在中等 23°C 環境下，有較高的氮和能量消化率，此和豬隻改變行為有關，在 33°C 環境下，豬隻總熱產生 (heat production) 以及無活動的產熱量較少，並且隨著飼糧中蛋白質和脂肪的增加而蓄積能量。因此，Collin *et al.* (2001) 認為較高的能量蓄積是由於飼料能量的利用率更高或維持的需求減少所致。而在本研究中，HT 組之環境為 30°C，略低於 Collin *et al.* (2001) 研究所採之 33°C，但 HT 組的營養分消化率和代謝率在數值上比較高 (表 3)，或許和豬隻改變行為以調節熱產生有關。

III. 生理反應

生長豬在收集期第 3、4 和 5 天的呼吸頻率和直腸溫度的反應分別如圖 1 及圖 2 所示。正如預期，兩者結果顯示出一致的趨勢，即較高的環境溫度導致較高的呼吸頻率和直腸溫度。

平均而言，HT 組豬有較高的呼吸頻率 (76.5 ± 16.6 次/分鐘，圖 1) 與直腸溫度 ($39.95 \pm 0.42^\circ\text{C}$) (圖 2)，分別顯著高於 LT 組之 58.7 ± 7.1 次/分鐘、 $39.27 \pm 0.27^\circ\text{C}$ 和 MT 組之 64.8 ± 7.0 次/分鐘及 $39.47 \pm 0.43^\circ\text{C}$ 。

豬是恆溫動物，可以透過皮下週邊溫度感受器和下丘腦溫度調節中樞來調節體溫，在一定環境溫度變異內，可保持中心體溫相對恆定，以維持生理功能 (Mount, 1975)。豬隻可透過蒸發、傳導、對流及輻射等作用排除熱，其呼吸頻率和體溫主要受周圍環境溫度和散熱效率的影響。然而豬的汗腺功能不發達，利用汗腺釋放熱量流失有限 (Ingram, 1967)。當環境溫度高於高臨界溫度時，為了保持體溫恆定並減少體內熱量的產生，豬隻會調節血液至皮膚的流量以增加散熱，再者增加呼吸頻率，透過喘氣來釋放熱量 (Christon, 1988; Patience *et al.*, 2005)。然而，當代謝過程產生的熱不能有效釋放時，體溫和直腸溫度就會升高 (Patience *et al.*, 2005)。

HT 組豬隻在測量呼吸頻率和直腸溫度之前，已經飼養於 30°C 的環境溫度下 9 天，其環境平均 THI 為 74.7，已達熱緊迫警示區域 (Haeussermann *et al.*, 2007)。正如預期，HT 組豬隻比其他兩組豬表現出更高的呼吸頻率和直腸溫度。雖然 Pond and Maner (1984) 發現，生長肥育豬在 30°C 環境溫度下的呼吸頻率為每分鐘 30.6 次，遠低於本研究的結果。然而 Pond and Maner (1984) 同時也發現，當環境溫度升至 32.2°C 時，呼吸頻率增加至每分鐘 78.8 次，如果環境溫度繼續升至 37.8°C，直腸溫度則增加至 40.0°C。此外，本研究與王等 (2009) 報告一致，顯示生長豬的呼吸頻率和直腸溫度隨著環境溫度的升高而增加。雖然 Amavizca-Nazar *et al.* (2019) 認為環境溫度高於 25°C 就會引起豬隻的熱緊迫，然而，依本研究結果及 Pond and Maner (1984) 的研究以及考量環境 THI，呼吸頻率和直腸溫度的升高為判斷豬隻是否處於熱緊迫的良好指標，當豬隻處於休息狀態，而呼吸頻率每分鐘達 70 次以上，或者直腸溫度接近 40°C，可視為豬隻已遭受熱緊迫，應採取適當紓解熱緊迫的措施。

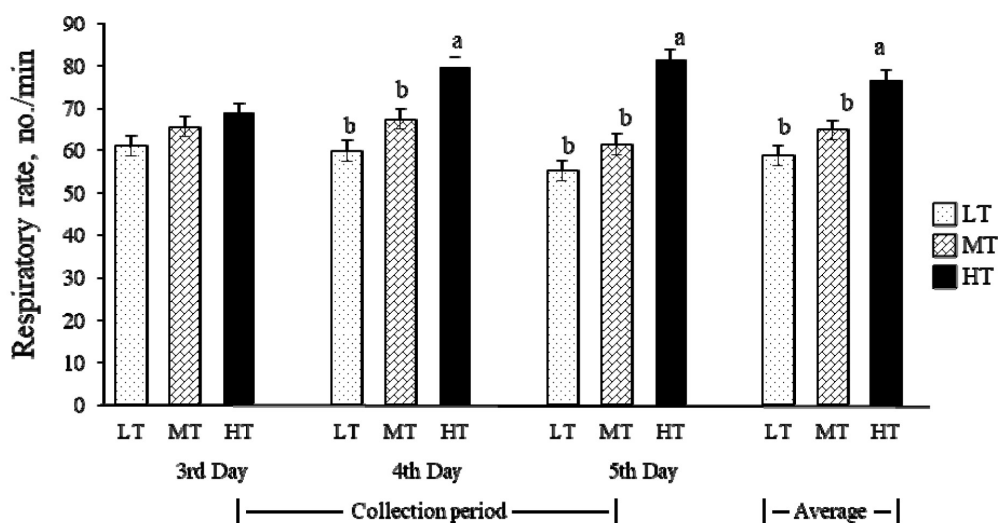


圖 1. 不同環境溫度對生長豬呼吸頻率之影響。

Fig. 1. Effects of ambient temperature on the respiratory rate of growing pigs. LT (low temperature; N = 6), MT (mild temperature; N = 6), and HT (high temperature; N = 6) represented the chamber temperature as 22°C, 26°C and 30°C, respectively.

* Significant difference was found between the average of treatments (P = 0.001; SEM = 4.18).

^{a, b} Values in the same days with different superscript letters were significantly different (P < 0.05).

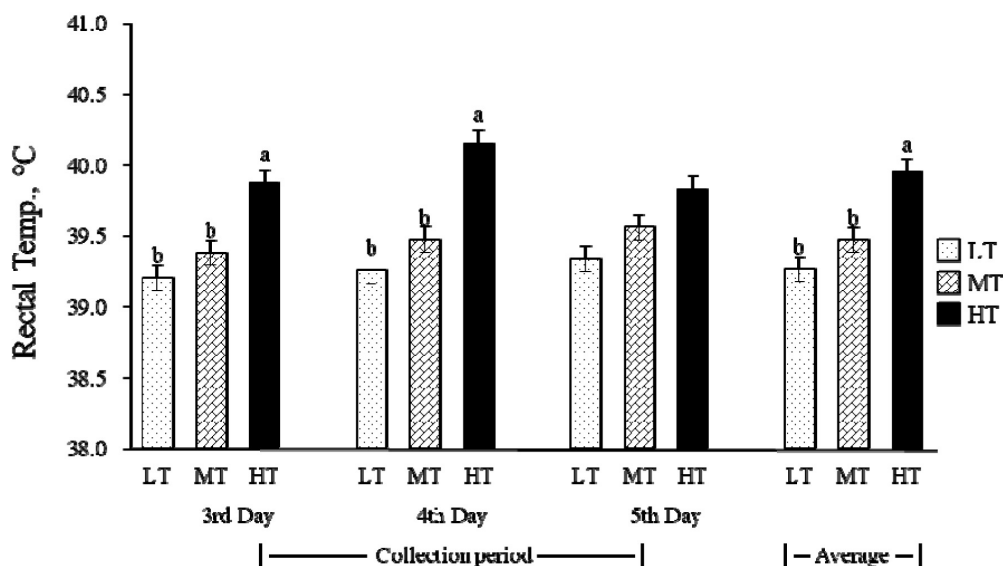


圖 2. 不同環境溫度對生長豬直腸溫度之影響。

Fig. 2. Effects of ambient temperatures on the rectal temperature of growing pigs. LT (low temperature; N = 6), MT (mild temperature; N = 6), and HT (high temperature; N = 6) represented the chamber temperature as 22°C, 26°C and 30°C, respectively.

* Significant difference was found between the average of treatments (P = 0.001; SEM = 0.15).

^{a, b} Values in the same days with different superscript letters were significantly different (P < 0.05).

IV. 血液生化值及血液學指標

不同環境溫度下生長豬的血液生化值及血液學指標，分別如表 4 及表 5 所示。試驗開始時各處理之間的血液生化值和血液學指標均沒有差異，顯示開始試驗前各組豬隻的血液特徵均是相似的。血液生化值和血液學值可以作為生理狀態的指標以反映個體的健康狀況，扮演重要的生理監測功能 (Ohaeri and Eluwa, 2011)。本研究開始前，豬隻均在豬舍以常規商業模式飼養，豬隻於移至代謝架並分配至代謝室之前，採血收集每頭豬的血液。因此，本研究開始時各項的血液特徵 (表 4 及表 5) 可以作為實際商業條件下生長豬的基本生理資訊。

表 4. 不同環境溫度對生長豬血液生化值之影響

Table 4. Effects of different ambient temperatures on blood biochemical value of growing pigs

Item	Treatments [§]			SEM	P-value
	LT	MT	HT		
No. of samples	6	6	6	—	—
At the beginning of adaption period					
Glu, mg/dL	80.17	84.17	79.83	3.67	NS
TG, mg/dL	26.33	63.67	34.33	12.27	NS
Tchol, mg/dL	94.17	87.00	94.67	2.81	NS
HDL, mg/dL	34.00	33.00	34.67	1.75	NS
LDL, mg/dL	55.67	47.50	53.33	2.29	NS
GOT, U/L	44.67	98.50	50.67	24.62	NS
GPT, U/L	48.33	49.67	46.00	3.24	NS
ALP, U/L	171.0	188.3	150.3	12.96	NS
CPK, U/L	259.4	209.2	358.2	77.9	NS
SUN, mg/dL	8.83	7.33	8.17	0.56	NS
Creatinine, mg/dL	1.24	1.06	1.22	0.06	NS
TP, g/dL	5.57	5.33	5.60	0.09	NS
Alb, g/dL	3.25	3.17	3.38	0.14	NS

表 4. 不同環境溫度對生長豬血液生化值之影響 (續)

Table 4. Effects of different ambient temperatures on blood biochemical value of growing pigs (continued)

Item	Treatments [§]			SEM	P-value
	LT	MT	HT		
Glo, g/dL	2.32	2.17	2.22	0.14	NS
Calcium, mg/dL	10.50	10.47	10.52	0.14	NS
Cortisol, mg/mL	413.8	420.3	507.0	25.0	NS
IgG, µg/mL	20.06	16.55	15.92	1.70	NS
After the collection period					
Glu, mg/dL	107.17	105.17	90.33	4.48	NS
TG, mg/dL	23.33	25.67	26.33	2.19	NS
Tchol, mg/dL	79.67	79.83	82.67	2.49	NS
HDL, mg/dL	33.50	32.00	28.50	1.35	NS
LDL, mg/dL	45.17	45.00	51.00	1.60	NS
GOT, U/L	37.33	37.50	33.83	3.00	NS
GPT, U/L	44.67	42.50	36.33	2.69	NS
ALP, U/L	174.7 ^a	149.8 ^a	102.3 ^b	8.28	0.03
CPK, U/L	3,323	4,268	4,565	783.9	NS
SUN, mg/dL	7.33	6.83	6.83	0.54	NS
Creatinine, mg/dL	1.03 ^b	1.01 ^b	1.25 ^a	0.05	0.04
TP, g/dL	5.92	5.97	6.17	0.11	NS
Alb, g/dL	3.85	3.88	3.88	0.10	NS
Glo, g/dL	2.07	2.08	2.28	0.10	NS
Calcium, mg/dL	10.30	10.28	10.12	0.08	NS
Cortisol, mg/mL	245.3	296.5	240.3	14.49	NS
IgG, µg/mL	11.68	15.08	13.59	1.05	NS

[§] LT (low temperature), MT (mild temperature), and HT (high temperature) represented the chamber temperature as 22°C, 26°C and 30°C, respectively.

^{a, b} Means in the same row with the different superscript differ significantly ($P < 0.05$).

高環境溫度除了會損害動物的生長性能外，也會對動物的生理狀況產生負面影響，例如增高呼吸頻率、改變血液生化值和血液值 (Renaudeau *et al.*, 2012)。在本研究中，經適應期和收集期間暴露於高溫 14 天後，HT 組因熱緊迫刺激，與 LT 和 MT 組豬隻相比，表現出顯著較低的鹼性磷酸酶活性 (表 4)、較高的肌酸酐 (表 3) 和較低的平均紅血球體積 (表 5) ($P < 0.05$)。其他血液生化值及血液學值均無顯著差異 (表 4 及表 5)，顯示即使於高溫緊迫下，血液仍具有生理緩衝液的作用，穩定血液值，使體內生化反應順利進行。而生長豬在高環境溫度下表現出較高的肌酸酐和較低的鹼性磷酸酶水準 (表 4)，肌酸酐代表腎臟功能的指標，而鹼性磷酸酶大量存在於骨骼當中，常被視為骨骼生長的指標，本研究顯示高環境溫度下腎功能和礦物質代謝可能受到干擾，是否因不同溫度的環境造成豬隻飲水量不同，進而影響腎功能，因為測量飲水量，仍待進一步探討。平均紅血球體積係紅血球的平均大小，較低的平均紅血球體積伴隨著貧血，意味著高溫環境可能造成豬隻貧血現象，可能係高溫環境影響礦物質鐵的吸收，進而造成貧血現象，本研究中 HT 組之血紅素有低於 LT 及 MT 組之傾向，惟差異不顯著 (表 5)。

過去的研究顯示，由於品種、性別、年齡、營養狀況和環境的不同而導致豬隻血液值的差異 (Miller *et al.*, 1961a; 1961b)。吳及章 (2018; 2019) 發現，臺灣本土黑色小型豬蘭嶼豬的血液值與大型的商業豬種畜試黑豬一號的血液值 (洪等, 2011)，具品種間的差異。本研究中使用 LYD 雜交肉豬，亦為商業主流豬種，其血液生化值和血液學值與畜試黑豬一號非常相似 (洪等, 2011)，主要差異在於本研究之 LYD 雜交肉豬比畜試黑豬一號有較低的血中尿素氮、較高的淋巴球和嗜酸性粒球。因此，以血液學指標特徵作為判斷豬是否受到熱緊迫時，應考慮豬隻的品種、日齡和營養狀況。

表 5. 不同環境溫度對生長豬血液學及血球分類之影響

Table 5. Effects of different ambient temperatures on hematological parameters of growing pigs

Item	Treatments [§]			SEM	P-value
	LT	MT	HT		
No. of samples	6	6	6	—	—
At the beginning of adaption period					
WBC Count, uL	19,830	20,550	20,767	1,697	NS
RBC Count, × 10 ⁶ /uL	6.70	6.51	6.80	0.19	NS
Hgb, g/dL	11.42	10.68	10.83	0.35	NS
Platelets, × 10 ⁴ /uL	30.32	23.04	32.77	4.51	NS
HCT, %	40.07	37.84	38.78	1.43	NS
MCH, pg/cell	17.08	16.50	15.93	0.31	NS
MCV, fl	59.70	58.08	56.97	0.92	NS
MCHC, g/dL	28.60	28.42	28.00	0.35	NS
Neutrophils, %	37.45	31.90	39.77	3.17	NS
Lymphocytes, %	53.05	56.02	51.20	2.96	NS
Monocytes, %	5.75	7.68	5.92	0.84	NS
Basophils, %	0.30	0.38	0.35	0.05	NS
Eosinophils, %	3.45	4.02	2.77	0.56	NS
After the collection period					
WBC Count, uL	19,413	19,315	16,668	1,195	NS
RBC Count, × 10 ⁶ /uL	6.52	6.61	6.60	0.12	NS
Hgb, g/dL	11.25	10.98	10.68	0.20	NS
Platelets, × 10 ⁴ /uL	27.78	29.93	33.65	2.83	NS
HCT, %	41.25	40.65	39.35	0.60	NS
MCH, pg/cell	17.25	16.67	16.20	0.27	NS
MCV, fl	63.32 ^a	61.63 ^{a,b}	59.63 ^b	0.72	0.03
MCHC, g/dL	27.28	27.00	27.15	0.25	NS
Neutrophils, %	29.62	29.30	24.98	1.72	NS
Lymphocytes, %	61.12	60.35	63.87	1.84	NS
Monocytes, %	5.12	5.22	5.65	0.58	NS
Basophils, %	0.45	0.65	0.38	0.07	NS
Eosinophils, %	3.70	4.48	5.12	0.79	NS

[§] LT (low temperature), MT (mild temperature), and HT (high temperature) represented the chamber temperature as 22°C, 26°C and 30°C, respectively.

^{a, b} Means in the same row with the different superscript differ significantly (P < 0.05).

結 論

處於 30°C 環境溫度 14 天所引起的熱緊迫導致生長豬採食量低，進而降低了生長性能。較高的環境溫度會增加豬隻的呼吸頻率和直腸溫度，此可作為辨別豬隻是否遭受熱緊迫的簡易指標。此外，熱緊迫會降低生長期豬隻鹼性磷酸酶、提高肌酐酸及較低的平均紅血球體積，對其他血液生化值及營養分的消化率影響不大。

誌 謝

本研究蒙本所動物營養組康建龍先生、曹銘展先生及台灣經濟研究院派駐人員康家禎小姐協助動物飼養及數據收集，謹申謝忱。

參考文獻

- 王信凱、姜樹興、徐阿里、李恒夫。2009。環境溫度與飼糧離胺酸及能量比對生長及肥育豬生長生理性狀及氮蓄積率之影響。畜產研究 42：73-85。
- 吳昇陽、章嘉潔。2018。蘭嶼豬血液生化性狀之分析。畜產研究 51：157-165。
- 吳昇陽、章嘉潔。2019。不同小型豬血液生化值與品種間之差異。畜產研究 52：198-205。
- 洪鈴柱、李恒夫、邱智偉、蘇天明。2011。畜試黑豬一號血液學調查。畜產研究 44：301-310。
- Amavizca-Nazar, A. M., Montalvo-Corral, H. González-Rios, and A. Pinelli-Saavedra. 2019. Hot environment on reproductive performance, immunoglobulins, vitamin E, and vitamin A status in sows and their progeny under commercial husbandry. *J. Anim. Sci. Technol.* 61: 340-351.
- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Arlington, VA, USA.
- Bowland, J. P., H. P. Bickel, H. P. Pfirter, C. P. Wenk, and A. Schurch. 1970. Respiration calorimetry studies with growing pigs fed diets containing 3 to 12% crude fiber. *J. Anim. Sci.* 31: 494-501.
- Christon, R. 1988. The effect of tropical ambient temperature on growth and metabolism in pigs. *J. Anim. Sci.* 66: 3112-3123.
- Collin, A., J. van Milgen, S. Dubois, and J. Noblet. 2001. Effect of high temperature and feeding level on energy utilization in piglets. *J. Anim. Sci.* 79: 1849-1857.
- Cottrell, J. J., F. Liu, A. T. Hung, K. DiGiacomo, S. S. Chauhan, B. J. Leury, J. B. Furness, P. Celi, and F. R. Dunshea. 2015. Nutritional strategies to alleviate heat stress in pigs. *Anim. Prod. Sci.* 55: 1391-1402.
- Fuller, M. F. and A. W. Boyne. 1972. The effects of environmental temperature on the growth and metabolism of pigs given different amounts of food. 2. Energy metabolism. *Br. J. Nutr.* 28: 373-384.
- Haeussermann, A., E. Vranken, J. M. Aerts, E. Hartung, T. Jungbluth, and D. Berckmans. 2007. Evaluation of control strategies for fogging systems in pig facilities. *Biol. Eng. Trans.* 50: 265-274.
- Ingram, D. L. 1967. Stimulation of cutaneous glands in the pig. *J. Comp. Path.* 77: 93-98.
- IPCC. 2021. IPCC Sixth Assessment Report. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Kerr, B. J., J. T. Yen, J. A. Nienaber, and R. A. Easter. 2003. Influences of dietary protein level, amino acid supplementation and environmental temperature on performance, body composition, organ weights and total heat production of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 1998-2007.
- Kouba, M., D. Hermier, and J. Le Dividich. 2001. Influence of a high ambient temperature in lipid metabolism in the growing pig. *J. Anim. Sci.* 79: 81-87.
- Kyriazakis, I. and C. Whittemore, 2006. *Whittemore's Science and Practice of Pig Production*. pp. 622-626. Blackwell Publishing Ltd. Oxford, UK.
- Liu, F., W. Zhao, H. H. Le, J. J. Cottrell, M. P. Green, B. J. Leury, F. R. Dunshea, and A. W. Bell. 2022. Review: What have we learned about the effects of heat stress on the pig industry? *Anim.* 16: 100349.
- Miller, E. R., D. E. Ullrey, Ackermann, D. A. Schmidt, J. A. Hoefler, and R. W. Luecke. 1961a. Swine hematology from birth to maturity. I. Serum protein. *J. Anim. Sci.* 20: 31-35.
- Miller, E. R., D. E. Ullrey, I. Ackermann, D. A. Schmidt, R. W. Luecke, and J. A. Hoefler. 1961b. Swine hematology from birth to maturity. II. Erythrocyte population, size and hemoglobin concentration. *J. Anim. Sci.* 20: 890-897.
- Mount, L. E. 1975. The assessment of thermal environment in relation to pig production. *Livest Prod Sci.* 2: 381-392.
- National weather service central region (NWSCR) 1976. *Livestock hot weather stress. Regional operations manual letter C-31-76*. NWSCR, Kansas City, MO, USA.

- Ohaeri, C. C. and M. C. Eluwa. 2011. Abnormal biochemical and haematological indices in trypanosomiasis as a threat to herd production. *Vet. Parasitol.* 177: 199-202.
- Patience, J. F., J. F. Umboh, R. K. Chaplin, and C. M. Nyachoti. 2005. Nutritional and physiological responses of growing pigs exposed to diurnal pattern of heat stress. *Livest. Prod. Sci.* 96: 205-214.
- Pond, W. G. and J. H. Maner. 1984. *Swine production and nutrition*. pp. 607-615. AVI Publishing Co., Inc. USA.
- Quiniou, N., S. Dubois, and J. Noblet. 2000. Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. *Livest. Prod. Sci.* 63: 245-253.
- Renaudeau, D., A. Collin, S. Yahav, V. de Basilio, J. L. Gourdine, and R. J. Collier. 2012. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal.* 6: 707-728.
- Rinaldo, D. and J. Le Dividich. 1991. Assessment of optimal temperature for performance and chemical body composition of growing pigs. *Livest. Prod. Sci.* 29: 61-75.
- SAS. 2015. SAS/STAT[®] 14.1. SAS Institute Inc., Cary, NC. USA.
- Spencer, J. D., A. M. Gaines, E. P. Berg, and G. L. Allee. 2005. Diet modifications to improve finishing pig growth performance and pork quality attributes during periods of heat stress. *J. Anim. Sci.* 83: 243-254.
- Verstegen, M. W. A., W. H. Close, I. B. Start, and L. E. Mount. 1973. The effects of environmental temperature and plane of nutrition on heat loss, energy retention and deposition of protein and fat in groups of growing pigs. *Br. J. Nutr.* 30: 21-35.
- Wu, X., Z. Y. Li, A. F. Jia, H. G. Su, C. H. Hu, M. H. Zhang, and J. H. Feng. 2016. Effects of high ambient temperature on lipid metabolism in finishing pigs. *J. Integrative Agri.* 15: 391-396.

Effects of high ambient temperature on the growth, nutrient apparent digestibility and physiological characteristics of growing pigs ⁽¹⁾

Herng-Fu Lee ⁽²⁾ Tsui-Chin Yang ⁽²⁾ and Yi-Hui Hsieh ⁽²⁾⁽³⁾

Received: Mar. 28, 2024; Accepted: Jun. 20, 2024

Abstract

The purpose of this study was to investigate the environmental temperature on growth, apparent digestibility of nutrients, and physiological characteristics of growing pigs, as a reference for feeding management on the negative effect of production and physiological state of pigs caused by heat stress. Eighteen heads of LYD hybrid pigs averaged at 57.2 kg comprising half male and half female, were individually raised in the metabolic cages and randomly assigned to three chamber rooms, i.e. the LT (22°C), MT (26°C), and HT (30°C) groups for metabolism experiment. The pigs were fed with CP 15.2% and ME 3,300 kcal/kg, and *ad libitum* water. After seven days of adaptation period followed by seven days of total collection period was carried out, the respiratory rate and rectal temperature were measured on the 3rd, 4th and 5th day of collection period. The blood was collected after weighing the bodies, before and after the experiment. The results showed that growth performance of pigs in the HT group was significantly lower than that in the LT and MT group. However, environmental temperature did not affect the apparent digestibility of nutrients. The respiratory rate and rectal temperature of pigs in the HT group were significantly higher than that in the LT and MT group. Blood parameters showed that the HT treated pigs showed lower alkaline phosphatase, higher creatinine, and lower mean cell volume (MCV) compared to the LT and MT treated pigs. In summary, high environmental temperature lowered the growth performance of growing pigs, which was related to the feed intake. High environmental temperature also negatively affected the physiological responses by increasing the respiratory rate and rectal temperature mainly, which could be an indicator for detecting the heat stress of pigs.

Key words: Growing pigs, Growth performance, High environmental temperature, Physiological response.

(1) Contribution No. 2797 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

(2) Animal Nutrition Division, MOA-TLRI, Hsinhua, Tainan, 71246, Taiwan, R. O. C.

(3) Corresponding author, E-mail: elaineh@mail.tlri.gov.tw.