

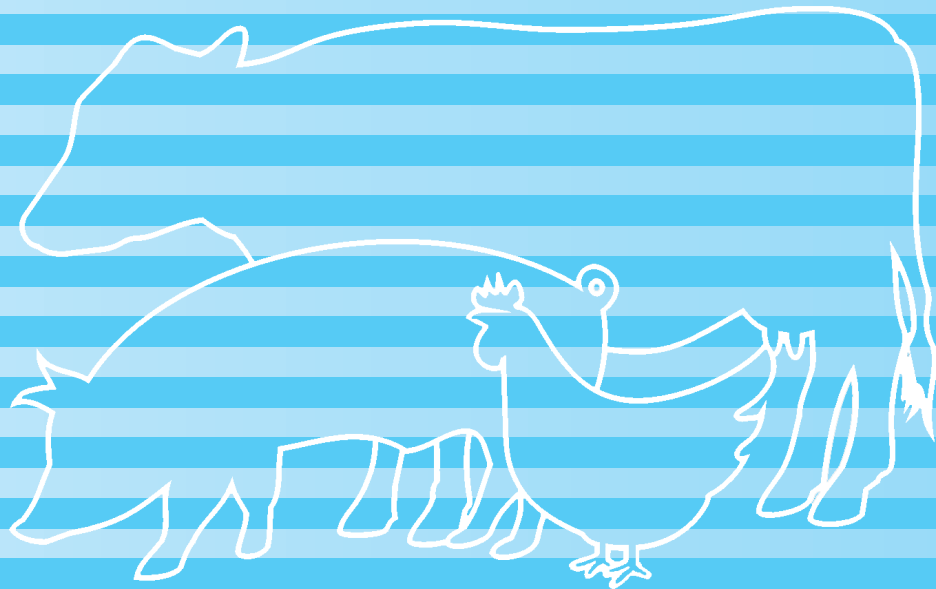
ISSN 0253-9209
DOI: 10.6991/JTLR

畜產研究

第五十八卷 第三期 中華民國一十四年 九月 季 刊

JOURNAL OF TAIWAN LIVESTOCK RESEARCH

Vol. 58 No. 3 September 2025



農業部畜產試驗所

TAIWAN LIVESTOCK RESEARCH INSTITUTE,
MINISTRY OF AGRICULTURE

畜產研究編審委員會

主任委員：黃振芳

審查委員：方珍玲 王治華 王建鎧 王政騰 王紓愍 王聖耀 王翰聰 成游貴
江信毅 余 祺 余 碧 吳勇初 吳建平 吳錫勳 李固遠 李欣蓉
李姿蓉 李恒夫 李春芳 李國華 李淵百 李滋泰 李德南 沈朋志
辛坤鑑 辛岱倫 周明顯 林秀蓮 林信宏 林原佑 林資哲 林德育
涂榮珍 姜中鳳 施意敏 洪國翔 洪靖崎 范耕榛 唐品琦 徐濟泰
張世融 張仲彰 張秀鑾 張怡穎 張啟聖 梁筱梅 章嘉潔 莊士德
莊璧華 許奕婷 許振忠 許晉賓 郭卿雲 郭猛德 陳文賢 陳立人
陳志峰 陳志銘 陳佳萱 陳怡蓁 陳怡璇 陳明汝 陳彥伯 陳洵一
陳裕信 陳銘正 陳億乘 彭劭于 黃三元 黃大駿 黃文理 黃文達
黃木秋 黃永芬 黃秀琳 楊國泰 楊鎮榮 萬一怒 萬添春 廖宗文
廖御靜 趙清賢 劉芳爵 歐修汶 練慶儀 蔡銘洋 鄭永祥 鄭裕信
盧啟信 賴佑宜 顏念慈 蘇忠楨 蘇晉暉

(以姓名筆劃為序)

編輯委員：李宗育 林正鏞 林秀蓮 涂榮珍 洪哲明 張世融 廖仁寶 劉芳爵
(以姓名筆劃為序)

JOURNAL OF TAIWAN LIVESTOCK RESEARCH

EDITOR-IN-CHIEF: J. F. HUANG

EDITORIAL ADVISORY BOARD:

C. L. FANG	Z. H. WANG	C. K. WANG	C. T. WANG	S. M. WANG
S. Y. WANG	H. T. WANG	Y. G. CHENG	X. Y. JIANG	C. YU
P. YU	Y. C. WU	J. P. WU	H. H. WU	G. Y. LEE
H. J. LEE	T. R. LI	H. F. LEE	C. F. LEE	K. H. LEE
Y. P. LEE	T. T. LEE	D. N. LI	P. C. SHEN	K. Y. HSIN
D. L. XIN	M. S. CHOU	H. L. LIN	H. H. LIN	Y. Y. LIN
Z. Z. LIN	D. Y. LIN	J. C. TU	Z. F. JIANG	S. I. MIN
G. X. HONG	C. C. HUNG	G. J. FAN	P. C. TANG	J. T. HSU
S. R. CHANG	S. H. CHANG	H. L. CHANG	Y. Y. CHANG	C. S. CHANG
H. M. LIANG	C. C. CHIEH	S. T. CHUANG	P. H. CHUANG	Y. T. HSU
C. C. HSU	C. B. HSU	C. Y. KUO	M. D. KUO	W. S. CHEN
L. R. CHEN	C. F. CHEN	C. M. CHEN	J. X. CHEN	C. Y. CHEN
Y. H. CHEN	M. J. CHEN	Y. P. CHEN	S. E. CHEN	Y. H. CHEN
M. Z. CHEN	Y. C. CHEN	S. Y. PENG	S. Y. HUANG	D. J. HUANG
W. L. HUANG	W. D. HUANG	M. C. HUANG	Y. F. HUANG	H. L. HUANG
K. T. YANG	J. R. YANG	Y. N. WAN	T. C. WAN	C. W. LIAO
Y. J. LIAO	C. H. CHAO	F. C. LIU	Y. J. CHIU	C. Y. LIEN
M. Y. TSAI	T. M. CHEN	Y. X. ZHENG	C. H. LU	Y. I. LAI
N. C. YAN	J. J. SU	C. H. SU		

EDITORS:

C. Y. LEE	C. Y. LIN	H. L. LIN	J. C. TU	C. M. HUNG
S. R. CHANG	R. B. LIAW	F. C. LIU		



畜產研究

編者：農業部畜產試驗所
發行人：黃振芳
發行所：農業部畜產試驗所
地址：臺南市新化區牧場 112 號
電話：(06) 5911211
網址：www.tlri.gov.tw
編輯\印製者：沐福商行
電話：0985-187287
出版日期：中華民國 114 年 9 月出版
定價：新臺幣 200 元

展售處：

國家書店松江門市：臺北市中山區松江路 209 號 1 樓

五南文化廣場：臺中市北屯區軍福 7 路 600 號

國家網路書店：www.govbook.com.tw

GPN : 2005200015

ISSN : 0253-9209

DOI : 10.6991/JTLR

畜產研究

第 58 卷第 3 期

中華民國 114 年 9 月

目 錄

	頁
1. 乳牛 3D 體態評分辨識系統之開發李佳馨、王科翔、丁文宏、黃妃平、王思涵、蕭振文	154
2. 木鼈果 (<i>Momordica cochinchinensis</i>) 副產物作為青貯利用之可行性評估陳穎慧、謝怡慧、洪兮雯、薛銘童	164
3. 高鹽分灌溉水對狼尾草生長之影響蔡立中、李姿蓉、鍾萍	172
4. 飼糧粗蛋白質含量對生長肥育豬生長性能及糞便成分之影響蘇天明、劉威志、翁義翔、鍾承訓、歐修汶	183
5. 不同體型品系閩公雞之屠體特性與品質比較林正鏞、許振忠、萬添春	194
6. 凝結芽孢桿菌醱酵物對離乳仔豬生長性狀、糞便微生物數量與下痢發生率的影響劉芳爵、蕭合芬、許晉賓	203
7. 貯存條件對雞蛋品質之影響吳鈴彩、陳怡兆、葉瑞涵、黃寂槐、張俊達、郭卿雲	214
8. 比較濾袋式與索氏法粗脂肪檢驗方法洪靖崎、陳惠茹、許晉賓	222

乳牛 3D 體態評分辨識系統之開發⁽¹⁾

李佳馨⁽²⁾⁽⁴⁾ 王科翔⁽³⁾ 丁文宏⁽³⁾ 黃妃平⁽³⁾ 王思涵⁽²⁾ 蕭振文⁽²⁾

收件日期：113 年 7 月 8 日；接受日期：113 年 11 月 1 日

摘 要

乳牛體態評分 (body condition score, BCS) 是判斷乳牛健康的重要指標。本研究利用資通訊科技、雲端運算與人工智慧 (artificial intelligence, AI) 的深度學習系統，以 3D 影像 (3D image) 辨識技術為基礎，建構乳牛體態與體型之特徵資訊，將量測值結合 AI 分類判斷，開發一套乳牛體態評分辨識系統。本系統分為硬體設備及軟體系統兩部分，硬體設備包含：多視角之 2D 及 3D 影像攝影機、無線射頻辨識 (radio-frequency identification, RFID) 感應板、影像處理伺服器、保護電箱及工作站設備等；軟體部分包含：AI 辨識程式、RFID 取值程式、辨識結果與歷史資料瀏覽程式等。系統包含 2 個功能：(1) 體型量測：量測乳牛體型特徵，包含體長、體寬、體高及體背表面積，(2) 體態評分：由 2D 及 3D 影像特徵資訊進行乳牛 BCS 分類，由 2 至 5 分 (非常瘦至肥胖) 等體態五分法做為判斷機制。系統架設於牛隻每日擠乳走道上，以不影響牛隻生理及行為下，每日 2 次 (AM 5:00 及 PM 4:00) 進行牛隻體型 / 體態及 BCS 數據收集。2023 年 7 月至 12 月底乳牛體型 / 體態資料庫已收集 31,780 張影像數據，並進行 AI 系統辨識訓練，準確率分為完全正確與容許 ± 0.25 誤差值兩種，測試結果分別為 84.61% 及 96.77%。本系統可改善 2D 影像因牛隻的花色和牛體清潔度之影像干擾及人為判定 BCS 不一致等問題。

關鍵詞：乳牛、3D 影像、無線射頻辨識、體態評分。

緒 言

牛隻的健康，可透過採食量、乳房狀態、走路姿態、活動力及體態變化等項目進行判斷，其中乳牛體態評分常作為乳牛體內脂肪貯存之評估，被動物科學家和生產者認為是乳牛管理的重要因素，尤其在乳牛轉換期的 BCS 及產後流失的 BCS，影響後續泌乳早期之酮症發生率、泌乳高峰期之乳量、繁殖效率及健康，因此乳牛的 BCS 已成為判斷乳牛健康的重要指標之一 (Pryce *et al.*, 2001; Roche *et al.*, 2009)。最常用的 BCS 評估方法是 Ferguson *et al.* (1994) 提出的。在此方法中，每頭牛的得分在 2 到 5 之間，以 0.25 為間距，分數越大表示牛隻體態越胖，透過牛隻坐骨、髖骨、薦骨翼、尾根韌帶、薦骨韌帶、短肋骨等身體各部位進行檢查或觸診來確定 BCS 分數。乳牛場要維持或增加產能，隨時留意牛隻是否健康是牧場管理必須要做的首要項目，然而，例行事務占據酪農絕大部份的時間，牛隻的健康，可透過活動力及體態變化等項目進行判斷，缺工問題讓牧場沒有多餘的人力來觀察與紀錄牛隻健康狀況，無法預先發現並篩選出可能異常牛隻，容易錯失黃金治療期。目前全臺有超過 8 成的乳牛場，仰賴酪農肉眼長時間觀察與過去經驗判斷，雖然 BCS 可以由專家來進行主觀評分，當由不同的專家執行時耗時且經常不一致，使得此項技術效益無法發揮。

國內外重視動物福利，除歐美國家，近年東南亞、日本、韓國等國，朝向開發乳牛自動化機器或系統 (Shigeta *et al.*, 2018; Zin *et al.*, 2020; Xavier *et al.*, 2022)，協助酪農長期進行牛隻健康監測。日本東京大學 Shigeta *et al.* (2018) 開發 3D 攝影機安裝於擠乳機器人的分欄門上，當牛隻進入擠乳機器人內即可自動擷取影像系統，並將 3D 影像數據轉換為 2D 影像，經由卷積神經網絡 (convolutional neural network, CNN) 辨識 2D 影像，能得到 89.1% 正確率，容許誤差為 ± 0.25 時，正確率為 94.6%，平均絕對誤差為 0.05。Zin *et al.* (2020) 研究使用 3D 影像攝影機、圖像處理技術和回歸模型導入乳牛體態評分系統，該系統包括一個以自動圖像監測應用平臺，進行乳牛體態智能監測，通過數學演算取得辨識參數，BCS 會根據模型精度的測量值自動評估，系統準確度在平均絕對百分比誤差為 $\pm 3.9\%$ ，平均

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2807 號。

(2) 農業部畜產試驗所北區分所。

(3) 工業技術研究院智慧微系統科技中心。

(4) 通訊作者，E-mail: jxlee@mail.tlri.gov.tw。

絕對誤差為 ± 0.13 。目前美國、德國已有相關商品化之乳牛體態評分之系統，價格約在新臺幣 250 – 300 萬之間 (因含進口貨物稅之問題)，國內少數牧場引進國外的設備輔具雖然可解決牧場勞動力缺乏之問題，但價格昂貴且本地維修不易，使得普及率無法提升。

本研究與財團法人工業技術研究院合作，開發臺灣第一部乳牛 3D 體態評分辨識系統，包括導入 3D 影像感測系統，結合乳牛體態專家經驗融合 AI 深度學習，建立牛隻肥胖度分類判斷機制，期望取代牧場每日牛隻健康狀態巡檢勞力支出，使酪農聚焦於有異常風險的牛隻，及早藉由 BCS 來調整牛隻營養配方，有助於避免產犢困難、產後損失和其他健康問題，改善牧場管理效率。

材料與方法

本計畫以 3D 攝影機為基礎，結合 2D 攝影機為輔助，開發一套乳牛體態評分系統：利用資通訊科技、雲端運算與 AI 深度學習機制，以 3D 視覺辨識技術為基礎，可通過多個角度的影像裝置，從而提高乳牛體態的辨識和影像處理能力，避免不同牛隻毛色差異、糞便的干擾，以增加 AI 評分的正確性，開發國內一套自有乳牛體態評分辨識系統。本系統之 3 臺 3D 影像攝影機分別建置於牛隻每日擠乳走道上，以 3 種不同視角 (俯視角、後視角及側視角) 在不接觸及影響牛隻生理、行為狀態下，當牛隻通過影像系統能自動取得 3D 影像，辨識收集乳牛體型特徵 (體長、體寬、體高及體背表面積) 及乳牛 BCS 分數，將體態量測分析和體型評分結果按日期和時間存儲在工作站中，並建立乳牛體態量測資料庫，根據所得之體型特徵資訊及 BCS 分數進行 AI 資料庫訓練，將 AI 辨識資料回傳至管理系統上，以提升乳牛 3D 體態感測量測系統的準確性 (圖 1)。

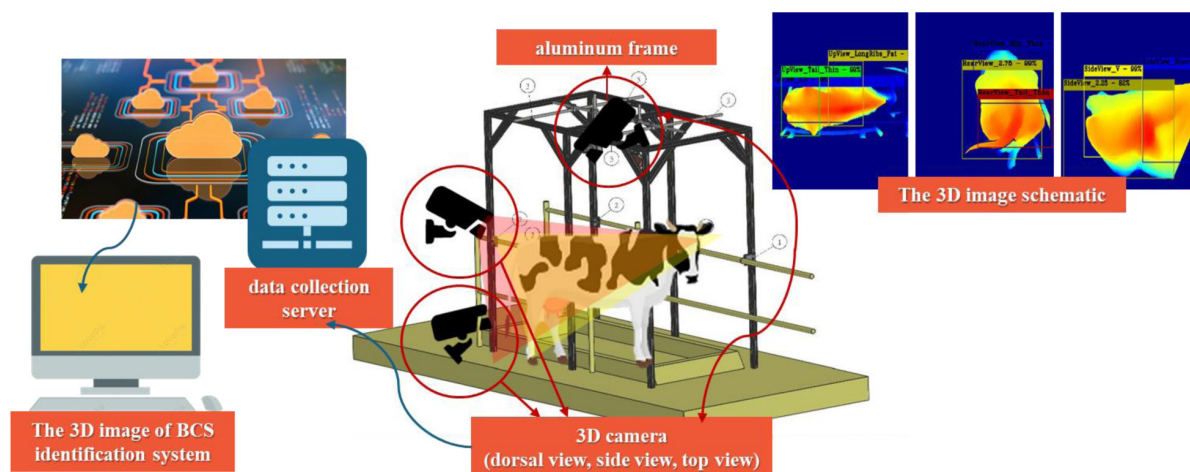


圖 1. 乳牛 3D 體態評分辨識系統架構圖示。

本系統之 3 臺 3D 影像攝影機分別建置於牛隻每日擠乳走道上，以 3 種不同視角 (俯視角、後視角及側視角)，當牛隻通過影像系統能自動取得 3D 影像，辨識收集乳牛體型特徵 (體長、體寬、體高及體背表面積) 及乳牛 BCS 分數，建立乳牛體態量測資料庫，根據所得之體型特徵資訊及 BCS 分數進行 AI 資料庫訓練，將 AI 辨識資料回傳至管理系統中。

Fig. 1. Architecture diagram of the 3D body shape assessment and identification system for dairy cows.

This system consists of three 3D cameras installed in the milking walkway where cows pass daily. Using three different angles (overhead, rear, and side views), the system automatically captures 3D images as the cows pass through. It identifies and collects body shape characteristics (body length, width, height, and surface area) as well as Body Condition Score (BCS). A dairy cow body measurement database is established, and the information obtained from the body shape characteristics and BCS is used to train an AI database, with the AI identification data being transmitted back to the management system.

系統硬體及軟體架構規劃：

- I. 硬體設備：鋁架、3 臺 3D 攝影機 (3D 影像解析度為 512×424 像素與 3D 感測精度為 $< 10 \text{ mm}@1 \text{ m}$ 之規格)、無線射頻辨識 (radio-frequency identification, RFID) 感應板、影像處理伺服器、保護電箱及工作站設備等。
- II. 軟體系統：包含 AI 辨識程式、RFID 取值程式、辨識結果歷史資料瀏覽程式等。軟體系統使用 Visual Studio 2015/2017 開發，以 C/C++ 撰寫軟體、UI 介面和演算法，並在 Windows 11 作業環境中運行。

III. 軟體系統功能：(1) 量測乳牛體型特徵體長、體寬、體高、背表面積，(2) 根據 2D 及 3D 影像特徵資訊進行乳牛體態分類，採用 Ferguson *et al.* (1994) 由 2 至 5 分 (非常瘦至肥胖) 等體型五分法做為判斷機制，並以 0.25 分為 5 個級距進行體態評分分類 (由於 1 分體態之牛隻於牧場不常見，在試驗數據收集不易，因此本系統採用之乳牛體態評分範圍以 2 至 5 分體態收集為主)。透過體態量測分析系統和牛隻體態辨識模型，可以量測乳牛體型 / 體態特徵，如長度、寬度、高度、背部表面積和體態辨識區 (薦骨翼與坐骨結至臀大腿區等)。利用收集的影像和特徵資料，應用 AI 學習技術建立牛隻體態辨識模型，進行牛隻影像資料的自動化體態辨識和評分。

IV. 軟體規劃：

- (i) 乳牛 3D 體態 / 體型即時量測介面：牛號、RFID 碼、體態 / 體型量測值、偏差值、三視角 2D 與 3D 即時影像。
- (ii) 乳牛 3D 體態 / 體型量測紀錄：牛號、體態 / 體型量測值、偏差值、時間記錄、三視角 2D 影像、修改功能及資料回溯功能。
- (iii) 乳牛 3D 體態 / 體型量測記錄資料庫：1. 可設定時間點抓取體態 / 體型量測值記錄，轉成 excel 檔輸出資料。
2. 量測記錄轉換為圖表之功能。
- (iv) 牛號與 RFID 資料庫：具新增與修改牛號與 RFID 碼、建置時間、備註功能。

結 果

I. 乳牛 3D 影像體態評分資料庫建置

本計畫開發乳牛體態評分辨識系統，主要以 Ferguson *et al.* (1994) 年提出的乳牛體態評分法為基礎，貯存乳牛 3D 影像體態資料庫，作為後續強化 / 擴增 AI 辨識模型之用。為使各個分類層級皆可能有樣本，在挑選上會儘可能挑胖、瘦皆有的牛隻作為樣本；另外，會挑選不同毛色、體型、身高的牛隻作為樣本，或將現有的圖像進行變形、轉向，以豐富 AI 訓練樣本，增加辨識準確性。在傳統影像處理方法中，通常需要擷取與組合不同影像特徵進行測試，以期求得能夠進行辨識所需的特徵向量，以利後端串接的分類器能有效針對輸入影像進行分類。儘管此類方法具備較少的訓練資料量之優點，但其缺點包括特徵的定義困難、模型易受細微影像變化干擾等問題。近年來，由於深度學習方法的實用化，許多傳統上難以處理或無法達成的影像問題，多半能透過適當的模型加以解決。深度學習模型在影像方面的應用，大致可分為分類 (classification)、偵測 (detection) 以及分割 (segmentation) 等三種。其中，分類模型可針對輸入影像進行分類，依據其訓練類別將輸入影像分類至對應的類別。偵測模型進一步將影像中的目標物以矩形區域進行標示，同時提供目標物的類別與其相對於影像中的位置資訊。分割則更進一步將目標物與背景進行區別，可得到更為細緻的目標物所屬的像素區域。而乳牛 3D 體態評分辨識系統採用結合深度學習模型的視覺辨識方法，取得的 2D-RGB 圖及 3D 點雲分為上面、後面及側面三組，可觀測乳牛的體型胖瘦局部特徵，為了可帶入 AI 影像辨識，目前設計將 3D 點雲的 z 方向 (遠近) 資訊映射成不同顏色，以反映該視角下的乳牛體表高低起伏特徵，命名為深度彩圖 (depthcolorpicture)。建立的影像資料庫，可供後續針對單一視角下的深度彩圖、三視角拼接深度彩圖或三視角拼接深度彩圖及三原色光模式 (red - green - blue color model, RGB) 彩圖 (圖 2)，彈性進行 AI 訓練選擇，以符合自定義乳牛體態辨識所需。

II. 乳牛體態 AI 模型建立與分割模型

由於乳牛 3D 體態評分辨識系統建置前期仍需靠專家肉眼比對，將 BCS 分數輸入給 AI 電腦系統進行教學辨識，以增加系統開發時進行準確性校正。本系統初步開發經由專家人工評分樣本為泌乳牛 50 頭，共 500 次以上之圖像辨識，建立 AI 辨識模型之基礎，目前採用的方式為，透過專業人員目視三視角深度彩圖及 RGB 彩圖來進行評分，評分方式與電腦辨識採用相同的三視角深度彩圖進行評分，有別於過往採人工觀看實體乳牛來評分的方式，可避免實體觀看 (無限視角觀察) 與電腦觀看 (有限視角) 差異所導致的認知評分誤差。

在量測乳牛體型 / 體態資訊的最重要的步驟是從攝影機畫面的每個像素均要分辨乳牛和背景，進而辨識每隻乳牛的真正邊界所在，此為語義 (像素級) 分割 (semantic segmentation)。本系統使用的 2D/3D 攝影機，其中 2D 攝影機視角約 72 度，但 3D 攝影機取像視角約 120 度，由於牧場擠乳走道區的光線不穩定，所以 YOLO 的 AI 模型使用 3D 攝影機的深度資訊進行訓練與標記資料集。在進行 YOLO_Segmentation AI 訓練之前需要準備訓練集和驗證集，本系統使用 LabelMe 進行個別牛隻標記。YOLO_Segmentation 是一種電腦視覺技術，可以快速找出影像中的物件，並準確描出物件外形，就像畫出剪影一樣，常應用於醫療、農業和工業檢測，能同時「偵測」與「分割」目標，方便後續分析。而 LabelMe 是一個圖像標註工具，主要用途是幫助使用者在圖片上畫出物件的輪廓並標註名稱，像是「車子」、「人」、「樹」等。在圖片或影像標示上每隻乳牛的標記點，畫好一隻乳

牛的邊緣標記點後填入標記的 label。參考乳牛 2D 彩色影像的邊緣位置，將對應的乳牛邊緣標註在 LabelMe 的乳牛 3D 深度資訊上。LabelMe 乳牛標記資料庫，標記資料庫的收集時共有 1,500 組乳牛標記影像，包含有乳牛 2D 彩色影像、乳牛 3D 深度資訊和對應的乳牛邊緣標記 json 標記檔。後續將 LabelMe 標記的多邊形數據集，放到 YOLO 模型中進行 AI 訓練。

乳牛 BCS 量測範圍會固定限制在 3D 攝影機影像的某一特定區域中，所以將此區塊稱為感興趣區域 (region of interest, ROI)。此 ROI 可以先初步濾除不可能的目標，也可減低運算時間。當乳牛進入 ROI 區域，且 3D 點雲高於地板平面 (已轉換至地板座標系統)，將點雲材質依深度資訊 (藍色的深度值接近零，黃紅色的深度值越大) 進行上色。圖 2 上方為乳牛經過走道區時的彩色影像，下方為其對應的深度資訊；下方的左圖是 3D 攝影機原始取得的深度資訊進行可視化處理後，其畫面上較高的地方離攝影機較近均調整成藍色，越高的地方越深藍；下方的右圖是將 3D 影像深度資訊的基準點轉換為地板上後再可視化處理，其畫面上的地板區域都調整成藍色，越高的地方越是黃紅色。藉由七彩色階將影像遠近調整為由紅到藍的影像色階。

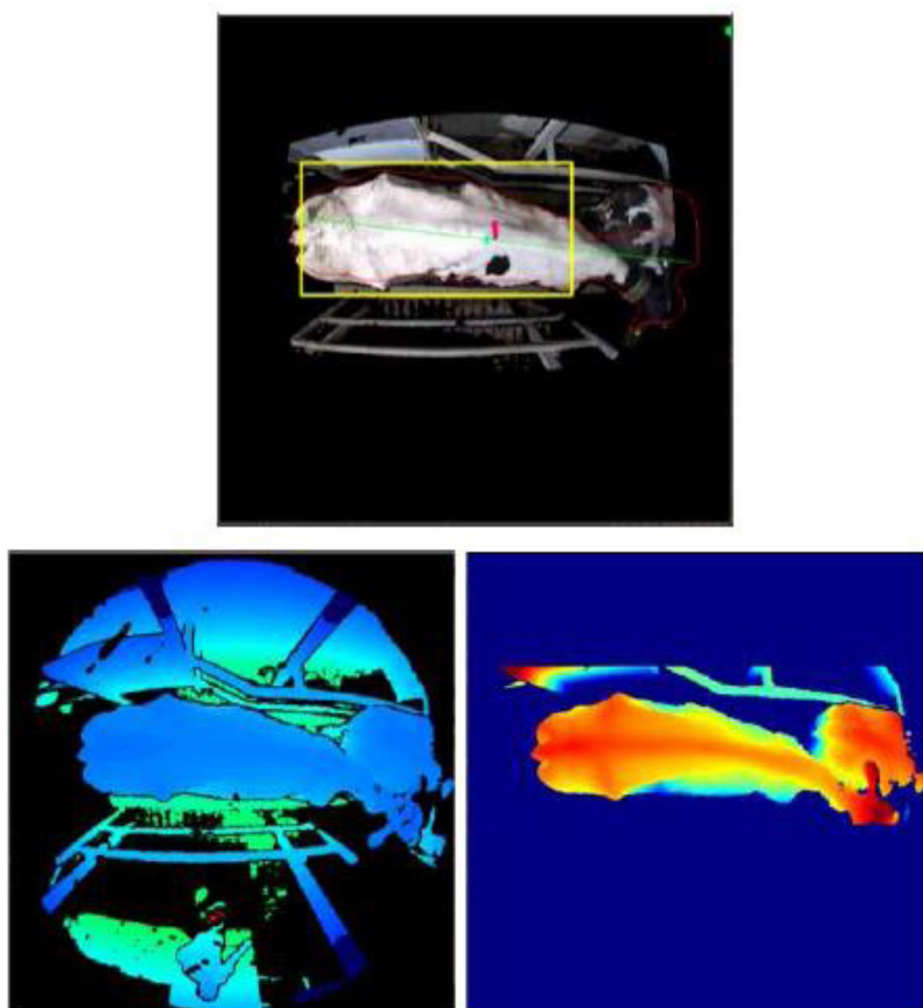


圖 2. 3D 影像深度彩圖進行可視化處理結果。

下方為其對應的深度資訊；下左圖是 3D 攝影機原始取得的深度資訊進行可視化處理後，其畫面上較高的地方離攝影機較近均調整成藍色，越高的地方越深藍；下右圖是將 3D 影像深度資訊的基準點轉換為地板上後再可視化處理，其畫面上的地板區域都調整成藍色，越高的地方越是黃紅色。藉由七彩色階將影像遠近調整為由紅到藍的影像色階。

Fig. 2. Visualization results of the 3D image of depth color picture.

The image below shows the corresponding depth information. The left lower image shows the depth information originally captured by the 3D camera, processed for visualization; areas that are higher in the image, and thus closer to the camera, are adjusted to blue, with higher areas appearing deeper blue. The right lower image depicts the depth information of the 3D image converted to a reference point on the floor, which has been visualized such that the floor area is adjusted to blue, while higher areas appear more yellow to red. A color gradient from red to blue is used to represent varying distances in the image.

III. 建置電腦化乳牛 3D 體態評分之判定準則

本系統應用 AI 辨識模型針對三個視角的深度彩圖進行評分，可分別獲得三個評分結果，若此評分兩兩分數差異不超過 0.5，則辨識結果為三個分數的平均值，並輸出評分結果為此平均值最接近的評分定義，如：平均值為 3.15 則輸出 3.25 評分；反之，則須再進行局部特徵辨識與評分邏輯分類，如電腦化 AI 流程所示（圖 3），此再次細部評分的準則為依據 BCS 評分標準進行改良，因 BCS 係採人工目視多角度檢視來進行評分，但電腦化流程只採三個視角，有限的視角圖會在 BCS 定義中產生模稜兩可，故進行整併參考前三視角整體評分結果與三視角個別局部特徵評分結果以定義出細部評分準則。

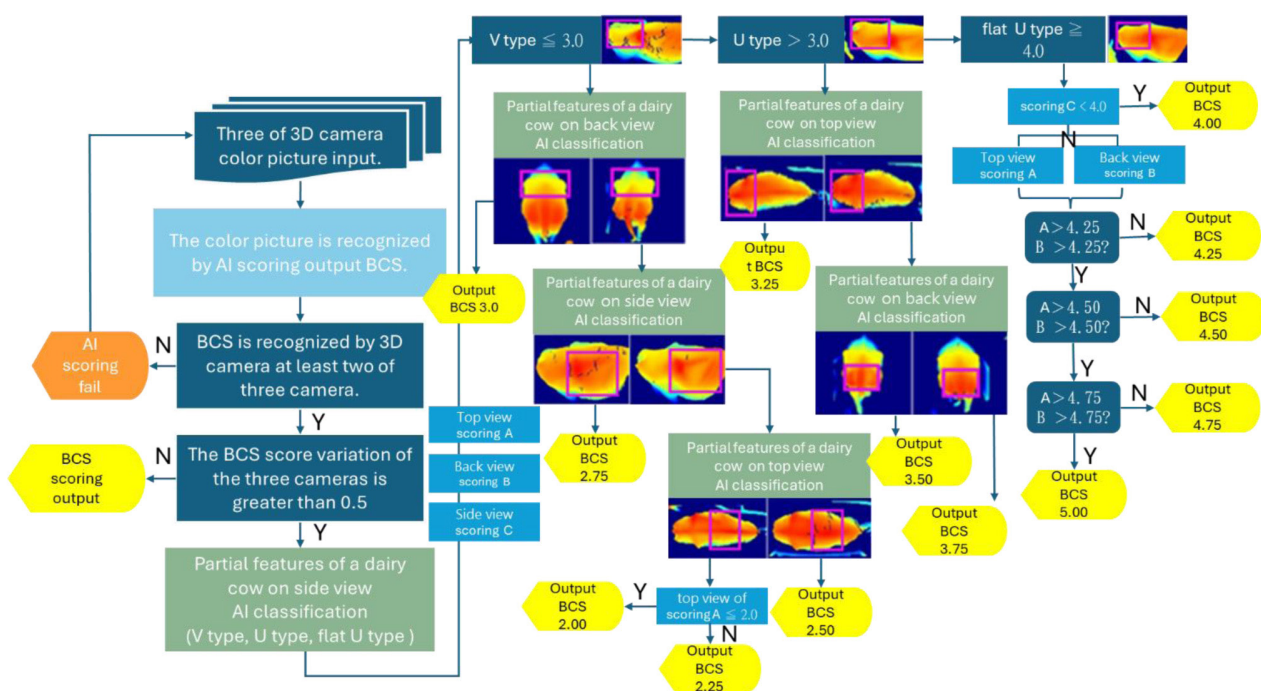


圖 3. 電腦化 3D 乳牛體態評分之判定準則。

Fig. 3. Determination criteria for computerized 3D dairy cow body condition scoring.

IV. 乳牛 3D 體態評分系統軟體

本系統具有可視化介面，量測系統頁面功能包含：乳牛 3D 體態 / 體型即時量測、乳牛 3D 體態 / 體型量測記錄、乳牛 3D 體態 / 體型量測記錄資料庫和牛號與 RFID 資料庫等 4 項子功能，系統功能與介面分述如下：

- (i) 乳牛 3D 體態 / 體型即時量測系統與使用者介面（圖 4）：本功能包含量測 2D/3D 影像及體態 / 體型量測分析數值，使用者介面分割為左右兩側，左側顯示 2D/3D 即時影像，考量到共有 3 支取像模組，2D 即時影像畫面設計提供上背、後臀及側腹的按鍵供管理者進行切換，下方則顯示 3D 即時深度彩圖資訊。介面右側上方顯示牛隻的 RFID 感測器取到的 RFID_TAG 和牧場管理者事先預設 RFID_TAG 對應之牛號；介面右側下方為體態 / 體型量測分析數據，以表格方式呈現，由上至下依序為背體長、體寬、體高、體表面積及體型評分等乳牛特徵，保留未來往下擴充其他乳牛特徵項目。而由左至右則分別呈現其平均值、變異數、最小值和最大值等統計數據。
- (ii) 乳牛 3D 體態 / 體型量測記錄（圖 5）：本功能介面顯示牧場內每隻牛隻的編號、時間戳、體長、體寬、體高、體表面積及體態評分等乳牛特徵資訊和三個視角的 2D 彩色影像紀錄；當每隻牛隻經過感測之走道區時，系統便開始持續收集量測資料，在這期間進行即時量測乳牛時會產生多筆的量測數值，乳牛離開走道區後記錄到系統會統整成一筆，篩選數值是依據統計數據原理，排除極端數值後的平均值。乳牛的牛號和體態評分是從即時量測的多筆量測值取其眾數的出現次數最多的數據來代表這隻乳牛的最終體態評分之數值。在乳牛 3D 量測記錄表上任選一筆記錄後可以修改這筆記錄的牛號、進行刪除這筆記錄；甚至可以將這筆記錄其上背、後臀及側腹各視角的攝影機彩色影像顯示在量測記錄表的右方，讓管理者可以確認記錄其 RFID 系統判斷的牛號是否正確，若不正確可進行牛號碼修正。
- (iii) 乳牛 3D 體態 / 體型量測記錄資料庫（圖 6）：本系統使用 Microsoft Access 來建置資料庫，因此本功能介面資料庫之乳牛 3D 體態 / 體型量測記錄除了會將個別乳牛的牛號、時間戳、體長、體寬、體高、體表

面積及體態評分等乳牛特徵資訊顯示在頁面上，也會同時將其資訊儲存在 Access 資料庫中。Access 資料庫主要用來存放牛隻的基本牛號 /RFID 資料以及每日每次在量測過程中的量測到的相關乳牛特徵資訊。3D 體型 / 體態量測紀錄資料庫的功能頁面如圖所示圖 6，使用者可以在本頁面上選擇個別牛號和對應的量測數據（體長、體寬、體高、體表面積及體態評分），量測系統使用 SQL (Structured Query Language) 語法（SQL 是用來和資料庫溝通的語言，可以新增、查詢、更新、刪除資料）連接到 Access 資料庫中進行查訊調出對應的數據集進而繪出相關關聯圖表，並計算此牛號和對應的量測數據其統計分析顯示其結果（平均值、變異數、最小值和最大值等），以提供結使用者或是牧場管理者了解該牛隻體型 / 體態的長時間變化，給予個別化的照顧或是飼養管理的修正。

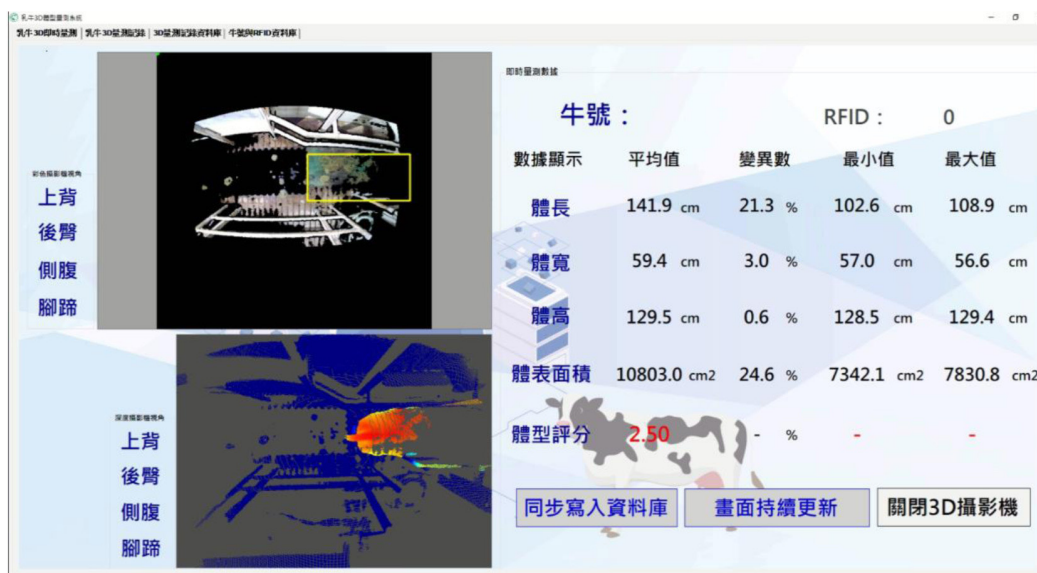


圖 4. 乳牛 3D 體態 / 體型即時量測系統介面。

Fig. 4. The interface of 3D body condition score /body shape of real-time measurement in Dairy cows.

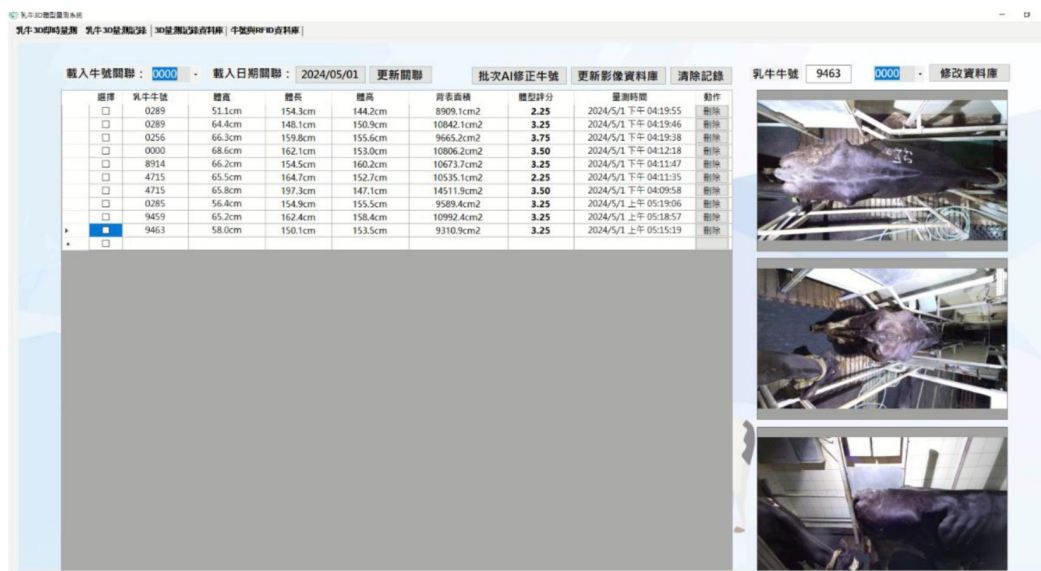


圖 5. 乳牛 3D 體型 / 體態量測紀錄介面。

Fig. 5. The interface of 3D body condition score /body shape of measurement record in Dairy cows.

- (iv) 牛號與 RFID 資料庫 (圖 7)：本功能介面左方是牛號 /RFID 配對資料庫，是由牧場管理者將牧場每隻乳牛的牛號和該乳牛耳朵上所植入的 RFID_TAG 碼配對後，之後在此頁面上進行輸入乳牛配對資訊，以提供乳牛在經過走道區時透過 RFID Server 取到 RFID 耳標碼，查詢此牛號與 RFID 資料庫後系統可以得知此乳牛真正的牛號和身份等基本資料。頁面右方是牛號 /RFID 即時偵測，當乳牛在經過走道區時，在此頁面會即時顯示透過 RFID Server 取到 RFID 耳標碼和其對應的牛隻號碼，並可測偵到 RFID 時的時間戳等資訊。

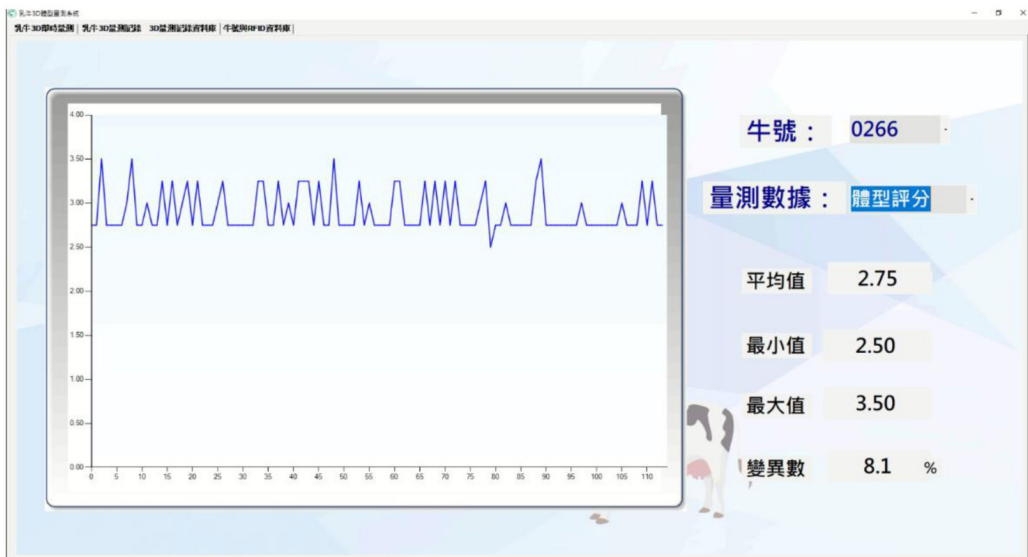


圖 6. 個別乳牛 3D 體型 / 體態量測記錄資料庫介面。
Fig. 6. The individual cow 3D body condition score /body shape of measurement record database in Dairy cows.



圖 7. 牛號與 RFID 資料庫介面。
Fig. 7. The interface of cow number and RFID database.

V. 場域驗證

本系統開發乳牛 3D 體態評分系統，建立乳牛 3D 體態及 AI 辨識分類模型，完成電腦化乳牛 3D 體態判定準則，自 2023 年 7 月至 12 月於苗栗縣西湖牧場之乳牛體態資料庫已收集 31,780 張 3D 與 2D 影像數據，並由專家根據 BCS 標準進行人工目檢，包括 67 頭乳牛，約 263 次評分記錄作為 AI 模型訓練標準，並對不同日期的 12 次樣本進行測試，每次牛隻數量約在 10 – 30 頭之間。在 BCS 評分標準的誤差容許範圍為 ± 0.00 分時，模型的正確率可達 84.61%；在容許誤差範圍為 ± 0.25 分時，正確率提高到 96.77% (表 1)。

討 論

隨著人工智慧近年來獲得廣泛討論，最關鍵的部分在於「深度學習」理論的突破。深度學習是機器學習的一種分支，也是目前機器學習發展的主流，源於類神經網絡。讓許多技術得以展開新的應用，其中最熱門一項是圖像辨識，可以應用在機器人、自動駕駛車、智慧工廠、智慧醫療等領域。在農業方面，已有許多研究利用影像辨識技術進行如昆蟲、果樹、蔬菜、花卉等病蟲害、收成及物種辨識等圖像辨識技術進行開發及應用 (許，2015；陳，2018；羅，2021)。依據農業部農業統計 (2024) 資料顯示，近年來臺灣乳牛畜牧場數量逐年減少，但每戶飼養乳牛

頭數卻日益增加，在這種情況下，牛群的智慧管理就變得非常重要。儘管自動化設備及管理系統已普遍運用於牧場，但用於評估乳牛營養及健康監測之 BCS 自動測量系統尚未普及。

表 1. 專家評比與 AI 模型訓練比對之乳牛體態評分結果

Table 1. Comparing expert assessment and AI model training of dairy cow body condition score (BCS) of results

Dairy cow body condition score recognition of verification results (total 12 times)				
Test number	Date	Cows	± 0.0 Accuracy (%)	± 0.25 Accuracy (%)
1	2023/07/20	19	84.21%	94.74%
2	2023/07/23	20	95.00%	95.00%
3	2023/07/26	21	90.48%	100.00%
4	2023/07/31	22	90.91%	100.00%
5	2023/08/05	18	83.33%	94.44%
6	2023/08/06	20	80.00%	100.00%
7	2023/08/13	22	90.91%	100.00%
8	2023/08/31	22	68.18%	95.45%
9	2023/09/03	25	76.00%	96.00%
10	2023/09/13	29	79.31%	89.66%
11	2023/10/17	20	85.00%	100.00%
12	2023/12/26	25	92.00%	96.00%
average			84.61%	96.77%

早年開發乳牛體態評分辨識系統以 2D 影像為主，Leroy *et al.* (2005) 透過 2D 影像進行牛背部 (尾根至薦骨翼間) 影像體態辨識，從影像中減去輪廓點來進行牛隻 BCS，從他們的方法獲得的估計 BCS 顯示與 BCS 評估者獲得的分數平均有 0.27 個單位的偏差。Bewely *et al.* (2008) 進行了更廣泛的研究，從牛隻背部至頂部 (尾根至頸椎) 捕捉的 2D 影像，以手動方式標示出解剖特徵點，並計算牛身體部位的輪廓和角度，結果顯示，當 BCS 的預測值和 BCS 的實際值之間準確率，在可接受之 0.5 以內之誤差值時準確率為 92.79%，0.25 以內之誤差值時準確率為 89.95%。本試驗建置乳牛 3D 影像體態評分辨識系統以前，曾以 2D 影像為主開發基準，發現 2D 影像在進行牛隻 BCS 判別時會因牛隻身體沾染糞便程度及牛體花紋 (毛色全黑或全白之牛體) 而影響電腦進行影像捕抓及 AI 辨識，尤其在牛隻髖骨至坐骨間之關鍵識別區，會大幅降低準確性，在可接受之 0.25 以內之誤差值時準確率僅為 85.95% (未發表)。

近年體態評分辨識系統，逐漸以 3D 影像攝影機為主，藉由點雲材質依深度資訊進行上色，將 3D 影像深度資訊的基準點轉換為可視化處理之七彩色階，離 3D 影像攝影機越近之距離呈現紅色，越遠則為藍色。在結合影像辨識與深度學習 (deep learning) 技術，使用卷積神經網路 (convolutional neural network) 模型，學習乳牛 BCS 各階段的影像特徵。本研究是將早期安裝之 2D 影像攝影機更換為 3D 影像攝影機，其目的是開發一套每日監測乳牛 BCS 系統，透過將 3D 影像攝影機安裝到一天兩次必經的擠乳通道上，以連續自動捕捉乳牛的影像，並進行高精度的 BCS 判定，結果顯示，將捕獲乳牛的影像傳至電腦進行 AI 判讀，數據會自動累積在伺服器中，經半年獲得大量乳牛體態影像數據，取得乳牛體態樣本進行 AI 系統辨識，其完全正確率為 84.61%；當可接受誤差為 ± 0.25 時，正確答案率為 96.77% (表 1)，相較 2D 體態系統有較高之準確率，且能減少牛隻的花色和牛體清潔度之影像干擾。本系統與 Shigeta *et al.* (2018) 所開發乳牛 3D 體態辨識系統 (完全正確率為 89.1%，誤差為 ± 0.25 時，正確率為 94.6%) 之完全準確率略為偏低 (84.61% vs. 89.1%)，但在容許 ± 0.25 誤差值準確率略高 (96.77% vs. 94.6%)，可能由於攝影機安裝的模式及資料收集樣式的不同影像判定的準確率。

本研究使用 3 臺 3D 影像攝影機，以 3 種不同視角 (俯視角、後視角及測視角) 做為影像體態辨識，相較於需多研究大多採單一俯視角為主不同 (Shigeta *et al.*, 2018; Mullins *et al.*, 2019; O'Leary *et al.*, 2020)，因目前 3D 影像 BCS 系統，捕抓牛隻影像傳至電腦進行 AI 判讀需要 1 – 3 秒 (因電腦 CPU 處理器有所不同)，且會因為牛隻快速通過 3D 影像攝影機時，可能會造成影像畫面捕捉模糊，因此目前研究牛隻 BCS 系統多架設於自動擠乳機器人內或分群門閘門上，讓牛隻靜止於影像攝影機下，以便影像攝影機進行體態辨識。但也有以兩臺不同攝影角度進行牛

隻體態辨識，以增加影像判讀之準確性 (Huang *et al.*, 2019)。本研究使用 3 臺 3D 影像攝影機，主要因為本研究之攝影機並非架設於自動擠乳機器人內或分群閘門上，而是架設於牛隻每日經過擠乳通道上，在牛隻正常行走時進行牛隻體態辨識，由於多視角影像攝影機，不只可增加影像判讀之準確性，另考量未來推廣民間牧場使用可因地適宜調整，依牧場環境需求安裝不同視角之 3D 影像攝影機。

結 論

乳牛的 BCS 對於牧場營養管理很重要。在本研究中，開發了一種利用 3D 影像視覺辨識技術之自動化乳牛 BCS 系統，除了能避免人為判定的不一致，且能省時、省工，節省牧場人力支出，並藉由本系統監測牧場牛隻營養狀況，適時調整營養配方。另系統之 2D 影像更換為 3D 影像攝影機，確實有效減少牛隻的花色和牛體清潔度之影像干擾。

誌 謝

本研究承農業部科技發展細部計畫 (112 農科 -13.1.4- 畜 -L4) 經費支持，得以完成研發，謹此誌謝。

參考文獻

- 許鑄云、陳宗禮、黃國益、郭育姣、黃卯昌。2015。水稻種子影像辨識系統之研究。植物種苗 17：1-18。
- 陳祐祥、曹慧華、陳世偉、劉純瑜、葉凌均。2018。應用影像辨識技術判定水果成熟之研究。電子商務研究 16：233-257。
- 農業部。2024。農業資料開放平臺。https://data.moa.gov.tw/open_search.aspx?id=279。
- 羅傑瑞。2021。應用無線影像環境感測網路於智慧整合蟲害管理。國立臺灣大學。
- Bewley, J. M., A. M. Peacock, O. Lewis, R. E. Boyce, D. J. Roberts, M. P. Coffey, S. J. Kenyon, and M. M. Schutz. 2008. Potential for estimation of body condition scores in dairy cattle from digital images. *J. Dairy Sci.* 91: 3439-3453.
- Ferguson, J. D., D. T. Galligan, and N. Thomsen. 1994. Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 77: 2695-2703.
- Huang, X., Z. Hu, X. Wang, X. Yang, J. Zhang, and D. Shi. 2019. An improved single shot multibox detector method applied in body condition score for dairy cows. *Animals* 9: 470.
- Leroy, T., J. M. Aerts, J. Eeman, E. Maltz, G. Stojanovski, and D. Berckmans. 2005. Automatic determination of body condition score of cows based on 2D images. *Precision Livestock Farming* 105: 251-255.
- Mullins, I. L., C. M. Truman, M. R. Campler, J. M. Bewley, and J. H. C. Costa. 2019. Validation of a commercial automated body condition scoring system on a commercial dairy farm. *Animals* 9: 287.
- O'Leary, N., L. Leso, F. Buckley, J. Kenneally, D. M. Sweeney, and L. Shalloo. 2020. Validation of an automated body condition scoring system using 3D imaging. *Agriculture* 10: 246.
- Pryce, J. E., M. P. Coffey, and G. Simm. 2001. The relationship between body condition score and reproductive performance. *J. Dairy Sci.* 84: 1508-1515.
- Roche, J. R., N. C. Friggens, J. K. Kay, M. W. Fisher, K. J. Stafford, and D. P. Berry. 2009. *Invited review*: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *J. Dairy Sci.* 92: 5769-5801.
- Shigeta, M., R. Ike, H. Takemura, and H. Ohwada. 2018. Automatic measurement and determination of body condition score of cows based on 3D images using CNN. *J. Robot. Mechatron.* 30: 206-213.
- Xavier, C., Y. Le Cozler, L. Depuille, A. Caillot, A. Lebreton, C. Allain, J. M. Delouard, L. Delattre, T. Luginbuhl, P. Faverdin, and A. Fischer. 2022. The use of 3-dimensional imaging of Holstein cows to estimate body weight and monitor the composition of body weight change throughout lactation. *J. Dairy Sci.* 105: 4508-4519.
- Zin, T. T., P. T. Seint, P. Tin, Y. Horii, and I. Kobayashi. 2020. Body condition score estimation based on regression analysis using a 3D camera. *Sensors (Basel)* 20: 3705.

Development of 3D body condition score identification system for dairy cows ⁽¹⁾

Chia-Xin Lee ⁽²⁾⁽⁴⁾ Ko-Shyang Wang ⁽³⁾ Wen-Hung Ting ⁽³⁾ Fei-Ping Hang ⁽³⁾
Szu-Han Wang ⁽¹⁾ and Jen-Wen Shiau ⁽¹⁾

Received: Jul. 8, 2024; Accepted: Nov 1, 2024

Abstract

The Body Condition Score (BCS) is an important indicator for assessing the health of dairy cows. This research adopts in-depth learning system, including information and communication technology, cloud computing, and artificial intelligence (AI), based on 3D image recognition technology, to construct the characteristic information of BCS and body shape, and to combine measured values with AI classification and assessment. The goal is to develop a system for identifying the body condition score of dairy cows. This system is divided into two parts: hardware equipment and software systems. The hardware equipment includes multi-view 2D and 3D imaging cameras, radio-frequency identification (RFID) sensor boards, image processing servers, protective electrical boxes, and workstation equipment...etc. The software part includes an AI identification program, an RFID value acquisition program, and an identification results and historical data browsing program...etc. The system includes two functions: (1) body shape measurement, which measures the body characteristics of dairy cows, including body length, body width, body height, and surface area of back; and (2) BCS scoring, which performs body condition scoring of dairy cows based on 2D and 3D image feature information for BCS classification, using a five-point scale from 2 to 5 (from very thin to obese) as the assessment mechanism. The system is installed in the cows' daily milking aisle, without interfering with the cows' physical condition and behavior, to collect cow body shape and BCS data twice a day (at 5:00 PM and 4:00 AM). Between July and the end of December 2023, the dairy cow body condition /BCS database collected 31,780 images and conducted AI system recognition training. The training accuracy was categorized into two types: perfect correction and tolerance of ± 0.25 in error value. The test results were 84.61% and 96.77%, respectively. The system improves 2D images due to the interference by images of pattern and body cleanliness of cows, as well as inconsistencies in human assessments of BCS.

Key words: Dairy cows, 3D image, Radio-frequency identification, Body condition score.

(1) Contribution No. 2807 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

(2) Northern Region Branch, MOA-TLRI, Miaoli 36843, Taiwan, R. O. C.

(3) Smart Microsystems Technology Center, Industrial Technology Research Institute, Tainan 709410, Taiwan, R. O. C.

(4) Corresponding author, E-mail: jxlee@mail.tlri.gov.tw.

木鼈果 (*Momordica cochinchinensis*) 副產物作為青貯利用之可行性評估⁽¹⁾

陳穎慧⁽²⁾⁽⁵⁾ 謝怡慧⁽³⁾ 洪兮雯⁽³⁾ 薛銘童⁽⁴⁾

收件日期：113 年 7 月 2 日；接受日期：113 年 11 月 28 日

摘 要

本試驗利用木鼈果 (*Momordica cochinchinensis*) 副產物製作青貯，期能增加木鼈果果實附加價值，降低農業廢棄物所造成之環境問題。試驗混合不同比例之木鼈果副產物、麩皮及啤酒粕作為青貯原料，分別進行 A (10 : 0 : 0)、B (9 : 1 : 0)、C (8 : 2 : 0)、D (5 : 1 : 4)、E (4.5 : 1 : 4.5) 共 5 種處理，以及青貯 30 天與 90 天後兩個開封時間。結果顯示，不同處理對木鼈果青貯料之營養成分及有機酸組成均造成影響，木鼈果副產物添加麩皮或啤酒粕，可提高青貯料之乾物質與粗蛋白質，同時降低酸洗纖維。所有處理之中洗纖維、酸洗纖維含量於青貯後均較青貯前為高，A、B、C 處理之乳酸含量及乳酸 / 乙酸比顯著高於高比例啤酒粕之 D、E 處理，此外，A、B、C 處理之 pH 值顯著低於 D、E 處理，5 種處理開封後的青貯品質均達青貯品質評分 (Flieg's score) 可接受等級 (41 分) 以上，其中 A、B、C 三處理達優良等級。綜合上述，木鼈果副產物可利用青貯方式進行保存，青貯利用亦可增加木鼈果的價值，混合添加麩皮及啤酒粕，除調整青貯料含水率外，也可提升青貯料之營養組成，考量經營成本與青貯品質，以添加 10% 麩皮為較佳之處理組合。

關鍵詞：木鼈果、副產物、青貯。

緒 言

全世界每年生產的食物大約有 1/3 (將近 1.3 – 1.6 億公噸) 被丟棄浪費，龐大的食物廚餘及蔬菜廢料對環境及社會經濟的衝擊是全球性的問題，因此，回收、再利用蔬果廢料有助於降低環境負面衝擊 (Das *et al.* 2022)。將農業工業化生產的農副產物應用於動物飼糧，減少進口及食物浪費，可形成乾淨的循環經濟，同時將價值低的廢棄材料轉變為高品質、低成本的動物飼糧，亦無與人類食物競合之疑慮 (Vastolo *et al.*, 2022; Dentinho *et al.*, 2023)。

Dentinho *et al.* (2023) 研究以胡蘿蔔、甘藷、馬鈴薯及番茄渣等農副產物製作青貯，取代羊隻飼糧中的精料，除降低生產成本，對羊隻生長表現、羊肉品質、甲烷生成沒有影響外，還可促進畜牧場及環境之間的永續性。Ncobela *et al.* (2017) 同樣指出青貯是一種保存高水分馬鈴薯副產物且便宜、易操作的方式，可增加馬鈴薯商品價值，也非常適合小型豬場於每年食物短缺期間使用，利用馬鈴薯副產物，可降低每年生產大量且持續成長的馬鈴薯廢棄物，亦可再利用為動物飼糧，穩定供應於動物生產。Razzaghzadeh *et al.* (2007) 將南瓜採集去除南瓜籽後之大量剩餘物製作為青貯，以不同比例取代苜蓿飼料 12 月齡公水牛，結果顯示以 60% 南瓜剩餘物青貯部分取代原有芻料，對公水牛肥育表現無負面影響。

青貯品質取決於作物收穫時的植物特性，青貯發酵更進一步影響青貯料營養價值 (Charmley, 2001)。利用龐大的農作物或食品工業的副產物製作品質優良的青貯，用於餵養經濟動物是好的經濟替代方法，然而針對大量的副產物，利用上卻有兩個限制因子，其一為青貯材料組成的變動，其二為材料來源具季節性 (Álvarez *et al.*, 2015)。

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2808 號。

(2) 農業部畜產試驗所南區分所。

(3) 農業部畜產試驗所動物營養組。

(4) 農業部臺東區農業改良場。

(5) 通訊作者，E-mail: wa2933@tlri.gov.tw。

影響青貯的因素極多，王等 (2012) 在成熟度、接種及材料加工對高水分玉米青貯發酵影響之研究發現，發酵程度與收穫成熟度成反比，並與青貯時間成正比，Das *et al.* (2022) 研究指出，由於蔬菜廢料含水量高、易腐敗，將其加工、保存作為動物飼糧相當困難，在孟加拉常見的蔬菜廢料含水率約為 83 – 96%，乾燥保存的成本很高，如將其混合乾燥的粗飼料或精料製作青貯，為符合成本效益的保存方式。李等 (2019) 在甘藷格外品青貯料作為荷蘭泌乳牛飼糧之研究同樣指出，甘藷混合麩皮以 10：1 比例調製青貯料，可提高青貯料之乾物質 (dry matter, DM)、粗蛋白質 (crude protein, CP)、纖維及磷 (phosphorus, P) 含量。

木鼈果 (*Momordica cochinchinensis*) 為臺灣近年興起之機能性作物，年產量逾 2,400 公噸，相較於臺灣原生種，國內種植較多的為東南亞品系，如越南、泰國種木鼈果，果實較大但果肉風味不佳 (薛等, 2020)。Aoki *et al.* (2002)、Kha *et al.* (2013) 指出木鼈果富含類胡蘿蔔素、脂肪酸、維他命 E、多酚化合物及類黃酮等營養成分，可透過加工製成營養添加物及天然著色劑，主要利用部位為假種皮及種子，分別用於傳統料理及醫藥用。依據薛等 (2020) 分析臺灣原生種木鼈果熟果果肉與假種皮之八大營養成分結果，熟果果肉之主要成分為水分 92.5%，其次為碳水化合物 5.5%、粗蛋白質 0.6%，粗脂肪含量極低，熱量為 17.4 kcal/100 g；而在假種皮，除水分含量較低 76.08%，其他營養成分如碳水化合物 14.51%、蛋白質 1.65%、脂肪含量 7.21%、熱量 125.86 kcal/100 g，均高於果肉，在果實組成方面，木鼈果果肉之鮮重接近果實一半、果皮重量則佔果實重量之 17%。臺灣目前主要利用部位亦為假種皮，將其萃取製作保健營養品、果汁、加工食品等，剩餘數量龐大的果肉及果皮因未被有效利用，進而變成農業廢棄物，因此，如能妥善利用木鼈果全果，除能降低農業廢棄物所造成之環境問題，亦可增加果實之附加價值。

本研究首次運用木鼈果副產物製備青貯作為動物飼糧，因應木鼈果果實高含水率、低蛋白質之特性，試驗處理組合參考前人研究，以不同比例之麩皮、啤酒粕混入去除假種皮及種子後之木鼈果副產物材料製作青貯，嘗試找出品質較佳之木鼈果青貯處理，期能增加農副產物商品價值與利用，同時減少飼養成本、降低環境污染，打造區域性農牧業良好循環模式。

材料與方法

I. 材料來源

- (i) 木鼈果品種：由農業部臺東區農業改良場提供之臺東 1 號。
- (ii) 麩皮：購自國內民間飼料廠，DM 90.67%、CP 18.58%。
- (iii) 啤酒粕：購自臺南善化啤酒廠，DM 27.45%、CP 31.58%、中洗纖維 (neutral detergent fiber, NDF) 42.44%、酸洗纖維 (acid detergent fiber, ADF) 20.22%，含麥粕、啤酒花粕與酵母等副產物以及異戊烯類黃酮、啤酒花苦味酸等初級代謝物。

II. 青貯製作

- (i) 木鼈果副產物：試驗用木鼈果果實為 111 年 7 月至 11 月間分 5 批採收，採收時期為熟果期，採收後以冷凍保存，至收集足夠試驗之材料數量，將凍存之木鼈果果實解凍後，去除種子及假種皮，剩餘之果皮及果肉部分，截切為 5 × 5 cm 塊狀。
- (ii) 青貯組合：依據材料特性及含水率組成，推測青貯可能之合適比例，將木鼈果副產物、麩皮及啤酒粕混合比例分為 5 種。
 1. 木鼈果：麩皮：啤酒粕 10：0：0 (A)
 2. 木鼈果：麩皮：啤酒粕 9：1：0 (B)
 3. 木鼈果：麩皮：啤酒粕 8：2：0 (C)
 4. 木鼈果：麩皮：啤酒粕 5：1：4 (D)
 5. 木鼈果：麩皮：啤酒粕 4.5：1：4.5 (E)
- (iii) 各處理原料依配方比例混勻並塞緊密封於直徑 15 cm、高 41 cm 的塑膠水管中，製作成鮮重各 5 kg 之小量青貯料，每處理 6 重複，貯存於室溫 (最高氣溫 25.77℃；最低氣溫 15.36℃；平均氣溫 19.49℃) 下，於青貯 30 天及 90 天後開封取樣，每次開封 3 支塑膠水管代表 3 重複，測定青貯發酵品質。

III. 分析方法

- (i) 營養組成分析：青貯樣品於青貯前或開封後立即取樣，樣品經 80℃ 烘乾並磨粉，保存於 4℃ 冷藏庫，依照 AOAC (2005) 方法進行 DM、CP、粗脂肪 (ether extract, EE)、灰分 (ash)、鈣 (calcium, Ca)、磷 (phosphorus, P) 分析，並以 van Soest *et al.* (1991) 方法測定 NDF、ADF 含量 (ANKOM 200 Fiber Analyzer, ANKOM Technology

Corp., Fairport, NY, USA) 及試管乾物質消化率 (in vitro dry matter digestibility, IVDMD) 的分析 (ANKOM DaisyII, ANKOM Technology Corp., Fairport, NY, USA)。每一樣品重複 2 次。

- (ii) 青貯品質分析：取新鮮青貯料 20 g 加蒸餾水 180 mL，打碎過濾後以酸鹼度計測定酸鹼值。以氣相層析儀 (Shimadzu, GC-2014) 依 Jones and Kay (1976) 的方法進行乳酸 (lactic acid)、丁酸 (butyric acid)、丙酸 (propionic acid) 及乙酸 (acetic acid) 之測定，將青貯萃取液經過陽離子管柱，洗出液以 0.05 N tetrabutyl ammonium hydroxide (TBAH) 滴定至 pH 為 8.0，於 70°C 下烘乾，加入丙酮溶解，並依 TBAH 滴定量，加入適量 benzyl bromide 與揮發性脂肪酸反應，樣品製備完成後，以氣相層析儀分析含量。依青貯料中之乙酸、丁酸和乳酸占測定總量之當量百分比進行評分，總和所得即為青貯品質評分 (Flieg's score)，評分為 40 分以下青貯失敗、41 – 60 分為可接受、61 – 80 分為好的青貯、81 分以上為發酵優良的青貯。
- (iii) 統計：試驗結果以 IBM SPSS Statistics 29.0 軟體進行 ANOVA 分析及 Scheffe 事後檢定，比較本試驗各種測定資料在不同處理及青貯時間之差異。

結 果

I. 各處理原料青貯前之營養組成

試驗五種木鼈果處理原料青貯前之營養組成如表 1，添加麩皮或啤酒粕提高青貯料之 DM 及 CP，營養組成以純木鼈果副產物 A 處理之 DM 12.7%、CP 6.7% 含量最低，EE 1.5%、NDF 30.3% 及 P 0.5% 亦略低，ADF 24.0%、Ash 14.8% 及 Ca 0.4% 較高，而 IVDMD 82.91% 為 5 處理中最高；B 處理為添加 10% 之麩皮，其 DM 及 CP 分別提高為 19.5% 及 11.8%；C 處理添加 20% 之麩皮，其 DM 及 CP 含量增為 26.8% 及 14.2%，B、C 兩處理之其它營養組成相近，EE 3.0，3.4%、NDF 35.7，37.9% 均高於 A 處理，而 ADF 18.5，19.6%、Ash 7.9，9.7%、Ca 0.2，0.3%、IVDMD 76.5，77.1% 均較 A 處理為低；D、E 處理為添加 10% 麩皮，另分別混入 40% 及 45% 之啤酒粕，兩處理均有最高之 DM 27.2，27.8%、CP 22.0，22.9%、EE 2.9，6.5%、NDF 43.4，44.0%，兩處理之 ADF 18.8，20.1%、Ash 5.8，6.1%、P 0.8% 與 B、C 處理相近，而 IVDMD 67.7，69.9% 則為 5 處理中最低。

表 1. 木鼈果副產物處理青貯前之營養組成 (乾基 %)

Table 1. Chemical compositions of gac fruit by-products before ensiling (DM basis)

Treatments*	DM [#]	CP	EE	NDF	ADF	Ash	Ca	P	IVDMD
A	12.7	6.7	1.5	30.3	24.0	14.8	0.4	0.5	82.9
B	19.5	11.8	3.0	35.7	19.6	9.7	0.3	0.8	77.1
C	26.8	14.2	3.4	37.9	18.5	7.9	0.2	0.9	76.5
D	27.2	22.0	5.9	44.0	20.1	6.1	0.3	0.8	69.9
E	27.8	22.9	6.5	43.4	18.8	5.8	0.3	0.8	67.7

* Each 5 kg concentrate contained the ratio of gac fruit: wheat bran: brewer's grains, A: 10:0:0, B: 9:1:0, C: 8:2:0, D: 5:1:4, E: 4.5:1:4.5.

[#] DM: dry matter; CP: crude protein; EE: ether extract; NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber; IVDMD: in vitro dry matter digestibility.

II. 木鼈果青貯料發酵產酸情形

木鼈果青貯料有機酸含量之結果，如表 2，在青貯 30 天及 90 天後，各處理之間乙酸、丙酸及乳酸含量均有顯著差異，惟丁酸含量未達顯著差異。分析青貯 30 天之有機酸含量，乙酸含量最高者為高比例啤酒粕之 D、E 處理，分別為 1.3% 及 1.2%，B、C 處理居中，A 處理之乙酸含量 0.3% 為最低；丙酸含量方面，D、E 處理亦顯著高於 A、B、C 三處理；而在乳酸含量方面，添加麩皮之 B、C 處理組之乳酸含量分別為 2.4% 及 2.9%，顯著高於其他處理，其次為 A 處理乳酸含量 1.5%，亦顯著高於使用高比例啤酒粕之 D、E 兩處理。

青貯 90 天後，D、E 處理之乙酸含量 1.4% 顯著高於 A、B、C 三處理之 0.5 – 0.6%；在丙酸含量方面，D、E 處理亦顯著高於 A、B、C 三處理；而在乳酸含量方面，添加麩皮之 B、C 處理乳酸含量分別為 2.1% 及 2.6%，顯著高於其他處理，其次為 A 處理，其乳酸含量 1.5%，亦顯著高於添加啤酒粕之 D、E 兩處理。

以上結果顯示，純木鼈果副產物在厭氧狀態下，發酵產酸情形良好，而添加麩皮之 B、C 處理，其乙酸、丙酸含量顯著低於啤酒粕處理組 D、E，乳酸含量則顯著高於處理組 D、E，木鼈果青貯原料中添加不同比例之麩皮及啤酒粕，確實影響青貯料發酵後之有機酸組成，而不同青貯時間，各處理之乙酸、丙酸及乳酸含量相近。

表 2. 不同青貯時間對木鼈果副產物發酵產酸之影響

Table 2. Effects on silage fermentation characteristics of gac fruit by-products by different ensiling days

Ensiling day	Treatment*	Acetic acid	Propionic acid	Butyric acid	Lactic acid
----- % fresh weight -----					
30	A	0.3 ^c	0.0 ^b	0.0 ^a	1.5 ^b
	B	0.5 ^b	0.1 ^b	0.0 ^a	2.4 ^a
	C	0.6 ^b	0.1 ^b	0.0 ^a	2.9 ^a
	D	1.3 ^a	0.3 ^a	0.0 ^a	0.6 ^c
	E	1.2 ^a	0.3 ^a	0.0 ^a	0.5 ^c
90	A	0.5 ^b	0.0 ^b	0.1 ^a	1.5 ^b
	B	0.6 ^b	0.0 ^b	0.1 ^a	2.1 ^{ab}
	C	0.6 ^b	0.0 ^b	0.0 ^a	2.6 ^a
	D	1.4 ^a	0.3 ^a	0.0 ^a	0.7 ^c
	E	1.4 ^a	0.3 ^a	0.0 ^a	0.6 ^c

* The same as in Table 1.

a, b, c Means within the same column with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

III. 木鼈果青貯料之青貯品質影響

本試驗所有處理之 pH 值介於 3.9 – 4.5，乳酸 / 乙酸比介於 0.4 – 5.1%，總酸介於 1.9 – 3.5%，D、E 處理之青貯評分介於 41 至 60 分，屬於可接受等級，其餘處理皆為優良等級。木鼈果處理組合於不同青貯時間之青貯品質結果 (表 3)，青貯 30 天後，A、B、C 處理之乳酸 / 乙酸比 (4.5 – 5.1%) 及青貯評分 (優良等級 87.3 – 93.7) 均顯著高於 D、E 處理，pH 值顯著低於 D、E 處理，表示三處理之乳酸發酵情形良好，屬於可接受；在 pH 值、乳酸 / 乙酸比及青貯評分方面，A、B、C 三處理之間以及 D、E 兩處理之間均無顯著差異；在總酸方面，B、C 處理之總酸含量顯著高於 A、D、E 三處理，A 處理雖然與 B、C 兩處理有相近之乳酸 / 乙酸比，但總酸含量顯著為低。

表 3. 不同青貯時間之木鼈果副產物青貯料品質

Table 3. Silage quality of gac fruit by-products by different ensiling days

Ensiling day	Treatment*	pH	Lactic acid / Acetic acid	Total acid	Flieg's score
----- % fresh weight -----					
30	A	4.0 ^b	4.5 ^a	1.9 ^b	87.3 ^a
	B	3.9 ^b	4.9 ^a	3.0 ^a	91.0 ^a
	C	3.9 ^b	5.1 ^a	3.5 ^a	93.7 ^a
	D	4.4 ^a	0.5 ^b	2.3 ^b	51.0 ^b
	E	4.5 ^a	0.4 ^b	2.0 ^b	45.0 ^b
90	A	4.2 ^b	3.4 ^a	2.1 ^b	81.3 ^b
	B	4.1 ^{bc}	3.6 ^a	2.7 ^{ab}	83.0 ^{ab}
	C	4.0 ^c	4.9 ^a	3.2 ^a	96.3 ^a
	D	4.4 ^a	0.5 ^b	2.4 ^{ab}	48.0 ^c
	E	4.5 ^a	0.4 ^b	2.3 ^{ab}	47.0 ^c

* The same as in Table 1.

a, b, c Means within the same column with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

在青貯 90 天之結果，在 pH 值方面，A、B、C 處理顯著低於 D、E 處理，且 A 處理 (4.2) 顯著高於 C 處理 (4.0)，但與 B 處理 (4.1) 無顯著差異，又 B 與 C 兩處理、D 與 E 兩處理之間 pH 值亦無顯著差異；在乳酸 / 乙酸比方面，A、B、C 處理顯著高於 D、E 處理，A、B、C 三處理及 D、E 兩處理之間無顯著差異；總酸含量部分，C 處理顯著高於 A 處理，但與 B、D、E 處理之間無顯著差異；青貯評分方面，A、B、C 處理達優良等級，D、E 處理之青貯品質為可接受。

以上結果顯示，純木鼈果副產物及添加 10 至 20% 麩皮之處理組經不同青貯時間，均可達理想之 pH 值，發酵產酸情形良好，青貯品質亦佳，不同處理之木鼈果青貯料對青貯品質確有影響。

IV. 不同青貯時間對木鼈果青貯料營養成分之影響

本試驗於木鼈果青貯製作後 30 天及 90 天開封，表 4 為不同青貯時間對青貯料營養成分之影響。分析 30 天青貯料結果，DM 在 5 個處理間有顯著差異，以 C、D、E 三處理 DM 為最高 24.0 – 25.9%，其次為 B 處理 22.2%，A 處理 17.4% 最低；CP 在各處理間同樣具顯著差異，D、E 處理為最高且兩者間無差異，其次為 C 處理 15.3%，再其次為 B 處理 12.1%，A 處理 7.4% 為最低，添加麩皮與啤酒粕之處理組 CP 均較高，且隨添加比例明顯提高；NDF 在處理之間亦有顯著差異，以 A、D、E 較高且三者間無顯著差異，分別為 61.2、57.5 及 57.6%，B、C 處理之 NDF 較低且彼此之間無顯著差異；在 ADF 方面，A 處理 51.0% 顯著高於其它處理。

在青貯 90 天之營養成分結果顯示，DM 在處理之間有顯著差異，但與青貯 30 天之結果有所不同，C 處理有最高 DM 31.0%，顯著高於 A、B、D 三處理，但與 E 無顯著差異，A 處理之 DM 16.6% 顯著低於其他處理，推估不同青貯時間各處理 DM 含量變動，可能與木鼈果材料特性及取樣有關；在 CP 方面，添加高比例啤酒粕之 D、E 處理 CP 含量分別為 24.3 及 23.6%，兩者之間無差異，但顯著高於 A、B、C 三處理，B、C 處理為添加不同比例之麩皮，兩者 CP 含量分別為 10.8 及 12.9%，A 處理為最低 8.0%，但與 B 處理之間無差異；NDF 在各處理間無顯著差異；在 ADF 含量方面，A 處理 46.0% 顯著較高，其餘 4 處理 ADF 含量 26.0 至 31.4%，且四者之間無差異。綜合以上結果，不同青貯時間各處理之 CP 含量均與青貯原料比例有關，添加麩皮及啤酒粕之木鼈果青貯料可提高 DM，同時降低 ADF，而混合高比例啤酒粕，可提高青貯料之 CP，顯示不同處理對木鼈果青貯料營養成分造成影響。

表 4. 不同青貯時間對木鼈果副產物青貯料營養成分之影響

Table 4. Effects on chemical components of gac fruit by-products by different ensiling days

Ensiling day	Treatment [*]	DM [#]	CP	NDF	ADF
30	A	17.4 ^c	7.4 ^d	61.2 ^a	51.0 ^a
	B	22.2 ^b	12.1 ^c	52.3 ^b	31.4 ^b
	C	25.9 ^a	15.3 ^b	49.1 ^b	25.4 ^c
	D	24.0 ^{ab}	27.2 ^a	57.5 ^a	28.5 ^{bc}
	E	24.0 ^{ab}	24.8 ^a	57.6 ^a	30.2 ^{bc}
90	A	16.6 ^c	8.0 ^c	54.5 ^a	46.0 ^a
	B	25.3 ^b	10.8 ^{bc}	55.9 ^a	30.2 ^b
	C	31.0 ^a	12.9 ^b	48.9 ^a	26.0 ^b
	D	23.3 ^b	24.3 ^a	50.3 ^a	27.7 ^b
	E	26.0 ^{ab}	23.6 ^a	49.8 ^a	31.4 ^b

^{*} The same as in Table 1.

^{a, b, c} Means within the same column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

討 論

青貯材料之含水率、水溶性碳水化合物、植體緩衝能力及表面菌相等特性均會顯著影響青貯過程的微生物活性與生化反應，進而影響品質；調製作業的方式如細切度、擠壓方式、裝填速度及青貯容器亦會影響青貯品質 (王及陳, 2014; Rotz and Muck, 1994; Martin *et al.*, 2004)，適當的含水率及水溶性碳水化合物亦是影響發酵表現的重要因子 (王等, 2017)，而青貯品質攸關於動物飼糧應用，如能有效掌握農副產物之材料特性，將可確保青貯品質及營養

價值。*Dentinho et al. (2023)* 研究指出番茄、馬鈴薯、甘藷及胡蘿蔔等農副產物均具有高水分，因此容易腐敗、不易保存，混合後青貯是保存這些農副產物的好方法，該研究使用麩皮及苜蓿乾草降低混合材料之水分含量，製作出品質營養且穩定之青貯。*Razzaghzadeh et al. (2007)* 在南瓜剩餘物製作青貯之研究中，同樣因應材料特性，額外添加麥桿來調整青貯原料之含水率。此外，在混植黑麥草及白三葉草牧草青貯之研究，透過取樣及化學分析證實青貯原料之水分含量會影響乳酸及丁酸發酵，青貯後也可能造成營養組成及品質差異 (*Haslemore and Holland, 1981*)。*Kara et al. (2018)* 在蘋果渣及石榴渣之青貯研究中，試驗使用之蘋果渣及石榴渣取自於當地的果汁工廠，兩種果渣原料均包含果皮、果核及果肉等成分，富含纖維素、易消化碳水化合物 (如單醣、雙醣) 以及成分高低不均之有機酸、酚類化合物、類黃酮、茄紅素等其它化合物，試驗發現青貯料的化學成分差異取決於青貯材料、作物品種、生長條件 (地理位置、氣候、土壤特性)、異物和雜質的數量、不同的加工處理及測量方式，而不同化學組成會導致不同營養價值，以蘋果渣青貯料為例，雖然發酵產酸情形良好，乳酸含量高、pH 值僅 3.57，但因其原料高含水率之特性，導致高達 27.37% 的乾物質損失，而混合 50% 石榴渣及 50% 蘋果渣之青貯料，乾物質損失即減少至 22.46%。

本試驗使用同年度不同批次採收之木鼈果熟果，其副產物包含果皮及果肉，含有豐富的纖維素及容易分解的碳水化合物，水分含量高，純木鼈果副產物之青貯料雖有好的發酵產酸能力，青貯品質達優良等級，作為青貯使用具有可行性，但 DM 及 CP 等營養成分較低，為因應材料特性，採用不同比例之麩皮及啤酒粕添加於木鼈果副產物中調整含水率，其中添加 10 及 20% 麩皮之青貯料 DM 及 CP 均提高，同時降低 ADF，營養價值較高，乳酸含量介於 2.1 – 2.9% DM、乳酸 / 乙酸比為 3.6 – 5.1%，*Flieg's score* 均可達 80 分以上優良等級，兩者之間在營養成分及青貯品質上幾無差異，因此，在兼顧營養價值與經營成本之前提下，木鼈果副產物混合添加 10% 麩皮為較佳之木鼈果青貯處理，此與 *Das et al. (2022)* 利用廢棄蔬菜製作青貯作為羊隻飼料之研究結論一致，當地常見蔬菜廢棄物含水率高達 83 – 96%，試驗將蔬菜廢棄物混入 5% 糖蜜及 10% 麩皮，可提高青貯料 DM、乳酸菌及有機酸含量，降低 pH 值，青貯品質良好。

木鼈果副產物混合啤酒粕青貯料之 CP 含量達 23.57 – 27.18%，青貯後之 pH 值較其他組合為高，介於 4.39 – 4.49，且乙酸含量較高、乳酸含量較少，此應與啤酒粕蛋白質成分高，酸鹼值緩衝能力強，pH 值無法快速下降，發酵環境不利乳酸菌生長有關。啤酒粕處理組在青貯 30 及 90 天之分析結果，相較於其他三處理，乙酸含量較高、乳酸含量及乳酸 / 乙酸比較低，且 pH 較高，惟青貯評分可達 40 分以上，基此，木鼈果副產物在青貯 30 及 90 天之青貯品質均為可接受。一般而言，青貯後 DM 通常較青貯前為低，本試驗 A、B 處理青貯後 DM 有提高情形，推測係受木鼈果副產物高含水率之材料特性影響，該兩處理使用木鼈果副產物比例分別為 100 及 90%，青貯後水分流失較多，因採樣分析時，僅能針對剩餘固體狀青貯料進行取樣，因此 DM 分析結果反較青貯前原料為高，另各批次收穫青貯材料組成之變動，亦為可能影響因子。另依據青貯 30 天或 90 天之分析結果，純木鼈果副產物於青貯後，ADF、NDF 含量大幅提升，推估可能原因為植物材料之果肉占比大、含水量高，青貯發酵後易產生大量流出物損失 (effluent losses)，可溶性營養組成均釋出於流出物，青貯料中僅剩餘不易消化、較難分解之果皮部位，而使 ADF、NDF 偏高，此與 *Amorim et al. (2020)* 在小米青貯之研究結果一致，由於小米採收時植株含水量高，青貯後產生較高的流出物損失以及較高 ADF、NDF。

結 論

本研究首度運用木鼈果副產物作為青貯材料，比較各種測定資料在不同處理及青貯時間之差異，結果顯示，木鼈果副產物可利用青貯方式進行保存，青貯 30 天及 90 天之青貯評分均達可接受等級以上，可作為替代部分芻料使用，木鼈果副產物混合麩皮或啤酒粕可調整青貯料含水率，同時提高營養組成，考量經營成本及青貯品質，添加 10% 麩皮為較佳之處理。

參考文獻

- 王紓愍、游翠鳳、劉信宏、陳嘉昇。2012。成熟度、接種及材料加工對高水分玉米青貯發酵的影響。畜產研究 45：197-208。
- 王紓愍、陳嘉昇。2014。堆積、裝填密度與貯存時間對玉米青貯料發酵品質及開封後穩定性的影響。畜產研究 47：187-194。
- 王紓愍、游翠鳳、劉信宏、陳嘉昇。2017。接種與萎凋對盤固草 / 苜蓿混植草青貯發酵的影響畜產研究 50：134-

139。

- 李春芳、范耕榛、施柏齡、王紓愍、蕭宗法、張俊達。2019。甘藷等外品青貯料作為荷蘭泌乳牛飼糧之可行性評估。畜產研究 52：165-175。
- 薛銘童、何禎元、林書妍、陳信言。2020。原生種木鱨果營養價值介紹。臺東區農業專訊 113：16-19。
- Álvarez, S., P. Méndez, and A. Martínez-Fernández. 2015. Fermentative and nutritive quality of banana by-product silage for goats. *J. Appl. Anim. Res.* 43: 396-401.
- Amorim, D. S., R. Loiola Edvan, R. R. do Nascimento, L. R. Bezerra, M. J. de Araújo, A. L. da Silva, F. Mielezski, and K. D. S. Nascimento. 2020. Fermentation profile and nutritional value of sesame silage compared to usual silages. *Ital. J. Anim. Sci.* 19: 230-239.
- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). 2005. Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemist International, Washington (D.C.).
- Aoki, H., N. T. M. Kieu, N. Kuze, K. Tomisaka, and N. V. Chuyen. 2002. Carotenoid pigments in GAC fruit (*Momordica cochinchinensis* SPRENG). *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 66: 2479-2482.
- Charmley, E. 2001. Towards improved silage quality—A review. *Can. J. Anim. Sci.* 81: 157-168.
- Das, N. G., N. Sultana, S. M. Amanullah, M. A. Jalil, and K. S. Huque. 2022. Feeding of vegetable waste silage to lambs by replacing maize silage. *J. Appl. Anim. Res.* 50: 386-393.
- Dentinho, M. T. P., K. Paulos, C. Costa, J. Costa, L. Fialho, L. Cachucho, A. P. Portugal, J. Almeida, I. Rehan, A. T. Belo, E. Jerónimo, and J. Santos-Silva. 2023. Silages of agro-industrial by-products in lamb diets—Effect on growth performance, carcass, meat quality and in vitro methane emissions. *Anim. Feed Sci. Technol.* 298: 115603.
- Haslemore, R. M. and R. Holland. 1981. Sampling and chemical composition of silage from a farm stack: Variation in moisture content, and in degree of fermentation. *N. Z. J. Exp. Agr.* 9: 85-89.
- Jones, D. W. and J. J. Kay. 1976. Determination of volatile fatty acid C1-C6 and lactic acid in silage juice. *J. Sci. Food Agric.* 27: 1005-1014.
- Kara, K., B. K. Guclu, E. Baytok, E. Aktug, F. K. Oguz, A. Kamalak, and A. I. Atalay. 2018. Investigation in terms of digestive values, silages quality and nutrient content of the using pomegranate pomace in the ensiling of apple pomace with high moisture contents. *J. Appl. Anim. Res.* 46: 1233-1241.
- Kha, T. C., M. H. Nguyen, P. D. Roach, S. E. Parks, and C. Stathopoulos. 2013. Gac fruit: nutrient and phytochemical composition, and options for processing. *Food Reviews International* 29: 92-106.
- Martin, N. P., R. E. Muck, and B. J. Holmes. 2004. Silage density and dry matter loss of bag and bunker silos. In *Proceedings, Idaho Alfalfa and Forage Conference*, 23-24 February 2004.
- Ncobela, C. N., A. T. Kanengoni, V. A. Hlatini, R. S. Thomas, and M. Chimonyo. 2017. A review of the utility of potato by-products as a feed resource for smallholder pig production. *Anim. Feed Sci. Technol.* 227: 107-117.
- Razzaghzadeh, S., J. Amini-Jabalkandi, and A. Hashemi. 2007. Effects of different levels of pumpkin (*Cucurbita pepo*) residue silage replacement with forage part of ration on male buffalo calves fattening performance. *Ital. J. Anim. Sci.* 6: 575-577.
- Rotz, C. A. and R. E. Muck. 1994. Changes in forage quality during harvest and storage. in: *Forage quality, evaluation, and utilization*. Eds. Fahey, Jr. G. C., M. Collins, D. R. Mertens and L. E. Moser. American Society of Agronomy, Inc. Madison, p828-868.
- van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
- Vastolo, A., S. Calabrò, and M. I. Cutrignelli. 2022. A Review on the Use of Agro-Industrial CO-Products in Animals' Diets. *Ital. J. Anim. Sci.* 21: 577-594.

Feasibility evaluation of utilizing by-products of gac fruit (*Momordica cochinchinensis*) as silage ⁽¹⁾

Ying-Hui Chen ⁽²⁾⁽⁵⁾ Yi-huei Hsieh ⁽³⁾ Hsi-Wen Hung ⁽³⁾ and Ming-Tung Hsueh ⁽⁴⁾

Received: Jul. 2, 2024; Accepted: Nov. 28, 2024

Abstract

This experiment used the by-products of the gac fruit (*Momordica cochinchinensis*) to make silage, in attempt to increase additional value of gac fruit and reduce the environmental problems caused by agricultural waste. The experiment mixed different proportions of gac fruit by-products, wheat bran and brewer's grains as silage raw materials, and conducted a total of 5 treatments, including A (10:0:0), B (9:1:0), C (8:2:0), D (5:1:4), and E (4.5:1:4.5). Silos were opened after 30 and 90 days of storage. The results show that different treatments all had an impact on the nutritional content and organic acid composition of the silage. Adding wheat bran or brewer's grains to gac fruit by-products could increase the dry matter (DM) and crude protein (CP) of silage while reducing the acid-detergent fiber (ADF). Among the treatments, the neutral-detergent fiber (NDF) and ADF contents after silage were higher than those before silage. The lactic acid content and lactic acid/acetic acid ratio of treatments A, B, and C were significantly higher than those of treatments D and E with a high proportion of brewer's grains. Moreover, the pH values of treatments A, B, and C were significantly lower than those of treatments D and E. The silage quality of 5 treatments after opening were all above the acceptable level (41 score) of Flieg's score for silage, while treatments A, B, and C reach the excellent level. To sum up the above, the by-products of gac fruit could be preserved through silage. The use of silage could also increase the value of silage. Adding wheat bran and brewer's grains not only adjusted the moisture content of silage but also improved the nutritional composition of silage. Taking into account the operating cost and silage quality, the addition of 10% wheat bran would be the optimal treatment combination.

Key words: *Momordica cochinchinensis*, By-products, Silage.

(1) Contribution No. 2808 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

(2) Southern Branch, MOA-TLRI, Pingtung 94644, Taiwan, R. O. C.

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

(4) Taitung District Agricultural Research and Extension Station, MOA, Taitung city 950244, Taiwan, R. O. C.

(5) Corresponding author, E-mail: wa2933@tlri.gov.tw.

高鹽分灌溉水對狼尾草生長之影響⁽¹⁾

蔡立中⁽²⁾⁽³⁾ 李姿蓉⁽²⁾ 鍾萍⁽²⁾

收件日期：113 年 6 月 26 日；接受日期：113 年 12 月 9 日

摘 要

臺灣國產牧草自給率偏低，若能將濱海土地開發為新生耕地種植牧草，不僅能增加種植面積及國產牧草之供給，還能活化閒置土地。本研究以狼尾草 (*Pennisetum purpureum* Schum.) 台畜草三號、八號及九號作為研究材料，以澆灌 A. 0% (對照組)、B. 0.3%、C. 0.6% 及 D. 1% 之氯化鈉 (Sodium chloride, NaCl) 溶液來模擬狼尾草生長於不同鹽分環境，調查其品質及產量，並配合生理指標評估其生長狀況，以評估不同狼尾草品種之耐鹽性。調查結果顯示三個狼尾草品種於 0.6% 與 1% NaCl 鹽水澆灌處理之鮮重產量皆顯著低於對照組。將 SPAD 值 (soil-plant analysis development value) 及電解質滲漏率 (Electrolyte leakage rate) 分別與乾物產量進行相關性分析，其相關係數皆接近或大於 0.7，屬於高度相關。因此 SPAD 值及電解質滲漏率皆可很好地表現狼尾草於鹽分逆境下產量之改變。狼尾草植體營養成分受澆灌鹽水影響而改變，水溶性碳水化合物及澱粉含量在澆灌鹽水後顯著降低，鉀、鈣及鈉含量則隨著處理組鹽度提高而增加。臺灣南部沿海地下水鹽化嚴重之區域，其地下灌溉水電導度 (electrical conductivity, EC) 值最高約為 3 mS/cm。在本研究中，0.3% NaCl 處理組之灌溉水 EC 值約為 6 mS/cm，而三個狼尾草品種之乾物產量皆與其對照組無顯著差異，顯示狼尾草應具有承受臺灣南部沿海含鹽灌溉水鹽度之潛力。然而本研究僅探討澆灌鹽水之影響，實際種植於鹽土環境對狼尾草之影響仍待進一步研究闡明。

關鍵詞：狼尾草、含鹽灌溉水、耐鹽性、生理指標。

緒 言

臺灣國產牧草自給率偏低，擴大種植面積是提高牧草自給率的重要策略之一，然而臺灣寸土寸金，現有農地多已被使用，無法轉作為牧草用地。若能將濱海含鹽分高的閒置土地開發為新生耕地種植牧草，不僅能增加種植面積，活化閒置土地，種植狼尾草、甜高粱等高莖型牧草還有兼顧濱海防風之效果。一般濱海地區農地灌溉仰賴地下水，由於海水鹽分入侵等因素，濱海地區地下水多為高鹽或高鈉灌溉水，此類灌溉水中的鈉若過多積蓄在土壤裡，將使土壤不易形成強韌之團粒構造，導致土質惡化，排水不良，不易種植作物。土壤中水分移動主要依靠滲透勢 (Osmotic potential) 差，土壤長期施灌高鹽灌溉水，會使土壤滲透勢降低，作物根部不易吸收土壤水分從而引起脫水及氧化逆境，作物會誘導細胞內離層酸 (Abscissic acid) 合成，促使氣孔關閉與滲透調節物質累積以抵禦逆境。然而若此生理效應長時間維持，將導致作物光合作用下降，抑制作物生長、加速作物衰老 (Senescence) 或死亡。鹽分逆境帶給作物之傷害除了滲透勢之問題，過高的離子濃度也會對作物造成嚴重傷害 (Hniličková *et al.*, 2019)。一般造成作物鹽分逆境的物質主要為氯化鈉 (sodium chloride, NaCl)，過量的鈉會抑制作物根部對鉀的吸收，鉀與維持植物體之細胞膨壓、膜電位及酵素活性有關，因此長期遭受鹽分逆境將導致植物細胞內離子不平衡，進而引發嚴重的生理障害，影響作物生長 (Zhu, 2007)。

一般土壤電導度 (Electrical conductivity, EC) 大於 4 mS/cm 即為鹽土，大部分作物之生長便開始受影響 (謝及王, 1995)。研究顯示有些牧草具有較高之耐鹽性，如百慕達草 (*Cynodon dactylon* L. Pers.)、Saltgrass (*Distichlis spicata* L.)、濱藜 (*Atriplex lentiformis*) 等 (Pasternak *et al.*, 1993; Glenn *et al.*, 2013)，種植在高鹽環境下產量沒有明顯下降，因此濱海鹽分地仍有望規劃為牧草種植地，然而目前對於國產牧草之耐鹽性尚未有深入了解。狼尾草 (*Pennisetum purpureum* Schum.) 為主要的國產牧草之一，國內目前由農業部畜產試驗所陸續育成台畜草一至九號等共 9 個品種 (李等, 2018；林等, 2018；范等, 2019；農業部畜產試驗所, 2023)。台畜草三、六號葉尖株高約 40 至 95 公分，其葉

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2809 號。

(2) 農業部畜產試驗所飼料作物組。

(3) 通訊作者，E-mail: humanspider123@tlri.gov.tw。

莖比高之特性適合家禽鮮飼或製成寵物用草等用途。台畜草七、八號葉尖株高約 120 至 170 公分，此兩品種莖粗不容易倒伏，有利於機械採收。台畜草二、四、五號葉尖株高可達 200 公分以上，不僅產量較高，除了台畜草二號為目前臺灣種植面積最廣泛之品種外，還有台畜草四號及五號分別能做為生質能與萃取花青素等特殊用途。台畜草九號為耐逆境選育品種，具有耐淹水特性，淹水 2 週仍不影響收穫產量及品質。

透過測量作物之 SPAD 值 (Soil-plant analysis development value) 及電解質滲漏率 (electrolyte leakage rate, EL) 等生理指標，能準確評估其耐逆境能力，是為簡單、快速耐逆境檢測方法之一 (Huang and Fry, 1998; Keshavars *et al.*, 2012)。測量 SPAD 值之原理為測量植株葉片 650 nm 和 940 nm 兩個波長的透射率，以此估計葉片之綠色程度 (Barutçular *et al.*, 2016)。SPAD 值與葉片萃取之葉綠素含量呈高度正相關 (Netto *et al.*, 2005)。因此作物之 SPAD 值越高代表其葉綠素含量越高，生長狀況越好。細胞膜由雙層磷脂質構成，在作物遭遇高溫、低溫、乾旱、淹水和高鹽等逆境時，細胞之代謝途徑異常，造成細胞膜構造改變，使之通透性增加，導致細胞電解質滲漏提高 (陳, 2013)，因此電解質滲漏率在逆境下會提高。

本研究以國產主要牧草之一的狼尾草作為研究材料，以澆灌含鹽灌溉水方式模擬狼尾草於高鹽環境下之生長，調查其生長品質及產量，並配合生理指標評估其生長狀況，以檢測不同狼尾草品種之耐鹽性。本研究之試驗成果亦能精進狼尾草於高鹽環境下之栽培管理，為農民未來於濱海鹽分地種植狼尾草時提供依據。

材料與方法

I. 試驗材料與試驗處理

本試驗於臺南市新化區農業部畜產試驗所試驗區之網室內進行，試驗期間為 112 年 4 至 6 月，4 月 28 日開始試驗，6 月 29 日收割材料結束試驗。本試驗以狼尾草台畜草三、八、九號 (Napier grass Taishiu grass No. 3, 8, 9; NP cv. TS 3, 8, 9) 為試驗材料，採用 $40 \times 40 \times 35 \text{ cm}^3$ 之盆栽栽培，採取一般慣行之栽培模式。將每個盆栽各移植兩株狼尾草二節苗，使其生長 8 週後予以青刈，隨後將試驗材料移至可遮雨之網室內，任其正常再生 1 週後開始試驗處理。處理期間澆灌不同濃度之 NaCl 溶液，對照組以一般灌溉水源 (0%，A 組) 澆灌盆栽，處理組參考王等 (2012) 及 Maksup *et al.* (2020) 發表之狼尾草耐鹽閾值設定濃度梯度，分別澆灌 B. 0.3%、C. 0.6%、D. 1% 之 NaCl 溶液，灌溉水電導度值依序為 0.45、6.05、10.86、18.07 mS/cm。每週澆水 2 次，每次澆水量固定為 3 L。試驗盆栽排列採完全隨機設計 (completely randomized design, CRD)，四重複。試驗處理第 7 週 (生育期第 8 週) 後青刈試驗材料地上部分，進行農藝性狀、生理指標、植體營養成分之調查及分析。

II. 農藝及經濟性狀調查

- (i) 葉尖株高 (plant height of leaf tip)：將植株葉部向上方拉直，自土面量至葉片頂點，每盆測量 3 次。
- (ii) 鮮重產量 (fresh yield, FY)：於青刈後收其莖葉部分秤重計算每盆鮮重產量。
- (iii) 乾物產量 (dry matter yield, DY)：記錄完鮮重產量後將試驗材料以 65°C 烘乾至恆重，後秤其乾物產量。
- (iv) 乾物率 (dry matter)：乾物產量與鮮重產量之比值 (DY/FY)。
- (v) 莖徑圍 (stem diameter)：分別測量莖徑長與莖徑寬，再予以平均，每盆測量 3 次。
- (vi) 分蘗數 (tiller)：於青刈後予以再生一週，調查每盆之分蘗數。

III. 生理指標項目與分析方法

- (i) SPAD 值：SPAD 值之測量方法改良自廖 (2018) 之方法，以葉綠素計 (Chlorophyll meter, SPAD-502Plus, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan) 對植株葉片進行非破壞性之 SPAD 值測量，測量部位為葉片中央葉寬最大之處並且避開中肋。每盆測量三葉，每葉取一測量點。
- (ii) 電解質滲漏率：電解質滲漏率之測定方法及計算公式參考周等 (2017) 及廖 (2018) 之方法，每盆取五片避開中肋之成熟葉圓片 (直徑為 0.6 cm)，以去離子水洗淨後置入離心管並加入 15 mL 之純水。將樣本以 100 rpm 震盪 3 小時，後以電導度計 (Microprocessor benchtop conductivity/resistivity meter, SC-2300, SUNTEX INSTRUMENTS Co. Ltd., New Taipei City, Taiwan) 測定初始電導度 (Initial electrical conductivity, EC_0)。接著將樣本置入 $95 - 100^\circ\text{C}$ 之熱水浴 30 分鐘破壞細胞膜，待其回復至室溫後測定最大電導度 (Maximum electrical conductivity, EC_1)。電解質滲漏率之計算公式： $EL(\%) = (EC_0 / EC_1) \times 100\%$ 。

IV. 植體營養成分分析方法

- (i) 收割材料後進行 65°C 之烘乾作業，並磨粉進行植體營養成分分析。
- (ii) 粗蛋白質 (crude protein)：以 Kjeldahl 法測定 (A.O.A.C., 1990)。

- (iii) 水溶性碳水化合物 (water soluble carbohydrate, WSC)：將植體樣本加入蒸餾水以 100℃ 煮沸後冷卻並定量至 100 mL，後取適量萃取液依照 Paleg (1959) 之比色法測定，以分光光譜儀 (Double beam spectrophotometer, U-2900, Hitachi High-Tech Corp. Tokyo, Japan) 設定波長 560 nm 對樣本進行水溶性碳水化合物含量之測定。
- (iv) 澱粉 (starch)：以 Yoshida *et al.* (1976) 之方法進行萃取，將植體樣本製成萃取液並加入呈色劑，之後以標準品檢量線經分光光譜儀測定 560 nm 之吸光值測定樣本之澱粉含量。
- (v) 中洗纖維 (Neutral detergent fiber, NDF)：以纖維分析器 (Fiber analyzer, A200, ANKOM Technology Corp., Macedon, NY., USA.) 進行測定。
- (vi) 酸洗纖維 (acid detergent fiber, ADF)：以纖維分析器進行測定。
- (vii) 礦物元素 (P、K、Ca、Mg、Na)：將植體樣本以分光光譜儀及原子吸收光譜儀 (Polarized Zeeman atomic absorption spectrophotometer, Z-8230, Hitachi High-Tech Corp. Tokyo, Japan) 進行礦物元素之測定。

V. 土壤成分分析

於試驗前後分別採集土壤，並分析土壤質地、pH 值、電導度值、有機質 (Organic matter, OM)、氮，及磷、鉀、鈣、鎂、鈉等礦物元素。

VI. 統計分析

試驗資料以 SPSS 軟體 (SPSS. 2011. SPSS Statistics for Windows, Version 20.0. SPSS Inc., Chicago, IL. USA.) 進行統計分析，以 One-Way ANOVA test 比較組間之差異顯著性，並以 LSD test 進行事後比較，相關性分析以皮爾森積差相關分析 (Pearson Correlation) 進行。

結果與討論

本試驗於農業部畜產試驗所之試驗田進行，試驗期間為 4 月至 6 月之初夏季，採盆栽試驗，以澆灌鹽水方式模擬鹽分逆境對狼尾草之影響。土壤質地為砂質粘壤土，試驗前之土壤成分背景值，如表 1。

表 1. 試驗前之土壤成分背景值

Table 1. Soil composition before present study

pH	EC ¹	OM	N	P	K	Ca	Mg	Na	Soil texture
	mS/cm	%	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	
5.3	3.32	7.4	0.28	549.6	612.5	0.20	430.0	74.3	Sandy clay loam

¹ EC: Electrical conductivity; OM: Organic matter.

農藝性狀之調查結果，如表 2。三個狼尾草品種在不同濃度 NaCl 處理下之葉尖株高沒有顯著差異，惟 1% NaCl 處理組之葉尖株高較對照組有降低之趨勢。台畜草三號及九號在 0.6%、1% NaCl 處理組之鮮重產量皆顯著低於對照組；台畜草八號則為三個 NaCl 處理組皆顯著低於對照組。此外，台畜草三號及九號 0.6%、1% NaCl 處理組之乾物產量皆顯著低於對照組，台畜草八號只有 1% NaCl 處理組顯著低於對照組。乾物率方面有隨著 NaCl 處理濃度提高而增加的趨勢。莖徑圍方面，台畜草三號所有處理組皆顯著低於對照組，台畜草八號及九號之 1% NaCl 處理組亦有降低，但與對照組相比未達顯著。再生之分蘗數方面，所有 NaCl 處理組在三個品種中皆較對照組具有顯著降低，其中 0.6、1% NaCl 處理組分蘗數僅為個位數，已將近死亡，顯示已幾乎不可能再生。本研究 B. 0.3%、C. 0.6% 及 D. 1% 等三個 NaCl 處理組之體積莫耳濃度約等於 50、100 及 170 mM，依產量之結果顯示從 0.6% NaCl 濃度以上其鮮重產量開始具有顯著降低。過去研究顯示狼尾草之耐鹽閾值約在 0.57% (王等, 2012)，並且在 100 mM 之 NaCl 培養液下生長之狼尾草，其根部構造開始出現破壞，150 mM 以上則顯示出永久性枯萎與死亡 (Maksup *et al.*, 2020)。本研究之結果與過去對狼尾草耐鹽閾值之描述相符。

生理指標方面 (表 3)，SPAD 值在澆灌鹽水後降低，台畜草三號只有 1% NaCl 處理組顯著低於對照組，台畜草八號之 0.6、1% NaCl 處理組皆顯著低於對照組，台畜草九號之三個 NaCl 處理組皆顯著低於對照組。電解質滲漏率在澆灌鹽水後增高，台畜草三號之 1% NaCl 處理組顯著高於對照組，台畜草八號及台畜草九號之 0.6、1% NaCl 處理組皆顯著高於對照組。Sharavdorj *et al.* (2022) 針對紅菽草 (Red clover, *Trifolium pratense*) 及 Tall fescue (*Festuca arundinacea*) 兩種牧草進行 100 mM 濃度之 NaCl 鹽水澆灌，發現澆灌鹽水後兩種牧草之產量及 SPAD 值皆顯著低於對照組，而在添加能抑制高濃度 NaCl 影響之硫酸鈣及硫酸鎂後，產量及 SPAD 值皆增加，顯著高於只添加 NaCl 灌

表 2. 鹽水澆灌對狼尾草農藝性狀之影響

Table 2. The effect of saline irrigation water on agronomic traits of the different Napier grass varieties

Variety	Treatment	PHL ²	FY	DY	DM	SD	Tiller
	% NaCl	cm	kg/pot/cut	kg/pot/cut	%	mm	number/pot
NP cv. TS 31	A. 0	83.50 ± 5.943	0.87 ± 0.12 ^a	0.18 ± 0.02 ^a	21.13 ± 1.45	12.40 ± 1.06 ^a	74.75 ± 18.37 ^a
	B. 0.3	85.58 ± 7.37	0.85 ± 0.10 ^a	0.22 ± 0.04 ^a	25.65 ± 1.50	10.84 ± 0.88 ^b	25.00 ± 6.58 ^b
	C. 0.6	81.92 ± 12.37	0.57 ± 0.04 ^b	0.14 ± 0.01 ^b	23.83 ± 1.70	10.43 ± 0.61 ^b	6.50 ± 2.65 ^c
	D. 1	79.00 ± 6.75	0.34 ± 0.06 ^c	0.09 ± 0.01 ^c	28.11 ± 5.83	10.08 ± 0.44 ^b	0.50 ± 0.58 ^c
NP cv. TS 8	A. 0	103.17 ± 14.91	0.72 ± 0.08 ^a	0.16 ± 0.02 ^a	22.11 ± 2.16 ^b	12.01 ± 2.04	23.25 ± 5.56 ^a
	B. 0.3	101.42 ± 4.03	0.55 ± 0.15 ^b	0.15 ± 0.04 ^a	27.43 ± 0.61 ^a	11.59 ± 0.18	15.75 ± 7.63 ^b
	C. 0.6	93.33 ± 8.25	0.47 ± 0.02 ^b	0.12 ± 0.02 ^a	26.41 ± 3.06 ^a	11.17 ± 2.01	2.50 ± 2.08 ^c
	D. 1	86.92 ± 5.70	0.25 ± 0.03 ^c	0.07 ± 0.00 ^b	27.77 ± 2.08 ^a	10.86 ± 1.18	0.00 ± 0.00 ^c
NP cv. TS 9	A. 0	112.92 ± 15.09	0.85 ± 0.15 ^a	0.21 ± 0.04 ^a	24.42 ± 0.96 ^b	11.62 ± 1.64 ^{ab}	59.50 ± 18.63 ^a
	B. 0.3	114.17 ± 14.46	0.73 ± 0.05 ^a	0.20 ± 0.02 ^a	27.78 ± 2.62 ^b	13.19 ± 0.81 ^a	22.50 ± 9.75 ^b
	C. 0.6	114.92 ± 9.89	0.58 ± 0.08 ^b	0.14 ± 0.01 ^b	25.23 ± 2.59 ^b	12.66 ± 0.81 ^a	3.00 ± 6.00 ^c
	D. 1	103.25 ± 7.08	0.23 ± 0.06 ^c	0.09 ± 0.00 ^c	40.02 ± 9.80 ^a	9.93 ± 1.71 ^b	0.00 ± 0.00 ^c

¹ NP cv. TS 3, 8, 9; Napier grass Taishiu grass No. 3, 8, and 9.

² PHL: Plant height of leaf tip; FY: Fresh yield; DY: Dry matter yield; DM: Dry matter; SD: Stem diameter.

³ Mean ± SD.

^{a, b, c} Means within the same variety in the same column with different superscripts differ significantly(P < 0.05).

溉水之組別。在本研究中 SPAD 值在鹽分逆境下降低，處理組之產量亦顯著低於對照組，兩者變化之方向一致，符合過去文獻之描述。在逆境之下若植物之電解質滲漏率數值越高，表示植物細胞膜受傷越嚴重，生長狀況越不佳。Hniličková *et al.* (2019) 以萵苣 (*Lactuca sativa* L. cv. Orion)、番杏 (*Tetragonia tetragonoides* (Pall) Kuntze) 及馬齒莧 (*Portulaca oleracea* L. cv. Green Purslane) 等不同種蔬菜作物分別於 0、50、100、200 及 300 mM 之 NaCl 鹽分梯度下進行生長狀況之觀察及電解質滲漏率之測定，結果顯示所有品種之電解質滲漏率皆隨著澆灌鹽水之鹽度增加而有顯著上升，且產量亦有顯著降低。在本研究中電解質滲漏率在澆灌鹽水後具有顯著提高，其變化方向亦與過去文獻描述之情形相符。將 SPAD 值及電解質滲漏率分別與乾物產量進行相關性分析，其結果顯示 SPAD 值與乾物產量成顯著正相關，電解質滲漏率與乾物產量則成顯著負相關，兩者之相關係數皆接近或大於 0.7，屬於高度相關 (圖 1)。蔡等 (2022) 針對狼尾草之不同生理指標在乾旱處理下與產量之相關性，其結果顯示 SPAD 值及電解質滲漏率與產量之相關性最高，此兩種生理指標與乾物產量之相關係數分別為 0.737 及 -0.837，與本研究之相關係數結果約略相等 (分別為 0.797 及 -0.825)，顯示不只是乾旱逆境，在鹽分逆境下 SPAD 值及電解質滲漏率同樣可以很好地表現產量之改變，能作為優良的生理指標評估狼尾草的耐鹽能力。

表 3. 鹽水澆灌對狼尾草生理指標之影響

Table 3. The effect of saline irrigation water on SPAD values and electrolyte leakages of the different Napier grass varieties

Variety	Treatment	SPAD value ²	EL
	% NaCl		%
NP cv. TS 3 ¹	A. 0	46.1 ± 6.33 ^a	40.1 ± 22.4 ^b
	B. 0.3	47.6 ± 5.7 ^a	32.7 ± 10.8 ^b
	C. 0.6	38.9 ± 12.2 ^a	58.1 ± 20.6 ^{ab}
	D. 1	23.0 ± 8.2 ^b	79.8 ± 16.9 ^a
NP cv. TS 8	A. 0	32.8 ± 2.6 ^a	16.6 ± 1.6 ^c
	B. 0.3	33.5 ± 4.3 ^a	26.4 ± 6.2 ^c
	C. 0.6	23.1 ± 4.3 ^b	50.3 ± 17.9 ^b
	D. 1	16.2 ± 2.5 ^c	86.0 ± 9.1 ^a
NP cv. TS 9	A. 0	37.6 ± 2.4 ^a	25.9 ± 9.7 ^c
	B. 0.3	31.0 ± 2.5 ^b	36.9 ± 2.4 ^c
	C. 0.6	24.7 ± 5.0 ^c	64.0 ± 12.2 ^b
	D. 1	15.2 ± 4.2 ^d	95.6 ± 2.2 ^a

¹ As shown in Table 2.

² SPAD value: Soil-plant analysis development value; EL: Electrolyte leakage.

³ As shown in Table 2.

a, b, c, d Means within the same variety in the same column with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

植體營養成分分析之結果，如表 4。粗蛋白質含量在台畜草八號及台畜草九號之所有 NaCl 處理組皆顯著高於對照組，台畜草三號雖然也有上升趨勢但差異不顯著。水溶性碳水化合物及澱粉含量在澆灌鹽水後亦有顯著降低，所有品種的兩者皆以 1% NaCl 處理組為最低。中洗纖維及酸洗纖維含量在澆灌鹽水後顯著降低。飼料作物之粗蛋白質含量與其消化率成正比 (Lee, 2018)，一般而言，植物在逆境下生長狀況不佳，植體粗蛋白質含量會降低 (Habermann *et al.*, 2019)。然而在本研究中，粗蛋白質含量隨著鹽度上升卻呈現增加之狀況，其原因可能與植物在逆境下合成某些抗逆境蛋白有關 (Pareek *et al.*, 1997)。水溶性碳水化合物多寡代表植物之營養狀況，在逆境下如果能維持較高的水溶性碳水化合物含量被認為是具有較佳的營養狀況，表示耐逆境能力較佳 (Hou *et al.*, 2018)。在本研究中所有品種之 0.6、1% NaCl 處理組水溶性碳水化合物含量皆顯著低於對照組，表示此三個品種在 0.6% 以上之鹽度下生長狀況受影響，能與產量之結果相對應。澱粉作為另一種碳水化合物貯存形式，當植物遭受逆境影響，光合作用下降時，水解澱粉可以為植物提供能量和碳來源 (Dien *et al.*, 2019)。在本研究中，主要以 1% NaCl 處理組之澱粉含量與對照組之差異較大，而水溶性碳水化合物含量之結果為 0.6% NaCl 處理組便已顯著低於對照組，顯示比起澱粉，水溶性碳水化合物較容易受到鹽分逆境之影響。中洗纖維及酸洗纖維攸關飼料作物之適口性及消化率 (Waghorn and Clark, 2004)，通常兩者與適口性及消化率呈負向關係，亦即纖維含量增加則牧草品質降低。在植物的生長過程中，有許多因素都會影響中洗纖維及酸洗纖維含量，如植體發育階段、葉莖比、氣溫及雨量等環境因子，以及營養狀況

(Liu *et al.*, 2018)。一般而言在逆境下，植體之中洗纖維與酸洗纖維含量皆會降低，其原因與植物受逆境影響生長受抑制，使纖維無法累積有關 (Küchenmeister *et al.*, 2013)，本研究之結果符合過去文獻之描述。

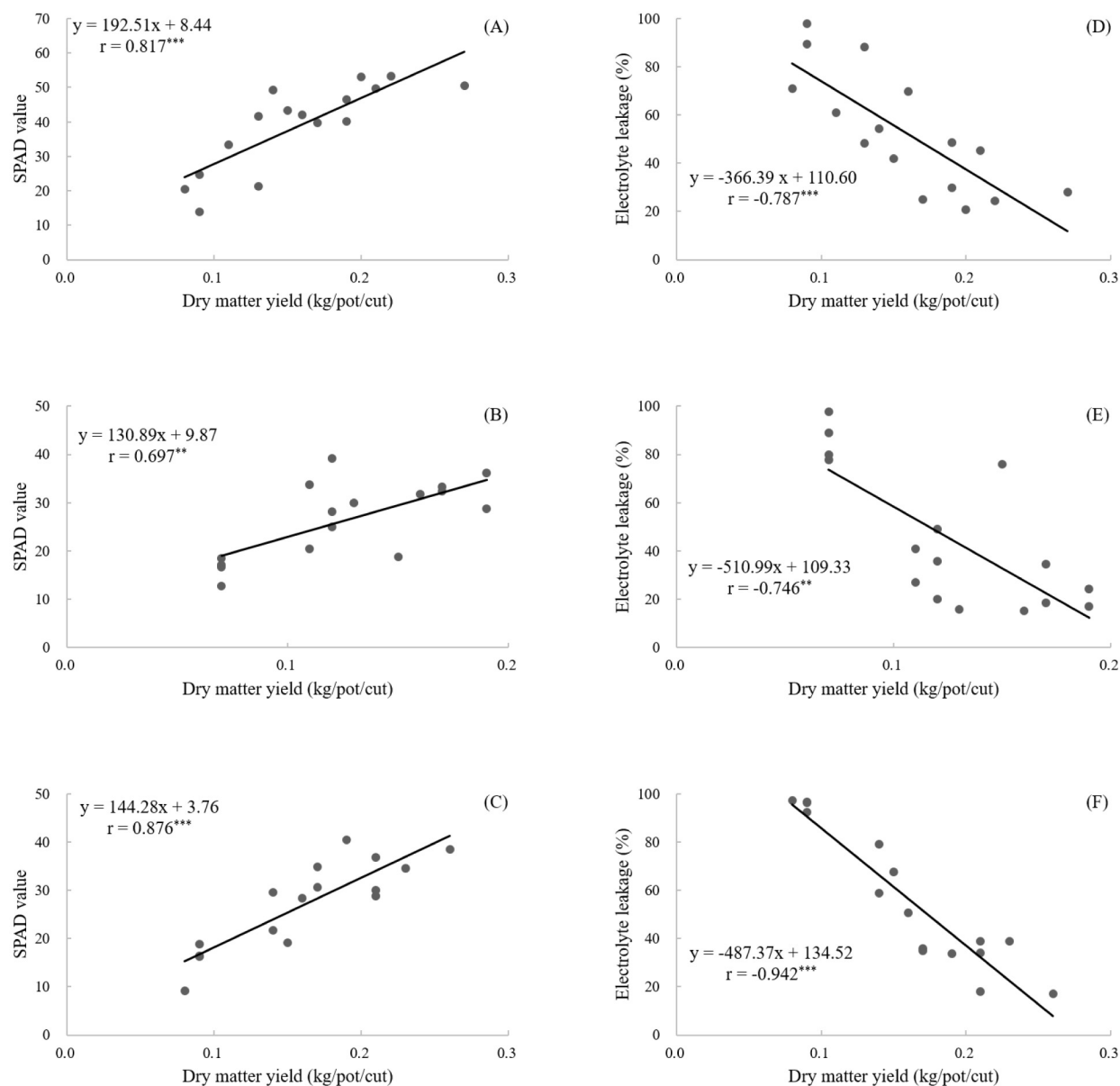


圖 1. 狼尾草台畜草三號乾物產量與 SPAD 值 (A)、台畜草八號乾物產量與 SPAD 值 (B)、台畜草九號乾物產量與 SPAD 值 (C)、台畜草三號乾物產量與電解質滲漏率 (D)、台畜草八號乾物產量與電解質滲漏率 (E) 及台畜草九號乾物產量與電解質滲漏率 (F) 之相關性分析。

Fig. 1. Correlation analysis between dry matter yield and SPAD value of Napier grass Taishiu grass No. 3 (A), Napier grass Taishiu grass No. 8 (B), and Napier grass Taishiu grass No. 9 (C), and between dry matter yield and electrolyte leakage of Napier grass Taishiu grass No. 3 (D), Napier grass Taishiu grass No. 8 (E), and Napier grass Taishiu grass No. 9 (F).

** Means $P < 0.01$, *** Means $P < 0.001$.

礦物元素方面，所有處理組之磷含量皆顯著低於對照組，鎂含量無明顯變化，鉀、鈣、鈉含量皆隨著處理組鹽度提高而增加，其中以鈉含量之差異最大 (表 5)。鉀及鈣是植物在逆境下的滲透調節物質，能增加植物對缺水的耐受性 (Karimi *et al.*, 2018)，一般而言，土壤中過量的鈉會抑制植物根部對鉀的吸收 (Zhu, 2007)，在本研究中卻並未看到此情形，縱使 1% NaCl 處理組之鈉含量為對照組的 41.4、31.7 及 47.7 倍 (台畜草三號、八號及九號)，其鉀含量卻不減反增，此結果與 Hniličková *et al.* (2019) 隨著處理組鹽度增加，鉀含量降低之結果不符。然而有些文獻亦提出在乾旱逆境下鉀及鈣含量增加 (Patakas *et al.*, 2002)，間接說明本研究之狼尾草在經歷澆灌鹽水後，可能引起乾旱之效應發生。

表 4. 鹽水澆灌對狼尾草植體營養成分之影響

Table 4. The effect of saline irrigation water on chemical contents of the different Napier grass varieties

Variety	Treatment	CP ²	WSC	Starch	NDF	ADF
	% NaCl	----- % -----				
NP cv. TS 3 ¹	A. 0	10.8 ± 2.83	5.6 ± 0.8 ^a	16.7 ± 1.9 ^a	56.0 ± 1.4 ^a	30.7 ± 1.6 ^a
	B. 0.3	14.2 ± 2.7	4.8 ± 1.1 ^{ab}	18.3 ± 1.1 ^a	51.2 ± 2.1 ^b	25.9 ± 1.4 ^b
	C. 0.6	14.1 ± 2.1	3.8 ± 1.2 ^b	17.2 ± 0.7 ^a	51.6 ± 1.4 ^b	26.4 ± 1.5 ^b
	D. 1	15.8 ± 1.0	2.1 ± 0.8 ^c	14.0 ± 2.2 ^b	45.8 ± 1.8 ^c	23.0 ± 1.2 ^c
NP cv. TS 8	A. 0	6.2 ± 0.8 ^c	9.8 ± 1.5 ^a	15.9 ± 0.4 ^b	58.3 ± 0.4 ^a	33.3 ± 0.5 ^a
	B. 0.3	8.6 ± 1.8 ^b	6.5 ± 1.5 ^b	18.0 ± 0.4 ^a	57.3 ± 2.7 ^a	30.3 ± 2.7 ^b
	C. 0.6	10.7 ± 0.7 ^a	3.7 ± 0.2 ^c	17.0 ± 0.8 ^b	55.9 ± 3.4 ^a	28.7 ± 1.7 ^{bc}
	D. 1	11.0 ± 1.0 ^a	3.0 ± 0.1 ^c	14.6 ± 1.1 ^c	50.2 ± 1.4 ^b	26.3 ± 0.9 ^c
NP cv. TS 9	A. 0	6.5 ± 1.0 ^d	6.8 ± 0.5 ^a	16.1 ± 1.0 ^b	61.8 ± 1.0 ^a	33.2 ± 0.8 ^a
	B. 0.3	8.5 ± 0.6 ^c	5.3 ± 1.1 ^a	17.3 ± 0.3 ^a	56.5 ± 2.4 ^b	29.1 ± 2.0 ^b
	C. 0.6	12.1 ± 0.6 ^b	3.7 ± 1.6 ^c	15.0 ± 0.7 ^c	50.9 ± 2.6 ^c	25.4 ± 1.2 ^c
	D. 1	13.7 ± 1.3 ^a	1.4 ± 0.0 ^d	11.4 ± 0.4 ^d	44.9 ± 1.5 ^d	23.4 ± 0.5 ^d

¹ As shown in Table 2.² CP: Crude protein; WSC: Water soluble carbohydrate; NDF: Neutral detergent fiber; ADF: Acid detergent fiber.³ As shown in Table 2.^{a, b, c, d} Means within the same variety in the same column with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

表 5. 鹽水澆灌對狼尾草礦物元素成分之影響

Table 5. The effect of saline irrigation water on mineral element contents of the different Napier grass varieties

Variety	Treatment	P	K	Ca	Mg	Na
	% NaCl	----- % -----				
NP cv. TS 3 ¹	A. 0	0.48 ± 0.102 ^a	4.33 ± 0.34	0.41 ± 0.05 ^c	0.32 ± 0.04 ^c	0.08 ± 0.02 ^c
	B. 0.3	0.30 ± 0.03 ^b	4.63 ± 0.14	0.51 ± 0.04 ^b	0.39 ± 0.04 ^{ab}	0.35 ± 0.06 ^b
	C. 0.6	0.33 ± 0.01 ^b	4.88 ± 0.29	0.52 ± 0.05 ^b	0.37 ± 0.04 ^{bc}	0.58 ± 0.08 ^b
	D. 1	0.35 ± 0.04 ^b	4.74 ± 0.34	0.64 ± 0.06 ^a	0.44 ± 0.05 ^a	3.31 ± 0.32 ^a
NP cv. TS 8	A. 0	0.72 ± 0.07 ^a	2.14 ± 0.34 ^c	0.36 ± 0.04 ^c	0.59 ± 0.05	0.10 ± 0.01 ^d
	B. 0.3	0.40 ± 0.04 ^b	2.40 ± 0.20 ^c	0.50 ± 0.09 ^b	0.58 ± 0.04	0.49 ± 0.05 ^c
	C. 0.6	0.36 ± 0.02 ^b	3.10 ± 0.46 ^b	0.53 ± 0.04 ^b	0.56 ± 0.06	2.29 ± 0.29 ^b
	D. 1	0.42 ± 0.03 ^b	3.88 ± 0.19 ^a	0.62 ± 0.01 ^a	0.54 ± 0.08	3.17 ± 0.02 ^a
NP cv. TS 9	A. 0	0.49 ± 0.10 ^a	3.13 ± 0.51 ^c	0.33 ± 0.01 ^d	0.34 ± 0.06	0.09 ± 0.01 ^c
	B. 0.3	0.37 ± 0.04 ^b	4.16 ± 0.36 ^b	0.41 ± 0.02 ^c	0.31 ± 0.02	0.25 ± 0.05 ^c
	C. 0.6	0.34 ± 0.01 ^b	3.97 ± 0.31 ^b	0.48 ± 0.05 ^b	0.35 ± 0.03	2.00 ± 0.34 ^b
	D. 1	0.35 ± 0.02 ^b	5.15 ± 0.08 ^a	0.56 ± 0.07 ^a	0.38 ± 0.04	4.29 ± 0.00 ^a

¹ As shown in Table 2.² Mean ± SD.^{a, b, c, d} Means within the same variety in the same column with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

表 6 呈現試驗處理結束後土壤之 pH 值、電導度及有機質含量。土壤 EC 值隨著處理組鹽度增加而顯著上升，其中台畜草八號之土壤 EC 值較另外兩品種稍低。土壤 EC 值大於 2 mS/cm 之土壤即可稱為鹽土，EC 值介於 2 — 4 mS/cm 為輕微鹽害鹽土，開始影響鹽害敏感作物或某些作物之幼苗；EC 值介於 4 — 8 mS/cm 為中度鹽土，開始影響大部分作物之生長；EC 值介於 8 — 16 mS/cm 為高度鹽土，只適合部分耐鹽植物生長，而 EC 值 16 mS/cm 以上時，只有極端耐鹽之作物可以生長（謝及王，1995）。在本研究中所有品種 0.3% NaCl 處理組之乾物產量皆較對照組無顯著降低，其土壤 EC 值介於 6 — 10 mS/cm，屬於中度至高度鹽土之間。灌溉水鹽分若高於 0.75 mS/cm，即

開始對作物栽培產生不利影響，臺灣南部沿海地下水鹽化嚴重之區域，其地下灌溉水 EC 值最高為 3.09 mS/cm (蔡等, 2015)，在本研究中，0.3% NaCl 處理組之灌溉水 EC 值為 6.05 mS/cm，顯示狼尾草應具有承受臺灣南部沿海含鹽灌溉水鹽度之潛力。

表 6. 鹽水澆灌對土壤 pH 值、電導度及有機質含量之影響

Table 6. The effect of saline irrigation water on pH, electrical conductivity, and organic matter of the soil

Variety	Treatment	pH	EC ²	OM
	% NaCl		mS/cm	%
NP cv. TS 3 ¹	A. 0	6.30 ± 0.113 ^a	1.59 ± 0.18 ^c	6.45 ± 0.31
	B. 0.3	5.76 ± 0.13 ^b	9.18 ± 0.57 ^b	7.69 ± 0.93
	C. 0.6	5.94 ± 0.23 ^b	12.43 ± 1.95 ^a	9.83 ± 2.05
	D. 1	5.95 ± 0.17 ^b	13.37 ± 2.15 ^a	10.90 ± 5.10
NP cv. TS 8	A. 0	6.38 ± 0.10	1.91 ± 1.03 ^c	4.45 ± 0.76 ^c
	B. 0.3	6.35 ± 0.10	6.59 ± 1.77 ^b	5.22 ± 0.97 ^{bc}
	C. 0.6	6.30 ± 0.16	8.31 ± 0.83 ^{ab}	6.70 ± 1.14 ^a
	D. 1	6.38 ± 0.14	9.03 ± 0.62 ^a	5.83 ± 0.34 ^{ab}
NP cv. TS 9	A. 0	6.23 ± 0.12 ^a	1.86 ± 0.70 ^c	6.34 ± 0.82 ^b
	B. 0.3	5.95 ± 0.09 ^{bc}	9.67 ± 0.82 ^b	8.38 ± 0.71 ^a
	C. 0.6	6.08 ± 0.16 ^{ab}	11.95 ± 1.32 ^a	8.37 ± 1.21 ^a
	D. 1	5.91 ± 0.08 ^c	12.45 ± 0.80 ^a	9.62 ± 0.46 ^a

¹ As shown in Table 2.

² EC: electrical conductivity; OM: organic matter.

³ As shown in Table 2.

^{a, b, c} Means within the same variety in the same column with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

結 論

狼尾草台畜草三、八及九號之產量皆在 0.6% NaCl 鹽度以上相較於對照組開始具顯著降低，符合過去文獻對狼尾草耐鹽閾值約為 0.6% 鹽度之描述。將 SPAD 值及電解質滲漏率分別與乾物產量進行相關性分析，其相關係數皆接近或大於 0.7，屬於高度相關，因此 SPAD 值及電解質滲漏率皆可反應出產量之改變，能作為優良的生理指標評估狼尾草在鹽分逆境下之生長表現。在本研究中，所有狼尾草品種 0.3% NaCl 處理組之乾物產量皆較其對照組無顯著降低，而 0.3% NaCl 處理組之灌溉水 EC 值為 6.05 mS/cm，臺灣南部沿海地下水鹽化嚴重之區域，其地下灌溉水 EC 值最高僅為 3.09 mS/cm，顯示狼尾草應具有承受臺灣南部沿海含鹽灌溉水鹽度之潛力。本研究探討澆灌含鹽灌溉水對狼尾草生長之影響，研究成果能為農民於濱海鹽分地栽培牧草時提供依據，未來將進一步了解除了含鹽灌溉水之外，將狼尾草直接種植於高鹽度之鹽土上，對其產量與品質之影響。

參考文獻

- 王殿、袁芳、王寶山、陳敏。2012。能源植物雜交狼尾草對 NaCl 脅迫的回應及其耐鹽閾值。植物生態學報 36：572-577。
- 李姿蓉、鍾萍、林正斌、顏素芬。2018。狼尾草品種改良。行政院農業委員會畜產試驗所年報。行政院農業委員會畜產試驗所，臺南市，第 36 頁。
- 周小燕、羅劍甯、李金月、李偉華、吳海濱。2017。有稜絲瓜苗期耐熱性及其對熱脅迫的生理響應。熱帶亞熱帶植物學報 25：357-369。
- 林正斌、李姿蓉、成游貴、顏素芬、盧啟信、范耕榛、李春芳。2018。狼尾草育種改良與應用。行政院農業委員會畜產試驗所六十週年所慶學術研討會專輯－飼作。行政院農業委員會畜產試驗所，臺南市，第 7-12 頁。

- 范耕榛、施柏齡、李姿蓉、蕭宗法、李滋泰、李春芳。2019。狼尾草台畜草 8 號對泌乳山羊飼養價值的評估。畜產研究 52：256-263。
- 陳葦玲。2013。作物耐熱性篩選指標之建立。臺中區農業改良場特刊 116：217-220。
- 農業部畜產試驗所。2023。淹水逆境下少災損「狼尾草台畜草九號」通過命名。<https://www.tlri.gov.tw/view.php?theme=news&subtheme=&id=860>。
- 廖冠琳。2018。低溫對甘藷葉片生理的影響及生物刺激素增加低溫耐受性之研究。國立中興大學園藝學系，碩士論文，臺中市。
- 蔡立中、李姿蓉、鍾萍。2022。狼尾草耐旱性生理指標之研究。畜產研究 55：275-282。
- 蔡尚翰、蘇博信、林永鴻、顏昌瑞。2015。臺灣屏東沿海蓮霧園鹽害現況調查。作物、環境與生物資訊 12：105-112。
- 謝兆申、王明果。1995。土壤調查技術手冊。國立中興大學土壤調查試驗中心，臺中市。
- Association of the Official Analytical Chemists (A.O.A.C.). 1990. Official methods of analysis. Vol. 1. 15th ed. A.O.A.C., Arlington, VA. USA.
- Barutçular, C., M. Yıldırım, M. Koç, C. Akıncı, I. Toptaş, O. Albayrak, A. Tanrikulu, and A. El Sabagh. 2016. Evaluation of SPAD chlorophyll in spring wheat genotypes under different environments. Fresenius Environ. Bull. 25: 1258-1266.
- Dien, D. C., T. Mochizuki, and T. Yamakawa. 2019. Effect of various drought stresses and subsequent recovery on proline, total soluble sugar and starch metabolisms in rice (*Oryza sativa* L.) varieties. Plant Prod. Sci. 22: 530-545.
- Glenn, E. P., T. Anday, R. Chaturvedi, R. Martinez-Garcia, S. Pearlstein, D. Soliz, S. G. Nelsona, and R. S. Felger. 2013. Three halophytes for saline-water agriculture: An oilseed, a forage and a grain crop. Environ. Exp. Bot. 92: 110-121.
- Habermann, E., E. A. Dias de Oliveira, D. R. Contin, G. Delvecchio, D. O. Vicedo, M. A. de Moraes, R. de Mello Prado, K. A. de Pinho Costa, M. R. Braga, and C. A. Martinez. 2019. Warming and water deficit impact leaf photosynthesis and decrease forage quality and digestibility of a C4 tropical grass. Physiol. Plant. 165: 383-402.
- Hniličková, H., F. Hniličková, M. Orsák, and V. Hejtnáková. 2019. Effect of salt stress on growth, electrolyte leakage, Na⁺ and K⁺ content in selected plant species. Plant Soil Environ. 65: 90-96.
- Hou, J., X. Huang, W. Sun, C. Du, C. Wang, Y. Xie, Y. Ma, and D. Ma. 2018. Accumulation of water-soluble carbohydrates and gene expression in wheat stems correlates with drought resistance. J. Plant Physiol. 231: 182-191.
- Huang, B. and J. D. Fry. 1998. Root anatomical, physiological, and morphological responses to drought stress for tall fescue cultivars. Crop Sci. 38: 1017-1022.
- Karimi, S., M. Rahemi, A. A. Rostami, and S. Sedaghat. 2018. Drought effects on growth, water content and osmoprotectants in four olive cultivars with different drought tolerance. Int. J. Fruit Sci. 18: 254-267.
- Keshavars, L., H. Farahbakhsh, and P. Golkar. 2012. The effects of drought stress and super absorbent polymer on morphophysiological traits of pear millet (*Pennisetum glaucum*). Intl. Res. J. Appl. Basic Sci. 3: 148-154.
- Küchenmeister, K., F. Küchenmeister, M. Kayser, N. Wrage-Mönnig, and J. Isselstein. 2013. Influence of drought stress on nutritive value of perennial forage legumes. Int. J. Plant Prod. 7: 693-710.
- Lee, M. A. 2018. A global comparison of the nutritive values of forage plants grown in contrasting environments. J. Plant Res. 131: 641-654.
- Liu, Y., Q. Wu, G. Ge, G. Han, and Y. Jia. 2018. Influence of drought stress on alfalfa yields and nutritional composition. BMC Plant Biol. 18: 1-9.
- Maksup, S., S. Sengsai, K. Laosuntisuk, and K. Burana. 2020. Expression of cellulose and lignin biosynthetic genes and responses of five napier grass hybrids under salt stress. Burapha Sci. J. (วารสาร วิทยาศาสตร์ บุรพา) 25: 482-499.
- Netto, A. T., E. Campostrini, J. G. de Oliveira, and R. E. Bressan-Smith. 2005. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. Sci. Hortic. 104: 199-209.
- Paleg, L. G. 1959. Citric acid interference in the estimation of reducing sugars with alkaline copper reagents. Anal. Chem. 31: 1902-1904.
- Pareek, A., S. L. Singla, and A. Grover. 1997. Salt responsive proteins/genes in crop plants. In: Strategies for improving salt tolerance in higher plants. Oxford and IBH Publ. Co., New Delhi, India, pp. 365-391.
- Pasternak, D., A. Nerd, and Y. De Malach. 1993. Irrigation with brackish water under desert conditions IX. The salt tolerance of six forage crops. Agr. Water Manage. 24: 321-334.
- Patakas, A., N. Nikolaou, E. Zioziou, K. Radoglou, and B. Noitsakis. 2002. The role of organic solute and ion accumulation

- in osmotic adjustment in drought-stressed grapevines. *Plant Sci.* 163: 361-367.
- Sharavdorj, K., S. O. Byambadorj, Y. Jang, and J. W. Cho. 2022. Application of magnesium and calcium sulfate on growth and physiology of forage crops under long-term salinity stress. *Plants* 11: 3576.
- Waghorn, G. C. and D. A. Clark. 2004. Feeding value of pastures for ruminants. *New Zeal. Vet. J.* 52: 320-331.
- Yoshida, S., D. A. Forno, J. H. Cock, and K. A. Gomez. 1976. Determination of sugar and starch in plant tissue. In: *Laboratory manual of physiological studies of rice* 3rd edition. International Rice Research Insititute, Los Baños, Philippines, pp. 46-49.
- Zhu, J. K. 2007. Plant salt stress. *Encyclopedia of Life Sciences*. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, UK.

Effect of saline irrigation treatment on the growth of Napier grass ⁽¹⁾

Li-Chung Tsai ^{(2) (3)} Tzu-Rung Li ⁽²⁾ and Ping Chung ⁽²⁾

Received: Jun. 26, 2024; Accepted: Dec. 9, 2024

Abstract

The self-sufficiency rate of domestic forage crops in Taiwan is relatively low. The development of coastal lands into new farmlands for cultivation of forage crops not only will increase the planting area and the supply of domestic forage crops but also revitalize idle farmlands. The study used Napier grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) Taishiu grass No. 3, 8, and 9 (NP cv. TS 3, 8, 9) as study materials, which were irrigated by A. 0% (control), B. 0.3%, C. 0.6%, and D. 1% sodium chloride (NaCl) solution. The forage quality and yields of Napier grass growing in environments of different salinity were investigated and evaluated for the salt tolerance of different varieties of Napier grass by physiological parameters. The results showed that the yields of all three varieties of Napier grass in 0.6% and 1% NaCl treatment were significantly lower than those in control groups. The correlation analysis was conducted between SPAD (Soil-plant analysis development) value and dry matter yield, and between electrolyte leakage rate and dry matter yield. The results showed that both correlation coefficients were approaching or exceeding 0.7, indicating a strong correlation. Therefore, both SPAD value and electrolyte leakage rate can well express the changes in yields of the Napier grass in salt stress. The nutritional contents of the Napier grass were affected by saline irrigation. Water soluble carbohydrate contents of all varieties in treatment groups were significantly lower than those of control groups. The potassium (K), calcium (Ca), and sodium (Na) contents of the Napier grass increased with the increase of salinity of the treatment groups. In southern Taiwanese and along the coast of serious groundwater salinization, the highest electrical conductivity (EC) value of the underground irrigation water is approximately 3 mS/cm. In this study, the EC value of irrigation water in 0.3% NaCl treatment group was approximately 6 mS/cm, and the dry matter yields of all the Napier grass varieties did not show significant difference from those in the control groups, indicating that Napier grass should be able to sustain the saline irrigation water in southern Taiwan and along the coast. However, this study merely explored the impact of saline irrigation, while the actual impact on Napier grass planting on salt soil remained for further clarification in the future.

Key words: Napier grass, Saline irrigation water, Salt tolerance, Physiological parameter.

(1) Contribution No. 2809 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

(2) Forage Crops Division, MOA-TLRI, HsinHua, Tainan 71246, Taiwan, R. O. C.

(3) Corresponding author, E-mail: humanspider123@tlri.gov.tw.

飼糧粗蛋白質含量對生長肥育豬生長性能 及糞便成分之影響⁽¹⁾

蘇天明⁽²⁾ 劉威志⁽²⁾ 翁義翔⁽²⁾ 鍾承訓⁽²⁾ 歐修汶⁽²⁾⁽³⁾

收件日期：113 年 9 月 16 日；接受日期：113 年 12 月 27 日

摘 要

本研究旨在探討生長肥育豬飼餵不同粗蛋白質含量飼糧，飼養於水簾刮糞式豬舍，對豬隻生長性能、糞便成分及豬舍用水量、廢水量與廢水水質之影響。將平均體重約 39 kg 的 LD (Landrace ♀ × Duroc ♂) 及 LYD [(Landrace ♀ × Yorkshire ♂) ♀ × Duroc ♂] 生長肥育豬各 224 頭飼養於水簾刮糞式豬舍，對照組 (HCP 組) 與試驗組 (LCP 組) 各 8 欄、每欄 28 頭，分別飼餵高粗蛋白質與低粗蛋白質 (調降飼糧粗蛋白質含量 3% 並添加必需胺基酸) 飼糧。試驗期間飼糧任飼、飲用水充分供應，至平均體重約 120 kg 結束試驗，測定豬隻生長性能、糞便成分及豬舍用水量、廢水量與廢水水質。結果顯示，HCP 組豬隻生長期的採食量較 LCP 組為大 ($P < 0.001$)。豬隻生長期 LCP 組糞便的總氮濃度約較 HCP 組降低 18.0%，肥育期則減少 17.2%。肥育期豬舍用水量及廢水量分別為 22.23 與 6.13 L/d/head，皆顯著地較生長期的 15.63 與 3.57 L/d/head 為多，肥育期廢水的化學需氧量、生化需氧量、懸浮固體、總氮、總磷、鋅、鉀、鈉及鎂濃度皆較生長期為高 ($P < 0.05$)。綜上，飼餵 LCP 組飼糧不影響生長肥育豬生長性能，且可降低糞便總氮濃度，而應用水簾刮糞式豬舍具有節省用水量及減少廢水量的效果。

關鍵詞：糞便成分、生長肥育豬、生長性能、低粗蛋白質飼糧。

緒 言

蛋白質是動物生長所需之重要營養素。目前國內豬隻飼糧大多以玉米—大豆粕為主要原料，在蛋白質的供應方面多以飼糧的粗蛋白質 (crude protein, CP) 含量估算，致可能造成胺基酸不平衡而無法被豬隻充分利用；業者為確保蛋白質足供動物所需，而提供超出營養需求的飼糧，直接造成飼養成本提高和營養分的浪費，且未被利用的氮經由糞尿排泄，也會造成環境污染與河川水質優養化等環保問題 (Giannuzzi *et al.*, 2011)。Portejoie *et al.* (2004) 以 CP 20、16 及 12% 的飼糧飼餵平均體重 52.8 – 54.5 kg 的豬隻，結果 CP 20% 組糞尿中氮的濃度以及氮的總排泄量皆顯著地較飼餵 CP 12% 飼糧組豬隻為高。Yen *et al.* (2004) 使用離胺酸 (lysine) 和羥丁胺酸 (threonine) 調整飼糧成分飼餵體重 91.0 kg 的豬隻，測得氮表面消化率和表面滯留率分別為 86.9% 和 41.9%，而 Pettey *et al.* (2002) 以未額外添加必需胺基酸 (essential amino acid, EAA) 的飼糧飼餵體重 93 kg 的豬隻，測得氮表面消化率為 80.8%。顯示飼糧中添加 EAA 有助於提高氮的利用效率，惟對豬隻生長之影響有待評估。

廢水如未經充分處理而排放，對水環境會造成負面影響 (Shin *et al.*, 2005)，將造成水源與土壤污染、溫室氣體排放，並且對人類健康產生負面影響 (Dennehy *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2020)。養豬業長久以來是臺灣農業單項產值最高的產業，也是畜牧產業主要的廢水來源，因此臺灣省畜產試驗所 (1993) 以實地面豬舍每一個動物單位 (種豬及體重 100 kg 的肉豬) 每日廢水量 30 L 估算，從民國 79 年開始輔導養豬場建置廢水處理設施。蘇等人比較實地面 (SOF)、高床糞尿溝式部分條狀 (PSF) 及高床糞尿溝式全條狀 (TSF) 等三種地面結構肉豬舍的用水量與廢水量，結果在熱季 (蘇等, 2016) 豬隻生長期與肥育期 SOF、PSF 及 TSF 豬舍的用水量分別為 42 與 40 L/d/head、35 與 29 L/d/head 及 18 與 14 L/d/head，廢水量則為 34 與 35 L/d/head、29 與 27 L/d/head 及 16 與 14 L/d/head，涼季 (蘇等, 2018) 豬隻生長期與肥育期 SOF、PSF 及 TSF 豬舍的用水量分別為 29 與 39 L/d/head、22 與 24 L/d/head 及 15 與 16 L/d/head，廢水量則為 26 與 37 L/d/head、20 與 23 L/d/head 及 14 與 16 L/d/head。顯示相較於臺灣省畜產試驗所 (1993)

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2810 號。
(2) 農業部畜產試驗所畜產經營組。
(3) 通訊作者，E-mail: hwou@mail.tlri.gov.tw。

的估算量，應用高床糞尿溝式豬舍具有較實地面豬舍節省用水量、減少廢水量效果，其主要原因是高床糞尿溝式豬舍平日不沖洗豬舍地面使然。

本試驗於高床刮糞式豬舍進行，豬隻糞尿係以刮糞板清理不需用水，有別於糞尿溝式採取沖水清理，應較糞尿溝式更具節水效果，而大部分豬隻糞便藉由刮糞板清理未含於廢水中，其豬舍用水量、廢水量及廢水水質皆有待評估。綜上，本試驗旨在探討生長肥育豬飼料低粗蛋白質飼糧，飼養於水簾刮糞式肉豬舍，對豬隻生長性能、糞便成分及豬舍用水量、廢水量與廢水水質的影響。

材料與方法

I. 試驗動物及飼糧處理

- (i) 採用 LD (Landrace ♀ × Duroc ♂) 及 LYD [(Landrace ♀ × Yorkshire ♂) ♀ × Duroc ♂] 2 種品種組成的保育結束豬隻 (平均體重約 39 kg) 共 448 頭，平均分置於 16 個豬欄，LD 及 LYD 各 8 欄，每欄飼養 28 頭，每頭豬擁有 1.04 m² 飼養面積，在平均體重 120 kg 結束生長試驗。
- (ii) 飼糧以玉米—大豆粕為主要原料，消化能含量皆為 3,400 kcal/kg，銅與鋅含量符合 NRC (1998) 營養推薦量並在飼糧中添加 500 U/kg 植酸酶，飼糧與飲用水皆採任食。對照組 (HCP 組) 在豬隻生長期 (試驗開始至平均體重 60 kg) 與肥育期 (平均體重 60 kg 至 120 kg) 分別提供粗蛋白質 (CP) 含量 16 與 13% 飼糧，試驗組 (LCP 組) 則分別提供 CP 含量 13% + 必需胺基酸和 CP 含量 10% + 必需胺基酸，即補充離胺酸、甲硫胺酸、賴丁胺酸和色胺酸，使分別與 HCP 組豬隻生長期與肥育期飼糧必需胺基酸含量相近，並符合 NRC (1998) 營養推薦量，飼糧組成，如表 1 所示。
- (iii) 試驗參考蘇等 (2023a)，在 2023 年 5 月至同年 8 月間進行，豬隻飼養在相同之豬舍，其內部構造、豬舍內微氣候、空氣品質及水簾通風自動控制系統操作等，悉如蘇等 (2023a) 所述。動物之使用、飼養及實驗內容，皆依據農業部畜產試驗所實驗動物照護及使用委員會核准文件 (IACUCNo.112-7) 進行。

II. 調查項目

- (i) 生長性能：豬隻在試驗開始、生長期結束及試驗結束時分別磅重 1 次，記錄生長期與肥育期飼糧消耗量，計算日增重 (average daily gain, ADG)、採食量 (average daily feed intake, ADFI) 與飼料換肉率 (feed conversion rate, FCR; feed/gain)。
- (ii) 採集試驗期間每次調製之飼糧樣品，並於飼糧採集後第 3 — 5 日撿拾各欄糞便，進行水分 (moisture)、灰分 (ash)、總氮 (total nitrogen, TN)、總磷 (total phosphorus, TP)、銅 (copper, Cu)、鋅 (zinc, Zn)、鉀 (potassium, K) 及鈉 (sodium, Na) 等成分分析。
- (iii) 用水量與廢水量調查：在豬舍用水端安裝水表，每週二及週三上午 10 時日分別記錄水表讀數，計算用水量；每週二排空廢水儲存池，翌日同時量測廢水儲存池長度、寬度與廢水深度，計算廢水量。
- (iv) 水簾蒸發水量調查：在 3 個水簾供水處安裝水表，記錄水表開始讀數後，每週記錄水表讀數，計算水簾蒸發水量。
- (v) 廢水水質分析：每次廢水量調查同時採集廢水，測定氫離子濃度 (pH 值) 和電導度 (electrical conductivity, EC)，分析化學需氧量 (chemical oxygen demand, COD)、生化需氧量 (biochemical oxygen demand, BOD)、總固形物 (total suspended solids, TS)、揮發性固形物 (volatile solids, VS)、TN、TP、Cu、Zn、K、Na 及 Mg 濃度。

III. 測定與分析方法

(i) 飼糧及糞便

1. 水分：依照農業部 (2020) 公告之肥料種類品目及規格 AFS 2901-1 方法分析之。
2. 總氮及總磷：依照農業部 (2020) 公告之肥料種類品目及規格 AFS1110-1 及 AFS1120-1 鉬黃法分析之。
3. 灰分、銅、鋅、鉀、鈉及鎂：樣品經水分測定後，取樣放入灰化爐 (NEYTECH-2-525)，在 550 — 650℃ 溫度下灰化約 6 小時。樣品灰化、冷卻後，加入 3 N 的鹽酸 10 mL，以錶玻璃覆蓋置 350℃ 電熱板進行酸解、過濾並定量後，以原子吸收光譜儀 (Atomic absorption spectrometer Z8100, Hitachi) 測定之。

(ii) 廢水

1. pH 值及 EC：依照環境部公告之 NIEA W424.53A (環境部國家環境研究院，2019a) 及 NIEA W203.52C (環境部國家環境研究院，2023a) 測定之。

表 1. 試驗飼糧組成 (餵飼基)

Table 1. The compositions of experimental diet (as fed basis)

Items	Growing period		Finishing period	
	CP group	AA group	CP group	AA group
Ingredients, kg				
Corn meal, CP 7.5%	723.9	798.8	777.9	842.0
Soybean meal, CP 43.5%	196.0	115.0	152.0	70.0
Fish meal, CP 60%	30.0	30.0	—	—
Molasses	20.0	20.0	20.0	25.0
Wheat bran	—	—	20.0	25.0
Soybean oil	6.0	7.0	5.0	8.0
Limestone, pulverized	6.0	7.0	8.0	7.0
Dicalcium phosphate	11.0	10.0	10.0	11.0
Choline chloride, 50%	1.0	1.0	1.0	1.0
Salt	4.0	4.0	4.0	4.0
Vitamin premix ¹	1.0	1.0	1.0	1.0
Mineral premix ²	1.0	1.0	1.0	0.8
Phytase, 5,000 U/g	0.1	0.1	0.1	0.1
L- Lysine, 78%	—	2.7	—	2.8
DL- Methionine, 99%	—	0.8	—	0.8
L- Threonine, 99%	—	1.2	—	1.0
L- Tryptophan, 98%	—	0.4	—	0.5
Total	1,000	1,000	1,000	1,000
Calculated value				
Digestible energy, kcal/kg	3,404	3,404	3,407	3,410
Crude protein, %	16.00	13.04	13.02	10.06
Lysine, %	0.91	0.91	0.65	0.66
Methionine, %	0.30	0.35	0.23	0.27
Threonine, %	0.64	0.64	0.51	0.49
Tryptophan, %	0.19	0.18	0.14	0.15
Copper, mg/kg	10.0	9.6	9.7	8.9
Zinc, mg/kg	64.4	62.8	62.1	52.5

¹ Each kilogram of vitamin premix contains: Vitamin A, 6000 IU; Vitamin D₃, 800 IU; Vitamin B₁₂, 0.02 mg; Vitamin E, 20 IU; Vitamin K₃, 4 mg; Riboflavin, 4 mg; Pantothenic acid, 16 mg; Niacin, 30 mg; Pyridoxine, 1mg; Folic acid, 0.5 mg; and Biotin, 0.1 mg.

² Each kilogram of vitamin premix contains: Fe (FeSO₄ · 7H₂O), 80 mg; Cu (CuSO₄ · 5H₂O), 5 mg; Mn (MnSO₄), 6 mg; Zn (ZnO), 40 mg; and I (KI), 0.20 mg.

2. COD 及 BOD 濃度：依照環境部公告之 NIEA W515.55A (環境部國家環境研究院，2018) 及 NIEA W510.55B (環境部國家環境研究院，2011) 方法分析之。

3. TS 及 VS 濃度：依照環境部公告之 NIEA W210.58A (環境部國家環境研究院，2013) 方法分析之。

4. TN：依照環境部公告之 NIEA W423.53C (環境部國家環境研究院，2023b) 公式計算，即水中 TN 濃度 = 水中硝酸鹽氮濃度 + 水中亞硝酸鹽氮濃度 + 水中凱氏氮濃度。水中硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮及凱氏氮之測定，分別參照環境部國家環境研究院 NIEA W419.51A (2006)、NIEA W418.54C (2019b) 及 NIEA W451.52A (2023c) 方法分析之。

5. TP：依照環境部公告之 NIEA W423.52C27.53B (環境部國家環境研究院，2010) 方法分析之。

6. Cu、Zn、K、Na 及 Mg：參考蘇等 (2020) 方法，將水樣定量 50 mL 後加入 3 N 的鹽酸 10 mL，以錶玻璃

覆蓋置 350°C 電熱板進行酸解後，以原子吸收光譜儀 (Spectrophotometer Z8100, Hitachi, Japan) 分析之。

IV. 統計分析

豬隻生長性能以欄平均為試驗單位，其餘各項目以每次測定或分析值為試驗單位，利用 SAS 統計分析套裝軟體的一般線性模式程序 (General linear model procedure) 進行變方分析 (SAS, 2002)，以 LSMEANS 統計模式估計各處理組的最小平方平均值及標準機差，各處理間如有差異，再以鄧肯氏新多變域測定法 (Duncan's New Multiple Range Test)，檢定各處理組間的差異顯著性。

結果與討論

I. 豬隻生長性能

試驗係採取自動餵飼、豬隻群養方式，無法測定個別豬隻採食量，故以每次入料量依下列公式估計豬隻採食量：採食量 = 飼糧消耗量 / 餵飼日數 / 豬隻頭數。結果顯示試驗期間飼糧與品種組成間無顯著交感效應 (表 2)。HCP 組豬隻生長期 ADFI 顯著地較 LCP 組為多，試驗結束體重有較 LCP 組為大趨勢 ($P < 0.1$)。在品種比較方面，LD 組試驗開始日齡和體重皆較 LYD 為大 ($P < 0.001$)，生長期 ($P < 0.001$) 和試驗全期 ($P < 0.01$) 的 ADG 皆較 LYD 為小，FCR 顯著地較 LYD 為差，而飼糧與品種對肥育期豬隻 ADG、ADFI 及 FCR 皆無顯著影響。蘇等 (2012a) 以不同銅鋅含量飼糧餵飼體重 30 – 110 kg 的 LYD 肉豬，試驗期間 ADG、ADFI 與飼料效率 (feed efficiency, G/F) 分別為 0.78 – 0.81 kg/d、2.33 – 2.67 kg/d 與 0.30 – 0.34，採用不同粗蛋白質含量飼糧餵飼體重 42 – 110 kg 的 LYD 肉豬，試驗期間的 ADG、ADFI 與 G/F 則為 0.76 – 0.81 kg/d、2.45 – 2.53 kg/d 與 0.31 –

表 2. 飼糧與品種組成對豬隻生長性能之影響

Table 2. Effects of diets and breeds composition on pig growth performance

Items	Diet (D)		Breed (B)		SEM	Significance ¹	
	LCP	HCP	LYD	LD		D	B
No. of pens	8	8	8	8			
Initial							
Age, day	102.5	101.8	101.7	103.9	0.2	NS	***
BW, kg	40.0	36.9	37.6	43.5	1.2	NS	***
Grower period ²							
Age, day	130.5	129.8	129.7	131.9	0.2	NS	***
BW, kg	63.0	60.6	62.0	63.3	1.4	NS	NS
ADG, kg	0.82	0.84	0.87	0.71	0.03	NS	***
ADFI ³ , kg	1.83	1.66	1.76	1.83	—	—	—
FCR	2.36	2.13	2.14	2.76	0.12	NS	***
Finisher period							
Age, day	192.3	191.2	191.4	193.7	1.6	NS	NS
BW, kg	120.9	118.8	120.5	119.6	1.2	†	NS
ADG, kg	0.94	0.96	0.96	0.92	0.02	NS	NS
ADFI, kg	2.93	2.95	2.93	2.94	—	—	—
FCR	3.16	3.12	3.11	3.26	0.09	NS	NS
Overall							
ADG, kg	0.91	0.92	0.93	0.85	0.02	NS	**
ADFI, kg	2.57	2.53	2.55	2.58	—	—	—
FCR	2.89	2.80	2.79	3.08	0.08	NS	*

¹ NS: $P > 0.05$; †: $P < 0.1$; *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$; ***: $P < 0.001$.

² BW: body weight; ADG: average daily gain; ADFI: average daily feed intake; FCR: feed conversion rate (feed/gain).

³ ADFI = feed consumption/number of experimental feeding days/number of experimental pigs.

0.33(蘇等, 2012b), 蘇等(2016)在熱季使用平均體重 48 – 115 kg 的 LD 肉豬, 試驗期間 ADG、ADFI 及 G/F 分別為 0.70 kg/d、2.28 kg/d 及 0.31 (即 FCR 約 3.22), 上述三項研究豬隻皆群飼在開放式豬舍。本試驗獲致結果 LYD 組豬隻的 ADG 及 ADFI 分別為 0.93 及 2.55 kg/d, LD 組則為 0.85 及 2.58 kg/d, 不論 LYD 或 LD 豬隻生長性能皆明顯較上述三項研究(蘇等, 2012a; 蘇等, 2012b; 蘇等, 2016)為多, FCR 也較佳, 推測與豬隻飼養於密閉水簾豬舍具有較佳的生長環境(蘇等, 2023a)有關。

II. 飼糧及糞便成分分析

生長期 HCP 組與 LCP 組飼糧粗蛋白質含量分別約為 16 與 13% (以總氮含量 $\times 6.25$ 估算), 肥育期則為 13 與 10% (表 3), 皆與估計值(表 1)相近。在飼糧銅和鋅含量方面, 生長期 HCP 組飼糧乾基的銅和鋅含量分別為 10 和 70 mg/kg, LCP 組為 10 和 62 mg/kg, 肥育期則分別為 10 和 62 mg/kg 與 9 和 56 mg/kg, 飼糧銅和鋅含量皆低於經濟部(2010)公告的 25 ppm 和 110 (生長期)與 100(肥育期) ppm 之最高限量。每次調製飼糧後 4 – 5 日撿拾各欄豬隻糞便進行成分分析(表 4), 結果生長期和肥育期飼糧 LCP 飼糧的豬隻糞便中總氮(TN)和總磷(TP)濃度皆顯著較 HCP 組為低, 生長期糞便中 TN 和 TP 濃度約較 HCP 組降低 18.0 及 10.6%, 肥育期則減少 17.2 及 18.5%。肥育期飼糧 HCP 組飼糧的豬隻糞便中銅及鋅濃度較 LCP 組高 ($P < 0.05$), 此與本試驗在肥育期時 HCP 組 (1 kg/t) 礦物質預拌物添加量較 LCP 組 (0.8 kg/t) 為多應有關係, 而不論 HCP 組或 LCP 組肥育期糞便的銅及鋅濃度皆較生長期為高。NRC (1998) 對豬隻飼糧中銅及鋅的推薦量分別為: 體重 20 – 50 kg 為 4 及 60 ppm, 50 – 80 kg 為 3.5 及 50 ppm, 80 – 120 kg 則為 3 及 50 ppm, 本試驗飼糧銅及鋅含量仍較 NRC (1998) 推薦量高(表 3), 但在無法確定植物性飼料原料中植酸態的銅及鋅可完全被豬隻消化利用下, 為滿足豬隻生長需求, 飼糧中含量稍高仍屬必要。

表 3. 試驗飼糧成分

Table 3. Compositions of experimental diet

Items	Grower stage		Finisher stage		SEM
	HCP	LCP	HCP	LCP	
No. of samples	3	3	5	5	
Moisture, %	13.5 ^{bc}	13.1 ^c	14.2 ^{ab}	14.7 ^a	0.3
----- dry matter basis -----					
Ash, %	5.53 ^a	4.86 ^b	5.19 ^{ab}	5.20 ^{ab}	0.14
TN ¹ , %	2.62 ^a	2.09 ^b	2.12 ^b	1.60 ^c	0.03
TP, %	0.52	0.51	0.59	0.57	0.03
K, %	0.75	0.74	0.74	0.72	0.02
Na, %	0.39 ^a	0.39 ^a	0.24 ^b	0.23 ^b	0.01
Cu, mg/kg	10.32 ^a	9.64 ^{ab}	9.80 ^{ab}	9.07 ^b	0.33
Zn, mg/kg	70.2 ^a	62.0 ^b	62.3 ^b	56.0 ^c	0.8

¹ TN: total nitrogen; TP: total phosphorus; K: potassium; Na: sodium; Cu: copper; Zn: zinc.

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

本試驗肥育期飼糧玉米粉及大豆粕皆屬植物性原料, Humer *et al.* (2015) 指出, 磷主要以植酸鹽形式儲存在植物種子中, 由於植酸鹽是一種陰離子, 會和陽離子尤其是鈣、鐵和鋅陽離子 (Sohail and Roland, 1999)、碳水化合物和胺基酸 (Sebastian *et al.*, 1996; Ravindran *et al.*, 1999) 及酵素 (Sebastian *et al.*, 1998) 螯合為不溶解性的植酸鹽, 必須仰賴植酸酶予以水解利用, 但是單胃動物自體無法產生植酸酶, 必須靠外源 (exogenous) 獲得 (Cowieson *et al.*, 2006)。Kristoffersen *et al.* (2021) 指出, 飼糧添加植酸酶可提高仔豬生長性能和空腸磷消化率、磷和鈣的總消化率及骨礦化, 而蛋白質和植酸鹽交互作用會降低蛋白質 (胺基酸) 利用率 (Selle *et al.*, 2012), 此外研究 (Cowieson *et al.*, 2006; Cowieson *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2008) 也證實, 飼糧添加植酸酶可提高胺基酸的消化率和礦物質的吸收率。本試驗 LCP 組飼糧減量添加礦物質預拌物並添加 500 U/kg 的植酸酶, 主要是希望降低糞便的銅及鋅濃度並提高氮及磷的消化率。

國內豬隻糞便大多採取堆肥化處理以資源化利用, 農業部 (2020) 規定禽畜糞堆肥 (5-09) 中銅和鋅含量以 100 和 500 ppm 為上限, 此即本試驗希望降低糞便銅及鋅濃度的原因。堆肥化期間有機質和有機碳 (Parkinson *et*

al., 2004; Tiquia, 2010) 會被分解，氮也會被分解產生 NH_3 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 等而逸散 (Bernal *et al.*, 2009)，致使礦物質元素的濃度被濃縮而相對提高 (Miaomiao *et al.*, 2009)。Tiquia (2010) 的研究，堆肥化後銅和鋅的濃度分別約提高為堆肥化前的 1.20 – 1.26 倍和 1.23 – 1.41 倍，蘇等 (2012c) 則指出，堆肥化後銅濃度約提高為堆肥化前的 1.21 – 1.41 倍，鋅濃度則提高為 1.04 – 1.13 倍。參考上述文獻，本試驗 HCP 組豬糞若無添加調整材而用於製作禽畜糞堆肥 (品目編號 5-09)，堆肥成品的鋅含量有超出品目標準之虞。

表 4. 試驗豬隻糞便成分

Table 4. Feces components of experimental pigs

Items	Grower stage		Finisher stage		SEM
	HCP	LCP	HCP	LCP	
No. of samples	3	3	5	5	
Moisture, %	81.7 ^a	78.1 ^b	78.2 ^b	76.6 ^b	0.68
----- dry matter basis -----					
OM ¹ , %	85.7	86.2	86.2	85.7	0.25
TN ² , %	3.87 ^a	3.18 ^c	3.44 ^b	2.85 ^d	0.06
TP, %	2.40 ^a	2.14 ^b	2.25 ^b	1.83 ^c	0.05
K, %	0.91 ^a	0.91 ^a	0.85 ^{ab}	0.77 ^b	0.03
Na, %	0.16	0.16	0.15	0.14	0.01
Cu, mg/kg	51.6 ^c	54.3 ^c	72.5 ^a	64.2 ^b	1.1
Zn, mg/kg	375 ^b	352 ^c	414 ^a	367 ^{bc}	6

¹ Refer to Nolan *et al.* (2011) formula to estimate, OM (organic matter, %) = (1 - Ash) × 100.

² TN: total nitrogen; TP: total phosphorus; K: potassium; Na: sodium; Cu: copper; Zn: zinc.

a, b, c, d Means within the same row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

III. 豬舍用水量、廢水量及廢水水質

本試驗豬舍用水主要是提供豬隻飲用水、水簾循環水補充及空氣污染防治設施所需，皆以自來水供應。豬隻肥育期平均用水量 22.23 L/d/head 顯著地較生長期的 15.63 L/d/head 為多 (表 5)。NRC (1998) 指出，採取任食或限食的非哺乳期母豬，其飲水量分別約為飼糧採食量的 2.5 或 3.7 倍，Li *et al.* (2005) 指出，生長肥育豬平均飲水量為 4.01 – 5.38 L/d/head，蘇等 (2016, 2018) 測定生長期與肥育期豬隻飲水量介於 5 – 6 L/d/head。本試驗豬隻採取任食，生長期與肥育期的 ADFI 分別約 1.8 與 2.9 kg/d/head (表 2)，參考 NRC (1998) 飲水量約為飼糧採食量的 2.5 倍估算，豬隻生長期與肥育期飲水量分別約為 4.5 與 7.3 L/d/head。水簾運作每日分別補充 0.66 與 1.07 m³ 水量，即每頭豬約需分攤因水簾蒸發之用水量 1.31 與 2.14 L/d。空氣污染防治設施下設置 11.7 m (長) × 3.55 m (寬) 的水池，水深 0.45 – 0.50 m，即每次約注入 18.7 m³ 的自來水，以循環水淋洗方式去除豬舍內之空氣污染物，每 3 – 4 日換水一次，估計空氣污染防治設施的用水量約介於 10.4 – 15.5 L/d/head 之間。

本試驗於糞尿分離的高床刮糞式豬舍進行，試驗期間無沖洗豬舍，豬隻飲水係以碗式飲水器供應，廢水主要由豬隻飲水溢漏及尿液產生，而豬隻肥育期的廢水量 (6.13 L/d/head) 顯著較生長期 (3.57 L/d/head) 多 (表 5)。臺灣省畜產試驗所 (1993) 以體重 100 kg 的豬隻為一個動物單位 (animal unit, AU)，糞 (1.7 kg)、尿 (3.3 L) 排泄量以 5 kg/d/AU 計，豬舍沖洗用水量則以糞尿排泄量 5 倍計算，估計廢水產生量為 30 L/d/AU，若以一貫式養豬場豬之平均體重 60 kg、0.82 AU 估算 (臺灣省畜產試驗所, 1993)，廢水產生量約為 25 L/d/head。蘇等於熱季 (蘇等, 2016) 及涼季 (蘇等, 2018) 以實地面、高床糞尿溝式部分條狀及高床糞尿溝式全條狀等 3 種型式之肉豬舍，進行豬舍用水量與廢水量之比較。結果實地面 (SOF)、部分條狀 (PSF) 及全條狀 (TSF) 豬舍的沖洗水量分別為 42 – 29 L/d/head、35 – 22 L/d/head 及 18 – 15 L/d/head，廢水量則為 34 – 26 L/d/head、29 – 20 L/d/head 及 16 – 14 L/d/head，豬隻飼養於 PSF 及 TSF 分別約較 SOF 豬舍可節省 16 – 23% 及 49 – 57% 的沖洗水量，減少 15 – 22% 及 47 – 51% 的廢水量。本試驗生長期與肥育期的廢水量分別僅約臺灣省畜產試驗所 (1993) 估計量的 14 與 25%，以及全條狀地面糞尿溝式的 22 – 44% (蘇等, 2016; 蘇等, 2018)，顯示肉豬飼養於水簾高床刮糞式豬舍，因糞尿清理不需用水，較實地面與糞尿溝式豬舍具較佳的節水減廢效果。

豬隻生長期平均刮糞量與含水率為 238 kg/d 與 66.1%，刮取的糞便濕重與乾重分別為 476 及 160 g/d/head，肥育期平均刮糞量與含水率為 335 kg/d 與 68.5%，估算糞便濕重與乾重則為 786 及 246 g/d/head (表 5)。本試驗豬隻生長期與肥育期體重分別約介於 39 – 61 kg 及 61 – 119 kg，參考蘇等 (2009) 的研究，豬隻在體重 50 kg 及

100 kg 時的糞便濕重分別為 816 及 980 g/d/head，含水率 76.6% 及 67.7%，糞便乾物重約 190 及 317 g/d/head，估計豬隻生長期與肥育期糞便刮除效率分別約為 84 及 78%。

表 5. 豬隻生長期及肥育期豬舍用水量、水簾蒸發水量、廢水量及刮糞量比較

Table 5. Comparison of water consumption, wet-pad cooling system evaporation water volume (WCEW), wastewater volume, and amount of feces scraping in pig houses during the grower and finisher period of pigs

Items	Grower stage	Finisher stage	SEM
No. of samples	4	8	
Water consumption, L/d/head	15.63 ^b	22.23 ^a	2.23
WCEW			
Per day, m ³	0.66 ^b	1.07 ^a	0.09
Per head, L/d	1.31 ^b	2.14 ^a	0.18
Wastewater volume, L/d/head	3.57 ^b	6.13 ^a	0.24
Amount of feces scraped			
Gross weight, kg/d	238 ^b	335 ^a	22
Feces wet weight, g/d/head	476 ^b	786 ^a	49
Moisture, %	66.1	68.5	1.2
Feces dry weight, g/d/head	160 ^b	246 ^a	11

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

豬隻生長期與肥育期廢水的 pH 值和 EC 無顯著差異 (表 6)，而肥育期廢水的 COD、BOD、TS、VS、TN、TP、Cu、Zn、K、Na 及 Mg 濃度皆較生長期為高 ($P < 0.05$)，此與肥育期豬隻的 ADFI 較生長期為多，且 FCR 較生長期為差 (表 2) 應有關係。蘇等 (2023b) 沖洗糞尿溝的原廢水 COD、TS、VS、TN、TP、Cu 及 Zn 濃度分別為 21,000、20,100、13,500、3,600、2,000、2.03 及 17.8 mg/L，除 TN 濃度外廢水水質皆較本試驗明顯為高。糞尿溝式豬舍的原廢水包含豬隻糞便、尿液、飲水溢漏及豬舍沖洗水，本試驗由於大部分的豬隻糞便已刮除且無豬舍沖洗水，廢水所含成分主要由尿液及飲水溢漏貢獻，而氮主要是經由尿液排泄 (Yen *et al.*, 2004; Pomar *et al.*, 2008)，致 TN 濃度較蘇等 (2023b) 明顯為高。

表 6. 豬隻生長期及肥育期廢水水質比較

Table 6. Comparison of wastewater quality during the grower and finisher period of pigs

Items	Grower stage	Finisher stage	SEM
No. of samples	4	8	
Wastewater quality			
pH value	8.57	8.43	0.05
EC ¹ , mS/cm	18.3	19.2	0.28
	----- mg/L -----		
COD	8,303 ^b	10,024 ^a	331
BOD	3,272 ^b	3,916 ^a	116
TS	958 ^b	1,831 ^a	108
VS	843 ^b	1,607 ^a	85
TN	3,935 ^b	6,876 ^a	103
TP	65.1 ^b	79.4 ^a	3.03
Cu	0.27	0.25	0.02
Zn	1.11 ^b	1.39 ^a	0.07
K	1,845 ^b	2,116 ^a	31
Na	548 ^b	602 ^a	11
Mg	117 ^b	134 ^a	2

¹ EC: electrical conductivity; COD: chemical oxygen demand; BOD: biochemical oxygen demand; TS: total suspended solids; VS: volatile solids; TN: total nitrogen; TP: total phosphorus; K: potassium; Na: sodium; Cu: copper; Zn: zinc; Mg: magnesium.

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

結 論

本研究生長肥育豬餵飼低粗蛋白質飼糧，其生長性能與高粗蛋白質組沒有顯著差異，且可降低糞便的氮濃度，預期亦可減少氧化亞氮 (N_2O) 排放、環境污染與河川優養化等環保問題。豬隻飼養於水簾刮糞式肉豬舍、輔以碗式飲水器，具節省用水量、減少廢水量效果。廢水氮濃度較實地面及糞尿溝式豬舍為高，後續可評估應用於產製液態氮肥原料之可行性。

參考文獻

- 臺灣省畜產試驗所。1993。豬糞尿處理設施工程設計、施工手冊 (修訂本)，p. C。臺灣省畜產試驗所專輯第 21 號，臺南新化。
- 農業部。2020。肥料種類品目及規格。中華民國 109 年 4 月 24 日農授糧字第 1091068958A 號公告修正發布。
https://law.coa.gov.tw/glsnewsout/Law_Content.aspx?id=FL014452。
- 環境部國家環境研究院。2006。水中硝酸鹽氮檢測方法—分光光度計法 (NIEA W419.51A)。中華民國 95 年 8 月 8 日環署檢字第 0950062980 號公告。
- 環境部國家環境研究院。2010。水中磷檢測方法—分光光度計 / 維生素丙法 (NIEA W427.53B)。中華民國 99 年 9 月 15 日環署檢字第 0990084224 號公告。
- 環境部國家環境研究院。2011。水中生化需氧量檢測方法 (NIEA W510.55B)。中華民國 100 年 1 月 27 日環署檢字第 1000009050 號公告。
- 環境部國家環境研究院。2013。水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法—103 ~ 105°C 乾燥 (NIEA W210.58A)。中華民國 102 年 1 月 15 日環署檢字第 1020004998 號公告。
- 環境部國家環境研究院。2018。水中化學需氧量檢測方法—重鉻酸鉀 (NIEA W515.55A)。中華民國 107 年 11 月 22 日環署授檢字第 1070007386 號公告。
- 環境部國家環境研究院。2019a。水之氫離子濃度指數 (pH 值) 測定方法—電極法 (NIEA W424.53A)。中華民國 108 年 1 月 22 日環署授檢字第 1080000393 號公告。
- 環境部國家環境研究院。2019b。水中亞硝酸鹽氮檢測方法—比色法 (NIEA W418.54C)。中華民國 108 年 7 月 30 日環署授檢字第 1080004541 號公告。
- 環境部國家環境研究院。2023a。水中導電度測定方法—導電度計法 (NIEA W203.52C)。中華民國 112 年 8 月 15 日環署授檢字第 1120006576 號公告。
- 環境部國家環境研究院。2023b。水中總氮檢測方法 (NIEA W423.53C)。中華民國 112 年 8 月 15 日環署授檢字第 1127106488 號公告。
- 環境部國家環境研究院。2023c。水中凱氏氮檢測方法 (NIEA W451.52A)。中華民國 111 年 10 月 7 日環署授檢字第 1117106230 號公告。
- 經濟部。2010。CNS 3027 國家標準配合飼料 (家畜、家禽用)。經濟部 99 年 5 月 28 日經授標字第 09920050420 號公告。
- 蘇天明、李免蓮、吳遵文、蕭庭訓、李恒夫、廖宗文、郭猛德。2009。不同體重肉豬糞尿排泄量及其成分調查。中畜會誌 38：97-107。
- 蘇天明、劉士銘、李恒夫、蕭庭訓、廖宗文、郭猛德。2012a。不同型式銅鋅及其用量之飼糧對生長肥育豬生長性能及屠體性狀之影響。畜產研究 45：55-66。
- 蘇天明、劉士銘、翁義翔、蕭庭訓、李恒夫、郭猛德。2012b。以飼糧調控降低豬隻氮排泄量。畜產研究 45：341-354。
- 蘇天明、劉士銘、李恒夫、蕭庭訓、廖宗文、郭猛德。2012c。不同銅鋅含量飼糧對生長肥育豬糞便及堆肥中銅鋅含量之影響。畜產研究 45：107-120。
- 蘇天明、翁義翔、鍾承訓、鄭閔謙、蕭庭訓、程梅萍。2016。地面結構對熱季豬隻生長性能及豬舍用水量、廢水量之影響。畜產研究 49：26-34。
- 蘇天明、翁義翔、鍾承訓、蕭庭訓、程梅萍。2018。地面結構對涼季豬隻生長性能與豬舍廢水量。畜產研究 51：75-83。
- 蘇天明、鍾承訓、蕭庭訓、程梅萍。2020。三段式處理對不同濃度養豬廢水之處理效果。畜產研究 53：82-90。

- 蘇天明、劉威志、翁義翔、蕭庭訓。2023a。水簾式肉豬舍熱季微氣候與空氣品質調查。畜產研究 56：208-219。
- 蘇天明、翁義翔、鍾承訓、劉威志、蕭庭訓。2023b。生長肥育豬飼養於水簾式豬舍對生長性能及廢水處理水質之影響。畜產研究 56：66-75。
- Bernal, M. P., J. A. Alburgue, and R. Moral. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresour. Technol.* 100: 5444-5453.
- Cowieson, A. J., T. Acamovic, and M. R. Bedford. 2006. Phytic acid and phytase: Implications for protein utilization by poultry. *Poult. Sci.* 85: 878-885.
- Cowieson, A. J., V. Ravindran, and P. H. Selle. 2008. Influence of dietary phytic acid and source of microbial phytase on ileal endogenous amino acid flows in broiler chickens. *Poult. Sci.* 87: 2287-2299.
- Dennehy, C., P. G. Lawlor, Y. Jiang, G. E. Gardiner, S. Xie, L. D. Nghiem, and X. Zhan. 2017. Greenhouse gas emissions from different pig manure management techniques: a critical analysis. *Front. Environ. Sci. Eng.* 11: 11.
- Giannuzzi, L., D. Sedan, R. Echenique, and D. Andrinolo. 2011. An acute case of intoxication with cyanobacteria and cyanotoxins in recreational water in Salto Grande Dam, Argentina. *Mar. Drugs* 9: 2164-2175.
- Humer, E., C. Schwarz, and K. Schedle. 2015. Phytate in pig and poultry nutrition. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl.)* 99: 605-25.
- Kristoffersen, S., T. Gjefsen, B. Svihus, and N. P. Kjos. 2021. The effect of reduced feed pH, phytase addition and their interaction on mineral utilization in pigs. *Livest. Sci.* 248: 104498.
- Li, Y. Z., L. Chenard, S. P. Lemay, and H. W. Gonyou. 2005. Water intake and wastage at nipple drinkers by growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 83: 1413-1422.
- Miaomiao, H., L. Wenhong, L. Xinqiang, W. Donglei, and T. Guangming. 2009. Effect of composting process on phytotoxicity and speciation of copper, zinc and lead in sewage sludge and swine manure. *Waste Manag.* 29: 590-597.
- NRC. 1998. *Nutrient Requirements of Swine*. 10th ed. National Academic Press, Inc., NY, USA.
- Nolan, T., S. M. Troy, M. G. Healy, W. Kwapinski, J. J. Leahy, and P. G. Lawlor. 2011. Characterization of separated pig manure composted with a variety of bulking agents at low initial C/N ratios. *Bioresour. Technol.* 102: 7131-7138.
- Parkinson, R., P. Gibbs, S. Burchett, and T. Misselbrook. 2004. Effect of turning regime and seasonal weather conditions on nitrogen and phosphorus losses during aerobic composting of cattle manure. *Bioresour. Technol.* 91: 171-178.
- Petty, L. A., S. D. Carter, B. W. Senne, and J. A. Shriver. 2002. Effects of beta-mannanase addition to corn-soybean meal diets on growth performance, carcass traits, and nutrient digestibility of weanling and growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 1012-1019.
- Pomar, C., F. Gagné, J. J. Matte, G. Barnett, and C. Jondreville. 2008. The effect of microbial phytase on true and apparent ileal amino acid digestibilities in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 86: 1598-1608.
- Portejoie, S., J. Y. Dourmad, J. Martinez, and Y. Lebreton. 2004. Effect of lowering dietary crude protein on nitrogen excretion, manure composition and ammonia emission from fattening pigs. *Livest. Prod. Sci.* 91: 45-55.
- Ravindran, V., S. Cabahug, G. Ravindran, and W. L. Bryden. 1999. Influence of microbial phytase on apparent ileal amino acid digestibility of feedstuffs for broilers. *Poult. Sci.* 78: 699-706.
- Santos, F. R., M. Hruby, E. E. M. Pierson, J. C. Remus, and N. K. Sakomura. 2008. Effect of phytase supplementation in diets on nutrient digestibility and performance in broiler chicks. *J. Appl. Poult. Res.* 17: 191-201.
- SAS. 2002. *SAS/STAT User's Guide*, Release 6.03 edition. Cary, NC, U.S.A.
- Sebastian, S., S. P. Touchburn, and E. R. Chavez. 1998. Implications of phytic acid and supplemental microbial phytase in poultry nutrition: A review. *Worlds Poult. Sci. J.* 54: 27-47.
- Sebastian, S., S. P. Touchburn, E. R. Chavez, and P. C. Lague. 1996. The effects of supplemental microbial phytase on the performance and utilization of dietary calcium, phosphorus, copper and zinc in broiler chickens fed corn-soybean diets. *Poult. Sci.* 75: 729-736.
- Selle, P. H., A. J. Cowieson, N. P. Cowieson, and V. Ravindran. 2012. Protein-phytate interactions in pig and poultry nutrition: a reappraisal. *Nutr. Res. Rev.* 25: 1-17.
- Sohail, S. S. and D. A. Roland. 1999. Influence of supplemental phytase on performance of broilers from four to six weeks of age. *Poult. Sci.* 78: 550-558.
- Shin, J. H., S. M. Lee, Y. J. Jung, C. Y. Chung, and H. S. Noh. 2005. Enhanced COD and nitrogen removals for the treatment of swine wastewater by combining submerged membrane bioreactor (MBR) and anaerobic upflow bed filter (AUBF)

- reactor. *Process Biochem.* 40: 3769-3776.
- Tiquia, S. M. 2010. Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. *Chemosphere.* 79: 506-512.
- Wang, Z., Y. Jiang, S. Wang, Y. Zhang, Y. Hu, Z. H. Hu, G. Wu, and X. Zhan. 2020. Impact of total solids content on anaerobic co-digestion of pig manure and food waste: Insights into shifting of the methanogenic pathway. *Waste Manage.* 114: 96-106.
- Yen, J. T., J. E. Wells, and D. N. Miller. 2004. Dried skim milk as a replacement for soybean meal in growing-finishing diets: effects on growth performance, apparent total-tract nitrogen digestibility, urinary and fecal nitrogen excretion, and carcass traits in pigs. *J. Anim. Sci.* 82: 3338-3345.

Effects of dietary crude protein content on growth performance and fecal compositions of grower-finisher pigs ⁽¹⁾

Tein-Ming Su ⁽²⁾ Wei-Zhi Liu ⁽²⁾ Yi-Hsiang Weng ⁽²⁾ Cheng-Hsun Chung ⁽²⁾ and Hsiu-Wen Ou ⁽²⁾⁽³⁾

Received: Sep. 16, 2024; Accepted: Dec. 27, 2024

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of feeding grower-finisher pigs with diets with different crude protein contents and raising them in wet-pad cooling feces scraped pig houses on pig growth performance, feces composition, water consumption, wastewater volume and wastewater quality in the pig house. A total of 224 LD (Landrace ♀ × Duroc ♂) and 224 LYD [(Landrace ♀ × Yorkshire ♂) ♀ × Duroc ♂] grower-finisher pigs with an average weight of about 39 kg were raised in a wet-pad cooling feces scraped pig houses, and the control group (HCP group) and the experimental group (LCP group), 224 animals each, were divided into 8 pens and 28 animals per pen, and fed with high crude protein and low crude protein diets, (the crude protein content of the diet was reduced by 3% and essential amino acids were added), respectively. The feeding trial was terminated when pigs reached average body weight is about 120 kg and feed and water were provided ad libitum during the experimental period. The growth performance and feces compositions of the pig, water consumption, wastewater amount, and wastewater quality of the pig house were measured. The results showed that the feed intake of pigs in the HCP group during the growth period was greater ($P < 0.001$) than that of the LCP group. The total nitrogen concentration in the feces of the LCP group were approximately 18.0% lower than those of the HCP group during the pig grower period, and were reduced by 17.2% during the finisher period. The water consumption and wastewater amount of the pig house in the finisher period are 22.23 and 6.13 L/d/head respectively, both are significantly higher than the 15.63 and 3.57 L/d/head in the growth period. The concentrations of chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, suspended solids, total nitrogen, total phosphorus, zinc, potassium, sodium and magnesium of wastewater in the finisher period were all higher than those in the growth period ($P < 0.05$). In summary, feeding the LCP group diet has no significant impact on the growth performance of grower-finisher pigs, and can reduce the total nitrogen concentration of feces. The application of wet-pad cooling feces scraped pig houses has the effects of saving water consumption and reducing the amount of wastewater.

Key words: Fecal composition, Grower-finisher pig, Growth performance, Low crude protein diet.

(1) Contribution No. 2810 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

(2) Livestock Management Division, MOA-TLRI, HsinHua, Tainan 71246, Taiwan, R. O. C.

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

不同體型品系閹公雞之屠體特性與品質比較⁽¹⁾

林正鏞⁽²⁾ 許振忠⁽³⁾ 萬添春⁽⁴⁾⁽⁵⁾

收件日期：113 年 7 月 5 日；接受日期：114 年 1 月 20 日

摘 要

本研究旨在比較不同體型品系閹公雞之屠宰率、屠體部位與器官比例、皮膚與肌肉顏色、肌肉組成、物理性狀及感官品評之差異。選用 10 週齡去勢之大(竹北仿土雞)與小(畜試土雞臺畜肉 13 號)體型紅羽公土雞各 88 隻，依不同品系之體型分開飼養。試驗期間提供相同之飼糧與光照，飼料與水供雞隻自由食用，於 28 週齡時每種體型閹公雞逢機屠宰 24 隻。試驗結果顯示，大體型閹公雞之屠體重、屠宰率、胸部比例、腿部比例、腹脂比例、腸道比例、胸肉蛋白質與灰分含量、胸肉蒸煮失重、韌度(toughness)及彈性(elasticity)顯著($P < 0.05$)較小體型閹公雞為高，但是屠體之頭頸、背部、翅膀、砂囊、心臟等比例、腿部皮膚與胸肉之 L^* 與 b^* 值、胸肉脂肪含量、內聚性(cohesiveness)、感官品評之嫩度與風味評分顯著($P < 0.05$)較小體型閹公雞為低。本試驗結果顯示，大(竹北仿土雞)與小(畜試土雞臺畜肉 13 號)體型紅羽公土雞顯著影響閹公雞屠體性狀、皮膚與肌肉顏色、肌肉組成、物理性狀及感官品評。

關鍵詞：體型、閹公雞、屠體性狀、肌肉品質、皮膚與肌肉顏色。

緒 言

有關閹公雞之生產技術，在中外書籍中記載已超過 2,000 年(鄒, 1995; Winter and Funk, 1960; Stromberg, 1980)。禽肉是人類飲食的重要組成部分，目前的育種方向為增加生長速度進行的家禽生產模式，未注重雞肉的食用品質。因此，消費者尋求優質的雞肉產品，閹雞肉可以提供優良品質條件(Amorim *et al.*, 2016)。閹雞肉質風味品評佳，此種雞肉在許多國家很受歡迎(Franco *et al.*, 2016)。閹公雞於飼養上常存在腳弱與胸骨彎曲問題，常導致胸部肌肉水疱、瘀傷及屠宰時脛骨骨折而影響屠體品質(Gassner *et al.*, 1958; Lesson *et al.*, 1976)等問題。在臺灣閹公雞之飼養均採用有色雞種，在養量為 239,457 隻，約占有色肉雞的 0.43% (農業部, 2023)。閹公雞與公雞比較試驗，已被證實閹公雞之肌纖維直徑與面積較小(Lin and Hsu, 2003a; Lin *et al.*, 2011)、肌肉韌度與剪切值較低(Lin and Hsu, 2002; Lin *et al.*, 2011)、肌肉脂肪含量較高、風味、嫩度及多汁性之感官品評較佳，特別是腿部肌肉(Lin *et al.*, 2011)、皮膚與肌肉之 L^* 值(亮度)及 b^* 值(黃色度)較大(Lin and Hsu, 2003b)，頭頸、腿部及腳爪占屠體比例較低，但是背部、翅膀及胸部占屠體比例較高(Lin and Hsu, 2003b)。雖然閹公雞之早期生長速度(去勢後 4 – 6 週內)較公雞差，但整體飼養期之增重與飼料利用效率反而比公雞好(Lin and Hsu, 2002)，是雞農可以選擇的飼養方式之一。閹公雞依上市體重可分為大體型閹公雞(包括竹北仿土雞閹公雞、珍珠雞閹公雞、紅羽土雞閹公雞及鬥雞閹公雞，體重在 3.5 kg 以上)與小體型閹公雞(包括黑羽土雞閹公雞與古早土雞閹公雞，體重在 3.5 kg 以下)，但以大體型閹公雞之飼養數量較多且活雞售價亦較高。但是不同體型閹公雞屠體性狀與肌肉品質比較之研究報告甚少，僅張(2001)與烏(2011)曾進行臺灣地區不同體型或品種之閹公雞屠體性狀與肉質特性調查。不同品系閹公雞除體型(活體重)存在明顯差異外，於屠宰率、屠體部位與內臟器官比例、皮膚與肌肉顏色、肌肉物理性質及感官品評等是否亦存在明顯差異，實值得進一步探討。本試驗旨在探討不同體型品系閹公雞之屠體性狀與肌肉品質比較，藉以瞭解不同體型品系閹公雞間之屠宰率、屠體部位與內臟器官比例、皮膚與肌肉顏色、肌肉組成與物理性質及感官品評之差異，以提供閹公雞飼養者之參考。

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2811 號。

(2) 農業部畜產試驗所技術服務組。

(3) 國立中興大學動物科學系。

(4) 農業部畜產試驗所畜產加工組。

(5) 通訊作者，E-mail: tcwan@tlri.gov.tw。

材料與方法

I. 試驗動物設計與飼養管理

本試驗於農業部畜產試驗所執行(前行政院農業委員會畜產試驗所),動物之使用、飼養及實驗內容係依據畜產試驗所實驗動物管理委員會之試驗準則進行。試驗選用 10 週齡去勢之不同體型品系閩公雞各 88 隻,小體型閩公雞採用農業部畜產試驗所育成之畜試土雞臺畜肉 13 號,大體型閩公雞採用竹北仿土雞。依不同體型品系分開飼養,兩種體型分置於 4 欄,每欄飼養 22 隻,共計 176 隻試驗動物。於 10 至 18 週齡餵給含蛋白質 19%、代謝能 3,000 kcal/kg 之飼糧。在 18 至 28 週齡餵給含蛋白質 17%、代謝能 2,800 kcal/kg 之飼糧。試驗期間水與飼料採任食,每天給予 23 小時光照至 28 週齡止。於 28 週齡時雞隻經 12 小時停止餵食後,進行個別雞隻秤重,每種體型逢機屠宰 24 隻(每欄屠宰 6 隻),於實驗室進行屠體性狀調查,屠宰雞隻經 CO₂ 迷昏、放血、脫毛及取出內臟,進行屠體與內臟秤重與皮膚色澤測定後,屠體依 Koch and Possa (1973) 之方法進行頭頸、翅、胸、背、腿及腳爪六大部位分切,並取下左右兩側胸肉(去骨與去皮)供測定肌肉色澤、組成及感官品評之用。

II. 檢測項目與方法

(i) 屠體重測定

雞隻經 CO₂ 迷昏、放血、脫毛、取下腹脂及取出內臟後之屠體重量表示。

(ii) 屠宰率測定

屠體重 / 體重 × 100。

(iii) 頭頸、腳爪、腿部、翅膀、背部及胸部比例測定

依 Koch and Possa (1973) 之方法進行頭頸、翅(三節翅)、胸(帶骨帶皮)、背、腿(清腿,帶骨帶皮)及腳爪六大部位屠體分切。

部位重量 / 屠體重 × 100。

(iv) 腹脂比例測定

腹脂重 / 體重 × 100 (腹脂指蓄積在坐骨、華氏囊及砂囊周圍之脂肪)。

(v) 肝臟、砂囊、腸道及心臟比例測定

肝臟、砂囊及心臟重之測定不包含脂肪,腸道重量則包含腸繫膜之脂肪。

器官比例 = 器官重 / 體重 × 100。

(vi) 皮膚與肌肉色澤值測定

依 Lyon *et al.* (1980) 之方法,以色差計(Dr. Lange MC reflectance colorimeter, Germany)分別測定皮膚與肌肉之色澤,以 CIE L*、a* 及 b* 值代表肌肉之色度,L* 值代表亮度(lightness),a* 值代表紅色度(redness),b* 值代表黃色度(yellowness)。胸(breast)與腿(thigh)部測定左右兩側,上中下各三個點,各點之平均值即為該部位之色澤值。

(vii) 肌肉中水分、粗脂肪、蛋白質及灰分含量測定

依 AOAC (2000) 之方法測定。將去皮、去骨及去除脂肪之左側胸肉,置於 -20℃ 下冷凍。測定時將肌肉樣品置於 4℃ 冰箱解凍 24 小時,將胸肉絞碎後,取樣測定之。水分之測定使用熱空氣乾燥法;脂肪之測定取經乾燥後之樣品於脂肪萃取器(Büchi 81b, Laboratory Technology Co., Flawil, Switzerland)以乙醚萃取之;蛋白質測定使用凱氏氮法(Kjeldahl)測定氮百分率,氮百分率轉換至蛋白質百分率以 6.25 為轉換係數;灰分之測定取經乾燥後之樣品置於 600℃ 灰化爐中灰化。

(viii) 蒸煮失重(cooking loss)測定

依 Florene *et al.* (1994) 之方法修飾之。將整塊右側胸肉秤重後置入夾鏈袋內,並以錫箔紙包裹後,沈浸於 80℃ 水浴池中 25 分鐘,再放在流水中冷卻 15 分鐘,將表面的水分擦乾後秤重,二者間之差即為蒸煮失重。

(ix) 肌肉韌度(toughness)、內聚性(cohesiveness)、彈性(elasticity)及咀嚼性(chewiness)之測定

參考 Lyon and Lyon (1996) 之方法,於整塊右側胸肉解凍後,以錫箔紙包裹後置入夾鏈袋內,將胸肉沈浸於 80℃ 水浴池中 25 分鐘,再放在流水中冷卻 15 分鐘後,將肉順著肌纖維之方向(與肌纖維方向平行)切成 2 × 1 × 1 cm³ (長 × 寬 × 高)之長方體肉塊,肉塊以保鮮膜包裹直至測定為止。以流變儀(NRM-2010J-CW, Fudoh Rheometer, Kogyo Co., Japan)做咀嚼性(chewing test)測定,選取其中之韌度、內聚性、彈性及咀嚼性作為肌肉品質之衡量指標。測定條件如下:力量承受範圍(range): 2,000 g、載物臺速度(test speed): 30 cm/min、紀錄速度(sweep speed): 15 cm/min、套頭直徑(adaptor diameter): 15 mm、樣品高度(sample

height) : 10 mm、檢出重量 (detector) : 2 kg。

(x) 感官品評

將冰凍之右側胸肉於 0 – 4℃ 冰箱進行解凍 24 小時後，各別之胸肉以鋁箔紙包覆後置於 85℃ 水浴槽下水煮約 20 – 30 分鐘，當肌肉中心溫度達 80℃ 後取出，將肌肉切成約 1/2 英吋 (1.3 cm) 立方體大小之肉塊，並將肉塊放置於溫暖之隔熱容器直至進行感官品評為止。以 17 位人員進行感官品評，每位品評人員分別從處理組樣品選取一塊肌肉進行品評。品評項目包括嫩度、多汁性及風味。採 7 分法，1 至 7 分表示，嫩度由非常硬至非常柔軟，多汁性由非常乾澀至非常多汁，風味由非常不喜歡至非常喜歡 (Lin *et al.*, 2011)。

III. 統計分析

試驗資料以統計分析系統 (Statistical Analysis System, SAS, 2013) 套裝軟體進行統計分析，使用一般線性模式程序 (General Linear Model Procedure, GLM) 進行變方分析，以最小平方均值 (Least Squares Mean, LSM) 測定法比較各處理組間差異的顯著性。

結果與討論

I. 屠宰率與屠體部位比例

不同體型品系閹公雞之屠宰率與屠體部位比例比較列示於表 1。試驗結果顯示，大體型閹公雞之屠體重、屠宰率、胸部比例及腿部比例顯著 ($P < 0.05$) 較小體型閹公雞為高，頭頸比例、背部比例及翅膀比例顯著 ($P < 0.05$) 較小體型閹公雞為低。此結果與烏 (2011) 之研究相近，閹公雞之屠宰率、胸肉、腿及翅膀占屠體重比例顯著受品種與體型之影響，黑羽土雞閹公雞與鬥雞閹公雞之屠宰率顯著高於烏骨雞閹公雞，胸肉比例以鬥雞閹公雞最高，翅膀比例則以烏骨雞閹公雞最高相似。但是與張 (2001) 之研究顯示，大體型閹公雞之屠體重、屠宰率、腳部比例、翅膀比例及腿部比例顯著較小體型閹公雞為高之結果不完全一致。在其他動物亦有類似發現，楊等 (2011) 亦證實肉羊屠宰率顯著受品種之影響。而本試驗小體型閹公雞之屠體重、屠宰率、胸部比例及腿部比例顯著較大體型閹公雞為低，頭頸比例顯著較大體型閹公雞為高之原因，可能與其土雞血緣較純有關。陳 (2004) 之研究發現臺灣商用土雞 (紅羽與黑羽) 的上市體重與屠宰率較臺灣純種土雞高，且臺灣有色肉雞的頭頸部比例較白肉雞大，但胸部與腿部比例較白肉雞小。此外 Calik, *et al.* (2015) 指出閹雞對屠宰和肉品質性狀影響的研究證實與未閹割的雞相比，閹雞具有更高的體重、更高的胸肌及腿部重量。

表 1. 不同體型品系閹公雞之屠宰率與屠體部位比例比較

Table 1. Comparison of dressing rate and proportion of carcass parts of castrated roosters of different size strains

Items	Heavy-type	Light-type
Live body weight, g	4,708.1 ± 102.2 ^a	2,435.2 ± 68.1 ^b
Eviscerated weight, g	3,724.2 ± 872.1 ^a	1,875.1 ± 58.2 ^b
Dressing, % B.W.*	79.1 ± 0.5 ^a	77.0 ± 0.3 ^b
Head and neck weight, % E.W.	7.8 ± 0.3 ^b	10.1 ± 0.2 ^a
Back weight, % E.W.	20.7 ± 0.5 ^b	21.9 ± 0.4 ^a
Thigh weight, % E.W.	30.2 ± 0.3 ^a	29.2 ± 0.2 ^b
Wing weight, % E.W.	10.7 ± 0.4 ^b	13.5 ± 0.2 ^a
Breast weight, % E.W.	26.1 ± 0.5 ^a	20.7 ± 0.3 ^b
Feet weight, % E.W.	4.5 ± 0.1	4.6 ± 0.1

^{a, b} Means within the same row with the different superscripts were significantly different ($P < 0.05$).

* B.W. = Live body weight ; E.W. = Eviscerated weight.

II. 閹公雞之腹脂與器官比例比較

不同體型品系閹公雞之腹脂與器官占體重比例比較 (表 2)。試驗結果顯示，大體型閹公雞之腹脂比例與腸道比例顯著 ($P < 0.05$) 較小體型閹公雞為高，砂囊比例與心臟比例顯著 ($P < 0.05$) 較小體型閹公雞為低。此結果與烏 (2011) 之研究比較，閹公雞之器官與腹脂占體重之相對重量，隨品種而不同，尤其砂囊部分，砂囊比例以

古早雞 (小體型閹公雞) 之比例最高, 而心臟與肝臟比例於不同品種間差異較小的結果相似。而張 (2001) 亦指稱, 腹脂與器官比例顯著受閹公雞體型大小之影響, 大體型閹公雞之腹脂比例顯著較中體型與小體型閹公雞為低, 但肝臟比例顯著較中體型與小體型閹公雞為高, 而心臟、砂囊及腸道比例則以中體型閹公雞顯著較大體型與小體型閹公雞為低。

表 2. 不同體型品系閹公雞之腹脂與器官比例比較

Table 2. Comparison of abdominal fat and organ ratios in castrated roosters of different size strains

Items	Heavy-type	Light-type
Abdominal fat weight, % B.W.*	3.61 ± 0.32 ^a	2.14 ± 0.21 ^b
Heart weight, % B.W.	0.43 ± 0.02 ^b	0.47 ± 0.01 ^a
Liver weight, % B.W.	1.20 ± 0.06	1.16 ± 0.04
Gizzard weight, % B.W.	1.48 ± 0.07 ^b	1.67 ± 0.05 ^a
Intestine weight, % B.W.	4.20 ± 0.16 ^a	2.39 ± 0.11 ^b

^{a, b} Means within the same row with the different superscripts were significantly different ($P < 0.05$).

* B.W. = Live body weight.

III. 皮膚與肌肉色澤

不同體型品系閹公雞之腿部皮膚與胸肉 L^* 、 a^* 及 b^* 值比較列示於表 3。試驗結果顯示, 大體型閹公雞之腿部皮膚與胸肉 L^* 及 b^* 值顯著 ($P < 0.05$) 較小體型閹公雞為低。烏 (2011) 之研究發現, 皮膚和肌肉色澤會受品種與體型之影響, 且閹公雞之皮膚 L^* 值與腿肉 L^* 及 b^* 值亦受到品種和屠宰週齡交感作用的影響。而張 (2001) 指出, 腿部皮膚與胸肉之 L^* 、 a^* 及 b^* 值以大體型閹公雞顯著較小體型閹公雞為大。Cason *et al.* (1987) 指出雞隻在去勢後體內色素之沉積會由於品系不同而有所不同。本試驗使用之小體型閹公雞為畜試土雞白皮膚品種, 其皮膚顏色受脂肪與色素堆積而改變。使用之大體型閹公雞為竹北仿土雞, 其含有白肉雞血緣, 而白肉雞之親本源自可尼秀 (cornish) 公雞與白蘆花雞 (white plymouth rock) 母雞為黃色皮膚品種, 此可能為本試驗不同體型品系閹公雞之皮膚 L^* 與 b^* 值有顯著差異之原因。而小體型閹公雞之胸肉 L^* 與 b^* 值顯著較大體型閹公雞高之原因, 可能與小體型閹公雞之胸肉脂肪含量顯著較大體型閹公雞高有關。Hillebrand *et al.* (1996) 研究肉色影響試驗, 許多因子影響肉類色澤的直接與間接因素包括脂肪含量與肉中色素含量。Pujol (2023) 指稱, 原料肉色澤主要受肌肉中肌紅蛋白 (myoglobin) 含量多寡之影響。Lyon and Cason (1995) 之報告顯示, 肉中脂肪含量增加, 導致肌肉中肌紅蛋白含量減少, 會反射大部分光源, 使肉色之 L^* 值增加, a^* 值減低。Wang *et al.* (2016) 亦證實, 飼糧中添加萬壽菊萃取物可顯著提高肉雞屠體的黃度值、抗氧化能力及原料肉品質。Miltenburg *et al.* (1992) 指出 L^* 值與肌肉中鐵與血肌質 (hematin) 含量呈顯著負相關, a^* 值與肌肉中鐵與血肌質 (hematin) 含量呈顯著正相關。另一方面睪固酮可抑制排卵素 (luteinizing hormone, LH) 之分泌 (Griggs *et al.*, 1989); 去勢或以抗雄性素處理, 均可提高血漿 LH 之濃度 (Fennell and Scanes *et al.*, 1996; Moghetti *et al.*, 1999); 而 LH 可促進類胡蘿蔔素 (carotenoids) 之蓄積 (Witschi, 1961), 可增加皮膚與肌肉之黃色度。

表 3. 不同體型品系閹公雞之腿部皮膚與胸肉 L^* 、 a^* 及 b^* 值比較

Table 3. Comparison of L^* , a^* and b^* values of leg skin and breast meat of castrated roosters of different size strains

Items	Heavy-type	Light-type
Thigh skin		
L^* value	64.91 ± 2.60 ^b	74.35 ± 2.20 ^a
a^* value	0.32 ± 1.60	0.85 ± 1.00
b^* value	4.92 ± 1.20 ^b	10.65 ± 2.60 ^a
Breast muscle		
L^* value	54.21 ± 2.40 ^b	59.75 ± 4.20 ^a
a^* value	-1.12 ± 1.30	0.89 ± 1.04
b^* value	5.77 ± 1.00 ^b	7.65 ± 1.49 ^a

^{a, b} Means within the same row with the different superscripts were significantly different ($P < 0.05$).

III. 胸肉組成

表 4 列示不同體型品系閹公雞之胸肉組成比較。試驗結果顯示，大體型閹公雞之胸肉蛋白質與灰分含量顯著 ($P < 0.05$) 較小體型閹公雞為高，但脂肪含量顯著 ($P < 0.05$) 較小體型閹公雞為低。烏 (2011) 之研究顯示，胸肉脂肪比例顯著受品種之影響。而張 (2001) 指出，中體型閹公雞品系之胸肉水分與蛋白質含量顯著較小體型與大體型閹公雞品系為大，但脂肪含量則顯著較小體型與大體型閹公雞品系為低。灰分含量於三種體型閹公雞品系間具顯著差異，以中體型之灰分含量最高，小體型次之，大體型最低。在其他動物亦有類似發現，楊等 (2011) 亦證實肉羊背最長肌之肌肉組成顯著受品種之影響。閹公雞因雄性素分泌降低，至其脂肪蓄積量增加，因雄性素可抑制雞隻脂肪蓄積 (Deyhim *et al.*, 1992; Fennell and Scanes, 1992; Fennell *et al.*, 1996) 與降低家禽脂肪合成酵素活性 (謝等, 2002; Pearce, 1977)。睪固酮在多種組織中發揮合成代謝作用，增加蛋白質合成和刺激肌肉和骨骼生長。閹雞的飼養期比肉雞長得多，因此，他們必須有強壯的骨骼來支撐不斷增長的體重，肌肉質量與骨質的高比例會導致生長障礙、骨勞損或甚至骨折 (Kwiecień *et al.*, 2019; Tomaszewska, *et al.*, 2017)。而本試驗小體型閹公雞之胸肉蛋白質含量顯著較大體型閹公雞低，脂肪含量顯著較大體型閹公雞高之原因，可能與本試驗選用之小體型閹公雞 (畜試土雞) 具早熟性有關。

表 4. 不同體型品系閹公雞之胸肉組成比較

Table 4. Comparison of breast meat composition of castrated roosters of different size strains

Items	Heavy-type	Light-type
Moisture, %	71.74 ± 4.33	72.01 ± 1.61
Fat, %	2.22 ± 3.03 ^b	3.65 ± 2.07 ^a
Protein, %	24.82 ± 3.23 ^a	23.28 ± 1.74 ^b
Ash, %	1.22 ± 0.27 ^a	1.04 ± 0.18 ^b

^{a, b} Means within the same row with the different superscripts were significantly different ($P < 0.05$).

IV. 肌肉物理性狀

不同體型品系閹公雞之胸肉物理性狀列示於表 5。試驗結果顯示，大體型閹公雞之胸肉蒸煮失重、韌度 (toughness) 及彈性 (elasticity) 顯著較小體型閹公雞為高 ($P < 0.05$)，內聚性 (cohesion) 顯著較小體型閹公雞為低 ($P < 0.05$)。張 (2001) 之研究發現，肌肉蒸煮失重、內聚性及咀嚼性於大、中及小體型閹公雞間並無顯著差異，但肌肉韌度於三種體型閹公雞間具顯著差異，以中體型閹公雞最大，小體型閹公雞最小。陳 (2004) 之研究指出，雞隻品種與性別顯著影響肌肉之剪切值、穿刺值、彈性、硬度、內聚性及咀嚼性等物理特性。烏 (2011) 之研究指稱，雞隻品種顯著影響肌肉之 pH 值與保水性。Honikel (1998) 指稱，肌肉加熱導致肌肉蛋白質變性與結締組織收縮為產生蒸煮失重之主要原因。蒸煮失重與感官品評之多汁性與嫩度有密切關係，蒸煮失重高者感官品評之多汁性 (Sales, 1995; Van Oeckel *et al.*, 1999) 與嫩度 (Van Oeckel *et al.*, 1999) 較差。本試驗小體型閹公雞之肌肉蒸煮失重顯著較大體型閹公雞為低之原因，可能與小體型閹公雞之肌肉脂肪含量較高有關。Sales (1995) 發現肌肉脂肪含量高者，其蒸煮失重較脂肪含量低者為低。韌度為表達樣品壓縮、折曲、扭曲及拉伸等之綜合性質，意即肌肉之韌度越大則表示其抵抗壓縮、折曲、扭曲及拉伸等不同型式之外力能力越強。韌度可反映感官品評之嫩度或硬度，韌度值低者感官品評之嫩度較佳。本試驗小體型閹公雞之肌肉韌度顯著較大體型閹公雞為低之原因，可能與小體型閹公雞之肌肉脂肪含量較高與肌纖維直徑較小有關。Sales (1995) 發現肌肉脂肪含量高者，其韌度較脂肪含量低者為低。相關報告亦指出肌纖維大小可能與肉的韌度成正相關，意即咀嚼與咬合次數增多 (Tuma *et al.*, 1962; Herring *et al.*, 1965)。烏 (2011) 之研究顯示，小體型閹公雞之肌纖維直徑顯著較大體型閹公雞小。陳 (2004) 之研究亦證實，雞隻品種與性別顯著影響肌纖維大小，包含內聚性、彈性及咀嚼性等物性指標作為判斷的標準。內聚性表示樣品分子間作用引力之強弱，意即樣品在發生破裂前所能承受的最大力量，樣品內聚性越大表示將此樣品分子與分子間拉開所需的能量相對越多。內聚性可反映官能品評樣品分散容易度，值越低樣品分散速度越快。彈性代表樣品受外力產生變形後其恢復原狀的速度，樣品恢復原狀的速度愈快表示其彈性愈好。咀嚼性代表樣品咀嚼至可吞嚥狀態所消耗之能量，意即咀嚼性越高咬合次數越多。

V. 肌肉感官品評

表 6 列示不同體型品系閹公雞之胸肉感官品評比較。試驗結果顯示，大體型閹公雞之胸肉嫩度、多汁性及風味感官品評評分均較小體型閹公雞為低，嫩度與風味具顯著差異 ($P < 0.05$)。烏 (2011) 之研究顯示，雞隻品種

顯著影響肌肉之嫩度、風味及多汁性感官品評成績，黑羽土雞閹公雞之風味感官品評顯著優於古早雞，鬥雞閹公雞之腿肉多汁性感官品評顯著優於竹北仿土雞、珍珠雞及紅羽土雞之閹公雞。陳 (2004) 之研究亦證實，雞隻品種顯著影響食肉之感官品評。有不同的試驗結果，張 (2001) 之研究發現，肌肉之風味、嫩度及感官品評多汁性於大 (竹北仿土雞)、中 (商用紅羽土雞) 及小 (商用黑羽土雞) 體型閹公雞間並無顯著差異，本試驗係使用北仿土雞及畜試土雞臺畜肉十三號土雞。肌肉之風味、嫩度、多汁性及質地品評結果受許多因素的影響，但主要與肌肉脂肪含量、脂肪酸比例及肌纖維大小有關。本試驗小體型閹公雞之肌肉嫩度、多汁性及風味感官品評評分較大體型閹公雞為佳之原因，可能與小體型閹公雞之肌肉脂肪含量較高與蒸煮失重較少有關。Sales (1995) 與 Van Oeckel *et al.* (1999) 指稱，肌肉蒸煮失重高者其感官品評之多汁性與嫩度較蒸煮失重低者差。Wood *et al.* (1986)、Cameron *et al.* (1990) 及 Sales (1995) 發現肌肉脂肪含量高者較脂肪含量低者有較佳之適口性，特別在嫩度、多汁性、風味及芳香味 (aroma) 方面。Cameron and Enser (1991) 發現肌肉中之單不飽和脂肪酸比例增加，多不飽和脂肪酸比例減少，可改善肌肉適口性。而烏 (2011) 之研究顯示，小體型閹公雞之肌纖維直徑顯著較大體型閹公雞小。Herring *et al.* (1965) 與 Tuma *et al.* (1962) 指稱，肌纖維較大者，其肌肉較粗糙與強韌，肌纖維大小和肉的韌度成正相關。而烏 (2011) 之研究顯示，小體型閹公雞之肌纖維直徑顯著較大體型閹公雞小。

表 5. 不同體型品系閹公雞之胸肉物理性狀比較

Table 5. Comparison of physical characteristics of breast meat of castrated roosters of different size strains

Items	Heavy-type	Light-type
Cooking loss, %	26.81 ± 1.80 ^a	23.90 ± 4.81 ^b
Toughness, g	1,537.02 ± 216.0 ^a	1,047.03 ± 143.52 ^b
Cohesiveness	0.40 ± 0.13 ^b	0.45 ± 0.09 ^a
Elasticity	0.61 ± 0.11 ^a	0.54 ± 0.06 ^b
Chewiness, g	326.51 ± 218.32	297.62 ± 112.21

^{a, b} Means within the same row with the different superscripts were significantly different ($P < 0.05$).

表 6. 不同體型品系閹公雞之胸肉感官品評比較

Table 6. Comparison of breast panel test of castrated roosters of different size strains

Items	Heavy-type	Light-type
Tenderness	4.3 ± 0.4 ^b	5.2 ± 1.9 ^a
Juiciness	4.7 ± 0.8	5.2 ± 1.7
Flavor	4.4 ± 0.5 ^b	5.7 ± 2.2 ^a

^{a, b} Means within the same row with the different superscripts were significantly different ($P < 0.05$).

結 論

品種或體型顯著影響屠體性狀、皮膚和肌肉顏色、肌肉組成、物理性狀及感官品評。畜試土雞 (小體型) 閹公雞之屠體重、屠宰率、胸部比例、腿部比例、胸肉蛋白質、蒸煮失重、韌度及彈性、顯著較竹北仿土雞 (大體型) 閹公雞為低，但腿部皮膚與胸肉 L^* 與 b^* 值、胸肉脂肪含量、內聚性、嫩度及風味之感官品評評分顯著較竹北仿土雞 (大體型) 閹公雞為高。養雞業者可以選擇不同體型或感官品評較佳雞種飼養。

參考文獻

- 烏仕明。2011。臺灣地區閹雞之飼養現況及其生產性狀之分析。碩士論文，臺灣大學，臺北市。
- 陳宛瑩。2004。地方雞種屠體性狀及肉質之比較。碩士論文，中興大學，臺中市。
- 鄒介正。1995。去勢術。中國農業百科全書 (何康與劉瑞龍主編)，農業歷史卷第 273-274 頁，北京，中國農業出版社。
- 張傳煌。2001。臺灣地區不同體型商業用閹公雞其屠體與肉質特性之調查。碩士論文，中興大學，臺中市。

- 楊深玄、蘇安國、王勝德。2011。不同品種與屠宰體重對五種臺灣常用閹公羊屠體性狀與肌肉脂肪酸組成之影響。畜產研究 44：285-300。
- 農業部。2023。農業統計年報。https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/book/Book.aspx。
- 謝琛悅、陳國隆、邱文石。2002。閹割對臺灣土公雞脂質生成及代謝之影響。中畜會誌 31(增刊)：87。
- Amorim, A., S. Rodrigues, E. Pereira, and A. Teixeira. 2016. Physicochemical composition and sensory quality evaluation of capon and rooster meat. Poult. Sci. 95: 1211-1219.
- Association Official Analytical Chemists. 2000. Official Methods of Analysis. 14th ed. Washington, DC: Association Official Analytical Chemists.
- Calik, J., K. Połtowicz, S. Świątkiewicz, J. Krawczyk, and J. Nowak. 2015. Effect of canonization on meat quality of Greenleg partridge cockerels. Ann. Anim. Sci. 15: 541-552.
- Cameron, N. D., P. D. Warriss, S. J. Porter, and M. B. Enser. 1990. Comparison of Duroc and British Landrace pigs for meat and eating quality. Meat Sci. 27: 227-247.
- Cameron, N. D. and M. B. Enser. 1991. Fatty acid composition of lipid in *longissimus dorsi* muscle of Duroc and British Landrace pigs and its relationship with eating quality. Meat Sci. 29: 295-307.
- Cason, J. A., D. L. Fletcher, and W. H. Burke. 1987. Influence of caponization on skin pigmentation of meat broilers. Poult. Sci. 66: 433-438.
- Deyhim, F., R. E. Moreng, and E. W. Kienholz. 1992. The effect of testosterone propionate on growth of broiler chickens. Poult. Sci. 71: 1921-1926.
- Fennel, M. J. and C. G. Scanes. 1992. Inhibition of growth in chickens by testosterone, 5 α -dihydrotestosterone, and 19-nortestosterone. Poult. Sci. 71: 357-366.
- Fennell, M. J., S. V. Radecki, J. A. Proudman, and C. G. Scanes. 1996. The suppressive effects of testosterone on growth in young chickens appears to be mediated via a peripheral androgen receptor; studies of the anti-androgen ICI 176,334. Poult. Sci. 75: 763-766.
- Florence G., C. Touraille, A. Oual, M. Renerre, and G. Moni. 1994. Relationships between postmortem pH changes and some traits of sensory quality in veal. Meat Sci. 37: 315-325.
- Franco, D., M. Pateiro, D. Rois, J. A. Vazquez, and J. M. Lorenzo. 2016. Effects of caponization on growth performance, carcass and meat quality of Mos breed capons reared in free-range production system. Ann. Anim. Sci. 16: 909-929.
- Gassner, F. X., E. C. Reifenstein, Jr., J. W. Algeo, and W. E. Mattox. 1958. Effects of hormone on growth, fattening, and meat production potential of livestock. Recent Progr. Horm. Res. 14: 183-218.
- Griggs, R. C., W. Kingston, R. F. Jozefowicz, B. E. Herr, G. Forbes, and D. Halliday. 1989. Effect of testosterone muscle mass and muscle protein synthesis. J. Appl. Physiol. 66: 498-503.
- Herring, H. K., R. G. Cassens, and E. J. Briskey. 1965. Further studies on bovine muscle tenderness as influenced by carcass position, sarcomere length, and fiber diameter. J. Food Sci. 30: 1049-1054.
- Hillebrand, S. J. W., E. Lambdy, and C. H. Veerkamp. 1996. The effects of alternative electrical and mechanical stunning methods on hemorrhaging and meat quality of broiler breast and thigh muscles. Poult. Sci. 75: 664-671.
- Honikel, K. O. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. Meat Sci. 49: 447-457.
- Koch, T. and E. Possa. 1973. Anatomy of the Chicken and Domestic Birds, pp. 12. Humboldt University, West Germany.
- Kwiecień, M., K. Kasperek, A. Winiarska-Mieczan, A. Danek-Majewska, K. Kwiatkowska, A. Arczewska-Włosek, Ł. Jarosz, and E. Zaricka. 2019. Effect of canonization on bone development in native male chickens. Ann. Anim. Sci. 19: 991-1007.
- Lesson, S., J. D. Summers, and J. P. Walker. 1976. The effect of light and diet on performance and carcass quality of capons. Poult. Sci. 55: 438-470.
- Lin, C. Y. and J. C. Hsu. 2002. Effects of surgical caponization on growth performance, fiber diameter and some physical properties of muscles in Taiwan country chicken cockerels. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 15: 401-405.
- Lin, C. Y. and J. C. Hsu. 2003a. Comparison of some selected growth, physiological and bone characteristics of capon, slip and intact birds in Taiwan country chicken cockerels. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 16: 50-56.
- Lin, C. Y. and J. C. Hsu. 2003b. Influence of surgical caponization on the carcass characteristics in Taiwan country chicken cockerels. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 16: 575-580.
- Lin, C. Y., L. C. Lin, and J. C. Hsu. 2011. Effect of caponization on muscle composition, shear value, ATP related compounds

- and taste appraisal in Taiwan country chicken cockerels. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 24: 1026-1030.
- Lyon, C. E. and J. A. Cason. 1995. Effect of water chilling on objective color of bruised and unbruised broiler tissue. *Poult. Sci.* 74: 1894-1899.
- Lyon, B. G. and C. E. Lyon. 1996. Texture evaluations of cooked, diced broiler breast samples by sensory and mechanical methods. *Poult. Sci.* 75: 812-819.
- Lyon, L. E., B. G. Lyon, C. E. Davis, and W. E. Townsend. 1980. Texture profile analysis of patties made from mixed and flake-cut mechanically deboned. *Poult. Sci.* 59: 69-76.
- Miltenburg, G. A. J., Th. Wensing, F. J. M. Smulders, and H. J. Breukink. 1992. Relationship between blood hemoglobin plasma and tissue iron, muscle heme pigment, and carcass color of veal. *J. Anim. Sci.* 70: 2766-2772.
- Moggetti, P., R. Castello, N. Zamberlan, M. Rossini, D. Gatti, C. Negri, F. Tosi, M. Muggeo, and S. Adami. 1999. Spironolactone, but not flutamide, administration prevents bone loss in hyperandrogenic women treated with gonadotropin-releasing hormone agonist. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 84: 1250-1254.
- Pearce, J. 1977. Effect of testosterone on hepatic lipid metabolism in the mature female domestic fowl. *J. Endocrinol.* 75: 343-344.
- Pujol, A., J. C. Ospina, H. Alvarez, and D. A. Munoz. 2023. Myoglobin content and oxidative status to understand meat products' color: Phenomenological based model. *J. Food Engineering* 348: 111439.
- Sales, J. 1995. Ostrich meat review: a South African viewpoint. *Canadian Ostrich Magazine* 4: 20-25.
- SAS. 2013. SAS user guide: Statistics. SAS Inst., Cary, NC.
- Stromberg, L. 1980. Caponizing Modern Management and Profitable Marketing, pp. 7-15. Stromberg, Publishing Company, Minnesota, USA.
- Tomaszewska, E., M. Kwiecień, S. Muszyński, P. Dobrowolski, K. Kasperek, T. Blicharski, G. Jeżewska-Witkowska, and E. R. Grela. 2017. Long-bone properties and development are affected by canonization and breed in Polish fowls. *Br. Poult. Sci.* 58: 312-318.
- Tuma, H. J., J. H. Venable, P. R. Wuthier, and R. L. Hendrickson. 1962. Relationship of fiber diameter to tenderness and meatiness as influenced by bovine age. *J. Anim. Sci.* 21: 33-36.
- Van Oeckel, M. J., N. Warnants, and C. V. Boucque. 1999. Comparison of different methods for measuring water holding capacity and juiciness of pork versus on-line screening methods. *Meat Sci.* 51: 313-320.
- Wang, S., L. Zhang, J. Li, J. Cong, F. Gao, and G. Zhou. 2016. Effects of dietary marigold extract supplementation on growth performance, pigmentation, antioxidant capacity and meat quality in broiler chickens. *Asian-Australas J. Anim. Sci.* 30: 71-77.
- Winter, A. R. and E. M. Funk. 1960. *Poultry Science and Practice*. J. B. Lippincott Co., New York, NY.
- Witschi, E. 1961. Sex and Secondary Sexual Characteristics, pp. 115-168 in *Biology and comparative Physiology of Birds*. Vol. 2. A. J. Marshall, ed. Academic Press. New York, NY.
- Wood, J. D., R. C. D. Nones, M. A. Francombe, and O. P. Whelehan. 1986. The effects of fat thickness and sex on pig meat quality with special reference to the problems associated with overleanness. *Anim. Prod.* 43: 535-544.

Comparison of the carcass characteristics and quality of different strains of capons ⁽¹⁾

Cheng-Yung Lin ⁽²⁾ Jenn-Chung Hsu ⁽³⁾ and Tien-Chun Wan ^{(4) (5)}

Received: Jul.18, 2024; Accepted: Jan. 20, 2025

Abstract

The purpose of this study was to compare the differences in the percentage of dressing, proportion of carcass parts and organs, skin and meat color values, muscle composition, physical properties, and sensory quality of capons of different body sizes and strains. The birds caponized at 10 weeks of age included 88 large birds (Zhubei Native Chicken) and 88 small birds (LRI Chicken T13) each of commercial red-feathered country chicken, raised by body sizes of different strains. The two groups of capons were provided with the same diet and incandescent light during the experimental period. Feed and water were provided *ad libitum*. Twenty-four capons of each body size were sacrificed randomly at 28 weeks of age. The results showed that the carcass weight, percentage of dressing, breast and thigh part, abdominal fat and intestine, protein and ash content, cooking loss, toughness and elasticity of breast muscle were significantly ($P < 0.05$) greater in the capons of large body size, while the capons of small body size had a greater ($P < 0.05$) percentage of head and neck, back and wing part, gizzard and heart, L^* and b^* values of thigh skin and breast muscle, fat content, and cohesiveness of breast muscle. Accordingly, the for tenderness and flavor in sensory score of large size capons were lower ($P < 0.05$) than those of small size capons. In addition, our results also indicate that large (Zhubei Native Chicken) and small (LRI Chicken T13) commercial red-feathered country chicken have significant impact on the percentage of dressing, carcass parts and organs, skin and meat color values, muscle composition, physical properties, and sensory sore of capons.

Key words: Body sizes, Capons, Carcass traits, Meat quality, Skin and muscle colors.

(1) Contribution No. 2811 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

(2) Technical Service Division, MOA-TLRI, HsinHua, Tainan 71246, Taiwan, R. O. C.

(3) Department of Animal Science, National Chung-Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R. O. C.

(4) Animal Products Processing Division, MOA-TLRI, HsinHua, Tainan 71246, Taiwan, R. O. C.

(5) Corresponding author, E-mail: tcwan@tlri.gov.tw.

凝結芽孢桿菌醱酵物對離乳仔豬生長性狀、糞便微生物數量與下痢發生率的影響⁽¹⁾

劉芳爵⁽²⁾⁽³⁾ 蕭合芬⁽²⁾ 許晉賓⁽²⁾

收件日期：113 年 9 月 16 日；接受日期：114 年 2 月 18 日

摘 要

本試驗之目的為探討添加不同培養基之凝結芽孢桿菌 (*Bacillus coagulans*) 醱酵物對離乳仔豬的生長性狀、糞便微生物數量與下痢發生率的影響。醱酵物分別以 Man Rogosa Sharp (MRS) 培養基與以植物性 Soy Peptone (No.19685 Stbio Medium, Inc., Taiwan) 等量 (20 g/L) 取代 MRS 培養基之動物性 Proteose Peptone (10 g/L) 與牛肉萃出物 (beef extract, 10 g/L) 原料。比較此兩種醱酵物對藤黃微球菌 (*Micrococcus luteus*, BCRC 80243) 的抑菌效果顯示，此 2 種醱酵物對藤黃微球菌的抑菌活性相似。在離乳仔豬的飼養試驗，採用 26 – 28 日齡公母各半之 LD 二品種雜交仔豬 48 頭，每欄依性別與體重逢機選取 4 頭仔豬 (公母各半)，飼糧分為空白組、2 組試驗料分別添加培養於修改 MRS 配方之醱酵物 (CFP) 與 MRS 之醱酵物 (MFP)，且飼料含有抑菌活性均為 10 IU/kg。飼養試驗結果顯現，在第 2 週的平均日增重，餵飼添加 CFP 飼糧高於對照組，但與餵飼 MFP 飼糧，兩者間無顯著差異。仔豬下痢發生率，第 2 週時 CFP 組仔豬下痢發生率最低僅有 9.5%，最高為對照組的 25.0%，而 MFP 組則為 14.2%。在糞便微生物數量部分，在試驗結束時 CFP 組比對照組具有減少病原性大腸桿菌菌數之效果。另外，在試驗結束日之血液性狀、血球數與白血球種類的分析結果，CFP 組之三酸甘油酯與總膽固醇含量低於對照組，其他性狀各組間均無顯著差異。綜合前述結果建議，餵飼添加 CFP 醱酵物可提升離乳仔豬在離乳後第 2 週的日增重、降低下痢發生率與減少糞便中病原性大腸桿菌菌數的效果。

關鍵詞：凝結芽孢桿菌、抗菌活性、下痢。

緒 言

仔豬階段發生下痢 (也稱為腹瀉) 在全球各地養豬場為常見的現象，且此現象會嚴重影響養豬場仔豬的育成率與利潤 (Martin and Henry, 1982)。仔豬發生下痢的原因，主要是因消化道功能紊亂，該症狀會造成仔豬的生長性狀明顯下降。自然環境中常見如沙門氏菌 (*Salmonella*)、大腸桿菌 (*Escherichia coli*) 與梭菌 (*Clostridium*) 等會導致仔豬發生下痢，下痢仔豬會隨著發生日齡增加而有不同糞便外觀顏色，其中早發性大腸桿菌症呈現黃痢發生於仔豬出生後 1 – 7 天內、發生於 8 – 30 日齡為遲發性大腸桿菌症呈現白痢以及發生於 31 – 60 日齡為水腫性大腸桿菌症經常出現紅痢 (Ruiz *et al.*, 2016)。一般常用抗生素預防與治療仔豬下痢，但也最容易讓腸道微生物產生抗藥性 (Shahana *et al.*, 2021)，此法雖然容易實施，但造成飼養成本增加約 8 – 15% (Casewell *et al.*, 2003; Thomson and Friendship, 2019)。

利用微生物醱酵物來取代添加抗生素，達到降低畜禽發生下痢現象，為一項可擇方法 (Ripamonti *et al.*, 2009; Hung *et al.*, 2012)。以凝結芽孢桿菌 (*Bacillus coagulans*) 為例，它已被證實可作為改善畜禽腸道健康、提升營養消化率與調節免疫功能的益生菌菌株，因其代謝產物中含有短鏈脂肪酸 (short-chain fatty acids, SCFAs)、消化酵素與抗菌肽乳孢素 (lactosporin) 等物質 (Payot *et al.*, 1999; Wu *et al.*, 2018; Zhou *et al.*, 2020)，其中抗菌肽乳孢素具有抑制包括桿菌屬 (*Bacillus* spp.)、鏈球菌屬 (*Streptococcus* spp.)、梭菌屬 (*Clostridium* spp.)、李斯特菌 (*Listeria* spp.)、葡萄球菌屬 (*Staphylococcus* spp.) 和腸球菌屬 (*Enterococcus* spp.) 等細菌 (Riazi *et al.*, 2009)。然而，有關凝結芽孢桿菌醱酵物運用於離乳仔豬飼料降低下痢發生率，相關研究甚少。因此，本研究旨在飼料中添加不同培養基之凝結芽孢菌醱

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2812 號。

(2) 農業部畜產試驗所動物營養組。

(3) 通訊作者，E-mail: fcliu@mail.tlri.gov.tw。

醱物，評估對降低離乳仔豬下痢發生率的效果，做為未來取代抗生素抑制仔豬下痢的可擇替代物質。

材料與方法

本試驗於農業部畜產試驗所動物營養組（改組前屬行政院農業委員會畜產試驗所營養組）試驗豬舍進行，試驗動物之使用、飼養管理及試驗內容經畜產試驗所實驗動物管理小組以畜試動字 112-23 號申請核准在案。

I. 凝結芽孢桿菌醱酵物製備

試驗採用劉與林 (2021) 篩選凝結芽孢桿菌菌株（屬於正面表列之菌屬）作為醱酵物之益生菌來源，並用 5 L 體積之小型量醱酵槽產出，分別以 MRS (Man Rogosa Sharp, MRS) 與修改 MRS 配方的培養基培養。培養條件為溫度 37℃ 與 100 rpm/min 震盪，經 48 小時培養後，以 10,000 × g 離心移出細胞收集上清液，接續以溫度 45℃ 與旋轉速度 50 rpm 減壓濃縮至 1/10 體積後（約 5 小時），再以 0.45 μm 過濾膜過濾消毒，再添加 15% 玉米澱粉與 5% 海藻糖作為賦形物混合均勻後冷凍乾燥，並儲放於 -20℃ 冰箱中，完成 CFP (MRS medium-changed fermentation product, CFP) 與 MFP (MRS medium fermentation product, MFP) 醱酵物製備 (Riazi *et al.*, 2009)。同時進行上述 2 種醱酵物的抑菌活性分析，兩者相似約為 1.08 IU/mg。在調配 2 組添加醱酵物飼糧時，先將 CFP 與 MFP 醱酵物與粉碎玉米粉預混後，再添加於飼料中，飼料中含有抑菌活性均為 10 IU/kg。

II. 凝結芽孢桿菌醱酵物的抑菌活性分析

凝結芽孢桿菌醱酵物的抑菌活性分析，依 Cintas *et al.* (1995) 與 Balasubramanian *et al.* (2011) 之紙錠瓊脂擴散法 (agar diffusion method)，並以購自財團法人食品工業發展研究所生物資源保存及研究中心，屬於益生菌 1 × 10⁶ CFU/mL 藤黃微球菌 (*Micrococcus luteus* BCRC 80243) 作為指標菌株。上層膠配製，以 4 mL 含 0.7% 瓊脂 (agar) 之 Tryptic Soy Broth (TSB, No. Ncm0004A, Neogen Cor., USA.) 培養基混入 1 × 10⁶ CFU/mL 藤黃微球菌；下層膠則為 6 mL 含 1.5% 瓊脂之 TSB 培養基。接續將 20 μL 凝結芽孢桿菌分別接種於 10 mL 不同比例的 MRS (No. 110660, Millipore Com. USA.) 修改 MRS 配方的培養基，混合比例為 100%/0%、70%/30%、50%/50%、30%/70% 與 0%/100%，並放置於 37℃ 培養箱培養 48 小時後，再以 3,000 rpm 與 10 分鐘離心後，取液態醱酵物 200 μL 分別加在預先製作含藤黃微球菌培養基的紙錠上，放入 37℃ 培養箱中，分別培養 24 與 48 小時，各測量每一抑菌環的直徑大小 1 次。

乾燥後醱酵物抑菌活性的分析，方法同前 (Cintas *et al.*, 1995; Balasubramanian *et al.*, 2011)，仍以 1 × 10⁶ CFU/mL 藤黃微球菌作為指標菌株，並以含 9 IU/g 乳酸鏈球菌素 A (Nisin A, No.1414-45-5, Sigma, St Louis, MO, USA) 做為抑菌成分，接續以溶解溶液進行連續兩倍稀釋成 2⁻¹ 至 2⁻⁴ 的標準溶液，供作基質匹配檢量線溶液，建立醱酵物抑菌活性的檢量線 $y = 1.56 e^{(-0.5((x-15.22)/2.68)^2)}$ (R² = 0.99)，其中 y 為抑菌活性 (IU/mL)，x 為抑菌環直徑 (mm)。並運用此檢量線分析乾燥後 CFP 與 MFP 醱酵物的抑菌活性，過程中先將前述 2 種醱酵物回溶於滅菌生理食鹽水中，取 200 mL 加於含有藤黃微球菌 TSA 培養基，放入 37℃ 培養箱中培養 48 小時，測量抑菌環的直徑，供估算乾燥後醱酵物的抑菌活性。

III. 離乳仔豬的飼養試驗

試驗採用 26 – 28 日齡公母各半之 LD 二品種雜交離乳仔豬共 48 頭，每欄依性別與體重逢機分配 4 頭仔豬 (公母各半)，飼養面積約為 0.4 m²/頭的高床式保育舍中，畜舍環境溫度維持在 28 – 30℃。除第 1 週採用少量多餐方式餵飼 (4 次/天) 外，其餘各週均採任食方式餵飼，並充分供應清潔飲水。飼糧分為對照組 (餵飼保育期仔豬飼料無添加醱酵物，CG) 與兩組試驗飼料 (分別添加 CFP 與 MFP 醱酵物)，共 3 組 (如表 1)，配製飼料含試驗期間共儲存 5 週時間，包括 4 週試驗期間，僅配製 1 批次飼料。每組試驗 4 重複。測定項目，每週秤量仔豬體重與記錄飼料採食量，供分析仔豬的生長性狀；每日早上 (8:30) 與下午 (14:30) 觀察仔豬糞便樣態各 1 次，糞便外型分為成形、軟便、輕微水瀉與水樣便等 4 種 (其中輕微水瀉與水樣便定義為下痢)，並依仔豬耳號將其糞便外型樣態記錄，供分析仔豬下痢發生率；分別於試驗開始日與結束日採集糞便樣品供分析仔豬糞便微生物數量；並於試驗結束日，採集 48 頭試驗仔豬血液樣品 5 mL (採樣前先禁食 4 – 6 小時，並以含 EDTA 的 10 mL 採血管由頸部靜脈竇採集血液樣品)，供分析血液性狀、各種血球數量與白血球種類 (%)。

IV. 測定項目

血液性狀、各種血球數量與白血球種類 (%)、糞便評分、下痢發生率與糞便微生物數量等分析方法，說明如下：

- (i) 血液性狀分析，採集血液樣品分析項目，有總蛋白質、總膽固醇、三酸甘油酯、血液尿素氮及肌酸酐等性狀含量。分析儀器為 Hitach 血液生化分析儀 (Hitach 7170, Japan)，血液性狀檢驗套組總蛋白值 (No. 993-52901, Wako Chemical Com., Japan)、總膽固醇 (No. 21.862.1175, Wako Chemical Com., Japan)、三酸甘油酯 (No. 21.862.1705, Wako Chemical Com., Japan) 以及肌酸酐 (No. 277-10501, Wako Chemical Com., Japan) 等。
- (ii) 血液血球數量與白血球種類 (%) 分析，血液樣品經血球分析儀 (Sysmex XN-1000, Japan)，分別測定紅血球、白血球與血小板數量與白血球種類 (%) 包括嗜酸性白血球、嗜鹼性白血球、淋巴球、單核球及嗜中性等。
- (iii) 糞便評分指數與下痢發生率的估算方法，主要依據文獻 Hart and Dobb (1988) 與 Marquardt *et al.* (1999) 的糞便評分方法。每日上午 08:30 與下午 14:30，分別記錄 1 次糞便評分。糞便評分共 4 級，分別為「0」表正常成型糞便 (水分含量 < 70%)、「1」表輕微軟便 (水分含量 70 – 75%)、「2」表中度軟便 (水分含量 75 – 80%) 與「3」表嚴重軟便 (水分含量 > 80%)。下痢發生率的計算方法，依 Sun *et al.* (2022) 所示，計算公式如下：

$$\text{下痢發生率 (\%)} = \frac{\text{下痢仔豬頭數}}{\text{試驗仔豬總頭數} \times 7 (\text{觀察天數})} \times 100\%$$

* 當仔豬糞便外觀評分指數等於或大於 2 時，定義為發生下痢。

- (iv) 糞便微生物數量分析，分別於試驗開始日與結束日 (第 28 天) 各採集試驗仔豬糞便樣品 1 次，每次採樣後儘速秤取 1 g 糞便先放入 10 mL 0.85% NaCl 混合均勻，接續用 0.85% NaCl 連續稀釋 (1 mL + 9 mL 0.85% NaCl) 至 1/100,000,000，共稀釋 8 次。並依照 CHROMagar™ ECC (No. EF320 CHROMagar company, French) 推薦方法，每 1 個樣品分別取 1 mL 之 1/1,000、1/1,000,000 與 1/100,000,000 稀釋糞便樣品，分別注入含 CHROMagar™ ECC 培養皿中，塗膜均勻後靜置至凝固，放置於 37°C 培養箱經 24 小時後，依照菌落的典型外觀顏色，大腸桿菌為藍色 (屬病原性)、其他大腸桿菌為淡紫色與革蘭氏陰性為無色，分別計算糞便微生物的數量。

V. 統計分析

運用 SAS (2005) 套裝統計軟體進行各項收集試驗資料的分析，依一般線性模式 (general linear model procedure, GLM) 進行變方分析，並以鄧肯氏多變域測定法 (Duncan's multiple range test) 進行處理組平均值間之差異顯著性分析，當 $P < 0.05$ 表差異顯著，而 $P < 0.01$ 表差異極顯著。

結果與討論

I. 凝結芽孢桿菌於不同培養基之醱酵物對藤黃微球菌的抑菌效果

凝結芽孢桿菌接種於 MRS 與修改 MRS 配方培養基經 37°C 與 48 小時培養後，經離心後取上清液分析對抑制藤黃微球菌 (益生菌) 的影響，如圖 1 所示。試驗結果顯現，在不同 MRS/ 修改 MRS 配方培養基混合比例 100%/0%、70%/30%、50%/50%、30%/70% 與 0%/100%，各混合比例間抑菌環直徑大小相似，在 24 小時與 48 小時分別介於 0.6 – 0.7 cm 與 1.0 – 1.1 cm 之間。相關文獻指出，藉由調整 MRS 培養基配方組成，可以提高凝結芽孢桿菌最佳增殖與產孢子效率 (Chen *et al.*, 2016; Biermann *et al.*, 2023; Xu *et al.*, 2023)。另外在一些相關文獻結果提及，常以修改 MRS 配方培養基提高微生物增殖的菌數，同時提高其抗菌肽表現量與安全性 (Clerck *et al.*, 2004; Todorov and Dicks, 2009; Javan *et al.*, 2020)。本研究以植物性原料 Soy peptone 取代動物性原料 Proteose peptone (水解自動物組織) 與牛肉萃取物的目的，主要因 MRS 培養基的單價高且其成分中之 Proteose peptone 與牛肉萃出物為動物性成分，而 Soy peptone 則為大豆產品，安全性較高且單價較低。因此由上述的結果顯示，以植物性原料 Soy peptone 等量取代 MRS 培養基之動物性原料 Proteose peptone 與牛肉萃出物，不影響凝結芽孢桿菌醱酵物對藤黃微球菌的抑菌效果，可以做為凝結芽孢桿菌的替代培養基。

II. 飼糧添加 CFP 與 MFP 醱酵物對離乳仔豬生長性狀之影響

餵飼添加 2 種凝結芽孢桿菌醱酵物飼糧對離乳仔豬體重與生長性狀之影響，如表 2 – 3 所示。在全期仔豬的生長性狀，餵飼添加 CFP 與 MFP 兩種飼糧及未添加空白飼糧，對仔豬的各週體重、飼料採食量與飼料轉換率均沒有顯著差異。不過在第 2 週期間的平均日增重，餵飼添加 CFP 飼糧組高於對照組，但與餵飼 MFP 飼糧組，兩者間無顯著差異。此現象可能因凝結芽孢桿菌醱酵物具有抑菌成分 (Riazi *et al.*, 2009) 或是具有促進仔豬腸道健康減少下痢、提升飼料營養分利用率與免疫力等作用 (Wu *et al.*, 2018; Zhou *et al.*, 2020)。因此，對於離乳

後第 2 週期間仔豬的增重比對照組有提升的作用。

表 1. 試驗飼糧的配方組成

Table 1. The composition of the experimental diet

Ingredients, kg	Treatment group		
	Control group (CG)	CG + CFP	CG + MFP
Yellow corn, CP 7.5%	622.5	622.5	622.5
Soybean meal, CP 43.5%	255	255	255
Limestone (pulverized)	8	8	8
Dicalcium phosphate	16	16	16
Fish meal, CP 65%	50	50	50
Choline-Cl, 50%	1	1	1
Salt (iodized)	5	5	5
Vitamin premix ^a	1	1	1
Mineral premix ^b	1.5	1.5	1.5
Soybean oil	40	40	40
CFP ^c	0	1	0
MFP ^d	0	0	1
Total	1,000	1,000	1,000
Calculated value			
Crude protein, %			
Metabolism energy, kcal/kg y kcal/kg	3406	3406	3406
Lysine, %	1.13	1.13	1.13
Analyzed value			
Crude protein, %	18.9	18.8	19.0
Lysine, %	1.24	1.23	1.24
Calcium, %	1.16	1.17	1.17
Total phosphorus	0.75	0.75	0.75

^a Supplied per kg of diet: Vitamin A, 6,000 IU; Vitamin D₃, 800 IU; Vitamin E, 20 IU; Vitamin K₃, 4 mg; Vitamin B₁, 2 mg; Vitamin B₂, 4 mg; Vitamin B₆, 1 mg; Vitamin B₁₂, 0.02 mg; Niacin, 30 mg; Calcium pantothenate, 16 mg; Folic acid, 0.6 mg; Biotin, 0.01 mg.

^b Supplied the following minerals per kg of diet: Fe, 140 mg; Cu, 7 mg; Mn, 20 mg; Zn, 120 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.45 mg.

^c The CFP contained fermentation product from modified MRS culture medium and mixed with crushing corn before adding in the diet which antibacterial activity fixed at 10 IU/kg.

^d The MFP contained fermentation products from commercial MRS culture medium and mixed with crushing corn before adding in the diet which antibacterial activity fixed at 10 IU/kg.

表 2. 飼糧添加 CFP 與 MFP 醱酵物對離乳仔豬體重的影響 (n = 48)

Table 2. Effect of added CFP and MFP fermentation products on body weight of weaning pig (n = 48)

Trial	Control group (CG)	CG + CFP [#]	CG + MFP [§]
Items			
Initial, kg	7.54 ± 0.87*	7.64 ± 0.35	7.67 ± 0.68
Day 7, kg	8.54 ± 0.96	8.56 ± 0.64	8.56 ± 0.78
Day 14, kg	10.78 ± 0.97	10.92 ± 0.82	10.38 ± 0.80
Day 21, kg	13.17 ± 1.15	13.28 ± 0.97	12.84 ± 0.93
Day 28, kg	15.66 ± 1.55	16.32 ± 1.68	16.35 ± 1.34

* Mean ± SD.

^{#, §} The meanings of CG + CFP and CG + MFP were the same as those in Table 1.

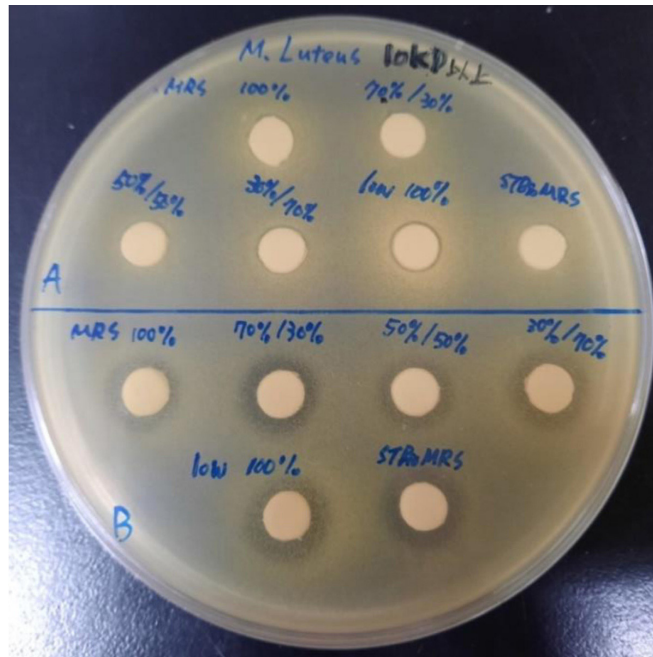


圖 1. 凝結芽孢桿菌於不同混合比例培養基之醱酵物抑菌活性分析

Fig. 1. Inhibitory activity fermentation products of *Bacillus coagulans* in the different mixing ratios of MRS/modified MRS medium. (A) The blending ratios were respectively 100%/0%, 70%/30%, 50%/50%, 30%/70% and 0%/100% to cultivate continually for 24 hours. The diameter of the transparent bag represented the inhibitory activity of the different fermentation products. (B) The continuous culture for 48 hours under the same mixing ratios.

表 3. 飼糧添加 CFP 與 MFP 醱酵物對離乳仔豬生長性狀的影響 (n = 48)

Table 3. Effect of added CFP and MFP fermentation products in diets on growth performance of weaning pigs (n = 48)

Items	Trial	Control group (CG)	CG + CFP [#]	CG + MFP [§]
Average daily gain, kg				
Week 1		0.11 ± 0.03 [*]	0.13 ± 0.03	0.14 ± 0.04
Week 2		0.27 ± 0.02 ^b	0.34 ± 0.03 ^a	0.32 ± 0.03 ^{ab}
Week 3		0.35 ± 0.11	0.35 ± 0.06	0.34 ± 0.05
Week 4		0.42 ± 0.08	0.43 ± 0.08	0.42 ± 0.07
Overall		0.29 ± 0.04	0.31 ± 0.07	0.31 ± 0.04
Average daily feed intake, kg				
Week 1		0.27 ± 0.04	0.28 ± 0.02	0.27 ± 0.02
Week 2		0.65 ± 0.04	0.67 ± 0.04	0.64 ± 0.08
Week 3		0.71 ± 0.08	0.73 ± 0.07	0.78 ± 0.08
Week 4		0.86 ± 0.09	0.86 ± 0.10	0.87 ± 0.09
Overall		0.62 ± 0.04	0.64 ± 0.07	0.64 ± 0.04
Feed conversion ratio (Feed/gain)				
Week 1		2.08 ± 0.11	2.15 ± 0.15	1.93 ± 0.13
Week 2		2.25 ± 0.13	1.97 ± 0.16	2.00 ± 0.14
Week 3		2.03 ± 0.18	2.09 ± 0.17	2.29 ± 0.18
Week 4		2.05 ± 0.10	2.00 ± 0.16	2.07 ± 0.19
Overall		2.13 ± 0.18	2.06 ± 0.17	2.06 ± 0.15

^{*} Mean ± SD.

^{#, §} The meanings of CG + CFP and CG + MFP were the same as those in Table 1.

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

III. 飼糧添加 CFP 與 MFP 醱酵物對離乳仔猪下痢發生率的影響

餵飼添加 CFP 與 MFP 醱酵物對離乳仔猪下痢發生率的影響，如表 4 所示。在離乳第 1 週期間，餵飼未或添加 CFP 與 MFP 飼糧，仔猪發生下痢比率相近，介於 3.6 – 4.7%，此期間仔猪下痢發生率相似的原因，可能是因在離乳後第 1 週飼料的餵飼量，採用少量多餐方式餵飼（4 次 / 天），進而降低各組間的下痢發生率。第 2 週起飼料餵飼改採任食持續到第 4 週結束。不過在第 2 週期間，餵飼添加 CFP 飼料仔猪下痢發生率最低僅有 9.5%；最高為未添加醱酵物的對照組，下痢發生率為 25.0%；餵飼添加 MFP 飼糧下痢發生率為 14.2%。接續第 3 – 4 週期間，各組仔猪均無發生下痢現象。此結果相似於劉等 (2023) 與 Wu *et al.* (2018) 文獻中飼糧添加凝結芽孢桿菌有助於降低離乳仔猪下痢發生率。另外，一些文獻指出，仔猪離乳後提高其飼料採食量，有助於提升仔猪日後的生長性狀，不過卻也會增加仔猪發生下痢的問題，進而增加抗生素的使用 (Engelsmann *et al.*, 2023)。以少量多餐餵飼離乳仔猪應是一項可擇方法，可以降低離乳仔猪下痢發生率。離乳仔猪下痢的問題 (post-weaning diarrhea, PWD) 是由多種因素引起的疾病，經常發生在離乳後前 14 天期間，臨床症狀為下痢（即排便率、排便量和含水量增加）(van Beers-Schreurs *et al.*, 1992)，有時會因為感染特定的病原體而加重臨床症狀，故建議在離乳後限制仔猪採食量以降低下痢發生率 (Boulot *et al.*, 2008; Eriksen *et al.*, 2021)。由上述結果顯示，離乳後第 1 週以少量多餐餵飼仔猪可降低下痢發生率；第 2 週後以任食方式餵飼時，餵飼添加凝結芽孢桿菌醱酵物亦可降低仔猪下痢發生率，對比對照組減少比例為 10.8 – 15.5%。

表 4. 飼糧添加 CFP 與 MFP 醱酵物對離乳仔猪下痢發生率的影響 (n = 48)

Table 4. Effect of added CFP and MFP fermentation products in diets on the diarrhea incidence% of weaning pig (n = 48)

Trial	Control group (CG)	CG + CFP [#]	CG + MFP [§]
Items		%	
Week 1	4.7 [*]	3.6	3.6
Week 2	25.0	9.5	14.2
Week 3	0	0	0
Week 4	0	0	0

^{*} Daily diarrhea incidence of pigs occurred during the trial days after weaning. Diarrhea rate = (the number of diarrhea piglets/total number of pigs in the treatment) × 7 (observed days for a week) 100%. Diarrhea was defined as the piglet's feces present watery appearance (=> diarrhea index no.2)

^{#, §} The meanings of CG + CFP and CG + MFP were the same as those in Table 1.

IV. 飼糧添加 CFP 與 MFP 醱酵物對離乳仔猪糞便微生物數量之影響

離乳仔猪餵飼添加 CFP 與 MFP 醱酵物對其糞便微生物數量的影響，如表 5 所示。在試驗開始日仔猪糞便微生物數量，各處理組間沒有差異，但是在結束日時仔猪糞便中，病原性大腸桿菌 (*Escherichia coli*) 數量以餵飼添加 CFP 醱酵物顯著較對照組低，但與餵飼添加 MFP 醱酵物組比較沒有差異。在非病原性大腸桿菌群 (other faecal coliform bacteria) 與其他革蘭氏陰性菌 (other gram negative bacteria) 的數量，各處理組間沒有顯著差異。此現象可能因凝結芽孢桿菌具有促進仔猪營養代謝、維持腸道完整性、減輕氧化壓力和降低下痢發生率等作用所致 (Wu *et al.*, 2018; Sun *et al.*, 2022)。一些文獻指出，抗生素在預防和治療仔猪下痢有最佳效果 (Hamard *et al.*, 2007; Page and Gautier, 2012)。不過抗生素的大量使用，將會衍生許多問題，例如抗藥性和環境污染，直接影響人類的健康與生存 (Marshall and Levy, 2011; Scott *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2014)。本研究添加之凝結芽孢桿菌為具有降低離乳仔猪下痢與改善仔猪生長的功能性益生菌 (Zhou *et al.*, 2020; 劉等, 2023)，其醱酵物亦具有降低離乳仔猪下痢發生率、改善增重以及抑制病原性大腸桿菌數量等作用，此現象可能因其醱酵物含有抑菌成分如乳孢素（抗菌肽）所致 (Riazi *et al.*, 2009)。因此由前述結果顯示，凝結芽孢桿菌醱酵物可應用於改善離乳仔猪的腸道健康與降低下痢發生率。

V. 飼糧添加 CFP 與 MFP 醱酵物對離乳仔猪血液生化指標與血球性狀之影響

離乳仔猪餵飼添加 CFP 與 MFP 醱酵物飼糧對其血液性狀、各種血球數量與白血球種類 % 等影響，如表 6 – 7 所示。在試驗結束日時，仔猪血液三酸甘油酯與總膽固醇含量，以餵飼 CFP 醱酵物組比對照組低，在三酸甘油酯含量則與餵飼 MFP 醱酵物組沒有差異。另外在血液尿素氮、肌酸酐與總蛋白質等含量，3 組飼糧間

沒有顯著差異。此現象可能因凝結芽孢桿菌醱酵物具有降低三酸甘油酯、總膽固醇含量與肝臟的脂肪堆積所致 (Aminlari *et al.*, 2019; Lee *et al.*, 2022)。在血液中的三酸甘油酯與膽固醇含量與許多心血管疾病有關 (Kristal-Boneh *et al.*, 1993)，它是造成動脈粥樣硬化的主要原因，三酸甘油酯與膽固醇含量過高或過低都會造成動物健康的損害 (Bae *et al.*, 2011)，本研究得知添加兩種凝結芽孢桿菌醱酵物，具有降低離乳仔豬血液中總膽固醇含量的效果，且 CFP 醱酵物亦有降低三酸甘油酯含量的作用。

表 5. 飼糧添加 CFP 與 MFP 醱酵物對離乳仔豬糞便微生物數量的影響 (n = 48)

Table 5. Effect of added CFP and MFP fermentation products in diets on the fecal microorganism amount of weaning pigs (n = 48)

Items	Trial	Control group (CG)	CG + CFP [#]	CG + MFP [§]
On the starting day				
<i>E. coli</i> , log cfu/g		5.33 ± 1.10 [*]	5.15 ± 1.25	4.98 ± 1.37
Other faecal <i>coliform</i> bacteria, log cfu/g		1.13 ± 0.05	1.20 ± 0.02	1.18 ± 0.008
Other Gram negative bacteria, log cfu/g		5.45 ± 2.47	5.80 ± 2.80	5.97 ± 1.97
On the ending day				
<i>E. coli</i> , log cfu/g		7.91 ± 0.62 ^a	6.02 ± 0.42 ^b	6.14 ± 0.66 ^{ab}
Other faecal <i>coliform</i> bacteria, log cfu/g		2.77 ± 0.56	2.17 ± 0.22	2.43 ± 0.38
Other Gram negative bacteria, log cfu/g		7.26 ± 0.89	7.90 ± 0.93	7.61 ± 1.09

^{*} Mean ± SD.

^{#, §} The meanings of CG + CFP and CG + MFP were the same as those in Table 1.

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

飼糧添加 CFP 與 MFP 醱酵物飼糧對仔豬各種血球數量的影響，在紅血球、血小板與白血球數量 3 組飼糧間均沒有顯著差異；在白血球分類 %，包括嗜鹼性球、嗜酸性球、嗜中性球、淋巴球與單核球含量百分比，此 3 組飼糧間亦沒有顯著差異。依據生醫產業用畜禽動物應用手冊 (2011)，本研究在紅血球 (5.0 – 8.0 百萬個 /mL)、血小板 (320 – 520 千個 /mL) 與白血球數量 (11.0 – 22.0 千個 /mL) 均屬於正常範圍內。另外嗜中性白血球與淋巴球之比值 (N/L) 是良好的中長期壓力或慢性發炎指標 (Quinonero *et al.*, 2009)，而對照組、CFP 組與 MFP 組之 N/L 比值分別為 0.66、0.60 與 0.58，顯示飼糧添加 CFP 與 MFP 醱酵物組之緊迫壓力或發炎指標均比對照組低。此現象可能因凝結芽孢桿菌醱酵物中含有抗氧化物質 (Wu *et al.*, 2018; Fu *et al.*, 2019; Zhou *et al.*, 2020)，有助於離乳仔豬舒緩緊迫與降低發炎作用。

表 6. 飼糧添加 CFP 與 MFP 醱酵物對離乳後第 28 天仔豬血液性狀的影響 (n = 48)

Table 6. Effect of added CFP and MFP fermentation products in diets on blood traits on the 28 day after weaning of piglets (n = 48)

Items	Trial	Control group (CG)	CG + CFP [#]	CG + MFP [§]
Triglyceride, mg/dL		55.42 ± 8.41 ^{*a}	42.17 ± 6.75 ^b	45.75 ± 6.21 ^{ab}
Total cholesterol, mg/dL		55.58 ± 7.77 ^a	43.67 ± 5.86 ^b	44.75 ± 5.36 ^b
Blood urea nitrogen, mg/dL		10.33 ± 2.46	11.08 ± 2.07	10.75 ± 2.34
Total protein, g/dL		4.66 ± 0.27	4.66 ± 0.33	4.70 ± 0.35
Creatinine, mg/dL		1.74 ± 0.18	1.68 ± 0.14	1.73 ± 0.11

^{*} Mean ± SD.

^{#, §} The meanings of CG + CFP and CG + MFP were the same as those in Table 1.

表 7. 飼糧添加 CFP 與 MFP 醱酵物對離乳後第 28 天仔豬血球數量與白血球分類占比 (%) 的影響 (n = 48)

Table 7. Effect of added CFP and MFP fermentation products in diets on blood cell counts and white blood cell differentiation (%) on the 28 day after weaning of piglets (n = 48)

Items	Control group (CG)	CG + CFP [#]	CG + MFP [§]
Red blood cells, $\times 10^6$ cells/uL	6.41 $\pm$ 0.54 [*]	6.00 $\pm$ 0.43	6.01 $\pm$ 0.52
Platelet, $\times 10^5$ cells/uL	3.63 $\pm$ 1.55	3.64 $\pm$ 1.08	4.05 $\pm$ 1.07
White blood cells, $\times 10^3$ cells/uL	19.99 $\pm$ 4.26	18.09 $\pm$ 2.89	18.19 $\pm$ 4.91
Basophils, %	0.29 $\pm$ 0.11	0.36 $\pm$ 0.19	0.32 $\pm$ 0.17
Eosinophils, %	0.73 $\pm$ 0.36	0.89 $\pm$ 0.28	0.98 $\pm$ 0.54
Neutrophils, %	37.37 $\pm$ 8.87	34.88 $\pm$ 7.45	34.23 $\pm$ 7.42
Lymphocyte, %	56.20 $\pm$ 8.99	58.15 $\pm$ 8.20	59.17 $\pm$ 8.23
Monocyte, %	5.42 $\pm$ 1.94	5.73 $\pm$ 1.61	5.30 $\pm$ 1.59
Neutrophils/Lymphocyte	0.66	0.60	0.58

* Mean $\pm$ SD^{#, §} The meanings of CG + CFP and CG + MFP were the same as those in Table 1.

結 論

凝結芽孢桿菌培養於 MRS 或修改 MRS 配方的培養基，其醱酵物 (CFP 及 MFP) 對抑菌活性兩者沒有差異，故此修改 MRS 配方可以做為替代培養基用。另外，離乳後第 2 週起採任食餵飼時，飼糧添加 CFP 醱酵物除可提升仔豬的日增重，同時有降低離乳仔豬下痢發生率、糞便病原性大腸桿菌菌數、緊迫及血液中三酸甘油酯與總膽固醇含量等效果。綜上所述，此 CFP 醱酵物可作為一種新的飼料添加物，添加於離乳仔豬飼糧中，可改善其生長性狀、下痢發生率與緊迫等作用。

誌 謝

試驗期間感謝畜產試驗所動物營養組嚴世俊先生、康建龍先生和楊琿菁小姐，試驗進行過程中之協助與相關資料之收集與分析工作，讓試驗順利完成。

參考文獻

- 生醫產業用畜禽動物應用手冊編輯委員會。2011。無特定病原豬 (Specific pathogen free, SPF)。生醫產業用畜禽動物應用手冊，中華實驗動物學會編印，臺北市，第 2-27 頁。
- 劉芳爵、林幼君。2021。源自豬隻糞便與牛瘤胃液凝結芽孢桿菌的篩選、鑑定與性狀分析。畜產研究 54：148-154。https://doi.org/10.6991/JTLR.2021 09_54(3).0001。
- 劉芳爵、林幼君、李秀蘭。2023。飼糧添加凝結芽孢桿菌對離乳仔豬生長性狀、血液參數及下痢發生率的影響。畜產研究 56：190-198。https://doi.org/10.6991/JTLR.202309_56(3).0005。
- Aminlari, L., S. S. Shekarfroush, and S. Hosseinzadeh. 2019. Effect of probiotics *bacillus coagulans* and *lactobacillus plantarum* on lipid profile and feces bacteria of rats fed cholesterol-enriched diet. Probiotics & Antimicro. Prot. 11: 1163-1171. https://doi.org/10.1007/s12602-018-9480-1.
- Bae, Y. J., M. K. Choi, and M. H. Kim. 2011. Manganese supplementation reduces the blood cholesterol levels in Ca-deficient ovariectomized rats. Biol. Trace Elem. Res. 141: 224-231.
- Balasubramanian, A., D. S. Lee, M. L. Chikindas, and K. L. Yam. 2011. Effect of nisin's controlled release on microbial growth as modeled for *Micrococcus luteus*. Probiotics antimicrob. Proteins 3: 113-118. https://doi.org/10.1007/s12602-011-9073-8.

- Biermann, R., L. Rösner, L. M. Beyer, L. Niemeyer, and S. Beutel. 2023. Bioprocess development for endospore production by *Bacillus coagulans* using an optimized chemically defined medium. *Eng. Life Sci.* 23: e2300210. <https://doi.org/10.1002/elsc.202300210>.
- Boulot, S., H. Quesnel, and N. Quiniou. 2008. Management of high prolificacy in French herds: Can we alleviate side effects on piglet survival ? *Advances in Pork Production* 19: 1-18.
- Casewell, M., C. Friis, E. Marco, P. McMullin, and I. Phillips. 2003. The European ban on growth-promoting antibiotics and emerging consequences for human and animal health. *J. Antimicrob. Chemother.* 52: 159-161.
- Chen, N., S. Chen, L. Chao, L. N. Sun, D. M. Zheng, Q. Liu, and Q. Zhang. 2014. Research of antibiotics pollution in soil environments and theirs biological degradation. *Appl. Mech. Mater.* 587-589: 800-803.
- Chen, Y., F. Dong, and Y. Wang. 2016. Systematic development and optimization of chemically defined medium supporting high cell density growth of *Bacillus coagulans*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2016: 8121-8134.
- Cintas, L. M., J. M. Rodríguez, M. F. Fernández, K. Sletten, I. F. Nes, P. E. Hernandez, and H. Holo. 1995. Isolation and characterization of pediocin L50, a new bacteriocin from *Pediococcus acidilactici* with a broad inhibitory spectrum. *Appl Environ Microbiol* 61: 2643-2648.
- Clerck, E. De., M. Rodriguez-diaz, G. Forsyth, L. Lebbe, N. A. Logan, and P. Devos. 2004. Polyphasic characterization of *Bacillus coagulans* strains, illustrating heterogeneity within this species, and emended description of the species. *Syst. Appl. Microbiol.* 27: 50-60. <https://doi.org/10.1078/0723-2020-00250>.
- Engelsmann, M. N., T. S. Nielsen, M. S. Hedemann, U. Krogh, and J. V. Nørgaard. 2023. Effect of postweaning feed intake on performance, intestinal morphology, and the probability of diarrhoea in piglets. *Animal* 17:100891(1-8). <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100891>.
- Eriksen, E. O., E. Kudirkienė, A. E. Christensen, M. V. Agerlin, N. R. Weber, A. Nodtvedt, J. P. Nielsen, K. T. Hartmann, L. Skade, L. E. Larsen, K. Pankoke, J. E. Olsen, H. E. Jensen, and K. S. Pedersen. 2021. Post-weaning diarrhea in pigs weaned without medicinal zinc: risk factors, pathogen dynamics, and association to growth rate. *Porcine health manag.* 7:54(1-19). <https://doi.org/10.1186/s40813-021-00232-z>.
- Fu, R., D. Chen, G. Tian, P. Zheng, X. Mao, J. Yu, J. He, Z. Huang, Y. Luo, and B. Yu. 2019. Effect of dietary supplementation of *Bacillus coagulans* or yeast hydrolysates on growth performance, antioxidant activity, cytokines and intestinal microflora of growing-finishing pigs. *Anim. Nutr.* 5: 366-372. <http://doi.org/10.1016/j.aninu.2019.06.003>.
- Hamard, A., S. Bernard, and H. N. L. Floc. 2007. Intestinal development and growth performance of early-weaned piglets fed a low-threonine diet. *Animal* 1: 1134- 1142. <https://doi.org/10.1017/S1751731107000560>.
- Hart, G. K., and G. J. Dobb. 1988. Effect of a fecal bulking agent on diarrhea during enteral feeding in the critically ill. *J. Parenter. Enteral. Nutr.* 12: 465-468.
- Hung, A. T. S. Y. Lin, T. Y. Yang, C. K. Chou, H. C. Liu, J. J. Lu, B. Wang, S. Y. Chen, and T. F. Lien. 2012. Effects of *Bacillus coagulans* ATCC 7050 on growth performance, intestinal morphology, and microflora composition in broiler chickens. *Anim. Prod. Sci.* 52: 874-879.
- Jawan, R., S. Abbasiliasi, J. S. Tan, S. Mustafa, M. Halim, and A. B. Ariff. 2020. Influence of culture conditions and medium compositions on the production of bacteriocin-like inhibitory substances by *Lactococcus lactis* Gh1. *Microorganisms*. 8: 1454-1468. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101454>.
- Kristal-Boneh, E., G. Harari, and M. S. Green. 1993. Circannual variations in blood cholesterol levels. *Chronobiol. Int.* 10: 37-42.
- Lee, Y., Y. Tanaka, W. Iwasaki, F. Yokoyama, G. H. Joe, M. Tsuji, T. Nose, K. Tada, T. Hanai, S. Hori, H. Shimizu, K. Minamida, K. Miwa, and S. Ishizuka. 2022. Dietary supplementation with okara and *bacillus coagulans* lilac-01 improves hepatic lipid accumulation induced by cholic acids in rats. *J. Functional Foods* 90: 104991 (1-9) <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.104991>.
- Marquardt, R. R., L. Z. Jin, J. W. Kim, L. Fang, A. A. Frohlich, and S. K. Baidoo. 1999. Passive protective effect of egg-yolk antibodies against enterotoxigenic *Escherichia coli* K88⁺ infection in neonatal and early-weaned piglets. *FEMS Immun. & Medi. Microbiol.* 23: 283-288.
- Marshall, B. M. and S. B. Levy. 2011. Food animals and antimicrobials: impacts on human health. *Clin. Microbiol. Rev.* 24: 718.
- Martin, E. B. and S. C. Henry. 1982. Infectious diarrheas of young pigs. *Vet. Clin. North Am. Large Anim. Pract.* 4: 389-399.

- Page, S. W. and P. Gautier. 2012. Use of antimicrobial agents in livestock. *Rev. Sci. Tech. Int. Off. Epizoot.* 31: 145-88.
- Payot, T., Z. Chemaly, and M. Fick. 1999. Lactic acid production by *Bacillus coagulans*-Kinetic studies and optimization of culture medium for batch and continuous fermentations. *Enzyme Microb. Technol.* 24: 191-199.
- Quinonero, J., C. Garcia-Santamaria, E. MariaDolores, and E. Armero. 2009. Physiological indicators of stress in gestating sows under different cooling systems. *Pesq. agropec. bras.*, Brasilia 44: 1549-1552.
- Riazi, S., R. E. Wirawan, V. Badmaev, and M. L. Chikindas. 2009. Characterization of lactosporin, a novel antimicrobial protein produced by *Bacillus coagulans* ATCC 7050. *J. Applied Microbio.* 106: 1370-1377.
- Ripamonti, B. A. Agazzi, A. Baldi, C. Balzaretto, C. Bersani, S. Pirani, R. Rebucci, G. Savoini, S. Stella, and A. Stenico. 2009. Administration of *Bacillus coagulans*, in calves: Recovery from fecal samples and evaluation of functional aspects of spores. *Vet. Res. Commun.* 33: 991-1001.
- Ruiz, L. A. V, G. J. Bersano, A. F. Carvalho, M. H. B. Catroxo, D. P. Chiebao, F. Gregori, S. Miyashiro, A. F. C. Nassar, T. M. F. S. Oliveira, R. A. Ogata, E. P. Scarcelli, and P. O. Toniatti. 2016. Case-control study of pathogens involved in piglet diarrhea. *BMC. Res Notes* <https://doi.org/10.1186/s13104-015-1751-2>.
- SAS. 2005. User's guide: Statistics, version 9.1 edition. SAS Inc., Cary, NC. USA.
- Scott, A. M., E. Beller, P. Glasziou, J. Clark, R. W. Ranakusuma, and O. Byambasuren. 2018. Is antimicrobial administration to food animals a direct threat to human health? A rapid systematic review. *Int. J. Antimicrob. Agents.* 52: 316-323.
- Shahana, A., C. Hansen, A. L. Dahlkilde, A. Herrero-Fresno, K. S. Pedersen, J. P. Nielsen, and J. E. Olsen. 2021. The Effect of colistin treatment on the selection of colistin-resistant *Escherichia coli* in weaner pigs. *Antibiotics* 10(4): 465. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10040465>.
- Sun, T., H. Miao, C. Zhang, Y. Wang, S. Liu, P. Jiao, W. Li, Y. Li, and Z. Huang. 2022. Effect of dietary *Bacillus coagulans* on the performance and intestinal microbiota of weaned piglets. *Animal* 16: 100561(1-10). <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100561>.
- Thomson, J. R. and R. M. Friendship. 2019. Digestive system. In Zimmerman, J. J., LA R. A. Karriker, K. J. Schwartz, G. W. Stevenson and J. Zhang. *Diseases of swine*, 11th Edition Ames, Blackwell Publishing. pp 234-263.
- Todorov, S. D. and L. M. T. Dicks. 2009. Effect of modified MRS medium on production and purification of antimicrobial peptide ST4SA produced by *Enterococcus mundtii*. *Anaerobe.* 15: 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2008.11.002>.
- van Beers-Schreurs, H. M. G., L. Vellenga, T. H. Wensing, and H. J. Breukink. 1992. The pathogenesis of the post-weaning syndrome in weaned piglets; a review. *Vet. Quarterly.* 14: 29-34.
- Wu, T., Y. Zhang, Y. Lv, P. Li, D. Yi, L. Wang, D. Zhao, H. Chen, J. Gong, and Y. Hou. 2018. Beneficial impact and molecular mechanism of *Bacillus coagulans* on piglets' intestine. *Int. J. Mol. Sci.* 19: 2084 (1-14). <http://doi.org/10.3390/ijms19072084>.
- Xu, L., Z. C. Zhan, S. Du, S. Y. Wang, Q. Q. Zhang, C. Wang, W. J. Yang, X. X. Deng, Z. T. Zhan, Y. Li, Y. Zhou, and X. D. Chen. 2023. Isolation, functional evaluation, and fermentation process optimization of probiotic *Bacillus coagulans*. *PLoS ONE* 18(11): e0286944 (1-15). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286944>.
- Zhou, Yuanhao., Z. Zeng, Y. Xu, J. Ying, B. Wang, M. Majeed, S. Majeed, A. Pande, and W. Li. 2020. Application of *Bacillus coagulans* in animal husbandry and its underlying mechanisms. *Animals* 10: 454(1-9) <http://doi.org/10.3390/ani10030454>.

Effects of fermentation products of *Bacillus coagulans* on growth performance, fecal bacterial amount and diarrhea incidence of weaning piglets ⁽¹⁾

Fang-Chueh Liu ⁽²⁾⁽³⁾ Ho-Fen Hsiao ⁽²⁾ and Chin-Bin Hsu ⁽²⁾

Received: Sep. 16, 2024; Accepted: Feb. 18, 2025

Abstract

The study investigated the effects of fermentation products of *Bacillus coagulans* from adding different culture medium on the growth performance, fecal bacterial amounts and diarrhea incidence of weaning piglets. The fermentation products were produced by using Man Rogosa Sharp (MRS) culture media and plant-based Soy Peptone (No. 19685 STBIO medium, inc., Taiwan) in the same amount of 20 g/L in replacement of animal-based Proteose Peptone (10 g/L) and Beef Extract (10 g/L). Comparison of the inhibitory activities of these two fermentation supernatants against *Micrococcus luteus* (BCRC No. 80243) showed that both of them had similar inhibitory activities. In the feeding experiment of weaning piglets, a total of 48 LD crossbred piglets consisting half male and half female at 26-28 days of age were selected. There were 4 piglets (half male and half female) per pen were selected by sex and body weight, and the CFP and MFP fermentation products were respectively produced in the modified MRS and MRS medium by *bacillus coagulans* which were added to the control diet (CP) to serve as 2 kind of experimental diets and their inhibitory activity in the diets were fixed at 10 IU/kg. The results of feeding experiment showed that the average daily weight gain in the second week, fed with CFP feed, was higher than the CP group, but there was no significant difference between CFP and MFP groups. The diarrhea incidence in piglets of the CFP group was the lowest and only 9.5% during the second week, while the highest incidence was the 25.0% of the control diet. The diarrhea incidence in MFP group was 14.2%. In the fecal bacterial amount, the addition of CFP fermentation products showed the effect of reducing the number of pathogenic *E. coli* compared to control group on the ending day. In addition, there were no significant differences between the dietary groups in terms of blood traits, blood cell counts and white blood cell differentiation, except for the relatively lower triglyceride and total cholesterol concentrations at the end of the experiment. In conclusion, the foregoing results suggested that the addition of the CFP fermentation products increased the daily weight gain of weaning piglets in the second week after weaning, and decreased the diarrhea incidence and the number of pathogenic *E. coli* in the feces.

Key words: *Bacillus coagulans*, Anti-bacterial activity, Diarrhea.

(1) Contribution No. 2812 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: fcliu@mail.tlri.gov.tw.

貯存條件對雞蛋品質之影響⁽¹⁾

吳鈴彩⁽²⁾ 陳怡兆⁽²⁾ 葉瑞涵⁽²⁾⁽⁴⁾ 黃寂槐⁽²⁾ 張俊達⁽³⁾ 郭卿雲⁽²⁾

收件日期：113 年 9 月 19 日；接受日期：114 年 2 月 25 日

摘 要

本研究旨在探討不同貯存溫度、期間對雞蛋品質的影響。試驗樣品為國內蛋品加工廠購入之海蘭白殼雞蛋，分為 4 組進行貯存試驗：洗選冷藏組 $7 \pm 2^\circ\text{C}$ (washed and refrigerated, WR7)、洗選涼藏組 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ (washed and cool-stored, WCS25)、未洗選冷藏組 $7 \pm 2^\circ\text{C}$ (unwashed and refrigerated, UWR7) 及未洗選常溫組 $30 \pm 2^\circ\text{C}$ (unwashed and room-stored, UWRS30)。其中，WCS25 與 UWRS30 貯存 3 wks，WR7 與 UWR7 則貯存 24 wks，期間每週隨機採樣 40 顆雞蛋，測定蛋白水分、蛋白 pH 值、豪氏單位 (Haugh unit, HU) 及蛋黃係數 (yolk index, YI) 等蛋品質評估指標，並將冷藏貯存 12 wks 雞蛋做成水煮蛋進行感官品評。結果顯示，UWRS30 與 WCS25 之豪氏單位皆隨著貯存期間下降且達顯著差異 ($P < 0.05$)，而 WR7 與 UWR7 下降較緩慢。蛋黃係數與蛋白水分含量隨貯存期間均有下降趨勢，蛋白 pH 值隨著貯存期間增加而有上升的趨勢。4 個組別貯存期間雞蛋內容物之沙門氏菌皆呈陰性，總生菌數僅 WCS25 於 3rd wk 與 WR7 於 24th wk 檢出，分別為 4.18 與 4.20 log CFU/g。水煮蛋感官品評部分，各組間在蛋白與蛋黃的口感、蛋腥味及總接受性並無顯著差異。綜上所述，HU、YI、蛋白水分及 pH 值皆會受到貯存溫度與期間產生影響，為了延長雞蛋的保鮮期並保持其良好品質，建議將雞蛋置於低溫環境下貯存，本試驗證實將良好品質 (AA 級) 之洗選與未洗選雞蛋置於 7°C 冷藏 24 wks，仍能保持可食用之品質 (B 級)。

關鍵詞：雞蛋、貯存條件、雞蛋品質。

緒 言

雞蛋是一種既容易取得且重要的營養來源，其富含蛋白質、維生素和礦物質，對人類健康扮演重要的角色。然而，雞蛋以常溫貯存易腐壞、冷凍保存會改變質地，僅能以冷藏方式貯存，而貯存過程中易受到溫度和期間等環境因素的影響，導致品質下降 (Eke *et al.*, 2013)，且高溫會促使微生物的繁殖，促使加速雞蛋品質的劣化 (Silversides and Scott, 2001)。因此，了解貯存溫度和期間對雞蛋品質的影響，對於延長雞蛋的保存期和保持良好品質至關重要。

蛋白品質不僅是雞蛋新鮮度的重要指標，對於蛋品加工行業而言也具有重要意義。雞蛋品質主要透過蛋白高度 (albumen height)、豪氏單位 (Haugh unit, HU) 和蛋黃係數 (yolk index, YI) 等指標來評估 (Nematnia and Mehdizadeh, 2018)，且會受到貯存溫度與期間等環境因素的影響 (Samlli *et al.*, 2005)。蛋白高度是衡量雞蛋新鮮度的重要指標，豪氏單位則結合了蛋重和蛋白高度，提供科學數據的品質評估，蛋黃係數則反映了蛋黃的結構和品質穩定性。在貯存過程中，高溫環境會加速蛋白和蛋黃的劣化，導致蛋白高度和豪氏單位下降 (Jones and Musgrove, 2005)。美國農業部 (United States Department Of Agriculture, USDA) 以豪氏單位將雞蛋品質分為 4 級，其標準為：豪氏單位在 72 以上的雞蛋被評為 AA 級，60 – 71.9 為 A 級，31 – 59.9 為 B 級，31 以下為 C 級。

雞蛋於低溫環境貯存可顯著延長其保鮮期，並減緩豪氏單位的下降速度，雞蛋於 4°C 貯存 15 wks 後，洗選與非洗選蛋的雞蛋品質仍維持 A 級 (Jones *et al.*, 2018)；Chen *et al.* (2023) 研究指出，雞蛋貯於 25°C 下，雞蛋品質快速下降，從第 0 wk 的 AA 級降至 3th wk 的 B 級，而 7°C 貯存的雞蛋至 12 wks 仍可維持 A 級；新鮮雞蛋於 6°C 下貯存 50 d 後豪氏單位降至 71.74，而在 25°C 下 30 d 後降至 18.39 (Oliveira *et al.*, 2009)；低溫貯存可減緩雞蛋蛋白品質下降，從而維持蛋白的高度和黏性 (Jin *et al.* 2010)。

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2813 號。

(2) 農業部畜產試驗所畜產加工組。

(3) 農業部畜產試驗所畜產經營組。

(4) 通訊作者，E-mail: bjo@tlri.gov.tw。

貯存期間是影響雞蛋品質的關鍵因素 (Eke *et al.*, 2013)，隨著時間的延長，內部的化學反應和物理變化會累積，導致濃厚蛋白變稀薄、蛋黃直徑增大、蛋黃膜強度下降，最終影響雞蛋的營養成分與接受性 (Okeudo *et al.*, 2005; Mohammed, 2011)；雞蛋長期貯存下，其水分蒸發受溫度和相對濕度的影響，被認為會對食用蛋的品質產生不利影響 (Walsh *et al.*, 1995; Scott and Silversides, 2000)；pH 值則是描述蛋白品質隨貯存期間變化的相關指標，隨著貯存期間二氧化碳從蛋中逸散，蛋白的 pH 值會上升，貯存期間 (從 2 d 到 30 d) 的延長會導致 pH 值和乾物質含量增加 (Silversides and Villeneuve, 1994)；而雞蛋的陳化過程 (egg aging)，會導致其黏度下降，味道與風味亦發生改變，因此，適當的低溫貯存可以有效減緩這些變化，從而延長雞蛋的保存期 (Eke *et al.*, 2013)。

本研究旨在探討不同貯存溫度、期間及洗選對雞蛋品質的影響。透過不同貯存條件下雞蛋品質指標的變化，進行系統性分析研究，期望能夠提供科學依據，幫助生產者和消費者在販售、運輸及貯存過程中選擇適當的溫度，以維持雞蛋的良好品質，從而提升雞蛋的市場價值和食品安全性。

材料與方法

I. 試驗樣品與試驗設計

本試驗自國內蛋品加工廠購入自牧場集蛋 1 d 內的海蘭白殼雞蛋 4,000 顆，包含未洗選蛋與洗選蛋各 2,000 顆，洗選蛋乃使用全程自動化電腦管控的洗選機 (egg washing & sorting machine, MOBA2500, Moba Group, Netherlands) 進行處理，洗選流程包括自動上蛋、外觀篩選檢查、使用食用級專用洗劑進行沖洗、刷洗、髒蛋與破蛋檢測、風乾、LED 光照檢查、裂殼聲納檢測 (acoustic crack detection)、UV 紫外線殺菌、重量分級、血蛋探測、蛋殼噴印及成品包裝等步驟。

試驗期間為 112 年 10 月至 113 年 4 月。試驗依貯存條件分為 4 組：洗選冷藏 WR7、洗選冷藏 WCS25、未洗選冷藏 UWR7 及未洗選常溫 UWRS30。雞蛋樣品以紙蛋盤層疊存放，冷藏組的洗選雞蛋 300 顆置於恆溫培養箱 (incubator LM-510, Yihder Technology Co., Ltd., Taiwan) 平均溫度 25.62℃、常溫組的未洗選雞蛋 300 顆置於恆溫培養箱 (incubator LM-570RD, Yihder Technology Co., Ltd., Taiwan) 平均溫度 30.2℃，此二組進行 4 wks；冷藏組的洗選與未洗選雞蛋各存放 1,700 顆於畜產試驗所加工組冷藏庫平均溫度 7.0℃，進行 24 wks，試驗期間，每週每組隨機採樣 40 顆雞蛋，進行豪氏單位、蛋黃係數、蛋白水分及蛋白 pH 值等蛋品質指標之分析，當該組雞蛋在檢測週期內出現品質降級情況時 (依 USDA 雞蛋品質分級標準 AA、A、B 及 C 級)，隨機採樣 24 顆雞蛋進行內容物微生物檢測，並於貯存 12th wk 時，將雞蛋製做成水煮蛋進行感官品評評估。

II. 測定項目

(i) 蛋品質測定

各組隨機採樣 40 顆 (N = 40)，逐顆以數位式蛋品質分析儀 (digital egg mutitester, Nabel DET6000, Japan) 測定，稱取蛋重量後，將雞蛋於測定盤上打破，經掃描後測得豪氏單位與蛋黃係數，其計算公式如下：

1. 豪氏單位

$$HU = 100 \log (H + 7.57 - 1.7W^{0.37})$$

H = 濃厚蛋白高度 (mm)

W = 雞蛋重量 (g)

2. 蛋黃係數

$$YI = h / D$$

h = 蛋黃高度 (mm)

D = 蛋黃直徑 (mm)

(ii) 蛋白水分

依據 AOAC (2005) 之方法測定蛋白水分。各組隨機採樣 40 顆，將蛋白分離置於燒杯中，每 5 個蛋白為一個試樣 (N = 8)，以均質機 (homogenizer IKA T25 digital, Germany) 5,000 rpm，30 s 均質後，再取蛋白樣品 3 g 置於坩鍋內，以 105℃ 烘 24 h 後稱重。

(iii) 蛋白 pH 值

參考陳 (2021) 之方法修訂，各組隨機採樣 40 顆，將蛋白分離置於燒杯中，每 5 個蛋白為一個試樣 (N = 8)，以均質機 (homogenizer IKA T25 digital, Germany) 5,000 rpm，30 s 均質後，再使用酸鹼度計 (pH meter, WTW pH 573, Germany) 測定 pH 值。

(iv) 微生物測定

於雞蛋品質降 1 級時 (依 USDA 雞蛋品質分級標準 AA、A、B 及 C 級)，各組採樣 24 顆 (N = 24)，以修改自 Maturin and Peeler (1995) 方法，測定雞蛋內容物的總生菌數及沙門氏菌。

1. 總生菌數：

雞蛋先用乙醇 (75%) 噴灑蛋殼後，破殼使蛋液置入無菌袋內，將無菌袋放入鐵胃 (blender mixer Model 400, seward, England) 均質 3 min，取 25 g 樣品，加入 225 g 無菌水 (滅菌之 0.9% 食鹽水) 充分混合均勻即為樣品液，再以無菌水做序列稀釋後，吸取適當稀釋倍數之樣品液 1 mL 接種於 Plate count agar (Himedia, India) 培養基，於 35°C 恆溫培養箱 (incubator VWR scientific, Moedl 1535, USA) 中進行倒置培養 48 h，培養完成後計算其菌落數。

2. 沙門氏菌檢測：

取檢測總生菌數之適當稀釋倍數樣品液 1 mL，滴入沙門氏菌快速檢測片 (MC-media pad, JNC Corporation, Japan) 中，於 35°C 培養箱培養 24 h，依檢測片方法判讀結果並進行計數。

(v) 感官品評

修改自徐 (2000) 方法，於貯存 12th wk，WR7 及 UWR7 隨機採樣各 63 顆雞蛋，以蒸箱設定 98°C 加熱 10 min，做成水煮蛋進行感官品評，並與室溫貯存 5 d 之新鮮雞蛋作比較，品評項目為蛋白之咬感、蛋腥味及總接受性，蛋黃之組織口感、蛋腥味及總接受性，採用 7 分制進行喜好性品評，1 分代表非常討厭，7 分代表非常喜歡，受測人數共 63 人。

III. 統計分析

試驗所得數據資料利用 SAS 統計套裝軟體 (Statistical analysis system. SAS, 2002)，以一般線性模式程序 (General linear model procedure) 進行變方分析，經鄧肯式新多次變域測試 (Duncan's new multiple range test) 比較各組平均值差異之顯著性。

結果與討論

I. 豪氏單位變化

豪氏單位是根據雞蛋重量和蛋白高度計算而得的綜合指標，用來評估雞蛋的品質 (Chen *et al.*, 2023)。各組於貯存期間之豪氏單位變化如圖 1 (a) 所示，第 0 wk 洗選與非洗選豪氏單位分別為 83.08 與 87.81，達顯著差異 ($P < 0.05$)，此乃由於洗選過程中，水溫需高於蛋溫 5 – 10°C，以及隨後的烘乾過程對豪氏單位產生的影響所致；於 0 – 2nd wk 高溫組 (UWRS30 與 WCS25) 顯著較低溫組 (WR7 與 UWR7) 低 ($P < 0.05$)，而於 1st wk UWRS30 的豪氏單位顯著較 WCS25 低 ($P < 0.05$)，依 USDA 蛋品質分級標準，UWRS30 下降最快，從第 0 wk 的 87.81 (AA 級)、1st wk 59.53 (B 級)、2nd wk 降至 55.80 (B 級)；WCS25 從第 0 wk 的 83.08 (AA 級)、1st wk 63.57 (A 級)、2nd wk 降至 54.75 (B 級)；此 2 組在 3rd wk 時蛋品質均降至 C 級，其中，WCS25 有 25/40 樣品超出分析儀可判讀下限範圍 (HU = 31)，15/40 樣品測得豪氏單位平均值為 33.19，UWRS30 有 30/40 樣品超出機器可判讀下限範圍，10/40 樣品測得豪氏單位平均值為 31.27，顯示高溫貯存對雞蛋品質的負面影響最大，並參考 Liu *et al.* (2016) 在試驗中使用了豪氏單位作為雞蛋品質的主要評估指標，設定當豪氏單位平均值低於 31 (C 級) 時淘汰的標準，於 3rd wk 結束 WCS25 和 UWRS30 之貯存試驗。相較之下，冷藏組的蛋品質變化較小，WR7 的 0 – 5 wk 為 83.08 – 72.49 (AA 級)、6 – 13 wk 為 68.61 – 61.20 (A 級)、14 – 24 wk 為 58.09 – 55.02 (B 級)；UWR7 的 0 – 4 wk 為 87.81 – 72.78 (AA 級)、5 – 18 wk 為 71.77 – 60.24 (A 級)、19 – 24 wk 為 59.49 – 54.33 (B 級)，此結果表示，冷藏貯存能有效維持雞蛋的品質。冷藏對雞蛋品質的影響已被多項研究證實，溫度是影響雞蛋豪氏單位的重要因素，Jones *et al.* (2018) 研究顯示，雞蛋於 4°C 貯存 15 wks，洗選蛋與非洗選蛋的豪氏單位分別為 65 與 67 (A 級)；Chen *et al.* (2023) 進一步指出，雞蛋於 7°C 貯存能有效延緩品質下降，從第 0 wk 的 AA 級 (81.7) 至 7th wk 仍維持 A 級 (約 61.8)，直到 12th wk 才接近 A 級下限，與本研究結果一致。而 Oliveira *et al.* (2009) 發現，新鮮雞蛋於 6 ± 1°C 下貯存 50 d 後，豪氏單位從 98.55 下降至 71.74 (仍為 A 級)；Simsiri *et al.* (2021) 則強調，雞蛋於 7°C 貯存 4 wks 後仍保持 A 級品質，顯著優於常溫存放，相較之下，常溫存放會加速豪氏單位的下降。Chen *et al.* (2023) 研究發現，雞蛋於 25°C 貯存時，豪氏單位從第 0 wk 的 81.7 (AA 級) 快速下降至 1st wk 的 61.8 (A 級)、2nd wk 的 48.0 (B 級) 及 3rd wk 的 37.9 (B 級)。Oliveira *et al.* (2009) 指出，雞蛋於 25 ± 1°C 貯存 30 d 後，豪氏單位降至 18.39 (B 級以下)。Simsiri *et al.* (2021) 亦指出，雞蛋於 25°C 貯存 4 wks 後即降至 B 級或更低。低溫貯存的優勢在於其可延緩蛋白質品質下降，從而維持蛋白的高度與黏性，Jin *et al.* (2010) 特別強調，低

溫能顯著減緩豪氏單位的下降速度；此外，Silversides and Scott (2001) 的研究則證明冷藏能延長雞蛋的保鮮期。綜合以上研究結果，雞蛋於低溫 (4 至 7°C) 條件下存放，其品質明顯優於常溫或高溫存放，證實冷藏對雞蛋品質的維持具有關鍵性作用。

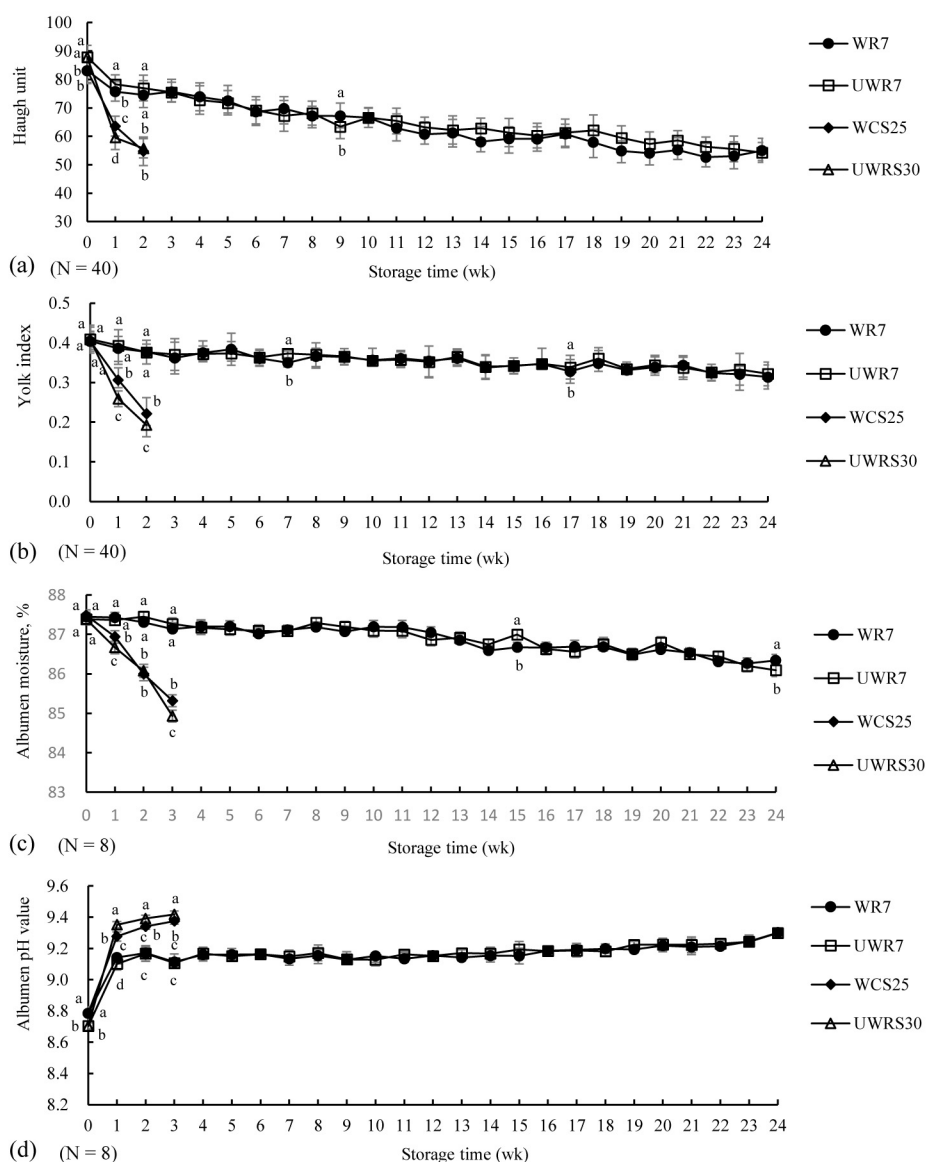


圖 1. 雞蛋貯存期間 (a) 豪氏單位、(b) 蛋黃係數、(c) 蛋白水分及 (d) 蛋白 pH 值的變化。

Fig. 1. Changes in (a) Haugh units, (b) Yolk index, (c) albumen moisture and (d) albumen pH on eggs during storage.

a, b, c, d Means within each storage time with different common letters significantly differ ($P < 0.05$).

II. 蛋黃係數變化

蛋黃係數是蛋黃高度與直徑的比值，反映蛋黃的品質，各組於貯存期間之蛋黃係數變化如圖 1 (b) 所示，於 0 – 2nd wk 高溫組 (UWRS30 與 WCS25) 顯著較低溫組 (WR7 與 UWR7) 低 ($P < 0.05$)，而於 1st wk UWRS30 的蛋黃係數顯著較 WCS25 低 ($P < 0.05$)，UWRS30 下降最快，0、1st 及 2nd wk 的蛋黃係數分別為 0.409、0.221 及 0.193；其次為 WCS25，其 0、1st 及 2nd wk 的蛋黃係數分別為 0.404、0.307 及 0.259；於 3rd wk 時，WCS25 有 25/40 樣品超出機器可判讀之下限範圍，15/40 樣品測得蛋黃係數平均值為 0.168，UWRS30 有 30/40 樣品超出機器可判讀之下限範圍，10/40 樣品測得蛋黃係數平均值為 0.127，顯示高溫貯存會造成蛋黃品質快速下降。WR7 和 UWR7 的蛋黃係數每週變化較小，於貯存 24 wk 期間，分別從第 0 wk 之 0.404 和 0.409，緩慢下降至 24th wk 的 0.314 和 0.322，表示低溫冷藏有助於維持蛋黃的良好品質。與 Chen *et al.* (2023) 研究結果相符，25°C 貯存的雞蛋之蛋黃係數於 4 wks 貯存期內顯著下降 ($P < 0.05$)，而於 7°C 貯存 12 wks 的蛋黃係數則相對穩定下降緩慢，亦與 Simsiri *et al.* (2021) 研究一致，雞蛋於 7°C 存放至 4th wk 的蛋黃係數為 0.40，而存放於 25°C 條件下的雞蛋，

其蛋黃係數顯著下降至 0.20，顯示低溫貯存期間，蛋黃係數減少較緩慢，而在高溫條件下，因水分遷移加速，導致蛋黃變扁平。此外，Oliveira *et al.* (2009) 發現，冷藏能有效保持蛋黃的質量和穩定性，蛋黃結構在高溫下容易受到影響，可能是因為脂質氧化和蛋白質品質快速下降，導致蛋黃膜變弱。

III. 蛋白水分變化

蛋白水分的變化可顯示雞蛋於貯存期間，其內部水分的散失狀況，各組於貯存期間之蛋白水分含量變化如圖 1 (c) 所示，於 3rd wk 高溫組 (UWRS30 與 WCS25) 顯著較低溫組 (WR7 與 UWR7) 低 ($P < 0.05$)，以 UWRS30 下降最快，0、1st、2nd 及 3rd wk 的蛋白水分含量分別為 87.38、86.66、86.07 及 84.93%；其次為 WCS25，其 0、1st、2nd 及 3rd wk 的水分含量分別為 87.48、86.94、86.00 及 85.32%；而 WR7 和 UWR7 在貯存 24 wk 期間，每週的水分含量變化相對較小，分別從第 0 wk 的 87.48 和 87.38% 緩慢下降至 24th wk 的 86.33 和 86.09%，顯示高溫貯存會造成雞蛋內部水分較快散失。這與 Chen *et al.* (2023) 研究結果一致，25°C 貯存的雞蛋的蛋白水分含量在 4 wks 內顯著下降，而在 7°C 貯存的雞蛋則下降較慢；Oliveira *et al.* (2009) 研究指出，新鮮雞蛋蛋白的總固形物含量平均約 12.17 g/100 g，於 $6 \pm 1^\circ\text{C}$ 下貯存 50 d 後，蛋白的總固形物含量為 13.47 g/100 g，於 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 貯存 30 d 後，蛋白的總固形物含量達到 13.83 g/100 g，隨著貯存期間的增加，蛋白的總固形物含量顯著增加，表示水分顯著減少。Simsiri *et al.* (2021) 研究，雞蛋存放於 7°C 條件下其蛋白水分含量在 4th wk 為 85%，而存放於 25°C 條件下的蛋白水分含量在 4th wk 降至 75%，顯示出高溫貯存會加速水分流失，Roberts (2004) 亦指出雞蛋冷藏貯存可減緩蛋白水分的散失，蛋白水分的減少會影響蛋白的粘稠度和外觀，進而影響雞蛋的品質。

IV. 蛋白 pH 值變化

蛋白 pH 值亦是評估雞蛋品質的重要指標，各組於貯存期間之蛋白 pH 變化如圖 1 (d) 所示，於 0 – 3rd wk 高溫組 (UWRS30 與 WCS25) 顯著較低溫組 (WR7 與 UWR7) 高 ($P < 0.05$)，以 UWRS30 上升最快，0、1st、2nd 及 3rd wk 的蛋白 pH 值分別為 8.70、9.35、9.39 及 9.42；其次為 WCS25，其 0、1st、2nd 及 3rd wk 的 pH 值分別為 8.79、9.28、9.34 及 9.38；而 WR7 和 UWR7 在貯存 24 wks 期間，每週的 pH 值變化相對較小，分別從第 0 wk 的 8.79 和 8.70 緩慢上升至 24th wk 的 9.30 和 9.29。本研究結果與 Jin *et al.* (2010)、Liu *et al.* (2016) 及 Chen *et al.* (2023) 的發現一致，蛋白 pH 值會隨著貯存溫度升高而顯著上升，低溫能有效減緩蛋白 pH 值的上升速度，在 25°C 貯存條件下，雞蛋的蛋白 pH 值於 4 wk 內迅速上升，而在 7°C 下 pH 值變化較小。Oliveira *et al.* (2009) 的研究則量化此現象，顯示新鮮雞蛋的蛋白 pH 值平均為 8.02，於 $6 \pm 1^\circ\text{C}$ 貯存 50 d 後上升至 9.13，而於 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 貯存 30 d 後則升至 9.41，證實隨貯存溫度與期間增加，蛋白 pH 值顯著上升。此外，Shin *et al.* (2012)、Caner and Yuceer (2015) 及 Biladeau and Keener (2009) 也指出雞蛋貯存期間蛋殼孔隙中二氧化碳的損失與蛋白 pH 值上升之間存在密切關聯，二氧化碳的逸散可能影響碳酸 – 碳酸氫鹽緩衝系統，導致蛋白 pH 值上升。蛋白低 pH 值可被視為維持蛋白品質的良好狀態，蛋白 pH 值與豪氏單位高度相關，可以作為蛋新鮮度的指標 (Chen *et al.*, 2023)。

V. 微生物品質

雞蛋貯存期間，其內容物總生菌數的測定結果顯示，除了 WCS25 於 3rd wk 平均 4.18 log CFU/g 及 WR7 於 24th wk 平均 4.20 log CFU/g，其餘各組在整個貯存期間皆未檢出總生菌數。此外，所有組別，包括高溫組 (WCS25 和 UWRS30) 與低溫組 (WR7 和 UWR7)，雞蛋內容物皆未檢測到沙門氏菌；此結果顯示，雞蛋在適當的貯存條件下，其微生物安全性可獲得有效維持，在現行的生產與貯存管理下，雞蛋內容物的微生物污染風險極低。然而，洗選雞蛋 WCS25 組和 WR7 組，其在特定週期中檢出總生菌數，雖未超出食品安全標準，但亦證實洗選過程可能影響雞蛋的微生物，張 (1986) 表示，洗選蛋在長期貯藏時，微生物較易侵入增殖，加速蛋之腐敗。洗選會去除蛋殼表面的保護性角質層，減弱其天然屏障功能，進而增加外界微生物進入蛋內的風險，特別是在高溫或長時間貯存的情況下，更可能導致微生物數量的增長。因此，洗選後的雞蛋須更注重冷鏈管理，以降低微生物污染的潛在風險，確保產品的衛生與安全。

VI. 感官品評

雞蛋於 7°C 貯存 12 wk 做成水煮蛋進行感官品評之結果如表 1，WR7、UWR7 及新鮮雞蛋組之比較，其蛋白和蛋黃的多項指標上表現出相似的結果。WR7 的蛋白咬感平均為 5.1 ± 1.0 分，UWR7 的蛋白咬感為 5.2 ± 1.0 分，而新鮮組的蛋白咬感為 5.2 ± 1.0 分，各組間無顯著差異；WR7 和 UWR7 的蛋腥味評分分別為 4.9 ± 1.1 和 4.9 ± 1.0 ，而新鮮組為 4.9 ± 1.0 ；總接受性方面，WR7 和 UWR7 的評分分別為 5.2 ± 1.0 和 5.1 ± 1.0 ，而新鮮組為 5.0 ± 1.0 ，各組間無顯著差異；WR7 的蛋黃組織口感為 5.2 ± 1.0 分，UWR7 為 5.3 ± 1.0 分，新鮮組為 4.9 ± 1.2 分；WR7 的蛋黃腥味為 4.7 ± 1.1 分，UWR7 為 4.6 ± 1.0 分，新鮮組為 4.8 ± 1.0 分；總接受性方面，冷藏組 WR7 為 5.1 ± 1.0 分，UWR7 為 5.1 ± 1.0 分，新鮮組為 4.9 ± 1.2 ，各組間無顯著差異，由上述結果得知，不論洗選或非洗選

雞蛋，於 7°C 冷藏 12 wks，蛋白咬感、蛋白腥味、蛋黃組織口感、蛋黃腥味及總體接受性皆可被接受，與新鮮雞蛋比較，並無顯著差異 ($P > 0.05$)。7°C 貯存 12 wks 的洗選與非洗選雞蛋，其蛋品質均維持 A 級，蛋白水分僅下降 0.46%，蛋白 pH 值僅上升 0.03，顯示低溫貯存 12 wks 後的雞蛋品質特性與存放 5 d 的新鮮雞蛋相近，證實冷藏不僅能延長保鮮期，亦能保持雞蛋的感官品質特性。

表 1. 雞蛋於 7°C 貯存 12 wks 做成水煮蛋進行感官品評 (7 分制，N = 63)

Table 1. Eggs stored at 7°C for 12 weeks were made into boiled eggs for sensory evaluation (7-point scale, n = 63)

	Albumen			Yolk		
	Bite	Eggy odor	Overall acceptability	Bite	Eggy odor	Overall acceptability
WR7	5.1 ± 1.0	4.9 ± 1.1	5.2 ± 1.0	5.2 ± 1.0	4.7 ± 1.1	5.1 ± 1.0
UWR7	5.2 ± 1.0	4.9 ± 1.0	5.1 ± 1.0	5.3 ± 1.0	4.6 ± 1.0	5.1 ± 1.0
5 d fresh egg	5.2 ± 1.0	4.9 ± 1.0	5.0 ± 1.0	4.9 ± 1.2	4.8 ± 1.0	4.9 ± 1.2

結 論

雞蛋在貯存過程中，隨著貯存期間的延長與貯存溫度的升高，其豪氏單位、蛋黃係數及蛋白水分皆逐漸降低，而蛋白的 pH 值則隨之升高，這些變化皆顯示雞蛋品質逐漸下降。尤其在貯存溫度較高的情況下，雞蛋品質劣化速度更加迅速，導致豪氏單位和蛋黃係數快速下降。本試驗證實將良好品質 (AA 級) 之雞蛋置於 7°C 冷藏 24 wk，不論是洗選或非洗選均仍能保持可食用之品質 (B 級)，因此，為了延長雞蛋的保存期限並維持其良好的品質，建議應將雞蛋置於低溫環境下貯存。

誌 謝

本研究由畜產試驗所畜產加工組同仁協助完成，特此誌謝。

參考文獻

- 徐志忠。2000。冷卻及被覆處理對水煮蛋貯存品質之影響。國立中興大學畜產學系，碩士論文，臺中市。
- 張勝善。1986。蛋品加工學。華香園出版社，臺北市，第 167 頁。
- 陳冠霖。2021。評估洗選與否及貯存溫度對殼蛋長期貯存品質之影響。國立中興大學畜產學系，碩士論文，臺中市。
- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). 2005. Official methods of analysis, 18th ed. Association of official analytical chemistry, Washington, DC.
- Biladeau, A. M. and K. M. Keener. 2009. The effects of edible coatings on chicken egg quality under refrigerated storage. *Poult. Sci.* 88: 1266-1274.
- Caner, C. and M. Yuceer. 2015. Efficacy of various protein-based coating on enhancing the shelf life of fresh eggs during storage. *Poult. Sci.* 94: 1665-1677.
- Chen, G. Z., W. Chumngoen, C. Kaewkot, Y. M. Sun, and F. J. Tan. 2023. Combination of sensory evaluation with conventional physiochemical analyses to evaluate quality changes during long-term storage and estimate the shelf life of chicken eggs. *Br. Poult. Sci.* 64: 594-604.
- Eke, M. O., N. I. Olaitan, and J. H. Ochefu. 2013. Effect of storage conditions on the quality attributes of shell (table) eggs. *Niger. Food J.* 31: 18-24.
- Jin, Y. H., K. T. Lee, W. I. Lee, and Y. K. Han. 2010. Effects of storage temperature and time on the quality of eggs from laying hens at peak production. *Asian-Australas. J. Animal Sci.* 24: 279-284.
- Jones, D. R. and M. T. Musgrove. 2005. Effects of extended storage on egg quality factors. *Poult. Sci.* 84: 1774-1777.
- Jones, D. R., D. M. Karcher, P. Regmi, C. O. Robison, and R. K. Gast. 2018. Hen genetic strain and extended cold storage

- influence on physical egg quality from cage-free aviary housing system. *Poult. Sci.* 97: 2347-2355.
- Liu, Y. C., T. H. Chen, Y. C. Wu, Y. C. Lee, and F. J. Tan. 2016. Effects of egg washing and storage temperature on the quality of eggshell cuticle and eggs. *Food Chem.* 211: 687-693.
- Mohammed, H. T. 2011. Impact of storage period and quality on composition of table egg. *Adv. Environ. Biol.* 5: 856-861.
- Maturin, L. and J. Peeler. 1995. Aerobic plate count. In: *Bacteriological analytical manual* (AOAC Int. ed.). AOAC Int., Gaithersburg, USA. pp. 3.01-3.10.
- Nematinia, E. and S. A. Mehdizadeh. 2018. Assessment of egg freshness by prediction of Haugh unit and albumen pH using an artificial neural network. *J. Food Meas. Charact.* 12: 1449-1459.
- Okeudo, N. J., U. Ezetoha, C. Akomas, and E. C. Akanno. 2005. Egg quality of *Gallus Domesticus* under domestic storage in Nigeria. *Animal Res. Int.* 2: 319-321.
- Oliveira, G. E., T. C. Figueiredo, M. R. Souza, A. L. Oliveira, S. V. Cancado, and M. B. A. Gloria. 2009. Bioactive amines and quality of egg from Dekalb hens under different storage conditions. *Poult. Sci.* 88: 2428-2434.
- Roberts J. R. 2004. Factors affecting egg internal quality and egg shell quality in laying hens. *J. Poult. Sci.* 41: 1661-177.
- Samli, H. E., A. Agna, and N. Senkoylu. 2005. Effects of storage time and temperature on egg quality in old laying hens. *J. Appl. Poult. Res.* 14: 548-533.
- Scott, T. A. and F. G. Silversides. 2000. The effect of storage and strain of hen on egg quality. *Poult. Sci.* 79: 1725-1729.
- Shin, D., C. Narciso-Gaytán, J. M. Regenstein, and M. X. Sanchez-Plata. 2012. Effect of various refrigeration temperatures on quality of shell eggs. *J. Sci. Food Agric.* 92: 1341-1345.
- Silversides, F. G. and T. A. Scott. 2001. Effect of storage and layer age on quality of eggs from two lines of hens. *Poult. Sci.* 80: 1240-1245.
- Silversides, F. G. and P. Villeneuve. 1994. Is the Haugh unit correction for egg weight valid for eggs stored at room temperature? *Poult. Sci.* 73: 50-55.
- Simsiri, U., W. Rungruengpet, C. Kaewkot, Y. M. Sun, K. Świąder, A. Wanangkarn, and F. J. Tan. 2021. Influence of cold chain integrity during postwashing processing and storage on chicken egg quality. *Braz. J. Poult. Sci.* 23: 1-8.
- SAS Institute, 2002. Guide for personal computers. Version 8.0.1, SAS Inst. Inc., Cary, NC. USA.
- USDA. Agricultural Marketing Service. 2000. Egg-Grading-Manual. Agricultural Handbook Number 75. <https://www.ams.usda.gov/grades-standards/egg-grading-manual>
- Walsh, T. J., R. E. Rizk, and J. Brake. 1995. Effects of temperature and carbon dioxide on albumen characteristics, weight loss, and early embryonic mortality of long stored hatching eggs. *Poult. Sci.* 74: 1403-1410.

Effects of storage conditions on egg quality ⁽¹⁾

Ling-Tsai Wu ⁽²⁾ Yi-Chao Chen ⁽²⁾ Ruei-Han Yeh ⁽²⁾⁽⁴⁾ Chi-Huai Huang ⁽²⁾
Chun-Ta Chang ⁽³⁾ and Ching-Yun Kuo ⁽²⁾

Received: Sep. 19, 2024; Accepted: Feb. 25, 2025

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of different storage temperatures and durations on egg quality. The samples used were Hy-Line White eggs sourced from a local egg processing plant, divided into four storage groups: washed and refrigerated (WR7, $7 \pm 2^\circ\text{C}$), washed and cool-stored (WCS25, $25 \pm 2^\circ\text{C}$), unwashed and refrigerated (UWR7, $7 \pm 2^\circ\text{C}$), and unwashed and room-stored (UWRS30, $30 \pm 2^\circ\text{C}$). In particular, WCS25 and UWRS30 were stored for three weeks, while WR7 and UWR7 were stored for 24 weeks. During the period, 40 eggs were randomly sampled per week to assess the egg quality, including albumen moisture, albumen pH, Haugh Unit (HU), and yolk index (YI). Additionally, eggs refrigerated for 12 weeks were hard-boiled for sensory evaluation. The results showed that the Haugh Unit significantly decreased over time in UWRS30 and WCS25 ($P < 0.05$), while the decrease in WR7 and UWR7 was slower. Both yolk index and albumen moisture tended to decrease during storage, whereas albumen pH showed an upward trend during storage. Throughout the storage period, all 4 groups were tested negative for *Salmonella*, and the total plate count were tested in WCS25 at 3rd week and WR7 at 24th week, namely 4.18 and 4.20 log CFU/g, respectively. In the sensory evaluation of hard-boiled eggs, no significant differences were found among the groups in terms of albumen and yolk texture, eggy odor, or overall acceptability. In conclusion, the Haugh Unit, yolk index, albumen moisture, and pH were all influenced by storage temperature and duration. To extend the shelf-life of eggs and maintain quality, it is recommended to store eggs under low temperatures. This study confirms that high-quality (grade AA) washed and unwashed eggs can still retain edible quality (grade B) when stored at 7°C for 24 weeks.

Key words: Egg, Storage condition, Egg quality.

(1) Contribution No. 2813 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

(2) Animal Products Processing Division, MOA-TLRI, HsinHua, Tainan 71246, Taiwan, R. O. C.

(3) Livestock Management Division, MOA-TLRI, HsinHua, Tainan 71246, Taiwan, R. O. C.

(4) Corresponding author, E-mail: bjo@tlri.gov.tw.

比較濾袋式與索氏法粗脂肪檢驗方法⁽¹⁾

洪靖崎⁽²⁾ 陳惠茹⁽²⁾ 許晉賓⁽²⁾⁽³⁾

收件日期：113 年 8 月 25 日；接受日期：114 年 3 月 10 日

摘 要

飼料中的粗脂肪含量是評估其營養成分的重要指標。本研究比較索氏法與濾袋法在配合飼料、動物性飼料及植物性飼料分析粗脂肪的重複性與再現性，並確立了濾袋法的最佳萃取條件。將配合飼料樣品依粗脂肪濃度分為低 ($EE < 5\%$)、中 ($5 \leq EE < 10\%$) 及高 ($EE \geq 10\%$) 三組，並以濾袋法進行粗脂肪含量分析，萃取時間設定為 30、40、50 及 60 分鐘。結果顯示，中高濃度配合飼料的重複性變異係數 (CV) 範圍為 1.47 至 6.18%，再現性變異係數範圍為 0.05 至 6.95%，均符合我國公告的重複性規範 ($< 10\%$)。其中，60 分鐘萃取時間的重複性變異係數 ($< 2\%$) 及再現性變異係數 ($< 3.54\%$) 最低。然而，低脂肪濃度配合飼料 ($EE < 5\%$) 的重複性與再現性變異係數不符合驗證標準。此外，本研究收集了植物性飼料原料 42 件及動物性飼料原料 46 件，並使用濾袋法和索氏法進行比較。對於低脂肪濃度樣品 (如玉米和大豆粕)，濾袋法的變異係數偏移範圍較大 (15.01 — 51.58%)。然而，對於脂肪濃度超過 5% 的樣品，無論是動物性或植物性飼料，濾袋法與索氏法的結果一致。此外，相較於索氏法，濾袋法縮短了 5 倍的檢測時間並減少了溶劑的使用量。綜上所述，濾袋法在萃取 60 分鐘的條件下，適合用於粗脂肪含量高於 5% 的飼料樣品的分析。

關鍵詞：粗脂肪、飼料、濾袋法、索氏法、檢驗效能。

緒 言

粗脂肪是飼料及禽畜產品中關鍵的營養成分之一，其準確測定對於營養分析和品質控制至關重要。當前常用於測定油品、飼料及農產品中脂肪或油含量的方法，包括美國官定分析化學家協會 (Association of Official Agricultural Chemists, AOAC) 發表之酸水解法 (AOAC Method 954.02) (AOAC, 2005c)、傳統的索氏提取法 (Soxhlet extraction) 及其改良法。傳統索氏提取法中，用乙醚 (AOAC Method 920.39) (AOAC, 2005a) 或石油醚 (AOAC Method 945.16) (AOAC, 2005b) 作為萃取溶劑。改良索氏法則通過將樣品浸入沸騰乙醚中萃取脂肪，減少檢驗時間，這一技術也被稱為蘭德爾浸沒法 (Randall submersion method) (AOAC Method 991.36) (AOAC, 2005d)。這些方法主要應用於動物飼料、穀物及飼料材料的脂肪萃取，並提供溶劑回收以提高環保性 (Thiex, 2003)。

在中華民國國家標準飼料檢驗方法 (Chinese National Standards, CNS) 規定粗脂肪的測定方法為索氏提取法 (CNS 2770-4)，主要使用乙醚進行萃取，所得物質稱為「乙醚萃取物」(ether extract, EE)。乙醚萃取物的成分包括脂肪酸 (43%)、非脂肪酸半乳糖 (8%)、甘油 (9%)、蠟 (17%)、葉綠素 (4%) 及其他不可皂化物等 (19%) (Palmquist and Jenkins, 2003)，這與 AOAC 規定的索氏提取法 (AOAC Method 920.39) 一致。然而，索氏法分析需要大量有機溶劑及長時間的萃取過程，導致人力及操作成本增加，並且對環境帶來不利影響。

為應對這些挑戰，美國油脂化學家協會 (American Oil Chemists' Society, AOCS) 提出濾袋式粗脂肪檢測方法 (AOCS, 2005)，該方法將樣品裝入濾袋後，使用石油醚進行脂肪萃取，從而提高了批次處理能力和效率。本研究旨在建立並驗證飼料中濾袋式粗脂肪檢測方法的可行性，並與傳統索氏提取法進行比較，以評估兩者之間的差異性及替代的可行性。

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2814 號。

(2) 農業部畜產試驗所動物營養組。

(3) 通訊作者，E-mail: cbhsu@tlri.gov.tw。

材料與方法

I. 樣品備製

本研究根據中華民國國家標準飼料檢驗方法 (CNS 2770-4) 中的索氏粗脂肪分析方法，探討濾袋法檢驗粗脂肪的差異性及其替代的可行性。收集配合飼料樣品 18 件，依據中華民國國家標準飼料檢驗方法－索氏法測定其粗脂肪含量 (Crude fat, EE)，並根據分析結果將樣品分為低濃度 ($EE < 5\%$)、中濃度 ($5\% \leq EE < 10\%$) 及高濃度 ($EE \geq 10\%$) 三組，使用濾袋法進行對比分析，評估方法的重複性及再現性，各項分析之飼料種類及數量詳表 1。另外，收集植物性飼料原料 42 份及動物性飼料原料 46 份，其中植物性原料包括玉米、大豆粕、全脂大豆粉、玉米酒粕及椰子粕；動物性原料包括雞肉粉、魚粉及肉骨粉，對比濾袋法與索氏法在粗脂肪濃度分析上的表現。所有飼料樣品粉碎後，過 1 mm 篩網，再進行粗脂肪分析。

表 1. 各項檢驗飼料種類及數量

Table 1. Types and quantities of feed for each analysis

Purpose of analysis and feed types	$EE < 5\%$	$5 \leq EE < 10\%$	$EE \geq 10\%$	Remarks
Extraction time of crude fat analysis method by filter bag method				
Formula feeds types	Cattle	Sow lactation	Sea bass	One sample with six replicates was taken from each of the high, medium, and low concentration ranges
Comparison of the reproducibility of crude fat analysis by soxhlet and filter bag methods				
Formula feeds types	Cattle $\times 3$ Calf $\times 3$	Starting diet of broiler $\times 1$ Finishing diet of broiler $\times 1$ Breeding geese $\times 1$ Growing pig $\times 1$ Boar $\times 1$ Lactating sow $\times 1$	Grouper $\times 3$ Sea bass $\times 3$	Six samples with six replicates were taken from each of the high, medium, and low concentration ranges
Comparison of crude fat analysis of plant and animal feeds by soxhlet and filter bag methods				
Plant feed	Corn $\times 6$, Soybean meal $\times 10$, Full fat soybean meal $\times 20$, Corn distillers meal $\times 3$ Coconut meal $\times 3$			A total of 42 feeds were analyzed by Soxhlet and filter bag methods, and each sample was analyzed twice
Animal feed	Chicken meal $\times 6$, Fish meal $\times 29$ Meat and bone meal $\times 11$			A total of 46 feeds were analyzed by Soxhlet and filter bag methods, and each sample was analyzed twice

II. 索氏粗脂肪分析方法

參考中華民國國家標準飼料檢驗方法 (CNS 2770-4) 修正檢驗方法中採樣重量及萃取時間，將脂肪接收瓶洗淨後，置於 $105 \pm 1^\circ\text{C}$ 烘箱中烘乾 1 小時，取出後放入乾燥器冷卻至室溫並稱重。秤取約樣品 2 克，包裹於濾紙後放入圓筒濾紙中，於 $105 \pm 1^\circ\text{C}$ 烘箱中乾燥 2 – 3 小時。取出濾筒後，置於索氏乙醚抽出器中，加入約 170 mL 乙醚，樣品浸泡後迴流至脂肪接收瓶。加熱至 80°C 增加乙醚滴迴速度，連續萃取 4 小時。萃取完成後，將脂肪接收瓶取下，轉移至烘箱中於 $105 \pm 1^\circ\text{C}$ 下乾燥 4 小時，冷卻後稱重，計算脂肪含量。

III. 索氏粗脂肪分析方法確效驗證

(i) 準確度：

- 標準參考物質由美國國家標準與技術研究院 (National Institute of Standards and Technology, NIST) 產製的標準物質，做為具特定的化學性質可供作為量測的標準件。本試驗選取標準參考物質 (Standard reference

materials, SRM) SRM1869 (牛奶 / 乳清 / 豆粉基質之營養配方)，作為粗脂肪測定之標準件，實驗室依修正之索氏粗脂肪方法，分析該標準參考物質 SRM1869 粗脂肪濃度，與美國 NIST 出具的驗證報告中粗脂肪濃度進行回收率計算，回收率 = (經認證之標準參考物質粗脂肪濃度 - 實驗室分析標準參考物質檢驗粗脂肪濃度) / 經認證之標準參考物質粗脂肪濃度 × 100%。依據我國衛生福利部食品藥物管理署於 110 年 11 月 1 日公告之食品化學檢驗方法之確效規範，濃度範圍 > 100 ppm，回收率須符合 85 - 110%。

2. 國際能力試驗比對：112 年參加英國國際能力試驗機構 Laboratory of the Government Chemist (LGC) 粗脂肪能力比對試驗，使用索氏粗脂肪方法分析粗脂肪檢驗值為 3.31%，Laboratory of the Government Chemist LGC 標準值為 3.34%，Z-score 為 -0.09，評定結果為滿意。

(ii) 精密度：

1. 重複性 (repeatability)：重複性係以同一實驗室於同一批次執行該檢驗方法，選取 3 種飼料樣品，每一種飼料樣品各進行 5 重複之檢測，計算樣品所含粗脂肪之濃度之變異係數 (CV, %)，依據食品化學檢驗方法之確效規範，分析項目濃度範圍 > 1 ppm，重複性之 CV < 10%，判定為合格。
2. 中間精密度：中間精密度代表實驗室內精密度，係以同一實驗室執行該檢驗方法，於不同分析日期、分析人員、分析設備等，所得之結果予以評估。選擇以不同日期再分析一次，每一種飼料樣品各進行 5 重複之檢測，計算樣品於 2 次不同日期所含粗脂肪之濃度之變異係數 (CV, %)，依據食品化學檢驗方法之確效規範，濃度範圍 > 1 ppm，CV 重複性 < 10%，判定為合格。

IV. 濾袋式粗脂肪分析方法及萃取時間之比較

依據 (AOCS, 2005) 秤取樣品 1 g 放置於濾袋中，完整密封後，以 $102 \pm 2^\circ\text{C}$ ，烘乾 3 小時，放入乾燥器冷卻至室溫秤重。將濾袋樣品放入濾袋式粗脂肪萃取機 (ANKOMXT15 extraction system, ANKOM Technology) 之濾杯中，一次放入 15 個濾袋式進行分析，加入 550 mL 之石油醚於濾袋式粗脂肪萃取機中，分別萃取 30、40、50 及 60 min 後，完成後取出濾袋以 $102 \pm 2^\circ\text{C}$ 烘乾 4 小時，放入乾燥皿中冷卻後秤重，計算油脂含量。

V. 濾袋法粗脂肪分析方法之重複性分析

依據我國衛生福利部食品藥物管理署食品化學檢驗方法之確效規範，重複性 (repeatability) 指同一實驗室在同一批次中執行檢驗方法所得結果的精密度。規範中指出，當待測物濃度大於 1 mg/kg 時，重複性的變異係數 (CV, %) 需小於 10%。本研究依據該規範定義重複性，評估濾袋法檢測粗脂肪的精密度。將配合飼料的粗脂肪濃度分為低 ($EE < 5\%$)、中 ($5\% \leq EE < 10\%$) 及高 ($EE \geq 10\%$) 三組，分別選取一個樣品進行索氏法及濾袋法分析，每個樣品進行 6 次重複測試。同時，針對不同的萃取時間 (30、40、50、60 分鐘) 進行 6 次重複測試，計算每組萃取時間的變異係數或相對標準差 ($RSD, \% = \text{標準差} / \text{平均值} \times 100\%$)。

VI. 索氏法與濾袋法粗脂肪分析方法之再現性比較

依據我國衛生福利部食品藥物管理署公告的食品化學檢驗確效規範，再現性 (reproducibility) 評估不同實驗室間精密度的差異。規範指出，當待測物濃度大於 1 mg/kg 時，再現性的變異係數 (CV, %) 需小於 16%，再現性代表實驗室間精密度。本研究針對配合飼料、植物性原料及動物性原料之兩種方法之再現性比較。將配合飼料粗脂肪濃度分為低濃度 ($EE < 5\%$)、中濃度 ($5 \leq EE < 10\%$) 及高濃度 ($EE \geq 10\%$) 3 組，每組選取 6 個樣品，以濾袋法進行 6 次測試，取平均值後與索氏法的測試結果比較，計算變異係數。植物性及動物性原料樣品的測試方法與配合飼料相同，將收集的原料，進行 6 次測試並計算變異係數，以分析其再現性。

結果與討論

I. 索氏粗脂肪檢驗準確性分析

乳清粉及豆粉屬於飼料管理法規範之原料，為飼料配方組成之成分之一。標準參考物質由美國國家標準與技術研究院 (National Institute of Standards and Technology, NIST) 產製的標準參考物質，做為粗脂肪量測的標準件。本試驗選擇 SRM1869 (牛奶 / 乳清 / 豆粉基質之營養配方)，依修正之索氏粗脂肪方法分析該標準參考物質，與美國 NIST 出具的驗證報告濃度進行回收率比對結果如表 2，利用修正之索氏粗脂肪分析方法檢驗值為 18.38%，與標準參考物質 SRM1869 指定值 18.97%，誤差僅為 0.59%，檢測之回收率為 96.89%，符合我國衛生福利部食品藥物管理署公告的食品化學檢驗確效規範，濃度範圍 < 100 ppm，回收率於 85 - 110% 之標準。本試驗依據 CNS 粗脂肪測定方法，顯示修正後之檢驗方法之準確度與原國家粗脂肪標準方法 CNS2770-4 相似，檢驗之準確性並不受到修正樣品重量、調整萃取溫度，減少乙醚萃取時間之影響。

表 2. 飼料準確度檢驗結果

Table 2. Accuracy analysis results of feed

Item	SRM ² 1869 re-peat 1, %	SRM 1869 re-peat 2, %	SRM 1869 av-erage, %	SRM 1869 la-beled value, %	Recovery rate, %	CV ¹ , %
Crude fat	18.55	18.20	18.38	18.97	96.89	1.35

¹ CV: coefficient of variation.² SRM: standard reference materials.

II. 索氏粗脂肪檢驗精密度分析

依據食品化學檢驗方法之確效規範，檢驗方法之精密度確效，包含重複性分析及中間精密度分析，分析項目濃度範圍 > 1 ppm，重複性之 $CV < 10\%$ ，中間精密度 $CV < 16\%$ ，方能確認檢驗方法之檢驗精密度為合格。重複性分析結果顯示，3 種飼料樣品粗脂肪 CV % 範圍 $0.33 - 7.53\%$ (表 3)，皆小於 10% ，符合重複性確效規範。中間精密度分析結果顯示 (表 4)，3 種飼料樣品，2 次不同日期分析粗脂肪之 CV % 範圍 $0.65 - 5.44\%$ ，皆小於 14% ，符合重複性確效規範。綜上所述，顯示本試驗參考 CNS2770-4 為修正之索氏粗脂肪方法分析其準確度及精確度，調整秤取樣品重量 (採樣 $3 - 5$ g 修正為 2 g)、調整萃取溫度，增加乙醚萃取每秒滴數，減少乙醚萃取時間 (由 16 小時修正為 4 小時)、以及將烘箱中於 $105 \pm 1^\circ\text{C}$ 下乾燥至最低重量修正為乾燥 4 小時，並不會影響粗脂肪的檢驗結果。

表 3. 飼料重複性分析結果

Table 3. Repeatability analysis results of feed

item	Feed sample	Repeat 1	Repeat 2	Repeat 3	Repeat 4	Repeat 5	Average	CV ¹ , %
Crude fat	Soy sauce meal	0.28	0.27	0.27	0.23	0.28	0.27	7.53
Crude fat	Animal feed	10.21	10.30	10.35	10.34	10.26	10.29	0.56
Crude fat	Full fat soy-beans	20.51	20.55	20.58	20.56	20.69	20.58	0.33

¹ CV: coefficient of variation.

表 4. 中間精密度分析結果

Table 4. Intermediate precision analysis results

item	Feed sample	Repeat 1	Repeat 2	Repeat 3	Repeat 4	Repeat 5	Average	Average of the previous analysis date ¹	CV ² , %
Crude fat	Soy sauce meal	0.27	0.24	0.22	0.29	0.23	0.25	0.27	5.44
Crude fat	Animal feed	10.39	10.46	10.44	10.42	10.32	10.41	10.29	0.82
Crude fat	Full fat soy-beans	20.77	20.82	20.72	20.77	20.76	20.77	20.58	0.65

¹ 前次分析日期之平均值 (表 3)。² CV: coefficient of variation.

III. 濾袋法分析粗脂肪之重複性及萃取時間評估

濾袋法檢驗飼料樣品粗脂肪的重複性分析 (repeatability) 是評估檢驗方法精密度的關鍵指標之一。本研究將配合飼料樣品根據粗脂肪含量分為低濃度 ($EE < 5\%$)、中濃度 ($5 \leq EE < 10\%$)、高濃度 ($EE \geq 10\%$) 三組。每組選取一個樣品，並使用濾袋法及索氏法各進行 6 次重複測試。重複性評估結果顯示如表 5。根據我國衛生福利部食品藥物管理署食品化學檢驗方法的確效規範的規定，方法的可重複性應符合相對標準偏差 (related standard deviation, RSD) 或變異係數 (CV) $\leq 10\%$ 。重複性結果顯示，使用索氏法分析不同濃度的飼料樣品，無論是低、中或高濃度，其變異係數均小於 1% ，符合食品化學檢驗方法的確效的規範。濾袋法的結果顯示，在低、中、高濃度飼料樣品中的粗脂肪含量分析中，低濃度樣品的重複性 CV 範圍為 $7.78 - 27.79\%$ ，僅 60 分鐘萃取 $CV < 10\%$ ，其他萃取時間為 30 、 40 及 50 分鐘時 CV 高於 10% ，不符合我國衛生福利部食品藥物管理署食品化學檢驗方法的確效規範，即當待測物濃度大於 1 mg/kg 時，重複性 CV 應小於 10% 。然而，中濃度和高濃度樣品的分析結果顯示，萃取時間為 30 、 40 、 50 、 60 分鐘時，重複性 CV 範圍在 $1.47 - 6.18\%$ 之間，重複性 CV 應小於

10%，符合期確效規範。結果顯示隨著萃取時間的延長，檢測結果更趨近索氏法的分析值。對於中濃度和高濃度樣品，當萃取時間達到 60 分鐘時，其變異係最小 (1.97% vs. 1.78%)。因此，濾袋法在萃取 60 分鐘的條件下，適合用於粗脂肪含量高於 5% 的飼料樣品的分析。

表 5. 索氏法及濾袋法分析飼料粗脂肪之重複性評估

Table 5. Repeatability evaluation of feed crude fat analysis by Soxhlet method and filter bag method

Analysis time items	Filter bag extraction				Soxhlet
	30 min	40 min	50 min	60 min	4 h
Low concentration (EE < 5%)					
Average	2.05	1.95	1.82	1.80	1.28
CV ¹	20.83	21.77	27.79	7.78	1.33
Medium concentration (5% < EE < 10%)					
Average	8.99	8.83	8.29	8.37	8.50
CV	4.90	2.75	6.18	1.97	1.52
High concentration (EE > 10%)					
Average	15.39	15.79	16.13	16.49	17.23
CV	2.78	1.47	2.08	1.78	0.41

¹ CV: coefficient of variation.

IV. 濾袋法分析飼料粗脂肪之萃取條件及再現性評估

為確認不同飼料樣品檢驗粗脂肪之再現性，本研究將配合飼料樣品分為低濃度 (EE < 5%)、中濃度 (5 ≤ EE < 10%)、高濃度 (EE ≥ 10%) 3 組，每組選取 6 個不同樣品，並分別使用濾袋法和索氏法對粗脂肪含量進行分析，每個樣品進行 6 次重複測試。濾袋法在不同萃取時間與索氏法之間的比較結果顯示如表 6。濾袋法分析低濃度樣品的粗脂肪含量時，在 30、40、50 及 60 分鐘的萃取時間下，與索氏法比較，其再現性之變異係數範圍超過我國衛生福利部食品藥物管理署公告之食品化學檢驗方法之確效規範，變異係數 (CV, %) 高於 16%。然而，在分析高濃度配合飼料的粗脂肪含量時，濾袋法在上述四個萃取時間下的 CV 均符合規範 (小於 16%)。其中，中濃度及高濃度飼料樣品在 60 分鐘萃取時間下的變異係數範圍最小。

Thiex *et al.* (2003) 指出使用蘭德爾浸沒法 (Randall) 與索氏法分析飼料粗脂肪，並比較使用乙醚、石油醚 (petroleum ether)、己烷 (hexanes) 和戊烷 (pentanes) 萃取脂肪效能，結果顯示己烷可作為乙醚溶劑的替代品。本研究中所使用的濾袋法依據美國油脂化學家協會的建議，選用石油醚作為萃取溶劑，推測石油醚相較於乙醚在相同萃取條件下可能具有較低的萃取效能。此外，檢驗過程中發現，濾袋法每批次使用 550 mL 的石油醚進行萃取，但在回收石油醚時，發現約有 1 – 2 mL 的脂質漂浮在石油醚的上層。由於濾袋法在高溫下對樣品進行連續洗滌，石油醚重複萃取中所含的脂質可能影響萃取效能，這可能是導致低濃度飼料樣品分析變異性增加的原因之一。

V. 索氏法與濾袋法分析植物性飼料及動物性飼料粗脂肪之比較

樣品基質效應可能影響粗脂肪檢驗結果，為進一步比較不同飼料樣品在濾袋法與索氏法下的粗脂肪分析再現性，本研究收集了植物性飼料原料 42 件及動物性飼料原料 46 件，進行了索氏法與濾袋法的比較分析，結果如表 7 和表 8 所示。在植物性飼料方面，選取玉米、大豆粕、全脂大豆粉、玉米酒粕及椰子粕進行粗脂肪含量測定，及濾袋式與索氏法分析粗脂肪變異係數 (coefficient of variation) 之比較。結果顯示，玉米及大豆粕的粗脂肪含量屬於低脂肪之飼料 (< 5%)，濾袋式分析粗脂肪分析值皆較索氏法分析粗脂肪分析值為低，而全脂大豆粉、玉米酒粕及椰子粕脂肪含量 > 5%，濾袋式與索氏法分析粗脂肪之含量較為相近。再現性比較結果顯示，玉米及大豆粕的粗脂肪 CV 範圍為 15.01 – 51.58%，再現性的 CV % 大於 16%，未能符合確效規範。相反的，全脂大豆粉、玉米酒粕及椰子粕的變異係數均符合再現性要求。在動物性飼料方面，分析了雞肉粉、魚粉及肉骨粉，結果顯示，這些樣品的變異係數範圍在 0.36 至 10.93% 之間，同樣的符合再現性規範 (CV % < 16%)。

Thiex *et al.* (2003) 利用蘭德爾 (Randall) 浸沒法比較了動物性飼料和穀物飼料中的粗脂肪重複性和再現性。該研究將 14 個盲樣送至美國、瑞典、加拿大和德國的 12 個實驗室進行分析，結果顯示，實驗室內的重複性變異係數範圍為 1.09 至 9.26%，而實驗室間再現性 (變異係數或相對標準差) 範圍為 1.0% 至 21.0%，該方法已被

接受為 AOAC 官方方法。本研究結果顯示，濾袋法對於低脂肪濃度的樣品（如玉米、大豆粕）檢測結果存在偏差，但對於脂肪濃度超過 5% 的動物性飼料和植物性飼料，濾袋法與索氏法的粗脂肪分析結果再現性均符合規範。

表 6. 索氏法及濾袋法分析飼料粗脂肪之再現性評估（單位：%）

Table 6. Reproducibility evaluation of feed crude fat analysis by Soxhlet method and filter bag method (unit: %)

Item	EE < 5%	5 ≤ EE < 10%	EE ≥ 10%
Extraction 30 min			
Method difference value range ¹	-0.26 — 0.71	-0.65 — 0.58	-1.54 — 1.79
SD range ²	0.32 — 1.46	0.40 — 0.56	1.09 — 1.56
CV range ³	17.11 — 74.51	4.70 — 6.68	6.65 — 7.76
Extraction 40 min			
Method difference value range ¹	-1.52 — 0.09	0.38 — 0.41	-1.37 — -1.39
SD range ²	0.06 — 1.08	0.26 — 0.29	0.95 — 0.97
CV range ³	19.49 — 47.16	3.11 — 5.38	5.89 — 6.95
Extraction 50 min			
Method difference value range ¹	-0.09 — 0.24	-0.55 — 0.93	-1.15 — 0.01
SD range ²	0.05 — 0.77	0.30 — 1.21	0.01 — 0.81
CV range ³	1.67 — 40.9	3.33 — 7.42	0.05 — 4.54
Extraction 60 min			
Method difference value range ¹	-0.02 — 0.68	0.08 — 0.52	-0.88 — -0.33
SD range ²	0.02 — 0.37	0.03 — 0.34	0.03 — 0.51
CV range ³	0.5 — 28.5	0.36 — 4.48	0.14 — 3.45

¹ Method difference value range: Six samples were taken from each of the high, medium, and low concentration ranges, and the range of crude fat difference values was analyzed using the filter bag method and the Soxhlet method.

² SD range: Six samples with six replicates were taken from each of the high, medium, and low concentration ranges, and the range of the standard deviation of crude fat was analyzed using the filter bag method and the Soxhlet method.

³ CV range: Six samples with six replicates were taken from each of the high, medium, and low concentration ranges, and the range of the coefficient of variation of crude fat was analyzed using the filter bag method and the Soxhlet method.

表 7. 索氏法與濾袋法分析植物性飼料粗脂肪含量之比較（單位：%）

Table 7. Comparison of crude fat content in plant feeds analyzed by Soxhlet method and filter bag method (unit: %)

	Plant based feed				
	corn	soybean meal	full-fat soybeans	distiller's dry grains with solubles	coconut meal
Number	6	10	20	3	3
Average crude fat (filter bag / Soxhlet method)	1.94/3.45	0.88/1.56	18.90/18.75	6.10/6.89	12.85/13.35
Method difference value range ¹	-1.19 — -0.74	-0.08 — -1.02	-1.00 — 0.90	-0.03 — 0.58	-0.13 — -0.41
SD range ²	0.43 — 1.17	0.31 — 0.67	0.03 — 0.73	0.16 — 0.41	0.02 — 0.29
CV range ³	15.01 — 39.06	20.53 — 51.58	0.31 — 4.40	0.96 — 4.27	0.38 — 4.35

The explanation is the same as in Table 6.

此外，Liu (2021) 指出採用 AOCS 官方方法，樣品類型、樣品來源、樣品顆粒尺寸、溶劑類型、萃取時間（30、60 分鐘）、萃取後乾燥時間皆影響粗脂肪檢驗結果，特別是在玉米樣品中，樣品來源和萃取時間對測量結果有顯著影響。本研究發現，對於玉米及大豆粕低脂肪含量的飼料，使用濾袋法進行 30 — 60 分鐘的萃取，檢測結果的變異係數偏差較大。因此，仍需進一步優化或延長萃取時間，以確保其重複性和再現性達到確效標準。

表 8. 索氏法與濾袋法分析動物性飼料粗脂肪含量之比較 (單位：%)

Table 8. Comparison of crude fat content in animal feed analyzed by Soxhlet method and filter bag method (unit: %)

	Plant based feed		
	corn	soybean meal	coconut meal
Number	6	29	11
Average crude fat (filter bag / Soxhlet method)	9.31/10.19	9.07/9.05	10.42/10.45
Method difference value range ¹	-0.42 — -0.99	-0.58 — 0.76	-0.52 — 0.23
SD range ²	0.30 — 0.81	0.09 — 0.68	0.03 — 0.68
CV range ³	4.29 — 10.93	0.94 — 9.12	0.36 — 8.54

The explanation is the same as in Table 6.

VI. 濾袋法與索氏法粗脂肪之檢驗效能評估

濾袋法與索氏法粗脂肪之檢驗效能評估結果如表 9，濾袋法相比於傳統的索氏法，具有有機溶劑可重複使用的優勢。在處理 4 件以上的檢驗樣品時，以實測使用萃取溶劑量評估，濾袋法能減少約 23% 的有機溶劑使用量；當每批次檢驗樣品數量超過 14 件時，溶劑使用量甚至可減少至索氏法的 3.32 倍，且檢驗時間也顯著縮短。

濾袋法與索氏法皆利用傳統溶劑（如石油醚或乙醚）來萃取脂肪。這些溶劑可溶解脂肪、油、色素及其他可溶性物質，統稱為「粗脂肪」（Thiex *et al.*, 2003）。兩者的主要區別在於索氏法通過蒸餾和虹吸進行連續洗滌，而濾袋法則依賴濾袋的孔隙率，允許溶劑快速通過，在高溫（90 — 100℃）下用石油醚連續洗滌樣品，從而縮短萃取時間（Liu, 2021）。實驗結果顯示，索氏法一次可檢驗 12 個樣品，萃取總計耗時 4 小時，相當於每個樣品萃取需 20 分鐘；而濾袋法一次可檢驗 15 個樣品，耗時 60 分鐘，相當於每個樣品僅需 4 分鐘，顯示濾袋法的檢驗效率是索氏法的 5 倍。

索氏法為直接測量方法，直接測量萃取物中的脂肪含量。相對而言，濾袋法屬於間接測量方法，透過萃取前後樣品重量的差異來估算脂肪含量（Liu, 2011），由於濾袋法採用連續洗滌方式，減少了溶劑使用量，同時溶劑也可回收再使用。試驗結果顯示，濾袋法的有機溶劑回收率達 70%，可作為後續分析的重複使用。然而，回收的石油醚中仍含有少量萃取出的脂肪（約 0.18%），在低濃度樣品的分析中可能會導致再現性較差。因此，建議在檢測中高濃度（粗脂肪濃度 > 5%）樣品時可使用回收的有機溶劑。此外，濾袋法的樣品定量及粗脂肪萃取是通過將樣品包裹在濾袋中進行，該濾袋的過濾孔徑在 2 至 3 μm 範圍內。由於濾袋法是通過樣品重量的變化間接測量脂肪含量，因此樣品的前處理不可過度粉碎。特別是對於草料樣品因為較難粉碎，容易過度粉碎造成樣品過度細碎，可能會導致樣品穿過濾袋，在萃取過程中造成樣品重量減輕，進而影響檢驗結果。

表 9. 濾袋法與索氏法粗脂肪檢驗效能之比較

Table 9. Comparison of crude fat inspection efficiency between filter bag method and Soxhlet method

Item	Filter Bag Method	Soxhlet Method
Organic solution usage, mL/ Each analysis	550 mL (15 piece)	170 mL (1 piece)
Organic solution recovery rate	70%	0%
Batch sample numbers	15	6 — 12
Batch sample running time, h	1	4 — 16
Sample detection time (min/piece)	4	20

結 論

綜上所述，濾袋法對粗脂肪含量高於 5% 飼料樣品具良好重複性和再現性，並能有效縮短檢測時間及減少溶劑使用。然而，對低濃度樣品，其變異較大，需進一步優化操作條件。濾袋法在檢測效率上優於傳統索氏法，但在應用於低脂肪樣品時需謹慎考量。

參考文獻

- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). 2005a. AOAC Official Method of Analysis. 2005. Method 920.39, Fat (Crude) or ether extract in animal feed. AOAC Official Method of Analysis 18th Ed. AOAC Int., Gaithersburg, MD.
- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). 2005b. Method 945.16, Oil in Cereal Adjuncts. AOAC Official Method of Analysis. 18th Ed. AOAC Int., Gaithersburg, MD.
- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). 2005c. Method 954.02, Fat (Crude) or ether extract in pet food. AOAC Official Method of Analysis. 18th Ed. AOAC Int., Gaithersburg, MD.
- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). 2005d. Method 991.36. Fat (Crude) in meat and meat products. AOAC Official Method of Analysis. 18th Ed. AOAC Int., Gaithersburg, MD.
- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). 2005. Approved Procedure Am 5-04, Rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction. American Oil Chemists Society, Urbana, IL.
- Liu, K. 2011. Chemical composition of distillers grains, a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59: 1508-1526.
- Liu, K. 2021. Modification of an AOCS Official Method for Crude Oil Content in Distillers Grains and Other Agricultural Materials.
- Palmquist, D. L. and T. C. Jenkins. 2003. Challenges with fats and fatty acid methods. *Journal of Animal Science*. 81: 3250-3254.
- Thiex, N. J., S. Anderson, B. Gildemeister, and Collaborators. 2003. Crude fat, diethyl ether extraction, in feed, cereal grain, and forage (Randall/Soxtec/submersion method) : Collaborative study. *Journal of AOAC International*. 86: 888-898.

Comparison of filter bag and Soxhlet methods for crude fat analysis ⁽¹⁾

Cing-Chi Hung ⁽²⁾ Hui-Ju Chen ⁽²⁾ and Jin-Bin Hsu ^{(2) (3)}

Received: Aug. 25, 2024; Accepted: Mar. 10, 2025

Abstract

Crude fat content is a key parameter in the nutritional evaluation of animal feed. This study compared the reproducibility and repeatability of the filter bag method with the Soxhlet method, which was based on national standards for crude fat analysis, across different types of feeds, including compound feeds, animal — based feeds, and plant — based feeds. The study categorized The compound feed samples into three groups based on their crude fat (ether extract, EE) concentration, from low ($EE < 5\%$), medium ($5 \leq EE < 10\%$), to high ($EE \geq 10\%$). The filter bag method was employed to analyze the crude fat content of these samples, with extraction times set at 30, 40, 50, and 60 minutes. Results indicated that for medium and high EE concentration compound feeds, the coefficient of variation (CV) for reproducibility ranged from 1.47% to 6.18%, and for repeatability, from 0.05% to 6.95%, and all conform to the acceptable range set by national standards ($< 10\%$) of Taiwan. In particular, the lowest CV values for both reproducibility ($< 2\%$) and repeatability ($< 3.54\%$) were observed at the 60-minute extraction time. However, for low concentration compound feeds ($EE < 5\%$), the CV for both reproducibility and repeatability failed to conform to the validation criteria. Additionally, 42 plant-based feed materials and 46 animal-based feed materials were analyzed using both the filter bag method and the Soxhlet method. The filter bag method showed significant deviations in CV (ranging from 15.01 to 51.58%) for low-fat concentration samples (such as corn and soybean meal). Nonetheless, for samples with fat concentrations over 5%, both animal-based and plant-based feeds yielded consistent results between the filter bag method and the Soxhlet method. Moreover, the filter bag method significantly reduced analysis time by fivefold and decreased solvent usage compared to the Soxhlet method. In conclusion, the filter bag method with a 60-minute extraction time is appropriate for crude fat analysis, particularly for feed samples with crude fat content above 5%.

Key words: Crude fat, Feed, Filter bag method, Soxhlet method, Analytical efficiency.

(1) Contribution No. 2814 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: cbhsu@tlri.gov.tw.

農業部畜產試驗所「畜產研究」稿約

(民國 94 年 3 月修訂)

(民國 108 年 12 月修訂)

(民國 111 年 11 月修訂)

(民國 112 年 8 月修訂)

- I. 本刊為學術性刊物，刊載有關畜產科學原創性研究報告及學術性專題論著。
- II. 本刊為季刊，每年 3 月、6 月、9 月及 12 月底出版。
- III. 文稿之排列順序為標題、摘要、緒言、材料與方法 (學術性專題論著可略)、結果、討論 (結果與討論可合為一節)、結論 (可略)、誌謝 (可略) 及參考文獻。以中文撰寫者，須附英文摘要 (Abstract)，以英文撰寫者，則附中文摘要。中英文摘要以不超過五百字為原則，須列中英文相對應之 3 至 6 個關鍵詞。
- IV. 文稿書寫格式，主要參考 Journal of Animal Science：
 - (i) 文稿請用 Word 檔 A4 紙張格式，內文以 12 號字型繕打，中文採新細明體，英文採 Times New Roman，圖表置於內文之後。行距採用行距 1.5，版面設定中等邊界 (上下 2.54cm，左右 1.91cm)，並編碼連續行號。
 - (ii) 文字敘述之編號依序為 I、(i)、1、(1)、A、(a)。圖表以圖 1、表 1 等順序表示。中文稿件之圖表標題及圖說請中英並列，圖表內文字請以英文呈現。文字敘述用英文者，圖表中之文字僅用英文。
 - (iii) 本刊以黑白印刷為原則，圖表務求印刷後可清楚分辨標示，並請以電腦繪製，以利排版。
 - (iv) 單位及縮寫：
 1. 單位使用公制，習見之符號及縮寫不必另附中文。專門名詞無適當譯名者可從原文。
 2. 以下常用之縮寫可直接撰寫於本刊稿件不須另作定義：
 - (1) 長度：km、m、cm、mm、 μm 。
 - (2) 重量：kg、g、mg、 μg 。
 - (3) 體積：L、mL、 μL 。
 - (4) 時間：wk、d、h、min、s。
 - (5) 其他： $^{\circ}\text{C}$ 、pH、cal、rpm。
 - (v) 統計分析達顯著差異性請以 *、^a、^b、^c 等上標標示，並於表下方說明。
 - (vi) 參考文獻：
 1. 正文中須書出參考文獻之作者姓氏與年份：
 - (1) 西文文獻之作者僅一人者，書一人之姓如 (Johnson, 1991)；作者為二人者，書二人之姓如 (Johnson and Hobbs, 1991)；作者為三人或以上者，用第一人之姓後再書 *et al.* 如 (Johnson *et al.*, 1991)。
 - (2) 中文文獻之作者僅一人者，書一人之姓氏如 (趙, 1990)；作者為二人者，書二人之姓氏如 (趙及錢, 1990)；作者為三人或以上時，則於第一人姓氏後再加一等字如 (趙等, 1990)。
 2. 參考文獻列示以確經引用者為限，排列次序為作者、年份、題目、發表刊物名稱、卷數、頁數等依次書寫，例如：
 - (1) 期刊類
王政騰、朱慶誠。1991。土番鴨繫留、電昏、放血、燙毛等屠宰條件之探討。畜產研究 24：133-140。
胡怡浩、姜延年、陳銘正、潘金水。1991。北京鴨雜交品系與商業品系肉鴨之生長及屠體性能之比較。畜產研究 24：141-148。
Ayub, M. and M. Shoaib. 2009. Studies on fodder yield and quality of sorghum alone and in mixture with guar under different planting techniques. Pak. J. Agri. Sci. 46: 25-29.
Hsu, F. H., C. J. Nelson, and A. G. Matches. 1985. Temperature effects on germination of perennial warm-

season forage grasses. Crop Sci. 25: 215-220.

(2) 書本類

朱純燕。2001。水禽類小病毒蛋白基因之分子選殖及抗原性分析。國立中山大學生物科學系，博士論文，高雄市。

李登元。1979。乳牛學。臺灣商務印書館，臺北市，第 300 - 322 頁。

American Oil Chemists Society (AOCS). 1980. Official and Tentative Methods of the American Oil chemists Society. 3rd ed. Am. Oil Chem. Soc., Champaign, IL, USA.

Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Arlington, VA, USA.

Tai C. 1985. Duck breeding and artificial insemination in Taiwan. Duck Production Science and World Practice, pp. 193-203. University of New England, Armidale, Australia.

Wang, Y. C. 1985. Regrowth ability of Napier grass (*Pennisetum purpureum* Schumach) in the dry, cold season in Taiwan. Proceedings of the XV International Grassland Congress, pp. 1239-1241. Kyoto, Japan.

(3) 其他類

農業部。2023。農業統計年報。https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/book/Book.aspx。

農業部。2023。農業部農業資料統計查詢。http://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/maintenance/Announce.aspx。

SAS. 2015. SAS/STAT® 14.1. SAS Institute Inc., Cary, NC. USA.

SPSS. 2008. SPSS Statistics for Windows, Version 17.0. SPSS Inc., Chicago, IL. USA.

3. 中日文文獻以第一作者姓氏筆劃多少為序，西文以第一作者姓氏之拼音先後排列，並按中文、日文、西文之次序排列。

4. 西文期刊名稱請用縮寫，縮寫請參照美國國家醫學圖書館線上資料庫 (NLM Catalog) 之 IOS (Information and documentation) 縮寫。

5. 參考文獻皆不編號。

V. 本刊編輯委員會保有修改與退稿之權利。稿件經本刊接受後，作者進行出刊校稿時，不得擅自更改內容及數據。

VI. 稿件經本刊委員會轉請專家審查，編輯委員會根據專家審查意見通知投稿人，是否接受刊載，或須修改後始可刊載。本刊無提供稿費。

VII. 稿件經本刊接受後，該稿件之全部或部份，不得投稿其他刊物，以不同語文投稿其他刊物亦所不許。本刊具專屬版權，刊登權屬發行單位畜產試驗所所有，非經本所書面同意，不得轉載或轉移他處發表。如有上述情事，相關法律責任由作者自負，本刊有拒絕接受其投稿之權利。

VIII. 自民國 93 年開始實施之計畫，其論文如涉及使用脊椎動物進行科學應用計畫者，請撰稿者檢附該計畫經所屬機構動物實驗管理小組審議認可之文件。

JOURNAL OF TAIWAN LIVESTOCK RESEARCH

Vol. 58 No. 3

September 2025

CONTENTS

	Page
1. Development of 3D body condition score identification system for dairy cows <i>Chia-Xin Lee, Ko-Shyang Wang, Wen-Hung Ting, Fei-Ping Hang, Szu-Han Wang, and Jen-Wen Shiau</i>	154
2. Feasibility evaluation of utilizing by-products of gac fruit (<i>Momordica cochinchinensis</i>) as silage <i>Ying-Hui Chen, Yi-huei Hsieh, Hsi-Wen Hung, and Ming-Tung Hsueh</i>	164
3. Effect of saline irrigation treatment on the growth of Napier grass <i>Li-Chung Tsai, Tzu-Rung Li, and Ping Chung</i>	172
4. Effects of dietary crude protein content on growth performance and fecal compositions of grower-finisher pigs <i>Tein-Ming Su, Wei-Zhi Liu, Yi-Hsiang Weng, Cheng-Hsun Chung, and Hsiu-Wen Ou</i>	183
5. Comparison of the carcass characteristics and quality of different strains of capons <i>Cheng-Yung Lin, Jenn-Chung Hsu, and Tien-Chun Wan</i>	194
6. Effects of fermentation products of <i>Bacillus coagulans</i> on growth performance, fecal bacterial amount and diarrhea incidence of weaning piglets <i>Fang-Chueh Liu, Ho-Fen Hsiao, and Chin-Bin Hsu</i>	203
7. Effects of storage conditions on egg quality <i>Ling-Tsai Wu, Yi-Chao Chen, Ruei-Han Yeh, Chi-Huai Huang, Chun-Ta Chang, and Ching-Yun Kuo</i>	214
8. Comparison of filter bag and Soxhlet methods for crude fat analysis <i>Cing-Chi Hung, Hui-Ju Chen and Jin-Bin Hsu</i>	222

行政院新聞局出版事業登記證局版台省誌字第六七七號
中華郵政新營字第十八號執登記為雜誌交寄

畜產研究

第五十八卷

第三期

ISSN 0253-9209
DOI: 10.6991/JTLR



9 770253 920004

GPN:2005200015

定價：新臺幣二〇〇元

農業部畜產試驗所