

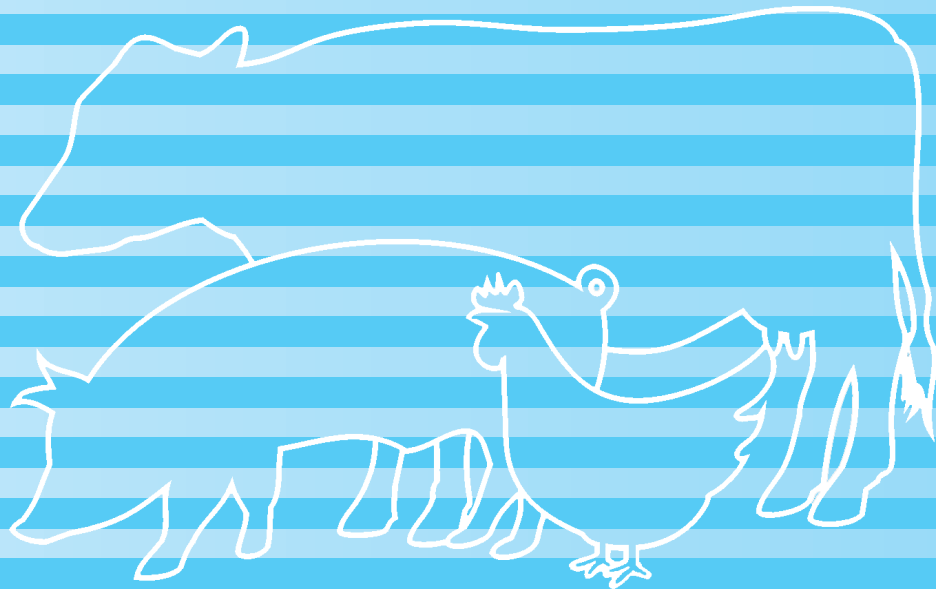
ISSN 0253-9209  
DOI: 10.6991/JTLR

# 畜產研究

第五十九卷 第三期 中華民國一一五年 九月 季 刊

## JOURNAL OF TAIWAN LIVESTOCK RESEARCH

Vol. 59 No. 3 September 2026



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 李春芳 李淵百

李滋泰 李德南 沈朋志 辛坤鎰 辛岱倫 周明顯 林原佑 林資哲

姜中鳳 洪國翔 唐品琦 徐濟泰 張仲彰 張秀鑾 張啟聖 莊士德

許奕婷 許振忠 郭猛德 陳立人 陳志峰 陳志銘 陳怡蓁 陳明汝

陳彥伯 陳洵一 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 萬一怒 廖宗文 趙清賢

鄭永祥 鄭裕信 盧啟信 顏念慈 蘇忠楨

(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 洪靖崎 陳翠妙 張世融

廖仁寶 (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. 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   | C. F. LEE   |
| Y. P. LEE   | T. T. LEE    | D. N. LEE   | P. C. SHEN  | K. Y. HSIN  |
| D. L. SHIN  | M. S. CHOU   | Y. Y. LIN   | Z. Z. LIN   | Z. F. JIANG |
| G. X. HONG  | P. C. TANG   | J. T. HSU   | S. H. CHANG | H. L. CHANG |
| C. S. CHANG | S. T. CHUANG | Y. T. HSU   | C. C. HSU   | M. D. KUO   |
| L. R. CHEN  | C. F. CHEN   | C. M. CHEN  | C. Y. CHEN  | M. J. CHEN  |
| Y. P. CHEN  | S. E. 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  | Y. N. WAN   | C. W. LIAO  |
| C. H. CHAO  | Y. H. CHENG  | Y. X. CHENG | C. H. LU    | N. C. YAN   |
| J. J. SU    |              |             |             |             |

### EDITORS:

|            |            |             |            |            |
|------------|------------|-------------|------------|------------|
| C. Y. LEE  | C. Y. LIN  | H. L. LIN   | J. C. TU   | C. M. HUNG |
| C. C. HUNG | T. M. CHEN | S. R. CHANG | R. B. LIAW |            |



---

## 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 115 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 59 卷第 3 期

中華民國 115 年 9 月

## 目 錄

|                                                                                                      | 頁   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. 飼糧添加低劑量板藍根複方植生劑及嗜硫小紅卵菌之光合菌對產蛋雞產蛋性狀及蛋品質之影響<br>..... 李欣玫、邱胤棋、許振忠、陳盈豪                                | 277 |
| 2. 不同營養濃度對商用紅羽土雞生長性能、生產效益與屠體性狀之影響<br>..... 林正鏞、李秀蘭                                                   | 285 |
| 3. 臺灣乳牛熱緊迫脆弱度係數之在地化估算及乳量損失經濟風險評估<br>..... 柯美如、陳玥彤、陳怡璇、蕭振文、施意敏、涂柏安                                    | 296 |
| 4. 稀釋液對紅麩鹿精液冷凍—解凍後精液品質之影響<br>..... 林信宏、劉雅醇、康定傑、曾楷扉、郭廷雍、楊鎮榮                                           | 306 |
| 5. 乳酸菌接種對於銀合歡 ( <i>Leucaena leucocephala</i> ) 青貯發酵特性與含羞草鹼代謝影響之研究<br>..... 朱明宏、劉必謙、Rajendra Adak、陳建德 | 314 |
| 6. 褐色菜鴨停止選拔受精持續性對選拔與對照品系生長與產蛋性能的探討<br>..... 洪哲明、蔡銘洋、劉曉龍、林義福、謝昭賢、戴謙、Roger Rouvier、鄭裕信                 | 324 |
| 7. 臺灣地區肉羊飼養現況之調查<br>..... 潘昭治、吳志華、蕭士翔、許宗賢、林浚琛、鄭閔謙                                                    | 333 |
| 8. 施灌厭氧消化之牛糞尿水於盤固拉草地對土壤性狀及地下水水質之影響<br>..... 黃雅玲、張世融、蘇天明、李欣蓉                                          | 346 |
| 9. 民間紅羽土雞繁殖性能、生長性能和屠體性狀之比較研究<br>..... 蔡和漂、丘昀融、洪哲明、蔡銘洋                                                | 357 |

# 飼糧添加低劑量板藍根複方植生劑及嗜硫小紅卵菌之光合菌對產蛋雞產蛋性狀及蛋品質之影響

李欣玫<sup>(1)</sup> 邱胤棋<sup>(2)</sup> 許振忠<sup>(2)</sup> 陳盈豪<sup>(3)(4)</sup>

收件日期：115 年 2 月 13 日；接受日期：115 年 3 月 13 日

## 摘 要

本研究之目的為探討飼糧添加植生劑及光合菌對產蛋雞產蛋性狀之影響。採用 2,664 隻 42 週齡之白色來航蛋雞，逢機分為 3 個處理組，分別為對照組（基礎飼糧）、植生劑 (phytogenic) 處理組（基礎飼糧添加 0.2% 板藍根複方植生劑）及光合菌 (photosynthetic bacteria, PSB) 處理組（基礎飼糧添加 0.2% 嗜硫小紅卵菌 (*Rhodovulum sulfidophilum*) 之光合菌），試驗期為 7 週。每處理 3 重複，每重複 296 隻，採任飼與自由飲水，試驗雞隻採籠飼，4 隻 1 籠。試驗期間之第 4、5、6 及 7 週收集蛋，每次採樣每重複收集 6 顆蛋，每處理組共 18 顆蛋，測定其蛋品質。於試驗開始之第 5 到 7 週時，每日測定產蛋性狀，並於試驗結束後計算試驗期間之雞隻死亡率。結果顯示，添加 0.2% 植生劑處理組之飼料採食量顯著低於對照組 ( $P < 0.05$ )；添加 0.2% 植生劑與 0.2% 光合菌處理組之隻日產蛋率均顯著高於對照組 ( $P < 0.05$ )，飼料換蛋率方面，以植生劑處理組顯著優於對照組 ( $P < 0.05$ )，改進 9%。植生劑與光合菌均可使蛋黃顏色增深。在蛋殼品質方面，添加 0.2% 植生劑處理組之蛋殼破裂強度、單位面積蛋殼重與蛋殼百分比顯著高於對照組 ( $P < 0.05$ )。然而，三個處理組雞隻之斃死率與蛋黃膽固醇含量無顯著差異。綜合以上所述，飼糧添加 0.2% 板藍根複方植生劑或嗜硫小紅卵菌光合菌，可提升隻日產蛋率、改善飼料效率並增進蛋殼品質，具有作為蛋雞飼料添加物之應用潛力。

關鍵詞：蛋品質、產蛋雞、產蛋性狀、光合菌、植生劑。

## 緒 言

蛋是人類價廉物美的動物性蛋白質食物來源之一，但因其含有高量的膽固醇。食用雞蛋是膳食膽固醇的主要來源之一。每個蛋含膽固醇為 216 – 240 mg (Bair and Marion, 1978; Watson and De Meester, 2023)，由於膳食膽固醇與動脈粥狀硬化性心血管疾病 (atherosclerotic cardiovascular disease, ASCVD) 之間的關聯性一直存在爭議 (Spence *et al.*, 2010; Rosenson and Song, 2019)，致使已開發國家之消費者不敢多食，因此低膽固醇雞蛋之飼料研發乃因應而生，此方面之試驗不勝枚舉，但因試驗結果不一，致未能普遍推廣 (胡, 2004)；另外，氣候變遷，穀物收成不佳，飼料成本節節上升，並且環境持續高溫造成蛋殼品質不良，因此如何提升產蛋雞產蛋率能直接降低生產成本並提高蛋農收益，此為蛋雞業者面臨當前困境時亟需解決的重要課題。中藥草本身就含有豐富的蛋白質、維生素和礦物質，兼有藥效和營養雙重功用 (李及齊, 2006；傅, 2006；張, 2006)。近年來陸續有研究者開始利用中藥草、中藥草複方、中藥草萃取物或植物性飼料添加物以提高雞隻營養消化、促進生長、繁殖、提升產蛋率及免疫能力等 (林及吳, 1996；潘等, 1996)，這些中藥草、香料與天然植物可用於改進畜禽產能的植物亦稱之植生劑 (Windisch *et al.*, 2008)，是改進蛋雞產蛋性狀可行的途徑之一。另一方面，家禽產品膽固醇含量與脂肪酸組成的調整在近年來日受重視，此因飲食中膽固醇與飽和脂肪酸 (saturated fatty acid, SFA) 的攝取與心血管疾病的發生率密切相關，因此對於消費者健康意識日漸提高來說，改善膽固醇與脂肪酸組成對禽畜產品的銷售更為重要。而雞蛋對各年齡層的人來說是各種必需營養良好的供應來源。雖有文獻指出，雞蛋具有高量膽固醇而必須限制其食用量 (Kritchevsky and Kritchevsky, 2000)，但近年來在臺灣對雞蛋之消費量也呈現上升，根據農業部農業統計要覽 (2024) 資料顯示，在

(1) 國立金門大學食品科學系。

(2) 國立中興大學動物科學系

(3) 東海大學生命科學研究中心。

(4) 通訊作者，E-mail: yh7chen@thu.edu.tw。

2012 年臺灣每人消費 17.0 kg ( 約 283 eggs/person )；然而 2023 年每人消費 22.0 kg ( 約 367 eggs/person )。因此提供低膽固醇含量的雞蛋是消費者基於健康理由所期待的。

白肉雞飼糧中添加大蒜會使其肝的 HMG-Co A 還原酶 (Hepatic  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylglutaryl coenzyme A)、膽固醇 7 $\alpha$ - 羥化酶 (7 $\alpha$ -hydroxylase)、脂肪酸合成酶隨著添加量不同而改變其抑制量 (Qureshi *et al.* 1983)。而餵食 1% 以上大蒜粉於蛋雞飼糧中可降低蛋黃膽固醇含量 (Sharma *et al.*, 1979; Chowdhury *et al.*, 2002)。Chowdhury *et al.* (2005) 在飼糧中分別添加 2、4、6 或 8% 的乾燥粉碎羅望子也可得到相似的結果。蛋雞飼糧中添加 2% 杜仲葉，則其血清膽固醇和蛋黃膽固醇分別可降低 11.17 和 8.55% (周及楊，2005)。付等 (2003) 使用絞股藍、茵陳、山渣、莪術、當歸與五加皮等所組成的複方添加於蛋雞飼糧中，經 40 天後發現可降低蛋黃膽固醇含量以及降低膽固醇 7 $\alpha$ - 羥化酶的活性。另外，Salma *et al.* (2007) 研究發現蛋雞飼糧中添加 0.04% 光合菌 (*Rhodobacter capsulatus*) 可降低蛋黃中三酸甘油酯與膽固醇濃度，蛋黃顏色也提高。洪等 (2001) 以含 5% 淫羊藿飼餵土雞 10 天之後，則可增加蛋殼厚度 (0.37 mm vs. 0.44 mm)。由淫羊藿、蛇床子、茯苓、澤瀉等中藥草組成的植生劑製劑可降低破蛋率 0.22 – 0.4% (褚等，2005)。從上述顯示，前人研究提供植生劑與光合菌於蛋雞飼糧有提升雞蛋品質之效果。近年來有學者以板藍根為植生劑可提升白肉雞免疫能力 (林等，2007)，飼糧中添加 0.5% 板藍根複方使土雞體增重增加且提高新城病之抗體力價 (洪等，2011)。至於以板藍根複方與嗜硫小紅卵菌之光合菌添加於蛋雞飼糧可否改進產蛋性能提升蛋之品質，需進一步試驗以闡明，另外考量添加劑的成本，因此本研究之目的為探討低劑量板藍根複方植生劑及嗜硫小紅卵菌之光合菌添加飼糧對產蛋雞產蛋性狀之影響。

## 材料與方法

### I. 植生劑與光合菌來源

試驗用植生劑與光合菌粉末源自於市售商業產品；光合菌粉末經食品工業研究所鑑定為紫色非含硫菌之一的嗜硫小紅卵菌 (*Rhodovulum sulfidophilum*)，其濃度為每克光合菌粉末含  $10^9$  CFU 死菌；植生劑為在臺灣本地生產新鮮的藥用植物，主材料包括枸杞、柴胡、板藍根、甘草和苧麻約佔 70%，另含菟絲子、當歸和熟地約佔 30% (藥之鄉生物科技公司，<https://www.twincn.com/item.aspx?no=12865900>)。

### II. 試驗動物與試驗設計

試驗採用 42 週齡白色來航蛋雞 2,664 隻，逢機分成 3 個處理組，每處理組 3 重複，每重複 296 隻。試驗分別為：對照組 (基礎飼糧)、植生劑組 (添加 0.2% 板藍根複方植生劑粉末)、光合菌組 (添加 0.2% 光合菌粉末) 等 3 種飼糧處理組，試驗期共 7 週。試驗基礎飼糧為商業飼糧，含代謝能為 2,820 kcal/kg、粗蛋白質為 17%、鈣 4% 以及可利用磷 0.5%；飼料中一般化學組成分之測定依飼料化驗分析技術手冊 (2000) 所述方法測定之，其分析值如表 1 所示，飼料與飲水採任飲食，使用巴達利式鐵製蛋雞籠 (長 40 cm、寬 46 cm、前高 39 cm、後高 30 cm) 飼養，4 隻關一籠，每日光照 17 小時。

表 1. 試驗基礎飼糧之營養成分分析值 \*

Table 1. Analyzed values of nutrients in basal diet

| Nutrients        | %     |
|------------------|-------|
| Moisture         | 10.98 |
| Crude protein    | 18.38 |
| Crude fat        | 6.00  |
| Crude fiber      | 3.01  |
| Calcium          | 3.70  |
| Total phosphorus | 0.77  |

\* As-fed basis.

### III. 採樣處理

試驗於第 4、5、6 和 7 週；每重複收集蛋 6 顆，每處理共 18 顆，供測定其蛋殼重、蛋殼厚度、蛋殼破裂強度、蛋黃重，且測量蛋黃之羅氏蛋黃比色扇 (Roche Yolk Colour Fan, RCF)。並將試驗第 7 週之蛋黃保存於 -20℃ 以下，供測定蛋黃膽固醇與三酸甘油酯含量。並於試驗之第 5 到 7 週時，每日測定產蛋性狀，包括：隻日產蛋

率、隻日產蛋量、日採食量、飼料轉換率、蛋重、破蛋率和污染蛋率，並於試驗結束後計算雞隻之斃死率。

#### IV. 測定項目及方法

##### (i) 產蛋性狀

1. 隻日產蛋率 (%)：試驗雞隻於試驗期間每日計算其產蛋數，除以當日活雞數  $\times 100$ 。
2. 隻日飼料採食量 (g)：每週記錄每處理組每重複之飼料採食量，換算成每日平均採食量。
3. 隻日產蛋量 (g)：隻日產蛋率  $\times$  蛋重 (g)。
4. 飼料轉換率 (飼料量 / 蛋重)：計算每日每處理組每一重複之飼料轉換率。
5. 破蛋率 (%)：每日破損蛋數除以當日活雞數  $\times 100$ 。
6. 污染蛋率 (%)：每日污染蛋 (受糞便污染致不能直接出售之蛋) 除以當日活雞數  $\times 100$ 。

##### (ii) 蛋品質之測定

###### 1. 蛋黃

###### (1) 蛋黃總膽固醇與三酸甘油酯濃度測定

###### A. 蛋黃脂質萃取

依 Folch *et al.* (1957) 之方法略加修正，步驟如下：

精秤 1 g 蛋黃置於塑膠均質離心管中，添加 10 mL 之氯仿 (Choloroform, HPLC) 與甲醇混合液 (體積比為 2:1，含 0.01% BHT)，然後於均質機 (POLYTRON PT-3100) 10,000 rpm 冰浴均質 1 分鐘，均質液再加入 2 mL 之 0.73% 食鹽水溶液，震盪混合 10 分鐘，以高速離心機 (Sigma 2k15) 4°C，12,000 rpm (10,500  $\times$  g) 離心 40 分鐘。離心後，吸取下層液體至 microtube 每管 500  $\mu$ L。存放於 -20°C 供測試。

###### B. 成分濃度測定

蛋黃樣品中總膽固醇與三酸甘油酯濃度之測定，是以 Human (Germany) 生化公司所生產之測試套組 (kit)，並使用雙光束分光光度計 (Hitachi, U-28000) 進行測定。

###### (2) 蛋黃色澤測定

利用羅氏蛋黃比色扇值之測定，鮮蛋經分離蛋黃與蛋白後，以羅氏蛋黃比色扇 (RCF) 測量其色度，數字由 1 至 15，數字越大代表蛋黃顏色越深。

###### 2. 蛋殼

###### (1) 蛋殼破裂強度

以電子電動式拉壓力機 (Hung Ta Instrument Co., Ltd.) 搭配相關的套件，速度 50 mm/min 且蛋之尖端朝上測定蛋殼最大破裂強度 (top force)，單位以 kg/cm<sup>2</sup> 表示。

###### (2) 蛋殼厚度

依 Nordskog and Farnsworth (1953) 之方法測定之。在蛋的鈍端、尖端及赤道部各取一小片，去除蛋殼膜後以日製微測器 (FHK) 測其厚度 (mm)，每個蛋取三個測量值之平均，即為蛋殼厚度。

###### (3) 單位面積蛋殼重 (shell weight per surface area, SWUSA)

SWUSA 常用來表示蛋殼品質，代表單位面積下蛋殼的緊密程度 (Curtis *et al.*, 1985; Izat *et al.*, 1985; Harms *et al.*, 1994)，其公式如下：

$SWUSA = (\text{蛋殼重} \times 1,000) \div \text{蛋殼表面積}$ 。

其中，蛋殼表面積 =  $3.9782 \times W^{0.7056}$ ，W 為蛋重 (g)。

#### IV. 統計分析

本試驗採用完全隨機設計 (Completely Randomized Design, CRD)，試驗所得資料以統計分析系統 (Statistical Analysis System, SAS, 2014) 套裝軟體進行統計分析，使用一般線性模式 (General Linear Model Procedure, GLM) 進行變方分析，再以鄧肯氏新多次變域測定法 (Duncan's New Multiple Range Test) 比較處理間的差異顯著性。

## 結果與討論

### I. 產蛋性狀

本試驗使用之植生劑和光合菌對產蛋雞隻日採食量、隻日產蛋率、隻日產蛋量、飼料轉換率、蛋重及斃死率之影響，列於表 2。結果顯示，試驗產蛋雞之隻日採食量以植生劑處理組最低，光合菌處理組採食量最高，各處理組之間皆有顯著差異 ( $P < 0.05$ )；隻日產蛋率以植生劑處理組顯著高於對照組 ( $P < 0.05$ )，植生劑處理組及光

合菌處理組之隻日產蛋率與對照組相比較可提高產蛋率 4.1%；飼料換蛋率方面，以植生劑處理組顯著優於對照組 ( $P < 0.05$ )，改進 9%；蛋重在各處理組之間均無顯著差異，但植生劑及光合菌處理組有較對照組為高之趨勢。斃死率方面，各處理組之間均無顯著差異，但植生劑處理組有較對照組為佳之趨勢。

表 2. 飼糧中添加植生劑和光合菌對產蛋雞產蛋性狀之影響

Table 2. Effect of dietary supplementation of phytochemicals and photosynthetic bacteria on laying performance in laying hens

| Items                                     | Treatments         |                    |                    | SEM  |
|-------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------|
|                                           | Control            | Phytochemicals     | PSB                |      |
| Daily feed intake, g/bird                 | 94.06 <sup>b</sup> | 89.67 <sup>c</sup> | 96.05 <sup>a</sup> | 0.04 |
| Hen-day egg production, %                 | 79.64 <sup>b</sup> | 82.90 <sup>a</sup> | 82.87 <sup>a</sup> | 0.67 |
| Hen-day egg mass, g                       | 44.42              | 46.41              | 46.96              | 0.83 |
| Feed conversion ratio, feed (kg)/egg (kg) | 2.12 <sup>a</sup>  | 1.93 <sup>b</sup>  | 2.05 <sup>ab</sup> | 0.04 |
| Egg weight, g                             | 55.78              | 55.98              | 56.66              | 0.71 |
| Mortality rate, %                         | 1.35               | 0.90               | 1.46               | 0.31 |

<sup>a, b, c</sup> Means within the same row without the same superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

Phytochemical: Basal diet + 0.2% *Isatis indigotica* root compound prescription.

PSB: Photosynthetic bacteria; basal diet + 0.2% *Rhodobacter sphaeroides*.

本試驗植生劑處理組可提高隻日產蛋率及提高飼料換蛋率，此結果與周及楊 (2005) 指出在蛋雞飼糧中添加 2% 杜仲葉可使蛋重和產蛋率分別提高 1.67 和 4.95%，而飼料換蛋率可提昇 4.65% 之效能相似。前人諸多文獻顯示，植生劑可提高產蛋率，本試驗植生劑處理組以板藍根複方之產蛋性能與之相較，亦有相似之結果，例如：張 (2006) 調蛋雞飼糧中添加 0.2% 甜菜鹼 (枸杞子主要成分之一) 配合 0.3% 膽鹼可提高 6.07% 產蛋率，但採食量無顯著差異；褚等 (2005) 指出由淫羊藿、蛇床子、茯苓、澤瀉等組成的植生劑製劑根據添加量的不同 (0.25、0.5 和 1%) 可提高產蛋率約 4.25 – 6.35%。付等 (2003) 添加 2% 之絞股藍、茵陳、山渣、莢術、當歸、五加皮等所組成的複方於蛋雞飼糧中可提高 9.42% 產蛋率；林 (2009) 指出飼糧中添加 5 或 30 g/kg 黃耆及 5、15 或 30 g/kg 補骨脂，可改善 61 – 80 週齡蛋雞之隻日產蛋率。在本試驗中，以板藍根複方之植生劑可提高產蛋率可能與內分泌素之改變有關，因為劉 (2009) 以本試驗相同的板藍根複方之植生劑飼餵雞隻可增加其血清中雌二醇 (Estradiol,  $E_2$ ) 及助孕素 (Progesterone,  $P_4$ ) 含量。 $E_2$  調節濾泡發生、濾泡內卵黃的累積、排卵和輸卵管發育，另外  $E_2$  也會誘導腺體發育和負責卵清蛋白的基因表現；而  $P_4$  誘導卵巢排出卵黃，並促進輸卵管腺體的發育 (Mishra *et al.*, 2019)。

蛋雞採食含 0.2% 光合菌可增加隻日產蛋率，此與胡 (2004) 指出在蛋雞產蛋後期 (64 週齡) 添加 2% *Rhizopus* 發酵萃取物可提高產蛋率 19.12% 有相似之結果。光合菌可促進蛋雞隻日產蛋率，亦與其能提高內分泌素濃度相關。此可從胡 (2004) 資料顯示，光合菌之一 *Rhizopus* 發酵萃取物，可顯著提升血清中促濾泡成熟激素 (follicle-stimulating hormone, FSH) 及促黃體生成素 (luteinizing hormone, LH) 之濃度。Salma *et al.* (2007) 研究指出，蛋雞飼糧中添加 0.04% 莢膜紅細菌 (*Rhodobacter capsulatus*) 對產蛋性狀並無影響。但王及張 (2002) 於蛋雞飼糧中添加 1 – 3% 紫色非硫光合細菌可提高約 10% 產蛋率。從上述前人植生劑與光合菌之試驗中均可發現當其添加量增加時，則產蛋率也會增加，顯示某些植生劑對產蛋率之改善量與劑量 (dose-dependent) 有關係。

另外，本試驗植生劑以板藍根複方亦可改進飼料換蛋率，此與前人相似之報告有潘等 (1996) 使用兩種植生劑於添加量 0.5% 時，發現方 1 (由淫羊藿和麥飯石等中藥組成) 可以提高產蛋率 5.6%，飼料換蛋率提高 7.57%；方 2 (由蛇床子和何首烏等中藥組成) 可以提高產蛋率 6.35%，飼料換蛋率提高 7.17%。本試驗亦與林 (2009) 調飼糧中添加 5 或 30 g/kg 黃耆及 5、15 或 30 g/kg 補骨脂，可改善 61 – 80 週齡蛋雞之飼料換蛋率之結果相似。植生劑可改進飼料換蛋率之主要原因之一，係植生劑可促進腸道絨毛發育而提高對營養分之吸收，此可從劉 (2009) 以本試驗相同板藍根複方之植生劑添加於臺灣土雞飼糧之試驗顯示，植生劑可增加雞隻十二指腸、空腸及迴腸之絨毛高度，提高腸道絨毛高度與腺窩深度之比的結果得到印證。

## II. 蛋品質

### (i) 蛋黃

飼餵試驗雞隻飼料含植生劑和光合菌對其雞蛋黃品質之影響，列於表 3。試驗結果顯示，蛋黃重和蛋黃

比例在各處理組之間均無顯著差異。蛋黃膽固醇含量及蛋黃三酸甘油酯含量在各處理組之間亦無顯著差異。

表 3. 飼糧中添加植生劑和光合菌對產蛋雞蛋黃品質之影響

Table 3. Effect of dietary supplementation of phytochemicals and photosynthetic bacteria on yolk quality in laying hens

| Items               | Treatments        |                   |                   | SEM    |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|
|                     | Control           | Phytochemicals    | PSB               |        |
| Yolk weight, g      | 14.42             | 14.57             | 14.71             | 0.14   |
| Yolk wt./egg wt., % | 25.85             | 26.31             | 25.93             | 0.20   |
| Yolk Cholesterol    |                   |                   |                   |        |
| mg/g yolk           | 15.63             | 15.14             | 14.59             | 0.24   |
| mg/yolk             | 221.93            | 224.73            | 217.43            | 3.97   |
| Yolk triglyceride   |                   |                   |                   |        |
| mg/g yolk           | 231.39            | 223.67            | 214.65            | 7.58   |
| mg/yolk             | 3,218.5           | 3,306.0           | 3,207.7           | 108.59 |
| RCF value           | 9.33 <sup>b</sup> | 9.65 <sup>a</sup> | 9.76 <sup>a</sup> | 0.10   |

<sup>a, b</sup> Means within the same row without the same superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

RCF: Roche Yolk Colour Fan.

Phytochemical: Basal diet + 0.2% *Isatis indigotica* root compound prescription.

PSB: Photosynthetic bacteria; basal diet + 0.2% *Rhodobacter sphaeroides*.

本試驗蛋雞採食含植生劑和光合菌飼糧對蛋黃中膽固醇及三酸甘油酯含量無下降之效果，此與前人文獻不一致，例如：餵食 1% 以上大蒜粉於蛋雞飼糧中可降低蛋黃膽固醇含量 (Sharma *et al.*, 1979; Chowdhury *et al.*, 2002)；李 (2004) 以紅麴發酵產物添加於蛋雞飼糧中發現可降低蛋黃膽固醇含量；胡 (2004) 在蛋雞飼糧中添加 *Rhizopus* 發酵產物也有相似結果；Salma *et al.* (2007) 蛋雞飼糧中添加 0.04% *Rhodobacter capsulatus* 可顯著降低蛋黃中三酸甘油酯與膽固醇含量。因此推測造成本試驗植生劑和光合菌均無使蛋黃中膽固醇及三酸甘油酯含量下降之原因可能與添加物來源或劑量之不同所致，所以需進一步試驗以提高本試驗植生劑和光合菌添加物之劑量來證明此假說是否成立。

在羅氏蛋黃比色扇值 (RCF) 方面，植生劑及光合菌處理組顯著高於對照組 ( $P < 0.05$ )。許多報告指出飼糧中添加中藥草、植生劑和光合菌具有增加蛋黃顏色的作用，且隨著添加量越多，則其顏色有越深的趨勢 (郭等, 1999; 洪等, 2001; Salma *et al.*, 2007)。本次試驗添加植生劑和光合菌與前人之研究相似，顯示植生劑和光合菌亦含有類胡蘿蔔素等色素，故能達到增加蛋黃顏色之目的；蛋黃顏色會影響消費者購買雞蛋的意願，大多數者喜歡較深色的蛋黃 (Karunajeewa *et al.*, 1984; Fluck *et al.*, 2023)，由於本試驗所使用添加物有使蛋黃增色效果，較能迎合市場上消費者的需求。

## (ii) 蛋殼

植生劑和光合菌對產蛋雞蛋殼品質之影響，列如表 4 所示。從表 4 結果顯示，添加 0.2% 植生劑處理組之蛋殼破裂強度 (Egg shell strength)、單位面積蛋殼重 (shell weight per surface area, SWUSA) 與蛋殼百分比均顯著高於對照組 ( $P < 0.05$ )；然而，在蛋殼厚度、蛋殼重、破蛋百分比 (Broken egg) 與污染蛋等性狀，在各處理組之間均無顯著差異。

一般而言，蛋殼厚度與蛋殼強度呈正相關 (Romanoff and Romanoff, 1949; Chen *et al.*, 2024)，然而，本試驗植生劑處理組之蛋殼厚度無增加，卻可提高蛋殼破裂強度之效果，推測可能植生劑提高蛋殼密度所致，因植生劑處理組蛋雖無較大的尺碼 (size)，而其每單位表面積蛋殼重量卻增加，致使每顆蛋的蛋殼重量增加，但仍有待深入研究，以探討真正的原因。依 Zhang *et al.* (2006) 指出草藥含成分之一類黃酮 (flavonoids) 可加強老鼠腸道對鈣之吸收，劉 (2009) 研究亦顯示，14 週齡雌雞脛骨鈣含量隨植生劑添加量從 0 至 0.8% 之增加，而呈現線性之增加。至於植生劑對提升單位面積蛋殼重與蛋殼重百分比可能增強其腸道對鈣吸收能力有關，因劉 (2009) 與洪等 (2011) 研究指出，以飼糧添加 0.5% 板藍根等複方粉末使雞小腸絨毛高度增長，有助於腸道養分吸收。或推測可能還有其他因素，例如：藉由植生劑增強雞隻免疫力 (洪等, 2011)，因而改善其生理代謝環境以提高蛋殼生成的穩定性，促進蛋殼結構較密實，而增加每單位表面積蛋殼重量，不過詳細機制仍需進一步深入探討。

表 4. 飼糧中添加植生劑和光合菌對產蛋雞蛋殼品質之影響

Table 4. Effect of dietary supplementation of phytochemicals and photosynthetic bacteria on egg shell quality in laying hens

| Items                     | Treatments         |                    |                     | SEM   |
|---------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-------|
|                           | Control            | Phytochemicals     | PSB                 |       |
| Egg shell strength, kg    | 1.39 <sup>b</sup>  | 1.74 <sup>a</sup>  | 1.61 <sup>ab</sup>  | 0.10  |
| Egg shell thickness, mm   | 0.302              | 0.309              | 0.309               | 0.003 |
| SWUSA, mg/cm <sup>2</sup> | 66.44 <sup>b</sup> | 68.59 <sup>a</sup> | 67.50 <sup>ab</sup> | 0.71  |
| Shell weight, g           | 4.51               | 4.62               | 4.65                | 0.06  |
| Shell wt./egg wt., %      | 8.10 <sup>b</sup>  | 8.38 <sup>a</sup>  | 8.17 <sup>ab</sup>  | 0.11  |
| Broken egg, %             | 1.17               | 0.93               | 0.85                | 0.22  |
| Polluted egg, %           | 1.39               | 0.97               | 1.47                | 0.18  |

<sup>a, b</sup> Means within the same row without the same superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

SWUSA: Shell weight per surface area.

Phytochemical: Basal diet + 0.2% *Isatis indigotica* root compound prescription.

PSB: Photosynthetic bacteria; basal diet + 0.2% *Rhodobacter sphaeroides*.

## 結論與建議

蛋雞飼糧添加 0.2% 植生劑與 0.2% 光合菌處理組均可改善隻日產蛋率與增強蛋黃顏色，對於降低蛋黃膽固醇含量 (mg/g yolk) 效果，無統計差異，另外蛋雞飼糧添加 0.2% 植生劑可改進 9% 飼料換蛋率及增強蛋殼破裂強度。綜合上述顯示本試驗所使用的板藍根複方植生劑或嗜硫小紅卵菌之光合菌具有發展成為蛋雞飼料添加物之潛力。

## 參考文獻

- 王俊卿、張肇銘。2002。光合細菌對雞蛋產量及抗氧化活性的影響。中國家禽 24：13-14。
- 付明哲、劉璐、李岩、武和平、趙發苗、陳曉強、袁福漢。2003。中藥“蛋必增”對產蛋雞血清及蛋黃膽固醇的影響。甘肅農業大學學報 38：224-226。
- 李岡星。2004。紅麴發酵產物對蛋雞之產蛋性能蛋黃膽固醇含量之影響。國立屏東科技大學，碩士論文，屏東縣。
- 李鵬、齊廣海。2006。飼料添加劑常用的抗生素替代品。飼料博覽 8：24-26。
- 周岩、楊剛。2005。杜仲葉對蛋雞血清生化指標和蛋黃膽固醇含量的影響。湖北畜牧獸醫 2：52-53。
- 林仁壽、吳兩新。1996。中藥作為飼料添加劑之展望。生物產業 7：181-187。
- 林炳宏、謝怡慧、楊瑞玉、許振忠。2007。飼糧中添加板藍根對白肉雞生長性能及免疫反應之影響。中畜會誌 36：13-22。
- 林育審。2009。飼糧添加黃耆、淫羊藿及補骨脂對蛋雞產蛋性狀與免疫反應之影響。國立臺灣大學動物科學技術學研究所，碩士論文，臺北市。
- 洪哲明、劉振發、劉瑞珍、黃祥吉、吳兩新、林仁壽。2001。絞股藍及淫羊藿對土雞及蛋雞產蛋性狀影響之初步探討。第六屆優質雞的改良生產暨發展研討會論文集。pp. 140-142。
- 洪哲明、葉家舟、葉明憲、林義福、陳添福、劉曉龍、蔡銘洋、謝昭賢、鄭裕信、許振忠。2011。飼糧中添加板藍根複方對土雞生長性能及免疫反應之影響。畜產研究 44：337-352。
- 胡肇嘉。2004。*Rhizopus* 發酵產物對蛋雞產蛋性能、蛋黃中膽固醇含量及血液性狀之影響。國立屏東科技大學，碩士論文，屏東縣。
- 張豔梅。2006。蛋雞日糧中添加甜菜鹼對產蛋前期生產性能的研究。飼料研究 1：4-7。
- 郭福存、張禮華、王建國、謝家聲、劉端莊。1999。中草藥複方對雞產蛋率和蛋黃顏色的影響試驗。中獸醫學雜誌 2：6-7。
- 傅文棟。2006。中草藥及其有效成分體外抗菌抗病毒研究進展。中獸醫醫藥雜誌 5：66-67。
- 農業部。2024。農業統計要覽。VII.I 糧食消費，p. 56。https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/book/Book.aspx。

- 飼料化驗分析技術手冊（增修版）。2000。行政院農業委員會畜產試驗所。臺南。
- 褚耀誠、許劍琴、劉風華、王金棟。2005。中草藥對蛋雞生產性能的影響。中獸醫醫藥雜誌 4：7-8。
- 劉韋伶。2009。飼糧添加植生劑與抗生素對臺灣土雞生長性能、血液性狀、屠體性狀與免疫反應之影響。國立中興大學，碩士論文，臺中市。
- 潘琦、周建強、周宗運。1996。蛋雞中草藥飼料添加劑的研究（第二報）。中獸醫醫藥雜誌 5：6-7。
- Bair C. W. and W. W. Marion. 1978. Yolk cholesterol in eggs from various avian species. Poultry Sci. 57: 1260-1265.
- Chen Y. H., J. Y. Liu, Y. S. Chen, J. C. Ye, N. W. Lo, and S. M. Lee. 2024. Eggshell quality comparison between blue-shelled and white-shelled eggs of brown Tsaiya ducks. Braz. Poult. Sci. 26: 1-6.
- Chowdhury S. R., S. D. Chowdhury, and T. K. Smith. 2002. Effects of dietary garlic on cholesterol metabolism in laying hens. Poult. Sci. 81: 1856-1862.
- Chowdhury, S. R., D. K. Sarker, S. D. Chowdhury, T. K. Smith, P. K. Roy, and M. A. Wahid. 2005. Effects of dietary tamarind on cholesterol metabolism in laying hens. Poult. Sci. 84: 56-60.
- Curtis, P. A., F. A. Gardner, and D. B. Mellor. 1985. A comparison of selected quality and compositional characteristics of brown and white shell eggs. I. shell quality. Poult. Sci. 64: 294-301.
- Folch, J., M. Lees, and G. H. Solan-Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. J. Bio. Chem. 226: 497-509.
- Fluck, A. C., K. M. Cardinal, O. A. D. Costa, L. P. de Borba, and P. G. da Silva Pires. 2023. Yolk and eggshell colour: are these the parameters that influence egg purchasing? A systematic review. World's Poult. Sci. J. 79: 551-562.
- Harms, R. H., A. G. Abdallah, and D. R. Sloan. 1994. Error in measuring and calculating eggshell quality. Poult. Sci. 73: 599-602.
- Izat, A. L., F. A. Gardner, and D. B. Mellor. 1985. Effects of age of bird and season of the year on egg quality 1. shell quality. Poult. Sci. 64: 1900-1906.
- Karunajeewa, H., R. J. Hughes, M. W. McDonald, and F. S. Shenstone. 1984. A review of factors influencing pigmentation of egg yolks. World's Poult. Sci. J. 40: 52-65.
- Kritchevsky, S. B. and D. Kritchevsky. 2000. Egg consumption and coronary heart disease: An epidemiologic overview. J. Am. Coll. Nutr. 19: 549-555.
- Mishra, B., N. Sah, and S. Wasti. 2019. Chapter 3. Genetic and hormonal regulation of egg formation in the oviduct of laying hens. In: Poultry - An advanced learning (Kamboh, A. A. Ed.) IntechOpen, London. doi:org/10.5772/intechopen.85011.
- Nordskog, A. W. and G. Farnsworth, Jr. 1953. The problem of sampling for egg quality in a breeding flock. Poult. Sci. 32: 918-927.
- Qureshi, A. A., N. Abuirmeileh, Z. Z. Din, C. E. Elson, and W. C. Burger. 1983. Inhibition of cholesterol and fatty acid biosynthesis in liver enzymes and chicken hepatocytes by polar fractions of garlic. Lipids 18: 343-348.
- Romanoff, A. L. and A. J. Romanoff. 1949. The avian egg. p. 372. John Wiley and Sons. New York. USA.
- Rosenson, R. S. and W. L. Song. 2019. Egg yolk, source of bad cholesterol and good lipids? AJCN 110: 548-549.
- Salma, U., A. G. Miah, K. M. A. Tareq, T. Maki, and H. Tsujii. 2007. Effect of dietary *Rhodobacter capsulatus* on egg-yolk cholesterol and laying hen performance. Poult. Sci. 86: 714 - 719.
- SAS Institute. 2014. Sas/Stat guide for personal computers. Version 9.01. SAS Inst. Inc.
- Sharma, R. K., R. A. Singh, R. N. Pal, and C. K. Aggarwal. 1979. Cholesterol content of chicken eggs as affected by feeding garlic, sarpagandha and nicotinic acid. Haryana Agric. Univ. J. Res. 9: 263-265.
- Spence, J. D., D. J. A. Jenkins, and J. Davignon. 2010. Dietary cholesterol and egg yolks: Not for patients at risk of vascular disease. Can. J. Cardiol. 26: e336-e339.
- Watson, R. R. and F. De Meester. 2023. Handbook of cholesterol: Biology, function and role in health and disease. p. 399. Wageningen Academic Publishers, Netherland.
- Windisch W., K. Schedle, C. Plitzner and A. Kroismayr. 2008. Use of phytogetic products as feed additives for swine and poultry. J. Anim. Sci. 86 (E. Suppl.): E140-E148.
- Zhang, G., L. Qin, W. Y. Hung, Y. Y. Shi, P. C. Leung, H. Y. Yeung, and K. S. Leung. 2006. Flavonoids derived from herbal *Epimedium Brevicornum* Maxim prevent OVX-induced osteoporosis in rats independent of its enhancement in intestinal calcium absorption. Bone 38: 818-825.

# Effect of dietary supplementation of low-dose *Isatis indigotica* root compound prescription as phytogenics and *Rhodovulum sulfidophilum* as photosynthetic bacteria on laying performance in laying hens

Shin-Mei Lee <sup>(1)</sup> Yin-Chi Chiu <sup>(2)</sup> Jenn-Chung Hsu <sup>(2)</sup> and Yieng-How Chen <sup>(3)(4)</sup>

Received: Feb. 13, 2026; Accepted: Mar. 13, 2026

## Abstract

The purpose of this study was to evaluate the effect of dietary supplementation of low-dose phytogenics and photosynthetic bacteria on laying performance in laying hens. In this trial, 2,664 birds of 42-weeks-old laying hens were randomly allocated to 3 treatments: including the control group (basal diet), phytogenic treatment (basal diet added with 0.2% *Isatis indigotica* root compound prescription as phytogenics), and photosynthetic bacteria (PSB) treatment (basal diet added with 0.2% *Rhodovulum sulfidophilum* of photosynthetic bacteria (PSB), for a seven-week experimental period. Each treatment consisted of 3 replicates with 296 birds per replicate. Four birds were housed in one battery cage. Feed and water were supplied ad libitum. Six eggs per replicate and a total of 18 eggs were collected to measure the egg quality at the 4<sup>th</sup>, 5<sup>th</sup>, 6<sup>th</sup> and 7<sup>th</sup> week after trial. Laying performance was recorded from every replicate daily between 5<sup>th</sup> to 7<sup>th</sup> weeks of trial. Mortality rate during the experimental period was calculated after the trial. Results indicated that the phytogenics treatment (0.2%) had lower feed intake than that of the control ( $P < 0.05$ ). Moreover, dietary supplementation of phytogenics (0.2%) and PSB (0.2%) treatments increased daily egg production ( $P < 0.05$ ), compared to the control. Phytogenics and PSB treatments had higher egg production than the control ( $P < 0.05$ ), making an improvement by 9%. Both phytogenics and PSB enhance yolk color. With regards to egg shell quality, the egg shell strength, shell weight per surface area, and shell percentage were higher in the phytogenics treatment than those in the control treatment ( $P < 0.05$ ). However, the mortality rate and the content of yolk cholesterol were not significantly different among 3 treatments. In conclusion, based on egg production, feed egg conversion, yolk color and eggshell quality, the dietary supplementation of low-dose *Isatis indigotica* root compound prescription as phytogenics or *Rhodovulum sulfidophilum* as photosynthetic bacteria may increase the daily egg production, improve feed efficiency and enhance egg shell quality, with a potential to develop the application as a feed additives for hens.

Key words: Egg quality, Laying hens, Laying performance, Photosynthetic bacteria, Phytogenics.

---

(1) Department of Food Science, National Quemoy University, Kinmen County, Taiwan, R. O. C.

(2) Department of Animal Science, National Chung Hsing University, 250 Kuo Kuang Road, Taichung 40227, Taiwan.

(3) Life Science Research Center, Tunghai University, No. 1727, Sec. 4, Taiwan Boulevard, Xitun District, Taichung 40704, Taiwan R. O. C.

(4) Corresponding author, E-mail: yh7chen@thu.edu.tw.

# 不同營養濃度對商用紅羽土雞生長性能、生產效益 與屠體性狀之影響<sup>(1)</sup>

林正鏞<sup>(2)</sup> 李秀蘭<sup>(2)(3)(4)</sup>

收件日期：114 年 10 月 17 日；接受日期：115 年 2 月 23 日

## 摘 要

本研究旨在比較不同營養濃度對商用紅羽土雞之生長性能、生產效益與屠體性狀之影響。選用 288 隻健康且體重相近之 1 日齡雛雞，在不同生長階段採用不同營養濃度，本試驗設計 4 種營養濃度進行試驗，各處理組於育雛期，生長期與肥育期分別以粗蛋白質含量區分；其分別為 22 – 19 – 17、21 – 19 – 17、23 – 20 – 18 及 22 – 20 – 18 組，各處理組之代謝能含量分別為 3,106 – 3,004 – 2,918、3,054 – 3,105 – 3,158、3,203 – 3,204 – 3,206 及 3,180 – 3,220 – 3,250 kcal/kg，每處理 4 重複，每重複 18 隻，試驗為期 13 週依性別進行分組，試驗為期 13 週分別為育雛期（0 – 4 週齡）、生長期（5 – 8 週齡）及肥育期（9 – 13 週齡），試驗結束後，於 13 週齡從各處理組選取 24 隻雞隻進行屠宰，共計屠宰 96 隻。試驗結果顯示，各期蛋白質含量以 22 – 20 – 18 組（各期代謝能濃度為 3,180 – 3,220 – 3,250）之活體重、日增重與粗收益均顯著高於其他處理組（ $P < 0.05$ ），且其（feed conversion ratio, FCR）顯著較低（ $P < 0.05$ ）。每隻雞之粗收益亦以 22 – 20 – 18 組顯著較其他處理組高（ $P < 0.05$ ）。綜上結果顯示，建議商用紅羽土雞於育雛期、生長期及肥育期分別採用粗蛋白質含量 22、20 及 18%，並搭配適當代謝能水準，可獲得較佳之生長性能及經濟效益，相關結果可作為未來商用紅羽土雞營養需求評估及飼養標準修訂之參考。

關鍵詞：營養濃度、商用紅羽土雞、生長性能。

## 緒 言

雞為全球分布最廣的經濟動物，其生產的雞肉與雞蛋為重要的食物來源，雞種可分為肉用與蛋用兩大類別，肉用雞種可分為白肉雞與有色肉雞，而有色肉雞產業可再細分為商用紅羽土雞、商用黑羽土雞、黃金雞、珍珠雞、鬥雞母及烏骨雞等品種，商用紅羽土雞與商用黑羽土雞為主要商業生產模式最常見之雞種，其產量占有色肉雞產業之 85%，顯示其在臺灣家禽產業中的重要性。依 2023 臺灣家禽統計手冊，臺灣家禽產業年產值達 1,079 億元，占農業總產值的 18.58%，家禽產業其涵蓋肉雞（白肉雞、有色肉雞及淘汰蛋雞）約 599 億元，蛋類產值 366 億元，水禽及其他產業 113 億元。而肉雞產值中，有色肉雞產值約 266 億元。

禽肉是人類消費最實惠的動物性蛋白質來源（OECD-FAO, 2023）。在過去幾十年裡，基因選拔和精準營養已被明確確定為肉雞生產性狀持續改善的關鍵（Aftab, 2019）。雞隻生長的主要關鍵分別是能量和蛋白質（Alagawany *et al.*, 2019; Ashour *et al.*, 2020; El-Hindawy *et al.*, 2021）。營養需求是雞飼料成本的主要決定因素。飼糧中若能優化蛋白質與能量組成，則可有效降低飼料費用與提高成本效益（Arif *et al.*, 2017; Alagawany *et al.*, 2022）。

蛋白質是家禽最重要的營養素之一，能量供應共同作用，有助於雞隻達到理想的生產與生長目標（Andri *et al.*, 2020）。優化肉雞飼糧營養成分（尤其是代謝能（ME）與胺基酸平衡）至關重要，其主要考量因素為飼料成本和環境永續性，目的在於提高飼料利用效率並減少排泄物（Daghir *et al.*, 2021）。

營養濃度（蛋白質及代謝能）與飼料成本是息息相關。國外針對肉雞營養需求之研究文獻相當豐富，相關資料多以美國國家研究委員會（NRC, 1994）所公布肉雞營養需要量顯示，在 0 – 3 週齡、3 – 6 週齡與 6 – 8 週齡之粗蛋白質需要量分別為 23、20 及 18%，代謝能需要量各期均為 3,200 kcal/kg。Applegate and Angel (2014) 對蛋白質與

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2848 號。

(2) 農業部畜產試驗所技術服務組。

(3) 國立屏東科技大學生物資源研究所。

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

代謝能相互作用的研究表示，不同的環境、生產模式及品種等會產生不同結果。而目前臺灣土雞的營養需要量，常參考國內土雞營養需要推薦標準(徐，1995)。本試驗探討不同營養組成對商用紅羽土雞之生長性能及生產效益之影響，以供推廣給民間飼養之營養推薦依據與相關業者飼養之參考。

## 材料與方法

本試驗於農業部畜產試驗所南區分所屏東場區雞舍進行，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南區分所屏東場區(原高雄種畜繁殖場)以畜試動字第 101007 號申請核准在案。

### I. 試驗動物樣品

選購 288 隻健康且活力良好及體重相近之商用紅羽土雞雛雞(購自臺禽生物科技股份有限公司)，雛雞孵化後第一天進行性別鑑別。試驗期間採自然光照，飼糧與水供雞隻任食。飼養過程為育雛期(0—4 週齡)、生長期(5—8 週齡)及肥育期(9—13 週齡)。

本試驗設定 4 種不同營養組成進行試驗，各處理組於不同生長階段之飼糧則以粗蛋白質營養濃度作為表示方式；其分別為 22—19—17 組(徐，1995)、21—19—17 組(林等，2009)、23—20—18 組(NRC, 1994)及 22—20—18 組(商業飼料，國興畜產股份有限公司)；在不同階段各處理組之代謝能含量分別為 3,106—3,004—2,918、3,054—3,105—3,158、3,203—3,204—3,206 及 3,180—3,220—3,250 kcal/kg，每處理 4 重複，每重複 18 隻(409×192 cm，2.3 隻/m<sup>2</sup>)，試驗為期 13 週。各處理組之飼糧營養濃度計算值列示於表 1、營養分析值列示於表 2 及飼料價格列示於表 3。

### II. 生長性能

- 試驗期間於第 4 週齡、8 週齡及 13 週齡秤重一次，並記錄雞隻採食量及計算飼料轉換率(FCR)，公式為【飼料攝取量(g)÷體增重(g)】。
- 於試驗期間每隔 4 週記錄雞隻死亡隻數，並計算雞隻死亡率。
- 每隻雞之粗收益計算

雞隻活體售價依財團法人中央畜產會 114 年 10 月 12 日提供之臺灣地區家禽產地每日交易行情計算，紅羽土雞北及中區平均價為 79 元/kg，紅羽土雞雛雞售價為 22 元/隻。

每隻雞之粗收益 = 【雞隻活體重(kg)×每公斤活體售價】－飼料成本－雛雞價格

### III. 血液生化值

血液生化值分別於 4、8 及 13 週齡進行採血，各階段採集 16 隻(公、母各半)商用紅羽土雞，使用每 mL 加入 50 μL 內含 heparin-Li 1,000 IU/mL 之 0.15 M NaCl 溶液之採血器，從翼靜脈採血，採血完成後離心 30 分鐘(1,500×g，5℃)，將血漿分裝後貯存於 -20℃ 供血液性狀測定。測定血漿尿酸(Uric acid)、肌酸酐(Creatinine)、三酸甘油酯(Triglyceride)及總膽固醇(Total cholesterol)濃度，使用試劑套組(Wako, Japan)，以血液自動分析儀(Hitachi 7050, Japan)測定之。

### IV. 飼料營養組成

依中華民國國家標準—飼料檢驗法(行政院經濟部標準檢驗局，1986)分析水分、粗蛋白質、粗脂肪及粗纖維。依 AOAC (2000) 進行分析鈣、磷及胺基酸。

### V. 屠宰性狀

試驗結束後，屠宰前經禁食 12 小時後，進行個別雞隻秤重。於合格電宰廠(結風食品有限公司)進行雞隻屠宰及振聲農業科技股份有限公司進行屠體性狀調查，屠宰雞隻經電昏、放血、脫毛、取下腹脂及取出內臟後，進行屠體重及腹脂重測定。

- 屠體重測定：雞隻經電昏、放血、脫毛及取出內臟後之屠體加以稱重。
- 屠宰率測定：屠宰率 % = 屠體重 / 活體重 × 100。

### VI. 統計分析

試驗所得資料以統計分析系統(Statistical Analysis System)套裝軟體(SAS, 2013)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。

表 1. 試驗飼糧營養濃度

Table 1. The nutrient calculates value of the experimental diets

| Nutrient concentrations | Periods             |                 |                 | Starter<br>0 — 4 weeks old |                 |                 | Grower<br>5 — 8 weeks old |                |                 | Finisher<br>9 — 13 weeks old |                |                 |
|-------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|----------------|-----------------|------------------------------|----------------|-----------------|
|                         | Crude protein,<br>% | ME*,<br>kcal/kg | ME:<br>CP ratio | Crude protein<br>%         | ME:<br>CP ratio | ME:<br>CP ratio | Crude protein<br>%        | ME,<br>kcal/kg | ME:<br>CP ratio | Crude protein<br>%           | ME,<br>kcal/kg | ME:<br>CP ratio |
| 22 — 19 — 17            | 22.09               | 3,106           | 141             | 19.03                      | 141             | 158             | 17.10                     | 2,918          | 171             | 17.10                        | 2,918          | 171             |
| 21 — 19 — 17            | 21.29               | 3,054           | 143             | 19.14                      | 143             | 162             | 17.17                     | 3,158          | 184             | 17.17                        | 3,158          | 184             |
| 23 — 20 — 18            | 23.09               | 3,203           | 139             | 20.11                      | 139             | 159             | 18.17                     | 3,206          | 176             | 18.17                        | 3,206          | 176             |
| 22 — 20 — 18            | 22.02               | 3,180           | 144             | 20.50                      | 144             | 157             | 18.02                     | 3,250          | 180             | 18.02                        | 3,250          | 180             |

\* ME: Metabolizable energy.

表 2. 試驗飼糧之營養分析值 (單位：%)

Table 2. The nutritional analysis values of the experimental diets (%)

| Nutrient concentrations/Periods | Starter | Grower | Finisher |
|---------------------------------|---------|--------|----------|
| Crude protein                   |         |        |          |
| 22 — 19 — 17                    | 21.75   | 18.27  | 17.32    |
| 21 — 19 — 17                    | 20.52   | 18.52  | 16.92    |
| 23 — 20 — 18                    | 22.69   | 20.75  | 18.33    |
| 22 — 20 — 18                    | 23.24   | 20.67  | 17.87    |
| Crude fat                       |         |        |          |
| 22 — 19 — 17                    | 5.70    | 4.26   | 2.40     |
| 21 — 19 — 17                    | 5.95    | 6.98   | 5.87     |
| 23 — 20 — 18                    | 8.38    | 9.05   | 7.41     |
| 22 — 20 — 18                    | 7.92    | 6.40   | 7.43     |
| Crude fiber                     |         |        |          |
| 22 — 19 — 17                    | 2.33    | 2.56   | 3.39     |
| 21 — 19 — 17                    | 2.51    | 2.52   | 3.11     |
| 23 — 20 — 18                    | 2.37    | 2.40   | 3.07     |
| 22 — 20 — 18                    | 2.54    | 2.06   | 1.95     |
| Calcium                         |         |        |          |
| 22 — 19 — 17                    | 1.00    | 1.07   | 0.96     |
| 21 — 19 — 17                    | 1.05    | 1.04   | 1.01     |
| 23 — 20 — 18                    | 1.14    | 1.05   | 0.97     |
| 22 — 20 — 18                    | 1.17    | 0.89   | 0.87     |
| Total phosphorus                |         |        |          |
| 22 — 19 — 17                    | 0.60    | 0.56   | 0.58     |
| 21 — 19 — 17                    | 0.62    | 0.57   | 0.67     |
| 23 — 20 — 18                    | 0.63    | 0.57   | 0.51     |
| 22 — 20 — 18                    | 0.69    | 0.55   | 0.53     |
| Lysine                          |         |        |          |
| 22 — 19 — 17                    | 1.14    | 1.02   | 0.97     |
| 21 — 19 — 17                    | 1.15    | 1.04   | 0.84     |
| 23 — 20 — 18                    | 1.31    | 1.18   | 0.94     |
| 22 — 20 — 18                    | 1.38    | 1.13   | 0.92     |
| Methionine                      |         |        |          |
| 22 — 19 — 17                    | 0.42    | 0.32   | 0.31     |
| 21 — 19 — 17                    | 0.39    | 0.39   | 0.29     |
| 23 — 20 — 18                    | 0.42    | 0.35   | 0.29     |
| 22 — 20 — 18                    | 0.39    | 0.33   | 0.32     |

表 3. 試驗飼糧之價格

Table 3. The price of the experimental diets (NT\$/kg)

| Periods      | Starter | Grower | Finisher |
|--------------|---------|--------|----------|
| 22 – 19 – 17 | 17.47   | 15.07  | 13.68    |
| 21 – 19 – 17 | 16.94   | 15.67  | 15.17    |
| 23 – 20 – 18 | 19.00   | 19.00  | 18.40    |
| 22 – 20 – 18 | 18.48   | 16.61  | 15.89    |

## 結果與討論

### I. 生長性能

飼糧中不同營養濃度對商用紅羽土雞生長性能之影響如表 4，試驗結果顯示，在體重方面，商用紅羽土雞於 4、8 及 13 週齡之體重以 22 – 20 – 18 組較其他處理組高 ( $P < 0.05$ )；在日增重方面，商用紅羽土雞於 0 – 4、0 – 8 週齡及全期之體重以 22 – 20 – 18 組較其他處理組高 ( $P < 0.05$ )；在每日飼料採食量及飼料轉換效率方面，商用紅羽土雞於全期 (0 – 13 週齡) 之每日飼料採食量及飼料轉換效率，均以 22 – 20 – 18 組顯著較其他處理組低 ( $P < 0.05$ )。商用紅羽土雞各階段各週齡及全期各處理組間之死亡率無顯著差異。

飼糧中不同營養濃度，以全期採食量為例，23 – 20 – 18 組雖於各期 ME 較高，但其採食量未較 22 – 19 – 17 組降低 (100.7 vs. 99.7 g / 日)，顯示採食調控未必僅受能量濃度單一因素影響。另 21 – 19 – 17 組於肥育期 ME : CP 比例較高 (184)，且全期採食量最高 (105.2 g / 日)，推測可能因蛋白質 (或胺基酸) 供應相對不足而促使雞隻採食量增加以補足需求。Liu *et al.* (2017) 指出蛋白質濃度對增重與飼料效率之影響會受能量 / 脂質供應調整而改變；Strifler *et al.* (2023) 亦顯示不同 E/P 比值會影響生長表現與氮排泄趨勢，本研究結果與上述觀點相符。

能量是維持動物生命、生長及生殖等所需，能量的需要量隨雞之品種、日齡、生產目的及氣候等因素而異。土雞飼糧需有適當的能量蛋白比 (Energy to Protein Ratio, E/P)，且此比值一般會隨著土雞日齡之增加而提高。Strifler *et al.* (2023) 研究指出，飼糧中粗蛋白質濃度降低會導致雞生產性能下降。Liu *et al.* (2017) 研究指出，粗蛋白質與能量比例會影響雞隻的體重增加、飼料採食量及飼料轉換率。Gous *et al.* (1973) 研究指出，含高能量飼糧其採食量減少了 8.8% (1,823 vs. 1,999 g / 隻)，本研究結果亦有相似趨勢。

飼糧 CP 含量過高可能導致體脂沉積，因此不建議飼糧 CP 水平過高，以免造成蛋白質浪費。特別是在世界各地蛋白質資源短缺的背景下，適當降低飼糧 CP 水平，不僅可以更充分地利用有限的資源，而且可以減少雞糞排泄的氮含量，對減少環境污染具有重要意義。當飼糧能量提升時，需同步提供足量蛋白質與關鍵胺基酸，以將能量導向促進肌肉蛋白沉積而非脂肪儲存。在蛋白質資源有限的情境下，適度降低粗蛋白質 (CP) 含量但維持 (或微調) 能量與胺基酸濃度，可在不犧牲生長性能的前提下降低氮排放 (Strifler *et al.*, 2023)。

### II. 血液性狀

不同營養濃度對商用紅羽土雞血液性狀之影響如表 5。本試驗所測量之血液生化指標 (包括尿酸、肌酸酐及血脂相關指標)，其數值均落在既有文獻報導 (Dozier *et al.*, 2007) 之雞隻生理變動範圍內，顯示各處理組雞隻整體生理狀態維持穩定。家禽由於缺乏尿素循環中必需的胺甲醯磷酸合成酶 (Carbamoyl phosphate synthetase)，故無法如哺乳動物般代謝氮化合物為尿素，而以尿酸型態作為主要的含氮代謝終產物 (Karasawa, 1984)。因此，血漿尿酸濃度常被視為家禽蛋白質利用效率之指標。林等 (2010) 研究指出，烏骨雞 16 週齡之不同 CP 組間之血漿尿酸濃度無顯著差異，蛋白質與能量兩因子於血漿尿酸濃度並無交互效應存在，本試驗有相似的結果。肌酸酐 (Creatinine) 是常用來評估腎功能的指標。肌酸酐是肌肉運動所需的重要能量來源—磷酸肌酸的代謝廢物，肌酸酐會在腎臟中過濾，並以尿液形式排出，所以檢測血清中的肌酸酐數值，可以作為評估腎功能的指標，本研究各處理組之血清肌酸酐濃度無顯著差異，顯示不同營養濃度處理並未對商用紅羽土雞腎功能造成明顯影響。血清三酸甘油酸酯 (TG)、總膽固醇 (TC)、高密度脂蛋白膽固醇 (HDL-C) 和低密度脂蛋白膽固醇 (LDL-C) 是脂質代謝平衡的關鍵指標 (Helkin *et al.*, 2016)。先前研究指出，飼糧中蛋白質與代謝能之組成改變，可能影響肉雞

血液中脂質相關代謝物濃度，顯示蛋白質—能量平衡對血脂表現具有調節作用 (Liu *et al.*, 2019)，血脂調節仍可能受品系、生長階段及飼糧配方組成等因素影響。本試驗處理組之組別是依各生長期粗蛋白 (CP) 濃度進行區分，並同時調整各期飼糧代謝能 (ME)，因此飼糧能量之高低可由「ME 含量」或「ME：CP 比值」兩種不同角度加以界定。以肥育期 (9—13 週齡) 為例，若以 ME 含量判定，22—20—8 組之 ME 最高；若以 ME：CP 比值判定，則以 21—19—17 組較高。依表 5 結果，13 週齡時，ME 含量較高之處理組，其血清 TG 濃度亦呈現相對較高之趨勢；相對地，ME/CP 比值較高之處理組，其 TG 濃度並未同步升高。顯示本研究中血清 TG 之變化，較可能與飼糧 ME 含量相關，而非僅由 ME：CP 高低所主導。

表 4. 不同營養濃度對商用紅羽土雞生長性能之影響

Table 4. Effect of different nutrient concentration on the growth performance for red-feathered Taiwan native chickens

| Items                            | 22 — 19 — 17       | 21 — 19 — 17       | 23 — 20 — 18        | 22 — 20 — 18       | SE    |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------|
| Live body weight, g              |                    |                    |                     |                    |       |
| Chick weight                     | 40                 | 40                 | 40                  | 40                 | 0.05  |
| 4 week old                       | 502 <sup>b</sup>   | 517 <sup>b</sup>   | 519 <sup>b</sup>    | 620 <sup>a</sup>   | 8.29  |
| 8 week old                       | 1,616 <sup>b</sup> | 1,670 <sup>b</sup> | 1,678 <sup>b</sup>  | 1,949 <sup>a</sup> | 39.84 |
| 13 week old                      | 3,122 <sup>b</sup> | 2,921 <sup>b</sup> | 2,998 <sup>b</sup>  | 3,465 <sup>a</sup> | 99.06 |
| Gain weight, g/day/bird          |                    |                    |                     |                    |       |
| 0 — 4 week old                   | 17 <sup>b</sup>    | 18 <sup>b</sup>    | 18 <sup>b</sup>     | 22 <sup>a</sup>    | 0.31  |
| 5 — 8 week old                   | 40                 | 41                 | 41                  | 48                 | 1.31  |
| 0 — 8 week old                   | 29 <sup>b</sup>    | 30 <sup>b</sup>    | 30 <sup>b</sup>     | 35 <sup>a</sup>    | 0.73  |
| 9 — 13 week old                  | 43                 | 36                 | 38                  | 43                 | 1.94  |
| 0 — 13 week old                  | 34 <sup>b</sup>    | 32 <sup>b</sup>    | 33 <sup>b</sup>     | 38 <sup>a</sup>    | 1.10  |
| Feed intake, g/day/bird          |                    |                    |                     |                    |       |
| 0 — 4 week old                   | 46.6               | 45.5               | 44.4                | 47.3               | 0.79  |
| 5 — 8 week old                   | 87.5               | 93.1               | 88.8                | 97.1               | 2.58  |
| 0 — 8 week old                   | 67.4               | 69.8               | 67.0                | 72.8               | 1.56  |
| 9 — 13 week old                  | 150.3 <sup>a</sup> | 161.0 <sup>a</sup> | 153.7 <sup>a</sup>  | 120.5 <sup>b</sup> | 2.39  |
| 0 — 13 week old                  | 99.7 <sup>ab</sup> | 105.2 <sup>a</sup> | 100.7 <sup>ab</sup> | 91.2 <sup>b</sup>  | 1.76  |
| Feed conversion ratio, feed/gain |                    |                    |                     |                    |       |
| 0 — 4 week old                   | 2.72 <sup>a</sup>  | 2.58 <sup>a</sup>  | 2.52 <sup>a</sup>   | 2.19 <sup>b</sup>  | 0.04  |
| 5 — 8 week old                   | 2.20               | 2.26               | 2.15                | 2.05               | 0.04  |
| 0 — 8 week old                   | 2.37 <sup>a</sup>  | 2.35 <sup>a</sup>  | 2.26 <sup>ab</sup>  | 2.09 <sup>b</sup>  | 0.04  |
| 9 — 13 week old                  | 3.59 <sup>b</sup>  | 4.57 <sup>a</sup>  | 4.14 <sup>ab</sup>  | 2.82 <sup>c</sup>  | 0.13  |
| 0 — 13 week old                  | 2.93 <sup>b</sup>  | 3.30 <sup>a</sup>  | 3.09 <sup>ab</sup>  | 2.41 <sup>c</sup>  | 0.05  |
| Mortality, %                     |                    |                    |                     |                    |       |
| 0 — 4 week old                   | 0.0                | 0.0                | 0.0                 | 0.0                | 0.00  |
| 0 — 8 week old                   | 0.0                | 0.0                | 0.0                 | 0.0                | 0.00  |
| 0 — 13 week old                  | 4.2                | 1.4                | 1.4                 | 4.2                | 1.10  |

<sup>a, b, c</sup> Means within the same row without the same superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

表 5. 不同營養濃度對商用紅羽土雞血液性狀

Table 5. Effect of different nutrient concentrations on the plasma traits in the full period (0-13 weeks old) for red-feathered Taiwan native chickens

| Items                    | 22 – 19 – 17      | 21 – 19 – 17      | 23 – 20 – 18      | 22 – 20 – 18     | SE   |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------|
| Uric acid, mg/dL         |                   |                   |                   |                  |      |
| 4 weeks old              | 5.2 <sup>b</sup>  | 6.8 <sup>b</sup>  | 6.5 <sup>ab</sup> | 7.8 <sup>a</sup> | 0.51 |
| 8 weeks old              | 3.7               | 4.0               | 4.6               | 3.7              | 0.33 |
| 13 weeks old             | 4.0               | 4.8               | 4.7               | 4.8              | 0.33 |
| Total cholesterol, mg/dL |                   |                   |                   |                  |      |
| 4 weeks old              | 212 <sup>a</sup>  | 203 <sup>ab</sup> | 190 <sup>b</sup>  | 209 <sup>a</sup> | 6.45 |
| 8 weeks old              | 179 <sup>c</sup>  | 194 <sup>b</sup>  | 201 <sup>a</sup>  | 172 <sup>c</sup> | 6.21 |
| 13 weeks old             | 166 <sup>ab</sup> | 179 <sup>a</sup>  | 158 <sup>b</sup>  | 155 <sup>b</sup> | 5.31 |
| Triglyceride, mg/dL      |                   |                   |                   |                  |      |
| 4 weeks old              | 49 <sup>c</sup>   | 45 <sup>b</sup>   | 60 <sup>a</sup>   | 66 <sup>a</sup>  | 4.57 |
| 8 weeks old              | 26 <sup>b</sup>   | 22 <sup>b</sup>   | 34 <sup>a</sup>   | 25 <sup>b</sup>  | 2.61 |
| 13 weeks old             | 25                | 27                | 25                | 31               | 2.54 |
| Creatinine, mg/dL        |                   |                   |                   |                  |      |
| 4 weeks old              | 0.4               | 0.3               | 0.4               | 0.4              | 0.02 |
| 8 weeks old              | 0.3               | 0.3               | 0.3               | 0.3              | 0.02 |
| 13 weeks old             | 0.4               | 0.3               | 0.4               | 0.3              | 0.02 |

<sup>a, b, c</sup> Means within the same row without the same superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

### III. 屠體性狀及生產效益

表 6 為不同營養濃度對商用紅羽土雞屠體性狀及生產效益。試驗結果顯示，22 – 20 – 18 組之活體重與屠體重均顯著高於 21 – 19 – 17 組及 23 – 20 – 18 組 ( $P < 0.05$ )。22 – 20 – 18 組之活體重為 3,360 g、屠體重為 2,825 g，分別優於 21 – 19 – 17 組 (2,809 g/2,325 g) 及 23 – 20 – 18 組 (2,974 g/2,487 g)，顯示 22 – 20 – 18 組在各生長期別中，於蛋白質含量調整下同步搭配適當之可代謝能供應，能形成較佳之蛋白質與能量平衡組合，以促進肌肉沉積與生長效率。

在總飼料成本方面，22 – 20 – 18 組與 23 – 20 – 18 組均顯著高於 22 – 19 – 17 組與 21 – 19 – 17 組 ( $P < 0.05$ )。每公斤增重成本以 23 – 20 – 18 組顯著較 22 – 19 – 17 組及 22 – 20 – 18 組高 ( $P < 0.05$ )，顯示單純提高營養濃度，若未能同步改善飼料轉換效率，並不一定能轉化為較佳之生產效益，每隻雞之粗收益以 22 – 20 – 18 組顯著較其他處理組高 ( $P < 0.05$ )。飼料是肉雞生產成本中最重要的一環，約佔總支出的 70 – 80% (Ibrahim *et al.*, 2021)。提高飼料轉換效率對家禽生產者而言至關重要，可同時提升生產效率與經濟效益。提高飼料轉換效率對於家禽生產者很重要，因為可提高生產效率及增加生產者的經濟效益 (Al-Khalaifah *et al.*, 2020)。每隻雞之粗收益在商用紅羽土雞以 22 – 20 – 18 組顯著較 23 – 20 – 18 營養濃度組及 21 – 19 – 17 組高 ( $P < 0.05$ )；22 – 20 – 18 組的每隻商用紅羽土雞之粗收益可較最低組 (23 – 20 – 18 組) 多賺 40.5 元。採用 22 – 20 – 18 組之商用紅羽土雞，其每隻平均粗收益較最低營養水準組 (23 – 20 – 18 組) 高出 40.5 元。

本研究結果顯示，22 – 20 – 18 組於育雛期、生長期及肥育期分別搭配 3,180、3,220 及 3,250 kcal/kg 之可代謝能，在飼料轉換效率、生長性能及整體經濟效益上均顯著優於其他處理組。相較之下，23 – 20 – 18 組雖具較高營養濃度，但未能同步提升生長效率與經濟回報，顯示單純提高營養濃度並非最適策略。

綜合屠體性狀、生長表現與生產效益分析結果，本研究顯示，商用紅羽土雞之營養建議應著重於蛋白質與可代謝能之適當比例，而非僅以高營養濃度配方作為建議依據。研究結果顯示，雖然 22 – 20 – 18 組的飼料總成本較高，但由於其飼料轉換效率與屠體重性狀顯著提升，整體經濟效益仍優於其他組別，顯示在兼顧生長性能與經濟效益之情況下，適度且平衡之蛋白質與能量組合，較單純提高營養濃度更具實務應用價值。

表 6. 不同營養濃度對商用紅羽土雞屠體性狀及生產效益

Table 6. Effect of different nutrient concentrations on the carcass traits and economic returns in the full period (0-13 weeks old) for red-feathered Taiwan native chickens

| Items                      | 22 — 19 — 17        | 21 — 19 — 17       | 23 — 20 — 18       | 22 — 20 — 18       | SE    |
|----------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| Carcass traits             |                     |                    |                    |                    |       |
| Live weight, g             | 3,120 <sup>ab</sup> | 2,809 <sup>b</sup> | 2,974 <sup>b</sup> | 3,360 <sup>a</sup> | 60.94 |
| Carcass weight, g          | 2,625 <sup>ab</sup> | 2,325 <sup>b</sup> | 2,487 <sup>b</sup> | 2,825 <sup>a</sup> | 55.96 |
| Dressing, % B. W.          | 84.0                | 82.9               | 83.5               | 84.0               | 0.58  |
| Feed cost, NT\$/birds      |                     |                    |                    |                    |       |
| 0 — 4 weeks old            | 21.3 <sup>b</sup>   | 21.5 <sup>b</sup>  | 22.2 <sup>b</sup>  | 25.5 <sup>a</sup>  | 0.86  |
| 5 — 8 weeks old            | 38.4 <sup>b</sup>   | 39.3 <sup>b</sup>  | 41.3 <sup>b</sup>  | 51.7 <sup>a</sup>  | 2.76  |
| 9 — 13 weeks old           | 79.8 <sup>ab</sup>  | 77.4 <sup>b</sup>  | 85.8 <sup>a</sup>  | 77.6 <sup>b</sup>  | 2.85  |
| 0 — 13 week old            | 142.8 <sup>b</sup>  | 146.1 <sup>b</sup> | 154.2 <sup>a</sup> | 157.1 <sup>a</sup> | 5.95  |
| Gain weight cost, NT\$/kg  |                     |                    |                    |                    |       |
| 0 — 4 weeks old            | 46.1                | 45.0               | 46.6               | 43.9               | 1.71  |
| 5 — 8 weeks old            | 34.8 <sup>ab</sup>  | 34.0 <sup>b</sup>  | 35.8 <sup>ab</sup> | 38.8 <sup>a</sup>  | 1.60  |
| 9 — 13 weeks old           | 54.5 <sup>ab</sup>  | 62.8 <sup>ab</sup> | 65.9 <sup>a</sup>  | 51.9 <sup>b</sup>  | 4.35  |
| 0 — 13 week old            | 46.6 <sup>b</sup>   | 50.9 <sup>ab</sup> | 52.6 <sup>a</sup>  | 46.1 <sup>b</sup>  | 1.96  |
| Earnings at 13 weeks old,  |                     |                    |                    |                    |       |
| NT\$/birds at 13 week olds | 118.5 <sup>b</sup>  | 96.5 <sup>c</sup>  | 95.6 <sup>c</sup>  | 136.1 <sup>a</sup> | 15.32 |

<sup>a, b</sup> Means within the same row without the same superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

## 結 論

本試驗結果顯示，建議商用紅羽土雞於育雛期、生長期及肥育期，分別採用粗蛋白質含量為 22、20 及 18%，代謝能含量為 3,180、3,220 及 3,250 kcal/kg 之飼糧組成，可有效提升生長表現。整體而言，以 22 — 20 — 18 之粗蛋白質配方組合，搭配相應代謝能水準，於生長性能、屠體性狀及生產收益方面表現較佳，顯示其為提升紅羽土雞產業競爭力之可行飼養策略。

## 誌 謝

本試驗期間承農業部畜產試驗所南區分所屏東場區梁桂容小姐及陳接昌先生協助現場飼養管理、振聲冷凍食品股份有限公司及結凰食品有限公司協助雞隻屠宰及分切工作，謹此誌謝。

## 參考文獻

- 臺灣家禽統計手冊。2023。財團法人獸醫畜產發展基金會，臺北市。
- 中華民國國家標準—飼料檢驗法。1986。行政院經濟部標準檢驗局，臺北市。
- 林正鏞、李免蓮、郭曉芸、杜茂聖。2009。鬥雞母適當上市週齡之研究。畜產研究 42：35-45。
- 林義福、劉曉龍、洪哲明、謝昭賢。2010。飼糧中不同代謝能及蛋白質含量對黑羽烏骨雞 8 — 20 週齡生長性狀之影響。畜產研究 39：189-198。
- 徐阿里。1995。臺灣土雞推廣手冊—第二章土雞之營養需要。臺灣省畜產試驗所，臺南，pp. 11-15。
- Aftab, U. 2019. Energy and amino acid requirements of broiler chickens: keeping pace with the genetic progress. World.

- Poult. Sci. J. 75: 507-514.
- Alagawany, M., E. A. Ashour, M. S. El-Kholy, D. E. Abou-Kassem, T. Roshdy, and M. E. Abd El-Hack. 2022. Consequences of varying dietary crude protein and metabolizable energy levels on growth performance, carcass characteristics and biochemical parameters of growing geese. *Anim. Biotechnol.* 33: 638-646.
- Alagawany, M., M. E. Abd El-Hack, E. A. Ashour, A. S. Salah, E. S. O. Hussein, A. Al Alowaimer, A. A. Swelum, and K. Dhama. 2019. Raw faba bean (*Vicia faba*) as an alternative protein source in laying hen diets. *J. Appl. Poult. Res.* 28: 808-817.
- Al-Khalaifah, H. S., S. E. Shahin, A. E. Omar, H. A. Mohammed, H. I. Mahmoud, and D. Ibrahim. 2020. Effects of graded levels of microbial fermented or enzymatically treated dried brewer's grains on growth, digestive and nutrient transporter genes expression and cost effectiveness in broiler chickens. *BMC Vet. Res.* 16: 424.
- Andri, F., N. D. Dono, H. Sasongko, and Z. Zuprizal. 2020. The effects of dietary seaweed inclusion on growth performance of broiler chickens: a systematic review and meta-analysis. *F1000Res.* 9: 1087.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis (17<sup>th</sup> Ed.) Association of Official Analytical Chemists, Washington, D. C.: Association Official Analytical Chemists.
- Applegate, T. J. and R. Angel. 2014. Nutrient requirements of poultry publication: history and need for an update. *J. Appl. Poultry Res.* 23: 567-575.
- Arif, M., M. E. Abd El-Hack, Z. Hayat, S. H. Sohail, M. Saeed, and M. Alagawany. 2017. The beneficial uses of glycerin as an alternative energy source in poultry diets. *World's Poult. Sci. J.* 73: 136-144.
- Ashour, E. A., D. E. Abou-Kassem, M. E. Abd El-Hack, and M. Alagawany. 2020. Effect of dietary protein and TSAA levels on performance, carcass traits, meat composition and some blood components of Egyptian geese during the rearing period. *Animals* 10: 549.
- Brand, T. S., S. F. Viviers, J. van der Merwe, and L. C. Hoffman. 2019. Effect of varying levels of protein concentration on production traits of ostriches (*Struthio camelus var. domesticus*). *SAJAS* 49: 684-696.
- Davail, S., G. Guy, J. Andr' e, D. Hermier, and R. Hoo-Paris. 2000. Metabolism in two breeds of geese with moderate or large over feeding induced liver-steatosis. *Comp. Biochem. Physiol., Part A: Mol. Integr. Physiol.* 126: 91-99.
- Daghir, N., M. Diab-El-Harake, and S. Kharroubi. 2021. Poultry production and its effects on food security in the Game hens Eastern and North African region. *J. Appl. Poult. Res.* 30: 100110.
- Dozier, W. A., A. Corzo, M. T. Kidd, and S. L. Branton. 2007. Dietary apparent metabolizable energy and amino acid density effects on blood metabolites and carcass characteristics of broilers. *Poult. Sci.* 86: 2237-2247.
- El-Hindawy, M. M., M. Alagawany, L. A. Mohamed, J. Soomro, and T. Ayasan. 2021. Influence of dietary protein levels and some cold pressed oil supplementations on productive and reproductive performance and egg quality of laying Japanese quail. *J. Hellenic Vet. Med. Soc.* 72: 3185-3194.
- Ge, X. K., A. A. Wang, Z. X. Ying, L. G. Zhang, W. P. Su, K. Cheng, C. C. Feng, Y. M. Zhou, L. L. Zhang, and T. Wang. 2019. Effects of diets with different energy and bile acids levels on growth performance and lipid metabolism in broilers. *Poult. Sci.* 98: 887-895.
- Gous, R. M., J. P. H. Wessels, and Saunders, A. J. 1973. The influence of dietary energy and protein on feed consumption and growth on broiler breeder pullets. *Agroanimalia* 5: 31-38.
- Helkin, A., J. J. Stein, S. Lin, S. Siddiqui, K.G. Maier, and V. Gahtan. 2016. Dyslipidemia Part 1-Review of Lipid Metabolism and Vascular Cell Physiology *Vasc. Endovasc. Surg.*, 50, pp. 107-118.
- Ibrahim, D., A. Moustafa, S. E. Shahin, W. R. Sherief, K. Abdallah, M. F. Farag, and S. M. Ibrahim. 2021. Impact of fermented or enzymatically fermented dried olive pomace on growth, expression of digestive enzyme and glucose transporter genes, oxidative stability of frozen meat, and economic efficiency of broiler chickens. *Front. Vet. Sci.* 8: 644325.
- Karasawa, Y. 1984. Appearance of infused 15N-ammonia in urinary nitrogenous compounds in chickens fed low and high protein diets. *Jap. J. Zooteck. Sci.* 55: 699-701.
- Liu, S.Y., P. H. Selle, D. Raubenheimer, R. M. Gous, P. V. Chrystal, D. J. Cadogan, S. J. Simpson, and A. J. Cowieson. 2017. Growth performance, nutrient utilisation and carcass composition respond to dietary protein concentrations in broiler chickens but responses are modified by dietary lipid levels. *Br. J. Nutr.* 118: 250-262.
- Liu, S.Y., S. P. Macelline, P. V. Chrystal, and P. H. Selle. 2019. Box-Behnken optimisation of growth performance, plasma

- metabolites and carcass traits as influenced by dietary energy and amino acid levels in broiler chickens. *PLOS ONE* 14: e0213875.
- NRC (National Research Council). 1994. Nutrient requirements of poultry. 9th rev. ed. National Academy Press. Washington, DC.
- OECD/FAO. 2023. OECD-FAO Agricultural Outlook 2023-2032, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/08801ab7-en>.
- SAS. 2013. SAS user guide: Statistics. SAS Inst., Cary, NC.
- Striffler, P., B. Horváth, N. Such, V. Farkas, K. Dublec, and L. Pál. 2023. Effects of Feeding Low Protein Diets with Different Energy-to-Protein Ratios on Performance, Carcass Characteristics, and Nitrogen Excretion of Broilers. *Animals* 13: 1476.

# Effect of different nutrient concentrations on growth performance, economic returns, and carcass characteristics of commercial red-feathered native chickens <sup>(1)</sup>

Chen-Yung Lin <sup>(2)</sup> and Hsiu-Lan Lee <sup>(2)(3)(4)</sup>

Received: Oct. 17, 2025; Accepted: Feb. 23, 2026

## Abstract

An experiment was carried out to compare the effects of different nutrient concentrations on growth performance, economic returns, and carcass characteristics of commercial red-feathered native chickens. Two hundred and eighty-eight healthy commercial red-feathered native chickens at 1-day with similar body weight were used as experimental animals, adopting different nutrient concentrations during different growth phases. The experiment was designed and assigned to four dietary treatments, with each treatment group divided into 22-19-17, 21-19-17, 23-20-18 and 22-20-18 groups, according to the crude protein content during the starter, grower and finisher phases. The corresponding metabolizable energy contents (kcal/kg) for the four dietary treatments during the starter, grower, and finisher phases were 3,106-3,004-2,918, 3,054-3,105-3,158, 3,203-3,204-3,206, and 3,180-3,220-3,250, respectively. Each treatment included four replicates with 18 birds per replicate. The experiment duration was 13 weeks, comprising the same starter (0 - 4 weeks of age), grower (5 - 8 weeks of age) and finisher (9 - 13 weeks of age) diets. At the end of the experiment, chickens were slaughtered at 13 weeks of age. A total of 96 birds (24 from each treatment group) were selected for slaughter. The results showed that live body weight, average daily weight gain and gross profit in the 22-20-18 group were significantly ( $P < 0.05$ ) greater than the other groups, while feed conversion ratio (FCR) was significantly ( $P < 0.05$ ). The findings showed that commercial red – feathered native chickens fed diets containing 22, 20, and 18% crude protein during the starter, grower, and finisher phases, respectively, achieved improved growth performance and economic efficiency. These findings may serve as a reference for future evaluations of nutrient requirements and revisions of feeding standards for commercial red – feathered native chickens.

Key words: Nutrient concentrations, Commercial Red – feathered native chicken, Growth performance.

---

(1) Contribution No. 2848 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

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

(3) Graduate Institute of Bioresources, National Pingtung University of Science and Technology.

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

# 臺灣乳牛熱緊迫脆弱度係數之在地化估算及乳量損失經濟風險評估<sup>(1)</sup>

柯美如<sup>(2)(3)</sup> 陳玗彤<sup>(2)</sup> 陳怡璇<sup>(2)</sup> 蕭振文<sup>(2)</sup> 施意敏<sup>(4)</sup> 涂柏安<sup>(2)(5)</sup>

收件日期：114 年 9 月 10 日；接受日期：115 年 2 月 23 日

## 摘 要

氣候變遷導致極端氣候事件日益頻繁，全球酪農產業面臨嚴重之熱緊迫風險，影響乳牛健康、泌乳表現及牧場經濟效益。臺灣地處亞熱帶，乳牛飼養環境常年高溫高濕，熱緊迫問題尤為嚴峻。本研究針對臺灣氣候條件，建構乳牛熱緊迫與乳量損失關係之本地化模型。研究期間蒐集 2014 年至 2024 年間，臺灣北、中、南及東部共 9 座乳牛牧場之場級日平均乳量資料，並同步取得各牧場所在地區之逐日歷史氣象資料，包括日最高溫濕度指數 (Maximum daily Temperature-Humidity Index,  $THI_{max,d}$ ) 與牛隻每日暴露於超過熱緊迫閾值 ( $THI \geq 70$ ) 之時間比例。結合逐時氣象歷史資料、乳牛日泌乳量與熱緊迫指標，本研究建立臺灣在地化之乳牛熱緊迫風險評估模式，並以最小平方方法 (ordinary least squares, OLS) 估算出乳牛熱緊迫之脆弱度係數 (vulnerability coefficient,  $k = 0.0200$ )。進一步以蒙地卡羅隨機模擬方法，以歷史氣象數據為基礎，模擬未來可能出現極端高溫情境，評估及量化乳牛乳量損失。模擬顯示，臺灣乳牛牧場在熱緊迫情境下，平均每頭每日乳量損失約 2.07 公斤，且在 95% 信賴區間之極端情境下，單日乳量損失可超過 6 公斤，換算經濟損失約為新臺幣 0.59 至 179.49 元 / 頭 / 日。顯示在現行氣候與乳價條件下，熱緊迫已對乳牛生產效益構成顯著經濟風險，所建立之模型與評估結果可作為未來調適政策與補助制度設計之科學依據。

關鍵詞：乳牛熱緊迫、蒙地卡羅模擬、脆弱度係數。

## 緒 言

全球暖化導致氣候變遷日益加劇，極端氣候如熱浪、極端降雨和長期乾旱，造成極端氣候事件發生頻率增加，對酪農業之生產能力及經濟效益構成重大挑戰 (Chang-Fung-Martel *et al.*, 2017)。根據環境部氣候變遷署 (2023) 資料顯示，過去 110 年間，臺灣年平均氣溫上升約 1.6°C，且近 50 年來呈現加速趨勢。Chen *et al.* (2021) 以代表性濃度路徑 (Representative concentration pathways, RCP) 8.5 情境進行氣候模擬預測，至 2060 年，臺灣年均超過 30°C 的高溫日數將大幅增加 2 到 5 倍。另根據農業部 (2023) 統計，臺灣酪農產業主要分布於中南部地區，該區於夏季期間常出現氣溫超過攝氏 35 度的現象，並長時間處於溫濕度指數偏高之條件下，顯示飼養於此地區之乳牛在氣候變遷下，將面臨更嚴峻之熱緊迫風險。

乳牛對環境溫度較為敏感 (Araki *et al.*, 1984)，在眾多氣候因子當中，高溫被認為是對乳牛最具威脅性的環境因子。當乳牛長期暴露在高溫環境且散熱能力不足，導致體溫過高，進而產生熱緊迫，會對其採食量、泌乳量、繁殖能力與整體健康造成負面影響 (Mahamed, 2024)。溫濕度指數 (Temperature-Humidity Index, THI) 為綜合環境溫度和濕度的指標 (NOAA, 1976)。尤其當高溫及高濕度的環境條件同時出現時，更容易造成牛隻熱緊迫，從而導致乳量下降和品質降低 (Hill and Wall, 2015)。研究顯示，乳牛對於濕熱環境極為敏感，當日濕球溫度超過 26°C 時，每增加 1 小時的暴露即可使當日乳量再下降約 0.5%，極端高溫事件更導致乳量即刻減少 10% 的產量，且其負面影響可延續逾 10 天，即便使用風扇與水霧等降溫設施亦僅能緩解部分負面效果。此結果更凸顯了酪農業在氣候暖化與極端

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2849 號。  
(2) 農業部畜產試驗所北區分所。  
(3) 國家災害防救科技中心。  
(4) 農業部畜產試驗所技術服務組。  
(5) 通訊作者，E-mail: tpa@mail.tlri.gov.tw。

熱浪的頻率增加時，所面臨之產能與韌性挑戰 (Palandri *et al.*, 2025)。除此之外，乳量損失的幅度亦因氣候帶而異。在溫帶地區，例如英國過去 40 年平均每年僅約 1 日出現 THI 超過乳牛熱緊迫閾值的情況，但於 2003 與 2006 年熱浪事件發生期間，中南部地區則達到 5 日以上，部分牧場乳量顯著下降 (Dunn *et al.*, 2014)。Fodor *et al.* (2018) 推估於 2090 年英格蘭東南部年乳量損失可超過 170 公斤 / 頭，極端年份的情況下，其年乳量損失甚至接近 600 公斤 / 頭。相較之下，亞熱帶與熱帶地區乳牛面臨更嚴重的挑戰，研究指出在高溫高濕條件下，產乳量每日可下降 3 – 6 公斤，於熱浪期間甚至超過 8 公斤，且損失幅度通常比溫帶乳牛高出 1.5 – 2 倍 (Habimana *et al.*, 2023)，此結果顯示隨著全球暖化，乳牛的脆弱性將隨地理位置而有顯著差異，尤其亞熱帶與熱帶乳業需強化調適措施。此外，研究指出，熱緊迫下乳量的下降並非單純由採食量減少所致，即使在等量採食條件下，泌乳量仍顯著下降，表示代謝調控與內分泌重分配為熱緊迫影響泌乳量的關鍵 (Rhoads *et al.*, 2009; Wheelock *et al.*, 2010)。

基於上述研究，現行乳牛熱緊迫衝擊評估指標以溫度與濕度估算的 THI 為主，在高濕高輻射的亞熱帶環境亦有學者主張採用納入風速與輻射的綜合氣候指數 (如 CCI) 或熱負荷指數 (Heat load index, HLI) 作為補充 (Gaughan *et al.*, 2008; Mader *et al.*, 2010)。熱緊迫對乳牛生產系統帶來顯著經濟衝擊，St-Pierre *et al.* (2003) 估算，美國每年因熱緊迫導致之畜牧業經濟損失約為新臺幣 51.9 – 61 億元，其中以乳品產業受影響最大。對於臺灣而言，若能建立量化預測高溫事件下乳量減產與經濟損失的模型，將有助於強化政府在農業補助設計、氣候風險保險及畜牧場調適策略制訂上的科學決策基礎。

儘管國際間已有多項針對乳牛熱緊迫之氣候指標與產量損失模型的研究，並廣泛應用於熱緊迫風險評估與畜產管理建議中，然而這些模型大多建立於溫帶地區的氣候與飼養條件，其經驗參數未必適用於臺灣潮濕且長期高溫的亞熱帶環境。在熱緊迫閾值設定方面，隨著乳牛泌乳量提升，乳牛對熱的敏感性增加。Ekine-Dzivenu *et al.* (2020) 以撒哈拉以南非洲之小型乳牛牧場為研究對象，發現高產荷蘭牛於部分熱帶與亞熱帶環境中，其產乳量受熱緊迫之反應具有提前的現象，建議將 THI 閾值下修至約 68；該研究亦指出，不同地區因氣候乾濕特性、飼養方式與管理條件不同，乳牛對熱緊迫之敏感程度與適用之 THI 閾值存在明顯差異。臺灣針對乳牛熱緊迫所致乳量損失進行量化分析，並調整評估公式之相關研究仍相對有限；特別是結合實際乳牛泌乳資料與氣象觀測資料，所進行經驗模型之在地化修正的文獻更為稀少。因此，本研究擬以臺灣地區乳牛牧場之生產與氣象實測資料為基礎，修正國際既有熱緊迫評估模型中之脆弱度參數，建立更貼近本地氣候與乳牛生理特性的在地化評估工具，期能提供乳牛產業更具科學依據之熱緊迫風險管理與氣候調適決策參考。

## 材料與方法

### I. 研究資料來源與數據收集方式

為建構適合臺灣乳牛牧場熱緊迫經濟影響評估的在地化模型，首先於 2014 至 2024 年期間，從臺灣北部 1 場、中部 2 場、南部 5 場及東部 1 場共計 9 場具代表性乳牛牧場收集每日泌乳牛群場級之日平均乳量 (kg/cow/day)，同時自中央氣象署所屬測站取得各牧場鄰近區域的逐時氣象歷史資料，包括每日逐時溫度 (T, °C) 及相對濕度 (RH, %)。經資料前處理與品質檢核後，納入分析之有效觀測資料項目包括：每日場級平均泌乳量 (kg/cow/day)、逐時環境溫度 (°C / h) 與相對濕度 (%/h)，並依逐時氣象資料計算日最高溫濕度指數 (THI<sub>max,d</sub>)、熱負荷幅度 (ΔTHI) 及熱緊迫暴露比例 (D)。最終共取得 3,753 頭泌乳牛之日級有效觀測資料 (指平均泌乳量)，作為後續分析之基礎資料集。

### II. 溫濕度指數計算與閾值設定

乳牛之熱緊迫衝擊指標以溫濕度指數表示。本研究採用 NOAA (1976) 所提出之公式計算每日 THI，如下所示：

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

其中 T 為日逐時溫度 (°C)，RH 為該時段相對濕度 (%)。

每日取該日最高逐時 THI 值，定義為日最高溫濕度指數 (THI<sub>max,d</sub>)。根據臺灣亞熱帶氣候條件與相關研究經驗，Tu *et al.* (2025) 以臺灣實際飼養環境為背景，分析不同 THI 水準下泌乳牛之產乳表現與生理反應，結果顯示當 THI 超過約 70 後，乳量下降、呼吸速率與直腸溫度等熱緊迫指標均出現明顯變化，顯示 THI = 70 可合理作為乳牛開始受到顯著熱緊迫影響之臨界點。考量本研究使用之資料亦來自臺灣商業乳牛牧場，故設定 THI = 70 為熱緊迫評估之閾值，作為泌乳牛群開始顯著受到熱緊迫影響而導致泌乳量損失之分界點，以確保評估結果具在地適用性。

### III. 資料前處理與乳量損失估算

為建立適合臺灣情境的熱緊迫損失模型，研究進一步將日級資料轉換為下述變數：

(i) 熱負荷幅度 ( $\Delta\text{THI}_d$ )：

日最高 THI 超過 THI 閾值之差異，定義為：

$$\Delta\text{THI}_d = \text{THI}_{\max, d} - \text{THI}_{\text{thr}}$$

其計算方式係依據 St-Pierre *et al.* (2003) 所提出之乳牛熱緊迫評估模型。

(ii) 暴露比例 ( $D_d$ )：

計算當日 THI 超過閾值 ( $\text{THI} > 70$ ) 的時數佔全天 24 小時的比例，以表示當日乳牛群遭受熱緊迫影響的時間比例。

(iii) 乳量損失 ( $L_d$ )：

本研究乃旨在探討熱緊迫對產乳量之影響，因此每一牧場均使用最不受熱緊迫影響之冬期 (每年 12 月至翌年 3 月) 的日平均乳量做為基礎乳量值，計算該場熱緊迫期間日平均乳量相對於基礎乳量值的差值，做為熱緊迫乳量損失 ( $\text{kg}/\text{cow}/\text{day}$ )。

### IV. 模型建立與脆弱度係數估算

採用 St-Pierre *et al.* (2003) 所提出的二次熱緊迫模型之理論架構，並以最小平方方法 (Ordinary least squares, OLS) 估計臺灣乳牛熱緊迫之脆弱度係數 ( $k$ )。模型公式為：

$$L_d = k \times X_d + \varepsilon_d, \text{ 其中 } X_d = (\Delta\text{THI}_d)^2 \times D_d$$

以 OLS 無截距迴歸方式，估計係數  $k$  表示臺灣乳牛每增加一單位熱負荷指數 ( $X_d$ )，所造成的平均乳量損失 ( $L_d$ ;  $\text{kg}/\text{cow}/\text{day}$ )。模型之適配度及解釋力以調整後決定係數  $R^2_{\text{adj}}$  (Adjusted  $R^2$ ) 評估，預測誤差則以均方根誤差 (Root-mean-square error, RMSE) 呈現。

### V. 模型適配性評估

為驗證模型之穩定性與有效性，透過以下四個視覺化診斷圖 (Diagnostic plots) 進行模型診斷與適配性驗證：

- (i) 觀測點與迴歸線圖：熱負荷指標  $X = (\text{THI}_{\max, d} - \text{THI}_{\text{thr}})^2 \times D$ 。將模型預測線與實際觀測點共同繪製，觀察觀測點是否沿迴歸線均勻分布，藉此初步確認模型設定之線性假設是否成立，並目視觀察潛在的異常值或資料趨勢。
- (ii) 殘差 (Residuals) 與擬合值 (Fitted values) 圖：評估模型殘差之線性假設與同質性 (Homoscedasticity)，特別檢視殘差是否存在異質變異數 (Heteroscedasticity) 現象或有明顯的非線性趨勢或特定結構存在。
- (iii) 常態 Q-Q 圖 (Normal Q-Q plot)：以殘差之樣本分位數 (Sample quantiles) 對應理論常態分位數 (Theoretical normal quantiles)，用以檢定殘差分布是否符合常態性 (Normality)。
- (iv) 乳量損失對  $\text{THI}_{\max, d}$  圖 (Milk-loss vs.  $\text{THI}_{\max, d}$  plot)：此圖顯示以每日最高溫濕度指數與每日實際觀測之乳量損失 (Milk loss) 之關係，並計算局部迴歸平滑曲線 (Locally estimated scatterplot smoothing, LOESS)，以視覺化呈現乳牛群乳量損失與實際環境熱強度之非線性關係，並提供決策者更具體的環境指標參考依據，評估極端熱負荷日對乳量的影響程度與非線性效應。

### VI. 蒙地卡羅乳量損失風險模擬分析

為評估未來氣候不確定性與熱負荷波動所造成的乳量損失風險，採用蒙地卡羅隨機模擬法，進行 1,000 次隨機抽樣模擬，熱負荷幅度隨機抽樣根據農業氣象歷史資料所估算之熱負荷幅度均值與標準差，以截斷常態分布 (Truncated normal distribution) 隨機抽取每日熱負荷幅度 ( $\Delta\text{THI}^*$ )： $\Delta\text{THI}^* \sim \max\{0, N(\mu_{\Delta\text{THI}}, \sigma_{\Delta\text{THI}}^2)\}$ 。暴露比例隨機抽樣根據歷史暴露比例 ( $D_d$ ) 之經驗分布 (Empirical distribution) 隨機抽樣暴露比例 ( $D^*$ )，以反映實務上暴露時間的隨機波動。模擬結果進一步彙整為乳量損失之機率分布，計算平均乳量損失、標準差及 95% 信賴區間 (Confidence interval, CI)，提供管理者與決策者氣候風險的量化依據。

## 結 果

為建立臺灣地區乳牛熱緊迫經濟風險評估之在地化模型，本研究整合實際乳牛泌乳資料與氣象觀測資料，量化熱負荷對乳量之衝擊程度，並進一步推估乳牛熱緊迫脆弱度係數 ( $k$  值)，作為衡量敏感性的重要指標。本研究選定溫濕度指數作為評估乳牛熱緊迫程度的衡量指標，並以  $\text{THI} = 70$  作為閾值基準，進一步分析乳牛在不同熱負荷幅度

( $\Delta\text{THI}_d$ ) 與暴露比例 ( $D_d$ ) 條件下之乳量變化。

#### I. 資料基本統計描述

蒐集 2012 – 2024 年間臺灣北、中、南、東部 9 座乳牛牧場，總計有 3,753 頭牛之有效逐日觀測資料。在本研究設定之 THI 閾值 70 以上之有效觀測資料進行分析。熱負荷幅度 ( $\Delta\text{THI}_d$ ) 平均值為 8.94，標準差為 3.80；暴露比例 ( $D_d$ ) 平均值為 0.73 (約每日 17.5 小時)，標準差為 0.28；每日乳量損失 ( $L_d$ ) 平均為 2.54 kg/cow/day，標準差為 2.66，最大值超過 10 kg/cow/day (表 1)，顯示熱緊迫對乳量之顯著負面影響。

表 1. 熱緊迫條件下之乳牛熱負荷指標、暴露比例與每日乳量損失之基本統計描述

Table 1. Descriptive statistics of heat load, exposure, and daily milk loss under heat stress conditions

|                      | mean  | standard deviation | mini-mum | median | maximum |
|----------------------|-------|--------------------|----------|--------|---------|
| $\Delta\text{THI}_d$ | 10.41 | 4.98               | 0.06     | 11.33  | 19.54   |
| $D_d$                | 0.77  | 0.32               | 0.04     | 1      | 1       |
| Exposure hours/day   | 18.52 | 7.71               | 1.01     | 24     | 24      |
| $L_d$                | 3.4   | 2.39               | 0        | 3.18   | 11.03   |

This table summarizes the descriptive statistics of valid daily observations recorded under heat stress conditions, defined as days with a temperature–humidity index (THI)  $\geq 70$ .

$\Delta\text{THI}_d$  represents the magnitude by which the daily maximum THI exceeds the threshold.

$D_d$  denotes the proportion of the day during which cows were exposed to heat stress conditions.

Exposure hours/day were calculated as  $D_d \times 24$ .

$L_d$  indicates the daily milk loss per cow (kg/cow/day). Values are presented as the mean, standard deviation, minimum, median, and maximum.

#### II. 臺灣乳牛熱緊迫脆弱度本土係數之估算結果

如圖 1 所示，乳牛每日乳量損失與熱負荷呈現線性增加趨勢，點群分布清晰且趨勢明確，回歸線良好貼合資料點。估算臺灣乳牛熱緊迫脆弱度本土係數  $k$  為 0.0200。模型解釋力 (Adjusted  $R^2$ ) 為 61.2%，顯示本研究所定義之熱負荷指標能有效解釋臺灣乳牛群熱緊迫下約六成的乳量損失變異；模型之 RMSE 為 2.59 kg/cow/day (圖 1)。

#### III. 統計模型適配性評估

以視覺化診斷圖進行統計模型假設驗證，共進行 4 項圖表分析，結果描述如下：

##### (i) 觀測點與迴歸線圖

熱負荷指標 ( $X$ ) 與每日乳量損失之散點圖如圖 1 所示，多數觀測點集中於較低至中等熱負荷範圍，但存在一定程度的變異與分散情形；在較高熱負荷範圍，乳量損失明顯隨值增加而提高，點群趨勢清晰呈現線性分布，迴歸線可良好地貼合資料點趨勢，顯示本模型線性假設成立。

##### (ii) 殘差 (Residuals) 與擬合值 (Fitted values) 圖

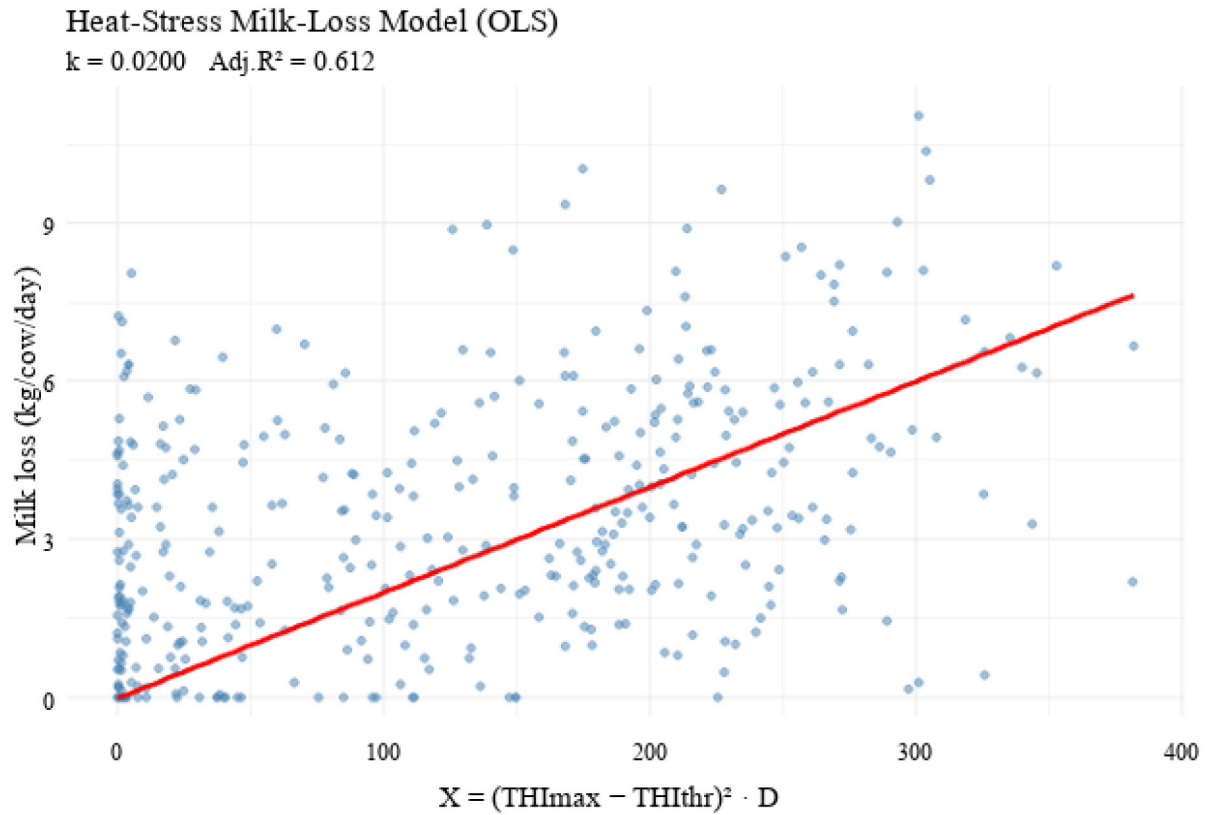
模型殘差診斷結果顯示 (圖 2A)，殘差與擬合值散點圖中，隨著預測值 (乳量損失) 增加，殘差變異幅度逐漸縮小，且部分殘差集中於特定擬合值範圍，顯示模型可能存在異質變異數，未完全符合變異同質性假設。惟由常態 Q-Q 圖可見，多數點位大致落於對角線附近，表示殘差整體近似常態分布。整體而言，本模型殘差常態性尚可接受，但變異同質性仍有待進一步檢視。

##### (iii) 常態 Q-Q 圖 (Normal Q-Q plot)

殘差之常態 Q-Q 圖顯示 (圖 2B)，大部分資料點位於理論常態分位數直線附近，僅在兩端存在些微偏離常態分布假設，顯示殘差近似常態。此現象程度輕微且大樣本下並不顯著影響模型係數之估計精度。

##### (iv) 乳量損失對 $\text{THI}_{\max, d}$ 散點圖與 LOESS 平滑曲線

當  $\text{THI}_{\max, d}$  位於 70 – 78 區間時，乳量損失緩慢增加；當  $\text{THI}_{\max, d}$  超過約 80 後，乳量損失急劇升高，明顯呈現非線性且快速增加趨勢。此結果亦證實研究 THI 閾值設定 ( $\text{THI} = 70$ ) 及熱負荷對乳量之非線性影響明確存在 (圖 3)，顯示高 THI 環境對乳牛泌乳表現造成顯著負面衝擊。



$$\Delta THI_d = THI_{max,d} - THI_{thr}$$

I  
 圖 1. 熱緊迫指標  $X = (THI_{max,d} - THI_{thr})^2 \times D$  與乳量損失 (kg/cow/day) 之散點圖。觀測點為 2014 – 2024 年間臺灣 9 座乳牛場每日觀測值，直線為以最小平方法 (OLS) 建立之線性回歸線。

Fig. 1. Scatter plot showing the linear relationship between heat-load index  $X = (THI_{max,d} - THI_{thr})^2 \times D$  and daily milk loss (kg/cow/day). Each point represents a daily observation collected from 8 representative dairy farms in Taiwan between 2014 and 2024. The line indicates the ordinary least squares (OLS) regression line fitted to the data. The scatter plot illustrates a clear linear trend between increasing heat load and milk loss, with higher heat load values corresponding to more milk loss. The linear assumption is well supported (coefficient  $k = 0.0200$ , Adjusted  $R^2 = 0.612$ ), validating the model's applicability for heat-stress impact assessment.

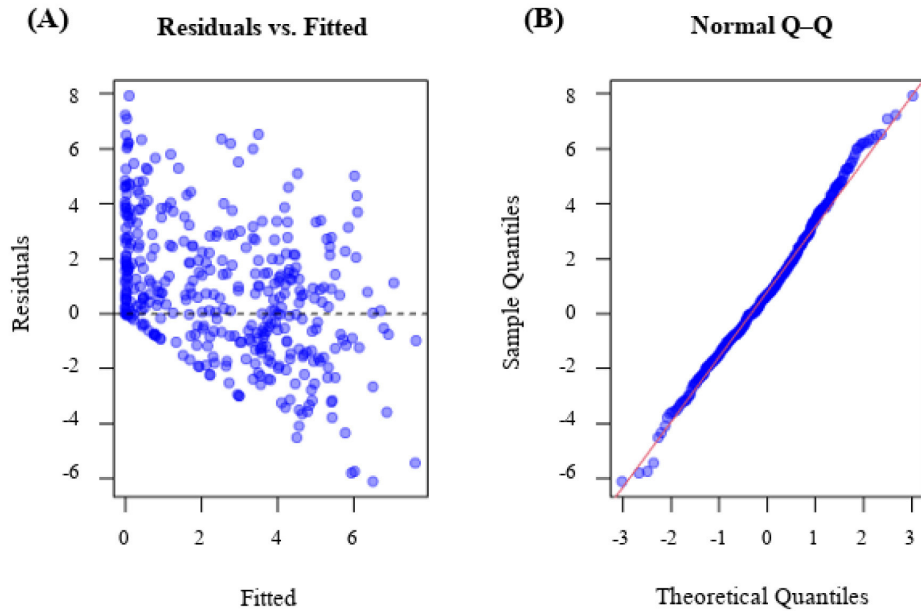


圖 2. (A) 線性迴歸模型之殘差診斷圖。為殘差與擬合值的關係圖，用以檢視殘差是否呈現隨機分布，以確認變異數同質性 (Homoscedasticity) 及線性假設是否成立檢定。(B) 常態 Q-Q 圖，用以比較模型殘差分布與理論常態分布是否一致。若資料點大致沿著對角線分布，表示殘差近似常態分布，因此可支持模型殘差符合常態性假設。

Fig. 2. Diagnostic plots for evaluating assumptions of the linear regression model. The (A) panel shows the residuals versus fitted values, which is used to assess whether residuals are randomly distributed and whether homoscedasticity and linearity assumptions hold. In this plot, residuals show mild heteroscedasticity, suggesting potential variance inequality at certain fitted values. The (B) panel displays the Normal Q-Q plot, which compares the distribution of residuals with the theoretical normal distribution. Points closely aligned along the diagonal line indicate that the residuals follow a normal distribution, thus supporting the normality assumption.

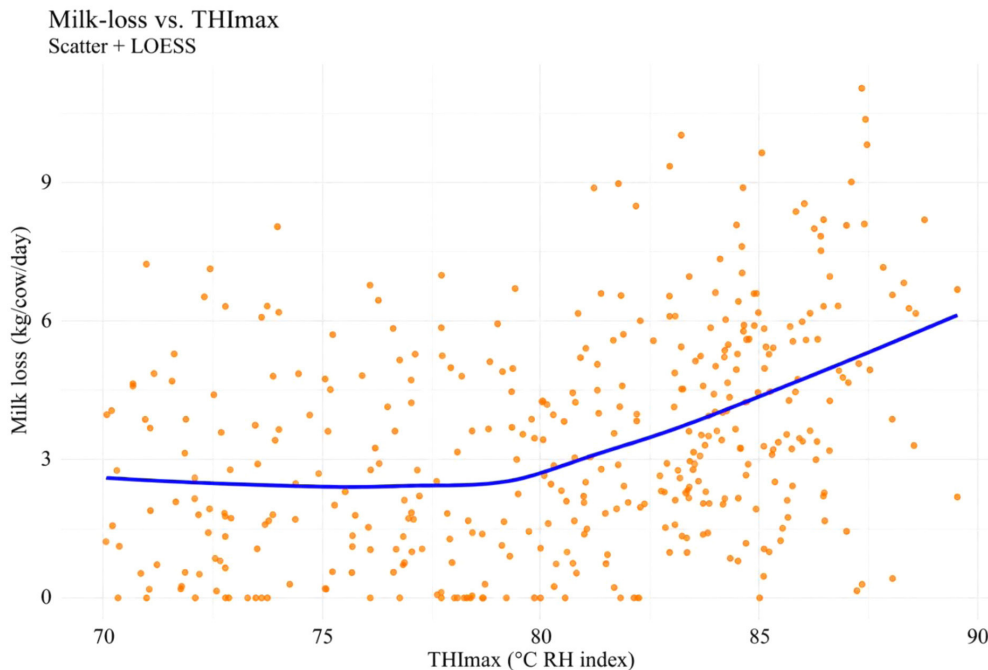


圖 3. 乳量損失與日最高溫濕指數 ( $THI_{max, d}$ ) 之關係圖。圖中各點代表每日實際觀測之乳量損失值 (kg/cow/day)，實線為局部加權迴歸平滑線 (Locally estimated scatterplot smoothing, LOESS)。

Fig. 3. Relationship between daily milk loss (kg/cow/day) and maximum daily Temperature-Humidity Index  $THI_{max, d}$ . Orange dots represent observed daily milk losses, while the blue line shows the LOESS smoothed trend. The plot illustrates a nonlinear relationship: milk loss remains relatively stable when is below 75, but increases significantly once exceeds 80.

#### IV. 蒙地卡羅乳量損失風險模擬分析結果

為評估乳量損失於實際氣候變動下的日級變動與經濟風險，以蒙地卡羅隨機模擬法進行乳量損失風險評估，總計進行 1,000 次隨機模擬試算，結果顯示每日平均乳量損失為 2.07 kg/cow/day，乳量損失之標準差為 1.71，乳量損失之 95% 信賴區間範圍介於 0.02 至 6.13 kg/cow/day 之間。

模擬結果表示，於現行臺灣牧場經營情境及季節性熱緊迫環境下，乳牛受熱緊迫影響所造成的每日平均乳量損失約為 2 kg/cow/day，並且在 5% 極端情境下，損失可能達到 6 kg/cow/day 以上，顯示出熱緊迫所帶來的乳牛乳量損失之顯著經濟風險 ( $P < 0.05$ )。

#### V. 乳量損失導致經濟損失

根據農業部現行生乳參考收購價格採冬、暖、夏三段式計價，以乳脂率及無脂固形物 (solids not fat, SNF) 為計價基準，根據 2024 年臺灣乳價，各期均價為冬期 (12 至 3 月) 21.79 元 / 公斤、暖期 (4、5、10 及 11 月) 27.28 元 / 公斤及夏期 (6 至 9 月) 29.28 元 / 公斤。本研究之乳量經濟損失係以模型估計之每日乳量損失 (公斤 / 頭 / 日)，乘以熱緊迫最嚴重之夏期的生乳參考收購價格 (元 / 公斤) 計算而得，以反映熱緊迫對乳量下降實際經濟影響。模擬結果顯示，在夏期高溫條件下，乳牛因熱緊迫造成之乳量經濟損失平均為 60.61 元 / 頭 / 日 (2.07 公斤 29.28 元)。在 95% 信賴區間的範圍下，一日損失最高可達 179.49 元 / 頭 / 日以上 (6.13 公斤 29.28 元)，即便在熱緊迫影響極小的模擬條件下，乳量損失所導致的每日經濟損失仍為約 0.59 元 / 頭 / 日 (0.02 公斤 29.28 元)。

## 討 論

本研究以  $THI = 70$  為閾值，估算出我國乳牛熱緊迫脆弱度係數  $k = 0.0200$ ，顯示在亞熱帶潮濕氣候條件下，乳牛對熱緊迫具有中等敏感性。與國際研究比較可發現，熱帶及亞熱帶地區的結果與本研究相近，並於  $THI > 80$  後乳量損失呈現加速的非線性反應。研究以濕球溫度評估熱暴露的持續效應，結果顯示極端高溫造成的乳量下降可持續超過 10 天 (Palandri *et al.*, 2025)。若我國未來改採含風速與太陽輻射的綜合指標 (如  $CCI/HLI$ ) 估算熱負荷，因  $CCI/HLI$  將輻射熱與風速納入指標內一起評估，能直接反映太陽輻射所造成之額外熱吸收，以及風速不足時對牛隻對流與蒸發散熱效率之限制，可更完整呈現牛隻實際承受之熱負荷，因此在高濕高輻射的環境下，乳損與經濟損失可能出現較本研究增加的結果 (Gaughan *et al.*, 2008; Mader *et al.*, 2010)。另一方面，研究顯示採食量下降僅佔熱緊迫乳量損失原因的一部分，其餘來自代謝與內分泌的重分配與乳腺合成的抑制作用 (Rhoads *et al.*, 2009; Wheelock *et al.*, 2010)，這可合理化本研究在高  $THI$  區段觀察到的乳損陡升。除泌乳量降低外，熱緊迫亦常伴隨乳品質下降與體細胞數升高的情況，且繁殖能力顯著降低 (Schüller *et al.*, 2014; Becker *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2024)，表示以乳量預估熱緊迫所導致之經濟損失僅為保守估計。

Mbuthia *et al.* (2021) 於肯亞的分析顯示  $THI$  閾值為 69，每 1 個  $THI$  單位的乳量損失介於 0.25 至 0.47 kg/day，與本研究換算後的約 0.32 kg/day 接近，反映熱帶與亞熱帶地區乳牛具有相似的熱緊迫反應模式 (Mbuthia *et al.*, 2021)。Amamou *et al.* (2022) 在突尼西亞地中海氣候下的研究則顯示，經產乳牛每  $THI$  單位損失約 0.135 kg/day，且  $THI$  閾值介於 65 – 67，其結果與其他文獻相比較低，可能反映當地氣候較為涼爽與乳牛品種適應性。在溫帶地區，Bernabucci *et al.* (2014) 以乳量開始明顯下降之後的中高  $THI$  值區間 (約  $THI \geq 73$ ) 估算義大利乳牛泌乳量損失率，發現每增加 1 個  $THI$  單位將有 0.90 至 1.27 kg/day 的泌乳量損失，顯著高於熱帶地區，顯示溫帶乳牛對高溫耐受性較低。Bohmanova *et al.* (2007) 則於美國喬治亞州觀察到  $THI$  超過 72 時，每增加 1 個  $THI$  單位會導致初產乳牛泌乳量損失約 0.39 kg/day，其損失量介於熱帶與歐洲溫帶的評估結果之間。Arias *et al.* (2024) 同樣採用 St-Pierre *et al.* (2003) 的乳量損失模型，在智利八個產乳區以  $THI$  閾值 65 進行評估，估計夏季每頭牛經濟損失為新臺幣 2,745 – 5,526 元，全年國家損失為新臺幣 870 – 3,250 萬元。該研究顯示，若使用包含太陽輻射與風速修正的  $THI$  指標，乳量損失估計將比原本僅以溫濕度評估的結果高 2.0 – 6.4 倍，顯示氣候要素的多維影響不可忽視。臺灣為海島型氣候，未來相關研究評估可納入風速與輻射資料，以捕捉實際熱負荷。本研究採用  $THI = 70$  作為閾值，此設定與熱帶的肯亞 ( $THI = 69$ ) 接近 (Mbuthia *et al.*, 2021)，高於突尼西亞 ( $THI = 65 - 67$ ) 與智利 ( $THI = 65$ ) (Amamou *et al.*, 2022; Arias *et al.*, 2024)，低於傳統溫帶地區所採用的  $THI$  閾值 72 (St-Pierre *et al.*, 2003)。本研究採用 LOESS 分析顯示  $THI$  超過 80 後乳量損失急遽上升，此觀察與國際上對嚴重熱緊迫閾值的認知一致。

根據農業部 (2024) 農業統計指標資料顯示，產乳牛在養頭數為 59,259 頭，結合研究估算所得之脆弱度係數 ( $k = 0.0200$ ) 進行推估，結果顯示在夏季高溫情境下，平均每頭產乳牛每日之乳量損失約為 2.07 公斤，若以國內夏

季收購乳價每公斤 29.28 元計算，並以夏季期間約 122 天進行年化推估，則全臺產乳牛因熱緊迫所導致之年總乳量損失約為新臺幣 4.4 億元。以美國為例，St-Pierre *et al.* (2003) 估算一年中 THI 超過熱緊迫閾值的日數計算年度乳量損失，最後乘以當年度乳價換算為經濟損失，估計年度損失為新臺幣 27.27 億元。智利的損失經年化換算後為新臺幣 17.4 – 65.1 億元，考量到智利的乳牛養殖數量約為我國的 1.5 倍 (Arias *et al.*, 2024)，我國的年度損失金額，在相對規模上是合理的，甚至可能偏向保守估計；而突尼西亞因乳價與氣候條件與臺灣不同，因此損失較低 (Amamou *et al.*, 2022)。結果顯示，現行氣候與乳價條件下，熱緊迫所導致之乳量損失已展現具統計顯著性之經濟風險，顯示其為影響乳牛生產效益之重要氣候因子。

在熱帶與溫帶不同地區，熱緊迫對乳牛生產及經濟影響差異顯著。國際經驗顯示，熱緊迫風險將隨氣候變遷增加。VanderZaag *et al.* (2023) 指出，即使在加拿大等涼爽地區，熱緊迫天數亦呈上升趨勢。Key *et al.* (2014) 預測至 2030 年美國乳業產量損失將增加 0.60 – 1.35%。印度北方平原地區在 RCP4.5 情境下，若未採取調適行動，2021 – 2040 年間年均乳量損失可達 34 – 63 萬公噸，造成每年約新臺幣 47 – 82 億元損失；即便單位產量提升，若無同步強化調適策略，損失仍可達新臺幣 84.4 億元 (Choudhary and Sirohi, 2022)。英國英格蘭西南地區因乳牛密度高，在未採取緩解措施情況下，本世紀末年收入損失預估為新臺幣 5.6 億元，極端情況可達新臺幣 14.1 億元 (Fodor *et al.*, 2018)。南非半乾旱地區在日最高溫超過 25°C 時乳量顯著下降，夏季高溫情境下每日每頭損失約 0.35 公升，換算年經濟損失約新臺幣 10 億元 (Ogundeji *et al.*, 2021)。本研究為提升模型在地適用性，沿用 St-Pierre *et al.* (2003) 模型理論結構，並以國內牧場的實測資料重新估算  $k$  值。與智利研究相比，本研究更聚焦於脆弱度係數的精確估算與蒙地卡羅模擬的不確定性量化，而智利則著重不同熱指標比較 (Arias *et al.*, 2024)。蒙地卡羅模擬可提供乳量損失的機率分布與極端值，對政策與保險設計尤為重要。

## 結 論

本研究使用臺灣乳牛牧場實際場級日資料，透過 St-Pierre *et al.* (2003) 所提出的二次熱緊迫乳量損失模型框架，估算出臺灣乳牛熱緊迫之在地化脆弱度係數 ( $k = 0.0200$ )。本模型能有效解釋乳量損失之 61% 變異，且經診斷分析確認模型線性與常態性假設符合，但於低度熱緊迫下存在異質變異數現象。進一步透過蒙地卡羅模擬分析顯示，氣候熱緊迫對乳量損失有顯著影響，特別在  $THI_{max, d}$  超過約 80 之極端氣候條件下，乳牛乳量損失呈加速增加趨勢，帶來每日高達 6 kg/cow/day 以上之顯著經濟損失風險。整體而言，本研究成功建立一套結合實測資料與模擬推估之乳牛熱緊迫經濟損失評估架構，不僅具實證基礎，結果亦展現與國際研究相符之可比性，所建模型與結果可作為政府推動調適政策、氣候補貼與風險預警系統建置之科學依據。未來建議擴大涵蓋不同飼養型態與管理策略，進一步評估乳牛產業在不同氣候情境下之經濟脆弱度，以提升臺灣酪農業整體之氣候韌性與永續發展能力。

## 參考文獻

- 環境部氣候變遷署。2023。國家氣候變遷調適行動計畫。行政院環境部。<https://www.climatechange.tw/>。
- 農業部。2023。112 年農業統計年報。行政院農業部。<https://www.moa.gov.tw/>。
- 農業部。2025。畜禽統計調查結果 (114 年 1 季)。行政院農業部。<https://www.moa.gov.tw/>。
- Amamou, H., M. Mahouachi, L. M. Dale, Y. Beckers, and H. Hammami. 2022. Vulnerability assessments in dairy cattle farms based on individual sensitivity to heat stress. *Int. J. Biometeorol.* 66: 1403-1414.
- Araki, C. T., R. M. Nakamura, L. W. G. Kam, and N. Clarke. 1984. Effect of lactation on diurnal temperature patterns of dairy cattle in hot environments. *J. Dairy Sci.* 67: 1350-1356.
- Arias, R. A., J. P. Keim, R. Pinto, and E. Bombal. 2024. Estimation of the economic impact of heat stress on the Chilean dairy regions by using two comfort thermal indices. *Int. J. Biometeorol.* 68: 1823-1836.
- Becker, C. A., R. J. Collier, and A. E. Stone. 2020. Invited review: Physiological and behavioral effects of heat stress in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 103: 6751-6770.
- Bernabucci, U., S. Biffani, L. Buggiotti, A. Vitali, N. Lacetera, and A. Nardone. 2014. The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 97: 471-486.
- Bohmanova, J., I. Misztal, and J. B. Cole. 2007. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *J. Dairy Sci.* 90: 1947-1956.

- Chang-Fung-Martel, J., M. T. Harrison, R. P. Rawnsley, A. P. Smith, and H. Meinke. 2017. The impact of extreme climate events on pasture-based dairy systems: A review. *Crop. Pasture Sci.* 68: 1158-1176.
- Chen, C. C., Y. R. Wang., Y. C. Wang, S. L. Lin, C. T. Chen, M. M. Lu, and Y. L. L. Guo. 2021. Projection of future temperature extremes, related mortality, and adaptation due to climate and population changes in Taiwan. *Sci. Total Environ.* 760: 143373.
- Chen, L., V. M. Thorup, A. B. Kudahl, and S. Østergaard. 2024. Effects of heat stress on feed intake, milk yield, milk composition, and feed efficiency in dairy cows: A meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 107: 3207-3218.
- Choudhary, B. B. and S. Sirohi. 2022. Understanding vulnerability of agricultural production system to climatic stressors in North Indian Plains: a meso-analysis. *Environ. Dev. Sustain.* 24: 13522-13541.
- Dunn, R. J. H., N. E. Mead, K. M. Willett, and D. E. Parker. 2014. Analysis of heat stress in UK dairy cattle and impact on milk yields. *Environ. Res. Lett.* 9: 064006.
- Fodor, N., A. Foskolos, C. F. E. Topp, J. M. Moorby, L. Pásztor, and C. H. Foyer. 2018. Spatially explicit estimation of heat stress-related impacts of climate change on the milk production of dairy cows in the United Kingdom. *PLoS One* 13: e0197076.
- Gaughan, J. B., T. L. Mader, S. M. Holt, and A. Lisle. 2008. A new heat load index for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 86: 226-234.
- Habimana, V., A. S. Nguluma, Z. C. Nziku, C. C. Ekine-Dzivenu, G. Morota, R. Mrode, and S. W. Chenyambuga. 2023. Heat stress effects on milk yield traits and metabolites and mitigation strategies for dairy cattle breeds reared in tropical and sub-tropical countries. *Front. Vet. Sci.* 10: 1121499.
- Hill, D. L. and E. Wall. 2015. Dairy cattle in a temperate climate: The effects of weather on milk yield and composition depend on management. *Animal* 9: 138-149.
- Key, N., S. Sneeringer, and D. Marquardt. 2014. Climate change, heat stress, and US dairy production. Economic Research Report No. 175. Washington, DC: United States Department of Agriculture, Economic Research Service (USDA-ERS).
- Mader, T. L., L. J. Johnson, and J. B. Gaughan. 2010. A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. *J. Anim. Sci.* 88: 2153-2165. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2586>.
- Mbuthia, J. M., M. Mayer, and N. Reinsch. 2021. Modeling heat stress effects on dairy cattle milk production in a tropical environment using test-day records and random regression models. *Animal* 15: 100222.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 1976. Livestock hot weather stress. U.S. Department of Commerce. NOAA Technical Report.
- Ogundeji, A. A., H. Lakew, W. Tesfahuney, and W. Lombard. 2021. Influence of heat stress on milk production and its financial implications in semi-arid areas of South Africa. *J. Arid. Environ.* 211: 104942.
- Palandri, C., E. G. Frank, A. Kimhi, Y. Lavon, E. Ezra, and R. Fishman. High-frequency data reveal limits of adaptation to heat in animal agriculture. 2025. *Sci. Adv.* 11: 4780.
- Rhoads, M. L., R. P. Rhoads, M. J. VanBaale, R. J. Collier, S. R. Sanders, W. J. Weber, B. A. Crooker, and L. H. Baumgard. 2009. Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *J. Dairy Sci.* 92: 1986-1997.
- Schüller, L. K., O. Burfeind, and W. Heuwieser. 2014. Impact of heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature-humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices. *Theriogenology* 81: 1050-1057.
- St-Pierre, N. R., B. Cobanov, and G. Schnitkey. 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *J. Dairy Sci.* 86: 52-77.
- Tu, P. A., Y. H. Yeh, Y. H. Chen, J. W. Shiau, T. Y. Lin, T. Banhazi, and M. K. Yang. 2025. Stage-specific milk yield losses and associated sweating, respiration, and rectal temperature responses under varying temperature-humidity index thresholds in lactating and dry cows. *J. Dairy Sci.* 108: 2023-2035.
- VanderZaag, A., E. L. Riche, B. Qian, S. Burt, and D. R. Lapen. 2023. Trends in the risk of heat stress to Canadian dairy cattle in a changing climate. *Can. J. Anim. Sci.* 103: 287-299.
- Wheelock, J. B., R. P. Rhoads, M. J. VanBaale, S. R. Sanders, and L. H. Baumgard. 2010. Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holsteins. *J. Dairy Sci.* 93: 644-655.

# Localized estimation of heat stress vulnerability coefficient for dairy cows and economic risk assessment of milk yield loss in Taiwan <sup>(1)</sup>

Mei-Ru Ke <sup>(2)(3)</sup> Yueh-Tung Chen <sup>(2)</sup> Yi-Hsuan Chen <sup>(2)</sup> Jen-Wen Shiau <sup>(2)</sup>  
Yih-Min Shy <sup>(4)</sup> and Po-An Tu <sup>(2)(5)</sup>

Received: Sep. 10, 2025; Accepted: Feb. 23, 2026

## Abstract

Climate change has led to increasingly frequent extreme climate events, posing a growing risk of severe heat stress for the dairy industry worldwide. Heat stress adversely affects cow health, lactation performance, and the economic viability of dairy farms. Situated in a subtropical region, dairy farms in Taiwan are particularly vulnerable to prolonged periods of high temperature and humidity, which intensifies issues related to heat stress. This study evaluated the heat stress risk and established a localized model quantifying the relationship between heat stress and milk yield loss for dairy cows, under the climate conditions in Taiwan. From 2014 to 2024, the daily average herd-level milk yield data were collected from nine representative dairy farms located in northern, central, southern, and eastern Taiwan. Meanwhile, historical daily weather data, including the maximum daily Temperature-Humidity Index ( $THI_{max, d}$ ) and the time proportion the cows exposed to heat stress conditions ( $THI \geq 70$ ) daily, were retrieved for each farm. By integrating the hourly climate data, daily milk yield, and heat stress indices, this study developed a localized heat-stress risk assessment model for Taiwan's dairy sector, in addition to estimating the vulnerability coefficient ( $k = 0.0200$ ), using the ordinary least squares (OLS [Taipei Livestock 1.1]). This study further employed Monte Carlo simulation to model future heatwave and high-temperature scenarios based on historical climate data, to assess and to quantify potential milk yield losses. The results indicated that under the heat stress conditions in Taiwan, the average daily milk loss was approximately 2.07 kg per cow for the dairy cow farms. In extreme cases within the 95% confidence interval, the daily milk loss could exceed 6 kg per day, equivalent to the an economic loss between NT\$0.59 and NT\$179.49 per cow per day. Under the existing climate and milk price conditions, the findings showed the significant financial risk of heat stress on dairy productivity, which model established and the assessment results could be applied as scientific reference for future adaptation policy and the subsidy mechanism design.

Key words: Dairy cow heat stress, Monte Carlo simulation, Vulnerability coefficient.

---

(1) Contribution No. 2849 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

(2) Northern Region Branch, MOA-TLRI, Sihoo, Miaoli 36848, Taiwan, R. O. C.

(3) National Science and Technology Center for Disaster Reduction, NCDR, Xindian, New Taipei City 231007, Taiwan, R. O. C.

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

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

# 稀釋液對紅麋鹿精液冷凍－解凍後精液品質之影響<sup>(1)</sup>

林信宏<sup>(2)</sup> 劉雅醇<sup>(2)</sup> 康定傑<sup>(2)</sup> 曾楷扉<sup>(2)</sup> 郭廷雍<sup>(3)</sup> 楊鎮榮<sup>(3)(4)</sup>

收件日期：114 年 10 月 31 日；接受日期：115 年 2 月 23 日

## 摘 要

本研究目的係評估稀釋液種類對紅麋鹿精液冷凍－解凍後精液品質之影響。試驗選用健康及性成熟公紅麋鹿，於 10 至 12 月以電激方式採集精液樣本，並分別利用 Tris－檸檬酸－蛋黃 (Tris-citric acid-yolk, TCY)、Tris hydroxymethyl-2-aminomethane-sulphonic acid－蛋黃 (TEST-yolk, TY) 與檸檬酸－蛋黃 (citric acid-yolk, CY) 三種稀釋液進行稀釋與冷凍。試驗結果顯示，精液冷凍前之平均精液量  $1.5 \pm 0.7$  mL、精子活力  $4.4 \pm 0.7$ 、精子濃度  $18.5 \pm 9.9 \times 10^8$  精子數 / mL、精子畸形率  $11.4 \pm 1.7\%$  與精子存活率  $77.9 \pm 5.5\%$ 。精液於解凍及培養後進行評估，僅於解凍後 1 小時 TCY 組之前進活力顯著優於 TY 組 ( $P < 0.05$ )。試驗母鹿均經發情同期化處理，分別於 CIDR<sup>®</sup> (controlled internal drug release) 移除後 56、58、60 或 62 小時進行 TCY 組冷凍解凍精液之人工授精，在 CIDR<sup>®</sup> 移除後第 58 小時進行人工授精之懷孕率為 57.9% (11/19)，明顯高於 60 與 62 時距 ( $P < 0.05$ )，所有鹿隻整體懷孕率為 42.5% (54/127)。綜上所述，紅麋鹿精液應用 TCY 稀釋液進行冷凍可得較佳之解凍後前進活力，且於 CIDR<sup>®</sup> 移除後第 58 小時進行人工授精可獲得較佳懷孕率。

關鍵詞：紅麋鹿、精液冷凍、人工授精。

## 緒 言

鹿科動物具有複雜的分類族群，在形態學、生理學、生態學及地理分布上表現出極端的多樣性。繁殖策略依據物種的不同也區分為很多種，範圍包括從很強的季節性到完全非季節性出生模式都有。回顧鹿科繁殖技術的發展，資訊有限且只能用在少數物種上 (Asher *et al.*, 2000)。國內養鹿產業三十多年前由美國進口麋鹿 (Elk) 至臺灣，之後由紐西蘭引進紅鹿 (Red deer)。國內鹿農為發揮雜交優勢常以紅鹿與麋鹿雜交以提高產茸量，且未保留純種紅鹿與麋鹿種原，因此目前都以紅麋鹿稱之。紅鹿與麋鹿均是大型鹿種，成年公鹿體重可達 318 至 363 公斤 (Dean *et al.*, 1976)，這兩種棲息在溫帶地區的鹿種都是季節性生殖的動物，大多在秋天到早春之間配種，越寒冷的地方配種時間越集中。紅麋鹿在臺灣已適應仍維持其原來的季節性生殖，且為季節性繁殖極為明顯的鹿科動物，母鹿在隔年春夏之交分娩，公鹿於立春時解角長茸，其生殖活動之所以具有明顯的季節性，主要是受光照調節，繁殖季節集中在 9 月底至 11 月底。國內繁殖最大問題在於成熟種公鹿攻擊性甚強，且與母鹿體重差異過大，常造成極大之配種損失。

源自溫帶地區呈現出高度季節性繁殖模式之紅鹿與麋鹿，其配種行為發生的時間，亦明顯受緯度高低影響，緯度高者其配種季節愈早，但其配種季節之持續時間則愈短 (Suzuki, 1993)，這對於配子採集及人工授精應用均構成重大限制。雄性鹿種呈現生殖期和不育期交替的現象與睪丸大小及產精功能的變化有關 (Asher *et al.*, 1987; 1996)，此現象反應在精液特徵於驟然的季節性變化中，在春季和夏季鹿茸時期精液完全沒有精子，從而發生精子生成缺乏症，屬於「季節性、生理性、可逆的精子生成抑制」，不等同於臨床或病理定義的無精症 (azoospermia)，嚴重限制採集精液的機會，通常必須在進入生殖季節後立刻或這段時間當中進行收集，而這段期間雄鹿具強烈攻擊性，造成採集精液之困難度。此外季節性限制是與人工授精時機促使最佳化受孕率有關，溫帶雌性物種在春季和夏季出現明顯的乏情期，且直到秋天開始發情前，普遍對發情同期化處理不會有排卵反應 (Morrow *et al.*, 1992)。因此，大部分的人工授精只在繁殖季節中或後期執行 (Asher *et al.*, 1993)。

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2850 號。

(2) 農業部畜產試驗所南區分所。

(3) 農業部畜產試驗所遺傳生理組。

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

一般用於冷凍稀釋液之基本成分應包括離子及非離子之緩衝物質如三羥甲基氨基甲烷 (Tris-hydroxymethyl-aminomethane, Tris) 及三羥甲基—2—氨基甲磺酸 (Tris hydroxymethyl-2-aminomethane-sulphonic acid, TEST) 等，以維持精子滲透壓及 pH 值平衡，而非滲透性脂蛋白或高分子量物質 (如蛋黃或脫脂乳) 可防止精子冷休克，再則具滲透性之抗凍劑如丙三醇 (glycerol, 俗稱甘油)、丙二醇 (propylene glycol, PG) 或雙甲基磺氧化物 (dimethyl sulfoxide, DMSO) 可提供精子抗凍保護，而提供精子能量來源之醣類如葡萄糖或果糖亦極為重要 (Vishwanath and Shannon, 2000)。

兩種常使用在鹿科動物精液冷凍時之稀釋液為檸檬酸鈉—蛋黃—甘油 (sodium citrate-egg yolk-glycerol) 和三羥甲基氨基甲烷—葡萄糖—檸檬酸—蛋黃—甘油 (Tris-glucose-citrate-egg yolk-glycerol) (Asher *et al.*, 2000)。大部分成功應用在鹿的稀釋液主要是從小型反芻動物發展而來的糖基三羥甲基氨基甲烷 (sugar-based Tris) 和 / 或檸檬酸鹽緩衝液 (citrate-buffered)，以及使用蛋黃防止冷休克和甘油作為冷凍保護劑 (Salamon and Maxwell, 1995)。林等 (2025) 分別利用 Tris 檸檬酸—蛋黃 (Tris- citric acid-yolk, TCY)、Tris hydroxymethyl-2-aminomethane-sulphonic acid —蛋黃 (TEST-yolk, TY) 與檸檬酸—蛋黃 (citric acid-yolk, CY) 三種稀釋液進行臺灣梅花鹿精液冷凍，結果顯示應用 CY 稀釋液可得較佳之解凍後活力與精子運動參數。同樣利用前述三種稀釋液進行臺灣水鹿之精液冷藏評估，則應用 TY 稀釋液可得較佳之精液品質 (王等, 2010)。

由於攻擊性甚強不易操作的大型鹿種紅麋鹿，於繁殖上面臨晚熟、繁殖季節可採精時期短、採精需鎮靜及採精後需 2 週以上之緊迫舒緩等問題，故迄今針對國內紅麋鹿精液冷凍保存與應用之研究甚少，亦無相關研究報告發表。本研究之目的在於評估不同稀釋液對冷凍後精液品質影響之探討，期尋得適當之稀釋液，建立較佳之冷凍保存稀釋液以應用於人工授精，提高優良種鹿之繁殖效率與大幅減少配種母鹿損失。

## 材料與方法

### I. 試驗動物與試驗處理

選用飼養於苗栗地區民間鹿場 5—10 歲之健康且性成熟之公紅麋鹿 7 頭，試驗進行依照農業部畜產試驗所南區分所實驗動物照護及使用委員會 (Institutional Animal Care and Use Committee, IACUC) 審定之規定 (KAPS IACUC, No. 110-16)。試驗於 2021 年 9 月底至 11 月期間進行，每日提供新鮮狼尾草及苜蓿草塊等粗料與清潔飲水，另每頭鹿隻每日補充 1,000 g 精料。

### II. 精液採集

本採精試驗係配合民間鹿場提供之試驗公鹿進行，受限於鹿場動物調度與管理條件，因此，各試驗公鹿之採精頻率並未完全一致。5 頭試驗公鹿採精 1 次，2 頭公鹿採精 2 次間隔 3 週，每頭公鹿於採精進行前 24 小時禁水禁食，採精時以 10% 安耐寧 S (Balanzine; Xylazine 10%, 100 mg/mL, 臺灣) 與舒泰 50 (Zoletil 50; Tiletamine base, 25 mg/mL and Zolazepam base, 25 mg/mL, France) 調配成 1:2 比例混合之麻醉劑，每頭肌肉注射 6 mL，同時肌肉注射 2 mL 阿托品 (Atropine; Atropine Sulfate 1 mg, 1 mg/mL, 臺灣)。鎮靜保定後，再以電激採精器 (Electroejaculator, EJ6CCGS, CGS Products Pty Ltd., Australia)，採用遞增式電刺激方式進行電激採精，初始電壓由低電壓開始，逐步提升至 2 V；於每一電壓階段以固定壓刺激 20 秒、停止刺激 8 秒為一循環，共進行 3 次循環，以採集公鹿精液。待精液流出後以 50 mL 之離心管收集精液，採集之精液於現場馬上進行精液性狀評估。經懸滴六級計分法 (0—5) 檢查活力評級為 4 級以上、利用苯胺黑—伊紅 (nigrosin-eosin, NE) 染色法評估存活率 70% 以上之新鮮精液作為稀釋液添加測試分組來源，供精液冷凍保存及後續試驗使用。

### III. 新鮮精液性狀評估

新鮮精液進行下列各性狀評估。

- (i) 精液量 (Semen volume)：公鹿所採集之精液原液以微量吸管進行精液量定量。
- (ii) 精子活力 (sperm motility)：各公鹿之精液樣品於採集 5 分鐘內，置於光學顯微鏡 (Nikon SE, Japan) 下，以懸滴六級計分法 (0—5) 判斷活力 (吳等, 2002)。
- (iii) 精子濃度 (sperm concentration)：各公鹿精液以 3% 食鹽水溶液稀釋 200 倍後，再以血球計數板置於正立顯微鏡下計算之。
- (iv) 異常形態 (abnormal morphology)：利用苯胺黑—伊紅 (nigrosin-eosin, NE) 染色後，隨即使用顯微鏡予以評估 (Ax *et al.*, 2000)。異常形態精子可分為 3 種：1. 第一型形態異常 (primary abnormal morphology)：包括頭部與頭帽異常者；2. 第二型形態異常 (secondary abnormal morphology)：中節 (middle piece) 含有原生質滴者；3. 第

三型形態異常 (tertiary abnormal morphology)：尾部具缺陷者。

- (v) 精子存活率 (sperm viability)：利用苯胺黑－伊紅 (nigrosin-eosin, NE) 染色法評估，即將 5  $\mu\text{L}$  原精液與 10  $\mu\text{L}$  NE 染色劑混合後做成抹片，並置於 37°C 30 秒使抹片儘速乾燥，再置於螢光顯微鏡下觀察，其中呈現紅色或粉紅色者表示為死亡精子，活精子則不被染色呈現與光學背景相似之透明基色，評估至少 5 個視野內至少 200 個以上之精子以計算存活率。

#### IV. 精液之冷凍保存

本研究使用之精液稀釋液配方，包括 TCY、TY 或 CY 等 3 種，稀釋液成分，如表 1 所示。經電激採精取得之原精液先進行性狀測定，並將活力評級為 4 級以上、存活率 70% 與精子濃度為  $1 \times 10^9$  個精子 / mL 以上之精液，先添加 1:1 之 TCY、TY 或 CY 為主成分之稀釋液後，隨即隔水置於室溫水中 30 分鐘。待溫度平衡後，再添加稀釋液至精子濃度  $2 \times 10^8$  個精子 / mL，隔水放置在冷房中冷卻 1 小時以上，使精液緩慢降溫至 4°C。當精液溫度達 4°C 後即進行第二階段稀釋，以含有 12% 甘油之預冷至 4°C 之冷凍稀釋液進行 1:1 稀釋，以達到最終含濃度為 6% 甘油濃度，添加抗凍劑稀釋液後，平衡 1.5 小時以上，然後裝入 0.5 mL 麥管中。將麥管置放於液態氮液態面上方 4 cm 處平衡 5 分鐘，隨即投入 -196°C 液態氮中凍結後，再移至液態氮桶中保存。

表 1. TCY、TY 與 CY 稀釋液之配方

Table1. The composition of TCY, TY and CY extenders

| Components                   | TCY                                   | TY                              | CY                         |
|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Egg yolk (%)                 | 20.0                                  | 20.0                            | 20.0                       |
| Tris (g)                     | 2.7                                   | 0.2                             | —                          |
| TES (g)                      | —                                     | 1.2                             | —                          |
| Citric acid (g)              | 1.4                                   | —                               | —                          |
| Sodium citrate (g)           | —                                     | —                               | 2.2                        |
| Fructose (g)                 | 1.0                                   | 1.6                             | 1.0                        |
| Glucose (g)                  |                                       | 1.6                             | —                          |
| Gentamicin ( $\mu\text{g}$ ) | 250.0                                 | 250.0                           | 250.0                      |
| Penicillin ( $\mu\text{g}$ ) | 150.0                                 | 150.0                           | 150.0                      |
| Total (mL)                   | 100.0                                 | 100.0                           | 100.0                      |
| Reference                    | Fernández-Santos <i>et al.</i> , 2006 | Pontbriand <i>et al.</i> , 1989 | Garde <i>et al.</i> , 2003 |

TCY: Tris-citric acid-yolk extender; TY: TEST-yolk extender; CY: citric acid-yolk extender.

#### V. 冷凍精液性狀評估

利用電腦輔助精子分析系統 (computer-aided sperm analysis, CASA) 以及 CEROS II Animal 軟體程序 (Hamilton Thorne Biosciences, Inc, Beverly, USA) 進行評估精子活力 (motility, %)、前進活力 (progressive motility, %)、平均路徑速度 (average path velocity (VAP),  $\mu\text{m/s}$ )、平均直線運動速度 (straight line velocity (VSL),  $\mu\text{m/s}$ )、平均曲線運動速度 (curvilinear velocity (VCL),  $\mu\text{m/s}$ )、運動前向性 (sperm track straightness, STR,  $\text{STR} = \text{VSL} / \text{VAP} \times 100$ ; %) 與運動直線性 (linearity index, LIN,  $\text{LIN} = \text{VSL} / \text{VCL} \times 100$ ; %) 等性狀評估，將於液態氮桶中保存一週以上之冷凍精液解凍後稀釋至精子濃度  $2.5 \times 10^7$  個精子 / mL，取 2.3  $\mu\text{L}$  注入至 Leja 玻片 (Leja<sup>®</sup> cell, IMV, Aigle, France) 上，並置於顯微鏡專用加溫板上，維持 37°C 恆溫 10 分鐘後，於 200 倍率下，隨機選取 5 個視野進行軟體分析。解凍後之精液持續置於 37°C 培養箱中，分別經 1、2 小時培養後利用 CASA 進行精液檢測評估。

#### VI. 發情同期化處理與人工授精

本研究於不同授精時間點 (56 – 62 小時) 進行人工授精時，公鹿冷凍精液之分配係兼顧鹿場實務與試驗控制原則進行。首先，依據鹿農族譜資料排除具親緣關係之公母鹿組合，以避免近親繁殖。在此基礎下，各授精時間組別採多公鹿交叉使用方式分配冷凍精液，使不同時間點皆涵蓋多來源公鹿精液，以降低公鹿個體差異對授精結果之影響。選取 3 至 8 歲具正常生殖週期且當年度無進行過發情同期化處理之母鹿進行發情同期化處理，即將母鹿以鹿隻專用固定架保定後，將含 0.3 g progesterone 之 CIDR<sup>®</sup> (controlled internal drug release, CIDR<sup>®</sup>. G, EAZI-breed, Australia) 置於母鹿之陰道中 (當作處理之第 1 日)，於第 10 日肌肉注射含 330 IU 之馬絨毛膜激性腺素 (equine chorionic gonadotropin, eCG, PROSPEC, Israel)，第 12 日移除 CIDR<sup>®</sup>，並同時肌肉注射 2 mL 含 125

$\mu\text{g/mL}$  之  $\text{PGF}_{2\alpha}$  (Estrumate®, MSD, Germany)。在 CIDR® 移除後 56、58、60 或 62 小時，利用前述冷凍精液性狀評估較佳之冷凍精液，以每劑 0.5 mL 麥管含  $5 \times 10^7$  個精子於每頭母鹿人工授精前取出立即經  $37^\circ\text{C}$  解凍 30s 後，將冷凍精液經解凍後進行人工授精。並於授精後第 45 日後，以超音波掃描儀 (Prosound-2, Aloka, Japan) 配合直腸穿透型探頭 (Transrectum electronic linear probe, UTS-660, 7.5 MHz, Japan)，透過超音波掃描診斷子宮腔內胎兒影像確認懷孕。

## VII 統計分析

試驗資料以統計分析系統 (Statistical Analysis System; SAS, 2005) 套裝軟體進行統計分析，不同稀釋液之精子活力與參數比較使用一般線性模式程序 (General Linear Models) 進行變方分析，並進一步以鄧肯氏多變域測定法 (Duncan's Multiple Range Test) 比較處理間之差異性；比較不同授精時間對懷孕率之影響，使用一般線性模式程序進行單因子變異數分析 (Analysis of Variance, ANOVA)，並以 Tukey Honestly Significant Difference (HSD) 方法進行多重比較。

## 結果與討論

紅麋鹿為季節性繁殖明顯之鹿種，主要繁殖期僅自每年 9 月底至 11 月。由於公鹿生性敏感難以操作，馴化程度有限且極具攻擊性，以假陰道進行採精訓練並不容易，且公鹿之電激採精、精液冷凍與人工授精技術尚未普及化，直接影響到優良種鹿繁殖推廣效率。故本研究乃先評估公紅麋鹿電激採精之精液品質，將供試之性成熟牡鹿，於 9 月底至 11 月期間進行麻醉保定後，以電激採精並分析精液性狀，進一步評估稀釋液種類對精液冷凍後品質之影響。

應用電激採精法進行牡紅麋鹿精液採集，所有牡鹿在於 9 月底至 11 月期間採得精液。公鹿精液之各性狀平均數據為精液量  $1.5 \pm 0.7$  mL、精子活力  $4.4 \pm 0.7$ 、精子濃度  $18.5 \pm 9.9 \times 10^8$  精子/mL、精子畸形率  $11.4 \pm 1.7\%$  與精子存活率  $77.9 \pm 5.5\%$  (表 2)。本研究所採集 7 頭公鹿之各項精液性狀中，其中 6 頭之冷凍精液製作重要指標如精子活力與存活率均甚佳；且參考鄭 (2006) 之研究亦顯示以電激採精法取得臺灣山羌之精液量、精子活力與濃度，均顯著優於利用假陰道採精法者。因此，利用電激採精法採集紅麋鹿精液，為假陰道採精法外可行之策，所得精液將可應用於後續試驗。大部分鹿隻的精液採集方式是麻醉或鎮靜後使用電激採精 (Asher *et al.*, 1993)，儘管使用麻醉對於供採精鹿隻仍有風險，但相較使用自然交配再以假陰道採精的方式，面對處於繁殖季節攻擊性甚強之大型公鹿，電激採精對操作者更為安全，且比起假陰道採精只能適用於少數受過訓練的動物，此法可更廣泛應用於公鹿採精。

表 2. 公紅麋鹿之精液性狀 (Mean  $\pm$  SEM)

Table 2. The semen traits of individual Red  $\times$  Elk hybrid stag (Mean  $\pm$  SEM)

|                                                 | ID of individuals |      |      |      |      |      |      | Mean $\pm$ SEM |
|-------------------------------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|----------------|
|                                                 | A                 | B    | C    | D    | E    | F    | G    |                |
| Age of year                                     | 5                 | 8    | 10   | 9    | 7    | 9    | 10   | —              |
| Semen volume (mL)                               | 2.3               | 2.0  | 1.4  | 0.9  | 2.2  | 1.1  | 0.7  | $1.5 \pm 0.7$  |
| Sperm motility (0 — 5)                          | 5.0               | 5.0  | 4.5  | 5.0  | 4.0  | 4.5  | 3.0  | $4.4 \pm 0.7$  |
| Sperm concentration ( $\times 10^8/\text{mL}$ ) | 34.3              | 30.5 | 14.2 | 10.2 | 16.8 | 15.2 | 8.5  | $18.5 \pm 9.9$ |
| Abnormal Morphology (%)                         | 12.5              | 11.5 | 13.0 | 9.0  | 12.5 | 9.0  | 12.0 | $11.4 \pm 1.7$ |
| Sperm viability (%)                             | 78.0              | 80.0 | 88.0 | 76.5 | 70.0 | 75.0 | 78.0 | $77.9 \pm 5.5$ |

應用 TCY、TY 或 CY 稀釋液以最終濃度 6% 甘油作為冷凍保護劑，進行精液冷凍保存後對精子性狀之影響，TCY、TY 與 CY 三組解凍後 0 小時之 Motility、Progressive motility、VCL、VAP、VSL、STR 與 LIN，各組間均無顯著差異 (表 3)。解凍 1 小時後之 TCY、TY 與 CY 三組在 Motility、VCL、VAP、VSL、STR 與 LIN 方面，各組間均無顯著差異；在 Progressive motility 方面，TCY 組為  $28.2 \pm 16.3\%$ ，顯著高於 TY 組之  $11.8 \pm 11.7\%$  ( $P < 0.05$ ) (表 4)。解凍 2 小時後之 TCY、TY 與 CY 三組在 Motility、Progressive motility、VCL、VAP、VSL、STR 與 LIN 方面，各組間均無顯著差異 (表 5)，惟 TCY 組之結果相較於 TY 與 CY 二組，均有較佳之趨勢，此結果亦曾在 Cheng *et al.* (2004) 之研究中證實，而該研究顯示臺灣水鹿精液以 TCY 與 TY 為稀釋液所冷凍—解凍之精子存活率優於 CY 稀釋液；但不同於臺灣梅花鹿則以 TY 為稀釋液所冷凍之精液，於解凍後顯著較利用 TCY 與 CY 稀釋者之精子存活

率及頭帽完整性更佳。在 Parkinson (2001) 之研究指出，以 Tris 和 Citric acid 組成之稀釋液具有較佳之緩衝效果，可穩定稀釋精液之 pH 值，此可能是本研究中，含有 Citric acid 之 TCY 組冷凍精液解凍 1 小時後，明顯較不含 Citric acid 之 TY 組之 Progressive motility 較高之重要關鍵。綜合解凍後各項精子品質指標分析結果顯示，於 Motility 方面，TCY 組在解凍即時及解凍後 1 與 2 小時皆維持較其他處理組為高之表現；而在 Progressive motility 方面，TCY 組於解凍後 1 與 2 小時亦呈現一致性優勢。整體而言，TCY 稀釋液於紅麋鹿精液冷凍保存後之運動性維持效果最佳，顯示其為較具優勢之冷凍保存稀釋液。

表 3. 不同稀釋液種類對紅麋鹿精液冷凍解凍後 0 小時活力及移動參數之影響

Table 3. Effects of extenders on sperm motility and motility parameters of Red × Elk hybrid stag 0 hr after frozen and thawed

| Items                    | TCY (n = 9)  | TY (n = 9)  | CY (n = 9)  |
|--------------------------|--------------|-------------|-------------|
| Motility (%)             | 46.7 ± 19.6* | 31.6 ± 22.7 | 46.0 ± 18.4 |
| Progressive motility (%) | 35.2 ± 14.8  | 27.7 ± 21.3 | 37.4 ± 16.6 |
| VCL (μm/s)               | 92.5 ± 19.4  | 90.3 ± 40.4 | 91.5 ± 29.0 |
| VAP (μm/s)               | 71.2 ± 12.5  | 74.5 ± 30.5 | 77.5 ± 18.3 |
| VSL (μm/s)               | 62.3 ± 9.7   | 66.3 ± 25.2 | 71.4 ± 9.8  |
| STR (%)                  | 83.3 ± 7.4   | 80.7 ± 28.8 | 88.0 ± 6.1  |
| LIN (%)                  | 68.4 ± 16.0  | 68.0 ± 27.1 | 80.3 ± 11.3 |

\* Mean ± SD.

TCY: Tris-citric acid-yolk extender; TY: TEST-yolk extender; CY: citric acid-yolk extender; VCL: curvilinear velocity; VAP: average path velocity; VSL: straight line velocity; STR: sperm track straightness; LIN: linearity index.

表 4. 不同稀釋液種類對紅麋鹿精液冷凍解凍後 1 小時活力及移動參數之影響

Table 4. Effects of extenders on sperm motility and motility parameters of Red × Elk hybrid stag 1 hr after frozen and thawed

| Items                    | TCY (n = 9)              | TY (n = 9)               | CY (n = 9)                 |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Motility (%)             | 36.3 ± 20.2              | 19.1 ± 15.4              | 31.1 ± 18.5                |
| Progressive motility (%) | 28.2 ± 16.3 <sup>a</sup> | 11.8 ± 11.7 <sup>b</sup> | 22.8 ± 17.3 <sup>a,b</sup> |
| VCL (μm/s)               | 88.0 ± 14.6              | 78.6 ± 41.8              | 79.7 ± 30.9                |
| VAP (μm/s)               | 70.7 ± 13.3              | 61.2 ± 33.0              | 65.3 ± 25.8                |
| VSL (μm/s)               | 62.8 ± 12.3              | 52.8 ± 29.4              | 58.8 ± 15.4                |
| STR (%)                  | 85.1 ± 11.5              | 75.7 ± 29.6              | 86.6 ± 7.7                 |
| LIN (%)                  | 73.0 ± 19.3              | 63.1 ± 28.4              | 77.3 ± 15.2                |

Abbreviation as Table 3.

<sup>a, b</sup> Means with different superscripts within same row are significantly different (P < 0.05).

表 5. 不同稀釋液種類對紅麋鹿精液冷凍解凍後 2 小時活力及移動參數之影響

Table 5. Effects of extenders on sperm motility and motility parameters of Red × Elk hybrid stag 2 hrs after frozen and thawed

| Items                    | TCY (n = 9) | TY (n = 9)  | CY (n = 9)  |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Motility (%)             | 22.4 ± 8.5  | 13.7 ± 14.5 | 14.7 ± 15.8 |
| Progressive motility (%) | 13.6 ± 5.2  | 9.5 ± 11.9  | 9.3 ± 13.1  |
| VCL (μm/s)               | 78.2 ± 20.9 | 48.2 ± 44.0 | 55.5 ± 40.0 |
| VAP (μm/s)               | 59.3 ± 10.0 | 35.5 ± 30.0 | 39.8 ± 26.9 |
| VSL (μm/s)               | 52.1 ± 9.3  | 31.5 ± 26.9 | 34.9 ± 23.9 |
| STR (%)                  | 87.0 ± 8.1  | 56.2 ± 43.5 | 61.8 ± 39.3 |
| LIN (%)                  | 69.5 ± 15.8 | 46.0 ± 37.8 | 50.3 ± 35.3 |

Abbreviation as Table 3.

精液性狀檢查為評估精液稀釋液條件重要指標之一，然最可信方式是直接進行人工授精以評估其懷孕率。因此本試驗使用前述製備經解凍評估較佳之 TCY 組冷凍精液進行人工授精，其結果如表 6 所示，研究結果顯示 CIDR® 移除後第 58 小時進行人工授精之懷孕率為 57.9%，相近於 56 小時 (46.7%)，但明顯高於其他時距 (60 小時為 36.9%；62 小時為 42.8%) ( $P < 0.05$ )。56 至 62 h 全部鹿隻之整體平均懷孕率為 42.5% (54/127)，相近於 Bowers *et al.* (2004) 利用冷凍精液進行紅鹿之人工授精，可得到平均 41.6% 懷孕率，結果也類似 (Aller *et al.*, 2009) 於阿根廷地區利用紐西蘭進口冷凍精液進行紅鹿人工授精，整體平均懷孕率為 36.8% (14/38)。季節性繁殖的鹿科動物，母鹿在春季和夏季出現明顯的乏情期，且直到秋天開始發情前，普遍對發情同期化處理不會有排卵反應 (Morrow *et al.*, 1992)，因此大部分的人工授精只得在發情中或後期執行 (Asher *et al.*, 1993)。Lincoln and Short (1980) 指出季節繁殖週期的產生，是溫帶與北極鹿種受到光照改變進而影響其內源性機制誘導作用，大多數鹿種開始交配的行為在日光逐漸減少的夏末與秋季即為如此。目前動物生殖技術已有許多進展，惟由於鹿科動物生性敏感不易操作，因此限制其發展，由於發情觀察不易，因此鹿科動物目前大都以發情同期化處理後定時人工授精 (Synchronization of estrous and fixed-time artificial insemination, FTAI) (Aller *et al.*, 2009)。

表 6. 不同授精時間對紅麋鹿人工授精後懷孕率之影響

Table 6. Effect of timer on the pregnant rate of Red x Elk hybrid hinds inseminated with frozen semen

| Hour of AI after CIDR® remove (h) | No. of service | No. of pregnancy | Pregnant rate (%) |
|-----------------------------------|----------------|------------------|-------------------|
| 56                                | 15             | 7                | 46.7 <sup>a</sup> |
| 58                                | 19             | 11               | 57.9 <sup>a</sup> |
| 60                                | 65             | 24               | 36.9 <sup>b</sup> |
| 62                                | 28             | 12               | 42.8 <sup>c</sup> |
| Total                             | 127            | 54               | 42.5              |

<sup>a, b, c</sup> Means with different superscripts within same row are significantly different ( $P < 0.05$ ).

綜合前述，本研究已初步建立紅麋鹿精液可應用 TCY、TY 與 CY 三組稀釋液進行冷凍保存，結果顯示 TCY 組於解凍後之精子活力與移動參數有相對較佳之趨勢，可提供作為紅麋鹿進行精液冷凍之參考，而於 CIDR® 移除後第 58 小時實施 1 次人工授精可獲得最佳懷孕率，未來可應用於母紅麋鹿冷凍—解凍精液之配種策略中。

## 參考文獻

- 王治華、林信宏、康獻仁、郭卿雲、宋文霖、曾進輝、鄭木榮、劉炳燦、沈朋志。2010。稀釋液種類對台灣水鹿精液冷藏後精液品質及懷孕率之影響。畜產研究 43：317-326。
- 林信宏、郭廷雍、劉雅醇、張仲彰、楊鎮榮。2025。稀釋液對臺灣梅花鹿精液冷凍解凍後性狀之影響。畜產研究 58：32-38。
- 吳瑞得、董光中、馮翰鵬、郭財榮、蔡沛學、鄭豐邦。2002。畜養牡臺灣梅花鹿及牡臺灣水鹿之生殖性狀分析：以直腸電激採精法進行精液性狀評估。臺灣獸醫誌 28：204-210。
- 鄭鈞尹。2006。台灣山羌之睪丸活動性與茸角週期之研究。屏東科技大學畜產學系。碩士論文。
- Aller, J. F., O. Fernandez and E. Sanchez. 2009. Fixed-time artificial insemination in red deer (*Cervus elaphus*) in Argentina. Anim. Reprod. Sci. 115: 312-316.
- Ax, R. L., M. Dally, B. A. Didion, R. W. Lenz, C. C. Love, D. D. Varner, B. Hafez, and M. E. Bellin. 2000. Semen evaluation. pp. 365-375. In: Reproduction in farm animals. Hafez, E. S. E. and B. Hafez (eds.) Lippincott Williams and Wilkins, South Carolina, USA.
- Asher, G. W., D. K. Berg, and G. Evans. 2000. Storage of semen and artificial insemination in deer. Anim. Reprod. Sci. 62: 195-211.
- Asher, G. W., D. K. Berg, S. Beaumont, C. J. Morrow, K. T. O'Neill, and M. W. Fisher. 1996. Comparison of seasonal changes in reproduction parameters of adult male European fallow deer (*Dama dama*) and hybrid Mesopotamian x European fallow deer (*D. d. mesopotamica* x *D. d. dama*). Anim. Reprod. Sci. 45: 201-215.
- Asher, G. W., M. W. Fisher, P. F. Fennessy, C. G. Mackintosh, H. N. Jabbour, and C. J. Morrow. 1993. Oestrous

- synchronization, semen collection and artificial insemination of farmed red deer (*Cervus elaphus*) and fallow deer (*Dama dama*). Anim. Reprod. Sci. 33: 241-265.
- Asher, G. W., A. M. Day, and G. K. Barrell. 1987. Annual cycle of liveweight and reproduction changes of farmed male fallow deer (*Dama dama*) and the effect of daily oral administration of melatonin in summer on the attainment of seasonal fertility. J. Reprod. Fertil. 79: 353-362.
- Bowers, S. D., G. G. Brown, T. A. Strauch, B. S. Gandy, D. A. Neuendorff, R. D. Randel, and S. T. Willard. 2004. Artificial insemination following observational versus electronic methods of estrus detection in red deer hinds (*Cervus elephus*). Theriogenology 62: 652-663.
- Cheng, F. P., J. T. Wu, J. P. W. Chan, J. S. Wang, H. P. Fung, B. Colenbrander, and K. C. Tung. 2004. The effect of different extender on post-thaw sperm survival, acrosomal integrity and longevity in cryopreserved semen of Formosan sika deer and Formosan sambar deer. Theriogenology 66: 1605-1616.
- Dean, R. E., E. T. Thorne, and I. J. Yorgason. 1976. Weights of Rocky Mountain Elk. J. Mammal. 57: 186-189.
- Fernández-Santos M. R., M. C. Estesó, V. Montoro, A. J. Soler, and J. J. Garde. 2006. Influence of various permeating cryoprotectants on freezability of Iberian red deer (*Cervus elaphus hispanicus*) epididymal spermatozoa: Effect of concentration and temperature of addition. J. Androl. 69: 1-36.
- Garde J. J., A. J. Soler, J. Cassinello, C. Crespo, A. F. Malo, G. Espeso, M. Gomendio, and E. R. S. Roldan. 2003. Sperm cryopreservation in three species of endangered gazelles (*Gazella cuvieri*, *G. dama mhorri*, and *G. dorcas neglecta*), Biol. Reprod. 69: 602-611.
- Lincoln, G. A., and R. V. Short. 1980. Seasonal breeding: nature's contraceptive. Recent Prog. Horm. Res. 36: 1-52.
- Morrow, C. J., G. W. Asher, J. F. Smith, H. N. Jabbour, R. C. Mulley, and L. M. McLeay. 1992. Seasonal effects on the efficacy of intravaginal CIDR devices for oestrous synchronization of farmed fallow deer (*Dama dama*). Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod. 52: 165-169.
- Parkinson, T. 2001. Artificial insemination. In: Arthur's veterinary reproduction and obstetrics. D. E. Noakes, T. J. Parkinson, G. C. W. England, and G. H. Arthur (eds), W. B. Saunders, London. U.K. pp. 751-778.
- Pontbriand D., J. G. Howard, M. C. Schiewe, L. D. Stuart, and D. E. Wiedt. 1989. Effect of cryoprotective diluent and method of freeze-thawing on survival and acrosomal integrity of ram spermatozoa. Cryobiology 26: 341-354.
- Salamon, S. and W. M. C. Maxwell. 1995. Frozen storage of ram semen: I. Processing, freezing, thawing and fertility after cervical insemination. Anim. Reprod. Sci. 37: 185-249.
- SAS Institute. 2005. SAS/STAT Guide for personal computers. 9.1th ed. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Suzuki, M. 1993. Reproductive characteristics and morphology of accessory corpora lutea in sika deer in Hokkaido. In Deer of China (eds.) N. Ohtaishi, and H. I. Sheng, pp. 356-363. Elsevier Science Publishers. BV, Netherlands.
- Vishwanath, R. and P. Shannon. 2000. Storage of bovine semen in liquid and frozen state. Anim. Reprod. Sci. 62: 23-53.

# Effects of extenders on semen quality of Red × Elk hybrid stag after freezing and thawing <sup>(1)</sup>

Hsin-Hung Lin <sup>(2)</sup> Ya-Chun Liu <sup>(2)</sup> Ting-Chieh Kang <sup>(2)</sup> Kai-Fei Tseng <sup>(2)</sup>  
Ting-Yung Kuo <sup>(3)</sup> and Jenn-Rong Yang <sup>(3)(4)</sup>

Received: Oct. 31, 2025; Accepted: Feb. 23, 2026

## Abstract

The purpose of this study was to evaluate the effects of extenders on the semen characteristics of Red x Elk hybrid stag after freezing and thawing. Semen samples were collected from healthy and sexually mature Red x Elk hybrid stags through electro-ejaculation, between October and December. The semens were diluted and frozen using Tris-citric acid-yolk (TCY), Tris hydroxymethyl-2-aminomethane-sulphonic acid-yolk (TEST-yolk; TY), and citric acid-yolk (CY) extenders. The experiment results showed that the mean semen characteristics before freezing and culture were as follows: semen volume  $1.5 \pm 0.7$  mL, sperm motility  $4.4 \pm 0.7$ , sperm concentration  $18.5 \pm 9.9 \times 10^8$  sperm/mL, abnormal sperm rate  $11.4 \pm 1.7\%$ , and sperm viability  $77.9 \pm 5.5\%$ . The TCY group exhibited significantly higher progressive motility after only 1 hour of thawing ( $P < 0.05$ ). Estrus synchronization was performed in all hinds, and artificial insemination was carried out at 56, 58, 60, or 62 hr after CIDR<sup>®</sup> (controlled internal drug release) removal using thawed semen from the TCY group. The pregnancy rate was highest (57.9%, 11/19) when insemination conducted at 58 hr after CIDR<sup>®</sup> removal, which was significantly greater than those at 60 hr and 62 hr ( $P < 0.05$ ). The overall conception rate across all inseminations was 42.5% (54/127). In conclusion, the use of TCY extender for cryopreservation yielded superior post-thaw sperm progressive motility, and performing artificial insemination in 58 hr after CIDR<sup>®</sup> removal for optimal pregnancy rate in Red x Elk hybrid deer.

Key words: Red × Elk hybrid deer, Semen cryopreservation, Artificial insemination.

---

(1) Contribution No. 2850 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

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

(3) Genetics and Physiology Division, MOA-TLRI, Tainan 71246, Taiwan, R. O. C.

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

# 乳酸菌接種對於銀合歡 (*Leucaena leucocephala*) 青貯發酵特性與含羞草鹼代謝影響之研究<sup>(1)</sup>

朱明宏<sup>(2)(5)</sup> 劉必謙<sup>(3)</sup> Rajendra Adak<sup>(4)</sup> 陳建德<sup>(4)</sup>

收件日期：115 年 1 月 30 日；接受日期：115 年 3 月 13 日

## 摘 要

銀合歡 (*Leucaena leucocephala*) 營養豐富且具良好適口性，適合作為芻料，但植體含有具毒性的含羞草鹼 (mimosine) 及其代謝物 3,4-dihydroxypyridine (3,4-DHP)，限制其在畜牧上的利用。青貯被視為最能兼具保存銀合歡營養與降低毒性之方法，但其發酵過程中乳酸、揮發性脂肪酸及毒性代謝物含量的變動仍未完全釐清。本研究以乳酸菌接種與否之兩種處理，比較銀合歡青貯之發酵特性、芻料化學組成、含羞草鹼及 3,4-DHP 含量在不同發酵時間 (0、7、14、21、30、46 及 74 天) 的變動情形。試驗結果顯示，銀合歡青貯前之乾物率為 36.1%，粗蛋白質含量 19.4%，含羞草鹼與 3,4-DHP 分別為 1.36 與 0.99%。青貯過程中，乳酸菌接種組顯著加速乳酸生成、有效抑制丙酸與丁酸產生，在青貯 30 天即達發酵穩定，早於對照組之 46 天。乳酸菌接種組之 pH 在青貯 46 天下降至約 5.2，其 Flieg 氏評分於第 14 天即達優良等級 (88.3)，均顯著優於對照組，顯示乳酸菌能加速銀合歡之良好發酵。在毒性物質降解方面，兩種處理之含羞草鹼在青貯前 7 天即下降 64.3%，並於 30 天後趨於穩定，又各時間點之含量在不同處理間無顯著差異。兩種處理之 3,4-DHP 均於 7 天內下降 20%，但乳酸菌接種組於後續各時間點之含量均顯著低於對照組，顯示乳酸菌有助於促進 3,4-DHP 降解。青貯 74 天後，乳酸菌接種組之粗蛋白質含量較高 (20.2%)，酸洗纖維含量較低 (37.8%)，且丁酸與 3,4-DHP 含量顯著低於對照組，整體青貯品質亦較佳。綜合以上結果顯示，青貯能有效降低銀合歡之含羞草鹼，添加乳酸菌雖未增加含羞草鹼代謝量，但能加速發酵穩定、維持營養價值並促進 3,4-DHP 降解，提升銀合歡青貯品質與餵飼動物安全性。

關鍵詞：乳酸菌、銀合歡、含羞草鹼、青貯品質。

## 緒 言

銀合歡 (*Leucaena leucocephala*) 是一種生長迅速、對生物與非生物性逆境均耐受性強的豆科植物，廣泛分佈於熱帶與亞熱帶國家 (Akingbade *et al.*, 2001; Honda and Borthakur, 2019)。銀合歡由於再生能力強且產量高，富含蛋白質、類胡蘿蔔素及礦物質，又動物適口性良好，雖然屬於中大型喬木，但若經常收穫，可維持叢生灌木型態，作為全年穩定供應的優質芻料 (Garcia *et al.*, 1996; Akingbade *et al.*, 2001)。然而，銀合歡雖然營養豐富，但其含有對動物具毒性的含羞草鹼 (mimosine) 與其代謝物 3,4- 雙羥基吡啶 (3,4-dihydroxypyridine, 3,4-DHP)、2,3- 雙羥基吡啶 (2,3-dihydroxypyridine, 2,3-DHP)，在食用不慎下會產生脫毛、食慾不振、體重下降、甲狀腺功能異常、胎兒畸形及不孕等毒害症狀 (Halliday *et al.*, 2013)，造成在飼養利用上受到部分限制。

銀合歡的含羞草鹼遍布植體所有部位，包含葉、莖、種子、花、根及根瘤，種子中的含量約占乾重 2.1 – 10.0%，葉片中的含量約占乾重 0.6 – 10.0%，幼嫩組織或器官中的含量顯著高於成熟老化者，其中生長快速的芽頂組織含量更可達乾重 12 – 20% (Yanuartono *et al.*, 2019; Honda and Borthakur, 2024)。此外，含羞草鹼的含量亦會因品種、栽培環境及氣候之不同而有所差異 (Honda and Borthakur, 2019)。為了利用銀合歡具有高營養價值的葉片、嫩莖及豆莢等部位，已開發許多降解含羞草鹼的方法以避免毒害。例如，將銀合歡葉片曝曬於陽光下 24 – 72 小時，

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2851 號。  
(2) 農業部畜產試驗所南區分所。  
(3) 國立岡山高級農工職業學校。  
(4) 國立中興大學農藝學系。  
(5) 通訊作者，E-mail: mmchu@mail.tlri.gov.tw。

可使含羞草鹼含量顯著降低 23 – 27% (Agbo *et al.*, 2017)；在濕度 70% 及 100°C 下加熱處理可顯著降低 50% 含羞草鹼含量 (Akbar and Gupta, 1985)；浸泡於 0.05 N 醋酸鈉 (Tawada *et al.*, 1986)、尿素或碳酸氫鈉 (Hossain *et al.*, 1991) 均能有效去除高達 80% 以上之羞草鹼含量。然而，陽光曝曬會造成銀合歡的羽狀複葉因乾燥碎裂而不易收集，高溫、熱水或化學溶液浸泡處理對於農民操作不易且成本高昂，又部分降解含羞草鹼之方式會顯著降低銀合歡之蛋白質與脂質等含量，不利於大規模生產作為芻料使用 (Agbo *et al.*, 2017; Yanuartono *et al.*, 2019)。

青貯是目前銀合歡作為芻料利用且可降低含羞草鹼危害的最可行方式，雖然銀合歡具有植體緩衝能力 (buffering capacity) 強及水溶性碳水化合物 (water soluble carbohydrates, WSC) 含量不足等不利於青貯發酵的特性，但可透過添加物的應用而製成品質良好之青貯 (Du *et al.*, 2023)。銀合歡葉片與 20% 米糠混合後青貯可使含羞草鹼含量減少 90% 以上；銀合歡嫩枝與葉片混合後分別添加蔗糖、蔗糖與乳酸菌進行青貯，青貯後兩者分別可使含羞草鹼含量減少 49 與 48%，除了降解含羞草鹼，這些添加物均使銀合歡青貯發酵後具有較高的乳酸含量，較低的乙酸與丁酸含量，青貯品質可達到良好等級 (Angthong *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2014)。然而，青貯雖有益於銀合歡作為芻料，但過程中乳酸、揮發性脂肪酸、含羞草鹼及其毒性代謝物含量自發酵啟始至穩定期所需之時間及變化情形仍待釐清，用以確保發酵穩定及使用上之安全性。

銀合歡是國際自然保育聯盟 (International Union for Conservation of Nature, IUCN) 公告之世界百大嚴重危害生態的入侵物種，臺灣的原始植被也正遭受銀合歡入侵破壞。王等 (2012) 以銀合歡作為臺灣黑山羊之芻料，餵飼後的山羊肉具有低脂肪、低熱量及低  $\omega$ -6 脂肪酸 /  $\omega$ -3 脂肪酸的特點，顯示除了伐除與造林，提供動物利用可成為銀合歡之移除方式並創造附加價值。為了增加銀合歡應用於芻料的效益並避免其毒害問題，本研究添加乳酸菌進行銀合歡青貯，探討乳酸菌接種與否對發酵過程中之揮發性脂肪酸、含羞草鹼與毒性代謝物含量的影響及其變動情形，作為銀合歡芻料化的參考。

## 材料與方法

### I. 試驗材料

銀合歡試驗材料於 2024 年 4 月 8 日取自農業部畜產試驗所南區分所放牧區 (屏東縣恆春鎮)，採集時將整株銀合歡鋸下，選取直徑 5 mm 以下之軟嫩枝條及其所附帶之葉片、花、豆莢作為試驗材料 (花與豆莢各約占樣品 2 與 5%)，進行植體芻料化學組成分析及青貯試驗。

### II. 植體芻料化學組成分析

不同處理分別於青貯前與青貯 74 天後進行取樣，取樣均為三重複，樣品經 60°C 烘乾至恆重後計算乾物率，烘乾後的樣品研磨成粉 (篩網孔徑 1 mm) 進行植體芻料化學組成分析，分析項目包含粗蛋白質 (crude protein, CP)、酸洗纖維 (acid detergent fiber, ADF) 及中洗纖維 (neutral detergent fiber, NDF) 含量。分析方法如下：CP 定量參照 AOAC (2019) 之方法，ADF 及 NDF 的測定參考 Vogel *et al.* (1999) 以 ANKOM<sup>200</sup> 纖維分析儀 (ANKOM<sup>200</sup> fiber analyzer, USA) 進行。

### III. 青貯試驗

銀合歡細切至約 2 cm，材料均勻混合後取 1 kg 裝填於真空塑膠袋內，青貯試驗分為以下方式進行，對照組：青貯時無任何添加劑；接種組：青貯時添加商用乳酸菌劑 (*Lactobacillus plantarum* 與 *Lactobacillus casei*，接種量為  $2 \times 10^6$  cfu/kg 材料鮮重)，對照與接種組均分別青貯 0、7、14、21、30、46 及 74 天，每種青貯時間與調製處理組合均為 3 重複，塑膠袋抽真空密封後於室溫下青貯 0、7、14、21、30、46 及 74 天後開封，採樣測定青貯發酵品質。

### IV. 青貯品質測定

取 20 g 開封後之青貯樣品加蒸餾水 180 mL，打碎過濾後以酸鹼度計測定青貯酸鹼值。利用氣體層析儀依 Jones and Kay (1976) 的方法測定青貯之乙酸、丙酸、丁酸及乳酸含量。青貯品質以 Flieg 氏評分法表示，Flieg 氏評分法以青貯中乳酸、乙酸及丁酸各占所測定揮發性脂肪酸與乳酸總合之當量百分比，將三項數值依 Woolford (1984) 評分公式加總計算。

### V. 含羞草鹼 (mimosine) 與 3,4- 雙羥基吡啶 (3,4-dihydroxypyridine, 3,4-DHP) 之萃取與測定

參考 Wu *et al.* (2012) 試驗方法，調整為以下步驟測定含羞草鹼與其代謝物 3,4-DHP 之含量。秤取測定銀合歡芻料化學組成之剩餘粉末 1 g，加入 20 mL 0.1N 鹽酸水溶液，靜置 1 分鐘後劇烈震盪 10 分鐘，避光靜置 24

小時，再從中取 1 mL 以 0.1N 鹽酸水溶液添加至 5 mL，經 0.22  $\mu\text{m}$  聚偏氟乙烯 (polyvinylidene fluoride, PVDF) 過濾膜過濾，濾液以高效液相層析儀 (high performance liquid chromatography, HPLC) 搭配光二極體陣列式檢測器 (Photodiode array detector, PDA) 分析含羞草鹼與 3,4-DHP 含量。分析過程使用動相 0.1% (v/v) 磷酸水溶液：乙腈 (acetonitrile) = 90 : 10，分析管柱為 Agilent HC-C18 (4.6  $\times$  250 mm, 5  $\mu\text{m}$ )，管柱流速為 1.0 mL/min，測定標準品為純度 98% 之左旋含羞草鹼 (L-mimosine from Koa hoale seeds, CAS:10182-48-6, Sigma-Aldrich) 與純度 99% 之 3,4-DHP (CAS:10182-48-6, Combi-Blocks)，分別以波長 290 與 280 nm 之訊號測定含羞草鹼 (retention time: 5.60 min) 與 3,4-DHP (retention time: 6.48 min) 含量。

## VI. 數據統計分析

試驗數據以 SAS 統計軟體 (Statistical Analysis System, SAS 9.4, SAS Institute, Cary, NC, USA) 進行變方分析 (analysis of variance, ANOVA)，如達顯著差異，各處理平均值再以最小顯著差異 (least significance difference, LSD) 進行檢定，比較各處理平均值之間是否達差異顯著。

## 結果與討論

### I. 青貯前之芻料化學組成與含羞草鹼含量

銀合歡青貯前之乾物率與芻料化學組成如表 1，由於收穫時植株已具有部分豆莢，因此乾物率略高，為 36.1%，CP、ADF 及 NDF 含量分別為 19.4、36.1 及 58.0%。銀合歡之芻料化學組成會因植體部位、品種、植株成熟度及收穫季節等不同而有所差異，葉片含軟嫩枝條之 CP、ADF 及 NDF 含量分別為 10.0 – 30.1%、34.1 – 36.1% 及 32.0 – 42.0% (Garcia *et al.*, 1996)；成熟豆莢含種子之 CP、ADF 及 NDF 含量分別為 22.1、35.7 及 52.0% (Zapata-campos *et al.*, 2020)。Verdecia *et al.* (2020) 比較銀合歡刈割後經 60、120 及 180 天再生之芻料化學組成，植株成熟度隨著再生時間延長而增加，但 CP 含量由 31.8% 顯著降低至 25.5%，ADF 與 NDF 含量分別由 23.8 與 42.3% 顯著增加至 31.6 與 60.8%。本試驗之銀合歡由葉片、軟嫩枝條、豆莢及花所組成，CP 含量雖與前人研究相近但纖維含量略高，推測為收穫時銀合歡已開花並具部分豆莢，植株成熟度較高而導致纖維含量較高。

表 1. 銀合歡青貯前之乾物率、芻料化學組成、含羞草鹼及 3,4-DHP 含量 (n = 3)

Table 1. Dry matter, forage chemical composition, mimosine and 3,4-DHP content of *Leucaena leucocephala* before ensiling (n = 3)

| DM <sup>†</sup>             | CP              | ADF            | NDF            | Mimosine        | 3,4-DHP         |
|-----------------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| %                           | % of dry matter |                |                |                 |                 |
| 36.1 $\pm$ 0.1 <sup>‡</sup> | 19.4 $\pm$ 0.1  | 36.1 $\pm$ 0.6 | 58.0 $\pm$ 1.3 | 1.36 $\pm$ 0.01 | 0.99 $\pm$ 0.07 |

<sup>†</sup> DM, dry matter; CP, crude protein; ADF, acid detergent fiber; NDF neutral detergent fiber.

<sup>‡</sup> Values are means  $\pm$  standard error.

銀合歡青貯前之含羞草鹼與 3,4-DHP 含量分別為 1.36 與 0.99% (表 1)，含羞草鹼含量會因品種、植體部位、植株成熟度及環境氣候等不同而具差異。Honda *et al.* (2022) 比較 K636、KX2、KX3、KX4、KX5、KX7 等巨型銀合歡 (*L. leucocephala* subsp. *glabrata*) 品系之含羞草鹼含量彼此間具顯著差異，且與普通銀合歡 (*L. leucocephala* subsp. *leucocephala*) 之含量亦不相同，其中以 KX2 與 KX3 之含量較高，KX7 之含量最低。含羞草鹼含量在葉片約占乾重 0.6 – 10.0%，枝條約占乾重 0.15 – 2.2%，花約占乾重 1.2 – 2.7%，種子約占乾重 2.1 – 10.0%，不同部位的含羞草鹼含量均會隨著植株成熟度愈高而降低 (Yanuartono *et al.*, 2019; Honda and Borthakur, 2024)。本試驗所收穫的銀合歡雖以葉片及軟嫩枝條居多，但植株已開花且具部分豆莢，可能因植株部位組成、成熟度較高或品種因素而造成含羞草鹼含量較低。

### II. 青貯過程發酵產物與含羞草鹼含量之變動情形

銀合歡青貯過程之發酵產物含量變動如圖 1，乳酸菌接種組與對照組青貯之乳酸含量分別在發酵 30、46 天內顯著增加，隨後兩者均漸趨穩定 (圖 1A)。在青貯 30 天內，不同檢測時間均以乳酸菌接種組之乳酸含量顯著高於對照組，其乳酸含量在青貯第 30 天可達 2.56%，對照組則在青貯第 46 天才達 2.66%。乳酸菌接種組與對照組青貯之乙酸、丙酸及丁酸含量均隨著發酵時間延長而顯著增加，兩種處理之乙酸含量均在青貯 46 天後漸趨穩

定 (圖 1B)；丙酸含量均在青貯 30 天後漸趨穩定 (圖 1C)；乳酸菌接種組之丁酸含量在青貯 30 天後達到穩定，對照組則在青貯 46 天後丁酸含量才穩定 (圖 1D)。

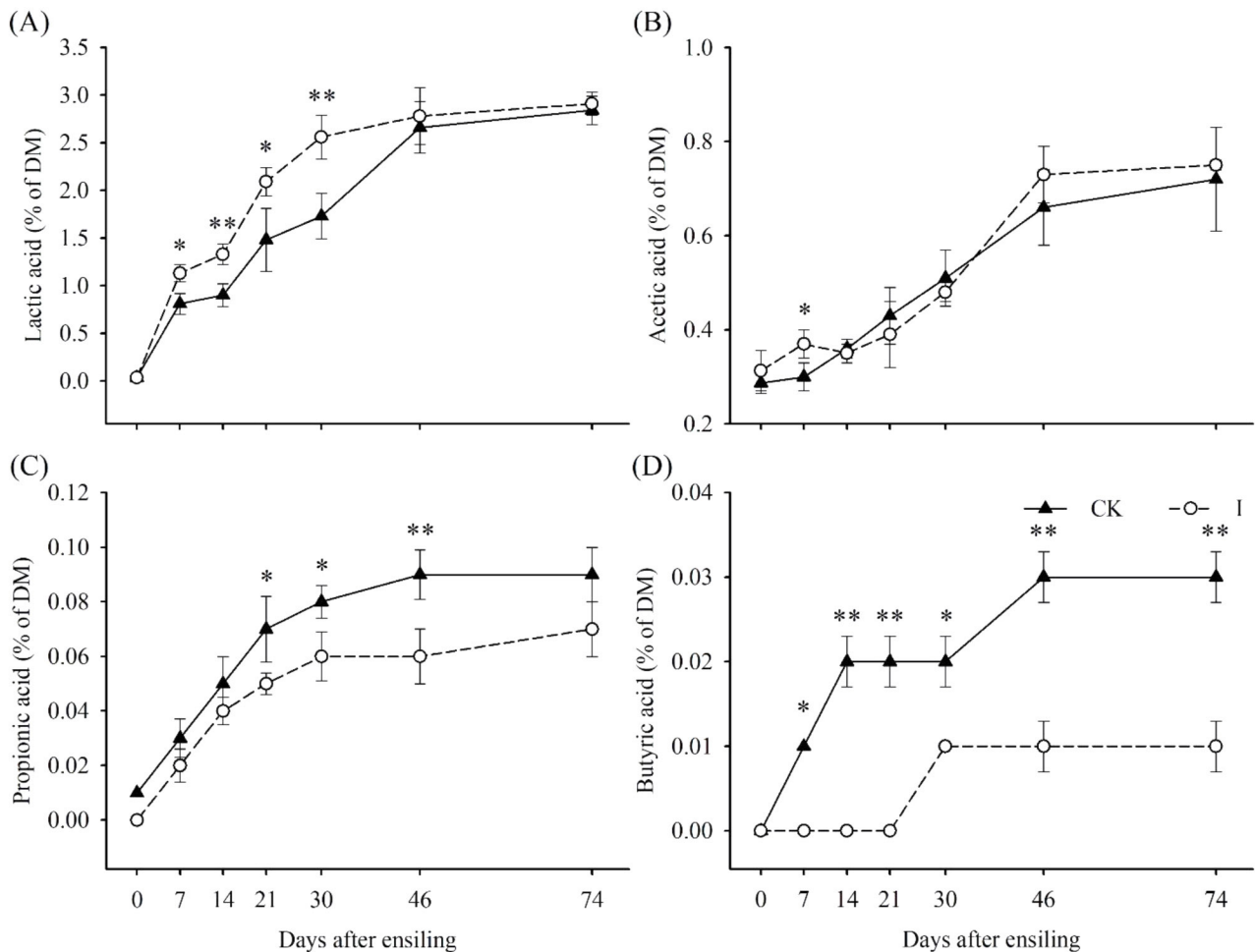


圖 1. 銀合歡青貯過程之 (A) 乳酸、(B) 乙酸、(C) 丙酸及 (D) 丁酸含量變化。(n = 3)

Fig. 1. Changes in (A) lactic acid, (B) acetic acid, (C) propionic acid, and (D) butyric acid content (% of DM) during ensiling of *Leucaena leucocephala*. CK, without inoculation; I, lactic acid bacteria inoculation. (n = 3)

Chen *et al.* (2014) 研究顯示，銀合歡嫩枝與葉片混合後分別添加蔗糖、乳酸菌、蔗糖與乳酸菌進行青貯，在青貯 7 天內，無添加之對照組與各添加處理組之乳酸、乙酸及丙酸含量均快速顯著上升，之後增幅放緩，丁酸含量則隨著青貯時間逐漸增加，此變動趨勢與本試驗相似。然而，各添加處理組之乳酸、乙酸、丙酸及丁酸含量均持續增加至青貯 60 天後才達到穩定，較本試驗之 46 天晚，可能與其參試銀合歡之乾物率 (29.3%) 低於本試驗 (36.1%) 有關，當豆科牧草含水率較高 (DM < 30%) 會導致發酵時間延長 (Kung *et al.*, 2018)，銀合歡葉片 (30.49% DM) 與 20% 米糠 (91.01% DM) 混合後青貯，在較高的乾物率 (37.07%) 下，經 21 天即可達發酵穩定 (Anghong *et al.*, 2007)。此外，本試驗青貯過程之乳酸含量在青貯 30 天內以乳酸菌接種組較高 (圖 1A)，乙酸含量在對照組與乳酸菌接種組之間無顯著差異 (圖 1B)，丙酸與丁酸含量則均以對照組較高 (圖 1C 及 1D)，相較於 Chen *et al.* (2014) 之銀合歡青貯過程，無添加對照組與乳酸菌添加組之乳酸、乙酸、丙酸及丁酸含量彼此間均無顯著差異，又其乳酸含量低於本試驗，乙酸、丙酸及丁酸含量均高於本試驗，應與其材料含水率高於本試驗有關，豆科牧草含水率較高 (DM < 30%) 會導致其青貯乳酸含量較低，乙酸、丙酸及丁酸含量較高 (Kung *et al.*, 2018)，此外，Chen *et al.* (2014) 所添加之乳酸菌為異質發酵 (heterofermentative) 菌株 (*Lactobacillus rhamnosus*)，亦會造成發酵後之乳酸生成量較低而乙酸生成量較高 (Li and Nishino, 2011; Borreani *et al.*, 2018)。

受到發酵產酸的影響，銀合歡兩種處理之青貯 pH 均在發酵過程的 46 天內顯著下降，隨後均達約 5.2 之穩定值 (圖 2A)。本試驗結果與 Chen *et al.* (2014) 不同，其不同處理之銀合歡青貯 pH 均在 3 天內下降顯著，青貯 15 天後，無添加對照組與乳酸菌添加組 pH 均達約 5.7 之穩定值，因其參試銀合歡之乾物率 (29.3%) 低於本試驗 (36.1%) 且其丁酸含量 (0.1 – 0.2%) 顯著高於本試驗 (< 0.03%)，在豆科青貯中，含水率較高 (DM < 30%) 之青貯

相對於含水率較低 ( $DM > 40\%$ ) 之青貯具有較多可供代謝反應的水分，其 pH 下降速度會較含水率低者快，且含水率高者易因梭狀菌 (clostridia) 將乳酸轉化為丁酸，而使其 pH 較高 (Kung *et al.*, 2018)。

在青貯品質方面，乳酸菌接種組之 Flieg 氏評分在青貯第 14 天即可達 88.3 之優良等級，隨後漸趨穩定；對照組則在青貯第 30 天評分才達 85.3 之優良水準，至青貯 46 天後評分趨於穩定 (圖 2B)。Angthong *et al.* (2007) 將銀合歡葉片與 20% 米糠混合調整至較高乾物率 (37.07%) 後青貯，經 21 天發酵即可達理想之乳酸 / 乙酸 (3.43)、無丁酸生成及 94 分的優良青貯品質。由前人研究與本試驗青貯後之乳酸、揮發性脂肪酸含量及品質評分顯示 (圖 1 及圖 2)，銀合歡經調整乾物率至適當範圍或添加乳酸菌，可顯著促進青貯較快發酵生成乳酸，減少丙酸與丁酸生成而較早達到發酵穩定期。

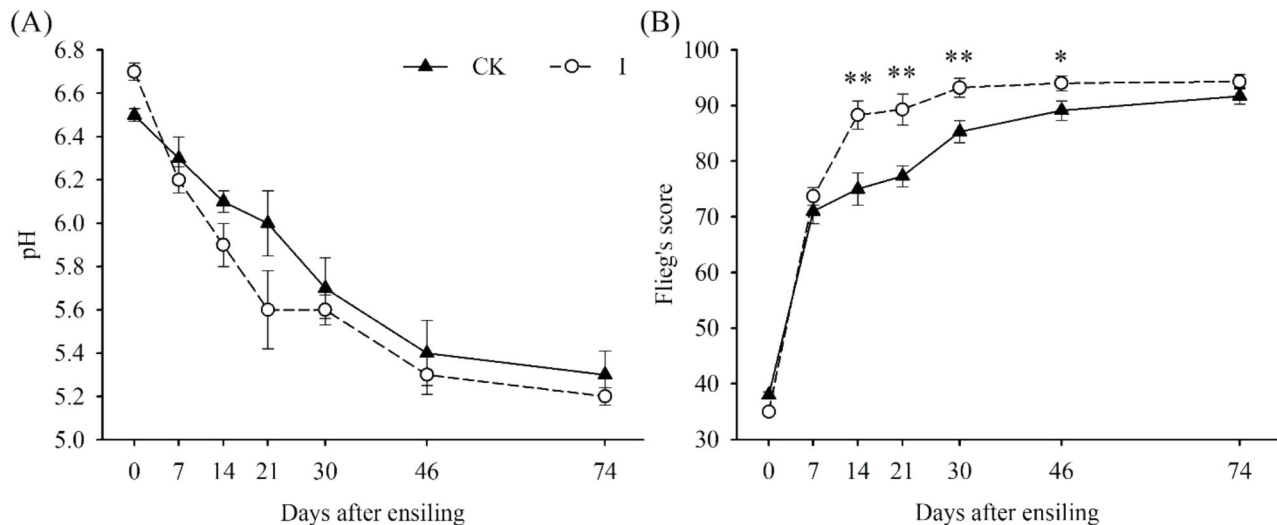


圖 2. 銀合歡青貯過程之 (A) pH 與 (B) Flieg 氏評分變化。(n = 3)

Fig. 2. Changes in (A) pH, and (B) Flieg's score during ensiling of *Leucaena leucocephala*. CK, without inoculation; I, lactic acid bacteria inoculation. (n = 3)

青貯可降解銀合歡之含羞草鹼與 3,4-DHP (圖 3)，在含羞草鹼含量方面 (圖 3A)，乳酸菌接種組與對照組在青貯過程之變動趨勢相近，又兩者在各青貯時間點之含量均無顯著差異，青貯 7 天內均由約 1.4% 顯著降低至約 0.5%，降解率達 64.3%，後續隨著發酵時間延長而緩慢降低，至青貯第 30 天後漸趨穩定。在 3,4-DHP 含量方面 (圖 3B)，兩種處理在青貯過程之變動趨勢相近，但各青貯時間點之含量不盡相同，發酵 7 天內均由約 1.0% 顯著降低至約 0.8%，降解率為 20.0%，但乳酸菌接種組在發酵 7 天後各青貯時間點之 3,4-DHP 含量均顯著低於對照組，又乳酸菌接種組與對照組之 3,4-DHP 含量在青貯第 74 天分別降低至 0.65 與 0.74%，降解率分別為 34 與 25%。由試驗結果顯示，青貯可顯著降低銀合歡之含羞草鹼與 3,4-DHP 含量，又乳酸菌之添加有助於較快且較大幅度降低 3,4-DHP 含量。

青貯是移除銀合歡植體內含羞草鹼並作為芻料利用最具效益的方式，Chen *et al.* (2014) 研究指出，銀合歡含羞草鹼在無添加與添加乳酸菌青貯之降解趨勢與幅度相似，經青貯 15 天，含羞草鹼含量均由 5.0% 降至約 4.0%，降解率約為 20%；添加蔗糖、蔗糖與乳酸菌之含羞草鹼降解趨勢與幅度相似，經青貯 15 天，含羞草鹼含量均由 5.0 降至 3.5%，降解率達 30%，降幅顯著高於無添加與添加乳酸菌之青貯，四種處理後續均隨著發酵時間延長而持續降低，至青貯 90 天時含羞草鹼含量分別降至 3.7、3.5、2.5 及 2.6%，分析不同添加處理之青貯發酵產物對含羞草鹼降解之影響，顯示降解與 pH 呈顯著負相關 ( $P < 0.01$ )，與乳酸、乙酸、丙酸與丁酸含量呈顯著正相關 ( $P < 0.01$ )，又 Chen *et al.* (2014) 對照組 (無任何添加) 與乳酸菌接種之銀合歡青貯 pH 均為 3.7，乳酸、乙酸、丙酸及丁酸含量分別為 1.2 與 1.2%、1.2 與 1.7%、0.6 與 0.7%、0.2 與 0.3%，本試驗之含羞草鹼降解趨勢及幅度與其研究不同 (圖 3A)，可能來自於青貯 pH 與發酵產物含量不同所致 (圖 1 及圖 2A)。

3,4-DHP 來自於銀合歡植體中的含羞草鹼酶 (mimosinase) 降解含羞草鹼，或含羞草鹼受到 *Synergistes jonesii*、*Streptococcus lutetiensis*、*Clostridium butyricum*、*Lactobacillus vitulinus* 及 *Butyrivibrio fibrisolvens* 等微生物降解而成，會因銀合歡受到破壞 (如細切、咀嚼)、生物或非生物性逆境等因素誘導含羞草鹼酶作用，以及具降解性微生物存在與否而影響其含量，又 3,4-DHP 亦可受微生物降解為無毒產物 (Derakhshani *et al.*, 2016; Honda and Borthakur, 2019; Honda and Borthakur, 2024)。綜合前人研究與本試驗結果 (表 3B) 顯示，3,4-DHP 在不同青貯條

件下之降解速率與程度有所差異，可能除了受到青貯 pH、乳酸及揮發性脂肪酸含量之影響外，銀合歡含水率與發酵過程微生物之組成亦是重要影響因子，進而影響青貯 pH 下降速率、發酵產酸種類與含量多寡、具降解能力之微生物或酶的活性。

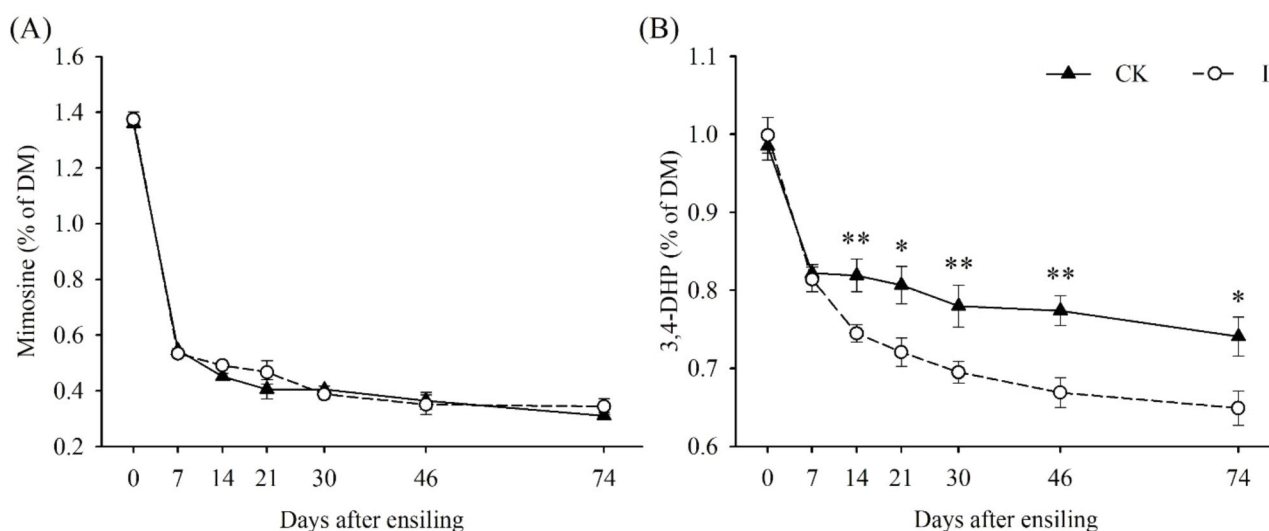


圖 3. 銀合歡青貯過程之 (A) 含羞草鹼與 (B) 3,4-DHP 含量變化。(n = 3)

Fig. 3. Changes in (A) mimosine, and (B) 3,4-DHP content (% of DM) during ensiling of *Leucaena leucocephala*. CK, without inoculation; I, lactic acid bacteria inoculation. (n = 3)

### III. 青貯品質、青貯後之芻料化學組成與含羞草鹼含量

經過 74 天青貯，乳酸菌接種組與對照組之青貯發酵產物含量及品質如表 2。兩種青貯處理之 pH、乳酸、乙酸及丙酸含量均無顯著差異，僅對照組之丁酸顯著高於乳酸菌接種組，分別為 0.03% 與 0.01%。乳酸菌接種組之 Flieg 氏評分 (94.3) 顯著高於對照組 (91.7)，但兩者之青貯品質均達優良等級。銀合歡與桑樹、構樹及辣木等高營養價值之本植物具相同特性，因酸鹼緩衝能力強 ( $> 500$  mEq/kg DM)、WSC 含量不足 ( $< 6\%$  DM) 及附生之乳酸菌量有限 ( $< 10^5$  cfu/g FM)，若植體乾物率未在適當範圍 (30 – 40%)，難以單獨製成品質良好之青貯，青貯 pH 多數高於 5.0，又 pH 下降幅度不顯著且緩慢 (Angthong *et al.*, 2007; Heinritz *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2014)，造成梭狀菌的數量與活性不易受到抑制而將醣類或乳酸轉化為丁酸，當丁酸含量愈高，代表青貯乾物質與能量大幅損失，需藉由萎凋、添加乳酸菌、醣類或禾本科作物等方式調製為青貯利用 (Du *et al.*, 2023; Guo *et al.*, 2024)。銀合歡嫩枝與葉片混合後分別添加蔗糖、乳酸菌、蔗糖與乳酸菌 (29.3 – 31% DM)，經青貯 60 天以上可發酵良好 (Heinritz *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2014)。然而，比較不同添加物之青貯試驗結果，銀合歡添加蔗糖後之品質顯著優於添加乳酸菌，具有較高之乳酸含量，較低之 pH、乙酸及丙酸含量，甚至可與添加蔗糖及乳酸菌之品質相當 (Heinritz *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2014)，顯示 WSC 含量充足與否是影響銀合歡青貯品質優劣的重要因子。

表 2. 乳酸菌接種對銀合歡青貯 74 天後之發酵產物含量與品質影響 (n = 3)

Table 2. Effect of lactic acid bacteria inoculation on silage fermentation products and quality of *Leucaena leucocephala* after 74 days of ensiling (n = 3)

| Type                        | pH                     | A <sup>†</sup> | P           | B                        | L           | Score                   |
|-----------------------------|------------------------|----------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------------------|
| ----- % of dry matter ----- |                        |                |             |                          |             |                         |
| CK                          | 5.3 ± 0.1 <sup>‡</sup> | 0.72 ± 0.13    | 0.09 ± 0.04 | 0.03 ± 0.00 <sup>a</sup> | 2.84 ± 0.35 | 91.7 ± 0.9 <sup>b</sup> |
| I                           | 5.2 ± 0.0              | 0.75 ± 0.01    | 0.07 ± 0.03 | 0.01 ± 0.00 <sup>b</sup> | 2.91 ± 0.12 | 94.3 ± 0.7 <sup>a</sup> |

<sup>†</sup> A, acetic acid; P, propionic acid; B, butyric acid; L, lactic acid; Score, silage quality of Flieg's score; CK, without inoculation; I, lactic acid bacteria inoculation.

<sup>‡</sup> Values are means ± standard error. Values in the same column with different superscripts differ significantly ( $p < 0.05$ ).

青貯 74 天後乳酸菌接種組之 CP 含量 (20.2%) 顯著高於對照組 (19.0%)，又其 ADF 含量 (37.8%) 顯著低於對

照組 (43.2%)，兩者之 NDF 無顯著差異 (表 3)，顯示乳酸菌接種組在青貯後之芻料品質優於對照組。相較於對照組，青貯後乳酸菌接種組之 CP 含量較高而 ADF 含量較低之原因推測來自於乳酸菌的添加能促進發酵，較快速生成乳酸而降低青貯 pH (圖 1A 及圖 2A)，pH 降低除了能夠抑制梭狀菌與植體蛋白酶活性以避免蛋白質水解 (proteolysis)，亦能促進結構性碳水化合物的酸水解 (acid hydrolysis)，進而降低纖維含量 (Heinritz *et al.*, 2012; He *et al.*, 2019)。此外，兩種處理在青貯後之 CP 含量均未顯著低於青貯前 (19.4%，表 1)，青貯後 CP 含量損失低可能與銀合歡之縮合單寧 (condensed tannin) 含量較高有關 (2.59 – 4.53% DM, Zapata-campos *et al.*, 2020)，此類物質能抑制微生物與蛋白酶對蛋白質之分解 (Albrecht and Muck, 1991)。

兩種青貯處理在發酵 74 天後的含羞草鹼含量無顯著差異，可較青貯前降解約 75%；3,4-DHP 含量以乳酸菌接種組 (0.65) 顯著低於對照組 (0.74) (表 3)，相較於青貯前，青貯後乳酸菌接種組分別約可降解 34 與 25%。Chen *et al.* (2014) 研究顯示，含羞草鹼降解率與乳酸含量之相關係數最大，其次是 pH，顯示乳酸含量對降解速率影響最顯著，其推測因乳酸是青貯發酵主要生成之有機酸中 pKa 最低 (3.86) 而酸性強，能快速降低 pH 而促進含羞草鹼之分解。本試驗兩種青貯處理在發酵 74 天後的含羞草鹼含量不具差異，可能來自於青貯後乳酸含量與 pH 均無顯著差異 (表 2)。在 3,4-DHP 含量方面，因含羞草鹼降解為 3,4-DHP、3,4-DHP 進一步代謝為無毒產物之間會造成 3,4-DHP 含量的增減相互抵消，又其生成與代謝之影響因子尚不清楚，青貯過程 3,4-DHP 含量變動之原因仍需進一步試驗探討。

表 3. 乳酸菌接種對銀合歡青貯 74 天後之芻料化學組成、含羞草鹼及 3,4-DHP 含量影響 (n = 3)

Table 3. Effect of lactic acid bacteria inoculation on forage chemical composition, mimosine, and 3,4-DHP of *Leucaena leucocephala* after 74 days of ensiling (n = 3)

| Treatment                   | CP <sup>†</sup>          | ADF                     | NDF        | Mimosine    | 3,4-DHP                  |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|------------|-------------|--------------------------|
| ----- % of dry matter ----- |                          |                         |            |             |                          |
| CK                          | 19.0 ± 0.1 <sup>b‡</sup> | 43.2 ± 0.9 <sup>a</sup> | 57.9 ± 0.5 | 0.31 ± 0.01 | 0.74 ± 0.03 <sup>a</sup> |
| I                           | 20.2 ± 0.2 <sup>a</sup>  | 37.8 ± 0.6 <sup>b</sup> | 56.5 ± 1.1 | 0.34 ± 0.04 | 0.65 ± 0.03 <sup>b</sup> |

<sup>†</sup> CP, crude protein; ADF, acid detergent fiber; NDF, neutral detergent fiber; CK, without inoculation; I, lactic acid bacteria inoculation.

<sup>‡</sup> Values are means ± standard error. Values in the same column with different superscripts differ significantly (p < 0.05).

## 結 論

本研究證實銀合歡透過青貯能顯著降低含羞草鹼與 3,4-DHP 含量，未添加乳酸菌之青貯可於存放 46 天後發酵穩定且含羞草鹼含量降解顯著；添加乳酸菌雖未進一步降低含羞草鹼含量，但能加速於青貯 30 天後達發酵穩定、保留顯著較高之粗蛋白質並降低纖維含量，亦能較快速且顯著降低 3,4-DHP 含量 (青貯 74 天後 3,4-DHP 降解率達 34%，優於對照組 25%)。綜合以上結果，乳酸菌接種能提升銀合歡青貯之發酵效率與品質，有效促進含羞草鹼及其毒性代謝物之降解。

## 參考文獻

- 王勝德、蘇安國、涂榮珍、吳祥雲、楊深玄。2012。餵飼銀合歡對山羊肉理化性狀之影響。畜產研究 45：275-286。
- Agbo, A. N., J. K. Balogun, S. J. Oniye, and J. Auta. 2017. Effect of different processing methods on nutritional composition of *Leucaena leucocephala* (Lam De Wit) leaves as inclusion in fish feed. J. Appl. Sci. Environ. Manage. 21: 719-725.
- Akbar, M. A. and P. C. Gupta. 1985. Proximate composition, and tannin and mineral contents of various plant parts of subabul (*Leucaena leucocephala*). Indian J. Anim. Sci. 55: 808-812.
- Akingbade, A. A., I. V. Nsahlai, and C. D. Morris. 2001. Seasonal variation in forage quality and mimosine contents of two varieties of *Leucaena leucocephala*. Afr. J. Range Forage Sci. 18: 131-135.
- Albrecht, K. A. and R. E. Muck. 1991. Proteolysis in ensiled forage legumes that vary in tannin concentration. Crop Sci. 31: 494-469.

- Anghong, W., B. Cheva-Isarakul, S. Promma, and B. Cheva-Isarkul. 2007. Beta-carotene, mimosine and quality of leucaena silage kept at different duration. *Kasetsart J. Nat. Sci.* 41: 282-287.
- AOAC. 2019. Official Methods of Analysis. 21st ed. Assoc. Offic. Anal. Chem., Arlingmt, VA.
- Borreani, G., E. Tabacco, R. J. Schmidt, B. J. Holmes, and R. E. Muck. 2018. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *J. Dairy Sci.* 101: 3952-3979.
- Chen, X. Z., F. Feng, Q. H. Liu, and J. G. Zhang. 2014. Degrading mimosine and tannins of *Leucaena leucocephala* by ensiling. *Appl. Mech. Mater.* 618: 349-353.
- Derakhshani, H., S. W. Corley, and R. Al Jassim. 2016. Isolation and characterization of mimosine, 3, 4 DHP and 2, 3 DHP degrading bacteria from a commercial rumen inoculum. *J. Basic Microbiol.* 56: 580-585.
- Du, Z., F. Yang, J. Fang, S. Yamasaki, T. Oya, D. Nguluve, H. Kumagai, and Y. Cai. 2023. Silage preparation and sustainable livestock production of natural woody plant. *Front. Plant Sci.* 14: 1253178.
- Garcia, G. W., T. U. Ferguson, F. A. Neckles, and K. A. E. Archibald. 1996. The nutritive value and forage productivity of *Leucaena leucocephala*. *Anim. Feed Sci. Tech.* 60: 29-41.
- Guo, Y., R. Huang, Y. Niu, P. Zhang, Y. Li, and W. Zhang. 2024. Chemical characteristics, antioxidant capacity, bacterial community, and metabolite composition of mulberry silage ensiling with lactic acid bacteria. *Front. Microbiol.* 15: 1363256.
- Halliday, M. J., J. Padmanabha, C. S. McSweeney, G. Kerven, and H. M. Shelton. 2013. *Leucaena* toxicity: A new perspective on the most widely used forage tree legume. *Trop. Grassl. Forrajes Trop.* 1: 1-11.
- He, L., W. Zhou, C. Wang, F. Yang, X. Chen, and Q. Zhang. 2019. Effect of cellulase and *Lactobacillus casei* on ensiling characteristics, chemical composition, antioxidant activity, and digestibility of mulberry leaf silage. *J. Dairy. Sci.* 102: 9919-9931.
- Heinritz, S. N., S. D. Martens, P. Avila, and S. Hoedtke. 2012. The effect of inoculant and sucrose addition on the silage quality of tropical forage legumes with varying ensilability. *Anim. Feed Sci. Technol.* 174: 201-210.
- Honda, M. D. H. and D. Borthakur. 2019. Mimosine concentration in *Leucaena leucocephala* under various environmental conditions. *Trop. Grassl. Forrajes Trop.* 7: 164-172.
- Honda, D. H. and D. Borthakur. 2024. Mimosine concentration in giant leucaena (*Leucaena leucocephala* subsp. *glabrata*) fluctuates with age and plant part. *Trop. Grassl. Forrajes Trop.* 12: 11-23.
- Honda, M. D. H., A. Youkhana, T. Idol, and D. Borthakur. 2022. A maceration treatment of leucaena foliage improves its nutritional value by reducing mimosine concentration. *Trop. Grassl. Forrajes Trop.* 10: 1-14.
- Hossain, M. A., A. L. Mustafa, M. Alam, and M. Z. A. Khan. 1991. Studies on the removal of mimosine from ipil-ipil (*Leucaena leucocephala*) seed. *J. Bangl. Chem. Soc.* 4: 83-85.
- 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.
- Kung, L., R. D. Shaver, R. J. Grant, and R. J. Schmidt. 2018. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *J. Dairy Sci.* 101: 4020-4033.
- Li, Y. and N. Nishino. 2011. Effects of inoculation of *Lactobacillus rhamnosus* and *Lactobacillus buchneri* on fermentation, aerobic stability and microbial communities in whole crop corn silage. *Grassl. Sci.* 57: 184-191.
- Tawada, S., F. Hongo, K. Sunagawa, Y. Kawashima, and A. Yaga. 1986. A simple reduction method of mimosine in the tropical plant *Leucaena*. *Sci. Bullet. Coll. Agric.* 33: 87-94.
- Verdecia, D. M., R. S. Herrera, J. L. Ramírez, I. Leonard, R. Bodas, S. Andrés, F. J. Giráldez, C. Valdés, Y. Arceo, M. Paumier, A. Santana, Y. Álvarez, Y. Mendez, and S. López. 2020. Effect of age of regrowth, chemical composition and secondary metabolites on the digestibility of *Leucaena leucocephala* in the Cauto Valley, Cuba. *Agric. Syst.* 94: 1247-1253.
- Vogel, K. P., J. F. Pedersen, S. D. Masterson, and J. J. Toy. 1999. Evaluation of a filter bag system for NDF, ADF, and IVDMD forage analysis. *Crop Sci.* 39: 276-279.
- Woolford, M. K. 1984. Factors affecting silage in and out of the silo. In: M. K. (eds.), *The Silage Fermentation*. Marcel Dekker, Inc. pp. 133-155. New York, USA.
- Wu, C. M., H. M. Yuan, G. Jia, G., Z. S. Wang, and X. Q. Wu. 2012. Determination of mimosine and 2,3-dihydroxypyridine in *Leucaena leucocephala* by reversed phase high-performance liquid chromatography. *Appl. Mech. Mater.* 140: 296-

301.

- Yanuartono, Y., S. Indarjulianto, A. Nururrozi, S. Raharjo, and H. Purnamaningsih. 2019. Brief review: the negative impact of mimosin in *L. leucocephala* in ruminant animals and processing methods to reduce poisoning effects on ruminant livestock. *J. Livest. Sci. Prod.* 3: 199-213.
- Zapata-campos, C. C., J. E. García-martínez, J. Salinas-chavira, J. A. Ascacio-valdés, M. A. Medina-Morales, and M. Mellado. 2020. Chemical composition and nutritional value of leaves and pods of *Leucaena leucocephala*, *Prosopis laevigata* and *Acacia farnesiana* in a xerophilous shrubland. *Emir. J. Food Agric.* 32: 723-730.

# Study on the effects of lactic acid bacteria inoculation on the fermentation characteristics and mimosine metabolism of *Leucaena leucocephala* silage<sup>(1)</sup>

Pi-Chain Liu<sup>(2)</sup> Rajendra Adak<sup>(3)</sup> Chien-Te Chen<sup>(3)</sup> and Ming-Hung Chu<sup>(4)(5)</sup>

Received: Jan. 30, 2026; Accepted: Mar. 13, 2026

## Abstract

*Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) is nutritious and highly palatable, making it a suitable forage. However, the presence of the toxic amino acid mimosine and its metabolite 3,4-dihydroxypyridine (3,4-DHP) in the plant set limits on its use in livestock production. Ensiling is regarded the most effective method to preserve the nutritional value of leucaena while reducing its toxicity. Yet, the fluctuation of lactic acid, volatile fatty acids, and toxic metabolites in the fermentation process remain unclear. In this study, two treatments—with and without lactic acid bacteria (LAB) inoculation—were compared to evaluate the fermentation characteristics, chemical composition, and changes in mimosine and 3,4-DHP content of leucaena silage at different fermentation periods (0, 7, 14, 21, 30, 46, and 74 days). The results showed that prior to ensiling, leucaena had a dry matter content of 36.1%, crude protein (CP) of 19.4%, and mimosine and 3,4-DHP concentrations of 1.36% and 0.99%, respectively. During ensiling, the LAB treatment significantly accelerated lactic acid production and effectively inhibited propionic and butyric acid formation. Fermentation stability was achieved by day 30 in the LAB treatment, earlier than the 46 days in the control treatment. The pH of the LAB treatment decreased to approximately 5.2 by day 46, and its Flieg's score reached an excellent grade (88.3) by day 14; both were significantly superior to the control, indicating that LAB accelerated the desirable fermentation. Regarding toxicity degradation, the mimosine content in both treatments decreased by 64.3% within the first 7 days before ensiling and gradually stabilized after 30 days, with no significant differences observed between treatments at any ensiling time point. The 3,4-DHP content in both treatments decreased by about 20% within 7 days; however, at subsequent time points the inoculated silage consistently had lower 3,4-DHP levels than the control, suggesting that LAB inoculation facilitated 3,4-DHP degradation. After 74 days of ensiling, the LAB treatment demonstrated higher crude protein (20.2%), lower acid detergent fiber (37.8%), and significantly lower butyric acid and 3,4-DHP contents compared to the control, resulting in better overall silage quality. In conclusion, ensiling effectively reduces mimosine levels in leucaena. Although LAB inoculation did not increase the level of mimosine metabolism, it accelerated fermentation stability, preserved nutritional value, and promoted the degradation of 3,4-DHP, thereby improving the overall quality and feeding safety of leucaena silage.

Key words: Lactic acid bacteria, *Leucaena leucocephala*, Mimosine, Silage quality.

(1) Contribution No. 2851 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

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

(3) National Kangshan Agriculture and Industrial Vocational Senior High School, Kaohsiung 820001, Taiwan, R. O. C.

(4) National Chung Hsing University, Department of Agronomy, Taichung 402202, Taiwan, R. O. C.

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

# 褐色菜鴨停止選拔受精持續性對選拔與對照品系生長 與產蛋性能的探討<sup>(1)</sup>

洪哲明<sup>(2)</sup> 蔡銘洋<sup>(2)(7)</sup> 劉曉龍<sup>(3)</sup> 林義福<sup>(3)</sup> 謝昭賢<sup>(3)</sup>  
戴謙<sup>(4)</sup> Roger Rouvier<sup>(5)</sup> 鄭裕信<sup>(6)</sup>

收件日期：114 年 9 月 2 日；接受日期：115 年 3 月 30 日

## 摘 要

本研究旨在探討褐色菜鴨經停止受精持續性選拔 6 年後對選拔品系與對照品系之生長與產蛋性能的影響。試驗動物為褐色菜鴨畜試二號選拔品系第 16 代及同期對照品系，數量分別為 243 及 274 隻，共 517 隻，供測定生長與產蛋性能試驗使用至 100 週齡產蛋紀錄結束。經計算兩品系每代公母鴨之近親係數，結果顯示選拔品系至第 16 代時分別為公鴨 0.212 與母鴨 0.209。對照品系分別為公鴨 0.056 與母鴨 0.054。測定兩品系之出生體重、初產蛋體重、10、30、40、90 與 100 週齡平均體重比較結果，對照品系均顯著重於選拔品系 ( $P < 0.05$ )，兩品系之平均初產蛋日齡、初產蛋重均無顯著差異，於 40 週齡平均蛋重分別為  $62.3 \pm 3.4$  (55 – 76) 與  $67.0 \pm 4.5$  (52 – 80) g；以選拔品系之 40 週齡平均蛋重較輕，至於 90 週齡平均蛋重兩品系分別為  $60.9 \pm 4.7$  (51 – 77) 與  $66.5 \pm 5.8$  (54 – 81) g，100 週齡平均蛋重分別為  $59.8 \pm 4.6$  (54 – 78) 與  $64.9 \pm 5.1$  (52 – 76) g，對照品系均顯著重於選拔品系 ( $P < 0.05$ )，兩品系 40 週齡平均產蛋數為  $139.4 \pm 25.7$  (46 – 173) 與  $136.1 \pm 27.8$  (35 – 175) 枚，無顯著差異；52 週齡平均產蛋數為  $218.7 \pm 34.2$  (127 – 260) 與  $203.8 \pm 39.3$  (79 – 252) 枚，以選拔品系 52 週齡平均產蛋數較多 ( $P < 0.05$ )，於選拔品系與對照品系之 100 週齡平均產蛋數分別為  $507.7 \pm 41.8$  (393 – 578) 與  $480.0 \pm 53.6$  (316 – 563) 枚，100 週齡平均產蛋數以選拔品系多於對照品系 27.7 枚 ( $P < 0.05$ )，綜合而言，停止受精持續性選拔後的第 6 年 (16 代) 選拔品系呈現各週齡體重較輕，但與對照品系相比仍具較佳產蛋性能。

關鍵詞：褐色菜鴨、停止選拔、受精持續性、生長性能、產蛋性能。

## 緒 言

臺灣土番鴨之早期生產係將公番鴨與母菜鴨雜交，於近數十年來，則改以母北京鴨或母改鴨雜交公番鴨而成，經試驗證明此雜交方式為肉鴨生產有效的遺傳組合。此繁殖生產模式需使用人工授精方式來進行，且因涉及屬間雜交，受精率並不高，成為限制其大規模生產的瓶頸 (Tai, 1985)。劉及戴 (1984) 報告公番鴨精子在母菜鴨或母改鴨輸卵管內受精能力的維持時間均較短，平均於第 4 天即有顯著下降趨勢，比雞每隔 7 天，火雞每隔 14 天做人工授精一次均短很多。因此為了達到高受精率，必須縮短人工授精間隔為 2 – 3 天授精一次，導致投入勞力成本增加。依據 Tai *et al.* (1994) 初步試驗結果，使用具系譜之褐色菜鴨配以公番鴨之混合精液進行人工授精，並依系譜收集親屬相關資料分析其遺傳變異，結果顯示由受精至受精後 15 天之受精率的遺傳率為 0.34 ( $h^2_{std}$ )，Cheng *et al.* (2009) 依據 Tai *et al.* (1994) 對鴨屬間雜交進行共 11 代受精持續時間選拔的結果，以遺傳標準差單位表示，孵化第 7 天照蛋時受精蛋數、最大受精持續時間、出雛土番鴨數的每代遺傳改進量分別為 0.40、0.45 和 0.32。選拔品系與對照品系單次人工授精後第 2 – 8 天平均受精率 (照蛋時受精蛋數 / 入孵蛋數) 分別為 89.14 及 61.46%。達每週授精一次之目標，且胚胎發育未受影響。隨後觀察停止選拔後選拔品系之受精持續性性狀，即使停止 6 年 (5 代) 的選拔，選拔

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2852 號。

(2) 農業部畜產試驗所畜產經營組。

(3) 農業部畜產試驗所畜產經營組退休。

(4) 崑山科技大學名人堂。

(5) 法國國家農業、食品與環境研究院退休。

(6) 農業部畜產試驗所所長室所長退休。

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

品系仍然能夠每週進行一次授精即可，於第 7 天平均受精率分別為選拔品系 92% 與對照品系 62%；鴨屬間雜交繁殖時的受精持續性未見顯著下降 (Hung *et al.*, 2013)，至於其他主要生長與產蛋經濟性狀是否可能亦受影響則有待探討。因此，本試驗旨在探討停止受精持續性選拔 6 年後，對選拔品系與對照品系之主要生長與產蛋性能的影響。

## 材料與方法

本試驗於農業部畜產試驗所畜產經營組試驗鴨舍進行。試驗動物之使用、飼養管理及試驗內容均經該所實驗動物照護及使用小組審核通過 (畜試動字第 100-13 號)。

### I. 試驗動物、飼養管理與測定項目

試驗選用停止受精持續性選拔 6 年後，第 16 代褐色菜鴨畜試二號選拔品系與對照品系共繁殖 517 隻褐色菜鴨，其中 243 隻為停止選拔後的選拔品系，274 隻為對照品系，供測定生長與產蛋性能試驗使用。選拔品系係依受精蛋數較優的育種價值每代挑選種鴨公 20 隻母 60 隻，對照品系則依 Matheron and Chevalet (1977) 與 Cheng *et al.* (2009) 所述的方法隨機挑選種鴨公 20 隻母 60 隻，維持與選拔品系相同的繁殖規模與族群結構。配種方法兩品系均以 1 公配 3 母方式進行，並避開全同胞與半同胞配種，進行繁殖下一代。停止選拔後，兩品系在第 12 – 16 代均維持每代公母各 80 隻種鴨的留種規模與上述配種方式。雛鴨飼養於地面圍欄中，0 至 4 週齡飼餵含 19% 粗蛋白 (crude protein, CP) 和 2,925 kcal/kg 代謝能 (metabolizable energy, ME) 的飼料，5 至 15 週齡飼餵含 13% CP 和 2,830 kcal/kg ME 的飼料。產蛋前已上籠之母鴨依產下第一顆蛋後，將母鴨重新轉入單籠依序飼養，以開始進行產蛋記錄。產蛋期間母鴨飼餵含 20% CP 和 2,810 Kcal/kg ME 的飼料。整個試驗期間，鴨隻任飼，水自由飲用至 100 週齡產蛋紀錄結束。鴨隻秤量 0、10、30、40、90 和 100 週齡體重 (BW0、BW10、BW30、BW40、BW90、BW100)，經 10 週齡體重測定後，選留有初產蛋母鴨上籠進行產蛋性能調查，測定主要之產蛋性能包括初產蛋日齡 (age at first egg, afe)、初產蛋體重 (body weight at 1st egg, BWAFE)、初產蛋重 (egg weight at 1st egg, FEW)、40 週齡產蛋數 (number of eggs laid up to 40 weeks of age, EN40)、52 週齡產蛋數 (number of eggs laid up to 52 weeks of age, EN52)、100 週齡產蛋數 (number of eggs laid up to 100 weeks of age, EN100)、40 週齡蛋重 (egg weight at 40 weeks of age, EW40)、90 週齡蛋重 (egg weight at 90 weeks of age, EW90) 及 100 週齡蛋重 (egg weight at 100 weeks of age, EW100)。

### II. 統計分析

累積收集之兩品系試驗資料使用 SAS 統計分析系統之 PROC INBREED 程序估算每代公母鴨之近親係數，並以一般線性模式程序 (General Linear Model Procedure, GLM) 進行變方分析，計算各項測定性狀之平均值與標準偏差及範圍，並依品系採用學生—紐曼—柯爾檢定 (Student-Newman-Keuls Test, SNK) 比較各品系間平均值的差異 (SAS, 2002)。

其試驗設計採用完全隨機設計 (completely randomized design, 簡稱 CRD)，所有性狀之表型值 (Y)，均假設符合數學統計模式如下：

$$Y_{ij} = \mu + B_i + \varepsilon_{ij}$$

式中

$Y_{ij}$ ：為第  $i$  個品系之第  $j$  隻雞的觀測值

$\mu$ ：表示觀測值之平均值

$B_i$ ：為第  $i$  個品系之效應 ( $i = 1, 2$ )

$\varepsilon_{ij}$ ：為隨機機差效應  $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ 。

## 結果與討論

### I. 每代公母鴨之近親係數估算

兩品系經 16 代繁殖後，每代公鴨與母鴨族群之近親係數平均值如表 1 所示。假設基礎種源親代間無親屬關係，則第一代近親係數平均值為 0。在避免近親交配的繁殖策略下，至第 16 代時，選拔品系公鴨與母鴨之平均近親係數分別緩慢增加至 0.212 與 0.209，而對照品系則僅分別累積至 0.056 與 0.054。為了儘量減少近親配種

的發生，選拔品系為依育種價值之排序避開全同胞與半同胞之配種設計方式來進行，結果顯示每代近親係數僅適度緩慢的逐漸增加，選拔品系於第 10—11 世代近親係數出現較明顯的攀升 (由 0.118 增至 0.140，表 1)，可能與該世代留種後實際配種繁殖數量減少有關。至於第 14 代 (2008) 對照品系之公鴨與母鴨分別為 0.052 與 0.048，係由於 2007 年選取的對照組母鴨數量不足，因此又選取了 2005 年不同家族之親代對照品系母鴨 29 隻，用於繁殖 2008 年世代所致。Chang (2025) 報告計算褐色菜鴨殘差飼料採食量 (residual feed consumption, RFC) 選育品系及對照品系之每代近親係數結果，RFC 選育品系在第 12 代亦緩慢增加至 0.167 與 0.169。而對照品系則為 0.084 與 0.083。與本報告之結果相似，因此雖然配種設計為避免近親交配，但仍需注意近親累積可能帶來的不良影響，並適度注意遺傳多樣性之維持。

表 1. 停止選育品系 (S) 與對照品系 (C) 公母鴨之各代近親係數平均值  
Table 1. Mean of inbreeding coefficients in males and females of S and C lines

| Generation | S line |        | C line |        |
|------------|--------|--------|--------|--------|
|            | Male   | Female | Male   | Female |
| G1 (1992)  | 0      | 0      | 0      | 0      |
| G2 (1993)  | 0      | 0      | 0      | 0      |
| G3 (1994)  | 0.018  | 0.017  | 0.0078 | 0.0067 |
| G4 (1995)  | 0.036  | 0.041  | 0.025  | 0.022  |
| G5 (1996)  | 0.047  | 0.053  | 0.034  | 0.034  |
| G6 (1997)  | 0.065  | 0.067  | 0.038  | 0.040  |
| G7 (1998)  | 0.084  | 0.082  | 0.048  | 0.047  |
| G8 (1999)  | 0.106  | 0.106  | 0.063  | 0.060  |
| G9 (2000)  | 0.108  | 0.112  | 0.066  | 0.065  |
| G10 (2002) | 0.117  | 0.118  | 0.074  | 0.065  |
| G11 (2003) | 0.140  | 0.142  | 0.059  | 0.059  |
| G12 (2005) | 0.154  | 0.156  | 0.068  | 0.074  |
| G13 (2007) | 0.170  | 0.169  | 0.072  | 0.077  |
| G14 (2008) | 0.189  | 0.190  | 0.052* | 0.048* |
| G15 (2009) | 0.197  | 0.195  | 0.043  | 0.043  |
| G16 (2010) | 0.212  | 0.209  | 0.056  | 0.054  |

\* Because female ducks of control group selected in 2007 were not sufficient, additional 29 female ducks of control group selected in 2005 were used to reproduce generation of 2008.

## II. 停止選拔後與對照品系之生長性能比較

測定停止選拔受精持續性後與對照品系之生長性能分析結果如表 2，兩品系平均出生體重分別為  $31.0 \pm 3.5$  (24 — 43) 與  $33.9 \pm 3.0$  (26 — 42) g，10 週齡平均體重分別為  $1,129.5 \pm 87.9$  (790 — 1,371) 與  $1,157.5 \pm 90.1$  (872 — 1,412) g，初產蛋平均體重分別為  $1,185.8 \pm 78.5$  (920 — 1,405) 與  $1,251.7 \pm 92.4$  (965—1,512) g，30 週齡平均體重分別為  $1,218.9 \pm 101.0$  (1,000 — 1,478) 與  $1,304.9 \pm 124.9$  (1,007 — 1,670) g，40 週齡平均體重分別為  $1,237.9 \pm 107.3$  (925 — 1,687) 與  $1,308.4 \pm 115.3$  (985 — 1,652) g，由於早期臺灣民間蛋種鴨場，在褐色菜鴨之選拔上除憑其長期飼養經驗作個體淘汰外，並沒有特別針對體重、蛋重、蛋殼強度及產蛋數等重要經濟性狀作選拔 (周及黃, 1970；李等, 1992；Tai *et al.*, 1989)，因此 Tai (1985) 調查褐色菜鴨 16 與 30 週齡體重分別為 1,255 與 1,366g，Tai *et al.* (1989) 進一步報告調查研究褐色菜鴨主要之 8、16、20、30 和 40 週齡平均體重分別為 997、1,270、1,403、1,397 與 1,405 g，於第一階段選拔褐色菜鴨的重點主要為利用 40 週齡蛋重、40 週齡體重、52 週齡產蛋數以及 30 或 40 週齡蛋殼強度之表型值。其目標為獲得最大 52 週齡產蛋數之下，改進蛋殼強度和保留 40 週齡蛋重、40 週齡體重恆定 (戴等, 1994)。隨後 Cheng *et al.* (1995) 報告經測定統計褐色菜鴨 (於 2005

年完成命名登記為畜試一號) 5 代之資料結果, 幾個主要生長性能之表型值為 20 週齡平均體重公鴨為 1,263 – 1,329 g, 母鴨為 1,317 – 1,418 g 之間, 於 40 週齡時平均體重母鴨則介於 1,326 – 1,459 g, 另 Cheng *et al.* (2007) 報告褐色菜鴨畜試一號繼續使用限制遺傳選拔指數於第 13 代之 40 週齡平均體重母鴨為 1,359 ± 127 g, 本報告調查結果顯示褐色菜鴨兩品系 30 與 40 週齡平均體重均較上述報告為輕, 可能因褐色菜鴨畜試一號主要選拔產蛋數與褐色菜鴨畜試二號選拔受精持續性之性狀不同, 是否受選拔性狀之影響有待進一步探討。Rouvier *et al.* (2017) 報告提到山麻鴨 110 日齡體重為 1,269 g, 與 Tai *et al.* (1989) 報告調查研究褐色菜鴨 16 週齡平均體重為 1,270 g 相近, 至於 300 日齡體重為 1,381 g 則與 Cheng *et al.* (1995) 報告 40 週齡時平均體重母鴨介於 1,326 – 1,459 g 相似, 而略重於 Cheng *et al.* (2007) 之報告褐色菜鴨畜試一號於第 13 代之 40 週齡平均體重母鴨為 1,359 ± 127 g。本報告調查選拔與對照品系 90 週齡平均體重分別為 1,212.2 ± 103.0 (987 – 1,513) 與 1,350.1 ± 118.7 (1,111 – 1,576) g, 100 週齡平均體重分別為 1,174.2 ± 110.6 (857 – 1,400) 與 1,317.5 ± 151.7 (921 – 1,810) g, 結果顯示對照品系均顯著重於選拔品系 ( $P < 0.05$ ) (如表 2、圖 1)。此外, 各週齡測定的樣本數差異顯著 (如 BW0:  $n = 243/274$  到 BW100:  $n = 54/57$ ), 乃因兩品系是透過選擇 20 隻公鴨和 60 隻母鴨預期於 44 – 46 週齡時進行純系配種, 於 50 – 52 週齡孵化產生下一代, 供繼續選育試驗使用。因此到 BW100 時選拔品系剩 54 隻, 對照品系為 57 隻所致。

### III. 停止選拔後與對照品系之產蛋性能比較

另外選留母鴨上籠進行產蛋性能調查至 100 週齡之兩品系資料統計分析結果如表 3, 於停止選拔後品系與對照品系之平均初產蛋日齡、初產蛋重分別為 117.9 ± 11.3 (94 – 150) 與 118.3 ± 17.2 (94 – 178) 日; 38.2 ± 5.3 (25 – 52) 與 39.5 ± 6.9 (15 – 62) g, 兩品系之平均初產蛋日齡、初產蛋重均無顯著差異, 於 40 週齡平均蛋重分別為 62.3 ± 3.4 (55 – 76) 與 67.0 ± 4.5 (52 – 80) g; 以停止選拔後品系之 40 週齡平均蛋重較對照品系輕 ( $P < 0.05$ ), 40 週齡平均產蛋數為 139.4 ± 25.7 (46 – 173) 與 136.1 ± 27.8 (35 – 175) 枚, 兩品系則無顯著差異, 52 週齡平均產蛋數為 218.7 ± 34.2 (127 – 260) 與 203.8 ± 39.3 (79 – 252) 枚, 以停止選拔後品系 52 週齡產蛋數較多 ( $P < 0.05$ )。

表 2. 0 – 100 週之停止受精持續性選拔後第 16 代選拔品系 (S) 與對照品系 (C) 的體重比較

Table 2. Comparisons of body weight (g) at 0 - 100 weeks of age for the 16th generation selected line (S) and the control line (C) after of cessation of duration of fertility selection

| Trait     | S line                                                  | C line                                                  |
|-----------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| BW0 (g)   | 31.0 ± 3.5 <sup>a</sup> (24 – 43)<br>(n = 243)          | 33.9 ± 3.0 <sup>b</sup> (26 – 42)<br>(n = 274)          |
| BW10 (g)  | 1,129.5 ± 87.9 <sup>a</sup> (790 – 1371)<br>(n = 239)   | 1,157.5 ± 90.1 <sup>b</sup> (872 – 1412)<br>(n = 257)   |
| BWAFE (g) | 1,185.8 ± 78.5 <sup>a</sup> (920 – 1405)<br>(n = 166)   | 1,251.7 ± 92.4 <sup>b</sup> (965 – 1512)<br>(n = 190)   |
| BW30 (g)  | 1,218.9 ± 101.0 <sup>a</sup> (1000 – 1478)<br>(n = 238) | 1,304.9 ± 124.9 <sup>b</sup> (1007 – 1670)<br>(n = 265) |
| BW40 (g)  | 1,237.9 ± 107.3 <sup>a</sup> (925 – 1687)<br>(n = 229)  | 1,308.4 ± 115.3 <sup>b</sup> (985 – 1652)<br>(n = 259)  |
| BW90 (g)  | 1,212.2 ± 103.0 <sup>a</sup> (987 – 1513)<br>(n = 55)   | 1,350.1 ± 118.7 <sup>b</sup> (1111 – 1576)<br>(n = 57)  |
| BW100 (g) | 1,174.2 ± 110.6 <sup>a</sup> (857 – 1400)<br>(n = 54)   | 1,317.5 ± 151.7 <sup>b</sup> (921 – 1810)<br>(n = 57)   |

<sup>1</sup> S: selected line, C: control line.

(n=): number of ducks.

Mean ± Standard deviation.

( ): range.

BW0: body weight at 0 weeks of age.; BW10: body weight at 10 weeks of age.; BWAFE: body weight at 1st egg.; BW30: body weight at 30 weeks of age.; BW40: body weight at 40 weeks of age.; BW90: body weight at 90 weeks of age.; BW100: body weight at 100 weeks of age.

<sup>a, b</sup> Means in the same row by line without the same superscript are significantly different ( $P < 0.05$ ).

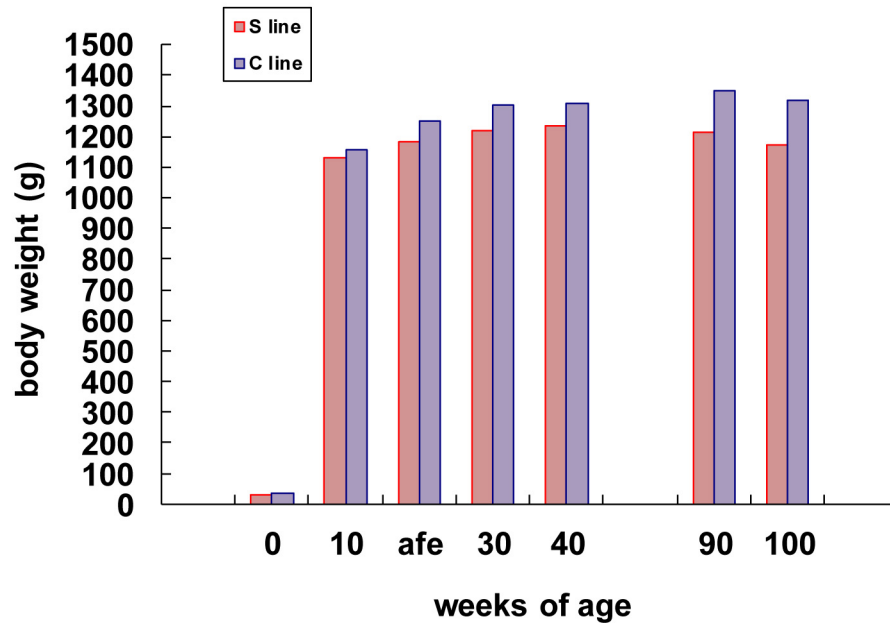


圖 1. 停止選育品系 (S) 與對照品系 (C) 由出生至 100 週齡體重之柱狀圖比較。

Fig. 1. Comparison of body weight from birth to 100 weeks of age between the selected line (S) and the control line (C). (afe: age at first egg.)

表 3. 停止受精持續性選拔後第 16 代選拔品系 (S) 與對照品系 (C) 的產蛋性能檢定值及範圍

Table 3. Egg production performance test values and ranges of the 16th generation selected line (S) and the control line (C) after cessation of duration of fertility selection

| Line | afe (days)                                         | FEW (g)                                         | EW40 (g)                                        | EN40 (eggs)                                        | EN52 (eggs)                                        | EW90 (g)                                       | EW100 (g)                                      | EN100 (eggs)                                       |
|------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| S    | 117.9 ± 11.3 <sup>a</sup><br>(94 – 150)<br>n = 166 | 38.2 ± 5.3 <sup>a</sup><br>(25 – 52)<br>n = 166 | 62.3 ± 3.4 <sup>a</sup><br>(55 – 76)<br>n = 155 | 139.4 ± 25.7 <sup>a</sup><br>(46 – 173)<br>n = 160 | 218.7 ± 34.2 <sup>a</sup><br>(127 – 260)<br>n = 56 | 60.9 ± 4.7 <sup>a</sup><br>(51 – 77)<br>n = 48 | 59.8 ± 4.6 <sup>a</sup><br>(54 – 78)<br>n = 47 | 507.7 ± 41.8 <sup>a</sup><br>(393 – 578)<br>n = 38 |
| C    | 118.3 ± 17.2 <sup>a</sup><br>(94 – 178)<br>n = 190 | 39.5 ± 6.9 <sup>a</sup><br>(15 – 62)<br>n = 190 | 67.0 ± 4.5 <sup>b</sup><br>(52 – 80)<br>n = 176 | 136.1 ± 27.8 <sup>a</sup><br>(35 – 175)<br>n = 179 | 203.8 ± 39.3 <sup>b</sup><br>(79 – 252)<br>n = 56  | 66.5 ± 5.8 <sup>b</sup><br>(54 – 81)<br>n = 50 | 64.9 ± 5.1 <sup>b</sup><br>(52 – 76)<br>n = 48 | 480.0 ± 53.6 <sup>b</sup><br>(316 – 563)<br>n = 47 |

afe: age at first egg.

FEW: egg weight at 1st egg.

EW40: egg weight at 40 weeks of age. (Egg laid over 5 consecutive days at 40 weeks of age were weighed.).

EN40: number of eggs laid up to 40 weeks of age.

EN52: number of eggs laid up to 52 weeks of age.

EW90: egg weight at 90 weeks of age.

EW100: egg weight at 100 weeks of age.

EN100: number of eggs laid up to 100 weeks of age.

S: selected line, C: control line.

( ) : range.

(n= ) : number of ducks.

<sup>a, b</sup> Means in the same row by line without the same superscript are significantly different ( $P < 0.05$ ).

Tai (1985) 調查褐色菜鴨之初產蛋日齡為 127 日，30 週齡蛋重為 64.9 g，35 週齡產蛋數為 108.7 枚，另 Tai *et al.* (1989) 進一步報告調查研究褐色菜鴨之初產蛋日齡為 126 日，40 週齡平均產蛋數為 139 枚，40 週齡平均蛋重 67.8 g，52 週齡平均產蛋數為 207 枚，Rouvier *et al.* (2017) 報告山麻鴨初產蛋平均日齡為 109 天，在 210 – 300 日齡期間，蛋重由 65.0 g 增加至 67.0 g，至 300 日齡平均產蛋數為 161 枚，與褐色菜鴨 (Tai *et al.*, 1989; Cheng *et al.*, 1995) 的產蛋量似乎相近。本報告調查結果顯示褐色菜鴨受精持續性停止選拔後品系與對照品系之平均初產蛋日齡均比上述兩報告為早，與 Cheng (1995) 報告經測定統計褐色菜鴨 5 代之資料結果，平均初產蛋日齡介於 116 – 125.6 天則相近，Cheng (1995) 亦報告 30 週齡平均蛋重介於 62.4 – 64.9 g，40 週齡平均蛋重介

於 67.4 – 68.8 g，52 週齡平均產蛋數則有 197.1 – 219.2 枚。另 Chen *et al.* (2003) 進一步使用限制遺傳選拔指數進行 4 代之選拔後，褐色菜鴨 40 週齡平均蛋重為 63.2 – 68.7g、40 週齡平均體重為 1,349 – 1,415 g 及 52 週齡平均產蛋數 207.4 – 219.3 枚，本報告比較調查結果顯示除 40 週齡平均體重略輕於使用限制遺傳選拔指數進行 4 代之選拔外，40 週齡平均蛋重與 52 週齡平均產蛋數均變化不大，隨後 Cheng *et al.* (2007) 報告褐色菜鴨繼續使用限制遺傳選拔指數於第 13 代之平均初產日齡為  $108 \pm 11$  天，於 40 週齡平均體重母鴨為  $1,359 \pm 127$  g，40 週齡平均蛋重為  $68.7 \pm 3.9$  g，40 週齡平均蛋殼強度為  $5.1 \pm 0.8$  kg/cm<sup>2</sup>，52 週齡平均產蛋數則提升至  $228.7 \pm 26.6$  枚。本報告調查結果顯示受精持續性之選拔品系 52 週齡平均產蛋數為  $218.7 \pm 34.2$  (127 – 260) 枚，似乎略少於 Cheng *et al.* (2007) 報告褐色菜鴨繼續使用限制遺傳選拔指數於第 13 代之  $228.7 \pm 26.6$  枚，至於對照品系則減少 25 個左右，亦顯示褐色菜鴨畜試一號使用限制遺傳選拔指數選拔多代之後已明顯提升 52 週齡平均產蛋數，鄭 (1988) 報告指出 Khaki Campbell 蛋鴨年產蛋量約 260 枚以上，蛋殼白色，蛋重約 70 g，Pingel (1990) 綜合文獻報告 Cherry Valley (UK) 育種場之雜交鴨品系從 20 到 72 週齡可產 275 枚蛋，並引述 Hutt (1952) 報告 Khaki Campbell 蛋鴨可連續產蛋 418 天不間斷，Rouvier *et al.* (2017) 報告亦指出山麻鴨 300 日齡平均蛋重為 67.0 g 與本報告之對照品系相似，但比選拔品系重，亦即山麻鴨 300 日齡平均蛋重介於兩品系之間。

至於 90 週齡平均蛋重兩品系分別為  $60.9 \pm 4.7$  (51 – 77) 與  $66.5 \pm 5.8$  (54 – 81) g，100 週齡平均蛋重分別為  $59.8 \pm 4.6$  (54 – 78) 與  $64.9 \pm 5.1$  (52 – 76) g，對照品系均顯著重於停止選拔後品系 ( $P < 0.05$ )，於選拔品系與對照品系之 100 週齡平均產蛋數分別為  $507.7 \pm 41.8$  (393 – 578) 與  $480.0 \pm 53.6$  (316 – 563) 枚，100 週齡平均產蛋數以選拔品系多於對照品系 27.7 枚 ( $P < 0.05$ ) (表 3)。

本報告分析褐色菜鴨畜試二號選拔品系與對照品系從初產蛋到 100 週齡的產蛋率曲線如圖 2。停止受精持續性選拔後第 16 代兩品系由初產至 100 週齡每月產蛋數之平均值與標準偏差及範圍如表 4。就產蛋率曲線 (圖 2) 觀察，選拔品系於初產後第 2 個月達高峰 (約 90%)，並形成約 3 – 5 個月之高產平台期；其後進入緩降期。對照品系峰值略低 (約 87 – 88%)，平台期亦較短。以持續性衡量，選拔品系在觀察期間有 15 個月份之月產蛋率維持  $\geq 80\%$ ，對照品系略少；至於每月產蛋數選拔品系維持 21 個以上有 18 個月，最高月份達  $27.45 \pm 6.69$  枚 (90% 產蛋率)，對照品系亦有相似的表現，最高月份達  $26.68 \pm 6.64$  枚 (87.5% 產蛋率) (見表 4)。另由圖 2 產蛋率曲線顯示選拔品系之產蛋率優於對照品系，選拔品系從初產蛋第二個月開始可連續產蛋維持 80% 以上之產

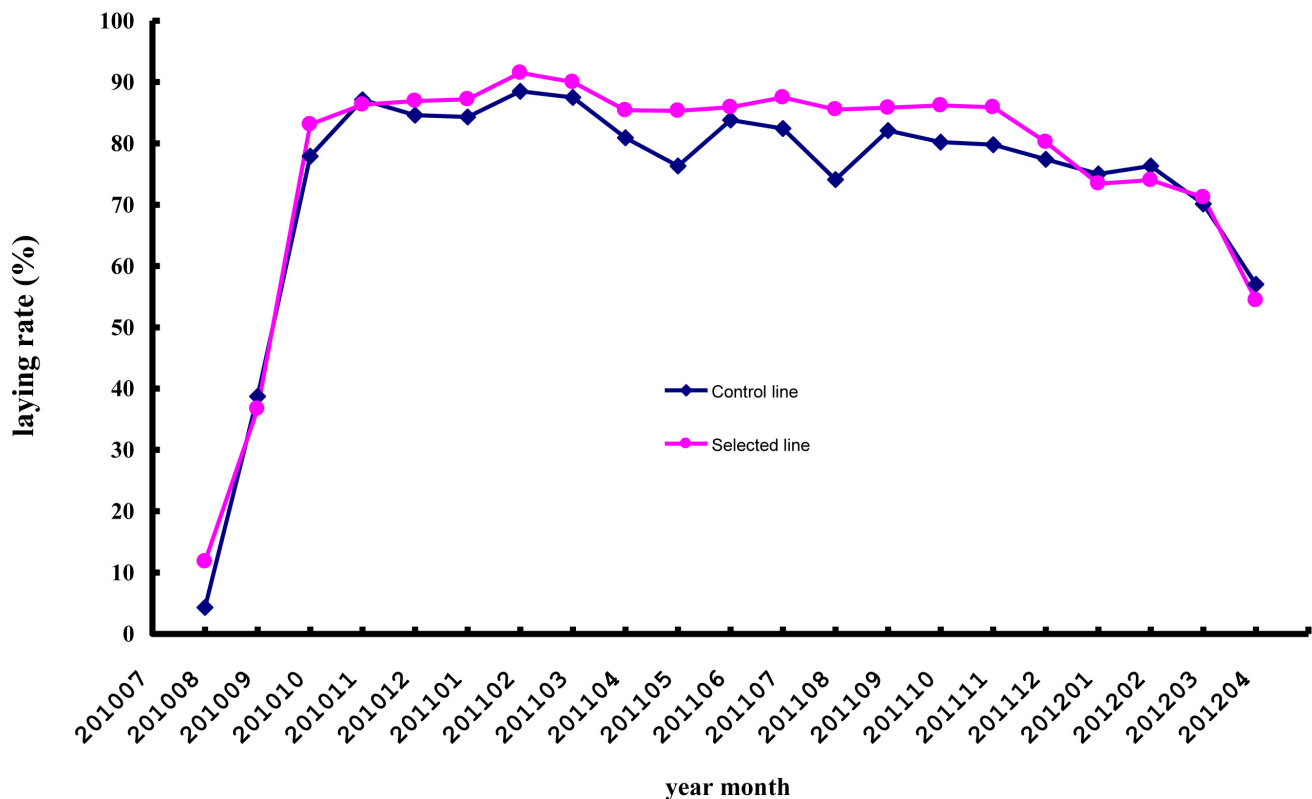


圖 2. 褐色菜鴨停止選育品系 (S) 與對照品系 (C) 從初產蛋到 100 週齡期間每月的產蛋率曲線。

Fig. 2. The rate of monthly egg production for selected and control Brown Tsaiya lines from age at first egg up to 100 weeks of age.

蛋率有 15 個月之久，隨後即陸續下降至 100 週齡的 54.4%，Chang (2025) 報告調查褐色菜鴨殘差飼料採食量 (RFC) 選育品系及對照品系之產蛋曲線於 10 至 60 週齡期間，與其他褐色菜鴨一樣，RFC 選育品系在 52 週齡時仍維持 80% 以上的產蛋率。本報告停止受精持續性選拔後第 16 代品系與對照品系的生長與產蛋性能比較結果，對照品系各週齡平均體重均顯著重於選拔品系 ( $P < 0.05$ )，選拔品系之各週齡平均體重均較輕，40 週齡以後之平均蛋重亦較輕，但 52 週齡平均產蛋數與 100 週齡平均產蛋數均顯著較多 ( $P < 0.05$ )，至 100 週齡止高產蛋率之持續性很長，選拔品系與對照品系均可維持極高的高產蛋率，然而就全期 100 週齡止之產蛋率而言停止選育品系則優於對照品系，甚至於可能超越山麻鴨與 Khaki Campbell 蛋鴨。

綜合以上資料統計分析結果顯示受精持續性之長期選拔可能影響選拔品系之各週齡平均體重，40 週齡平均蛋重及 52 週齡以後之產蛋數，其相關性則有待進一步研究探討。

表 4. 停止受精持續性選拔後第 16 代選拔品系 (S) 與對照品系 (C) 由初產至 100 週齡每月產蛋數之平均值與標準偏差及範圍

Table 4. Mean  $\pm$  standard deviation, and range of monthly egg production from first lay to 100 weeks of age for the selected line (S) and the control line (C) in the 16th generation after cessation of duration of fertility selection

| Year month (weeks) | S line                              | C line                              |
|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 201008 (13 – 14 W) | 0.07 $\pm$ 0.51 (0 – 5) (n = 166)   | 0.11 $\pm$ 0.40 (0 – 3) (n = 190)   |
| 201009             | 8.95 $\pm$ 7.06 (0 – 26) (n = 166)  | 9.22 $\pm$ 7.03 (0 – 24) (n = 190)  |
| 201010             | 25.75 $\pm$ 5.90 (3 – 32) (n = 166) | 23.76 $\pm$ 7.80 (0 – 31) (n = 190) |
| 201011             | 25.88 $\pm$ 7.13 (1 – 31) (n = 164) | 26.14 $\pm$ 5.64 (1 – 30) (n = 183) |
| 201012 (30 W)      | 26.63 $\pm$ 7.47 (0 – 31) (n = 166) | 25.09 $\pm$ 8.72 (0 – 31) (n = 187) |
| 201101             | 26.85 $\pm$ 6.46 (0 – 31) (n = 162) | 25.86 $\pm$ 6.68 (0 – 31) (n = 185) |
| 201102 (40 W)      | 24.53 $\pm$ 7.79 (0 – 31) (n = 165) | 24.25 $\pm$ 7.34 (0 – 31) (n = 186) |
| 201103             | 27.45 $\pm$ 6.69 (0 – 31) (n = 60)  | 26.68 $\pm$ 6.64 (0 – 31) (n = 59)  |
| 201104             | 25.61 $\pm$ 5.72 (4 – 30) (n = 57)  | 24.28 $\pm$ 5.35 (3 – 30) (n = 58)  |
| 201105 (52 W)      | 26.00 $\pm$ 7.99 (0 – 31) (n = 60)  | 22.05 $\pm$ 10.61 (0 – 31) (n = 59) |
| 201106             | 25.76 $\pm$ 6.95 (1 – 30) (n = 59)  | 25.14 $\pm$ 6.06 (1 – 30) (n = 58)  |
| 201107             | 27.14 $\pm$ 5.94 (6 – 31) (n = 57)  | 25.54 $\pm$ 6.78 (3 – 31) (n = 59)  |
| 201108             | 26.49 $\pm$ 5.95 (6 – 31) (n = 55)  | 22.98 $\pm$ 7.48 (1 – 31) (n = 57)  |
| 201109             | 25.75 $\pm$ 5.61 (5 – 30) (n = 55)  | 24.64 $\pm$ 6.37 (1 – 30) (n = 58)  |
| 201110 (72 W)      | 26.72 $\pm$ 6.00 (2 – 31) (n = 54)  | 24.86 $\pm$ 7.54 (2 – 31) (n = 58)  |
| 201111             | 25.77 $\pm$ 5.64 (1 – 30) (n = 53)  | 23.95 $\pm$ 7.75 (1 – 31) (n = 56)  |
| 201112             | 24.87 $\pm$ 6.03 (6 – 31) (n = 52)  | 23.98 $\pm$ 6.73 (2 – 31) (n = 52)  |
| 201201             | 22.76 $\pm$ 9.23 (1 – 31) (n = 51)  | 23.24 $\pm$ 8.29 (1 – 32) (n = 54)  |
| 201202             | 21.02 $\pm$ 6.94 (0 – 29) (n = 49)  | 22.12 $\pm$ 5.90 (3 – 29) (n = 52)  |
| 201203             | 22.07 $\pm$ 7.98 (1 – 31) (n = 46)  | 21.36 $\pm$ 8.24 (0 – 31) (n = 56)  |
| 201204 (100 W)     | 16.31 $\pm$ 8.07 (1 – 25) (n = 49)  | 17.11 $\pm$ 6.62 (1 – 25) (n = 55)  |

## 誌 謝

本研究承蒙農業部畜產試驗所畜產經營組三股相關研究同仁之支持與協助飼養管理及資料收集，特此誌謝。

## 參考文獻

李舜榮、黃振芳、許南山、陳鑫益、陳保基、姜延年、劉瑞珍、戴謙。1992。褐色菜鴨產蛋性能之探討。畜產研究 25：35-48。

- 周光宇、黃暉煌。1970。台灣的養鴨。中國農村復興聯合委員會。畜牧第 8 號手冊：1-46。
- 鄭丕留。1988。Khaki Campbell 蛋鴨。中國家禽品種志。157 頁，上海科學技術出版社。
- 劉瑞珍、戴謙。1984。鴨人工受精之研究。3. 鴨混合精液與未混和精液對受精率之影響。畜產研究 17：85-89。
- 戴謙、黃鈺嘉、劉瑞珍、池雙慶。1994。產蛋鴨限定選拔指數之建立。中畜會誌 23：355-360。
- Chang, Y. Y. 2025. Genetic improvement of residual feed consumption, genetic monitoring, and population management in Brown Tsaiya ducks. Ph.D. Dissertation. National Chung Hsing University. Taichung, Taiwan, R. O. C.
- Chen, D. T., S. R. Lee, Y. H. Hu, C. C. Huang, Y. S. Cheng, C. Tai, J. P. Poivey, and R. Rouvier. 2003. Genetic trends for laying traits in the Brown Tsaiya (*Anas Platyrhynchos*) selected with restricted genetic selection index. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 16: 1705-1710.
- Cheng, Y. S. 1995. Sélection de la race Tsaiya Brune sur la ponte et la durée de la fertilité en croisement avec le canard de Barbarie. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse, France.
- Cheng, Y. S., R. Rouvier, J. P. Poivey, and C. Tai. 1995. Genetic parameters of body weight, egg production and shell quality traits in the Brown Tsaiya laying ducks. Genet. Sel. Evol. 27: 459-472.
- Cheng, Y. S., S. C. Liu, H. L. Liu, S. R. Lee, Y. H. Hu, C. T. Wang, C. W. Huang, M. C. Huang, J. J. Liu Tai, C. Tai, J. P. Poivey, and R. Rouvier. 2007. Selection and application of laying Brown Tsaiya ducks in Taiwan. In: International Seminar on Improved Duck Production of Small-scale Farmers in ASPAC. pp.86-95, National Institute of Animal Husbandry, Hanoi, Vietnam.
- Cheng, Y. S., R. Rouvier, H. L. Liu, S. C. Huang, Y. C. Huang, C. W. Liao, J. J. Liu Tai, C. Tai, and J. P. Poivey. 2009. Eleven generations of selection for the duration of fertility in the intergeneric crossbreeding of ducks. Genet. Sel. Evol. 41: 32.
- Hung, C. M., Y. F. Lin, H. L. Liu, M. Y. Tsai, C. H. Hsieh, J. P. Poivey, R. Rouvier, and Y. S. Cheng. 2013. Effect of selection stopping in a line of Brown Tsaiya ducks improved on the duration of fertility. Proceedings of the 5th World Waterfowl Conference (WWC), pp.58-63, 6th-8th November 2013 at the Sheraton Hotel. Hanoi, Vietnam.
- Hutt, F. B. 1952. The Jansen Khaki Campbell ducks. J. of Hered. 43: 277-281.
- Matheron, G. and C. Chevalet. 1977. Conduite d'une population témoin de lapin. Evolution a court terme du coefficient de consanguinité selon le schéma d'accouplement. Ann. Genet. Sel. Anim., 9: 1-13.
- Pingel, H. 1990. Genetics of egg production and reproduction in waterfowl. In: Crawford R. D., (Ed.), Poultry Breeding and Genetics, pp.771-780, Elsevier, Amsterdam.
- Rouvier, R., C. Marie-Etancellin, H. Chapuis, and Y. S. Cheng. 2017. Breeding and Genetics of Waterfowl: Laying duck; duration of fertility in the intergeneric crossbreeding of ducks. In: Proceedings of the 6th World Waterfowl Conference (WWC), pp. 48-54, October 22-25, Taipei, Taiwan. R. O. C.
- SAS. 2002. SAS User's Guide: Statistics. Version 9.1 ed. SAS Institute, Inc., Cary, NC. U.S.A.
- Tai, C. 1985. Duck breeding and artificial insemination in Taiwan. in: Farrell D. J. and Stapleton P., (Ed.), Duck Production Science and World Practice, University of New England, Armidale, Australia, pp. 193-203.
- Tai, C., R. Rouvier, and J. P. Poivey. 1989. Genetic parameters of some growth and egg production traits in laying Brown Tsaiya. Genet. Sel. Evol. 21: 377-384.
- Tai, C., R. Rouvier, and J. P. Poivey. 1994. Heritabilities for duration of fertility traits in Brown Tsaiya female duck (*Anas platyrhynchos*) by artificial insemination with pooled Muscovy (*Cairina moschata*) semen. Bri. Poult. Sci. 35: 377-384.

# Study on the effect of duration of fertility on growth and egg production of selected and control lines in Brown Tsaiya ducks after cessation of selection <sup>(1)</sup>

Che-Ming Hung <sup>(2)</sup> Ming-Yang Tsai <sup>(2)</sup> Hsiao-Lung Liu <sup>(3)</sup> Yih-Fwu Lin <sup>(3)</sup> Chao-Hsien Hsieh <sup>(3)</sup>  
Chein Tai <sup>(4)</sup> Roger Rouvier <sup>(5)</sup> and Yu-Shin Cheng <sup>(6)</sup>

Received: Sep. 2, 2025; Accepted: Mar. 30, 2026

## Abstract

This study aimed to investigate the effects of duration of fertility for six years on the growth and egg production performance of selected and control lines of Brown Tsaiya ducks after cessation of selection. The experimental animals comprised the 16th generation of the Brown Duck No. 2 selected line and the corresponding control line. A total of 517 Brown Tsaiya ducks, including 243 from selected line after cessation of selection, and 274 from the control line, were used to measure growth and egg production performance until the end of egg production records at 100 weeks of age. The inbreeding coefficients of male and female ducks in each generation of the two lines were calculated. The results showed that by the 16th generation, the inbreeding coefficients for males in the selected line were 0.212 and 0.209 for females, respectively. For the control line, the inbreeding coefficients were 0.056 for males and 0.054 for females. The comparison results of the birth weight, body weight of 1st egg, and the average weight at 10, 30, 40, 90, and 100 weeks of age between the two lines showed that the control line was significantly heavier than the selected line ( $P < 0.05$ ). There were no significant differences in average age at first egg laying or egg weight of 1st egg between the two lines. At 40 weeks of age for two lines, the average egg weight was  $62.3 \pm 3.4$  (55 - 76) and  $67.0 \pm 4.5$  (52 - 80) g, respectively. The selected line had a lighter average egg weight at 40 weeks of age. At 90 weeks of age, the average egg weights for the two lines were  $60.9 \pm 4.7$  (51 - 77) and  $66.5 \pm 5.8$  (54 - 81) g, respectively. At 100 weeks of age, the average egg weights were  $59.8 \pm 4.6$  (54 - 78) and  $64.9 \pm 5.1$  (52 - 78) g, respectively, indicating the control line was significantly heavier than the selected line ( $P < 0.05$ ). The average number of eggs laid up to 40 weeks of age of the two lines was  $139.4 \pm 25.7$  (46 - 173) and  $136.1 \pm 27.8$  (35 - 175) eggs, respectively, and without significant difference between the two lines. At 52 weeks of age, the number of eggs laid was  $218.7 \pm 34.2$  (127 - 260) and  $203.8 \pm 39.3$  (79 - 252) eggs for the two lines. The selected line produced more eggs up to 52 weeks of age ( $P < 0.05$ ). The number of eggs laid up to 100 weeks of age in the selected line and the control line was  $507.7 \pm 41.8$  (393 - 578) and  $480.0 \pm 53.6$  (316 - 563) eggs, respectively. The selected line produced 27.7 more eggs at 100 weeks of age than the control line ( $P < 0.05$ ). In summary, the selected line in the 6th year (16th generation) after cessation of selection for the duration of fertility showed that the lighter body weights at all ages, but still exhibited better egg production continuity than the control line.

Key words: Brown Tsaiya ducks, Cessation of selection, Duration of fertility, Growth performance, Laying performance.

(1) Contribution No. 2852 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

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

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

(4) Kun Shan University Hall of Fame, No. 195, Kunda Road, Yongkang District, Tainan, Taiwan.

(5) National Research Institute for Agriculture, Food and Environment retire, UMR GenPhySE, B.P.52627, 31326 Castanet-Tolosan, France.

(6) Retired from Director General Office, MOA-TLRI, HsinHua, Tainan 71246, Taiwan, R.O.C.

(7) Corresponding author, E-mail: mytsai@mail.tlri.gov.tw.

# 臺灣地區肉羊飼養現況之調查<sup>(1)</sup>

潘昭治<sup>(2)</sup> 吳志華<sup>(2)</sup> 蕭士翔<sup>(3)</sup> 許宗賢<sup>(4)</sup> 林浚琛<sup>(5)</sup> 鄭閔謙<sup>(2)(6)</sup>

收件日期：115 年 1 月 9 日；接受日期：115 年 4 月 8 日

## 摘 要

本研究旨在探討臺灣肉羊場生產現況，並提供產業發展與相關研究之基礎資料。此次調查涵蓋 153 戶飼養規模達 100 頭以上之肉羊場，受訪牧場飼養羊隻數量占全國肉羊在養量之 32.4%，其中 80.4% 羊隻為努比亞羊及其雜交品種。在各季節出生仔羊之育成率並無顯著差異，皆有 84% 以上。仔羊離乳平均月齡為  $3.0 \pm 0.6$  個月。仔羊出生後 7 日內死亡率最高，主要死因為下痢及肺炎。具備保溫設施之牧場占 66.2%，而 14 日齡內實施早期教槽者僅占 24.0%。仔羊去勢及去角之平均年齡分別為  $5.1 \pm 1.3$  月齡及  $22.9 \pm 13.4$  日齡。將羊隻送往肉品市場拍賣的牧場占 86.7%。肉羊平均出售年齡為  $12.8 \pm 2.7$  個月，體重多數超過 60 公斤。肉羊場主要管理人中男性占 94.1%，年齡分布以 50 歲以上者為主，占 68.7%。平均每位工作人員管理羊隻數為  $109.0 \pm 80.5$  頭。羊舍平均屋齡為  $17.1 \pm 8.37$  年，羊舍面積及羊床高度分別為  $884 \text{ m}^2$  及  $1.93 \pm 1.25 \text{ m}$ 。畜舍未設置降溫設備者占 30.5%。高達 73.4% 肉羊場採用人工方式清理糞便。個體識別採用率僅為 36.4%，且不到三分之一羊場有進行場內繁殖、飼養、成本及疾病管理之紀錄。整體而言，臺灣肉羊產業已具備穩定之基礎，並逐步朝向專業化及知識化經營發展，惟在省工化、自動化設備、早期仔羊管理及場內紀錄等方面仍具發展潛力。

關鍵詞：飼養管理、羊場設施、羊場管理者、肉羊品種、生產銷售。

## 緒 言

山羊是一種多功能用途動物，對許多發展中國家之農村經濟有很大貢獻，特別是在亞洲和非洲。亞洲飼養山羊頭數約 767.93 百萬隻，比例為全世界最高 (Choudhury *et al.*, 2016)。飼養山羊有許多好處，例如飼養所需面積較小、耐粗飼、營養需求相較於牛來的低、食物來源選擇範圍廣及屠宰時其體型大小適合社交與宗教行為使用 (Chowdhury *et al.*, 2002)。儘管山羊產業具有上述經濟與社會優勢，但其管理方式若不當，亦可能對生態環境構成壓力。Liu *et al.* (2013) 指出，山羊飼養密度顯著增加、放牧壓力和野火是造成草原退化最可能之非氣候因素。

臺灣山羊產業在早期主要為小規模圈飼，每戶平均飼養頭數約 30 至 50 頭，多屬副業方式經營。政府當時認為山羊過度放牧會破壞水土保持能力，並不鼓勵養羊事業發展 (施，1991；白，1996；吳及謝，2005)。1985 年政府輔導重點以乳羊為主，並舉辦講習班提高技術，1988 年建立肉品市場拍賣羊隻與共同運銷制度，1992 年為防杜羊隻過度放牧影響水土保持，鼓勵羊農以圈飼飼養為原則 (高，2003)。此一轉型成功化解水土保持爭議，並提升飼養管理效率，使產業規模得以在符合法規下持續擴張。林 (2008) 指出國內羊肉屠宰頭數於 1988 年僅有 27,931 頭，但於 1995 年達到高峰，羊隻在養頭數將近 32 萬頭，隨後經過國產肉羊價格大跌與豬隻口蹄疫爆發，至 2002 年底只剩 161,858 頭。隨後經過羊痘疫情，拍賣價格慢慢回穩，但礙於國內羊肉消費通路較單一，且單位肉品價格較高，在養頭數有逐年萎縮趨勢，截至 2024 年國內羊隻在養量為 115,317 頭，產值為 858,955 千元 (農業部，2025)。雖然如此，現今，臺灣肉羊產業不論在飼養管理技術、加工生產、供銷通路，皆逐步朝向知識飼養與專業經營。因此，本調查目的為建立國內 100 頭以上肉羊場之生產與飼養管理資訊，做為產業基盤資料庫來源，供肉羊產業日後發展參考與往後相關研究之基礎。

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2853 號。

(2) 農業部畜產試驗所南區分所。

(3) 國立宜蘭大學生物技術與動物科學系。

(4) 財團法人農業科技研究院。

(5) 中華民國養羊協會。

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

## 材料與方法

### I. 調查對象

本研究數據係採用問卷調查法收集，為調查人員使用設計結構化之問卷，對肉羊場經營者或管理人員進行面對面訪談。調查樣本涵蓋臺灣 153 戶飼養規模 100 頭以上之肉羊場。

### II. 資料蒐集之方法與項目

實地調查於 2018 年 5 月至 11 月期間進行，採用人員面訪方式執行。訪員逐題向受訪者說明問卷內容，並協助其完成。最終回收有效問卷 153 份。調查項目包括飼養肉羊品種、羊隻飼養管理、工作人數、肉羊生產與銷售資訊、肉羊場基本資料、肉羊舍及其設備等。

### III. 統計分析

問卷回收並建檔後，先以描述性統計分析各調查項目之分布，並以平均值 (mean) 及百分比 (%) 等呈現各變數之特性。部分數據再以統計軟體 SAS (SAS, 2018) 分析，並使用一般線性模式 (general linear model, GLM) 進行變方分析，若差異顯著以最小平方均值 (least squares mean, LSMEANS) 比較其平均值之差異顯著性；部分統計數據資料為避免調查統計圖表結果冗長將於文中直接敘述，而不以圖表呈現。

## 結果與討論

### I. 羊場規模與羊隻品種

羊場地點與在養頭數分佈如圖 1 所示。調查場數分佈以彰化、雲林及臺南為最多，該縣市亦為 2018 年農業統計年報資料顯示飼養最多肉羊之前三名縣市 (農業部，2020)。本次飼養規模以 100 至 199 頭占比最多 (38.2%)，其次為 200 至 299 頭最多 (22.4%)，而規模 500 頭以上僅占 3.9%。

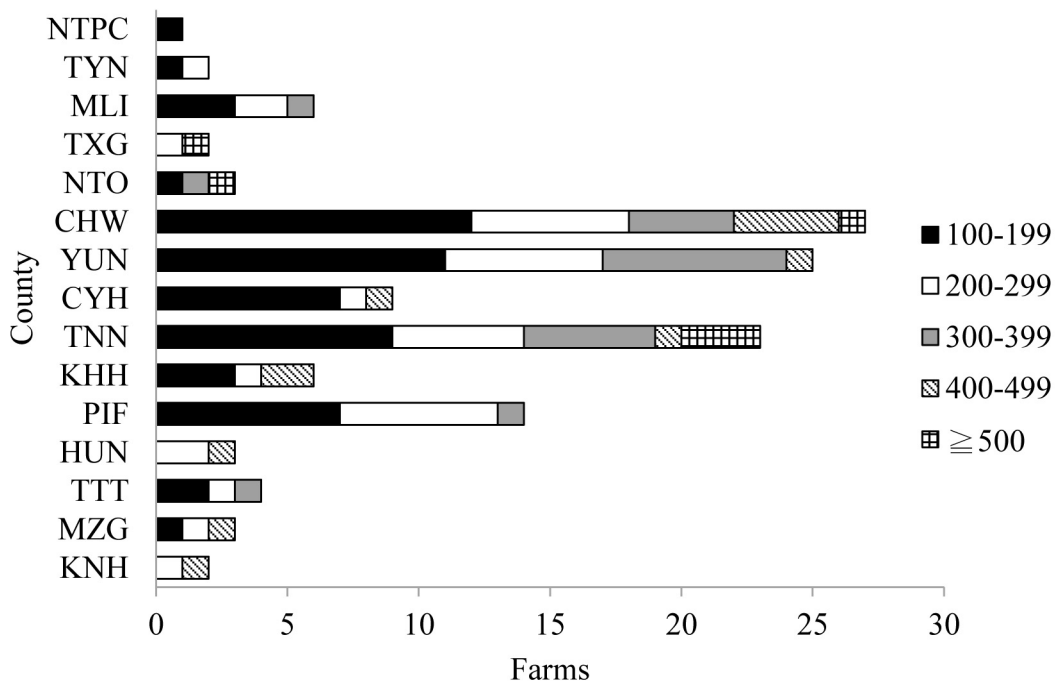


圖 1. 臺灣不同飼養頭數肉羊場之地理位置分佈 (2018 年)。

Fig. 1. Geographical location of meat goat farms in Taiwan (2018).

NTPC: New Taipei City; TYN: Taoyuan City; MLI: Miaoli County; TXG: Taichung City; NTO: Nantou County; CHW: Changhua County; YUN: Yunlin County; CYH: Chiayi County; TNN: Tainan City; KHH: Kaohsiung City; PIF: Pingtung County; HUN: Hualien County; TTT: Taitung County; MZG: Penghu County; KNH: Kinmen County.

本研究針對臺灣肉羊場進行調查，各品種之羊隻在養頭數分布詳如表 1 所示，共調查 153 戶，羊隻在養頭數達 32,027 頭。農業部 (2020) 2018 年農業統計肉羊場數為 1,733 場，數量為 98,740 頭，顯示肉羊飼養規模為平

均每場 57.0 頭。本次調查場數與頭數分別占國內地區肉羊場 8.8 與 32.4%。各品種羊隻在養頭數調查結果顯示，肉羊品種以努比亞 (Nubian) 及其雜交後裔 (hybrid) 為大宗，占整體在養肉羊數量約 80.4%。目前我國現有努比亞山羊多來自美國努比亞山羊之後裔，與英國所培育努比亞山羊 (Anglo Nubian) 為相同品系 (宋，2008)，其平均體重為 50 至 70 kg，體型高大、產乳量適中且有多產特性，對溫熱帶環境適應性頗強，為乳肉兼用品種 (Brown *et al.*, 1988)。依據中華民國養羊協會於 2000 年與 2004 年兩次訪查臺灣地區山羊戶資料顯示，純種品種山羊之在養量以努比亞山羊為最多 (林，2008)。林 (2008) 指出，努比亞山羊之屠宰率與精肉率都高，且肉質適合臺灣以羊肉爐烹煮料理方式，此可能是拍賣價格與飼養數量較多原因。其次在養數量第二大為波爾山羊 (Boer)，其為世界上在養數量最多的山羊品種，具有耐粗飼與生長快速優點。臺灣肉羊場喜愛用波爾山羊與努比亞山羊雜交，改良提高後裔生長效率。

本次調查之羊場畜群結構比例與 Akpa *et al.* (2010) 調查奈及利亞養羊戶之畜群結構類似，皆以種母羊占比為最高 (表 1)。母羊每胎產仔數大多為 1 至 2 頭 (Mellado *et al.*, 2011)，大部分母羊皆會被選留作為產仔用之種羊來源，以維持其經濟收入。

表 1. 受調查肉羊場之各品種羊隻在養數量

Table 1. The heads of various breeds in the investigated meat goat farms

| Breeds        | Buck | Doe   | Kid   | Virgin goat | Wether | Total, head | %     |
|---------------|------|-------|-------|-------------|--------|-------------|-------|
| Alpine        | 5    | 61    | 281   | 90          | 1,503  | 1,940       | 6.1   |
| Saanen        | 2    | 8     | 0     | 40          | 80     | 130         | 0.4   |
| Toggenburg    | 0    | 10    | 0     | 0           | 30     | 40          | 0.1   |
| Lamanchu      | 0    | 25    | 8     | 15          | 25     | 73          | 0.2   |
| Nubian hybrid | 585  | 8,007 | 3,696 | 4,554       | 8,917  | 25,759      | 80.4  |
| Boer          | 157  | 1,106 | 466   | 698         | 1,139  | 3,566       | 11.2  |
| Taiwan Black  | 7    | 82    | 19    | 75          | 336    | 519         | 1.6   |
| Total, head   | 756  | 9,299 | 4,470 | 5,472       | 12,030 | 32,027      | 100.0 |
| %             | 2.4  | 29.0  | 14.0  | 17.1        | 37.5   | 100.0       |       |

Buck: billy goat, male goat; Doe: nanny goat, female goat; Kid: immature goat, small goat; Virgin goat: nulliparous female goat; Wether: castrated male goat.

## II. 仔羊

### (i) 各季節仔羊出生率及離乳後育成率

山羊屬短日照季節性發情動物，但其季節性表現因品種而異。波爾山羊相較於澳洲天然放牧原生山羊，對光週期與雌激素負回饋反應較不敏感，因而在熱帶環境中可較早進入繁殖季 (Nogueira *et al.*, 2015)。臺灣主要飼養肉羊品種為努比亞及其雜交種，其雖保有季節性發情特性，但繁殖季相對延長，在非典型繁殖季期間仍可觀察到發情與配種行為。Amoah *et al.* (1996) 亦指出努比亞山羊具有較長繁殖季，且在長日照期間仍可維持一定程度之繁殖活動。綜合本研究調查結果，在臺灣亞熱帶環境、全年混群飼養管理模式及公羊持續刺激下，努比亞及其雜交羊之繁殖季節性表現相對緩和，全年皆可能出現配種與生產現象。據業者表示，在各個季節出生頭數差異不大 (資料未顯示)。而肉羊場在各季節出生仔羊之育成率並無顯著差異，皆有 84% 以上 (表 2)。此與西班牙 Pérez-Baena *et al.* (2021) 研究指出波爾雜交山羊仔羊育成率約為 83.5% 類似。

### (ii) 仔羊常見死亡日齡與原因

受調查羊場之仔羊出生後常見死亡日齡為出生後 7 日內死亡比例 56.8% 最高，其次 19.5% 為 8 至 15 日 (表 2)。本次調查結果指出造成肉羊場仔羊死亡最常見原因依序為下痢、肺炎及鼓脹 (表 2)。此與 Donkin and Boyazoglu (2004) 及 Choe *et al.* (2012) 調查研究報告類似。山羊的疾病與死亡大部分都發生於仔羊階段，因此需特別注意仔羊健康照護 (Choe *et al.*, 2012)。初乳攝取時間非常關鍵，應在新生仔羊出生後 6 小時內完成吸吮，最遲於 24 小時內完成初乳攝取，以確保有效的被動免疫轉移，提升仔羊育成率，因為仔羊腸道在出生後 24 至 36 小時會開始閉合，即腸道對於免疫球蛋白吸收間隙閉合而無法再直接吸收初乳中之免疫球蛋白，過晚攝取會導致免疫吸收受限與能量不足風險 (Dwyer *et al.*, 2016)。

表 2. 受調查肉羊場之仔羊飼養方式

Table 2. Feeding methods of goat kids in the investigated meat goat farms

| Survey question                                               | Response           | Percentage (number) of farms, % |
|---------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| What are the rearing rates of kids born in different seasons? | Spring             | 84.3                            |
|                                                               | Summer             | 85.2                            |
|                                                               | Autumn             | 86.6                            |
|                                                               | Winter             | 85.0                            |
| What is the average age at death during the kid period?       | 0 — 7 days         | 56.8                            |
|                                                               | 8 — 15 days        | 19.5                            |
|                                                               | 16 — 30 days       | 9.3                             |
|                                                               | Over 30 days       | 14.4                            |
| What are the common diseases that cause death in kids?        | Diarrhea           | 52.0                            |
|                                                               | Pneumonia          | 23.0                            |
|                                                               | Bloat              | 13.5                            |
|                                                               | Quardriplegia      | 11.5                            |
| Does the kid barn have insulation equipment?                  | Yes                | 66.2                            |
|                                                               | No                 | 33.8                            |
| What types of kid insulation equipment are used?              | Heat lamps         | 49.7                            |
|                                                               | Heat box           | 25.2                            |
|                                                               | Heat pad           | 7.9                             |
|                                                               | Others             | 17.2                            |
| What types of kid nursing methods are used?                   | Natural suckling   | 76.7                            |
|                                                               | Artificial rearing | 23.3                            |
| When do kids start feeding with starter?                      | Less than 7 days   | 10.0                            |
|                                                               | 8 — 14 days        | 14.0                            |
|                                                               | 15 — 21 days       | 26.0                            |
|                                                               | 22 — 28 days       | 34.0                            |
|                                                               | Over 28 days       | 16.0                            |
| When are kids weaned on average?                              | Less than 2 months | 8.6                             |
|                                                               | 2 — 3 months       | 74.2                            |
|                                                               | Over 3 months      | 17.2                            |
| Will kids have disbudding?                                    | Yes                | 44.1                            |
| What is the average age for kids to be disbudding?            | Less than 14 days  | 23.9                            |
|                                                               | 15 — 30days        | 65.7                            |
|                                                               | Over 30 days       | 10.4                            |
| What types of kid disbudding methods are used?                | Chemical           | 4.0                             |
|                                                               | Hot-iron           | 95.0                            |
|                                                               | Sawing             | 1.0                             |
| What is the average age at which male kid undergo castration? | 1 — 3 months       | 7.3                             |
|                                                               | 4 — 6 months       | 86.1                            |
|                                                               | Over 7 months      | 6.6                             |
| Will the goat's hoof be trimmed?                              | Yes                | 82.1                            |
| Where are the manpower sources for goat hoof trimming?        | Farm owner         | 73.5                            |
|                                                               | Contract out       | 26.5                            |
| How often are the hoof trimmings?                             | Less than 3 months | 11.3                            |
|                                                               | 3 — 6 months       | 73.0                            |
|                                                               | Over 6 months      | 15.7                            |

## (iii) 保溫設施與哺乳方式

本次調查肉羊場中 66.2% 牧場有仔羊保溫設施 (表 2)，明顯低於潘等 (2024) 於乳羊場調查報告之 86.9%，此比例不高原因可能為臺灣肉羊場多為自然配種模式，仔羊出生後大部分係自然哺乳，因此其保溫來源為母羊。保溫設施中以保溫燈使用比例最高 49.7% (表 2)，因它可供應足夠的熱源、成本較低及使用便利等優點 (Zhou and Xin, 1999)。

本次調查有 76.7% 肉羊場的仔羊以自然哺乳為主。因可節省擠乳與餵飼仔羊時間，但也有將近 23.3% 肉羊場以人工哺乳為主 (表 2)。受訪場主表示，人工哺乳為要預防山羊關節炎腦炎 (Caprine Arthritis Encephalitis, CAE) 之傳播、控制母羊發情與配種同期化。莊 (2018) 指出，臺灣羊場 CAE 陽性率達 75% 以上。CAE 主要會引發羊隻慢性多發性關節炎、腦脊髓炎、慢性肺炎和乳房炎等疾病，進而引起山羊消瘦、虛弱和產乳量下降，造成嚴重經濟損失 (Yang *et al.*, 2017)。CAE 主要傳播途徑之一為使用有病毒感染之母羊初乳或常乳餵飼仔羊而造成仔羊的垂直感染，因此，建議將羊乳擠下後經 56°C 加熱處理 1 小時再餵飼給仔羊，藉此預防仔羊感染 CAE 途徑 (莊, 2018)。

## (iv) 教槽、離乳

調查結果指出，於仔羊 14 日齡內提供教槽料之肉羊場比例僅為 24.0% (表 2)，明顯低於潘等人 (2024) 對乳羊場之調查結果 (47.3%)。惟本次受訪之肉羊場，不論其採行自然或人工哺乳，皆有提供仔羊教槽料。該作法會刺激仔羊瘤胃發育並提高離乳後生長性能 (Adenaike and Bemji, 2011)。本調查顯示開始給予教槽料之平均週齡為  $3.5 \pm 2.1$  週齡，與 Luo *et al.* (2000) 研究指出波爾雜交山羊開始採食教槽料天數為 1.8 至 2.7 週齡 (12.8 至 19.1 天)，並於第 5 週齡才有出現顯著教槽採食量，因此本次調查肉羊場給予仔羊教槽料時間點仍屬合理範圍。肉羊場早期教槽之導入仍受傳統飼養模式與管理人力限制影響，但其實際給予時點仍符合仔羊生理發育特性，顯示後續仍具管理提升與推廣潛力。

本次調查資料顯示，臺灣肉羊場仔羊大部份 74.2% 於 2 至 3 月齡離乳 (表 2)，楊及徐 (2018) 指出可以利用漸進式方式減少仔羊離乳緊迫。調查之肉羊場多於仔羊  $2.5 \pm 1.3$  月齡開始進行漸進式離乳，包括減少每日餵乳次數或降低餵飼濃度，平均離乳為  $3.0 \pm 0.6$  月齡 (資料未顯示)。Morand-Fehr (1981) 指出仔羊固體飼料採食量為判斷仔羊離乳標準，約為每頭仔羊每天乾物質採食量達到 30 至 50 g。Panzuti *et al.* (2018) 指出法國阿爾拜因女羊的離乳體重經由營養濃度調整與增加固態飼料採食量等營養策略，已將離乳重量由 20 公斤降低至 15 公斤 (約 2 月齡)，且其試驗證明 40 天早期離乳與 60 天離乳之阿爾拜因母羊於 200 日齡時之體重並無顯著差異。仔羊早期離乳可以調降畜牧場人力和餵飼成本，臺灣肉用山羊離乳月齡平均為 3 月齡，未來可從營養策略改變，朝仔羊早期離乳目標努力。

## (v) 仔公羊去角

受調查肉羊場仔羊去角時間如表 2 所示，有 44.1% 羊場為羊隻去角，比例遠低於乳羊場調查結果 88.5% (潘等, 2024)，係兩者生產目的與飼養型態不同有關，乳羊場屬長期留養，去角有助於降低人員受傷、羊隻攻擊及擠乳設備損壞等風險；而肉羊場多屬短期飼養，去角所帶來之長期管理效益相對有限。然農業部在 2022 年為提高生產效率、保障人員安全等，開始推動羊隻去角政策並提供獎勵金補助，現今羊隻去角率應該有所提高。去角日齡 65.7% 集中於 15 至 30 日齡 (平均  $22.9 \pm 13.4$  日齡)。去角可防止山羊角過長而引起羊隻於爭鬥過程受傷或危及人員安全。臺灣肉羊場去角最常見用方法 95% 為燒烙法 (表 2)，即加熱烙鐵器後直接將仔羊角基燒除，該法亦為國外仔羊去角常見方式 (Hartnack *et al.*, 2018)，因其具有步驟較簡單、成功率高及併發症少之優點。

## (vi) 仔公羊去勢

受調查羊場仔羊去勢時間 86.1% 集中於 4 至 6 月齡 (平均  $5.1 \pm 1.3$  月齡) (表 2)。Gül *et al.* (2023) 分析山羊在 4、6 及 8 月齡去勢對其生長與屠體性狀之影響，結果顯示去勢月齡對生長表現具有顯著影響，以 6 月齡去勢之羊隻具有最高體重表現。Koyuncu *et al.* (2007) 試驗結果指出，176 日齡未去勢公羊之日增重與飼料效率顯著較 100 日齡去勢公羊為高。雖然文獻指出公羊在較晚月齡去勢比較早月齡去勢公羊在體重與飼料效率之表現均顯著較佳，不過，如果公羊太晚去勢則體型會過大，反而會增加去勢操作困難度與手術風險程度。另外，如果去勢與出售時間間隔過近，則會使屠體產生公羊臭問題。因此公羊於去勢過後，宜再飼養一段時間以消除公羊臭。Bayraktaroglu *et al.* (1983) 研究指出 7 月齡去勢公羊，於 10 月齡屠宰時已無公羊異味存在。

## (vii) 羊隻運動場與修蹄

本次受調查肉羊場有 8.6% 實施放牧，尤其是離島區域如金門與澎湖，因該處有較多廢耕地可供放牧；

肉羊場畜舍內設計運動場比例為 23.8% (資料未顯示)。腳蹄如果過長會使腳蹄彎曲變形，導致山羊行走困難，而影響生產性能與損及動物福利 (Hill *et al.*, 1997)。Anzuino *et al.* (2010) 指出最佳治療腳蹄過長方式就是定期修剪。定期修蹄是維持羊隻健康與生產性能之基本管理措施 (楊及徐，2018；吳及鄭，2023)。本次受調查肉羊場有 82.1% 肉羊場會定期幫羊隻修蹄，明顯低於潘等 (2024) 於乳羊場調查報告之 91.6%。其中 73.5% 肉羊場為自行修蹄，比例遠高於乳羊場調查結果 49.3% (潘等，2024)，其餘為外包聘請專業修蹄師。肉羊場修蹄頻率以每 3 至 6 個月一次者為最多，占 73.0% (平均  $5.7 \pm 0.3$  月齡)，但仍有 15.7% 超過 6 個月以上 (表 2)，明顯高於潘等 (2024) 於乳羊場調查報告之 6.5%，表示修蹄工作在肉羊場優先順序相對較低，此可能為肉羊營養濃度較乳羊低，腳蹄生長速率較慢所致，且不同於乳羊蹄部健康直接影響泌乳量與操作安全，惟飼養過程中仍應密切留意是否發生腳蹄過長之問題。

### III. 肉羊生產與銷售資訊

本次調查之肉羊場，其場內所生之仔公羊留在場內自行飼養比例為 74.8% (表 3)，其餘則對外出售，顯示臺灣肉羊場大部分為一貫化生產模式。肉羊飼養期平均為  $12.8 \pm 2.7$  月齡，體重達 60 公斤以上出售上市者比例 81.7% 最高 (表 3)。此情況也顯示，肉羊在短時間內達到出售體重，勢必要給予大量精料。蘇及楊 (2008) 以 75% 精料與 25% 苜蓿粒進行離乳至出售之不同肉羊品種飼養試驗，其結果證明波爾雜交、努比亞雜交及阿爾拜因乳公羊於 12 至 14 月齡間體重才能達 58 至 62 公斤。在羊隻銷售管道方面，86.7% 牧場將羊隻送至肉品市場拍賣 (表 3)，因為肉品市場之羊隻交易相對來說較為公開、公平與公正。另一方面，臺灣羊肉消費習慣以羊肉爐為主，因此羊隻飼養期長，而西方料理則偏愛肉質較嫩小羔羊肉為主，飼養期多不超過 8 月齡 (Nagpal *et al.*, 1995; Koyuncu *et al.*, 2007)，未來臺灣羊肉或許可另闢行銷通路，增加本土羊肉銷量。

表 3. 受調查肉羊場之生產與銷售資訊

Table 3. The production and marketing information in the investigated meat goat farms

| Survey question                                      | Response                  | Percentage (number) of farms, % |
|------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Where do the male kids born go?                      | On farm rearing           | 74.8                            |
|                                                      | For sale                  | 25.2                            |
| What is the average sale weight of meat goats?       | 40 — 50 kg                | 3.6                             |
|                                                      | 50 — 60 kg                | 14.6                            |
|                                                      | 60 — 70 kg                | 56.9                            |
|                                                      | 70 — 80 kg                | 24.2                            |
|                                                      | Over 80 kg                | 0.7                             |
| What types of meat goats marketing methods are used? | Livestock auction markets | 77.4                            |
|                                                      | Livestock traders         | 13.4                            |
|                                                      | Both                      | 9.2                             |

### IV. 羊場基本資料

#### (i) 飼主之年齡分佈

調查結果發現肉羊場畜主平均年齡為 55.9 歲，年齡介於 31 至 84 歲，其中以 55 至 60 歲年齡層占 20.0% 為最多，年齡分布 50 歲以上佔 68.7% (圖 2)，顯示肉羊場經營者以中高齡族群為主。此年齡結構與我國農業人口分布趨勢相符，2019 年農業統計要覽指出，臺灣從事農業人口中 71.2% 集中於 35 至 64 歲年齡層 (農業部，2020)，反應國內農業經營者普遍呈現高齡化趨勢。在國際方面，希臘乳用綿羊與山羊場畜主平均年齡為 47.0 歲，其年齡分布以 35 至 65 歲占 78.6% 為最多 (Lianou and Fthenakis, 2021)，顯示歐洲養羊產業亦以中壯年至高齡族群為主。此外，澳洲羊農平均年齡自 2000 年之 52 歲上升至 2020 年之 62 歲 (Meat and Livestock Australia, 2021)，顯示主要養羊國家亦面臨農場經營者高齡化之趨勢。飼主年齡偏高，可能限制勞力密集型管理措施與新技術導入，並增加日常飼養管理對人力配置之依賴。此外，飼主年齡結構亦凸顯肉羊產業面臨潛在之世代交替與接班困難問題。

#### (ii) 飼主之性別統計

本次調查顯示，肉羊場之主要經營與管理角色以男性為主 (94.1%，資料未顯示)。蔡 (2011) 指出農牧

戶工作指揮者中男性占 81.1%，而 2019 年農業年報統計資料亦顯示，農牧戶就業人口中男性占 74% (農業部，2020)，皆與本研究調查結果相近。由於農事作業多屬體力密集型工作，反應農牧業經營與決策角色仍以男性為主要承擔者。此外，國際研究亦呈現相似趨勢，希臘乳用綿羊和山羊場 93.2% 農民為男性，女性占比僅 6.8% (Lianou and Fthenakis, 2021)。

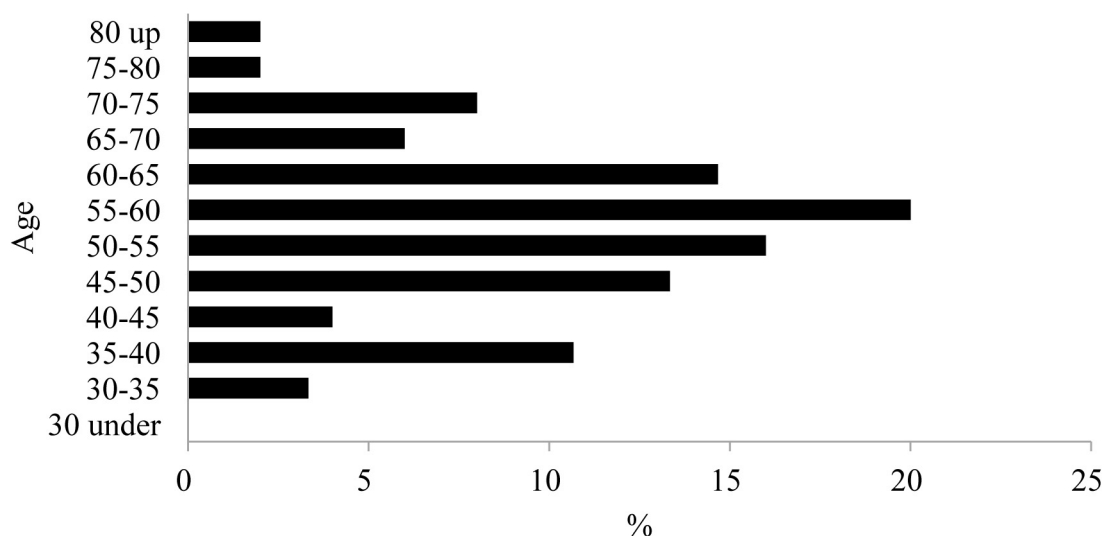


圖 2. 受調查肉羊場之畜主年齡分布。

Fig. 2. Age distribution of owners in the investigated meat goat farms.

### (iii) 工作人力

本次調查如表 4 所示，肉羊場平均每位人力可飼養  $109.0 \pm 80.5$  頭羊隻，顯示不同羊場在人力生產效率上具有高度變異，主要受羊場規模、飼養管理型態、設備自動化程度與飼主年齡偏高等影響。相較之下，Mena *et al.* (2017) 調查西班牙乳肉羊場指出平均每位人力可飼養  $210 \pm 24$  頭羊隻，顯示臺灣肉羊場在單位人力所能負荷之飼養規模仍相對有限，且人力運用效率上差異甚大，多數場仍停留在低效率型態，此差異與臺灣肉羊場規模不大、多採圈飼飼養模式有關，日常工作如餵飼、修蹄、清糞及畜舍維護等勞力需求較高，且多數羊場自動化與省力化設備導入程度不足，進一步限制人力效率提升。另外，本次受調查肉羊場之家庭人力占總工作勞力為  $1.8 \pm 0.8$  人 (表 4)，即工作人力組成 89.4% 為家庭成員，羊農表示這與工資高漲與雇工困難有關。未來肉羊場管理導入自動化或智能設備，改善人力使用效率為重要之研究課題。

表 4. 受調查肉羊場之使用勞力狀況

Table 4. Labor status in the investigated meat goat farms (mean  $\pm$  SD)

| Farms | Total labors<br>(person) | Employees<br>(person) | Family workforce<br>(person) | Goats managed<br>(heads/person) |
|-------|--------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Meat  | $2.1 \pm 0.8$            | $0.7 \pm 0.8$         | $1.8 \pm 0.8$                | $109.0 \pm 80.5$                |

## V. 羊舍資訊

### (i) 羊舍產權所屬、方位、屋齡及面積

本次調查肉羊場中 97.2% 畜牧場為自有財產，租賃僅占 2.8% (表 5)，顯示其經營型態具高度穩定性與長期投入特性，有利於持續性飼養管理與育種規劃。肉羊場之羊舍最大面座向比例如表 5 所示，52.3% 羊舍最大面為東西向，雖有利於場舍配置與冬季日照利用，然欄位於夏季時易產生南北側日照與午後西曬熱負荷不均之問題，並可能因自然通風效率受限而提高熱緊迫風險，東西向羊舍須搭配適當遮陽、降溫與通風設計，方能兼顧生產效率與動物福利。

表 5 顯示臺灣肉羊場羊舍為 11 至 20 年屋齡佔最大比例 42.3%，而平均屋齡  $17.1 \pm 8.37$  年低於乳羊場調查結果  $23.6 \pm 1.39$  年 (潘等，2024)。研究發現肉羊場屋齡較新，反應其屬於近年發展產業型態，於設施規劃與技術引進較有彈性，適合導入示範型場域升級肉羊產業；相對地，乳羊場屋齡較高且集中，表示結構更新速度緩慢，未來因應人力不足、極端氣候與能源調適之改建需求將更為迫切。

表 5. 受調查肉羊場之畜舍狀況

Table 5. Goat house information in Taiwan in the investigated meat goat farms

| Survey question                                                    | Item                                             | Results           |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------|
| What type of ownership is used for a goat barn?                    | Self-owned                                       | 97.2%             |
|                                                                    | Rented                                           | 2.8%              |
| What is the orientation of the longest side of the goat barn?      | East — West                                      | 52.3%             |
|                                                                    | South — North                                    | 40.3%             |
|                                                                    | East North — West South                          | 2.7%              |
|                                                                    | West North — East North.                         | 4.7%              |
| What is the average age of the goat barn? ( $17.1 \pm 8.37$ years) | 0 — 5 years                                      | 7.3%              |
|                                                                    | 6 — 10 years                                     | 19.9%             |
|                                                                    | 11 — 20 years                                    | 42.3%             |
|                                                                    | Over 20 years                                    | 30.5%             |
| What is the average structural size of the goat barn?              | Roof height                                      | $5.45 \pm 1.45$ m |
|                                                                    | Heel height                                      | $4.42 \pm 1.27$ m |
|                                                                    | Barn length                                      | $53.9 \pm 43.9$ m |
|                                                                    | Barn width                                       | $16.4 \pm 13.5$ m |
|                                                                    | High-bed height                                  | $1.93 \pm 1.25$ m |
| What type of roof designs are used in a goat barn?                 | Closed roof                                      | 74.0%             |
|                                                                    | Monitor roof                                     | 8.7%              |
|                                                                    | Airflow deflector                                | 12.6%             |
|                                                                    | Ventilation fan                                  | 4.0%              |
|                                                                    | Skylight                                         | 0.7%              |
| What type of roof materials are used in a goat barn?               | Corrugated steel sheet plus heat insulation foam | 34.8%             |
|                                                                    | Corrugated steel sheet                           | 26.1%             |
|                                                                    | Asbestos roof                                    | 26.8%             |
|                                                                    | Other                                            | 12.3%             |
| What type of sidewall designs are used in a goat barn?             | Tarpaulin                                        | 86.4%             |
|                                                                    | Solid wall                                       | 13.6%             |
| What type of high-bed materials are used in goat barns?            | Wood                                             | 5.5%              |
|                                                                    | Stainless steel                                  | 1.4%              |
|                                                                    | Galvanized iron mesh                             | 75.2%             |
|                                                                    | Cement                                           | 17.9%             |
| What type of feed trough materials are used in a goat barn?        | Stainless steel                                  | 46.3%             |
|                                                                    | Polyvinyl Chloride                               | 44.9%             |
|                                                                    | Cement                                           | 8.8%              |
| What type of cooling equipment is in the goat barn?                | Fan                                              | 62.9%             |
|                                                                    | Fan plus spray                                   | 6.6%              |
|                                                                    | None                                             | 30.5%             |
| What is the type of manure removal method?                         | Manually                                         | 73.4%             |
|                                                                    | Manure sifting net                               | 25.0%             |
|                                                                    | Manure scraper                                   | 1.6%              |

調查顯示肉羊場畜舍面積(畜舍長×寬)約為 884 m<sup>2</sup>(表 5)。根據 Toussaint (1997) 所提出之舍內飼養空間配置基準,成年羊隻每頭至少需 0.5 m<sup>2</sup>,離乳前仔羊則需 0.3 m<sup>2</sup>,該數值可作為欄舍規劃與飼養密度設定之參考下限。以調查樣本之總飼養頭數與場數估算,平均每場飼養約 209 頭羊隻;若以畜舍面積之三分之一作為實際羊隻飼養空間,換算平均每頭可使用空間約為 1.41 m<sup>2</sup>,顯示整體飼養密度仍處於相對充裕之範圍。

聯合國糧食及農業組織畜舍設計指引指出,畜舍屋頂高度至少 3 m 有助於維持舍內空氣循環與基本換氣條件(Mrema *et al.*, 2011)。本研究發現 98.0% 肉羊場採高床飼養(資料未顯示),羊床平均高度為 1.93 ± 1.25 m,羊舍屋頂平均高度達 5.45 ± 1.45 m(表 5),顯示肉羊場在高度配置上普遍有利於自然通風與熱氣排散。

#### (ii) 羊舍屋頂、羊床及飼槽型式與材質

表 5 顯示受調查肉羊場有 74.0% 羊舍為封閉式屋頂,12.7% 為導流裝置,其餘為太子樓等樣式;其中具封閉式屋頂型式之羊場有 5.5% 於屋頂裝置排風設施(資料未顯示)。多數羊農認為封閉式屋頂在防風、防雨及日常維護方面具優勢,然而其浮力通風效率相對較低,易造成熱空氣累積,為其主要結構性限制。受調查肉羊場中有 60.9% 之羊舍屋頂採用浪板材質,其中 34.8% 於浪板底層另設泡棉或木頭隔熱層(表 5),相較之下,潘等(2024)於乳羊場之調查指出,70.1% 採用浪板屋頂,且 41.3% 於浪板底層設置泡棉或木頭隔熱材料,顯示肉羊場在屋頂隔熱配置比例上相對偏低。依調查資料,多數肉羊舍屋側採用帆布型式(86.4%,表 5),顯示該設計在實務上具高度普及性,其原因可能與建置成本較低、開閉操作方便有關。

調查結果顯示,肉羊場羊床材質以鍍鋅鐵網 75.2% 為主,其次為水泥 17.9%、木頭 5.5%,不鏽鋼僅 1.4%(表 5),與乳羊場調查結果使用木條 52.0%,不鏽鋼 44.9% 來說,顯示兩者在設施規劃上之投資取向與管理重點存在明顯差異(潘等,2024)。羊農表示羊床材質選用鍍鋅鐵網成本較低,但不鏽鋼表面光滑、耐腐蝕、耐刷洗與消毒,較不易產生刮痕藏污納垢,可節省日後維修成本與時間。肉羊場羊床以鍍鋅鐵網為主,而乳羊場則多採用木條或不鏽鋼,該差異反應肉羊場偏向低成本與耐用導向,符合肉羊短期肥育後即出售之生產型態。

受訪肉羊場中有 97.3% 採用高架式飼槽(資料未顯示),其材質以 46.3% 不鏽鋼為主,其次為 44.9% 聚氯乙烯(PVC)塑膠管,水泥材質僅占 8.8%(表 5)。相較之下,潘等(2024)針對乳羊場之調查指出,不鏽鋼飼槽之使用比例 80.4%,而 PVC 塑膠管僅占 12.1%,顯示兩類產業在生產型態與投資邏輯上之差異。乳羊場每日擠乳對衛生管理要求高,較重視飼槽之耐用性與可清洗消毒性,故不鏽鋼採用比例較高;肉羊場多以成本與建置便利性為主要考量,PVC 管材易取得、施工彈性高,因而具較高比例。

#### (iii) 羊舍降溫設備

受調查肉羊場中,僅有 69.5% 有裝置降溫設備,且以風扇設備為主,30.5% 無任何降溫設備(表 5),與乳羊場調查結果僅 8.6%(潘等,2024)無裝設任何降溫設備相比,顯示不少肉羊場仍將降溫視為非必要生產設施。可能為臺灣飼養肉羊品種以努比亞及其雜交種為主,較阿爾拜因乳山羊耐熱(Brown *et al.*, 1988; Mellado *et al.*, 2006),因此對降溫設備需求不大。但因極端氣候影響,臺灣夏季濕熱又屢創高溫,Koluman and Daskiran (2011)指出羊舍加裝風扇可增加畜禽之性能表現並預防羊隻夏季熱緊迫發生。

#### (iv) 糞便清除設備、方式

本次調查顯示,受訪肉羊場有高達 73.4% 仍採人工方式清除糞便(表 5),明顯高於潘等(2024)於乳羊場調查所報告之 54.7%。肉羊場清糞作業高度仰賴人力,仍以勞力密集型管理模式為主,其原因可能與肉羊場整體飼養規模普遍較小、機械化清糞設備導入門檻較高有關,未來發展簡易且成本低之清糞設備,將有助於提升肉羊場之人力運用效率。

### VI. 羊場紀錄

#### (i) 羊隻個體識別方式

個體識別為場內紀錄之基礎與牧場發展所必須(Olivier *et al.*, 2005)。調查顯示,肉羊場羊隻個體識別採用率僅 36.4%(表 6),明顯低於乳羊 82.5%(潘等,2024),說明肉羊產業在個體化管理與資料化紀錄方面仍有不足。個體識別方式以耳標 25.2% 最多、耳刻 8.6% 居次。

#### (ii) 場內管理紀錄

低比率肉羊場有羊隻個體識別,因此有施行場內繁殖、飼養、成本及疾病管理紀錄之肉羊場比率也不到 33%(表 6)。雖然如此,有 88.1% 肉羊場有場內消毒紀錄,此可能與現行動物傳染病防治條例等相關法

規強制規定有關。未來可透過教育宣導與開發工具支援，提升農民建立場內紀錄之可行性與接受度。

表 6. 受調查肉羊場之羊場紀錄

Table 6. Goat records in Taiwan in the investigated meat goat farms

| Survey question                                               | Item         | Percentage (number) of farms, % |
|---------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------|
| How to establish goat individual identification?              | Ear tag      | 25.2                            |
|                                                               | Ear notch    | 8.6                             |
|                                                               | Collar       | 2.6                             |
|                                                               | None         | 63.6                            |
| What types of management records are used in meat goat farms? | Reproduction | 27.2                            |
|                                                               | Feeding      | 21.2                            |
|                                                               | Cost         | 32.5                            |
|                                                               | Therapy      | 27.2                            |
|                                                               | Disinfection | 88.1                            |

## 結 論

肉羊場已具備穩定之產業基礎，多數羊場為自有畜舍且屋齡較新，高床式結構與充足屋頂高度有利於糞尿分離、自然通風與基本動物福利維持。品種因羊肉消費習慣而以努比亞及其雜交種為主，已形成適合本地環境與市場需求之主流基礎。然而，肉羊場管理仍偏勞力密集，仔羊早期保溫與教槽管理導入比例不高，清糞作業高度仰賴人工，人力效率受限；此外，個體識別與場內生產紀錄施行率偏低，不利精準管理與長期效益評估。未來應朝省工、自動化設施與標準化紀錄方向，以提升肉羊產業整體經營效率與永續發展潛力。

## 致 謝

本試驗承農業部計畫(107 救助調整 - 牧 -25(1)) 經費補助。研究調查期間承國立臺灣大學徐濟泰教授及國立宜蘭大學楊价民教授提供意見協助建立調查表格，特此誌謝。

## 參考文獻

- 白火城。1996。本省乳用山羊事業之沿革與未來展望。興大農業 17：16-25。
- 吳志華、鄭閔謙。2023。新型磨蹄網對山羊過長腳蹄削磨效果之評估。畜產研究 56：230-235。
- 吳錦賢、謝瑞春。2005。臺灣養羊產業之發展。羊協一家親 37：43-47。
- 宋永義。2008。畜牧要覽—草食家畜篇。華香園出版社，臺北市，第 89-93 頁。
- 林炯仁。2008。畜牧要覽—草食家畜篇。華香園出版社，臺北市，第 18-25 頁。
- 施義章。1991。臺灣土山羊飼養要點。花蓮區農業推廣簡訊 9：13-14。
- 莊士德。2018。山羊飼養管理要覽。行政院農業委員會畜產試驗所，臺南市，第 119-140 頁。
- 楊价民、徐于捷。2018。山羊飼養管理要覽。行政院農業委員會畜產試驗所，臺南市，第 77-93 頁。
- 高源豐。2003。臺灣肉羊產業發展現況與輔導策略。農政與農情 128：45-52。
- 蔡培慧。2011。臺灣農村婦女在減貧、農村發展與糧食安全中的角色與培力。財團法人婦女權益促進發展基金會研究報告，臺北市。
- 潘昭治、吳志華、蕭士翔、許宗賢、林浚琛、鄭閔謙。2024。臺灣地區乳羊飼養現況之調查。畜產研究 57：184-196。
- 蘇安國、楊深玄。2008。各品種肉羊肥育經濟性狀之研究。畜產研究 42：299-308。
- 農業部。2020。農業統計年報。<https://agrstat.coa.gov.tw>。

農業部。2020。農業統計要覽。 <https://agrstat.coa.gov.tw>。

農業部。2025。畜牧類農情統計調查結果(含產值)。 <https://agrstat.coa.gov.tw>。

- Adenaike, A. S. and M. N. Bemji. 2011. Effects of environmental factors on birth weights and weaning weights of West African dwarf goats under intensive and extensive management systems. *Adv. Agric. Bio.* 1: 9-14.
- Akpa, G. N., C. Alphonsus, S. Y. Dalha, and Y. Garba. 2010. Goat breeding structure and repeatability of litter size in smallholder goat herds in Kano, Nigeria. *Anim. Res. Int.* 7: 1274-1280.
- Amoah, E. A., S. Gelaye, P. Guthrie, and C. E. Rexroad Jr. 1996. Breeding season and aspects of reproduction of female goats. *J. Anim. Sci.* 74: 723-728.
- Anzuino, K., N. J. Bell, K. J. Bazeley, and C. J. Nicol. 2010. Assessment of welfare on 24 commercial UK dairy goat farms based on direct observations. *Vet. Rec.* 167: 774-780.
- Bayraktaroğlu, E. A., N. Akman, and E. Tuncel. 1983. Carcass and slaughter characteristics in male and late-castrated crossbred goats. *Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 2: 83-94.
- Brown, D. L., S. R. Morrison, and G. E. Bradford. 1988. Effects of ambient temperature on milk production of Nubian and Alpine goats. *J. Dairy Sci.* 71: 2486-2490.
- Choe, C., D. Kang, S. H. Choi, C. Y. Cho, B. Y. Jung, J. K. Son, T. Y. Hur, Y. H. Jung, S. J. Kang, Y. J. Do, I. S. Ryu, U. H. Kim, Y. S. Park, and D. S. Son. 2012. A survey of disease occurrence in Korean black goats. *J. Vet. Clin.* 29: 160-164.
- Choudhury, M. P., A. Khatun, M. S. Hossain, and F. Islam. 2016. Feeding and breeding management system of goat at central and southern regions of Bangladesh. *Asian J. Med. Biol. Res.* 2: 9-12.
- Chowdhury, S. A., M. S. A. Bhuiyan, and S. Faruk. 2002. Rearing Black Bengal goat under semi-intensive management. 1. Physiological and reproductive performances. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 15: 477-484.
- Donkin, E. F. and P. A. Boyazoglu. 2004. Diseases and mortality of goat kids in a South African milk goat herd. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 34: 258-261.
- Dwyer, C. M., J. Conington, F. Corbiere, I. H. Holmøy, K. Muri, R. Nowak, and J. M. Gautier. 2016. Invited review: Improving neonatal survival in small ruminants: Science into practice. *Animal* 10: 449-459.
- Gül, S., A. Dursun, D. Türkmen, M. Keskin, and Z. Güler. 2023. Effects of castration at different ages on growth performance, carcass characteristics, and meat fatty acid profile in Kilis goats. *Span. J. Agric. Res.* 23: e21214.
- Hartnack, A. K., M. E. Jordan, A. J. Roussel, and M. S. Diplomate. 2018. Complications associated with surgical dehorning in goats: A retrospective study of 239 cases. *Vet. Surg.* 47: 188-192.
- Hill, N. P., P. E. Murphy, A. J. Nelson, N. Mouttoto, L. E. Green, and K. L. Morgan. 1997. Lameness and foot lesions in adult British dairy goats. *Vet. Rec.* 141: 412-416.
- Koluman, N. and I. Daskiran. 2011. Effects of ventilation of the sheep house on heat stress, growth, and thyroid hormones of lambs. *Trop. Anim. Health Prod.* 43: 1123-1127.
- Koyuncu, M., S. Duru, S. Kara Uzun, S. Özis, and E. Tuncel. 2007. Effect of castration on growth and carcass traits in hair goat kids under a semi-intensive system in the south Marmara region of Turkey. *Small Rumin. Res.* 72: 38-44.
- Lianou, D. T. and G. C. Fthenakis. 2021. Dairy sheep and goat farmers: Socio-demographic characteristics and their associations with health management and performance on farms. *Land* 10: 1358.
- Liu, Y. Y., J. P. Evans, M. F. McCabe, R. A. de Jeu, A. I. J. M. van Dijk, A. J. Dolman, and I. Saizen. 2013. Changing climate and overgrazing are decimating Mongolian steppes. *PLoS One* 8: e57599.
- Luo, J., T. Sahlu, M. Cameron, and A. L. Goetsch. 2000. Growth of Spanish, Boer × Angora, and Boer × Spanish goat kids fed milk replacer. *Small Rumin. Res.* 36: 189-194.
- Meat and Livestock Australia. 2021. Financial snapshot of sheep and cattle farms. Meat and Livestock Australia, Sydney, Australia.
- Mellado, M., R. Valdéz, J. E. García, R. López, and A. Rodríguez. 2006. Factors affecting the reproductive performance of goats under intensive conditions in a hot arid environment. *Small Rumin. Res.* 63: 110-118.
- Mellado, M., C. A. Meza-Herrera, J. R. Arévalo, M. A. de Santiago-Miramontes, A. Rodríguez, J. R. Luna-Orozco, and F. G. Veliz-Deras. 2011. Relationship between litter birth weight and litter size in five goat genotypes. *Anim. Prod. Sci.* 51: 144-149.
- Mena, Y., R. Gutiérrez-Peña, F. A. Ruiz, and M. Delgado-Pertíñez. 2017. Can dairy goat farms in mountain areas reach a satisfactory level of profitability without intensification? A case study in Andalusia (Spain). *Agroecol. Sustain. Food*

- Syst. 41: 614-634.
- Morand-Fehr, P. 1981. Growth. In: C. Gall (Ed.), Goat Production. Academic Press, London, pp. 253-284.
- Mrema, G. C., L. O. Gumbe, H. J. Chepete, and J. O. Agullo. 2011. Rural Structures in the Tropics: Design and Development. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Nagpal, A. K., D. Singh, V. S. S. Prasad, and P. C. Jain. 1995. Effect of weaning age and feeding system on growth performance and carcass traits of male kids in three breeds in India. *Small Rumin. Res.* 17: 45-50.
- Nogueira, D. M., J. Cavalieri, B. Gummow, and A. J. Parker. 2015. The timing of the commencement of the breeding season in Boer and rangeland goats raised in the tropics of Queensland, Australia. *Small Rumin. Res.* 125: 101-105.
- Olivier, J. J., S. W. P. Cloete, S. J. Schoeman, and C. J. C. Muller. 2005. Performance testing and recording in meat and dairy goats. *Small Rumin. Res.* 60: 83-93.
- Panzuti, C., G. Mandrile, C. Duvaux-Ponter, and F. Dessauge. 2018. Early weaning and high feeding level in the post-weaning period did not impact milk production in Alpine dairy goats. *J. Dairy Res.* 85: 277-280.
- Pérez-Baena, I., Jarque-Durán, M., Gómez, E. A., Díaz, J. R., and Peris, C. 2021. Terminal crossbreeding of Murciano-Granadina goats to boer bucks: Effects on reproductive performance of goats and growth of kids in artificial rearing. *Animals.* 11: 986.
- SAS Institute Inc. 2018. SAS/STAT® User's Guide: Statistics, Version 9.2. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Toussaint, G. 1997. The housing of milk goats. *Livest. Prod. Sci.* 49: 151-164.
- Yang, W. C., H. Y. Chen, C. Y. Wang, H. Y. Pan, C. W. Wu, Y. H. Hsu, J. C. Su, and K. W. Chan. 2017. High prevalence of caprine arthritis encephalitis virus (CAEV) in Taiwan revealed by large-scale serological survey. *J. Vet. Med. Sci.* 79: 273-276.
- Zhou, H. and H. Xin. 1999. Effects of heat lamp output and color on piglets at cool and warm environments. *Appl. Eng. Agric.* 15: 327-330.

# Survey on the farming status of the meat goat industry in Taiwan <sup>(1)</sup>

Chao-Chih Pan <sup>(2)</sup> Jhih-Hua Wu <sup>(2)</sup> Felix Shih-Hsiang Hsiao <sup>(3)</sup> Zong-Sian Syu <sup>(4)</sup>  
Jun-Chen Lin <sup>(5)</sup> and Min-Chien Cheng <sup>(2)(6)</sup>

Received: Jan. 9, 2026; Accepted: Apr. 8, 2026

## Abstract

This study aimed to investigate the current farming status of meat goat farms in Taiwan and to provided baseline information on industry development and related research. A total of 153 meat goat farms with herd sizes over 100 heads were surveyed, accounting for 32.4% of the national meat goat population in Taiwan. Among the surveyed animals, 80.4% were Nubian goats and their crossbreds. The average weaning age of kids was  $3.0 \pm 0.6$  months. No significant differences in kid survival rates were observed among birth seasons, with an average survival exceeding 84%. Kid mortality was highest within the first 7 days after birth, with diarrhea and pneumonia identified as the primary causes of death. About 66.2% of farms come with insulated facilities, whereas only 24.0% of kids were implemented with early starter feeding within the first 14 days of age. The average ages for castration and dehorning were  $5.1 \pm 1.3$  months and  $22.9 \pm 13.4$  days, respectively. Most farms (86.7%) marketed goats through livestock auction markets. The average age at sale was  $12.8 \pm 2.7$  months, and the majority of goats weighed more than 60 kg at marketing. Among the principal farm managers, 94.1% were male and 68.7% aged over 50 years. On average, each worker managed  $109.0 \pm 80.5$  goats. The mean age of goat houses was  $17.1 \pm 8.37$  years, with an average floor area of 884 m<sup>2</sup> and a platform height of  $1.93 \pm 1.25$  m. About 30.5% of housing units do not come with cooling facilities. As high as 73.4% of meat goat farms adopted manual manure removal, and only 36.4% of farms adopted individual animal identification. Moreover, less than one third of farms has maintained records of on-farm breeding, feeding, production costs, and disease management. Overall, the meat goat industry in Taiwan has established a stable foundation and is gradually moving toward more professionalized and knowledge-based management. However, substantial potential remains for improvement, particularly in labor-saving practices, automation, early kid management, and systematic on-farm record keeping.

Key words: Feeding and management, Goat facilities, Goat worker, Meat goat breed, Production and marketing.

---

(1) Contribution No. 2853 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

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

(3) Department of Biotechnology and Animal Science, National I-Lan University, No. 1, Sec. 1, Shennong Rd., Yilan City, Yilan County 260007, Taiwan, R. O. C.

(4) Agricultural Technology Research Institute, 1 Lane 51Dahu Road, Hsinchu 300, Taiwan, R. O. C.

(5) Goat Farmer Association, 105 Mituo Road, Chiayi 60040, Taiwan, R. O. C.

(6) Corresponding author, E-mail: mccheng@mail.tlri.gov.tw.

# 施灌厭氧消化之牛糞尿水於盤固拉草地對土壤性狀及地下水水質之影響<sup>(1)</sup>

黃雅玲<sup>(2)</sup> 張世融<sup>(2)</sup> 蘇天明<sup>(3)</sup> 李欣蓉<sup>(2)(4)</sup>

收件日期：113 年 7 月 4 日；接受日期：115 年 5 月 12 日

## 摘 要

本試驗旨在探討長期施灌經厭氧消化後之牛糞尿水於盤固拉草地對土壤性狀及地下水水質之影響。試驗於 2018 至 2025 年進行，將 34.89 公頃的盤固拉草地依地形和地貌區分為 A10、A13 和 A14 等三區，每月以槽車載運牛糞尿水輪流施灌於其中一區，另 A13 區部分地號自 2022 年起搭配管線進行施灌，各試區之施灌間隔約為 3 個月。施灌量依據盤固拉草的氮肥需求量計算，期間每 3 個月分析一次牛糞尿水及各區土壤，以及每 2 個月分析一次上游井與下游井的地下水，土壤及地下水並分別與 2017 年土壤監測值及 2017 – 2018 年枯水期的監測值做為背景值進行比較。結果顯示，試驗期間施灌的糞尿水平均總氮含量為 669 mg/L，銅含量為 1.55 mg/L，鋅含量為 3.18 mg/L。A10、A13 與 A14 區土壤平均 pH 值分別為 5.4、5.4 及 5.9 (背景值分別為 5.1、5.1 及 6.0)，EC 值分別為 44.5、77.3、63.8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (背景值分別為 146、114 及 214  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )，總銅含量分別為 7.38、6.29、7.85 mg/kg (背景值分別為 6.27、5.24 及 7.11 mg/kg)，總鋅含量分別為 40.8、27.7、41.9 mg/kg (背景值分別為 42.5、29.9 及 41.6 mg/kg)。下游監測井  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  與  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  濃度分別為 0.59 mg/L (背景值 0.77 mg/L) 以及 0.14 mg/L (背景值 0.11 mg/L)，試驗期間皆無顯著變化。綜上所述，本試驗長期施灌牛糞尿水對土壤及地下水水質無明顯影響，亦尚未見鹽分及金屬累積於土壤，或污染地下水等情形。

關鍵詞：牛糞尿水、厭氧消化、土壤、地下水。

## 緒 言

國內畜牧場多以集約式飼養，畜牧場產生大量的廢水，包含糞尿及畜舍沖洗水等。畜牧廢水富含植物生長所需的營養分，依作物需氮量施用於農地時，可提供植物所需肥分、土壤改良劑及灌溉農作物，對農民而言，可降低施用化學肥料的支出並提高作物產量 (Lee *et al.*, 2024)；環境方面，可增加土壤有機質、改善土壤的物理條件以促進植物生長，並減少廢水排放至地面水體導致水體優養化；枯水期亦可替代灌溉水，減輕農民無水可用的壓力。因此，以肥水回田，不僅兼顧社會福祉，也兼具環境保護之效益。在國內，環境部 (2017) 已規定飼養豬隻、牛隻之畜牧業應採用畜牧糞尿資源化處理措施，飼養豬隻 2,000 頭以上或牛隻 500 頭以上之畜牧業，其畜牧糞尿資源化處理比率，自 2017 年 12 月 27 日起 5 年內應達總廢水產生量 5%、10 年內應達總廢水產生量 10%；飼養豬隻 20 頭以上未滿 2,000 頭或牛隻 40 頭以上未滿 500 頭之畜牧業，其畜牧糞尿資源化處理比率，自 2017 年 12 月 27 日起 8 年內應達總廢水產生量 5%、12 年內應達總廢水產生量 10%。

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2854 號。

(2) 農業部畜產試驗所飼料作物組。

(3) 農業部畜產試驗所畜產經營組 (退休)。

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

然而，廢水中過量的營養物質、重金屬、鹽分、病原微生物及抗生素等，可能會對土壤和水質產生不良影響 (Bradford *et al.*, 2008)，此外，Kunhikrishnan *et al.* (2012) 指出，銅及鋅常被添加於動物飼料、生長促進劑及疾病預防與治療等，致使畜牧廢水中銅及鋅含量可能偏高，然廢水經過處理，可降低重金屬含量，後續用於灌溉或其他用途使用被視為安全的。Hu *et al.* (2021) 指出，厭氧消化處理為最有效處理豬糞尿的方法之一。廢水透過厭氧消化處理可穩定降解廢水中可生物降解的部分，且效率高達 80 – 90%，不僅可去除污染物，同時可產生再生能源 (甲烷)；此外，處理過程無需提供氧氣可節省處理成本，處理後污泥產生量少，此方法適合處理有機物濃度高的廢水 (Bella and Rao, 2023)。

本試驗自 2015 年起，施灌經厭氧消化後的牛糞尿水於盤固拉草地，並持續進行土壤性狀及地下水水質之追蹤監測。前期研究已針對 2015 年至 2017 年間之監測資料進行分析 (黃等, 2021)。本研究延續既有試驗架構，進一步分析 2018 年至 2025 年間之長期監測結果，以建立長期施灌養牛糞尿水對土壤及地下水水質之變化情形，試驗結果可作為政府政策實證基礎，並為法規修訂及農民實踐提供參考依據。

## 材料與方法

### I. 施灌地與施灌方式

- (i) 施灌地位於臺南市新化區農業部畜產試驗所之盤固拉草地，共 34.89 公頃，依地形地貌分為 A10、A13 及 A14 等三區，土壤質地分別為壤土、壤土及極細砂土，面積分別為 13.63、15.11 及 6.15 公頃。經厭氧消化後之牛糞尿水取自畜產試驗所乳牛試驗場，以槽車載運至施灌地，每車次約 5.5 m<sup>3</sup>；此外，A13 區部分地號因緊鄰乳牛試驗場之廢水處理場，於 2021 年申請通過沼液沼渣農地肥分使用計畫，並自 2022 年起透過管線配置進行施灌。盤固拉草氮肥需求量參考作物施肥手冊 (農業部農糧署, 2005) 之推薦量 (320 – 480 kg/ha/yr)，並依據試驗期間糞尿水之平均總氮含量換算施灌量。
- (ii) 本試驗於 2018 年至 2025 年間進行，並以黃等 (2021) 之 2017 年的土壤監測值，以及 2017 – 2018 枯水期的地下水監測值進行比較。試驗前已依農業部 (2013) 農業事業廢棄物再利用管理辦法規定，取得個案再利用許可，以及依環境部 (2017) 水污染防治措施及檢測申報管理辦法，取得沼液沼渣農地肥分使用計畫許可，期間依規定申辦展延許可並依照規定執行施灌及相關停灌作業。

### II. 分析項目及方法

#### (i) 監測項目與頻率

試驗監測自 2018 年起至 2025 年止，期間牛糞尿水及土壤每 3 個月採樣分析 1 次，共分析 32 次，地下水每 2 個月採樣分析 1 次，共分析 48 次。三區試驗地每區逢機選擇 5 – 8 處採樣點，以距離表土 0 – 20 cm 進行土壤採樣並混合。地下水抽取上游井 1 (upstream 1)、上游井 2 (upstream 2) 及下游井 (downstream) 等 3 口監測井 (圖 1)、3 口監測井深度分別為 112、51 及 78 m，並區分枯水期 (dry period, D) 及豐水期 (wet period, W)。

#### (ii) 牛糞尿水及地下水水質分析

於每次施灌前依據環境部公告之水質檢測方法進行水質分析。pH 值以 NIEA W424.52A (環境部國家環境研究院, 2008)、EC 值以 NIEA W203.51B 測定 (環境部國家環境研究院, 2000)、總磷以 NIEA W427.53B 測定 (環境部國家環境研究院, 2010)、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 以 NIEA W419.51A 測定 (環境部國家環境研究院, 2006)、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 以 NIEA W448.51B (環境部國家環境研究院, 2005)、總氮以 NIEA W423.52C 計算 (環境部國家環境研究院, 2004)、銅及鋅以 NIEA W306.55A 測定 (環境部國家環境研究院, 2016)。

#### (iii) 土壤採集與分析

以長 1 m、內徑 5.4 cm、外徑 6 cm 的土鑽，逢機採集 5 – 8 個點、深度 0 – 20 cm 的土壤，均勻混合後取樣，每區 3 重複。分析項目與方法：pH 值以 pH meter 測定 pH 值 (土水比 = 1 : 1)；以電導度計測定 EC 值 (土水比 = 1 : 5)；總磷以燒灼法灰化後以 1N 硫酸震盪萃取，濾液以分光光度計測定 (土壤分析手冊, 1995)；銅及鋅含量以 NIEA S321.65B (環境部國家環境研究院, 2018) 消化後定量過濾，再以 NIEA M111.01C (環境部國家環境研究院, 2012) 測定。

### III. 統計分析

以 Excel 2016 計算牛糞尿水、土壤化學性質及地下水質之平均值與標準差。利用 GraphPad Prism 9 軟體 (GraphPad Software, USA) 的二因子變異數分析 (two-way ANOVA) 進行統計分析，以 Tukey's test 檢定差異顯著性

( $P < 0.05$ )。

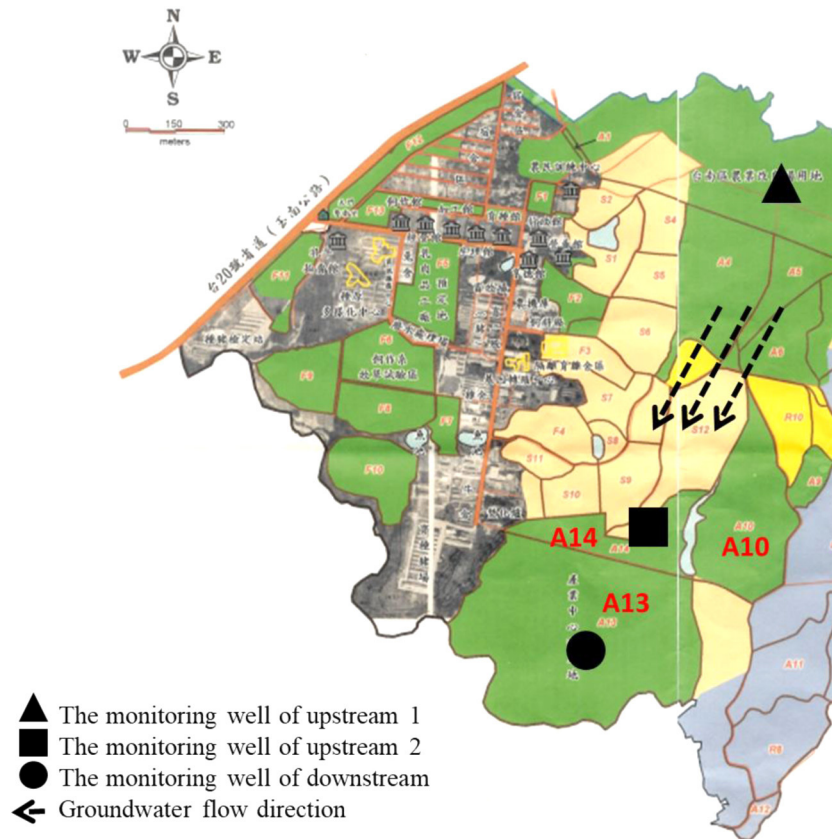


圖 1. 三區 (A10、A13 及 A14) 施灌地及地下水監測井位置圖。(A10、A13 及 A14 等三區面積分別為 13.63、15.11 及 6.15 公頃)。

Fig. 1. Locations of irrigation areas (A10, A13, and A14) and groundwater monitoring wells (with respective areas of 13.63, 15.11, and 6.15 ha).

## 結果與討論

### I. 牛糞尿水水質及施灌量

為避免施灌牛糞尿水而導致土壤鹽分及重金屬的累積，定期分析牛糞尿水水質是必要的 (Angin *et al.*, 2005)。試驗期間牛糞尿水水質如表 1 所示，平均 pH 值為 7.8，EC 值為 3.78 mS/cm，總氮含量為 669 mg/L，總磷含量為 76 mg/L，銅含量為 1.55 mg/L，鋅含量為 3.18 mg/L。試驗施灌量依盤固拉草氮肥需求量及牛糞尿水總氮量計算，試驗期間之施灌量如圖 2 所示，A10 區平均 59.9 ton/ha/yr，以 2020 年施灌量最高約 138 ton/ha/yr，2024 年施灌量最低約 14.9 ton/ha/yr；A13 區平均 250 ton/ha/yr，以 2022 年施灌量最高約 402 ton/ha/yr，2020 年施灌量最低約 75.2 ton/ha/yr；A14 區平均 76.6 ton/ha/yr，以 2020 年施灌量最高約 177 ton/ha/yr，2023 年施灌量最低約 4.47 ton/ha/yr。

試驗期間，收集交通部中央氣象署農業氣象站—畜產試驗所測站 (Station No: B2N890) 降雨量資料 (圖 3)，2018 至 2025 年之全年累計降雨量以 2024 年最高約 2,901 mm，依序分別為 2021 年 (2,759 mm)、2025 年 (2,196 mm)、2018 年 (2,167 mm)、2019 年 (2,099 mm)、2020 年 (1,544 mm)、2022 年 (1,201 mm)，以及 2023 年 (1,166 mm)，年雨量 1,166 – 2,901 mm。因此，每公頃最大雨水注入量為 11,660 – 29,010 m<sup>3</sup>/ha/year，與平均施灌量 4.47 – 250 ton/ha/yr 比較，施灌量為雨水注入量之 1/100 以下，對淺層 0 – 20 cm 土壤之鹽度及重金屬累積影響極小。此外，國內豐水期 (每年 5 月至 10 月) 與枯水期 (每年 11 月至隔年 4 月) 之降雨量有明顯差異，降雨主要集中於 5 – 9 月，近年來受全球氣候變遷影響，豐、枯水期之降雨量差異更加懸殊，此種高度集中降雨強度，使殘留於土壤中之可溶性離子易隨大量雨水產生淋洗作用 (Leaching)，從而維持土壤環境之動態平衡，降低蓄積風險。

本試驗期間各監測區之施灌量呈現波動與區位差異，係因天氣因素與施灌模式差異所致。氣候環境為施

灌作業直接之限制因素，若逢颱風或連日降雨導致土地含水飽和，為避免糞尿水隨雨水逕流，並符合計畫規範，必須暫停施灌。其次，槽車維護與糞尿水載運量能亦影響作業連續性，槽車例行檢修或設備異常常導致施灌暫停，而 A13 區因鄰近廢水處理場自 2022 年起新增管線方式施灌，降低對槽車載運之依賴，其作業連續性優於需仰賴槽車載運之其他試區，故其歷年平均施灌量 (249 ton/ha/yr) 遠高於 A10 區 (59.9 ton/ha/yr) 及 A14 區 (76.6 ton/ha/yr)。

表 1. 試驗八年期間牛糞尿水之水質分析

Table 1. Characteristics of irrigation with anaerobically treated dairy wastewater during three-year experimental period (n = 4/yr)

| Items                                 | 2018             | 2019             | 2020               | 2021              | 2022             | 2023              | 2024               | 2025              | Average | SEM  |
|---------------------------------------|------------------|------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|---------|------|
| n                                     | 4                | 4                | 4                  | 4                 | 4                | 4                 | 4                  | 4                 |         |      |
| pH                                    | 7.4              | 7.9              | 7.5                | 7.7               | 8.0              | 7.9               | 7.9                | 8.1               | 7.8     | 0.1  |
| EC, mS/cm                             | 3.04             | 3.79             | 2.10               | 2.52              | 4.47             | 4.68              | 5.28               | 4.35              | 3.78    | 0.2  |
| Total-N, mg/L                         | 746 <sup>c</sup> | 857 <sup>b</sup> | 472 <sup>f</sup>   | 519 <sup>ef</sup> | 606 <sup>d</sup> | 630 <sup>cd</sup> | 964 <sup>a</sup>   | 560 <sup>de</sup> | 669     | 50.1 |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N, mg/L | 204 <sup>b</sup> | 254 <sup>b</sup> | 135 <sup>c</sup>   | 274 <sup>b</sup>  | 213 <sup>b</sup> | 218 <sup>b</sup>  | 340 <sup>a</sup>   | 279 <sup>a</sup>  | 237     | 26.1 |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, mg/L | 109 <sup>a</sup> | 157 <sup>a</sup> | 90.4 <sup>ab</sup> | 149 <sup>a</sup>  | 182 <sup>a</sup> | 128 <sup>a</sup>  | 35.8 <sup>bc</sup> | 87.8 <sup>b</sup> | 117     | 14.6 |
| Total-P, mg/L                         | 81.4             | 57.4             | 57.1               | 64.5              | 92.6             | 80.2              | 98.2               | 76.6              | 76.0    | 9.39 |
| Cu, mg/L                              | 1.75             | 2.18             | 1.66               | 0.78              | 2.64             | 1.86              | 1.35               | 0.16              | 1.55    | 0.19 |
| Zn, mg/L                              | 3.03             | 2.10             | 3.02               | 2.55              | 4.53             | 5.22              | 4.25               | 0.76              | 3.18    | 0.66 |

a, b, c, d, e, f Means in the same column with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

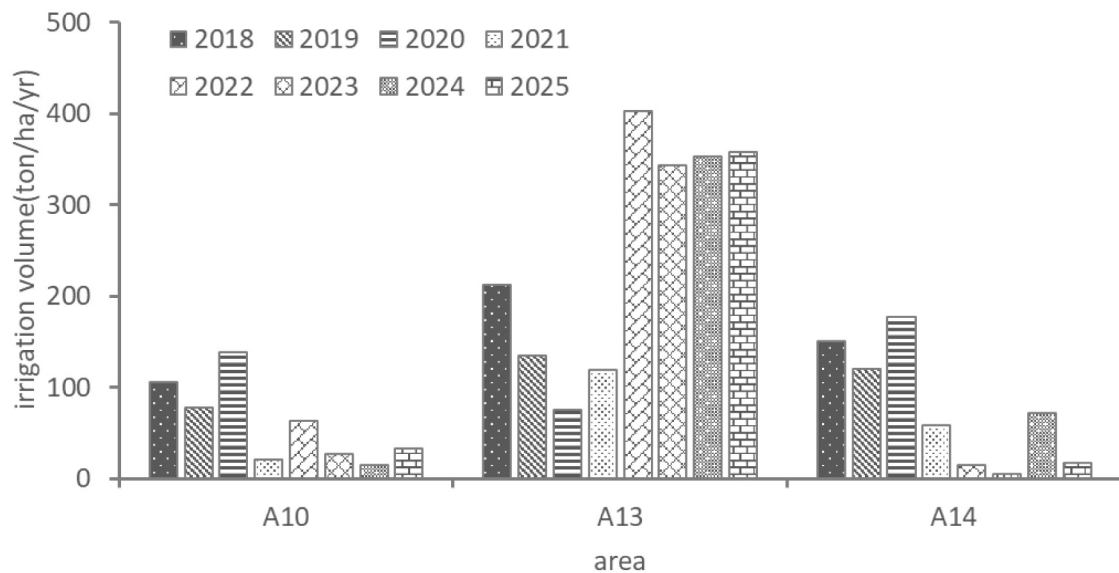


圖 2. 試驗期間 (2018 至 2025 年) 三區 (A10、A13 及 A14) 施灌地之單位面積施灌量。

Fig. 2. Irrigation amount in three irrigation areas (A10, A13 and A14) during the irrigation period (2018 to 2025).

## II. 施灌牛糞尿水對盤固拉草地土壤品質之影響

以黃等 (2021) 於 2017 年監測數據做為背景值與本試驗結果進行比較 (表 2 至表 4)。試驗期間 A10、A13 及 A14 區土壤 pH 值平均分別為 5.4、5.4 及 5.9，與背景值 (5.1、5.1、6.0) 差異不大，各年度間亦無顯著差異，顯示以本試驗條件操作下，長期以牛糞尿水施灌盤固拉草地對土壤酸鹼度影響有限，並未造成明顯酸化或鹼化。

EC 值方面，A10 區平均 44.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，各年度皆顯著 ( $P < 0.05$ ) 低於背景值 (146  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )，其中 2021 至 2025 年 (15.4 – 20.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) 又顯著 ( $P < 0.05$ ) 低於 2018 至 2020 年 (86.3 – 90.3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )；A13 區平均為 77.3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，2021 年及 2023 至 2025 年 (61.6 – 71.2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) 之 EC 值顯著 ( $P < 0.05$ ) 低於背景值 (114  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )，以及 2018 至

2020 年與 2022 年 (76.1 – 114  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )；A14 區平均 63.8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，各年度顯著 ( $P < 0.05$ ) 低於背景值 (214  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )。而 2021 至 2025 年 (18.5 – 35.0  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) 顯著 ( $P < 0.05$ ) 低於 2018 至 2020 年 (121 – 135  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )。Ofori *et al.* (2021) 指出，土壤 EC 值為評估灌溉水適用性及衡量土壤鹽度的一項重要指標，透過測定土壤飽和抽出液的 EC 值了解鹽分累積程度，土壤 EC 值高表示土壤中的可溶性鹽類含量高。以廢水灌溉可能會因其廢水中所含的鹽分而導致土壤暫時性或長期的鹽化。本試驗 A10 及 A14 區 2021 至 2025 年 EC 值顯著低於背景值及 2018 – 2020 年，推測原因為單位面積施灌量下降以及降雨產生的淋洗作用導致土壤 EC 值下降。Vergine *et al.* (2017) 以處理過的廢水灌溉番茄，發現在夏季期間表現暫時性的鹽化，但在冬季結束後便回復至正常值，作者表示此一暫時性的鹽化係因高施灌量與缺乏降雨所致。Abunada and Nassar (2015) 亦指出，表層土壤之養分與鹽分累積與施灌量呈正相關，儘管廢水施灌易導致鹽分於表層蓄積，但降雨對鹽分的分布與移動具關鍵作用，雨季期間，表層累積之鹽分可經由降雨的淋洗作用移向次地表層 (Subsurface layer)，進而緩解表層土壤之鹽分負荷。

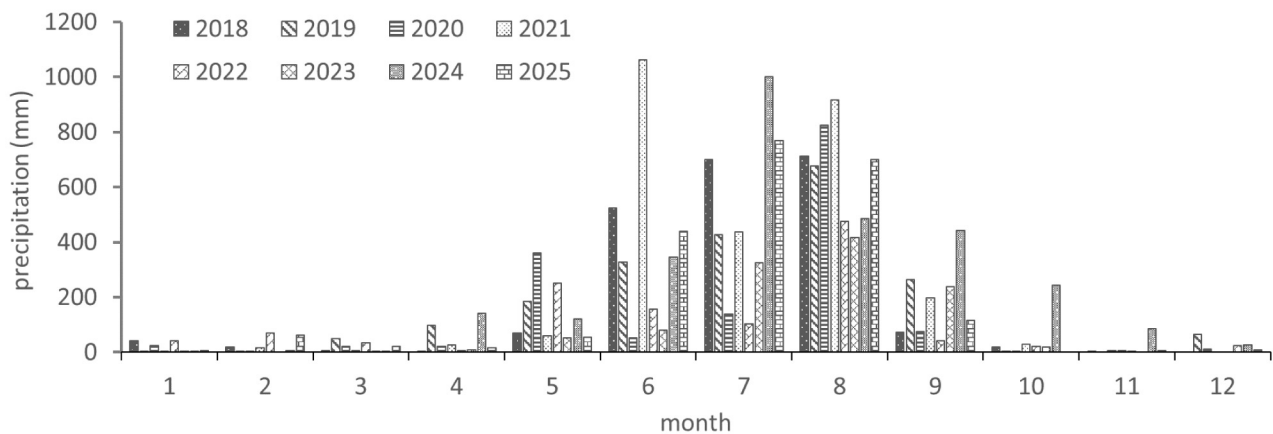


圖 3. 試驗期間 (2018 至 2025 年) 每月降雨量 (資料來源：交通部中央氣象署－畜產試驗所測站)。

Fig. 3. Monthly rainfall during the irrigation period (2018 to 2025) (Source: Central Weather Administration, Ministry of Transportation and Communications - Station No: B2N890).

表 2. 施灌厭氧處理後牛糞尿水對 A10 區盤固拉草地土壤之影響 (n = 4 次 / 年)

Table 2. Effects of irrigation with anaerobically treated dairy wastewater on the soil of Pangolagrass pasture in the A10 area (n = 4/yr)

| Items                | pH  | EC <sup>1</sup>         | TP <sup>2</sup>  | TCu <sup>3</sup> | TZn <sup>4</sup> |
|----------------------|-----|-------------------------|------------------|------------------|------------------|
|                      |     | $\mu\text{S}/\text{cm}$ | mg/kg            |                  |                  |
| 2017 <sup>5</sup>    | 5.1 | 146 <sup>a</sup>        | 218 <sup>b</sup> | 6.27             | 42.5             |
| 2018                 | 4.8 | 89.2 <sup>b</sup>       | 220 <sup>b</sup> | 10.6             | 37.3             |
| 2019                 | 5.5 | 90.3 <sup>b</sup>       | 307 <sup>a</sup> | 6.94             | 39.9             |
| 2020                 | 5.1 | 86.3 <sup>b</sup>       | 289 <sup>a</sup> | 7.25             | 48.6             |
| 2021                 | 5.2 | 20.0 <sup>c</sup>       | 217 <sup>b</sup> | 7.56             | 42.5             |
| 2022                 | 5.4 | 17.6 <sup>c</sup>       | 167 <sup>c</sup> | 7.80             | 44.3             |
| 2023                 | 5.5 | 17.3 <sup>c</sup>       | 158 <sup>c</sup> | 5.78             | 37.2             |
| 2024                 | 5.7 | 20.9 <sup>c</sup>       | 154 <sup>c</sup> | 6.88             | 38.8             |
| 2025                 | 5.8 | 15.4 <sup>c</sup>       | 144 <sup>c</sup> | 6.22             | 37.8             |
| Average <sup>6</sup> | 5.4 | 44.5                    | 207              | 7.38             | 40.8             |
| SEM                  | 0.1 | 4.83                    | 20.8             | 0.43             | 2.01             |

<sup>1</sup> EC: electrical conductivity; <sup>2</sup> TP: total phosphorus; <sup>3</sup> TCu: total copper; <sup>4</sup> TZn: total zinc; <sup>5</sup> 黃等, 2021; <sup>6</sup> Average: from 2018 to 2025.

<sup>a, b, c</sup> Means in the same column with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

表 3. 施灌厭氧處理後牛糞尿水對 A13 區盤固拉草地土壤之影響 (n = 4 次 / 年)

Table 3. Effects of irrigation with anaerobically treated dairy wastewater on the soil of Pangolagrass pasture in the A13 area (n = 4/yr)

| Items                | pH  | EC <sup>1</sup>   | TP <sup>2</sup>   | TCu <sup>3</sup> | TZn <sup>4</sup> |
|----------------------|-----|-------------------|-------------------|------------------|------------------|
|                      |     | μS/cm             | ----- mg/kg ----- |                  |                  |
| 2017 <sup>5</sup>    | 5.1 | 114 <sup>a</sup>  | 197 <sup>b</sup>  | 5.24             | 29.9             |
| 2018                 | 4.8 | 103 <sup>a</sup>  | 279 <sup>a</sup>  | 9.06             | 23.8             |
| 2019                 | 5.9 | 93.0 <sup>a</sup> | 283 <sup>a</sup>  | 7.65             | 29.9             |
| 2020                 | 5.3 | 87.2 <sup>a</sup> | 169 <sup>b</sup>  | 5.03             | 35.5             |
| 2021                 | 5.2 | 62.3 <sup>b</sup> | 169 <sup>b</sup>  | 5.44             | 27.5             |
| 2022                 | 5.4 | 76.1 <sup>a</sup> | 171 <sup>b</sup>  | 5.55             | 27.8             |
| 2023                 | 5.3 | 61.6 <sup>b</sup> | 197 <sup>b</sup>  | 5.51             | 25.2             |
| 2024                 | 5.8 | 71.2 <sup>b</sup> | 191 <sup>b</sup>  | 5.83             | 24.7             |
| 2025                 | 5.9 | 63.4 <sup>b</sup> | 204 <sup>b</sup>  | 6.22             | 26.9             |
| Average <sup>6</sup> | 5.4 | 77.3              | 208               | 6.29             | 27.7             |
| SEM                  | 0.2 | 10.1              | 11.1              | 0.37             | 2.51             |

<sup>1</sup> EC: electrical conductivity; <sup>2</sup> TP: total phosphorus; <sup>3</sup> TCu: total copper; <sup>4</sup> TZn: total zinc; <sup>5</sup> 黃等, 2021; <sup>6</sup> Average: from 2018 to 2025.

<sup>a, b</sup> Means in the same column with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

表 4. 施灌厭氧處理後牛糞尿水對 A14 區盤固拉草地土壤之影響 (n = 4 次 / 年)

Table 4. Effects of irrigation with anaerobically treated dairy wastewater on the soil of Pangolagrass pasture in the A14 area (n = 4/yr)

| Items                | pH  | EC <sup>1</sup>   | TP <sup>2</sup>   | TCu <sup>3</sup> | TZn <sup>4</sup> |
|----------------------|-----|-------------------|-------------------|------------------|------------------|
|                      |     | μS/cm             | ----- mg/kg ----- |                  |                  |
| 2017 <sup>5</sup>    | 6.0 | 214 <sup>a</sup>  | 322 <sup>b</sup>  | 7.11             | 41.6             |
| 2018                 | 5.7 | 130 <sup>b</sup>  | 335 <sup>ab</sup> | 8.70             | 45.6             |
| 2019                 | 5.9 | 135 <sup>b</sup>  | 354 <sup>a</sup>  | 9.23             | 40.7             |
| 2020                 | 5.6 | 121 <sup>b</sup>  | 284 <sup>c</sup>  | 7.49             | 50.6             |
| 2021                 | 5.8 | 22.9 <sup>c</sup> | 257 <sup>cd</sup> | 9.54             | 43.5             |
| 2022                 | 6.1 | 35.0 <sup>c</sup> | 175 <sup>c</sup>  | 7.94             | 43.0             |
| 2023                 | 6.0 | 23.6 <sup>c</sup> | 156 <sup>c</sup>  | 6.52             | 36.4             |
| 2024                 | 6.1 | 25.4 <sup>c</sup> | 230 <sup>d</sup>  | 6.66             | 36.3             |
| 2025                 | 6.2 | 18.5 <sup>c</sup> | 196 <sup>c</sup>  | 6.74             | 39.0             |
| Average <sup>6</sup> | 5.9 | 63.8              | 248               | 7.85             | 41.9             |
| SEM                  | 0.1 | 13.1              | 10.5              | 0.46             | 2.19             |

<sup>1</sup> EC: electrical conductivity; <sup>2</sup> TP: total phosphorus; <sup>3</sup> TCu: total copper; <sup>4</sup> TZn: total zinc; <sup>5</sup> 黃等, 2021; <sup>6</sup> Average: from 2018 to 2025.

<sup>a, b, c, d, e</sup> Means in the same column with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

總磷方面，A10 區平均 207 mg/kg，以 2019 與 2020 年較高 (307、289 mg/kg)，並顯著 ( $P < 0.05$ ) 高於背景值 (218 mg/kg)，而 2022 至 2025 年 (144 – 167 mg/kg) 顯著 ( $P < 0.05$ ) 低於背景值；A13 區平均 208 mg/kg，2018 與 2019 年 (279、283 mg/kg) 顯著 ( $P < 0.05$ ) 高於背景值 (197 mg/kg)，而 2020 至 2025 年 (169 – 204 mg/kg) 則與背景值無顯著差異。A14 區平均 248 mg/kg，其中 2019 年最高 (354 mg/kg)，顯著 ( $P < 0.05$ ) 高於背景值 (322 mg/kg)，而 2020 至 2025 年 (156 – 284 mg/kg) 顯著 ( $P < 0.05$ ) 低於背景值。Sharpley *et al.* (2004) 指出，施用含磷有機資材常導致表層土壤磷暫時性累積，但其是否造成環境風險，需視施灌頻率、土壤吸附能力與後續管理措施而定。本試驗 A10 及 A14 區分別於 2020 及 2022 年後總磷濃度顯著 ( $P < 0.05$ ) 下降，推測可能與施灌量降低、作物吸收及土壤固定作用，顯示合理管理下，磷累積風險有限。Cuadro *et al.* (2022) 研究指出，比較 0 – 7.5 cm 與 0 – 15 cm 兩種採樣深度的土壤磷含量，指出在施肥集中於表層且未混勻的情況下，磷具有明顯的垂直分層現象，並證實淺層 (0 – 7.5 cm) 採樣的土壤磷測值變異顯著大於 0 – 15 cm 採樣，顯示淺層樣本更容易受表層高磷區的影響而出現較高且變動較大的數值。2019 年本試驗三區在灌溉量並無增加的情況下，總磷含量上升的

情形，推測為早期磷累積疊加採樣深度略偏表層或位置落在高磷帶所造成的結果，而非短期內實際輸入或淋洗條件劇烈改變。

土壤重金屬方面，三區 (A10、A13 及 A14) 總銅含量平均分別為 7.38、6.29 及 7.85 mg/kg，試驗期間各試區均無顯著變化。總鋅含量平均分別為 40.8、27.7 及 41.9 mg/kg 於試驗期間各試區變化均不具顯著性，仍遠低於銅及鋅停灌標準規定，即未達土壤污染監測標準 (食用作物農地) (銅 120 mg/kg、鋅 260 mg/kg)，顯示在適度施灌量與長期監測條件下，其環境風險仍屬可控。

### III. 施灌牛糞尿水對地下水水質之影響

長期施灌廢水於土壤可能會因過量的養分，超過植物根部所能吸收的範圍，透過淋洗作用進入地下水層，進而影響地下水質，影響因子包含地下水位的深度、土壤的物理和化學特性、土壤的排水能力、廢水灌溉的管理方式、地下水的本身質量以及廢水灌溉的規模 (Hamilton *et al.*, 2007; Abaidoo *et al.*, 2010)。試驗期間，定期監測上游 (2 口) 及下游 (1 口) 地下水質，監測結果如表 5 至表 7 所示。上游井 1、上游井 2 與下游井之 pH 值平均分別為 7.6、7.1 及 7.9，期間各監測點數值穩定，無顯著變化。EC 值方面，上游井 1、上游井 2 與下游井平均分別為 627、546、598  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，三口地下水井整體介於約 500 – 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。儘管下游井位於受試驗區施灌影響之範圍內，但其多年 EC 值平均 598  $\mu\text{S}/\text{cm}$  落於上游 2 口監測值之範圍內 (498 – 702  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )，與上游井差異不大。因此，顯示本試驗施灌牛糞尿水後，其鹽分在通過土壤進入地下水的過程中，受到了作物吸收及良好的截留，未對施灌區之地下水體造成影響，EC 值仍維持在區域水平，無異常攀升現象。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量平均分別為 0.16、0.08 及 0.59 mg/L，下游監測井之  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量於試驗期間 (0.26 – 1.01mg/L) 與背景值 (0.77 mg/L) 無顯著差異； $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量平均分別為 0.12、0.35 及 0.14 mg/L，下游監測井之  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量於試驗期間 (0.03 – 0.21 mg/L) 與背景值 (0.13 mg/L) 無顯著差異。重金屬方面，銅含量平均分別為 0.02、0.01、0.01 mg/L，鋅含量平均分別為 0.03、0.02、0.02 mg/L，試驗期間與背景值 (銅：0.01、0.02、0.02 mg/L；鋅：0.03、0.03、0.03 mg/L) 亦皆無顯著變化。重金屬在土壤中的移動能力以及是否會污染地下水，取決於重金屬在土壤溶液中之型態，而土壤中有機物含量、溶解性有機物的濃度與質量，以及淋洗溶液的 pH 值亦會影響重金屬的淋洗率 (Kunhikrishnan *et al.*, 2012)。此外，本試驗區 3 口地下水之監測井皆深達 50 米以上，較無影響地下水之疑慮。

表 5. 施灌期間上游 1 地下水水質分析 (n = 3 次 / 年)

Table 5. Water quality analysis of groundwater at upstream 1 during the irrigation period (n = 6)

| Items                    |                | pH  | EC <sup>1</sup>         | $\text{NH}_4^+\text{-N}$ | $\text{NO}_3^-\text{-N}$ | TP <sup>2</sup> | Cu    | Zn    |
|--------------------------|----------------|-----|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|-------|-------|
| Upstream 1               |                |     | $\mu\text{S}/\text{cm}$ | -----                    | -----                    | mg/L            | ----- | ----- |
| 2017 – 2018 <sup>3</sup> | D <sup>4</sup> | 7.7 | 548 <sup>c</sup>        | 0.22                     | 0.10                     | 0.08            | 0.01  | 0.03  |
| 2018                     | W <sup>5</sup> | 7.2 | 539 <sup>c</sup>        | 0.27                     | 0.19                     | 0.10            | 0.02  | 0.02  |
| 2018 – 2019              | D              | 7.6 | 674 <sup>ab</sup>       | 0.17                     | 0.11                     | 0.09            | 0.01  | 0.02  |
| 2019                     | W              | 7.6 | 636 <sup>bc</sup>       | 0.11                     | 0.13                     | 0.06            | 0.03  | 0.03  |
| 2019 – 2020              | D              | 7.6 | 562 <sup>de</sup>       | 0.08                     | 0.15                     | 0.16            | 0.00  | 0.02  |
| 2020                     | W              | 7.4 | 611 <sup>cd</sup>       | 0.09                     | 0.04                     | 0.08            | 0.02  | 0.03  |
| 2020 – 2021              | D              | 7.2 | 634 <sup>bc</sup>       | 0.07                     | 0.02                     | 0.09            | 0.01  | 0.03  |
| 2021                     | W              | 7.7 | 564 <sup>de</sup>       | 0.09                     | 0.08                     | 0.03            | 0.01  | 0.05  |
| 2021 – 2022              | D              | 7.5 | 567 <sup>de</sup>       | 0.22                     | 0.17                     | 0.14            | 0.03  | 0.03  |
| 2022                     | W              | 7.5 | 702 <sup>a</sup>        | 0.05                     | 0.06                     | 0.29            | 0.06  | 0.03  |
| 2022 – 2023              | D              | 7.6 | 690 <sup>a</sup>        | 0.10                     | 0.11                     | 0.06            | 0.01  | 0.02  |
| 2023                     | W              | 7.5 | 677 <sup>ab</sup>       | 0.12                     | 0.07                     | 0.08            | 0.02  | 0.04  |
| 2023 – 2024              | D              | 7.7 | 680 <sup>ab</sup>       | 0.23                     | 0.10                     | 0.17            | 0.00  | 0.02  |
| 2024                     | W              | 7.7 | 672 <sup>ab</sup>       | 0.24                     | 0.13                     | 0.01            | 0.01  | 0.05  |
| 2024 – 2025              | D              | 8.0 | 648 <sup>bc</sup>       | 0.26                     | 0.19                     | 0.08            | 0.00  | 0.02  |
| 2025                     | W              | 7.8 | 635 <sup>bc</sup>       | 0.21                     | 0.24                     | 0.08            | 0.00  | 0.03  |
| Average <sup>6</sup>     |                | 7.6 | 627                     | 0.16                     | 0.12                     | 0.10            | 0.02  | 0.03  |
| SEM                      |                | 0.1 | 16.8                    | 0.02                     | 0.02                     | 0.01            | 0.01  | 0.00  |

<sup>1</sup> EC: electrical conductivity; <sup>2</sup> TP: total phosphorus; <sup>3</sup> 2017-2018: monitoring value; <sup>4</sup> D: dry period, November - April (next year); <sup>5</sup> W: wet period, May - October; <sup>6</sup> Average: from 2018W to 2025W.

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

表 6. 施灌期間上游 2 地下水水質分析 (n = 3 次 / 年)

Table 6. Water quality analysis of groundwater at upstream 2 during the irrigation period (n = 6)

| Items                    |                | pH  | EC <sup>1</sup>    | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | TP <sup>2</sup> | Cu    | Zn   |
|--------------------------|----------------|-----|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|-------|------|
| Upstream 2               |                |     | μS/cm              | -----                           |                                 | mg/L            | ----- |      |
| 2017 — 2018 <sup>3</sup> | D <sup>4</sup> | 7.4 | 498 <sup>d</sup>   | 0.07                            | 0.18                            | 0.10            | 0.02  | 0.03 |
| 2018                     | W <sup>5</sup> | 7.0 | 500 <sup>d</sup>   | 0.13                            | 0.21                            | 0.11            | 0.02  | 0.02 |
| 2018 — 2019              | D              | 7.2 | 502 <sup>d</sup>   | 0.15                            | 0.32                            | 0.13            | 0.02  | 0.01 |
| 2019                     | W              | 6.9 | 498 <sup>d</sup>   | 0.03                            | 0.46                            | 0.09            | 0.03  | 0.02 |
| 2019 — 2020              | D              | 7.0 | 518 <sup>cd</sup>  | 0.03                            | 0.43                            | 0.17            | 0.01  | 0.02 |
| 2020                     | W              | 6.6 | 544 <sup>cd</sup>  | 0.16                            | 0.21                            | 0.10            | 0.02  | 0.02 |
| 2020 — 2021              | D              | 6.6 | 542 <sup>cd</sup>  | 0.01                            | 0.60                            | 0.09            | 0.01  | 0.03 |
| 2021                     | W              | 6.9 | 509 <sup>d</sup>   | 0.05                            | 0.20                            | 0.04            | 0.02  | 0.02 |
| 2021 — 2022              | D              | 6.7 | 539 <sup>cd</sup>  | 0.07                            | 0.42                            | 0.11            | 0.04  | 0.02 |
| 2022                     | W              | 7.6 | 559 <sup>bc</sup>  | 0.08                            | 0.30                            | 0.15            | 0.03  | 0.04 |
| 2022 — 2023              | D              | 7.2 | 618 <sup>a</sup>   | 0.04                            | 0.09                            | 0.04            | 0.01  | 0.01 |
| 2023                     | W              | 6.9 | 584 <sup>abc</sup> | 0.03                            | 0.19                            | 0.04            | 0.02  | 0.04 |
| 2023 — 2024              | D              | 7.2 | 594 <sup>ab</sup>  | 0.13                            | 0.52                            | 0.17            | 0.01  | 0.02 |
| 2024                     | W              | 6.8 | 624 <sup>a</sup>   | 0.06                            | 0.26                            | 0.01            | 0.01  | 0.04 |
| 2024 — 2025              | D              | 7.6 | 559 <sup>bc</sup>  | 0.18                            | 0.63                            | 0.05            | 0.00  | 0.03 |
| 2025                     | W              | 7.2 | 557 <sup>bc</sup>  | 0.07                            | 0.65                            | 0.13            | 0.01  | 0.03 |
| Average <sup>6</sup>     |                | 7.1 | 546                | 0.08                            | 0.35                            | 0.10            | 0.01  | 0.02 |
| SEM                      |                | 0.1 | 6.80               | 0.02                            | 0.05                            | 0.02            | 0.00  | 0.00 |

<sup>1</sup> EC: electrical conductivity; <sup>2</sup> TP: total phosphorus; <sup>3</sup> 2017-2018: monitoring value; <sup>4</sup> D: dry period, November - April (next year); <sup>5</sup> W: wet period, May - October; <sup>6</sup> Average: from 2018W to 2025W.

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

表 7. 施灌期間下游地下水水質分析 (n = 3 次 / 年)

Table 7. Water quality analysis of groundwater at downstream during the irrigation period (n = 6)

| Items                    |                | pH  | EC <sup>1</sup>    | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | TP <sup>2</sup> | Cu    | Zn   |
|--------------------------|----------------|-----|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|-------|------|
| Downstream               |                |     | μS/cm              | -----                           |                                 | mg/L            | ----- |      |
| 2017 — 2018 <sup>3</sup> | D <sup>4</sup> | 8.0 | 525 <sup>d</sup>   | 0.77                            | 0.11                            | 0.13            | 0.02  | 0.03 |
| 2018                     | W <sup>5</sup> | 7.4 | 550 <sup>d</sup>   | 0.66                            | 0.13                            | 0.16            | 0.02  | 0.01 |
| 2018 — 2019              | D              | 7.8 | 580 <sup>cd</sup>  | 0.92                            | 0.15                            | 0.14            | 0.02  | 0.01 |
| 2019                     | W              | 7.9 | 564 <sup>d</sup>   | 0.44                            | 0.14                            | 0.15            | 0.02  | 0.02 |
| 2019 — 2020              | D              | 7.8 | 586 <sup>cd</sup>  | 0.37                            | 0.15                            | 0.18            | 0.01  | 0.03 |
| 2020                     | W              | 7.6 | 592 <sup>cd</sup>  | 0.35                            | 0.05                            | 0.15            | 0.02  | 0.02 |
| 2020 — 2021              | D              | 7.5 | 585 <sup>cd</sup>  | 0.41                            | 0.05                            | 0.13            | 0.01  | 0.02 |
| 2021                     | W              | 7.9 | 596 <sup>cd</sup>  | 0.36                            | 0.06                            | 0.03            | 0.01  | 0.01 |
| 2021 — 2022              | D              | 7.7 | 594 <sup>cd</sup>  | 0.48                            | 0.19                            | 0.19            | 0.01  | 0.02 |
| 2022                     | W              | 8.2 | 594 <sup>cd</sup>  | 0.44                            | 0.09                            | 0.19            | 0.03  | 0.03 |
| 2022 — 2023              | D              | 8.0 | 626 <sup>bc</sup>  | 0.38                            | 0.10                            | 0.10            | 0.02  | 0.01 |
| 2023                     | W              | 7.8 | 632 <sup>abc</sup> | 0.26                            | 0.35                            | 0.15            | 0.01  | 0.04 |
| 2023 — 2024              | D              | 8.0 | 695 <sup>a</sup>   | 0.61                            | 0.10                            | 0.21            | 0.00  | 0.02 |
| 2024                     | W              | 8.0 | 601 <sup>bcd</sup> | 0.96                            | 0.12                            | 0.07            | 0.01  | 0.03 |
| 2024 — 2025              | D              | 8.5 | 630 <sup>ab</sup>  | 1.01                            | 0.20                            | 0.08            | 0.00  | 0.03 |
| 2025                     | W              | 8.0 | 627 <sup>abc</sup> | 0.97                            | 0.22                            | 0.17            | 0.00  | 0.03 |
| Average <sup>6</sup>     |                | 7.9 | 598                | 0.59                            | 0.14                            | 0.14            | 0.01  | 0.02 |
| SEM                      |                | 0.1 | 6.64               | 0.04                            | 0.03                            | 0.01            | 0.00  | 0.00 |

<sup>1</sup> EC: electrical conductivity; <sup>2</sup> TP: total phosphorus; <sup>3</sup> 2017-2018: monitoring value; <sup>4</sup> D: dry period, November - April (next year); <sup>5</sup> W: wet period, May - October; <sup>6</sup> Average: from 2018W to 2025W.

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

## 結 論

以厭氧消化後之牛糞尿水連續施灌盤固拉草地 11 年，期間定期監測土壤及地下水質，未見土壤鹽分和重金屬累積，以及影響地下水之疑慮，考量國內畜牧糞尿資源化利用已入法，透過長期土壤及地下水監測資料可降低民眾對長期施灌對環境危害之疑慮，更可作為政策制定之參據，而持續施灌恐有累積疑慮，故將繼續進行土壤及地下水定期監測。

## 參考文獻

- 中華土壤肥料學會。1995。土壤分析手冊。農業部農糧署。臺北市。
- 黃雅玲、劉主欣、蘇天明、蕭庭訓、李欣蓉。2021。養牛廢水施灌盤固拉草地對土壤性狀及地下水水質之影響。畜產研究 54：282-291。
- 農業部。2013。農業事業廢棄物再利用管理辦法。中華民國 102 年 6 月 3 日修正。https://law.coa.gov.tw/glrnewsout/LawContentHistory.aspx?hid=1484。
- 農業部農糧署。2005。作物施肥手冊。中華肥料協會，臺中市，第 152 頁。
- 環境部。2017。水污染防治措施及檢測申報管理辦法。中華民國 106 年 12 月 27 日修正公告。
- 環境部國家環境研究院。2000。水中導電度測定方法－導電度計法 (NIEA W203.51B)。中華民國 89 年 11 月 23 日公告。
- 環境部國家環境研究院。2004。水中總氮檢測方法 (NIEA W423.52C)。中華民國 93 年 8 月 9 日公告。
- 環境部國家環境研究院。2005。水中氨氮檢測方法－靛酚比色法 (NIEA W448.51B)。中華民國 94 年 8 月 15 日公告。
- 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 日公告。
- 環境部國家環境研究院。2008。水中氫離子濃度指數 ( pH 值 ) 測定方法－電極法 (NIEA W424.52A)。中華民國 97 年 9 月 18 日公告。
- 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 日公告。
- 環境部國家環境研究院。2012。火焰式原子吸收光譜法 (NIEA M111.01C)。中華民國 2012 年 7 月 31 日公告。
- 環境部國家環境研究院。2016。水中銀、鎘、鉻、銅、鐵、錳、鎳、鉛及鋅檢測方法－火焰式原子吸收光譜法 (NIEA W306.55A)。中華民國 105 年 9 月 12 日公告。
- 環境部國家環境研究院。2018。土壤中重金屬檢測方法－王水消化法 (NIEA S321.65B)。中華民國 107 年 11 月 8 日公告。
- Abaidoo, R. C., B. Keraita, P. Drechsel, P. Dissanayake, and A. S. Maxwell. 2010. Soil and crop contamination through wastewater irrigation and options for risk reduction in developing countries. Soil biology and agriculture in the tropics. pp. 275-297. Berlin, Heidelberg, Germany.
- Abunada, Z., and A. Nassar. 2015. Impacts of wastewater irrigation on soil and alfalfa crop: Case study from Gaza strip. Environ. Prog. Sustain. Energy. 34(3): 648-654.
- Angin, I., A. V. Yaganoglu, and M. Turan. 2005. Effects of long-term wastewater irrigation on soil properties. J. Sustain. Agric. 26: 31-42.
- Bella, K., and P. V. Rao. 2023. Anaerobic digestion of dairy wastewater: Effect of different parameters and co-digestion options—A review. Biomass Conversion and Biorefinery. 13(4): 2527-2552.
- Bradford, S. A., E. Segal, W. Zheng, Q. Wang, and S. R. Hutchins. 2008. Reuse of concentrated animal feeding operation wastewater on agricultural lands. J. Environ. Qual. 37(S5): S-97.
- Cuadro, R., M. Cadenazzi, and J. A. Quincke. 2022. Soil sampling depth and phosphorus extraction method for phosphorus in leguminous pastures. Agrocienc. Urug. 26: 1-11.
- Hamilton, A. J., F. Stagnitti, X. Xiong, S. L. Kreidl, K. K. Benke, and P. Maher. 2007. Wastewater irrigation: the state of play. Vadose Zone J. 6: 823-840.
- Lee, H. J, C. T. Chang, G. J. Fan, T. R. Li, Y. L. Huang, and Z. Y. Hseu. 2024. Effects of irrigating Napiergrass with cattle wastewater on the environment, crop growth, and cattle health. Proceedings of the 35th Biennial Conference of the

- Australian Association of Animal Sciences and the 20th Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. Vol. 35: 177-178.
- Hu, Y., M. Kumar, Z. Wang, X. Zhan, and D. B. Stengel. 2021. Filamentous microalgae as an advantageous co-substrate for enhanced methane production and digestate dewaterability in anaerobic co-digestion of pig manure. *Waste Manage.* 119: 399-407.
- Kunhikrishnan, A., N. S. Bolan, K. Müller, S. Laurenson, R. Naidu, and W. I. Kim. 2012. The influence of wastewater irrigation on the transformation and bioavailability of heavy metal (loid)s in soil. *Adv. Agron.* 115: 215-297.
- Ofori, S., A. Puškáčová, I. Růžicková, and J. Wanner. 2021. Treated wastewater reuse for irrigation: pros and cons. *Sci. Total Environ.* 760: 144026.
- Sharpley, A. N., R. W. McDowell, and P. J. A. Kleinman. 2004. Amounts, forms, and solubility of phosphorus in soils receiving manure. *J. Environ. Qual.* 33(1): 303-320.
- Vergine, P., C. Salerno, A. Libutti, L. Beneduce, G. Gatta, G. Berardi, and A. Pollice. 2017. Closing the water cycle in the agro-industrial sector by reusing treated wastewater for irrigation. *J. Clean. Prod.* 164: 587-596.

# Impacts of long-term irrigation with anaerobically digested dairy wastewater on soil properties and groundwater quality in a Pangolagrass pasture <sup>(1)</sup>

Ya-Ling Huang <sup>(2)</sup> Shyh-Rong Chang <sup>(2)</sup> Tein-Ming Su <sup>(3)</sup> and Hsin-Jung Lee <sup>(2)(4)</sup>

Received: July 4, 2024; Accepted: May 12, 2026

## Abstract

This study investigated the effects of long-term irrigation with anaerobic-digested dairy wastewater on soil properties and groundwater quality in the Pangolagrass pasture. The experiment was conducted from 2018 to 2025 across a 34.89-hectare area of Pangolagrass pasture, divided into three sections (A10, A13, and A14) based on topography. The wastewater was irrigated to one section per month in turn via tanker trucks, resulting in a 3-month irrigation interval for each area; additionally, a pipeline system was integrated into parts of A13 starting in 2022. Irrigation volumes were determined by the nitrogen requirement of the Pangolagrass. During the period, the dairy wastewater and soil by region were analyzed every 3 months, with the groundwater quality from upstream well and downstream well analyzed every 2 months. The soil and groundwater quality were compared with the soil monitoring values in 2017 and the monitoring value measured during the dry season between 2017-2018, as the background values. The results shows that the dairy wastewater contained average concentrations of 669 mg/L in total nitrogen, 1.55mg/L copper (Cu), and 3.18 mg/L zinc (Zn). The average soil pH in areas A10, A13, and A14 was 5.4, 5.4, and 5.9 ( background values: 5.1, 5.1, and 6.0), while electrical conductivity (EC) averaged 44.5, 77.3, and 63.8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (background values: 146, 114, and 214  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Average soil total Cu contents were 7.38, 6.29, and 7.85 mg/kg (background values : 6.27, 5.24, and 7.11 mg/kg, and total Zn contents were 40.8, 27.7, and 41.9 mg/kg (background values: 42.5, 29.9, and 41.6 mg/kg). In downstream monitoring wells, concentrations of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  were 0.59 mg/L and 0.14 mg/L, respectively (background values: 0.77 mg/L and 0.11 mg/L), showing no significant changes throughout the period. In conclusion, long-term irrigation with dairy wastewater had no significant changes adverse effects on soil or groundwater quality, with no evidence of salt or heavy metal accumulation or groundwater pollution.

Key words: Dairy wastewater, Anaerobic digestion, Soil properties, Groundwater quality.

---

(1) Contribution No. 2854 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

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

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

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

# 民間紅羽土雞繁殖性能、生長性能和屠體性狀之比較研究<sup>(1)</sup>

蔡和璟<sup>(2)</sup> 丘昀融<sup>(2)</sup> 洪哲明<sup>(2)</sup> 蔡銘洋<sup>(2)(3)</sup>

收件日期：114 年 12 月 30 日；接受日期：115 年 5 月 14 日

## 摘 要

本研究旨在比較民間 5 場紅羽土雞種雞之種蛋受精率、孵化率、生長性能與屠體性狀差異。試驗選用 750 隻健康且體重相近之雛雞，孵化後進行性別鑑定並依公、母分組，每處理 3 重複、每重複 25 隻，試驗期共 12 週，在相同育雛期（0 – 4 週齡）、生長期（5 – 8 週齡）及肥育期（9 – 12 週齡），飼糧及飲水任食。結果顯示，5 場種雞場之種蛋受精率介於 76.10 – 93.36%，種蛋孵化率與受精蛋孵化率則分別介於 59.34 – 76.51% 及 65.20 – 95.00%，場間差異明顯。在生長性能方面，各場紅羽土雞公、母雞於 8 週齡即可分別達到約 2.0 kg 與 1.6 kg，且公雞於 12 週齡平均體重超過 3.0 kg，母雞約為 2.0 kg；整體飼料效率以 5 – 8 週齡為最佳，其次為 0 – 4 週齡，而 9 – 12 週齡則較差。屠體性狀結果顯示，腿部比例隨週齡增加略有提升，公雞自 10 週齡之 28.3% 上升至 12 週齡之 31.0%，母雞亦呈現相同趨勢；雖然胸部比例於 12 週齡略較 10 週齡為低（公雞自 22.3% 降至 19.9%），但與早期文獻資料相比，胸、腿部產肉比例整體仍有明顯提升。此外，各場雞白痢與家禽白血病 J 亞群病毒陽性率差異甚大，顯示生物安全措施與疾病防治有落差。綜上所述，臺灣紅羽土雞在長期以生長與屠體性狀為導向之選育下，體重增長快速且屠體組成已趨近國內市場對腿肉多、胸肉適中的需求，惟繁殖性能與疾病帶原改善仍顯不足，應於未來育種策略中予以平衡考量，以兼顧產業效益與種雞健康。

關鍵詞：紅羽土雞、生長性能、屠體性狀。

## 緒 言

臺灣土雞肉質一向受國人偏愛，而國內土雞主要為紅羽土雞、黑羽土雞、珍珠雞、鬥雞及烏骨雞等，大多為雞農因應當地消費習慣，而自行育成之特色雞種。依據 2024 年臺灣家禽統計手冊，土雞全年屠宰隻數達 1 億 1,435 萬隻，生產約 250,039 公噸雞肉，占全國禽肉類總生產量 684,698 噸之 36.5%（陳等，2025）；又依農業部 2025 年第 3 季農業統計資料顯示，土雞飼養隻數達 2,506 萬隻，其中紅羽土雞隻數達 1,382 萬隻，占全國肉雞 25% 且占全國土雞 55% 之多，是目前臺灣土雞產業最具代表性之雞種（農業部，2025）。

臺灣土種雞的選留，大多從飼養作為肉雞的「菜雞場」中，挑選外觀體型符合市場需求的土雞做為種雞。業者普遍僅就生長性能為單一選育目標，確實可提高雞隻上市體重，並縮短上市週齡，但也衍生出嚴峻的挑戰，特別是種母雞繁殖性能低落，如產蛋率低落及產蛋週期不穩定等問題（李等，2003；李等，2005；趙等，2005a；趙等，2005b；林及李，2023）。

李等（2001；2003）曾聯合行政院農業委員會畜產試驗所（現為農業部畜產試驗所）、中興大學、嘉義大學及屏東科技大學出版「臺灣商用土雞性能介紹 - 生長與屠體性能」與「臺灣商用土雞性能介紹繁殖性能」手冊，文中針對臺灣商用紅羽土雞的生長、屠體及繁殖性能進行檢定，距今已逾 20 年，各項生長及繁殖性能等數據，已難以完全反映產業現況。為深入了解當前民間紅羽土雞的性能表現，並應對產業面臨的繁殖效率低落等問題，本研究旨在檢定來自民間不同種雞場紅羽土雞，調查其孵化、生長、飼料效率（feed efficiency, FE）及屠體組成等性狀，期望能為產業提供最新的科學依據，以利於未來育種策略的調整及飼養管理的優化。

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2855 號。

(2) 農業部畜產試驗所畜產經營組。

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

## 材料與方法

本研究於農業部畜產試驗所 (以下簡稱畜試所) 畜產經營組雞舍進行, 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照護及使用小組以畜試動字 113-07 號核准在案。

### I. 試驗動物與試驗設計

本試驗共檢定 5 場紅羽土雞種雞場, 每場購入 300 – 360 顆種蛋於本所孵化, 編號分別為 A、B、C、D、E 共 5 組, 雞雛孵化後秤重並進行公母鑑別, 每處理組公母各 75 隻合計 150 隻, 3 重複, 每重複 25 隻, 每欄面積 3.3 平方公尺。試驗期間在育雛期 (0 – 4 週齡) 以保溫燈提供 24 小時保溫, 滿 4 週齡後, 則提供自然光照。在非開放式平飼飼養, 舍內溫度 24 – 30℃, 並提供相同之育雛期 (0 – 4 週齡, 粗蛋白 22.02%, 代謝能 3,188 kcal/kg)、生長期 (5 – 8 週齡, 粗蛋白 20.44%, 代謝能 3,222 kcal/kg) 及肥育期 (9 – 12 週齡, 粗蛋白 18.04%, 代謝能 3,257 kcal/kg) 飼糧與水任食, 飼糧營養成分及組成如表 1。

表 1. 試驗飼糧組成

Table 1. The composition of the experimental diets

| Items                       | Starter<br>0 – 4 weeks old | Grower<br>5 – 8 weeks old | Finisher<br>9 – 12 weeks old |
|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Ingredients, %              |                            |                           |                              |
| Yellow corn                 | 46.90                      | 54.85                     | 62.57                        |
| Soybean meal                | 37.43                      | 32.30                     | 25.00                        |
| Limestone pulverized        | 1.3                        | 1.3                       | 1.3                          |
| Dicalcium phosphate         | 1.4                        | 1.4                       | 1.5                          |
| Fish meal                   | 2.5                        | 2.5                       | 2.5                          |
| Salt                        | 0.3                        | 0.3                       | 0.3                          |
| Choline-50%                 | 0.02                       | 0.03                      | 0.05                         |
| Vitamin premix <sup>a</sup> | 0.2                        | 0.2                       | 0.2                          |
| Mineral premix <sup>b</sup> | 0.1                        | 0.1                       | 0.1                          |
| Soybean oil                 | 6.75                       | 3.28                      | 5.40                         |
| Lysine                      | 0.10                       | 0.22                      | 0.45                         |
| Threonine                   | 0.04                       | 0.17                      | 0.22                         |
| Methionine                  | 0.26                       | 0.37                      | 0.38                         |
| Tryptophan                  | —                          | 0.01                      | 0.03                         |
| Calculated value, %         |                            |                           |                              |
| Crude protein               | 22.02                      | 20.44                     | 18.04                        |
| ME, kcal/kg                 | 3,188                      | 3,222                     | 3,257                        |
| Calcium                     | 1.03                       | 1.01                      | 1.02                         |
| Total phosphorus            | 0.69                       | 0.68                      | 0.68                         |
| Available phosphorus        | 0.46                       | 0.46                      | 0.47                         |

<sup>a</sup> The following contents are provided per kg of diet : Vitamin A, 10,000 IU; Vitamin D<sub>3</sub>, 1,000 IU; Vitamin E, 25 IU; Vitamin K, 3 mg; thiamin 3 mg; riboflavin, 5 mg; pyridoxine, 3 mg; Vitamin B<sub>12</sub>, 0.03 mg; Ca-pantothenate, 10 mg; niacin, 50 mg; biotin (1.0%), 0.1 mg; folic acid, 3 mg.

<sup>b</sup> The following contents are provided per kg of diet : Mn, 60 mg (MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O); Zn, 60 mg (ZnO); Cu, 5 mg (CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O); Fe, 70 mg (FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O); Se, 0.1 mg (Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>).

### II. 種蛋受精率與孵化率

購入之種蛋經廣衛 (ANTEWEAK, 寶齡富錦生技股份有限公司, 臺灣) 噴霧消毒後入孵, 入孵第 10 天進行照蛋, 雞群出雛後, 分別記錄每處理組出雛數量。

- (i) 種蛋受精率 (fertility, %) :  $(\text{入孵蛋數} - \text{無精蛋數}) / \text{入孵蛋數} \times 100$ 。
- (ii) 種蛋孵化率 (hatchability, %) :  $\text{雛雞數} / \text{入孵蛋數} \times 100$ 。
- (iii) 受精蛋孵化率 (hatchability of fertile eggs, %) :  $\text{雛雞數} / (\text{入孵蛋數} - \text{無精蛋數}) \times 100$ 。

### III. 生長性能

雞隻分別於孵出、4、8、10 及 12 週齡進行秤重，每週紀錄各欄之飼料採食量 (feed intake, FI)，分析各雞群之體重 (body weight, BW)、日增重 (average daily gain, ADG)、整齊度 (flock uniformity, FU) 及飼料轉換率 (feed conversion ratio, FCR)。

- (i) 隻日飼料採食量 (g/day/bird) :  $\text{採食量} / \text{雞隻日數}$ 。
- (ii) 隻日增重量 (g/day/bird) :  $\text{總增重} / \text{雞隻日數}$ 。
- (iii) 飼料轉換率 :  $\text{隻日飼料採食量} / \text{隻日增重量}$ 。

### IV. 屠體性狀

雞隻於第 10 及第 12 週齡時，從各組每重複挑選體重最接近平均值的公母雞各 1 隻 (N = 3) 進行屠體性狀分析。

- (i) 去內臟體重 : 雞隻經電昏、放血、脫毛及取出內臟後之屠體加以稱重。
- (ii) 屠宰率 (dressing, %) :  $\text{以放血、脫毛及取出內臟後之屠體重量} / \text{活體重} \times 100$ 。
- (iii) 屠宰部位比例 (%) : 雞隻經放血、脫毛及取出內臟後之屠體，依林 (2004) 之方法進行頭頸、胸、背、翅膀、腿及腳等部位之分切與秤重。部位比例 =  $\text{屠體部位重} / \text{屠體重} \times 100$ 。

### V. 雛白痢及家禽白血病 J 病毒之檢測

雞隻 12 週齡於翼下靜脈採血，採血樣品送至中央畜產會家禽保健中心南區檢驗室，進行雛白痢篩檢。雛白痢之檢測方法為使用可調式微量吸管，吸取農業部獸醫研究所製成之雛白痢檢驗抗原 0.025 mL 於透明壓克力板上，另吸取與前者等量之血液充分混合後，塗開約原來 2 倍大，搖晃 3 – 5 次，於加入血液 1 分鐘內，在燈光下觀察凝集反應，呈現凝集顆粒性者判定為陽性 (柯等, 1996)。此外，依據 Avian Leukosis Virus Antigen Test kit (BioChek) 操作步驟，檢測家禽白血病 J 亞型病毒 (avian leukosis virus subgroup J, ALV-J)，計算各處理組之陽性率。

### VI. 統計分析

試驗所得數值資料利用 SAS 套裝軟體 (SAS, 2014) 進行分析。種蛋受精率、孵化率與雛白痢及家禽白血病 J 亞群病毒 (ALV J) 之陽性率等類別資料，以 PROC CATMOD 分析各處理間之機率差異。生長性能資料 (體重、日增重、採食量及飼料轉換率) 為同一欄位在不同週齡之重複測量，採用混合模式程序 (PROC MIXED)，以場別 (stock)、週齡 (week) 及其交互作用為固定效應，欄位為重複單位，統計模式為

$Y_{ijkl} = \mu + S_i + E(S)_{ij} + W_k + (S \times W)_{jk} + e_{ijkl}$ ，其中， $\mu$  為總平均， $S_i$  為第 i 場別效應， $E(S)_{ij}$  為場別試驗單位間之隨機誤差， $W_k$  為第 k 週齡效應， $(S \times W)_{jk}$  為場別與週齡之交互作用， $e_{ijkl}$  為殘差。屠體性狀資料則依場別為主區、週齡為副區，採裂區設計模式以 PROC MIXED 分析，統計模式為

$Y_{ijk} = \mu + S_i + B_k(S_i) + W_j + (S \times W)_{ij} + e_{ijk}$ ，其中  $B_k(S_i)$  為主區內之區組 (欄位) 效應。各項連續性狀之平均差異以 Student Newman Keuls's test (SNK test) 進行多重比較，顯著水準以  $P < 0.05$  為判定基準。

## 結果與討論

### I. 紅羽土雞種蛋受精率及孵化率

本研究針對 5 場民間紅羽土雞之種蛋受精率及孵化率進行檢定，結果列於表 2。以 PROC CATMOD (SAS, 2014) 進行機率分析結果顯示，受精率方面，各場表現具顯著差異 ( $P < 0.05$ )，其中 A 場 (93.36%) 與 E 場 (91.92%) 顯著高於其他各場，C 場 (76.10%) 則顯著最低。種蛋孵化率同樣呈現場別間顯著差異 ( $P < 0.05$ )，以 A 場 (81.40%) 與 D 場 (76.51%) 表現最佳，顯著高於 B 場 (63.91%)、E 場 (59.93%) 及 C 場 (59.34%)。受精蛋孵化率則介於 65.20% 至 95.00% 之間，其中 D 場達 95.00%，顯示在部分場別，受精蛋之胚胎存活與孵化管理仍具明顯優勢。

分析各場間繁殖表現之差異，除了與不同場別之禽舍型式 (如開放式、非開放式或密閉水簾式) 等硬體設施有關外，種禽生理狀態亦為關鍵，包括種公雞精液品質、種母雞產蛋週齡、公母配種比例及人工授精技術之優劣等管理因子。此外，環境溫度與熱緊迫亦會直接影響種雞之受精能力與雛雞發育，過去研究指出熱緊迫可能造成家禽血液生理變化，進而影響生殖機能 (李等, 2005)。

表 2. 種蛋受精率及孵化率

Table 2. Fertilization rate and hatching rate of incubation eggs

| Items                                                    | Stock              |                    |                    |                     |                    |
|----------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
|                                                          | A                  | B                  | C                  | D                   | E                  |
| No. of incubation eggs, n                                | 301                | 363                | 364                | 298                 | 297                |
| No. of fertilized eggs, n                                | 281                | 299                | 277                | 240                 | 273                |
| No. of chicks, n                                         | 245                | 232                | 216                | 228                 | 178                |
| Fertilization rate of incubation eggs <sup>1</sup> , (%) | 93.36 <sup>a</sup> | 82.37 <sup>b</sup> | 76.10 <sup>c</sup> | 80.54 <sup>bc</sup> | 91.92 <sup>a</sup> |
| Hatching rate of incubation eggs <sup>2</sup> , (%)      | 81.40 <sup>a</sup> | 63.91 <sup>b</sup> | 59.34 <sup>b</sup> | 76.51 <sup>a</sup>  | 59.93 <sup>b</sup> |
| Hatching rate of fertilized eggs <sup>3</sup> , (%)      | 87.19              | 77.59              | 77.98              | 95.00               | 65.20              |

<sup>1</sup> Fertilization rate of hatching eggs = (Number of fertilized eggs / Number of incubation eggs) × 100%.

<sup>2</sup> Hatching rate of incubation eggs = (Number of chick / Number of incubation eggs) × 100%.

<sup>3</sup> Hatching rate of fertilized eggs = (Number of chick / Number of fertilized eggs) × 100%.

<sup>a, b, c</sup> Means in the same row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ) analyzed by CATMOD procedure.

由本試驗結果發現雖然現行民間紅羽土雞具備極佳的生長潛力，但部分場別繁殖性能已顯著低落，印證了長期以生長速率及體重為單一選育目標時，往往會對繁殖性狀產生負向遺傳相關效應，導致受精率與孵化表現下降。相較於李等 (2003) 在 20 年前針對商用土雞繁殖性能之調查數據，現今民間品系之受精蛋孵化率在場間的變異有擴大趨勢，顯示在追求生長性能的同時，如何兼顧繁殖效率並優化種雞場之飼養管理，已成為當前紅羽土雞產業亟需面對之課題。

## II. 紅羽土雞生長性能

各場別紅羽土雞公雞及母雞於不同週齡之體重及整齊度列於表 3 及表 4。以 PROC MIXED 進行重複測量分析結果顯示，場別與週齡間具有顯著交互作用 ( $P < 0.05$ )。

表 3. 紅羽土雞公雞於各週齡之體重及變異係數

Table 3. Body weight and coefficient variance of the red-feathered roosters at different weeks age

| Weeks of age   | Stock                     |                          |                          |                           |                          |
|----------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                | A                         | B                        | C                        | D                         | E                        |
| Body weight, g |                           |                          |                          |                           |                          |
| 0              | 37.3 ± 3.2 <sup>c</sup>   | 41.9 ± 3.7 <sup>a</sup>  | 39.5 ± 3.8 <sup>b</sup>  | 35.1 ± 3.3 <sup>d</sup>   | 42.4 ± 3.1 <sup>a</sup>  |
| 4              | 595 ± 104 <sup>c</sup>    | 650 ± 102 <sup>ab</sup>  | 616 ± 112 <sup>bc</sup>  | 634 ± 162 <sup>abc</sup>  | 673 ± 107 <sup>a</sup>   |
| 8              | 2,052 ± 235 <sup>ab</sup> | 2,110 ± 134 <sup>a</sup> | 1,931 ± 192 <sup>c</sup> | 2,035 ± 231 <sup>ab</sup> | 2,022 ± 214 <sup>b</sup> |
| 10             | 2,833 ± 259 <sup>a</sup>  | 2,731 ± 215 <sup>b</sup> | 2,511 ± 255 <sup>c</sup> | 2,713 ± 356 <sup>b</sup>  | 2,515 ± 290 <sup>c</sup> |
| 12             | 3,645 ± 403 <sup>a</sup>  | 3,315 ± 376 <sup>c</sup> | 3,150 ± 336 <sup>d</sup> | 3,500 ± 566 <sup>b</sup>  | 3,333 ± 361 <sup>c</sup> |
| CV %           |                           |                          |                          |                           |                          |
| 0              | 9                         | 9                        | 10                       | 9                         | 7                        |
| 4              | 18                        | 16                       | 18                       | 26                        | 16                       |
| 8              | 12                        | 6                        | 10                       | 11                        | 11                       |
| 10             | 9                         | 8                        | 10                       | 13                        | 12                       |
| 12             | 11                        | 11                       | 11                       | 16                        | 11                       |

<sup>a, b, c, d</sup> Means in the same row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

Values are mean ± SD.

Type 3 Tests of Fixed Effects (PROC MIXED, repeated measures, AR(1), Kenward-Roger df):

Stock:  $F(4, 626) = 30.81, P < 0.0001$ ; Week:  $F(4, 1426) = 13095.8, P < 0.0001$ ; Stock × Week:  $F(16, 1609) = 12.27, P < 0.0001$ .

SLICE test (Stock effect within each week): Week 0:  $F(4, 1925) = 0.02, P = 0.9995$  (NS); Week 4:  $F(4, 1925) = 1.49, P = 0.0208$  (NS); Week 8:  $F(4, 1939) = 5.82, P = 0.0001$ ; Week 10:  $F(4, 1926) = 27.20, P < 0.0001$ ; Week 12:  $F(4, 1931) = 45.28, P < 0.0001$ .

表 4. 紅羽土雞母雞於各週齡之體重及變異係數

Table 4. Body weight and coefficient variance of the red-feathered hens at different weeks of age

| Weeks of age   | Stock                    |                          |                          |                           |                            |
|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
|                | A                        | B                        | C                        | D                         | E                          |
| Body weight, g |                          |                          |                          |                           |                            |
| 0              | 37.4 ± 3.3 <sup>c</sup>  | 41.9 ± 3.9 <sup>a</sup>  | 39.3 ± 3.1 <sup>b</sup>  | 35.5 ± 3.1 <sup>d</sup>   | 41.4 ± 3.5 <sup>a</sup>    |
| 4              | 523 ± 87.6 <sup>c</sup>  | 563 ± 88.8 <sup>b</sup>  | 434 ± 132 <sup>d</sup>   | 568 ± 88.3 <sup>b</sup>   | 599 ± 108.5 <sup>a</sup>   |
| 8              | 1,689 ± 124 <sup>a</sup> | 1,681 ± 182 <sup>a</sup> | 1,150 ± 133 <sup>b</sup> | 1,723 ± 130 <sup>a</sup>  | 1,682 ± 156 <sup>a</sup>   |
| 10             | 2,269 ± 208 <sup>a</sup> | 2,174 ± 237 <sup>b</sup> | 1,562 ± 183 <sup>c</sup> | 2,247 ± 194 <sup>ab</sup> | 2,168 ± 222.5 <sup>b</sup> |
| 12             | 2,673 ± 307 <sup>a</sup> | 2,619 ± 328 <sup>a</sup> | 1,964 ± 240 <sup>b</sup> | 2,659 ± 261 <sup>a</sup>  | 2,568 ± 403.3 <sup>a</sup> |
| CV %           |                          |                          |                          |                           |                            |
| 0              | 9                        | 9                        | 7.9                      | 9                         | 9                          |
| 4              | 17                       | 16                       | 30                       | 16                        | 18                         |
| 8              | 7                        | 11                       | 12                       | 8                         | 9                          |
| 10             | 9                        | 11                       | 12                       | 9                         | 10                         |
| 12             | 12                       | 13                       | 12                       | 10                        | 16                         |

<sup>a, b, c, d</sup> Means in the same row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

Values are mean ± SD.

Type 3 Tests of Fixed Effects (PROC MIXED, repeated measures, AR(1), Kenward-Roger df):

Stock:  $F(4, 694) = 341.20$ ,  $P < 0.0001$ ; Week:  $F(4, 1619) = 14264.1$ ,  $P < 0.0001$ ; Stock × Week:  $F(16, 1798) = 53.89$ ,  $P < 0.0001$ .

SLICE test (Stock effect within each week): Week 0:  $F(4, 2058) = 0.03$ ,  $P = 0.9984$  (NS); Week 4:  $F(4, 2058) = 13.59$ ,  $P < 0.0001$ ; Week 8:  $F(4, 2140) = 153.98$ ,  $P < 0.0001$ ; Week 10:  $F(4, 2066) = 224.39$ ,  $P < 0.0001$ ; Week 12:  $F(4, 2081) = 220.09$ ,  $P < 0.0001$ .

公雞部分，初生重 (0 週齡) 以 E 場 (42.4 g) 與 B 場 (41.9 g) 顯著最重，A 場 (37.3 g) 與 D 場 (35.1 g) 則較輕 ( $P < 0.05$ )。此趨勢持續至 4 週齡，E 場體重 (673 g) 仍顯著高於 A 場 (595 g) ( $P < 0.05$ )。進入生長後期後體重變化趨勢發生反轉，10 週齡時 A 場體重 (2,833 g) 已超越其他組別，顯著重於 B、C、D、E 各組 ( $P < 0.05$ )。至試驗結束之 12 週齡，A 場平均體重達 3,645 g 為全試驗組最高，顯著優於 B 場 (3,315 g)、C 場 (3,150 g) 與 E 場 (3,333 g)；D 場則介於中間 (3,500 g) 與 A 場無顯著差異。在整齊度方面，各組公雞之體重變異係數 (CV%) 多在 4 週齡時達到高峰 (16 – 26%)，隨後逐漸下降。其中 D 場在 4 週齡 (26%) 與 12 週齡 (16%) 之 CV 值皆為各組最高，顯示其個體間生長差異較大。母雞部分顯示，初生重同樣以 B 場與 E 場較重。生長至 4 週齡時，C 場體重 (434 g) 顯著低於其他四組 (523 – 599 g)，且該組變異係數高達 30%。至 12 週齡時，A 場 (2,673 g)、B 場 (2,619 g)、D 場 (2,659 g) 與 E 場 (2,568 g) 4 場間體重無顯著差異，唯獨 C 場僅達 1,964 g，顯著落後於其他組別 ( $P < 0.05$ )。整齊度方面，以雞群體重變異係數，評估雞群生長整齊度，根據 North and Bell (1990) 對白肉雞群整齊性的分類，以體重的變異係數分為極佳、佳、普通、尚可、差與極差六等級，其中公雞體重的變異係數分別為 6.77% 以下、6.78 – 7.98%、7.99 – 9.26%、9.27 – 10.70%、10.71 – 12.41% 和 12.41% 以上，而母雞則分別為 6.25% 以下、6.26 – 7.46%、7.47 – 8.70%、8.71 – 10.05%、10.06 – 11.63% 和 11.63% 以上。除 C 場早期變異極大外，E 場在 12 週齡之 CV 值 (16%) 亦高於其他組別 (10 – 13%)，顯示其後期生長之一致性較差。本試驗結果顯示不同種雞場紅羽土雞在生長曲線與整齊度上的顯著差異。公雞數據顯示 A 場具有典型的「後期補償生長」或「晚熟型」特徵，雖然 0 – 4 週齡體重較輕，但 8 週齡後增重速度顯著加快，最後在 12 週齡達到最高上市體重。這與梁等 (2016) 研究指出的台灣商用紅羽土雞生長性狀具高度多樣性相符；對於追求大規格上市體重 (如切塊或祭祀用全雞) 的飼養者而言，A 場即具備較佳的經濟潛力。反觀 E 場雖有較佳的初生重與早期生長速度，但 10 週齡後生長趨緩，這可能與其遺傳品系較早熟或後期飼料效率下降有關。母雞方面，C 場生長表現顯著低落，12 週齡體重 (1.96 kg) 遠低於其他商用紅羽土雞品系常見之 2.3 – 2.6 kg 範圍，且 C 場在 4 週齡時 CV 值高達 30%，推測該種雞在育雛階段可能對環境緊迫較為敏感，或其遺傳背景中混有生長較慢之品系 (如近親選育之原生種)，導致整齊度不佳 (梁等，2016)。變異係數 (CV%) 是評估家禽生產管理優劣的重要指標。一般商業肉雞場追求 CV 值低於 10 – 12% 以確保上市規格一致。本試驗中 D 場公雞與 E 場母雞在上市週齡 (12 週)

之 CV 值仍高達 16%，顯示這兩家種雞的個體差異較大。這可能導致屠宰加工時的規格分級困難。針對高變異係數之種雞，建議在飼養管理上應加強分群飼養或提升飼料營養濃度之一致性，以改善雞群整齊度。

各場別紅羽土雞公雞及母雞生長性能試驗結果分別列於表 5 與表 6。在公雞方面，0 – 4 週齡，E 場之 ADG 顯著高於 A 場與 C 場 (22.9 g vs. 20.4 g,  $P < 0.05$ )，顯示 E 場具有較佳的早期生長優勢。然而，隨著週齡增加至 9 – 12 週齡，各組間之 ADG 無顯著差異。在 FI 部分，E 場在 0 – 4 週齡之採食量顯著高於其他組別 (61.8 g/bird/day)，且在 0 – 8 週齡，D 場與 E 場之採食量亦顯著高於 A 場與 C 場 ( $P < 0.05$ )。就 FCR 而言，0 – 12 週齡之全期表現以 A 場最佳 (2.6)，顯著優於 E 場之 3.0 ( $P < 0.05$ )。這顯示 E 場雖然早期攝食量大且增重快，但長期飼養下其飼料利用效率反而較差。在母雞方面，同樣觀察到 E 場在 0 – 4 週齡具有最高的 ADG (20.3 g)，顯著優於 C 場之 13.8 g。然而，在全期 (0 – 12 週齡) 之 ADG 表現上，D 場 (29.5 g) 與 B 場 (29.0 g) 表現較佳，C 場則顯著落後 (22.0 g)。在飼料轉換率部分，0 – 12 週齡以 D 場之表現最佳 (2.9)，顯著優於 C 場之 3.6 ( $P < 0.05$ )。值得注意的是，C 場母雞在各階段之採食量與增重表現普遍較低，且 FCR 顯著較差，顯示其生長效率在 5 家種雞場中較不理想。

表 5. 紅羽土雞公雞於各週齡之生長性能

Table 5. Growth performances of the red-feathered roosters at different weeks of age

| Weeks of age                     | Stock                   |                          |                         |                          |                         |
|----------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
|                                  | A                       | B                        | C                       | D                        | E                       |
| Average daily gain, g/day/bird   |                         |                          |                         |                          |                         |
| 0 – 4                            | 20.4 ± 0.6 <sup>b</sup> | 21.8 ± 0.5 <sup>ab</sup> | 20.4 ± 1.3 <sup>b</sup> | 22.2 ± 0.9 <sup>ab</sup> | 22.9 ± 0.4 <sup>a</sup> |
| 5 – 8                            | 50.6 ± 3.6              | 50.8 ± 2.3               | 46.2 ± 2.8              | 48.3 ± 1.1               | 47.4 ± 1.9              |
| 0 – 8                            | 35.5 ± 2.1              | 35.9 ± 0.8               | 33.3 ± 0.8              | 35.2 ± 1.0               | 34.9 ± 1.6              |
| 9 – 12                           | 52.2 ± 3.5              | 41.4 ± 6.6               | 43.6 ± 1.7              | 45.5 ± 2.9               | 40.6 ± 8.2              |
| 0 – 12                           | 38.32 ± 3.7             | 35.21 ± 3.3              | 35.03 ± 0.2             | 35.7 ± 1.4               | 34.41 ± 3.7             |
| Feed intake, g/day/bird          |                         |                          |                         |                          |                         |
| 0 – 4                            | 50.9 ± 1.5 <sup>c</sup> | 51.7 ± 0.7 <sup>c</sup>  | 51.8 ± 1.0 <sup>c</sup> | 57 ± 1.3 <sup>b</sup>    | 61.8 ± 0.4 <sup>a</sup> |
| 5 – 8                            | 101.9 ± 9.1             | 114.2 ± 7.5              | 102.3 ± 2.2             | 114 ± 5.0                | 104.7 ± 4.3             |
| 0 – 8                            | 76.1 ± 3.9 <sup>b</sup> | 80.7 ± 3.6 <sup>ab</sup> | 76.4 ± 1.1 <sup>b</sup> | 84.9 ± 2.8 <sup>a</sup>  | 84.2 ± 2.0 <sup>a</sup> |
| 9 – 12                           | 158.3 ± 18.1            | 156.2 ± 13.0             | 149.5 ± 2.9             | 139.0 ± 8.1              | 147.7 ± 5.3             |
| 0 – 12                           | 100.6 ± 10.8            | 103.7 ± 7.5              | 100.0 ± 1.4             | 100.0 ± 3.8              | 104.0 ± 2.2             |
| Feed conversion ratio, feed/gain |                         |                          |                         |                          |                         |
| 0 – 4                            | 2.5 ± 0.1               | 2.3 ± 0.1                | 2.5 ± 0.2               | 2.6 ± 0.1                | 2.7 ± 0.1               |
| 5 – 8                            | 2.0 ± 0.0 <sup>b</sup>  | 2.2 ± 0.1 <sup>ab</sup>  | 2.2 ± 0.1 <sup>ab</sup> | 2.3 ± 2.3 <sup>a</sup>   | 2.3 ± 0.1 <sup>a</sup>  |
| 0 – 8                            | 2.1 ± 0.0 <sup>c</sup>  | 2.3 ± 0.1 <sup>bc</sup>  | 2.3 ± 0.0 <sup>ab</sup> | 2.4 ± 0.1 <sup>a</sup>   | 2.4 ± 0.1 <sup>a</sup>  |
| 9 – 12                           | 3.2 ± 0.1               | 4.2 ± 0.7                | 3.6 ± 0.2               | 3.3 ± 0.1                | 4.1 ± 3.4               |
| 0 – 12                           | 2.6 ± 0.0 <sup>b</sup>  | 3.0 ± 0.1 <sup>ab</sup>  | 2.9 ± 0.1 <sup>ab</sup> | 2.8 ± 0.0 <sup>ab</sup>  | 3.0 ± 0.3 <sup>a</sup>  |

<sup>a, b, c</sup> Means in the same row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

Values are mean ± SD.

Type 3 Tests of Fixed Effects (PROC MIXED, repeated measures, AR(1), Kenward-Roger df):

FCR-Stock:  $F(4, 10.4) = 3.12$ ,  $P = 0.0640$ ; Period:  $F(2, 15.3) = 70.51$ ,  $P < 0.0001$ ; Stock × Period:  $F(8, 15.5) = 1.65$ ,  $P = 0.1891$

SLICE test (FCR, Stock effect within each period):

Period 1 (0 – 4 wks):  $F(4, 28.6) = 0.38$ ,  $P = 0.8233$  (NS).

Period 2 (5 – 8 wks):  $F(4, 28.6) = 0.43$ ,  $P = 0.7840$  (NS).

Period 3 (9 – 12 wks):  $F(4, 28.6) = 5.33$ ,  $P = 0.0025$ .

FI-Stock:  $F(4, 9.74) = \text{NS}$ ; Period:  $P < 0.0001$ ; Stock × Period: significant

SLICE test (FI, Stock effect within each period):

Period 1 (0 – 4 wks):  $F(4, 17.8) = 1.19$ ,  $P = 0.3480$  (NS).

Period 2 (5 – 8 wks):  $F(4, 17.8) = 2.03$ ,  $P = 0.1330$  (NS).

Period 3 (9 – 12 wks):  $F(4, 17.8) = 3.09$ ,  $P = 0.0426$ .

表 6. 紅羽土雞母雞於各週齡之生長性能

Table 6. Growth performances of the red-feathered hens at different weeks of age

| Weeks of age                     | Stock                    |                          |                         |                          |                         |
|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
|                                  | A                        | B                        | C                       | D                        | E                       |
| Average daily gain, g/day/bird   |                          |                          |                         |                          |                         |
| 0 – 4                            | 17.4 ± 0.5 <sup>b</sup>  | 19.3 ± 1.7 <sup>ab</sup> | 13.8 ± 0.8 <sup>c</sup> | 19.0 ± 0.4 <sup>ab</sup> | 20.3 ± 0.6 <sup>a</sup> |
| 5 – 8                            | 41.4 ± 0.5 <sup>a</sup>  | 37.3 ± 0.9 <sup>ab</sup> | 25.8 ± 1.0 <sup>c</sup> | 41.0 ± 0.2 <sup>a</sup>  | 33.5 ± 5.7 <sup>b</sup> |
| 0 – 8                            | 29.1 ± 0.9 <sup>a</sup>  | 28.9 ± 0.4 <sup>a</sup>  | 19.8 ± 0.8 <sup>b</sup> | 29.7 ± 0.5 <sup>a</sup>  | 28.5 ± 0.4 <sup>a</sup> |
| 9 – 12                           | 32.2 ± 4.8               | 32.9 ± 6.5               | 29.1 ± 1.3              | 37.5 ± 7.0               | 30.3 ± 1.9              |
| 0 – 12                           | 28.4 ± 1.4 <sup>a</sup>  | 29.0 ± 2.1 <sup>a</sup>  | 22.0 ± 0.9 <sup>b</sup> | 29.5 ± 1.1 <sup>a</sup>  | 27.6 ± 0.7 <sup>a</sup> |
| Feed intake, g/day/bird          |                          |                          |                         |                          |                         |
| 0 – 4                            | 40.8 ± 1.4 <sup>c</sup>  | 46.4 ± 2.9 <sup>b</sup>  | 43.6 ± 1.0 <sup>c</sup> | 41.2 ± 0.5 <sup>c</sup>  | 51.9 ± 0.8 <sup>a</sup> |
| 5 – 8                            | 89.8 ± 2.1 <sup>a</sup>  | 86.6 ± 3.1 <sup>a</sup>  | 58.2 ± 1.9 <sup>b</sup> | 87.3 ± 1.8 <sup>a</sup>  | 88.9 ± 1.5 <sup>a</sup> |
| 0 – 8                            | 64.1 ± 0.5 <sup>c</sup>  | 66.3 ± 2.3 <sup>b</sup>  | 53.2 ± 0.4 <sup>d</sup> | 63.2 ± 1.0 <sup>c</sup>  | 74.4 ± 0.8 <sup>a</sup> |
| 9 – 12                           | 130.3 ± 8.1              | 131.5 ± 12.7             | 133.5 ± 2.6             | 133.0 ± 10.0             | 133.0 ± 5.4             |
| 0 – 12                           | 84.8 ± 2.5 <sup>ab</sup> | 88.0 ± 2.5 <sup>a</sup>  | 79.4 ± 0.2 <sup>b</sup> | 84.6 ± 5.0 <sup>ab</sup> | 90.0 ± 0.4 <sup>a</sup> |
| Feed conversion ratio, feed/gain |                          |                          |                         |                          |                         |
| 0 – 4                            | 2.4 ± 0.1 <sup>bc</sup>  | 2.4 ± 0.1 <sup>bc</sup>  | 3.2 ± 0.2 <sup>a</sup>  | 2.2 ± 0.1 <sup>c</sup>   | 2.6 ± 0.1 <sup>b</sup>  |
| 5 – 8                            | 2.1 ± 0.0                | 2.3 ± 0.1                | 2.4 ± 0.1               | 2.1 ± 0.0                | 3.3 ± 1.4               |
| 0 – 8                            | 2.2 ± 0.1 <sup>cd</sup>  | 2.3 ± 0.1 <sup>c</sup>   | 2.7 ± 0.1 <sup>a</sup>  | 2.1 ± 0.0 <sup>d</sup>   | 2.5 ± 0.0 <sup>b</sup>  |
| 9 – 12                           | 4.3 ± 0.6                | 4.2 ± 0.7                | 4.7 ± 0.2               | 4.1 ± 0.5                | 4.5 ± 0.3               |
| 0 – 12                           | 3.0 ± 0.1 <sup>bc</sup>  | 3.0 ± 0.2 <sup>bc</sup>  | 3.6 ± 0.2 <sup>a</sup>  | 2.9 ± 0.2 <sup>c</sup>   | 3.3 ± 0.1 <sup>b</sup>  |

<sup>a, b, c, d</sup> Means in the same row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

Values are mean ± SD.

Type 3 Tests of Fixed Effects (PROC MIXED, repeated measures, AR(1), Kenward-Roger df):

FCR-Stock:  $F(4, 15.7) = 4.21$ ,  $P = 0.0165$ ; Period:  $F(2, 21.9) = 79.19$ ,  $P < 0.0001$ ; Stock × Period:  $F(8, 22.1) = 1.06$ ,  $P = 0.4265$

SLICE test (FCR, Stock effect within each period):

Period 1 (0 – 4 wks):  $F(4, 30) = 1.98$ ,  $P = 0.1231$  (NS).

Period 2 (5 – 8 wks):  $F(4, 30) = 3.31$ ,  $P = 0.0233$ .

Period 3 (9 – 12 wks):  $F(4, 30) = 0.86$ ,  $P = 0.5013$  (NS).

FI-Stock:  $F(4, 11.8)$  significant (C2 最低); Period:  $P < 0.0001$ ; Stock × Period: significant.

SLICE test (FI, Stock effect within each period):

Period 1 (0 – 4 wks):  $P > 0.05$  (NS).

Period 2 (5 – 8 wks):  $P < 0.0001$ .

Period 3 (9 – 12 wks):  $P < 0.0001$ .

本試驗結果顯示，不同種雞場之紅羽土雞在生長模式上存在顯著差異。E 場公母雞皆展現出「早期生長快速」的特性，這與其較高的早期採食量有關。根據林等 (2010) 的研究指出，臺灣商用紅羽土雞之生長性狀具有高度遺傳變異，選育方向不同會導致生長曲線的改變。E 種源可能偏向早期快長型的選育品系，但本試驗發現其 0 – 12 週齡之飼料轉換率反而較差 (公雞 3.0)，這可能暗示其後期的維持能量需求較高，導致全期效率降低。

相對而言，A 場公雞與 D 場母雞展現較佳的全期飼料轉換率 (分別為 2.6 與 2.9)。此數值與梁等 (2016) 調查臺灣商用紅羽土雞 12 週齡 FCR 介於 2.50 至 2.98 之結果相符。在商業生產上，飼料成本占總成本約 60 – 70%，因此全期 FCR 較佳的種雞場 (如 A 場與 D 場) 在經濟效益上可能更具競爭力。

### III. 紅羽土雞屠體性狀

本試驗公、母雞於第 10 及第 12 週齡之屠宰率與屠體部位比例經裂區模式分析結果列於表 7 及表 8。整體而言，各場別間屠宰率及主要部位比例差異不大，均在文獻報告之範圍內。以裂區設計 (split-plot design) 進行統

計分析，以週齡為副區因子之變方分析結果顯示，週齡對屠體腿部比例之影響達統計顯著水準 ( $P < 0.05$ )，而對胸部比例之影響則較不明顯。公雞 10 週齡腿部比例約為 28.2 – 29.9%，至 12 週齡時則提高至 29.5 – 31.0%；母雞部分亦呈現類似趨勢，10 週齡腿部比例約為 25.9 – 27.7%，12 週齡則上升至 26.2 – 29.1%，顯示隨週齡增加，腿部產肉率有顯著提升之效應。

表 7. 紅羽土雞公雞於各週齡之屠體性狀

Table 7. Carcass traits of the red-feathered roosters at different weeks of age

| Weeks of age                             | Stock                   |                          |                         |                         |                          |
|------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
|                                          | A                       | B                        | C                       | D                       | E                        |
| Carcass weight, g/bird                   |                         |                          |                         |                         |                          |
| 10                                       | 2,440 ± 65 <sup>a</sup> | 2,395 ± 119 <sup>a</sup> | 2,158 ± 48 <sup>b</sup> | 2,417 ± 95 <sup>a</sup> | 2,189 ± 125 <sup>b</sup> |
| 12                                       | 3,022 ± 176             | 2,915 ± 266              | 2,728 ± 164             | 2,937 ± 45              | 2,860 ± 160              |
| Dressing, %                              |                         |                          |                         |                         |                          |
| 10                                       | 84.1 ± 0.6              | 85.7 ± 3.5               | 82.5 ± 0.1              | 85.4 ± 0.8              | 84.4 ± 1.7               |
| 12                                       | 87.1 ± 1.2              | 86.2 ± 5.2               | 84.9 ± 2.3              | 85.7 ± 0.5              | 85.9 ± 0.2               |
| Head and neck weight / carcass weight, % |                         |                          |                         |                         |                          |
| 10                                       | 10.9 ± 1.2              | 12.7 ± 0.1               | 11.5 ± 1.6              | 11.5 ± 1.9              | 11.8 ± 1.3               |
| 12                                       | 11.7 ± 65.0             | 11.8 ± 1.2               | 10.7 ± 1.1              | 13.3 ± 1.6              | 12.4 ± 0.8               |
| Breast weight / carcass weight, %        |                         |                          |                         |                         |                          |
| 10                                       | 22.3 ± 1.6              | 20.6 ± 1.5               | 19.7 ± 2.3              | 18.4 ± 0.6              | 20.1 ± 0.6               |
| 12                                       | 19.0 ± 0.2              | 19.6 ± 1.3               | 18.4 ± 1.9              | 18.2 ± 1.8              | 19.9 ± 1.7               |
| Abdomen weight / carcass weight, %       |                         |                          |                         |                         |                          |
| 10                                       | 19.8 ± 0.6              | 19.5 ± 1.5               | 20.6 ± 0.8              | 20.4 ± 1.9              | 19.9 ± 2.7               |
| 12                                       | 18.8 ± 1.6              | 18.7 ± 0.2               | 18.6 ± 2.6              | 19.0 ± 0.3              | 18.9 ± 1.6               |
| Thigh weight / carcass weight, %         |                         |                          |                         |                         |                          |
| 10                                       | 28.3 ± 0.8              | 28.2 ± 0.3               | 28.8 ± 1.6              | 29.9 ± 0.4              | 29.6 ± 2.7               |
| 12                                       | 31 ± 0.6                | 29.5 ± 0.6               | 30.9 ± 2.1              | 30 ± 0.9                | 29.8 ± 1.6               |
| Wing weight / carcass weight, %          |                         |                          |                         |                         |                          |
| 10                                       | 11.4 ± 0.5              | 11.8 ± 0.9               | 12.4 ± 0.6              | 11.7 ± 0.6              | 11.8 ± 0.4               |
| 12                                       | 12 ± 0.3                | 11.7 ± 0.6               | 11.7 ± 0.7              | 11.7 ± 0.5              | 12.0 ± 0.1               |
| Feet weight / carcass weight, %          |                         |                          |                         |                         |                          |
| 10                                       | 6.9 ± 0.3               | 7.0 ± 0.6                | 6.8 ± 0.9               | 7.5 ± 0.5               | 6.8 ± 0.7                |
| 12                                       | 6.9 ± 0.8               | 7.2 ± 0.5                | 6.9 ± 0.3               | 7.4 ± 0.8               | 6.1 ± 0.4                |

<sup>a, b</sup> Means in the same row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

Values are mean ± SD.

Type 3 Tests of Fixed Effects (PROC MIXED, split-plot, Kenward-Roger df):

Thigh weight / carcass weight, %: Stock  $F(4,20) = 0.65$ ,  $P = 0.6318$ ; Week  $F(1,20) = 6.29$ ,  $P = 0.0209$ ; Stock × Week  $F(4,20) = 0.95$ ,  $P = 0.4572$ .

SLICE: wk10  $F(4,20) = 0.93$ ,  $P = 0.4690$  (NS); wk12  $F(4,20) = 0.67$ ,  $P = 0.6172$  (NS).

Breast weight / carcass weight, %: Stock  $F(4,20) = 2.38$ ,  $P = 0.0864$ ; Week  $F(1,20) = 5.20$ ,  $P = 0.0337$ ; Stock × Week  $F(4,20) = 1.03$ ,  $P = 0.4143$ .

SLICE: wk10  $F(4,20) = 2.71$ ,  $P = 0.0595$  (NS); wk12  $F(4,20) = 0.70$ ,  $P = 0.6002$  (NS).

Dressing, %: Stock  $F(4,20) = 0.88$ ,  $P = 0.4938$ ; Week  $F(1,20) = 3.33$ ,  $P = 0.0830$ ; Stock × Week  $F(4,20) = 0.40$ ,  $P = 0.8062$ .

SLICE: wk10  $F(4,20) = 0.93$ ,  $P = 0.4670$  (NS); wk12  $F(4,20) = 0.35$ ,  $P = 0.8405$  (NS).

Carcass weight, g/: Stock  $F(4,10) = 3.80$ ,  $P = 0.0396$ ; Week  $F(1,10) = 134.00$ ,  $P < 0.0001$ ; Stock × Week  $F(4,10) = 0.31$ ,  $P = 0.8643$ .

SLICE: wk10  $F(4,19.8) = 2.69$ ,  $P = 0.0612$  (NS); wk12  $F(4,19.8) = 1.75$ ,  $P = 0.1790$  (NS).

表 8. 紅羽土雞母雞於各週齡之屠體性狀

Table 8. Carcass traits at different weeks of age of the red-feathered hens

| Weeks of age                             | Stock                   |                          |                         |                         |                         |
|------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                                          | A                       | B                        | C                       | D                       | E                       |
| Carcass weight, g/bird                   |                         |                          |                         |                         |                         |
| 10                                       | 1,885 ± 44 <sup>a</sup> | 1,839 ± 27 <sup>a</sup>  | 1,265 ± 26 <sup>b</sup> | 1,882 ± 63 <sup>a</sup> | 1,852 ± 22 <sup>a</sup> |
| 12                                       | 2,328 ± 96 <sup>a</sup> | 2,242 ± 115 <sup>a</sup> | 1,669 ± 93 <sup>b</sup> | 2,110 ± 97 <sup>a</sup> | 2,155 ± 56 <sup>a</sup> |
| Dressing, %                              |                         |                          |                         |                         |                         |
| 10                                       | 82.4 ± 1.6              | 83.4 ± 1.3               | 81.5 ± 0.63             | 77.7 ± 9.77             | 84.1 ± 3.3              |
| 12                                       | 83 ± 0.58               | 83.9 ± 1.08              | 81.7 ± 3.37             | 81 ± 0.99               | 83.8 ± 1.45             |
| Head and neck weight / carcass weight, % |                         |                          |                         |                         |                         |
| 10                                       | 10.1 ± 0.3              | 10.7 ± 0.7               | 10.9 ± 1.1              | 9.9 ± 0.4               | 10.2 ± 0.5              |
| 12                                       | 9.8 ± 0.3               | 9.5 ± 0.64               | 9.6 ± 0.22              | 9.4 ± 1.05              | 9.9 ± 0.1               |
| Breast weight / carcass weight, %        |                         |                          |                         |                         |                         |
| 10                                       | 23.0 ± 0.2              | 22.9 ± 0.8               | 22.3 ± 1.4              | 24.3 ± 0.4              | 22 ± 2.0                |
| 12                                       | 22.9 ± 1.3              | 22.5 ± 1.9               | 22.6 ± 0.7              | 23.3 ± 2.7              | 23.3 ± 0.9              |
| Abdomen weight / carcass weight, %       |                         |                          |                         |                         |                         |
| 10                                       | 21.4 ± 1.6              | 21.6 ± 0.4               | 21.8 ± 2.7              | 19.8 ± 1.1              | 21.5 ± 1.0              |
| 12                                       | 21.1 ± 2.1 <sup>a</sup> | 21 ± 0.9 <sup>ab</sup>   | 24.3 ± 0.9 <sup>a</sup> | 20.1 ± 0.7 <sup>b</sup> | 21.7 ± 1.8 <sup>a</sup> |
| Thigh weight / carcass weight, %         |                         |                          |                         |                         |                         |
| 10                                       | 27.2 ± 0.3              | 27.7 ± 0.9               | 26.2 ± 0.1              | 27.6 ± 1.1              | 25.9 ± 2.1              |
| 12                                       | 27.7 ± 1.9              | 29.1 ± 1.0               | 26.2 ± 1.5              | 28.3 ± 2.2              | 27.2 ± 1.6              |
| Wing weight / carcass weight, %          |                         |                          |                         |                         |                         |
| 10                                       | 12.6 ± 0.3              | 12.5 ± 0.1               | 13.3 ± 0.4              | 12 ± 0.1                | 12.1 ± 0.9              |
| 12                                       | 12.4 ± 0.3              | 12.7 ± 0.2               | 12.9 ± 0.3              | 13 ± 0.3                | 12.7 ± 0.2              |
| Feet weight / carcass weight, %          |                         |                          |                         |                         |                         |
| 10                                       | 5.8 ± 0.6               | 5.5 ± 0.3                | 5.7 ± 0.3               | 6 ± 0.0                 | 5.8 ± 0.1               |
| 12                                       | 5.5 ± 0.7 <sup>ab</sup> | 5.1 ± 0.4 <sup>ab</sup>  | 4.4 ± 0.4 <sup>b</sup>  | 5.8 ± 0.6 <sup>a</sup>  | 5.3 ± 0.3 <sup>ab</sup> |

<sup>a, b</sup> Means in the same row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

Values are mean ± SD.

Type 3 Tests of Fixed Effects (PROC MIXED, split-plot, Kenward-Roger df):

Thigh weight / carcass weight, %: Stock  $F(4,20) = 2.41$ ,  $P = 0.0829$ ; Week  $F(1,20) = 2.32$ ,  $P = 0.1433$ ; Stock × Week  $F(4,20) = 0.23$ ,  $P = 0.9165$ .

SLICE: wk10  $F(4,20) = 0.96$ ,  $P = 0.4486$  (NS); wk12  $F(4,20) = 1.68$ ,  $P = 0.1937$  (NS).

Breast weight / carcass weight, %: Stock  $F(4,10) = 0.58$ ,  $P = 0.6825$ ; Week  $F(1,10) = 0.00$ ,  $P = 0.9538$ ; Stock × Week  $F(4,10) = 0.41$ ,  $P = 0.7959$ .

SLICE: wk10  $F(4,19.9) = 0.84$ ,  $P = 0.5156$  (NS); wk12  $F(4,19.9) = 0.17$ ,  $P = 0.9521$  (NS).

Dressing, %: Stock  $F(4,10) = 1.43$ ,  $P = 0.2937$ ; Week  $F(1,10) = 0.51$ ,  $P = 0.4912$ ; Stock × Week  $F(4,10) = 0.27$ ,  $P = 0.8929$ .

SLICE: wk10  $F(4,19.6) = 1.47$ ,  $P = 0.2483$  (NS); wk12  $F(4,19.6) = 0.39$ ,  $P = 0.8100$  (NS).

Carcass weight, g/: Stock  $F(4,10) = 64.74$ ,  $P < 0.0001$ ; Week  $F(1,10) = 226.65$ ,  $P < 0.0001$ ; Stock × Week  $F(4,10) = 2.77$ ,  $P = 0.0875$ .

SLICE: wk10  $F(4,19.3) = 41.67$ ,  $P < 0.0001$ ; wk12  $F(4,19.3) = 37.69$ ,  $P < 0.0001$ .

公雞 10 週齡屠體重介於 2,158 – 2,440 g，其中 B 場屠宰率最高 (85.7%)，C 場最低 (82.5%)；至 12 週齡時，公雞屠體重顯著增加，A 場最高達 3,022 g，C 場最低為 2,728 g，而屠宰率則維持在 84.9 – 87.1% 的相對穩定範圍。屠體部位比例方面，公雞在 10 週齡胸部比例為 18.4 – 22.3%，腿部比例為 28.2 – 29.9%；至 12 週齡時胸部比例略降至 18.2 – 19.9%，腿部比例則提高至 29.5 – 31.0%，顯示隨週齡增加，腿部產肉率相對提升。母雞 10 週齡屠體重介於 1,265 – 1,885 g，12 週齡則為 1,669 – 2,328 g，皆以 A 場為最高、C 場最低。母雞屠

宰率於 10 週齡為 77.7 – 84.1%，12 週齡為 81.0 – 83.9%，隨週齡變化幅度有限。母雞胸部比例於 10 週齡為 22.0 – 24.3%，腿部比例為 25.9 – 27.7%；12 週齡時胸部比例為 22.5 – 23.3%，腿部比例為 26.2 – 29.1%，與公雞相同呈現腿部比例上升、胸部比例大致維持或略降的趨勢。然而，在腹脂率方面，體型最小的 C 場卻呈現顯著較高的腹脂比例，12 週齡時達到 24.3%，顯著高於 D 場 (20.1%) ( $P < 0.05$ )，顯示 C 場可能屬於早熟或易堆積脂肪的品系。過去研究指出，臺灣土雞市場偏好脂肪適中且腿肉發達的屠體，C 場過高的腹脂率可能會影響其屠體評價與經濟價值。相對地，A 場與 D 場在維持高生長速率的同時，腹脂率控制在 21% 左右，較符合現代消費市場對健康肉品的需求。

與李等 (2001) 針對 7 家紅羽種雞場 13 週齡屠體性狀之調查相比，早期紅羽土雞公雞屠宰率為 83.1 – 88.7%，胸部比例 16.1 – 17.7%，腿部比例 25.4 – 26.4%；母雞屠宰率為 78.5 – 83.7%，胸部比例 19.7 – 20.5%，腿部比例 21.3 – 22.8%。本研究在屠宰率上與過去報告大致相當，但無論公、母雞，腿部比例均明顯高於早期數值，胸部比例亦略為提高，顯示現行民間紅羽土雞族群的屠體組成已朝向符合國內消費市場偏好「腿多、胸肉適中」之方向發展。此變化趨勢強烈反映近年育種方向已聚焦於提升高價值部位（尤其是腿肉）的產量，即使長期缺乏系統性雜交優勢之利用，仍成功鞏固並強化紅羽土雞腿部比例偏高的族群特性（林，2024）。

近年針對商用紅羽土雞雌雞屠體與肉質性狀之調查指出，部分品系之腿部比例約為 30.23 – 32.02%，胸部比例約為 15.03 – 18.03%，且腿部比例較高之品系在整體咀嚼性與風味評價上較佳（林，2024）。相較之下，本研究部分場別母雞於 12 週齡時腿部比例接近或略低於上述範圍，但胸部比例則明顯偏高，推測與現行市場對胸肉與腿肉並重之需求，以及種雞場依據屠體分切規格調整選拔方向有關。在未來育種策略上，如能結合全基因體選拔工具與屠體性狀指標，選留兼具適當體重、更高腿部比例與良好肉質之個體，將有助於進一步強化紅羽土雞產品於國內高值化有色肉雞市場的競爭力（林等，2010；林，2024）。

#### IV. 雛白痢及家禽白血病 J 病毒之檢測

本研究各場別雛白痢與家禽白血病 J 亞群病毒 (ALV-J) 之檢測結果列於表 9。雛白痢血清學檢測顯示，雛白痢血清學檢測顯示，各場陽性率介於 4.8 – 8.9%，其中 B 場為 8.9%，D 場為 4.8%。惟以 PROC CATMOD 分析不同場別對紅羽土雞 PD 陽性率之影響，結果顯示場別效果不顯著 (likelihood ratio  $P = 0.9844$ )，表示 A、B、C、D 及 E 各場別之 PD 陽性率無統計差異。與過去臺灣土雞及種雞群之監測結果比較（部分族群 8 – 35 週齡陽性率可達 15 – 30%），本研究之雛白痢陽性率整體落在較低區間，惟仍顯示持續監測與陽性個體淘汰的重要性。雛白痢 (pullorum disease, PD) 是由 *Salmonella pullorum* 感染雛雞引起的急性敗血症，是禽類的重要病原菌，對家禽業構成嚴重威脅 (Barrow and Freitas Neto, 2011)。罹病雛雞排出灰白色下痢便，在 2 至 3 週齡雛雞常造成急性爆發，成雞多為不顯性感染，但本病母雞亦可造成產蛋、孵化率以及生產性能下降，引起重大的經濟損失 (官等，2016)。

表 9. 紅羽土雞雛白痢及家禽白血病陽性率

Table 9. The positive rate of pullorum disease (PD) and Avian leukosis virus (ALV-J) of red-feathered native chickens

| Items                   | Stock |     |     |      |      |
|-------------------------|-------|-----|-----|------|------|
|                         | A     | B   | C   | D    | E    |
| No. of birds            | 109   | 101 | 116 | 104  | 121  |
| PD No. of positive      | 6     | 9   | 9   | 5    | 6    |
| PD Positive rate (%)    | 5.5   | 8.9 | 7.8 | 4.8  | 4.9  |
| No. of birds            | 74    | 59  | 95  | 51   | 80   |
| ALV-J No. of positive   | 5     | 1   | 1   | 6    | 15   |
| ALV-J Positive rate (%) | 6.8   | 1.7 | 1.1 | 11.8 | 18.8 |

Analyzed by CATMOD procedure, no significant differences were observed among different stocks ( $P > 0.05$ ).

在家禽白血病檢測方面，各場陽性率範圍為 1.1 – 18.8%，場間差異更為懸殊。以 PROC CATMOD 分析不同場別對紅羽土雞 ALV-J 陽性率之影響，結果顯示場別效果亦不顯著 (likelihood ratio  $P = 0.9790$ )，表示各場別間 ALV-J 陽性率無統計差異。其中 C 場與 B 場陽性率最低（分別為 1.1 與 1.7%），推測其於種雞來源控管與垂直傳播防治策略上較為完善；反之，E 場與 D 場之陽性率分別高達 18.8 與 11.8%，不僅可能造成該場生產性能下降與死亡率升高，亦可能成為區域性傳染源。相較於陳 (2004) 於 2004 年針對部分種用土雞及肉用土雞場進行血清

學檢測，發現種用土雞皆呈現 ALV-J 抗體陽性，而肉用土雞則有 10 — 15% 的抗體陽性率，以及許等 (2011) 於 2010 年調查臺灣 6 家蛋用肉用種雞雞場 ALV-J 抗體盛行率，蛋用種雞中，抗體陽性盛行率從 6 — 86.7% 不等；肉用種雞抗體陽性盛行率從 15 — 97.8% 不等，證實家禽白血病於臺灣養雞產業中仍未完全獲得控制，且在個別場別中仍可觀察到偏高之感染狀況。家禽白血病病屬於反轉錄病毒科，雞隻感染後可引起多種造血系統的腫瘤，此外亦可在腎臟、卵巢或肝臟等實質臟器產生腫瘤。感染雞隻的 ALV 根據病毒封套結構的不同，可以分成六種亞群：A、B、C、D、E 與 J 亞群，其傳播途徑包括母雞藉蛋感染子代的垂直傳播及雞隻間直接或間接接觸的水平感染 (陳，2004)。

雛白痢與家禽白血病皆具明顯的垂直傳播特性，若未透過種雞場層級之嚴格監測與淘汰制度加以控制，將在世代間累積，進一步影響生長整齊度、飼料效率與產肉量。國內外研究均指出，透過定期血清學檢測與淘汰陽性個體之策略，可有效降低雛白痢陽性率並接近清除目標，而家禽白血病則需結合高敏感度分子檢測與長期育種計畫，方能在種雞層面達成根除。綜合本研究結果與既有文獻，可推論目前民間紅羽土雞種雞場雖已在生長與屠體性狀方面達到良好水平，但若未同步強化種雞來源檢疫、種蛋與孵化衛生管理及場內生物安全措施，雛白痢與家禽白血病等慢性或腫瘤性疾病，仍可能成為限制產能與影響族群穩定性的關鍵因子。因此，未來產業輔導與育種策略宜將疾病抗性與健康性狀納入選拔目標，並藉由常態化監測及淘汰陽性個體，降低在種雞群隱性感風險，以確保紅羽土雞產業永續發展。

## 結 論

本研究調查 5 場民間紅羽土雞種雞場，顯示場間在繁殖與健康狀況上差異顯著，而整體生長與屠體性狀表現則已達或優於既有文獻報告，然而，試驗結果亦顯示不同場別在種蛋受精率與孵化率、雛白痢及家禽白血病陽性率等指標上表現參差不齊，部分雞場之受精蛋孵化率偏低，且家禽白血病陽性率偏高，顯示在追求生長表現與屠體品質的同時，繁殖效率與疾病帶原未獲重視。

綜合本研究結果與既有文獻，未來紅羽土雞產業之發展方向，除持續優化生長速度與屠體性狀外，更應將重點置於提升繁殖效率 (如改善受精率與孵化率) 以及建立系統性的疾病清淨計畫。在育種上，建議將繁殖性能與健康性狀 (尤其針對垂直傳染病) 納入選拔指標，並結合分子檢測與全基因體選拔工具，以加速清除高風險疾病與隱性感個體。同時，透過強化種雞來源檢疫、種蛋與孵化衛生管理及種雞場生物安全規範，方能在確保族群穩定度的前提下，持續提升臺灣紅羽土雞產業的永續發展與國內外市場競爭力。

## 參考文獻

- 李淵百、吳憲郎、林旻蓉、涂海南、張秀鑾、項延塏、趙清賢、賴元亮、蘇夢蘭。2001。臺灣商用土雞性能介紹：生長與屠體性能。行政院農業委員會畜產試驗所，臺南市。
- 李淵百、黃雅梅、蘇夢蘭、何玉珍。2003。臺灣商用土雞性能介紹：繁殖性能。國立中興大學，臺中市。
- 李淵百、林旻蓉、謝豪晃、鄭裕信、蘇夢蘭、趙清賢。2005。應用畜試所與興大的選育土雞以改進商用土雞之繁殖性能 2. 種母雞的產蛋性能。中畜會誌 34：257-272。
- 林正鏞、李秀蘭。2023。性別對商用紅羽土雞生長性能、血液生化值、屠體性狀及生產效益之影響。畜產研究 56(1)：46-54。
- 林旻蓉、張伸彰、謝豪晃、趙清賢、陳添福、王治華、賈玉祥、鄭裕信、范揚廣、陳志峰、李淵百。2010。臺灣土雞之生長性能、屠體性狀及成本之比較。中畜會誌 39(2)：103-117。
- 林亮全。2004。土雞屠體分級分切標準手冊。行政院農業委員會，臺北市。
- 林詩詠。2024。臺灣商用紅羽土雞族群屠體與肉質性狀分析之研究。國立屏東科技大學碩士論文，屏東縣。
- 官南綾、涂堅、沈瑞鴻。2016。雛白痢沙門氏桿菌之鑑定與抗藥性分析。家畜衛試所研報 50：57-66。
- 柯浩然、陳清、呂清泉、詹益波。1996。雛白痢診斷液之保存性試驗。台灣畜牧獸醫學會會報 66：219-223。
- 許萌芳、陳慧文、陳志峰、王金和。2011。2010 年臺灣部分雞隻家禽白血病 J 亞群之血清抗體盛行率。臺灣獸醫誌 37(4)：227-232。
- 梁筱梅、林德育、林正鏞、康獻仁、梁桂容、許岩得、洪國翔。2016。臺灣商用紅羽土雞公雞之生長性能、屠體性狀及肌肉色澤分析。畜產研究 49：99-104。

- 陳慧真。2004。臺灣土雞家禽白血病 J 亞群之血清學調查與酵素連結免疫吸附分析 (ELISA) 之開發。國立台灣大學獸醫學研究所碩士論文，臺北市。
- 陳志峰、王榮生、何玉珍、吳俊達、李建勳、郭慧華、陳玉珍、陳麗玲、陳逸瑄、鄒信南、蕭金鳳。2025。2024 臺灣家禽統計手冊。財團法人獸醫畜產發展基金會，臺北市。
- 趙清賢、林旻蓉、賴元亮、蘇夢蘭、何玉珍、陳志峰、李淵百。2005a。臺灣商用紅羽土雞與黑羽土雞的生長性能。中畜會誌 34：65-78。
- 趙清賢、林旻蓉、謝豪晃、鄭裕信、蘇夢蘭、李淵百。2005b。應用畜試所與興大的選育土雞以改進商用土雞之繁殖性能 3. 雜交肉用雞的產肉性能。中畜會誌 34：273-290。
- 農業部。2025。114 年第 3 季畜禽統計調查結果。https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/book/Book.aspx。
- Barrow, P. A. and O. C. Freitas Neto. 2011. Pullorum disease and fowl typhoid new thoughts on old diseases: a review. Avian Pathol. 40: 1-13.
- North, M. O. and D. D. Bell. 1990. Commercial chicken production manual. 4th ed., pp. 704-719, AVI Book, New York.
- SAS Institute. 2014. SAS<sup>®</sup> University Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC.

# Comparative study of reproductive performance, growth performance, and carcass traits of red-feathered native chickens <sup>(1)</sup>

Ho-Ching Tsai <sup>(2)</sup> Yun-Jung Chiu <sup>(2)</sup> Che-Ming Hung <sup>(2)</sup> and Ming-Yang Tsai <sup>(2)(3)</sup>

Received: Dec.30, 2025; Accepted: May 14, 2026

## Abstract

The aim of this study was to compare the fertility, hatchability, growth performance, and carcass traits of red-feathered native chicken breeders from five commercial farms of red-feathered native chicken. A total of 750 healthy chicks with similar body weights were selected for the experiment. After hatching, the chicks were sexed and separated into male and female groups, with the experiment consisting of 3 replicates per treatment and 25 birds per replicate, lasting for a total of 12 weeks. Birds were raised under identical conditions during the brooding (0–4 weeks), growing (5–8 weeks), and finishing (9–12 weeks) phases, with feed and water provided ad libitum. The results indicated that the fertility rates among the five breeder farms ranged from 76.10 to 93.36%, while the hatchability of set eggs and fertile eggs ranged from 59.34 to 76.51% and from 65.20 to 95.00%, respectively, revealing a significant variation among the farms. Regarding growth performance, male and female Red-feathered native chickens from all farms reached approximately 2.0 and 1.6 kg, respectively, at 8 weeks of age; and by 12 weeks, the average body weight exceeded 3.0 kg for males and was approximately 2.0 kg for females. The overall feed efficiency was best during the 5–8 week period, followed by 0–4 weeks, and was poorest during 9–12 weeks. The carcass trait analysis showed that the leg meat proportion increased slightly with age, rising in males from 28.3% at 10 weeks to 31.0% at 12 weeks. The same trend applied to females. Although the breast meat proportion at 12 weeks was slightly lower than at 10 weeks (decreasing from 22.3 to 19.9% in males), the overall yields of breast and leg meat were significantly improved compared to earlier literature. Additionally, there were substantial differences in the positive rates of Pullorum disease and Avian Leukosis Virus Subgroup J (ALV-J) among the farms, suggesting discrepancies between the biosecurity measures and disease control. In conclusion, under the long-term selection oriented towards growth and carcass traits in Taiwan, red-feathered native chickens exhibit rapid weight gain, and their carcass composition closely aligns with domestic market demands for high leg meat and moderate breast meat content. Nonetheless, improvements in reproductive performance and the reduction of disease carrier status remain insufficient, suggesting that future breeding strategies should incorporate balanced considerations to ensure both industrial profitability and breeder health.

Key words: Red-feathered native chickens, Growth performance, Carcass traits.

---

(1) Contribution No. 2855 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

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

(3) Corresponding author, E-mail: mytsai@mail.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、 $\mu\text{m}$ 。
      - (2) 重量：kg、g、mg、 $\mu\text{g}$ 。
      - (3) 體積：L、mL、 $\mu\text{L}$ 。
      - (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 \*、<sup>a</sup>、<sup>b</sup>、<sup>c</sup> 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. 59 No. 3

September 2026

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Page |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1. Effect of dietary supplementation of low-dose <i>Isatis indigotica</i> root compound prescription as phytogenics and <i>Rhodovulum sulfidophilum</i> as photosynthetic bacteria on laying performance in laying hens<br><i>Shin-Mei Lee, Yin-Chi Chiu, Jenn-Chung Hsu, and Yieng-How Chen</i> .....  | 277  |
| 2. Effect of different nutrient concentrations on growth performance, economic returns, and carcass characteristics of commercial red-feathered native chickens<br><i>Chen-Yung Lin and Hsiu-Lan Lee</i> .....                                                                                          | 285  |
| 3. Localized estimation of heat stress vulnerability coefficient for dairy cows and economic risk assessment of milk yield loss in Taiwan<br><i>Mei-Ru Ke, Yueh-Tung Chen, Yi-Hsuan Chen, Jen-Wen Shiau, Yih-Min Shy, and Po-An Tu</i> .....                                                            | 296  |
| 4. Effects of extenders on semen quality of Red × Elk hybrid stag after freezing and thawing<br><i>Hsin-Hung Lin, Ya-Chun Liu, Ting-Chieh Kang, Kai-Fei Tseng, Ting-Yung Kuo, and Jenn-Rong Yang</i> .....                                                                                              | 306  |
| 5. Study on the effects of lactic acid bacteria inoculation on the fermentation characteristics and mimosine metabolism of <i>Leucaena leucocephala</i> silage<br><i>Pi-Chain Liu, Rajendra Adak, Chien-Te Chen, and Ming-Hung Chu</i> .....                                                            | 314  |
| 6. Study on the effect of duration of fertility on growth and egg production of selected and control lines in Brown Tsaiya ducks after cessation of selection<br><i>Che-Ming Hung, Ming-Yang Tsai, Hsiao-Lung Liu, Yih-Fwu Lin, Chao-Hsien Hsieh, Chein Tai, Roger Rouvier, and Yu-Shin Cheng</i> ..... | 324  |
| 7. Survey on the farming status of the meat goat industry in Taiwan<br><i>Chao-Chih Pan, Jhih-Hua Wu, Felix Shih-Hsiang Hsiao, Zong-Sian Syu, Jun-Chen Lin, and Min-Chien Cheng</i> .....                                                                                                               | 333  |
| 8. Impacts of long-term irrigation with anaerobically digested dairy wastewater on soil properties and groundwater quality in a Pangolagrass pasture<br><i>Ya-Ling Huang, Shyh-Rong Chang, Tein-Ming Su, and Hsin-Jung Lee</i> .....                                                                    | 346  |
| 9. Comparative study of reproductive performance, growth performance, and carcass traits of red-feathered native chickens<br><i>Ho-Ching Tsai, Yun-Jung Chiu, Che-Ming Hung, and Ming-Yang Tsai</i> .....                                                                                               | 357  |

行政院新聞局出版事業登記證  
警字第十八號  
登記為雜誌  
交寄

ISSN 0253-9209  
DOI: 10.6991/JTLR



9 770253 920004

GPN:2005200015

定價：新臺幣二〇〇元