

自動電動化與傳統柴油 TMR 餵飼系統對酪農場 經營成本之影響⁽¹⁾

陳怡璇⁽²⁾ 施意敏⁽³⁾ 陳玥彤⁽²⁾ 楊明桂⁽²⁾ 蕭振文⁽²⁾ 黃明雅⁽⁴⁾ 涂柏安⁽²⁾⁽⁵⁾

收件日期：114 年 6 月 3 日；接受日期：114 年 9 月 8 日

摘 要

隨著勞動力短缺與節能減碳政策推動，自動化餵飼系統逐漸成為酪農場管理的重要選項。本研究之目的在於評估自動電動化餵飼車與柴油餵飼車設備之各項作業成本。成本估算因其成本因子隨經濟條件和社會環境之不同而為一動態過程，此研究中所估算之作業成本並非絕對不變之計算值。本研究比較自動餵飼系統（自動電動化 TMR）與傳統柴油餵飼系統（車載式 / 曳引機 TMR）對酪農場經營成本的影響，研究採用作業成本分析與差異損益平衡分析方法，以「每 kg 飼料餵飼成本」作為分析單位，並以年餵飼量作為規模變數。成本項目包括折舊、利息、設備導入成本、牧場改建成本等固定成本，以及修理維護、油料 / 電費、工資、操作人數、操作時數、使用牛隻數等變動成本。資料來源為 2023 年對 3 間酪農場的調查，包含設備導入成本、牧場改建、維護費、能源成本及人力成本等實際數據。研究發現，自動餵飼系統因設備及場地改建而有較高的固定成本，但其變動成本相對較低，且因少量多餐的餵飼模式能帶來額外乳量增益（預設每頭乳牛平均日生產 25 kg，估計增加 5% 產乳量）。透過差異損益平衡分析，本研究計算出使兩系統年總成本達損益平衡的臨界年餵飼量。結果顯示，當實際餵飼量達到或超過臨界規模時，自動餵飼系統的淨單位成本（考量乳量增益後）顯著低於傳統系統的原始單位成本。當泌乳牛數超過 200 頭，自動化餵飼系統具有節省人力工時與乳量提升效益的優勢，這意味著，對於達到一定規模的酪農場，考量乳量增益後的自動系統淨單位成本將會低於傳統系統的原始單位成本。

關鍵詞：規模經濟分析、經營成本、自動化、差異損益平衡分析。

緒 言

在全球農業生產日益精緻化與規模化的趨勢下，如何有效降低生產成本、提升經營效益，已成為維持農業競爭力的關鍵課題。特別是在畜牧業，飼養成本占總生產成本的 60% (Becker, 2008)，另外根據農業部 113 年農業統計年報的主要畜禽產品生產費用與收益分析表示，牛乳生產 45 萬公噸，生產費用總計 216,301 元，依每頭主產物產量 8,202 公斤來計算，每公噸生產成本約 2.64 萬元。其中飼料費為 135,954 元，占比達 62.8%，占比極高，而飼料的調配與餵飼是其中的重要環節。傳統完全混合日糧 (Total Mixed Ration, TMR) 餵飼系統通常仰賴車載式或曳引機搭配攪拌機與飼料車，涉及較多的人工操作與柴油消耗。隨著科技進步，農機具的發展為改善餵飼效率提供了多種可能性，其中自動電動化餵飼系統與傳統柴油 TMR 餵飼車是目前常見的兩種技術路線。

根據智慧養牛產業技術資料庫 (2020/8; <https://www.angrin.tlri.gov.tw/smartdairy/index.html>)，智慧養牛係指運用自動化與資訊化設備提升牛隻管理效率與飼養精準度。智慧養牛之每日餵養牛隻動線中，約有 13 間國際廠牌具有相關設備，包含 BouMatic、Dairymaster、DeLaval、Fullwood、GEA、Hetwin、JOZ、LELY、Lucasg、Nedap、TRIOLIET、Valmetal、Wasserbauer 及 LucasG 等，分別來自荷蘭、德國、美國、英國、瑞典、法國、奧地利、加拿

(1) 農業部畜產試驗所研究報告第 2839 號。
(2) 農業部畜產試驗所北區分所。
(3) 農業部畜產試驗所技術服務組。
(4) 農業部科技司研究發展科。
(5) 通訊作者，E-mail: tpa@mail.tlri.gov.tw。

大等國家。相關設備包含自動餵飼系統，牧場可依分群飼養牛群的營養需求及飼養頭數，以程式控制的方式進行配料設計 (Pavkin *et al.*, 2021)。目前國內已由國外引進多款自動餵飼系統，自動餵飼系統將可使飼主更有效地飼養動物，透過自動推料、多餐餵飼，進而提高採食量及乳產量，並促進乳牛健康和動物福利 (田等, 2021; 林等, 2021)。

然而，國內導入自動餵飼系統之牧場仍以中大型酪農場為主，主要受到初期投資成本與場區改建限制所影響，酪農業導入自動化設備之最大挑戰即如何解決成本昂貴問題。不同的餵飼系統在初始投資、操作成本結構以及最佳適用規模等方面存在差異。因此，深入分析與比較不同餵飼系統的經濟效益與作業效率，對於協助農民做出客觀的投資決策、最佳化生產管理具有重要的學術價值與實務意義。

本研究分析餵飼車設備於酪農業中 TMR 餵飼作業之使用成本，探討年餵飼量、設備維修、場地改建費、人工成本與能源消耗等因子，對於作業成本之影響。由於成本估計為一動態過程，許多成本條件隨經濟條件和社會環境而改變，因此本研究之目的不在於探求絕對不變之設備作業成本，而是在於推導研究合理之成本估算方式，以提供具體的成本數據與效益評估，以期為臺灣酪農業者在選擇餵飼系統時提供科學參考，作為餵飼設備自動化經營與規模調整之參考。

材料與方法

I. 研究設計與比較對象

本研究採作業成本分析 (operating-cost analysis) 與差異損益平衡分析 (differential break-even analysis)，比較自動餵飼系統 (電動自走式全程 TMR 自動配料、攪拌與定時下料) 與傳統餵飼系統 (車載式 / 曳引機 TMR 攪拌機與人工配料與下料) 之差異。分析單位為「每 kg 泌乳牛 TMR 餵飼成本 (新臺幣 TWD/年)」，並以年泌乳牛 TMR 餵飼量 (kg/年) 為規模變數。乳量提升效益僅計入自動系統，以反應其可能的生產面收益。

II. 成本項目構成與估算方法

本研究依據農業作業成本分析原則，將成本區分為固定成本 (fixed costs) 與變動成本 (variable costs) 兩大類 (陳及賴, 1989)，在固定成本部分，包含折舊 (depreciation) 與利息 (interest)。變動成本部分，自動餵飼系統主要包含修理費 (repairs)、年電費 (annual electricity cost) 與年人工費 (annual labor cost)；傳統系統則包含修理費、年燃料費 (annual fuel cost) 與年人工費 (annual labor cost)。餵飼規模依照牛隻飼養頭數與每日採食量估算全年之 TMR 基礎餵飼量 (basic feed amount)，進一步考量牧場實測之飼料損耗率，轉換為 TMR 有效餵飼量 (effective feed amount)。將固定與變動成本除以餵飼量後，即可計算出各系統之 TMR 原始單位成本 (original unit cost)。此外，本研究考量自動餵飼系統所帶來之乳量提升所創造之額外收益。依據文獻 (Bava *et al.*, 2012) 及本研究設定，自動餵飼可提升泌乳量約 5%，以乳量增益 (milk yield gain) 乘以生乳價格 (農業部, 2024 年訂為 28 元/kg) 後，從原始單位成本中扣除，得出實際的 TMR 淨單位成本 (net unit cost)。最後，採用差異損益平衡點 (differential break-even point) 方法，計算在考量乳量收益與變動成本差異後，兩系統年度總成本持平所需之 TMR 臨界年餵飼量 (X)，以評估電動系統投資之規模門檻與經濟可行性。本研究每年 TMR 作業成本與相關成本項目計算方式分述如表 1。

III. 參數設定與資料來源說明

本研究資料來自 2023 年對三間酪農場之設備調查與成本紀錄，其中包含 2 場天車型自動電動化餵飼系統，為了避免不同自動餵飼系統模式影響分析，本研究僅先針對天車型自動餵飼系統進行分析，且設備已運行滿一年以上，確保操作流程及人員配合度已趨於穩定，可避免初期適應期對數據造成干擾。資料記錄酪農場實際數據，包括設備導入成本、牧場改建成本、維護修理費用、電(油)耗能源成本、人力成本、設備型號、實際使用牛隻數、操作時數等，資料具完整性，可支持本研究的成本效益分析與參數校正。

- (i) 牧場規模：自動化餵飼包含一場泌乳牛數約 100 – 110 頭，另一場約 210 – 220 頭，設備導入與牧場改建成本約 1,200 萬元；傳統餵飼系統則為一場採用柴油 TMR 車餵飼系統之牧場，泌乳牛數約 55 – 65 頭，設備導入成本約 180 萬元，並各別根據公式 (1) 進行折舊成本計算。另洽原廠了解本次調查之自動餵飼設備，容量為 3.5 立方公尺，設定之適用隻數為 500 頭以下牛群，故本試驗模擬 500 頭與 1,000 頭，評估 1 – 2 台自動餵飼設備之情境。故本試驗牧場規模設定為 60、100、200、300、500、1,000 頭進行評估。
- (ii) 利息費用：根據 107 年發布之配合新農業政策推動放寬專案農貸規定 (農業金融署, 2018)，農機貸款利息設定為 0.79%。

表 1. TMR 年作業成本與相關成本項目計算方式

Table 1. Calculation method of annual TMR operating cost and related cost items

Category	Formula	Symbols and units	Description
Depreciation	$D = \frac{P \times (1 - \alpha)}{N} \dots \dots (1)$	P = purchase and site renovation cost (TWD) α = salvage value rate (%) N = useful life (years)	N is based on the machine's service life as provided by the manufacturer. represents the ratio of salvage value at disposal to the purchase price, set at 10% based on agricultural machinery cost estimates in Taiwan (Chiang, 1931).
Interest	$I = \frac{P \times i \times (1 + \alpha)}{N} \dots \dots (2)$	i = Annual interest rate on capital (%)	i The annual interest rate is set at 0.79%, based on agricultural loan rates (Agricultural Finance Agency, 2018), using the average capital use method.
Repairs	$R = \frac{P \times CR}{N} \dots \dots (3)$	CR = Repair cost rate (%)	Based on survey data and literature, CR in this study is set between 15 – 45%.
Fixed costs	$F = D + I \dots \dots (4)$	TWD/year	Calculated according to the system type.
Variable costs	automated: $V_a = R_a + E_a + L_a \dots \dots (5)$ traditional: $V_t = R_t + F_u + L_t \dots \dots (6)$	Ea = Annual electricity cost Fu = Annual fuel cost L = Annual labor cost	Energy unit prices are based on Taiwan's average electricity and diesel prices in 2025; labor cost is based on dairy farm wage surveys.
Basic feed amount	$B = n \times f \times 365$	n = Number of milking cows on the farm f = Daily feed intake (kg/head)	Estimated over 365 days per year.
Effective feed amount	$B_{\text{eff}} = \frac{B}{1 - \text{loss}} \dots \dots (8)$	B = Base feeding amount loss = Feed loss rate (%)	To estimate the effective annual feed amount after accounting for losses, the feed loss rate is based on actual farm measurements.
Variable unit cost	$V' = \frac{V}{B_{\text{eff}}} \dots \dots (9)$	TWD/kg	
Original unit cost	$C_{\text{orig}} = \frac{F}{B} + V' \dots \dots (10)$	TWD/kg	
Unit milk production operating costs	automated: $M_a = \frac{V_a}{n \times 25 \times 1.05 \times 365} \dots \dots (11)$ traditional: $M_t = \frac{V_t}{n \times 25 \times 365} \dots \dots (12)$	n = Number of milking cows on the farm TWD/kg	The automatic feeding system is estimated to increase milk yield by 5%. Average daily production: 25 kg/head

表 1. TMR 年作業成本與相關成本項目計算方式 (續)

Table 1. Calculation method of annual TMR operating cost and related cost items (continued)

Category	Formula	Symbols and units	Description
Milk yield gain	$\text{rev}_{\text{kg}} = \frac{m \times r \times n \times p}{f} \dots \dots (13)$	<p>m = Daily milk yield (kg/head)</p> <p>r = Milk yield increase rate (%)</p> <p>n = Number of milking cows on the farm</p> <p>p = Raw milk price (TWD/kg)</p> <p>f = Daily feed intake (kg/head)</p>	the automatic feeding system is estimated to increase milk yield by 5%. The raw milk price is set at TWD 28/kg (Ministry of Agriculture, 2024).
Net unit cost	$C_{\text{adj}} = C_{\text{orig}} - \text{rev}_{\text{milk}} \dots \dots (14)$	TWD/kg	Calculated only for the automatic feeding system.
Differential break-even point	$X = \frac{F_a - F_t}{\text{rev}_{\text{kg}} + V_t - V_a} \dots \dots (15)$	kg/year	

- (iii) 維護修理費用：依調查研究中，本土農機具第一年之修理費用為其購買價格的 10% (江, 1931)。另根據 2006 年 ASABE 資料，曳引機估計到達堪用年限時，預期累積的維修總成本占列表價格的 100%。由於農機具修理費用相關文獻較少，本研究以評估實際之使用年限，自動餵飼系統之維護成本數據，係洽詢牧場主人及原廠得知，一台 (適用 500 頭以下牛群) 每年設備維護與修理成本約為新台幣 100,000 – 180,000 元，若配置兩台設備則初估為 240,000 元，分別計算維護修理 (CR) 為 15 與 20%。傳統柴油 TMR 餵飼系統並無簽約定期保養，依牧場主人提供之實際維修支出約 36,000 元 / 年計算 CR 為 20%，並依據設備使用時數進行推估。上述維護成本均為本研究作業成本分析之參數依據，本研究 CR 範圍為 15 至 45%。
- (iv) 能源與人工費用：產業用電均價為 4.29 TWD kW/h (經濟部, 2024)，農業動力用電補助暫不列入計算。柴油依目前均價設定為 28 TWD/L。農場每位人工費依調查設定為 200 TWD/h；本研究已依據牧場場主與原廠調查與規格，傳統餵飼系統配料過程需人工以鏟裝機補草補料、TMR 攪拌混合 (配置 1,200 kg 濕基約需 40 – 60 分鐘)、送料至各泌乳群，一般一天餵飼兩次；自動餵飼系統需人工 1 – 2 小時進行補草補料動作，其餘皆由自動餵飼設備處理，一般一天餵飼三次以上。不論何種系統，若採用國產乾草，則需增加人工細切工時 (細切 200 – 250 kg 國產盤固乾草約需 15 – 30 分鐘)。鏟裝機操作人員視為 TMR 作業人員，固定成本、維護修理費與柴油費未納入，因其用途多元 (如清潔與載運)，難以單獨歸屬餵飼成本，以維持比較上的一致性。本研究中，自動餵飼系統預設情境為一天餵飼六次，牛群依乳量分 2 – 3 群，需 1 名人工 1 – 2 小時進行補草補料動作，其餘由自動餵飼設備處理；傳統餵飼系統之工時依據不同飼養規模進行加成，1 工預設情境為一天餵飼兩次，牛群未分群；傳統餵飼系統中 2 工預設情境為一天餵飼兩次，牛群依乳量分 2 – 3 群，
- (v) 乳牛生產參數：依我國畜禽統計調查結果顯示，2024 年底我國共飼養約含 5.9 萬頭泌乳牛，共生產約 45 萬公噸生乳 (農業部, 2024)，以每頭牛胎次為 305 天泌乳天數計算，平均每日生產 25 kg / 頭，預估乾物質採食量約為 17.5 kg，假設 TMR 乾物質為 50%，每頭牛需採食 TMR 35 kg / 日 (濕基)。
- (vi) 飼料損耗率：自動系統 3%，傳統系統 6% (於 2023 年 3 月牧場監測平均)。
- (vii) 乳量增益：自動餵飼作業少量多餐餵飼牛隻，較傳統餵飼增加乳量約 2.1 – 7.6% (Bava *et al.*, 2012)，本研究取其平均值，預估自動餵飼可多增加 5% 產乳量。

IV. 差異損益平衡點 (differential break-even point, DBEP) 定義與推導邏輯

差異損益平衡點 (differential break-even point, DBEP) 分析的結果是比較兩個方案下的總利潤差異，來決定哪個方案更有利，即尋找使差異利潤為正的方案 (Lanen *et al.*, 2008; Kinney and Raiborn, 2011)。本研究為在同一牧場情境下，投資自動餵飼系統與維持傳統餵飼系統的差額決策，核心在於判定「飼養規模 β 是否足以攤提自動系統較高的固定投入，並利用其乳量提升效益抵銷較高或相同的變動成本支出」。因此本研究採用差異損益平衡點，以下簡稱臨界規模 X ，定義為使兩系統年總成本相等的最小泌乳牛 TMR 年餵飼量 (kg / 年)。

V. 計算邏輯與比較策略

若實際規模 $\beta \geq X$ ，則比較自動餵飼系統之淨單位成本 (C_{adj}) 與傳統餵飼系統之單位成本 (C_{orig})；若實際規模 $\beta < X$ ，則比較兩系統原始單位成本 (C_{orig})。

結 果

本研究採用作業成本分析與差異損益平衡分析方法，針對不同泌乳牛飼養頭數 (60、100、200、300、500、1,000 頭) 情境，比較自動電動化餵飼系統與傳統柴油 TMR 餵飼系統 (考量 1 工與 2 工配置) 的經營成本差異。成本構成主要區分為固定成本與變動成本。

I. 成本結構比較

成本比較結果彙整於表 2，自動電動化餵飼系統的主要成本特徵是具有極高的固定成本，均為 1,132,140 元 (折舊費 D 1,080,000 + 利息 I 52,140)，遠高於傳統餵飼系統的固定成本，無論 1 工或 2 工，即 169,821 元 (折舊費 D 162,000 + 利息 I 7,821)。這反映了自動化系統在設備導入和場地改建方面較高的初期投資。變動成本方面，包括維護修理、燃料與人工，在各飼養規模下通常高於自動系統，尤其是在較低的飼養頭數時。例如，在 60 頭規模下，傳統系統 (1 工) 的變動成本為 229,500 元 (維護修理費 R 36,000 + 油料費 F 84,000 + 人工費 L 109,500)，傳統系統 (2 工) 為 469,000 元 (維護修理費 R 36,000 + 油料費 F 168,000 + 人工費 L 292,000)，而自動系統僅為 287,320 元 (維護修理費 R 180,000 + 電費 F 34,320 + 人工費 L 73,000)。然而，隨著規模擴大，自動

系統的變動成本雖有增加，但與傳統系統（尤其是 2 工配置）的變動成本差距縮小，甚至在高規模下（如 1,000 頭）變動成本仍低於傳統系統。圖 1 顯示，自動系統變動成本則較低，且年變動成本從 287,320 元（60 頭，維護修理費 R 180,000 + 電費 F 34,320 + 人工費 L 73,000）隨飼養規模增加至 872,180 元（1,000 頭，維護修理費 R 400,000 + 電費 F 180,180 + 人工費 L 292,000），增幅相對傳統系統緩和。在不同規模下的實際配料重量、單次作業時間、餵飼次數、分群方式（低、中、高乳量群）、畜舍動線規劃等，都會造成工時與人力變動的情境。例如：60 頭牛一天餵飼兩次，每日約需 2.0 – 3.0 時，配料程序包含：切草（若使用國產牧草）、補料、TMR 機攪拌混合、送料，若依乳量分群為 2 – 3 群，每日工時約增加至 4 – 9 小時，可能需 2 人；1,000 頭牛情境若配置足夠台數之自動餵飼設備（1 – 2 台，容量各 3.5 m³），可由 1 名人員完成切草與補料作業。當飼養規模增加至 500 頭時，傳統系統每位作業人員的每日工時將超過 12 小時，在現實情況下這並不可行，除非增加人力以符合每日工時限制。相對地，傳統系統因依賴柴油與人工操作，變動成本隨飼養頭數大幅度增加，尤其在配置兩名工人情況下（如 1,000 頭飼養），這反映了傳統系統在人工與燃料方面的消耗，藉由圖 1 清楚發現兩餵飼系統的成本結構差異。

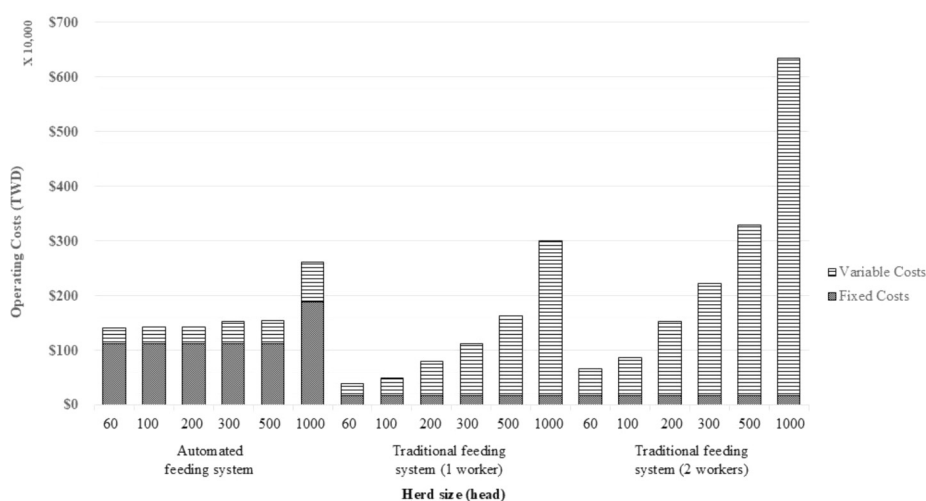


圖 1. 不同畜群規模的自動和傳統餵飼系統的固定和變動成本比較。

Fig. 1. Comparison of fixed and variable costs between automated and traditional feeding systems at different herd sizes.

II. 作業成本分析

在原始單位成本 (C_{orig}) 方面，由於自動系統的高固定成本，在飼養規模較小（如 60 頭）時，其 TMR 原始單位成本 (1.84 TWD/kg) 顯著高於傳統系統 (1 工：0.50 TWD/kg；2 工：0.83 TWD/kg)。然而，隨著飼養規模的擴大，自動系統的單位固定成本因年餵飼量增加而被有效分攤，使得其原始單位成本迅速下降。例如，在 500 頭規模下，自動系統的原始單位成本 (0.24 TWD/kg) 已等於或低於傳統系統 (1 工：0.24 TWD/kg；2 工：0.49 TWD/kg)。圖 2 比較不同規模下的單位乳量成本，結果顯示：在小型牧場（60 – 100 頭）中，自動系統的單位乳量成本高於傳統系統；當飼養頭數達 200 頭以上時，自動系統的單位乳量成本迅速下降，低於傳統 2 工配置的單位乳量 TMR 作業成本（自動 0.75 元/kg；傳統 2 工 0.84 元/kg）；規模達到 500 頭時，則已低於傳統 1 工配置的單位乳量 TMR 作業成本（自動 0.32 元/kg；傳統 1 工 0.36 元/kg）。

III. 額外產乳收益

乳量增益 (rev_{kg}) 是自動電動化餵飼系統獨有的效益，本研究預估可增加 5% 的產乳量，換算為每 kg 有效餵飼量的乳量增益為 1.0 元/kg。將此效益納入計算後，自動系統的 TMR 淨單位成本 (C_{adj}) 顯著低於其原始單位成本。在飼養規模達到 200 頭泌乳牛時，淨單位成本已降至 -0.44 TWD/kg，而在 1,000 頭泌乳牛規模時更降至 -0.79 TWD/kg（表 2），這表示透過乳量增益所帶來的額外收益，200 頭泌乳牛時已能完全抵銷甚至超越餵飼的總成本。此處負值表示自動餵飼所創造的乳量收益已抵銷其餵飼成本，不代表餵飼可無限獲利，而為相對成本收益衡量。相較之下，傳統系統因未計入此項效益，其單位成本保持為原始單位成本。

IV. 差異損益平衡點分析

差異損益平衡點分析旨在找出使兩系統年總成本相等的臨界年餵飼量（臨界規模 X）。根據表 2 數據計算，不同規模下的臨界規模 (X) 略有差異，落在約 68 至 150 萬 kg / 年之間。這意味著，當實際餵飼量達到或超過此

表 2. 自動化餵飼與傳統餵飼之成本比較

Table 2. Cost comparison of automated and traditional feeding systems

Herd size ¹	Feeding System	Fixed costs ² (F, TWD)	Variable costs ³ (V, TWD)	Operating costs (C, TWD)	Basic feed amount (B, kg/year)	Effective feed amount (B _{eff} , kg/year)	Original unit cost (C _{orig} ² , TWD/kg)	Net unit cost (C _{adj} ³ , TWD/kg)	Differential break-even point (X, kg/year)	Milk yield gain ⁴ (rev/kg, TWD/kg)
60	Automated	1,132,140	287,320	1,419,460	766,500	790,206	1.84	0.84	1,048,337	1.0
	Traditional, 1 worker	169,821	229,500	399,321	766,500	815,426	0.50	—	1,048,337	0
	Traditional, 2 workers	169,821	496,000	665,821	766,500	815,426	0.83	—	773,089	0
100	Automated	1,132,140	291,610	1,423,750	1,277,500	1,317,010	1.11	0.11	941,818	1.0
	Traditional, 1 worker	169,821	330,500	500,321	1,277,500	1,359,043	0.38	—	941,818	0
	Traditional, 2 workers	169,821	698,000	867,821	1,277,500	1,359,043	0.65	—	744,726	0
200	Automated	1,132,140	304,480	1,436,620	2,555,000	2,634,021	0.56	-0.44	861,014	1.0
	Traditional, 1 worker	169,821	634,000	803,821	2,555,000	2,718,085	0.30	—	861,014	0
	Traditional, 2 workers	169,821	1,360,000	1,529,821	2,555,000	2,718,085	0.57	—	693,279	0
300	Automated	1,132,140	403,220	1,535,360	3,832,500	3,951,031	0.40	-0.60	851,539	1.0
	Traditional, 1 worker	169,821	946,500	1,116,321	3,832,500	4,077,128	0.28	—	851,539	0
	Traditional, 2 workers	169,821	2,049,000	2,218,821	3,832,500	4,077,128	0.55	—	687,123	0
500	Automated	1,132,140	416,090	1,548,230	6,387,500	6,585,052	0.24	-0.76	835,479	1.0
	Traditional, 1 worker	169,821	1,461,000	1,630,821	6,387,500	6,795,213	0.24	—	835,479	0
	Traditional, 2 workers	169,821	3,133,000	3,302,821	6,387,500	6,795,213	0.49	—	688,417	0
1,000	Automated	1,886,900	872,180	2,759,080	12,775,000	13,170,103	0.20	-0.79	1,502,493	1.0
	Traditional, 1 worker	169,821	2,841,000	3,010,821	12,775,000	13,590,426	0.22	—	1,502,493	0
	Traditional, 2 workers	169,821	6,185,000	6,354,821	12,775,000	13,590,426	0.47	—	1,236,309	0

¹ The number of herd size refers to the number of milking cows on the farm.

² Fixed costs = Depreciation (D) + Interest (I).

³ Variable costs = Repairs (R) + Electricity cost (Ea) / Fuel cost (FU) + Labor cost (L).

⁴ Milk yield gains are not included in the calculation for the traditional system.

臨界規模時，考量乳量增益後的自動系統淨單位成本 (C_{adj}) 將會低於傳統系統的原始單位成本 (C_{orig})。圖 3 分析自動與傳統餵飼系統 (1 工) 在飼養 200 頭泌乳牛規模下的差異損益平衡點。結果顯示，兩者的臨界年餵飼量 (臨界規模 X) 為 861,014 kg，低於該規模下的實際年餵飼量 ($B = 2,555,000$ kg/year，表 2)。進一步比較成本時，可發現自動餵飼系統之淨單位成本 (C_{adj} , -0.44) 低於傳統餵飼系統之單位成本 (C_{orig} , 0.30)，顯示自動餵飼系統在此規模下更具經濟效益。

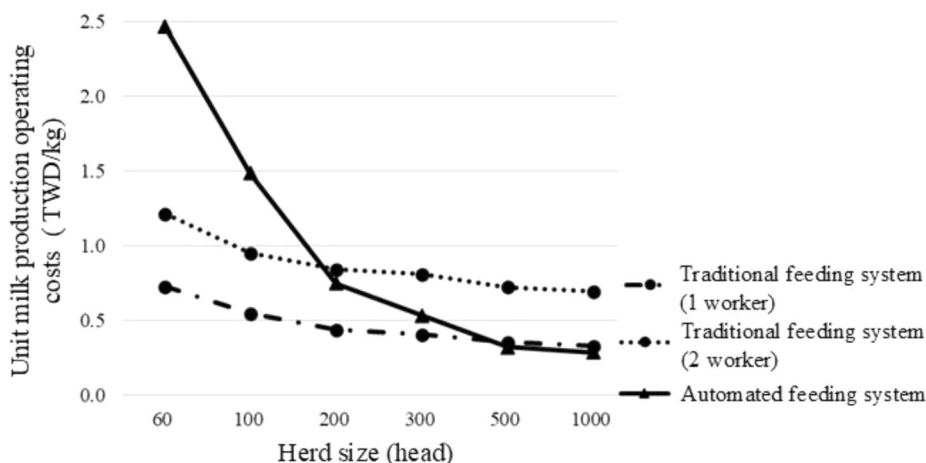


圖 2. 自動與傳統餵飼系統在不同畜群規模下的單位乳量之 TMR 作業成本比較

Fig. 2. Comparison of unit milk production operating costs between automated and traditional feeding systems across different herd sizes.

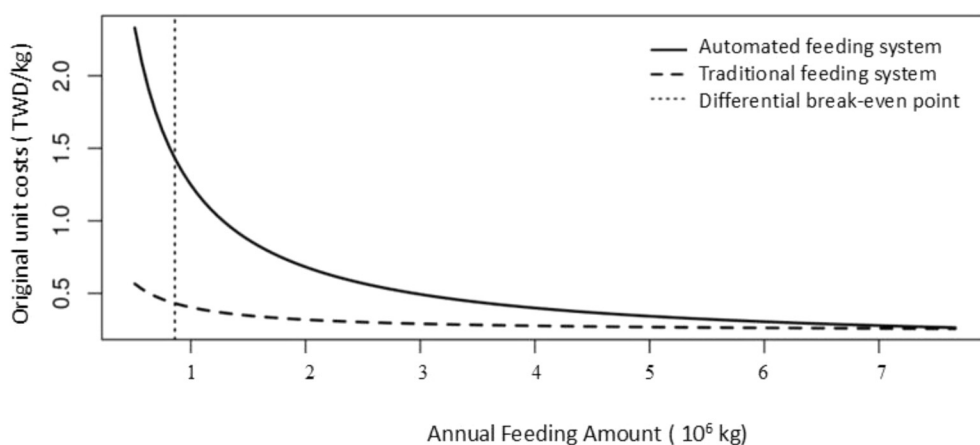


圖 3. 自動與傳統餵飼系統 (1 工) 在飼養 200 頭泌乳牛規模下的差異損益平衡點與規模經濟分析。

Fig. 3. Scale economy analysis and differential break-even point between automated and traditional feeding systems under the scenario of 200 lactating cows (1 worker).

討 論

依我國畜禽統計調查結果顯示，2024 年底我國計有 545 場乳牛戶，共飼養約 11.8 萬頭乳牛 (農業部，2024)，每戶平均為 108 頭泌乳牛。評估不同餵飼設備效益的關鍵影響因素，除飼養規模外，多項成本因子與作業效率亦顯著影響最終的成本效益。本研究選取了多個代表性飼養頭數作為分析情境，包括 60、100、200、300、500 和 1,000 泌乳牛頭數。在同一牧場情境下，研究使用「TMR 年餵飼量 (kg/年)」作為衡量規模的關鍵變數。此年餵飼量是根據預設的每頭牛每日採食量 (每日採食 TMR 35 kg 濕基計算) 和飼養頭數及天數 (一年 365 天) 估算得出的基礎餵飼量。考量到飼料損耗率 (自動系統 3%，傳統系統 6%)，進一步計算出有效餵飼量。透過分析不同規模下的成本數據，本研究旨在評估在特定飼養規模下，導入自動化餵飼系統是否能在成本效益上高於傳統系統，以下將針對各主要影響因素進行討論。

I. 飼養規模與經濟性之關聯

本研究結果顯示，飼養規模的大小直接影響了總固定成本的分攤效果以及總變動成本的多寡，進而成為影響 TMR 單位餵飼成本的關鍵主因。無論是自動或傳統餵飼系統，隨著泌乳牛飼養頭數從 60 頭增加到 1,000 頭，原始單位成本 (C_{orig}) 均呈現下降趨勢。惟自動化系統因固定成本高昂，需仰賴規模經濟效應攤提初期投資。直至飼養頭數達 200 頭以上，其乳量提升效益方能完全抵銷固定成本負擔 (C_{adj}, -0.44 TWD/kg)，這驗證了規模經濟效益的存在，並顯示長期投資回本仍需仰賴產乳效益的充分實現。對中大型 (300 頭) 及大型牧場 (500 頭) 而言，自動系統的原始單位成本已低於傳統系統需額外聘僱人工時 (如 2 工)，顯示其在高規模飼養下具備經濟競爭力。這是因為較大的飼養規模能有效分攤折舊與利息等固定成本，並進一步降低單位成本。圖 2 所示之「單位乳量之 TMR 作業成本」分析，提供酪農直觀比較不同系統與規模的經營差異，並簡化成本計算方式，方便應用於實務。隨著飼養規模的擴大，兩種餵飼系統的單位乳量作業成本皆呈現下降趨勢，反映了規模經濟效應對成本攤提的影響。在小規模 (如 60 頭) 情境下，自動化餵飼系統的成本高於傳統系統，主要因為其固定投資與維護費用較高，而變動成本節省不足以抵銷初期投入。然而，當規模擴大至 500 頭以上時，自動化系統的單位乳量成本顯著下降，並在 500 頭時已與傳統系統相當，在 1,000 頭時甚至低於傳統系統，顯示其在中大型規模下具備成本競爭力。傳統系統在不同人力配置下的成本差異亦十分明顯。在相同飼養規模下，配置兩名工人的單位乳量成本顯著高於一名工人，且於飼養規模 200 頭時，單位乳量作業成本已高於自動餵飼系統，顯示人工費用是影響傳統系統競爭力的關鍵因素。然而，於大規模情境 (如 500 頭以上) 時，若僅配置一名工人，實際每日工時可能超過勞動法規限制，需額外聘用人員以分擔工作量，因此圖示之最低成本應視為理想化情境，實際成本可能更高。由於每場的泌乳牛、乾乳牛與後備牛比例懸殊，直接影響成本結構，且泌乳牛為主要營收來源，故以泌乳牛成本與全場飼養設備的分攤效應為主。

II. 成本結構差異

成本結構的差異是影響其在不同規模下總成本表現的關鍵，從成本結構來看，農機具的年作業成本包含固定成本 (折舊費、利息) 和變動成本 (修理維護、油電料費、勞力費) (陳及賴, 1989)。圖 1 呈現出自動化系統高固定成本、低變動成本的結構特性，以及傳統系統低固定成本、高變動成本的結構特性。綜合本研究圖 1 與圖 2，可以得出結論：自動餵飼系統因其高固定成本結構，在低飼養規模下原始單位成本較高，但隨著規模擴大，其固定成本被較高餵飼量攤提，變動成本低的優勢顯現，導致其原始單位成本迅速下降，並在飼養規模達到 500 頭以上，等於傳統系統 1 工，自動餵飼系統低於傳統系統的主要優勢來自變動成本中人工費的降低，其他成本項在高規模下因固定成本攤提亦具競爭力，圖 1 解釋了成本結構差異，為後續評估導入自動系統是否符合成本效益提供了直觀的依據。

(i) 人工成本

人工成本為兩種餵飼系統成本差異的重要來源之一，本段將說明隨飼養規模變化對人工投入的影響。自動餵飼系統的主要挑戰在於其高昂的固定成本，導入自動化系統可能需要配合進行牧場的改建或特定的基礎建設，如裝設天車式軌道、埋設磁鐵導軌等，這些改建成本是設備導入總成本的一部分。而傳統柴油系統則是有占比較高的變動成本，特別是勞力成本。圖 1 顯示，傳統系統的變動成本會隨著規模增加而顯著上升，尤其是 2 工配置的傳統系統，其變動成本明顯高於 1 工配置的傳統系統，這是因為增加了額外的人工成本。傳統餵飼系統的每日作業依據飼養規模與管理不同決定人力與工時配置。以本研究調查數據為例，小型牧場 (60 頭泌乳牛) 操作傳統 TMR 車，一天餵飼兩次、未分群情況下，每日平均作業時間為 2 - 3 時，若依乳量分群為 2 - 3 群，每日工時約增加至 4 - 9 小時；中型牧場 (200 頭泌乳牛) 一天餵飼兩次、未分群情況下，則需 5 小時，若依乳量分群為 2 - 3 群，每日工時約增加至 12 - 15 小時。此時間包含餵飼前補料、裝料、行駛至牛舍及分配飼料等全流程作業，係由實地觀察與牧場紀錄計算平均值所得。相較之下，自動化餵飼系統每日僅需 1 名操作員負責管理與補料，小型牧場每日作業時間約 1.0 小時，中型與大型牧場則分別為 1.5 - 2.0 時，顯著低於傳統系統，這種工時差異直接反映在人力變動成本上。此一差異與目前臺灣酪農業勞動環境密切相關。由於近年酪農業普遍面臨人力短缺困境，加上我國勞動法規對農場勞工每日工作時數與加班有嚴格限制，傳統餵飼系統在進行飼料配料與分送時，往往需配置一至兩位人力全天操作，對人工依賴程度極高。

相對地，自動化餵飼系統採用預設程式控制，可於固定時間自動配料、攪拌與下料，顯著降低日常作業所需之人力資源。根據本研究調查結果，即使是中大型規模牧場 (如飼養 500 至 1,000 頭泌乳牛)，僅需 1 名操作人員即可維持系統運行。此外，相較於傳統 TMR 攪拌與飼料車操作需仰賴具農機駕駛之技術人員，自動電動化餵飼系統的操作介面簡易、學習門檻低，即使是新進或非農業背景人員亦可在短時間內上

手，此一特性有助於未來農場人力的彈性配置與人事成本控管。

(ii) 維修成本

本研究針對兩種系統之實際維護成本進行現場調查，結果顯示，自動化餵飼系統牧場在泌乳牛數 100 – 110 頭及 210 – 220 頭之規模下，每年設備維護與修理成本分別約為 100,000 元與 180,000 元，支出內容包含例行性保養、零件更換及檢修等。相比之下，傳統 TMR 餵飼系統於泌乳牛數 55 – 65 頭之規模下，每年維修成本約 36,000 元，主要支出項目包括內外胎更換、保養、零件更換與檢修等。此資料顯示，自動化系統雖具備節省人力的優勢，但在維護成本上相對高於傳統系統，應納入經濟效益評估中一併考量。

III. 額外產乳收益的實質價值

長期的效益評估應考慮設備的使用年限與殘值，以及未來成本與相關收益的折現價值，同時需考慮資金的時間價值、通貨膨脹以及稅務因素，折舊方法、利率、稅率等都會影響最終的成本計算 (Kastens, 1997)；研究顯示，導入自動餵飼設備，如自動推料與多餐餵飼，可透過持續提供新鮮 TMR 與飼料來刺激牛隻的進食慾望 (DeVries and von Keyserlingk, 2005)。提高餵食頻率能促使牛隻在一天中更均勻分布採食行為，有助於改善瘤胃 pH 值 (Mäntysaari *et al.*, 2006; Romano *et al.*, 2023)，同時也能避免在短時間內攝入過量可發酵碳水化合物，降低亞急性瘤胃酸中毒 (subacute ruminal acidosis) 風險，進而對泌乳牛健康產生正面影響 (Mäntysaari *et al.*, 2006; Macmillan *et al.*, 2017)。此外，自動餵飼設備可實現日糧的多次分配，使牛隻在全天能更均勻地採食 (Phillips and Rind, 2001)，而這種更穩定的採食行為，可能間接支持泌乳表現 (Romano *et al.*, 2023)。根據 Bava 等人 (2012) 的研究，在傳統擠乳系統中，增加餵食頻率可使泌乳量提升 2.1 至 7.6%。根據本研究設定，乳量可提升約 5%，這項乳量增益被量化為「元 / kg」，表示每 kg 飼料因乳量增加而帶來的額外生乳收益。在目前每 kg 生乳價格為 28 元的市場下，估算每 kg 飼料可額外創造 1.05 元的產乳收益，自動系統潛在的乳量效益 (rev_{kg}) 對其成本競爭力具有決定性影響。將乳量增益轉化為每 kg TMR 的收益後，自動系統的淨單位成本 (C_{adj}) 大幅降低，甚至變為負值，表示每 kg TMR 可帶來淨收益。這使得自動系統在達到一定的臨界規模 (X) 後，相較於傳統系統在單位成本上更具優勢，有助於抵銷自動系統較高的固定成本投入。

IV. 政府補助政策

本研究自動餵飼系統的固成本為未扣除政府補助額度，政府提供的補助將直接使固定成本下降。農業部自 2017 年起補助國內酪農導入自動化省工設備，並於同年引進「智慧型推草餵牛機器人」，至 2020 年全臺推草機器人數量已達到 56 臺，亦有牧場導入「推草料暨精料餵料機器人」、「自動配料及餵飼機器人」等。2022 年持續進行草食家畜產業畜牧場導入自動化及省工設備補助，其中，補助乳牛場多功能智慧型自動推料機共 10 臺。根據農業部公布之「114 年度草食家畜畜牧場導入淨零智慧循環永續設備補助說明」中，針對「牛場自動餵飼系統 (全自動餵飼機器人)」每場補助比率上限 50%，金額上限為 500 萬元 / 場，至於「完全飼糧混合設備」則是每場補助比率上限 33%，金額上限為 50 萬元 / 場。政府提供的補助能有效降低酪農導入自動化設備的初期投資門檻，補助比率上限和金額上限直接影響設備的實際購買價格，進而降低固定成本，提高導入意願與效益。建議政策規劃可納入分級補助，針對牧場規模設立不同的補助比例，例如 泌乳牛 200 頭以下提供中等補助比例，200 頭以上提高補助比例，以鼓勵規模適合的牧場導入自動化餵飼系統，確保設備效益最大化。

V. 單位作業成本與差異損益平衡點分析

本研究中具體計算了兩系統的固定成本 (F) 和變動成本 (V)，並將兩者加總得出年度作業成本 (C)。成本項目的計算方法詳細定義了折舊、利息、修理費用、能源 (電 / 油) 和人工費的計算方式和依據。這些詳細的成本結構分析是進行後續損益平衡分析和單位成本比較的基礎。

損益平衡點 (break-even point, BEP) 是以單位數或金額計算時，總收入等於總成本時的生產水準 (Kinney and Raiborn, 2011)；差異損益平衡點 (DBEP) 是比較兩個方案下的總利潤差異，來決定哪個方案更有利，分析邏輯是尋找哪個方案能帶來更高的利潤；換句話說，找出使兩個方案利潤相等的點，即差異利潤為零的點 (Lanen *et al.*, 2008; Kinney and Raiborn, 2011)。為了解投資自動餵飼系統與維持傳統餵飼系統何者較具經濟效益，本研究選擇以 DBEP 進行分析，而非使用常態的 BEP 評估。研究計算了原始單位成本 (C_{orig})，其公式為年度作業成本 (固定成本與變動成本之和) 除以有效年餵飼量。對於自動餵飼系統，由於考量了額外的產乳收益，研究還計算了淨單位成本 (C_{adj})，即原始單位成本減去每 kg TMR 帶來的額外產乳收益。透過比較兩系統在不同規模下的原始單位成本和自動系統的淨單位成本，可以更清晰地看出兩者在單位成本上的優劣勢，特別是在達到或超過 DBEP 之後。

本研究依據現場調查，自動化餵飼系統牧場的實際平均乳量高於 30 kg，在目前每公斤生乳價格為 28 元的

市場下，若以 100 頭泌乳牛規模試算，改以每頭牛每日生產 30 kg 為基準，可額外創造 1.2 元 / kg (rev_{kg}) 的產乳收益，使差異損益平衡點之臨界規模 (X) 降至 787,645 kg。進一步假設該場乳量可較傳統系統保守提升約 10%，則額外產乳收益將由原模型假設的 5% (1.2 元 / kg) 增至 2.4 元 / kg (rev_{kg})，臨界規模 (X) 將進一步降至 397,362 kg。此結果顯示，在乳價不變的情況下，乳量的高低與提升幅度對差異損益平衡點具有高度敏感性，乳量越高或提升幅度越大，自動化系統在經濟效益上的優勢愈顯著。

小規模飼養 60 – 100 頭泌乳牛時，因固定成本分攤效益有限，自動化的成本優勢不明顯，高於傳統系統。此時除非乳價高或整體乳量提升幅度較大，否則經濟誘因不足；顯示傳統系統在小規模與低工時配置下，人工成本比例低，反而能維持較低的總成本，但在擴張後人工成本迅速上升，削弱競爭力。隨著飼養規模與人力工時增大，綜合作業成本 (C)、乳量提升效益 (rev_{kg}) 與淨單位成本 (C_{adj})，在飼養規模 200 – 1000 頭泌乳牛時，乳量提升效益 (rev_{kg}) 進一步放大差距，使得自動餵飼系統的淨單位成本 (C_{adj}) 低於傳統系統；自動化在中大型規模下，固定成本被更多乳量攤平，較低的變動人工成本與乳量提升效益使其具有優勢。

綜上，DBEP 是較客觀更貼近成本之比較方式，其與飼養規模之關聯，可以發現小規模 (60 – 100 頭) 時，DBEP 介於 TMR 約 74 – 105 萬 kg / 年，顯示自動化要達成收支平衡需增加產量，對於低產能牧場挑戰大；中規模 (200 – 300 頭) 時，DBEP 下降至 69 – 86 萬 kg / 年，意味著隨規模擴大，自動化的固定成本負擔相對降低，盈虧平衡點較易達成。大型 (500 頭) 時，DBEP 進一步降至 83.5 萬 kg / 年，顯示規模經濟顯著發揮作用，但若需要引進多台自動餵飼設備，自動化的固定成本提高，DBEP 上升至 150 萬 kg / 年，顯示在較大規模下，如 1,000 頭，固定成本增加與產能利用率的平衡變得關鍵。DBEP 隨規模增加而下降，代表自動化在擴大規模時的經濟可行性提升。在任何規模下，考慮到自動系統的乳量增益效益後，其淨單位成本在較大飼養規模下甚至可能呈現負值，表明其在經濟效益上具有潛力。乳量提升效益的高低對 DBEP 影響顯著，若乳量提升幅度高於原設定之 5%，或場內平均乳量提高，DBEP 將大幅下降，經濟效益提高。

結 論

本土酪農經營已接近商業經營行為模式，利潤之獲得才是決定是否選用自動化之主要因素，設備的選用都應有成本分攤與效率評估的準則。國內酪農場在評估導入自動餵飼系統時，除了考慮其較高的初期投資，應聚焦於其在達到一定飼養規模後的經濟效益以及關鍵的額外產乳增益。本研究設定乳價為 28 元 / kg，平均乳產量為 25 kg / 頭 / 日，在泌乳牛數低於 200 頭且採單群飼養、每日餵飼頻率為 2 次以下等低工時配置且低人工成本比例條件下，傳統餵飼系統的攤提成本最低，較具經濟效益。然而，當泌乳牛數達到甚至超過 200 頭，或分群餵飼、每日餵飼頻率超過 2 次等條件下，自動化餵飼系統具有節省人力工時與乳量提升效益的優勢，且臨界年餵飼量明顯下降。在任何規模下，乳量提升效益的高低對臨界年餵飼量有明顯的影響，若乳量提升幅度高於 5%，或場內平均乳量提高，經濟效益將提高，故可視乳量改善效果再逐步擴大投入。若將政府補助納入考量，可降低自動化系統的初期固定成本支出與臨界年餵飼量，使得中小型酪農場提早達到成本效益平衡點，提升自動化導入之可行性。透過計算自身的預期年餵飼量並與臨界規模進行比較，酪農可判斷導入自動系統是否能在長期經營上帶來成本效益上的優勢。本研究提出以上建議，適用於不同規模的酪農場作為經營參考，以淨單位成本為比較基準，比作業成本更具積極含意，期為酪農在購置設備時提供決策參考。

致 謝

本研究承農業部之研究經費【114 農科 -10.1.3- 畜 -01】支持，北區分所農機庫陳偉珍提供試驗方面之協助，使試驗得以順利完成，特此誌謝。

參考文獻

- 田富洋、袁鑫、林雪彥、王中華、於鎮偉、宋占華、閻銀髮、閻振貴。2021。一種多功能螺旋推送式奶牛推料補飼機 (專利編號：CN113973734A)。
- 江榮吉。1931。臺灣農業機械化之經濟效益評估。單行本。臺灣大學農經系。

- 李盼、余祁暉、吳明哲。2019。全球智慧生乳產業代表性案例研究。智慧科技 57：21-33。
- 杜金池、梁連勝。1989。農試型落花生聯合收穫機之研究開發。臺灣農業 25(1)：47-51。
- 林月金、高德錚。2005。擴大經營規模降低產銷成本之個案研究。臺中區農業改良場特刊 279-297。
- 林正斌、程梅萍、王斌永。2021。智慧生乳產業機器人好幫手。農政與農情 351：36-41。
- 陳加忠、賴建洲。1989。雜糧收穫機械使用成本研究。中華農業研究 38(3)：374-384。
- 陳加忠。1933。稻作機械使用成本之研究。農業工程學報 29(4)：116-132。
- 陳加忠。1989。美國農機研究開發流程簡介。臺灣農業機械 4(1)：5-6。
- 經濟部。2024。新聞稿：民生電價凍漲 電價審議會決議產業電價平均漲幅 12.5% 並自 10 月 16 日實施。經濟部全球資訊網。 https://www.moea.gov.tw/MNS/populace/news/News.aspx?kind=1&menu_id=40&news_id=116090。
- 農業金融署。2018。配合新農業政策推動 放寬專案農貸規定。 <https://www.afna.gov.tw/view.php?theme=news&subtheme=news&id=373&print=Y>。
- 農業部。2024。113 年農業統計年報主要畜禽產品生產費用與收益 (113 年)。 <https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/book/Book.aspx>。
- 農業部。2024。畜禽統計調查。 <https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/book/Book.aspx>。
- 農業機械委員會。1968。水田作機械化之全購連農業機械部。
- ASABE. 2006. Agricultural Machinery Management Data. ASABE D497.4, ASABE, St. Joseph, MI, USA.
- Bava, L., A. Tamburini, C. Penati, E. Riva, G. Mattachini, G. Provolo, and A. Sandrucci. 2012. Effects of feeding frequency and environmental conditions on dry matter intake, milk yield and behaviour of dairy cows milked in conventional or automated milking systems. *Ital. J. Anim. Sci.* 11(3): e42.
- Becker, G. S. 2008. *Livestock Feed Costs: Concerns and Options*. Congressional Research Service, Library of Congress, Washington, DC, USA.
- DeVries, T. J. and M. A. G. von Keyserlingk. 2005. Time of feed delivery affects the feeding and lying patterns of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88: 625-631.
- Kastens, T. L. 1997. *Farm Machinery Operation Cost Calculations*. Kansas State Univ., Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, Manhattan, KS, USA.
- Kinney, M. R. and C. A. Raiborn. 2011. *Cost Accounting: Foundations and Evolutions*. 8th ed. South-Western, Cengage Learning, Mason, OH, USA.
- Lanen, W. N., S. W. Anderson, and M. W. Maher. 2008. Differential analysis. In: *Fundamentals of Cost Accounting*. 3rd ed. McGraw-Hill/Irwin, New York, NY, USA. pp. 112-132.
- Lips, M. and F. Burose. 2012. Repair and maintenance costs for agricultural machines. *Int. J. Agric. Manage.* 1: 40-46.
- Macmillan, K., X. Gao, and M. Oba. 2017. Increased feeding frequency increased milk fat yield and may reduce the severity of subacute ruminal acidosis in higher-risk cows. *J. Dairy Sci.* 100: 1045-1054.
- Mäntysaari, P., H. Khalili, and J. Sariola. 2006. Effect of feeding frequency of a total mixed ration on the performance of high-yielding dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89: 4312-4320.
- National Research Council (NRC). 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th Rev. Ed. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Pavkin, D., D. Shilin, E. Nikitin, and I. Kiryushin. 2021. Designing and simulating the control process of a feed pusher robot used on a dairy farm. *Appl. Sci.* 11: 10665.
- Phillips, C. J. C. and M. I. Rind. 2001. The effects of frequency of feeding a total mixed ration on the production and behavior of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84(9): 1979-1987.
- Ridenour, H. E. and D. M. Byg. 1981. *Combines and Combining*. Ohio State Univ., Columbus, OH, USA.
- Romano, E., M. Brambilla, M. Cutini, S. Giovanazzo, A. Lazzari, A. Calcante, ... and A. Bragaglio. 2023. Increased cattle feeding precision from automated feeding systems: considerations on technology spread and farm level perceived advantages in Italy. *Animals* 13: 3382.

Evaluating the Economic Impact of Automated and Traditional Diesel TMR Feeding Systems on Dairy Farm Operations ⁽¹⁾

Yi-Hsuan Chen ⁽²⁾ Yih-Min Shy ⁽³⁾ Yueh-Tung Chen ⁽²⁾ Ming-Kuew Yang ⁽²⁾
Jen-Wen Shiau ⁽²⁾ Ming-Ya Huang ⁽⁴⁾ and Po-An Tu ^{(2) (5)}

Received: Jun. 3, 2025; Accepted: Sep. 8, 2025

Abstract

Following the shortage in labor force and promotion of energy-saving and carbon-reduction policies, automated feeding systems eventually become the key options for dairy farms. This study aimed to compare the economic impact of automated feeding systems (automated electric TMR) and traditional diesel feeding systems (tractor- or truck-mounted TMR) on dairy farm operational costs. As the underlying cost factors are subject to change with economic conditions and social environment, the cost estimates presented should be regarded as dynamic rather than absolute values. Two analytical approaches were employed: operating cost analysis and differential break-even analysis. The unit of comparison was defined as the “cost per kilogram of TMR,” with annual feed amount used as the scale variable. Cost components included fixed costs (including depreciation, interest, equipment installation costs, and barn renovation costs) and variable costs (including maintenance/repaid, fuel/electricity, labor, number of operators, operating hours, and number of cows used). Data were collected from the investigation on three dairy farms in 2023, incorporating actual cost records on equipment installation costs, barn renovation, maintenance, energy, and labor expenditures. Results showed that while the automated feeding system incurred higher fixed costs due to equipment and infrastructure renovation, its variable costs became relatively lower. Additionally, the system’s capacity to deliver multiple small meals per day contributed to an estimated 5% increase in milk yield (assuming each dairy cow produces 25 KG per day in average, increasing 5% of milk production). Using differential break-even analysis, the study calculated the critical annual feed amount at which the total yearly costs of both systems become equivalent. The results showed that, when the actual feed amount reached or exceeded this threshold, the net unit cost of the automated system (adjusted for milk yield gains) was significantly lower than the original unit cost of the traditional feeding system. When the number of lactating cows exceeds 200, the automated feeding system offers advantages in saving labor hours and improving milk yield. These findings suggest that for dairy farms operating at or above this scale, the net unit cost of the automated feeding system, when accounting for increased milk production, becomes lower than that of the traditional feeding system. The purpose of this study was to evaluate the operational costs of imported automated feeding systems versus traditional feeding equipment.

Key words: Scale economy analysis, Operational cost, Automated, Differential break-even analysis.

(1) Contribution No. 2839 from Taiwan Livestock Research Institute (TLRI), Ministry of Agriculture (MOA).

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

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

(4) Research and Development Section, Department of Agricultural Science and Technology, MOA, Zhongzheng Dist., Taipei, 100212, Taiwan, R. O. C.

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