



# 臺灣酪農業電動與柴油設備配製完全混合日糧 (TMR) 減碳效益之比較

陳怡璇<sup>(1)</sup> 范耕榛<sup>(2)</sup> 涂柏安<sup>(1)</sup> 施意敏<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> 農業部畜產試驗所北區分所

<sup>(2)</sup> 農業部畜產試驗所

## 摘要

臺灣智慧農業的發展旨在解決缺工問題，並應同時朝向全球機具電動化之趨勢，特別是針對電動設備的環保效益。傳統農機多以柴油運作，為農業碳排放來源之一。至2020年，全臺已有56臺推草機器人，並有牧場引進自動配料及餵飼機器人。為了解自動配料的電動配料及餵飼設備的減碳效益，本研究比較，臺灣酪農使用自動配料及餵飼機器人與傳統柴油TMR配料車，特別只針對不同能源方式配料在一年內的碳排放量比較。調查四個酪農場的數據顯示，以電動設備的配置TMR生產每噸乳量的碳排放約為13 kg CO<sub>2</sub>e/ton milk，相較於傳統TMR配料車的24 kg CO<sub>2</sub>e/ton milk，減少了11 kg CO<sub>2</sub>e/ton milk，相當於減碳45.8%。若以100頭泌乳牛，每頭每天平均乳量25 kg，一年乳量計算，共可減少約10,037.5 kg CO<sub>2</sub>e。雖然目前電動農機價格較高，但隨著電池技術的提升，電動設備的競爭力將進一步增加，有望推動臺灣農業向低碳、自動化的方向發展。

**關鍵語：**減碳、電動設備、柴油設備、能源消耗、完全混合日糧

## 前言

我國智慧農業的發展目標之一是解決農業勞動力短缺問題。近年來，隨著牧場人力短缺和成本上升，酪農業逐漸依賴智慧化設備進行轉型。全球車輛電動化的趨勢也引發了電動設備對環保影響的討論，特別是農業傳統柴油農機作為碳排放的重要來源之一。為響應減碳目標，各國積極推廣電動農機以降低碳排放，農業機具正如汽車般朝向電動化發展，以提升能源效率並達到減碳效果。自2017年起，我國農業部開始補助酪農導入自動化省工設備，並引進智慧型推草餵牛機器人。截至2020年，全臺已有56臺推草機器人運行，部分牧場也開始使用「推草料暨餵精料機器人」及「自動配料及餵飼機器人」。然而，儘管電動設備在減碳方面具潛力，其具體減碳效果仍需進一步量化分析。因此，本研究針對不同能源方式下，電動餵飼機器人與傳統柴油TMR配料車在一年內的碳足跡進行比較，探討其減碳效益的差異。

## 材料方法

- 目標範疇界定與資料收集：**本研究的目的是評估電動餵飼機器人與傳統柴油TMR配料車碳足跡的比較，本研究的範疇界定在使用電動與柴油配置與餵飼TMR的碳足跡差異。2023年至2024年，調查中南部3戶使用自動配料及餵飼機器人和北部1戶使用傳統柴油TMR配料車的牧場，收集全年設備用電或柴有使用成本。自動配料及餵飼機器人機型分別為2台ONE2FEED（丹麥）及1台LucasG-IRM（法國）；則另1戶是使用傳統台製柴油TMR配料車。並同時紀錄設備導入成本、設備維護成本、人力使用成本與乳量。
- 碳足跡計算：**根據我國環境部氣候變遷署，台電每度電排放係數為0.7033kg CO<sub>2</sub>e（電力間接碳足跡 0.0973+電力碳足跡 0.606=0.7033），柴油設備在運行過程中直接排放CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>和其他污染物，計每1公升柴油排放係數為 3.32 kg CO<sub>2</sub>e。結合TMR配料與餵飼的能源活動數據乘上相應的排放係數得相對應之碳足跡。
- TMR配料與餵飼能源消耗表示：**為了統一比較，避免各場牛頭數與乳量的不同，導致碳足跡無法比較，故統一將各場碳足跡表示為每噸產乳量的TMR配料與餵飼碳足跡（kg CO<sub>2</sub>e/ton milk）。

## 結果與討論

結果顯示，以電動設備的配置TMR每噸生產乳量的碳排放約為13 kg CO<sub>2</sub>e/ ton milk，相較於傳統TMR配料車的 24 kg CO<sub>2</sub>e/ton milk（圖），減少了11 kg CO<sub>2</sub>e/ ton milk，等於可以減碳 45.8%（ $(24-13)/24=45.8\%$ ）。以100頭泌乳牛、每頭每日產乳25公斤計算，一年可減少約10,037.5 kg CO<sub>2</sub>e這相當於數千次高鐵旅程的碳足跡（單程苗栗至臺北為3.17 kg CO<sub>2</sub>e）。

目前關於酪農場使用自動配料及餵飼機器人與傳統柴油TMR配料車碳排放研究甚少，但我們可先參考電動汽車（electric vehicles）與內燃機（internal combustion engine）汽車出對環境效益之比較。目前多數研究強調，只有與可再生能源（renewable energy sources）電力互相結合才能實現電動汽車的全部環境效益（Sweeting, and Winfield, 2012; Ajanovic, 2015; Ajanovic, 2008）。我國的電力來源約80%為火力發電，依據環境部的資料，臺灣每度電代表0.7033公斤二氧化碳的排放量。

如今電動汽車的主要問題是與傳統內燃機汽車相比，汽車的購買價格較高，反觀酪農業也是相同的情形（表）。然而，未來的電池和燃料電池性能的改進，電動農機的競爭力將會更高。另外，根據台灣經濟研究院效益評估結果，自動餵飼系統產出之經濟效益主要來源為減少飼料浪費及提升產乳量，每日可減少 5-12 小時人力需求，其↓餵飼機器人每日平均餵飼次數可達 3-8 次，工作 12-24 小時且全年無休，增加工時的同時，更可減少人工超時或假日工作之加班費，可有效減少人力成本。未來將可引用工業技術協助農業設備提升，讓農機操控可以多元且低碳，促進農業升級。

### Carbon Emissions (kg CO<sub>2</sub>e/ton milk)

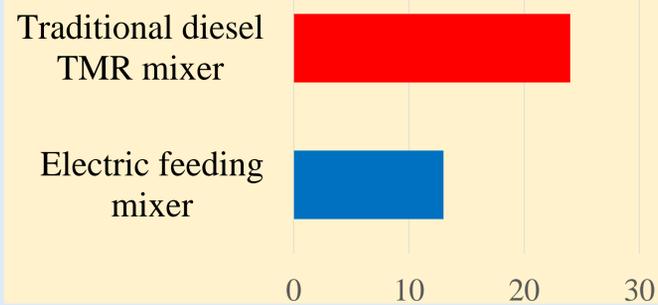


圖. 電動餵飼車與傳統柴油TMR配料車之碳排放  
Figure. Carbon emissions of electric feeding mixer and traditional diesel TMR mixer.

表. 電動餵飼車與傳統柴油TMR配料車在能源效率與成本效益方面的比較  
Table. Comparison of energy and cost efficiency between electric feeding mixer and traditional diesel TMR mixer

Item	Electric feeding mixer	Traditional diesel TMR mixer
Energy Source	coal, natural gas, hydroelectric power, wind energy, solar energy	petroleum refining
Energy Efficiency	50%-70%	20%-30%
Purchase Cost (10,000 NTD)	1,000-1,200	200-500
Maintenance Cost (10,000 NTD/year)	15-20	3-5
Feeding Frequency (times/day)	3-9	2-3
Labor Cost (hours/day)	1-2	2-4