

改良茶葉乾燥機熱效率之研究

張振厚¹ 黃惟揚² 林義豪² 劉銘純³ 巫嘉昌⁴

摘 要

傳統茶葉乾燥機因熱能損失之問題而造成能源消耗的浪費，本研究利用傳統型連續式茶葉乾燥機進行熱交換器改良及回收部分熱風之方法，進行升溫性能試驗及能源消耗評估。依據試驗結果，茶葉乾燥機熱交換器改良後，平均燃燒廢氣溫度降低約 35.2℃，燃油減少約 7.8%，加裝熱風回收管使部分熱風回收再利用，則平均進氣溫度可提升約 10℃，燃油消耗量減少約 17.9%，顯示改良型乾燥機之熱效率提升及熱能損失降低，因而減少燃油消耗量，達到節能減碳之目的。

關鍵字：茶葉、乾燥機、熱效率

前 言

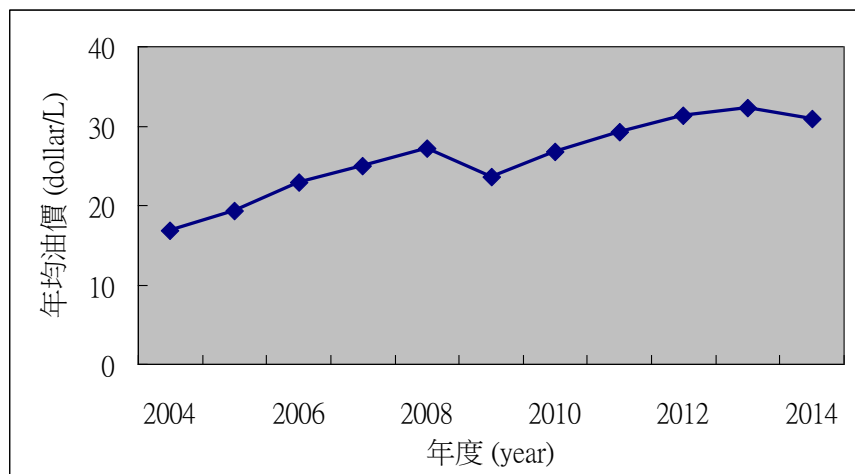
茶葉為穩定品質防止劣變及易於包裝儲藏，乾燥為必要且重要之製程，國內目前茶葉乾燥方式以熱風乾燥為多數，不論以電、瓦斯或油料燃燒為熱源，於製茶過程大多採用多次的乾燥程序，經過乾燥完成之粗製茶含水量以降至 3%~5%為宜 (徐、甘，1984；徐，1993)，乾燥的平均成本約佔固定成本的 37.97%，佔總成本的 10.16% (彭、李，1995)，所以茶葉乾燥需耗費相當多的能源及成本。

臺灣地區製茶業者現行茶葉乾燥機具主要有甲種乾燥機及乙種乾燥機二種，其他尚有適用於少量生產之機具，如真空乾燥機、箱型乾燥機及低濕乾燥機等，其中甲種乾燥機，又稱為連續式乾燥機，為目前使用最普遍之茶葉乾燥機具，屬單機半自動作

-
1. 行政院農業委員會茶業改良場 副研究員。臺灣 桃園市。
 2. 行政院農業委員會茶業改良場 助理研究員。臺灣 桃園市。
 3. 行政院農業委員會茶業改良場 技佐。臺灣 桃園市。
 4. 行政院農業委員會茶業改良場 研究員兼課長。臺灣 桃園市。

業，可連續入出料，作業量大，適合製茶廠或中、大型農戶茶葉大量生產使用，惟體積較大佔空間且採半開放式乾操作業，存在熱能損失之問題。另一款乙種乾燥機，為早期之小型茶葉乾燥設備，屬單機半開放式乾操作業，採批次入出料，較費時費工且作業量小，適合小量茶葉生產。

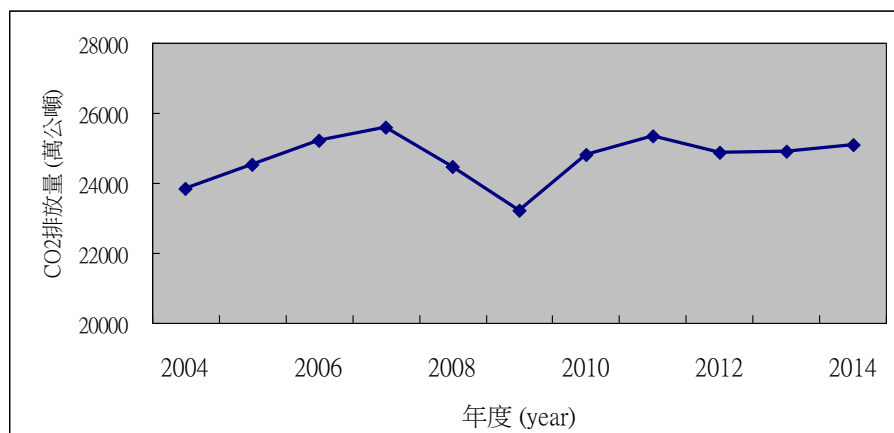
近年來能源價格高漲，以柴油價格而言，2004 年每公升年平均價為 16.85 元，2014 年已調漲為 30.84 元，十年之間漲幅高達 1.84 倍（圖一），間接增加製茶的成本與農民的負擔。此外溫室效應之環保問題日益嚴重，2014 年全國總排碳量為 23,851 萬公噸，較 2004 年增加 1,253 萬公噸（圖二），茶葉加工製造過程亦同時產生二氧化碳的排放，因此追求節能生產技術及提高能源利用效率之需求愈加迫切。以燃油式的連續式茶葉乾燥機之能源效益而言，其燃油耗費的成本及二氧化碳排放量均佔 97% 以上，用電所佔的比例相對微小（圖三），所以欲達到節能減碳之目的，應以減少燃油消耗量為主要目標（張，2012）。本研究利用傳統型連續式茶葉乾燥機進行改良，著重於提升熱效率及回收部分殘餘熱能，減少熱能損失以節省燃油，並進行乾燥機性能試驗及能源消耗比較評估，研究成果提供茶產業界參考，期能減少能源損耗及降低臺茶產製成本，以達到節能減碳之目的。



（資料來源：經濟部能源局，2014）

圖一、柴油年平均價格趨勢圖

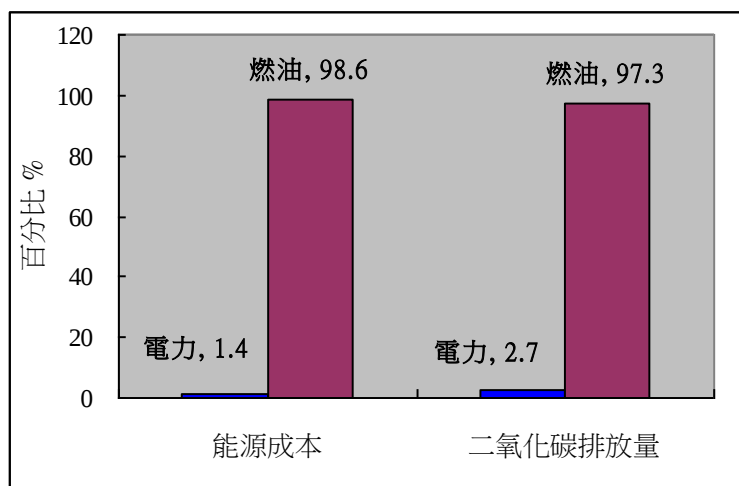
Fig. 1. The average prices of diesel fuel per year in Taiwan



(資料來源：經濟部能源局，2014)

圖二、臺灣二氧化碳年總排放量趨勢圖

Fig. 2. The total emission of carbon dioxide per year in Taiwan



圖三、連續式茶葉乾燥機能源成本與碳排放量百分比

Fig. 3. The percentage of energy cost and carbon emission for continuous type tea dryer

材料與方法

一、供試材料：

1. 傳統型連續式茶葉乾燥機 (處理前, 圖四), 規格為茶葉輸送板片寬度 120 公分, 共 180 片, 3 相 220V 電源, 以燃燒柴油為熱源, 輸送帶速度、風量、溫度、撥茶器轉速等可設定調整。
2. 熱電偶溫度感測器 (K Type) 3 支。
3. 改良型熱交換器 (圖五) 1 組。
4. 熱風回收管 (口徑 18 x 36 cm) 2 組。
5. 數位臺秤 (精度: $\pm 0.005\text{kg}$) 1 臺。
6. 溫溼度計、風速計、計時碼錶等量測用儀器。
7. 市售超級柴油。



圖四、傳統型連續式茶葉乾燥機

Fig. 4. A traditional continuous type tea dryer



圖五、改良型熱交換器

Fig. 5. An improved heat exchanger

二、試驗方法及步驟：

1. 量測連續式茶葉乾燥機之風量、溫度等數值與操作參數之對應關係並進行調校，建立操作設定值之相關資料，安裝溫度感測器於進氣口、熱風口及燃燒廢氣排放口，量測記錄溫度。
2. 依操作參數與設定值之對應關係，設定乾燥機操作值：熱風溫度 100℃、風量約 65 m³/min (Cubic Meter Per Minute, CMM)。
3. 數位臺秤置於乾燥機旁便於觀測之位置，將柴油桶置於臺秤上以量測耗油量，試驗前將臺秤歸零，採用減重計量模式。
4. 乾燥機性能試驗：本研究主要比較乾燥機改良前後之能源消耗差異，為求試驗比較基準一致，避免因茶葉不同含水率及室溫差異等因素的影響，以乾燥機在無負載狀態（未置入茶葉）下測試，且每次試驗選擇晴天室溫 28.5 ± 0.5℃進行。量測記錄室溫，啟動送風機及柴油燃燒機，乾燥機將熱風溫度自室溫加熱升溫至設定溫度 100℃（乾燥艙熱風入口處之溫度），並控制溫度於設定溫度，自啟動柴油燃燒機開始，每 0.5 分鐘量測記錄耗油量、熱風溫度、進氣溫度、燃燒廢氣溫度與時間，測試時間至少 20 分鐘以上，試驗 3 重複取平均值，每次試驗重複步驟 3~4。
5. 連續式茶葉乾燥機更換改良型熱交換器（處理 A），重複步驟 3~4。
6. 乾燥機更換改良型熱交換器及加裝熱風回收管（處理 B，圖六），重複步驟 3~4。
7. 依據耗油量、熱風溫度、進氣溫度、燃燒廢氣溫度與時間關係，比較分析乾燥機改良前後之熱效率及性能差異，評估其減碳效果與成本效益。

結果與討論

1. 由乾燥機熱風溫度圖（圖七）顯示，熱風未達設定溫度前為升溫段，此階段柴油燃燒機處於持續運轉狀態，故燃油消耗量最大（圖八），熱風溫度由室溫持續升溫，乾燥機處理前之熱交換器無加裝鰭片，燃燒熱能直接傳遞於熱風，故單位時間熱風升溫較快，但達到目標溫度之時間則與處理 A 及處理 B 相近，乾燥機處理 A 及處理 B 之熱交換器均附加鰭片，部分燃燒熱能為鰭片吸收再傳遞於熱風，故單位時間熱風升溫較慢，但熱傳速率較均勻，其中處理 B 加裝熱風回收管使部分熱風回收再利用，升溫及達到目標溫度之時間較處理 A 快。當熱風溫度達到目標溫度之後轉為控溫階段，此階段為保持熱風於設定溫度，柴油燃燒機處於間歇運轉狀態，當熱風溫度低於設定溫度，則須開啟柴油燃燒機加溫，熱風溫度高於設定溫度則關閉，因此燃油消耗量趨緩，且處理 B

及處理 A 的燃油消耗量均少於處理前，顯示乾燥機經過改良後，熱效率提升，燃油消耗量減少。

2. 乾燥機進氣溫度為送風機前之空氣溫度，由進氣溫度圖 (圖九) 顯示，柴油燃燒機啟動後，乾燥機周邊的空氣亦處於加溫的狀態，且乾燥機之熱風排出口與進氣口為同一側，故進氣溫度有逐漸上升的趨勢，其中處理 B 的溫度明顯高於處理前及處理 A，所以乾燥機加裝熱風回收管，回收部份熱風，有助於提升進氣溫度，提高熱效率。
3. 燃燒廢氣溫度為柴油燃燒後，廢氣排放口的溫度，由燃燒廢氣溫度 (圖十) 顯示，處理 B 及處理 A 的溫度明顯低於處理前，表示熱交換器附加鰭片後，因熱傳面積增加，減少燃燒熱能損失，故燃燒廢氣溫度降低，控溫階段的廢氣溫度呈上下變動，振幅大於處理前，但頻率較少，表示因熱效率提高，柴油燃燒機開啟的頻率減少，間隔運轉的時間增加，減少燃油的消耗，且處理 B 溫度較早進入控溫階段，顯示熱風回收有助於熱風溫度較快達到目標溫度，因此柴油燃燒機停止加溫，故燃燒廢氣溫度降低。
4. 效益評估：由燃油消耗量 (圖八)，顯示乾燥機處理前與處理 A 及處理 B 於升溫段差異不大，此階段燃油消耗量最大，柴油燃燒機處於持續運轉加溫狀態，故難以評估其處理效益差異，因此以控溫階段之平均燃油消耗量、平均進氣溫度、平均燃燒廢氣溫度為指標進行評估，試驗結果如表一所示。處理 A 之平均進氣溫度與處理前相近，而處理 B 則提升約 10°C，平均燃燒廢氣溫度降低約 35.2°C，燃油減少率各約 7.8% 及 17.9%，顯示乾燥機無論改良熱交換器或加裝熱風回收管，均可達到節省燃油的目的。
5. 燃油成本與減碳量評估：依據經濟部能源局 (2014) 統計之燃油年均價及二氧化碳排放量參數 (詳如下列二式) 計算年減燃油成本及年減碳量，並以乾燥機年運轉時數 200 小時及 300 小時估算，結果如表二。依估算數據所示，乾燥機之年運轉時數越多，意即使用率越高，則節能減碳的效果越明顯，乾燥機改良的效益越高。

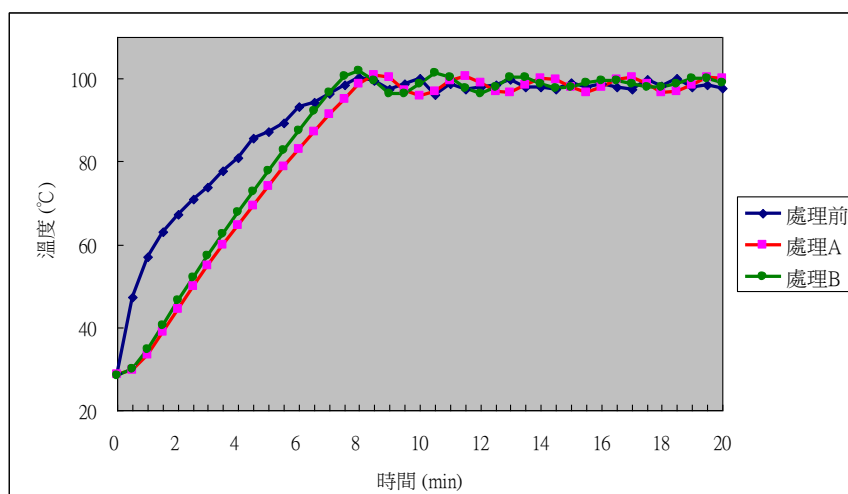
(1) 柴油年均價：30.85 (NT\$/L)

(2) 柴油二氧化碳排放量：2.606 (kg/L)



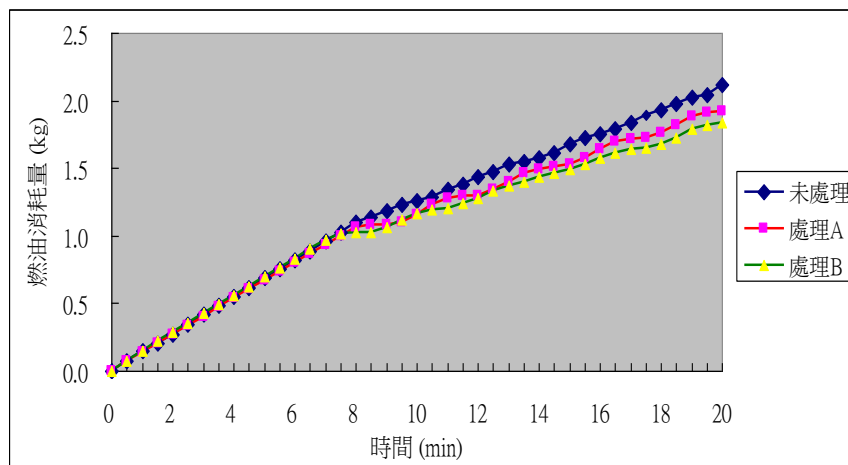
圖六、改良型連續式茶葉乾燥機

Fig. 6. An improved continuous-flow type tea dryer



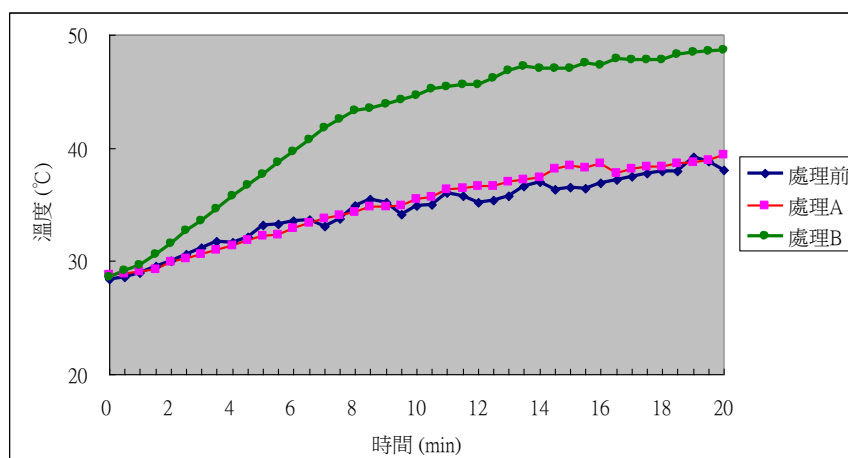
圖七、茶葉乾燥機熱風溫度圖

Fig. 7. The temperature of hot air in tea dryer



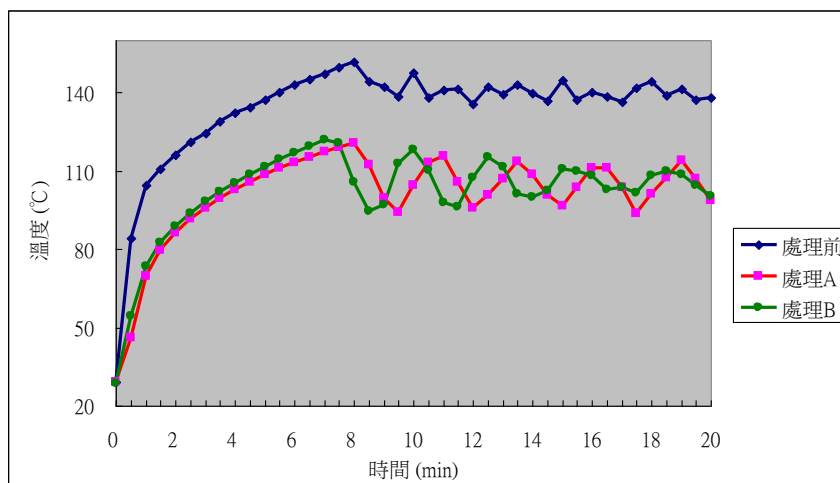
圖八、茶葉乾燥機燃油消耗量

Fig. 8. The fuel consumption of tea dryer



圖九、乾燥機進氣溫度

Fig. 9. The temperature of input air in tea dryer



圖十、乾燥機燃燒廢氣溫度

Fig. 10. The temperatures of combustion exhaust gas in tea dryer

表一、乾燥機改良效益評估比較表

Table 1 The comparison of improved efficiency evaluation for tea dryer

	平均進氣溫度 (°C)	平均燃燒廢氣溫度 (°C)	平均耗油量 (L/hr)	燃油減少率 (%)
處理前	36.5	140.8	5.82	0.0
處理 A	37.2	105.6	5.36	7.8
處理 B	46.5	105.5	4.78	17.9

註：燃油減少率以處理前平均耗油量為計算基準。

表二、乾燥機燃油成本減少與減碳量評估比較表

Table 2 The comparison of fuel cost and carbon reduction evaluation for tea dryer

年運轉時數	年減燃油成本 (元)		年減碳量 (kg)	
	200h	300h	200h	300h
處理前	0	0	0	0
處理 A	2,799	4,198	236	355
處理 B	6,408	9,612	541	812

結 論

本研究以製茶業者慣用之作業模式及較低的設備改良成本，利用傳統型連續式茶葉乾燥機進行熱交換器及部分熱風回收改良，並測試其耗油性能及評估比較，依試驗結果顯示，乾燥機無論改良熱交換器或加裝熱風回收管，均可達到節能減碳的目的，且乾燥機之年使用率越高，節能減碳的效果越明顯，意即設備改良所投入的成本，回收的年限越短，衍生的經濟效益越高。所以改良乾燥機之熱交換器及熱風回收以提升其熱效率是達到節能減碳目的之可行方法，預估改良成本，處理 A 將增加設備成本約 4.5%，處理 B 則增加設備成本約 10%。未來可就熱交換器的設計及熱風回收的比例進一步探討，謀求較佳的組合與控制，以提升乾燥機的性能，其他熱源如瓦斯或電熱等之能源效益以及新型之茶葉乾燥機具，亦值得研究，期能減少能源損耗與降低製茶成本，順應節能減碳之趨勢。

參考文獻

1. 徐英祥、甘子能. 1984. 包種茶烏龍茶製造法. 八萬農業建設大軍訓練教材. 農業委員會與臺灣省政府農林廳. pp. 24-25。
2. 徐英祥. 1993. 包種茶再乾與焙火. 茶業專訊 4: 3-5。
3. 彭錦樵、李清柳. 1995. 部份發酵茶製茶成本分析研究. 農林學報 44(2): 83-90。
4. 張振厚. 2012. 傳統型連續式茶葉乾燥機之能源效益探討. 臺灣茶業研究彙報 32: 145-158。
5. 經濟部能源局全球資訊網. 2014. 取自 <http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/home/Home.aspx>

A Study on Heat Efficiency of the Improved Tea Dryer

Cheng-Hou Chang¹ Wei-Yang Hwang² Yi-Hao Lin²
Ming-Chun Liu³ Chia-Chang Wu⁴

Summary

The continuous type of tea dryer is popular and important machine in tea processing, but the excess energy consumption and heat lost in tea processing operations should be improved. The study would improve heat efficiency of the tea dryer by improved heat exchanger and recycled partial hot air and then operated preheated test for energy consumption evaluation. According to the results of experiments, the average temperature of combustion exhaust gas in tea dryer with improved heat exchanger was decreased 35.2°C and fuel consumption was reduced 7.8%. In tea dryer with recycled hot air, the average temperature of input air increased 10°C and fuel consumption reduced 17.9%, that showed the improved tea dryer which might increase heat efficiency and decrease heat lost. So the improved tea dryer could reduce fuel consumption and carbon dioxide emission.

Key words: Tea, Dryer, Heat efficiency

-
1. Associate Researcher, Tea Research and Extension Station, Taoyuan, Taiwan, R.O.C.
 2. Assistant Researcher, Tea Research and Extension Station, Taoyuan, Taiwan, R.O.C.
 3. Junior Specialist, Tea Research and Extension Station, Taoyuan, Taiwan, R.O.C.
 4. Chief of Tea Machinery Section, Tea Research and Extension Station, Taoyuan, Taiwan, R.O.C.

