

玉米穗軸燃燒爐之研製與試驗

A Research on the Design and Experiments of a Combustion System for the Corncob

國立台灣大學農業機械系副教授

吳 中 興

Wu, Chung-Hsing

摘 要

近年來因本省稻米生產供過於求，而且進口雜糧之數量不斷提高，因此部份水稻田轉作飼料玉米。在玉米收穫季節裏，大量的玉米穗軸棄置於田野，若任其腐敗，將產生嚴重的環境污染問題。

本研究的重點，在於設計一造價低廉之玉米穗軸燃燒爐，及其相關的周邊設施。本燃燒系統，在建造完成之後，歷經數次的燃燒試驗，證實其燃燒效果良好，適合省產玉米穗軸之燃燒處理之用。

Summary

In recent years, the amount of rice production in Taiwan is far more than the demand of domestic market. The importation of grain increases year by year. Therefore, part of paddy fields cease the plantation of rice and start raising the corn for feed use. During the harvest season, a lot of corncob is left on the field. The rotten corncob will pollute our living environment.

This research emphasizes on the design of a low cost corncob furnace matched with its loading facility. Through the experiments of this combustion system, it is proved to be suitable for the handling of domestic produced corncob.

一、前 言

隨著國內經濟環境之進展，社會繁榮，國民對食物之品質要求，亦不斷提高，帶動了畜牧業及養殖業之蓬勃發展，業者所需要之飼料玉米，數量亦不斷增加。為減少對進口玉米之依賴，以及舒緩稻米生產過剩，且出口不易之情況，部份農地開始轉作飼料玉米。至民國七十四年，飼料玉米栽培面積，已達47,819公頃⁽¹⁾。當國產玉米採收並脫粒之後

，約半獲體積之玉米軸心的處理，便成為飼料玉米收穫後處理之一大難題。一個標準的農會玉米穗乾燥中心，在收穫季節裏，一天可堆積含水率百分之二十的玉米軸心二十二公噸，然而玉米穗軸之纖維不長，營養成份及經濟價值均不高，數量又極為龐大，很難完全轉做飼料添加物，合板填料，或製造堆肥之用，其剩餘部份，若棄置於地，成為蚊蠅孳生之溫床，將嚴重污染我們生存的環境。這部份棄置於地之玉米軸心，若就近採用焚化法來處理，可

減少其大部份之體積，燃燒時所產生之熱能，又可做為農村有用之熱源，實為一可行的穗軸處理方式。民國七十三年，蔡慶隆、陳貽倫、呂端明等人，曾針對全省各地農會碾米廠，稻殼處理方式，做過問卷調查⁽²⁾，並研製成功旋風式稻殼燃燒爐⁽³⁾，這是本省處理農產品廢棄物之先例。至於玉米穗軸之處理，則是另一個新近發生之課題。本研究研製一玉米穗軸焚化爐，盼望有助於解決本省目前推行稻田轉作工作時，所面臨的玉米穗軸處理問題。

二、文獻探討

吳中興、鄭景亮⁽⁴⁾曾嘗試建立玉米穗軸燃燒過程之理論分析模式，藉以模擬燃燒室內之溫度分布。Anderson 等人⁽⁵⁾分別將玉米穗軸，玉米桿，大豆桿，木屑及樹葉，放入一旋風式燃燒爐內燃燒，並利用其熱能來乾燥玉米粒，而以往美國穀類乾燥所需要之氣體燃料，多選用丙烷或天然氣，每年消耗燃料所含之熱能，相當於壹仟伍佰萬桶原油之熱含量⁽⁶⁾。本省民國七十四年，飼料玉米產量為175,701公噸⁽¹⁾，全年乾燥作業所消耗之高級柴油及煤油之總數，估計為伍佰柒拾萬公升。

在各種農作物收穫過程中，多有可觀的農產品廢棄物，棄置於田野之上。全美國十種主要作物每年估計可生產三億六千五百萬公噸之廢棄物，以目前的農業生產技術，其中的七千二百萬公噸，可當

作燃料使用⁽⁷⁾。因此若能善加利用，農產品廢棄物及生質能，將成為容易大量獲得，而且成本相當低廉之乾燥能源。至西元兩千年之前，生質能的利用，在農業生產上所消耗能源之比重，估計可達百分之五⁽⁸⁾。

一公頃玉米所產生之廢棄物，所含之熱能相當可觀，足以乾燥十公頃以上玉米田所生產之玉米⁽⁹⁾。啤酒花收穫後之廢棄物，所含熱能，比其乾燥作業所需能量，多出二至三倍⁽⁹⁾。欲將這些廢棄物所含之熱能，應用在農產品加工方面，首先需設計高效率之燃燒爐，國外近年來有多篇這方面的研究^(10,11,12,13,14)，其重點多偏重於燃燒試驗。

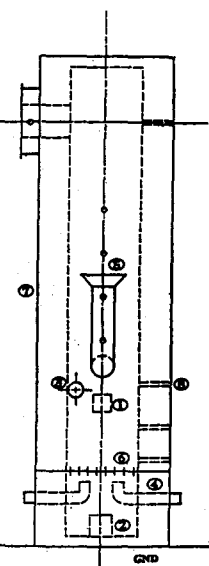
三、材料與方法

(一) 燃燒系統之研製

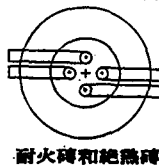
本研究所製作之燃燒系統，燃燒炬形狀為一立式圓柱體。其外徑為1211mm，高為4500mm，各主要部份及其相關尺寸見圖一及圖二。爐內部主體係以高鋁質耐火隔熱磚砌成，其外圍則由一般建築用紅磚砌造。爐外壁以堅固之鋼質圓筒被覆，構成一結構堅強，絕熱效果良好的燃燒爐本體。燃燒室正面留有一活動式點火口，爐底設有一邊長217mm之排渣口，主通風管係由四根長度800mm，直徑4英吋之鐵管構成，其出風口位置，高度距火格子100mm，水平位置之分配見附圖1，其每根風管

此燃燒爐吾人設計之各部尺寸如下：

- ①點火口：邊長15cm活動門。
- ②排渣口：邊長21.7cm活動門距地面10cm(如圖)。
- ③二次進風口：風口圓心距外壁36cm出口孔打在如圖之背面對準⑤出料口，欲以切線進風方式進入，需作風管(2 INCH PIPE)。
- ④底層主進風管：直徑4INCH 長度80cm PIPE 共四根鐵管注意外壁打孔位置距地面高度及風出口位置(距火格子10cm)風口之配置如附圖一；四點每點距圓心15cm。



附圖一：
底層風口配置四點平均分配每點圓心距爐心15cm



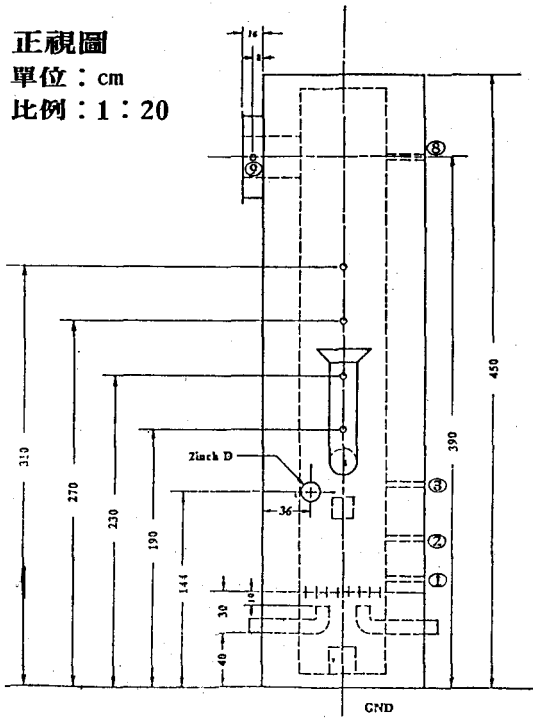
附圖二：
火格子由1.2cm寬板狀鐵條間隙亦是1.2cm內圓直徑65.1cm外接四鐵條焊接(須焊牢)

- ⑤進料口：直徑20cm連同彎曲部分共長約130cm，打孔時請注意其欲以45°斜角進料口圓心距地面180cm。
- ⑥火格子：鐵條(板狀或條狀)1.2cm，間隔1.2cm，如附圖二。
- ⑦外表皮：由4mm鐵板製皮。
- ⑧外壁打孔：直徑3cm共8孔距地面80, 110, 150, 190, 230, 270, 310, 390處各打一孔。

圖一 燃燒爐細部設計解說

之圓心與爐體中心線距離均為 150mm。為使玉米穗軸燃燒更為完全，在離地面1440mm處，增設一個二次通風口，通風口管徑為 2 英尺，風口圓心距離外壁360mm，並對準進料部份之出口處，使輔助風量得以在切線方向進入燃燒室。玉米軸心進料通道外徑 200mm，長 1300mm。通道之一端外接一45度斜度之漏斗型進料槽，另一端則以45度之斜角嵌入燃燒爐爐壁之內，出口中心點離地面 1800mm。爐體最上方，由孔隙 8mm×8mm之粗鐵絲網為骨架，再用水泥密封。爐體側面，距地面 3900mm處開一圓柱型爐氣排放口，圓柱長 160mm，以俟未來可加裝一旋風分離筒，以減少空氣污染之現象。燃燒室底端之火格子，由12mm寬之板狀鐵條構成。鐵條間隙亦為 12mm，火格子直徑為 651mm，由外接之四根鐵棒牢固地焊在爐壁上，以承受燃燒室內玉米穗軸重量所施予之壓力。為了量度方便起見，在爐體外壁共鑽出外徑30mm之小孔八個，離地面之高度分別為 80mm，110mm，150mm，190mm，230mm，270mm，310mm，及 390mm。燃燒爐之排氣口，外徑600mm，內徑 300mm，其出口中心距離地面 390mm。燃燒爐之各部細部構造及尺寸，詳見側視圖（圖三），上視圖（圖四）

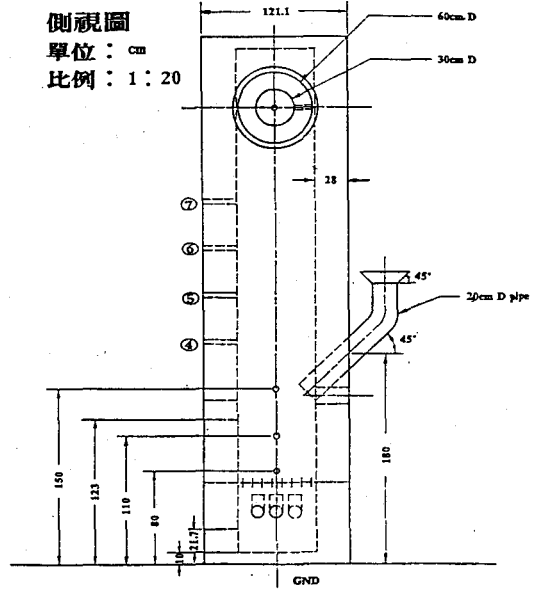
正視圖
單位：cm
比例：1：20



圖二 燃燒爐正視圖

，及剖面圖（圖五）。

本研究所研製之燃燒爐及其周邊設備繪於圖六。



圖三 燃燒爐側視圖

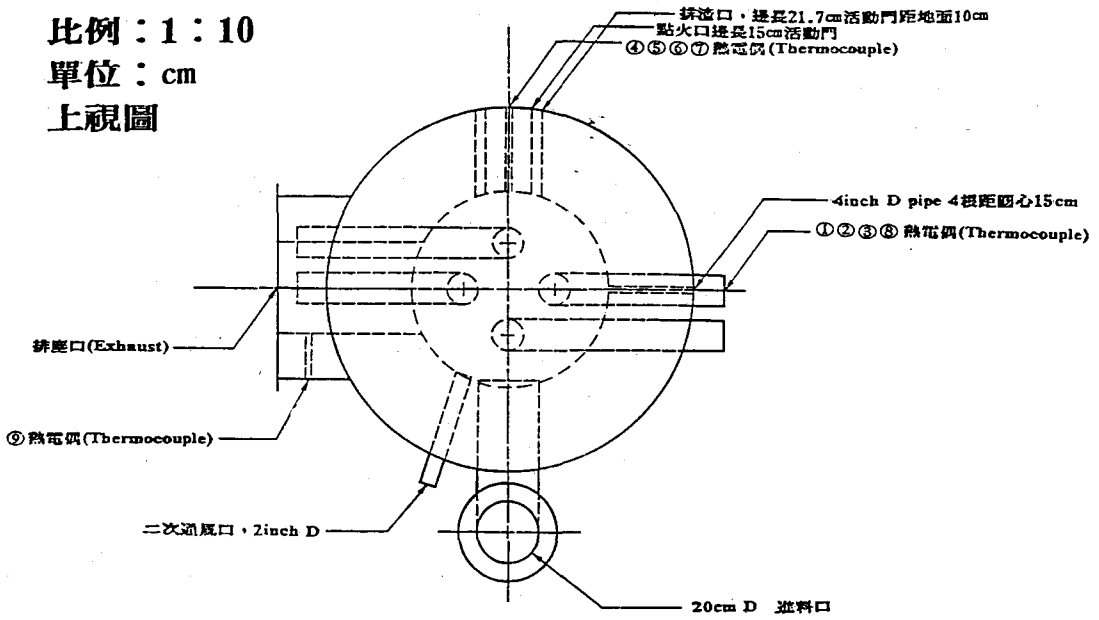
(二)燃燒系統之試驗

本研究之燃燒系統，其實驗儀器裝置之流程圖見附圖七。

燃燒開始前，將玉米穗軸稱重之後，傾放在輸送帶上，經輸送至進口之後，進入燃燒室。待燃燒室內玉米軸心已堆積至 530mm高(約30kg)時，將均勻灑上1.6公斤煤油之玉米軸心 100mm(約 2 公斤)，均勻灑佈在已堆積之軸心上層。點火時，以紙張將撒有煤油之玉米軸心引燃，並開啓主送風口之送風機。此時因為主風口之風量，不足以供給足夠的氧氣使玉米軸心完全燃燒，故排塵口冒出濃煙，而燃燒室溫度亦不斷升高。五分鐘後，當玉米軸心燃燒漸趨穩定之後，再開啓二次風口之送風機，使輔助風量以渦流方式，在切線方向旋入燃燒室之內，並以穩定的進料速率，將玉米軸心經輸送帶送入燃燒爐之內。

燃燒進行時，燃燒爐內各部份，在不同時間之溫度分佈情形及廢氣溫度，依附圖一所示之各測點位置，使用 ECD'S NEW 320T THERMOCOUPLE DATALOGGER 測定並記錄之。為瞭解燃燒爐之熱損失情況，爐外壁溫度，以 YAMATAKE-HONEYWELL 公司之多點溫度記錄器，

比例：1：10
單位：cm
上視圖

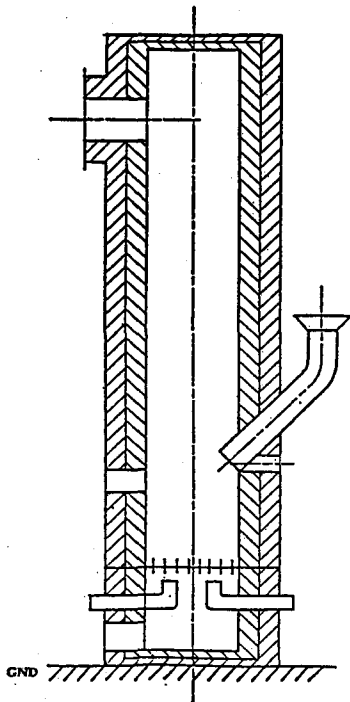


圖四 燃燒爐上視圖

測定並記錄之。

出口處之排塵量測定，係使用 HVC-500 含塵量測定器量度。

剖面圖



圖五 燃燒爐剖面圖

四、試驗結果

本研究工作所研製成功之玉米穗軸燃燒爐，歷經多次的燃燒試驗，以及設計修正之後，證實其燃燒效果良好，適合於玉米穗軸之燃燒處理之用。

本燃燒系統試驗中，其燃燒行為之代表性結果如圖八、九與十所示。圖八為九個溫度測點，歷經十個小時之溫度測定所獲得之結果。由該圖可以清楚的看出在每一瞬間，爐內各不同部份之溫度分佈，以及爐內各部份之溫度隨時間變化之情形。以第三溫度測點與第九溫度測點為例，其溫度對時間之暫態反應，可分別以下列兩式表示：

$$T = 0.9t^5 - 27t^4 + 305t^3 - 3378t - 1609 \quad (6.1)$$

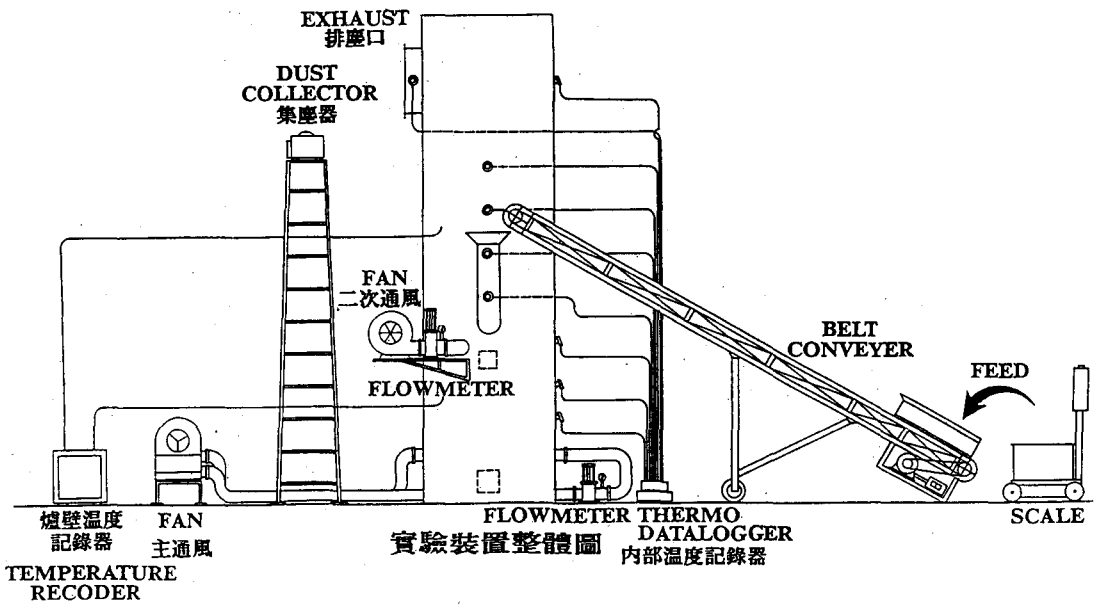
$$T = -2.2t^4 + 50t^3 - 391t^2 + 1078t - 278 \quad (6.2)$$

圖九為各溫度測點在燃燒進行之溫度分佈情形；圖十則為玉米穗軸停止進料之後，各溫度測點之溫度降溫情況。以第三溫度測點與第九溫度測點為例，其冷卻過程中，溫度對時間之暫態反應，可以分別以下列兩式表示：

$$T = 1.7t^2 - 0.02t + 8.93$$

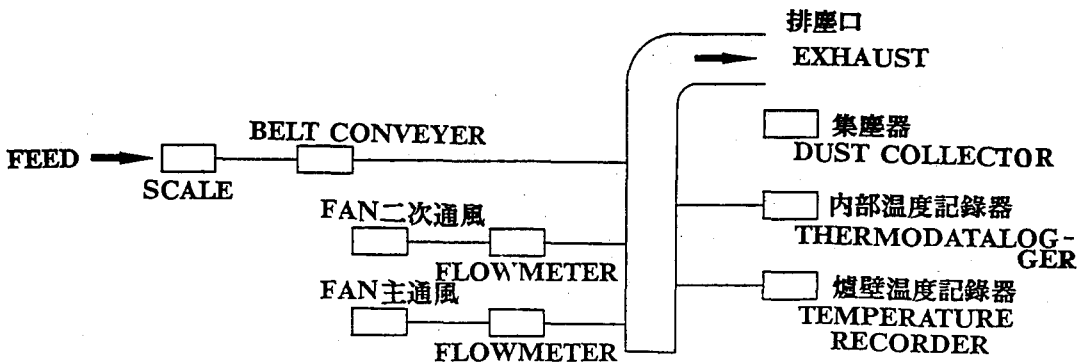
$$T = -2.5t^3 + 64t^2 - 560t + 1783$$

由停止進料至爐內各點溫度降低至趨近於大氣溫度，耗時約七個小時，顯示出爐體外部絕熱性能良好。良好的絕熱性能有助於燃燒過程中，爐內各



圖六 燃燒系統試驗補置整體圖

儀器裝置流程圖



APPARATUS

圖七 燃燒系統儀器裝置流程圖

部份溫度迅速梯昇，使燃燒熱能之再利用時，有效熱能 (availability) 增加，進而導致熱交換過程中之熱效率提高。

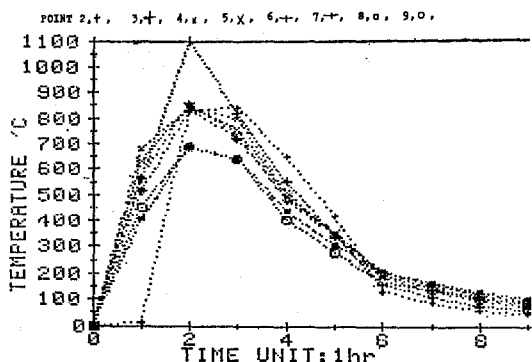
五、討論與建議

本燃燒爐設計之初，係以每分鐘 1.5 公斤之玉米穗軸，為處理之標準。若在不變更爐體尺寸之情況下，欲更進一步提高其處理玉米穗軸之能力，可

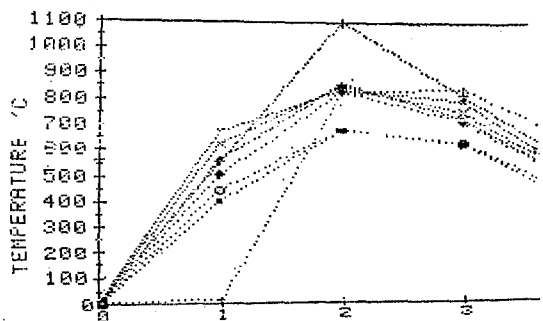
將進料口有限度的加大，並增加主風量及輔助風量，仍可達到完全燃燒之目的。

在每次燃燒試驗之後，檢視本燃燒系統之排渣口，發現殘餘灰份量不多，顯示燃燒系統之燃燒功能良好。然而因為在玉米穗軸進入燃燒爐之過程中，亦難免雜夾有石塊及金屬等異物，這類異物在燃燒過程之中，仍無法完全藉燃燒而減縮其體積至烏有。其殘餘物質可能將格子堵住，而阻擋灰份下降

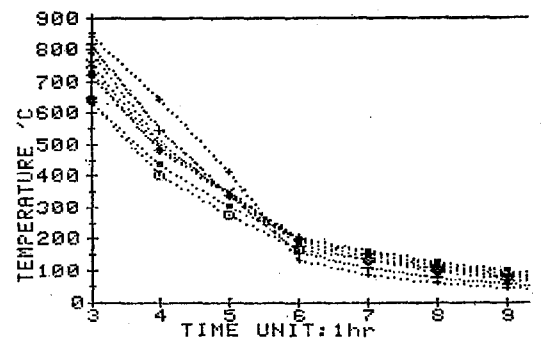
至排渣口，並且增加主風量吹送時之風阻。為解決此問題，在日後燃燒爐設計之時，須預留一人孔，做為清除石塊、鐵塊等異物之用。



圖八 燃燒爐內部溫度暫態分佈圖



圖九 燃燒進行中爐內各部份溫度分佈圖



圖十 燃燒停止後爐內各部份溫度分佈圖

在舉國上下，提高環境品質並消除污染聲中，本燃燒爐系統在推廣之後，仍須加裝旋風分離筒，以大大的減少，因燃燒所產生之微小粒子，在空中之飄浮量。這也是農業現代化過程之中，所須同時顧及之課題。

本燃燒系統在燃燒過程之中，燃燒室內之溫度將超過攝氏一仟度。在如此高的溫度環境下，高含

水率的玉米穗軸，仍可順利的完成燃燒作業。目前政府在斗南、六脚、台東、新營及義竹等地農會，成立了大型玉米穗乾燥中心。在此一貫作業的體系下，每日將有大量的穗軸產生。如何適當的處理這些穗軸，使其不污染人類生態環境，遂成爲一重大的問題。本燃燒系統，可結合熱交換裝置，將穗軸燃燒時所逸出之熱能，輸送至玉米粒循環式乾燥機內，做為玉米粒乾燥時之熱源，而大大減低所需之燃料油消耗量。

爲增加本燃燒系統之年使用率及其泛用性，農民尚可使用本燃燒爐來處理其它各種農產品廢棄物，並將其熱能輸送至玉米或稻米乾燥機內，做為乾燥作業之輔助性熱源，以降低農業生產之成本，並且使農業生產走向現代化過程之中，又邁進一大步。

誌 謝

在本研究工作進行當中，承蒙農業機械研究發展中心呂端明先生，臺大農機系林華火先生，以及吳世偉，陳俊豪，藍少銘，張文化，陳佑良等同學，協助試驗工作之進行，謹此誌謝。

參 考 文 獻

- (1) 台灣省政府農林廳，1986。台灣農業年報24—27。
- (2) 蔡慶隆，1983。稻殼燃燒熱能利用之研究(一)，台大農機系研究報告第二號。
- (3) 蔡慶隆，陳貽倫，1984。稻殼燃燒熱能利用之研究(二)，中國農業工程學報30(4)：107—113。
- (4) 鄭景亮，吳中興，1986。玉米穗軸燃燒爐及其集塵系統之理論研究，中國農業工程學報32(1)。
- (5) Anderson M. E., Bern C. J., and Baker J. L., 1983. Corn Drying with Biomass Combustion Products. ASAE paper no. 83-3005. Am. Soc. Agric. Engr., St. Joseph, MI.
- (6) Morey, R. V., and Thimsen D. P., 1981. Combustion of Crop Residues to Dry Corn. Agricultural Energy. Vol. 1: 142. Am. Soc. Agric. Engr., St. Joseph, MI.
- (7) Stout B.A., 1984. Energy Use and Management in Agriculture. Breton Publishers. Pg. 172.
- (8) Verma L. R., and Jacobsen L., 1986. On-Farm Rice Drying Energy Use. ASAE paper no. 86-3007. Am. Soc. Agric. Engr., St. Joseph, MI.
- (9) Kranzler G. A., and Stone M. L., 1982. Perfor-

- mance of a Direct Combustion Biomass Furnace. ASAE Paper no. 82-3604. Am. Soc. Agric. Engr., St. Joseph, MI..
- (10) Have H., and Pedersen T.T., 1983. Heat energy from wet biomass by combined drying, combustion and heat recovery. ASAE paper no. 83-3008. Am. Soc. Agric. Engr., St. Joseph, MI..
- (11) Lambert A. J., 1983. Designing wood burners for crop drying. ASAE paper no. 83-3004. Am. Soc. Agric. Engr., St. Joseph, MI..
- (12) Waddle D.B., 1985. Rice hull energy uses in the Philippines. ASAE paper no. 85-5507. Am. Soc. Agric. Engr., St. Joseph, MI..
- (13) Sukup C.E., and Bern C. J., 1982. Performance of a biomass furnace for grain drying. ASAE paper no. 82-3524. Am. Soc. Agric. Engr., St. Joseph, M. I..
- (14) Foster G. H., and Tuite J., 1982. Combination drying with renewable energy. ASAE paper no. 82-3522. Am. Soc. Agric. Engr., St. Joseph' M.I..

(文接第111頁)

- Drying Theory, Part I: Temperature Effect on Drying Coefficient. *Journal Agricultural Engineering Research*, 6: 169-173.
14. Henry, P.S.H. 1937. Diffusion in Absorbing Media. *Proceeding Royal Society, London*, 171: 215-241.
15. Huang, T. and W. W. Gunkel. 1974. Theoretical and Experimental Studies of the Heating Front in a Deep Bed Hygroscopic Product. *Transactions of the ASAE*, 17: 346-354.
16. Husain, A., C. S. Chen, J. T. Clayton, and L. F. Whitney. 1972. Mathematical Simulation of Mass and Heat Transfer in High Moisture Foods. *Transactions of the ASAE*, 15: 732-736.
17. *International Critical Tables*, Vol. V. 1932. McGraw-Hill Book Co., New York, NY.
18. Jindal, V. K., N. Mohsenin and J. V. Hustred. 1974. Surface Area of Selected Agricultural Seeds and Grains. *Transactions of the ASAE*, 17: 720-725, 728.
19. Kusumowardhoyo, M. A. 1980. Theory of Moisture Movement in Agricultural Grain and Its Simulation during Solar Drying. PhD Dissertation, University of Florida, Gainesville, FL.
20. Lapidus, L. and G. F. Pinder. 1981. Numerical Solution of Partial Differential Equations in Science and Engineering. Princeton University Press, Princeton, NJ.
21. Luikov, A. V. 1964. Heat and Mass Transfer in Capillary-Porous Bodies. Academic Press, New York, NY.
22. Pasternak, I. S. and W. H. Garvin. 1960. Turbulent Heat and Mass Transfer from Stationery Particles. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 38: 35-47.
23. Ranz, W. E. and W. R. Marshall. 1952. Evaporation from Drops, Part I. *Chemical Engineering Progress*, 48: 141-146.
24. Ranz, W. E. and W. R. Marshall. 1952. Evaporation from Drops, Part II. *Chemical Engineering Progress*, 48: 173-180.
25. Rowe, P. N., K. T. Claxton and L. B. Lewis. 1965. Heat and Mass Transfer from a Single Sphere in an Extensive Flowing Fluid. *Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, 43: 14-31.
26. Saboya, F. E. M. and E. M. Sparrow. 1974. Local and Average Transfer Coefficients for One-Row Plate Fin and Tube Heat Exchanger Configurations. *Journal of Heat Transfer*, 96: 265-272.
27. Sheng, C. T. 1985. Mass Transfer Coefficient of Corn Kenrels in Drying. PhD Dissertation, University of Minnesota, St. Paul, MN.
28. Sherwood, T. K. 1929. The Drying of Solids (i). *Industrial and Engineering Chemistry*, 21: 12-16.
29. Skelland, A. H. and A. R. H. Cornish. 1963. Mass Transfer from Spheroids to an Air Stream. *AIChE Journal*, 9: 73-76.
30. Steinberger, R. L. and R. L. Treybal. 1960. Mass Transfer from a Solid Soluble Sphere to a Flowing Liquid Stream. *AIChE Journal*, 6: 227-232.
31. Yuge, Y. 1960. Experiments on Heat Transfer from Spheres Including Combined Natural and Forced Convection. *Journal Heat Transfer*, 82: 214-220.