

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 加熱速率與水分散失率對米擠出物烘烤膨發之影響

Effect of rates of heating and water loss on expansion of rice extrudates during baking.

計畫編號：NSC89-2313-B-002-084

執行期限：88年08月01日至89年07月31日

主持人：葉安義 台灣大學食品科技研究所

### 一、中文摘要

以不同米穀粉為原料，經擠壓烹煮製得各種不同 pellet，探討其加熱速率與水分散失率對米擠出物烘烤膨發之影響。當高加熱速率時，升溫速率大於水分散失速率，pellet 由玻璃態迅速進入橡膠態而膨發。當低加熱速率時，升溫速率較水分散失速率低或相若，此時 pellet 受熱由玻璃態進入橡膠態，但熱量不足，無法使水分急速汽化造成膨發，因而導致燒焦。

### Abstracts

The expansion behavior of rice pellet prepared using a single screw extruder has been investigated. Both heating rate and water loss rate are the key elements of determining the expansion behavior. At high heating rate, the pellet moved quickly from glass state to rubbery state, which resulted in high expansion ratio. When heating rate was lowered, the loss of water resulted in little expansion and burned product due to insufficient heat provided.

### 二、緣由與目的

根據 1998 年 AACC 的報告指出低脂無油、新奇有趣、口味獨特的產品將成為全球點心市場產品開發的新趨勢，在美國點心食品市場，每年營業額超過一百六十億美元，擠壓產品為八億一千萬美元，約 5% 左右。其主要原料為澱粉類，如玉米、馬鈴薯、米等。本研究室於國科會之補助下利用擠壓技術開發第三代點心食品，將製

程機械化與連續性，以節省人力、增加產量。米經擠壓加工，經乾燥後製成之 pellet，處於低水分(10%)之玻璃態，有利於長期儲存。且品質相當穩定，因體積小，運費與包裝成本均降低，pellet 經烘烤或微波處理即為低油脂之產品，由於製程機械化與連續化，經濟效益大為提高，故第三代點心食品具開發價值。

本研究室於 86 年度以梗米為原料，製成 pellet，發現擠出物玻璃轉換溫度與膨發溫度呈正相關。添加糊精與增加水分均使 pellet 的  $T_g$  下降，膨發溫度呈下降之趨勢。故物料中成分會影響 pellet 的  $T_g$ ，進而影響烘烤溫度。於 87 年度針對原料中直鏈澱粉含量作進一步的探討以不同的米種，梗米(台梗九號)、秈米(台中秈十號)、糯米(台中秈糯一號)進行研究，發現在相同含水量下，直鏈澱粉含量愈高，pellet 的膨發性愈低，但直鏈澱粉含量並未顯著地影響玻璃轉換溫度 ( $T_g$ ) 與膨發時 pellet 的表面中心溫度 ( $T_c$ )，兩者均受到平衡水分的影響。

Della Valle et al.(1997) 利用玉米為原料所製得之 pellet，經油炸而膨發所需的溫度較  $T_g$  高 10-70 左右。Sokolov (1996) 指出當溫度為  $T_g$  的 1.1-1.2 倍時，是物體狀態轉換最快的溫度區域，顯示烘烤時的加溫速率、水分散失速率必須配合，方能有良好之膨發性，加溫速率不足時，pellet 會失水而燒焦，但最佳加熱速率，則尚無文獻報導。

本研究的目的是在於探討加熱速率對 pellet 膨發過程中，pellet 水分的散失率與溫度的變化，並探討 pellet 的玻璃轉換溫

度及加熱速率與水分散失三者之間的相關性，以期能預測烘烤時，所需的加熱速度。所得結果與前兩年的結果經整合分析，作為業界開發新產品與設計製程之用。

### 三、材料與方法

本實驗採用三種米種，分別為台中秈十號、台梗九號、台中秈糯一號，經磨粉機磨成米穀粉(過 80 mesh)，並添加不同比例的糊精(dextrins)，利用單軸擠壓機進行烹煮與成形。原料的水分預調為 45%、50%、55%，進料速率為  $8 \pm 0.5 \text{ kg/hr}$ ，螺軸轉速為 82.5rpm，擠壓溫度設定在 88，模口長度為 85mm，厚度為 3mm。擠出物為帶狀，經壓模成型、冷卻、熱風乾燥(40、10 - 24hr) 適當水分(約 10%)，即製成 pellet。利用飽和鹽溶液調整水分含量，經實驗型烘箱加熱，調整加熱片的間距大小，分別為 5 公分與 10 公分兩種，作為控制高、低加熱速率，並以紅外線非接觸式溫度計測量膨發過程每個時間間隔溫度的變化與重量變化，高加熱速率溫度設定為 350，每隔 5 秒計錄一次，共計 40 秒，低加熱速率溫度設定為 250，每 30 秒計錄一次，共計 5 分鐘。並測量每個時間間隔的重量變化，進而計算出水分散失率與升溫速率，比較它們之間的關係。

### 四、結果與討論

#### < 溫度變化與含水量變化的關係 >

在高加熱速率下，每隔 5 秒計錄一次溫度變化並測定水分損失(即重量損失)計算其含水量的變化(圖一)，發現 pellet 經受熱後迅速由玻璃態(glass state)進入橡膠態(rubbery state)隨後通過  $T_e$  曲線而膨發，此時水分迅速地損失；當低加熱速率時，pellet 雖由玻璃態(glass state)進入橡膠態(rubbery state)，但由於加熱速率緩慢，使得水分的蒸散速率減緩，無法凝聚足夠的壓力造成膨發，產品終至燒焦。因此加熱

速率的高低會影響水分蒸散速率，進而影響產品的膨發。

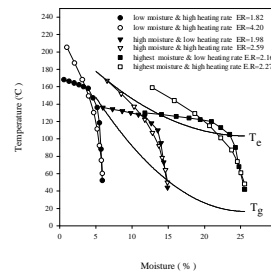


圖 1：溫度變化與含水量變化關係圖

#### < 加熱過程溫度變化與時間的關係 >

高加熱速率下，pellet 的溫度呈線性地增加，經膨發後，溫度持續升高；低加熱速率下，溫度之變化呈二次函數，增至一定溫後，變化趨於緩慢(圖二)，實驗數據顯示高加熱速率時，pellet 的溫度變化大於低加熱速率者。

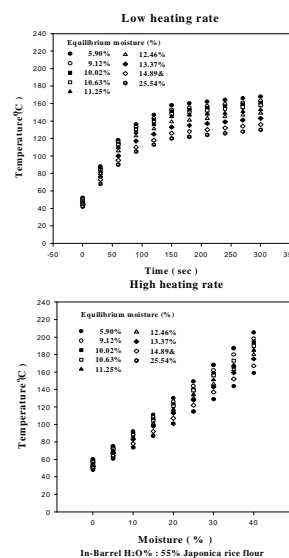
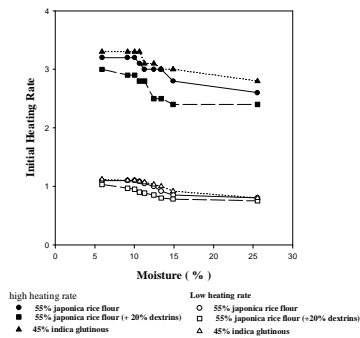


圖 2：加熱過程溫度變化與時間關係圖

#### < 起始加熱速率與平衡水分的關係 >

由圖二觀察發現平衡水分與加熱速率有相關性存在(圖三),發現平衡水分的越低,於同一狀況下加熱,起始加熱速率較高。低加熱速率下,起始升溫速率隨水分由30%減為5%而由0.6 /sec增加為1.2 /sec,高加熱速率時,起始升溫速率則由2.5 /sec增加為3.7 /sec,因此高加熱速率能使 pellet 在較短時間內進行相變化。  
圖3: 起始加熱速率與平衡水分之關係



### < 溫度變化與水分散失率的關係 >

在低加熱速率下,水分散失率達20%後,溫度的變化變小,但水分散失率持續的增加,顯示所供應的能量用於蒸發水分。高加熱速率時,溫度與水分散失率呈持續性的增加,溫度愈高水分散失率愈大,所供應的能量,不僅足以提供水分蒸發且可提高樣品的溫度。測量 pellet 受熱至開始膨發時的溫度( $T_c$ ),發現此時水分散失率約為50%左右(圖四)。

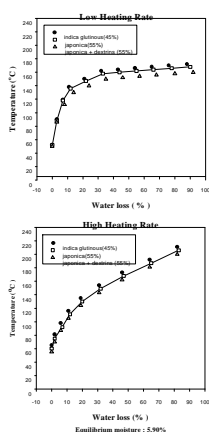


圖4: 溫度變化與水分散失率關係圖

### < 升溫速率與水分散失速率比值與水分散失率的關係 >

$\Delta\text{Temp}/\Delta\text{H}_2\text{O}\%$  為升溫速率與水分散失率之比,乃為負值,最大值為零。當水分散失率小於20%時, $\Delta\text{Temp}/\Delta\text{H}_2\text{O}\%$ 急遽升高,大於20%,於低加熱速率下, $\Delta\text{Temp}/\Delta\text{H}_2\text{O}\%$ 非常接近於零,顯示此時的能量育備蒸發水分,故溫度變化不大,於高加熱速率下, $\Delta\text{Temp}/\Delta\text{H}_2\text{O}\%$ 變化較小,其比值最終約為-17~-5之間,並未為零。隨著平衡水分的增加, $\Delta\text{Temp}/\Delta\text{H}_2\text{O}\%$ 有逐漸較大的趨勢(圖五)。

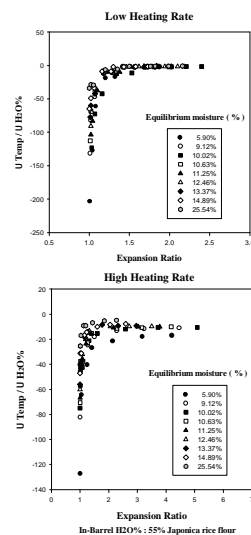


圖5: 升溫速率與水分散失速率比值與水分散失率之關係圖

### < 升溫速率與水分散失速率比值與膨發率的關係 >

在加熱過程中,起始期所供給的熱量主要用於升溫,水分的散失很少,隨著加熱時間的增加,溫度持續上升,使 pellet 處於橡膠態,同時水分急遽蒸發產生大於大氣壓的瞬間蒸氣壓,因而產生膨發。比較高低加熱速率,高加熱速率下的 $\Delta\text{Temp}/\Delta\text{H}_2\text{O}\%$ 比值較低加熱速率為大,因而所產生的膨發率較高。低加熱速率下, $\Delta\text{Temp}/\Delta\text{H}_2\text{O}\%$ 與膨發率的相關性不受到平衡水分的影響(圖六)。

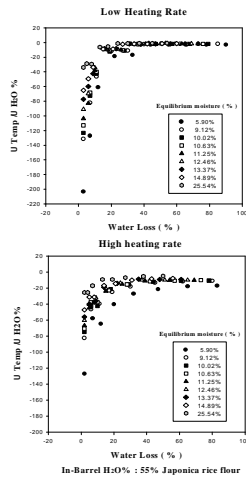


圖 6 :升溫速率與水分散失速率比值與膨發率之關係圖

### < 結論 >

於前年本研究室已證實 pellet 的膨發率受到原料平均分子量、進料水分及平衡水分的影響，去年的研究亦發現，直鏈澱粉含量亦是決定產品膨發率高低的因素之一，以上的結果，均以配方的調整為標的，本研究發現加熱速率與水分散失率是影響產品膨發現象的兩個主因。與前兩年的實驗結果合併，有關  $T_g$ 、 $T_g$  以及加熱速率、水分散失率之間相關性可用圖七表示：

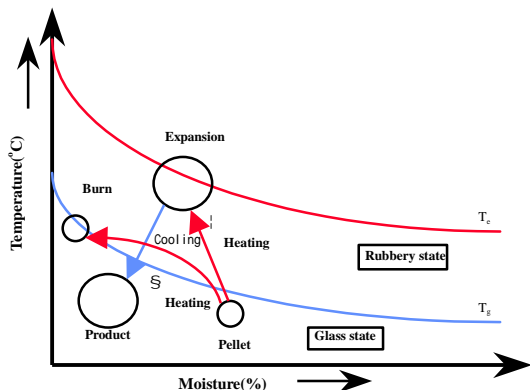


圖 7 : pellet 膨發之相圖

路徑(1)為高加熱速率下，升溫速率較水分散失速率高出許多 ( $\Delta\text{Temp}/\Delta\text{H}_2\text{O}\%$  較低)，所供給的熱量，不僅供應水分蒸發，且提高樣品溫度與凝聚水蒸氣壓，待壓力大到足以對抗大氣壓力時，產品膨發；路徑(2)為低加熱速率下， $\Delta\text{Temp}/\Delta\text{H}_2\text{O}\%$  幾乎為零，顯示升溫速率很低，趨近於零，此時的能量僅足以提供水分蒸發所需的潛能，pellet 的溫度無法高於膨發溫度，產品無法膨發終至燒焦。

## 五、計畫成果自評

本研究計劃乃為材料學原理於食品加工之利用，探討加熱速率對 pellet 膨發過程的影響，實驗證實玻璃轉換溫度、加熱速率、水分散失率三者的相關性，並建立完整的相圖，可供業界開發新產品及設計製程的參考。

## 六、參考文獻

- Chang, C. C. and Chien, J. T. 1997. Studies on microwave popping ratio of the dried Rice. J. Agri. Chem. Soc. 35(4) : 376-384.
- Chang, S. M. and Chang, Tsai-Lean. 1995. The Characteristics of explosion-puffing rice products with different amylose contents. Food Sci. 22(5) : 465-478.
- Della Valle G., Vergnes, B., Colonna, P., and Patria, A. 1997. Relations between rheological properties molten starches and their expansion behaviour in extrusion. J. Food Eng. 31:277-296.
- Donovan, J. W. and Mapes, C. J. 1980. Multiple phase transitions of starches and Nageli amylopectin. Starch/Starke 32 : 190-193.
- Fan, J., Mitchell, J. M. V. 1996. The effect of sugars on the extrusion of maize grits : II. Starch conversion. Inter. J. Food Sci. and Technol. 31 : 67-76.
- Kaletunc, G., and Breslauer, K. J. 1993. Glass transitions of extrudates : Relationship with processing induced fragmentation and end-product attribute. Cereal Chem. 70 : 548-552.
- Sokolov, A. P. 1996. Why the glass transition is still interesting. Science 273(20) : 1675-1076.
- Tolstoguzov, V. B. 1993. Thermoplastic extrusion-the mechanism of the formation of extrudate structure and properties. JAOCS, 70(4) : 417-424.
- Zeleznaek, J., and Hosney, R. C. 1987. The glass transition in starch. Cereal Chem. 64(2):121-24.