

擠壓膨化技術於米穀原料之應用

陳盈方¹

¹ 行政院農業委員會臺東區農業改良場作物改良課 助理研究員

摘 要

臺東地區為稻米重要產區，特色作物小米及活化休耕地種植之硬質玉米亦為本地區重要作物，三種米穀類原料皆可以擠壓膨化技術進行產品開發。本研究探討不同配方比例之米穀原料對擠壓膨化成品之影響，結果顯示，米穀原料成分比例直接影響成品型態及各項物理性質，其中複合原料加入薑黃粉為色澤變化之主要因素；玉米添加比例越高，口感越酥脆；糙米及小米原料添加可略為降低黏牙感。擠壓膨化製程由於高溫及封閉之擠壓膨化系統，具有製程低污染、低水活性成品且微生物不易生長之優點，相當適合應用於澱粉含量高之米穀類原料，其成品可做為即時早餐穀類及休閒食品，具多元利用性。

一、前言

擠壓膨化技術廣泛運用於澱粉含量高的作物，其中以玉米原料最為常見，舉凡點心如乖乖、玉米棒或嬰兒食品與即時早餐穀類⁽⁵⁾，都是此項技術的多元化產品。「擠壓」技術主要利用外力使物料在特定容器中流動，受到不同程度的混合、搓揉與剪斷的程序，再進行蒸煮或加熱作用，原物料通過模口時產生組織化、成型及膨化作用的加工技術。「膨化」作用主要是原料在擠壓機中經高溫高壓，於通過模口後，壓力瞬間降低、水分散失及物料冷卻等影響，膨發成多孔性組織的食品。擠壓膨化技術具有成品多樣化、高產率及無污染等優點，本項研究以相同螺軸轉速、擠壓溫度等擠壓加工參數，應用於稻米、小米及其米穀類混合原料，探討配方對成品物理性質之影響，以建立米穀類擠壓膨化加工製品基礎條件，作為多樣化產品開發之參考依據。

二、材料與方法

(一) 試驗原料

稻米及小米原料由本場稻作研究室及雜糧研究室提供試驗材料，薑黃粉由清亮生態農場提供，玉米碎粒購自糧彰商行。

(二) 試驗方法

以單軸擠壓機 (SDR-1, 新迪公司), 螺軸轉速 366 ± 10 rpm 及擠壓溫度 120°C , 進行擠壓膨化之擠出物樣品製備。試驗組配方如表 1, 分別為無添加薑黃粉 (代號 A~C) 及添加薑黃粉 (代號 D~F), 米穀原料配方分別為 100% 糙米原料 (A、D); 40% 糙米原料、35% 小米原料及 25% 玉米原料 (B、E); 50% 糙米原料及 50% 玉米原料 (C、F)。

表 1. 米穀原料成分比例配方表 (單位: %)

配方代號	糙米	小米	玉米	薑黃粉
A	100	-	-	-
B	40	35	25	-
C	50	-	50	-
D	100	-	-	1
E	40	35	25	1
F	50	-	50	1

(三) 加工指標參數

物理性質指標參數：明度 (L^* value)、色彩 (H^* value)、彩度 (C^* value)、硬度 (Hardness, gf)、徑向膨發率 (Radial expansion ratio)、水溶性指標 (water solubility index, WSI, %)、吸水性指標 (water absorption index, WAI)、水活性 (A_w) 及含水率 (water content, %)。

1. 色澤分析：擠出物樣品以 Color Meter ZE-2000 型色差計 (Nippon Denshku Industries Co., Ltd Tokyo, Japan) 測量色澤數值, 每種樣品 6 重複。光折射係數採用 Hunter color meter 系統 (L^* 、 a^* 、 b^* 值), L^* 值代表色澤明度, 其值介於 0~100 即黑至白的明度; a^* 值代表紅綠互補色, -80~0 代表綠色相對 0~100 為紅色; b^* 值代表黃藍互補色值, 由 -100~70 是藍色到黃色。當 a^* 與 b^* 均為正值, 以 $\tan^{-1}(b^*/a^*)$ 計算色彩之角度 (Hue, H°); 若 a^* 為負值則色彩之計算公式為 $H^{\circ} = 180 + \tan^{-1}(b^*/a^*)$ 。彩度 (Chroma, C^*) 以 $[(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$ 計算之。

2. 硬度分析 (Hardness Analysis)：利用物性測試儀 (Texture Analyzer) 進行試驗，隨機選取 20 個樣品，將待測物置於物性測試儀之測試平台上逐一進行，利用 1 mm 針型探頭以 10 mm / min 速度進行穿刺，測得硬度數值，單位為 gf。
3. 徑向膨發率測試方法：將各處理組隨機選取 50 個樣品，使用數位電子式游標卡尺，量測各樣品直徑兩次後，取其平均值，即為擠出物膨發直徑，再以擠出物膨發直徑除以模孔直徑，即可得該組擠出物之平均徑向膨發率。
4. 含水率及水活性測定：使用紅外線水分分析儀測定含水率，於溫度 105°C，水分蒸發速率 0.05% /分以下，取 5 g 樣品乾燥至恆定，三重複取得平均值。另利用水活性測定儀測定擠壓膨化擠出物的水活性，以溫度設定 25°C，取適量擠出物放入樣品盒中，體積不超過容器邊緣，將樣品放入儀器中，闔閉機器上蓋開始檢測，檢測完成時讀取水活性數值。
5. 水溶性指標測試方法：以通過 50 mesh 的磨碎樣本 1.5 克懸浮於內含 15 mL 蒸餾水之離心管中，劇烈震盪始其充分混合分散，置於 30°C 水浴中震盪 30 分鐘，以 3,000 rpm 離心 10 分鐘，將上清液倒入已稱重之燒杯中，於 105°C 烘乾後稱重計算溶出物重量。計算方法為：
$$WSI (\%) = [\text{可溶性固形物重 (g)} / \text{樣品乾重 (g)}] \times 100\%。$$
6. 吸水性指標測試方法：由水溶性指標之方法，將除去上清液之吸水後粉體稱重，即為吸水性指標。計算方法為：
$$WAI (\%) = \frac{\text{吸水後樣本重 (g)}}{[\text{樣品乾重 (g)} - \text{水溶性固形物重 (g)}]}。$$

(四) 數據分析

所有數據以統計分析軟體 SAS Enterprise Guide 7.1 (SAS Institute, U.S.A.) 進行最小顯著差異法分析 (Fisher's Least Significant Difference, LSD)。

三、結果與討論

(一) 擠壓膨化技術應用於米穀原料之產品型態

擠壓膨化技術應用於米穀類原料開發休閒食品，其產品型態（圖 1）因米穀配方比例不同而有差異，A 配方擠出物較小，呈顆粒狀，D 配方擠出物因添加薑黃粉雖然體積不大，但呈現中型圓柱狀；B 配方及 E 配方之擠出物則呈現圓柱狀，B 配方因含有玉米原料，顏色略帶淡黃色；C 配方及 F 配方擠出物呈現長型圓柱狀，於相同擠壓加工參數條件下，F 配方擠出物因薑黃粉添加而影響膨發狀態，為 6 種米穀原料配方之中，成品長度最長者，約 5.5 公分。

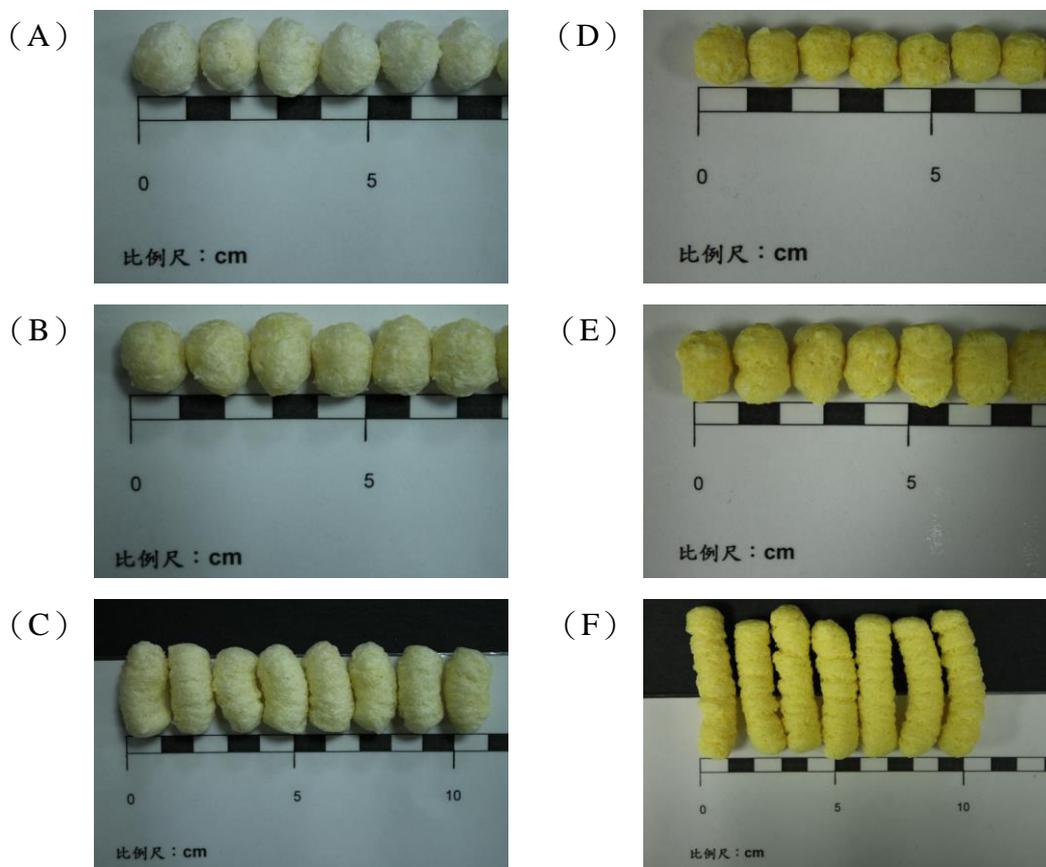


圖 1. 相同擠壓膨化製程於不同原料配方之擠出物成品型態：(A) 100% 糙米原料，(B) 40% 糙米原料、35% 小米原料及 25% 玉米原料，(C) 50% 糙米原料及 50% 玉米原料，(D) 100% 糙米原料及 1% 薑黃粉，(E) 40% 糙米原料、35% 小米原料、25% 玉米原料及 1% 薑黃粉，(F) 50% 糙米原料、50% 玉米原料及 1% 薑黃粉。

(二) 米穀原料複合配方對擠壓膨化成品物理性質之影響

1. 色澤

各配方擠出物之物理性質於色澤有極顯著差異(圖 1; 表 2), 色澤參數為明度、色彩及彩度。無添加薑黃粉試驗組(A~C 配方)之明度值有顯著差異, 其擠出物明度與玉米粉含量有關, 玉米粉含量越高, 其明度值越高, B 配方則因有小米原料而影響明度值。添加薑黃粉試驗組(D~F 配方), 則因加入薑黃原料而降低擠出物之明度, 各配方間數值無差異。無添加薑黃粉試驗組(A~C 配方)之色彩值有顯著差異, B 配方及 C 配方案色彩主要來自於玉米粉; 添加薑黃粉試驗組(D~F 配方)各配方之色彩值無差異, 色彩主要來自薑黃粉。無添加薑黃粉試驗組 A 配方之彩度值最低, B 配方及 C 配方案彩度值較高, 由於玉米及小米原料導致成品彩度加深, 添加薑黃粉試驗組各配方之彩度值有顯著差異, E 配方有玉米及小米原料因此彩度最深, D 配方案彩度主要受到薑黃粉之影響, F 配方案彩度值較低, 顏色較淡。

2. 硬度

硬度值越小代表成品越酥脆, 試驗結果(表 2)顯示硬度值具極顯著差異, 主要受到米穀類原料之影響, 薑黃粉添加與否對硬度值則沒有差異, 100%糙米原料之成品硬度值最高, 添加 35%小米及 25%玉米原料之成品, 其硬度次之, 添加 50%玉米原料之成品硬度值最低, 口感最酥脆, 玉米原料添加比例為影響成品酥脆程度之主要因素。

3. 徑向膨發率

膨發特性是擠出物成品是否受到消費者青睞的重要關鍵⁽⁶⁾。膨發原理主要為模具溫度在擠壓過程中提供熱能, 物料經模具高溫處理後, 水分會因吸熱氣化產生蒸汽壓, 造成內外壓力差, 當物料內部之蒸汽壓大於臨界值時, 物料之外皮會破裂, 導致過熱態水於瞬間汽化蒸散而完成膨發。徑向膨發率是判斷擠出物膨發狀態的指標, 徑向膨發率越高表示擠出物之直徑越大, 內部孔隙多而有酥脆感。試驗結果(表 2)顯示各配方成品之徑向膨發率有極顯著差異, 以 F 配方成品之徑向膨發率最高, 配方 C 成品次之, A、B、E 配方成品之徑向膨發率居中, D 配方成品之徑向膨發率最低。

薑黃粉與玉米原料同時添加之 F 配方，其成品膨發率最高，玉米粉比例越多，成品越容易膨發，以糙米為原料之成品其膨發率較低。

表 2. 擠壓膨化技術應用於不同配方米穀原料擠出物之物理性質參數

配 方	明度**	色彩**	彩度**	硬度** (gf)	徑向膨發率**
A	85.88 ± 0.54 b	92.33 ± 1.64 c	16.19 ± 0.80 e	825.73 ± 20.20 a	4.02 ± 0.02 d
B	85.53 ± 0.19 bc	95.37 ± 0.11 b	22.34 ± 0.15 d	657.72 ± 17.16 b	4.18 ± 0.02 c
C	86.84 ± 0.06 a	96.62 ± 0.07 b	22.66 ± 0.45 d	424.05 ± 4.96 c	4.42 ± 0.02 b
D	84.82 ± 0.33 c	101.02 ± 0.22 a	47.24 ± 0.48 b	833.11 ± 34.59 a	3.51 ± 0.01 e
E	84.84 ± 0.06 c	100.71 ± 0.05 a	48.85 ± 0.16 a	658.03 ± 13.12 b	4.00 ± 0.02 d
F	85.03 ± 0.12 c	100.12 ± 0.16 a	42.50 ± 0.58 c	411.26 ± 7.23 c	4.54 ± 0.01 a

F-test of ANOVA. * and **, significant at 5% and 1% levels, respectively. Means with each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

4. 含水率及水活性

含水率為固體中含有之水分量，在一定溫度與濕度環境下，放置一段時間會達到平衡狀態，含水率為成品放置於室溫環境下，出現回潮情形之指標。試驗結果（表 3）顯示配方於含水率數值具顯著差異，D 配方成品之含水率最高，顯示部分配方對成品回潮狀態有影響。前人研究指出水分含量與食品儲藏安定性有關，食品的含水量會影響腐敗和黴菌的發生⁽⁴⁾。食品中所含之水分可分為結合水與游離水，游離水為微生物可以利用之水分，以水活性為觀測指標，食品中水活性的高低，會因為食物內含有多少可溶性固形物而有所不同，而這些可溶物質的種類，包括不同的糖類、鹽類和有機酸等。相對而言不可溶的成分對於食品水活性變化，比較沒有影響。因為各種食品的組成有很大的差別，對水分結合能力亦有所不同⁽¹⁾。

試驗結果(表 3)顯示,各配方對水活性數值無顯著差異,數值皆低於 0.45,屬於低水活性食品,微生物不易生長。擠壓過程中原物料保有較多的水分,當擠出物離開模孔,水分瞬間汽化形成多孔質地,若原物料黏彈性較低時,被水分膨大的擠出物組織就不易回復原狀,而能維持膨發之多孔型態,使得成品內部水氣更易向外蒸散,因此成品水分及水活性也相對降低⁽³⁾,所以擠壓膨化之成品具有低污染、保存期長及不易孳生微生物之優點。

5.水溶性指標

水溶性指標代表澱粉分子,在擠壓過程中裂解為可溶性物質的含量,成品水溶性指標可以做為黏牙度之口感評估。若水溶性指標越高,代表成品的黏牙度愈高,接受性越低⁽⁷⁾。試驗結果(表 3)顯示,水溶性指標數值具顯著差異,以 F 配方之水溶性指標最高,成品較為黏牙,其他配方之間於水溶性指標無顯著差異。

6.吸水性指標

吸水性指標為擠出物吸附水分子的能力,也代表成品結構的保水能力⁽²⁾。當吸水性指標提高時,成品糊化度愈佳,表示澱粉分子分解情況良好,吸水膨潤程度愈高,使得成品內部結構較為酥脆,因而食品有較佳的膨發。試驗結果(表 3)顯示,吸水性指標具有極顯著差異,其數值以 C 及 F 配方最高,主要受到玉米原料添加之影響,其次主要原料為糙米之 A 及 D 配方,保水能力較低者為 B 及 E 配方。米穀類如稻米及玉米等原料,其直鏈澱粉含量約 15~25%,因此擠壓膨化後,其澱粉分解狀況良好,吸水性指標較高,而小米原料因支鏈澱粉含量較多,導致吸水性指標較低,保水能力較差。

表 3. 不同配方米穀原料對擠壓膨化成品物理性質之影響

配方	含水率* (%)	水活性	水溶性指標* (%)	吸水性指標**
A	6.81 ± 0.10 b	0.435 ± 0.003	32.01 ± 5.09 b	7.74 ± 0.18 bc
B	6.61 ± 0.07 b	0.419 ± 0.002	24.04 ± 0.96 b	7.28 ± 0.04 d
C	6.82 ± 0.11 b	0.397 ± 0.002	31.72 ± 2.87 b	8.30 ± 0.12 a
D	7.43 ± 0.25 a	0.424 ± 0.022	29.28 ± 2.19 b	7.32 ± 0.17 cd
E	6.78 ± 0.17 b	0.408 ± 0.022	29.12 ± 1.59 b	6.80 ± 0.19 e
F	6.63 ± 0.21 b	0.408 ± 0.018	40.60 ± 1.50 a	7.95 ± 0.13 ab

F-test of ANOVA. * and **, significant at 5% and 1% levels, respectively. Means with each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

四、結論

米穀類原料如糙米、小米及全穀玉米碎粒等，利用擠壓膨化技術可製成全穀類加工食品。本研究探討各原料比例配方對成品之影響，其中以50%糙米、50%玉米原料及1%薑黃粉之擠壓膨化成品於色澤及口感表現最佳，具有膨發率佳、口感酥脆、高膨潤度及保水力等特性；米穀原料比例40%糙米、35%小米及25%玉米原料，其成品於膨發率及酥脆口感表現良好，且黏牙度較低，亦適合做為休閒食品直接食用；而100%糙米原料之擠壓膨化成品硬度較高，酥脆感較低，但其吸水性指標表現良好，宜發展做為早餐即食穀片之配方。擠壓膨化製程由於高溫及封閉之擠壓膨化系統，具有低汙染、微生物不易生長之優點，相當適合應用於澱粉含量高之米穀類原料，成品除直接食用外，亦可做為早餐穀片，具多元利用潛力。臺東地區特色作物小米及活化休耕地種植之硬質玉米，皆可以擠壓膨化技術增加其加工利用性。

致 謝

本項研究承蒙本場稻作研究室、雜糧研究室與清亮生態農場提供試驗材料，園藝加工實驗室毛碧君小姐、張瓊心小姐及彭盈方小姐協助試驗進行，謹致謝忱。

參考文獻

1. 陳文賢。2004。水活性控制與食品儲存。科學發展。379:18-23。
2. 陳輝煌。1991。膨發型米穀雙軸擠壓加工之最適化研究。博士論文。國立海洋大學水產食品科學研究所。基隆。
3. 蔣炳煌、呂幸江。1989。利用擠壓技術製造脆米。食品科學。16(3):218-229。
4. 賴滋漢、黃卓治。1999。基礎食品化學。富林出版社.p.31。
5. Chakraborty, S.K., D.S. Sing and S. Chakraborty. 2009. Extrusion: a novel technology for manufacture of nutritious snack foods. J Beverage Food World. 42:23-26.
6. Filli, K.B., I.Nkama, V.A. Jideani and U.M. Abubaker. 2012. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of millet-Cowpea based fura. Eur J Food Res Rev. 2(1):1-23.
7. Mercier, C., R. Charbonniere and J.F. de la Gueriviere. 1980. Formation of amylase-lipid complexes by twin-screw extrusion cooking of manioc starch. Cereal Chem. 57(1):4-9.