

利用反應曲面法探討糙米添加柚皮、老薑、高麗菜擠壓產品最適化條件及其物化特性之研究

Jan-Jeng Huang^{1,*}, Yun-Jing Li¹, Chien-Yu Zhan¹ and Zheng-Ying Yang¹

摘要

台灣盛產多種蔬果，如柚子、老薑及高麗菜，為了增加上述蔬果的利用度並減少加工中副產物的浪費，透過擠壓技術以糙米為主原料，分別添加柚皮、老薑、高麗菜等副原料以生產富含纖維的擠壓膨發產品。採用反應曲面法 (RSM) 之三變數三層級設計，以擠壓機螺軸轉速、進料速度及副料粉末添加量做為擠壓實驗之操作條件，針對各項處理組之產品進行物理性質（膨發率、硬度值、脆度質、吸水性指標、水溶性指標及色度值）之測定，擠壓柚皮的品質指標為徑向膨發率、L 值、硬度值、吸水性指標；擠壓老薑的品質指標為徑向膨發率、脆度、水溶性指標及吸水性指標，透過品質指標結果求得最適擠壓參數。高麗菜的擠壓參數參考擠壓柚皮之最適化條件，以螺軸轉速 40 Hz、進料速度 20 rpm、高麗菜乾粉末添加量 10%-20% 生產高纖維之擠壓膨發產品。經由擠壓後，無論是柚皮、老薑或是高麗菜之擠壓產品其總酚含量皆有上升的趨勢，高麗菜經擠壓後，除了總酚含量、DPPH 自由基清除能力、總抗氧化能力皆有顯著上升，可溶性膳食纖維占總膳食纖維含量比例由擠壓前的 16.31% ~ 17.45% 上升至 28.24% ~ 42.60%。

關鍵詞：擠壓、柚皮、反應曲面法、薑、高麗菜

¹ 嘉義大學食品科學系

* 通訊作者: hjj@mail.ncyu.edu.tw

1. 前言

擠壓技術具有高產能、多變性、低成本、高品質、高能源效率及具有開發多種形式之產品的優點 [1,2]，可將不同種類的物料進行混合並生產多種具保健功能的擠壓休閒產品，主原料常以易經加熱糊化作用進行膨發的穀類或澱粉質，如：玉米粉、糙米、米粒、米穀粉、小麥粉及馬鈴薯粉 [3]，並以具有保健功效或具高抗氧化能力的蔬果作為副原料，例如：柚子、薑、高麗菜等。

台灣種植之柚子大多是以鮮食為主，其加工利用度不高，市面上柚子相關的加工產品非常少，且多用內部果肉進行，而外部果皮中含有豐富的抗氧化物質，但因具有強烈苦味，消費者較難接受，除少量進行加工外大多丟棄。薑具有特殊的辣味和香氣，是烹調中常見的辛香料，作為香料和藥用植物已有數千年的歷史 [4]，薑的揮發性成分為薑精油，精油提供了薑良好的抗氧化能力，但因具有特殊辣味，市面上鮮少以薑為原料的加工產品。高麗菜為台灣生產最多同時也是消費最大的葉菜類蔬菜，但因產季集中且大面積的耕種，導致高麗菜於產季時容易發生供需失衡、價格崩跌的窘境，因此，增加高麗菜的利用度為解決此現象的方法之一。

反應曲面法 (Response Surface Methodology, RSM) 乃是用來解決多個自變數對某一個變數影響的一種實驗設計，用於尋找最適加工條件。透過 Box-Behnken Design 可以較少的實驗次數資料來了解自變數對應變數的影響。本實驗利用反應曲面法 (RSM) 之三變數三層級設計，以擠壓機螺軸轉速、進料速度及副料粉末添加量做為擠壓實驗之操作條件，求出柚皮及薑的最適擠壓條件，並將高麗菜透過該最適擠壓條件生產富含膳食纖維之擠壓休閒產品後再進行物化性質及機能性分析。

2. 材料與實驗方法

2.1. 原料

本研究所使用之柚子原料取得自麻豆區果樹產銷班，品種為麻豆文旦 (*Citrus grandis* cv. *Matou Wentan*)，統一使用果皮色澤略呈黃綠色者；所使用之老薑購於台東農會，品種為廣東薑；高麗菜品種為初秋，購自天冒農產行；糙米 (*Oryza sativa*

ssp.) 則選用「皇家穀堡」真空包裝糙米。

2.2. 實驗設計

利用柚皮與薑進行最適化擠壓條件之探討，將得到的最適化擠壓條件用於擠壓高麗菜乾，高麗菜乾的添加比例為 10%、15% 及 20%，再進行柚子、薑以及高麗菜擠壓產品機能性成分與抗氧化能力分析。

表1、實驗變數設計之層級與操作條件。

Table 1. Coded levels for the independent variables

Coded level	Variables		
	Screw speed (Hz)	Feed rate (rpm)	Pummelo peel flour level (g/200g)
-1	40	12	5
0	50	16	10
1	60	20	15

2.3. 樣品前處理

2.3.1. 柚子

將新鮮的柚子剝皮，分成果肉、內果皮（果瓣膜）、柚子皮三部分，分別裝入袋中 -18°C 冷凍備用。柚子皮解凍後切小塊，在 40°C 下乾燥 24 小時，研磨後過篩，取 10 ~ 40 mesh (0.38 ~ 1.7 mm) 之粉末顆粒，為柚子皮粉末。各組以固定糙米 200g 與一定量的柚子皮粉末 (5 g、10 g、15 g) 拌勻混合。

2.3.2. 薑

將老薑洗淨後，去除不良部位，以汁渣分離機榨汁後，將薑汁冷凍備用，薑渣以熱風乾燥機 40° C 乾燥至水分含量 13 - 14%，最後利用研磨機磨成粉末並通過 40 mesh 篩網。擠壓原料製備是以 200 克糙米、100 克薑汁為固定基底，分別加入 0、5、10 克的薑粉，攪拌均勻後，以電鍋蒸煮至薑汁完全吸入糙米，再次攪拌均勻，最後利用熱風乾燥機 40° C 乾燥，為配合擠壓機之操作特性，將水分含量調整至 13 - 14%，並冷藏一日以上，使原料水分更能均勻

分佈，最後進行擠壓。

2.3.3. 高麗菜

將高麗菜去除外葉及不良部位，並以清水清洗表面，隨後去除高麗菜中心較堅硬、緊密的部位後再加以分切，將高麗菜葉片切至每片大小約為長 5 公分、寬 3 公分，分為日曬及減壓乾燥兩種乾燥方法，日曬法是以乾淨之曬網對折後平鋪於地面，可避免高麗菜直接與地面接觸，將截切完成之高麗菜葉片平均撒於曬網上，以日光進行曝曬，每 12 小時進行翻面一次；減壓乾燥法則是以 40°C，-675 ~ -695 mmHg 之條件進行乾燥，兩種乾燥方法皆以水分含量介於 7%-10% 時為乾燥終點。

2.4. 物化特性分析

2.4.1. 徑向膨發率

各組別隨機選取 15 個樣本，使用厚薄計量測樣本直徑一次後，旋轉 90 度再量測一次並取其平均，即為產品膨發直徑，將 15 組樣本之膨發直徑平均值除以擠壓機模孔直徑 3 mm，即可得產品之徑向膨發率 (mm/mm) [5]。

2.4.2. 水溶性指標、吸水性指標

各組別取適量樣品裝入夾鏈袋，以鐵鎚敲打至粉碎，再以 40 mesh 篩網過濾後，取樣品粉末 1 g (乾重)，置於 50 ml 離心管中，添加 20 ml 去離子水，在室溫振盪 30 min，再以 3000 g 離心 15 min，將離心管上層液倒入恆重之燒杯中，以 105°C 置於恆溫烘箱乾燥，所得之乾料重 (D 值，g dry wt.) 除以樣品乾重 (S 值，g dry wt.) 即為水溶性指標 (WSI)。將殘留於離心管底部之糊狀物的重量 (P 值，g gel wt.) 除以樣品乾重 (S 值，g dry wt.) 即為吸水性指標 (WAI) [6]。

$$\text{水溶性指標 (WSI)} = D/S \times 100\%$$

$$\text{吸水性指標 (WAI)} = P/S \text{ g gel/g dry wt}$$

2.4.3. 色澤分析

樣品粉末 (40 mesh) 取適量裝入色差儀之載物台中，每次樣品測量三次不同角度之色度值，取其平均，每組樣品採三重復進行。L* 表示亮度，越接近

100 表示顏色越亮，越接近 0 顏色越暗； a^* 為正時表偏紅色，0 為灰，負值偏綠； b^* 為正表示偏黃色，0 表示灰，負值偏藍 [7]。

2.4.4. 硬度、酥脆度

由於樣品中心結構複雜，由穿刺實驗所得到的表層硬度與最大硬度等數值差異極大，並不適合代表感官，因而增加批量測試代表母體，可得知樣品咬起來的平均硬度與酥脆度，較能貼近感官感受。對儀器進行高度較正後將探頭移置距離平臺 10 mm 處，選擇 3 顆大小相近的樣品，以圓圈排列於 HDP/90 測試板的最內圈，以 P/50 探頭進行批量壓縮試驗，試驗參數如下：Test mode：Compression；Pre test speed：1 mm/sec；Test speed：2 mm/sec；Post test speed：10 mm/sec；Distance：5 mm；Trigger force：10 g。

經測試結果顯示，探頭約下壓 7 秒後會因為產品緻密度提高而影響其峰值，因此最大硬度取 7 秒前的最大峰值力值，表示是咀嚼中的最大力，酥脆度則是取第一個峰值～7 秒間的正峰個數，個數越多代表破斷點越多，酥脆度越大，每組樣品採 10 重覆進行。

2.5. 機能性成分與抗氧化能力分析

2.5.1. 總酚類化合物

以沒食子酸當量 (gallic acid equivalents) 表示總酚含量。配製濃度為 20、100、200、300 及 400 $\mu\text{g/mL}$ 之沒食子酸乙醇溶液，各取 20 μL 上述濃度溶液，加入 80 μL Folin-Ciocalteu's phenol 試劑，混勻後避光靜置 5 分鐘，再加入 400 μL 15% 碳酸鈉水溶液 (w/v)，混勻後於室溫下避光作用 60 分鐘，以 6000 g 離心 30 秒，取 200 μL 上清液至 96 孔盤，偵測 750 nm 之吸光值，利用吸光值為縱軸，沒食子酸乙醇溶液濃度為橫軸繪製標準曲線，並計算定量迴歸公式及相關係數。樣品的檢測係取 20 μL 之樣品萃取液，依照製作沒食子酸標準曲線之方法測定 750 nm 之吸光值，將吸光值代入上述求得之定量方程式後，計算樣品中沒食子酸當量 [8]。

2.5.2. 總類黃酮

以斛皮酮當量 (quercetin equivalents) 表示總類黃酮含量。配製濃度為 5、

10、25、50、100 及 200 $\mu\text{g/mL}$ 之斛皮酮乙醇溶液，各取 500 μL 上述濃度溶液，加入 30 μL 5% 亞硝酸鈉水溶液 (w/v)，混勻後在室溫靜置 5 分鐘後，再加入 60 μL 10% 氯化鋁水溶液 (w/v)，混勻後於室溫下作用 5 分鐘再加入 300 μL 1 M 氫氧化鈉水溶液及 200 μL 氯仿，混勻後以 10000 g 離心 1 分鐘，取 200 μL 上清液至 96 孔盤，偵測 510 nm 之吸光值，利用吸光值為縱軸，斛皮酮乙醇溶液濃度為橫軸繪製標準曲線，並計算定量迴歸公式及相關係數。另取 500 μL 樣品萃取液，依照製作斛皮酮標準曲線之方法，測定 510 nm 之吸光值，並將吸光值代入上述所得之定量方程式後，計算樣品中斛皮酮當量 [8]。

2.5.3. DPPH 自由基清除能力

先將 DPPH 溶於甲醇溶液中配置成濃度為 0.2 mM 之溶液，並避光冰浴保存，分別取 20 μL 樣品萃取液與 180 μL DPPH 於 96 孔盤混合均勻後，靜置避光反應 30 分鐘，於波長 517 nm 下測得吸光值，此實驗以維生素 C 作為標準品，製作標準曲線，樣品再與對照組維生素 C 比較，其 DPPH 自由基清除能力以抗壞血酸計 [9]。

2.5.4. 總抗氧化能力

分別配製 1 mM ABTS 溶液、500 μM H₂O₂ 溶液及 44 unit/mL 之 peroxidase 溶液，取 150 μL 去離子水加入 25 μL ABTS 溶液、H₂O₂ 溶液與 peroxidase 溶液於 96 孔盤混合均勻後，避光反應 60 分鐘，接著加入 25 μL 樣品萃取液，混合均勻，避光反應 10 分鐘，於波長 734 nm 下測得吸光值，此實驗以 trolox 作為標準品，製作標準曲線，其總抗氧化能力以 trolox 計 [8,10]。

2.6. 膳食纖維

2.6.1. 總膳食纖維

根據 AOAC 985.29 標準方法進行膳食纖維含量分析，精秤 1 g 樣品兩份，分別置於燒杯中，加入 0.08M 磷酸緩衝溶液 50 ml 攪拌均勻，調整 pH 值至 6.0±0.2，加入 0.1 ml α -amylase 溶液 0.1 ml，覆蓋鋁箔紙置於沸水中加熱，

每 5 分中混搖一次，30 分鐘後取出冷卻至室溫。加入 0.275 N NaOH 溶液 10 ml，調整 pH 值至 7.5±0.2，再加入 protease 溶液 0.1 ml，覆蓋鋁箔紙置於 60°C 水浴中震盪，30 分鐘後取出冷卻。各加入 0.325 M HCL 10ml，調整 pH 值至 4.0-4.6，再各加入 amyloglucosidase 溶液 0.1 ml，覆蓋鋁箔紙置於 60°C 水浴中震盪，30 分鐘後取出加入 60°C，95% 乙醇 280 ml 混合均勻，並於室溫下靜置 60 分鐘，使膳食纖維沉澱作為檢液，將檢液烘乾後扣除蛋白質、灰分與空白組後可得總膳食纖維含量。

膳食纖維計算公式：

$$\text{總膳食纖維 (\%)} = (\text{WS} - \text{PS} - \text{AS} - \text{Blank}) / \text{S} \times 100$$

$$\text{Blank} = \text{WB} - \text{PB} - \text{AB}$$

WS, WB = 樣品與空白組之殘渣重量 (g)

PS, PB = 樣品與空白組之蛋白質重量 (g)

AS, AB = 樣品與空白組之灰分重量 (g)

S = 樣品重 (g)

2.6.2 不溶性膳食纖維

根據 AOAC 991.42 標準方法進行不溶性膳食纖維含量分析，稱量 1 g 測試樣品，將精確到 0.1 mg 的樣品倒入 400 mL 高形燒杯中。兩重覆測試的差值不應大於 20 mg。向每個燒杯中加入 50 mL 磷酸鹽緩衝液。通過添加 0.275M NaOH 或 0.325M HCl 調整 pH 值至 pH 6.0±0.2。向每個燒杯中加入 0.1 mL α -澱粉酶，用鋁箔紙蓋住燒杯並放入沸騰的水浴中。在整個反應過程中每隔 5 分鐘輕輕搖動燒杯一次，當達到 100°C 時持續加熱 15 分鐘，接著冷卻至室溫。通過添加約 10 mL NaOH 溶液將 pH 值調節至 7.5±0.1，在每個樣品中添加 5 mg 蛋白酶，以鋁箔紙覆蓋燒杯置於 60°C 水浴中震盪，30 分鐘後取出冷卻，加入 0.325 M HCL 10ml，調整 pH 值至 4.0-4.6，加入澱粉葡糖苷酶溶液 0.3 ml，以鋁箔紙覆蓋燒杯置於 60°C 水浴中反應，並連續攪拌 30 分鐘。將燒杯中酶消化的混合物倒入坩堝中，過濾至抽氣瓶中。殘留物用 10 mL 的水（除去溶解的纖維）洗滌 2 次、10 mL 的 95% 乙醇洗滌 2 次、10 mL 的酸性洗滌

2 次，將含有殘留物的坩堝乾燥，在 70° C 的真空烘箱中乾燥過夜或在 105° C 的空氣烘箱中乾燥 5 小時。減去坩鍋及矽藻土重量為殘渣重量 (WS)。

不溶性膳食纖維計算公式：

$$\text{不溶性膳食纖維 (\%)} = (\text{WS} - \text{PS} - \text{AS} - \text{Blank}) / \text{S} \times 100$$

$$\text{Blank} = \text{WB} - \text{PB} - \text{AB}$$

WS, WB = 樣品與空白組之殘渣重量 (g)

PS, PB = 樣品與空白組之蛋白質重量 (g)

AS, AB = 樣品與空白組之灰分重量 (g)

S = 樣品重 (g)

2.6.3 可溶性膳食纖維

可溶性膳食纖維的含量由總膳食纖維扣除不溶性膳食纖維所獲得。

3. 結果與討論

3.1. 以反應曲面法試驗添加柚子擠壓產品分析結果

3.1.1. 徑向膨發率

各組別之徑向膨發率測定結果介於 2.42 ~ 3.16 mm/mm 之間。探討擠壓操作條件對產品徑向膨發率二次式模型之變異數分析，結果如表 2 所示，其模型之 p 值為 0.0308 ($p < 0.05$)，達顯著水準，而欠合度試驗 (Lack-of-Fit) 結果之 p 值為 0.21 ($p > 0.05$)，達不顯著之水準，表示本實驗操作條件內對於擠壓產品的徑向膨發率影響經反應曲面法所得到之模型適切且信賴程度高。圖 2 為本實驗擠壓產品徑向膨發率之等高線圖及反應曲面圖，由 (A)、(B) 及 (C)、(D) 可觀察到，隨著進料速度的增加，產品的徑向膨發率有上升的趨勢，推測原因可能為，增加進料速度時，會使得單位時間內擠壓機套筒中的物料增加，使得壓力上升而導致剪切力加大，模孔處因剪切力所造成的形變會也因此而增加，進而提高產品徑向膨發率 [11]，由 (C)、(D) 及 (E)、(F) 可知，隨著柚皮粉末添加量的上升，產品的徑向膨發率有下降的趨勢，原因可能為柚皮粉末當中大量的纖維素而導致，在原料中添加纖維素時，擠壓過程中表面水分

散失速率會大於內部氣孔膨發速率，且水分散失會使產品表面固化，導致內部氣泡往徑向方向受阻，使產品徑向膨發率下降 [12,13]。

表2、徑向膨發率二次式模型之變異數分析結果

Table2. ANOVA of the second order polynomial models for the radial expansion ratio

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	0.62	9	0.069	6.05	0.0308
A	8.00E-04	1	8.00E-04	0.07	0.8022
B	0.14	1	0.14	11.8	0.0185
C	0.45	1	0.45	39.38	0.0015
AB	0.011	1	0.011	0.96	0.3717
AC	3.03E-03	1	3.03E-03	0.26	0.6293
BC	3.03E-03	1	3.03E-03	0.26	0.6293
A ²	0.015	1	0.015	1.31	0.3043
B ²	1.30E-03	1	1.30E-03	0.11	0.7501
C ²	5.54E-03	1	5.54E-03	0.48	0.5177
Residual	0.057	5	0.011		
Lack of Fit	0.049	3	0.016	3.78	0.2165
Pure Error	8.60E-03	2	4.30E-03		
Cor Total	0.68	14			

(A : Screw speed ; B : Feed rate ; C : Pummelo peel flour level)

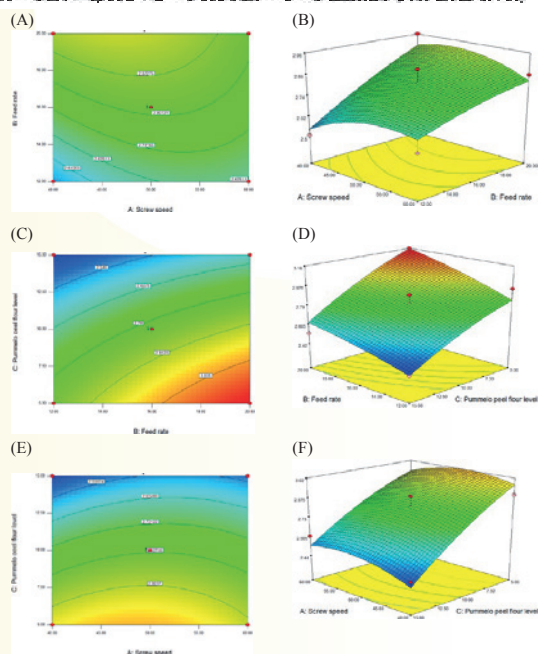


圖1、擠壓條件對徑向膨發率之等高線圖(A)、(C)、(E)反應曲面圖(B)、(D)、(F)

Figure 1. Contour plots (A), (C), (E) and response surface plots (B), (D), (F) of radial expansion ratio by extrusion condition.

3.1.2. 產品亮度 (L*)

各組別之 L* 測定結果如表 3 所示，其結果介於 68.33 ~ 77.39 之間。探討擠壓操作條件對產品 L* 二次式模型之變異數分析，結果如表 3 所示，其模型之 p 值為 0.0004 ($p < 0.05$)，達顯著水準，而欠合度試驗 (Lack-of-Fit) 結果之 p 值為 0.0796 ($p > 0.05$)，達不顯著之水準，表示本實驗操作條件內對於擠壓產品的 L* 影響經反應曲面法所得到之模型適切且信賴程度高。圖 2 為本實驗擠壓產品 L 值之等高線圖及反應曲面圖，由 (A)、(B) 及 (C)、(D) 可觀察到隨著進料速度的增加，擠壓產品的 L* 會呈現上升，原因為進料速度的增加會使產品的徑向膨發率顯著的增加，產品因為膨發撐大而使得顏色變淡，進而提高明亮度；由 (C)、(D) 及 (E)、(F) 可觀察到柚皮粉末添加量的增加則會使擠壓產品的 L* 降低，L* 與擠壓產品之徑向膨發率有極顯著之正相關 [14]，藉由上述結果可發現，進料速度對徑向膨發率有著正向的影響，柚皮粉末添加量則是呈現負相關。

表3、L*值二次式模型之變異數分析結果

Table 3. ANOVA of the second order polynomial models for the L* value.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	98.22	9	10.91	40.6	0.0004
A	0.39	1	0.39	1.46	0.2814
B	51.26	1	51.26	190.67	< 0.0001
C	27.38	1	27.38	101.85	0.0002
AB	0.19	1	0.19	0.72	0.4348
AC	2.03E-03	1	2.03E-03	7.53E-03	0.9342
BC	0.68	1	0.68	2.53	0.1724
A ²	3.67	1	3.67	13.64	0.0141
B ²	15.62	1	15.62	58.1	0.0006
C ²	0.015	1	0.015	0.057	0.8215
Residual	1.34	5	0.27		
Lack of fit	1.27	3	0.42	11.73	0.0796
Pure Error	0.072	2	0.036		
Cor Total	99.57	14			

(A : Screw speed ; B : Feed rate ; C : Pummelo peel flour level)

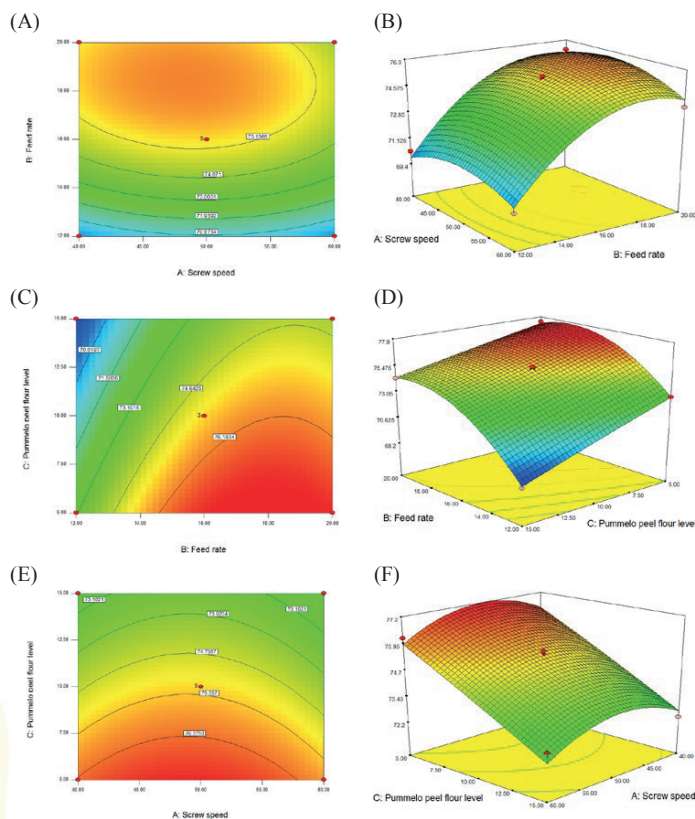


圖2、擠壓條件對L值之等高線圖(A)、(C)、(E)反應曲面圖(B)、(D)、(F)

Figure 2. Contour plots (A), (C), (E) and response surface plots (B), (D), (F) of L value by extrusion condition.

3.1.3. 硬度

各組別之硬度值測定結果介於 51.83 ~ 98.54 N 之間。探討擠壓操作條件對產品硬度值二次式模型之變異數分析，結果如表四所示，其模型之 p 值為 0.0003 ($p < 0.05$)，達顯著水準，而欠合度試驗 (Lack-of-Fit) 結果之 p 值為 0.4432 ($p > 0.05$)，達不顯著之水準。圖 3 為本實驗擠壓產品硬度值之等高線圖及反應曲面圖，由 (A)、(B) 及 (C)、(D) 觀察到隨著進料速度的增加，擠壓產品的硬度值會先略微下降後再上升，而進料速度增加會使膨發率上升快速，產品在較好的膨發程度下，其內部結構較為鬆散而導致硬度下降，另一方面進料速度會使產品假密度上升，相關性結果中假密度與硬度值有極顯著之正相關，由以上兩個原因交互作用下而導致本實驗結果；由 (C)、(D) 及 (E)、(F) 發現，柚皮粉末添加量增加會使擠壓產品硬度上升，原因為當纖維質增加，

配方中澱粉比例就相對減少，而纖維質會造成產品本身基質融合上的障礙，導致膨發效果之降低，相對產品結構較為緊實，而硬度值上升 [15]。

表4、硬度值二次式模型之變異數分析結果

Table 4. ANOVA of the second order polynomial models for the hardness.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	2257.56	9	250.84	46.94	0.0003
A	10.08	1	10.08	1.89	0.228
B	387.25	1	387.25	72.47	0.0004
C	1128.6	1	1128.6	211.2	< 0.0001
AB	8.07	1	8.07	1.51	0.2739
AC	0.26	1	0.26	0.049	0.8341
BC	208.22	1	208.22	38.97	0.0015
A ²	25.52	1	25.52	4.78	0.0806
B ²	385.97	1	385.97	72.23	0.0004
C ²	156.2	1	156.2	29.23	0.0029
Residual	26.72	5	5.34		
Lack of Fit	18.08	3	6.03	1.4	0.4432
Pure Error	8.64	2	4.32		
Cor Total	2284.28	14			

(A : Screw speed ; B : Feed rate ; C : Pummelo peel flour level)

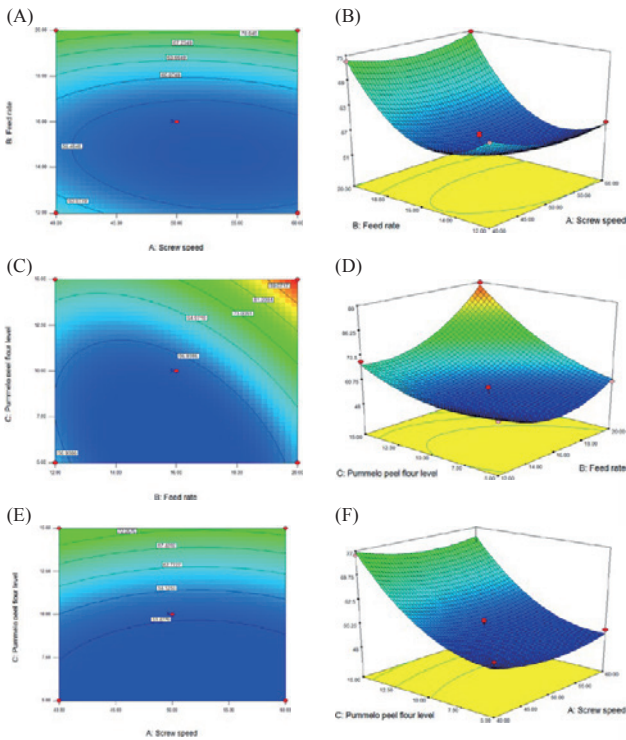


圖3、擠壓條件對硬度值之等高線圖(A)、(C)、(E)反應曲面圖(B)、(D)、(F)

Figure 3. Contour plots (A), (C), (E) and response surface plots (B), (D), (F) of hardness by extrusion condition.

表5、吸水性指標二次式模型之變異數分析結果

Table 5. ANOVA of the second order polynomial models for the water absorption index.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	1.23	9	0.14	15.59	0.0038
A	0.3	1	0.3	34.17	0.0021
B	0.099	1	0.099	11.27	0.0202
C	0.71	1	0.71	80.57	0.0003
AB	4.23E-03	1	4.23E-03	0.48	0.519
AC	0.000	1	0.000	0.00	1
BC	4.90E-03	1	4.90E-03	0.56	0.4888
A ²	0.089	1	0.089	10.15	0.0244
B ²	3.39E-04	1	3.39E-04	0.039	0.852
C ²	0.032	1	0.032	3.63	0.1152
Residual	0.044	5	8.79E-03		
Lack of Fit	0.031	3	0.01	1.54	0.4167
Pure Error	0.013	2	6.63E-03		
Cor Total	1.28	14			

(A : Screw speed ; B : Feed rate ; C : Pummelo peel flour level)

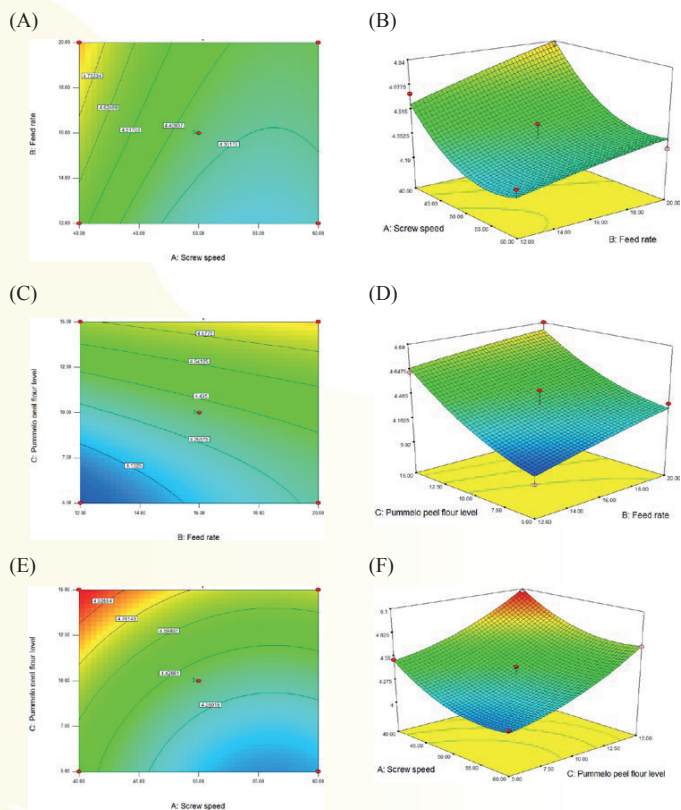


圖4、擠壓條件對吸水性指標之等高線圖(A)、(C)、(E)反應曲面圖(B)、(D)、(F)

Figure 4. Contour plots (A), (C), (E) and response surface plots (B), (D), (F) of water absorption index by extrusion condition.

3.1.5. 最適化條件選定及評估

根據產品外觀及口感的重要程度設定三組品質指標，分別為外觀為主（徑向膨發率、L 值）、口感為主（吸水性指標）以及外觀口感並重等三組，利用 Design expert 7.0.0 統計軟體分析結果，可得到三組最適擠壓操作條件範圍，外觀為主的組別條件分別為螺軸轉速 43 Hz、進料速度 20 rpm、柚皮粉末添加量 5 g；口感為主的組別條件分別為螺軸轉速 40 Hz、進料速度 20 rpm、柚皮粉末添加量 8 g；外觀口感並重的組別條件分別為螺軸轉速 40 Hz、進料速度 20 rpm、柚皮粉末添加量 5 g。上述三組最適擠壓條件的預估值如表六所示，依據各組求得之最適操作條件，進行擠壓加工並依照前述之各項分析方法進行徑向膨發率、L 值、硬度值、吸水性指標之量測，其實際結果如表 7 所示。比照實際值與預估值的結果發現，產品明亮度 (L*) 的實際結果明顯比預估高，但是仍為本實驗所期望之結果，而徑向膨發率、硬度值及吸水性指標之實際量測結果皆在品質指標之範圍內，故本研究求得最適操作條件範圍，將可實際應用於柚皮擠壓休閒產品之開發。

表6、最適化擠壓條件組別之預估值
Table 6. Estimated values of the optimum extrusion condition group

Run	Screw speed (Hz)	Feed rate (rpm)	Pummelo		L*	Hardness (N)	WAI (g gel/ g dry wt)
			peel flour level (g)	RE ratio (mm/mm)			
1	40	20	5	3.16	76.71	61	4.67
2	43	20	5	3.18	77.08	59.82	4.52
3	40	20	8	3.02	75.89	67.14	4.75

表7、最適化擠壓條件組別之實際值
Table 7. Actual value of the optimum extrusion condition

Run	Screw speed (Hz)	Feed rate (rpm)	Pummelo		L*	Hardness (N)	WAI (g gel/ g dry wt)
			peel flour level (g)	RE ratio (mm/mm)			
1	40	20	5	3.10	83.31	61.28	4.58
2	43	20	5	3.10	83.49	59.94	4.66
3	40	20	8	2.98	82.47	67.11	4.56

3.2. 以反應曲面法試驗添加老薑擠壓產品分析結果

3.2.1. 徑向膨發率

各處理組徑向膨發率測定結果介於 1.86 - 2.78 mm/mm 之間。表八為操作條件對擠壓產品徑向膨發率之變方分析表。統計結果顯示此模型具有顯著性 ($p < 0.05$)，欠合度未達顯著水準 ($p > 0.05$)，表示此反應曲面模式極為適切。圖 5 為三因子對產品徑向膨發率之等高線圖 (A)、(C)、(E) 與反應曲面圖 (B)、(D)、(F)，由圖 (A)、(B) 可以看出，螺軸轉速與徑向膨發率沒有顯著相關性，隨著進料速度的增加，產品之徑向膨發率有上升後趨於平緩之趨勢。進料速度的增加會提高套筒與螺軸間物料的填充程度，增加擠壓機內部的壓力，且原料之間與螺軸的摩擦力增加，內部熱能亦會提高，有助於產品的膨發 [18]，此外，添加低含量的纖維有助於增強澱粉基質，使得徑向膨發率增加 [19]。

表8、操作條件對擠壓產品徑向膨發率之變方分析表

Table 8. Analysis of variance of process variables to extrudate's radial expansion ratio

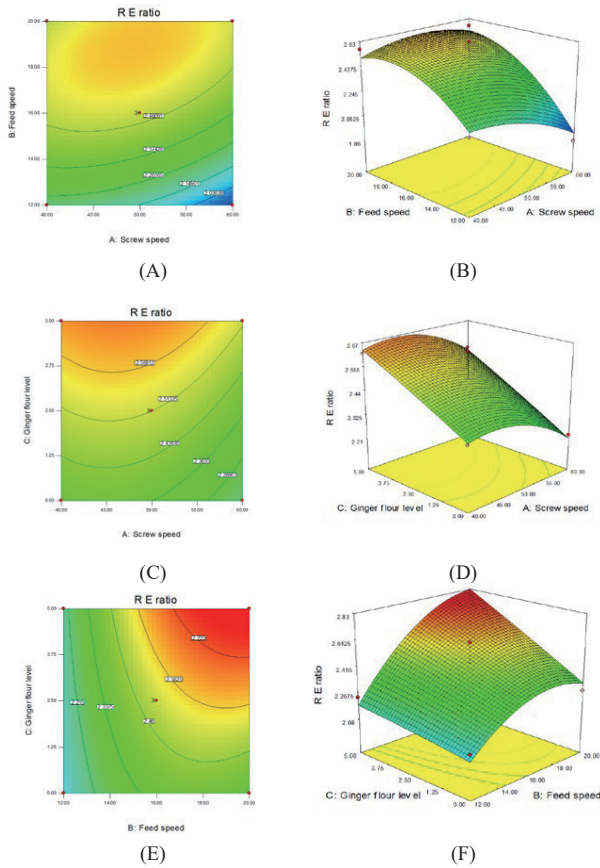
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	0.76	9	0.084	9.57	0.0114*
A	0.036	1	0.036	4.14	0.0976
B	0.4	1	0.4	45.47	0.0011**
C	0.17	1	0.17	18.77	0.0075**
A*B	0.026	1	0.026	2.91	0.149
A*C	4.000E-004	1	4.000E-004	0.045	0.8397
B*C	0.038	1	0.038	4.32	0.0923
A ²	0.02	1	0.02	2.23	0.1957
B ²	0.078	1	0.078	8.86	0.0309*
C ²	1.083E-004	1	1.083E-004	0.012	0.916
Residual	0.044	5	0.009		
Lack of Fit	0.022	3	7.458E-003	0.69	0.6379
Pure Error	0.022	2	0.01		
Cor Total	0.80	14			

* means significant difference ($p < 0.05$)** means most significant difference ($p < 0.01$)

A : Screw speed

B : Feed speed

C : Ginger powder level



RE ratio : Radial expansion ratio

圖 5、三因子對產品徑向膨發率之等高線圖 (A)、(C)、(E) 與反應曲面圖 (B)、(D)、(F)

Fig 5. Response surface plots (A), (C), (E) and contour plots (B), (D), (F) of radial expansion ratio by three variables.

3.2.2. 酥脆度

實驗各處理組之脆度測定結果介於 23.17 - 43.75 mm/mm 之間。表 9 為操作條件對擠壓產品脆度之變方分析表。統計結果顯示此模型具有顯著性 ($p < 0.05$)，欠合度未達顯著水準 ($p > 0.05$)，表示此反應曲面模式極為適切。圖 6 為三因子對產品脆度之等高線圖 (A)、(C)、(E) 與反應曲面圖 (B)、(D)、(F)，隨著螺軸轉速的增加，產品之脆度有逐漸上升之趨勢，推測是因為當螺軸轉速上升時，原料往模孔處推擠時剪應力變大，造成產品徑向膨發率增加，進而使脆度上升。增加薑粉的添加比例，會導致脆度有逐漸上升之趨勢，推測是因為低含量的薑粉有助於膨發率的增加，使產品酥脆度上升。

表9、操作條件對擠壓產品脆度之變方分析

Table 9. Analysis of variance of process variables to extrudate'scrunchy

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	508.29	9	56.48	21.31	0.0018*
A	19.81	1	19.81	7.48	0.0411*
B	181.26	1	181.26	68.40	0.0004**
C	241.01	1	241.01	90.95	0.0002**
A*B	36.00	1	36.00	13.58	0.0142*
A*C	8.85	1	8.85	3.34	0.1272
B*C	7.67	1	7.67	2.90	0.1496
A ²	0.17	1	0.17	0.07	0.8080
B ²	7.09	1	7.09	2.67	0.1629
C ²	6.96	1	6.96	2.63	0.1660
Residual	13.25	5	2.65		
Lack of Fit	12.79	3	4.26	18.37	0.0521
Pure Error	0.46	2	0.23		
Cor Total	521.54	14			

* means significant difference ($p < 0.05$)

** means most significant difference ($p < 0.01$)

A : Screw speed

B : Feed speed

C : Ginger powder level

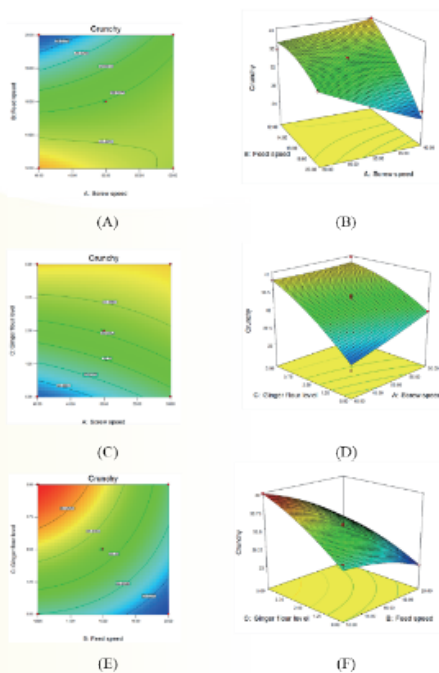


圖6、三因子對產品脆度之等高線圖 (A)、(C)、(E) 與反應曲面圖 (B)、(D)、(F)

Fig 6. Response surface plots (A)、(C)、(E) and contour plots (B)、(D)、(F) of crunchiness by three variables.

3.2.3. 水溶性指標

實驗各處理組之水溶性指標測定結果介於 27.83 - 52.13 mm/mm 之間。表 10 為操作條件對擠壓產品水溶性指標之變方分析表。統計結果顯示此模型具有顯著性 ($p < 0.05$)，螺軸轉速及進料速度對於產品之水溶性指標具有極顯著差異 ($p < 0.01$)，欠合度未達顯著水準 ($p > 0.05$)，表示此反應曲面模式極為適切。圖 7 為三因子對產品水溶性指標之等高線圖 (A)、(C)、(E) 與反應曲面圖 (B)、(D)、(F)，其中 (A)、(B) 顯示隨著進料速度的增加，產品之水溶性指標有逐漸下降之趨勢，是因為進料速度提高會減小原料吸收能量的機會或時間，使水溶性指標降低 [20]。(C)、(D) 圖中，隨著螺軸轉速的增加，產品之水溶性指標有逐漸上升之趨勢，因為當螺軸轉速提高時，對原料剪切力與摩擦力會增加，導致澱粉原料的降解程度提升，進而使產品的水溶性指標增加 [21]。

表10、操作條件對擠壓產品水溶性指標之變方分析

Table 10. Analysis of variance of process variables to extrudate's water solubility index

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	612.06	9	68.01	17.78	0.0028**
A	68.39	1	68.39	17.88	0.0083**
B	395.93	1	395.93	103.54	0.0002**
C	57.73	1	57.73	15.10	0.0116*
A*B	8.50	1	8.50	2.22	0.1962
A*C	0.96	1	0.96	0.25	0.6375
B*C	17.02	1	17.02	4.45	0.0887
A ²	1.07	1	1.07	0.28	0.6200
B ²	22.62	1	22.62	5.91	0.0592
C ²	34.97	1	34.97	9.15	0.0293*
Residual	19.12	5	3.82		
Lack of Fit	17.5	3	5.83	7.2	0.1244
Pure Error	1.62	2	0.81		
Cor Total	631.18	14			

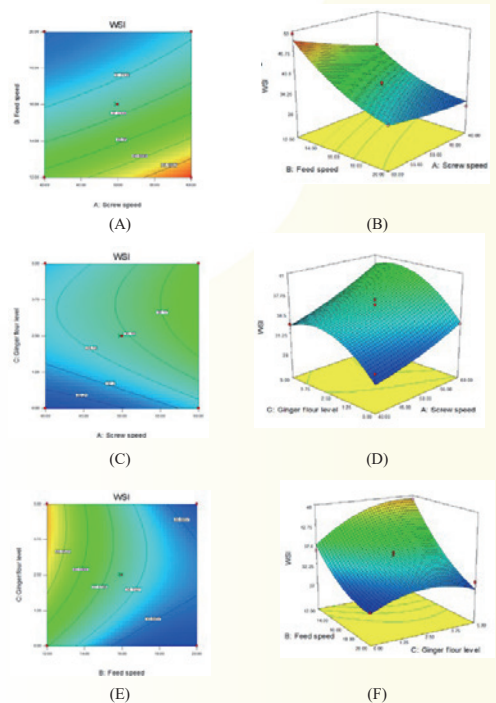
* means significant difference ($p < 0.05$)

** means most significant difference ($p < 0.01$)

A : Screw speed

B : Feed speed

C : Ginger powder level



WSI : water solubility index

圖7、三因子對產品水溶性指標之等高線圖 (A)、(C)、(E) 與反應曲面圖 (B)、(D)、(F)

Fig 7. Response surface plots (A), (C), (E) and contour plots (B), (D), (F) of water solubility index by three variables.

3.2.4. 吸水性指標

實驗各處理組之吸水性指標測定結果介於 3.05 - 5.32 mm/mm 之間。表 11 為操作條件對擠壓產品水溶性指標之變方分析表。統計結果顯示此模型具有顯著性 ($p < 0.05$)，螺軸轉速及進料速度對於產品之水溶性指標具有極顯著差異 ($p < 0.01$)，欠合度未達顯著水準 ($p > 0.05$)，表示此反應曲面模式極為適切，圖 8 為三因子對產品吸水性指標之等高線圖 (A)、(C)、(E) 與反應曲面圖 (B)、(D)、(F)，由 (A)、(B) 可看出，隨著螺軸轉速的增加，產品之吸水性指標有逐漸下降之趨勢。當螺軸轉速增加時，會縮短原料滯留在擠壓機內受熱的時間，使原料糊化不完全，造成吸水性指標逐漸下降之趨勢 [22]。而當進料速度的增加時，產品之吸水性指標有逐漸上升之趨勢，因當進料速度增加時，套筒內的壓力上升，物料間摩擦也相對較多，有助於物料的糊化 [16]。由 (C)、(D) 顯示，隨著薑粉添加比例的增加，產品之吸水性指標有先下降後略微上升之趨勢。推測是因為擠壓共混配方的產品結構上會發生改變，如蛋白質變性、澱粉糊化，進而影響產品的吸水性指標 [23]。

表11、操作條件對擠壓產品吸水性指標之變方分析

Table 11. Analysis of variance of process variables to extrudate's water absorption index

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
Model	5.12	9	0.57	28.66	0.0009**
A	0.71	1	0.71	35.99	0.0018**
B	2.76	1	2.76	139.19	< 0.0001**
C	0.88	1	0.88	44.25	0.0012**
A*B	0.08	1	0.08	3.81	0.1083
A*C	1.000E-002	1	1.000E-002	0.50	0.5094
B*C	0.03	1	0.03	1.73	0.2461
A ²	4.964E-003	1	4.964E-003	0.25	0.6381
B ²	0.24	1	0.24	12.02	0.0179*
C ²	0.35	1	0.35	17.69	0.0084**
Residual	0.10	5	0.02		
Lack of Fit	0.089	3	0.03	6.04	0.1454
Pure Error	9.867E-003	2	4.933E-003		
Cor Total	5.22	14			

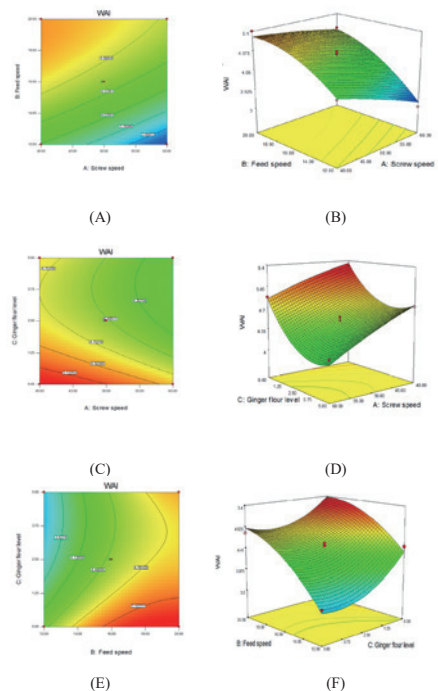
* means significant difference ($p < 0.05$)

** means most significant difference ($p < 0.01$)

A : Screw speed

B : Feed speed

C : Ginger powder level



WAI : water absorption index

圖8、三因子對產品吸水性指標之等高線圖 (A)、(C)、(E) 與反應曲面圖 (B)、(D)、(F)

Fig 8. Response surface plots (A), (C), (E) and contour plots (B), (D), (F)

3.2.5. 最適化條件選定及評估

最適化條件選定及評估是根據各項反應值量測結果，由實際狀況下配合主觀認定進行調整，設定出以下四項產品評估指標的範圍：徑向膨發率 2.48 - 2.62 mm/mm、脆度 39 - 41 mm、水溶性指標 36 - 38% 及吸水性指標 4.1 - 4.3 g gel/g dry wt。利用 Design expert 軟體得出最適操作條件範圍為螺軸轉速 48.28 Hz、進料速度 15 rpm、薑粉添加比例 4.4 %。將最適操作條件範圍之最小值進行再現性評估，其結果如表 12 所示。結果顯示，最適操作條件範圍之最小值的實際值與預估值沒有顯著差異 ($p>0.05$)，因此可確認迴歸模式的再現性。

表 12、最適化條件預估值與實際值之比較

Table 12. The comparisons of predicted and experimental data in optimum operation conditions

Response	Predicted value	Experimental value			Pr>F
		Mean	Max	Min	
Radial expansion ratio	2.54	2.54	2.66	2.32	0.976
WSI	38	38.03	38.9	37.1	0.977
WAI	4.3	4.22	4.24	4.18	0.150
Crunchy	39.74	39.67	41	37	0.971

Not significantly different ($p>0.05$)

3.3. 高麗菜乾擠壓產品

將日曬乾燥高麗菜乾及減壓乾燥高麗菜乾分別以總重量之 10%、15%、20% 的比例與糙米混合至 200 克後，採用上述擠壓柚皮的最適化操作條件：螺軸轉速 40 Hz、進料速度 20 rpm，生產高麗菜乾擠壓產品，如圖九所示。

3.4. 高麗菜乾擠壓產品機能性成分

高麗菜乾擠壓產品之總酚類化合物及總類黃酮於擠壓前後含量變化如表 13 所示，所有組別在擠壓過後，總酚類化合物含量皆高於擠壓前的含量，上升約 1.18 ~

2.62 倍，此上升是因擠壓過程破壞結合酚的鍵結，使結合酚含量減少並同時轉變為游離酚，導致游離酚的含量在擠壓過後顯著增加 [24]，此外，擠壓過程中因溫度、壓力和剪切力亦會使細胞裂解而讓酚類化合物從細胞基質釋出 [25]。相對於減壓乾燥高麗菜乾，日曬高麗菜乾擠壓產品具有更高的總酚及總類黃酮含量，特別是在類黃酮的部分，歸因於紫外線會誘導黃酮醇和相關酚類物質的積累，其機制為當蔬果暴露於紫外線後，會使組織內的苯丙胺酸解胺酶活性增加，而此解胺酶為植物組織中酚類化合物合成的關鍵酵素之一 [26]，此外，輻射照射亦會造成植物細胞壁多醣的解聚和溶解，促使了更高的可萃取性 [27]。

3.5. 高麗菜擠壓產品抗氧化能力

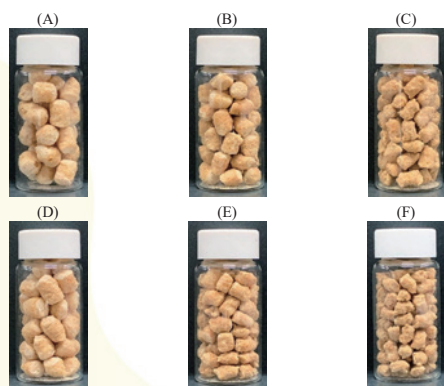


圖 9、糙米添加不同比例之日曬乾燥及減壓乾燥高麗菜乾擠壓產品

Fig. 9. Extrudates with different drying methods and dried cabbage level. (A) extrudate of 10% open sun drying cabbage; (B) extrudate of 15% open sun drying cabbage; (C) extrudate of 20% open sun drying cabbage; (D) extrudate of 10% vacuum drying cabbage; (E) extrudate of 15% vacuum drying cabbage; (F) extrudate of 20% vacuum drying cabbage.

表 13、不同高麗菜乾粉末添加量之擠壓產品擠壓前後總酚及總類黃酮含量
Table 13. Total phenolic and flavonoid content of extrudates with different dried cabbage powder level before and after extrusion

	Total phenolic content (mg GAE/g)		Total flavonoid content (μ g QE/g)	
	Before extrusion	After extrusion	Before extrusion	After extrusion
BRE	0.40	0.47 \pm 0.01 ^c	8.84	7.51 \pm 2.31 ^a
SDE10	0.653	1.06 \pm 0.01 ^d	100.98	102.88 \pm 3.22 ^c
SDE15	0.834	1.31 \pm 0.19 ^c	147.05	147.09 \pm 6.77 ^b
SDE20	0.906	1.65 \pm 0.03 ^b	193.12	217.96 \pm 4.38 ^a
VDE10	0.561	0.92 \pm 0.02 ^d	24.70	24.98 \pm 1.22 ^f
VDE15	0.642	1.04 \pm 0.05 ^d	32.63	43.93 \pm 3.22 ^c
VDE20	0.722	1.89 \pm 0.07 ^a	40.56	62.88 \pm 1.22 ^d

Each value is expressed as mean \pm SD (n=3). The same lower case indicates no significant differences ($p < 0.05$) between different samples with same condition.

BRE: extrudates of brown rice

SDE: extrudates of open sun drying cabbage

VDE: extrudates of vacuum drying cabbage

表 14 為不同高麗菜乾添加比例之擠壓產品擠壓前後 DPPH 自由基清除能力何總抗氧化能力的變化，擠壓後，各組的 DPPH 自由基清除能力與總抗氧化能力皆有顯著上升，此結果與擠壓後總酚類化合物含量增加有關，擠壓使細胞壁結構成分釋放結合酚，而結合酚又會因溫度、壓力等因素轉變成游離酚 [28]，此外，在擠壓過程中所發生的非酵素性褐變 (梅納反應) 之產物已被證明具有抗氧化活性 [29,30]。

3.6. 高麗菜擠壓產品膳食纖維含量

表 15 為高麗菜乾擠壓產品擠壓前後膳食纖維含量的變化，在總膳食纖維方面，在擠壓過後，所有組別之總膳食纖維含量接下降。擠壓過程中，纖維受到溫度、壓力及剪切力之作用，導致結構中糖苷鍵發生斷裂，而斷裂後所產生之大多數寡糖皆為可消化吸收，因此降低總膳食纖維含量 [31]。在不溶性及可溶性膳食纖維結果中，擠壓過後導致不溶性膳食纖維含量明顯下降，而可溶性膳食纖維含量卻增加，由 1.40 ~ 1.61 (g/ 100 g) 上升至 1.07 ~ 3.17 (g/ 100 g)，可溶性膳食纖維占總膳食纖維之比例也由擠壓前的 16.31% ~ 17.45% 上升至 28.24% ~ 42.60%，此結果表明，部分的不溶性膳食纖維經由擠壓後轉變為可溶性膳食纖維。擠壓加工過程中的高溫、高壓及高剪切力使多醣結構之糖苷鍵斷裂，導致多醣結構分解，進而改善溶解度 [31]。擠壓操作雖然導致高麗菜擠壓膨發產品之不溶性膳食纖維含量顯著下降，進而導致總膳食纖維含量亦下降，但可溶性膳食纖維含量卻上升，因此對於調節人體中血液膽固醇濃度、控制第二型糖尿病、預防冠狀動脈疾病皆有幫助 [32,33]。

表 14 、不同高麗菜乾粉末添加量之擠壓產品擠壓前後 DPPH 自由基清除能力
抗氧化能力

Table 14. DPPH free radical scavenging ability and ABTS free radical scavenging ability of extrudates with different dried cabbage powder level before and after extrusion

	DPPH free radical scavenging ability (mg ascorbic acid/ g DM)		ABTS free radical scavenging ability (mg trolox/ g DM)	
	Before extrusion	After extrusion	Before extrusion	After extrusion
	BRE	0.37	0.42±0.03 ^f	0.69
SDE10	0.59	0.88±0.01 ^e	0.78	1.39±0.02 ^{bc}
SDE15	0.70	1.02±0.02 ^e	0.82	1.48±0.01 ^{ab}
SDE20	0.81	1.24±0.02 ^a	0.87	1.56±0.00 ^a
VDE10	0.52	0.85±0.06 ^e	0.78	1.26±0.04 ^d
VDE15	0.59	0.95±0.05 ^d	0.82	1.34±0.12 ^{cd}
VDE20	0.66	1.12±0.02 ^b	0.87	1.45±0.02 ^b

Each value is expressed as mean ± SD (n=3). The same lower case indicates no significant differences (*p* < 0.05) between different samples with same condition.

BRE: extrudates of brown rice

SDE: extrudates of open sun drying cabbage

VDE: extrudates of vacuum drying cabbage

表 15 、不同乾燥方法與不同高麗菜乾添加比例之擠壓產品擠壓前後總膳食纖維、可溶性膳食纖維及不溶性膳食纖維含量

Table 15. Total dietary fiber, soluble dietary fiber, insoluble dietary fiber content of extrudates with different drying method and dried cabbage level

	Soluble dietary fiber (g/ 100g)		Insoluble dietary fiber (g/ 100g)		Total dietary fiber (g/ 100g)	
	Before	After	Before	After	Before	After
	SDE10	1.40	1.69	6.85	2.98	8.25
SDE15	1.50	1.89	7.54	4.25	9.04	6.14
SDE20	1.61	3.01	8.26	4.69	9.87	7.70
VDE10	1.37	1.07	6.48	1.73	7.85	2.80
VDE15	1.45	1.63	6.99	4.14	8.44	5.77
VDE20	1.54	3.17	7.50	4.27	9.04	7.44

BRE: extrudates of brown rice

SDE: extrudates of open sun drying cabbage

VDE: extrudates of vacuum drying cabbage

4. 結論

透過擠壓技術生產擠壓休閒食品可有效提升高麗菜與薑的利用度，減少高麗菜於產季時發生供需失衡、價格崩跌的窘境，同時也減少柚子果皮副產物的浪費，藉由反應曲面法得知本實驗所使用之擠壓機的操作特性及擠壓柚皮與薑的最適化操作條件，分別從所選定的品質指標結果中得知柚皮與薑的最適擠壓條件分別為：螺軸轉速 40 Hz、進料速度 20rpm 與螺軸轉速 48.28 Hz、進料速度 15rpm。此外，本實驗進一步將高麗菜進行乾燥，並結合擠壓技術生產富含纖維之休閒產品，經過擠壓後，產品的總酚類化合物含量與抗氧化能力皆有顯著的上升，雖然擠壓過程會導致產品中總膳食纖維含量下降，但可溶性膳食纖維含量具有顯著上升，可溶性膳食纖維占總膳食纖維含量的比例由擠壓前的 16.31% ~ 17.45% 上升至 28.24% ~ 42.60%，結合反應曲面法所生產之擠壓休閒食品具有良好的性狀、品質，可做為日後開發擠壓產品及攝取膳食纖維來源的參考。

參考文獻

1. Harper, J.M. Extrusion of Foods, CRC Press : Boca Raton, Florida, 1981; Volumel and 3.
2. Chigumira, P. The potential for extruded sorghum food products in Zimbabwe and the regional market. In utilization of sorghum and millets, 89-94.
3. 賴羿帆。擠壓加工對發芽糙米 γ -胺基丁酸含量及理化性質之影響。國立屏東科技大學碩士論文 2013，屏東縣。
4. Park, E.J.; Pizzuto, J.M. Botanicals in cancer chemoprevention. *Cancer Metast Rev* **2002**, 21, 231-255.
5. 呂政義、張曙明、韓建國。以擠壓成型法製備米食產品加工條件之探討。食品科學 1987，14(4)，342-350。
6. Anderson, R.J.; Conway H.F.; Pfeifer, V.; Griffin, E.L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Sci Today* **1969**, 14, 4-12.
7. 陳貝瑜。膨發度對硬質玉米製麩酵素活性及味噌品質的影響。國立嘉義大學碩士論文 2016，嘉義市。
8. 郎正康。烘烤時間對番石榴籽萃取物機能性成分之影響及作為植物來源乳酸菌益生元之潛力。國立嘉義大學碩士論文 2017，嘉義市。

9. Jayasekera, S.; Molan, A.L.; Garg, M.; Moughan, P.J. Variation in antioxidant potential and total polyphenol content of fresh and fully-fermented Sri Lankan tea. *Food Chem* **2011**, 125, 536-541.
10. Miller, N.J.; Rice-Evans, C.; Davies, M.J.; Gopinathan, V.; Milner A. A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. *Clin Sci* **1993**, 84, 407-412.
11. Alvarez-Martinez, L.; Kondury, K.; Harper, J.J. A general model for expansion of extruded products. *J Forensic Sci* **1988**, 53, 609-615.
12. 吳宗沛。米穀擠壓膨發食品之纖維強化及其品質之改進。國立台灣大學博士論文 1990，臺北市。
13. 張明義。2001。模孔孔徑與蕎麥粉添加比例開發蕎麥擠壓食品最適條件之研究。搜尋有博士論文及期刊發表請協助確認。
14. 彭孃慧。紫心甘藷擠壓休閒食品之開發及其抗氧化特性之研究。國立中興大學碩士論文 2014，臺中市。
15. 李宗翰。香菇擠壓休閒食品之開發及其抗氧化特性之研究。國立中興大學碩士論文 2008，臺中市。
16. 陳淳和。飼料玉米擠壓產品之理化特性研究。國立中興大學碩士論文 **1996**，臺中市。
17. Van Zuilichem, D.; Jager, T.; Stolp, W.J. Residence time distributions in extrusion cooking. Part II: Single-screw extruders processing maize and soya. *J Food Eng* **1988**, 7, 197-210.
18. Srivastav, A.; Mulder, S.; Ofoli, R. Corn puffing expansion model for twin screw extrusion. *Amer Soc of Agric Engr* **1988**, 88-6516.
19. Kaisangsri, N.; Kowalski, R.J.; Wijesekara, I.; Kerdchoechuen, O.; Laohakunjit, N.; Ganjyal, G.M. Carrot pomace enhances the expansion and nutritional quality of corn starch extrudates. *LWT-Food Sci Technol* **2016**, 68, 391-399.
20. 彭錦樵、王敏彥。擠壓玉米產品理化特性之研究。農林學報 1998，47，59-71。
21. Diosady, L.; Patton, L.; Rosen, D.N.; Rubin, L.J.; Athanasouis, C. Degradation of wheat starch in a single screw extruder: Mechano-Kinetic breakdown of cooked starch. *J Food Sci* **1985**, 50, 1697-1700.

- 22.林育德、彭錦樵、林負信、蕭世傑。模孔形狀、進料速率及螺軸轉速對擠壓產品理化特性之影響。農林學報 1998，47，25-35。
- 23.Rosentrater, K.A.; Muthukumarappan, K.; Kannadhasan, S. Effects of ingredients and extrusion parameters on aquafeeds containing DDGS and potato starch. *J Aquacult Feed Sci Nutr* **2009**, 1, 22-38.
- 24.Han, H.; Baik, B.K. Antioxidant activity and phenolic content of lentils (*Lens culinaris*), chickpeas (*Cicer arietinum* L.), peas (*Pisum sativum* L.) and soybeans (*Glycine max*), and their quantitative changes during processing. *Int J Food Sci Tech* **2008**, 43(11), 1971-1978.
- 25.Kosin´ska-Cagnazzo, A.; Bocquel, D.; Marmillod, I.; Andlauer, W. Stability of goji bioactives during extrusion cooking process. *Food Chem* **2017**, 230, 250-256.
- 26.Frohmeyer, H.; Staiger D. Ultraviolet-B radiation-mediated responses in plants. Balancing damage and protection. *Plant Physiol* **2003**, 133, 1420-1428.
- 27.Bhat R.; Sridhar K.R.; and Kaori, T.Y. Effect of ionizing radiation on antinutritional features of velvet bean seeds (*Mucuna pruriens*). *Food Chem* **2003**, 103, 860-866.
- 28.Acosta-Estrada, B.A.; Gutiérrez-Urbe, J.A.; Serna-Saldívar, S.O. Bound phenolics in foods, a review. *Food Chem* **2014**, 152, 46-55.
- 29.Wang, H.Y.; Qian, H.; Yao, W.R. Melanoidins produced by the Maillard reaction: Structure and biological activity. *Food Chem* **2011**, 128: 573-584.
- 30.Korus, J.; Gumul, D.; Czechowska, K. Effect of extrusion on the phenolic composition and antioxidant activity of dry beans of *Phaseolus vulgaris* L. *Food Technol Biotech* **2007**, 45(2), 139-146.
- 31.Garcia-Amezquita, L.E.; Tejada-Ortigoza, V.; Pérez-Carrillo, E.; Serna-Saldívar, S.O.; Campanella, O.H.; Welti-Chanes, J. Functional and compositional changes of orange peel fiber thermally-treated in a twin extruder. *LWT-Food Sci Technol* **2019**, 111, 673-681.
- 32.McCarty, M.F. Nutraceutical resources for diabetesprevention. *Med Hypotheses* **2005**, 64, 151-158.
- 33.Lamiki P, Tsuchiya J, Pathak S, Okura R, Solimene U, Jain S, Kawakita S, and Marotta F. Probiotics in Diverticular Disease of the Colon: An Open Label Study. *J Gastrointest Liver* **2010**, 19(1), 31-36.

Study on the optimization of the physicochemical properties for the brown rice with ginger and pummelo peels extrudates by response surface methodology

Jan-Jeng Huang^{1,*}, Yun-Jing Li¹, Chien-Yu Zhan¹ and Zheng-Ying Yang¹

Abstract

Taiwan is rich in many kinds of fruits and vegetables, such as pummelo, ginger and cabbage. In order to increase the utilization of the above-mentioned fruits and vegetables and reduce the waste of by-products in processing, extrusion processing used brown rice as the main raw material, and adds pomelo peel, ginger, cabbage to produce fiber-riched extrudates. Used the three-variable three-level design of the response surface methodology (RSM). The operating conditions of the extrusion experiment contained screw speed, feeding rate and the powder level. Determine the physical properties (expansion rate, bulk density, hardness, brittleness, water absorption index, water solubility index and color) of each treatment. The quality indicators of extruded pummelo peel are radial expansion rate, L value, hardness, and water absorption index; The quality indicators of extruded ginger are radial expansion rate, brittleness, water solubility index and water absorption index. The optimal extrusion parameters are obtained through the quality indicators results. The extrusion parameters of cabbage refer to the optimal conditions for extruding pomelo peel (screw speed: 40 Hz, feeding rate: 20 rpm, and cabbage level: 10%-20%) to produce high-fiber extrudate. After extrusion, the total phenol content of the extrudate of pomelo peel, ginger or cabbage had increased significantly. After cabbage extruded, total phenol content, DPPH free radical scavenging ability, and ABTS free radical scavenging ability had increased significantly, and the proportion of soluble dietary fiber in total dietary fiber content had increased from 16.31%-17.45% to 28.24% to 42.60%.

Keywords: extrusion processing; pummelo peel; response surface methodology; ginger; dried cabbage

¹ Department of Food Science National Chiayi University

* Correspondence: hjj@mail.ncyu.edu.tw