

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 化學科

(鄉土)教材獎

030211

Q 勁十足的 QQ BALL

-探討不同變因對地瓜球特性之影響

學校名稱：高雄市立福山國民中學

作者： 國二 洪子茵 國二 周旻慧 國二 吳妮倪	指導老師： 鄭士鴻
---	------------------

關鍵詞：澱粉、地瓜球、油炸

摘要

我們很好奇為什麼地瓜球能有外脆內 Q 的雙重口感?油炸時到底要不要邊炸邊壓?為什麼坊間不同店家所賣地瓜球色澤、香氣、體積、軟硬都不盡相同，其中的關鍵差異是什麼？

為了解出謎題我們開始設計實驗探討不同種類澱粉、油炸過程有無加壓原料、不同開始加壓時間點、不同油溫、不同水、糖、油含量對地瓜球性質的影響。

實驗發現添加不同種類澱粉可以製成不同特性地瓜球；油炸過程加壓的確對地瓜球有膨大的效果；油溫越高，地瓜球表面的脆皮層硬化越快，但也易使內餡較乾、彈性較差；地瓜球原料所含水量越多、糖量越少，製成的地瓜球體積、彈性越大，但韌性與硬度越小；而含油量越多，製成的地瓜球體積越大，但韌性、彈性及硬度較差。

壹、研究動機

從小到大我們最喜歡的夜市美食之一就是彈牙的地瓜球，每一口咬下都能同時享受到外皮酥脆、內餡軟 Q 的雙重口感，我們很好奇是什麼原因造成其內外差異如此大?且坊間不同店家所販賣的地瓜球不管是色澤、香氣、體積、軟硬都不盡相同，其中的關鍵差異到底在哪裡?為了瞭解到底是什麼原因使地瓜球會有以上的特性，我們試著到處詢問店家地瓜球的做法以及上網搜尋一些美食部落客的食譜，我們發現其中有許多異同之處，有的人會在地瓜泥中添加樹薯粉，有的人添加地瓜粉，更有人是將樹薯粉和地瓜粉混合製作而成，糖量、油量、水量等其他成分比例也眾說紛紜。因此，我們希望能藉由科學的方法，製作並找出不同變因對地瓜球的口感與特性有什麼影響。

貳、研究目的

- 一、探討在地瓜泥中添加(一)不同種類澱粉(二)不同直鏈比例的澱粉對地瓜球特性的影響
- 二、探討油炸過程(一)加壓原料(二)不同開始加壓時間點對地瓜球特性的影響
- 三、探討油炸過程中不同油溫對地瓜球特性的影響
- 四、探討地瓜球中不同比例的(一)水(二)糖(三)油含量對地瓜球特性的影響

參、研究設備與器材

自製地瓜球特性觀測儀零件		地瓜球材料		其他設備與器材
木條 2*2*30 (4 支)	木板 25*25*2 (2 片)	地瓜	純水	25ml 量筒
不銹鋼全牙粗螺絲 30 公分	電子天秤	糯米粉	沙拉油	油鍋
L 型夾	透明塑膠尺	地瓜粉	砂糖	探針式電子溫度計
銅片	鱷魚夾電線與 LED 燈泡	樹薯粉		碼表
圓形墊片	假牙	小麥澱粉		攝影機
冰棒棍	一字形墊片	葛粉		攝影架
鋁線	直流變壓電源供應器	澄粉		
防水噴霧	250ml 量筒			

肆、研究過程或方法

一、【實驗一-1】探討在地瓜泥中添加不同種類澱粉對地瓜球特性的影響

(一)裝置圖



▲圖 1：自製韌性儀



▲圖 2：彈性/硬度測定儀

(二) 裝置原理

1. 網路上做地瓜球的食譜非常多樣，每家用粉的種類都不大相同，最常見的地瓜球做法為質量比[地瓜：粉：糖=1：0.5：0.2]，其中最大的差異是在熟地瓜泥中添加不同種類的澱粉，有的建議用樹薯粉(即我們常說的太白粉)，有的建議用地瓜粉，甚至還有人推薦可以混合不同種類澱粉來製作，於是我們想知道在熟地瓜泥中添

加這些澱粉的功用為何?以及不同種類的澱粉會使地瓜球產生什麼變化或影響?

2.一開始我們直接購買現成烤地瓜來做實驗，但卻發現在相同變因下，每次製作地瓜泥團所需的水量都不一樣，原來是因每顆烤地瓜的含水量都有差異，為了解決此問題，我們一次購買過量的生地瓜，並用電鍋以固定的溫度、水量、時間去蒸熟地瓜，起鍋後將全部地瓜剝皮，再放入大鐵盆中均勻的搗成地瓜泥，使相同實驗變因的地瓜泥含水量與成分特性都相近來減少誤差。

3.油炸過程我們將油溫控制在坊間建議的低溫油炸溫度：130°C~139°C的區間內，溫度過高就關火，太低則開最小火使其慢慢回溫，從下鍋到起鍋的時間皆固定為8分鐘，但我們發現地瓜球在油炸的過程中會逐漸浮起，導致地瓜球的某一面暴露在空氣中使整體炸不均勻造成誤差，於是我們拿了一個略小於鍋子內徑的濾網，在油炸過程中放入油面以下使地瓜球整顆都能沒入油鍋中以均勻受熱。



▲圖 3 :油炸前地瓜球



▲圖 4:油炸時浮起



▲圖 5 :濾網下壓



▲圖 6 :油炸均勻成品

4.我們取五種市面上常見料理用澱粉(糯米粉、地瓜粉、樹薯粉、澄粉與葛粉)分別加入地瓜泥製成不同的特性的地瓜泥團，在相同控制變因下將其油炸成型並依照下列的四個面向來測量與觀察不同條件下的地瓜球特性與口感：體積、韌性、硬度與彈性。

(1)體積：因地瓜球非正圓體故我們以「排水法」測體積，先取 200 毫升大量筒並裝水到 150 毫升，放入地瓜球並記錄量筒水面上升的讀數，但地瓜球為浮體，故我們以鋁線製作一個穩定下壓裝置：將鋁線(長 30cm,直徑 0.4cm)，前



▲圖 7:下壓鋁線組

端繞成一個小於地瓜球直徑且與鋁線垂直的圓圈(直徑 1.8cm)(如圖 11)來下壓地瓜球至水中，但若每次鋁線沒入水中的深淺不同會造誤差，故我們而在圓圈的上方 5cm 的握把處標記一黑線，每次測量時先放入下壓鋁線直到水面切齊鋁線上的標記線，記錄量筒刻度 p，再把地瓜球放入量筒，用下壓鋁線組推至水面以下(標記線

對準水面)，記錄量筒刻度 q 。之後以 [量筒刻度 q - 量筒刻度 p] 得出該次地瓜球的體積。另外為了避免地瓜球的表面吸水造成誤差，我們使用防水噴霧讓地瓜球表面形成一層防水薄膜再投入水中測體積以減少誤差。

(2) 韌性：本實驗將地瓜球的韌性定義為「將地瓜球咬斷所需最小力量」，意即測定「地瓜球被貫穿所需最小力量」。

[自製韌性儀]:

我們要測定不同條件下產生的地瓜球被貫穿時所需的最小力量，首先需要可以穩定施予地瓜球下壓力的施力來源，我們參考水龍頭握把設計到五金材料行選購適合的裝置零件：長 30cm 直徑 1cm 的不銹鋼全牙粗螺絲與相對應的螺帽，因螺絲的螺紋與螺距固定，使每圈轉動下壓的距離都一樣，讓粗螺絲可以慢慢旋轉下降給予穩定的下壓力；第二個我們需要一個可以貫穿地瓜球的裝置，於是我們想到在咬地瓜球時地瓜球是被牙齒以切面截穿，經過大家討論後決定以人體假牙模型來模擬、製作韌性儀。一開始我們在假牙的上下牙齒

覆蓋鋁箔紙來接電路組做貫穿實驗(圖 8-1)，經過幾次實驗發現重複咬合會使鋁箔紙無規律的破裂而造成通路瞬間



的判斷準則不一而有誤差，經多番思考

▲圖 8-1:以鋁箔導電

▲圖 8-2:以銅片導電

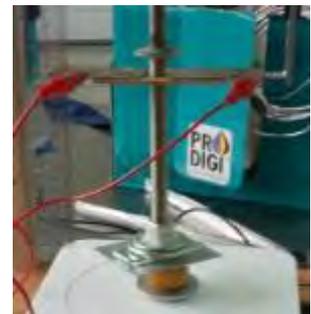
後改在假牙模型的上下兩側各以熱熔膠黏上兩銅片，且銅片方向設計成咬合時呈十字形交錯確保咬合時接觸的點都相近減少誤差(圖 8-2)，再把銅片各自接上正負極鱷魚夾，架設 LED 電路組。此外在測量時旋轉把手會使全牙粗螺絲下壓假牙模型讓上下兩銅片咬斷地瓜球，當兩銅片貫穿地瓜球瞬間會相接觸而變通路讓 LED 發光，此時的電秤讀數即為我們所需的「地瓜球被貫穿所需的最小力量」，此過程皆以攝影機拍攝來幫助記錄電子秤的數字變化。

材料找齊後我們採用木製框架來結合以上裝置，先測量電子秤的長寬，打造一個略大於電子秤長寬的正方形木板(25cm × 25cm)，把電子秤放在正方形木板上再組裝 4 根柱子(皆 2cm × 2cm × 30cm)在正方形平面的 4 個角落當支撐住，最後將一樣大小的

正方形木板(25cm × 25cm)固定成上蓋；並且在全牙粗螺絲的最上方加裝一個木製把手幫助施力，再將電子天秤與 LED 電路組架設好便完成韌性儀。

(3)硬度與彈性：硬度是指「使食物變形所需要的力」，我們測量「將地瓜球壓縮到 50%所需要的力量」作為地瓜球的硬度指標。而彈性的定義為「當物體受外力作用發生形變後，回復原來形狀的能力」我們將地瓜球下壓至 50%後，移除下壓的力量，讓地瓜球自然回彈 15 秒，測量回彈之後的高度再利用 $\frac{\text{回彈後的高度}}{\text{原本的高度}} \times 100\%$ 得出回彈率。

我們先將『第二代自製韌性儀』的假牙拆下，另取圓形墊片以及鐵片以熱塑性塑膠和全牙粗螺絲的螺帽組成一個下壓裝置，並將其旋入全牙粗螺絲下端製成下壓柱(如圖 14)；但是此裝置無法使用先前韌性的 LED 判斷裝置，故我們在全牙粗螺絲組成的下壓柱上端多裝一個圓形墊片，然後在上蓋的



▲圖 9 :測彈性

木板內側(對準全牙粗螺絲左右兩邊)各釘一個大型 L 架，再各以長尾夾固定小型 L 架在其上，最後以冰棒棍連接兩組小型 L 架並各自黏上導電用的銅片，兩銅片不相連且各自接上 LED 電路組的正負極鱷魚夾。當要測定時，將地瓜球放置在電子秤上，測其原始高度(設為 2X cm)，再把下壓柱旋到地瓜球上緣，接著調整銅片組至圓形墊片下方 Xcm 的地方，使測量期間旋轉把手讓下壓柱往下移動的距離= Xcm 時，圓形墊片恰好能與兩端銅片互相接觸，此時地瓜球壓縮量即為原本的 50%，紀錄所需力量後上旋把手，計時 15 秒後測量回彈後高度。

(三)實驗步驟



1.將地瓜洗淨放入電鍋，以固定水量與時間蒸煮後去皮，並搗成地瓜泥。



2.依常見食譜比例製作地瓜泥團原料:取 133 克地瓜泥、67 克澱粉、25 克糖、50 毫升水與 7.4 毫升油，將所有材料揉勻。



3.以電子天平秤出 20 顆各 10 克的地瓜泥原料團，揉成圓球狀，放到蒸盤上準備下鍋油炸。



4.以 130°C 油溫油炸 8 分鐘後，盛起並測量其大小、韌性、彈性與硬度。



5.每次實驗完取另一種澱粉重複以上實驗步驟直到所有澱粉種類測量完畢。

【實驗一-2】探討在地瓜泥中混和不同直鏈比例的澱粉對地瓜球特性的影響

(一)裝置原理

1.由【實驗一-1】的結果我們發現添加不同種類澱粉會對地瓜球的口感產生影響，這是因為各澱粉中的直/支鏈含量比例不同，為了更進一步驗證添加的澱粉所含直/支鏈含量比例對地瓜球的影響，我們取直鏈含量最少的糯米粉(直鏈 0%，支鏈 100%)與直鏈含量最多的葛粉(直鏈 60%，支鏈 40%)來混和並製作出不同直鏈比例的澱粉去添加到地瓜泥中並觀察其特性，其比例與直鏈%如下表:

	糯米粉:葛粉(質量比)	直鏈平均%
1.	66 : 0=1:0	0%
2.	49.5 : 16.5=3:1	15%
3.	33 : 33=1:1	30%
4.	16.5 : 49.5=1:3	45%
5.	0 : 66=0:1	60%

(二)實驗步驟

- 1.我們依標準化地瓜泥團(地瓜泥 134 克、糖 25 克、水 50 毫升、油 7.4 毫升)分別加入不同直鏈比例的澱粉 66 克來形成不同直鏈澱粉含量的地瓜泥團。
- 2.將泥團分別揉成 20 顆各 10 克的小圓球，放上有洞蒸盤準備下鍋油炸，油炸過程監控油溫 130°C，直到 8 分鐘後起鍋並測其體積、韌性、彈性與硬度有何差異。

二、【實驗二】探討油炸過程(一)加壓原料(二)不同開始加壓時間點對地瓜球特性的影響

(一)裝置圖



▲圖 10 :蒸盤

▲圖 11:鍋鏟

▲圖 12 :均勻加壓過程示意圖

(二)裝置原理

- 1.我們發現大部分的店家在油炸地瓜球的過程中都會去「壓」地瓜球，但我們查資料時卻發現作法眾說紛紜：有人覺得邊壓邊炸的地瓜球成品較大顆，有人表示有壓沒壓沒差異、甚至有人說壓了只會變扁而已；另外我們發現不同店家開始壓地瓜球的時間點也都不盡相同，我們忍不住好奇在油炸過程中「有沒有壓？」以及「何時開始壓？」會對地瓜球造成什麼影響？想要得到解答的我們開始設計以下實驗。

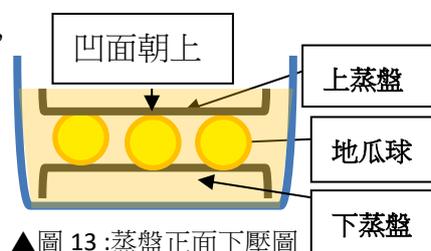
2.【實驗二-1】探討油炸過程中(一)加壓原料對地瓜球特性的影響

- (1).我們先觀察地瓜球在油炸加壓的過程中其體積到底會不會變大?地瓜球內餡與外殼在此過程會發生什麼事?為了可以明顯觀測到在油炸過程中有沒有壓地瓜球對其成品的特性有何差異，我們把原本的油炸時間從 8 分鐘拉長到 12 分鐘以便觀察，當

油炸時間達第 6 分鐘時開始加壓地瓜球，每 10 秒壓一次，其中在油炸時間達：2、4、6 分鐘(還沒開始壓)時各從鍋中撈起 4 顆地瓜球並剪開觀察；而在油炸時間達 8、10、12 分鐘(已邊炸邊壓)時再各從鍋中撈起 4 顆地瓜球剪開觀察其內部與外部狀況。

(2).為了可以讓每次實驗操作時可以給予地瓜球穩定的、一致的下壓裝置，我們使用 2 個略小於油鍋直徑的圓型有孔洞蒸盤來作實驗，

開始計時後先將第一個裝地瓜球原料團的蒸盤放入油鍋中(稱為下蒸盤)，第二個蒸盤則以正面的平坦面(如圖 18)朝下來壓縮地瓜球(稱為上蒸盤)



盤)，每次加壓以兩支木製鍋鏟將上蒸盤穩定的水平下壓至地瓜球高度的 1/3 處(約 0.7cm 高)，並在油鍋的內壁畫標記線，每次均下壓到標記線來一致的壓縮兩蒸盤間的地瓜球，10 秒重複一次此動作直到此實驗油炸時間達 12 分鐘。

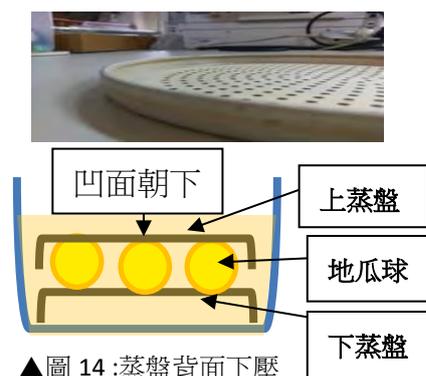
3. 【實驗二-2】探討油炸過程中不同開始加壓時間點對地瓜球特性的影響

(1)本實驗分別從不同時間點(第 4 分鐘、6 分鐘、8 分鐘、10 分鐘)開始壓地瓜球，每 10 秒壓一次至第 12 分鐘起鍋，成果再與完全不壓的地瓜球做比較。

(2)本實驗沿用【實驗一】的測量儀器，依四個面向(體積、韌性、硬度與彈性)測量不同加壓時間點製造的地瓜球特性與口感有何差異。但由【實驗二-1】的結果顯示有加壓的地瓜球體積會較大，但地瓜球內部會呈現大量中空的狀態，這在我們測量彈性時可能會因氣腔太大壓縮後無法彈回而無法觀測不同的時間點加壓對內部凝膠彈性的影響，為了解決此問題，我們決定減少地瓜球的壓縮量來控制其氣腔大小。

(3)我們使用 2 個略小於油鍋直徑的圓型有孔洞蒸盤來作實驗，只是把【實驗二-1】下壓地瓜球所使用的上蒸盤改以用背面的平底凹型結構朝下壓縮地瓜球(如圖 14)，以確保每顆地瓜球每次被壓縮程度都一樣且不會被完全壓扁(原本壓縮至 0.7cm 高改成蒸盤高度

1.5cm);每當碼表上顯示當次實驗所訂之開始加壓時間到，就將上蒸盤放進油鍋，並以兩支木製鍋鏟將上蒸盤穩定的水平下壓至碰到下蒸盤來一致的



壓縮兩蒸盤間的地瓜球，每 10 秒重複一次此動作直到第 12 分鐘將所有地瓜球盛起並測其體積、韌性、彈性與硬度。

(三)實驗步驟

【實驗二-1】：探討油炸過程中加壓原料對地瓜球特性的影響

- 1.我們參考【實驗一】的結果來設計與製作每次實驗所需地瓜泥團的基本配方質量比例：首先取地瓜泥 134 克、樹薯粉 66 克、糖 25 克，再加入水 50 毫升與油 7.4 毫升並揉勻，再用電子天平秤出 20 顆 10 克的泥團並揉成圓球狀，放上圓形有孔洞蒸盤準備下鍋油炸(後文將此步驟簡稱為『製作標準化地瓜泥團』)
- 2.我們以探針式電子油溫計監控油溫至攝氏 130°C 後，馬上將擺有 24 顆地瓜泥團的圓形有孔洞蒸盤放入油炸並開始計時與後續操作。
- 3.本實驗主要是探討在油炸過程中(共油炸 12 分鐘)對地瓜球有無施壓對地瓜球特性的影響，我們在油炸時間達 6 分鐘時開始加壓地瓜球，每次以兩支木製鍋鏟將上蒸盤穩定的水平下壓至油鍋內壁上的標記線(地瓜球高度的 1/3 處，約 0.7cm 高)，每 10 秒重複一次此動作直到第 12 分鐘起鍋，其中在油炸時間達：2、4、6、8、10、12 分鐘時，各從鍋中撈起 4 顆地瓜球剪開觀察與紀錄沒壓過的地瓜球(在油炸時間達 2、4、6 分鐘時起鍋)與加壓過後的地瓜球(在油炸時間達 8、10、12 分鐘時起鍋)之間內部與外部的差異。

【實驗二-2】：探討油炸過程中不同開始加壓時間點對地瓜球特性的影響

- 1.製作標準化地瓜泥團，揉成 20 顆各 10 克的小圓球，放到蒸盤上準備下鍋油炸
- 2.本實驗探討油炸過程不同開始加壓時間點對地瓜球特性的影響，每次實驗分別從不同的時間點(分別是 4、6、8、10 分鐘)開始壓地瓜球，每 10 秒壓一次至第 12 分鐘起鍋，成果再與油炸時間 12 分鐘但完全不壓的地瓜球做比較，我們以探針式電子油溫計監控油溫至攝氏 130°C 後，馬上將擺有 20 顆地瓜泥團的圓形有孔洞蒸盤(後稱『下蒸盤』)放入油炸並開始計時與後續操作。
- 3.當碼表上顯示當次實驗所訂之開始加壓時間時，就將另一個圓形有孔洞蒸盤用背面的平底凹型結構朝下放進油鍋來壓縮地瓜球(後稱『上蒸盤』)，並以兩支木製鍋

鏟將『上蒸盤』穩定的水平下壓至碰到『下蒸盤』來壓縮兩蒸盤間的地瓜球，每 10 秒重複一次此動作直到第 12 分鐘將所有地瓜球盛起並測其體積、韌性、彈性與硬度。

三、【實驗三】探討油炸過程中不同油溫對地瓜球特性的影響

(一)裝置原理

- 1.為了更了解有關地瓜球的知識，我們去拜訪了幾間當地賣地瓜球的店家，觀察他們的地瓜球特色與製法差異，其中我們發現不同店家炸地瓜球的油溫都不大相同，導致有些地瓜球的外皮較硬、有些外觀顏色較深或是體積不同，這使我們好奇油炸過程中不同油溫對地瓜球特性有什麼影響。
- 2.想要得到解答的我們開始設計不同油溫的實驗，我們發現鍋中的油大約在探針式電子溫度計顯示 200 多 $^{\circ}\text{C}$ 時就開始汽化，因此我們決定不實驗超過 200 $^{\circ}\text{C}$ 的油溫，而當油溫低於 100 $^{\circ}\text{C}$ 時，溫度太低地瓜球表面脆皮與內部糊化皆不太完整，於是在我們的評估下決定以下列油溫來做實驗：110 $^{\circ}\text{C}$ 、130 $^{\circ}\text{C}$ 、150 $^{\circ}\text{C}$ 、170 $^{\circ}\text{C}$ 、190 $^{\circ}\text{C}$ 。

(二)實驗步驟

- 1.製作標準化地瓜泥團，揉成 20 顆各 10 克的小圓球，放到蒸盤上準備下鍋油炸
- 2.本實驗主要是探討油炸過程中不同油溫(依序為攝氏 110 $^{\circ}\text{C}$ 、130 $^{\circ}\text{C}$ 、150 $^{\circ}\text{C}$ 、170 $^{\circ}\text{C}$ 與 190 $^{\circ}\text{C}$)對地瓜球特性有什麼影響，所以我們先以探針式電子油溫計監控油溫至該次實驗所需溫度 A 後，再將擺有 20 顆地瓜泥團的圓形有孔洞蒸盤放入油炸，並開始計時；油炸過程中也以探針式電子油溫計將油溫監控在 A 至 A+9 之間，若溫度過高就關火、太低則開最小火使其慢慢回溫，當 8 分鐘後，將所有地瓜球盛起並測其體積、韌性、彈性與硬度。
- 3.每次實驗完畢，皆將油鍋熱鍋至當次實驗所需溫度，依序為攝氏 110 $^{\circ}\text{C}$ 、130 $^{\circ}\text{C}$ 、150 $^{\circ}\text{C}$ 、170 $^{\circ}\text{C}$ 與 190 $^{\circ}\text{C}$ ，並在油炸過程中以探針式電子油溫計監控油溫在起初溫度 A 到 A+9 之間，且重複以上實驗步驟到所有油溫測完為止。

四、【實驗四】探討地瓜球中不同比例的(一)水(二)糖(三)油含量對地瓜球特性的影響

(一)裝置圖



▲圖 15:純水



▲圖 16:貳號砂糖



▲圖 17:添加油

(二)裝置原理

- 1.我們發現網路上各家地瓜球食譜添加水、糖、油的份量都不同或者是根本不添加，而我們試做地瓜球時，發現如果不額外加水或油，當添加澱粉到地瓜球原料團時，地瓜球原料團會過乾導致原料鬆散、乾燥的地瓜球原料團會容易碎裂、無法成形；相反的添加過量的水或油，則會讓地瓜球泥團太濕、太軟爛而無法揉捏成型，所以我們查到的食譜都寫要在地瓜泥中添加「適量」的水或油才能揉捏成型，但是「適量」的範圍很廣，有很多種可能性，而這些可能性又是否會影響到地瓜球的特性?
- 2.為了瞭解添加這三種物質到地瓜球中的目的與影響各是什麼?以及不同量的添加物所製成的地瓜球有什麼差異?我們決定分別製作不同(一)含水量(分別為加水 20ml、35ml、50ml、65ml)、(二)含糖量(分別為加糖 0g、15g、30g、45g)、(三)含油量(分別為加油 0ml、10ml、20ml、30ml)的地瓜球，來觀察不同特性地瓜球之間的差異。

(三)實驗步驟

我們依標準化地瓜泥團比例分別加入(四-1)不同水量(依序為 30、45、60、75 ml)、(四-2)不同糖量(依序為 0、15、30、45 g)、(四-3)不同油量(依序為 0、10、20、30 ml)來形成不同添加物含量的地瓜泥團，各自揉成 20 顆各 10 克的小圓球，放上有洞蒸盤準備下鍋油炸並測其體積、韌性、彈性與硬度有何差異。

伍、研究結果與討論

一、【實驗一-1】探討在地瓜泥中添加不同種類澱粉對地瓜球特性的影響

(一)實驗數據

◆體積(單位：立方公分)：

粉類	糯米粉	樹薯粉	地瓜粉	澄粉	葛粉
	體積(立方公分)				
1	13.1	11.1	9.9	8.6	7.9
2	12.5	10.6	9.7	8.6	7.6
3	11.8	10.5	9.8	8.4	7.9
4	12.5	10.9	9.6	8.5	8.1
5	11.9	10.8	9.7	8.7	7.7
平均	12.36	10.78	9.74	8.56	7.84

◆韌性：

粉類	糯米粉	樹薯粉	地瓜粉	澄粉	葛粉
	力量(公克)				
1	1105	1417	1456	1865	1903
2	1158	1448	1466	1880	1936
3	1007	1422	1472	1922	1988
4	1094	1465	1433	1861	2011
5	1178	1477	1497	1813	1995
平均	1108.4	1445.8	1464.8	1868.2	1966.6

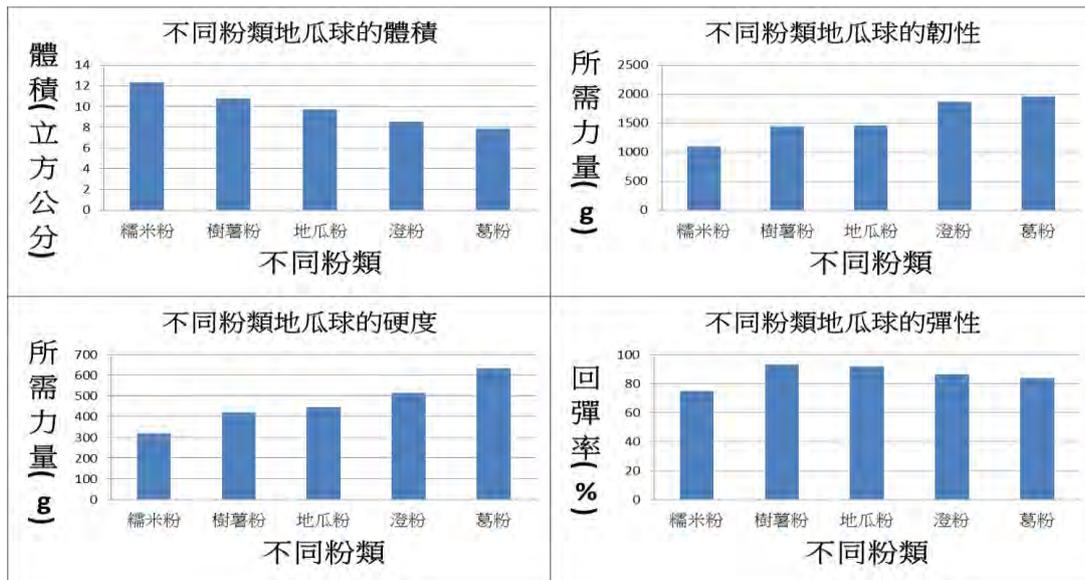
◆硬度：

粉類	糯米粉	樹薯粉	地瓜粉	澄粉	葛粉
	力量(公克)				
1	299.5	418	477	509	596
2	300.5	426	429	533	613
3	399	407	462	514	650
4	283	411	439	499	651
5	314.2	451	426	514	654
平均	319.2	422.6	446.6	513.8	632.8

◆彈性：

粉類	糯米粉			樹薯粉			葛粉		
	原本高度	15秒後高	回彈率	原本高度	15秒後高	回彈率	原本高度	15秒後高	回彈率
1	3.01	2.31	76.74	2.01	1.91	95.02	2.01	1.69	84.08
2	2.64	1.89	71.59	1.95	1.86	95.38	2.03	1.68	82.76
3	2.71	2.01	74.17	1.96	1.85	94.39	1.69	1.44	85.21
4	2.75	2.13	77.45	2.03	1.84	90.64	1.95	1.65	84.62
5	2.73	2.03	74.36	1.98	1.81	91.41	2.06	1.71	83.01
平均	2.77	2.07	74.86	1.99	1.85	93.37	1.95	1.63	83.94
粉類	地瓜粉			澄粉					
	原本高度	15秒後高	回彈率	原本高度	15秒後高	回彈率			
1	2.31	2.14	92.64	2.01	1.74	86.57			
2	2.35	2.16	91.91	2.01	1.75	87.06			
3	2.29	2.11	92.14	2.03	1.77	87.19			
4	2.16	1.97	91.2	2.23	1.93	86.55			
5	2.25	2.06	91.56	2.19	1.88	85.84			
平均	2.1	1.94	91.89	2.09	1.81	86.64			

(二)實驗圖表

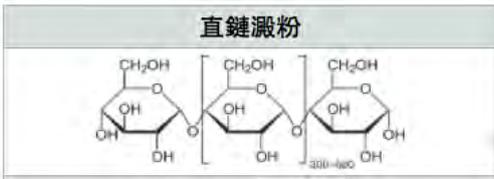
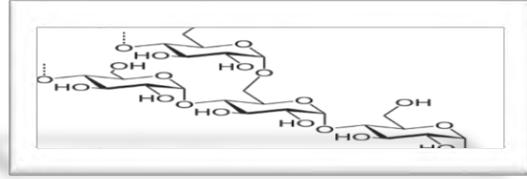


(三)結果與討論

1. 實驗結果發現添加不同澱粉的地瓜球體積：糯米粉>樹薯粉>地瓜粉>澄粉>葛粉，為了找出是什麼原因造成他們特性上的差異，我們找出這五種澱粉的成分有何不同，發現它們皆含有直鏈與支鏈兩種澱粉，且不同種類澱粉中直鏈與支鏈佔有的比例有所差異(如表 24)

粉類	直鏈比例	支鏈比例
糯米粉	0%	100%
樹薯粉	17%	83%
地瓜粉	19%	81%
澄粉	28%	72%
葛粉	60%	40%

▲表 24 :各澱粉直/支鏈比例

澱粉種類	直鏈澱粉	支鏈澱粉
	 <p>直鏈澱粉分子排列圖(較緊密)</p>	 <p>支鏈澱粉分子排列圖(較鬆散)</p>

2. 我們發現在地瓜泥中添加的澱粉所含支鏈比例越高，油炸後體積越大，這是因為澱粉分子常溫常壓下不太溶於水，它們因分子間氫鍵強而形成緊密束狀的膠束，分子間縫隙很小，水分子滲透不進去；當我們將水、地瓜泥與澱粉等材料揉在一起油炸時，高溫的環境會促使部分膠束分離形成空隙，水分子開始進入內部與澱粉分子結合，澱粉粒因吸水而體積膨脹，稱為『膨潤現象』。若繼續加熱，膠束則全部分離

形成澱粉單一分子，並被水包圍而成為半透明的膠態溶液，達到這種狀態時就稱為『糊化』；冷卻時，如澱粉的含量比例遠超過水分，則澱粉分子會與水分形成網狀物，整體變成凝膠狀，即我們所見的地瓜球內餡狀態(如圖18)。而凝膠的特性受到澱粉中直鏈澱粉和支鏈澱粉的比例影響，在糊化過程中，支鏈澱粉由於分子排列較疏鬆，因此膨潤形成的含水澱粉團結構也較大；相反的直鏈澱粉因為線性的直鏈結構所佔據的空間較小，故膨潤後所形成的體積膨脹率相對較小，此現象導致地瓜泥中添加的澱粉所含支鏈比例越高，其油炸後成品的體積膨脹率也會越大。



▲圖 18 :膠狀內餡

3.實驗結果顯示添加不同澱粉的地瓜泥韌性：葛粉>澄粉>地瓜粉>樹薯粉>糯米粉，我們發現支鏈越多，將地瓜球咬斷所需力量越小，這是因為當兩銅片貫穿地瓜球的過程中，會先壓縮地瓜球內糊化的餡料，此時電子天秤的讀數會緩慢的上升，直到兩銅片逐漸靠近時，天秤數據開始急速飆升，當 LED 燈亮顯示地瓜球被貫穿後，飆升的數據才會停下。我們發現形成兩銅片貫穿的主要阻力為地瓜球外上下兩層『脆皮』而非中間較為軟嫩的糊化內餡，且地瓜球表面的脆皮呈現不透明、乾硬脆化狀態，與我們認知的糊化特性表現差異很大，經過多番討論與觀察，我們發現地瓜泥團剛下高溫的油鍋時，表面原先呈現不透明的淡黃原料色，經過一段時間後最先接觸到熱油的表層澱粉會先糊化而逐漸變得有點透明；然而反應不會在此停下，高溫的熱油會繼續給予地瓜球外部糊化的澱粉層熱量，導致糊化的澱粉分子開始失去水分並迅速蒸發出來，此時地瓜球表面冒出細小氣泡的現象非常明顯(如圖 19)，原本因糊化而溶出的澱粉分子也開始重新交疊、銜鏈成膠，形成一層乾硬、韌脆的外殼，我們將之稱為「脆皮」。而參與此糊化與失水後重新交疊、銜鏈成膠的澱粉分子特性則會決定我們測量時兩銅片貫穿地瓜球所需的最小力量，由數據發現地瓜泥中添加的澱粉內所含直鏈越多，表面的脆皮韌性會越強，這是因為直鏈澱粉的顆粒較小，分子結構較整齊，分子鏈與分子鏈間縮合程度大，交疊時的結構相對較緊密，形成的脆皮也就較堅韌難破壞。



▲圖 19 :油炸過程



▲圖 20:糯米粉地瓜球與剖面



▲圖 21:樹薯粉地瓜球與剖面



▲圖 22:地瓜粉地瓜球與剖面



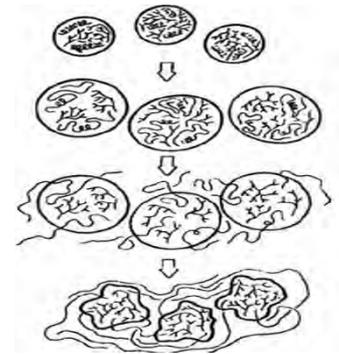
▲圖 23:澄粉地瓜球與剖面



▲圖 24:葛粉地瓜球與剖面

4.實驗結果顯示不同澱粉地瓜球彈性：樹薯粉>地瓜粉>澄粉>葛粉>糯米粉，我們發現

將地瓜球壓縮後，可以幫助形變後的地瓜球回復原狀的主要力量來自地瓜球內部已糊化、彈性較佳的內餡凝膠部分，至於外部脆皮層因為較為乾、硬、脆，在壓縮時已經碎裂無法幫助地瓜球撐起結構並回復原狀，對彈性影響較小。而澱粉在糊化過程中直鏈澱粉分子會從膨潤的澱粉粒中逸出，直鏈澱粉不僅可互相形成氫鍵，亦會與支鏈澱粉形成分子間氫鍵，將水包在其中，而形成一個三度空間的複雜網狀立體結構，而溶脹澱粉顆粒和碎片則會填充在直鏈澱粉網絡中，形成具有一定彈性的凝膠(如圖 25)。廖盧艷、吳衛國(2014)指出澱粉凝膠受到擠壓後，這段時間內恢復變形的能力受澱粉分子形成的網狀結構之交聯點數量和交聯點密度的影響，有效交聯點數目越多，



▲圖 25:糊化過程示意圖

凝膠彈性越大，我們發現不同種類澱粉所含支鏈越多(樹薯粉>地瓜粉>澄粉>葛粉)，澱粉分子所形成網狀結構的交聯點數量和交聯點密度會越大，使地瓜球的內餡凝膠彈性跟著變大；而糯米粉(100%支鏈)因為幾乎沒有直鏈澱粉溶出，無法與支鏈澱粉形成較穩定的網狀結構，故彈性相對較差，且其高含量的支鏈結構提供了很強的分子間作用力，造成糊化的糯米粉有極大的黏性，壓縮後澱粉分子相黏相吸反而不會回彈至原本位置，所以才會使糯米粉製作出的地瓜球彈性最差。

5.實驗結果顯示添加入地瓜泥中的澱粉所含直鏈澱粉比例越高(葛粉>澄粉>地瓜粉>樹薯粉>糯米粉)，其硬度會越大。我們將地瓜球的硬度定義為「將地瓜球壓縮到 50% 所需要的力量」，經過觀察與討論我們發現壓縮地瓜球時遭遇到的主要阻力來自於地瓜球外部的『脆皮韌性』與內部的『凝膠特性』，由前文得：(1)直鏈澱粉比例越

高，糊化後的澱粉遇高溫油而失水後澱粉分子交疊的越緊密，形成的脆皮層越堅韌難破壞；(2)糊化過程直鏈澱粉分子會從膨潤的澱粉粒中逸出，並與支鏈澱粉形成分子間氫鍵，形成一個較穩定的網狀結構；另外如澱粉中含有高量的支鏈結構(如糯米粉)則會提供很強的分子間作用力，造成糊化的凝膠有極大的黏性，故我們知道直鏈澱粉的特性偏『凝』結性質高；支鏈澱粉的特性偏『黏』結性質高(白詠滢、劉亞珣(2017))，故直鏈含量較高的澱粉所形成的地瓜球內餡凝膠凝結狀況較好，要壓縮、破壞其結構需要施予較多的外力、硬度較高，白耀立(1999)於四種根類澱粉物化性質之研究中也有提出相似的現象。

【實驗一-2】探討在地瓜泥中不同直鏈比例的澱粉對地瓜球特性的影響

(一)實驗圖表

◆體積:

直鏈含量(%)	0	15	30	45	60
	體積(立方公分)				
1	11.6	10.3	9.6	8.8	7.6
2	12.5	10.7	9.5	8.6	8.1
3	11.9	10.4	8.9	8.2	7.9
4	12.5	10.5	9.2	8.5	7.4
5	11.9	10.3	9.7	8.3	7.7
平均	12.08	10.44	9.38	8.48	7.74

◆韌性:

直鏈含量(%)	0	15	30	45	60
	力量(公克)				
1	1109	1306	1538	1775	1903
2	1168	1269	1549	1679	1936
3	1063	1321	1662	1680	1988
4	1084	1398	1513	1698	2011
5	1165	1432	1497	1759	1995
平均	1117.8	1345.2	1551.8	1718.2	1966.6

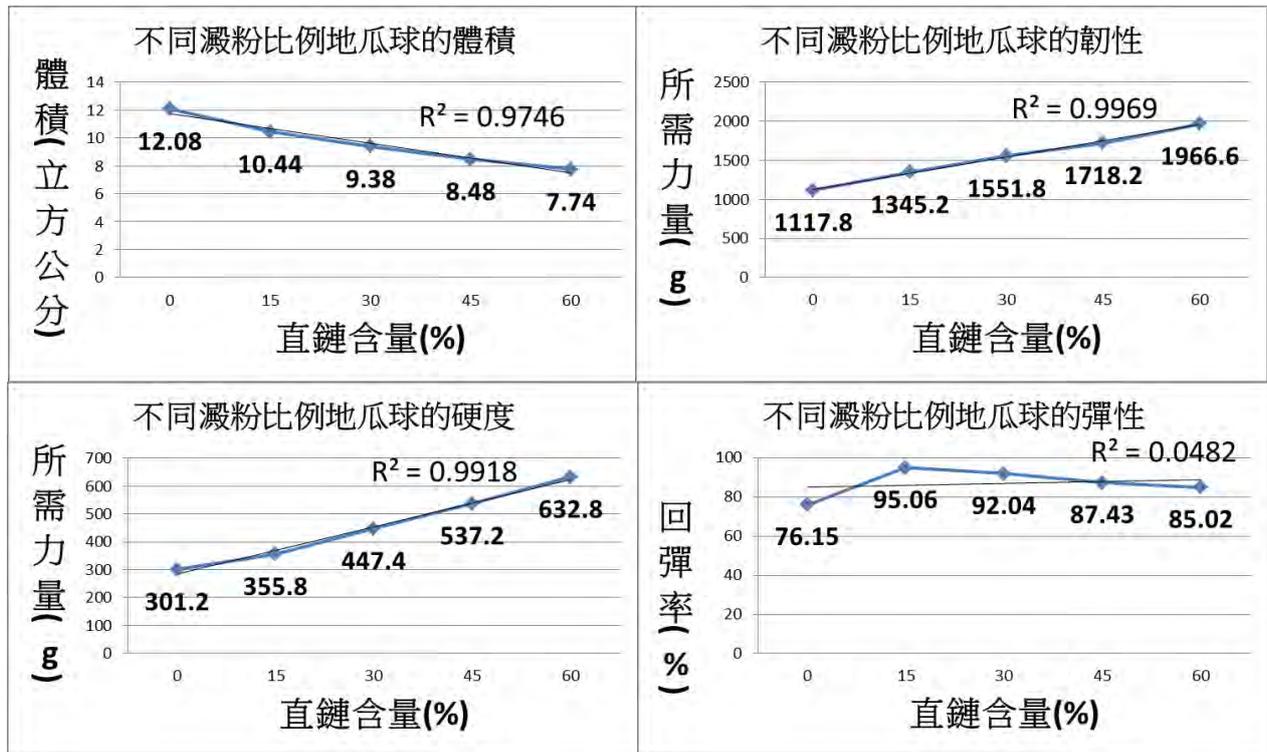
◆硬度:

直鏈含量(%)	0	15	30	45	60
	力量(公克)				
1	296	336	425	517	596
2	312	357	482	511	613
3	289	366	463	533	650
4	276	377	421	539	651
5	333	343	446	586	654
平均	301.2	355.8	447.4	537.2	632.8

◆彈性：

直鏈含量(%)	0			15			60		
	原本高度	15秒後高度	回彈率	原本高度	15秒後高度	回彈率	原本高度	15秒後高度	回彈率
1	3.11	2.39	76.85	2.23	2.11	94.62	2.01	1.69	84.08
2	2.64	1.96	74.24	1.86	1.76	94.62	2.03	1.73	85.22
3	2.73	2.06	75.46	2.24	2.15	95.98	1.69	1.44	85.21
4	2.74	2.16	78.83	1.89	1.79	94.71	1.95	1.66	85.13
5	2.76	2.08	75.36	1.95	1.86	95.38	2.06	1.76	85.44
平均	2.8	2.13	76.15	2.03	1.93	95.06	1.95	1.66	85.02
直鏈含量(%)	30			45					
	原本高度	15秒後高度	回彈率	原本高度	15秒後高度	回彈率			
1	2.21	2.04	92.31	2.15	1.89	87.91			
2	2.03	1.86	91.63	1.79	1.54	86.03			
3	2.21	2.03	91.86	2.13	1.86	87.32			
4	2.41	2.24	92.95	2.31	2.01	87.01			
5	2.22	2.03	91.44	1.98	1.76	88.89			
平均	2.22	2.04	92.04	2.07	1.81	87.43			

(二)實驗圖表



1. 實驗結果顯示直鏈含量越高的地瓜球體積越小、韌性與硬度較大但彈性較差，這是因為：

- (1) 直鏈澱粉的線性直鏈結構所佔據的空間較小，故膨潤後所形成的體積膨脹率相對較小
- (2) 表皮失水後形成的脆皮層交疊的越緊密，故越堅韌難破壞，且硬度較高。
- (3) 直鏈含量高的地瓜球在糊化後所形成網狀結構中，由於支鏈結構相對較少，使交聯點數量和交聯點密度較小，所以彈性較差。

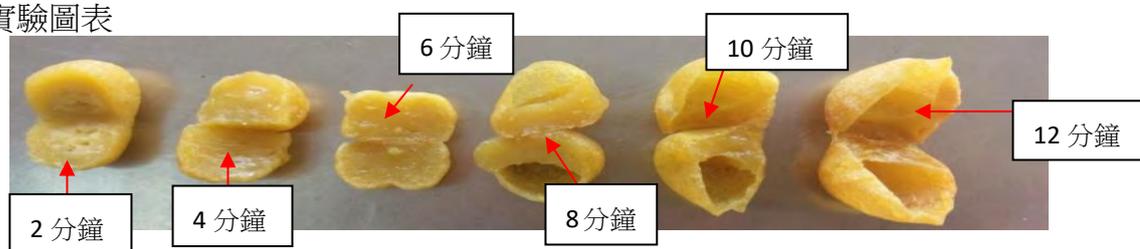
2.由實驗圖表發現澱粉的直鏈含量與體積、韌性及硬度的相關係數均非常接近 1，皆為高度正相關，而彈性方面由於糯米粉直鏈含量為 0%，在糊化過程中幾乎沒有直鏈溶出，無法與支鏈澱粉形成較穩定的網狀結構，故其彈性比直鏈含量 15%的地瓜球來的差，故相關係數相對較低，其結果與【實驗一-1】的推論相當符合。

3.我們發現添加入地瓜泥中的澱粉直鏈比例太高會使內陷乾硬、體積過小(賣相差)，太低則會使脆皮層過軟，故市面上多以樹薯粉或地瓜粉來製作地瓜球，來形成較酥脆的外脆皮以及較 Q 彈的內凝膠以達到較為適宜的口感。

二、【實驗二】探討油炸過程(一)加壓原料(二)不同開始加壓時間點對地瓜球特性的影響

1.【實驗二-1】探討油炸過程中加壓原料對地瓜球特性的影響

(一)實驗圖表



▲圖 26:由左至右分別為開始油炸至第 2、4、6、8、10、12 分時起鍋的地瓜

起鍋時間	2 分鐘	4 分鐘	6 分鐘	8 分鐘	10 分鐘	12 分鐘
平均厚度(cm)	0.068	0.092	0.110	0.142	0.188	0.232

(二)結果與討論 ▲表 27:由左至右分別為開始油炸至第 2、4、6、8、10、12 分時起鍋的脆皮層厚度

1.從上列實驗結果圖可以觀察到

(1)第 2 分鐘起鍋：我們可以明顯觀察到地瓜球內圈呈現淺黃色還未完全糊化，外部無明顯脆皮形成且體積與油炸前沒什麼差異。

(2)第 4 分鐘起鍋：地瓜球內部的澱粉糊化達八九成，外部逐漸變硬，形成一小層肉眼難辨、較薄的脆皮層。

(3)第 6 分鐘起鍋：內部已無淺黃色未糊化區域、糊化凝膠大致完成，外表已出現肉眼可見的明顯脆皮。

(4)第 8 分鐘起鍋：體積開始明顯變大，內部開始出現明顯的氣腔，原本填滿整個地瓜球的糊化凝膠部分沾黏到地瓜球內壁上，而外部的脆皮已結構完整且厚度較 6 分

鐘起鍋的地瓜球厚。

(5)第 10 分鐘起鍋：體積越來越大，內部的氣腔隨著擠壓次數增多而逐漸增大來吹膨地瓜球，糊化的澱粉凝膠開始失水、萎縮且變較乾；外部的脆皮則已明顯成型、變硬變厚。

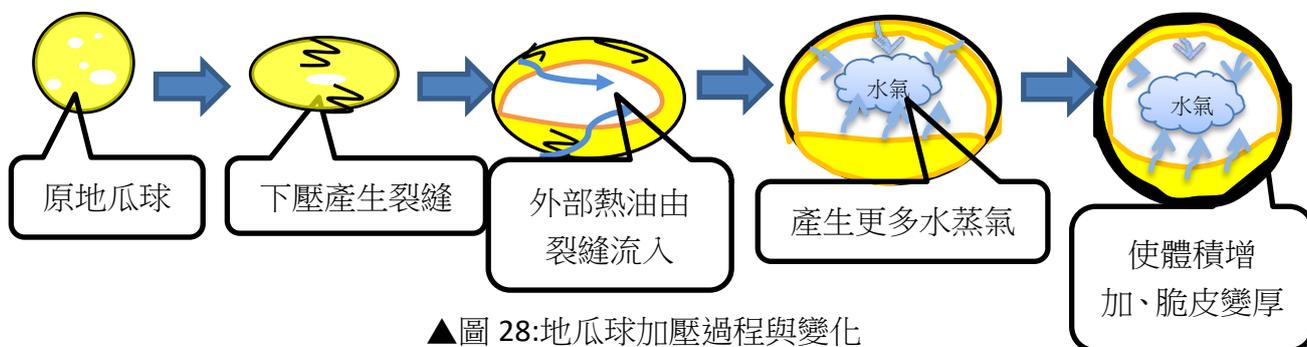
(6)第 12 分鐘起鍋：起鍋後的地瓜球體積大、顏色深，內部的糊化凝膠已經全部萎縮、變乾甚至消失，取而代之的是佔滿大多數內部空間的氣腔以及相當乾硬厚實的外部脆皮。

2.由觀察結果我們發現地瓜球大約在 6 分鐘時才會完整糊化、開始形成較完整的脆皮；越晚起鍋的地瓜球所形成的脆皮會越乾硬厚實且越完整。

3.實驗結果顯示有加壓過的地瓜球（從 8、10、12 分鐘起鍋）會形成明顯的氣腔使體積越來越大，且在地瓜球內的凝膠似乎越來越少、越來越乾，我們開始思考是在加壓的過程中發生什麼變化導致會有這種結果的產生，對於此現象的解釋在我們事前查詢資料時發現，網路認為邊壓邊炸地瓜球可以使地瓜球體積膨脹的原因解釋幾乎都是同一套解釋：『油炸的過程中,須不斷擠壓麵糰,這是為了可以將油炸出來讓空氣跑進去,空氣會讓麵糰澎得更大』，對此說法我們抱持著很大的疑惑，首先炸地瓜球會用澱粉而非麵粉(我們有試做發現麵糰內的麵筋會使油炸出的口感不佳，故廠商大都不會採用)，其次我們發現不論是自己的實驗過程、實體店鋪的參訪或網路上的解說中，油炸中將地瓜球下壓至油鍋底部這個動作會將地瓜球壓扁，同時也會把地瓜球內的許多小氣囊的水蒸氣擠出，放開地瓜球後熱油反而會滲入，此現象與找到的解答邏輯完全相反!甚至還有人認為是因為原理如同麵包中麵團發酵會產生二氧化碳膨大地瓜球體積!?!這讓我們深深的體會到網路知識可參考但不可盡信的道理。

4.經觀察與討論後我們發現開始加壓地瓜球時(油炸時間達 6 分鐘)，地瓜球外表的脆皮與內部的糊化凝膠已大致成形，當我們下壓地瓜球時，部分分散、疏鬆的的糊化凝膠因分子間氫鍵吸引力大、黏性大而黏壓在四周的脆皮層上，此時雖然內部原本的水蒸氣被擠壓出去，但由下壓動作破壞原本完整的脆皮層而使外部高溫的熱油流入接觸到更多含水量大的凝膠部分，導致其開始大量脫水產生更多水蒸氣將壓扁的

地瓜球再度吹膨變大直至脆皮內層的凝膠重新產生一層新的脆皮層為止，在反覆加壓的過程中以上現象會重複出現，導致脆皮越來越厚、凝膠脫水越來越乾、氣腔越來越大，所以在固定時間點開始加壓油炸的過程中，越晚起鍋的地瓜球糊化凝膠裡的水分被汽化的越多，形成的氣腔越大、留下的糊化凝膠越少、脆皮越扎實。

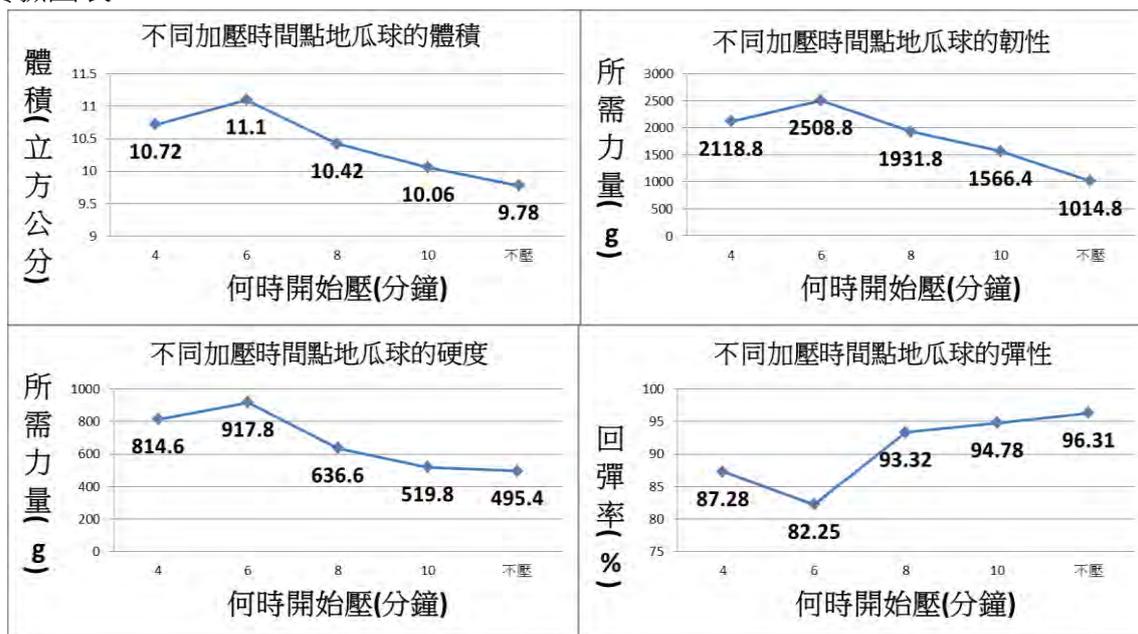


2.【實驗二-2】探討油炸過程中不同開始加壓時間點對地瓜球特性的影響

(一)實驗數據

何時開始壓(分鐘)	4	6	8	10	不壓
平均體積(立方公分)	10.72	11.1	10.42	10.06	9.78
平均韌性(公克)	2118.8	2508.8	1931.8	1566.4	1014.8
平均硬度(公克)	814.6	917.8	636.6	519.8	495.4
平均彈性(回彈率)	87.28	82.25	93.32	94.78	96.31

(二)實驗圖表



(三)結果與討論

1.結果顯示只要有邊壓邊炸的地瓜球體積、韌性與硬度皆大於不壓的地瓜球；且越早開始壓的地瓜球體積、韌性與硬度皆越大(6分鐘>8分鐘>10分鐘)，但彈性越差(6分鐘<8分鐘<10分鐘)，這是因為【實驗二-1】結果裡提到的下壓過程中，原本完整的脆皮層會被壓裂使外部熱油流入接觸到更多內餡的凝膠，使之脫水產生更多水蒸氣將壓扁的地瓜球再度吹膨變大直至脆皮內層的凝膠重新產生一層新的脆皮層為止，在反覆加壓的過程中以上現象會重複出現，導致脆皮越來越厚(韌性增大)、凝膠脫水越來越乾(彈性下降、硬度增加)、氣腔越來越大(體積較大)。



2.但如果開始壓地瓜球的時間過早(4分鐘開始壓)，此時地瓜球的表皮還沒形成一層完整堅硬的脆皮，下壓的動作會讓地瓜球的脆皮層逐漸變形並固定成較扁平的橢圓球狀(如圖 29)，導致後續一樣的下壓動作對其壓縮率相對降低，上述原理的影響相對變小，製成的地瓜球相較於 6 分鐘開始壓的版本脆皮較薄、硬度較弱、體積較小而彈性略佳。

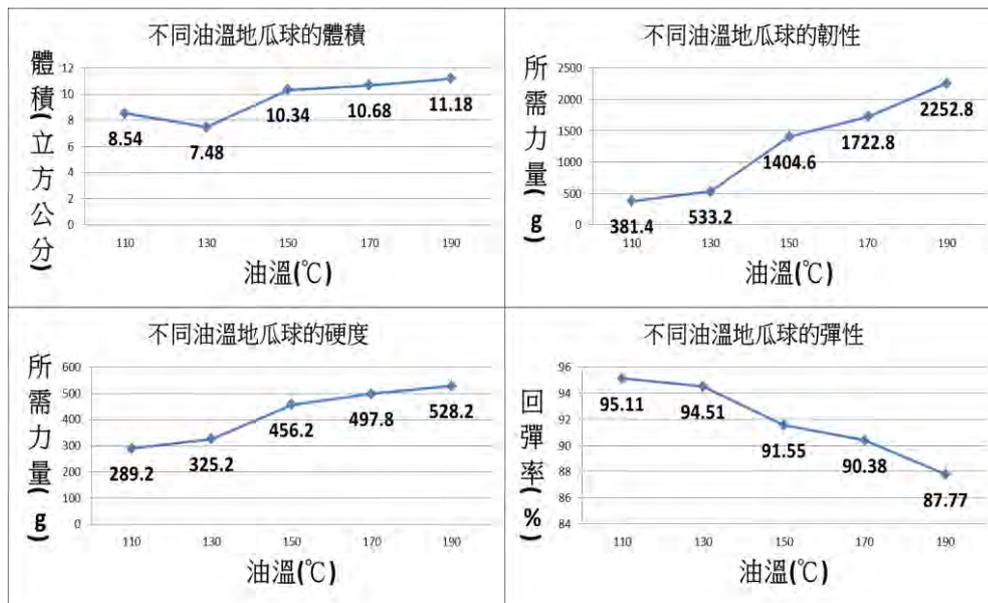
▲圖 29: 扁平的地瓜球

三、【實驗三】探討油炸過程中不同油溫對地瓜球特性的影響

(一)實驗數據

特性 \ 油溫(°C)	110	130	150	170	190
平均體積(平方公分)	8.54	7.48	10.34	10.68	11.18
平均韌性(公克)	381.4	533.2	1404.6	1722.8	2252.8
平均硬度(公克)	289.2	325.2	456.2	497.8	528.2
平均彈性(回彈率)	95.11	94.51	91.55	90.38	87.77

(二)實驗圖表



(三)結果與討論

- 1.(1)由實驗結果我們發現油溫較高時(190°C、170°C、150°C)炸出來的地瓜球體積比油溫較低時(110°C與130°C)大，這是因為油溫較高時，地瓜球表面的脆皮層硬化較快，使地瓜球內部的水氣較早開始被封閉在地瓜球內，其水氣散逸率相對較少，炸出來的地瓜球內，氣囊也相對較多，使體積相對較大；且油溫越高，地瓜球整體所受熱量越多，導致內部凝膠部分相較於低油溫時失水率較高，呈現較為乾硬的狀態(如圖 30)，所以會產生更多的水蒸氣膨大地瓜球。



▲圖 30:由左至右分別為油溫 110、130、150、170、190 度 C 炸成的地瓜球切面

- (2)我們發現相同是低溫油(110&130°C)時，油溫 110°C 的地瓜球體積略大於 130°C 的地瓜球，經觀察後我們發現兩者油炸過程的氣泡冒出率差不多，但在油溫 110°C 時因為溫度最低，表皮澱粉分子失水交疊的狀況最弱，雖經久炸仍可形成一層脆皮，但其結構較薄且軟，故當水蒸發形成氣囊撐大地瓜球或澱粉膨潤增大體積時所受的阻力較小，因此體積比 130°C 時略大，但相反的冷卻後也會因脆皮過軟爛而容易塌陷。

2.實驗結果顯示：

- (1)油溫越高炸出來的地瓜球彈性越差、韌性與硬度越大，這是因為雖然高溫可以使澱粉糊化速度增快，但也容易使內部已糊化的澱粉凝膠繼續脫水而呈現較乾硬的狀態，甚至變成脆皮的一部分使脆皮增厚，故彈性相對較差、韌性與硬度也相對較大，特別是油溫 190°C 時，我們將炸出來的地瓜球剪開後發現內部的凝膠層所剩不多，且呈現相當乾硬的狀態，而外部的脆皮層不但相當乾硬、厚實，甚至還有多一層燒焦的黑殼覆蓋在外，使其韌性極大難切斷。
- (2)另外我們發現在油溫 150°C、170°C 所炸出來的地瓜球比油溫 110°C、130°C 所炸出來的地瓜球多了較香濃的烤地瓜焦香味且顏色較深，與坊間攤位所賣的地瓜球顏色相近呈漂亮的金黃色，起先我們以為是地瓜泥團裡的砂糖(主成分蔗糖，為雙醣的一種)因加熱到高溫開始部份脫水、裂解成葡萄糖與果糖，繼而發生分子間或分子內聚合產生褐色聚合物並伴隨著獨特的焦甜香味，即為『焦糖化反應(caramelization)』，但經過試吃我們發現炸出來的成品沒有想像中的苦中帶甜的焦糖香，反而比較像烤地瓜的濃郁香味，經過與組員反覆討論與查詢資料我們發現焦糖化反應要發生必須是單純含糖的環境、少量的水、約 180°C 的高溫才會明顯反應(施采瑩(2016))，而我們的地瓜泥團除了含糖外還有豐富的蛋白質，且 150°C、170°C 油溫炸出來的地瓜球顏色與香味卻已明顯異於低溫油炸的成品，故我們摒棄了此變化主要來自焦糖化反應的可能。經過查詢資料與討論我們發現在此溫度區間(150°C~170°C)，地瓜球表層的胺基酸與醣類在高溫烹調時會發生一連串複雜反應，生成棕黑褐色的大分子物質，此反應過程會產生不同氣味的分子(包括還原酮、醛和雜環化合物)，這些香氣揮發化合物各自有特殊的味道讓能產生誘人的色澤與風味，而這一連串的複雜化學反應稱作「梅納反應」(Maillard reaction)，而內部凝膠部分由於地瓜球整體熱傳導較差，導致內部溫度無法達到梅納反應所需溫度，故此效應、顏色與香味較表層不明顯。這也是為什麼有些店家能炸出漂亮金黃色的、地瓜香味濃郁的地瓜球，有些店家卻是炸出淡黃色、較軟 Q 但也較無香味的地瓜球原因；此外由於產生梅納反應的最佳溫度為 145°C~165°C，故我們

發現相同是地瓜泥+澱粉製作出來的地瓜圓由於烹飪時使用水煮製法，溫度不會超過 100°C，無法產生此反應所以色香味較為遜色。以上兩種反應都會產生香味、顏色都會先變黃再變深變黑，故很容易混淆、誤用，雖然尋求解答的過程很艱辛，但我們對於能推演出最後的解答感到非常開心，深深覺得化學真的是太多樣化太有趣了！

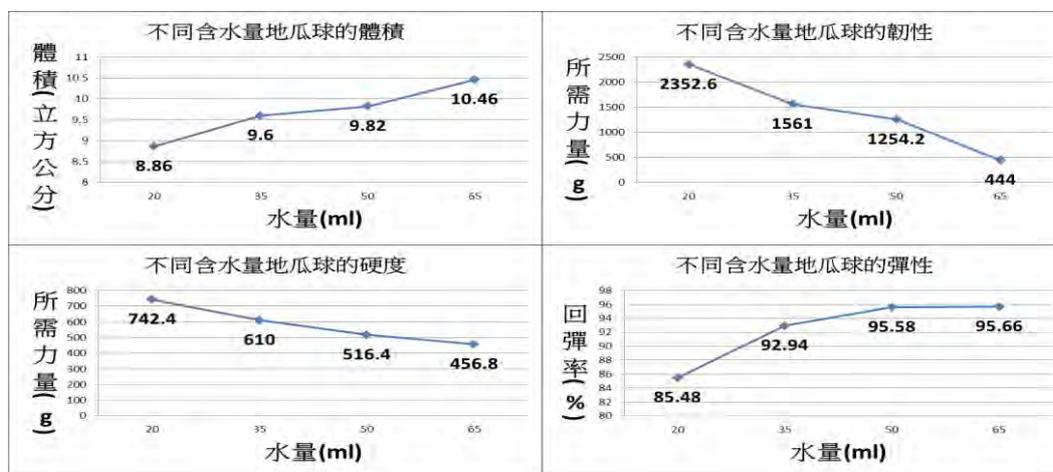
四、【實驗四】探討地瓜球中不同比例的(一)水(二)糖(三)油含量對地瓜球特性的影響

【實驗四-1】探討地瓜球中不同比例的水含量對地瓜球特性的影響

(一)實驗數據

含水量(ml)	20	35	50	65
平均體積(立方公分)	8.86	9.6	9.82	10.46
平均韌性(公克)	2352.6	1561	1254.2	444
平均硬度(公克)	742.4	610	516.4	456.8
平均彈性(回彈率)	85.48	92.94	95.58	95.66

(二)實驗圖表



(三)結果與討論

1. 實驗結果顯示添加愈多水的地瓜球體積會越大，這是因為：

(1) 油炸時地瓜球內部的澱粉會在高溫下糊化，糊化後的澱粉會因吸水而造成體積膨脹，如同【實驗一】所說的膨潤現象，而相同澱粉量下提供的水越多，糊化越完整，膨潤現象越明顯，體積越大。

(2) 當在油炸地瓜球時，地瓜球裡的水分除了會幫助糊化外，也會汽化成水蒸氣，但外部在高溫中形成的脆皮會讓內部的水蒸氣出不去，水蒸氣在無法大量排出的情況

下，會在地瓜球內部形成氣腔，撐大地瓜球，而添加越多水的地瓜球在糊化後所剩的水量較多，就會形成越多氣腔，體積就會越大，我們在實驗中亦有發現添加 65ml 水的地瓜球在油炸時氣泡量+成品剖面氣腔出現水蒸氣孔洞較多。



▲圖 31:加水 65ml 地瓜球

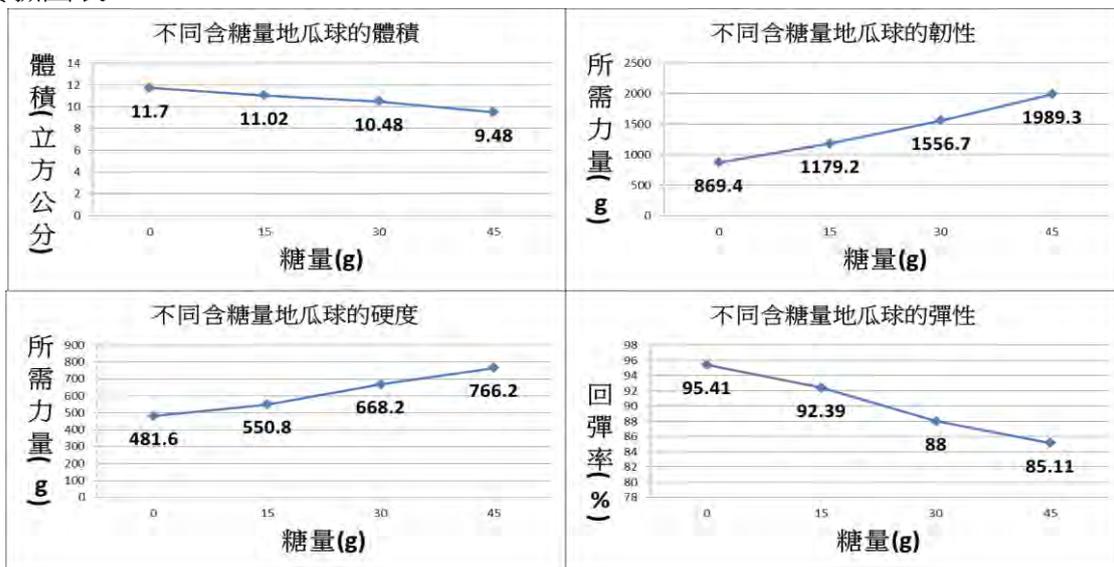
- 2.實驗結果顯示添加愈多水的地瓜球韌性會越低，因為添加越多的水，地瓜球原料團中單位體積內的澱粉密度越小，溫度升高時地瓜球外層被糊化的澱粉數量相對較少，溶出的澱粉分子越少，導致澱粉分子失水後鉸鏈成膠後交疊的越鬆散，所以添加越多水量的地瓜球就會越容易被咬斷。
- 3.實驗結果顯示添加越多水量的地瓜球回彈率越高，是因為在澱粉量固定的情況下，添加的水越多會讓糊化越完整、形成的網狀立體結構越完善，讓地瓜球越容易回彈，而添加 50ml 水的地瓜球回彈率和添加 65ml 水的地瓜球回彈率差異不大，因為限量澱粉達糊化完整只需一定量的水，如添加水過量不會產生更多網狀立體結構的凝膠增強彈性。
- 4.實驗結果顯示添加愈多水的地瓜球硬度越小，是因為添加越多水的地瓜球：氣腔越多(易形變)、單位體積裡澱粉量越低(結構較鬆散，越容易下壓)、韌性越差(下壓阻力小)。

【實驗四-2】探討地瓜球中不同比例的糖含量對地瓜球特性的影響

(一)實驗數據

含糖量(g)	0	15	30	45
平均				
平均體積(立方公分)	11.7	11.02	10.48	9.48
平均韌性(公克)	869.4	1179.2	1556.7	1989.3
平均硬度(公克)	481.6	550.8	668.2	766.2
平均彈性(回彈率)	95.41	92.39	88	85.11

(二)實驗圖表



(三)結果與討論

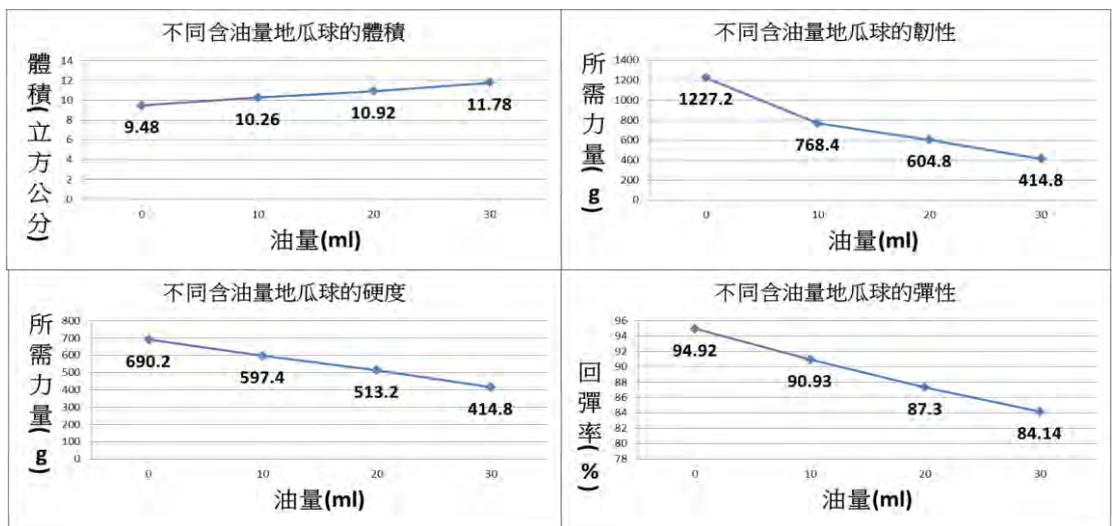
- 1.從實驗結果中發現，添加越多糖的地瓜球體積越小、彈性越差，這是因為糖和水之間的氫、氧原子會因分子間氫鍵而有互相吸引、連結的本質容易吸附在一起，稱為糖的吸濕性，故糖添加得越多，就會有越多的水分被糖吸附住，造成糖與澱粉爭奪水分而干擾糊化、使膨潤現象不明顯，地瓜球的體積就越小、彈性越差。此外，油炸過程中地瓜原料團內的糖越少，對水的吸引力越弱，因此水越容易汽化成水蒸氣，這些水蒸氣會被地瓜球外層的脆皮圍住，無法大量排出，因此在地瓜球內部產生氣腔並撐大地瓜球，故糖越少體積越大。
- 2.實驗結果顯示添加越多糖量的地瓜球韌性越高，這是因為當我們添加越多的糖，地瓜球外表失水後形成的脆皮就會有較多的糖分子參與交疊，讓地瓜球外表的結構越緊密，形成更堅硬的「糖衣脆皮」，所以含糖量越高的地瓜球韌性越高。

【實驗四-3】探討地瓜球中不同比例的油含量對地瓜球特性的影響

(一)實驗數據：

特性 \ 含油量(ml)	0	10	20	30
平均體積(立方公分)	9.48	10.26	10.92	11.78
平均韌性(公克)	1227.2	768.4	604.8	414.8
平均硬度(公克)	690.2	597.4	513.2	414.8
平均彈性(回彈率)	94.92	90.93	87.3	84.14

(二)實驗圖表



(三)結果與討論

- 實驗結果顯示添加越多油量的地瓜球體積越大，我們開始思考油和地瓜球原料團的內容物在油炸過程中發生了什麼關係才導致這種結果，發現當油炸時高溫讓地瓜球內部的澱粉開始與水作用而糊化時，因為地瓜泥團內的油水不互溶，油會包圍住澱粉粉粒減少水進入澱粉粒使之糊化的機率，甚至油會進入澱粉分子間阻礙澱粉分子與水分子的結合(鍾逢或(2014))，所以這些無法與澱粉分子結合的水分就會因熱大量汽化成水蒸氣，但因為地瓜球外表的脆皮無法一次排出大量的水蒸氣，這些水蒸氣就會開始形成氣腔來撐大地瓜球，而添加越多油到地瓜球中就會阻礙越多的澱粉分子與水分子之間的反應，導致形成越多量的水蒸氣來撐大地瓜球，使最終的成品體積較大。
- 實驗結果顯示添加越多油量的地瓜球韌性越小，這是因為油會包圍澱粉粒或進入澱

粉分子間阻礙糊化與分子間吸引力，使澱粉分子糊化成的凝膠網狀立體結構較鬆散，經高溫失水後交疊的結構相對較不緊密，使形成的脆皮較鬆散易貫穿，甚至表殼形成類似油酥皮的狀態使其堅韌性相對較低。

- 3.實驗結果顯示添加越多油量的地瓜球彈性越差，是因為如上述所說的，油不僅會阻止水進入澱粉分子來造成糊化的阻力，且也會阻擋澱粉分子與分子之間的鏈結，導致形成的地瓜球內部凝膠網狀立體結構較不完整，使彈性較差。

陸、結論

【實驗一】 探討在地瓜泥中添加(一)不同種類澱粉(二)不同直鏈比例澱粉對地瓜球特性的影響

- 1.不同澱粉形成地瓜球的外部脆皮與內部凝膠特性有很明顯的差異，我們發現加入糯米粉炸出來的地瓜球雖然體積最大顆，但外皮軟爛、內餡黏性過強、彈性亦不佳；相反的葛粉最小顆、脆皮過硬、彈性不佳、整體硬度超高、難以入口。
- 2.實驗發現直鏈含量越高的地瓜球體積越小、韌性與硬度較大但彈性較差。
- 3.我們推薦大家製作地瓜球時可以添加樹薯粉或地瓜粉為較理想的澱粉種類，並依照不同口味需求去調整配方：添加樹薯粉可以提供較 Q 彈的口感、地瓜粉則可以得到較酥脆的脆皮，或是以兩者不同比例混出不同層次的口感變化。

【實驗二】 探討油炸過程(一)加壓原料(二)不同開始加壓時間點對地瓜球特性的影響

- 1.我們發現越早開始邊炸邊壓地瓜球會使其體積較大、表皮較厚實，但內部口感會較不 Q 甚至過於乾硬(這也是我們有時會買到超大顆卻覺得空心無內餡地瓜球原因)。
- 2.如果我們較晚開始壓地瓜球，內餡凝膠會相對較飽滿 Q 彈，但外皮會較軟且體積較小(一樣的紙袋得裝較多顆地瓜球才裝的滿且賣像差，不符合一般商家利益需求)。
- 3.我們建議商家可以藉由實驗結果的趨勢來控制加壓時間點、加壓次數以適時的調節成品的口感，但切記不可把地瓜球壓破，否則氣體會由破洞處漏出而無法膨起。

【實驗三】 探討油炸過程中不同油溫對地瓜球特性的影響

- 1.我們發現當油溫太高的情況下所炸出的地瓜球雖然大顆但內餡會較為乾硬，而若用太低溫油炸地瓜球會使表面脆皮不完整而太軟爛且容易塌陷。
- 2.我們建議可以選擇以油溫 150°C 來油炸地瓜球，既能以較省瓦斯成本快速的、完整

的完成糊化反應、又可以使內餡 Q 彈不乾硬、表面脆皮口感佳、還會因「梅納反應」有額外的烤地瓜香氣與漂亮的金黃色澤產生，使產品的賣像及色香味俱佳。

【實驗四】探討地瓜球中不同比例的(一)水(二)糖(三)油含量對地瓜球特性的影響

- 1.水量：製作地瓜球時加入較多的水雖然可以得到較大顆的成品，但其表皮會過於鬆軟無酥脆口感，若是商家要注重地瓜球的外觀，要注意如添加過量會導致表面脆皮口感軟爛不佳以及冷卻容易乾癟變形的缺點。加入較少的水雖然脆皮完整，但內部凝膠會過乾彈性差，導致吃起來口感太乾硬。
- 2.糖量：當添加太多糖時，地瓜球的表皮會較酥脆但 Q 彈度欠佳使硬度較大，相反的，當我們添加較少的糖時，雖然地瓜球吃起來會較 Q 彈，可是表皮就沒那麼酥脆且整體口感也偏軟，故我們建議大家製作地瓜球時可以依實驗結果顯示的趨勢來調整糖量以控制成品的脆皮韌性以及內餡的凝膠 Q 彈度。
- 3.油量：添加越多油量的地瓜球表面脆皮層交疊越鬆散、韌性越低，內部糊化凝膠結構越不完整越軟爛，導致其硬度偏小。故當我們添加油到地瓜泥團原料中，可以使油炸出的地瓜球體積較大顆、整體較軟嫩、表層較酥脆，但要注意若添加過量會使內餡彈性欠佳過於軟爛。

柒、參考資料

- 1.中華民國第 52 屆中小學科展 科學「麵」
- 2.中華民國第 54 屆中小學科學 「泡膜」雲起「膜」登寶「澱」
- 3.中華民國第 54 屆中小學科展 黑珍珠的奧祕
- 4.中華民國第 56 屆中小學科學 渾身解薯
- 5.謝博任(2011)。梅納麼簡單。全國高級中等學校小論文寫作比賽。取自 www.shs.edu.tw/works/essay/2015/11/2015111423070558.pdf
- 6.施采瑩、陳嘉蓉、游庭綺(2016)。平行線上的焦點。全國高級中等學校小論文比賽。取自 www.shs.edu.tw/works/essay/2016/11/2016110319440426.pdf
- 7.廖盧艷(2014)。不同澱粉糊化及凝膠特性與粉條品質的關係。農業工程學報第 30 卷第 15 期。

- 8.白耀立(1999)。四種根類澱粉物化性質之研究。國立屏東科技大學碩士論文
- 9.林啟南（2012）。修飾澱粉與一般麵粉之比較。取自
<http://210.60.110.11/reading/wp-content/uploads/2013/09/101ee11.pdf>
- 10.Patricia Ma。梅納反應跟焦糖化到底差在哪？取自 [https://nommagazine.com/梅納反應跟
焦糖化到底差在哪？一次搞懂原理/](https://nommagazine.com/梅納反應跟焦糖化到底差在哪？一次搞懂原理/)
- 11.為什麼糯米吃起來那麼黏？全球趣味資訊。取自 <http://www.ifuun.com/a2016611143919/>

【評語】 030211

在本研究中，作者利用自製韌性儀，彈性/硬度儀，探討不同組成分所至成地瓜球的特性，相當有創意，取材很有趣，符合國中生程度且主題生活化。唯內容多偏重現象觀測。若可對不同構型之澱粉比較其於不同情形之糊化情形，對其深入解釋及說明，可使本研究更加完善。下列建議提供作者參考：

1. 所有量測需要提供誤差，以得知量測的精準度。
2. 交聯較多容易造成高分子較為剛性，然而在研究中的論點反而是交聯越多，彈性較差，可以加以討論。

壹、研究動機

我們很好奇為什麼地瓜球能有外脆內Q的雙重口感?且不同店家所販賣的地瓜球特性都不盡相同，其中的差異到底在哪裡?經過詢問不同店家及上網搜尋後發現地瓜球製法上有許多異同之處，有的人會在地瓜泥中添加樹薯粉或地瓜粉，甚至將樹薯粉和地瓜粉混合製作而成，糖量、油量、水量等其他成分比例也眾說紛紜。因此，我們希望能藉由科學的方法，製作並找出不同變因對地瓜球的口感與特性有什麼影響

貳、研究目的

- 一、探討在地瓜泥中添加(一)不同種類澱粉(二)不同直鏈比例的澱粉對地瓜球特性的影響
- 二、探討油炸過程(一)加壓原料(二)不同開始加壓時間點對地瓜球特性的影響
- 三、探討油炸過程中不同油溫對地瓜球特性的影響
- 四、探討地瓜球中不同比例的(一)水(二)糖(三)油含量對地瓜球特性的影響

參、實驗器材

自製地瓜球特性觀測儀零件					地瓜球材料					
量筒	木架	假牙	電源供應器	銅片與金屬墊片	地瓜	糯米粉	地瓜粉	樹薯粉	小麥澱粉	沙拉油
鋁線	全牙粗螺絲	電子天秤	鱷魚夾電線/LED 燈泡	防水噴霧	葛粉					

肆、研究過程和方法

【實驗一】：探討在地瓜泥中添加(一)不同種類澱粉(二)不同直鏈比例的澱粉對地瓜球特性的影響

【實驗一-1】：1.地瓜球原料團:我們照網路上的地瓜球食譜來製作質量比[地瓜:粉:糖=1:0.5:0.2]的原料團，再依變因添加不同種類澱粉(糯米粉、地瓜粉、樹薯粉、澄粉與葛粉)，測量成品的特性與口感：體積、韌性、硬度與彈性。

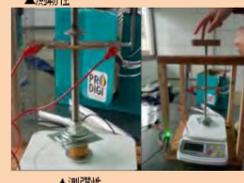
2.油炸過程我們將油溫控制在 130°C~139°C，時間 8 分鐘，再拿一個濾網放入油面以下使地瓜球整顆都能沒入油中。

3.體積：我們以「排水法」測量地瓜球體積，將地瓜球放置在裝水 150ml 的量筒中，在以鋁線下壓地瓜球至水面以下的固定位置，紀錄量筒刻度的上升量。

4.韌性:我們以上下兩側各黏上兩十字形交錯銅片的假牙模型來咬穿地瓜球，並在兩銅片上以正負極鱷魚夾外接 LED 燈，用攝影機紀錄咬穿地瓜球使 LED 燈亮起時電子秤顯示的「地瓜球被貫穿所需的最小力量」。

5.硬度與彈性: 我們先將自製韌性儀的假牙拆下，取圓形墊片以及鐵片以熱塑性塑膠和全牙粗螺絲的螺帽組成一個下壓裝置來裝到不銹鋼全牙粗螺絲下端，另在此裝置兩旁以 L 型鐵架、冰棒棍與銅片製作 LED 判斷裝置，測量時以攝影機記錄電子秤顯示的「將地瓜球壓縮到 50%所需要的力量」後，移除下壓的力量，讓地瓜球自然回彈 15 秒，測量回彈之後的高度再利用[回彈後的高度/原本的高度×100%]得出回彈率。

【實驗一-2】:我們取直鏈含量最少的糯米粉(直鏈 0%，支鏈 100%)與直鏈含量最多的葛粉(直鏈 60%，支鏈 40%)來混和並製作出不同直鏈比例的澱粉去添加到地瓜泥中並觀察其特性



(二)實驗步驟



▲實驗一-1 製作不同種類澱粉的地瓜球過程

	糯米粉:葛粉(質量比)	直鏈平均%
1.	66 : 0=1:0	0%
2.	49.5 : 16.5=3:1	15%
3.	33 : 33=1:1	30%
4.	16.5 : 49.5=1:3	45%
5.	0 : 66=0:1	60%

▲實驗一-2 不同直鏈比例的澱粉

二、【實驗二】探討油炸過程(一)加壓原料(二)不同開始加壓時間點對地瓜球特性的影響

(一)裝置原理：

【實驗二-1】：

1.我們把原本的油炸時間從 8 分鐘轉為 12 分鐘以便觀察，當油炸時間達第 6 分鐘時開始壓地瓜球，每 10 秒壓一次，其中在油炸時間達：2、4、6 分鐘(還沒開始壓)時各從鍋中撈起 4 顆地瓜球並剪開觀察；而在油炸時間達 8、10、12 分鐘(已邊炸邊壓)時再各從鍋中撈起 4 顆地瓜球剪開觀察其內部與外部狀況。

2.我們使用 2 個略小於油鍋直徑圓型有孔洞蒸盤來給予地瓜球穩定下壓的力量，開始計時後先將第一個裝地瓜球原料團的蒸盤放入油鍋中(稱下蒸盤)，第二個蒸盤則以正面的平坦面朝下來壓縮地瓜球(稱上蒸盤)，每次加壓以兩支木製鍋鏟將上蒸盤穩定的水平下壓至固定高度。

【實驗二-2】：

1.本實驗分別從不同時間點(第 4、6、8、10 分鐘)開始壓地瓜球，每 10 秒壓一次至第 12 分鐘起鍋，再與完全不壓的地瓜球做比較。

2.我們從【實驗二-1】中發現加壓後的地瓜球內部太中空可能會影響測量結果，因此決定把【實驗二-1】下壓地瓜球所使用的上蒸盤改以用背面的平底凹型結構朝下壓縮地瓜球，來減少壓縮量，以確保每顆地瓜球每次被壓縮程度都一樣且不會被完全壓扁。

(二)實驗步驟：

1.我們以【實驗一】的結果來設計每次實驗所需地瓜泥團的基本配方比例：取地瓜泥 134g、樹薯粉 66g、糖 25g、水 50ml 與油 7.4ml 並揉勻後用電子秤出 20 顆 10 克的泥團並揉成圓球狀，放上蒸盤準備下鍋油炸(後文將此步驟簡稱為『製作標準化地瓜泥團』)

2.我們以探針式電子油溫計監控油溫至攝氏 130°C 後，馬上將擺有地瓜泥團的圓形有孔洞蒸盤放入油炸並開始計時與後續操作。

【實驗二-1】

- 3.在油炸時間達 6 分鐘時開始加壓地瓜球，每次以兩支木製鍋鏟將上蒸盤穩定的水平下壓至固定高度。
- 4.每 10 秒重複一次此動作直到第 12 分鐘起鍋，其中在油炸時間達：2、4、6、8、10、12 分鐘時，各從鍋中撈起 4 顆地瓜球剪開觀察與紀錄。

【實驗二-2】

3. 分別從不同的時間點(分別是 4、6、8、10 分鐘)開始壓地瓜球，每 10 秒壓一次至第 12 分鐘起鍋。
- 4.當碼表上顯示當次實驗所訂之開始加壓時間時，以兩支木製鍋鏟將『上蒸盤』穩定的水平下壓至碰到『下蒸盤』。

三、【實驗三】：探討油炸過程中不同油溫對地瓜球特性的影響

(一)裝置原理：1.我們以下列油溫來做實驗：110°C、130°C、150°C、170°C、190°C。

(二)實驗步驟：1.製作標準化地瓜泥團，揉成 20 顆各 10 克的小圓球，放到蒸盤上準備下鍋油炸

2.以探針式電子油溫計監控油溫至該次實驗所需溫度 A 後，再將擺有 20 顆地瓜泥團的圓形有孔洞蒸盤放入油炸，並開始計時；油炸過程中也以探針式電子油溫計將油溫監控在 A 至 A+9 之間，若溫度過高就關火、太低則開最小火使其慢慢回溫，8 分鐘後，將所有地瓜球盛起並測其大小、韌性、彈性與硬度，重複以上實驗步驟到所有油溫測完為止。

四、【實驗四】：探討地瓜球中不同比例的(一)水(二)糖(三)油含量對地瓜球特性的影響

(一)裝置原理：1.我們決定分別製作不同(一)含水量(分別為加水 20ml、35ml、50ml、65ml)、(二)含糖量(分別為加糖 0g、15g、30g、45g)、(三)含油量(分別為加油 0ml、10ml、20ml、30ml)的地瓜球，來觀察不同特性地瓜球之間的差異。

(二)實驗步驟：1.我們依標準化地瓜泥團比例分別加入(四-1)不同水量(依序為 30、45、60、75 ml)、(四-2)不同糖量(依序為 0、15、30、45 g)、(四-3)不同油量(依序為 0、10、20、30 ml)來形成不同添加物含量的地瓜泥團，各自揉成 20 顆各 10 克的小圓球，放上有洞蒸盤準備下鍋油炸並測其大小、韌性、彈性與硬度有何差異。

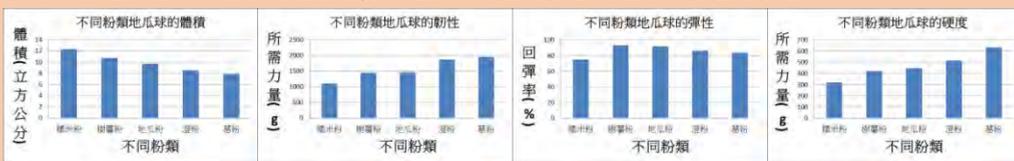


伍、研究結果與討論

一、探討在地瓜泥中添加(一)不同種類澱粉(二)不同直鏈比例的澱粉對地瓜球特性的影響

【實驗一 -1】探討在地瓜泥中添加不同種類澱粉對地瓜球特性的影響

(一)實驗結果：



粉類	直鏈比例	支鏈比例
糯米粉	0%	100%
樹薯粉	17%	83%
地瓜粉	19%	81%
澄粉	28%	72%
葛粉	60%	40%



(二)分析與討論：

- 添加不同澱粉的地瓜球體積：糯米粉>樹薯粉>地瓜粉>澄粉>葛粉，為探討原因，我們找出這四種澱粉中直鏈與支鏈比例
- 地瓜泥中添加的澱粉所含支鏈比例越高，其成品體積越大，因當我們將地瓜球原料揉勻油炸時，高溫的環境使部分膠束分離形成空隙，澱粉粒因水分子進入而膨脹，稱為『膨潤』。若繼續加熱，膠束則全部分離形成澱粉單一分子，稱為『糊化』。糊化過程中，支鏈澱粉因分子排列較疏鬆，因此形成的含水澱粉團結構較大，故添加的澱粉所含支鏈比例越高，其成品體積越大。
- 添加不同澱粉的地瓜泥韌性：葛粉>澄粉>地瓜粉>樹薯粉>糯米粉，我們發現兩銅片貫穿的主要阻力為地瓜球脆皮。由數據發現地瓜泥中添加的直鏈澱粉越多，脆皮韌性越強，因為直鏈澱粉的顆粒較小，分子鏈與分子鏈間締合程度大，交疊時的結構相對較緊密，形成的脆皮也就較堅韌難破壞。
- 不同澱粉地瓜球彈性：樹薯粉>地瓜粉>澄粉>葛粉>糯米粉，我們發現地瓜球回彈的主要力量來自凝膠部分。糊化過程中直鏈澱粉分子會從膨潤的澱粉粒中逸出，與支鏈澱粉形成分子間氫鍵，將水包在其中，形成複雜網狀立體結構，具有一定彈性的凝膠。糯米粉因無直鏈澱粉溶出，無法與支鏈澱粉形成較穩定的網狀結構，故彈性較差。
- 加入地瓜泥中的澱粉所含直鏈澱粉比例越高，硬度會越大。經觀察與討論我們發現壓縮地瓜球的主要阻力來自脆皮與凝膠，由前文知直鏈澱粉的特性偏『凝』結性質高；支鏈澱粉的特性偏『黏』結性質高，故直鏈高的澱粉所形成的地瓜球硬度較高。



▲糊化過程示意圖

【實驗一 -2】探討在地瓜泥中添加不同直鏈比例的澱粉對地瓜球特性的影響

(一)實驗結果：



(二)分析與討論：

- 實驗結果顯示直鏈含量越高的地瓜球體積越小、韌性與硬度較大但彈性較差，這是因為：
 - 直鏈澱粉的線性直鏈結構所佔據的空間較小，故膨潤後所形成的體積膨脹率相對較小
 - 表皮失水後形成的脆皮層交疊的越緊密，故越堅韌難破壞，且硬度較高。
 - 直鏈含量高的地瓜球在糊化後所形成網狀結構中，由於支鏈結構相對較少，使交聯點數量和交聯點密度較小，所以彈性較差。
- 由實驗圖表發現澱粉的直鏈含量與體積、韌性及硬度的相關係數均非常接近 1，皆為高度正相關，而彈性方面由於糯米粉直鏈含量為 0%，故其彈性比直鏈含量 15% 的地瓜球來的差，故相關係數相對較低，其結果與實驗 1-1 的推論相當符合。

二、【實驗二】探討油炸過程(一)加壓原料(二)不同開始加壓時間點對地瓜球特性的影響

【實驗二 -1】探討油炸過程中加壓原料對地瓜球特性的影響

(一)實驗結果：



(二)分析與討論：

- 由觀察結果我們發現地瓜球大約在 6 分鐘時才會完整糊化、開始形成較完整的脆皮；越晚起鍋的地瓜球所形成的脆皮會越乾硬厚實且越完整。
- 實驗結果顯示有加壓過的地瓜球會形成明顯的氣腔使體積越來越大，且地瓜球內的凝膠似乎越來越少、越來越乾，網路認為造成此現象的原因：『油炸的過程中，須不斷擠壓麵糰，是為了可以將油炸出來讓空氣跑進去，空氣會讓麵糰膨得更大』，對此說法我們抱持著很大的疑惑，我們發現不論是自己的實驗過程、實體店鋪的參訪或網路上的解說中，油炸中加壓地瓜球會把地瓜球內的許多水蒸氣擠出，放開地瓜球後熱油反而會滲入。
- 當我們下壓地瓜球時，部分分散、疏鬆的糊化凝膠因分子間氫鍵吸引力大、黏性大而黏壓在四周的脆皮層上，此時雖然內部原本的水蒸氣被擠壓出去，但會使外部高溫的熱油流入接觸到更多含水量大的凝膠部分，導致其開始大量脫水產生更多水蒸氣將壓扁的地瓜球再度吹膨變大直至脆皮內層的凝膠重新產生一層新的脆皮層為止。

【實驗二 -2】探討油炸過程中(二)不同開始加壓時間點對地瓜球特性的影響

(一)實驗結果：

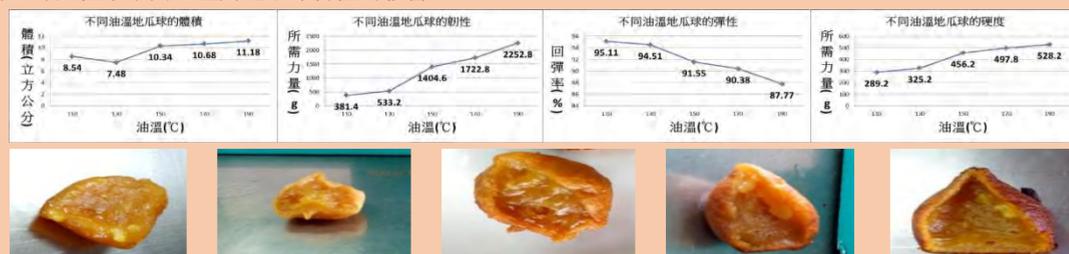


(二)分析與討論：

- 越早開始壓的地瓜球體積、韌性與硬度皆越大，但彈性越差，因為【實驗二-1】結果裡提到的下壓過程中，反覆加壓導致脆皮越來越厚(韌性增大)、凝膠脫水越來越乾(彈性下降、硬度增加)、氣腔越來越大(體積較大)。
- 若加壓時間過早，地瓜球脆皮不完整，下壓動作易使脆皮層變形形成橢圓球狀(如圖 34)，使後續下壓動作對其壓縮率降低，上述原理的影響變小，其成品比 6 分鐘開始壓的成品脆皮薄、硬度弱、體積小而彈性略佳。

三、【實驗三】探討油炸過程中不同油溫對地瓜球特性的影響

(一)實驗結果：



(二)分析與討論：

▲由左至右分別為油溫 110、130、150、170、190 度 C 炸成的地瓜球切面

- 我們發現油溫高的地瓜球體積比油溫較低時大，因為油溫較高時，脆皮層硬化快，內部的水氣較早被封閉在地瓜球內，其水氣散逸率少，氣囊較多，體積大；油溫越高，整體受熱量越多，內部凝膠部分比低油溫時失水率高，呈較乾硬的狀態，故產生更多水蒸氣膨大地瓜球。
 - 我們發現油溫 110°C 略大於 130°C 的地瓜球，在油溫 110°C 時因溫度低，表皮澱粉分子失水交疊的狀況最弱，經久炸形成一層較薄且軟的脆皮，故當氣囊撐大地瓜球或澱粉膨潤增大體積時所受的阻力小，體積比 130°C 時略大，但相反的冷卻後也會因脆皮過軟爛而容易塌陷。
- 油溫越高炸出來的地瓜球彈性越差、韌性與硬度越大，因為高溫易使內部已糊化的凝膠繼續脫水變成脆皮，故彈性較差、韌性與硬度較大，油溫 190°C 時，地瓜球的凝膠層所剩不多，且呈乾硬的狀態，而脆皮層相當乾硬、厚實，甚至還有一層燒焦的黑殼，使其韌性極難切斷。
 - 油溫 150°C、170°C 所炸出來的地瓜球比 110°C、130°C 顏色深，經查詢資料我們發現在此溫度區間(150°C~170°C)，地瓜球表層的胺基酸與醣類在高溫烹調時會生成棕黑褐色的大分子物質，此反應過程會產生不同氣味的分子，而這一連串的複雜化學反應稱作「梅納反應」。

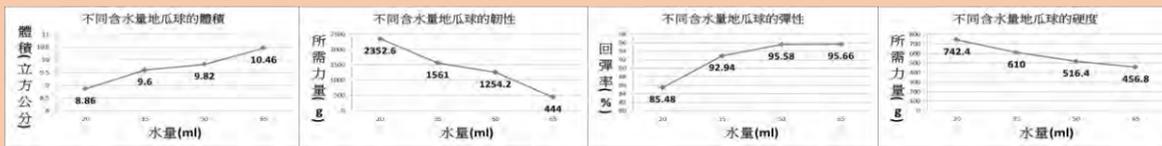


▲扁平的地瓜球

四、【實驗四】探討地瓜球中不同比例的一(水)二(糖)三(油)含量對地瓜球特性的影響

【實驗四 - 1】探討地瓜球中不同比例的水含量對地瓜球特性的影響

(一)實驗結果：



氣腔多、體積大



▲加水 65ml 地瓜球

(二)分析與討論：

- (1)添加愈多水的地瓜球大小會越大，因為地瓜球內部的澱粉會在高溫下糊化，糊化後的澱粉會因吸水而造成體積膨脹，如同【實驗一】所說的膨潤現象，而相同澱粉量下提供的水越多，糊化越完整，膨潤現象越明顯，體積越大。
- (2)油炸地瓜球時，水分會汽化成水蒸氣，但脆皮會讓水蒸氣出不去，水蒸氣在無法大量排出的情況下，會在地瓜球內部形成氣腔，撐大地瓜球，我們在實驗中亦有發現添加 65ml 水的地瓜球在油炸時氣泡量+成品剖面氣腔出現水蒸氣孔洞較多（如圖 36）。
- 2.添加愈多水的地瓜球韌性會越低，因為添加越多的水，外層被糊化的澱粉數量較少，脆皮鬆散，故添加越多水量的地瓜球越容易被咬斷。
- 3.添加越多水量的地瓜球回彈率越高，因為澱粉量固定，水越多，形成的網狀立體結構越完善，地瓜球越容易回彈，但限量澱粉達糊化完整只需一定量的水，若水過量不會產生更多網狀立體結構的凝膠增強彈性。
- 4.添加愈多水的地瓜球硬度越小，因為添加越多水，氣腔越多、單位體積裡澱粉量越低（結構較鬆散，越容易下壓）、韌性越差。

【實驗四 - 2】探討地瓜球中不同比例的糖含量對地瓜球特性的影響

(一)實驗結果：

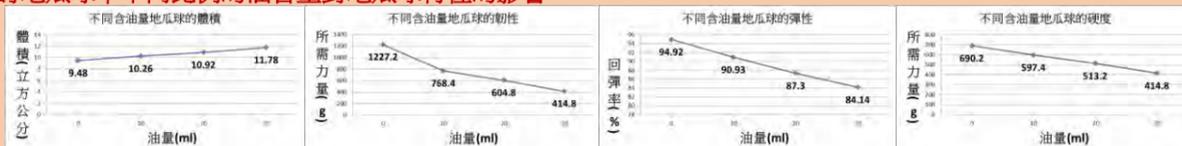


(二)分析與討論：

- 1.添加越多糖的地瓜球體積越小、彈性越差，因為糖和水之間的氫、氧原子會因分子間氫鍵而容易吸附在一起，稱為糖的吸濕性。故糖與澱粉爭奪水分而干擾糊化、使膨潤現象不明顯，地瓜球的體積就越小、彈性越差。
- 2.添加越多糖的地瓜球韌性越高，因為添加越多的糖，地瓜球脆皮會有較多的糖分子參與交疊，形成堅硬的「糖衣脆皮」。

【實驗四 - 3】探討地瓜球中不同比例的油含量對地瓜球特性的影響

(一)實驗結果：



(二)分析與討論：

- 1.添加越多油量的地瓜球體積越大，我們發現高溫讓地瓜球內部開始糊化時，地瓜泥團內的油水不互溶，油會減少糊化的機率，甚至會阻礙澱粉分子與水分子的結合，所以這些無法與澱粉分子結合的水分就會因熱大量汽化成水蒸氣，形成氣囊撐大地瓜球。
- 2.添加越多油量的地瓜球韌性越小，因為油會阻礙糊化，使凝膠結構較鬆散，形成的脆皮易貫穿，形成類似油酥皮的狀態使其韌性相對較低。
- 3.添加越多油量的地瓜球彈性越差，如上述所說的，油不僅會阻止水進入澱粉分子來造成糊化的阻力，且也會阻擋澱粉分子與分子之間的鏈結，導致形成的地瓜球內部凝膠網狀立體結構較不完整，使彈性較差。

陸、結論

一、【實驗一】探討在地瓜泥中添加(一)不同種類澱粉(二)不同直鏈比例的澱粉對地瓜球特性的影響

- 1.不同澱粉形成地瓜球的外部脆皮與內部凝膠特性有很明顯的差異，我們發現加入糯米粉炸出來的地瓜球雖然體積最大顆，但外皮軟爛、內餡黏性過強、彈性亦不佳；相反的葛粉最小顆、脆皮過硬、彈性不佳、整體硬度超高、難以入口。
- 2.實驗發現直鏈含量越高的地瓜球體積越小、韌性與硬度較大但彈性較差。
- 3.我們推薦大家製作地瓜球時可以添加樹薯粉或地瓜粉為較理想的澱粉種類，並依照不同口味需求去調整配方：添加樹薯粉可以提供較 Q 彈的口感、地瓜粉則可以得到較酥脆的脆皮，或是以兩者不同比例混出不同層次的口感變化。

二、【實驗二】：探討油炸過程(一)加壓原料(二)不同開始加壓時間點對地瓜球特性的影響

- 1.我們發現越早開始邊炸邊壓地瓜球會使其體積較大、表皮較厚實，但內部口感會較不 Q 甚至過於乾硬。
- 2.如果我們較晚開始壓地瓜球，內餡凝膠會相對較飽滿 Q 彈，但外皮會較軟且體積較小(得裝較多顆地瓜球才裝的滿且賣像差，不符合一般利益需求)。
- 3.我們建議商家可以藉由實驗結果來控制加壓時間點、次數以調節成品的口感，但切記不可太早壓並把地瓜球壓破，否則會無法膨起。

三、【實驗三】：探討油炸過程中不同油溫對地瓜球特性的影響

- 1.我們發現當油溫太高所炸出的地瓜球雖然大顆但內餡會較為乾硬，而若用太低溫油炸地瓜球則會使表面脆皮不完整而太軟爛且容易塌陷。
- 2.我們建議可以選擇以油溫 150°C 來油炸地瓜球，既能較快速的、完整的完成糊化反應、又可以使內餡 Q 彈不乾硬、表面脆皮口感佳，還會因「梅納反應」造成額外的烤地瓜香氣與漂亮的金黃色澤產生，使產品的賣像及色香味俱佳。

四、【實驗四】：探討地瓜球中不同比例的一(水)二(糖)三(油)含量對地瓜球特性的影響

(一)水量：製作地瓜球時加入較多的水雖然可以得到較大顆的成品，若是注重地瓜球的外觀，要注意其表皮會過於鬆軟無酥脆口感、脆皮口感軟爛及冷卻容易乾癟變形的缺點。加入較少的水雖然脆皮完整，但內部凝膠會過乾彈性差，導致吃起來口感太乾硬。

(二)糖量：當添加太多糖時，地瓜球的表皮會較酥脆但 Q 彈度欠佳、硬度較大；相反的，當我們添加較少的糖時，雖然地瓜球吃起來會較 Q 彈，可是表皮就沒那麼酥脆且整體口感也偏軟，故我們建議大家製作地瓜球時可以依實驗結果的趨勢來調整糖量以控制成品的脆皮以及內餡的凝膠。

(三)油量：添加越多油量的地瓜球表面脆皮層韌性越低，內部糊化凝膠結構越軟爛，導致其硬度偏小。故當我們添加油到地瓜泥團原料中，可以使油炸出的地瓜球體積較大顆、整體較軟嫩、表層較酥脆，但要注意若添加過量會使內餡彈性欠佳過於軟爛。

柒、參考資料與其他

- 1.中華民國第 52 屆中小學科展 科學「麵」
- 2.中華民國第 54 屆中小學科學 「泡膜」雲起「膜」登寶「澱」
- 3.中華民國第 54 屆中小學科展 黑珍珠的奧秘
- 4.中華民國第 56 屆中小學科學 渾身解薯
- 5.謝博任 (2011)。梅納麼簡單。全國高級中等學校小論文寫作比賽。取自 www.shs.edu.tw/works/essay/2015/11/2015111423070558.pdf
- 6.施采瑩、陳嘉蓉、游庭綺 (2016)。平行線上的焦點。全國高級中等學校小論文比賽。取自 www.shs.edu.tw/works/essay/2016/11/2016110319440426.pdf
- 7.廖盧艷(2014)。不同澱粉糊化及凝膠特性與粉條品質的關係。農業工程學報第 30 卷第 15 期。
- 8.白耀立(1999)。四種根類澱粉物化性質之研究。國立屏東科技大學碩士論文
- 9.林啓南 (2012)。修飾澱粉與一般麵粉之比較。取自 <http://210.60.110.11/reading/wp-content/uploads/2013/09/101ee11.pdf>
- 10.Patricia Ma。梅納反應跟焦糖化到底差在哪？取自 <https://nommagazine.com/梅納反應跟焦糖化到底差在哪？一次搞懂原理/>
- 11.為什麼糯米吃起來那麼黏？全球趣味資訊。取自 <http://www.ifuun.com/a2016611143919/>