

# 中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高級中等學校組 農業與食品學科

**第二名**

052208

**渾身解薯-自製物性測定儀與地瓜圓探討**

學校名稱：國立嘉義女子高級中學

作者：  高二 郭玟慧  高二 林舒涵  高二 沈怡姍	指導老師：  林俞君  江淞承
---	-----------------------------

關鍵詞：自製機器、地瓜圓、質地分析

## 摘要

本研究中我們以自製的物性測定儀針對不同製程的地瓜圓進行質地多面分析。實驗結果顯示，當自製的物性測定儀與市售的物性測定儀相比時，在硬度、黏性、彈性與咀嚼性的分析結果上趨勢相符，具相當的可信度。若以自製物性測定儀測量不同製成方法的地瓜圓，再進行質地分析後可知，當地瓜與澱粉的重量比例、澱粉來源、泥團濕度不同或者是否添加糖粉，對地瓜圓的質地影響明顯，也會影響其口感。若針對其中三種口感的地瓜圓（分別為一般、較硬、較黏）進行官能品評，可知添加糖粉而較黏的地瓜圓，不論是在香氣、黏度、軟硬度、Q 度與整體感都較另外兩者佳。

## 壹、研究動機

在炎熱的夏天裡，總會忍不住到冰店點一碗綜合冰來解暑，小小一碗裡有著各種配料，其中最難忘的滋味莫過於彈牙的地瓜圓，每一口咬下都能從齒頰間透出濃濃的地瓜香。令我們好奇的是，每一戶店家所販賣的地瓜圓吃起來不管是香氣、色澤、軟硬都不盡相同，有些像湯圓般渾圓、有些是不規則形；有些顏色金黃、有些會略帶透明；有些咬起來十分有嚼勁、有些則是一咬就斷。為了解開這個疑惑，我們試著詢問店家地瓜圓的做法，也上網搜尋一些美食部落客和老饕網友的方法，發現其中有許多異同之處。因此，我們希望能藉由科學與數學統計的方法，製作並找出多數人所喜愛的地瓜圓。

## 貳、研究目的

- 一、從生活中取材，自製一臺可測定地瓜圓性質的物性測定儀，同時與市售之儀器進行比較。
- 二、改變地瓜圓的製作方法（例如：地瓜 & 澱粉重量比例、不同的澱粉來源...等），並利用自製物性測定儀量化其口感上的改變。
- 三、藉由官能品評試驗結果，探討多數人對於其中幾組較具代表性的地瓜圓，其色澤、香氣、口感及整體度的感受。
- 四、比較自製物性測定儀測得之數據與官能品評之結果。

## 參、研究設備及器材

### 一、材料

材料名稱	材料圖片	材料名稱	材料圖片
樹薯粉 (木薯粉、太白粉) (台灣糖業股份公司)		馬鈴薯粉 (片粟粉、日本太白粉)	
蕃薯粉 (章玉源製粉工廠)		糖粉 (信明食品股份有限公司)	
台糖貳號砂糖 (台灣糖業股份公司)		哈瑞寶金熊 Q 軟糖 (天工生技股份有限公司)	
乖乖軟糖 (乖乖股份有限公司)		果凍 (鍊寶食品公司)	

## 二、設備及器材

設備名稱	設備圖片	設備名稱	設備圖片
美善品多功能料理機 (TM21/2-4C)		蒸爐 (SAMPO)	
電子天平 (Sartorius TE3102S)		攝影機 (Sony HDR-CX240)	
磅秤 (真準磅秤 A0197)		電瓶 (YUASA NP7-12)	
烹煮器具			

## 三、自製裝置

### (一) 定型器製作

為使地瓜圓的形狀均一，故自製定型器。其製作方法如下：

1. 將 10 mL 針筒的注射端切除並磨平削尖。

2. 將活塞拔除並切除活塞和針筒的連接處 (圖一)

3. 組合注射端與針筒即成品 (圖二)。



圖一：切除活塞和針筒連接處



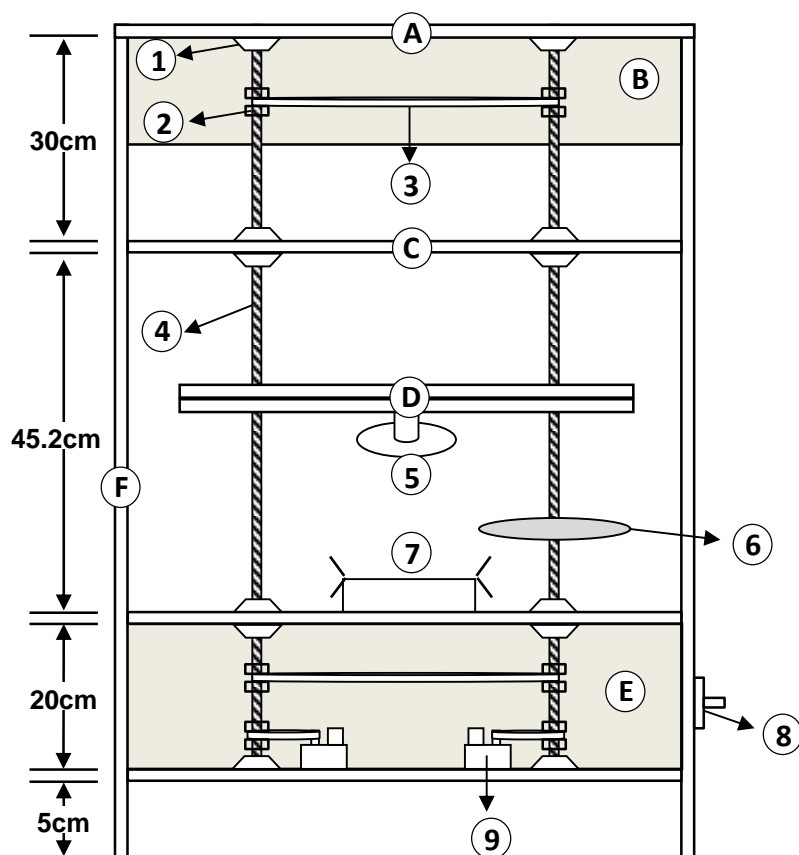
圖二：定型器成品

## (二) 自製物性測定儀

由於市售的物性測定儀價格昂貴，因此我們嘗試利用相同原理自製一台物性測定儀，並利用此自製物性測定儀進行往後的地瓜圓質地多面分析。其製作流程如下：

### 1. 繪製設計圖

(1) 自製物性測定儀整體結構，如圖三所示：



圖三：機器設計圖

木板

Ⓐ：73×35×1.7 cm 一塊

Ⓑ：70×15.5×1.7 cm 一塊

Ⓒ：70×35×1.7 cm 三塊

Ⓓ：60×10×1.7 cm 兩塊

Ⓔ：70×20×1.7 cm 一塊

Ⓕ：107×35×1.7 cm 兩塊

零件

①：軸承

②：齒輪

③：皮帶

④：牙條

⑤：探頭

⑥：旋轉圈數計算盤

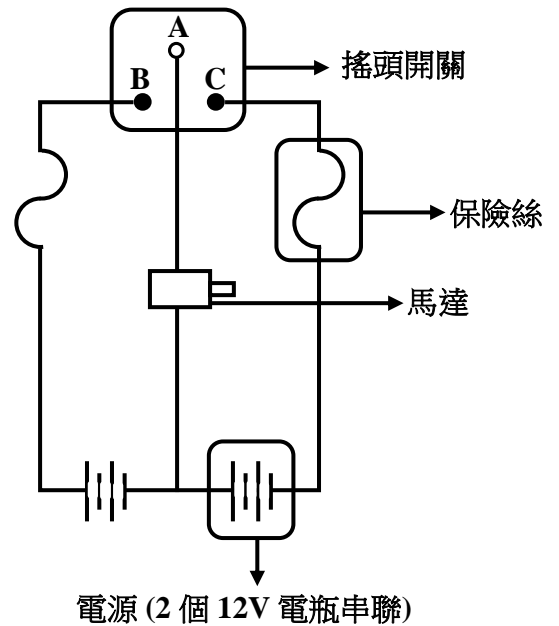
⑦：磅秤

⑧：搖頭開關

⑨：減速馬達

## (2) 電路設計

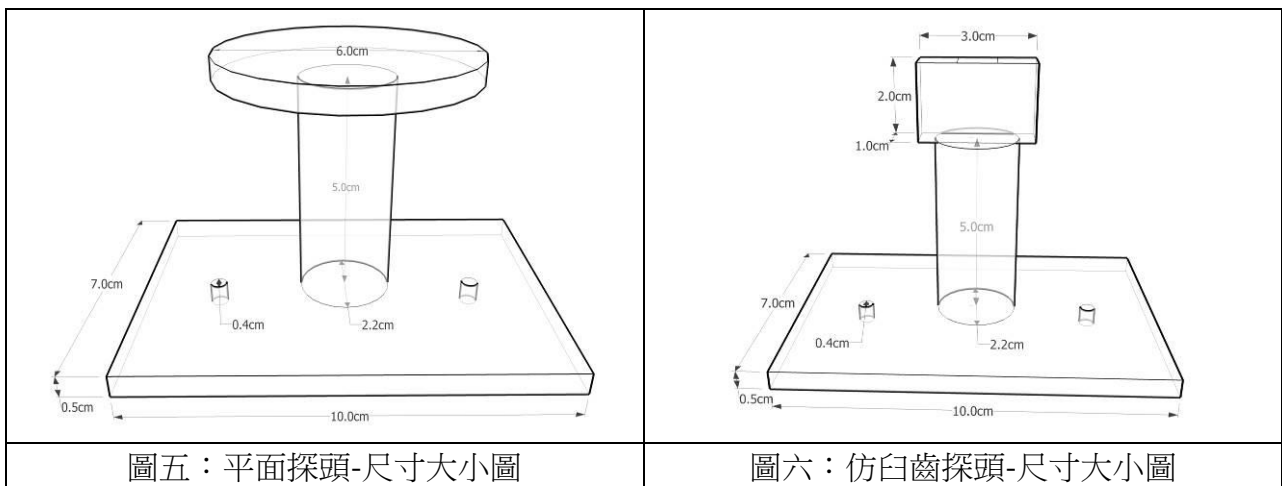
為了較穩定控制探頭的移動，我們將兩根牙條用齒輪及皮帶與減速馬達相接，再設計電路將馬達、搖頭開關、保險絲及 24V 直流電源相接 (如圖四)。當 A 與 B 接通時，馬達會帶動牙條順轉 (探頭下降)；而當 A 與 C 接通時，馬達則會帶動牙條逆轉 (探頭上升)。



圖四：電路設計圖

## (3) 自製探頭

我們利用 0.5 cm 厚度的壓克力製作兩種不同的探頭 (圖五、六)，分別為一般性量測所使用的平面探頭與模擬人口牙齒的仿白齒探頭。



## 2. 電路配置及自製物性測定儀的組裝



圖七：木板繪製



圖八：儀器組裝



圖九：儀器組裝



圖十：電路配置

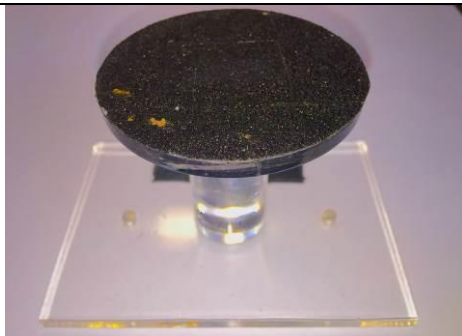
## 3. 自製物性測定儀及探頭成品



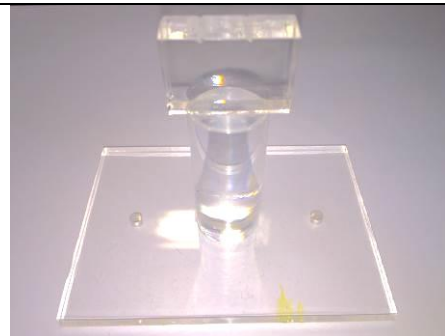
圖十一：電路配置-成品



圖十二：旋轉圈數計算盤-成品



圖十三：平面探頭-成品



圖十四：仿白齒探頭-成品

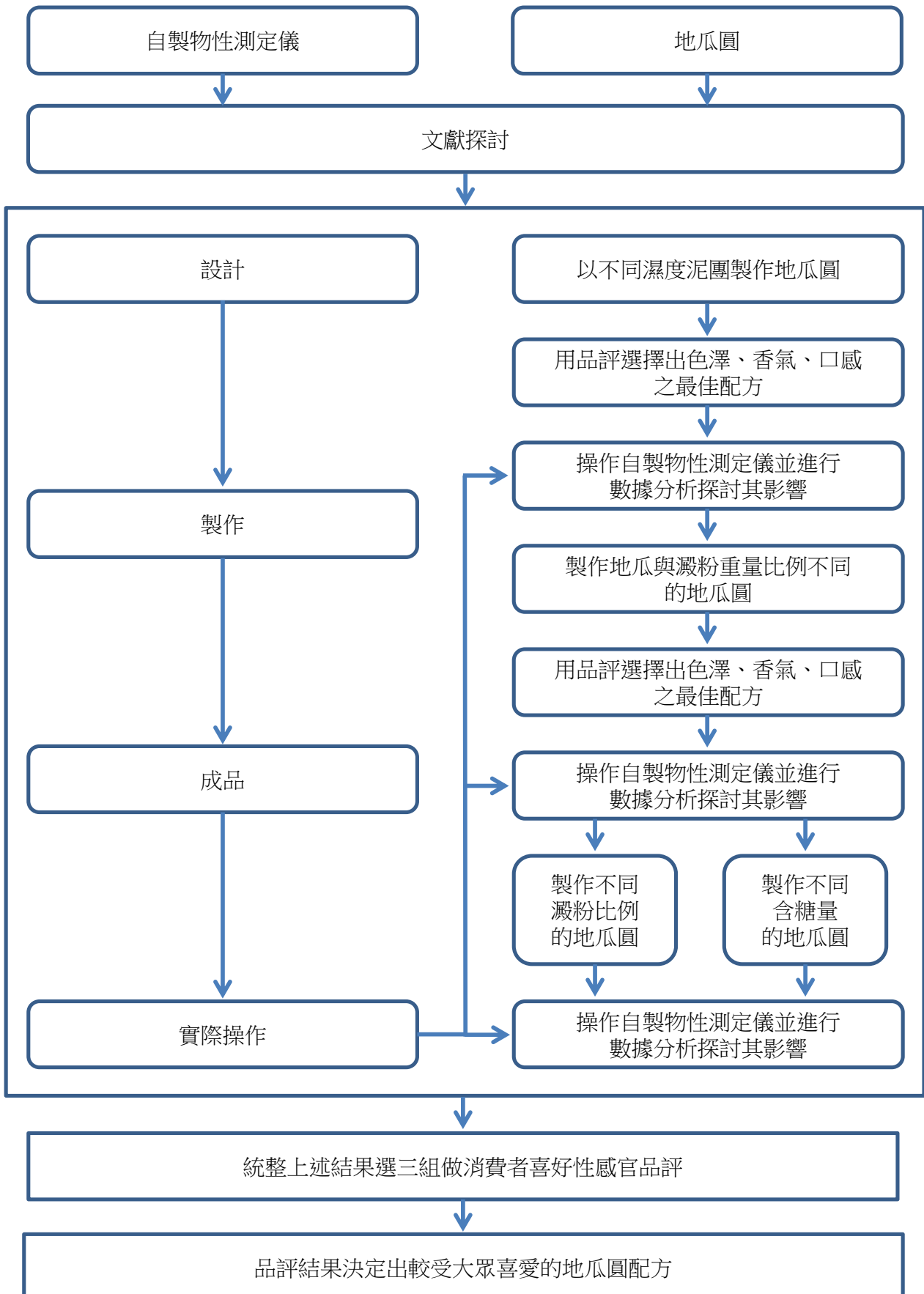


圖十五：自製物性測定儀-成品



## 肆、研究過程與方法

### 一、研究架構



## 二、物性測定儀

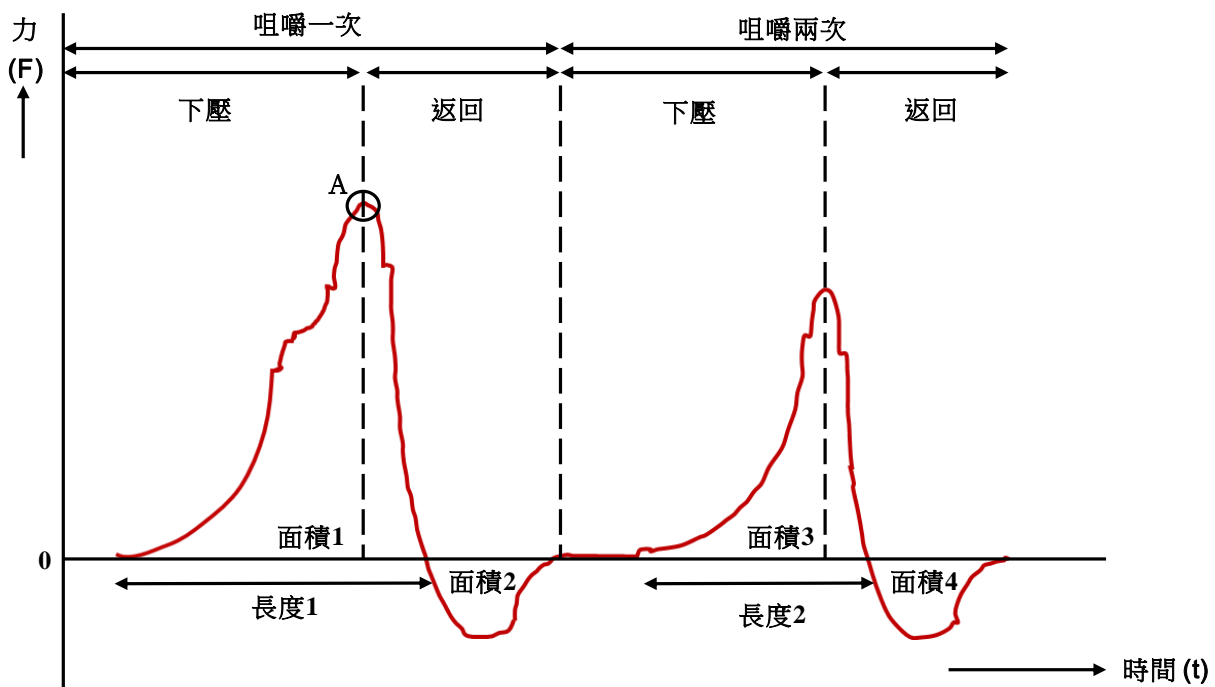
一般而言，在進行食品質地分析時，會以物性測定儀來進行測量。藉由物性測定儀測量出的數值，我們可以將主觀的感官知覺以客觀的物理數值進行描述，將抽象的概念具體化表達。

### (一) 市售物性測定儀的原理<sup>[1]</sup>

物性測定儀 (Texture Analyzer)，簡稱 TA，也稱物性分析儀或質構儀。它能夠根據樣品的物性特點做出數據化的表述，為一種感官量化之儀器。其原理是測量探頭以等速度下壓食物，使食物形變，而探頭下壓的距離與方式會因探頭的不同或機器模式的不同而有差異。當食物產生形變時，會產生一股抵抗力於探頭表面，同時機器再記錄不同時間點探頭下所受到的力值，進一步再將測量到的數值進行分析轉換，而可求出模仿人口咬合之各項質地多面分析 (Texture Profile Analysis) 參數。

### (二) 質地多面分析<sup>[2]</sup>

質地多面分析 (Texture Profile Analysis)，簡稱 TPA。藉由對試樣進行連續兩次壓縮的過程來模擬人類口腔的咀嚼動作，同時以力學的測試方法對食品質地進行評價。



圖十六：物性測定儀量測之 F-t 圖

利用 TA 測得之 F-t 曲線 (如圖十六) 的極大、極小值與所圍面積可轉換成下列參數：

1. 硬度 (Hardness)：是第一次壓縮時的最大峰值 (A 點)，多數食品的硬度值出現在最大變形處。
2. 內聚性 (Cohesiveness)：即樣品內部凝聚成固體的自我支撐力，表示測試樣品經過第一次壓縮變形後所表現出來的對第二次壓縮的相對抵抗能力，在曲線上表現為兩次壓縮所做正功之比，即  $\frac{\text{面積3}}{\text{面積1}}$ 。
3. 黏性 (Stickiness)：地瓜圓黏住探頭的力值即反應其黏度大小。第一次壓縮曲線達到零點至第二次壓縮曲線開始之間的曲線的負面積 (面積 2)。
4. 彈性 (Springiness)：變形樣品在去除壓力後恢復到變形前的高度比率，用第二次壓縮與第一次壓縮的高度比值表示，即  $\frac{\text{長度2}}{\text{長度1}}$ 。
5. 咀嚼性 (Chewiness)：咀嚼固體後吞嚥下去的能量，將固態樣品咀嚼成吞嚥時所需的能量，其公式為硬度×內聚性×彈性。

### (三) 自製物性測定儀的測量方式

由於物性測定儀 (TA) 的價格相當昂貴，因此我們設計並自製簡易的物性測定儀進行檢驗。其中市售物性測定儀可量測當探頭進行等速率直線運動時，其作用力 (F) 隨時間 (t) 的變化，進而繪製出 F-t 圖，並利用其探頭施加的功或力值進行參數的轉換。由於自製物性測定儀的馬達為機械式運轉，且我們為了能在無插座地點運作，選用電瓶作為我們的動力來源，因此每次量測時的速率易受電瓶電量影響而改變，為了增加實驗結果的準確度，我們改以力與探頭位移 (S) 來求探頭所施加的功，再進一步轉換為參數，因此本研究中以 F-S 圖來求各項數值。

我們的測量方式為將食品放於一磅秤上，以探頭下壓至食品的高度 80 %，當探頭開始對食品產生形變時，探頭會施加一作用力於食品，此作用力大小與磅秤上之數值和食品施加於探頭之反作用力數值相同，利用磅秤上的數值即可知探頭在移動時所承受的力值。由於機器在測量的過程中力值的變化快，故我們先以攝影機記錄機器測定的過程，再以影片讀取軟體威力導演擷取探頭每移動一特定距離時的瞬間力值，並以 Microsoft Excel 進行圖形的製作與數據的分析，再轉換成質地分析之各項參數。

### 三、地瓜圓

#### (一) 文獻探討

##### 1. 地瓜的營養價值<sup>[3]</sup>

- (1)含有大量的糖、蛋白質、脂肪和各種維生素及礦物質，能有效的為人體所吸收，防治營養不良症，和血補中且能補中益氣，對中焦脾胃虧虛、小兒疳積等病症有益。
- (2)蒸煮後，部分澱粉發生變化，與生地瓜相比可增加 40% 左右的膳食纖維，能有效刺激腸道的蠕動，促進排便。
- (3)含有大量黏液蛋白，能夠防止肝臟和腎臟結締組織萎縮，提高身體免疫力；所含有礦物質對於維持和調節人體功能，有著十分重要的作用；所含的鈣和鎂，可以預防骨質疏鬆症。
- (4)含黏液蛋白，能保持血管壁的彈性，防止動脈硬化的發生。此外，還能抑制肌膚老化，保持肌膚彈性，減緩衰老。

##### 2. 地瓜圓的製作方式

從網路上可搜尋到很多種不同的地瓜圓製作方式（如表一），大部分製作地瓜圓的流程如下：

- (1) 將地瓜削皮切塊後蒸熟。
- (2) 將蒸熟的地瓜塊壓成泥。
- (3) 於地瓜泥中加入水與澱粉揉勻。
- (4) 取地瓜泥團搓揉成條後切成約 2 公分立方的小塊。
- (5) 放入沸水中煮熟。

表一：文獻中製作地瓜圓的方法

	方法一 <sup>[4]</sup>	方法二 <sup>[5]</sup>	方法三 <sup>[6]</sup>	方法四 <sup>[7]</sup>
地瓜重量	300 g	100 g	900 g	100 g
不同澱粉的比例	30 g 樹薯粉 + 120 g 蕃薯粉	50 g 馬鈴薯粉 + 100 g 蕃薯粉	600 g 蕃薯粉	10 g 樹薯粉 + 30 g 蕃薯粉
水的體積	30~60 mL	30 mL	適量	30~50 mL
糖的重量	兩大匙 (約 26 g)	20 g	6~7 小匙 (約 24~28 g)	1~1.5 茶匙 (約 4~6 g)
水煮時間	浮起	浮起	浮起	浮起後 1 分鐘

### 3. 澱粉來源

由文獻<sup>[8][9][10]</sup>可知常用於製作地瓜圓的澱粉有三種，分別為樹薯粉（又稱木薯粉、太白粉）、馬鈴薯粉（又稱片粟粉、日本太白粉）及蕃薯粉（又稱地瓜粉），其中可發現常以蕃薯粉搭配不同的澱粉來源。

一般而言，澱粉可分為兩類：從穀物提煉的澱粉（例如：麵粉和玉米澱粉），以及從植物根、莖部分提煉的澱粉（例如：馬鈴薯澱粉和竹芋粉）。而樹薯粉、馬鈴薯粉與蕃薯粉皆屬後者之澱粉，此澱粉的特性為澱粉顆粒較大，能保存較多水分子，也較快煮熟，而且在較低溫度就會釋出澱粉。這種澱粉的直鏈式分子含量比較低，鏈長卻可達穀類直鏈澱粉的4倍。根、莖類澱粉也含脂質和蛋白質，不過數量較少，因此澱粉比較容易糊化（脂質能安定澱粉粒構造，延緩糊化作用），風味也較不明顯。

樹薯澱粉：英文名稱為 **tapioca starch**，樹薯澱粉最常用來製作布丁，是種根類澱粉，提煉自熱帶植物樹薯。樹薯澱粉遇水往往會結成不討喜的黏稠凝塊，因此經常用來製作大顆粒預糊化的澱粉珍珠，接著再長時間加熱煮軟。由於樹薯在地下能長期保存，而且收成後數天內就加工製成澱粉，因此不像馬鈴薯澱粉那樣會發展出強烈香味。樹薯澱粉的優點也在於不帶強烈風味。

馬鈴薯澱粉：英文名稱為 **potato starch**，可加熱水調煮後還原變成馬鈴薯泥。此外，也常用於西式麵包或蛋糕中，增加產品的濕潤感。其主要用途和玉米澱粉相似，可在烹調中加冷水勾芡，加熱後凝結成透明的黏稠狀，使得菜餚的湯汁濃稠有光澤。但和玉米粉不同的是，馬鈴薯澱粉勾的湯液冷卻後會變稀。

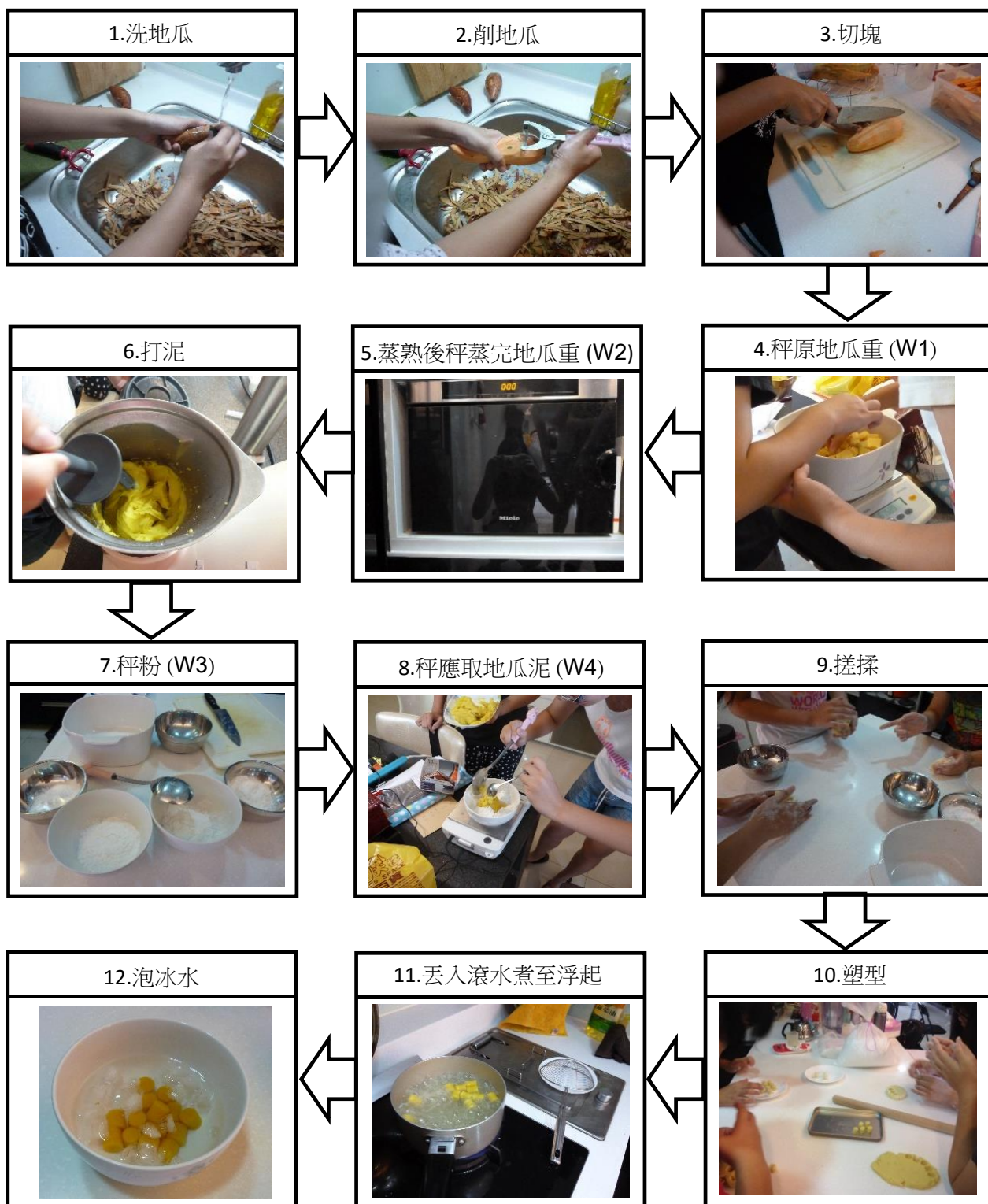
蕃薯澱粉：又稱地瓜粉，英文名稱為 **sweet potato starch**，一般地瓜粉呈顆粒狀，有粗粒和細粒兩種，通常家中購買以粗粒蕃薯粉為佳。地瓜粉與馬鈴薯粉相同，溶於水中後加熱會呈現黏稠狀，而地瓜粉的黏度較太白粉高，因此，在中式菜餚勾芡時較少使用地瓜粉，因為黏度較難控制，而地瓜粉應用於中式點心製作則較多。地瓜粉同樣也可以用於油炸，在醃好的排骨上沾上粗粒地瓜粉油炸後，可呈現酥脆的口感，同時顆粒狀的表皮也可以帶來視覺上的效果。

## (二) 控制變因

由文獻可知一般在製作地瓜圓時，地瓜和澱粉的重量比介於 0.6 : 1~ 2.2 : 1 之間，其中常用澱粉為樹薯粉、馬鈴薯粉和蕃薯粉。此外，製作地瓜泥團過程中添加的水分與糖量，甚至是烹調時間也都不盡相同，致使成品的口感略有差異。因此，我們嘗試改變地瓜與澱粉的重量比例、使用各種不同的澱粉並以不同重量比例混合、調整泥團的濕度與糖的添加量，進而探討這些變因對地瓜圓質地與口感上的影響。

## (三) 製作流程

1. 清洗地瓜，將其削皮後切成長條狀秤重 (W1)。
2. 放入 100 °C 蒸爐 15 分鐘，取出後秤重 (W2)，並於料理機中打成泥狀。
3. 秤取澱粉 (W3) 與地瓜泥 (秤重 W4) 均勻混合。
4. 以手搓揉，並利用自製定型器將地瓜泥團塑型成直徑 1.5 公分、高 1.7 公分圓柱狀。
5. 將水煮至沸騰 (100 °C) 後再把製作好的地瓜圓放入。
6. 煮至地瓜圓浮起後計時 1 分鐘撈起。
7. 立刻浸入含有冰塊的水浴中，即為成品。



圖十七：地瓜圓流程圖

### 三、官能品評<sup>[11][12][13]</sup>

官能品評是一種藉由人的視覺、嗅覺、味覺、觸覺及聽覺等感覺，結合心理、生理及統計學等知識，探討和分析食品或其他物質之特性。雖然有些性質可以用物理或是化學方法測量，但仍需經過人的感官，評價人類對於這個物質的喜好程度。官能品評可分為三大類，分別是消費性（喜好或接受性）測驗、差異性測驗及描述性測驗，這次實驗是以消費性（喜好或接受性）測驗進行，由 268 位高中學生作為受試者，評量地瓜圓的色澤、香氣、黏度、軟硬度、Q 度及整體感的滿意程度，以了解受試者對地瓜圓的喜好性及接受性。

#### (一) 問卷

使用表格便於整理、統計、分析，且依據明確性和評分法設計答案選擇，使用「非常滿意」和「非常不滿意」等字詞，而取代「1」、「5」等數字用以表示其偏好程度。本品評採 5 分制，非常滿意得 5 分，滿意得 4 分，普通得 3 分，不滿意得 2 分，非常不滿意得 1 分。最後統計時使用資料處理軟體 Microsoft Excel 進行計算、分析各項性質之平均值與標準差，並使用 T 試驗 (T-test) 和對照組進行比較。

#### (二) 受試者資料

由 268 位高一、二、三年級學生進行官能品評，分別對地瓜圓的色澤、香氣、黏度、軟硬度、Q 度及整體感評分。

### 四、統計分析

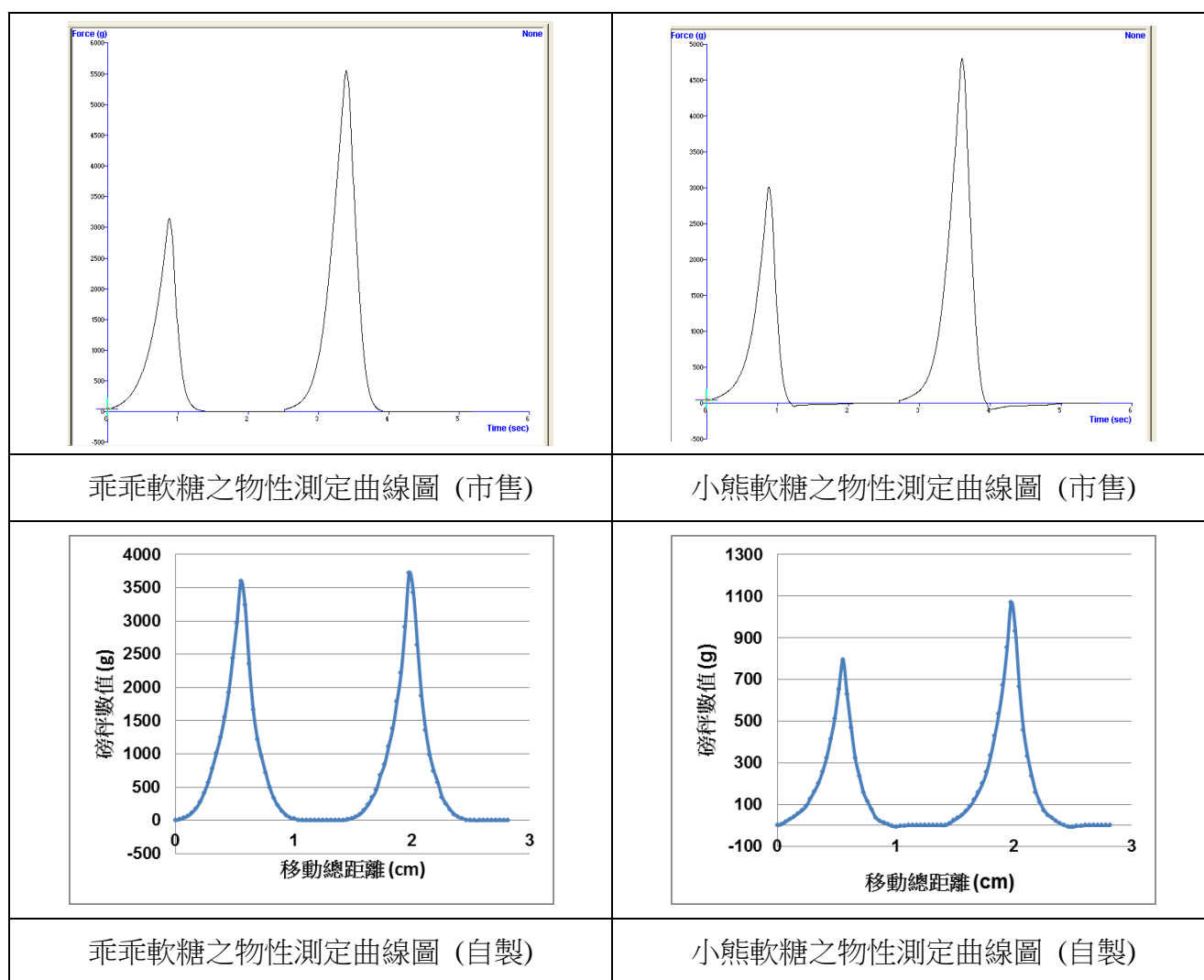
以 Microsoft Excel 進行，計算平均值、標準差，並以內建之 T-test 函數比較官能品評的各組差異。



## 伍、研究結果與討論

### 一、自製物性測定儀與市售物性測定儀之比較

以乖乖軟糖與小熊軟糖進行測定，比較自製物性測定儀及市售的物性測定儀質地多面分析結果之差異。從實驗結果可知，自製的物性測定儀以及市售的物性測定儀，在硬度、黏性、彈性、咀嚼性上有相同的趨勢，然而內聚性並未符合其趨勢。由實驗圖譜（圖十八）可觀察到市售物性測定儀與我們自製物性測定儀所測得之圖譜不盡相同，推測可能是因為我們探頭移動的速度較不穩定，造成探頭在下壓時所施加的正功有部分會被消耗，造成內聚性數值有偏差。



圖十八：市售物性測定儀與自製物性測定儀的分析圖

表二：市售物性測定儀與自製物性測定儀之質地分析

	硬度(gw)	內聚性	黏性(gw·cm)	彈性	咀嚼性(gw)
乖乖軟糖(市售)	3219.7±322.0	2.061±0.205	0.119±0.053	1.033±0.013	6045.5±555.0
小熊軟糖(市售)	3138.6±183.2	1.687±0.038	25.86±4.478	1.036±0.009	5914.0±533.1
乖乖軟糖(自製)	3047.1±626.3	1.096±0.061	0.052±0.066	1±0	3311.3±577.6
小熊軟糖(自製)	895.9±108.0	1.377±0.072	0.493±0.084	1±0	1228.0±107.9

\*數值為平均值±標準差

## 二、以自製物性測定儀量測不同條件製備之地瓜圓的性質

### (一) 泥團濕度：

在製作地瓜圓時，我們發現地瓜圓內部的溼度也會是影響地瓜圓口感的重要因素之一。由衛福部的台灣地區食品營養成分資料庫可知<sup>[14]</sup>，地瓜內部含水率為 69%。但在蒸煮的過程中，地瓜內部含水量可能會有所改變，為了控制此項變因，我們利用以下公式計算出當蒸煮後水量改變時，應額外再加入的水量。

$$\begin{aligned} \text{已知，地瓜圓含水比例} &= \frac{\text{含水量}}{\text{泥團總重}} \\ &= \frac{\text{應取地瓜泥(W4)} \times \text{蒸完地瓜含水比例} + \text{應加水量}}{\text{應取地瓜泥(W4)} + \text{應加水量} + \text{澱粉重(W3)}} \end{aligned}$$

$$\text{又，應取地瓜泥(W4)} = \text{原應取地瓜重} \times \frac{\text{蒸完地瓜重(W2)}}{\text{原地瓜重(W1)}}$$

$$\begin{aligned} \text{且，蒸完地瓜含水比例} &= \frac{\text{原地瓜重(W1)} \times 69\% + \text{蒸後增加的水量(W2-W1)}}{\text{蒸完地瓜重(W2)}} \\ &= \frac{\text{原地瓜重(W1)} \times 69\% + [\text{蒸完地瓜重(W2)} - \text{原地瓜重(W1)}]}{\text{蒸完地瓜重(W2)}} \end{aligned}$$

將在實驗過程中測得之原地瓜重 (W1)、蒸完地瓜重 (W2)、澱粉重 (W3) 代入公式，再利用地瓜與澱粉地比例計算出原應取地瓜重，並代入公式求得應取地瓜泥重 (W4)。當設定泥團的含水率為 35%、40%、46% 與 50% 時，即可得應加水量。

由實驗結果顯示 (如表三)，當地瓜圓的泥團濕度為 35% 時，在硬度、內聚性、黏性及咀嚼性所測得的平均值皆最大，而濕度為 40% 時次之，濕度為 46% 時之平均值最小。在濕度為 50% 時因水分太多而無法成形，而在 35% 以下則會因水分不足無法成型。然而在彈性的數值上，則是顯示當濕度為 40% 時所測得之平均值最大。

雖然濕度為 35% 時所測得的平均值較大，然而在口感方面，則是以內部濕度為 46% 的地瓜圓較佳，我們推測硬度會隨著濕度降低而增加。因此我們以內部濕度為 46% 的地瓜圓進行後續實驗。

表三：不同泥團含水比例製備之地瓜圓質地分析

泥團含水率	硬度(gw)	內聚性	黏性(gw·cm)	彈性	咀嚼性(gw)
46%	1596.3±170.2	0.6085±0.0341	2.808±0.746	0.798±0.021	777.4±124.3
40%	1671.8±219.9	0.6308±0.0347	2.930±0.785	0.833±0.020	878.0±119.5
35%	1794.2±371.9	0.6768±0.0453	3.616±0.184	0.821±0.061	981.2±87.1

\*數值為平均值±標準差

## (二) 地瓜與樹薯粉的重量比例

我們嘗試調整地瓜與澱粉的重量比例，探討其對於地瓜圓性質的影響。其中，我們以樹薯粉作為此實驗中唯一的澱粉來源。結果顯示 (如表四)，當地瓜與澱粉的比例為 1.5:1 時，地瓜圓的硬度、內聚性、黏性、彈性與咀嚼性之平均值皆為三者中最大。其中在硬度、內聚性、咀嚼性的部分又以比例 2:1 之平均值較比例 2.5:1 的大。而黏性與彈性的部分，則以比例 2.5:1 之平均值較比例 2:1 大。

在試吃的結果也顯示隨著地瓜圓中地瓜的比例升高，其口感逐漸變軟，比較沒有嚼勁。此結果也確實與量測到之地瓜圓的硬度與咀嚼性相符合。綜合以上結果，當比例 2.5：1 時，地瓜圓口感較軟；1.5：1 時口感較硬；而比例 2：1 時口感最佳，故決定以地瓜：澱粉的比例為 2：1 的條件進行我們後續地瓜圓的製作。

表四：改變地瓜與樹薯粉重量比例之質地分析

地瓜：樹薯粉	硬度(gw)	內聚性	黏性(gw·cm)	彈性	咀嚼性(gw)
1.5：1	2006.5±196.0	0.7031±0.0033	3.690±0.262	0.833±0.021	1177.8±148.1
2：1	1596.3±170.2	0.6085±0.0341	2.808±0.746	0.798±0.021	777.4±124.3
2.5：1	1594.4±149.6	0.5923±0.0108	3.051±0.397	0.810±0.021	762.7±39.7

\*數值為平均值±標準差

### (三) 不同澱粉來源

我們嘗試將澱粉來源改為樹薯粉、馬鈴薯粉與蕃薯粉進行製作，實驗結果如表五。當以馬鈴薯粉為唯一澱粉來源時，硬度及黏性之平均值最大，而蕃薯粉次之，樹薯粉最小。又若以蕃薯粉為唯一澱粉來源時內聚性最佳，樹薯粉次之，馬鈴薯粉則最差。另一方面，以樹薯粉為唯一澱粉來源則彈性最佳，蕃薯粉次之，馬鈴薯粉最差。有趣的是，在硬度、內聚性及彈性的趨勢都不同的情況下，蕃薯粉的咀嚼性最佳，馬鈴薯粉次之，樹薯粉最差。

表五：改變不同單一澱粉來源之質地分析

單一澱粉來源	硬度(gw)	內聚性	黏性(gw·cm)	彈性	咀嚼性(gw)
樹薯粉	1596.3±170.2	0.6085±0.0341	2.808±0.746	0.798±0.021	777.4±124.3
馬鈴薯粉	3260.7±425.4	0.5680±0.0970	3.876±1.049	0.738±0.055	1362.9±289.5
蕃薯粉	2718.1±265.9	0.6756±0.0038	2.963±0.381	0.774±0.021	1421.1±149.0

\*數值為平均值±標準差

接著我們混合不同重量比例的樹薯粉和馬鈴薯粉作為澱粉來源。實驗結果顯示（如表六）當樹薯粉與馬鈴薯粉的比例為 10：40 時，硬度最大。而樹薯粉為唯一澱粉來源製作地瓜圓，所得之內聚性、彈性平均值最大。另一方面，當樹薯粉與馬鈴薯澱粉比例為 20：30 時所測得之黏性平均值最大。而以馬鈴薯粉為澱粉唯一來源時，咀嚼性之平均值最大。

表六：不同重量比例之樹薯粉與馬鈴薯粉之質地分析

樹薯粉：馬鈴薯粉	硬度(gw)	內聚性	黏性(gw·cm)	彈性	咀嚼性(gw)
50：0	1596.3±170.2	0.6085±0.0341	2.808±0.746	0.798±0.021	777.4±124.3
40：10	2062.8±370.5	0.5303±0.0000	2.961±0.944	0.786±0.000	859.8±111.9
30：20	2703.4±60.5	0.5434±0.0267	3.419±0.874	0.738±0.021	1084.1±381.2
20：30	3144.9±174.5	0.4629±0.0432	4.184±1.985	0.726±0.055	1068.6±243.5
10：40	3927.4±266.4	0.4538±0.0172	3.611±0.507	0.655±0.055	1169.2±156.7
0：50	3260.7±425.4	0.5680±0.0970	3.876±1.049	0.738±0.055	1362.9±289.5

\*數值為平均值±標準差

又我們改以樹薯粉混合蕃薯粉作為澱粉來源。實驗結果顯示（如表七）當蕃薯粉添加的比例超過一半時，硬度皆提升，其中又以樹薯粉：蕃薯粉比例為 10：40 時，硬度最大。而蕃薯粉為唯一澱粉來源時所測得知內聚性之平均值最大；當樹薯粉：蕃薯粉比例為 30：20 時黏性的平均值最大；另外，當比例為 40：10 時彈性平均值最大。綜合所有因素的影響下，咀嚼性則以樹薯粉：蕃薯粉之比例為 10：40 時之平均值最大。

表七：不同重量比例之樹薯粉與蕃薯粉之質地分析

樹薯粉：蕃薯粉	硬度(gw)	內聚性	黏性(gw·cm)	彈性	咀嚼性(gw)
50：0	1596.3±170.2	0.6085±0.0341	2.808±0.746	0.798±0.021	777.4±124.3
40：10	2014.1±10.4	0.6161±0.0056	3.802±0.476	0.821±0.000	1019.4±14.5
30：20	2058.4±163.1	0.5918±0.0517	3.820±0.419	0.798±0.021	975.4±152.9
20：30	2831.4±147.9	0.6167±0.0417	2.727±0.245	0.786±0.000	1372.9±134.0
10：40	2884.6±124.2	0.6613±0.0382	2.903±0.390	0.786±0.000	1496.4±23.3
0：50	2718.1±265.9	0.6756±0.0038	2.963±0.381	0.774±0.021	1421.1±149.0

\*數值為平均值±標準差

當我們以馬鈴薯粉混合蕃薯粉作為澱粉來源時，實驗結果顯示（如表八）當馬鈴薯粉：蕃薯粉比例為 40：10 時，硬度之平均值最大。而當蕃薯粉為唯一澱粉來源時所得之內聚性與彈性則平均值最大。另一方面，當馬鈴薯粉為唯一澱粉來源時所得之黏性平均值最大。綜合結果顯示當馬鈴薯粉：蕃薯粉比例為 20：30 時所得之咀嚼性平均值最大。

表八：不同重量比例之馬鈴薯粉與蕃薯粉之質地分析

馬鈴薯粉：蕃薯粉	硬度(gw)	內聚性	黏性(gw·cm)	彈性	咀嚼性(gw)
<b>50：0</b>	3260.7±425.4	0.5680±0.0970	3.876±1.049	0.738±0.055	1362.9±289.5
<b>40：10</b>	4465.4±0.0	0.3409±0.0000	2.766±0.000	0.679±0.000	1033.0±0.0
<b>30：20</b>	4351.1±24.5	0.4376±0.0027	2.540±0.614	0.696±0.025	1325.9±47.2
<b>20：30</b>	4283.3±99.2	0.5976±0.0585	2.764±0.778	0.774±0.055	1981.2±137.2
<b>10：40</b>	3435.7±255.0	0.5825±0.0342	3.570±0.870	0.738±0.021	1473.5±69.0
<b>0：50</b>	2718.1±265.9	0.6756±0.0038	2.963±0.381	0.774±0.021	1421.1±149.0

\*數值為平均值±標準差

從以上所有實驗結果可知，若同時含有不同澱粉來源，對硬度、內聚性、黏性、彈性及咀嚼性的平均值大小有複雜的影響，因此在後續的實驗中，我們皆固定以樹薯粉為單一澱粉來源，以有效地控制實驗變因。

#### (四) 含糖量

我們嘗試在地瓜圓中加入糖粉，實驗結果顯示（如表九），當糖粉所添加的重量比為地瓜圓整體的 10 % 時，所測得之硬度、黏性、彈性及咀嚼性之平均值皆為最大，而內聚性則是當糖粉添加 20 % 時所測得之數值最高。在含糖量 20% 以上時不易成型。

表九：不同含糖量地瓜圓之質地分析

含糖量	硬度(gw)	內聚性	黏性(gw·cm)	彈性	咀嚼性(gw)
0%	1596.3±170.2	0.6085±0.0341	2.808±0.746	0.798±0.021	777.4±124.3
10%	1989.9±384.8	0.6688±0.0133	3.712±0.588	0.833±0.021	1109.0±215.1
20%	1955.5±140.5	0.6767±0.0222	2.805±0.203	0.810±0.021	1074.8±136.2

\*數值為平均值±標準差

從上述這些實驗結果中，我們選出不同配方分別使地瓜圓有一般、較硬、較黏的口感進行市場調查，分別為下述實驗 A、B、C：

A：地瓜：澱粉(樹薯粉) = 2：1、不加糖粉 → 口感一般，為對照組

B：地瓜：澱粉(樹薯粉) = 1.5：1、不加糖粉 → 口感較硬

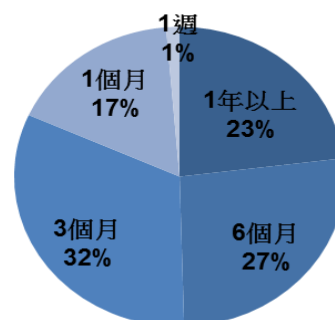
C：地瓜：澱粉(樹薯粉) = 2：1、添加 20% 糖粉 → 口感較黏

其中為了避免甜度影響大眾的喜惡，我們在實驗 A、B 中皆將地瓜圓泡於糖水中進行後續實驗。

### 三、官能品評

在校內學生地瓜圓品評有效問卷 230 (85%) 份調查表中，一週吃一次地瓜圓的學生有 3 位 (1%)，一個月吃一次地瓜圓的學生有 39 位 (17%)、三個月有 74 位 (32%)、六個月有 61 位 (27%)，而一年以上才吃一次的有 53 位 (23%)。儘管大家吃地瓜圓的頻率不高，但在 283 位學生中願意參加官能品評的學生占 95% ，顯示大家對地瓜圓仍有高度興趣地瓜圓仍具有市場開發性，值得研究。

吃地瓜圓頻率(一次)



圖十九：吃地瓜圓頻率圖

表十：官能品評之試驗結果

	官能品評					
	色澤	香氣	黏度	軟硬度	Q度	整體感
<b>實驗 A</b> (對照組)	3.79±0.72	3.17±0.80	3.27±0.77	3.26±0.97	3.11±0.98	3.19±0.81
<b>實驗 B</b>	3.61±0.78 P = 0.002	3.19±0.84 P = 0.64	3.40±0.90 P = 0.048	3.40±0.99 P = 0.087	3.45±0.95 P = 極小	3.46±0.83 P = 極小
<b>實驗 C</b>	3.71±0.79 P = 0.18	3.74±0.85 P = 極小	3.80±0.80 P = 極小	3.84±1.01 P = 極小	4.11±0.88 P = 極小	4.29±0.73 P = 極小

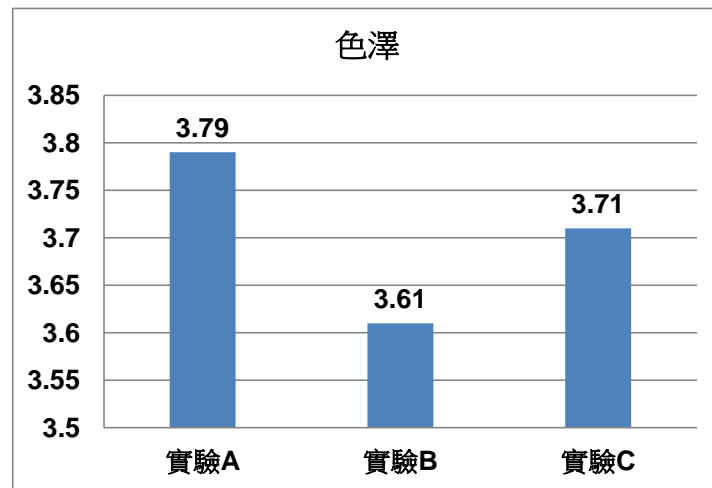
\*數值為平均值±標準差

\*P 值小於 0.05 時，表示有顯著差異

P 值大於 0.05 時，表示沒有顯著差異

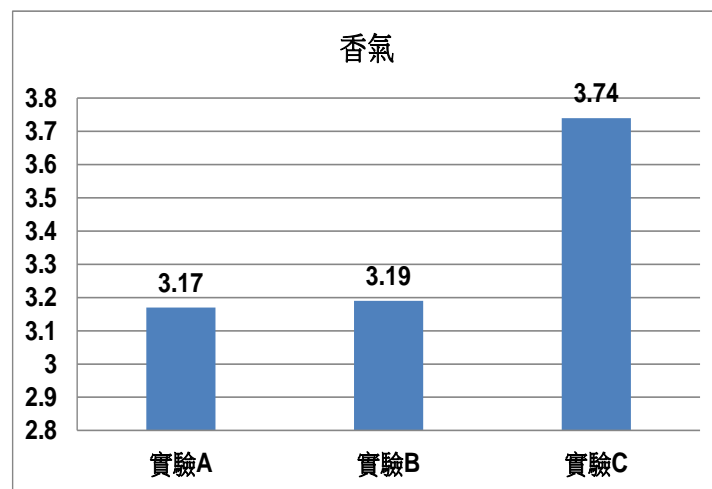


在色澤方面 (圖二十)，實驗 A(對照組) 的地瓜圓得分較高 (平均值 3.79)，實驗 B 分數最低 (平均值 3.61)，且達顯著差異 ( $P < 0.05$ )，推測是實驗 B 澱粉比例較多，使地瓜圓的顏色偏白而不被喜愛，故在色澤方面實驗 B 的平均值較低。而實驗 C 之色澤則與實驗 A(對照組) 差異不大。



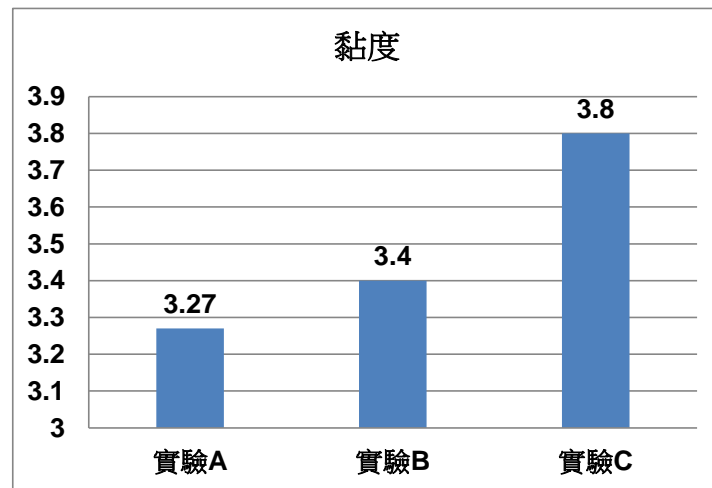
圖二十：官能品評色澤統計圖

在香氣方面 (圖二十一)，實驗 C 的地瓜圓得分最高 (平均值 3.74)，且和實驗 A(對照組) 有顯著差異 ( $P < 0.05$ )，而實驗 B 和實驗 A(對照組) 無明顯差異。



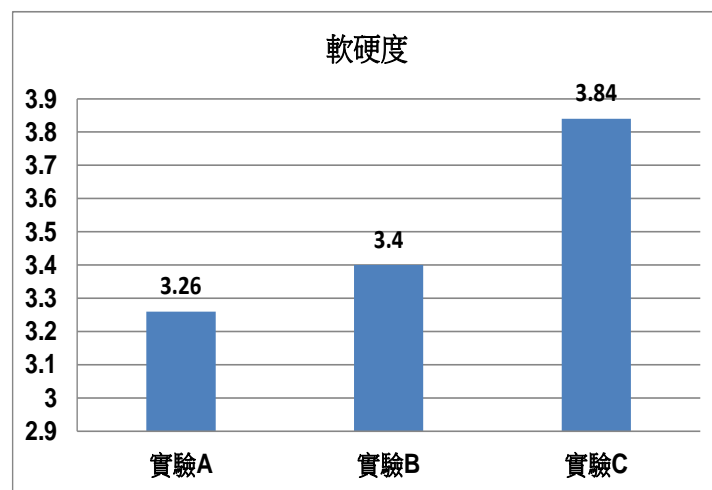
圖二十一：官能品評香氣統計圖

在黏度方面，實驗 C 的地瓜圓得分最高（平均值 3.80），且和實驗 A（對照組）有顯著差異 ( $P < 0.05$ )，推測是大眾比較喜愛黏性較高的地瓜圓，故在黏度方面實驗 C 的分數最高。相較於自製物性測定儀所測出之黏性結果（如表十一），儘管黏性為實驗 B 最高，然而大眾可能較偏愛黏性適中的實驗 C。



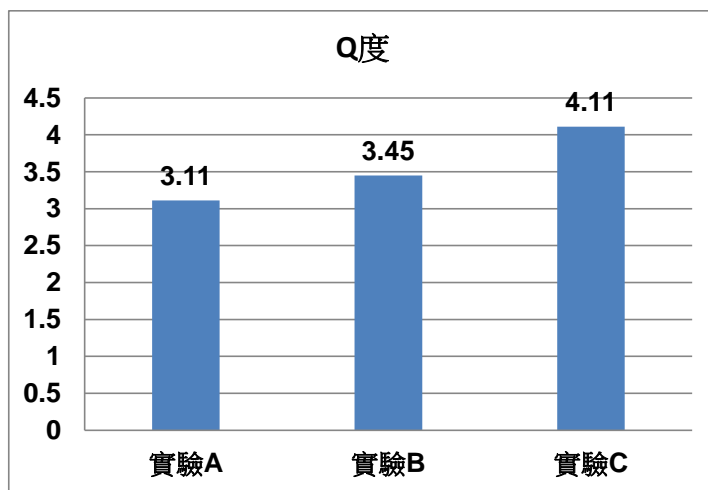
圖二十二：官能品評黏度統計圖

在軟硬度方面，實驗 C 的地瓜圓得分最高（平均值 3.84），且和實驗 A（對照組）有顯著差異 ( $P < 0.05$ )，由自製物性測定儀所得實驗結果（如表十一）可知實驗 C 之硬度介於實驗 A、B 之間，可能是大眾喜歡偏硬的地瓜圓，實驗 B 又太硬而口感不佳。



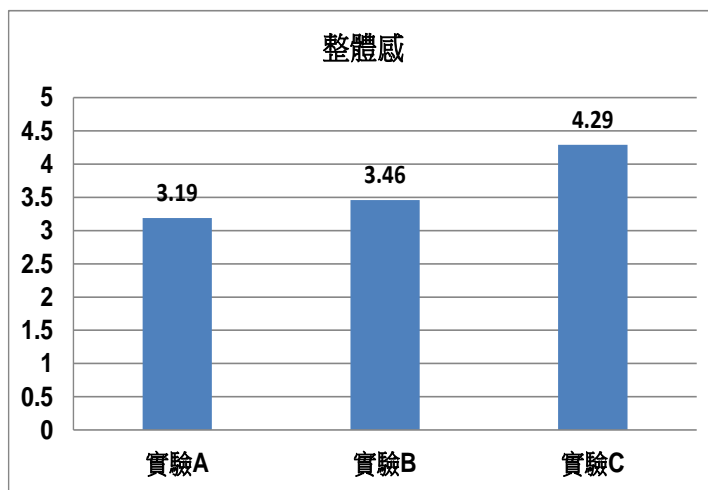
圖二十三：官能品評軟硬度統計圖

在 Q 度方面，實驗 C 的地瓜圓得分最高（平均值 4.11），且和實驗 A（對照組）有顯著差異 ( $P < 0.05$ )。儘管以自製物性測定儀所測得的結果為實驗 B 最高，然而大眾較偏愛 Q 度適中的實驗 C。



圖二十四：官能品評Q度統計圖

在整體感方面，實驗 C 的地瓜圓得分最高（平均值 4.29），且和實驗 A（對照組）有顯著差異 ( $P < 0.05$ )，顯示大眾較偏愛硬度、內聚性、黏性、彈性及咀嚼性皆適中的實驗 C。



圖二十五：官能品評整體感統計圖

表十一：實驗 A、B、C 之質地多面分析 (一般探頭)

一般探頭					
	硬度(gw)	內聚性	黏性(gw·cm)	彈性	咀嚼性(gw)
實驗 A (對照組)	1596.3±170.2	0.6085±0.0341	2.808±0.746	0.798±0.021	777.4±124.3
實驗 B	2006.5±196.0	0.7031±0.0033	3.690±0.262	0.833±0.021	1177.8±148.1
實驗 C	1955.5±140.5	0.6767±0.0222	2.805±0.203	0.810±0.021	1074.8±136.2

\*數值為平均值±標準差

表十二：實驗 A、B、C 之質地多面分析 (仿臼齒探頭)

仿臼齒探頭					
	硬度(gw)	內聚性	黏性(gw·cm)	彈性	咀嚼性(gw)
實驗 A (對照組)	771.6±197.1	0.7089±0.0239	2.495±0.590	0.821±0.036	449.9±120.6
實驗 B	1063.1±104.6	0.7265±0.0188	5.570±0.398	0.804±0.025	403.6±305.4
實驗 C	972.5±425.3	0.7039±0.0755	3.521±0.800	0.798±0.103	540.3±223.0

\*數值為平均值±標準差

比較一般探頭和仿臼齒探頭，從數據上來看，仿臼齒探頭在硬度和咀嚼性的數值都比一般探頭小，推測是因為仿臼齒探頭接觸地瓜圓的面積較小，所以下壓的壓力比一般探頭小，導致硬度和咀嚼性也比一般探頭小，在硬度和黏性上，一般探頭和仿臼齒探頭的趨勢亦相符。

## 陸、結論

- 一、我們自製的物性測定儀與市售的物性測定儀所測量出來的硬度、黏性、彈性與咀嚼性趨勢一致，儘管在內聚性部分的準確性有需要改善，但我們自製的物性測定儀仍具有相當的可信度。
- 二、實驗結果可知當地瓜與澱粉（樹薯粉）的重量比例 2：1 時，其口感較佳。
- 三、將單一澱粉來源（樹薯粉）改為馬鈴薯粉與蕃薯粉時，或者是將澱粉改為以其中兩種澱粉以不同比例混合，其質地上的改變結果複雜，顯示澱粉來源是影響地瓜圓口感的重要因素之一。
- 四、當地瓜圓含水量 50% 以上時會過濕無法成型；含水量為 46% 時所製成的地瓜圓口感較佳；又地瓜圓含水量在 35% 以下則會因水分不足無法成型。
- 五、以實驗中最具特色的三種配方進行消費者喜好性官能品評，結果顯示添加糖粉的實驗 C 較受大眾喜愛。

## 柒、參考資料及其他

1. 劉亞平 李紅波 (民 100)。物性測定儀及 TPA 在蔬果質構測試中的應用綜述。民 105 年 1 月 18 日，取自：<http://wenku.baidu.com/view/1d467128bd64783e09122be0.html>
2. 孫彩玲 田紀春 張永祥 (民 96)。TPA 質構分析模式在食品研究中的應用。實驗科學與技術，第 5 卷 第 2 期。民 105 年 1 月 19 日，取自：  
<http://wenku.baidu.com/view/cc42b9c69ec3d5bbfd0a7442.html>
3. 地瓜圓 (無日期)。民 105 年 1 月 18 日，取自「39 食品查詢」：  
<http://spk.39.net/shipin/liangshi/lsgjp/e148b.html>
4. 晴兒 (民 102)。芋圓&地瓜圓製作。民 104 年 12 月 5 號，取自：  
<http://love524.pixnet.net/blog/post/260532383>
5. Stephenie LO (民 103)。手工軟 Q 芋圓地瓜圓。民 104 年 12 月 4 號，取自：  
<https://icook.tw/recipes/67888>
6. 可口 (無日期)。芋圓`地瓜圓。民 104 年 12 月 4 號，取自：  
<http://www.xinshipu.com/zuofa/43400>
7. 肥丁 (無日期)。台灣芋圓／地瓜圓【Q軟可口】Taiwanese Taro Ball。民 104 年 12 月 3 號，取自：<http://www.beanpanda.com/9873/taiwanese-taro-ball>
8. an0527 (民 99)。各式各樣的澱粉。民 104 年 1 月 18 號，取自：  
<http://blog.yam.com/an0527/article/29914269>
9. 哈洛德·馬基 (民 99)。食物與廚藝[麵食·醬料·甜點·飲料]。臺北縣：大家。
10. 太白粉 (無日期)。民 105 年 1 月 25 日，取自「維基百科」：  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A4%AA%E7%99%BD%E7%B2%89>
11. 魏夢麗 呂秀英 (民 91)。官能品評資料的統計分析方法之正確使用。民 105 年 1 月 25 日，取自：<http://ir.tari.gov.tw:8080/bitstream/345210000/224/1/51-7.pdf>
12. 劉伯康 莊朝琪 (民 103)。食品感官品評：理論與實務。新北市：新文京。

13. 食品之感官品評 (無日期) 民 105 年 1 月 25 日，取自：

<http://120.114.1.62/assets/attached/4004/original/13%E9%A3%9F%E5%93%81%E4%B9%8B%E6%84%9F%E5%AE%98%E5%93%81%E8%A9%95.pptx?1430881111>

14. 衛生福利部食品藥物管理署 (無日期)。食品成分表。民 105 年 1 月 25 日，取自「台灣地區食品營養成分資料庫」：

[http://consumer.fda.gov.tw/FoodAnalysis/ufile/Doc/%E7%A9%80%E7%89%A9%E9%A1%9E\\_030607.xls](http://consumer.fda.gov.tw/FoodAnalysis/ufile/Doc/%E7%A9%80%E7%89%A9%E9%A1%9E_030607.xls)

## 【評語】 052208

1. 本研究以自製之物性測定儀分析地瓜圓質地並進行品評。
2. 實驗設計與方法符合科學試驗精神。
3. 團隊成員分工明確並能對相關知識背景進行收集與查證。
4. 自製之物性測定儀精確度仍有改良修正空間。