中華民國第54屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組　生活與應用科學科

030814

黑珍珠的奧祕－研究糖對澱粉凝膠的影響

學校名稱：苗栗縣立後龍國民中學

作者：	指導老師：
國二 劉威忠	楊晴閔
國二 吳威翰	陳俞攸
國二 呂祐丞	

關鍵詞：順丁烯二酸、蔗糖、凝膠作用

作品名稱：黑珍珠的奧秘—研究糖對澱粉凝膠的影響。

摘要

民以食為天，有鑑於最近食安問題嚴重，連台灣人最引以為傲、享譽國際的珍珠奶茶裡添加的粉圓都避免不了在製作過程中被添加入順丁烯二酸。順丁烯二酸因為可增加食物的 Q 軟度，因此有不肖商人將其摻入食品，長期食用會對腎臟造成傷害。因此，我們希望可以研究出天然健康的粉圓，對現在國人的食品安全與健康飲食盡一份心力。

本研究以粉圓做研究材料，分別歸納出影響粉圓口感的因素，然後以自製的儀器藉由科學方法以客觀的量測結果探究粉圓的 Q 軟度。根據實驗結果顯示，黑糖的添加對粉圓的 Q 軟度影響甚大，並發現當樹薯粉添加入 25.71%的黑糖時，粉圓在低溫下的硬化程度更不亞於市售的珍珠粉圓；而使用黑糖水烹煮的粉圓 Q 彈性較佳。

壹、 研究動機

現今的飲料店林立，光我們每天生活的後龍小鎮就有 5~6 家的飲料店，我們放學後更是人手一杯，而珍珠奶茶是同學間最常點的飲料，幾乎也是每間飲料店排行榜的第一名。我們也發現，外國訪客來台灣必吃的美食中，珍珠奶茶必定也會名列其中。

查閱粉圓的發展史會發現，粉圓相傳是清朝時期地方官為了向慈禧太后進貢的獻壽禮，當時台灣府以主原料木薯粉作成類似元宵的粉圓甜羹，相傳慈禧太后嚐過後讚不絕口，從那時開始便成為台灣家喻戶曉的可口點心，至今歷久不衰。

但是，最近新聞中食安問題嚴重，為了使粉圓更軟 Q 而在粉圓的製作過程中添加入順丁希二酸酐。順丁烯二酸酐又可稱為馬來酸酐或去水蘋果酸酐，常簡稱為順酐。在工業用途上是生產樹脂、反丁烯二酸、酒石酸及蘋果酸等原料。順丁烯二酸酐經過與澱粉處理後，改變原本的物理特性，增加澱粉膠液的黏度、質地及穩定性；不過，順丁烯二酸酐化製澱粉不適用於食品中。順丁烯二酸酐使用後，遇到水便會轉變成順丁烯二酸，因此檢驗都是測量食品是否含有「順丁烯二酸」。此外，也有動物研究指出順丁烯二酸酐會對狗造成腎臟毒性，食藥署指出，據歐盟評估顯示，成人每公斤體重每天可耐受量（TDI）是 0.5 毫克。且前林口長庚醫院毒物科主任林杰樑醫師認為，順丁烯二酸致病毒性高，尤其對腎臟具有高毒性，所以長期食用下，可能會造成洗腎的後果，對人們的身體有害。

因此，我們決定以粉圓為研究材料，結合國中生活與自然科技二下第五章「食品科學」概念，並且利用國中生活與自然科技三上第一章「外力大小與物質的形變量成正比」的知識，參考了第 53 屆科展的研究作品，自製了一台壓縮機藉由科學方法客觀的測量出改變不同變因下的粉圓軟硬度。此外我們還利用粉圓從高處落下會彈跳的特性來比較不同粉圓的反彈高度，藉由反彈高度的不同來測定粉圓的彈性。藉此研究，探討引響粉圓軟 Q 度的主要因素，並且改良粉圓在低溫下的硬化程度，然後更進一步研究出就算不添加任何化學添加劑，也可以做出不雅於市售粉圓的天然健康粉圓。

貳、 研究目的

食品安全的問題近年來越來越被重視，國人也越來越講求健康天然的飲食，有鑑於目前市面上的粉圓大多添加了許多化學的食品添加劑，就算是網路上的粉圓製作教學影片與食譜，除了少數標榜天然健康粉圓之外，也有絕大部分使用了加工過的澱粉。

經物理化學方式處理過的澱粉中，以預糊化澱粉及修飾澱粉為最常用。所謂預糊化澱粉係將澱粉預煮至約 60%的糊化程度後，再加以乾燥者。由於預糊化澱粉易於分散在冷水中，且成安定黏液成品，而使用時不需再加熱，故被廣泛使用。而目前工業界常將天然澱粉加以化學處理，以修飾其功能性，此種澱粉謂之修飾澱粉。通常是加上化學物質，使澱粉變成酯類或醚類衍生物，或使澱粉分子間形成不同程度的鍵結。故我們無法確定在澱粉加工處理的過程中，是否添加了傷身的化學試劑。

因此我們試圖使用純天然未加工過的澱粉，利用不同澱粉本身的性質不同，造成糊化、形成凝膠與透明度的不同，接著再利用加入糖量的多寡來抑制直鏈澱粉的溶出，進而控制粉圓的軟度，找出最佳添加比例。最後，利用市面上店家在煮粉圓時的小撇步：使用糖水煮粉圓，來達到使粉圓更 Q 彈的效果。統整上述說明，歸納本次實驗之研究目的如下：

(一)、找出主要影響粉圓軟 Q 度的變因。

(二)、在不使用任何人工添加物的條件下，維持粉圓的軟 Q 口感。

(三)、研究添加不同比例的糖對於製作粉圓軟度的影響，並且比較在不同溫度下的硬化程度，然後與市售飲料店的粉圓進行比較。

(四)、利用不同濃度的糖水煮粉圓，比較不同濃度糖水煮出的粉圓的 Q 彈性差異。

參、研究設備與器材

一、自製實驗用的「粉圓軟硬度測定儀器」

為了可以用科學的方法以客觀的方式測定粉圓的軟硬程度，於是我們參考了第 53 屆科展作品，模擬人口咬合的機械運作方式，並以「外力大小和物質的形變量成正比」之理論基礎，製作了一台粉圓軟硬程度測定儀器。

所需材料如下表：

名稱	數量
水桶(2000 毫升)	1 個
小砧板(250x150x9mm)	1 個
長木條(21cm)	2 條
L 型角鐵(單邊長寬各 3.5cm)	2 個
鐵尺(長 30cm)	2 支
滑輪(直徑 2.5cm)	1 個
瞬間膠(品牌為：3M)	數個
棉線	1 捲

二、自製「天然健康粉圓」所需材料如下表：

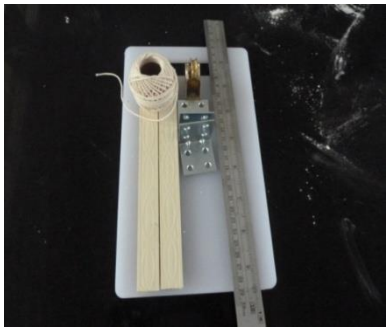
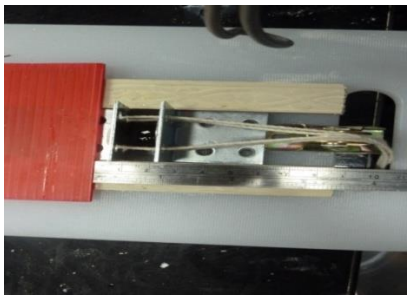
名稱	數量
樹薯澱粉(耆盛食品)	1 包
日本太白粉(金永誠食品原料行)	1 包
玉米澱粉(金永誠食品原料行)	1 包
小麥澱粉(金永誠食品原料行)	1 包
糯米澱粉(屏東農產)	1 包
果糖(金永誠食品原料行)	1 罐
麥芽糖(金永誠食品原料行)	1 罐
黑糖(南北坊)	1 包
鍋子	2 個
卡式爐(卡旺)	1 個
瓦斯罐(卡旺)	數罐
燒杯(500 毫升)	5 個
冰塊	數包
溫度計	3 支
電子天平	1 台

肆、研究過程

一、自製實驗用的「粉圓軟硬度測定儀器」

我們根據國中生活與自然科技三上第一章「外力大小與物質的形變量成正比」與參考第 53 屆科展作品「模仿人口咬合的機械運作方式」設計彈性測定儀器，自製了粉圓軟硬度測定儀器。但試著量測粉圓時發現，因為粉圓的體積小，L 型鐵架在往前拉動時會往前傾斜造成量測上的不便，故我們加裝了一個塑膠材質的光滑小板子在 L 型鐵架滑行軌道上方，使的 L 形軌道在被外力拖行時，可以沿著塑膠小板子往前移動而不再傾斜。

外力大小與物質形變量公式：$F=k\Delta L$，藉此科學方法客觀的量測，當粉圓被壓縮 20%與 33.3%時需多少外力(F)。外力的測量是以水桶中的水重來測量。

圖一、自製粉圓軟 Q 測定儀所需材料。	圖二、自製粉圓軟 Q 測定儀器完成圖。
	
圖三、將預量測粉圓放置於兩 L 型鐵架中。	圖四、量測壓縮所需水重。
	

二、粉圓彈性測定

利用粉圓從一定高度落下後的反彈高度不同來測定粉圓的 Q 彈性。我們將不同變因下製作出的粉圓，固定從 100 公分的直尺前筆直落下，並用錄影的方式找出粉圓反彈後的最高高度，藉此方式來測定出粉圓的 Q 彈性。

二、實驗一：選市面上較常見的 5 種澱粉(樹薯澱粉、日本太白粉、玉米澱粉、小麥澱粉與糯米粉)，測試不同澱粉的糊化溫度、黏性與透明度，藉此了解不同澱粉的性質差異。

(一)實驗目的：了解不同澱粉的糊化、黏性與透明度的差異。

(二)實驗變因：澱粉種類。

(三)實驗步驟：

1.添加 50 公克澱粉於 500 毫升燒內。

2.先加入 50 毫升冷水，攪拌均勻。

3.再加入 150 毫升冷水，攪拌成均勻的懸浮液。

4.將燒杯放置於鐵鍋內隔水加熱，並以攪拌匙不斷攪拌，使澱粉懸浮液能受熱均勻。

5.當懸浮液開始糊化時，紀錄此時的溫度。

6.繼續加熱 3 分鐘讓澱粉完全糊化後，趁熱舀取兩湯匙倒於桌面上。

7.待澱粉糊冷卻後，比較桌面上各澱粉糊覆蓋的面積大小與透明度。

圖五、各類澱粉與糖等實驗原料

三、實驗二：將 5 種澱粉(樹薯澱粉、日本太白粉、玉米澱粉、小麥澱粉與糯米粉)分別搓成大約直徑 1 公分的粉圓，並在不同溫度下利用自製的粉圓量測儀測量不同澱粉製做出的粉圓在不同溫度下的軟硬程度。

(一) 實驗目的：比較不同澱粉製作出的粉圓軟 Q 度的差異，並且測試在低溫下不同澱粉製作出的粉圓的硬化程度，藉此找出最適合做成粉圓的澱粉種類。

(二) 實驗變因：澱粉種類與溫度。

(三) 實驗步驟：

1. 秤取 70 公克的澱粉放置於鐵鍋中。
2. 用量筒量取 40 毫升水，並放置於三角架上，使用酒精燈加熱。
3. 當水加熱至沸騰時，馬上沖入鐵鍋中，並用刮勺將水與澱粉拌勻。
4. 當澱粉團溫度不燙手時，直接用手揉搓成團。
5. 接著將澱粉團搓成一個個直徑約 1 公分的小粉圓。
6. 將另一個鐵鍋裝約七分滿的水，用小瓦斯爐加熱至鍋內的水沸騰時，將粉圓一顆顆放置鍋中，並用攪拌匙攪拌避免粉圓黏在鍋底。

7. 攪拌至粉圓一顆顆浮起後，蓋上鍋蓋並將火轉至中火，悶煮約 20 分鐘，接著在關火悶約 20 分鐘。
8. 將煮熟的粉圓撈出並沖冷水使粉圓口感較 Q，並分別放置冷水(約 17℃)、10℃與 5℃中約 20 分鐘，並量測粉圓壓縮形變量 20%與 33.3%時所需施加的力。

四、實驗三：藉由實驗二中找出最適合做粉圓的兩種澱粉(樹薯澱粉與日本太白粉)，分別加入 12.85%、25.71%與 51.42%不同比例的糖量，比較添加不同糖量對澱粉軟 Q 度的影響。

(一)實驗目的：比較添加不同糖量對澱粉軟 Q 度的影響。

(二)實驗變因：糖量的多寡。

(三)實驗步驟：

1. 秤取 70 公克的澱粉放置於鐵鍋中。
2. 秤取 8 公克(12.85%)的黑糖並加入 40 毫升水，放置於三角架上，使用酒精燈加熱。
3. 當黑糖水加熱至沸騰時，馬上沖入鐵鍋中，並用刮勺將黑糖水與澱粉拌勻。
4. 當澱粉團溫度不燙手時，直接用手揉搓成團。
5. 接著將澱粉團搓成一個個直徑約 1 公分的小粉圓。
6. 將另一個鐵鍋裝約七分滿的水，用小瓦斯爐加熱至鍋內的水沸騰時，將粉圓一顆顆放置鍋中，並用攪拌匙攪拌避免粉圓黏在鍋底。
7. 攪拌至粉圓一顆顆浮起後，蓋上鍋蓋並將火轉至中火，悶煮約 20 分鐘，接著在關火悶約 20 分鐘。
8. 將煮熟的粉圓撈出並沖冷水使粉圓口感較 Q，並分別放置冷水(約 17℃)、10℃與 5℃中約 20 分鐘，並量測粉圓壓縮形變量 33.3%時所需施加的力。
9. 利用自由落體的方式測量未加糖粉圓與添加 18 公克糖製成的粉圓從 100 公分自由落下後的反彈高度。

圖六、每顆粉圓控制在直徑約 1 公分大小。

五、實驗四：承上實驗找出最佳添加糖量後，使用樹薯澱粉改以不同種類的糖(黑糖、果糖與麥芽糖)製作粉圓互相比較。

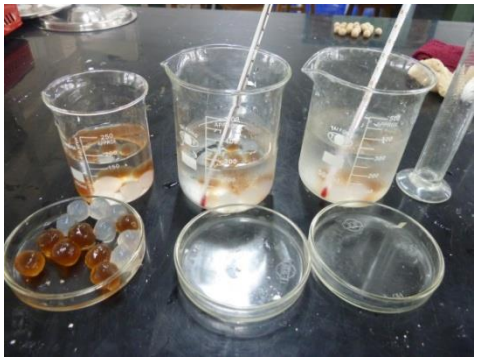
(一)實驗目的：比較不同種類的糖對粉圓的軟硬度有何影響。

(二)實驗變因：糖的種類。

(三)實驗步驟：

1. 秤取 70 公克的澱粉放置於鐵鍋中。
2. 秤取 18 公克(25.71%)的果糖(或是麥芽糖)並加入 40 毫升水，放置於三角架上，使用酒精燈加熱。
3. 當糖水加熱至沸騰時，馬上沖入鐵鍋中，並用刮勺將糖水與澱粉拌勻。
4. 當澱粉團溫度不燙手時，直接用手揉搓成團。
5. 接著將澱粉團搓成一個個直徑約 1 公分的小粉圓。
6. 將另一個鐵鍋裝約七分滿的水，用小瓦斯爐加熱至鍋內的水沸騰時，將粉圓一顆顆放置鍋中，並用攪拌匙攪拌避免粉圓黏在鍋底。
7. 攪拌至粉圓一顆顆浮起後，蓋上鍋蓋並將火轉至中火，悶煮約 20 分鐘，接著在關火悶約 20 分鐘。
8. 將煮熟的粉圓撈出並沖冷水使粉圓口感較 Q，並分別放置冷水(約 17℃)、10℃與 5℃中約 20 分鐘，並量測粉圓壓縮形變量 33.3%時所需施加的力。

圖七、將粉圓放置在不同溫度下，溫度由左至右分別為 17℃、10℃與 5℃。



六、實驗五：使用不同濃度的糖水烹煮未加糖與添加 18 公克黑糖的粉圓(分別為重量百分濃度 10%、20%與 30%糖水)並比較其軟硬度與 Q 彈性。

(一) 實驗目的：比較不同濃度的黑糖水烹煮粉圓對粉圓軟硬度與 Q 彈性的影響。

(二) 實驗變因：煮粉圓的糖水濃度。

(三) 實驗步驟：

1.配置不同比例的糖水濃度，重量百分濃度分別為 10%、20%與 30%糖水(1000ml 水中添加入 115 公克的黑糖為重量百分濃度 10%的糖水；1000ml 水中添加入 250 公克的黑糖為重量百分濃度 20%的糖水; 1000ml 水中添加入 430 公克的黑糖為重量百分濃度 30%的糖水)

2.用小瓦斯爐加熱至鍋內的糖水沸騰時，將粉圓一顆顆放置鍋中，並用攪拌匙攪拌避免粉圓黏在鍋底。

3.攪拌至粉圓一顆顆浮起後，蓋上鍋蓋並將火轉至中火，悶煮約 20 分鐘，接著在關火悶約 20 分鐘。

4.將煮熟的粉圓撈出並沖冷水，分別放置冷水(約 17℃)、10℃與 5℃中約 20 分鐘，並量測粉圓壓縮形變量 33.3%時所需施加的力與利用自由落體的方式測量粉圓從 100 公分自由落下後的反彈高度。

伍、實驗結果

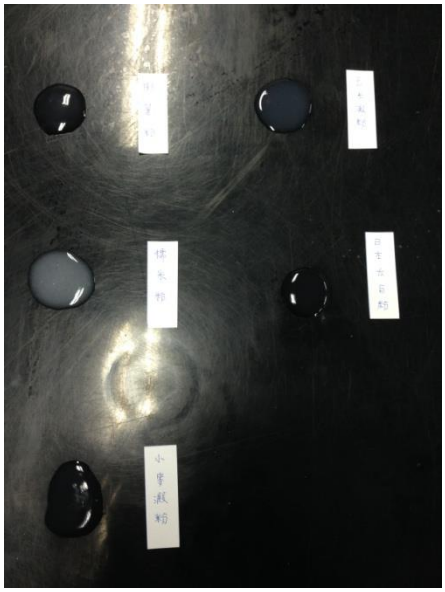
一、實驗一

將樹薯澱粉、日本太白粉(馬鈴薯澱粉)、玉米澱粉、小麥澱粉與糯米澱粉分別隔水加熱後，趁熱舀取兩湯匙倒於桌面上。待澱粉糊冷卻後，比較桌面上各澱粉糊覆蓋的面積大小與透明度。比較結果如下(表一)。

表一、各種澱粉糊冷卻後覆蓋面積大小與透明度。

澱粉種類	澱粉糊擴散直徑(cm)	糊化溫度(℃)	冷澱粉糊透明度
樹薯粉	4.5	60~68	90%
日本太白粉(馬鈴薯澱粉)	4	58~65	100%
玉米澱粉	5.5	65~72	50%
小麥澱粉	5.5	66~75	40%
糯米澱粉	6	67~75	0%

圖八、各種澱粉冷卻後的情況。由左上至右下依序為樹薯澱粉(左上)、糯米澱粉(左中)、小麥澱粉(左下)、玉米澱粉(右上)與日本太白粉(右下)。



(一) 實驗結果發現，不同澱粉的糊化溫度不同，根類澱粉(樹薯澱粉與日本太白粉)的糊化溫度較低，而穀類澱粉(玉米澱粉、小麥澱粉與糯米澱粉)的糊化溫度較高。當澱粉在水中加熱時，會產生糊化，糊化主要為澱粉顆粒吸水而膨脹所造成。而不同的澱粉，其糊化的程度各不相同，推測其原因為細胞破裂前的吸水量，因為穀類澱粉的吸水量比根類澱粉低。且穀類澱粉在糊化的早期對水的穿透性有抵抗力，因此糊化溫度較高。

(二) 大多數糊化後的澱粉冷卻後會失去其流動性，因而形成凝膠。但並不是所有的澱粉都可形成凝膠，首先要有足夠的澱粉，同時要有足夠的游離直鏈澱粉，因為游離的直鏈澱粉可以互相形成氫鍵，亦會與支鏈澱粉的支鏈形成分子間氫鍵，而形成一個三度空間的立體結構，將水包在其中。實驗結果發現，樹薯澱粉與日本太白粉的凝膠透明度相當高。

二、實驗二

將樹薯澱粉、日本太白粉、玉米澱粉、小麥澱粉與糯米粉分別搓成大約直徑 1 公分的粉圓，並在不同溫度下利用自製的粉圓量測儀測量不同澱粉製做出的粉圓在不同溫度下的軟 Q 程度。

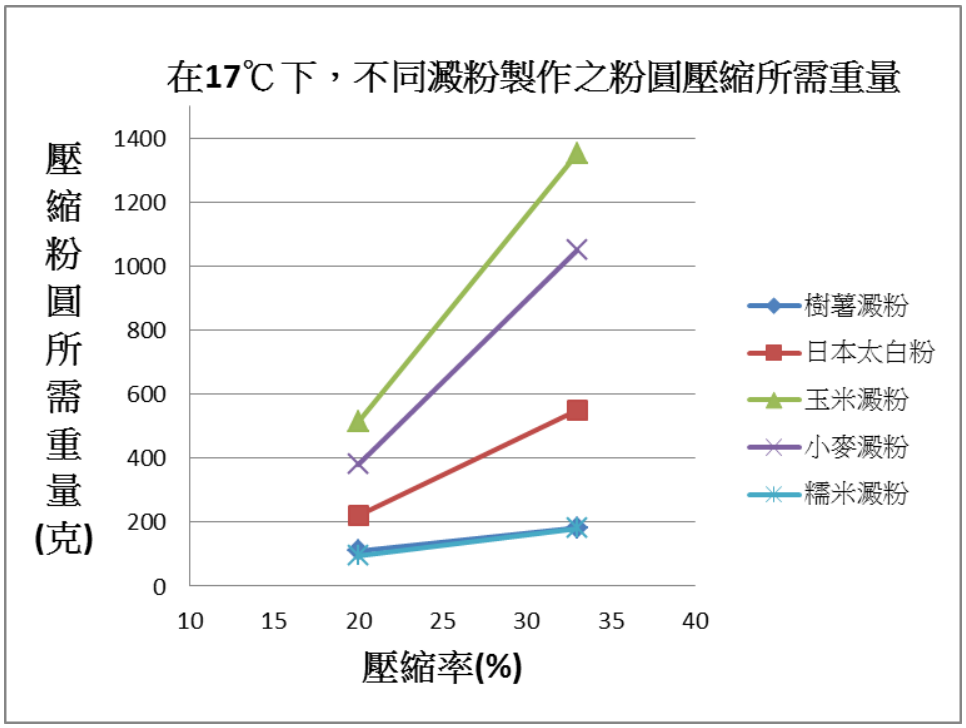
表二、在 17℃下，各種澱粉製作而成的粉圓壓縮 20%與 33.3%所需施加的力。

不同澱粉製作而成的粉圓	壓縮率 20%時所需重量(公克)	壓縮率 33.3%時所需重量(公克)
樹薯澱粉	110.1	182.8
日本太白粉(馬鈴薯澱粉)	221.0	550.0
玉米澱粉	513.2	1352.0
小麥澱粉	380.0	1050.3
糯米澱粉	95.2	180.2

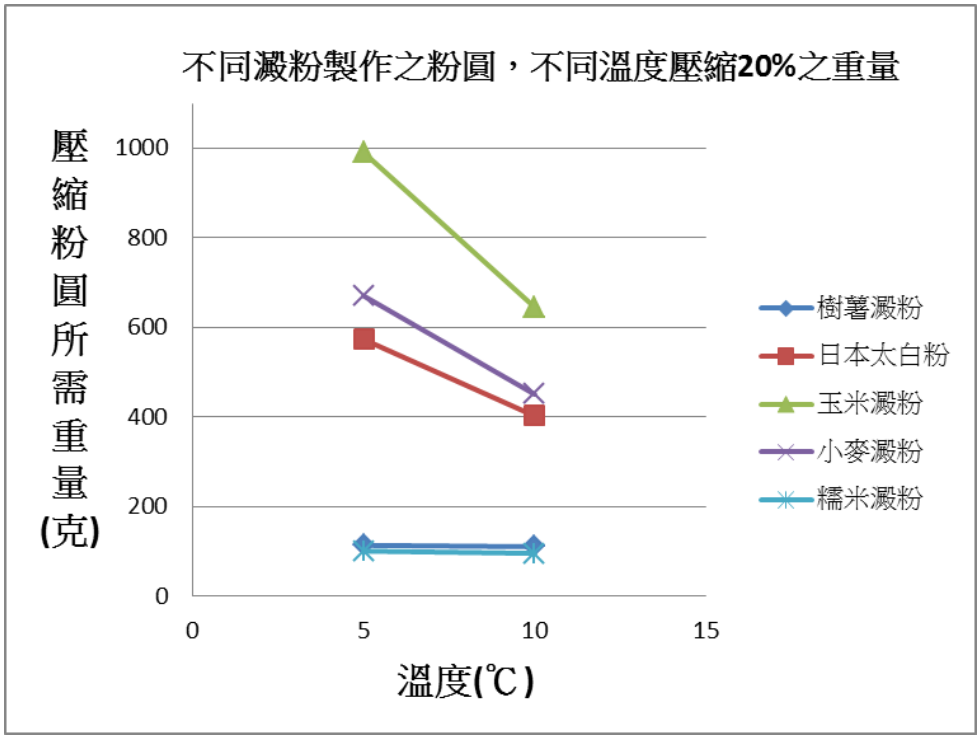
表三、在 10℃與 5℃下，各種澱粉製成的粉圓壓縮 20%所需施加的力。

不同澱粉製作而成的粉圓	10℃下，壓縮率 20%時所需重量(公克)	5℃下，壓縮率 20%時所需重量(公克)
樹薯澱粉	110.1	113.2
日本太白粉(馬鈴薯澱粉)	402.0	573.0
玉米澱粉	644.8	990.5
小麥澱粉	450.2	670.3
糯米澱粉	95.2	100.2

圖九、在 17℃下，各種澱粉製作而成的粉圓壓縮 20%與 33.3%所需施加的力。



圖十、在 10℃與 5℃下，各種澱粉製成的粉圓壓縮 20%所需施加的力。



由實驗結果可以觀察出，不同澱粉形成凝膠後的軟硬程度有很明顯的不同，其中又以樹薯粉與日本太白粉的軟硬度較為理想，而玉米澱粉與小麥澱粉較硬；尤其在低溫下，樹薯粉還可以保有較佳的軟硬度，而玉米澱粉與小麥澱粉硬化程度明顯，糯米澱粉則顯得較軟糊。所以我們推論出，樹薯澱粉與日本太白粉為製作粉圓時較理想的澱粉種類。

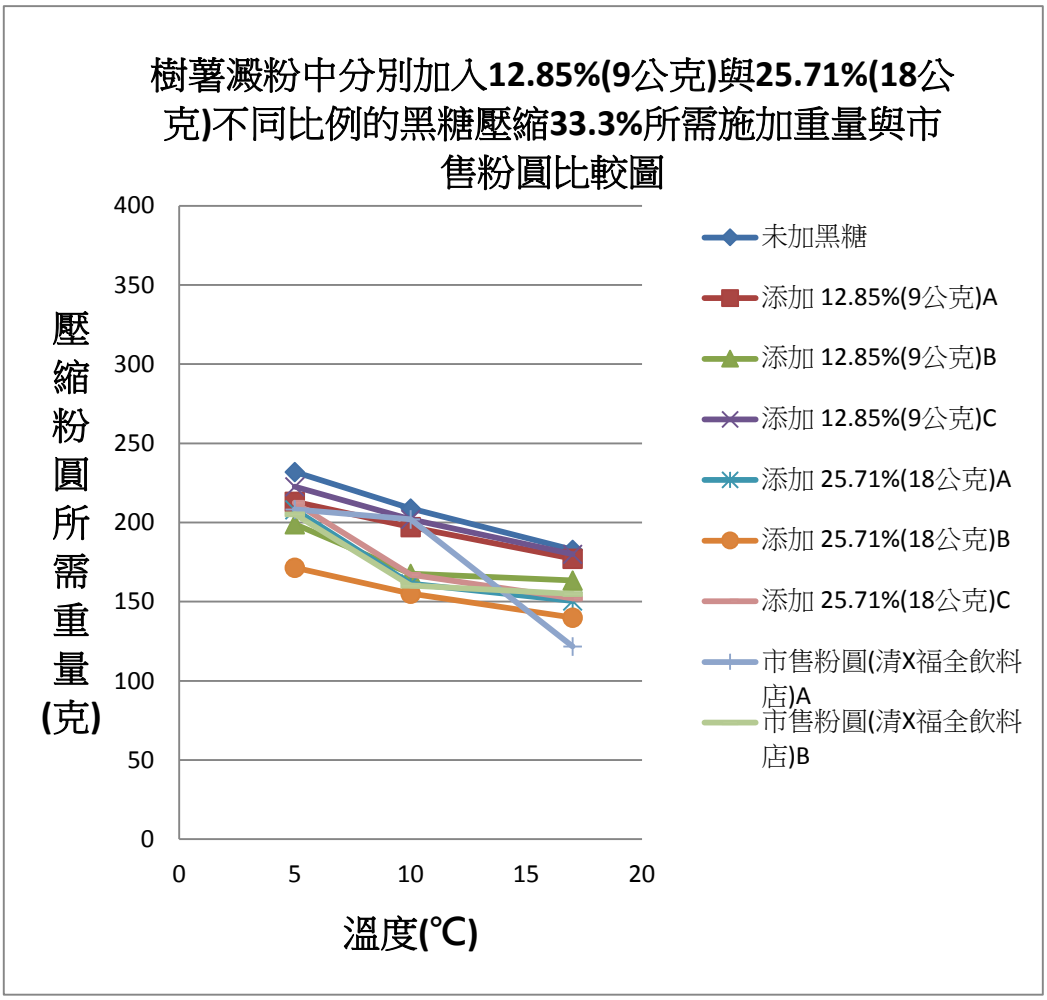
三、實驗三

藉由實驗二中找出最適合做粉圓的澱粉為樹薯粉與日本太白粉，分別加入 12.85%(9 公克)、25.71%(18 公克)與 51.42%(36 公克)不同比例的糖量，比較添加不同糖量對澱粉軟硬度的影響並且利用粉圓從 100 公分自由落下後反彈的高度來測定粉圓的 Q 彈性。

表四、樹薯澱粉中分別加入 12.85%(9 公克)與 25.71%(18 公克)不同比例的黑糖壓縮 33.3%所需施加重量與市售粉圓比較表。

添加不同比例的黑糖量	在 17℃下壓縮 33.3%所需重量(公克)	在 10℃下壓縮 33.3%所需重量(公克)	在 5℃下壓縮 33.3%所需重量(公克)
未加黑糖	182.8	208.8	232.0
添加 12.85%(9 公克)A	177.1	197.2	213.2
添加 12.85%(9 公克)B	163.4	167.7	199.0
添加 12.85%(9 公克)C	180.0	202.1	222.6
添加 25.71%(18 公克)A	150.4	161.4	208.0
添加 25.71%(18 公克)B	140.0	155.2	171.6
添加 25.71%(18 公克)C	152.0	167.1	212.5
市售粉圓(清 X 福全飲料店)A	121.8	202.0	208.2
市售粉圓(清 X 福全飲料店)B	155.0	160.1	205.2

圖十一、樹薯澱粉中分別加入 12.85%(9 公克)與 25.71%(18 公克)不同比例的黑糖壓縮 33.3%所需施加重量與市售粉圓比較圖。



表五、日本太白粉中加入 25.71%(18 公克)黑糖與未加入糖的粉圓壓縮 20%所需重量比較表。

添加不同比例的黑糖量	在 17℃下壓縮 20%所需重量(公克)	在 10℃下壓縮 20%所需重量(公克)	在 5℃下壓縮 20%所需重量(公克)
未加黑糖	221.0	402.0	573.0
添加 25.71%(18 公克)A	179.2	355.0	479.1
添加 25.71%(18 公克)B	132.4	273.8	401.9

由實驗結果發現，粉圓中加入黑糖不只是為了增加粉圓的香甜風味，更可以有效影響粉圓的軟硬程度，由實驗數據中可以看出，添加了糖的粉圓凝膠明顯的較未添加糖的粉圓更為軟嫩且在低溫下較不易硬化。因為蔗糖對澱粉的糊化有干擾的現象，其可以軟

化凝膠，故加入蔗糖澱粉所形成的凝膠其硬度較低，主要是因為糖會干擾直鏈澱粉的溶出，而不易形成網狀結構。甚至我們也發現，使用樹薯澱粉並添加 25.71%(18 公克)的黑糖時粉圓的軟化效果佳，甚至在低溫下的硬化程度優於市售飲料店的粉圓。我們也嘗試在樹薯澱粉中添加 51.42%(36 公克)的黑糖，發現雖然粉圓的確會變得更軟，但是因為澱粉團太軟的關係，煮熟的粉圓無法成形，會是不規則狀(如下圖四)。

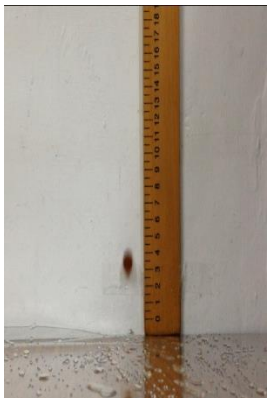
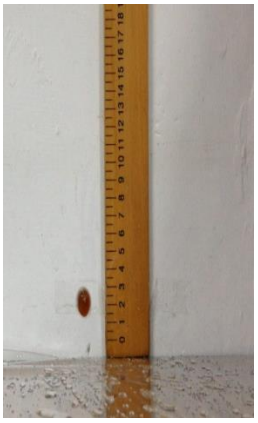
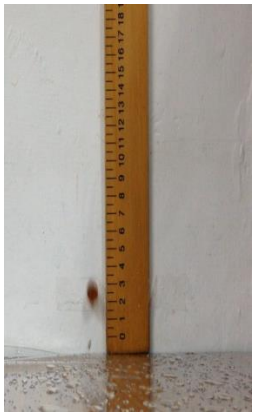
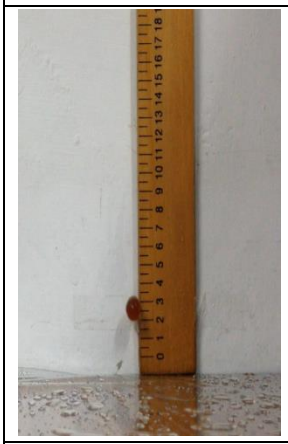
圖十二、樹薯粉中添加 51.42%(36 公克)的黑糖粉圓成不規則狀，無法形成圓形(左邊)與樹薯粉中添加 25.71%(18 公克)的黑糖粉圓(右邊)比較圖。

我們想更進一步量測添加了糖的粉圓除了凝膠會較軟化之外，對於粉圓的 Q 彈度是否會有影響，故我們使用自由落體的方式將未加糖與添加 18 公克黑糖的粉圓從 100 公分高的直尺前方自由落下，比較粉圓的反彈高度。

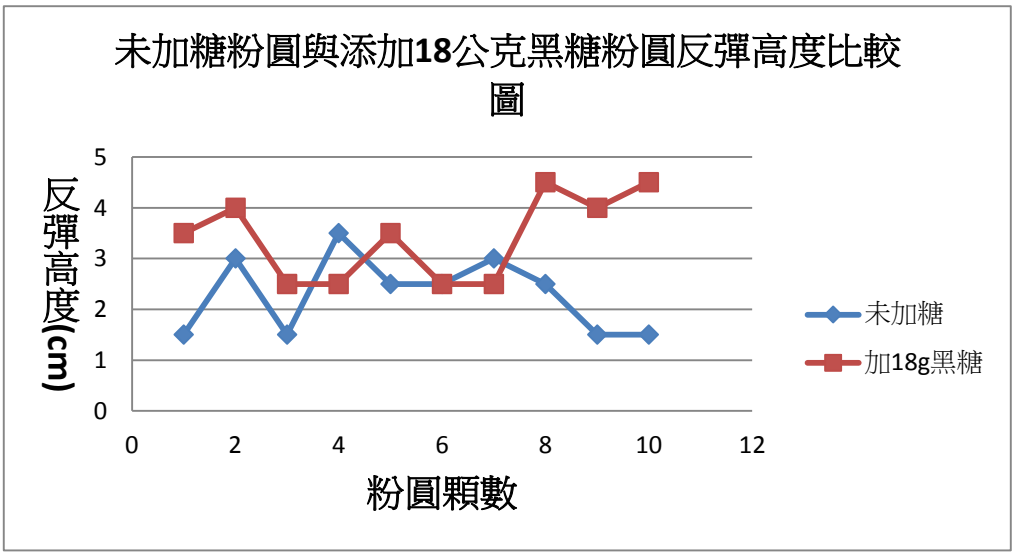
表六、未添加糖的粉圓從 100 公分高落下後的反彈高度表。

約 1.5cm	約 3.0cm	約 1.5cm	約 3.5cm	約 2.5cm
約 2.5cm	約 3.0cm	約 2.5cm	約 1.5cm	約 1.5cm

表七、添加 18 公克黑糖的粉圓從 100 公分高落下後的反彈高度表。

				
約 3.5cm	約 4.0cm	約 2.5cm	約 2.5cm	約 3.5cm
				
約 2.5cm	約 2.5cm	約 4.5cm	約 4.0cm	約 4.5cm

圖十三、未加糖粉圓與添加 18 公克黑糖粉圓反彈高度比較圖。



由圖表中可以看出，添加了黑糖的粉圓反彈的高度普遍較未加糖的粉圓來的高，故可知添加了黑糖的粉圓較為 Q 彈。

四、實驗四

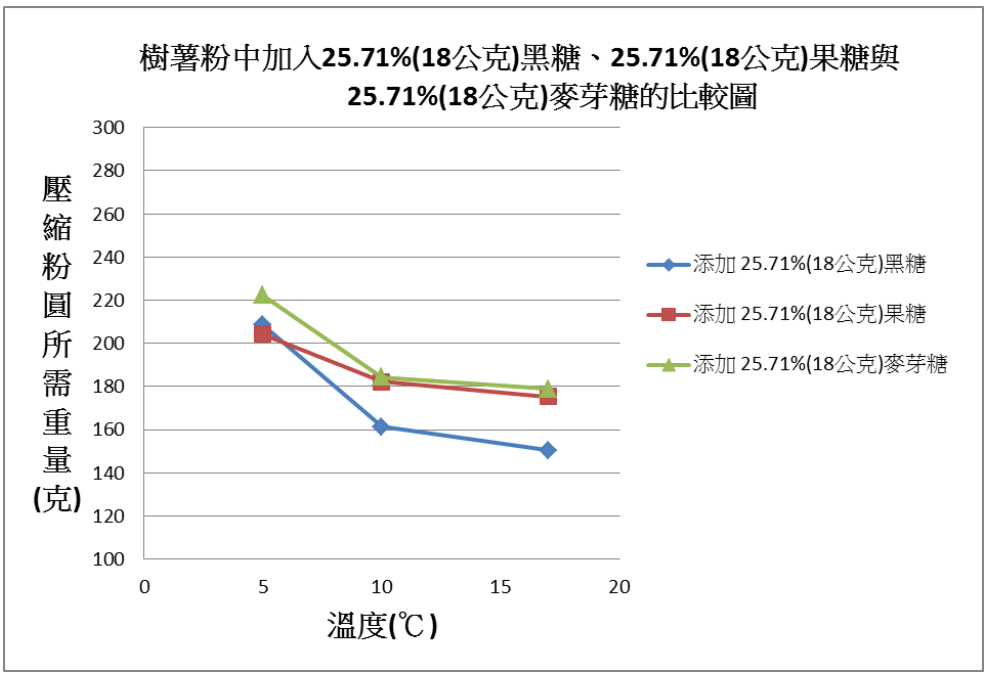
承上實驗找出最佳添加糖量後，使用樹薯澱粉改以不同種類的糖(黑糖、果糖與麥芽糖)製作粉圓互相比較。

表八、樹薯粉中加入 25.71%(18 公克)黑糖、25.71%(18 公克)果糖與 25.71%(18 公克)麥芽糖的比較表。

添加糖的種類	在 17℃下壓縮 33.3%所需重量(公克)	在 10℃下壓縮 33.3%所需重量(公克)	在 5℃下壓縮 33.3%所需重量(公克)
添加 25.71%(18 公克)黑糖 A	150.4	161.4	208.4
添加 25.71%(18 公克)果糖	175.2	182.2	204.2
添加 25.71%(18 公克)麥芽糖	178.8	184.2	222.2

由實驗結果可以發現加入不管是什麼種類的糖，雖壓縮 33.3%時所需的重量差異不大，但皆可以達到軟化粉圓凝膠的效果。

圖十四、樹薯粉中加入 25.71%(18 公克)黑糖、25.71%(18 公克)果糖與 25.71%(18 公克)麥芽糖的比較圖。



五、實驗五

賣芋圓的老闆意外透露原來讓芋圓 Q 彈是有小撇步的，就是在烹煮芋圓時不是用一般的清水煮，而是在水中加入一些糖，使用糖水煮出的芋圓會較有彈性。於是我們也想將此方法使用在烹煮粉圓時，並且比較使用不同濃度的黑糖水烹煮粉圓對粉圓的軟硬度、低溫下的硬化程度與粉圓凝膠的彈性。

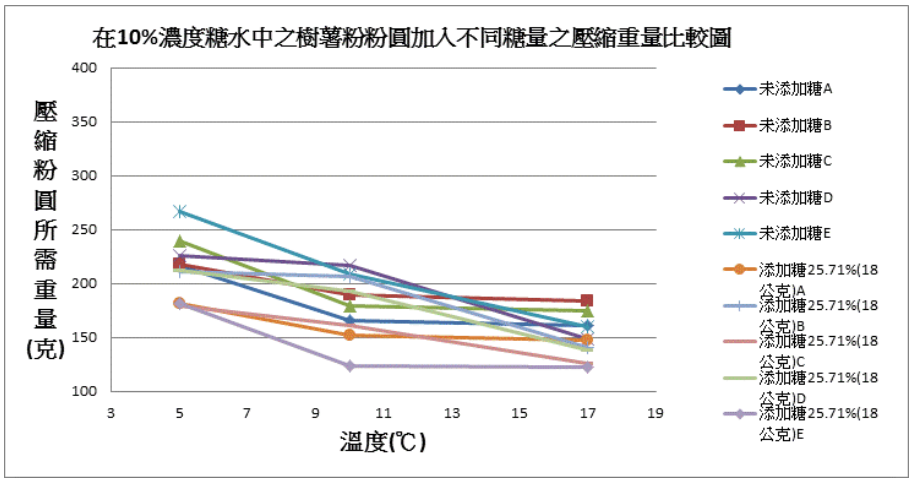
我們配置不同比例的糖水濃度，重量百分濃度分別為 10%、20%與 30%糖水(1000ml 水中添加入 115 公克的黑糖為重量百分濃度 10%的糖水；1000ml 水中添加入 250 公克的黑糖為重量百分濃度 20%的糖水; 1000ml 水中添加入 430 公克的黑糖為重量百分濃度 30%的糖水)。

(1)將粉圓放置在重量百分濃度10%的黑糖水中烹煮：

表九、在濃度 10%的糖水中烹煮未加糖與添加 18 公克黑糖的粉圓壓縮 33.3%所需重量比較表。

添加不同比例的黑糖	在 17℃下壓縮 33.3%所需重量(公克)	在 10℃下壓縮 33.3%所需重量(公克)	在 5℃下壓縮 33.3%所需重量(公克)
未添加糖 A	161.6	165.4	216.6
未添加糖 B	184.0	189.2	217.6
未添加糖 C	175.2	179	240.0
未添加糖 D	149.0	217	226.2
未添加糖 E	159.4	209.2	266.4
添加糖 25.71%(18 公克)A	148.0	152.0	181.4
添加糖 25.71%(18 公克)B	140.8	206.8	210.8
添加糖 25.71%(18 公克)C	126.2	160.8	179.2
添加糖 25.71%(18 公克)D	138.4	192.8	212.0
添加糖 25.71%(18 公克)E	123.0	124.0	182.0

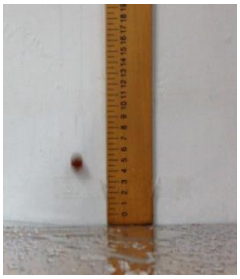
圖十五、在濃度 10%的糖水中烹煮未加糖與添加 18 公克黑糖的粉圓壓縮 33.3%所需重量比較圖。



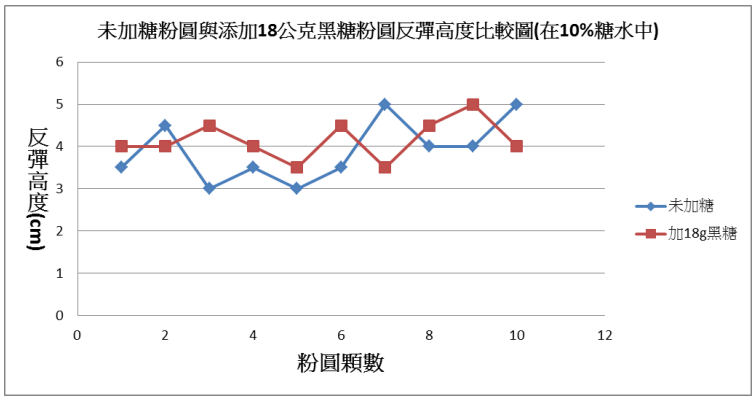
表十、未添加糖的粉圓從 100 公分高落下後的反彈高度表(在濃度 10%的糖水中)。

約 3.5cm	約 4.5cm	約 3.0cm	約 3.5cm	約 3.0cm
約 3.5cm	約 5.0cm	約 4.0cm	約 4.0cm	約 5.0cm

表十一、添加 18 公克黑糖的粉圓從 100 公分高落下後的反彈高度表(在濃度 10%的糖水中)。

約 4.0cm	約 4.0cm	約 4.5cm	約 4.0cm	約 3.5cm
				
約 4.5cm	約 3.5cm	約 4.5cm	約 5.0cm	約 4.0cm

圖十六、未加糖粉圓與添加 18 公克黑糖粉圓反彈高度比較圖(在濃度 10%的糖水中烹煮)

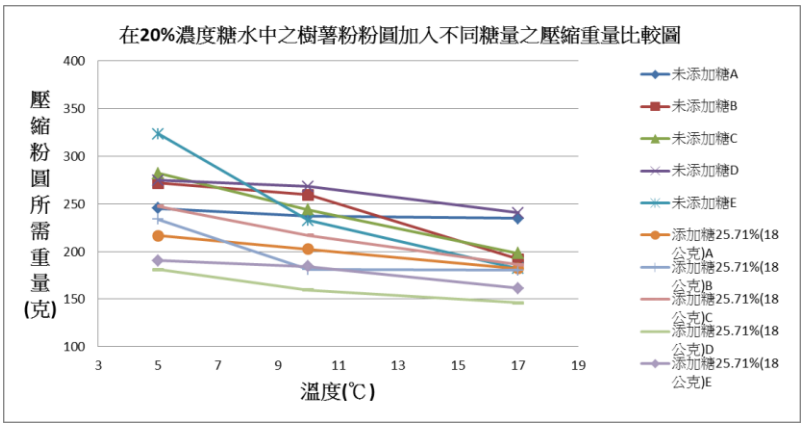


(2)將粉圓放置在重量百分濃度20%的黑糖水中烹煮：

表十二、在濃度 20%糖水中烹煮未加糖與添加 18 公克黑糖的粉圓壓縮 33.3%所需重量比較表。

添加不同比例的黑糖	在 17℃下壓縮 33.3%所需重量(公克)	在 10℃下壓縮 33.3%所需重量(公克)	在 5℃下壓縮 33.3%所需重量(公克)
未添加糖 A	234.6	236.8	245.2
未添加糖 B	192.0	259.6	271.8
未添加糖 C	198.0	243.8	281.8
未添加糖 D	240.6	268.0	274.6
未添加糖 E	182.2	232.4	323.4
添加糖 25.71%(18 公克)A	182.0	202.4	216.4
添加糖 25.71%(18 公克)B	180.2	181.0	233.6
添加糖 25.71%(18 公克)C	186.2	217.0	247.4
添加糖 25.71%(18 公克)D	146.0	159.6	180.8
添加糖 25.71%(18 公克)E	161.4	184.4	190.4

圖十七、在濃度 20%糖水中烹煮未加糖與添加 18 公克黑糖的粉圓壓縮 33.3%所需重量比較圖。



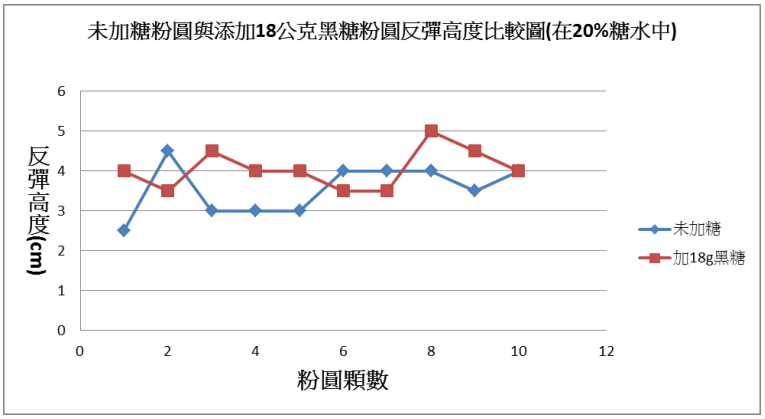
表十三、未添加糖的粉圓從 100 公分高落下後的反彈高度表(在濃度 20%的糖水中)。

約2.5cm	約4.5cm	約3.0cm	約3.0cm	約3.0cm
約4.0cm	約4.0cm	約4.0cm	約3.5cm	約4.0cm

表十四、添加 18 公克黑糖的粉圓從 100 公分高落下後的反彈高度表(濃度 20%糖水中)。

約4.0cm	約3.5cm	約4.5cm	約4.0cm	約4.0cm
約3.5cm	約3.5cm	約5.0cm	約4.5cm	約4.0cm

圖十八、未加糖粉圓與添加 18 公克黑糖粉圓反彈高度比較圖(在濃度 20%的糖水中烹煮)

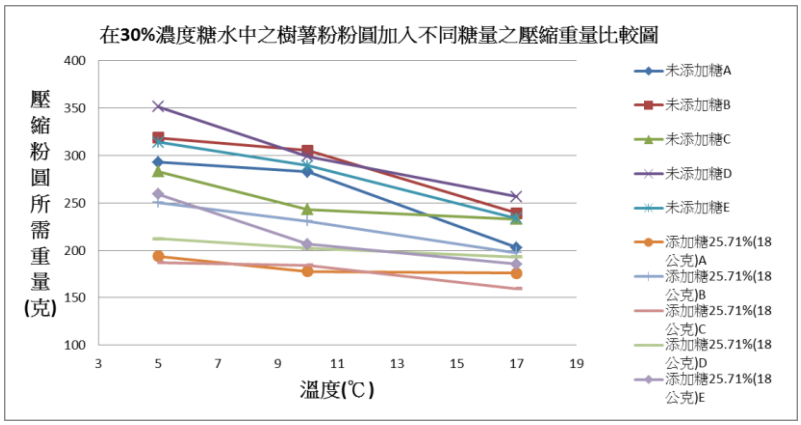


(3)將粉圓放置在重量百分濃度30%的黑糖水中烹煮：

表十五、在濃度 30%糖水中烹煮未加糖與添加 18 公克黑糖的粉圓壓縮 33.3%所需重量比較表。

添加不同比例的黑糖	在 17℃下壓縮 33.3%所需重量(公克)	在 10℃下壓縮 33.3%所需重量(公克)	在 5℃下壓縮 33.3%所需重量(公克)
未添加糖 A	202.6	282.8	292.8
未添加糖 B	239.2	305.4	318.6
未添加糖 C	232.8	243.0	283.0
未添加糖 D	256.6	299.0	351.2
未添加糖 E	233.6	289.2	313.8
添加糖 25.71%(18 公克)A	175.8	177.6	193.8
添加糖 25.71%(18 公克)B	197.4	230.6	250.2
添加糖 25.71%(18 公克)C	159.4	184.2	187.0
添加糖 25.71%(18 公克)D	193.1	202.2	212.2
添加糖 25.71%(18 公克)E	185.4	206.5	259.2

圖十九、在濃度 30%糖水中烹煮未加糖與添加 18 公克黑糖的粉圓壓縮 33.3%所需重量比較圖。



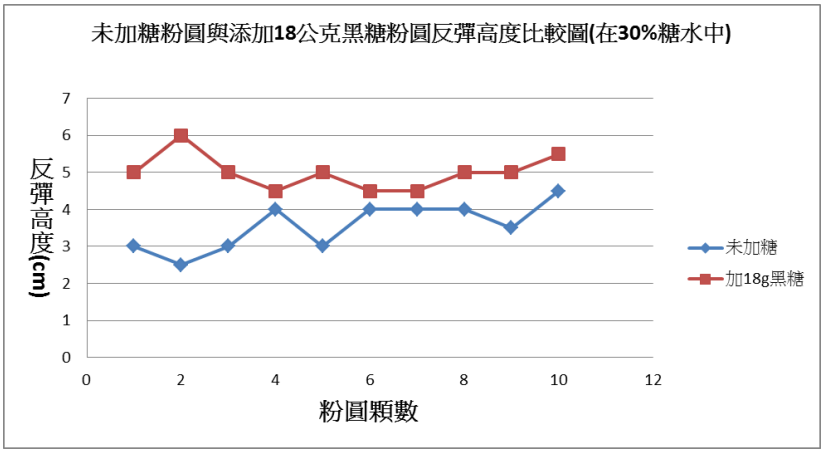
表十六、未添加糖的粉圓從 100 公分高落下後的反彈高度表(在濃度 30%的糖水中)。

約3.0cm	約2.5cm	約3.0cm	約4.0cm	約3.0cm
約4.0cm	約4.0cm	約4.0cm	約3.5cm	約4.5cm

表十七、添加18公克黑糖的粉圓從100公分高落下後的反彈高度表(濃度30%糖水中)。

約5.0cm	約6.0cm	約5.0cm	約4.5cm	約5.0cm
約4.5cm	約4.5cm	約5.0cm	約5.0cm	約5.5cm

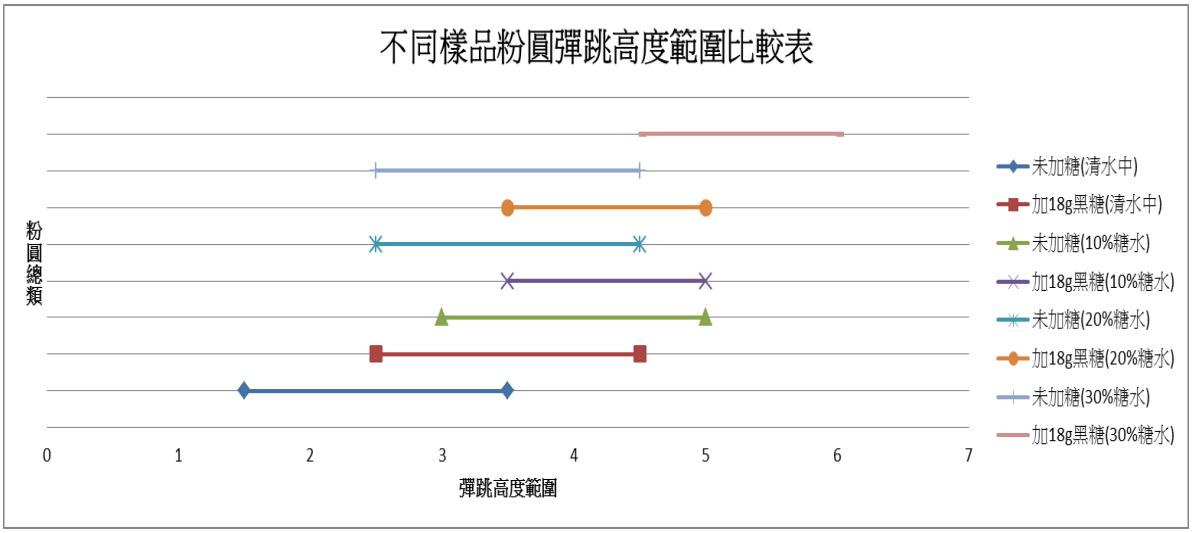
圖二十、未加糖粉圓與添加 18 公克黑糖粉圓反彈高度比較圖(在濃度 30%的糖水中烹煮)



由實驗五中我們可以發現，使用不同濃度的黑糖水烹煮粉圓會影響粉圓的軟硬度與Q彈性。當黑糖水的濃度越高，煮出來的粉圓硬度反而增加，我們推測可能與滲透壓有關，當黑糖水濃度越高時，粉圓裡的水分越容易流失，故粉圓硬度增加。而未加黑糖的粉圓比添加了18公克黑糖的粉圓硬化程度來的明顯。

經由粉圓從高處落下測得的反彈高度可知粉圓的Q彈性與粉圓軟硬度並沒有絕對的關係。而使用加黑糖的水來烹煮粉圓的確對粉圓的Q彈度有加成的效果。而添加了18公克黑糖的粉圓凝膠Q彈度比未加黑糖的粉圓凝膠來的更佳。由此可知，”糖”無論是添加在粉圓裡或是添加在烹煮粉圓的水中，對粉圓的彈性與軟硬度都有一定程度的影響。

圖二十一、不同濃度黑糖水中各類粉圓反彈高度比較圖。



陸、討論

一、由實驗一得知，不同澱粉的糊化性質不同。根類澱粉因為在細胞破裂前的吸水量大於穀類澱粉，故根類澱粉的糊化溫度較低，而形成的凝膠較軟 Q 且透明度也較高。

二、實驗二我們實際將實驗一中使用的五種澱粉(樹薯澱粉、日本太白粉、玉米澱粉、小麥澱粉與糯米澱粉)做成直徑約 1 公分的粉圓，比較不同澱粉製做出的粉圓的差異，並且利用自製的粉圓軟 Q 度測定儀測定每顆粉圓被壓縮一定比例時的所需水重。我們發現使用樹薯粉與日本太白粉製作而成的粉圓軟 Q 度較佳且形成的粉圓凝膠透明度極高，最適合拿來製作成珍珠粉圓。

三、我們希望以不加入任何化學添加物的狀況下成功控制粉圓的軟 Q 度。於是我們從粉圓中最常加入的”黑糖”(主要成分為蔗糖)來著手研究，發現粉圓中添加蔗糖不僅僅可以增添粉圓的香甜口感，更可以利用蔗糖量的多寡控制粉圓的軟 Q 程度。因為蔗糖對澱粉的糊化有干擾的現象，主要原因是因為蔗糖的吸濕性大，會與澱粉互相爭奪水分，進而影響了澱粉的糊化，故加入蔗糖澱粉所形成的凝膠，其硬度較低，因為蔗糖影響了直鏈澱粉的溶出而不易形成網狀結構。

四、實驗三中發現樹薯粉中加入的黑糖量越多(分別添加黑糖比例 12.85%、25.71%與 51.42%)，則形成的粉圓則越軟，在低溫下的粉圓硬化程度也有改善，但是當添加了 51.42%的黑糖時會發現做出的粉圓無法形成我們所要的圓形，而是不規則狀。故我們找出了最佳糖量添加比例為：「70 公克的樹薯澱粉中，添加入 25.71%(約 18 公克)黑糖溶於 40 毫升水中。」在低溫下的硬化程度較飲料店販賣的粉圓減緩。

五、實驗四中我們發現不僅黑糖有軟化凝膠的作用，改用果糖與麥芽糖做實驗發現，當加入 25.71%果糖或麥芽糖時，也會有相同的效果。

六、實驗五中，我們試著在烹煮粉圓的水中添加入不同分量的黑糖，發現使用添加了黑糖的糖水煮出的粉圓軟硬度較在清水中煮出的粉圓來的硬，我們推測是因為滲透壓的影響，使得在黑糖水中烹煮粉圓時，粉圓內的水分較易流失。而在添加了黑糖的糖水中烹煮的粉圓 Q 彈性有明顯的改善。

柒、結論

有鑒於市售的珍珠粉圓幾乎都免不了食品添加物(例如防腐劑、抗氧化劑、色素等)，甚至為了讓粉圓口感更軟Q而加入了對人體有害的順丁希二酸，造成了嚴重的食品安全問題。故本研究利用國中生活與自然科技二下第五章「食品科學」概念與國中生活與自然科技三上第一章「外力大小與物質的形變量成正比」的知識設計了相關實驗。希望可以研究出就算不添加任何的化學添加劑也可以達到讓粉圓軟Q的目的。藉由實驗結果發現，”糖”無論是添加在粉圓裡或是添加在烹煮粉圓的水中，對粉圓的彈性與軟硬度都有一定程度的影響，故黑糖是影響粉圓軟Q的最大功臣，但添加得太多也會導致粉圓無法成形，故我們找出了最佳添加糖量(25.71%)。希望藉由科學方式的研究，讓國人可以吃到美味又健康的食品，為國內的食品安全盡一份心力。

捌、參考資料及其他

一、國中生活與自然科技三上第一章「外力大小與物質的形變量成正比」。

二、中華民國第 53 屆科學展覽-「戰勝食神的健康貢丸-以低鹽控制蛋白質乳化效果之無磷酸鹽貢丸」。

三、施明智著，2002 年，食物學原理(第二版)，藝軒圖書出版社。

四、周老師的美食教室-健康粉圓製作，網址：http://blog.yam.com/homeeconomics/article/35657872

【評語】030814

探討影響粉圓Q彈程度的變因以及不同澱粉糊化的性質差異，很有研究的熱忱和精神。建議可以增加研究的廣度。