

中華民國第 65 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(二)

032909

讓「剩食」變「勝食」~綠蕉珍珠的抗性與物性
研究

學校名稱： 高雄市立陽明國民中學

作者： 國二 李祥華 國二 潘沛容 國一 黃棕宥	指導老師： 蔡瑞琴 林宏周
---	-----------------------------

關鍵詞： 米粉、蛋白質、抗氧化力

讓「剩食」變「勝食」 ~綠蕉珍珠的抗性與物性研究 摘要

本研究探討過剩綠蕉在食品加工中的應用。綠蕉富含抗性澱粉與膳食纖維，透過檢測不同因素對綠蕉澱粉抗性的影響，研發與製作最佳比例與配方的綠蕉珍珠。結果發現透過烘乾、磨粉等過程可開發適合食品加工的綠蕉粉。以烏龍綠蕉粉與太白粉 3:7 比例加入 1%~3% 橄欖油可顯著提升抗性，製作兼具口感與消費者接受度的綠蕉粉圓，經冷藏或冷凍保存其澱粉抗性增加，透過微波回溫較能維持粉圓的彈性、黏性與咀嚼性等口感。本研究比較綠蕉珍珠和市售珍珠粉圓的抗性、水活性、色差、物性等食品特性，不僅提出的綠蕉珍珠製作與保存技術，並提供產品營養標示供消費者參考。不僅能解決綠蕉過剩問題，還能夠為健康飲食提供新選擇。未來可開發綠蕉瓶條、糕點等拓展市場價值。

關鍵字: 綠蕉珍珠、抗性澱粉、食品加工

壹、前言

一、研究動機

台灣是全球著名的「香蕉王國」，香蕉的種植面積佔 61% 居全國水果之冠。而我的阿姨在鄉下經營著一座友善耕作的香蕉園，在豐收的產季或颱風過後，市場供過於求，導致大量未成熟的綠蕉無法銷售，辛勞付諸流水，更造成食物資源的浪費，我們親眼見證了這樣的問題。珍珠奶茶是台灣最具代表性的國民飲品，但傳統珍珠的主要成分為澱粉，加上飲料店常使用糖漿調味，長期飲用高糖、高熱量的飲品，不僅可能導致體重上升，還可能增加健康風險。

因此，我們開始思考綠蕉雖然口感較硬、不如成熟香蕉甜美而較難在市場上銷售，但研究顯示平均每 100g 的青香蕉含抗性澱粉 3.5g，能延緩血糖吸收並提供較長時間的飽足感。因此，我們嘗試將綠蕉應用於製作珍珠粉圓，使其保留傳統珍珠的 Q 彈口感，同時提升抗性澱粉含量，使「剩食」變「勝食」，發揮綠蕉的最大效益，也能兼顧營養與健康，讓喝珍珠奶茶不再讓人「蕉綠」。

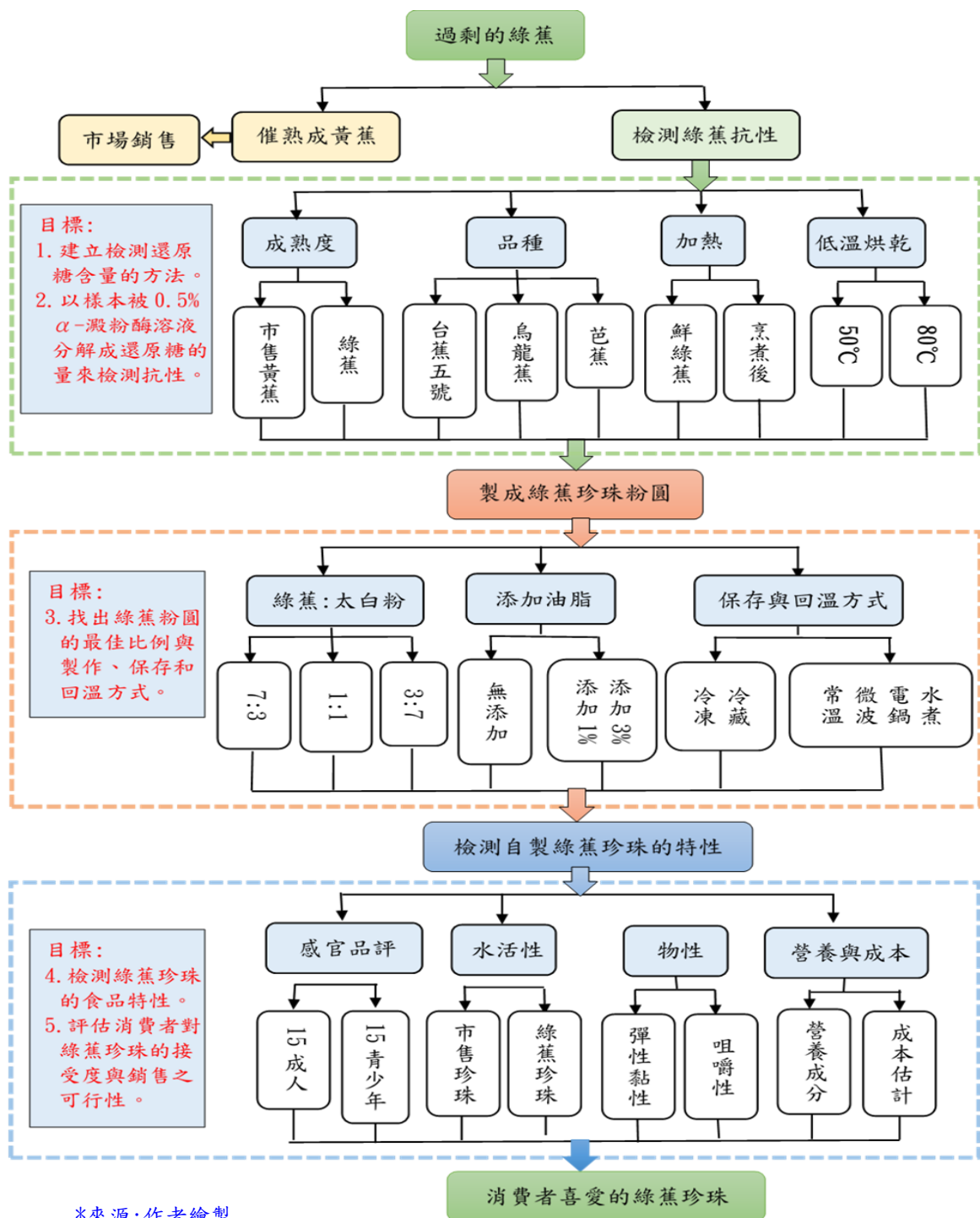


照片 1 颱風過後家裡的香蕉園許多待處理的「綠蕉」(*來源:作者拍攝)

二、研究目的

- (一) 檢測不同因素對綠蕉澱粉抗性的影響。
- (二) 研發與製作最佳蕉粉比例與配方的綠蕉珍珠。
- (三) 實測添加油脂與保存方式對綠蕉珍珠的抗性影響。
- (四) 比較不同回溫方式對綠蕉珍珠抗性與物性的影響。
- (五) 比較自製綠蕉珍珠和市售珍珠粉圓的食品特性。
- (六) 評估大眾對綠蕉珍珠的接受度與銷售之可行性。

三、研究架構



四、文獻探討

(一) 台灣香蕉種類介紹

台灣栽種的香蕉品種眾多，常見華蕉系品種--北蕉、寶島蕉、台蕉5號、台蕉7號、烏龍蕉；常見芭蕉品種--蛋蕉、紅皮蕉、李林蕉、玫瑰蕉、南華蕉、假呂宋蕉。而此次實驗使用的香蕉是家裡主要種植的香蕉品種台蕉5號、烏龍蕉和芭蕉，有些人習慣把短胖的香蕉稱為芭蕉，其實不管什麼的香蕉都屬於單子葉植物 *Monocots*、薑目 *Zingiberales*、芭蕉科 *Musaceae*、芭蕉屬 *Musa*，只是在地有不同的俗稱：

1. 台蕉5號(玉山)—英名：Tai - Chiao NO.5. 同樣是源自北蕉的改良品種，與北蕉果形相似，特色是抗病性強、果形整齊、飽滿、色澤鮮黃、無褐斑。。
2. 烏龍蕉--農業處指出，「烏龍蕉」屬台蕉1號的另一種品系，耐寒蟲害少，因生長期比國內產量較大的「北蕉」多出約1個月，早期未能大幅推廣，後來高雄旗山一名外號「烏龍」的農民繼續選育，產量增加再移到雲林種植，風味濃郁，品質尤佳，且因蕉體較小，適合小家庭，也是烏龍蕉受歡迎的原因。
3. 南華蕉(芭蕉)--以南投集集、埔里為主要產區，外形短胖，香氣也不足，品嚐時需等果皮完全變黃、變軟再食用，否則吃來會來澀味，但完全成熟的果肉吃起來又甜又Q。

(二) 抗性澱粉(RS)的種類比較：

種類	來源	結構特性
RS1： 物理保護型	全穀物、種子、未加工的穀物	被細胞壁或其他物理結構包覆，使澱粉酶難以接觸，需充分咀嚼才能釋放澱粉，經過加工（如磨碎）易破壞。
RS2： 顆粒結晶型	未熟的香蕉、馬鈴薯、生玉米澱粉	澱粉顆粒中的高結晶性使其難以被酶解，例如直鏈澱粉（amylose）和支鏈澱粉（amylopectin）結構中的結晶區域。隨著烹煮或加熱，結構會被破壞，消化性提升。
RS3： 回生澱粉	經烹煮後冷卻的米飯、麵條、馬鈴薯。	澱粉經加熱糊化後，在冷卻過程中形成的回生結構，通常由直鏈澱粉重組形成雙螺旋結構。具有較穩定的抗酶解性，耐酸。
RS4： 化學改性澱粉	經過化學修飾如酯化、交聯化處理的澱粉。	化學改性導致澱粉分子鏈發生改變，使其不易被消化酶作用。可根據需求調整其功能和用途，耐熱性高。
RS5： 脂質複合型澱粉	直鏈澱粉和脂肪酸或單甘油酯形成的複合物。	直鏈澱粉—脂質複合物（Amylose-lipid complex），抵抗酶的作用。在高溫下相對穩定，常用於功能性食品中。

(三)綠蕉抗性澱粉(GBRS)健康價值

澱粉依消化時間可區分為快速消化澱粉、慢速消化澱粉與難消化的抗性澱粉(**Resistant Starch**)。快速消化澱粉像是糊化的粥、濃湯等，很快能被消化吸收；慢速消化澱粉需要約 100 分鐘，即將近 2 小時的消化時間；而抗性澱粉在腸道中停留的時間最長，可能長達 2~7 小時不等，運用在減肥上也有低 GI 飲食的概念。RS 廣泛存在於各種富含澱粉的食物中，自古以來便是人類飲食的一部分。RS 能抵抗人體小腸胰澱粉酶消化作用，因此能進入大腸。其營養價值主要來自其類似膳食纖維的生理功能。定期攝取某些高發酵性膳食纖維來源，可調節腸道免疫與微生物群，並大量產生短鏈脂肪酸 (SCFAs)。在眾多生理作用中，RS 不被腸道吸收，具有潛在的益生質特性，透過包埋技術可實現最佳的益生質－益生菌共生效應。此外，RS 也可作為包埋其他生物活性化合物的載體。(Fuentes-Zaragoza et al., 2011)

綠蕉是天然抗性澱粉的優質來源，在健康飲食和功能性食品市場中具有開發潛力。**綠蕉抗性澱粉 Green banana resistant starch (GBRS)** 是一重要多醣具食品工業中的潛力。綠蕉粉在乾重基礎上含有約 70% 的澱粉，其中約 30% 為抗性澱粉，成為澱粉為基底的食品配方中極具潛力的成分。在各類天然來源中，綠蕉的抗性澱粉含量高於大多數其他食品與穀物。由於其優異的糊化行為、熱穩定性、膠凝等特性 GBRS 受到食品製造與烹飪界的關注 (Haroon Munir et al., 2024)。

(四)歷屆科展相關研究主題分析：

主題	組別科別	主要發現
「飯」科學~探討米飯的抗性澱粉形成條件	國小組化學科(62 屆)	1. 抗性澱粉增加時，米飯會變硬、黏度下降。 2. <u>直鏈澱粉含量越高的米經過 5°C 儲藏後抗性澱粉增加，儲藏時間增加而變多。</u> 3. 米飯水分越多，經 5°C 儲藏不會增加抗性澱粉含量；煮飯時添加油脂、醋及食鹽都能增加抗性澱粉的形成。
拍「粿」定案，「條」出健康！	國小組生活與應用科學(二)科(62 屆)	1. 使用澱粉酶分解澱粉轉化成葡萄糖的方法，自製 <u>α 澱粉酶檢驗抗性澱粉含量</u> 。 2. 在來米粉加入 20% 糯米粉，能煮出與市售粿條軟硬度、抗拉力最接近的粿條。 3. 使用的各種澱粉都無法煮出抗拉力與市售粿條相當的粿條，可能與市售粿條的食品添加物有關。 4. 將自製粿條放入冰箱以 3°C 冷藏 48 小時，就能得到與未經低溫保存粿條相比，減少約 10% 熱量的粿條。
珍珠新「葛」命——「抗性」珍珠生成之道	高中組農業與食品學科(61 屆)	1. 以樹薯與葛鬱金粉做成珍珠， <u>利用冷藏及加椰子油來增加抗性澱粉含量</u> 。 2. <u>冷藏能使兩種珍珠的抗性澱粉含量有效提升</u> ，但會 <u>使珍珠變硬</u> ，發現煮水回溫的回復效果較好，加油較無成效。 3. 珍珠冷藏回溫後 <u>彈性不變且維持較高含量的抗性</u>

		<p><u>澱粉。</u></p> <p>4. 而葛鬱金珍珠不論經過何種處理，抗性澱粉含量都比樹薯的高，因此<u>葛鬱金可作為更健康的珍珠原料。</u></p>
--	--	--

(五)珍珠奶茶的市場潛力與挑戰

全球珍珠奶茶市場的規模逐年增長，然而珍珠奶茶的高糖分和高熱量成為健康飲食的一大挑戰。以全糖珍珠奶茶為例，每杯珍奶的熱量超過 700 大卡，其中的珍珠成分主要是澱粉，經過加糖處理後，帶來了高糖、高碳水化合物的負擔（Wang et al., 2018）。在健康意識提升的背景下，消費者越來越關注低糖、低熱量的替代產品。綠蕉珍珠的開發提供了一種替代方案，將抗性澱粉的低 GI 特性結合到珍珠中，讓消費者在享受珍珠奶茶的同時，減少糖分攝取並降低血糖上升速度。這一方案不僅符合健康飲品市場的趨勢，還能為消費者帶來兼顧美味與健康的選擇。

基於以上背景，本研究的動機在於解決台灣綠蕉資源浪費的問題，並開發綠蕉在功能性食品中的應用。綠蕉富含抗性澱粉，其在健康管理中的作用逐漸受到重視。綠蕉珍珠的開發不僅能夠有效減少農業浪費，提升綠蕉經濟價值，也可以滿足消費者對健康飲品的需求。本研究通過開發綠蕉珍珠並進行抗性澱粉含量、製作過程比例測試、冷藏穩定性和感官測試，期望能夠提供一種低熱量、高纖維的珍珠選擇，實現經濟效益和健康價值的雙重目的。

貳、研究設備與器材

一、綠蕉的保存與綠蕉粉製作

因綠蕉在室溫狀態很容易自然成熟成黃蕉，而放進一般冰箱又很容易因凍傷而變黑，因此為了能將香蕉園裡採收的綠蕉維持在綠蕉狀態久一點，我們以低溫恆溫箱將溫度控制在 13~15°C 以防止綠蕉快速成熟甚至過熟，不過約 2 個星期後綠蕉就會逐漸轉黃而成熟，因此我們為了保存綠蕉的營養成分，也將綠香蕉烘乾後磨製成綠蕉粉待後續實驗準備用。

(一)新鮮綠蕉泥製作：

低溫恆溫培養箱(型號:Hipoint721L -20°C至 100°C)、電子天平、水果刀、砧板、果汁機、量筒、錐形瓶。

(二)綠蕉粉製作：

乾果機(Massey 五層溫控 MAS-535)、烘箱(型號:YIH DER DK500D)、磨豆機(PHILIPS Pro Blend 5)、封口袋、刷子、烘烤紙、不銹鋼盤。

二、香蕉與粉圓抗性與物性檢測










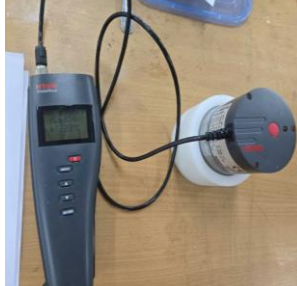

(一)澱粉與還原糖定性與顯微觀察

複試顯微鏡、顯微攝像鏡頭(MC-D500U)、電視、載玻片、蓋玻片、滴管、碘液、解剖針、本氏液、滴管、試管、燒杯、加熱磁石攪拌器。

(二)還原糖含量與食品特性檢測

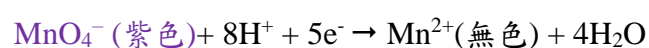
過錳酸鉀、葡萄糖、硫酸(1M)、燒杯、量筒、錐形瓶、恆溫水浴槽、試管、試管架、計時器、 α -澱粉酶、水活性儀、色像儀、物性儀。

*來源:作者拍攝

低溫恆溫箱	電子天平	打泥攪拌機	磨豆機
			
溫控果乾機	烘箱	烘烤紙	不銹鋼盤
			
複試顯微鏡	恆溫水浴槽	加熱磁石攪拌器	計時器
			
色像儀 Konica Minolta CR	水分活性計 Rotronic HygroPalm	物性儀 Brookfield CT3	α -澱粉酶 α -amylase
			

(三)抗性檢測原理:

1.過錳酸鉀 (KMnO_4) 是一種強氧化劑，在酸性環境中，以葡萄糖 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)與過錳酸鉀離子 (MnO_4^-) 反應，將其還原成無色的錳離子 (Mn^{2+})。離子方程式如下：



溶液的葡萄糖濃度越高，被脫色所需的時間越長。因此利用一系列已知濃度的葡萄糖溶液，分別測定它們使標準過錳酸鉀溶液脫色的時間，便可繪製出一條標準曲線，可用作估算待測溶液中還原糖的濃度。

2.我們所測得的是帶有游離醛基或酮基所有「具有還原性」的還原糖（reducing sugars）總量，葡萄糖、果糖、半乳糖、乳糖、麥芽糖等都屬於還原糖。不管是麥芽糖還是葡萄糖，在還原性糖檢測實驗中都會呈現陽性反應。綠蕉未成熟時因含有大量抗性澱粉（resistant starch），而澱粉在消化道分解的過程中會產生寡糖、麥芽糖、葡萄糖等具有游離的醛基或可轉化的酮基（如果糖）的還原糖。因此我們以檢測待測溶液中還原糖含量評估消化道中澱粉的分解與否，用以推測綠蕉澱粉的抗性高低。

參、研究過程與方法

一、香蕉型態與澱粉粒顯微觀察

（一）型態比較

- 1.實驗使用家裡種的三種不同蕉種，其中台蕉五號和烏龍蕉屬於華蕉系，芭蕉和其他二種品系差異較大，而綠蕉與成熟後型態也有所差異。



照片 2 本研究三種不同的綠蕉與黃蕉
（來源：作者拍攝）

（二）成分檢測：

- 1.取三種香蕉不同熟度的香蕉橫切，取中間橫切面至於不鏽鋼盤上，各滴加 2mL 碘液滴加在香蕉切面，三分鐘後檢視染色結果。
- 2.取等量 30 克香蕉加等量 100mL 水打成碎片後取 3mL 香蕉液+2mL 本氏液後隔水加熱，觀察顏色變化。

（三）果肉的顯微觀察

取 30g 果肉+100mL RO 水於打泥機中打成香蕉泥，攪拌均勻後吸取一滴香蕉泥滴於載玻片上，並滴加碘液使澱粉染成藍黑色後製成玻片標本，置於顯微鏡下放大 40 倍、100 倍、400 倍觀察並拍攝顯微照片，比較其澱粉粒型態與數量差異。

二、測抗性澱粉含量

（一）繪製葡萄糖濃度標準曲線

1. 取 180 克葡萄糖粉末溶於少量 RO 水中後再定量到 100 毫升=10M 稀釋成不同濃度的葡萄糖液:0.5M~10M
2. 取 0.4 克過錳酸鉀溶於 1 公升 RO 水，調配成過錳酸鉀溶液
3. 取葡萄糖液 5 毫升加入 5 毫升硫酸(1M)與 5 毫升過錳酸鉀溶液
4. 記錄不同濃度葡萄糖液從紫色到無色所需的時間

（二）檢測鮮香蕉中的抗性澱粉含量

1. 30g 樣本加入 100 毫升的 RO 水並用食物調理機碾碎
2. 加入 0.5%的 α -澱粉酶(5mL)，置於 37°C 水浴槽反應 25 分鐘
3. 取 5 毫升的樣本加入 5 毫升的硫酸(1M)與 5 毫升的過錳酸鉀溶液。

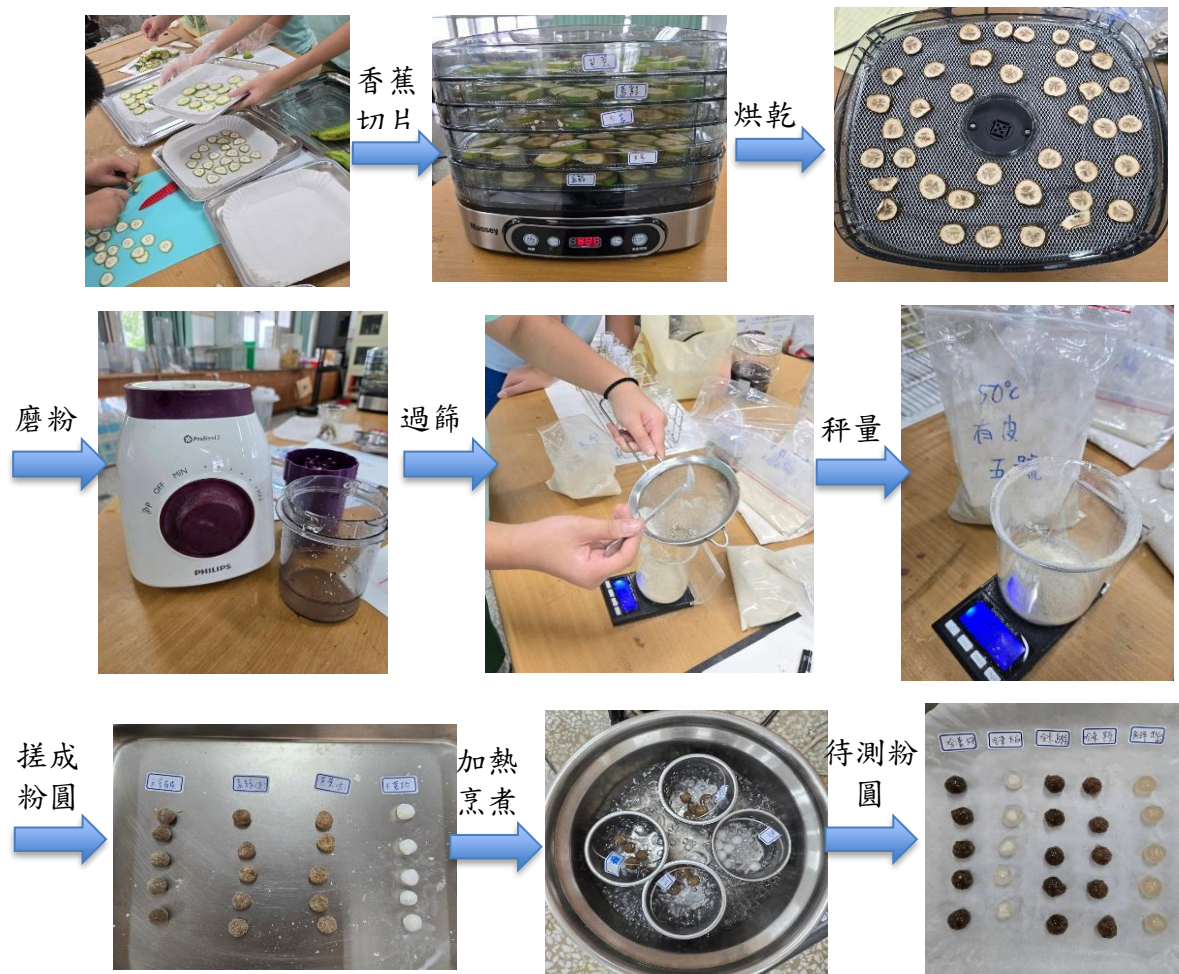
4. 記錄從紫色到無色所需要的時間，對照標準曲線推測還原糖含量

(三)、檢測香蕉粉中的抗性澱粉含量

1. 10g 樣本加入 90 毫升的 RO 水並攪拌均勻調製成 10% 的蕉粉液待測。
2. 加入 0.5% 的 α -澱粉酶(5mL)，置於 37°C 水浴槽反應 25 分鐘。
3. 取 5 毫升的樣本加入 5 毫升的硫酸(1M)與 5 毫升的過錳酸鉀溶液，記錄從紫色到無色所需要的時間，對照標準曲線得知葡萄糖的含量，以含糖量變化比例來反推抗性澱粉含量，含糖量增加比例高者為抗性澱粉含量較低，反之若含糖量增加比例低者抗性澱粉含量較高。

三、粉圓的製作與檢測：

(一) 粉圓製作與烹煮：



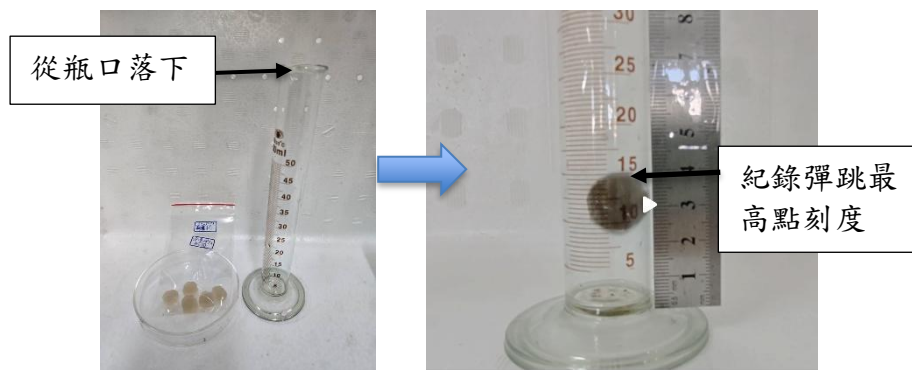
照片 3 粉圓製作與烹煮過程(來源:作者拍攝)

1. 將烘乾並磨碎後的綠蕉粉過篩後，取 **12 克**加入 **RO 熱水 8 克**揉搓均勻後，秤量製作每顆 2 公克的波霸粉圓和 1 公克的珍珠粉圓待測。
2. 烹煮時先將水加熱至滾，加入待測粉圓繼續加熱至粉圓都浮起至水面，蓋上鍋蓋關中小火烹煮 20 分鐘，加熱過程中不能掀蓋待完成後熄火再悶 10 分鐘後，撈出珍珠至於冷 RO 水 1 分鐘後撈出待測，比較二種粉圓與澱粉酶反應前後的含糖量變化和彈力。

3.含糖量檢測時須先將烹煮後的待測珍珠以適當的比例(5克粉圓+50mLRO水)打成均勻的液體狀再進行檢測。

(二)粉圓彈力檢測:

1.將待測粉圓置於 50mL 量筒瓶口高，錄影紀錄粉圓從量筒瓶口落下至底部瞬間的彈跳情形，以慢動作檢視 10 次彈跳高度，記錄其彈跳最高點的量筒刻度(mL)。



照片 4 粉圓彈跳高度紀錄(來源:作者拍攝)

(三)感官品評:

隨機找 30 位(15 位青少年和 15 位成人)受試者，食用以相同方法、四種不同綠蕉粉和太白粉比例製作的 A~D 四組珍珠粉圓後，進行口感盲測寫下其對四種不同粉圓的喜好程度不喜歡 1 分~最喜歡 4 分，統計分析結果以找出大眾接受度高的綠蕉珍珠粉圓。

四、綠蕉粉圓與市售粉圓分析:

(一) 水活性 (Water Activity) —

代表食物中自由水的比例，即可參與微生物生長、酵素作用或化學反應的水。測量方式是根據樣品與環境水蒸氣的平衡壓，用於評估食品保存性，數值越低越不易腐敗。

(二) 色差測量 (Konica Minolta CR 系列) —

根據 CIE L*a*b* 色彩空間來量化顏色差異，應用於食品加工過程中的色澤變化產品一致性控制、消費者感官反應研究。

1. L*: 明度 (0 = 黑, 100 = 白)

2. a*: 紅 (+) - 綠 (-)

3. b*: 黃 (+) - 藍 (-)

(三) 物性測量 (以 Brookfield CT3 測得) —利用探針擠壓、拉伸、穿刺或剪切食品，量測其物理性質：

1. 硬度 (g): 代表粉圓咬下去時的堅硬程度，數值越高，越硬、越有咬感

2. 彈性 (mm): 表示其「回彈高度」，數值越高表示越有彈性。

3. 黏性 (mJ): 粉圓內部結構的黏合程度，數值越高表示越穩定、有韌性。

4. 咀嚼性 (mJ): 硬度、彈性與黏性之綜合指標，數值越高表示越有嚼勁。

➢ 若硬度高且彈性低 → 可能偏硬、難嚼。

➢ 若彈性高且咀嚼性高 → 口感佳、Q 彈。

➢ 黏力太高 → 粉圓黏牙，可能影響接受度。

➢ 咀嚼性與彈力適中 → 為粉圓理想狀態，常見於市售產品。

經由以上分析比較自製綠蕉珍珠和市售珍珠粉圓的抗性與物性，評估大眾對食用綠蕉珍珠的口感接受程度，並計算製作成本以評估未來銷售綠蕉珍珠之可行性。

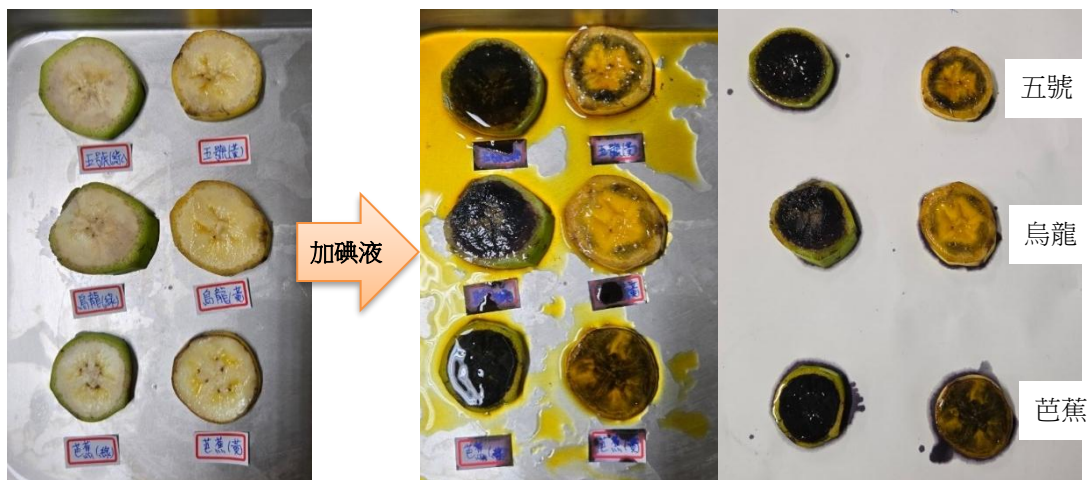
肆、研究結果

一、檢測不同種類和成熟度的香蕉澱粉含量

(一)碘液檢測澱粉含量:

三種不同品種和不同熟度的香蕉橫切，滴加碘液染色結果如照片 5 所示:

1. 除了芭蕉之外，台蕉五號及烏龍蕉的綠蕉澱粉含量皆比黃蕉多。
2. 黃蕉皆是果皮與果肉交接處有較多的澱粉，與綠蕉相比可以推論，香蕉成熟的過程是從香蕉中心開始分解，逐漸向外將澱粉分解成糖。
3. 香蕉果肉的澱粉含量比香蕉皮來的多，果皮幾乎沒有澱粉。
4. 因為黃芭蕉的澱粉含量相較於黃五號及烏龍五號來的多，推測芭蕉成熟過程澱粉分解速度較其他二種香蕉來得慢，因此澱粉含量比例較高。



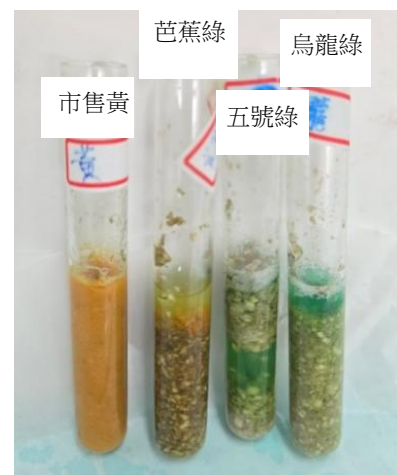
照片 5 綠蕉與黃蕉的澱粉檢測(來源:作者拍攝)

(二)本氏液檢測糖含量:

取等量 30 克香蕉加等量 100mL 水打成碎片後取 3mL 香蕉液+2mL 本氏液後隔水加熱，觀察顏色變化，結果如右:

➤ 結果發現:

1. 市售黃蕉呈現橙色，含糖量較未成熟綠蕉多，如照片 6 所示。
2. 台蕉五號綠蕉、烏龍綠蕉、芭蕉綠蕉中，又以芭蕉的含糖量最多呈現橙黃色，五號和烏龍綠蕉呈現綠藍色，含糖量最少。
3. 含糖量:黃蕉>綠芭蕉>綠五號蕉=綠烏龍蕉。

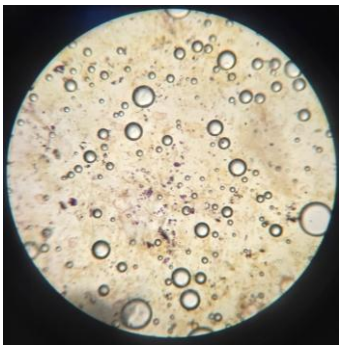
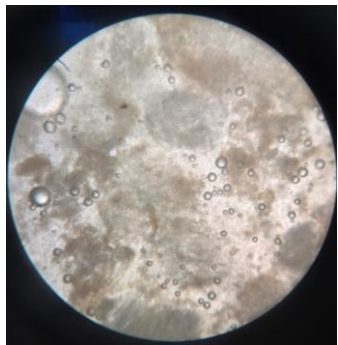
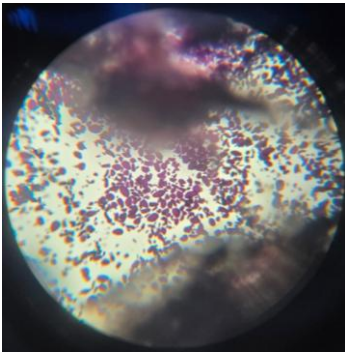
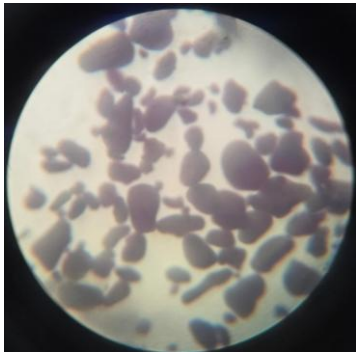
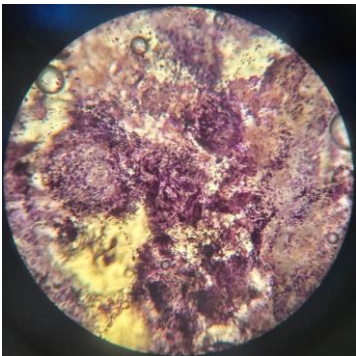
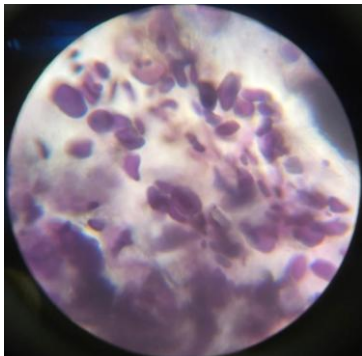
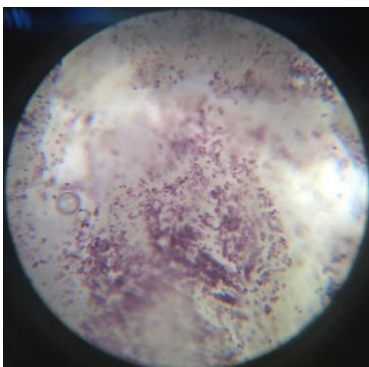
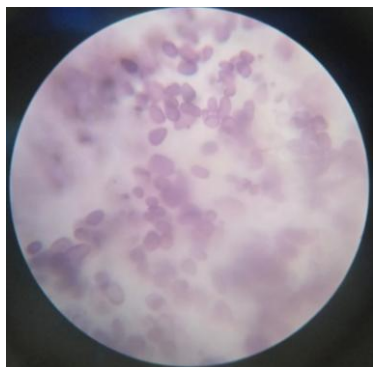


照片 6 綠蕉與黃蕉的本氏液檢測結果(來源:作者拍攝)

(三)果肉的澱粉粒顯微觀察

取 30g 果肉+100mLRO 水於打泥機中打成香蕉泥，攪拌均勻後吸取一滴香蕉泥滴於載玻片上，並滴加碘液使澱粉染成藍黑色後製成玻片標本，置於顯微鏡下觀察，如結果如表 1 所示:

表 1 三種香蕉果泥加碘液後的顯微觀察(來源:作者拍攝)

香蕉種類	顯微觀察倍率(40X)	顯微觀察倍率(400X)
五號(黃蕉)		
五號(綠蕉)		
烏龍(綠蕉)		
芭蕉(綠蕉)		

➤ 結果發現:

1. 黃蕉澱粉已被分解在顯微鏡下幾乎無法觀察到被染成藍黑色的澱粉粒。
2. 顯微鏡視野下綠蕉的澱粉粒含量為烏龍綠蕉>五號綠蕉>芭蕉綠蕉，放大到 400 倍較觀察發現五號和烏龍綠蕉澱粉粒較大、形狀較不規則，芭蕉綠蕉的澱粉粒較小、形狀規則偏卵圓形。
3. 綠蕉含 RS2 顆粒結晶型抗性澱粉，其澱粉顆粒結晶結構密實，對澱粉酶有較強的抗性。隨著香蕉成熟，RS2 含量逐漸降低，被轉化為糖。

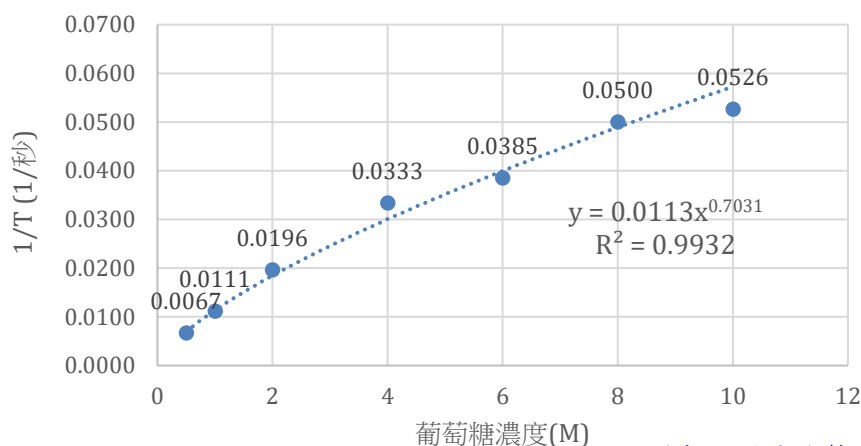
二、 檢測不同因素對香蕉澱粉抗性的影響

(一) 建立葡萄糖檢量線

表 2 不同濃度葡萄糖與過錳酸鉀反應變色時間紀錄

葡萄糖濃度(M)	0.5	1	2	4	6	8	10
反應時間 T(秒)	150	90	51	30	26	20	19
1/T	0.0067	0.0111	0.0196	0.0333	0.0385	0.0500	0.0526

圖 1 葡萄糖濃度與反應時間倒數(1/T)的關係



*來源:作者繪製

➤ 結果發現:

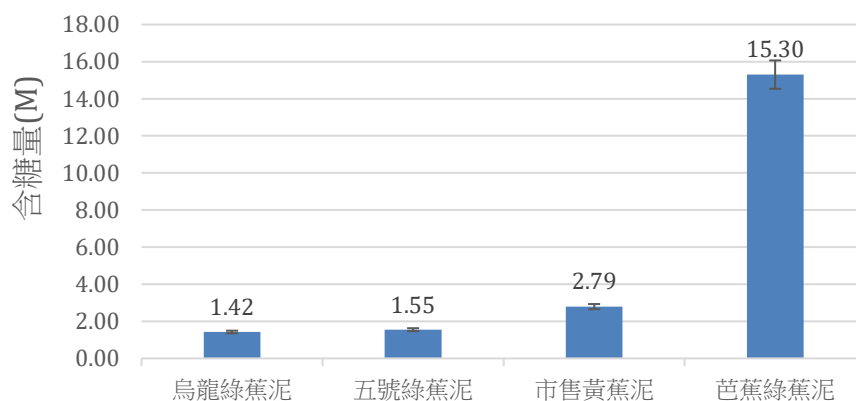
1. 圖 1 顯示葡萄糖濃度 (M) 與反應時間倒數 (1/T, 代表反應速率) 之間的關係。從圖中可觀察到, 隨著葡萄糖濃度的增加, 反應速率亦呈現上升趨勢。
2. 以 EXCEL 劃出其乘冪趨勢線。以葡萄糖濃度為 X, 1/T 反應時間為 Y, 以 EXCEL 劃出其乘冪趨勢線後, 得到以下公式及 R^2 值: $y = 0.0113x^{0.7031}$ $R^2 = 0.9932$, 代表此數學模型對實驗數據的擬合度極高, 具有良好預測能力。

(二)新鮮香蕉泥含糖量檢測:

表 3 不同鮮香蕉泥含糖量檢測反應時間紀錄

樣本種類(30g/100mL 水)	烏龍綠蕉泥	五號綠蕉泥	市售黃蕉泥	芭蕉綠蕉泥
變色時間(秒)	69	65	43	13
1/T(1/秒)	0.0145	0.0154	0.0233	0.0769
推測葡萄糖濃度(M)	1.42	1.55	2.79	15.30

圖 2 新鮮蕉泥含糖量檢測



*來源:作者繪製

➤ 結果發現:

1. 四種鮮香蕉泥的反應時間初步推算出其中的含糖量(表 3 和圖 2 所示), 含糖量為: 綠芭蕉>市售黃蕉>五號綠蕉>烏龍綠蕉。
2. 芭蕉綠蕉泥含糖量最高 (15.30 M), 遠高於其他樣本, 市售黃蕉次之, 烏龍綠蕉最低, 又五號綠蕉與烏龍綠蕉含量最低。
3. 市售黃蕉泥的含糖量高於「烏龍綠蕉泥」和「五號綠蕉泥」, 這符合香蕉在成熟過程中, 澱粉會轉化為糖的變化。

此結果顯示香蕉泥的糖含量不僅受品種影響, 也與成熟度有關。芭蕉綠蕉泥雖為綠蕉, 但糖含量極高, 推測可能為其品種本身具有高糖特性。

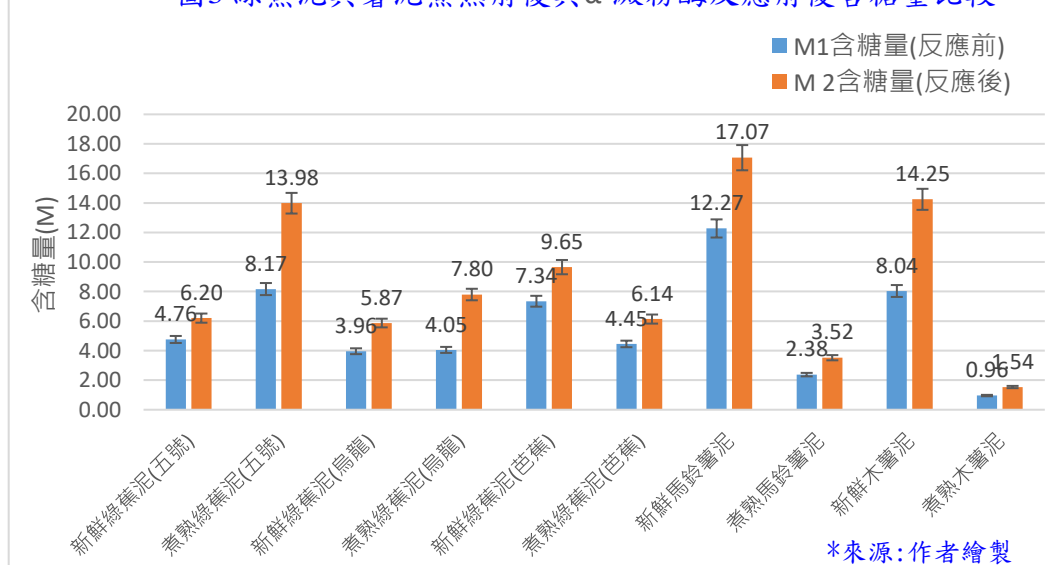
(三) 煮熟和新鮮綠蕉泥和薯泥含糖量檢測:

我們好奇高溫烹煮是否會導致抗性澱粉糊化, 變為易消化的澱粉, 降低抗性澱粉含量, 導致含糖量上升呢? 另外, 也好奇在烹煮過後若加入 α -澱粉酶是否也會加速澱粉分解成糖? 因此我們作了以下幾組含糖量檢測(如表 4 和圖 3 所示):

表 4 綠蕉泥與薯泥煮熟前後與 α -澱粉酶反應前後含糖量比較

編號	組別	反應前 (秒)	反應後 (秒)	1/T1 前 (1/秒)	1/T2 後 (1/秒)	M1 含糖量 (反應前)	M2 含糖量 (反應後)
A-1	新鮮綠蕉泥(五號)	29.56	24.53	0.034	0.041	4.76	6.20
B-1	煮熟綠蕉泥(五號)	20.21	13.85	0.049	0.072	8.17	13.98
A-2	新鮮綠蕉泥(烏龍)	33.63	25.50	0.030	0.039	3.96	5.87
B-2	煮熟綠蕉泥(烏龍)	33.10	20.88	0.030	0.048	4.05	7.80
A-3	新鮮綠蕉泥(芭蕉)	21.78	17.97	0.046	0.056	7.34	9.65
B-3	煮熟綠蕉泥(芭蕉)	30.96	24.71	0.032	0.040	4.45	6.14
A-4	新鮮馬鈴薯泥	15.18	12.04	0.066	0.083	12.27	17.07
B-4	煮熟馬鈴薯泥	48.16	36.53	0.021	0.027	2.38	3.52
A-5	新鮮木薯泥	20.44	13.67	0.049	0.073	8.04	14.25
B-5	煮熟木薯泥	91.20	65.45	0.011	0.015	0.96	1.54

圖3 綠蕉泥與薯泥煮熟前後與 α -澱粉酶反應前後含糖量比較



➤ 結果發現:

1. 由圖 3 可知, 煮熟過程能夠促進香蕉澱粉降解, 使糖含量上升。無論煮熟與否與 α -澱粉酶 反應後含糖量均比反應前增加。

2. 五號綠蕉和烏龍綠蕉煮熟後含糖量增加，例如五號綠蕉泥酶反應後糖量由 6.20 M(新鮮)上升至 13.98 M(煮熟)因此推測煮熟會讓抗性澱粉性質轉變因可被酶分解而釋出較多的糖(如糊化、破壞顆粒結構)。
3. 意外的是芭蕉、馬鈴薯和木薯則是煮熟後的含糖量反而較低，有可能天然薯泥抗性澱粉含量高或者也可能在烹煮時所含的可溶性澱粉或已分解的糖已溶解在烹煮的水中，因而測得的含糖量較低。

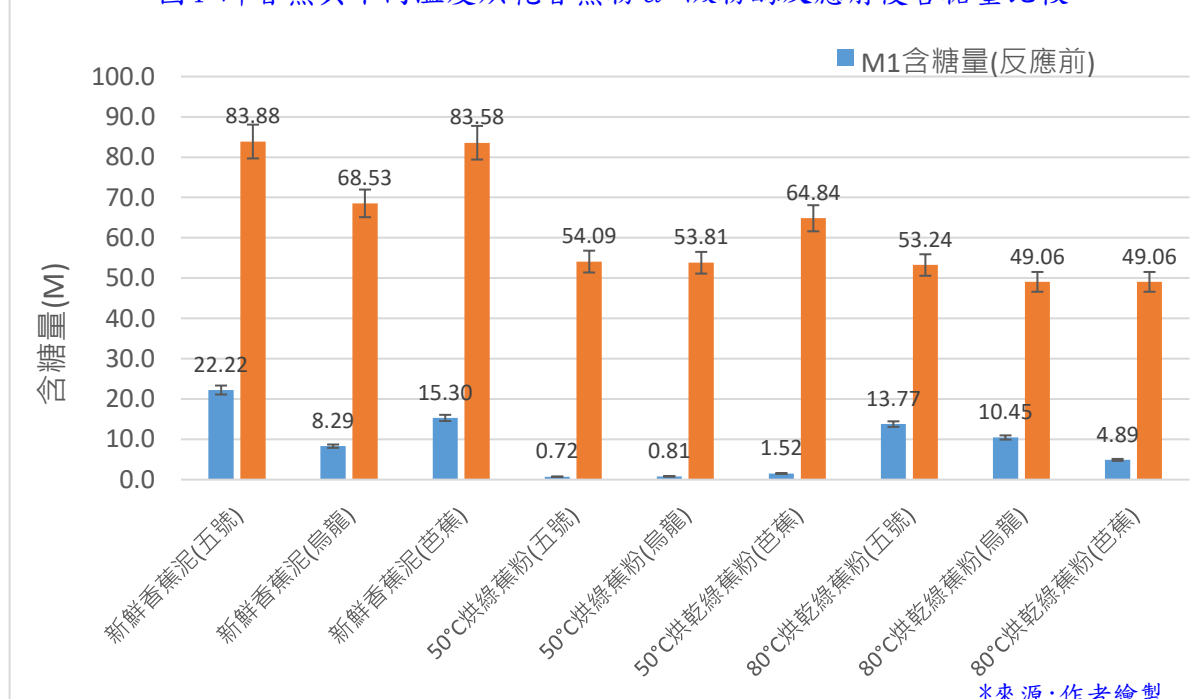
(四) 新鮮香蕉泥和烘乾香蕉粉含糖量檢測

為了能長期保存綠蕉，我們將香蕉烘乾磨成綠蕉粉保存也可防止其繼續成熟變成黃蕉，因此我們以低溫 50°C 和 80°C 烘乾製成香蕉粉。由於香蕉在烘乾過程中，因水分蒸發和加熱，可能導致部分抗性澱粉轉化為易消化澱粉，甚至降解為雙糖或單糖，因此我們比較新鮮綠蕉泥與不同烘乾溫度的綠蕉粉的含糖量(表 5、圖 4 所示):

表 5 新鮮香蕉泥和烘乾香蕉粉與 α -澱粉酶反應前後含糖量比較

編號	組別	反應前 (秒)	反應後 (秒)	1/T1 前 (1/秒)	1/T2 後 (1/秒)	M1 含糖量 (反應前)	M2 含糖量 (反應後)
A-1	新鮮綠蕉泥(五號)	10	3.93	0.100	0.254	22.22	83.88
A-2	新鮮綠蕉泥(烏龍)	20	4.53	0.050	0.221	8.29	68.53
A-3	新鮮綠蕉泥(芭蕉)	13	3.94	0.077	0.254	15.30	83.58
B-1	50°C 烘綠蕉粉(五號)	111	5.35	0.009	0.187	0.72	54.09
B-2	50°C 烘綠蕉粉(烏龍)	103	5.37	0.010	0.186	0.81	53.81
B-3	50°C 烘乾綠蕉粉(芭蕉)	66	4.71	0.015	0.212	1.52	64.84
C-1	80°C 烘乾綠蕉粉(五號)	14	5.41	0.071	0.185	13.77	53.24
C-2	80°C 烘乾綠蕉粉(烏龍)	17	5.73	0.059	0.175	10.45	49.06
C-3	80°C 烘乾綠蕉粉(芭蕉)	29	5.73	0.034	0.175	4.89	49.06

圖4 鮮香蕉與不同溫度烘乾香蕉粉 α -澱粉酶反應前後含糖量比較



➤ 結果發現:

1. 與 α -澱粉酶反應前三種綠蕉均以 50°C 烘乾香蕉粉含糖量最低:

五號綠蕉: 新鮮綠蕉泥 > 80°C 烘乾綠蕉粉 > 50°C 烘乾綠蕉粉

烏龍綠蕉: 80°C 烘乾綠蕉粉 > 新鮮綠蕉泥 > 50°C 烘乾綠蕉粉

芭蕉綠蕉: 新鮮綠蕉泥 > 80°C 烘乾綠蕉粉 > 50°C 烘乾綠蕉粉

2. 與 α -澱粉酶反應後三種綠蕉均以 80°C 烘乾綠蕉粉含糖量最低。

五號綠蕉: 新鮮綠蕉泥 > 50°C 烘乾綠蕉粉 > 80°C 烘乾綠蕉粉

烏龍綠蕉: 新鮮綠蕉泥 > 50°C 烘乾綠蕉粉 > 80°C 烘乾綠蕉粉

芭蕉綠蕉: 新鮮綠蕉泥 > 50°C 烘乾綠蕉粉 > 80°C 烘乾綠蕉粉

3. 三種綠蕉烘乾後磨粉測得的含糖量都比新鮮蕉泥低，可能原因是抗性澱粉不會因 50°C 低溫烘乾和磨粉而被破壞，也可能是新鮮香蕉細胞含水量高各種化學反應進行較快速，而烘乾的蕉粉不易溶於水，較難進行化學分解產生糖所致。

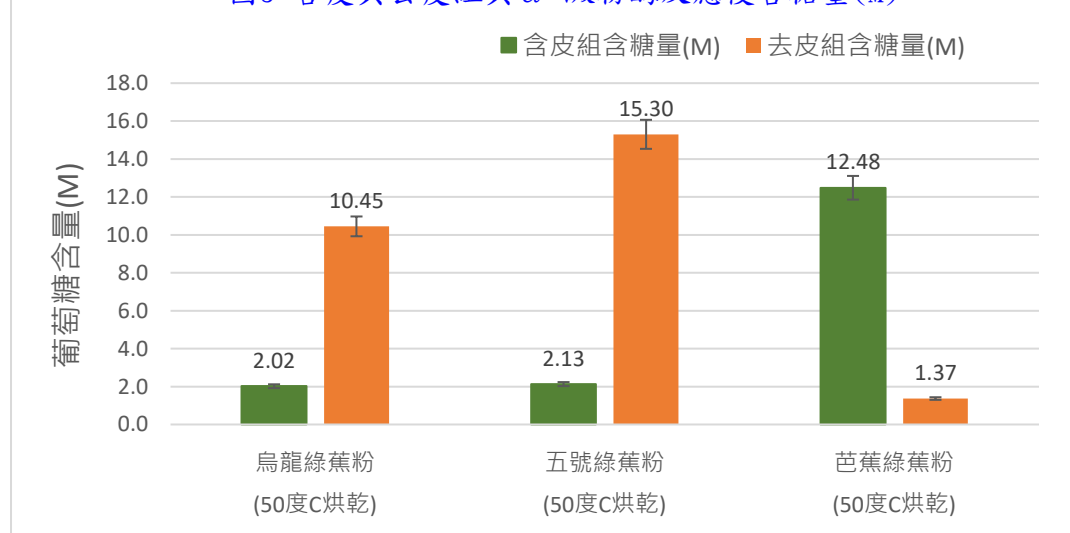
(五) 含皮和去皮烘乾綠蕉粉含糖量檢測

我們好奇在製作綠蕉食品時，究竟是否要含綠蕉皮或是去掉綠蕉皮製作呢? 因此作了以下的實驗和比較:

表 6 含皮與去皮之 50°C 烘乾綠蕉粉含糖量檢測紀錄

樣本(30g/100mL 水)	烏龍綠蕉粉	五號綠蕉粉	芭蕉綠蕉粉
1/T 含皮	0.0185	0.0192	0.0667
含皮組含糖量(M)	2.02	2.13	12.48
1/T 去皮	0.05882	0.07692	0.01408
去皮組含糖量(M)	10.45	15.30	1.37

圖5 含皮與去皮組與 α -澱粉酶反應後含糖量(M)



*來源: 作者繪製

➤ 結果發現:

1. 如圖 5 所示，綠烏龍及綠五號加入 α -澱粉酶反應過後去皮的葡萄糖含量皆大於含皮，因此若選用含皮烏龍綠蕉和五號綠蕉粉抗性較佳，作為綠蕉珍珠粉圓的原料應更為適當。

2. 綠芭蕉則是加入 α -澱粉酶反應過後含皮組的葡萄糖含量大於去皮組，所以綠芭蕉應去皮較為適當。

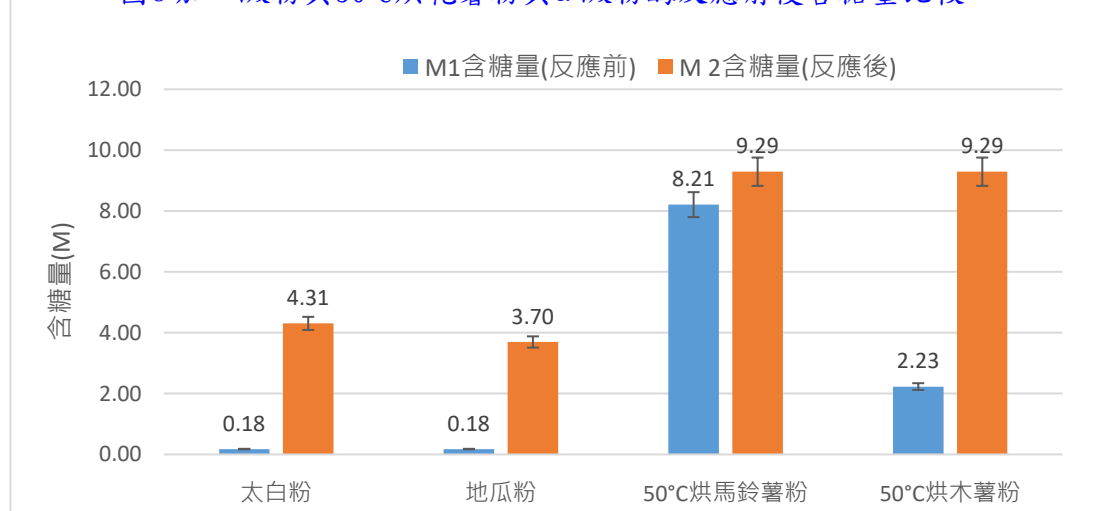
(六)天然木薯粉與人工澱粉含糖量檢測

因市售珍珠粉圓的材料為太白粉或地瓜粉(其標示成分為木薯澱粉)，因此我們想了解這些市售的太白粉、地瓜粉以及用新鮮的馬鈴薯、木薯以 50°C 烘乾後磨粉後其抗性是否有何差異?因此作了以下的實驗:

表 7 加工澱粉與 50°C 烘乾薯粉與 α -澱粉酶反應前後實驗記錄

編號	組別	反應前 (秒)	反應後 (秒)	1/T1 前 (秒)	1/T2 後 (秒)	M1 含糖量 (反應前)	M2 含糖量 (反應後)
C-1	太白粉	300.00	31.70	0.003	0.032	0.18	4.31
C-2	地瓜粉	300.00	35.30	0.003	0.028	0.18	3.70
C-3	50°C 烘乾馬鈴薯粉	20.14	18.46	0.050	0.054	8.21	9.29
C-4	50°C 烘乾木薯粉	50.36	18.46	0.020	0.054	2.23	9.29

圖 6 加工澱粉與 50°C 烘乾薯粉與 α -澱粉酶反應前後含糖量比較



*來源:作者繪製

➤ 結果發現:

- 50°C 烘乾的天然薯粉和人工的加工粉含糖量 (如表 7、圖 6 所示):

反應前: 馬鈴薯粉 > 木薯粉 > 地瓜粉 = 太白粉

反應後: 馬鈴薯粉 = 木薯粉 > 太白粉 > 地瓜粉

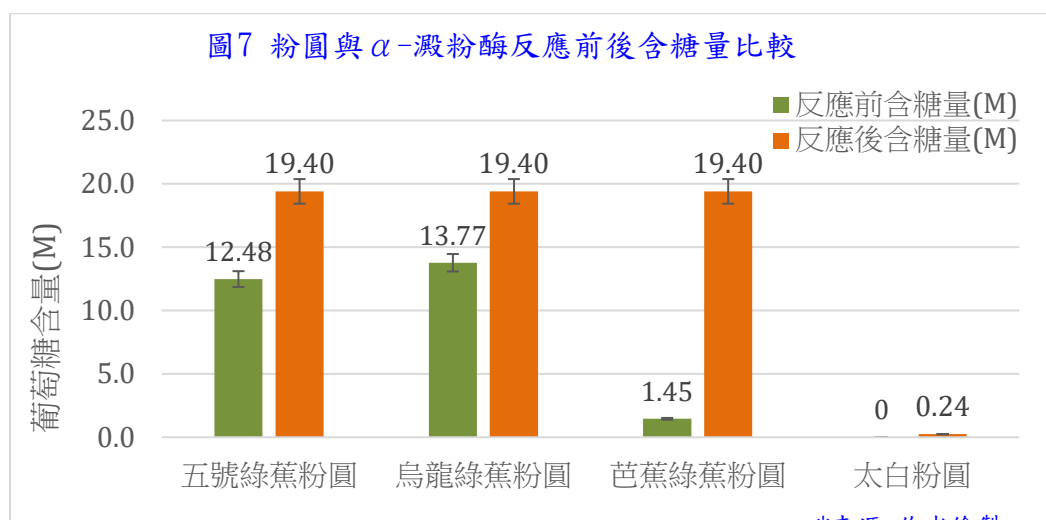
- 太白粉和地瓜粉含糖量明顯低於天然的馬鈴薯和木薯粉。**太白粉、番薯粉及玉米粉等化製澱粉(修飾澱粉)，是以少量化學藥品處理後用以增加產品彈性及口感，**但也可能因修飾過故較不易被分解為糖。**

三、研發與製作最佳比例與配方的綠蕉珍珠。

(一)自製粉圓與市售太白粉圓含糖量檢測

表 8 珍珠粉圓烹煮後與 α -澱粉酶反應前後紀錄

樣本(5g/50mL 水)"	五號綠蕉粉圓	烏龍綠蕉粉圓	芭蕉綠蕉粉圓	太白粉圓
反應前 1/T	0.0667	0.0714	0.0147	0
反應前含糖量(M)	12.48	13.77	1.45	0
反應後 1/T	0.0909	0.0909	0.0909	0.0042
反應後含糖量(M)	19.40	19.40	19.40	0.24



➤ 結果發現:

1. 如表 8 和圖 7 所示，粉圓製作烹煮後取 5g 加入 50mLRO 水打成均勻液狀，取 5mL 待測液作含糖量檢測，結果發現粉圓含糖量:

反應前含糖量: 烏龍綠蕉粉 \approx 五號綠蕉粉圓 $>$ 芭蕉綠蕉粉 $>$ 太白粉圓

反應後含糖量: 烏龍綠蕉粉 \approx 五號綠蕉粉圓 \approx 芭蕉綠蕉粉 $>$ 太白粉圓

2. 根據前述實驗結果，50 $^{\circ}$ C 烘乾綠蕉粉煮熟前含糖量約 2-3M，搓成粉圓並煮熟後粉圓的含糖量則可上升為 12~14M 之間，與 α -澱粉酶作用後含糖量更增加為 19.4M 左右。

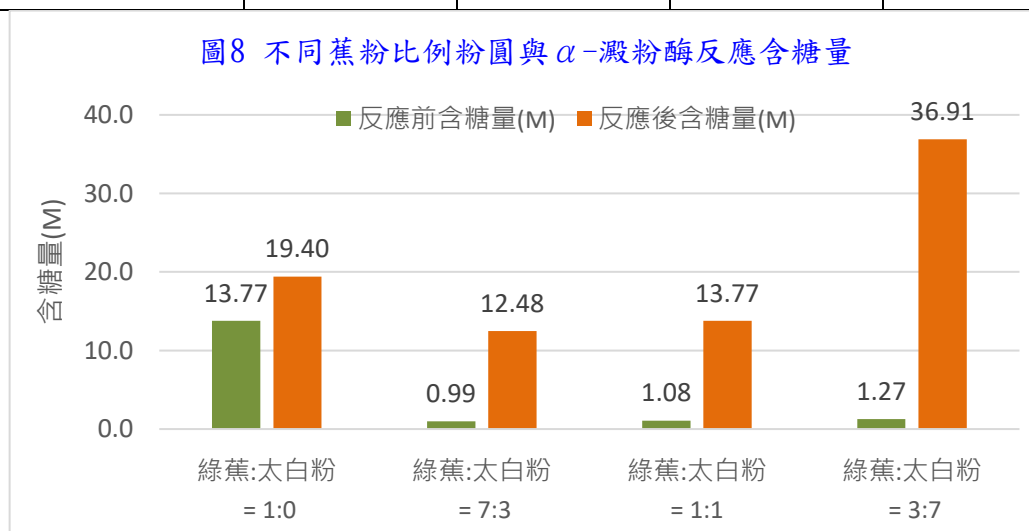
3. 市售太白粉製成的粉圓煮熟前後均較難被 α -澱粉酶分解成糖。

(二)不同綠蕉粉與太白粉比例粉圓檢測

我們在製作全綠蕉粉圓時因綠蕉粉加水黏性不佳不易搓成團，於是添加市售太白粉一起揉搓，發現比較容易搓成粉圓，再加上之前太白粉粉圓測試含糖量低，因此我們以不同比例的綠蕉粉與太白粉混合後製作綠蕉粉圓，並進行含糖量檢測:

表 9 不同綠蕉粉與太白粉比例含糖量紀錄

樣本種類(5g/50mL 水)	綠蕉:太白粉 = 1:0	綠蕉:太白粉 = 7:3	綠蕉:太白粉 = 1:1	綠蕉:太白粉 = 3:7
反應前 1/T	0.0714	0.011	0.012	0.013
反應前含糖量(M)	13.77	0.99	1.08	1.27
反應後 1/T	0.0909	0.0667	0.0714	0.1429
反應後含糖量(M)	19.40	12.48	13.77	36.91

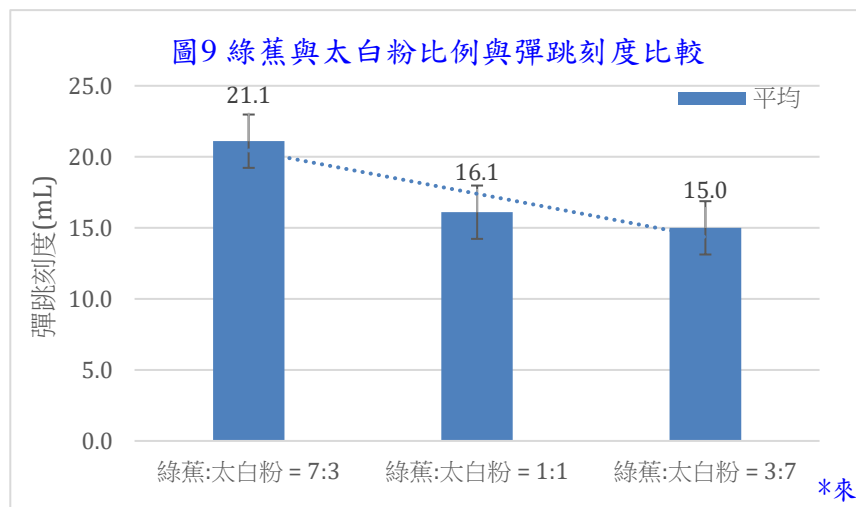


► 結果發現:

1. 如表 9、圖 8 所示，與 α -澱粉酶反應前純綠蕉的含糖量比混合太白粉的含糖量都高，**添加太白粉後含糖量下降且容易揉搓。**
2. 與 α -澱粉酶反應後以綠蕉粉:太白粉比例=7:3 所佔比例的含糖量最低，其次是 1:1 比例，**綠蕉和太白粉以適當比例混合後的抗性比純綠蕉粉來得好。**
3. 如表 10 和圖 9 所示，**綠蕉粉所佔比例越多的粉圓，粉圓平均的彈跳高度越高、彈力越好。**

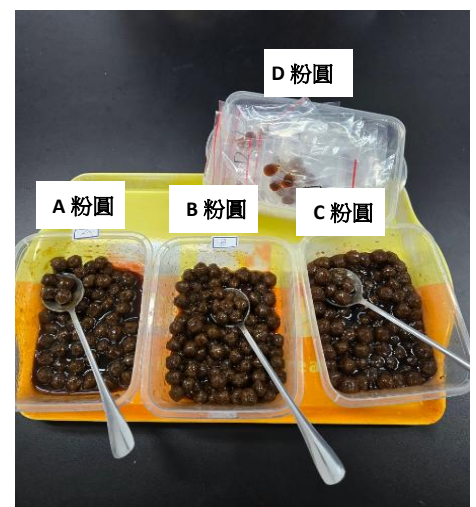
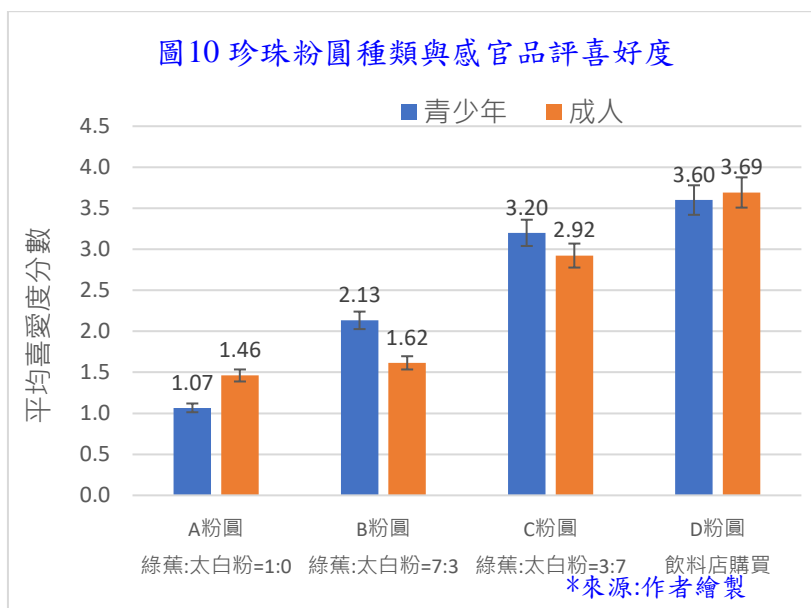
表 10 不同綠蕉粉與太白粉比例粉圓的彈跳刻度

彈跳刻度(mL)	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均±標準差
綠蕉:太白粉= 7:3	19.5	20.0	21.5	20.0	19.5	24.5	23.0	22.5	20.0	20.5	21.1±1.71
綠蕉:太白粉= 1:1	16.0	15.5	16.0	14.5	18.0	16.5	17.5	16.0	15.0	16.0	16.1±1.05
綠蕉:太白粉= 3:7	16.5	15.0	14.5	15.5	13.0	15.0	17.0	13.0	17.5	13.0	15.0±1.67



(三) 口感盲測與感官品評:

因不同蕉粉比例不僅影響澱粉的抗性及含糖量，初步測試粉圓的彈跳力發現也會影響粉圓的硬度、彈性進而影響口感，因此我們請 30 位受試者試吃 A(1:0)、B(7:3)、C(3:7)三種不同綠蕉與太白粉比例製成的綠蕉粉圓與市售飲料店購買的 D 粉圓 (如照片 7)，請受試者嚼食後進行感官品評，喜愛度結果統計如下圖 10:



照片 7 ABCD 四種待測粉圓
(來源: 作者拍攝)

➤ 結果發現:

1. 綠蕉粉煮比例越高的粉圓口感較硬，飲料店購買粉圓較為軟 Q，喜愛度 1~4 分的統計結果顯示飲料店購買的粉圓最受歡迎，綠蕉越多分數越低；然而青少年對 C 粉圓(綠蕉:太白粉=3:7)的口感喜愛度 3.2 分已非常接近市售粉圓的 3.6 分，成人也有超過一半達 2.92 分，因此我們選定綠蕉粉:太白粉=3:7 作為後續實驗與推廣的綠蕉粉圓最佳比例。

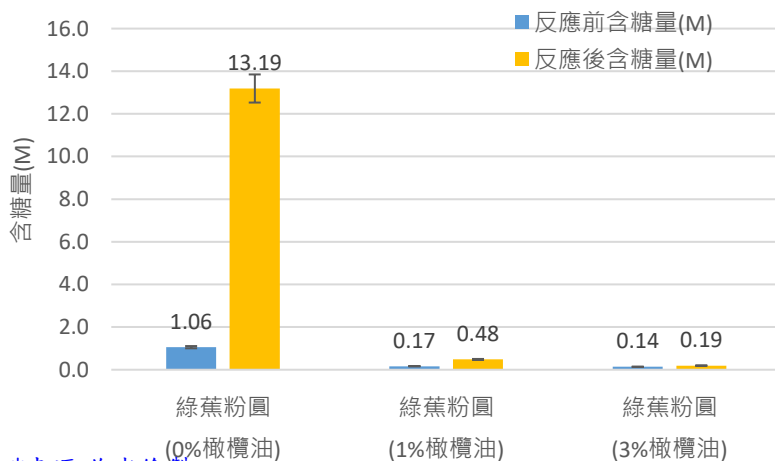
(四)添加油脂對綠蕉珍珠的影響

參考文獻指出抗性澱粉 RS5 為直鏈澱粉—脂質複合物 (Amylose-lipid complex)，可抵抗酶的作用且在高溫下相對穩定，因此我們在製作綠蕉珍珠時，加入 1%、3% 橄欖油並進行含糖量檢測，結果如下:

表 11 添加橄欖油之綠蕉粉圓含糖量紀錄

綠蕉:太白粉 3:7 (5g 粉圓/50mL 水)	綠蕉粉圓 (0%橄欖油)	綠蕉粉圓 (1%橄欖油)	綠蕉粉圓 (3%橄欖油)
反應前 T 變色時間(秒)	85.1	314.1	354.8
反應前含糖量(M)	1.06	0.17	0.14
反應後變色時間(秒)	14.4	147.9	281.5
反應後含糖量(M)	13.19	0.48	0.19

圖11 添加橄欖油之綠蕉粉圓含糖量



*來源:作者繪製



照片 8 添加橄欖油之綠蕉粉圓含糖檢測結果(作者拍攝)

➤ 結果發現:

1. 以綠蕉粉:太白粉=3:7，粉:熱水 3:2 揉製麵糰，製作過程中添加 1%和 3%的橄欖油製作的綠蕉粉圓，烹煮冷卻後與澱粉酶反應前後，如表 11、圖 11 和照片所示，檢測結果含糖量都是:0%橄欖油綠蕉粉圓>冷藏綠蕉粉圓≡冷凍綠蕉粉圓，可見製作綠蕉粉圓時添加 1%和 3%橄欖油都可以有效增加澱粉的抗性，明顯較不易被澱粉酶分解，而且在揉製粉圓時更滑順好搓揉成粉圓。

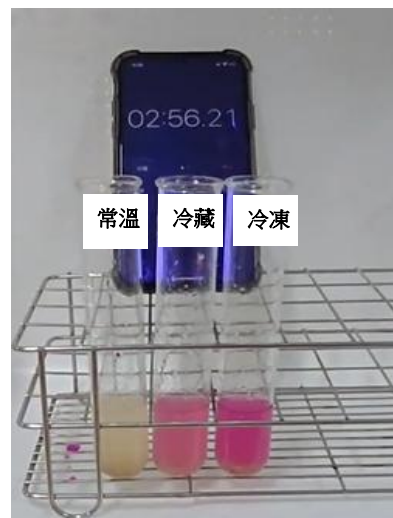
四、不同保存與回溫方式對綠蕉珍珠的影響

(一) 冷凍與常溫粉圓含糖量檢測

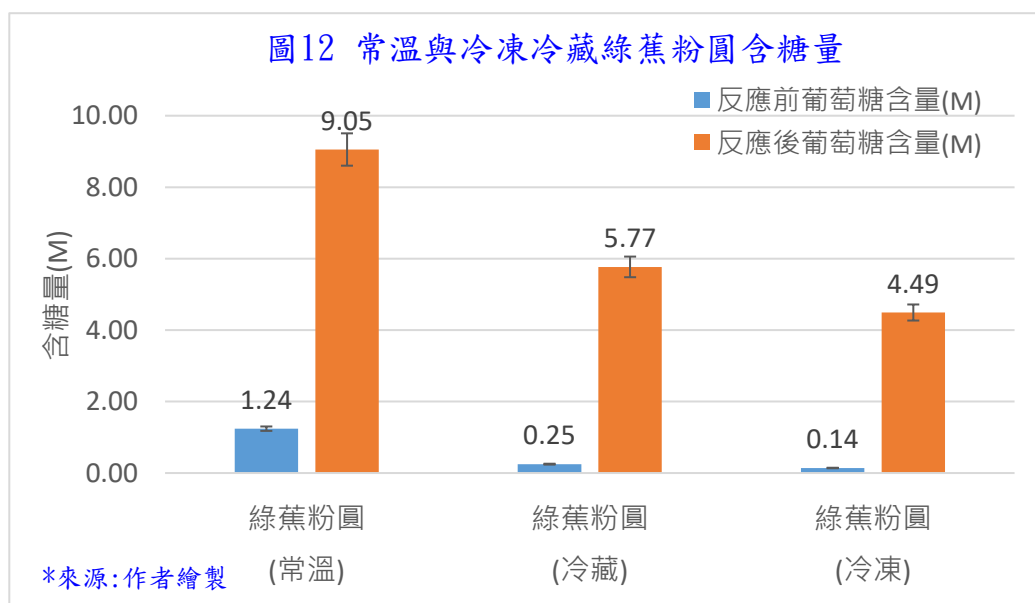
粉圓製作後為了延長保存時間一般都會冷藏或冷凍，因此我們選定烏龍綠蕉粉:太白粉比例 3:7 製作粉圓，並比較冷藏、冷凍一週後對綠蕉粉圓造成的影響，我們將常溫和冷藏、冷凍粉圓作以下比較分析，結果如下：

表 12 常溫、冷藏與冷凍粉圓與 α -澱粉酶反應含糖量

綠蕉粉圓 (5g/50mL 水)	綠蕉粉圓 (常溫)	綠蕉粉圓 (冷藏)	綠蕉粉圓 (冷凍)
反應前 1/T (1/秒)	0.0132	0.0043	0.0029
反應前含糖量(M)	1.24	0.25	0.14
反應後 1/T (1/秒)	0.0532	0.0387	0.0325
反應後含糖量(M)	9.05	5.77	4.49



照片 9 不同保存方式的綠蕉粉圓含糖檢測結果(作者拍攝)



➤ 結果發現:

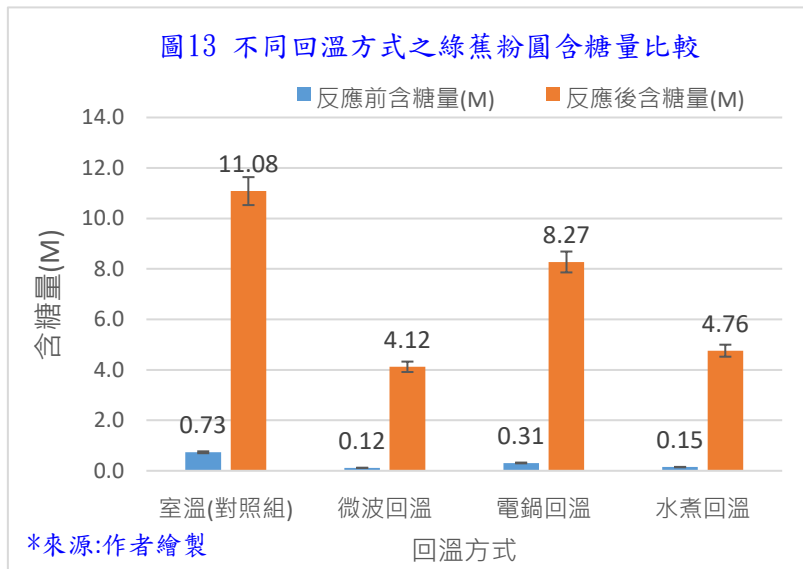
- 根據表 12、圖 12、照片 9，以綠蕉粉:太白粉=3:7，粉:熱水 3:2 揉製麵糰製作綠蕉粉圓，經冷藏、冷凍一週後烹煮，無論是與 α -澱粉酶反應前後，檢測結果含糖量都是:常溫綠蕉粉圓 > 冷藏綠蕉粉圓 > 冷凍綠蕉粉圓，可見冷藏和冷凍可以有效增加澱粉的抗性。

(二) 冷凍後回溫方式含糖量比較

由以上實驗得知粉圓冷藏冷凍後抗性會提高，但要以何種回溫方式回溫才能恢復口感，也能保持原有的抗性呢?我們測試了室溫、水煮、微波、電鍋四種回溫方式，結果如下：

表 13 冷凍綠蕉粉圓不同回溫方式含糖量紀錄

綠蕉珍珠	室溫(對照組)	微波回溫	電鍋回溫	水煮回溫
反應前 1/T(1/秒)	0.0091	0.0025	0.0050	0.0029
反應前含糖量(M)	0.73	0.12	0.31	0.15
反應後 1/T(1/秒)	0.0613	0.0306	0.0499	0.0338
反應後含糖量(M)	11.08	4.12	8.27	4.76

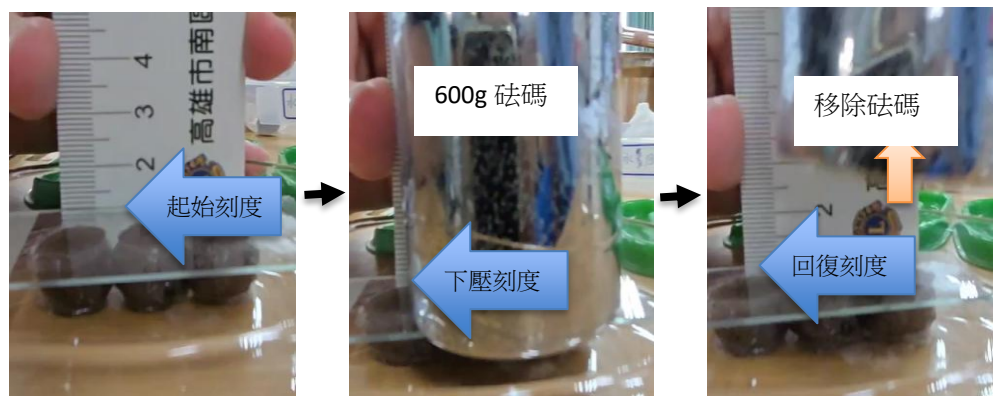


照片 10 不同回溫方式粉圓含糖檢測結果(作者拍攝)

➤ 結果發現:

1.如表 13、圖 13、照片 10 所示，將冷凍綠蕉粉圓以室溫、微波、電鍋蒸、水煮加熱回溫後，測量與澱粉酶反應前後檢測結果含糖量都是: 常溫>電鍋>水煮>微波。回溫的綠蕉粉圓，**可見若以冷凍或冷藏保存綠蕉粉圓後以微波或水煮較能保持澱粉的抗性。**

(三)冷凍回溫後口感是否也能回復?



照片 11 以砝碼下壓測量不同回溫方式軟 Q 度(來源:作者拍攝)

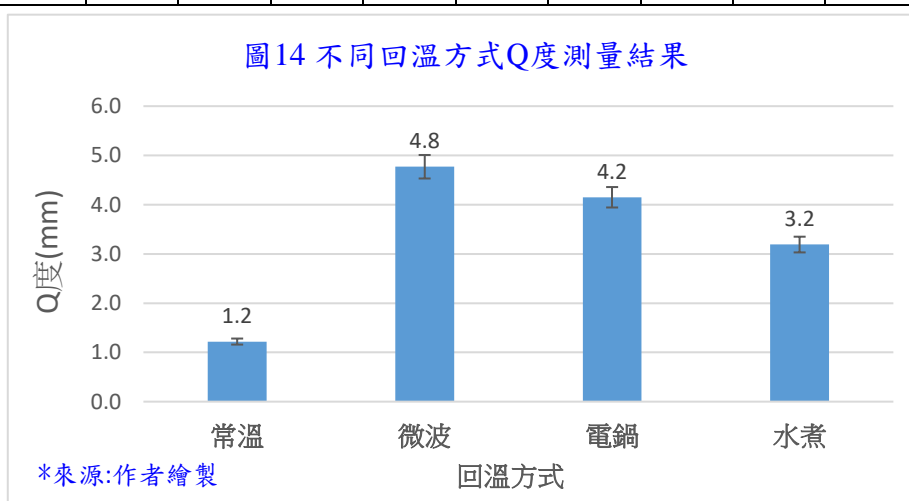
在以上實驗(如照片 11)，我們以簡易方法測量和定義粉圓 Q 度:

$$\text{粉圓的 Q 度} = (\text{回復刻度} - \text{下壓刻度})$$

由於之前的彈跳刻度實驗顯示綠蕉比例高粉圓彈跳刻度也高，但感官品評的結果卻是太白粉比例高越接近市售粉圓越Q越受歡迎，因此我們決定以綠蕉:太白粉=3:7粉圓冷凍後回溫處理，將四種回溫粉圓放置載玻片後，上方以600g砝碼重壓3秒後再解除重物，計算粉圓的彈性恢復度來計算粉圓的Q度，如照片11、表14和圖14所示：

表 14 不同回溫方式 Q 度記錄

方式	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均±標準差
常溫	1.1	1.5	1.2	0.9	1.0	1.3	1.4	1.5	1.3	1.0	1.2±0.21
微波	4.5	5.0	4.5	4.6	5.1	5.0	4.6	4.4	5.2	4.8	4.8±0.29
電鍋	4.4	4.2	4.1	4.0	4.0	4.3	4.2	4.2	4.1	4.0	4.2±0.14
水煮	3	3.5	3.4	3.2	2.9	3.4	3.2	3	3.2	3.1	3.2±0.2



➤ 結果發現:

Q度測量結果如表14、圖14，微波>電鍋>水煮>常溫，綠蕉粉圓經冷凍後若要回溫以微波和電鍋回溫的Q度最佳。

五、自製綠蕉珍珠和市售珍珠粉圓的特性分析

(一) 水活性分析

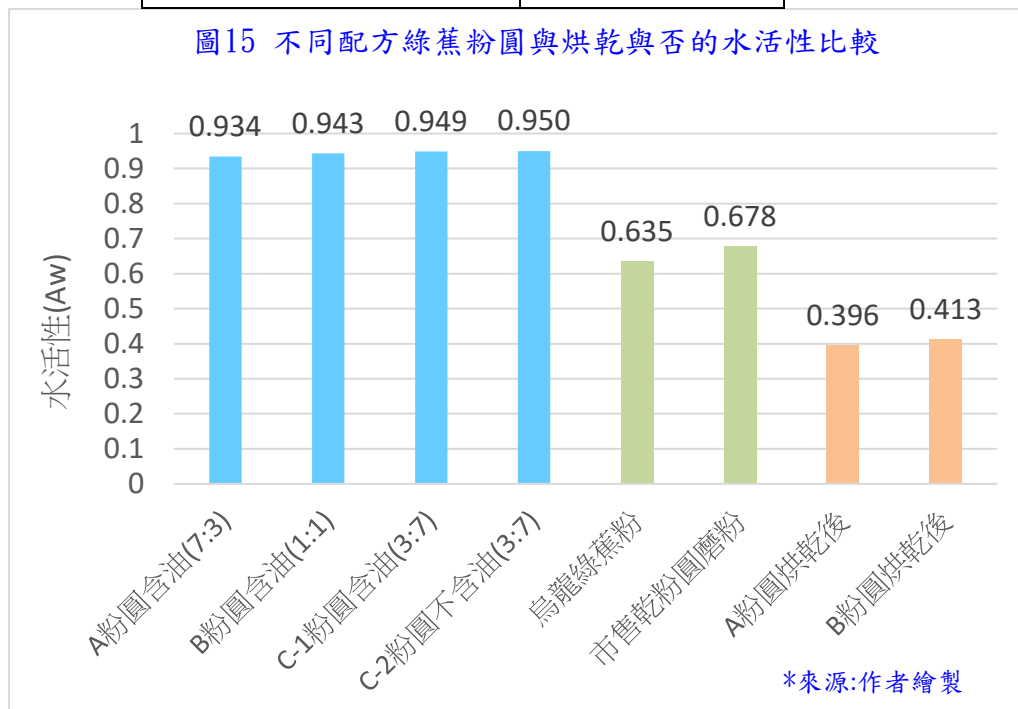
水活性（英文為 Water Activity，簡寫為 aw）是指食品中可被微生物、酵素或化學反應所利用的「自由水」比例，當食品的 aw 值高（如 >0.90）時，細菌、酵母與黴菌等微生物容易滋生，食品容易腐敗；而當 aw 值低於 0.60 時，幾乎無微生物能生存，保存期限可大幅延長。

我們以水活性分析儀來檢測自製的綠蕉粉圓的食品保存特性，針對不同配方的綠蕉粉圓樣品進行水活性（aw）測定，探討配方比例與烘乾處理對產品保存穩定性的影響。結果如表15、圖15所示：

表 15 不同配方與烘乾與否水活性比較

粉圓(綠蕉:太白粉)	水活性(A _w 值)
A 粉圓含油(7:3)	0.934
B 粉圓含油(1:1)	0.943
C-1 粉圓含油(3:7)	0.949
C-2 粉圓不含油(3:7)	0.950
烏龍綠蕉粉	0.635
市售乾粉圓磨粉	0.678
A 粉圓烘乾後	0.396
B 粉圓烘乾後	0.413

圖15 不同配方綠蕉粉圓與烘乾與否的水活性比較



➤ 結果發現:

1. 未烘乾樣品中，A~C 四種粉圓水活性介於 0.934~0.950，無論是否添加油脂均顯示綠蕉粉圓水分容易保留於粉圓中，導致水活性相對過高不利於食品保存。相較之下 D-1（烘乾綠蕉粉）與 D-2（市售粉圓磨粉）分別為 0.635 與 0.678，顯示綠蕉粉圓若經乾燥處理後具備最佳的保存穩定性與抗腐敗能力。
2. A、B 粉圓在經過烘乾處理後，其水活性顯著下降，A 粉圓由 0.934 降至 0.396，B 粉圓則由 0.943 降至 0.413，成功進入微生物難以生長的安全範圍（ $A_w < 0.60$ ），證明烘乾技術為延長保存期、抑制微生物生長的重要方法。

整體而言，綠蕉粉圓於製備階段水活性偏高，需冷藏冷凍保存；若配合有效烘乾條件，則能大幅降低水活性，使產品轉為常溫保存型態，具有加工應用與商品開發潛力。產品配方設計應兼顧原料比例與水活性控制，以提升食安與市場競爭力。

(二) 色差分析

色差儀使用 CIE L*a*b* 色彩空間來評估樣品表面色澤，這三項參數可用來量化樣品的外觀色彩差異，避免主觀判斷。本實驗利用色差儀測定綠蕉粉圓樣品在冷凍後以不同回溫方式和市售粉圓作色差比較，透過 L*a*b* 分析結果，不僅可進行視覺品質評估，也可作為產品感官特性與消費接受度的輔助指標。檢測結果如下：

表 16 綠蕉粉與市售粉圓粉色差比較

色差(n=5)	L(亮度)	a(紅藍)	b(黃綠)
綠蕉粉平均±標準差	35.21±0.34	1.08±0.01	8.95±0.05
市售粉圓磨粉平均±標準差	37.00±0.27	2.56±0.02	9.66±0.07

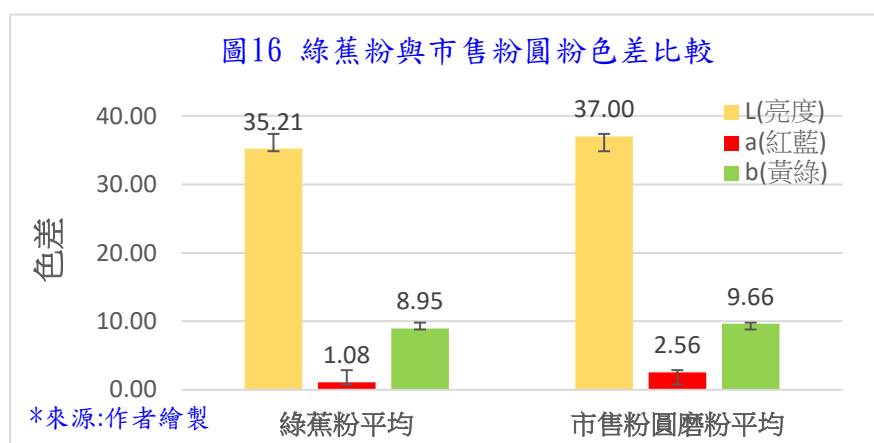
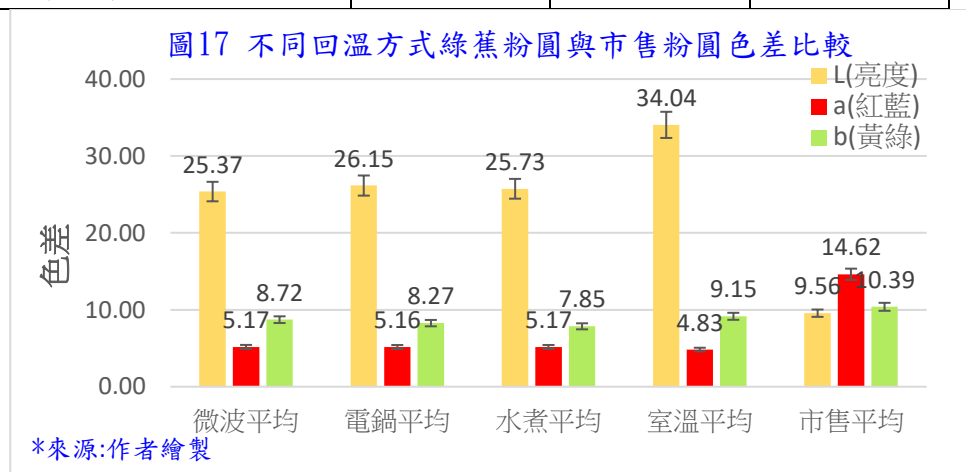


表 17 不同回溫方式綠蕉粉圓與市售粉圓色差紀錄

粉圓回溫方式(n=5)	L(亮度)	a(紅藍)	b(黃綠)
微波綠蕉平均±標準差	25.37±0.25	5.17±0.10	8.72±0.06
電鍋綠蕉平均±標準差	26.15±0.04	5.16±0.09	8.27±0.09
水煮綠蕉平均±標準差	25.73±0.10	5.17±0.00	7.85±0.03
常溫綠蕉平均±標準差	34.04±0.05	4.83±0.18	9.15±0.06
常溫市售平均±標準差	9.56±0.19	14.62±0.31	10.39±0.33



➤ 結果發現：

- 根據圖 15，綠蕉粉的平均 L 值略低於市售粉圓，表示綠蕉粉色澤略暗；a 值和 b 值均顯示綠蕉粉略低於市售粉圓粉；也就是說市售粉圓粉色澤較偏紅黃色系，綠蕉粉黃色飽和度較低，色澤較為柔和，但兩種粉色差不大。

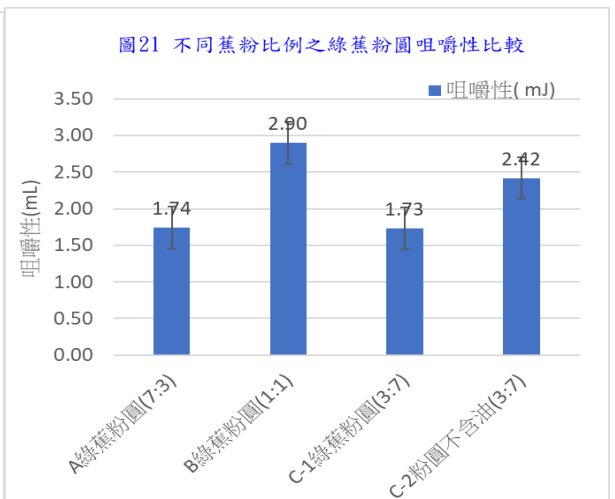
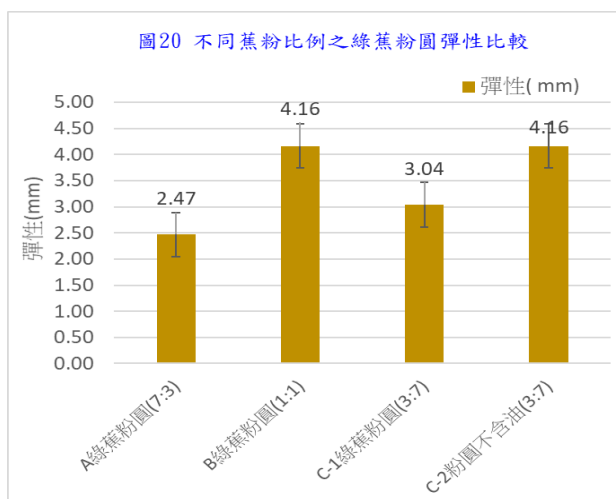
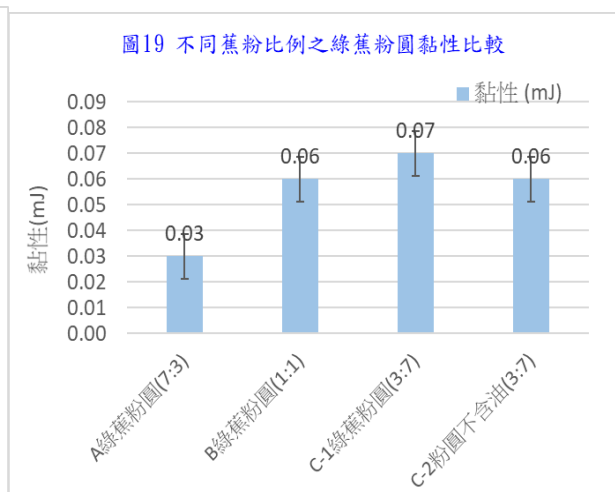
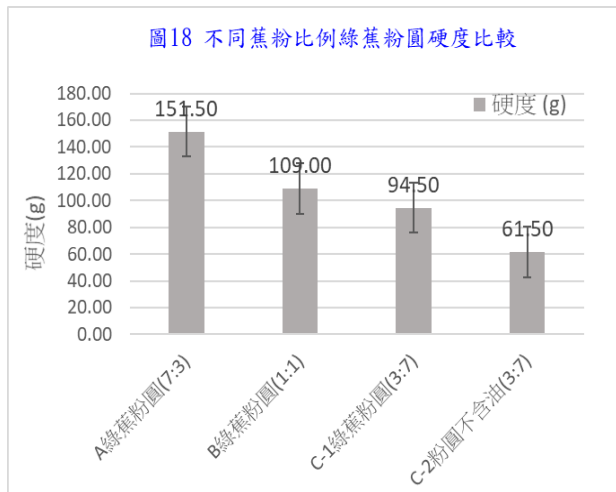
2. 煮成粉圓冷凍無論以何種方式回溫，綠蕉粉圓亮度都比市售粉圓來得高，市售粉圓較為暗沉、偏紅色系，推測市售粉圓可能有其他食品添加物，例如黑糖、色素、防腐或增色劑等；而天然的綠蕉粉圓顏色較為明亮，紅與黃色澤均低於市售粉圓，至於消費者對粉圓是否有顏色上的偏好或許是另一個可探討議題。

(三) 物性分析（以 Brookfield CT3 測得）

1. 不同蕉粉比例與添加油脂的物性比較

表 18 不同蕉粉比例之綠蕉粉圓物性分析紀錄

粉圓(綠蕉:太白粉)	硬度 (g)	黏性 (mJ)	彈性 (mm)	咀嚼性 (mJ)
A 綠蕉粉圓(7:3)加油	151.50	0.03	2.47	1.74
B 綠蕉粉圓(1:1)加油	109.00	0.06	4.16	2.90
C-1 綠蕉粉圓(3:7)加油	94.50	0.07	3.04	1.73
C-2 綠蕉粉圓(3:7)不加油	61.50	0.06	4.16	2.42



➤ 結果發現：

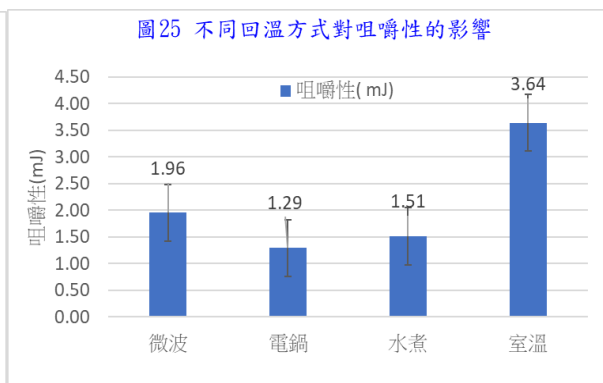
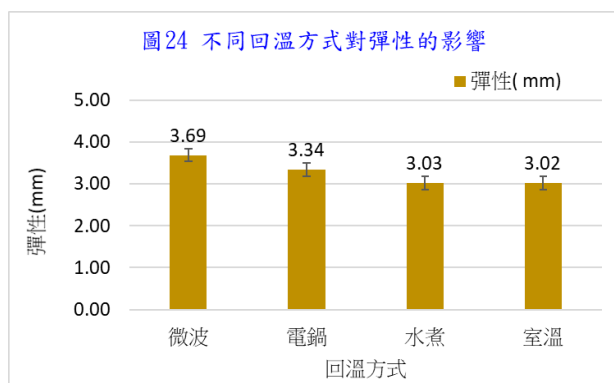
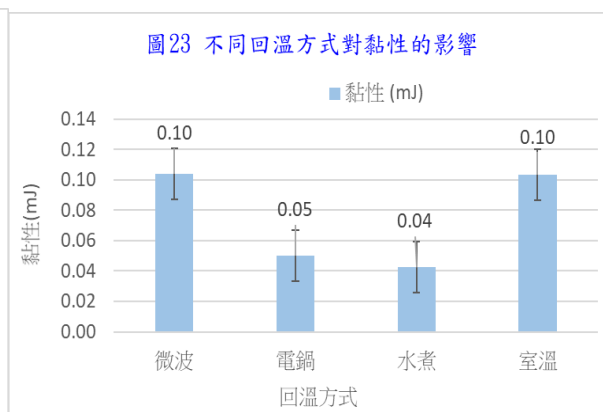
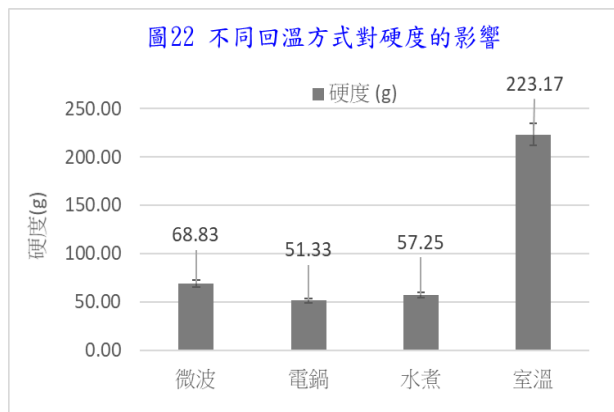
*圖 18-21 來源:作者繪製

- 如圖 18~21 所示，綠蕉粉比例越高的粉圓的硬度越高、黏性越低；而彈性和咀嚼性則以 B 粉圓也就是綠蕉粉與太白粉 1:1 混合製作的綠蕉粉圓最佳。
- 同樣綠蕉粉與太白粉比例為 3:7 的 C 組粉圓，添加 1% 橄欖油後硬度和黏性變小、彈性和咀嚼性則變佳，顯示澱粉與脂質複合體形成可增強結構穩定性與口感。

2、回溫方式的物性比較:

表 18 不同蕉粉比例之綠蕉粉圓物性分析紀錄

回溫方式	硬度 (g)	黏性 (mJ)	彈性 (mm)	咀嚼性 (mJ)
微波平均	68.83	0.10	3.69	1.96
電鍋平均	51.33	0.05	3.34	1.29
水煮平均	57.25	0.04	3.03	1.51
室溫平均	223.17	0.10	3.02	3.64



➤ 結果發現:

*圖 22-25 來源:作者繪製

1. 如圖 22~25 所示，三種回溫方式彈性差異雖不大，但硬性、黏性和咀嚼性均較室溫回溫差，若時間足夠可以室溫自然回溫，若是冷凍粉圓則建議以微波方式回溫會比電鍋和水煮較能維持彈性、黏性與咀嚼性等 Q 彈口感。

伍、 討論

一、如何評估綠蕉中的抗性澱粉含量呢?

1. 曾經以數位糖度計 Brix (%)測量糖度雖然簡單快速，但因待測液不是透明的，這些成分也會影響光線折射，因此糖度計測得的數據無法代表實際的糖含量。所以我們的實驗以過錳酸鉀檢測還原糖的方法進行含糖量檢測。
2. 經測試實驗後，本實驗以樣本: 硫酸(1M): 過錳酸鉀溶液=5 毫升:5 毫升:5 毫升的比例，記錄從紫色到無色的時間，對照標準曲線推測待測樣本內還原糖的含量，以含糖量變化比例來反推抗性澱粉含量，含糖量增加比例高者為抗性澱粉含量較低，反之若含糖量增加比例低者含抗性澱粉含量較高。

二、綠蕉和黃蕉有何差異？

1. 實驗中所挑選的三種綠蕉為一般蕉農常種植的品種，也經常面臨產量和銷售不平衡時會有剩食的困擾，三種蕉的澱粉粒型態不同，綠蕉成熟的過程澱粉會從中心部位開始分解成糖，綠蕉主要含 RS2 顆粒結晶型抗性澱粉，對澱粉酶有較強的抗性。隨著香蕉成熟，RS2 含量逐漸降低，被轉化為糖。
2. 新鮮綠蕉的澱粉含量均比黃蕉多，相反的含糖量則為：黃蕉>芭蕉>五號≡烏龍。因此若想快速補充養分獲得能量建議食用黃蕉，因所含養分為雙糖或單糖，但若是有控制糖分攝取的需求飲食者建議食用綠蕉（特別是台蕉五號和烏龍蕉）含有較高的抗性澱粉和膳食纖維。不同品種的香蕉適合不同用途，例如烏龍綠蕉與五號綠蕉的低糖特性可能適合低糖食品，而芭蕉適合糖分需求較高的應用。

三、煮熟、烘烤是否會影響綠蕉中的抗性澱粉含量呢？

1. 因為新鮮的綠蕉不好吃，但煮熟後口感較佳類似馬鈴薯較容易推廣，經烹煮後發現：無論是新鮮或烹煮後與 α-澱粉酶反應後含糖量均比反應前增加，烹煮會讓抗性澱粉性質轉變因而分解釋出較多的糖，烹煮的湯汁含許多可溶性的糖。
2. 新鮮綠蕉類反應前後的含糖量比薯泥類來得高，烏龍綠蕉相較其他綠蕉含糖量較低，薯泥類與 α-澱粉酶反應前後含糖量增加比例較低，二種薯類比三種綠蕉類有較佳的抗性，綠蕉在打泥時可發現其不可溶於水的膳食纖維含量較高。
3. 50°C 或 80°C 低溫烘乾和磨粉所測得的含糖量都比新鮮香蕉來得低，仍保留澱粉的抗性。

四、再製澱粉與天然綠蕉粉有何差異？

1. 原本預期市售粉圓的原料太白粉或木薯澱粉抗性較差、升糖指數高，實驗結果跟預期不同，因此在比較新鮮木薯與馬鈴薯及加工製粉後，與 α-澱粉酶反應前後的含糖量均為：天然馬鈴薯粉>天然木薯粉>地瓜粉≡太白粉，也就是說加工的澱粉抗性比天然烘乾的木薯粉大。
2. 我們發現市售太白粉屬再製澱粉，很難被 α-澱粉酶分解成糖增加消化負擔。市售太白粉和地瓜粉經過工業化加工，為提高澱粉的純度通常會去除天然原料中的可溶性糖類和雜質，且常添加化學藥劑（如磷酸鹽、酸鹼處理劑）來改變性質，長期攝取恐對肝腎代謝造成負擔。

五、哪一種綠蕉比較適合作綠蕉粉圓？

1. 與澱粉酶反應後含糖量增加以五號綠蕉粉圓增加比例最高，烏龍綠蕉和芭蕉含糖量增加較不明顯，冷凍後烏龍蕉與芭蕉含糖量較低，抗性澱粉比例比五號綠蕉來得高。綜合以上實驗結果，烏龍綠蕉是較為適合作綠蕉粉圓的品種。
2. 根據實驗結果綠烏龍蕉和五號蕉與 α-澱粉酶反應去皮的含糖量皆大於含皮，因此若香蕉洗淨後，建議取含皮烏龍或五號香蕉粉抗性較佳，作為粉圓的原料更適當。

六、口感和抗性兼具的綠蕉粉比例為何？

1. 綠蕉粉圓黏滯性低口感相對較硬，綠蕉粉所佔比例越多的粉圓，粉圓平均的彈跳高度越高、彈力越好；太白粉圓和地瓜粉製作的市售粉圓雖然彈跳低黏滯性很高，但感官品評的結果顯示：市售粉圓較 Q 軟仍是最受歡迎的口感！
2. 綠蕉粉：太白粉=3:7 適當比例混合，添加 1%~3% 的橄欖油一起揉製後的抗性比純綠蕉粉來得好，硬度和黏性變小、彈性和咀嚼性則變佳且容易揉搓，口感喜愛度非常接近市售粉圓，以此比例製作的綠蕉粉圓是口感和抗性兼具值得推廣的綠蕉粉圓！

七、如何保存和回溫可維持綠蕉珍珠的抗性與口感？

1. 以 **50°C 烘乾後以磨豆機磨製成綠蕉粉**可延長綠蕉的保存時間，也縮小體積重量方便儲存；綠蕉粉圓經烘乾後可延長保存期、抑制微生物生長，具備更佳的**保存穩定性與抗腐敗能力**，。
2. 綠蕉粉圓**烹煮後放進冰箱冷凍或冷藏可增加綠蕉粉圓澱粉的抗性**，冷凍綠蕉粉圓建議以微波方式回溫會比電鍋和水煮較能維持彈性、黏性與咀嚼性等 Q 彈口感。

八、綠蕉珍珠的推廣與行銷

1. 為了行銷我們研製的綠蕉珍珠，我們以《WinLabel 專業標籤編輯軟體》製作綠蕉珍珠產品的食品標籤，內容包含產品名稱、成分、製造資訊與營養標示如右圖，供消費者選擇時參考。
2. 經計算本實驗自製綠蕉珍珠成本為=0.176 元/顆，市售珍珠成本為=0.33 元/顆。**綠蕉珍珠成本是市售粉圓的 0.53 倍**，因此綠蕉珍珠是兼具營養與市場潛力和價值的產品！

【品名】綠蕉珍珠		營養標示	
【成份】		每一份量100公克	
青香蕉、太白粉、水。		本包裝含1份	
青香蕉、太白粉、水。		每份 每100公克	
開封後請置於冰箱存放。		熱量	164.6 大卡 164.6 大卡
製造日期: 2025/04/28		蛋白質	0.2 公克 0.2 公克
有效日期: 2025/05/19		脂肪	0 公克 0 公克
製造單位: 學生實習產品		飽和脂肪	0 公克 0 公克
製造單位地址:		反式脂肪	0 公克 0 公克
製造單位電話:		碳水化合物	41.4 公克 41.4 公克
包裝重量: 約100公克		糖	0 公克 0 公克
		鈉	0 毫克 0 毫克
		膳食纖維	0.4 公克 0.4 公克
		鉀	64.2 毫克 64.2 毫克
		鈣	0.6 毫克 0.6 毫克
		鎂	3.2 毫克 3.2 毫克
		磷	3 毫克 3 毫克
		鐵	0.1 毫克 0.1 毫克
		鋅	0.1 毫克 0.1 毫克
		維生素B6	0.1 毫克 0.1 毫克
		維生素C	1.9 毫克 1.9 毫克
		維生素E	0.1 毫克 0.1 毫克

圖 26 綠蕉珍珠營養標示(作者繪製)

陸、結論

一、檢測不同因素對綠蕉澱粉抗性的影響:

綠蕉富含 RS2 抗性澱粉，經過烘焙與烹煮後抗性降低。透過冷藏或冷凍綠蕉可形成 RS3 回生澱粉，而在製作過程中添加 1%~3% 的橄欖油有助於形成 RS5 脂質複合型澱粉，提升抗性澱粉含量，使其更耐高溫烹調，保留健康效益。

二、研發與製作最佳比例與配方的綠蕉珍珠:

- (一) 新鮮的烏龍綠蕉洗淨後連皮切片，50°C 低溫烘乾研磨成粉，綠蕉粉和太白粉以 3:7 比例調和，粉和熱水比例 3:2 並添加 1%~3% 的橄欖油揉製成綠蕉珍珠粉圓，置入沸水烹煮後以冷水冷卻後撈出即是美味的綠蕉珍珠！
- (二) 冷藏或冷凍處理雖然抗性提升，但同時也使珍珠變硬、口感較差。經過實驗測試以微波加熱回溫，不僅能降低粉圓的含糖量，也較能維持彈性、黏性與咀嚼性等 Q 彈口感。

三、比較綠蕉珍珠和市售珍珠粉圓的食品特性:

- (一) 水活性: 烘乾的綠蕉粉水活性為 0.635 具備更佳的保存穩定性與抗腐敗能力。粉圓水活性介於 0.934~0.950 不利於食品保存，經過烘乾處理後下降至 0.396~0.413，成功進入微生物難以生長的安全範圍，因此烘乾技術為延長保存期、抑制微生物生長的重要方法

(二)色差:市售粉圓粉色澤較偏紅黃色系，綠蕉粉黃色飽和度較低，色澤較為柔和。

煮成綠蕉粉圓後L值亮度比市售粉圓高較為明亮，a值紅色與b值黃色澤均低於市售粉圓，市售粉圓可能有其他食品添加物因而較為暗沉、偏紅色系。

(三)物性:本研究推廣的綠蕉粉硬度和黏性小、彈性和咀嚼性佳，添加油脂顯示澱粉與脂質複合體形成可增強結構穩定性與口感。

四、評估大眾對綠蕉珍珠的接受度與銷售之可行性:

(一)本研究提出的綠蕉珍珠技術，並提出產品的成分、製造資訊與營養標示供消費者選擇時參考。不僅能解決綠蕉過剩問題，還能为健康飲食提供新選擇。

(二)綠蕉珍珠成本是市售粉圓的 0.53 倍具市場潛力和價值，未來可探索綠蕉在不同食品中的應用，例如：綠蕉碗粿、綠蕉鹹粿、綠蕉板條、綠蕉濃湯等，讓這些原本因口感不佳而被忽視的綠蕉，從「剩食」搖身一變為「勝食」，讓大家在享受美食的同時，也能兼顧健康不「蕉綠」！

(三)結果統整如圖 27 研究心智圖搭配我們親手繪製的可愛諧音梗綠蕉貼圖，藉此讓大家更清楚我們的實驗成果，也希望大家能喜歡家鄉香蕉園的綠蕉食品！



圖 27 研究心智圖與綠蕉珍珠貼圖(作者繪製)

****本作品之所有照片、圖表、心智圖、繪圖皆由作者本人拍攝及繪製****

柒、參考資料與文獻

- 一、香蕉一般分類，農業主題館: <https://kmweb.moa.gov.tw/subject/subject.php?id=11139>
- 二、認識台灣常見香蕉，食譜自由配: <https://food.ltn.com.tw/article/2291/2>
- 三、農業部農糧署南區分署網站/水果類作物/香蕉
https://srb.afa.gov.tw/index.php?code=list&flag=detail&ids=3370&article_id=21661
- 四、健康 2.0 網站/吃青香蕉防癌？, <https://health.tvbs.com.tw/nutrition/334842>
- 五、抗性澱粉是什麼？有哪些好處？營養師教吃「這些食物」瘦身降血脂
<https://www.mycf.org.tw/17666/%E6%8A%97%E6%80%A7%E6%BE%B1%E7%B2%89%E6%98%AF%E4%BB%80%E9%BA%BC%EF%BC%9F%E6%9C%89%E5%93%A%E4%BA%9B%E5%A5%BD%E8%99%95%EF%BC%9F%E7%87%9F%E9%A4%8A%E5%B8%AB%E6%95%99%E5%90%83%E3%80%8C%E9%80%99%E4%BA%9B>
- 六、Resistant starch as prebiotic: A review , Fuentes-Zaragoza et al., 2011
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/star.201000099>
- 七、Green banana resistant starch: A promising potential as functional ingredient against certain maladies , Food Sci Nutr. Haroon Munir et al., 2024
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11167165/>
- 八、陳愛澧等六人，「飯」科學~探討米飯的抗性澱粉形成條件，中華民國第 62 屆中小學科學展覽會，國小化學科，臺中市私立華盛頓國民小學。
- 九、楊恭守等五人，拍「叛」定案，「條」出健康，中華民國第 62 屆中小學科學展覽會，國小應用科(二)，新竹縣竹北市興隆國民小學。
- 十、張雯涵等三人，珍珠新「葛」命——「抗性」珍珠生成之道，中華民國第 61 屆中小學科學展覽會，高中組農業與食品學科，彰化女中。
- 十一、何謂「食用化製澱粉」？<https://www.chshb.gov.tw/node/219113894#gsc.tab=0>
- 十二、吃白飯熱量能減半！加椰子油放冰箱 <https://www.top1health.com/article/23745>
- 十三、Rice Calories Can Be Cut in Half With This Trick <https://time.com/3754097/rice-calories-resistant-starch/>
- 十四、吃冷飯能減肥？抗性澱粉在紅什麼？
<https://www.twhealth.org.tw/journalView.php?cat=52&sid=891&page=2>
- 十五、Yuan, D., Zhang, Y., Chen, X., Xu, F., Zhu, K., Wang, J., & Zhang, Y. (2025). Physicochemical, Structural, and Digestive Properties of Green Banana Starch from Five Chinese Mutant Banana Species. *Foods*, 14(4), 706.
<https://doi.org/10.3390/foods14040706>
- 十六、張博翔、陳淑德，葛鬱金/樹薯粉圓原料製備與品質分析，台灣農業化學與食品科學第 60 (4)，171-180，民國 111 年。

【評語】 032909

對歷屆科展題目作妥善的回顧，從中找尋新的突破點，作品的目標在增值台灣綠蕉，解決其因廢棄的資源浪費問題。研究相當完整，從材料的評選(蕉種、熟度)、配方、加工過程、感官品評、測試不同增加抗性的方式，產品特性分析、最適化的回溫模式等，應用性高。以下建議供同學參考：

1. 前言的統計數字如「香蕉的種植面積佔 61%居全國水果之冠」或文獻資訊「研究顯示平均每 100g 的青香蕉含抗性澱粉 3.5g」提供對應的出處與參考文獻。
2. 第 5 頁的 Wang et al., 2018 亦應有對應的詳細參考文獻出處。除了於最後列出一系列參考文獻的來源外，於內文中應適當指引讀者將相關內容對應到所提供的文獻。
3. 於「歷屆科展相關研究主題分析」表格中，雖可看出文字的出處，但建議同學能用自己的話描述，而不是直接使用他人的文字。
4. 顯微鏡照片宜加上比例尺。

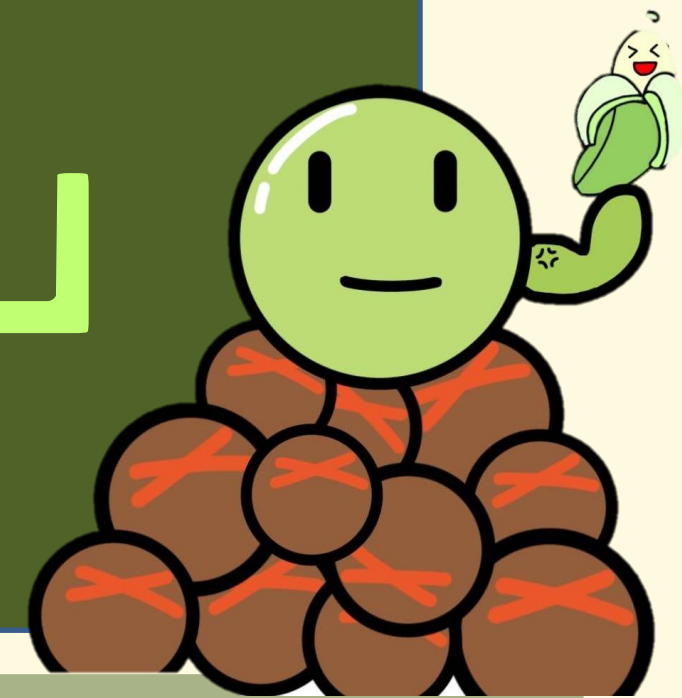
5. 使用方程式擬合時，需說明所選擇函數的原因與每一項變數對應的物理量，不然沒有太大意義。
6. 葡萄糖濃度量測的檢量線，標準品的濃度範圍(0.5-10 M)需高於量測範圍(如芭蕉綠蕉泥的 15.3 M)，避免以外插的方式計算。以過錳酸鉀反應時間為基礎的濃度量測中，是否有控制溫度？若溫度不同，反應速率將有對應變化，造成量測的誤差。
7. 作品第 28 頁自製的營養標示表中，如蛋白質、脂肪、鈉鉀鈣、膳食纖維、維生素等，是如何量測得到，應在作品中說明。
8. 國際標準判定抗性澱粉的標準是與 α -澱粉酶反應 120 分鐘仍未分解的澱粉被定義為抗性澱粉，本作品是以反應 25 分鐘為切點，此時還未被降解的澱粉應為慢速消化澱粉和抗性消化澱粉的總合。
9. 測試的方法應更詳細敘述，例如，抗性澱粉的反應如何中止？樣本取樣時是否過濾？

10. 表中樣本不應寫(30g/100mL 水)，實測時只取其中 5 mL 的
溶液。在表說中說明即可。

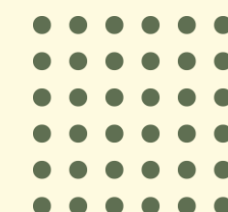
作品海報



讓「剩食」變「勝食」



~ 綠蕉珍珠的抗性與物性研究





壹、前言

一、研究動機

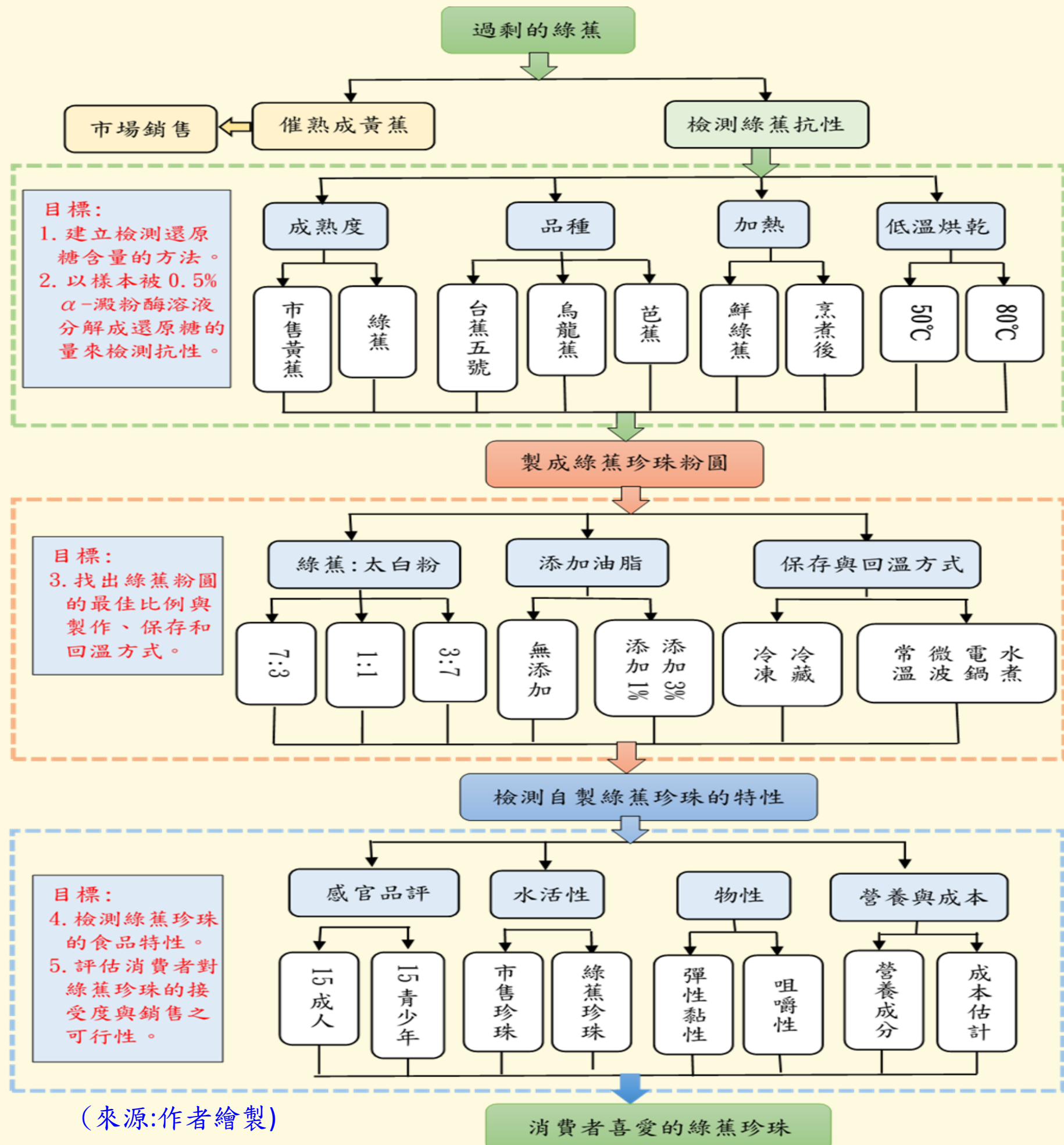


照片1 颱風過後許多待處理的剩食~綠蕉 (來源:作者拍攝)

二、研究目的

- (一) 檢測不同因素對綠蕉澱粉抗性的影響。
- (二) 研發與製作最佳蕉粉比例與配方的綠蕉珍珠。
- (三) 實測添加油脂與保存方式對綠蕉珍珠的抗性影響。
- (四) 比較不同回溫方式對綠蕉珍珠抗性與物性的影響。
- (五) 比較自製綠蕉珍珠和市售珍珠粉圓的食品特性。
- (六) 評估大眾對綠蕉珍珠的接受度與銷售之可行性。

三、研究架構



三、抗性檢測原理

MnO_4^- (紫色) + $8H^+$ + $5e^- \rightarrow Mn^{2+}$ (無色) + $4H_2O$

溶液的還原糖濃度越高，被脫色所需的時間越短。用以評估消化道中澱粉的分解與否，推測綠蕉澱粉的抗性高低。

一、型態與澱粉粒觀察

- (一) 型態比較
- (二) 成分檢測
- (三) 果肉的顯微觀察

二、檢測抗性澱粉含量

- (一) 繪製葡萄糖濃度標準曲線
- (二) 檢測鮮香蕉中的抗性澱粉含量
- (三) 檢測香蕉粉中的抗性澱粉含量

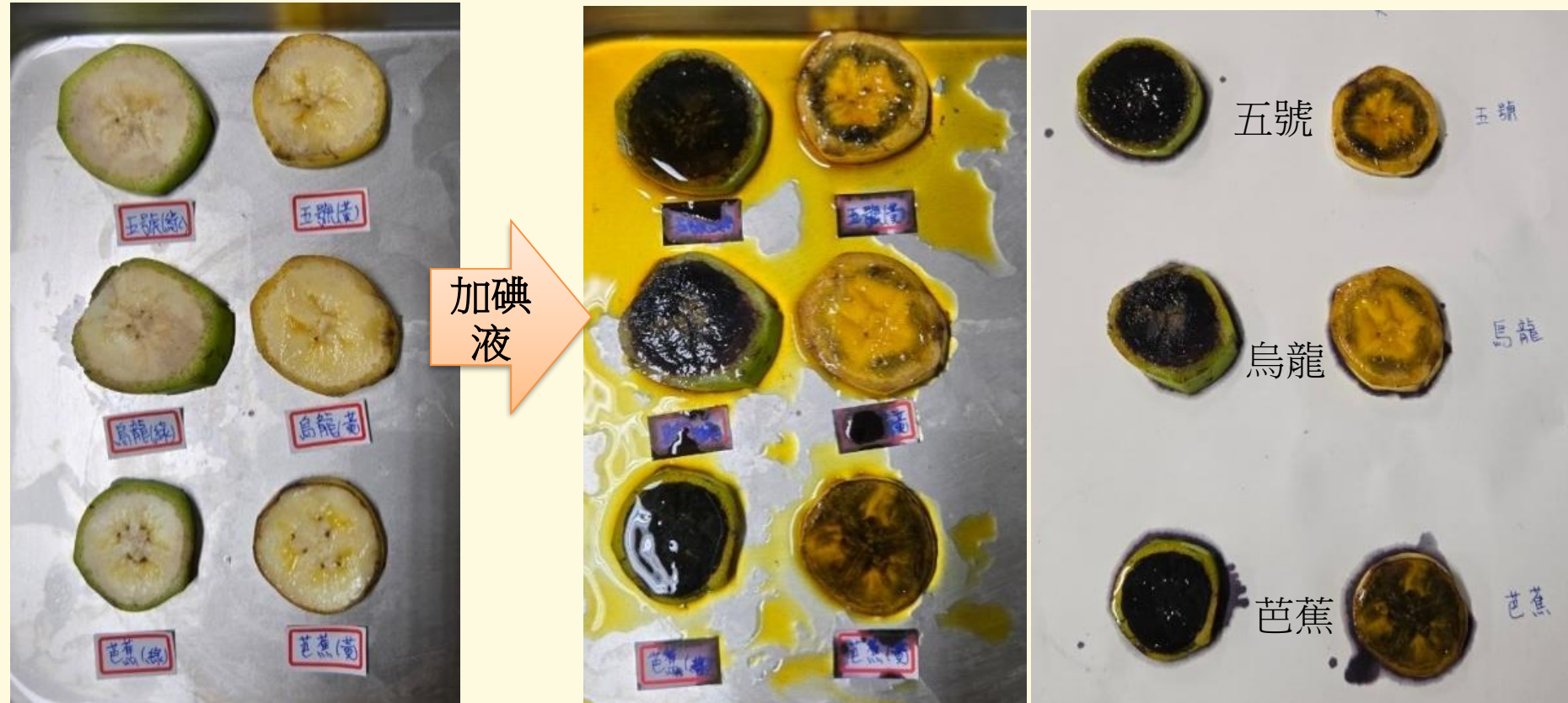
四、綠蕉粉圓與市售粉圓分析

- (一) 水活性 (Water Activity): 評估食品保存性，數值越低越不易腐敗。
- (二) 色差測量 (Konica Minolta CR 系列): 食品加工過程中的色澤變化。
- (三) 物性測量 (以 Brookfield CT3 測得):
 - 1. 硬度 (g): 代表粉圓咬下去時的堅硬程度，數值越高，越硬、越有咬感。
 - 2. 彈性 (mm): 表示其「回彈高度」，數值越高表示越有彈性。
 - 3. 黏性 (mJ): 粉圓內部結構的黏合程度，數值越高表示越穩定、有韌性。
 - 4. 咀嚼性 (mJ): 硬度、彈性與黏性之綜合指標，數值越高表示越有嚼勁。

肆、研究結果

一、不同種類和成熟度的香蕉澱粉含量

- (一) 碘液檢測澱粉含量: (二) 本氏液檢測糖含量:



照片5 綠蕉與黃蕉的澱粉檢測 (來源:作者拍攝)

- 綠蕉澱粉含量比黃蕉多，成熟過程從中心逐漸向外將澱粉分解成糖，果皮幾乎沒有澱粉。

照片6 綠蕉與黃蕉的本氏液檢測結果 (來源:作者拍攝)

- 含糖量: 黃蕉 > 綠芭蕉 > 綠五號蕉 = 綠烏龍蕉。

四、文獻探討

- (一) 台灣香蕉種類介紹
- (二) 抗性澱粉(RS)的種類比較:

種類	來源	結構特性
RS1: 物理保護型	全穀物、種子、未加工的穀物	被細胞壁或其他物理結構包覆，使澱粉酶難以接觸，需充分咀嚼才能釋放澱粉，經過加工（如磨碎）易破壞。
RS2: 顆粒結晶型	未熟的香蕉、馬鈴薯、生玉米澱粉	澱粉顆粒中的高結晶性使其難以被酶解，例如直鏈澱粉（amylose）和支鏈澱粉（amylopectin）結構中的結晶區域。隨著烹煮或加熱，結構會被破壞，消化性提升。
RS3: 回生澱粉	烹煮後冷卻的米飯、麵條、馬鈴薯。	澱粉經加熱糊化後在冷卻過程中形成的回生結構，由直鏈澱粉重組成雙螺旋結構。具較穩定的抗酶解性，耐酸。
RS4: 化學改性澱粉	經化學修飾如酯化、交聯化處理的澱粉。	化學改性導致澱粉分子鏈發生改變，使其不易被消化酶作用。可根據需求調整其功能和用途，耐熱性高。
RS5: 脂質複合型澱粉	直鏈澱粉和脂肪酸形成複合物。	直鏈澱粉與脂質分子結合，形成穩定的結構，抵抗酶的作用。在高溫下相對穩定，常用於功能性食品中。

- (三) 綠蕉抗性澱粉 Green banana resistant starch (GBRS) 健康價值
- (四) 歷屆科展相關研究主題分析 (五) 珍珠奶茶的市場潛力與挑戰

貳、設備與器材

一、綠蕉保存與綠蕉粉製作

低溫恆溫培養箱(型號: Hipoint721L -20℃至100℃)、電子天平、水果刀、砧板、果汁機、量筒、錐形瓶。乾果機(Massey五層溫控MAS-535)、烘箱(型號: YIH DER DK500D)、磨豆機(PHILIPS Pro Blend 5)、封口袋、刷子、烘烤紙、不銹鋼盤。

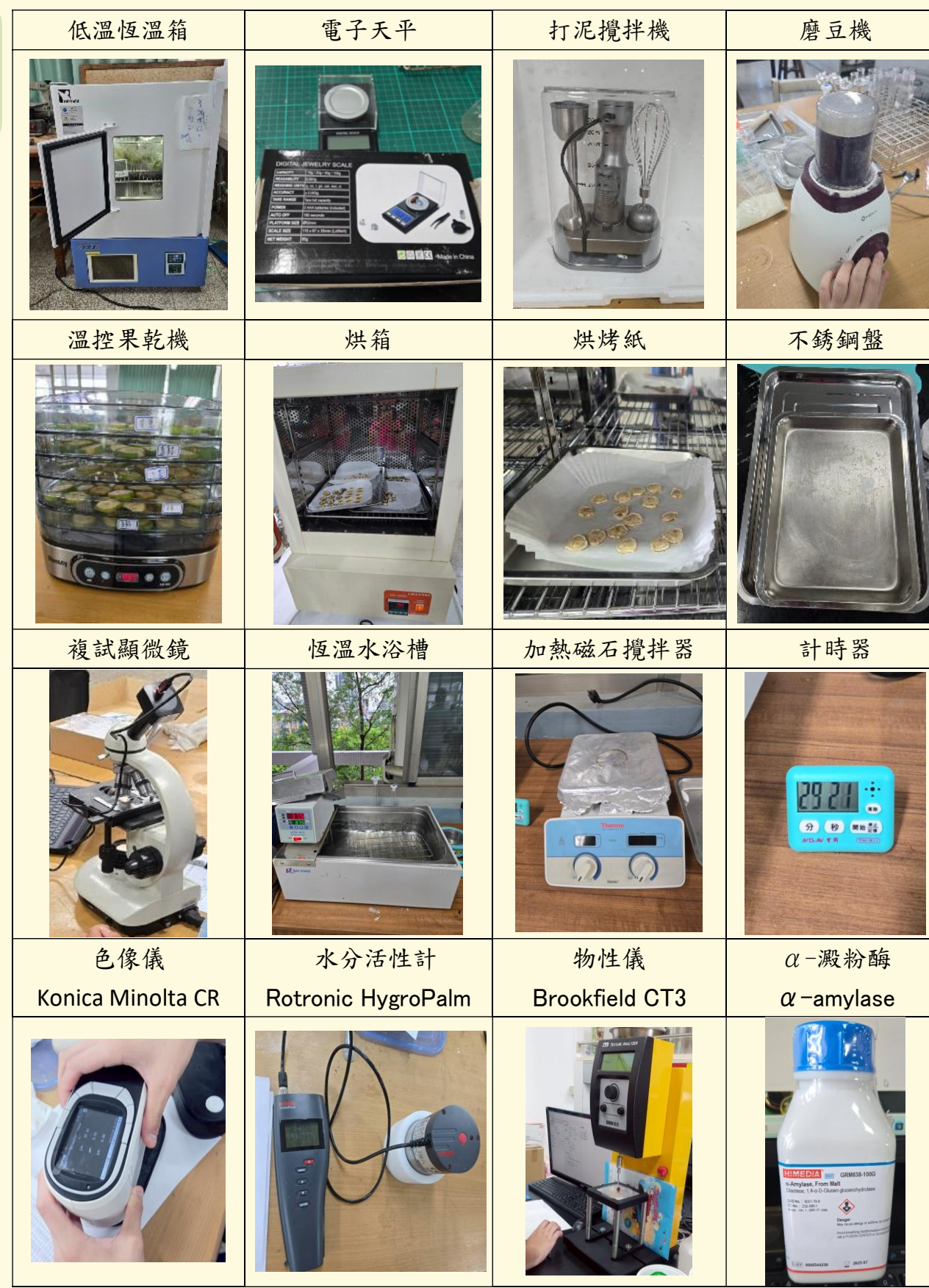
二、抗性與物性檢測

(一) 澱粉與還原糖定性與顯微觀察

複試顯微鏡、顯微攝像鏡頭(MC-D500U)、電視、載玻片、蓋玻片、滴管、碘液、解剖針。本氏液、滴管、試管、燒杯、加熱磁石攪拌器。

(二) 還原糖含量與食品特性檢測

過錳酸鉀、葡萄糖、硫酸(1M)、燒杯、量筒、錐形瓶、恆溫水浴槽、試管、試管架、計時器、 α -澱粉酶、水活性儀、色像儀、物性儀。

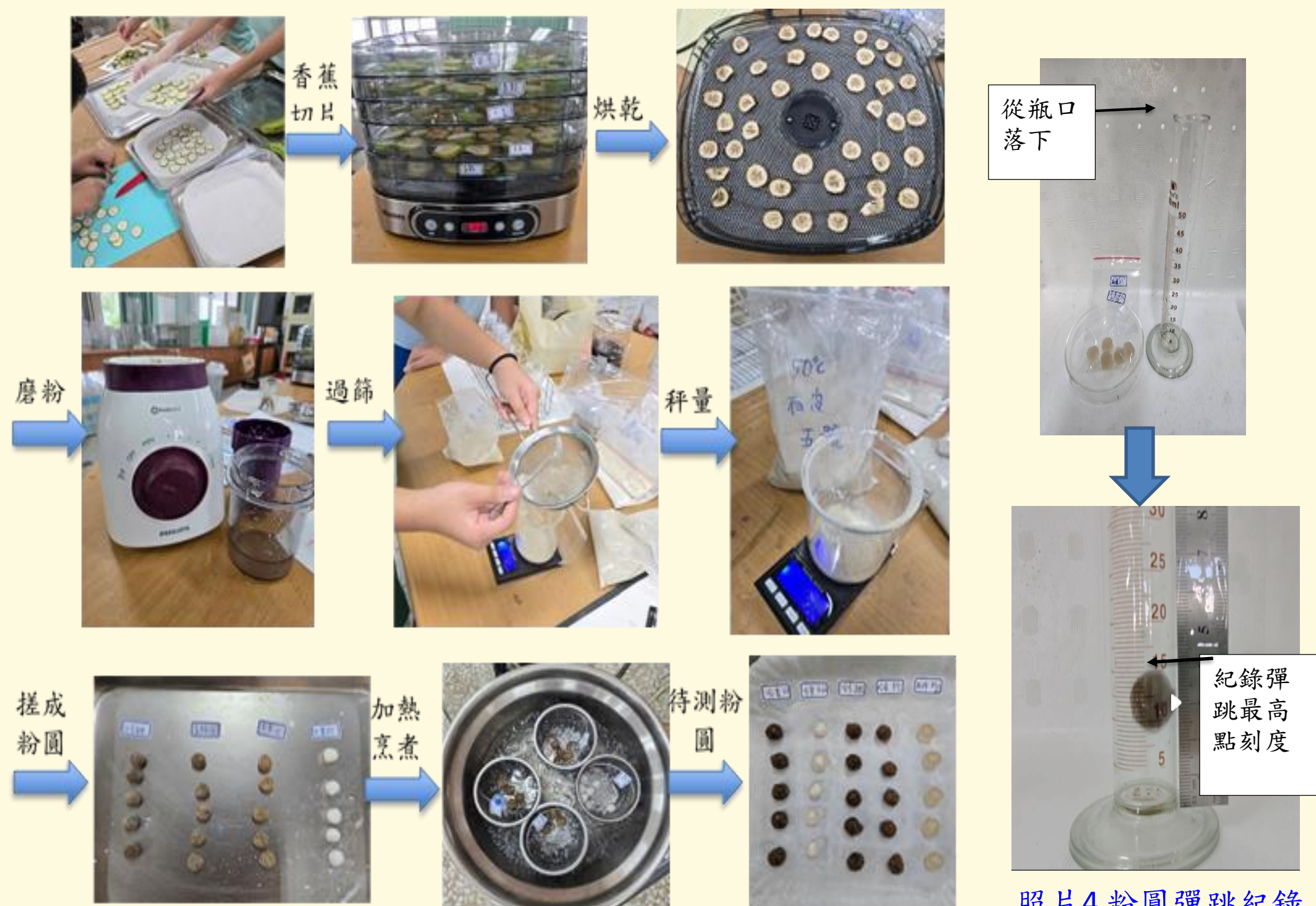


(來源:作者拍攝)

參、過程與方法

三、粉圓的製作與檢測

- (一) 粉圓製作與烹煮 (二) 粉圓彈力檢測



照片3 粉圓製作與烹煮過程 (來源:作者拍攝)

(三) 感官品評

30位受試者，食用A~D四組珍珠粉圓口感盲測喜好程度。

(三) 果肉的澱粉粒顯微觀察

表2 三種香蕉果泥加碘液後的顯微觀察

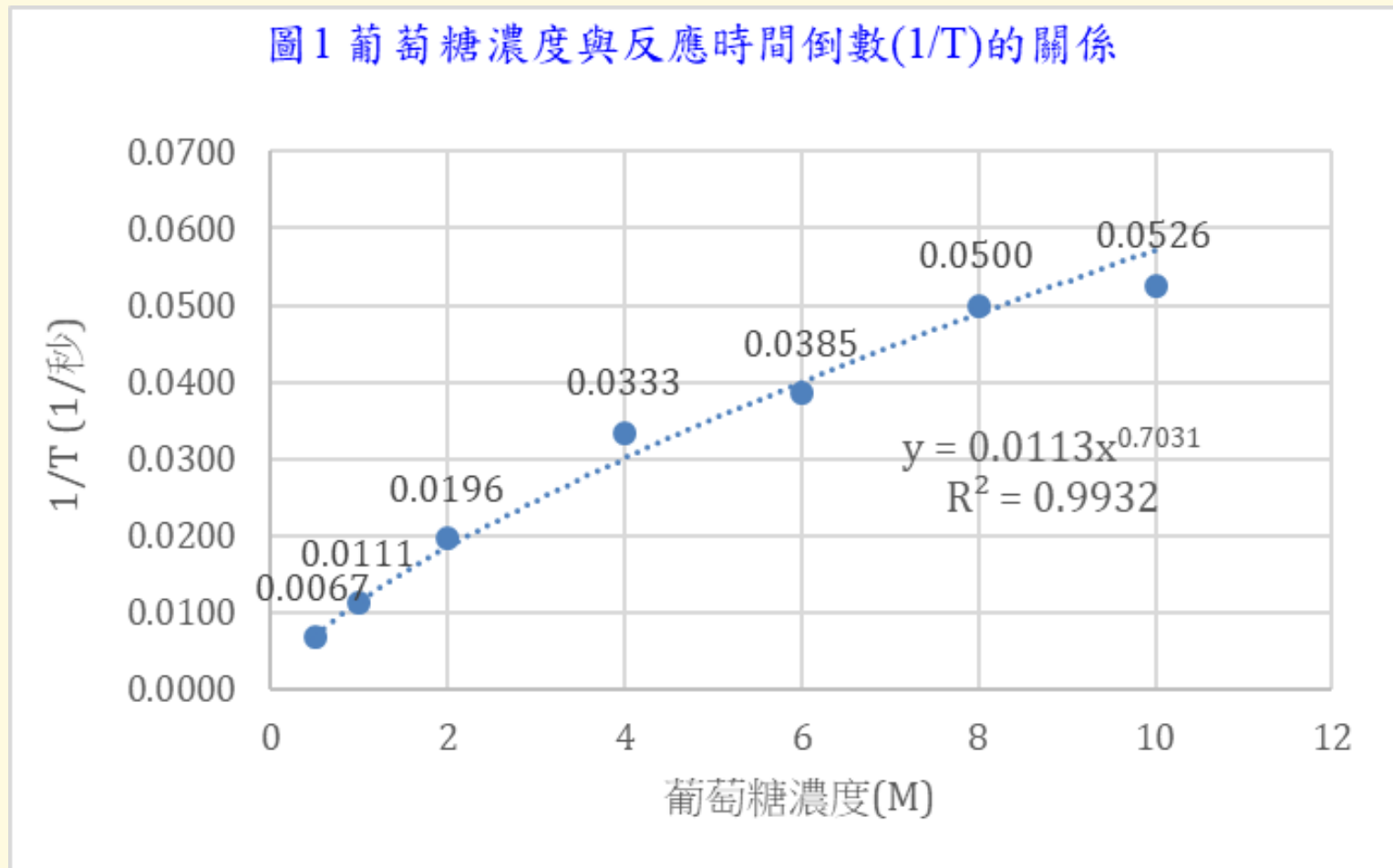
香蕉種類	顯微觀察倍率(40X)	顯微觀察倍率(400X)
五號(黃蕉)		
五號(綠蕉)		
烏龍(綠蕉)		

(來源:作者拍攝)

- 黃蕉無觀察到澱粉粒，五號和烏龍綠蕉澱粉粒較大、較不規則，芭蕉綠蕉的澱粉粒較小、形狀偏卵圓形。隨著香蕉成熟，澱粉含量逐漸降低，被轉化為糖。

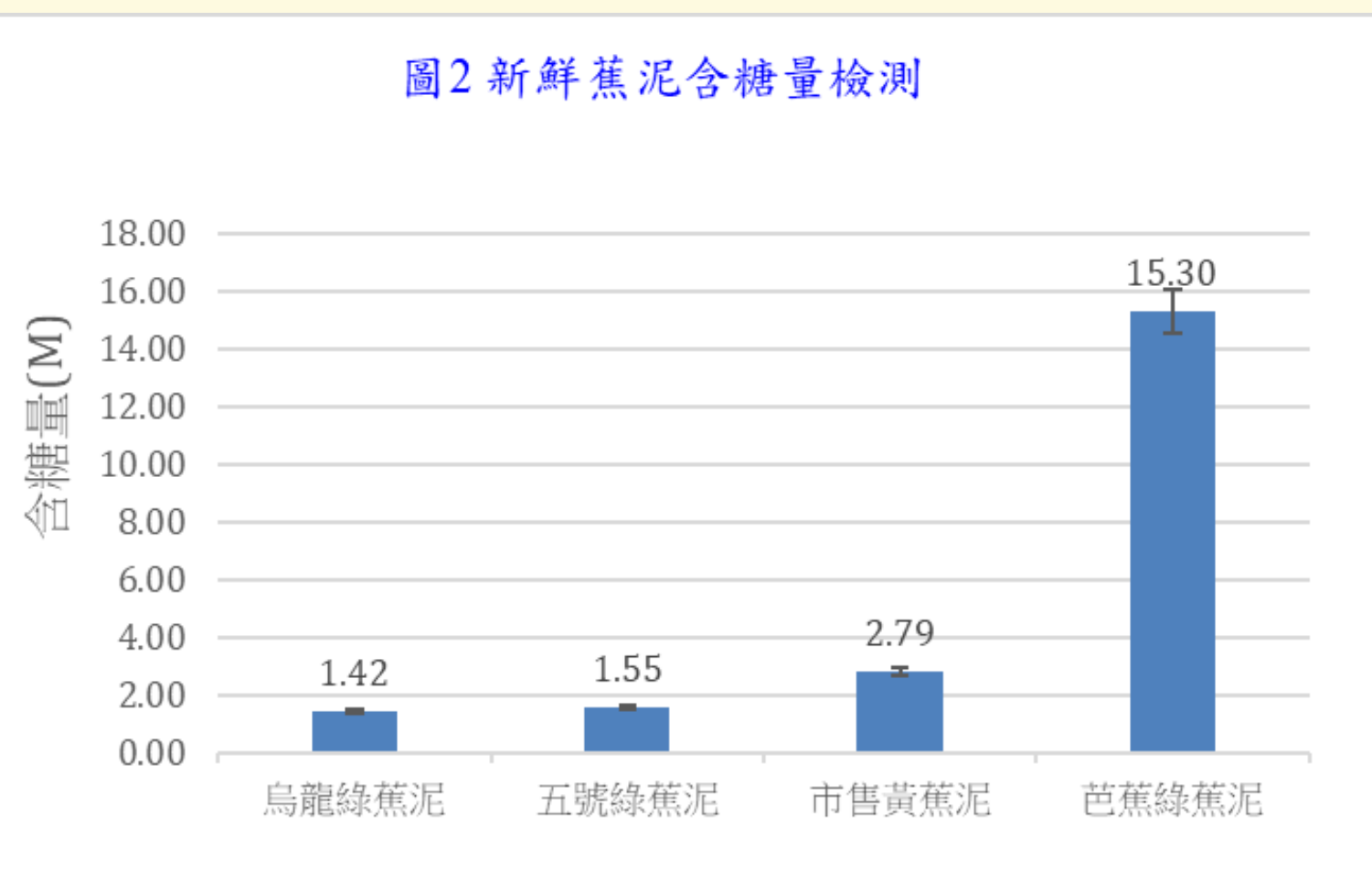
二、檢測不同因素對綠蕉澱粉抗性的影響

(一) 建立葡萄糖檢量線



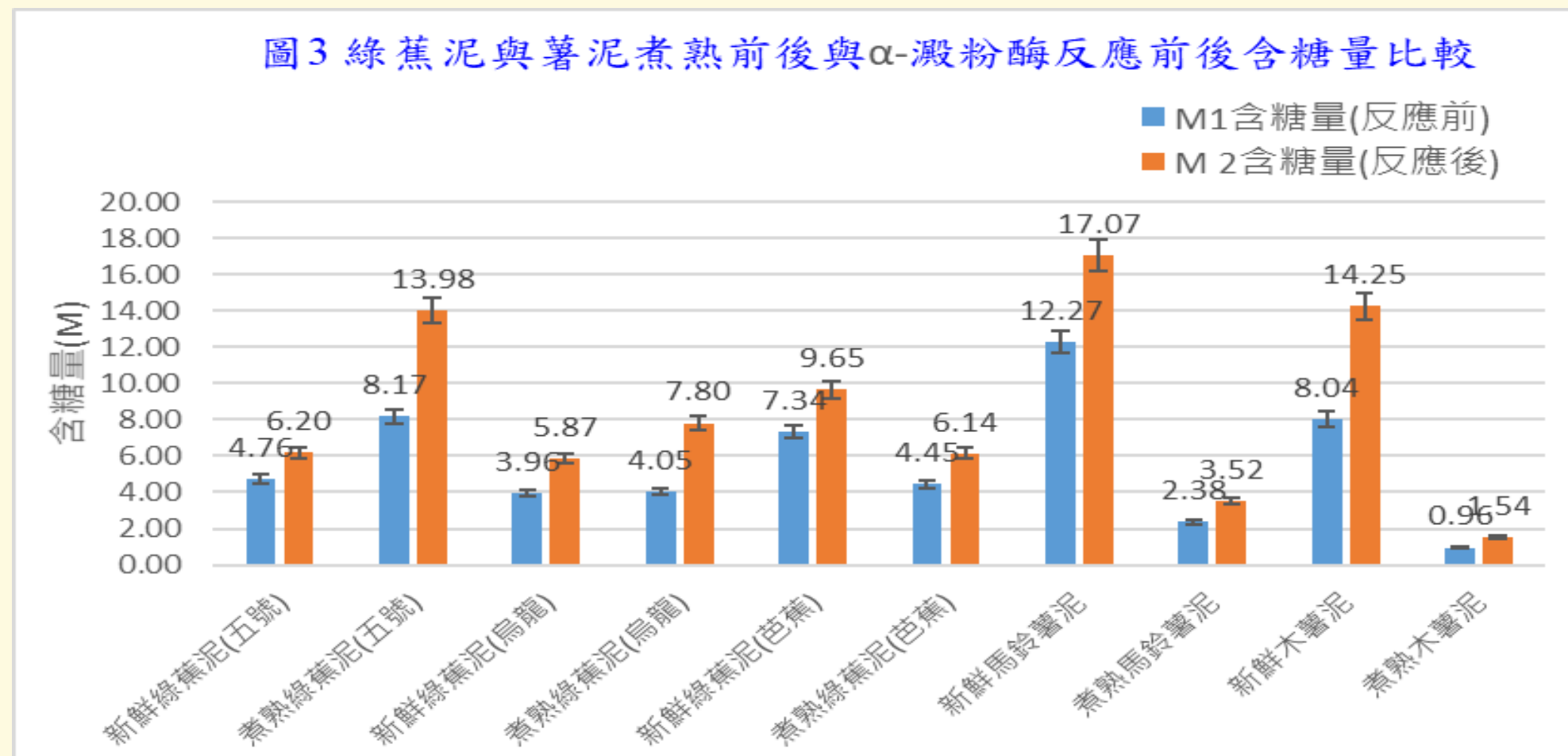
- 濃度為X，1/T反應時間為Y，乘冪趨勢線
公式： $y = 0.0113x^{0.7031}$ $R^2 = 0.9932$

(二) 新鮮香蕉泥含糖量檢測



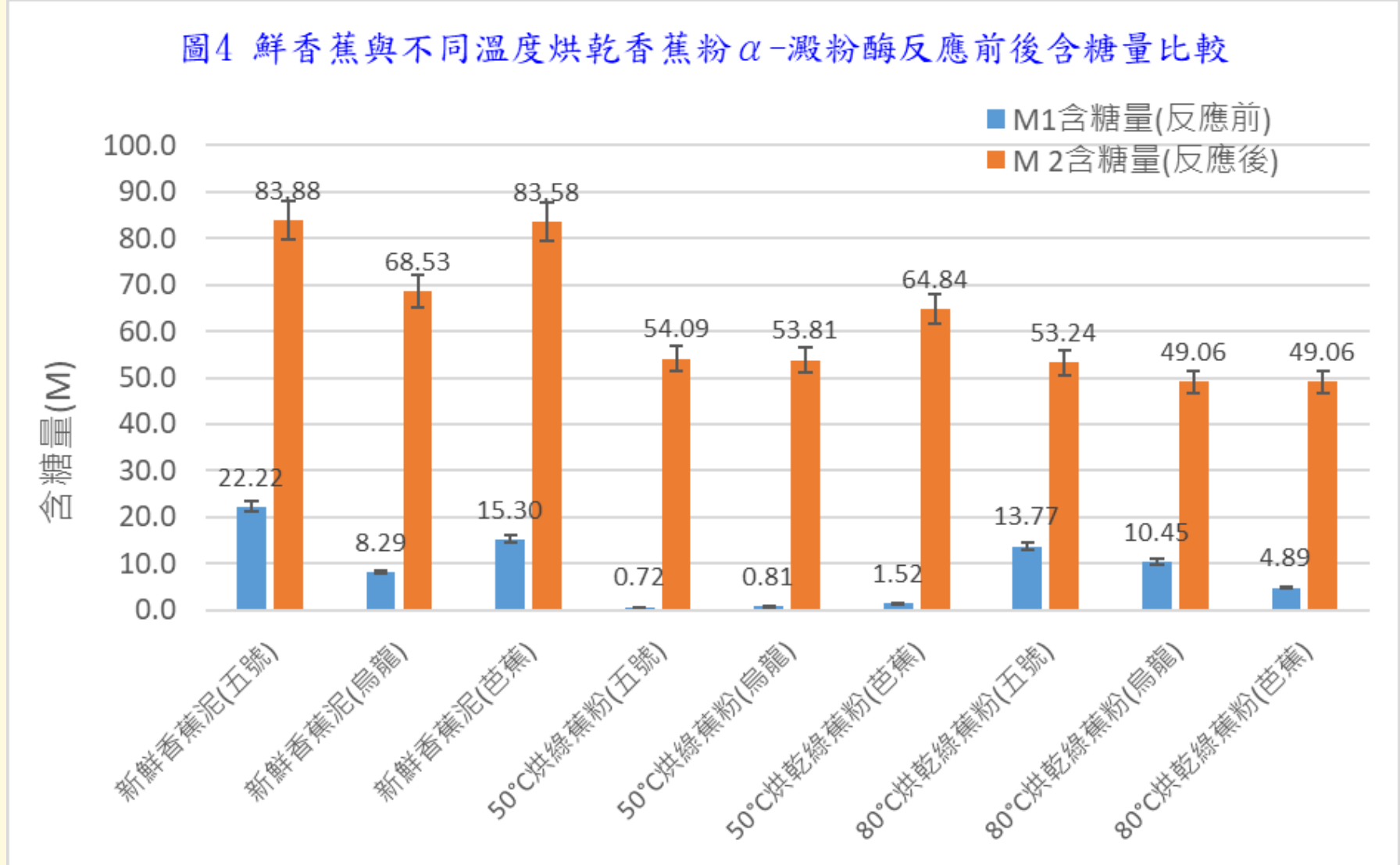
- 含糖量: 綠芭蕉>市售黃蕉>五號綠蕉>烏龍綠蕉。綠芭蕉糖濃度最高。

(三) 煮熟和新鮮綠蕉泥和薯泥含糖量檢測:



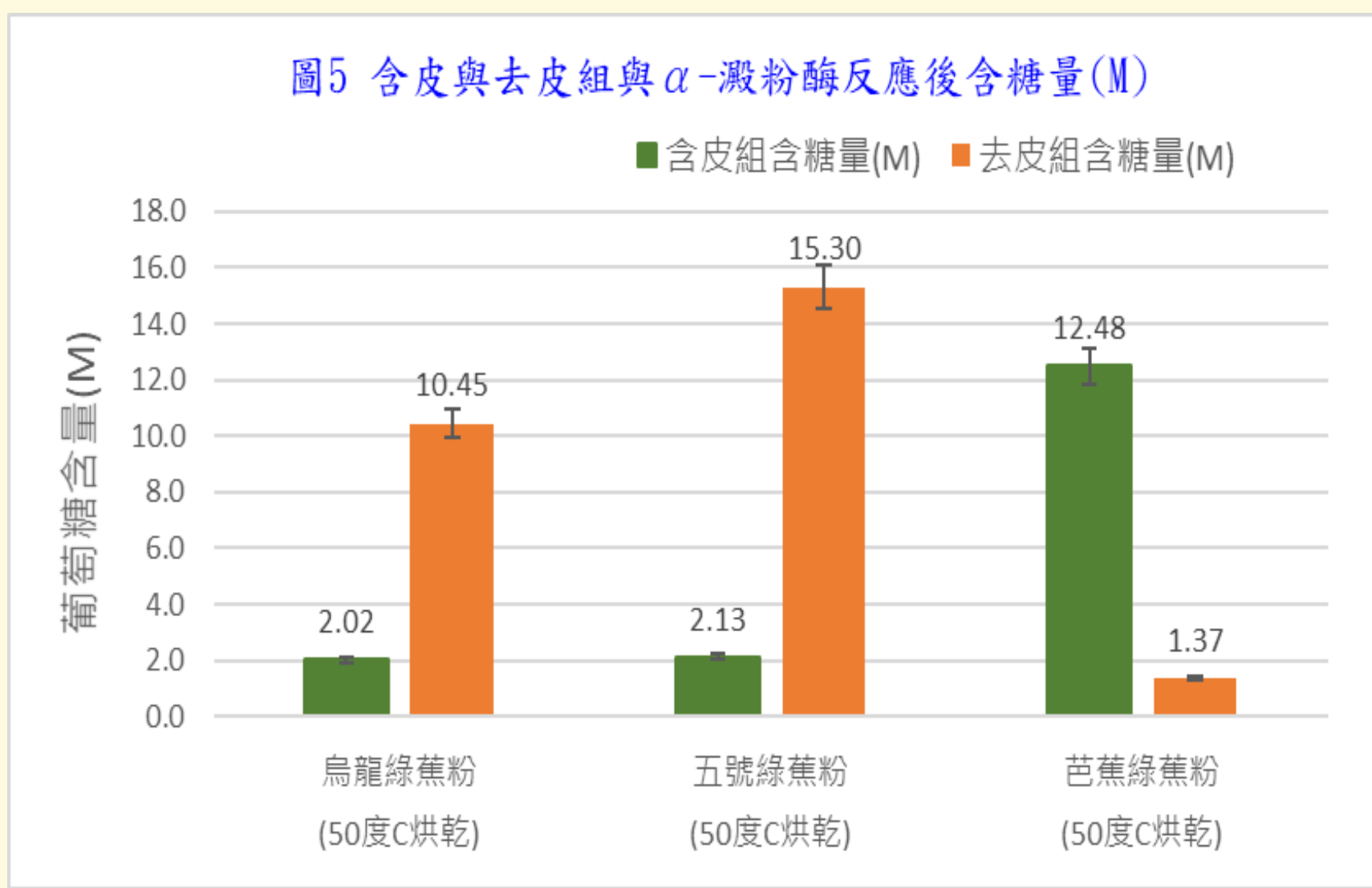
- 與 α -澱粉酶反應後含糖量增加；煮熟會讓抗性澱粉性質轉變，可被酶分解釋出較多的糖。芭蕉、馬鈴薯和木薯有可能抗性澱粉和可溶性澱粉含量高。

(四) 新鮮香蕉泥和烘乾香蕉粉含糖量檢測



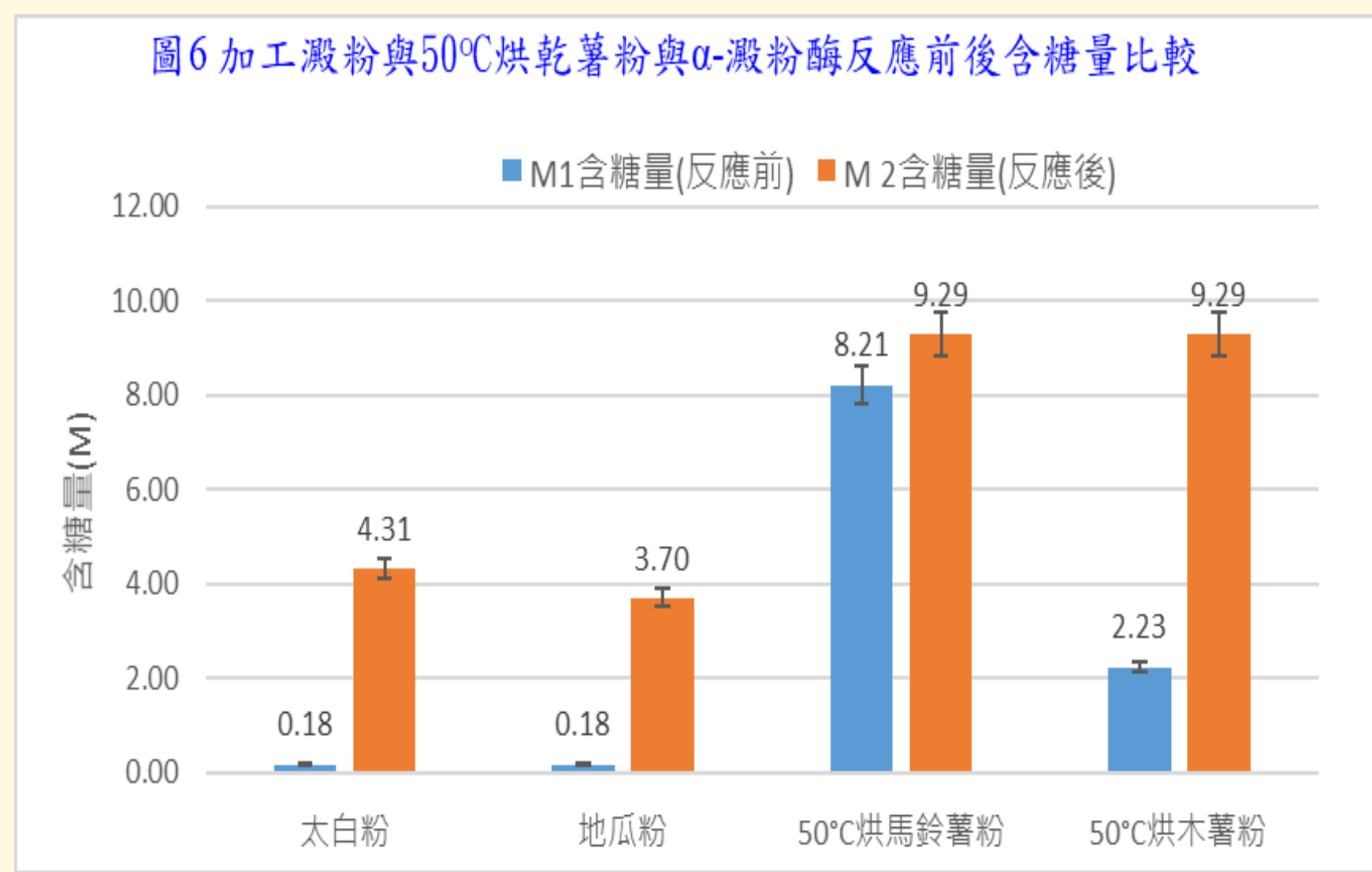
- 與 α -澱粉酶反應前後，三種綠蕉烘乾後磨粉測得的含糖量都比新鮮蕉泥低。

(五) 含皮和去皮烘乾綠蕉粉含糖量檢測



- 去皮的還原糖含量皆大於含皮，取用含皮烏龍和五號綠蕉粉抗性較佳，作為粉圓的原料應更為適當。

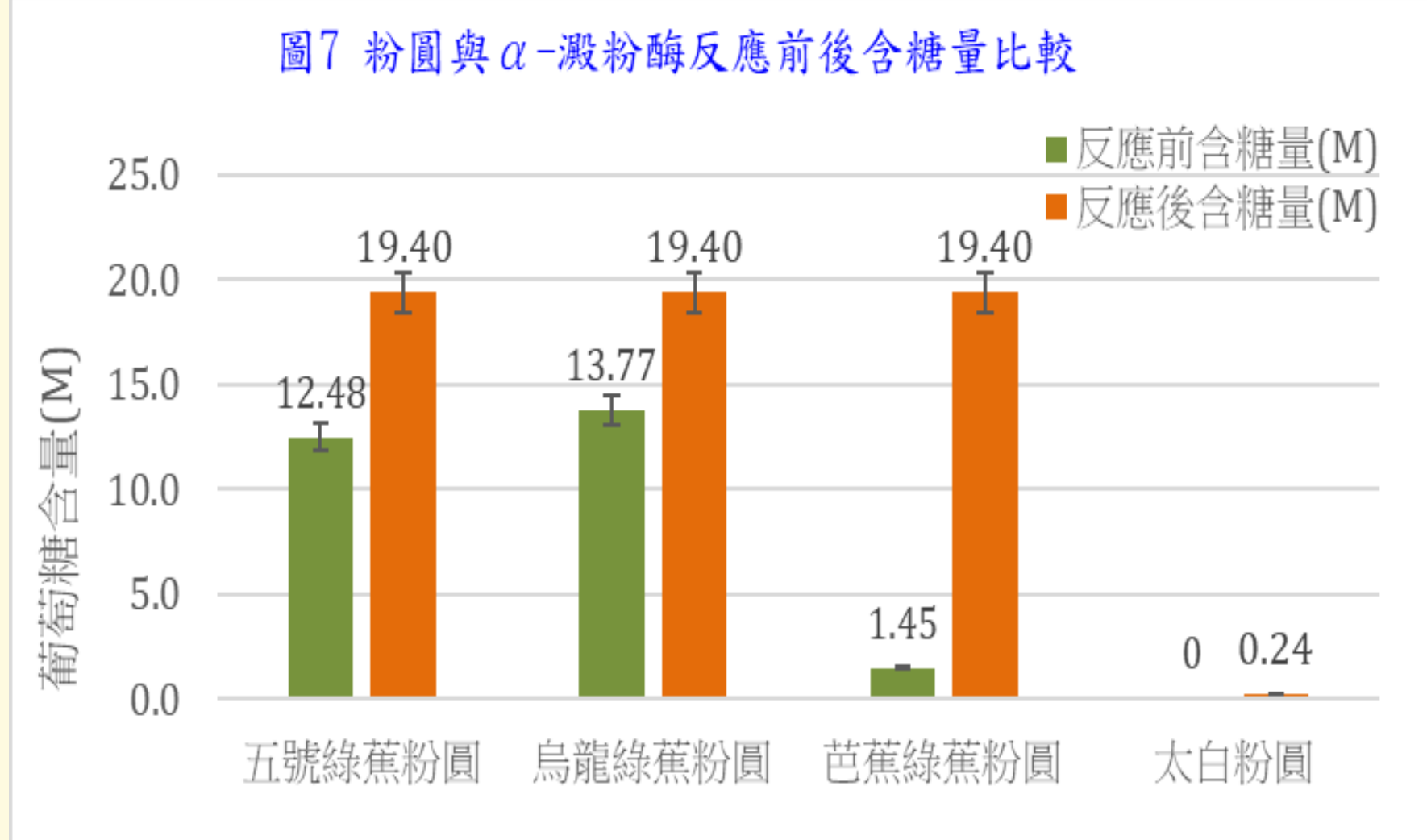
(六) 天然木薯粉與人工澱粉含糖量檢測



- 太白粉、番薯粉等精緻澱粉被再製過，較不易被分解為糖，含糖量明顯低於天然的馬鈴薯和木薯粉。

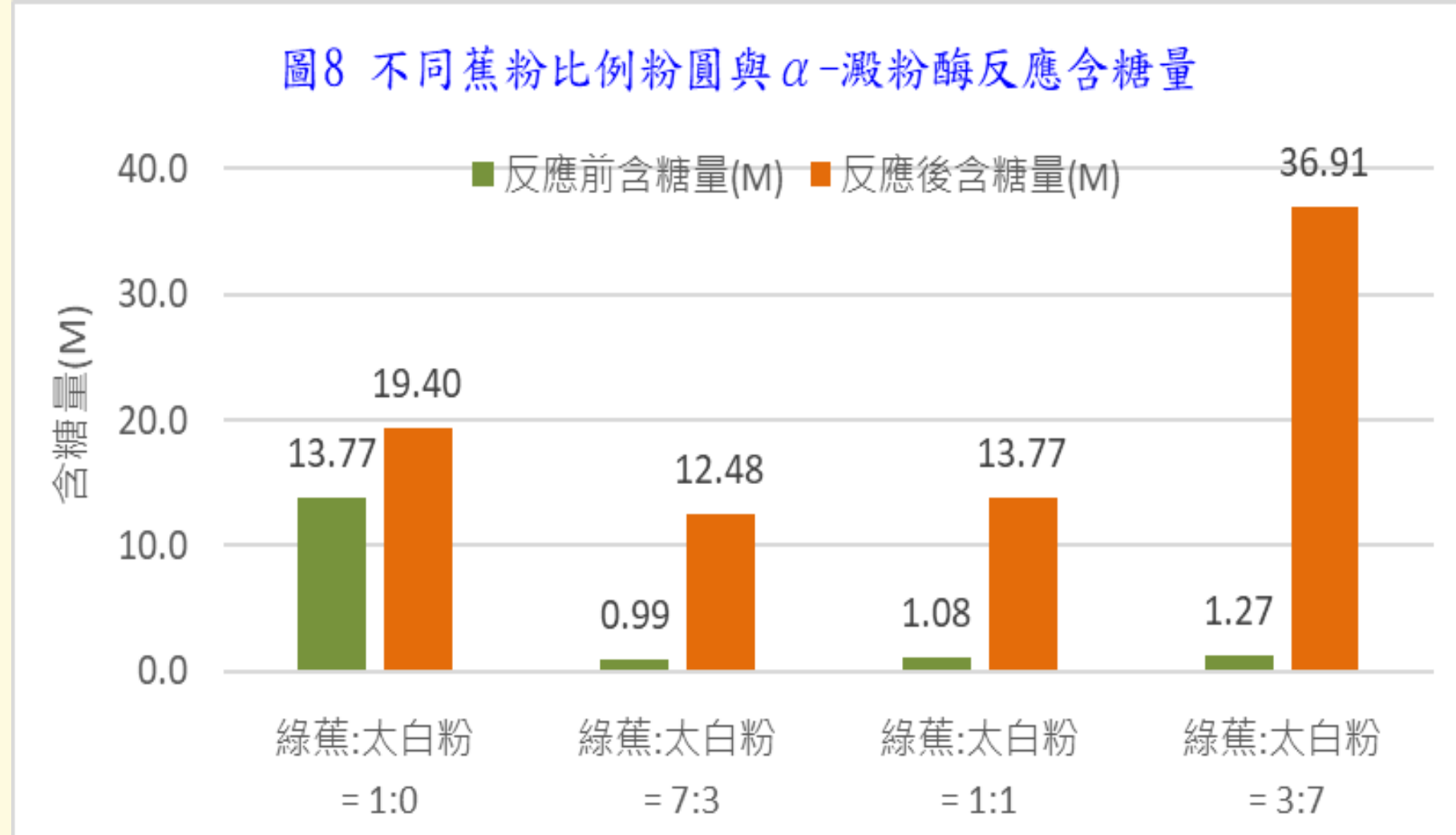
三、研發與製作最佳比例與配方的綠蕉珍珠

(一) 自製粉圓與市售太白粉圓含糖量檢測

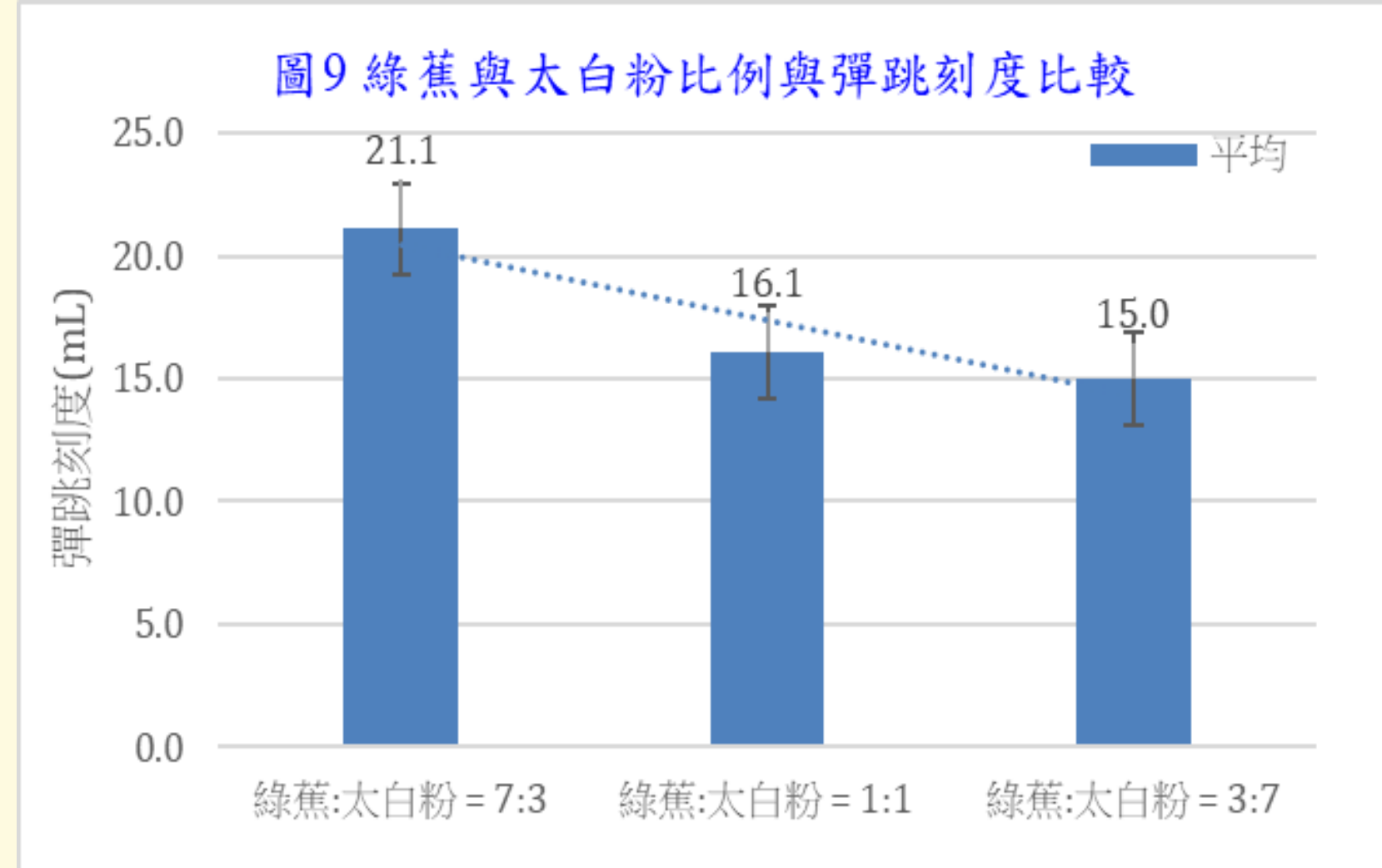


- 綠蕉粉搓成粉圓並煮熟後含糖量上升，與澱粉酶作用後含糖量亦增加；市售太白粉粉圓煮熟前後均較難被 α -澱粉酶分解成糖。

(二) 不同綠蕉粉與太白粉比例粉圓檢測

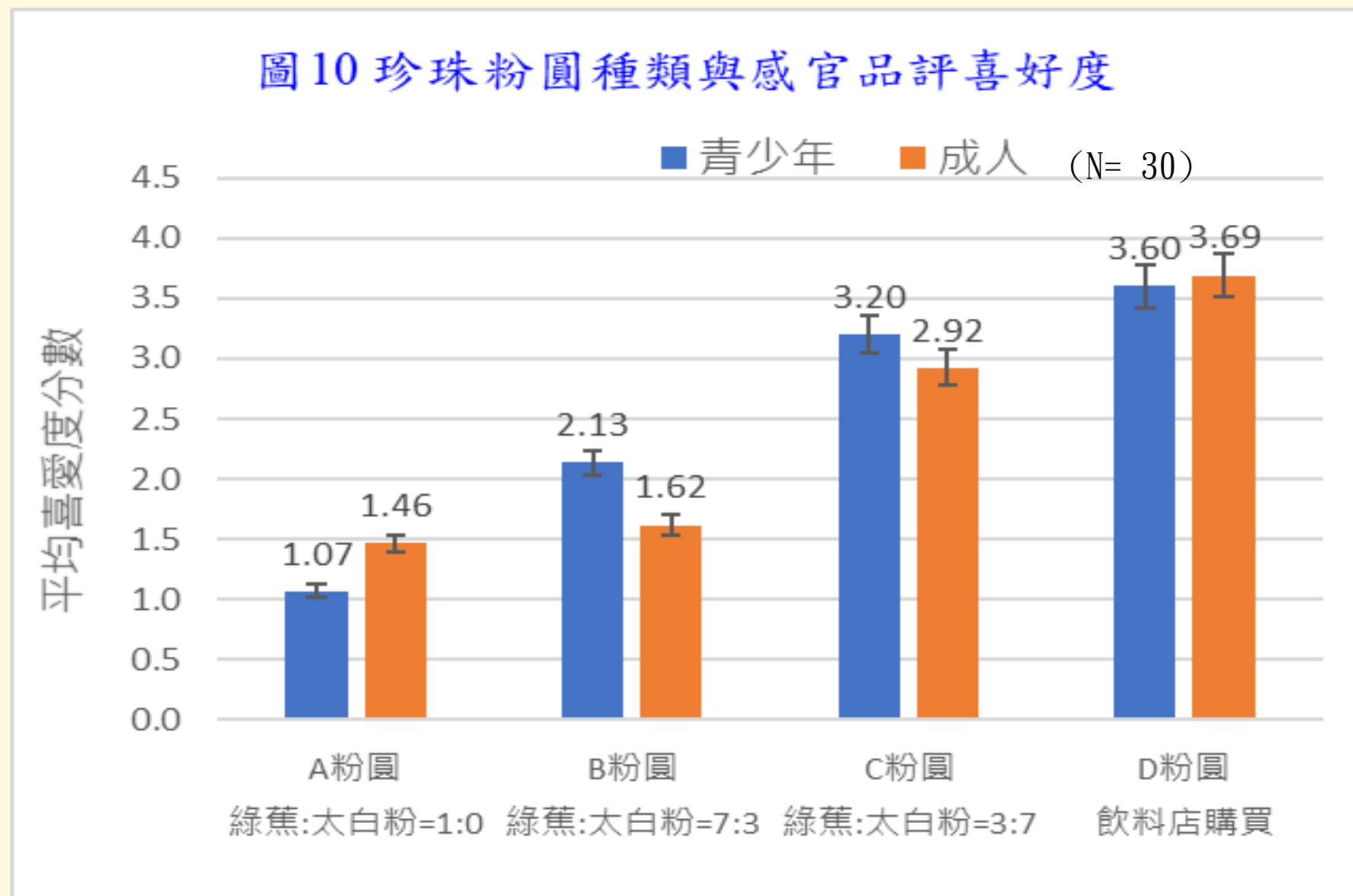


- 添加太白粉後含糖量下降且容易揉搓，綠蕉和太白粉以適當比例混合後的抗性比純綠蕉粉來得好。



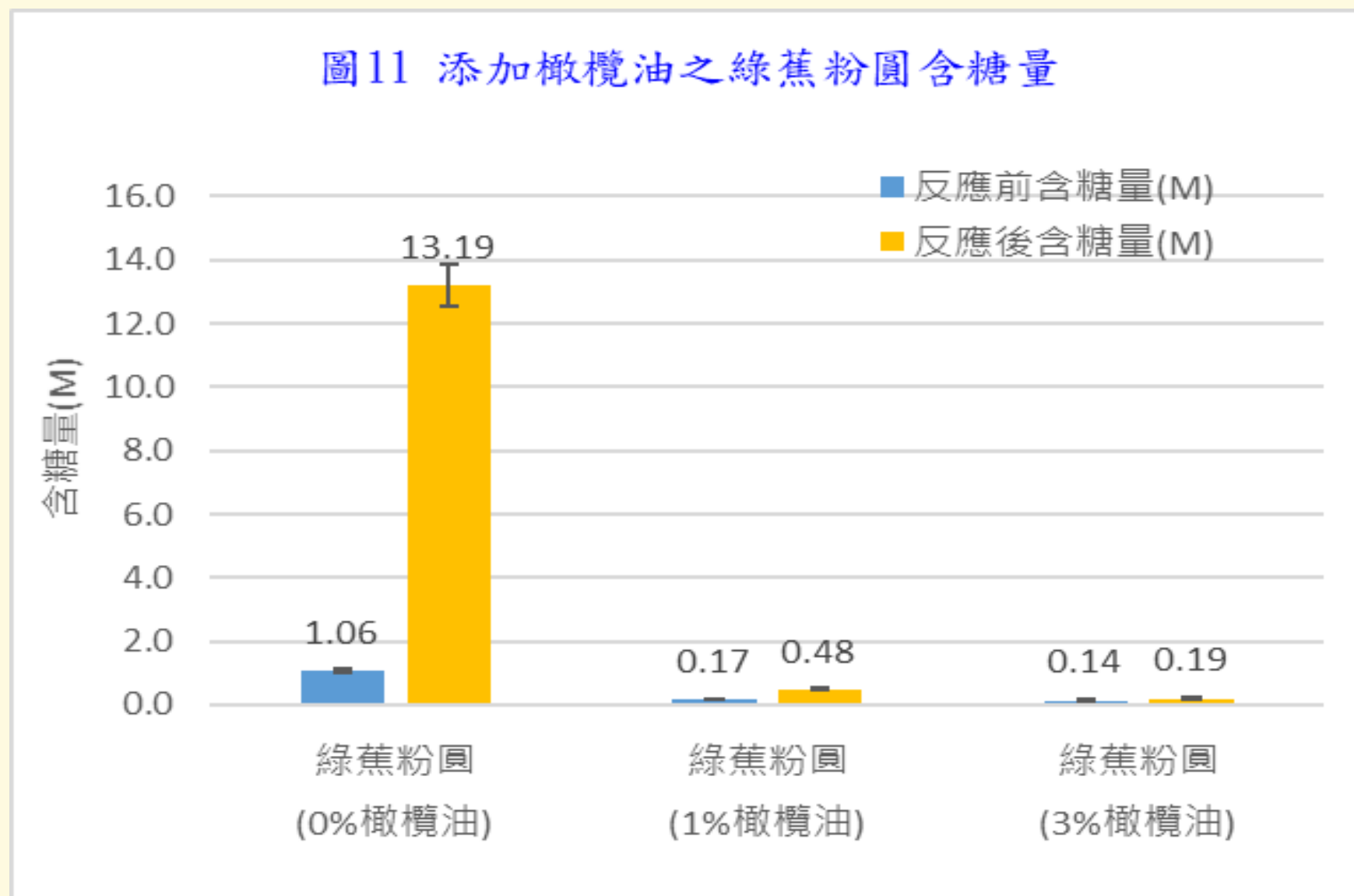
- 綠蕉粉所佔比例越多的粉圓，粉圓平均的彈跳高度越高、彈力越好。

(三) 口感盲測與感官品評



- 綠蕉粉比例越高的粉圓口感較硬，飲料店購買粉圓較為軟Q最受歡迎，青少年和成人對C粉圓口感喜愛度已非常接近市售粉圓，因此我們選定綠蕉粉:太白粉=3:7作為後續實驗與推廣的綠蕉粉圓最佳比例。

(四) 添加油脂對綠蕉珍珠的影響



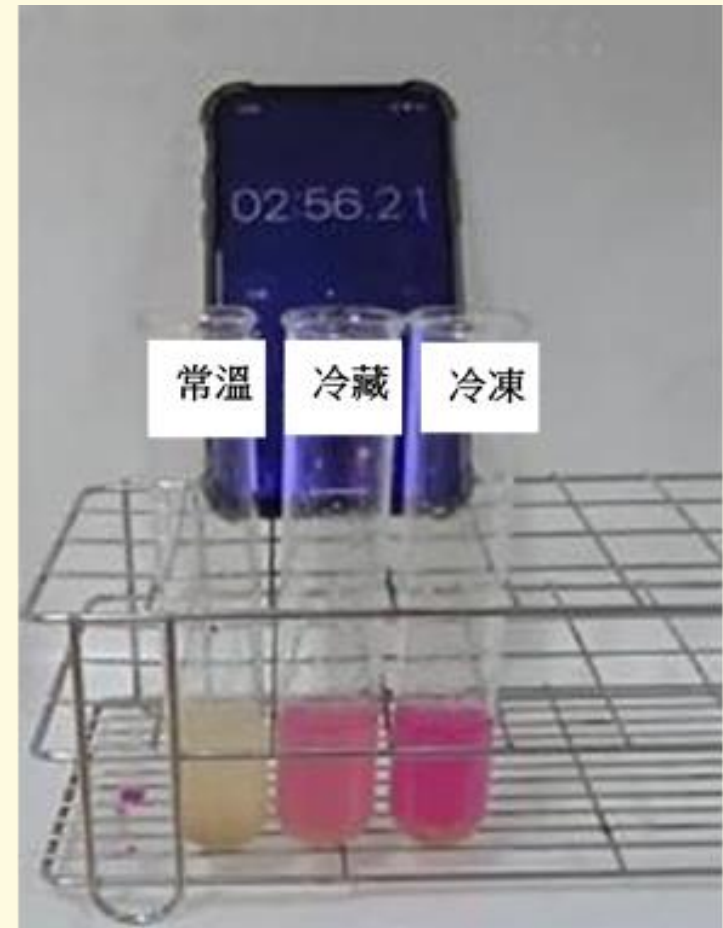
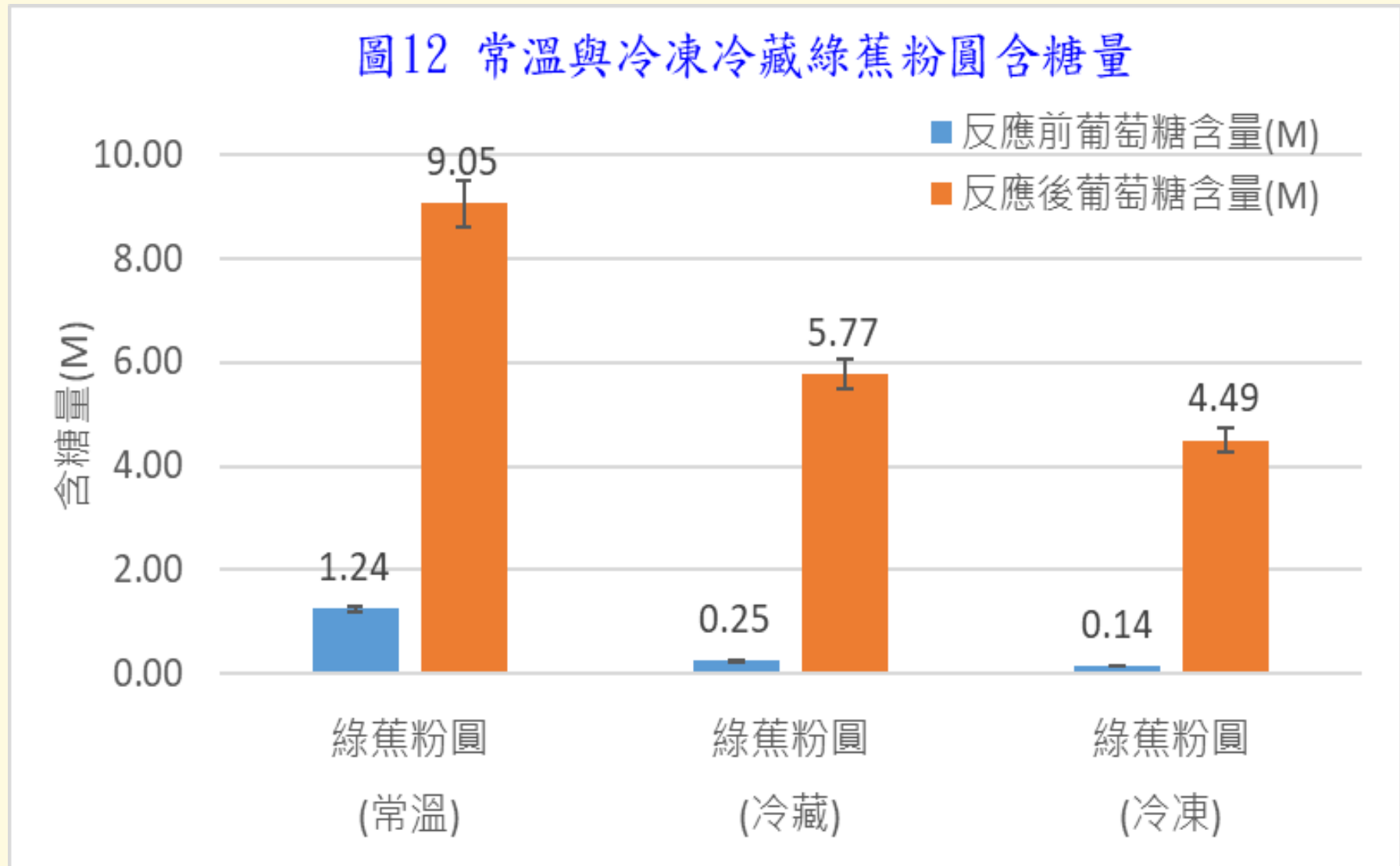
- 含糖量:0%橄欖油綠蕉粉圓>冷藏綠蕉粉圓≡冷凍綠蕉粉圓，可見製作綠蕉粉圓時添加1%和3%橄欖油有效增加澱粉的抗性，明顯較不易被澱粉酶分解，且在揉製粉圓時更滑順好搓揉成粉圓。



照片 8 添加橄欖油之綠蕉粉圓含糖檢測結果(作者拍攝)

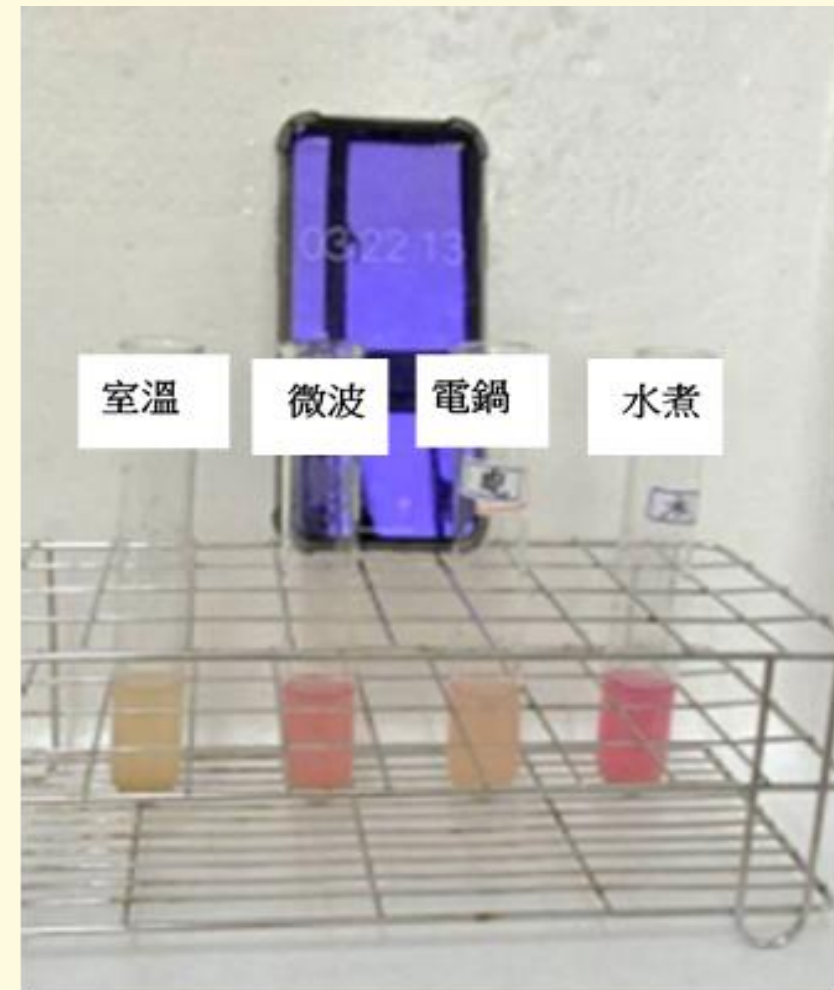
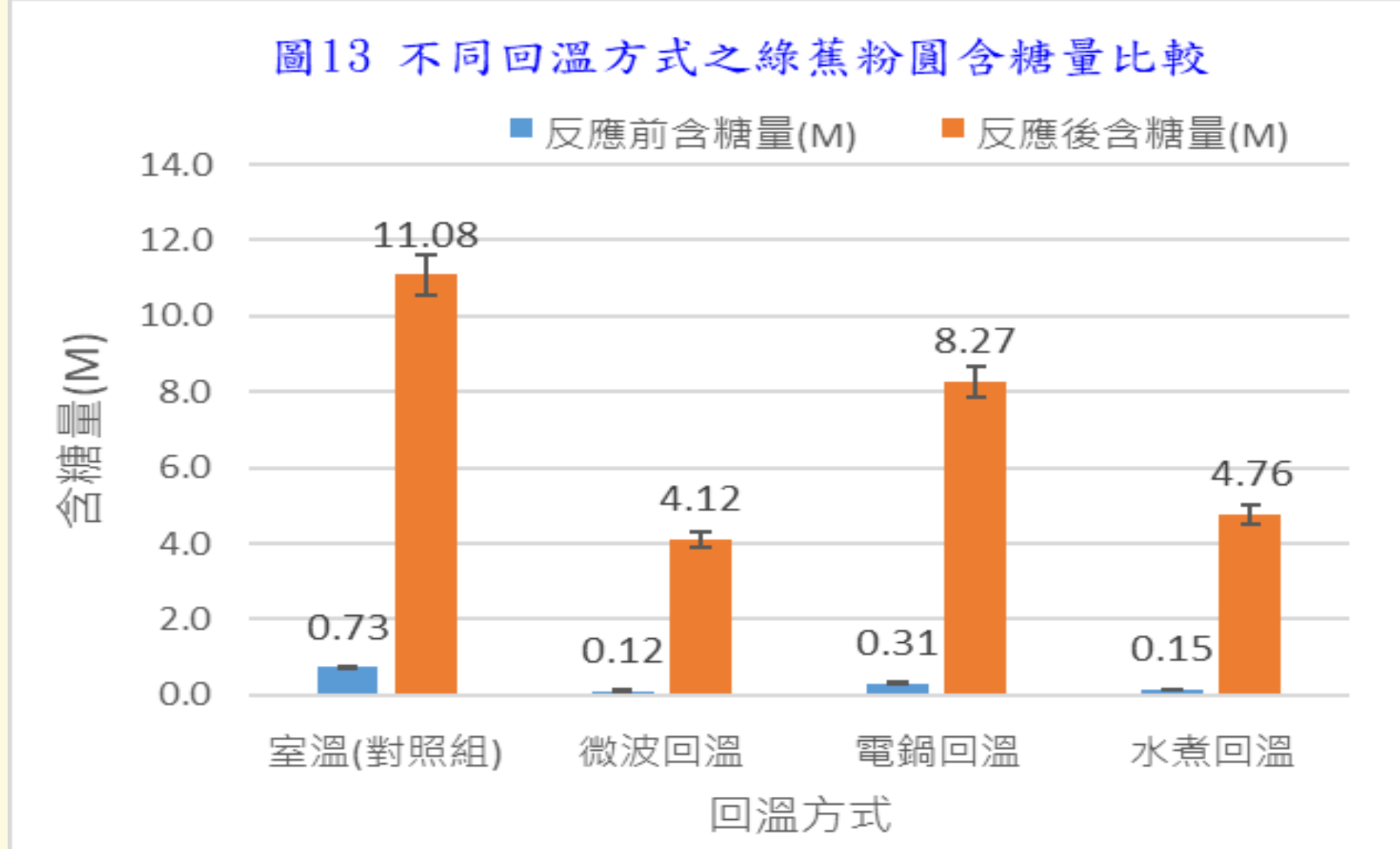
四、不同保存與回溫方式對綠蕉珍珠的影響

(一) 冷藏、冷凍與常溫粉圓含糖量檢測



照片 9 不同保存方式的綠蕉粉圓含糖檢測結果(作者拍攝)

(二) 冷凍後回溫方式含糖量比較



照片 10 不同回溫方式粉圓含糖檢測結果(作者拍攝)

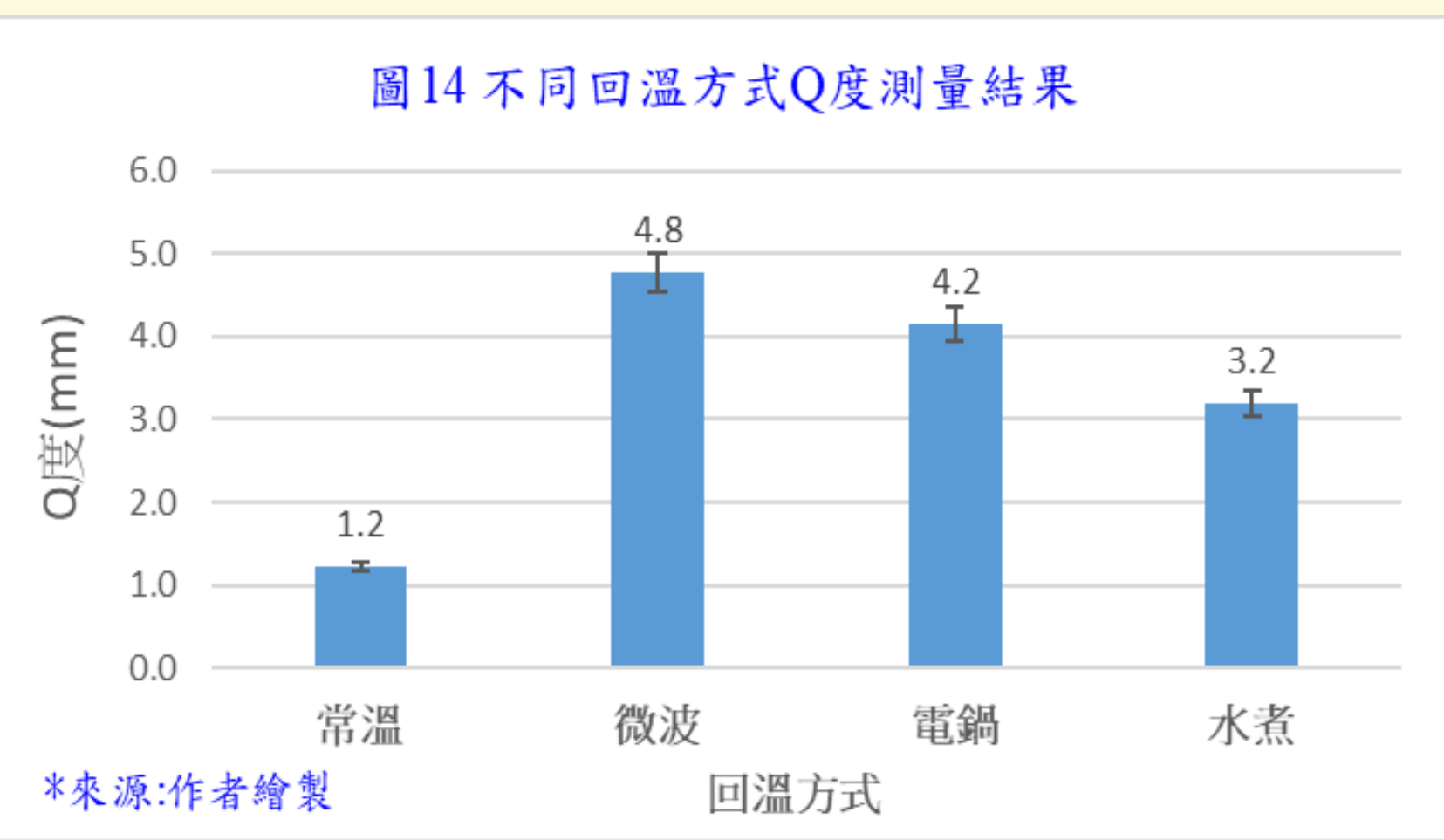
- 將冷凍綠蕉粉圓以室溫、微波、電鍋蒸、水煮加熱回溫後，含糖量：常溫>電鍋>水煮>微波回溫的綠蕉粉圓，可見若以冷凍或冷藏保存綠蕉粉圓後以微波或水煮較能保持澱粉的抗性。

(以上圖1-13來源:作者繪製)

(三)珍珠粉圓冷凍回溫後口感是否也能回復?



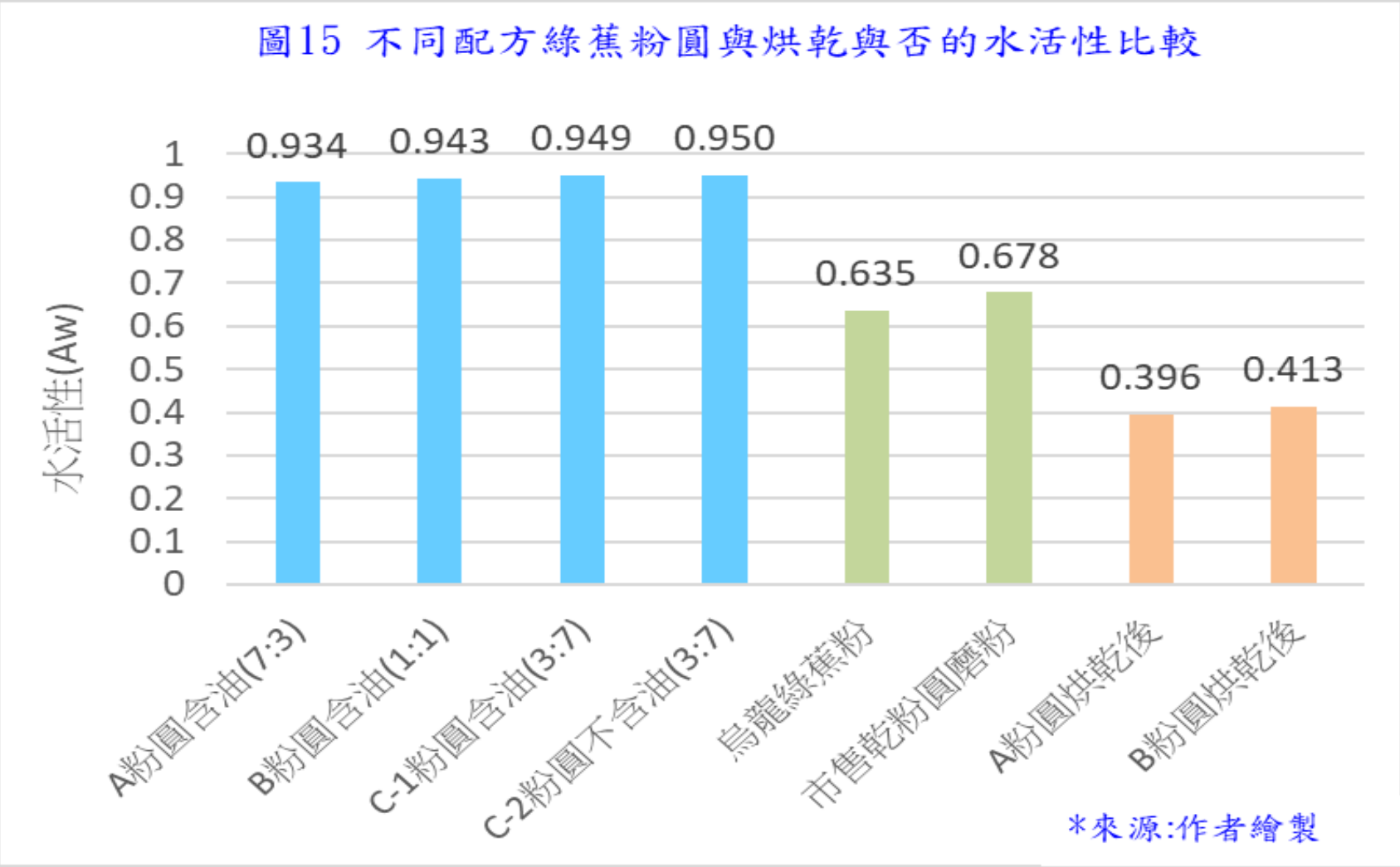
照片 11 以砝碼下壓測量不同回溫方式軟 Q 度(來源:作者拍攝)



*粉圓的Q度=
(回復刻度-下壓刻度)
➢ Q度測量結果:
微波>電鍋>水煮>常溫
綠蕉粉圓冷凍後若要回溫以微波和電鍋回溫的Q度最佳。

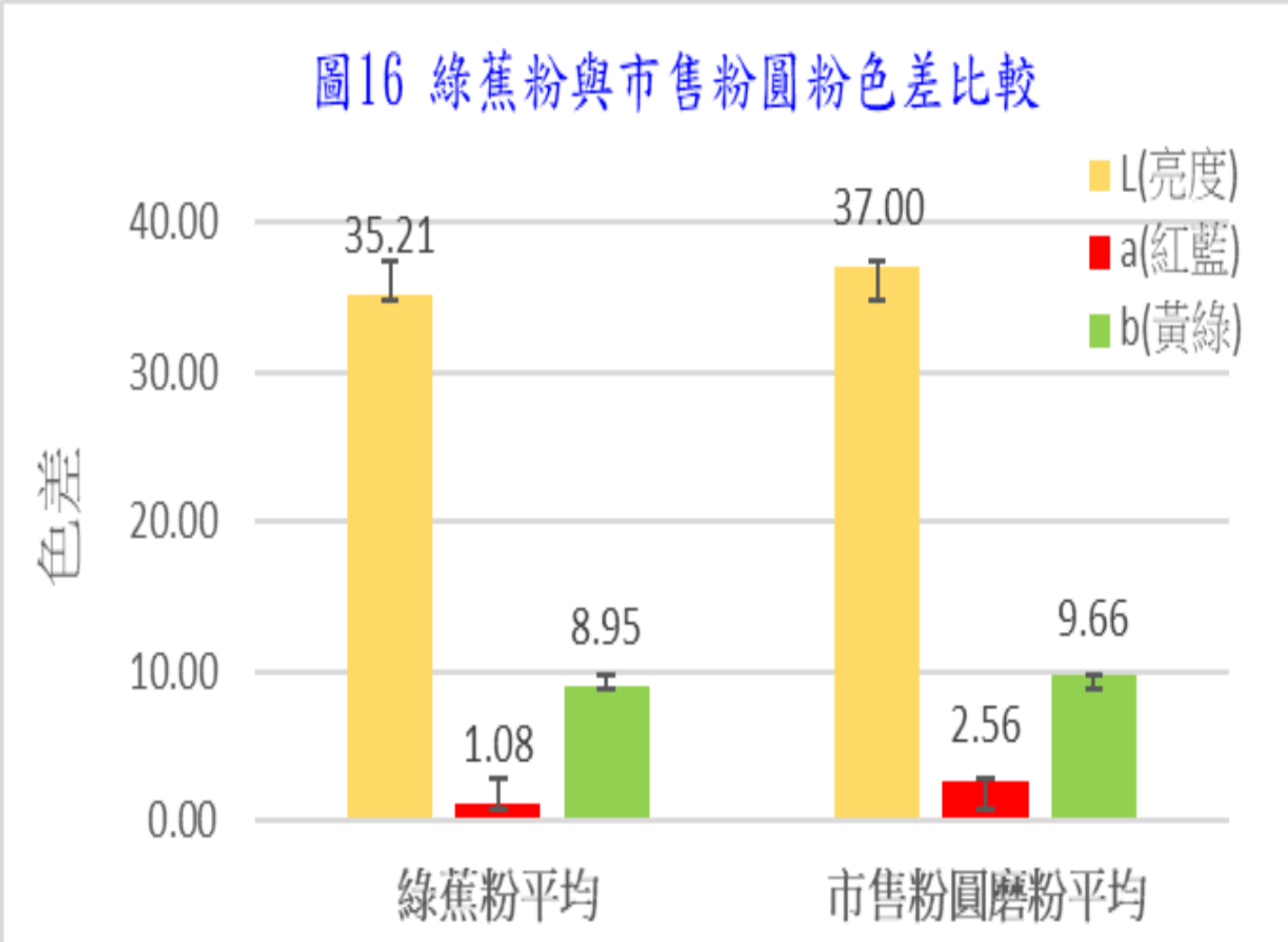
五、自製綠蕉珍珠和市售珍珠粉圓的特性分析

(一)水活性分析

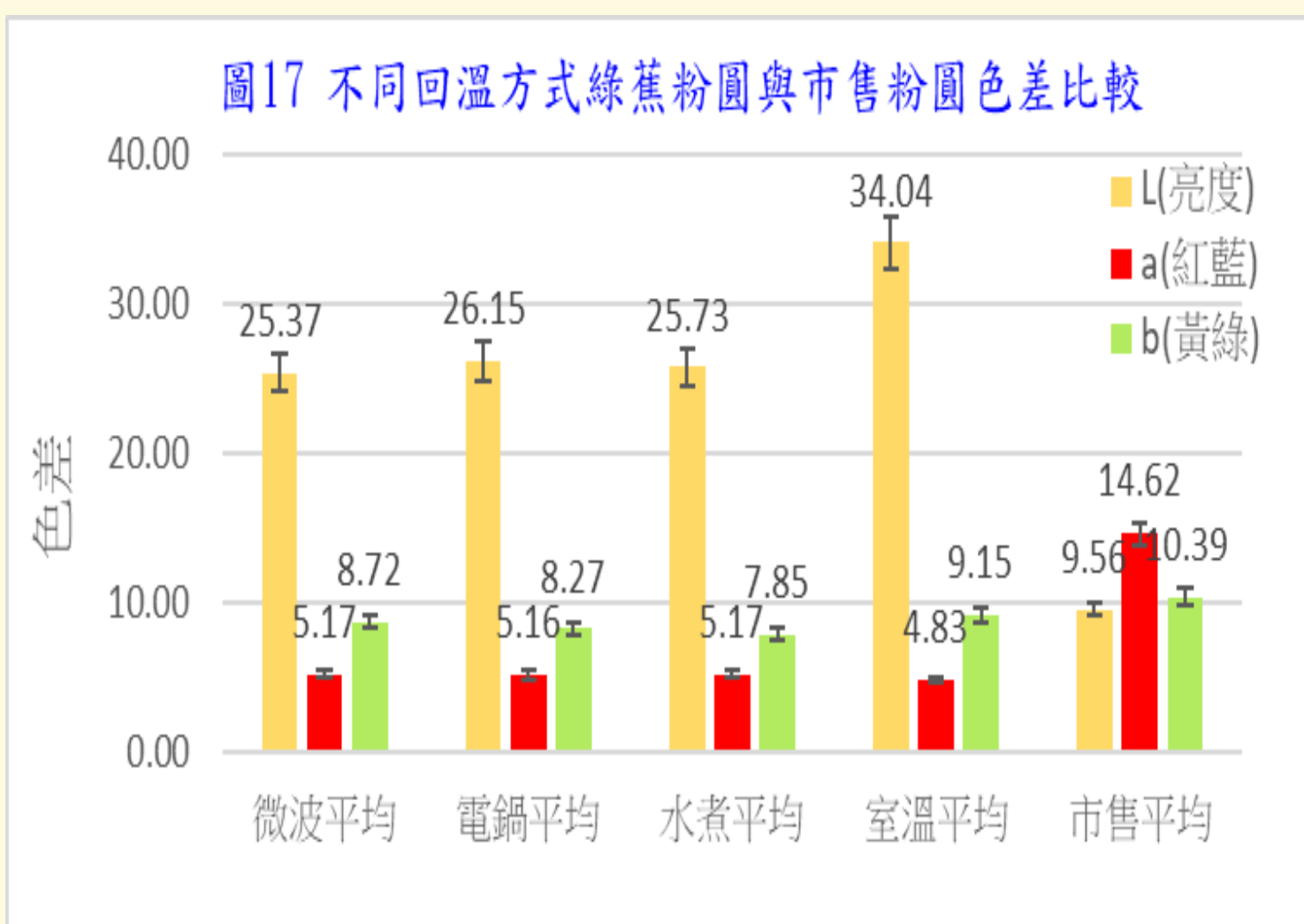


➢ 綠蕉粉圓經乾燥處理後具備更佳保存穩定性與抗腐敗能力。粉圓經過烘乾處理水活性顯著下降，烘乾技術為延長保存期、抑制微生物生長的重要方法。

(二)色差分析

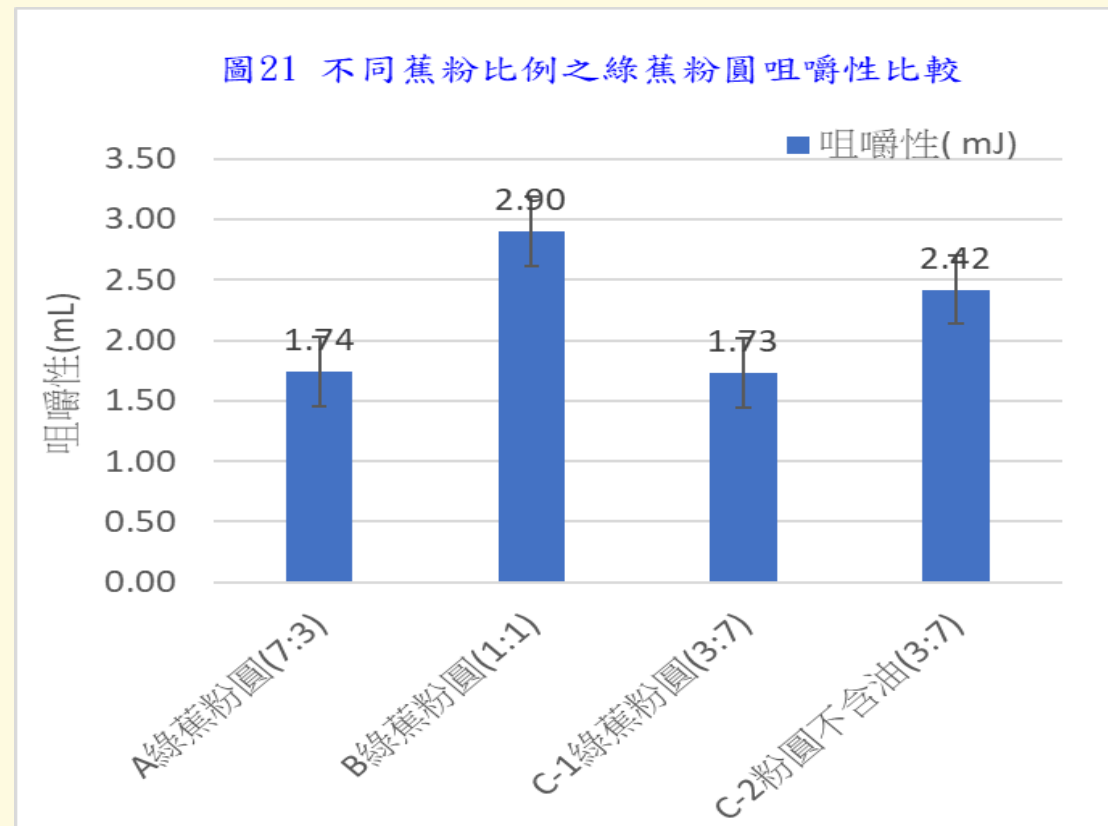
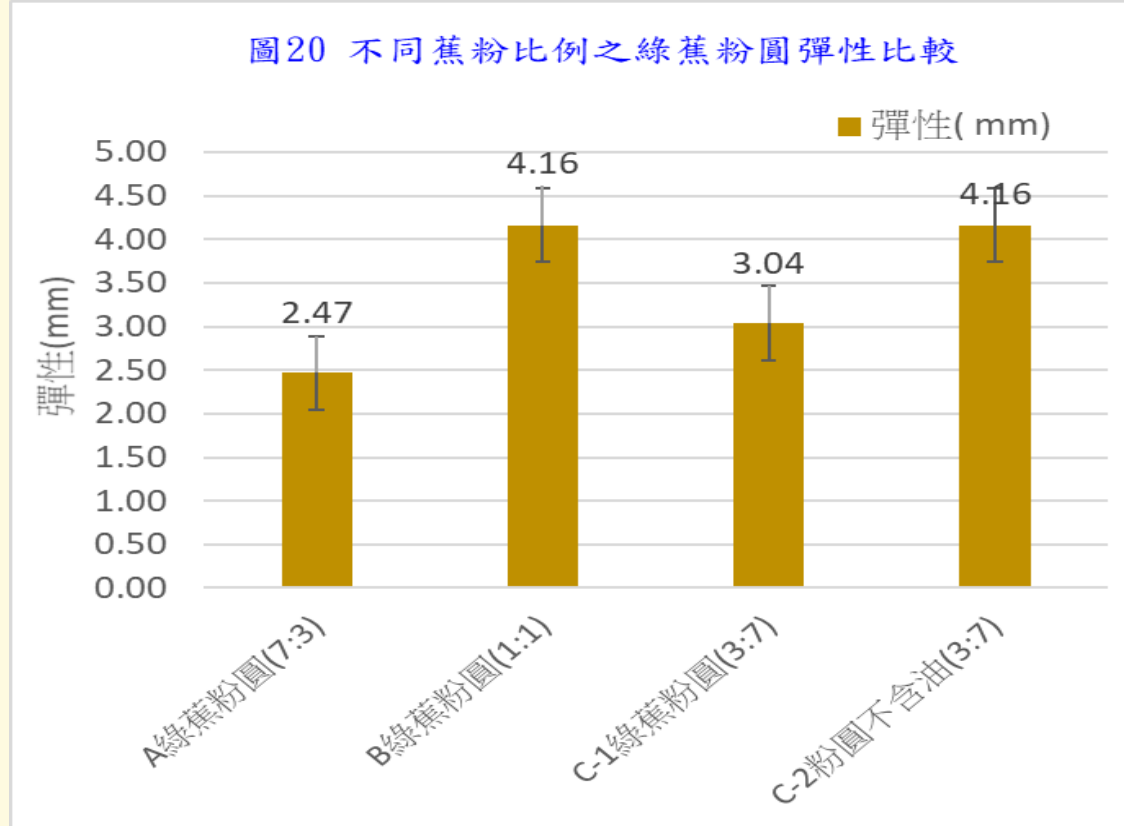
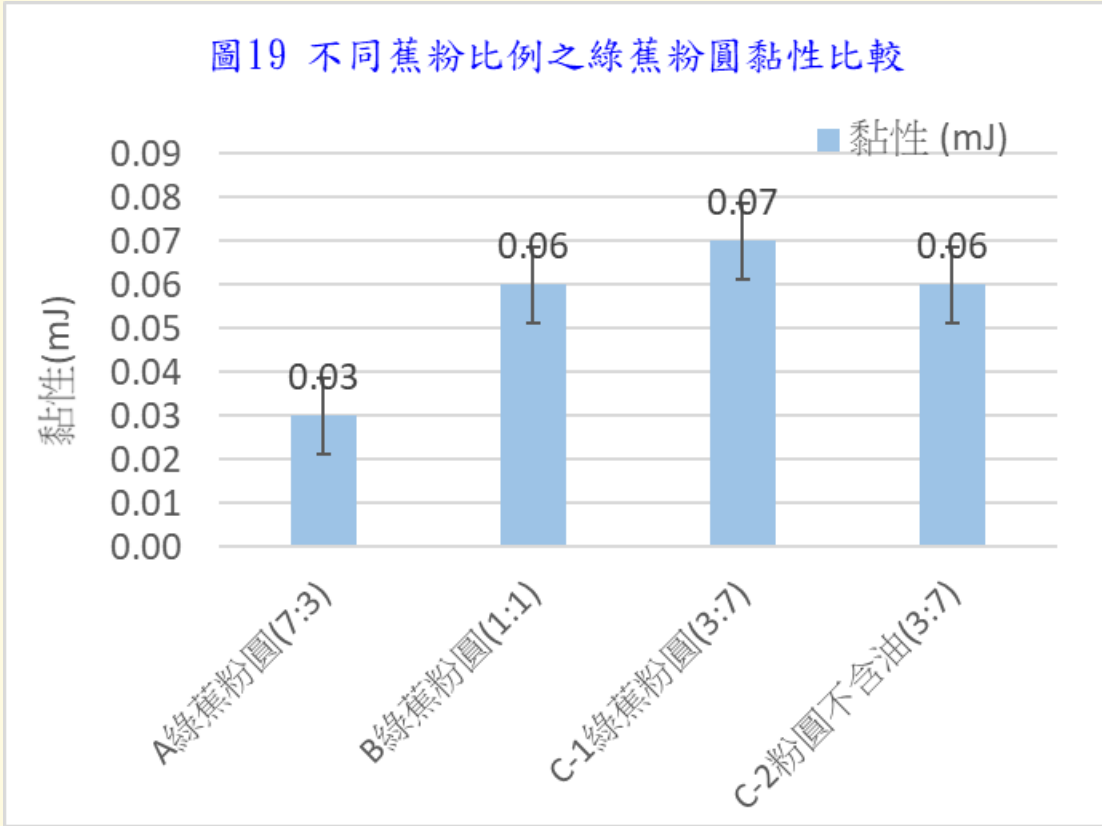
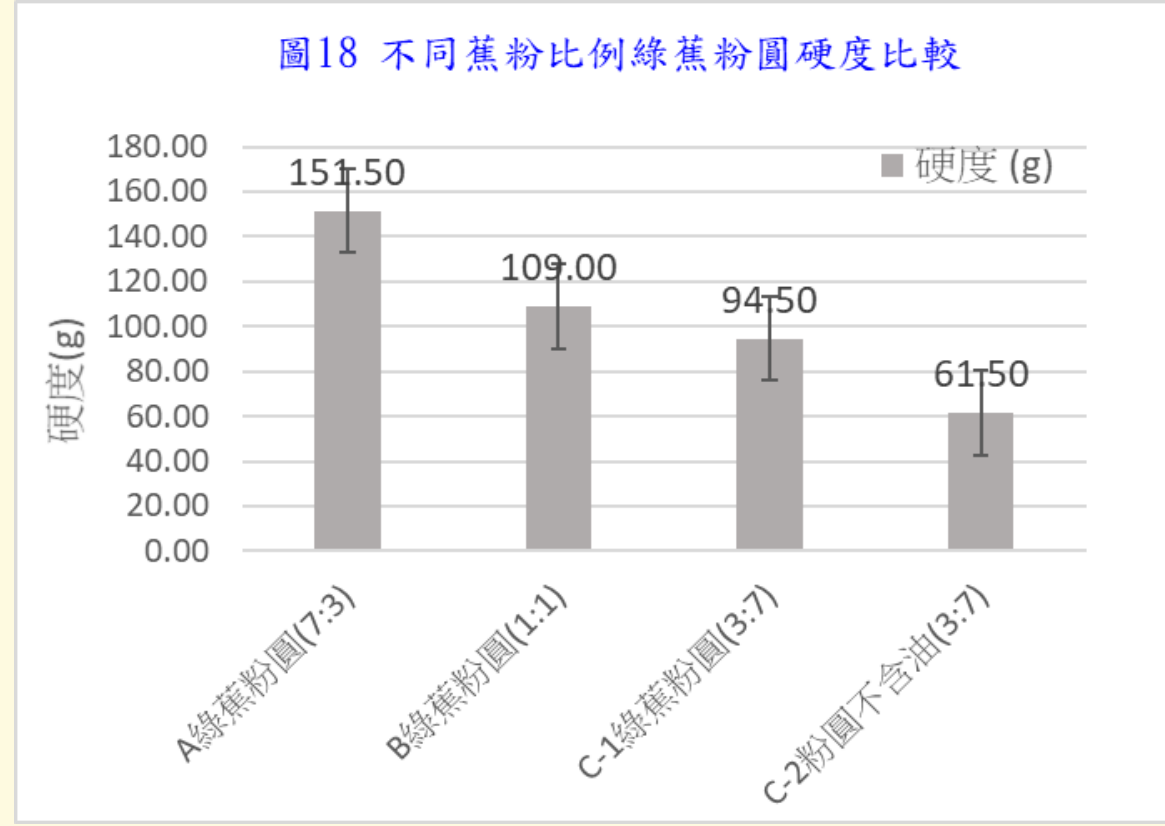


➢ 從平均L值發現天然的綠蕉粉圓顏色較為明亮，煮成粉圓冷凍無論以何種方式回溫，綠蕉粉圓亮度都比市售粉圓來得高，紅與黃色澤均低於市售粉圓。a與b值顯示市售粉圓較為暗沉、偏紅色系，市售粉圓可能含有其他添加物。



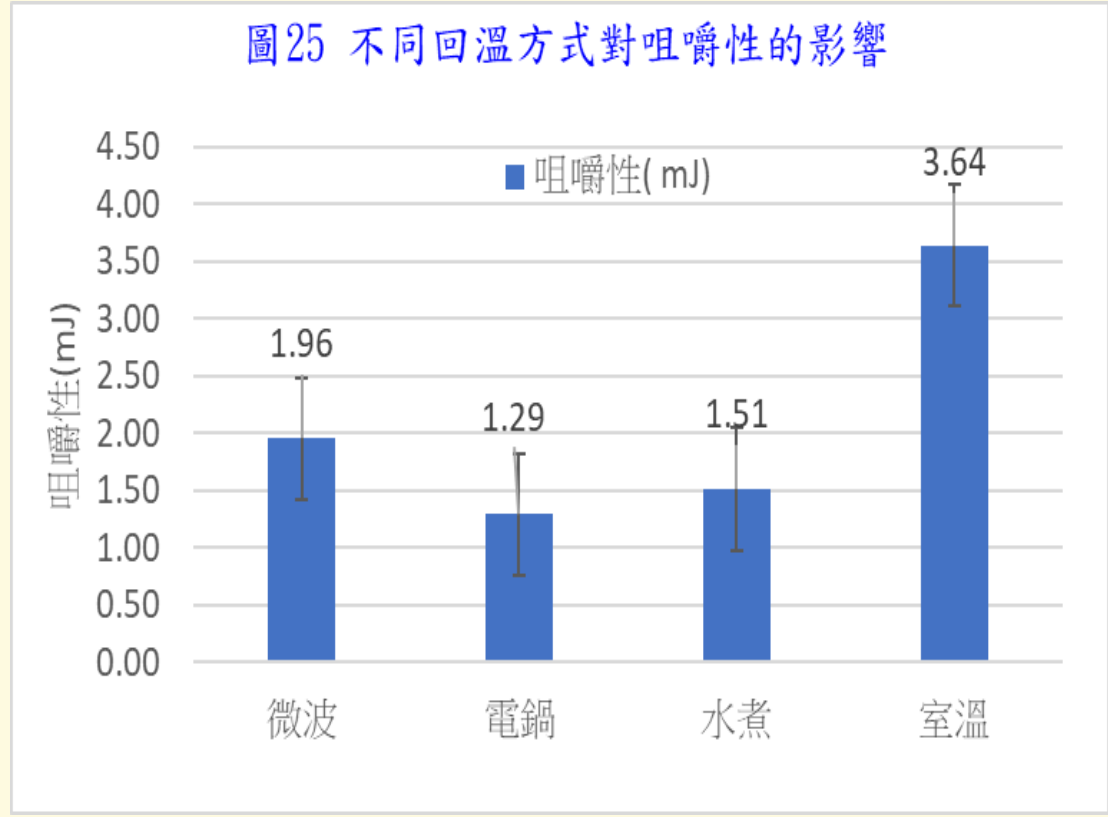
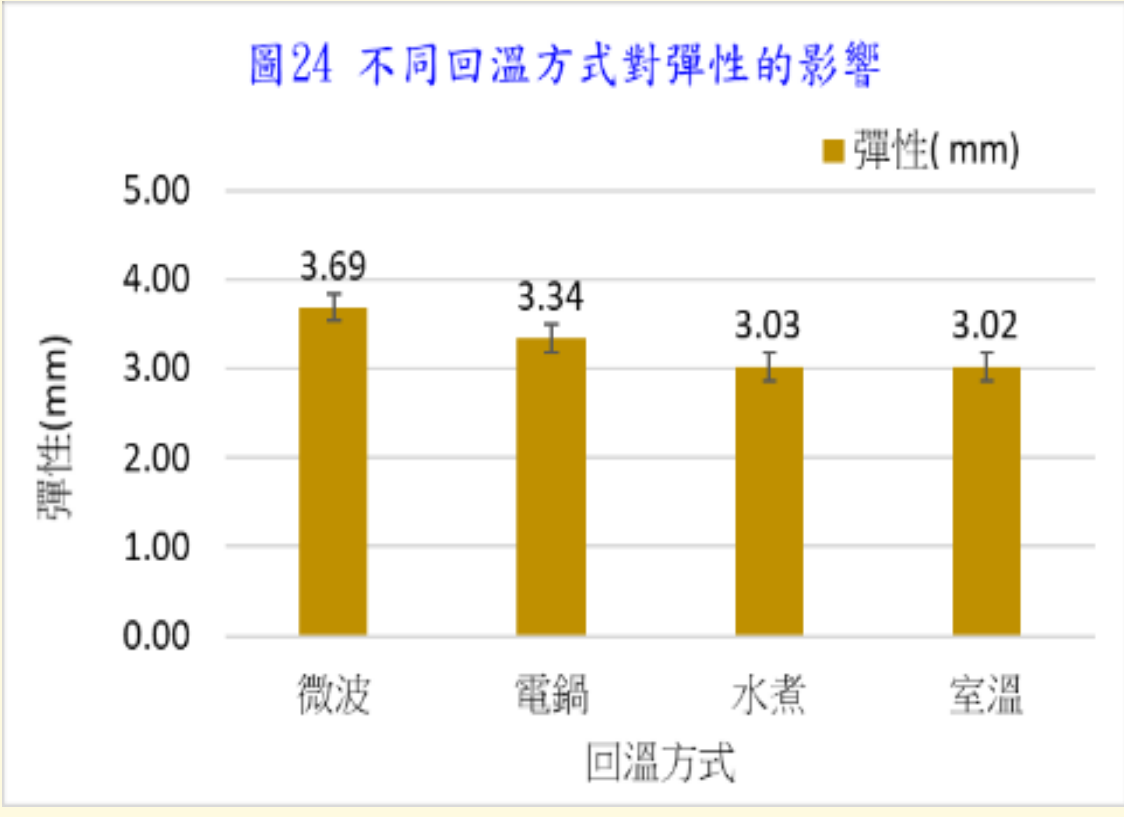
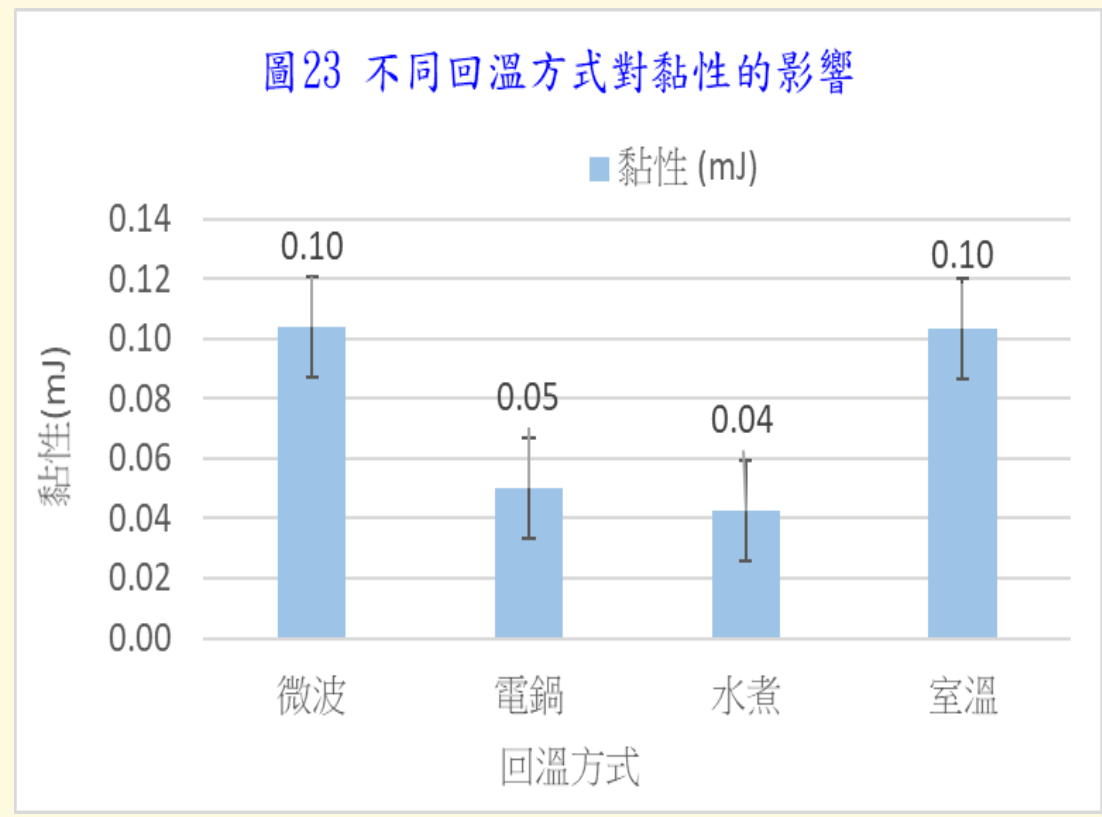
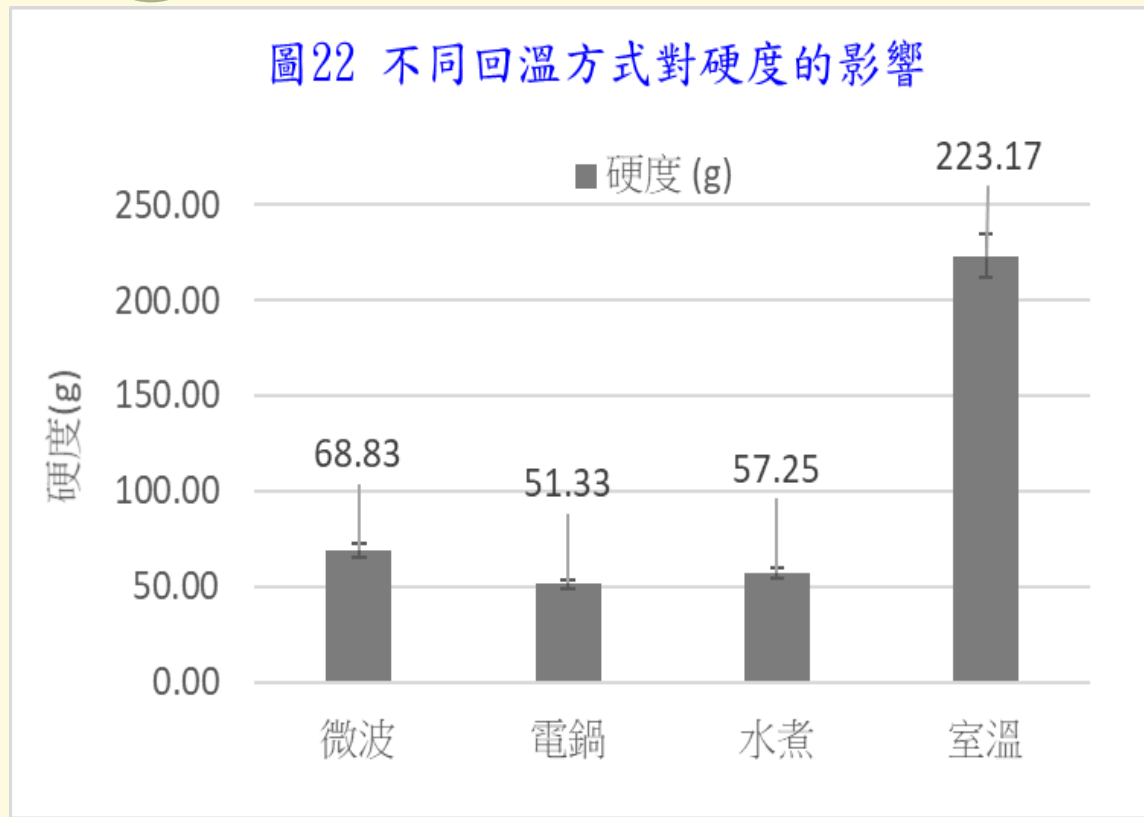
(三)物性分析 (以Brookfield CT3測得)

1. 不同蕉粉比例與添加油脂的物性比較



➢ 綠蕉粉比例越高硬度越高、黏性越低；而彈性和咀嚼性則以B粉圓也就是綠蕉粉與太白粉1:1混合製作的綠蕉粉圓最佳。C粉圓添加1%橄欖油後硬度和黏性變大、彈性和咀嚼性則變小，顯示澱粉與脂質複合體形成會改變結構穩定性與口感。

2. 不同回溫方式的物性比較



➢ 三種回溫方式彈性差異雖不大，但硬性、黏性和咀嚼性均較室溫回溫差，若時間足夠可以室溫自然回溫，若是冷凍粉圓則建議以微波方式回溫會比電鍋和水煮較能維持彈性、黏性與咀嚼性等Q彈口感。

(以上圖14-25來源:作者繪製)

伍、討論與結論

- 一. 以過錳酸鉀檢測還原糖含量檢測評估綠蕉澱粉的抗性。
- 二. 有控制糖分攝取的需求飲食者建議食用綠蕉含有較高的抗性澱粉和膳食纖維。
- 三. 50℃或80℃低溫烘乾磨粉可延長綠蕉保存時間並保留澱粉的抗性。
- 四. 建議含皮烏龍或五號香蕉粉作為粉圓的原料抗性較佳。
- 五. 綠蕉粉:太白粉=3:7比例混合，添加1%~3%的橄欖油!
- 六. 冷凍或冷藏可增加綠蕉粉圓澱粉的抗性，以微波方式回溫較能維持彈性、黏性與咀嚼性等Q彈口感。
- 七. 以《WinLabel 專業標籤編輯軟體》製作綠蕉珍珠產品的食品標籤，供消費者選擇時參考。
- 八. 綠蕉珍珠成本是市售粉圓的0.53倍具市場潛力和價值，讓原本因口感不佳的綠蕉從「剩食」變「勝食」，讓大家享受美食的同時，也能兼顧健康不「蕉綠」!

◆ 本結果統整如圖27研究心智圖搭配我們親手繪製的可愛諧音梗綠蕉貼圖，藉此讓大家更清楚我們的實驗成果，也希望大家能喜歡家鄉香蕉園的綠蕉食品!

陸、參考文獻

- 一. Resistant starch as prebiotic: A review. Fuentes-Zaragoza et al., 2011 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/star.201000099>
- 二. Green banana resistant starch: A promising potential as functional ingredient against certain maladies. Food Sci Nutr. Haroon Munir et al., 2024 <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11167165/>
- 三. 陳愛禮等六人,「飯」科學-探討米飯的抗性澱粉形成條件,中華民國第62屆中小學科學展覽會,國小化學科,臺中市私立華盛頓國民小學。
- 四. 楊恭守等五人,拍「飯」定案,「條」出健康,中華民國第62屆中小學科學展覽會,國小應用科(二),新竹縣竹北市興隆國民小學。
- 五. 張愛涵等三人,珍珠新「葛」命-「抗性」珍珠生成之道,中華民國第61屆中小學科學展覽會,高中組農業與食品學科,彰化女中。
- 六. 何謂「食用化製澱粉」? <https://www.chshb.gov.tw/node/219113894?gsc.tab=0>
- 七. 吃白飯熱量能減半!加椰子油放冰箱 <https://www.top1health.com/article/23745>
- 八. Rice Calories Can Be Cut in Half With This Trick <https://time.com/3754097/rice-calories-resistant-starch/>
- 九. 吃冷飯能減肥? 抗性澱粉在紅什麼? <https://www.twhealth.org.tw/journalView.php?cat=52&sid=891&page=2>
- 十. Yuan, D., Zhang, Y., Chen, X., Xu, F., Zhu, K., Wang, J., & Zhang, Y. (2025). Physicochemical, Structural, and Digestive Properties of Green Banana Starch from Five Chinese Mutant Banana Species. *Foods*, 14(4), 706. <https://doi.org/10.3390/foods14040706>
- 十一. 張博翔、陳淑德,葛鬱金/樹薯粉圓原料製備與品質分析,台灣農業化學與食品科學第60(4),171-180,民國111年。



圖27 研究心智圖與綠蕉珍珠貼圖(作者繪製)

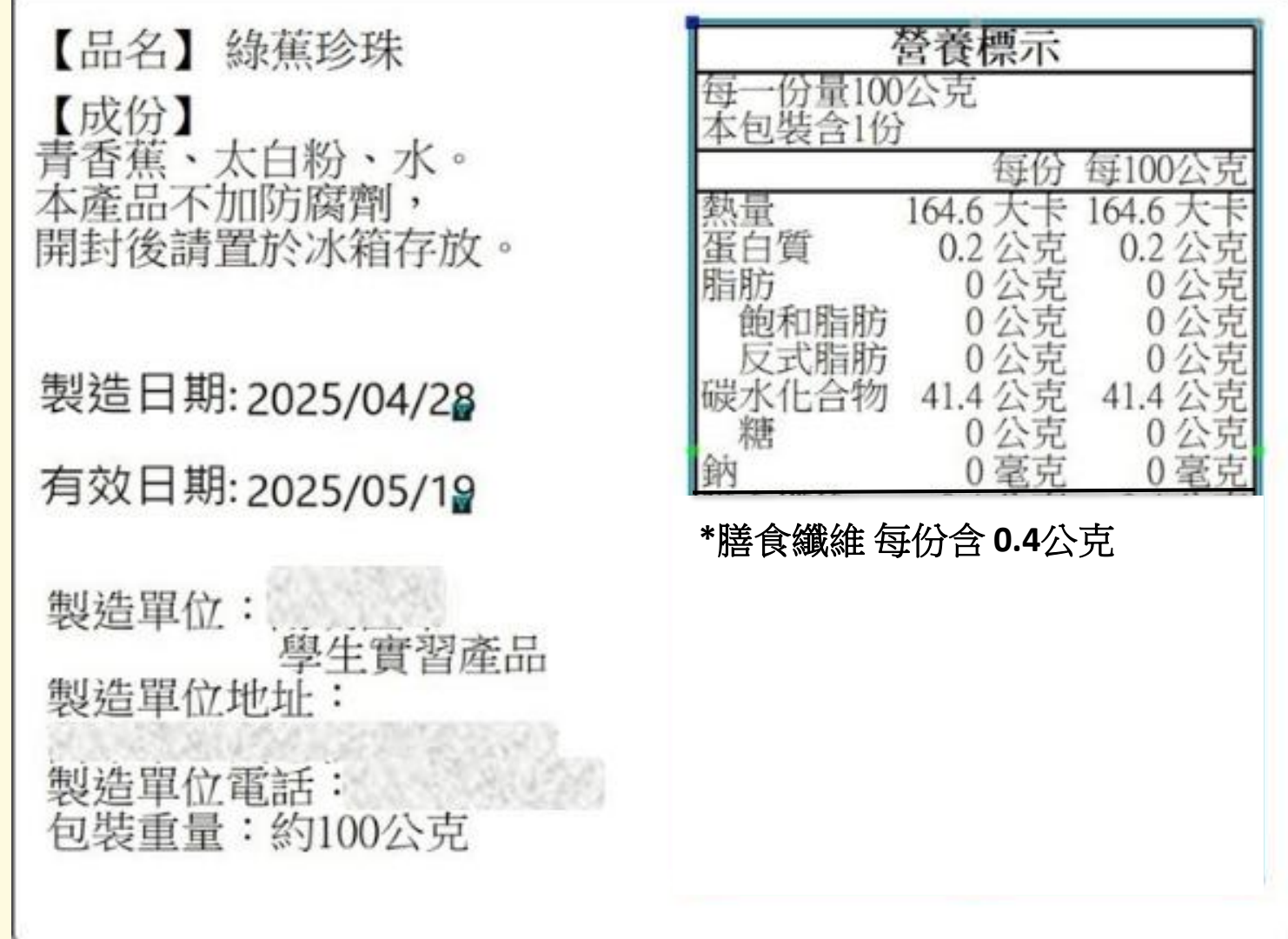


圖26 綠蕉珍珠營養標示(作者繪製)

本作品之所有照片、圖表、心智圖、繪圖皆由作者本人拍攝及繪製