

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科(二)

第三名

082911

麻糬進化論—自製改良麻糬於口感與消化特性
之比較研究

學校名稱： 高雄市三民區陽明國民小學

作者： 小六 洪冠傑 小六 林庭仔 小六 黃祺霈	指導老師： 薛育青 鍾乙豪
---	-----------------------------

關鍵詞： 麻糬改良、血糖指標、澱粉水解與消化特性
評估

摘要

為了研發更有益生理機能且口感接近市售麻糬的改良麻糬，以嫩豆腐、全麥麵粉、菊苣纖維粉，取 20%、30%、40%與 50%的比例替代部分糯米粉，製作出 12 種改良麻糬，測量其物理性質，找出最接近市售麻糬的口感，並**建立麻糬水解葡萄糖化指標、血糖評估指標**進行檢驗，發現：一、50%全麥麵粉麻糬的彈性與展性、40%全麥麵粉麻糬的延性、20%纖維粉麻糬的黏性最接近市售麻糬；二、豆腐麻糬的熱量可降低最多，適合需減重者。三、市售麻糬在 α -澱粉酶中水解最快，但 20%纖維粉麻糬最利於吞嚥，適合幼兒或年長者；四、20%纖維粉麻糬在胃裡最快水解成食糜，適合胃功能不佳者；五、50%全麥麵粉麻糬血糖穩定度最佳，適合需控糖者。

壹、前言

一、研究動機

麻糬是一種廣受喜愛的傳統點心，其 Q 彈的口感搭配花生粉、糖粉，或內餡如紅豆、綠豆、草莓等，深受大眾喜愛。然而，在享用麻糬時，許多家長會提醒孩子避免食用過量，主要因為麻糬較難消化，可能引起脹氣。此外，營養專家與醫學研究也指出，麻糬具有易噎食、高升糖、高熱量及難消化等問題，特別是對於吞嚥能力較弱的老人與幼童、糖尿病患者、消化功能較差者，以及有體重管理需求的人群而言，並非理想的食品選擇。因此，本研究旨在開發一種更有益生理機能的麻糬。

查閱相關文獻後發現，麻糬的 Q 彈口感主要來自於糯米中高比例的支鏈澱粉，然而支鏈澱粉同時也是導致麻糬不易消化、快速升糖的主因。因此，本研究將**選擇數種較為有益生理機能的材料**，取代部分糯米粉，降低支鏈澱粉的比例，製作出不同配方的麻糬，並透過實驗測試其物理性質與消化特性。**希望能研發出口感接近市售麻糬且有益生理機能的麻糬，具備易吞嚥、低升糖、低熱量、易消化的優點，使其成為更適合各年齡層消費者的國民美食。**

二、研究目的

本研究旨在探討市售麻糬與不同配方自製麻糬在物理性質、消化特性的差異，並建立相關指標進行檢驗。具體目標包括：

- (一) 建立「麻糬水解葡萄糖化指標」與「麻糬影響血糖的升降指標」
- (二) 研製以不同比例替代材料的自製麻糬，並測試其物理性質與市售麻糬進行比較，以找出口感最接近市售麻糬的自製麻糬
- (三) 比較市售麻糬與自製麻糬在 α -澱粉酶作用下水解葡萄糖化表現

(四) 評估市售麻糬與自製麻糬在胃內分解成食糜的水解差異程度

(五) 推估市售麻糬與自製麻糬對人體血糖影響的差異表現

三、名詞定義

(一)澱粉水解葡萄糖化：將澱粉透過水解反應，分解為葡萄糖的過程(劉維，2020)。本研究是指：麻糬經過唾液澱粉酶或 α -澱粉酶水解後，還原為麥芽糖、果糖、葡萄糖的過程，可透過加入本氏液後的變色反應觀察水解葡萄糖化程度，顏色越接近磚紅色，水解葡萄糖化程度越高。

(二)定量分析：指測定氣體、液體、固體樣品或混合樣品之組成元素、官能基或化合物等精確含量之分析方法(林惠中，2021)。本研究是指：利用離心機的分離原理，將混合物中不同成分(如食糜、氧化鈣沉澱物)分離出來並進行沉積物高度測量，進而分析其濃度、含量或比例。

貳、文獻回顧

一、麻糬黏性與 Q 彈口感的原因

麻糬的黏性與 Q 彈口感主要來自於糯米中含量極高的支鏈澱粉。澱粉可分為直鏈澱粉與支鏈澱粉兩種類型，其中支鏈澱粉呈樹枝狀結構，具有較高的黏性與延展性。當糯米加熱時，澱粉顆粒會膨脹使其黏度上升，若經過反覆搗打，支鏈澱粉的分子鏈進一步交聯，形成更緊密的結構，使麻糬更加黏稠且富有彈性(呂孟凡，2021)。

二、麻糬在口腔中被分解的機制

麻糬在口中被分解的機制包含物理性分解、化學性分解。物理性分解包含牙齒反覆咀嚼，使得麻糬體積變小、表面積增加，並與唾液混和成為食糲；化學性分解則是由唾液澱粉酶，催化澱粉的水解，使澱粉成為小分子的多醣或麥芽糖，然後再分解成葡萄糖(Chihhsiang, 2015)。

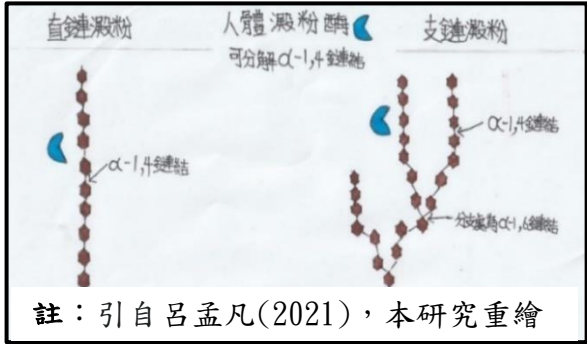
三、麻糬在胃裡被水解成食糜的機制

麻糬經咀嚼進入胃後，胃液就會分泌出來，胃液由「胃酸」、以胃蛋白酶為主的「消化酵素」，以及「黏液」所組成。胃酸的主成分為鹽酸(pH 值約在 1-1.5 之間)，有助於食物的分解，也可殺死部分細菌(島田英昭，2021)。胃就像食物調理機一樣，透過肌肉收縮，將麻糬與胃液混和並絞碎成黏稠「食糜」後，再送往十二指腸(池谷敏郎，2020)。

四、麻糬難以消化且為高升糖食物的原因

支鏈澱粉比例高是造成麻糬難消化、高升糖的主因。如圖 1，支鏈澱粉的多分支結構中，每個六角形為一個葡萄糖分子，其直鏈處由 α -1,4 鍵結，但分支處由 α -1,6 鍵結。人體的唾液澱粉酶和胰澱粉酶可以專門分解 α -1,4 鍵結，卻無法分解 α -1,6 鍵結。支鏈澱粉的分支多，所以與澱粉酶接觸面積比大，因此把麻糬吃下肚後，分支上的 α -1,4 鍵結會很快被分解消化，導致血糖快速上升；但 α -1,6 鍵結處卻無法被人體澱粉酶分解，而無法消化的部分，會在消化道停留，是脹氣最大原因(呂孟凡，2021)。

圖 1
唾液澱粉酶分解支鏈澱粉、直鏈澱粉鍵結



五、血糖與二氧化碳濃度的關係

當血糖濃度上升時，細胞會吸收更多的葡萄糖進行代謝，透過有氧呼吸作用來產生能量（ATP）。在此過程中，葡萄糖與氧氣結合，產生能量、水和二氧化碳（CO₂）。因此，血糖濃度越高，細胞進行有氧呼吸的頻率越高，產生的 CO₂ 也相對增加。這些代謝產生的 CO₂ 會透過血液運送至肺部，導致呼氣中的 CO₂ 濃度上升(Lin, C.-H.等人，2020)。

六、糯米粉、嫩豆腐、菊苣纖維粉與全麥麵粉的介紹

近年已有教學影片示範以嫩豆腐取代部分糯米粉製作長者專用「湯圓」，顯示嫩豆腐或可應用於麻糬製作。此外，坊間常以玉米粉或太白粉部分取代糯米粉來增加口感，但這兩者皆屬高升糖精緻澱粉。相較之下，全麥麵粉富含膳食纖維與多種營養素（吳靜宜，2024），為更健康的替代選擇。此外，近年倍受關注的菊苣纖維粉為低熱量水溶性膳食纖維，具天然微甜與凝膠口感，不僅有益腸道健康（吳靜宜，2024），也具備成為麻糬原料的潛力。基於上述理由，本研究擬以嫩豆腐、全麥麵粉與菊苣纖維粉部分取代糯米粉，開發適合不同健康需求者食用的創新麻糬產品。以下分述各原料之成分與營養特性，如表 1。

表 1

糯米粉、嫩豆腐、菊苣纖維粉與全麥麵粉的成分與營養特性

品項	成分	營養特性	用途與口感
糯米粉	糯米製成的粉末	支鏈澱粉含量將近 100%。被視為是高升糖、高熱量、難消化的食材	做成年糕、湯圓、麻糬等顏色白皙、黏性強的食物
嫩豆腐	水、黃豆、葡萄糖酸內脂	含大量水分，富含蛋白質，屬於低卡、低脂食品	口感細緻滑嫩，有「絹豆腐」的美名
菊苣纖維粉	又稱菊糖、菊寡糖，萃取自菊苣植株根	是低卡的水溶性膳食纖維，豐含果寡糖，無法被人體吸收但可促進益生菌生長與腸胃蠕動。可增加飽足感而減少熱量攝取。	微甜，除了可以作為低熱量的甜味劑、也可以使食物易形成凝膠、增加黏度

品項	成分	營養特性	用途與口感
	部，由果糖分子聚合而成	水溶性纖維也有助於延緩葡萄糖的吸收速度，進而降低血糖的上升幅度	
全麥麵粉	由小麥研磨、篩分而成，保有完整胚乳、麩皮及胚芽等成分，又稱「全粒粉」	富含維生素 B1、木酚素、谷維素、非水溶性纖維，有助於降低血糖波動並提升飽足感。營養價值高，具有抗氧化、降低血膽固醇及自由基之功效，可預防慢性病。能增加糞便體積、促進腸道蠕動，可預防便秘、降低大腸癌風險	與麵粉相同，可以做成各種麵食類。因保留小麥的胚乳、麩皮及胚芽等成分，因而營養價值比精緻麵粉高

註：本表關於水溶性纖維粉、非水溶性纖維介紹引自吳靜宜(2024)

七、與本研究主題相關的科展研究

表 2

與本研究主題相關的歷屆科展研究

文獻研究名稱 (來源)	文獻研究重點與發現	與本研究有關的部分
誰是口水王——唾液澱粉酶對澱粉的消化作用(全國科展第 51 屆，國小化學科)	探討澱粉消化與不同身材人的關係，發現： 1. BMI 指數較高及體重較重的人唾液分解澱粉的效率較佳 2. 溫度較高時澱粉分解較快 3. 酸性環境下澱粉分解速度高於鹼性環境。唾液澱粉酶加熱後會失去活性	本研究參考文獻中收集唾液的方法：受試者於早餐後刷牙漱口，實驗前一節下課喝 300ml 溫水，直至實驗前盡量不說話、不攪動舌頭，使唾液不生泡沫。
運動對唾液澱粉酶活性的影響(高雄市科展第 57 屆，國中生物科)	探討體育班學生及一般學生唾液澱粉酶之活性，發現： 1. 體育班學生唾液分解澱粉能力較一般生佳，且鈣離子濃度高於一般學生 3. 運動中及運動後，澱粉被唾液分解情形大於運動前，顯示運動能促進澱粉分解	參考文獻研究中以本氏液顏色變化測定澱粉水解為還原糖的程度，但改良僅以視覺判斷顏色的方法：以小畫家軟體分析試管色卡的 R 值，用表示本氏液中氧化亞銅被釋出的程度。
「飯」科學~探討米飯的抗性澱粉形成條件(全國科展第 62 屆，國小化學科)	探討米飯產生抗性澱粉的影響變因，發現： 1. 市售 α -澱粉酶濃度為 0.5% 時，其活性與人體唾液澱粉酶最接近 2. 直鏈澱粉含量越高的米經過 5°C 儲藏後抗性澱粉增加，且隨者儲藏時間增加而變多 3. 添加油、醋及食鹽增加抗性澱粉的形成	本研究參考文獻研究中關於市售 α -澱粉酶濃度的發現： α -澱粉酶濃度在 0.5% 時，其活性最接近人體唾液澱粉酶。故以此濃度進行實驗 1-1、實驗 3。
攜帶型直笛檢測器研發與呼出氣體分析(全國科展第 60 屆，高中化學科)	1. 發展攜帶型直笛檢測器(簡稱 FRD)分析呼氣，用以換算呼氣中 CO ₂ 濃度 2. 以 FRD 取代侵入性血糖計，作為找出擁有糖尿病潛在病因的人	參本研究考文獻研究中以氣袋收集人體呼氣的方法，唯文獻研究以泡冰水的方式排除水蒸氣。再推入另一個集氣袋。但本研究不需排除呼氣中的水蒸氣，故省略此步驟。





參、研究設備及器材

一、自製麻糬的食材、設備與標準化製作流程

- (一) 食材：水磨糯米粉(日○牌)、菊苣纖維粉(三○士)、全麥麵粉(水○牌)、嫩豆腐(中○食品)、葵花油(泰○牌)
- (二) 器材：平底鍋、鍋鏟、卡式爐、計時器、電子秤
- (三) 標準化製作流程，如圖 2 所示

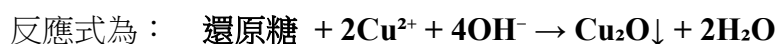
圖 2

自製麻糬標準化製作流程圖(所有照片由研究者拍攝)

			
1. 粉: 水=7:12 的比例調製均勻粉漿	2. 平底鍋小火加熱 10 秒後，再倒入 10 克葵花油	3. 油加熱 5 秒後，將粉漿倒入鍋內，並以鍋鏟慢慢攪拌，避免燒焦	4. 待逐漸成形的麻糬沒有殘留白色粉漿，並微呈現透明感即完成

二、檢測麻糬在唾液澱粉酶與 α -澱粉酶內被水解的程度

- (一) 藥品：本氏液、 α -澱粉酶、蒸餾水
- (二) 設備與器材：平板、恆溫水浴槽、食物調理機、試管(含蓋)、試管架、針筒
- (三) 檢測原理：麻糬中的澱粉經唾液澱粉酶或 α -澱粉酶水解後，生成麥芽糖、葡萄糖等還原糖。這些還原糖能將本氏液中的藍色硫酸銅 (Cu^{2+}) 在加熱與鹼性條件下還原為紅色氧化亞銅 (Cu_2O) 沉澱。



反應後若顏色由藍轉為紅磚色，表示水解程度高

三、自製飽和澄清石灰水

- (一)藥品與器材：生石灰粉、濾紙、漏斗、酸鹼試紙
- (二)標準製作流程：

1. 生石灰粉：水=2：1000 的比例（水 20°C 時，生石灰溶解度為 0.173g/100cm³），將兩者混合攪拌，使石灰粉溶解於水中(有殘存粉在底部)，以酸鹼試紙測試，pH 值在 11 至 12 之間，即為飽和石灰水
2. 以濾紙裝於漏斗內，過濾飽和石灰水，即得飽和澄清石灰水(氫氧化鈣 $\text{Ca}(\text{OH})_2$)

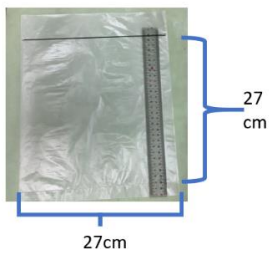

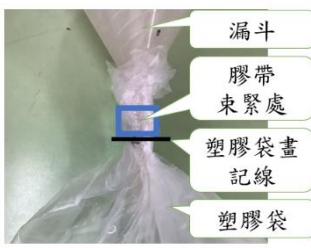
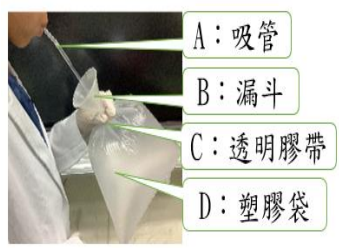
四、自製集氣袋

- (一) 器材與材料：吸管(孔徑 0.5cm)、漏斗(內管徑 0.5cm)、塑膠袋(34cm×27cm)、透明膠帶

(二) 標準化製作流程，如圖 3 所示

圖 3

集氣袋標準化製作流程圖(所有照片由研究者拍攝)

			
1. 在塑膠袋高度 27cm 處畫記	2. 吸管塞緊 漏斗管徑	3. 沿著塑膠袋畫記線上緣，將塑膠袋口束緊在漏斗上	4. 集氣袋完成圖，集氣總體積 3,500ml

五、檢測呼氣中的 CO₂ 濃度推估血糖升降

(一) 設備與器材：集氣袋、飽和澄清石灰水、離心機、離心管、游標尺、手套和護目鏡

(二) 檢測原理

當 CO₂ 通入石灰水中，會與氫氧化鈣反應生成白色碳酸鈣(CaCO₃)沉澱，使溶液變混濁，反應式為： $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3\downarrow + \text{H}_2\text{O}$

再將混濁水溶液置於離心機中定量分析後，測量出白色碳酸鈣沉澱高度，即可比較出 CO₂ 相對濃度。根據血糖越高，CO₂ 濃度約高的原理推估血糖升降。

六、自製麻糬「彈性」(恢復力)測量槽

(一) 取一個吸口孔徑約 1.2cm 的吸管，保留 8cm 長度

(二) 吸管平躺上方裁出 0.5cm 寬溝槽，即成完成(圖 4)

圖 4

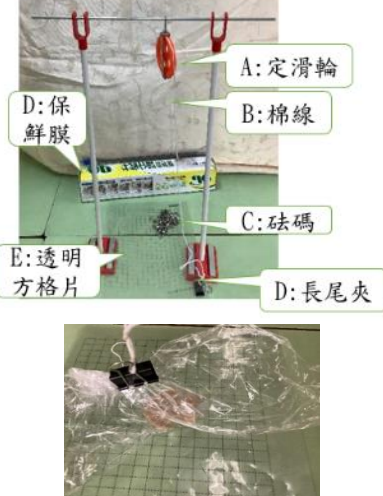
麻糬彈性測量槽



七、自組檢測麻糬「展性」、「黏性」機構

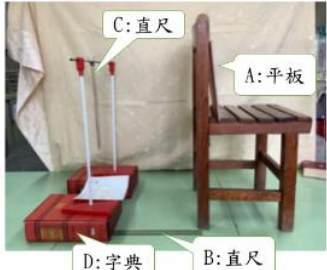
圖 5 麻糬展性、黏性檢測機構(照片由研究者拍攝)

註：照片由研究者拍攝

	<p>(一) 組件：定滑輪、棉線、砝碼(有雙頭勾，約 2g)、長尾夾、保鮮膜、透明方格片、字典(固定重物 2750g，未拍照)、計時器(未拍照)、字架</p> <p>(二) 說明：麻糬放在 E 透明方格片上，在麻糬上方蓋一層保鮮膜。用字典放在保鮮膜上，壓麻糬 10 秒。以 E 方格片估算出麻糬壓扁後的面積，即為展性。將 D 長尾夾夾住保鮮膜的兩端(圖 4)，棉線另一頭吊掛 C 砝碼，直到保鮮膜脫離麻糬表面，C 增加的重量即為黏性。</p>
---	---

八、自組檢測麻糬「延性」機構

圖 6 麻糬延性檢測機構(照片由研究者拍攝)

 <p>C: 直尺 A: 平板 D: 字典 B: 直尺</p>	<p>(一) 組件：平板、直尺x2、ㄇ字支架、課椅、字典x2 (二) 說明：麻糬放在 C 直尺旁，頂端對著 C 直尺 0 公分處，A 平板固定放在課椅第一個溝槽裡，可以拍下麻糬隨著地心引力自然斷掉時的瞬間長度；B 直尺確保椅子與字典固定距離為 30 公分；D 字典高度固定，用以確保每次麻糬的高度和拍攝角度都一致，減少誤差。</p>
--	--

九、模擬胃環境水解麻糬成食糜

(一) 藥品：鹽酸(1M, pH=1)、蒸餾水

(二) 設備及器材：多功能攪拌器(型號：TSK-9416，模擬胃的物理性攪拌)、離心機、15ml 離心管、500ml 燒杯、滴管、游標尺、手套、護目鏡。

十、重要藥品與設備照片

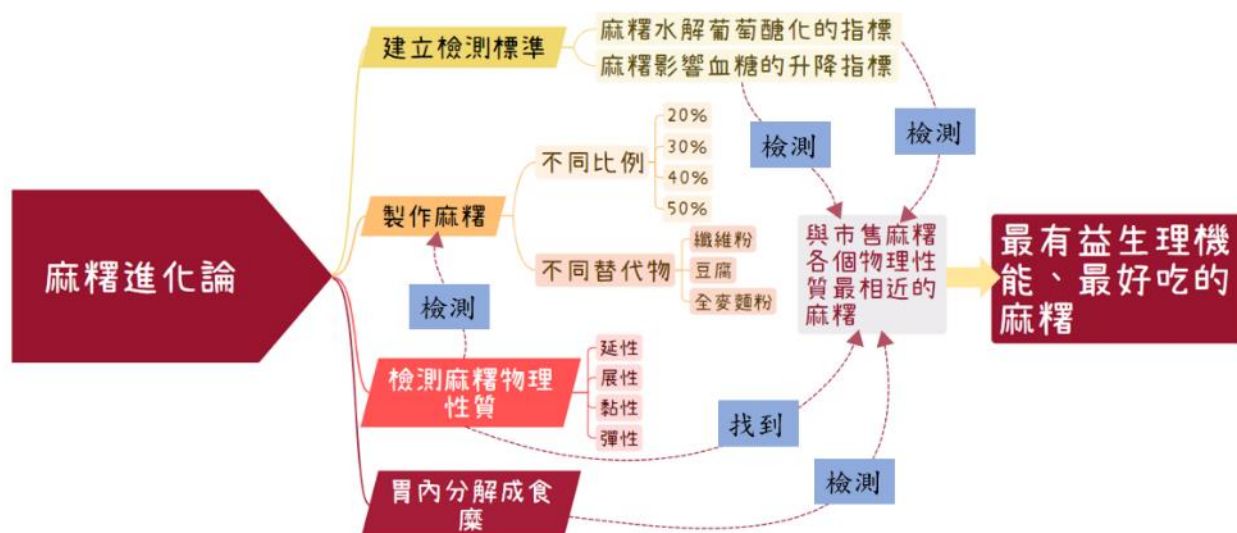
圖 6 藥品與設備(所有照片由研究者拍攝)

						
本氏液	鹽酸	α 澱粉酶	蒸餾水	恆溫水浴槽	離心機	多功能攪拌機

肆、研究過程或方法

一、研究架構圖

圖 7 研究架構圖(研究者繪製)



二、建立「麻糬水解葡萄糖化指標」與「麻糬影響血糖的升降指標」

實驗 1-1 建立「麻糬水解葡萄糖化的指標」

(一) 實驗 1-1-1 人體唾液澱粉酶實驗

1. 實驗想法


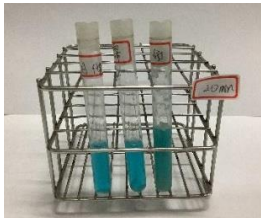
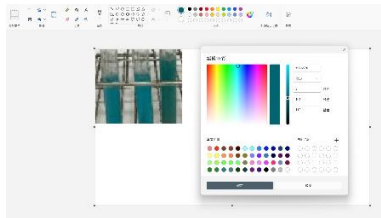
- (1) 在前置實驗中已找出唾液澱粉酶水解市售麻糬 200 分鐘時，試管的顏色與 24 小時後的相比幾乎沒變，可視作 200 分鐘時麻糬已完全水解葡萄糖化。
- (2) 由於個體在不同時間、狀態下唾液澱粉酶的活性不同，所以參考全國科展第 51 屆作品「誰是口水王—唾液澱粉酶對澱粉的消化作用」(王振宇等人，2010)，取用三位受試者的唾液方法為：實驗前 1 小時吃完早餐，並確實刷牙漱口，實驗前 30 分鐘喝一杯 300ml 溫水，直至實驗前盡量不說話、不攪動舌頭，使唾液不生泡沫。盡量讓唾液的活性不受干擾。

2. 實驗步驟

- (1) 取 5 克市售麻糬 3 份，各由甲、乙、丙三人同時放進嘴裡咬 60 下(每秒 1 下)，讓麻糬與唾液充分混合，並於 1 分鐘後分別吐在燒杯裡。
- (2) 用針筒各取 1ml 燒杯裡的麻糬與唾液混和液、2ml 的本氏液注入試管中，蓋上蓋子後搖晃均勻，固定平板與試管間的距離、角度後，並在固定教室空間、拉上窗簾，以平板拍照。
- (3) 將試管放進 45°C 的恆溫水浴槽中，每 20 分鐘取出搖晃均於後再拍照，拍照步驟與方法與上述一致，共觀察 200 分鐘。
- (4) 連續 3 天的上午 8：30 進行本實驗，共做 3 次。取得甲 1、甲 2、甲 3、乙 1、乙 2、乙 3、丙 1、丙 2、丙 3 的市售麻糬水解葡萄糖化顏色照片。
- (5) 使用小畫家軟體匯入試管照片，分別找出每隻試管最中間顏色色卡的 RGB 值，各取每人的 R、G、B 值平均進行數值分析。

圖 8

人體唾液澱粉酶實驗步驟(所有照片由研究者者拍攝)

		
試管放進 45°C 的恆溫水浴槽中	每 20 分鐘取出拍照	使用小畫家軟體，匯入試管照片顏色，分別找出每張照片的 RGB 值

(二) 實驗 1-1-2 α -澱粉酶實驗

1. 實驗想法：

- (1) 由於唾液澱粉酶活性易受個體狀態影響，故以 α -澱粉酶(實驗藥品)取代進行實驗，並以 α -澱粉酶的實驗結果作為「麻糬水解葡萄糖化的指標」，用以與唾液澱粉酶實驗的結果作比較，並作為實驗 3 的參照指標。
- (2) 根據「『飯』科學~探討米飯的抗性澱粉形成條件」(陳愛澧等人，2012)的研究結果： α -澱粉酶的濃度為 0.5%時，其活性最接近人體唾液澱粉酶。故以此濃度進行本實驗。

2. 實驗步驟

- (1) 調製濃度為 0.5%的 α -澱粉酶水溶液：取 0.5g 的 α -澱粉酶，加入 99.5g 的蒸餾水中，攪拌均勻。
- (2) 取 10g 市售麻糬，加入 0.5%的 α -澱粉酶水溶液中，以食物調理機攪拌 30 秒(模擬咀嚼)後，即成麻糬食糜水溶液。
- (3) 取 1ml 麻糬食糜水溶液、2ml 本氏液加入試管中，均勻混和。共取 3 管。
- (4) 其他步驟與實驗 1-1-1 的步驟(2)到(3)一樣。

實驗 1-2 建立「麻糬影響血糖的升降指標」

- (一) 實驗前的準備：為排除早餐內容與時間對血糖的干擾，三位受試者在實驗當天上午 7 點之前吃完早餐直至上午 11 點之前僅能喝白開水。每日 11 點實驗，共進行 3 天。







(二) 實驗步驟

1. 受試者對著集氣袋(總容積3500ml)吹氣，直至完全飽滿，無法再吹氣進入。
2. 嘴巴離開吸管後即以手指封住管口，在漏斗處倒入15ml 的飽和澄清石灰水。
3. 取出漏斗後立即以手抓封緊集氣袋口，搖晃集氣袋30秒(計時器計時)，使得呼出的氣體與飽和澄清石灰水充分混合作用。
4. 將集氣袋裡的液體倒入離心管中，並以離心機進行定量分析。離心機轉速為 4000rpm，轉10分鐘。
5. 以游標尺測量碳酸鈣的最高點、最低點高度，以兩者平均值代表碳酸鈣沉積高度。此為前測數值。
6. 前測完成後立即吃下100克市售麻糬，並重複步驟1-5取得吃後0.5、1、1.5、2小時的呼氣，以及碳酸鈣沉積高度。
7. 前測、0.5、1、1.5、2時各收集3個集氣袋的呼氣並進行實驗，分別計算三位受

試者的碳酸鈣沉積高度平均繪製成折線圖，即為「麻糬影響血糖升降的指標」。

圖 9

麻糬影響血糖升降的評估指標實驗步驟(所有照片由研究者拍攝)

					
對集氣袋吹氣	倒入飽和澄清石灰水	搖晃30秒	將液體倒入離心管中	離心機進行定量分析	游標尺量碳酸鈣沉積高度

三、找出口感最接近市售麻糬的自製麻糬

(一)不同材料、比例取代糯米粉製作麻糬的方法

以用嫩豆腐、菊苣纖維粉(之後簡稱纖維粉)、全麥麵粉取代部分的糯米粉，取代比例有20%、30%、40%、50%，取代的粉量如表3。麻糬的標準製作流程如本作品說明書第5頁(唯嫩豆腐需要以食物調理機先打碎，再製作)。本研究共研製出12種自製麻糬，如表4。












表 3

取代材料的比例與重量

替代百分比	20%	30%	40%	50%
替代粉的重量(g)	14	21	28	35
糯米粉重量(g)	56	49	42	35
總重量(g)	70	70	70	70

表 4

不同比例替代材料麻糬之外觀與口感(所有照片由研究者拍攝)

替代比例	20%	30%	40%	50%	
豆腐麻糬	照片				
	口感	口感軟嫩，帶有豆漿的香氣。隨著豆腐比例增加，豆漿味更濃。顏色為非常淡的黃色			
纖維粉麻糬	照片				
	口感	口感軟嫩，入口即化，帶有甜甜的味道。隨著纖維粉比例增加，甜味更明顯。顏色是白色並有透明感			
全麥麵粉麻糬	照片				
	口感	口感Q彈，有嚼勁，可以吃到麩皮和麥芽纖維的顆粒感。顏色為土黃色並帶有棕色點點。隨著全麥麵粉比例增加，纖維感更強，顏色更深			

(二) 比較不同比例替代材料的自製麻糬與市售麻糬的彈性、展性、黏性、延性，並找出此四項物理性質最接近市售麻糬的自製麻糬。

實驗 2-1 麻糬的彈性比較

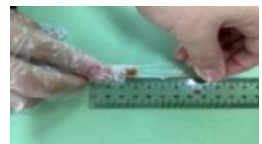
1. 取市售麻糬與 12 種自製麻糬各 6 顆，每顆 5 公克，共有 78 顆麻糬。
2. 用滴管取一滴油滴在餐巾紙上，再將油均勻抹在彈性測量槽裡，預防沾黏。
3. 取一顆麻糬放在測量槽裡，鋪至 4cm 處(圖 10)。
4. 一手抵住麻糬一端，並對準 0 公分的地方，另一手將麻糬推至 3cm 處，立即放開並按下計時器，10 秒後測量麻糬恢復後的長度(圖 10)。
5. 每一顆麻糬重複做步驟 3 到步驟 4 各 3 次，做完後換下一顆麻糬，直至 78 顆麻糬都測量完成。
6. 計算出每種麻糬的彈性(恢復力)。**彈性的算法為：放開 10 秒後的長度平均減去 3 公分。**
7. 整理成圖表並進行分析。

圖 10

檢驗彈性的操作步驟(研究者自行拍攝)



將麻糬放在測量槽裡，鋪至 4cm 處



10 秒後測量麻糬恢復後的長度

實驗 2-2 麻糬的展性比較

1. 市售麻糬與 12 種自製麻糬各 6 顆，每顆約 3 公克，共 78 顆。
2. 取 1 顆麻糬放在透明的方格片上，在麻糬上方蓋一層保鮮膜。用辭海(固定重物為 2750 公克)放在保鮮膜上，壓麻糬 10 秒。
3. 將方格紙翻面，估算出麻糬壓扁後的面積 (單位 cm^2 ，圖 11)。
4. 依序完成 78 顆麻糬的壓扁面積估算，並計算其展性。
展性算法為：面積÷公克。
5. 計算出每種麻糬的展性平均，整理成圖表並進行比較。

圖 11

檢驗展性的方法



估算麻糬壓扁後的面積(研究者拍攝)

實驗 2-3 麻糬的黏性比較

1. 準備一組滑輪，定滑輪凹槽上放一條長棉線，棉線一端綁上長尾夾，另一端綁一個小圓結，吊掛兩個小砝碼以取平衡(圖 12)。
2. 延續實驗二-2 的步驟(4)，將算完面積的透明方格片翻回正面，用長尾夾夾住保鮮膜的兩端(圖 12)。

圖 12

檢驗展性步驟(研究者自行拍攝)



測量黏性的裝置



用長尾夾夾住保鮮膜的兩端

3. 在吊掛兩個小砝碼的一端持續掛上小砝碼，直到保鮮膜脫離麻糬表面。
4. 將後來掛上的小砝碼(不包含原來的 2 個)秤出重量，此即為麻糬的黏性。
5. 依序完成 78 顆麻糬的黏性實驗，計算出每種麻糬的黏性平均，整理成圖表並進行分析與比較。

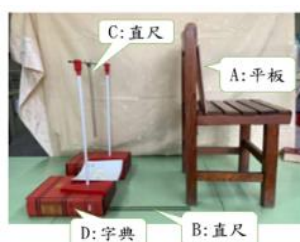
實驗 2-4 麻糬的延性比較

1. 架設好延性測量裝置，固定鏡頭與裝置直尺上的距離、高度。
2. 取市售麻糬與 12 種自製麻糬各 6 顆，每顆 5 公克，共有 78 顆麻糬。分別搓成 4 公分的長條狀。
3. 打開平板錄影功能，進行慢動作錄影。
4. 將麻糬與裝置上的直尺平行，並使麻糬上方對準直尺上的刻度 0，讓麻糬自然向下掉落(圖 13)。

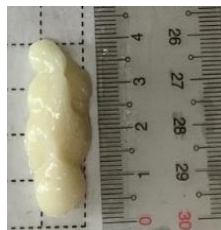
圖 13

檢驗延性的步驟(由研究者自行拍攝、標示)

5. 回放影片讀取麻糬斷掉時的長度，即為延性數值。
6. 計算每種麻糬延性平均，整理成圖表並進行分析。



延性測量裝置



把麻糬搓成 4 公分長條狀



麻糬上頭對準尺上的 0，讓麻糬自然斷掉

四、比較市售麻糬與自製麻糬 α -澱粉酶作用下水解葡萄糖化的表現

實驗 3 自製麻糬的水解葡萄糖化反應

- (一) 根據實驗 2-1 到 2-4 的結果，20%纖維粉、40%全麥麵粉、50%全麥麵粉的自製麻糬口感最接近市售麻糬，故選用此三種麻糬進行 α -澱粉酶水解葡萄糖化反應實驗。
- (二) 實驗步驟如實驗 1-1-2。
- (三) 將所有麻糬食糜溶液以 2 號濾紙過濾 6 小時後，測量濾紙內食糜重量，用以代表麻糬在嘴中咀嚼後食糰殘留狀況。但在實際操作時發現，食物調理機攪拌時間過長使得麻糬完全液化，不符合真實咀嚼狀況。故此進行此步驟時，重新取 10g 麻糬，加入 0.5% 的 α -澱粉酶水溶液中，將調理機攪拌時間設為 5 秒後，再過濾 6 時。

五、評估市售麻糬與自製麻糬在胃內分解成食糜的水解差異程度

實驗 4 模擬麻糬在胃內分解成食糜的水解差異程度

- (一) 實驗想法

我們想了解：自製麻糬在胃內被水解成食糜的效果是否比市售麻糬好，而能改善脹氣的問題？由於麻糬在胃內會因胃壁的蠕動而進行物理性分解，且胃酸的主成分為鹽酸，故本實驗使用多功能攪拌機與鹽酸溶液，模擬胃的環境。

(二)實驗步驟

1. 以 100ml 的鹽酸(pH=1)和 200ml 蒸餾水混合成 300ml 鹽酸溶液(pH=1)。
2. 取 20 克的市售麻糬、300ml 鹽酸溶液放入攪拌機內攪拌(每分鐘約轉 72 圈)。
3. 第 10、20、30 分鐘各取 3 管 10ml 攪拌機內的食糜液體，放入離心機進行定量分析，離心機離轉速為 4000rpm，轉 10 分鐘。
4. 以游標尺測量分離後食糜的沉積高度，取最高點與最低點的中間點為代表值。
5. 重複步驟 1-4，分別完成 20%纖維粉、40%全麥麵粉、50%全麥麵粉麻糬的實驗。

圖 14

模擬麻糬在胃內水解操作步驟(由研究者自行拍攝)



以攪拌器、鹽酸水溶液模擬胃的環境



取 10ml 食糜置於離心管，各 3 管



以離心管定量分析



游標尺測量食糜的沉積高度

六、推估市售麻糬與自製麻糬對人體血糖影響的差異表現

實驗 5 麻糬影響人體 CO₂ 濃度

- (一) 根據實驗 2-1 到 2-4 的結果，選用 20%纖維粉麻糬、40%全麥麵粉麻糬、50%全麥麵粉麻糬進行實驗，並與市售麻糬比較。
- (二) 測量人體呼出 CO₂ 濃度，實驗步驟如實驗 1-2，取得的數據與實驗 1-2 的參照標準進行比較。

伍、研究結果

一、建立「麻糬水解葡萄糖化指標」與「麻糬影響血糖的升降指標」

實驗 1-1 建立「麻糬水解葡萄糖化指標」

(一)實驗 1-1-1 人體唾液澱粉酶實驗

表 5

唾液澱粉酶對市售麻糬水解葡萄糖化色卡及 RGB 值(所有色卡由研究者拍攝、擷取)

時間	5-10	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
反應比例	min	min	min	min	min	min	min	min	min	min	min
受試者	>0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
甲 色卡											
1 RGB	4/106/ 113	6/103/ 112	36/101/ 67	34/101/ 64	70/84/ 22	75/80/ 14	94/85/ 18	93/78/ 12	97/75/ 15	101/76/ 12	113/79/ 16
甲 色卡											
2 RGB	6/113/ 119	23/95/ 101	57/96/ 67	39/103/ 77	40/87/ 45	46/78/ 27	58/78/ 19	57/69/ 8	60/63/ 7	71/69/ 10	74/64/ 11
甲 色卡											
3 RGB	7/100/ 105	34/124/ 133	45/85/ 40	67/79/ 18	81/78/ 22	93/78/ 11	101/81/ 15	107/77/ 13	105/70/ 12	107/68/ 9	112/67/ 9
乙 色卡											
1 RGB	2/111/ 120	3/109/ 118	57/86/ 40	78/73/ 18	93/71/ 14	109/73/ 15	121/71/ 12	115/61/ 9	115/63/ 16	115/62/ 10	108/57/ 10
乙 色卡											
2 RGB	6/115/ 120	2/91/9	52/103/ 72	59/79/ 28	62/65/ 8	77/65/ 17	91/69/ 11	93/64/ 7	100/67/ 13	100/ 63/11	106/ 66/15
乙 色卡											
3 RGB	4/99/ 105	30/118/ 120	26/112/ 114	30/118/ 120	70/61/ 7	85/63/ 6	95/64/ 9	98/61/ 7	103/ 61/10	105/62/ 10	108/58/ 9
丙 色卡											
1 RGB	3/110/ 120	17/82/ 78	29/88/ 56	51/77/ 32	63/74/ 21	70/66/ 10	78/61/ 8	82/59/ 7	84/53/ 8	84/50/ 6	86/44/ 6
丙 色卡											
2 RGB	6/112/ 118	35/76/ 70	59/95/ 67	64/74/ 25	73/66/ 11	84/58/ 7	102/65/ 10	106/61/ 6	114/63/ 8	104/53/ 6	101/54/ 11
丙 色卡											
3 RGB	20/104/ 107	31/103/ 100	39/81/ 45	40/63/ 11	71/75/ 24	69/57/ 5	75/51/ 5	76/45/ 2	82/49/ 8	81/43/ 6	91/39/ 4

表 6

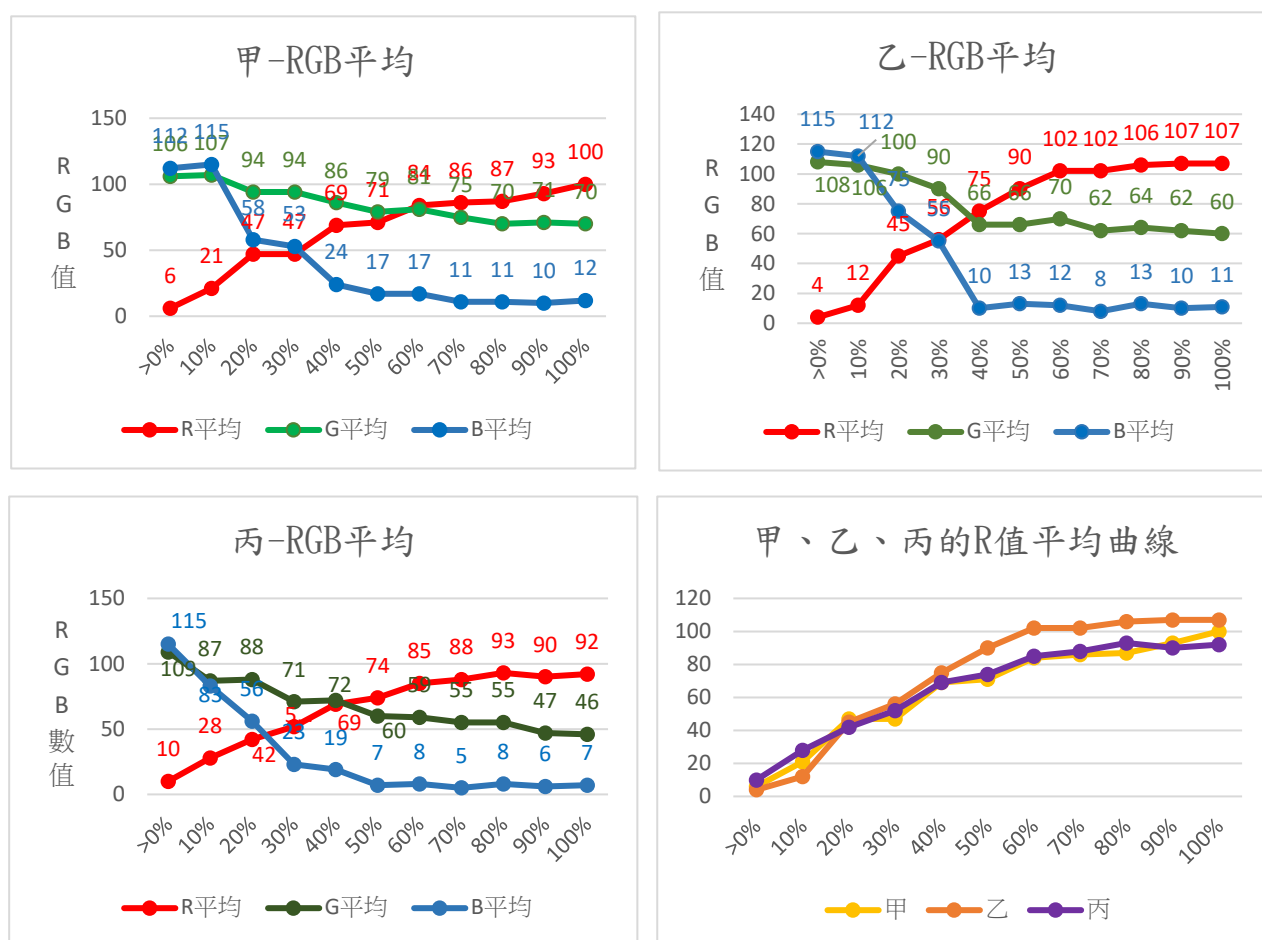
三位受試者之 R 值、G 值、B 值平均

葡萄糖化 比例	>0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
甲 R 平均	6	21	47	47	69	71	84	86	87	93	100
甲 G 平均	106	107	94	94	86	79	81	75	70	71	70
甲 B 平均	112	115	58	53	24	17	17	11	11	10	12
乙 R 平均	4	12	45	56	75	90	102	102	106	107	107
乙 G 平均	108	106	100	90	66	66	70	62	64	62	60
乙 B 平均	115	112	75	55	10	13	12	8	13	10	11

葡萄糖化比例		>0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
丙	R 平均	10	28	42	52	69	74	85	88	93	90	92
	G 平均	109	87	88	71	72	60	59	55	55	47	46
	B 平均	115	83	56	23	19	7	8	5	8	6	7

圖 15

麻糬水解葡萄糖化三位受試者 RGB 指標比較圖(研究者繪製)



根據圖 15，發現：

1. 三位受試者的 R 值皆隨著麻糬在唾液澱粉酶中水解葡萄糖化的完成度越高，數值越高，充分表現出隨著澱粉成為還原糖的量增加，使得本氏液中的氧化亞銅(Cu_2O)被釋出的濃度增加，因而紅色比例增加。而 G 值、B 值則相反。
2. 比較三位受試者的 R 值，顯示不同的受試者，唾液澱粉酶水解麻糬的速度不同，尤其在第 40% 開始，乙的數值高於甲、丙，可以說明不同個體的唾液澱粉酶活性有所差異。
3. 為了建立更客觀的「麻糬水解葡萄糖化指標」，故以 α -澱粉酶進行實驗 1-1-2、建立指標，並與三位受試者的 R 值進行比較。

(二) 實驗 1-1-2 α -澱粉酶實驗

表 7

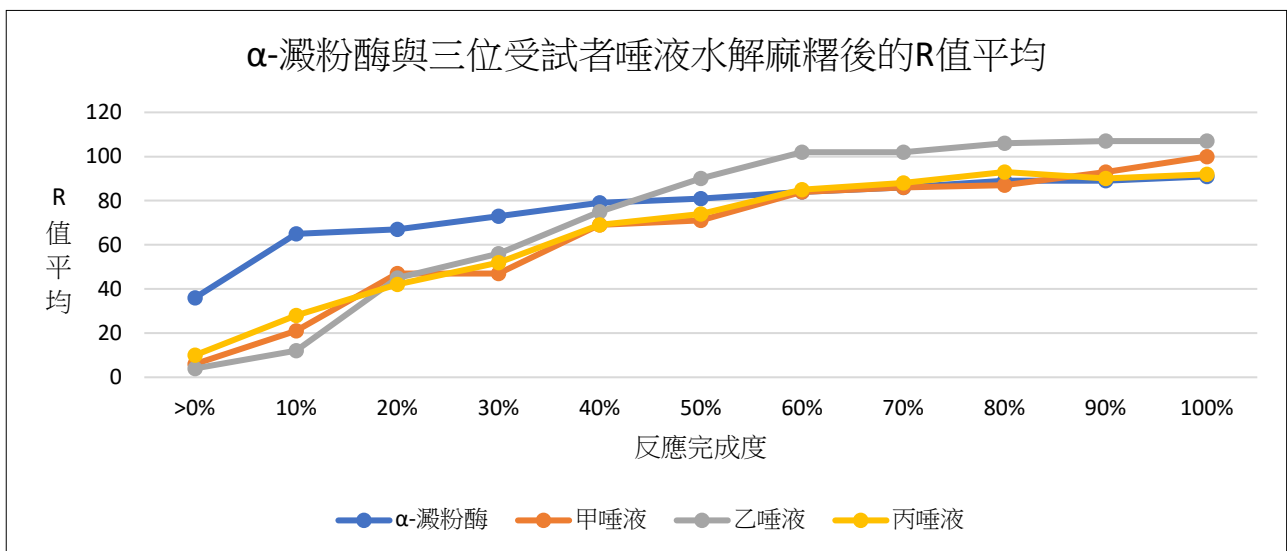
α -澱粉酶對市售麻糬水解葡萄糖化後之色卡及 R 值(所有色卡由研究者拍攝、擷取)

時間		5-10 min	20 min	40 min	60 min	80 min	100 min	120 min	140 min	160 min	180 min	200 min
試管	反應比例	>0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1	色卡											
	R 值	40	63	66	76	82	86	91	92	93	95	96
2	色卡											
	R 值	35	66	71	75	78	82	84	86	88	89	93
3	色卡											
	R 值	33	67	65	68	78	75	78	79	85	84	85
R 值平均		36	65	67	73	79	81	84	86	89	89	91

註：由於僅比較 R 值，故僅保留 R 值，G、B 值詳見實驗日誌

圖 16

α -澱粉酶與三位受試者唾液實驗 R 值結果比較圖(研究者繪製)



根據上圖可以發現：

1. α -澱粉酶在前 40%(80 分鐘)時，將市售麻糬水解葡萄糖化的速度比三位受試者的唾液澱粉酶快，而在第 60%(120 分鐘)後則和甲、丙相近，甚至幾乎與丙重疊。
2. 由於人體唾液澱粉酶活性會因人體狀態不同而產生差異性，本研究以 α -澱粉酶的三次 R 值平均曲線作為「麻糬葡萄糖化指標」，將在實驗 3 中與三種自製麻糬進行比較。

實驗 1-2 建立「麻糬影響血糖的升降指標」

表 8

三位受試者吃市售麻糬後測得的碳酸鈣高度與 t 檢定結果

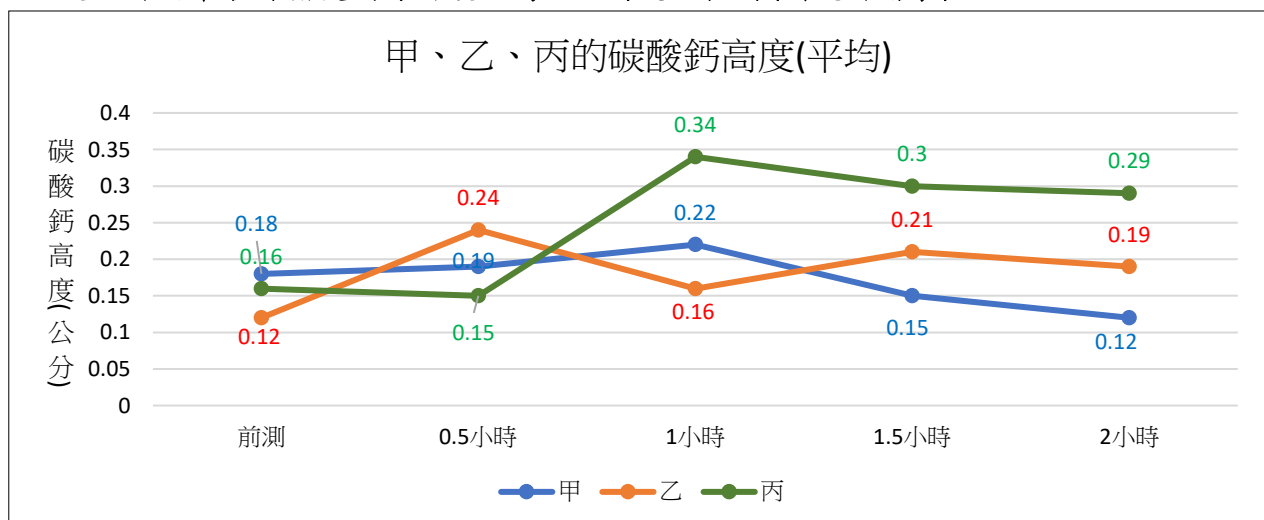
時間 受試者	前測	0.5 小時	1 小時	1.5 小時	2 小時	t 檢定 (t 值/p 值)
甲	第 1 次	0.17	0.09	0.22	0.19	0.13
	第 2 次	0.16	0.37	0.25	0.11	0.11
	第 3 次	0.21	0.10	0.20	0.15	0.11
	平均	0.18	0.19	0.22	0.15	0.12
乙	第 1 次	0.18	0.24	0.11	0.14	0.31
	第 2 次	0.06	0.24	0.21	0.27	0.11
	第 3 次	0.12	0.24	0.16	0.21	0.15
	平均	0.12	0.24	0.16	0.21	0.19
丙	第 1 次	0.16	0.11	0.19	0.11	0.65
	第 2 次	0.13	0.16	0.24	0.57	0.11
	第 3 次	0.19	0.18	0.58	0.22	0.11
	平均	0.16	0.15	0.34	0.3	0.29

註：單位 g；*** $p < .01$ ；** $p < .05$ ；* $p < .1$

由表 8 三位受試者吃市售麻糬後測得的碳酸鈣高度，進行 t 檢定後可知，受試者甲、乙、丙在三次實驗後，其各自的數值在反覆檢驗過程中，皆未達顯著差異，顯示個體內數值差異小，數據較穩定，可以做為標準量尺之參考。且不同受試者之間平均值的 t 檢定結果也未達顯著差異，顯示本實驗操作過程一致性高，個體間的實驗結果誤差小，可信賴度高，效度也足夠準確 (p 值皆 $> .05$)。

圖 17

三位受試者吃市售麻糬後測得的碳酸鈣沉澱高度比較圖(研究者繪製)



根據圖 17，發現：

- 1.受試者甲在吃完市售麻糬後，血糖緩慢上升，到第一小時時達到高點，之後逐漸下降，到 1.5 個小時時，已降至比前測時更低。
- 2.受試者乙在吃完市售麻糬後血糖快速上升，到第 0.5 小時時已達到最高點，第一小時時下降，到第 1.5 小時時又再次上升，推測是人體分泌升糖素使肝糖分解成葡萄糖後進入血液中，到第 2 小時時血糖又略微下降。
- 3.受試者丙在吃完市售麻糬後，半小時內血糖幾乎沒有變化，但到第一個小時時血糖升至高點，且明顯高於另二位受試者，之後再緩慢下降，但數值仍高於另二位受試者。
- 4.由以上三點可知，不同受試者在吃完等量的市售麻糬後，身體血糖變化略有不同，應與個體間消化特性不同有關。故在實驗 5 中，三位受試者皆食用三種自製麻糬，再進行血糖變化比較。

二、找出口感最接近市售麻糬的自製麻糬

實驗 2-1 麻糬的彈性比較

表 9

各類麻糬受壓恢復後的長度

麻糬種類	第 1 顆			第 2 顆			第 3 顆			第 4 顆			第 5 顆			第 6 顆			平均	
市售	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.5	3.6	3.6	3.7	3.5	3.6	3.5	3.6	3.5	3.7	3.58	
豆腐	20%	3.8	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.5	3.6	3.6	3.6	3.8	3.7	3.7	3.8	3.9	3.9	3.7	3.7	3.71
	30%	3.7	3.7	3.7	3.9	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.7	3.7	3.75
	40%	3.7	3.8	3.7	3.9	3.7	3.8	3.7	3.9	3.8	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.6	3.7	3.7	3.73
	50%	3.9	3.8	3.9	4.0	3.9	4.0	3.9	3.7	3.9	3.9	4.0	3.8	3.7	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.88
纖維粉	20%	3.6	3.6	3.7	3.7	3.9	3.8	3.7	3.7	3.8	3.8	3.7	3.6	3.8	3.7	3.7	3.7	3.7	3.6	3.71
	30%	3.2	3.4	3.4	3.6	3.4	3.5	3.3	3.4	3.1	3.2	3.5	3.4	3.6	3.5	3.4	3.5	3.4	3.3	3.39
	40%	3.7	3.6	3.6	3.6	3.8	3.8	3.6	3.5	3.6	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.6	3.8	3.64
	50%	4.0	3.8	3.8	3.9	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.6	3.8	3.8	3.7	3.7	3.6	3.6	3.7	3.8	3.7
全麥	20%	3.8	3.9	3.6	3.4	3.2	3.5	3.9	3.5	3.6	3.8	3.7	3.9	3.6	3.4	3.8	3.5	3.2	3.4	3.59
	30%	3.5	3.4	3.2	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.3	3.3	3.5	3.4	3.1	3.3	3.3	3.35
	40%	3.5	3.6	3.6	3.7	3.6	3.5	3.5	3.6	3.8	3.4	3.5	3.5	3.4	3.6	3.5	3.6	3.4	3.5	3.54
	50%	3.6	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.4	3.6	3.5	3.5	3.6	3.7	3.6	3.5	3.6	3.4	3.6	3.7	3.58

註：單位 cm

表 10

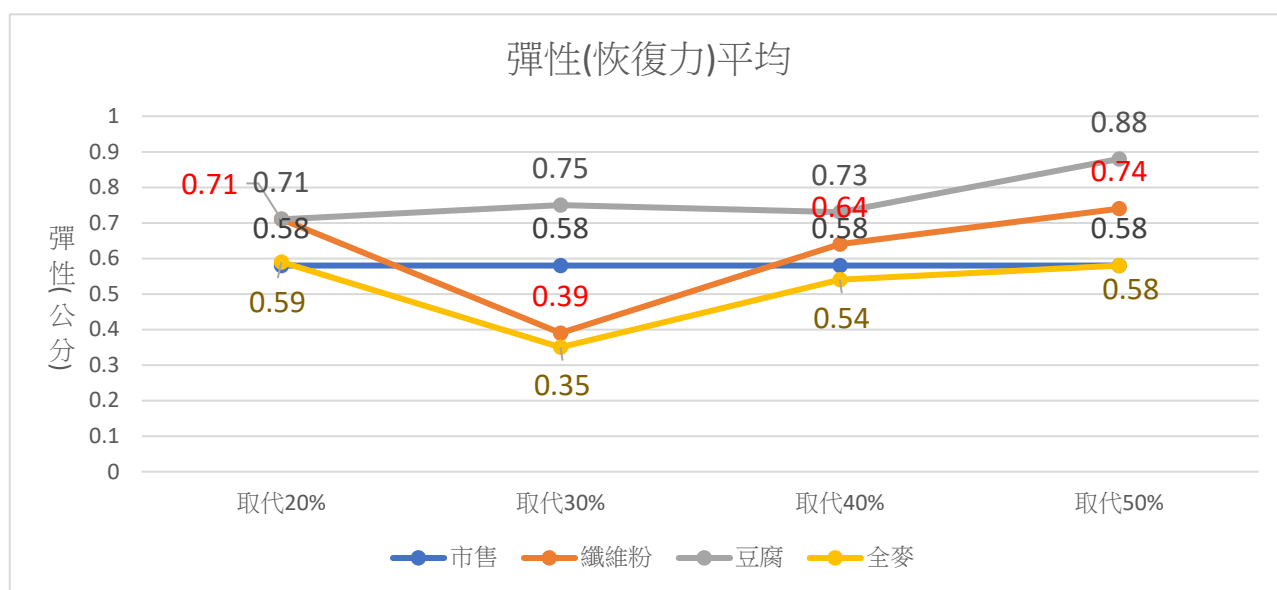
各類麻糬的彈性

種類	市售	豆腐				纖維粉				全麥			
取代比例	/	20%	30%	40%	50%	20%	30%	40%	50%	20%	30%	40%	50%
彈性	0.58	0.71	0.75	0.73	0.88	0.71	0.39	0.64	0.74	0.59	0.35	0.54	0.58

註：彈性 = 恢復後長度的平均值 ÷ 3；單位：cm

圖 18

自製麻糬與市售麻糬的彈性比較圖(研究者繪製)



根據圖 18，發現：

- 1.豆腐麻糬不管取代比例為何，其彈性都遠高於市售麻糬。
- 2.纖維粉麻糬僅在取代 30%時，彈性低於市售麻糬，其他取代比例下，彈性都比售麻糬高。
- 3.全麥麵粉取代 50%(之後統稱 50%全麥麵粉麻糬)的彈性與市售麻糬相同。

實驗 2-2 麻糬的展性比較

表 11

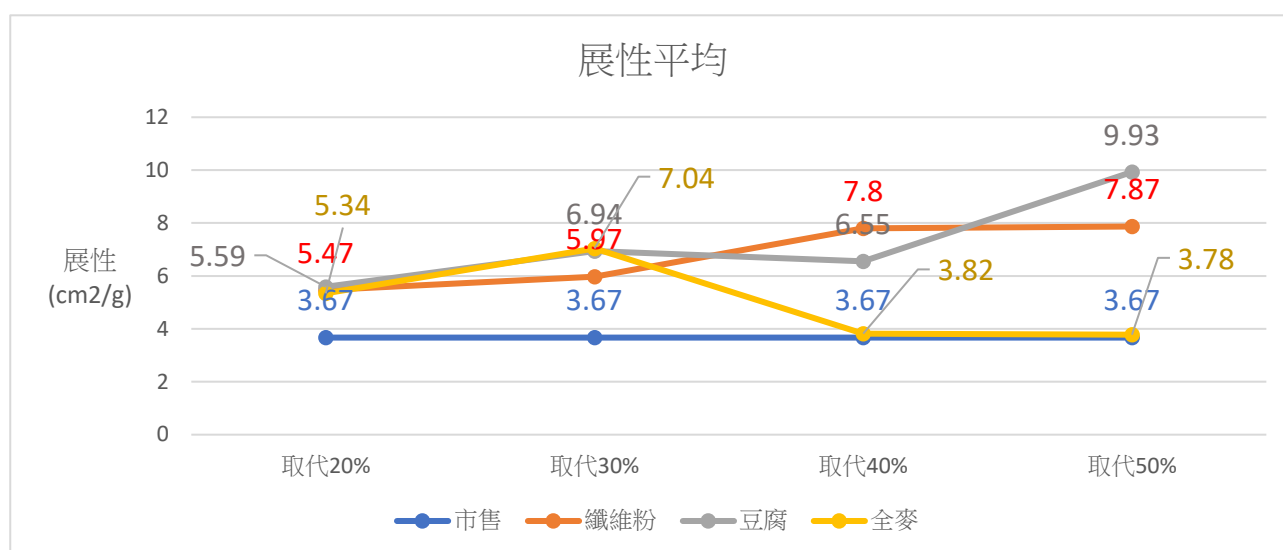
各類麻糬的展性

麻糬種類	取代百分比	第 1 顆	第 2 顆	第 3 顆	第 4 顆	第 5 顆	第 6 顆	平均
市售	/	3.60	4.10	3.60	3.40	3.40	3.90	3.67
豆腐	20%	6.04	5.32	5.49	6.43	6.31	3.93	5.59
	30%	6.90	7.40	6.80	7.96	6.96	5.65	6.94
	40%	6.20	7.41	4.34	6.35	7.79	7.22	6.55
	50%	8.25	12.08	9.00	10.67	9.67	9.93	9.93
纖維粉	20%	2.89	5.99	5.78	6.30	5.37	6.50	5.47
	30%	5.52	6.50	5.16	5.59	6.48	6.59	5.97
	40%	8.95	6.23	7.80	7.76	8.83	7.27	7.80
	50%	8.80	9.00	7.50	7.20	7.80	6.90	7.87
全麥麵粉	20%	4.35	4.13	5.25	5.31	6.00	7.03	5.34
	30%	5.59	8.63	6.00	6.41	7.79	7.84	7.04
	40%	5.17	3.99	2.96	2.56	4.50	3.75	3.82
	50%	2.46	3.07	3.95	3.27	4.98	4.95	3.78

註：單位 cm^2/g

圖 19

自製麻糬與市售麻糬的展性比較圖(研究者繪製)



根據圖 19，可知：

1. 纖維粉麻糬與豆腐麻糬不管替代比例為何，展性都明顯優於市售麻糬。
2. 纖維粉麻糬隨著取代比例增加，展性也增加。
3. 全麥麵粉取代 50%(之後統稱 50%全麥麵粉麻糬)的展性最為接近市售麻糬。

實驗 2-3 麻糬的黏性比較

表 12

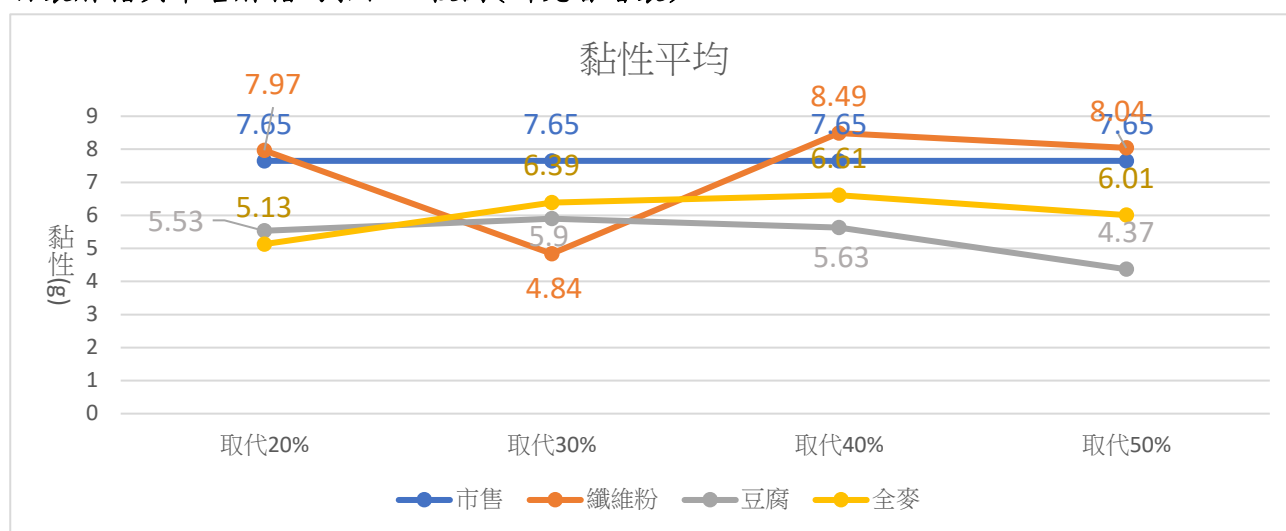
各類麻糬的黏性

麻糬種類	取代百分比	第 1 顆	第 2 顆	第 3 顆	第 4 顆	第 5 顆	第 6 顆	平均
市售	/	10.34	10.25	6.01	6.55	6.47	6.28	7.65
豆腐	20%	4.14	6.25	5.81	4.24	6.15	6.56	5.53
	30%	4.25	6.47	6.11	6.14	6.29	6.11	5.90
	40%	6.35	6.35	4.31	6.18	4.25	6.35	5.63
	50%	4.37	6.48	6.10	8.20	8.47	6.72	4.37
纖維粉	20%	8.46	8.28	8.40	8.17	8.27	6.26	7.97
	30%	6.29	6.85	4.13	4.44	4.01	3.32	4.84
	40%	8.49	8.49	8.51	8.32	8.85	8.27	8.49
	50%	8.15	6.10	8.68	8.37	8.46	6.50	8.04
全麥麵粉	20%	4.03	6.04	4.12	6.35	6.12	4.11	5.13
	30%	6.68	6.24	6.42	6.22	6.23	6.53	6.39
	40%	6.35	6.38	6.12	6.21	8.16	6.41	6.61
	50%	4.08	4.04	8.56	6.20	6.72	6.45	6.01

註：單位 g

圖 20

自製麻糬與市售麻糬的黏性比較圖(研究者繪製)



根據圖 20 可知：

1. 豆腐麻糬和全麥麻糬的黏性數據和市售麻糬的黏性數據差距較大，而且不論取代比例為何，黏性都不及市售麻糬。
2. 纖維粉取代 20%和取代 50%後，其黏性較接近市售麻糬，其中纖維粉取代 20%(之後統稱 20%纖維粉麻糬)的黏性是最接近市售麻糬的。

實驗 2-4 麻糬的延性比較

表 13

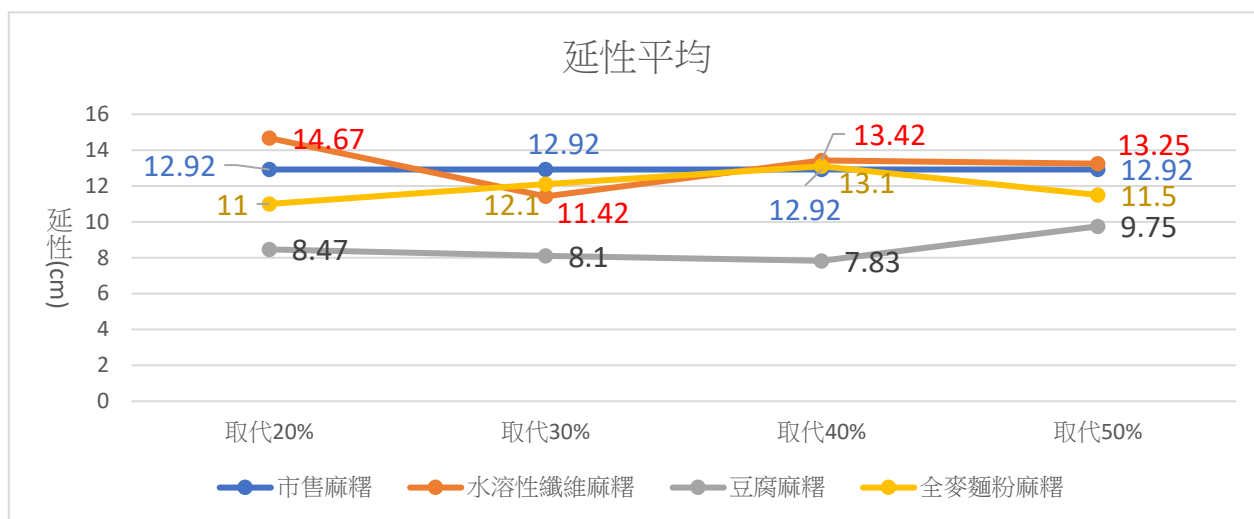
各類麻糬的延性

麻糬種類	取代百分比	第 1 顆	第 2 顆	第 3 顆	第 4 顆	第 5 顆	第 6 顆	平均
市售	/	13	14	13.5	11	13	13	12.92
豆腐	20%	9	7	8	10	6.5	10	8.47
	30%	6.5	8	7.5	10.5	7.5	8.5	8.1
	40%	8	6	7	7	10	9	7.83
	50%	11	10	10.5	10	8	9	9.75
纖維粉	20%	13	14	16	14	16	15	14.67
	30%	12	9.5	12	12	11.5	11.5	11.42
	40%	14.5	13.5	15	13.5	12	12	13.42
	50%	14	15	12	16.5	11	11	13.25
全麥麵粉	20%	11	11	12	13	9.5	9.5	11
	30%	11	13	13	12	11.5	12	12.1
	40%	14	14	12	12.5	11	15	13.1
	50%	12	11	12	10	13	11	11.5

註：單位 cm

圖 21

自製麻糬與市售麻糬的延性比較圖(研究者繪製)



根據圖 21，發現：

- 1.豆腐麻糬不管取代比例多少，延性都不及市售麻糬。
- 2.纖維粉麻糬在取代 40%到 50%時已趨於穩定，延性接近市售麻糬。
- 3.全麥麵粉麻糬，隨著比例增加，延性在某範圍內逐漸提高，但超過臨界值(40%)後下降。
40%全麥麵粉麻糬，延性最接近市售麻糬。

查閱各原料包裝，進一步分析各類麻糬原料的成分，並換算成熱量（1 公克醣類與蛋白質的熱量皆為 4 大卡，脂質是 9 大卡），整理出各類麻糬熱量如表 14 所示。

表 14

各類麻糬的營養含量與熱量

種類	成分 重量	糯米粉				取代物				總熱 量(大 卡)	降低熱 量比率
		重量 (g)	蛋白 質(g)	醣類 (g)	脂質 (g)	重量 (g)	蛋白 質(g)	醣類 (g)	脂質 (g)		
市售麻糬		70	3.64	58.24	0.28	/	/	/	/	250.04	/
豆腐 麻糬	20%	56	2.91	46.59	0.22	14	0.64	0.28	0.42	207.44	17.04%
	30%	49	2.55	40.77	0.20	21	0.97	0.42	0.63	186.31	25.49%
	40%	42	2.18	34.94	0.17	28	1.29	0.56	0.84	164.97	34.02%
	50%	35	1.82	29.12	0.14	35	1.61	0.70	1.05	143.71	42.53%
纖維 粉麻 糬	20%	56	2.91	46.59	0.22	14	0	8.4	0	233.58	6.58%
	30%	49	2.55	40.77	0.20	21	0	12.6	0	225.48	9.82%
	40%	42	2.18	34.94	0.17	28	0	16.8	0	217.21	13.13%
	50%	35	1.82	29.12	0.14	35	0	21	0	209.02	16.41%
全麥 麵粉 麻糬	20%	56	2.91	46.59	0.22	14	1.89	9.66	0.28	248.70	0.54%
	30%	49	2.55	40.77	0.20	21	2.84	14.49	0.42	248.18	0.74%
	40%	42	2.18	34.94	0.17	28	3.78	19.32	0.56	247.45	1.04%
	50%	35	1.82	29.12	0.14	35	4.73	24.15	0.70	246.84	1.28%

根據表 14 以及實驗 2-1 到實驗 2-4 的實驗結果，發現：

1. 豆腐麻糬在彈性、延性、展性、黏性等口感上雖與市售麻糬差異最大，但降低熱量的效果最多，可達 17.04%至 42.53%之間。
2. 欲維持與市售麻糬相仿之「彈性」和「展性」口感，以 50%全麥麵粉麻糬表現最佳，熱量降低了 1.28%。
3. 欲維持與市售麻糬相仿之「延性」口感，以 40%全麥麵粉麻糬表現最佳，熱量降低了 1.04%。
4. 欲維持與市售麻糬相仿之「黏性」口感，以 20%纖維粉麻糬表現最佳，熱量降低了 6.58%。
5. 後續研究採用口感最接近市售麻糬的 20%纖維粉麻糬、40%全麥麵粉麻糬、50%全麥麵粉麻糬，進一步與市售麻糬在澱粉水解葡萄糖化、胃內水解成食糜、推估血糖升降三方面進行比較。

三、比較市售麻糬與自製麻糬在 α -澱粉酶作用下水解葡萄糖化的表現

實驗 3 自製麻糬的水解葡萄糖化表現

(一) 自製麻糬的水解糖化表現

表 15

三種自製麻糬經 α -澱粉酶葡萄糖化後顏色與 R 值(所有色卡由研究者拍攝、擷取)

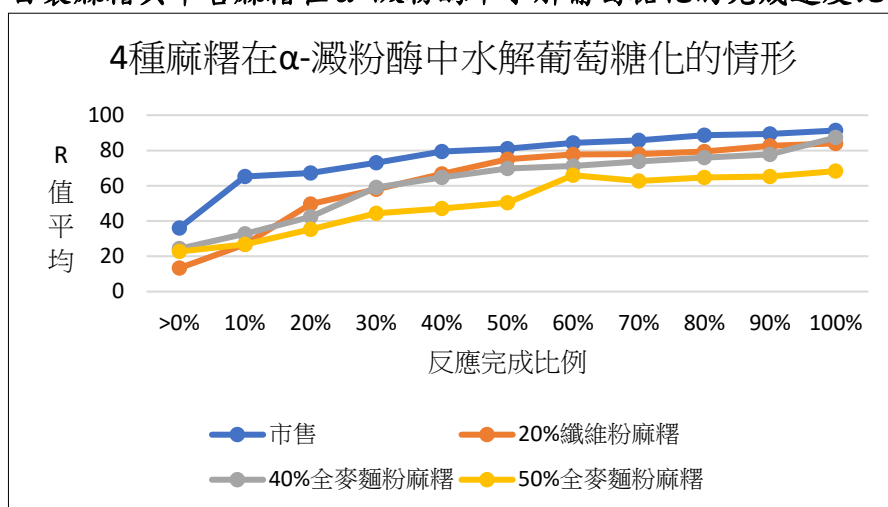
時間		5-10	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
葡萄糖化比例		min	min	min	min	min	min	min	min	min	min	min
麻糬種類		>0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
20% 纖維粉	色卡 1											
	R 值	11	27	49	62	68	77	81	82	82	88	88
	色卡 2											
	R 值	10	23	44	52	65	71	72	74	75	76	76
40% 全麥麵粉	色卡 3											
	R 值	19	30	56	60	67	77	80	78	81	84	88
	色卡 1											
	R 值	25	31	41	54	63	70	71	73	76	77	84
50% 全麥麵粉	色卡 2											
	R 值	22	31	40	62	64	67	67	69	73	74	84
	色卡 3											
	R 值	26	36	46	61	67	72	76	79	79	82	94
50% 全麥麵粉	色卡 1											
	R 值	23	27	31	42	44	49	55	56	63	64	66
	色卡 2											
	R 值	21	27	36	42	47	49	69	68	67	66	71
50% 全麥麵粉	色卡 3											
	R 值	24	26	39	49	50	53	66	64	64	66	68

表 16

市售麻糬與三種自製麻糬之 R 值平均

時間 分解比例	5-10 min	20 min	40 min	60 min	80 min	100 min	120 min	140 min	160 min	180 min	200 min
麻糬種類	>0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
市售麻糬(指標)	36	65	67	73	79	81	84	86	89	89	91
20%纖維粉麻糬	13	27	50	58	67	75	78	78	79	83	84
40%全麥麵粉麻糬	24	33	42	59	65	70	71	74	76	78	87
50%全麥麵粉麻糬	23	27	35	44	47	50	66	63	65	65	68

圖 22

自製麻糬與市售麻糬在 α -澱粉酶中水解葡萄糖化的完成速度比較圖(研究者繪製)

由圖 22 可知：

1. 市售麻糬在 α -澱粉酶中水解葡萄糖化的速度最快，R 值最高，20%纖維粉麻糬、40%纖維粉麻糬次之，50%纖維粉麻糬最慢。
2. 50%纖維粉麻糬最不易被 α -澱粉酶水解葡萄糖化，

在第 200 分鐘時，R 值未達其他三種麻糬的數值(84 至 91)。為了得知 50%纖維粉麻糬全部水解葡萄糖化需要的時間，故延長觀察觀察的時間，發現約需到第 320-340 分鐘時才能獲得與其他麻糬相近的 R 值，色卡及 R 值整理如表 17。

表 17

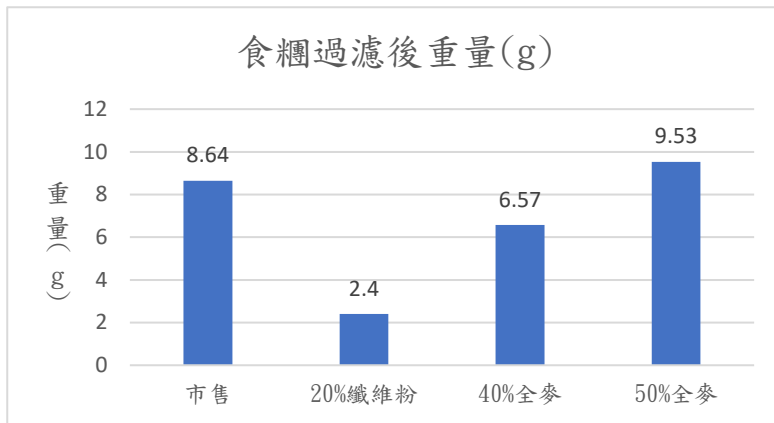
50%纖維粉麻糬第 200 分鐘後的色卡與 R 值(所有色卡由研究者拍攝、擷取)

時間	200 min	220 min	240 min	260 min	280 min	300 min	320 min	340 min
麻糬種類								
色卡 1								
50% 全 麥 麵 粉	R 值	66	73	74	77	78	81	82
色卡 2								
R 值	71	77	79	82	84	85	89	93
色卡 3								
R 值	68	72	76	78	84	85	89	90
R 值平均	68	74	76	79	82	83	86	90

(二)麻糬在口中分解成食糰的表現

圖 23

麻糬食糰過濾後重量比較圖(研究者繪製)



由圖 23 可知，經 α -澱粉酶分解後，四種麻糬食糰過濾後重量為：50%全麥麵粉麻糬 > 市售麻糬 > 40%全麥麵粉麻糬 > 20%纖維粉麻糬。顯示 20%纖維粉麻糬在口中保留食糰最少，不易噎食，較適合幼兒、長者或有吞嚥困難的人食用。

用，而此結果與研究者實際食用 20%纖維粉麻糬的經驗一致。

四、評估市售麻糬與自製麻糬在胃內分解成食糜的水解差異程度

實驗 4 模擬麻糬在胃內分解成食糜的水解差異程度

表 18

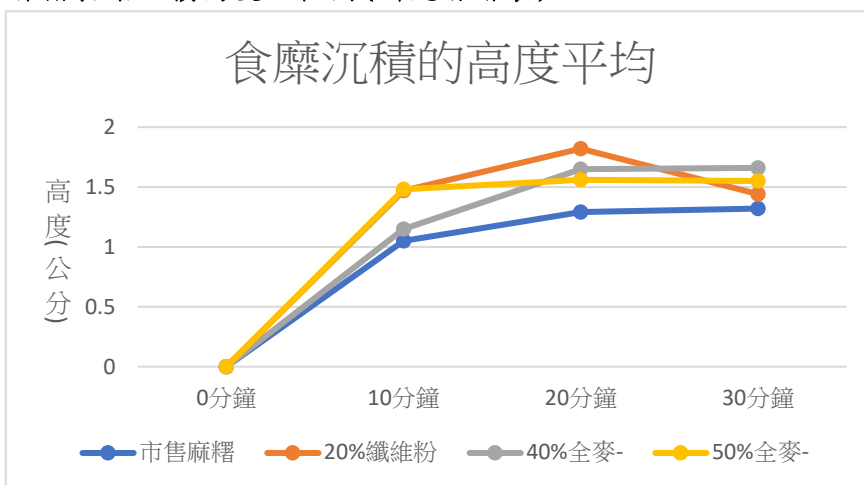
麻糬食糜沉積的高度平均

麻糬種類 \ 時間	0 分鐘	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘
市售麻糬	0	1.05	1.29	1.32
20%纖維粉麻糬	0	1.47	1.82	1.44
40%全麥麵粉麻糬	0	1.15	1.65	1.66
50%全麥麵粉麻糬	0	1.48	1.56	1.55

註：單位公分

圖 24

麻糬食糜沉積高度比較圖(研究者繪製)



根據圖 24 可知：

1. 20%纖維粉麻糬在 20 分鐘時，水解成食糜的高度達最高峰，之後下降，顯示在第 20 分鐘時已被水解完，開始沉澱。
2. 50%全麥麵粉麻糬在第 20 分鐘時水解成食糜的高度達最高峰，在第 30 分鐘時微幅下降。但第 10、20、30 分鐘時食糜的高度差異不大。

達最高峰，在第 30 分鐘時微幅下降。但第 10、20、30 分鐘時食糜的高度差異不大。

- 40%全麥麵粉麻糬與市售麻糬曲線類似，食糜高度在第 10、20 分鐘時明顯上升，而到第 30 分鐘再微幅上升，食糜的高度達最高峰。但 40%全麥麵粉麻糬明顯高於市售麻糬。顯示兩者在胃中 30 分鐘時，水解成食糜的過程還在進行，未結束。
- 整體而言，水解成食糜的程度以 20%纖維粉麻糬最佳、市售麻糬最差。顯示 20%纖維粉麻糬在胃內最容易被水解成食糜，較適合胃功能不佳者食用。

五、推估市售麻糬與自製麻糬對人體血糖影響的差異表現

實驗 5 麻糬影響人體 CO₂ 濃度

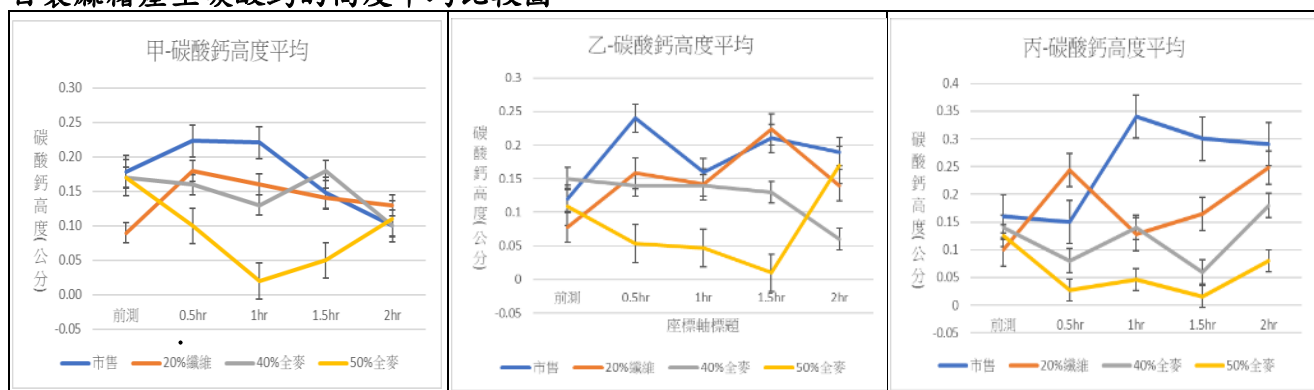
表 19

碳酸鈣的高度平均

受試者	麻糬種類	時間				
		前測	0.5 小時	1 小時	1.5 小時	2 小時
甲	市售麻糬(參考標準)	0.18	0.19	0.22	0.15	0.12
	20%纖維粉麻糬	0.09	0.18	0.16	0.14	0.13
	40%全麥麵粉麻糬	0.17	0.16	0.13	0.18	0.1
	50%全麥麵粉麻糬	0.17	0.10	0.02	0.05	0.11
乙	市售麻糬(參考標準)	0.12	0.24	0.16	0.21	0.19
	20%纖維粉麻糬	0.08	0.16	0.14	0.22	0.14
	40%全麥麵粉麻糬	0.15	0.14	0.14	0.13	0.06
	50%全麥麵粉麻糬	0.11	0.05	0.05	0.01	0.17
丙	市售麻糬(參考標準)	0.16	0.15	0.34	0.3	0.29
	20%纖維粉麻糬	0.10	0.24	0.13	0.17	0.25
	40%全麥麵粉麻糬	0.14	0.08	0.14	0.06	0.18
	50%全麥麵粉麻糬	0.13	0.03	0.05	0.02	0.08

圖 25

自製麻糬產生碳酸鈣的高度平均比較圖



根據圖 25，可推估：

- 1.甲的血糖表現：

- (1)市售麻糬是所有麻糬中，讓甲的血糖最快速上升的，在第 1 個小時之後急速下降。
- (2)甲在吃 40%全麥麵粉麻糬、50%全麥麵粉麻糬的前 1 個小時，血糖持續下降，之後才上升，尤其 50%全麥麵粉麻糬降至最低點。而 40%全麥麵粉麻糬則是在第 1.5 個小時之後才升到最高，之後又下降。
- (3)在實驗 20%纖維粉麻糬的當天早上甲未吃早餐，故血糖在前測的表現比其他天較低，但仍能看出吃完 20%纖維粉麻糬半個小時後，血糖升至最高，之後緩緩下降。

2.乙的血糖表現：

- (1)市售麻糬是所有麻糬中，讓乙的血糖最快速上升的，在第 0.5 小時時即達到高點，第 1 小時時下降，但之後又上升，推測是升糖素作用使然。
- (2)20%纖維粉的血糖曲線與市售麻糬類似，但數值比市售麻糬低。
- (3)40%全麥麵粉麻糬、50%全麥麵粉麻糬的曲線類似，都在 1.5 小時前血糖值持續下降，尤其 50%全麥麵粉麻糬的血糖值更低。但到第 2 個小時時，40%全麥麵粉麻糬持續下降，而 50%全麥麵粉麻糬的血糖上升。

3. 丙的血糖表現：

- (1)由於丙不喜歡吃市售麻糬(有微苦味)，100 克市售麻糬通常要吃半個小時才吃完，所以市售麻糬對丙血糖影響要到第 1 個小時才顯現，而且已達最高，再慢慢下降。
- (2)20%纖維粉麻糬在第 0.5 小時升到高點，再下降，第 1 小時升糖素出現，血糖又上升。
- (3)40%全麥麵粉麻糬、50%全麥麵粉麻糬的曲線類似，都在 0.5 小時前血糖值持續下降，到第 1 小時時升到最高，又下降，再到 1.5 降到低點後又上升，呈現 w 曲線。但 50%全麥麵粉麻糬的較低。

4.雖然三位受試者血糖表現略有不同，但仍能明顯觀察到：

- (1)影響血糖由高而低的排序是：市售麻糬 > 20%纖維粉麻糬 > 40%全麥麵粉麻糬 > 50%全麥麵粉麻糬。
- (2)市售麻糬、20%纖維粉麻糬兩者血糖趨勢類似，但是市售麻糬會讓血糖上升最多；40%全麥麵粉麻糬、50%全麥麵粉麻糬曲線一致，較不易讓血糖快速上升，尤其 50%全麥麵粉麻糬效果更佳，較適合需要控制血糖者食用。

陸、討論

一、不易噎食、在胃中快速水解的麻糬

根據實驗 3、4 的結果，20%纖維粉麻糬在唾液、胃中是四種麻糬中最容易被液化、

分解成食糜的，所以具有不易噎食、在胃中快速成為食糜以利排空的優點。此結果與文獻中提及的菊苣纖維粉特性一致。菊苣纖維粉屬於「水溶性纖維」，具有「高吸水性、親水性」且不耐酸的特色，所以在口中、胃中能與水迅速結合、膨脹，導致麻糬結構迅速鬆散、液化。再加上酶、胃酸、胃蠕動的作用，使其加速形成食糜，因而在胃中能快速排空。

二、可以調整血糖上升速度的麻糬

根據實驗 5 可知，雖然三位受試者吃完四種麻糬後的血糖變化曲線各有不同，但卻能明顯觀察到三位受試者的血糖皆為：市售麻糬 > 20%纖維粉麻糬 > 40%麥麵份麻糬 > 50%全麥麵份麻糬。尤其 **40%麥麵份麻糬、50%全麥麵份麻糬**在吃過 0.5 小時後仍持續下降，甚至受試者甲、乙直到 1 小時都還在下降，之後才緩慢上升。此結果與文獻中提及全麥麵粉的特性一致。全麥麵粉屬於「非水溶性纖維」，不溶解於水但能吸水膨脹，增加胃腸內食物體積與黏稠度，這會稀釋消化酵素濃度，降低澱粉與消化酵素的直接接觸機會，從而減緩葡萄糖釋放速度。同時非水溶性纖維也會形成「物理屏障」，包覆或嵌入在澱粉周圍，進一步阻擋小腸對葡萄糖的吸收，延遲血糖上升時間。

三、麻糬物理性質可透過替代材料有效調整

本研究發現，以不同比例的全麥麵粉、纖維粉及豆腐取代糯米粉可影響麻糬的彈性、黏性、延性與展性。這顯示可依照需求選擇不同配方來改善傳統麻糬過於黏、彈性過強等問題，對牙口或吞嚥能力較弱者尤為有利。根據模擬胃水解實驗，20%纖維粉麻糬在胃液中最容易被分解成食糜，遠優於市售麻糬。表示此配方更適合消化機能較差者如老人、小孩或胃腸疾病患者，有潛力成為健康輔助食品。

四、不同配方麻糬對血糖影響具顯著差異

透過呼氣 CO₂濃度推估血糖變化實驗，結果指出：市售麻糬會導致血糖快速上升並迅速波動。相對而言，吃 50%全麥麵粉麻糬的血糖變化最穩定，適合糖尿病患者或有血糖控制需求者食用。使用嫩豆腐、全麥麵粉等替代材料製作的麻糬整體熱量與升糖指數皆較低。其中豆腐麻糬的熱量最低，對減重者具吸引力，且口感仍具柔軟滑順特性、豆漿香氣十足，能滿足口腹之欲與健康兼顧的需求。

五、唾液與 α -澱粉酶反應差異突顯個體間代謝差異

雖然市售麻糬皆能在兩種酶下完成葡萄糖化，但三位受試者的唾液澱粉酶活性表現不一，顯示人體酵素活性具個體差異。因此本研究使用 α -澱粉酶作為統一指標，有助排除個體差異造成的實驗誤差，提升科學性的同時也突顯出量化測試設計的必要性。

六、創新食材應用展現食品開發的教育潛能

本研究不僅是一項實驗計畫，也實際展示出國小學生在老師引導下進行研究、紀錄、分析與應用創新能力。此類以「食物科學」為主題的跨領域研究可拓展學生對健康、營養與科學方法的理解，具有教育推廣的潛力。

柒、結論

一、建立「麻糬水解葡萄糖化指標」與「麻糬影響血糖的升降指標」

(一) 以唾液澱粉酶水解市售麻糬時，三位受試者的 R 值都可以充分表現出隨著澱粉成為還原糖的量增加，使得本氏液中的氧化亞銅(Cu_2O)被釋出的濃度增加，因而紅色比例增加。唯個體間的唾液澱粉酶活性存在差異。

(二) 建立「麻糬水解葡萄糖化指標」

以濃度為 0.5% 的 α -澱粉酶水解市售麻糬時，前 80 分鐘(反應完成度 40%)的反應速度比三位受試者的唾液澱粉酶快，但第 120 分鐘(反應完成度 60%)後，則與受試者甲、丙一致。本研究以濃度為 0.5% 的 α -澱粉酶建立「麻糬水解葡萄糖化指標」。

(三) 自製麻糬對血糖的影響

以 t 檢定檢測三位受試者碳酸鈣產出量高度，皆未達顯著差異，顯示三人的數據變化皆穩定，其平均值可做為參照量尺之參考。唯不同受試者在吃完等量的市售麻糬後，身體血糖變化略有不同，應與個體間消化特性不同有關，故以三人各自平均數作為「麻糬影響血糖的升降指標」，用以檢測三項種自製麻糬對血糖的影響。

二、口感最接近市售麻糬的自製麻糬

取用嫩豆腐、菊苣纖維粉、全麥麵粉，以 20%、30%、40% 和 50% 的比例替代糯米粉做出 12 種自製麻糬後，找出口感最接近市售麻糬者為：

(一) 50% 全麥麵粉麻糬的「彈性」與「展性」口感、40% 全麥麵粉麻糬的「延性」口感、20% 纖維粉麻糬的「黏性」口感最接近市售麻糬。取這三種自製麻糬，進行後續 α -澱粉酶水解葡萄糖化、胃液水解成食糜、推估血糖升降的實驗。

(二) 不論取代比例為何，豆腐麻糬的口感與市售麻糬的差異最大，但降低熱量的效果最好。

三、不同麻糬在 α -澱粉酶作用下的水解葡萄糖化速度

不同麻糬在 α -澱粉酶作用下的水解葡萄糖化速度為：市售麻糬 > 20% 纖維粉麻糬 > 40% 全麥麵粉麻糬 > 50% 全麥麵粉麻糬。20% 纖維粉麻糬於口中最快液化，較適合吞嚥困難者食用。

四、不同麻糬與在胃內的水解成食糜的速度

不同麻糬與在胃內的水解成食糜的速度：20%纖維粉麻糬最佳、市售麻糬最差。20%纖維粉麻糬在胃內最容易被水解成食糜，較適合胃功能不佳者食用。

五、評估各類麻糬對人體血糖的影響

評估各類麻糬對人體血糖的影響，發現雖然個體間受自身消化特性影響，血糖表現略有不同，但仍能明顯觀察到：

(一) 能使血糖升高的麻糬排序是：市售麻糬 > 20%纖維粉麻糬 > 40%全麥麵粉麻糬 > 50%全麥麵粉麻糬。市售麻糬會使血糖快速上升，最不適合需控制血糖者食用。

(一) 市售麻糬、20%纖維粉麻糬兩者血糖趨勢類似，但是市售麻糬會讓血糖上升最多；40%全麥麵粉麻糬、50%全麥麵粉麻糬曲線一致，較不易讓血糖快速上升，尤其 50%全麥麵粉麻糬效果更佳，較適合需要控制血糖者食用。

捌、參考文獻資料及其他

王郁婷(2019)。攜帶型直笛檢測器研發與呼出氣體分析。中華民國第 60 屆科學展覽會。

王振宇、黎庭吟、朱學政、許容華、張好菁、謝朝明(2010)。誰是口水王——唾液澱粉酶對澱粉的消化作用。中華民國第 51 屆中小學科學展覽會。

池谷敏郎(2020)。胃弱使用說明書：解除消化不良、胃食道逆流、胸悶、壓力型胃痛，日本名醫認證的顧胃指南(涂紋鳳譯)。高寶國際出版。

吳靜宜(2024)。體內環保健康小尖兵~膳食纖維。長庚醫訊，43(12)，30-31。

https://www.cgmh.org.tw/cgmh/cgmh_file/2211016.pdf

呂孟凡(2021)。為什麼糯米容易升糖又常被說難消化?營養師解析給你看。營養麵包—呂孟凡營養師提供有科學根據的營養知識。<https://reurl.cc/nmdRMI>

林惠中(2021)。分析化學（含定性定量分析、儀器分析）。鼎文書局。

柯幸君(2021 年 2 月 4 日)。低升糖指數飲食法。馬偕紀念醫院。https://www.mmh.org.tw/know_health_view.php?docid=909

島田英昭(2021)。你又胃食道逆流了嗎?【完全圖解】日本專科醫師教你這樣做，有效降低 80%復發率!(蔡麗蓉譯)。方舟文化出版。

陳愛澧、曾鈞文、林豈絨、賴羿棠、邱崇祐、江宇翔(2022)。「飯」科學~探討米飯的抗性澱粉形成條件。中華民國第 62 屆科學展覽會。

劉維(2020)。《葡萄糖澱粉·碘液本氏液》《顏色的變化》[影片]。<https://reurl.cc/j9ZOoZ>

Chihhsiang C. (2015)。葡萄糖的測定。<https://youtu.be/GRrHpSLtVTI?si=xR6cGGXJrzRahKpa>

Lin, C.-H., Wu, L.-X., Chen, K.-H., Lo, H.-F., Lin, K.-C., Kasai, T., Chen, C.-C., Shih, C.-H., Manzano, M. C., Santos, G. N., Manzano, E., & Yu, D. E. (2020). Non-invasive and time-dependent blood sugar monitoring via breath. Analytical Sciences.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/analsci/advpub/0/advpub_19P407/_pdf

【評語】 082911

1. 本研究旨在探討市售麻糬與不同配方自製麻糬在物理性質、消化特性的差異，並建立相關指標進行檢驗，實驗結果主題明確，研究方法可行具實用性，在麻糬的製備及配方調整具參考價值。
2. 本研究選擇數種較為有益生理機能的材料，取代部分糯米粉，降低支鏈澱粉的比例，製作出不同配方的麻糬，並透過實驗測試其物理性質與消化特性，希望能研發出口感接近市售麻糬且有益生理機能的麻糬，具備易吞嚥、低升糖、低熱量、易消化的優點，使其成為更適合各年齡層消費者的國民美食。
3. 在麻糬影響人體消化的實驗，因樣本數小及個體差異性大，可能會影響實驗結果的準確性和再現性。
4. 血糖升降指標實驗設計將 CO_2 以集氣袋搜集後混合飽和的澄清石灰水 30 秒，如何可以確保氣體反應完全？建議可以更深入思考，以設計改善目前的量測方式。

作品海報

麻糬進化論—

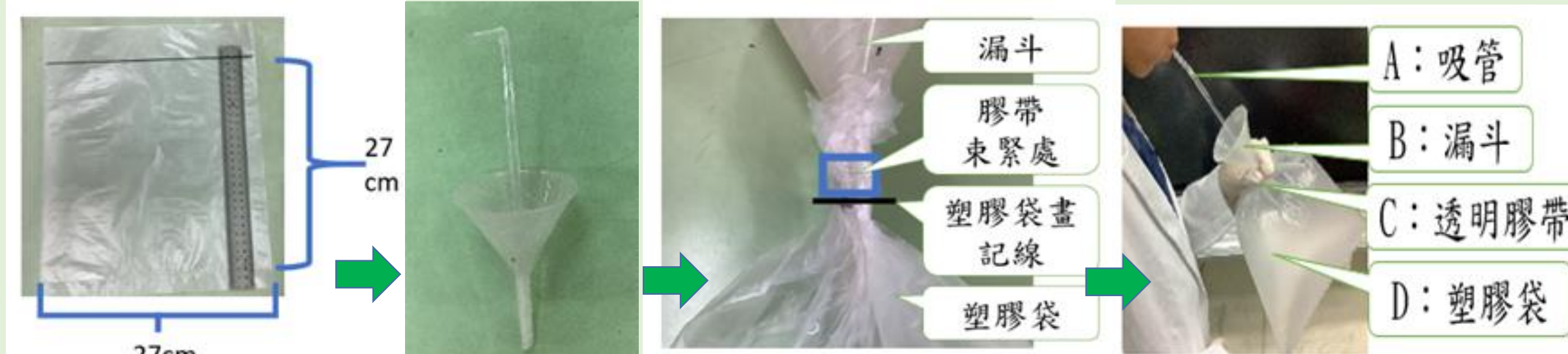
自製改良麻糬於口感與消化特性之比較研究

摘要 為了研發更有益生理機能且口感接近市售麻糬的改良麻糬，以嫩豆腐、全麥麵粉、菊苣纖維粉取20%、30%、40%與50%的比例替代糯米粉，製作出12種改良麻糬，測量其物理性質，並**建立麻糬水解葡萄糖化指標、血糖評估指標**進行檢驗，發現：一、50%全麥麵粉麻糬的彈性與展性、40%全麥麵粉麻糬的延性、20%纖維粉麻糬的黏性最接近市售麻糬；二、豆腐麻糬熱量可降低最多，適合需減重者。三、20%纖維粉麻糬最利於吞嚥，適合幼兒或年長者；四、20%纖維粉麻糬在胃裡水解最快，適合胃功能不佳者；五、50%全麥麵粉麻糬血糖穩定度最佳，適合需控糖者。

研究設備及器材

一、自製集氣袋

(所有照片由研究者拍攝、標示)



1. 在塑膠袋高度27cm處畫記


2. 吸管塞緊漏斗管徑

3. 膠帶沿著畫記線將塑膠袋口束緊在漏斗管外

4. 集氣袋完成總容積3,500ml

A: 吸管
B: 漏斗
C: 透明膠帶
D: 塑膠袋

三、自製麻糬彈性測量槽



約0.5cm

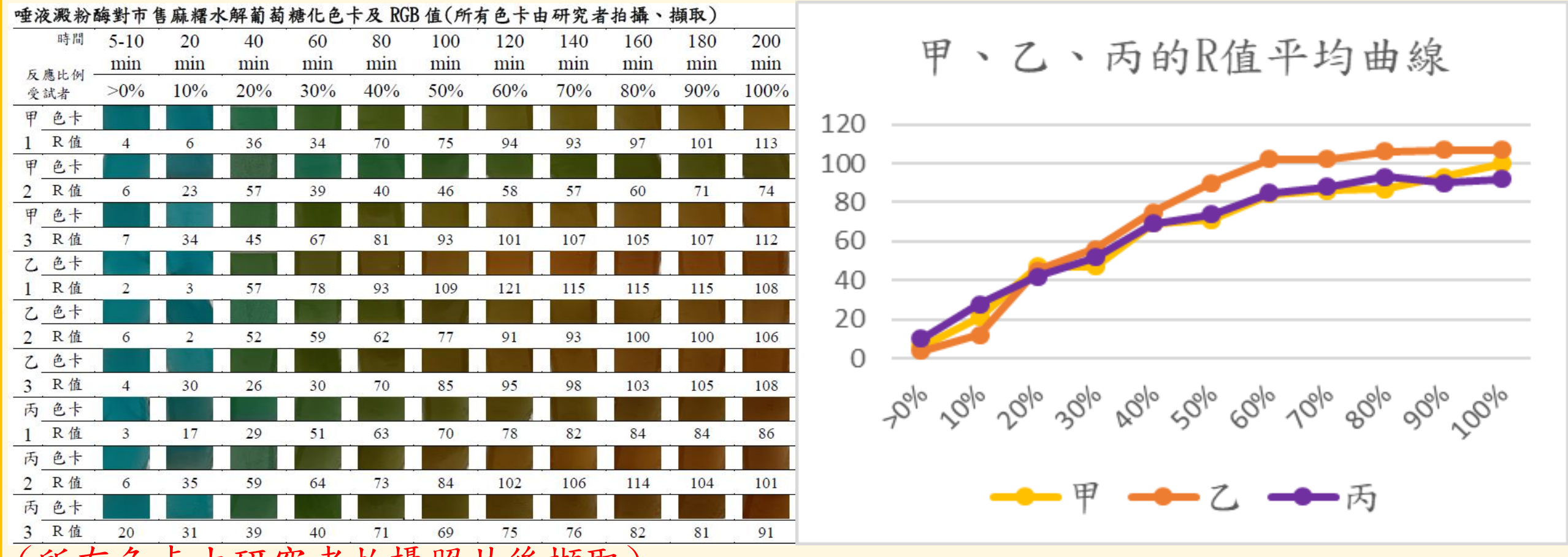
↑麻糬彈性測量槽(照片由研究者拍攝、標示)

研究過程與結果

實驗1-1 建立「麻糬水解葡萄糖化的指標」

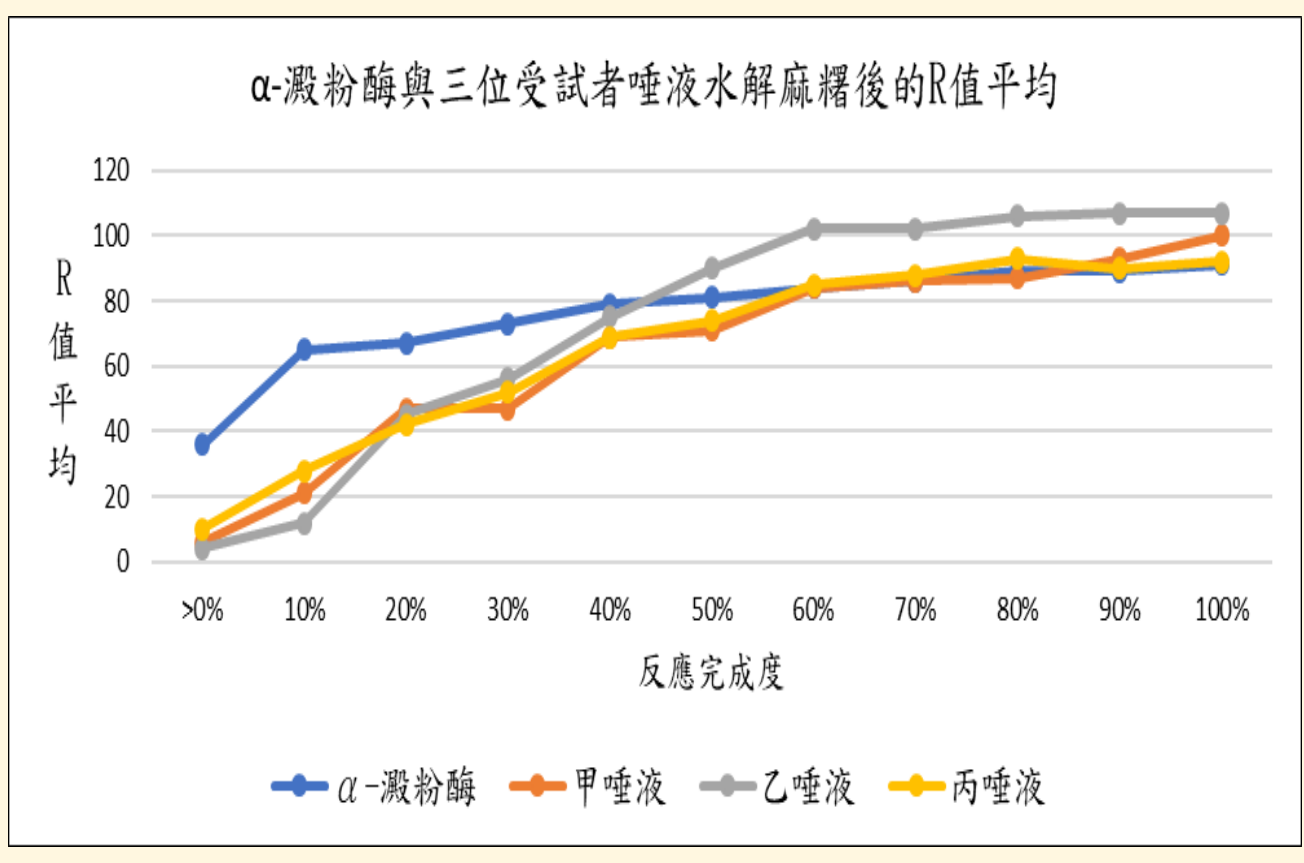
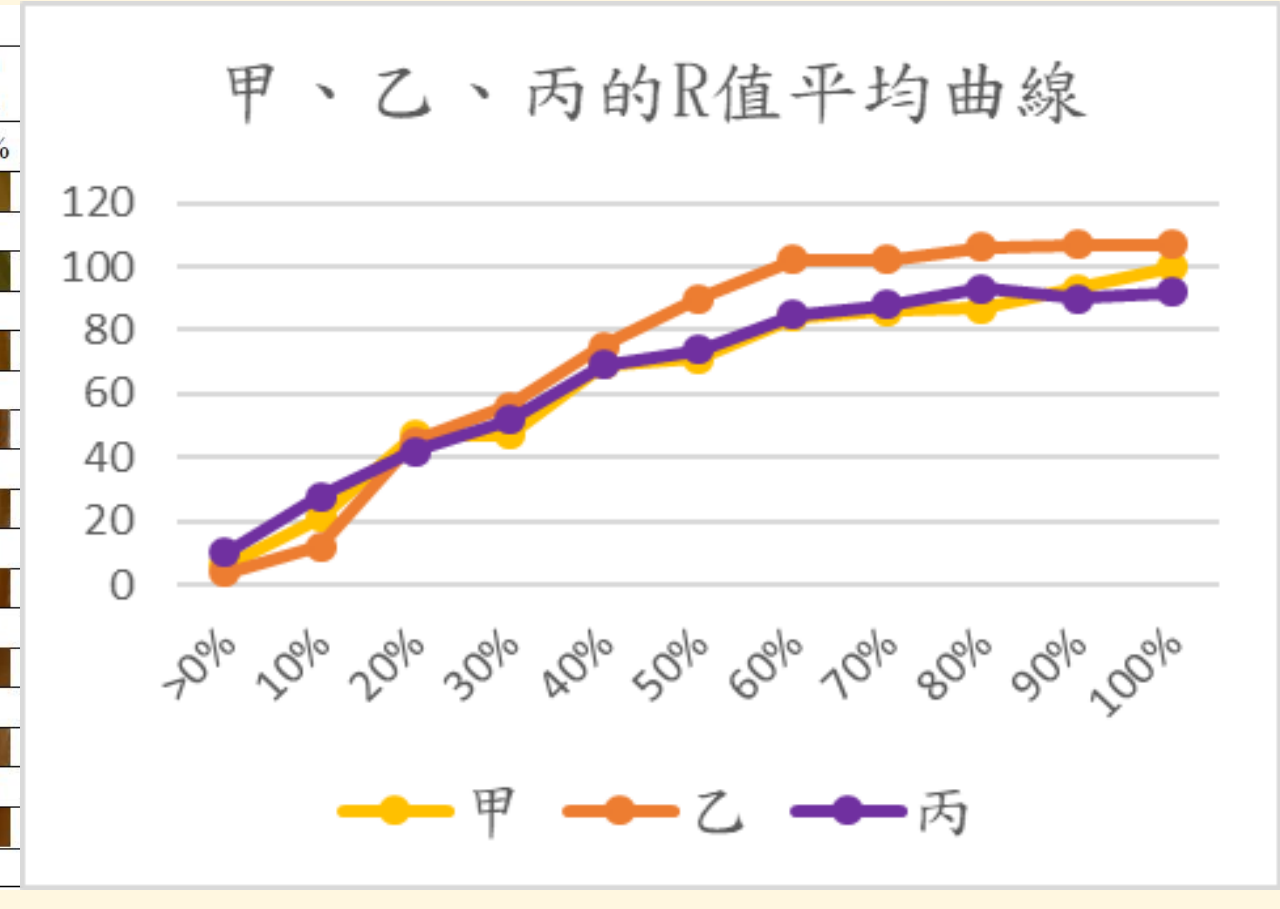
實驗1-1-1 人體唾液澱粉酶實驗

【做法】三位受試者咀嚼5g市售麻糬1分鐘，取出1ml食糜唾液、2ml本氏液混合，置於45℃的恆溫水浴槽。每20分鐘拍照，共200分鐘。匯入小畫家軟體找出RGB值。共進行三次，找出R值平均。



實驗1-1-2 α-澱粉酶實驗

【做法】10g市售麻糬加入0.5%的α-澱粉酶水溶液，以食物調理機攪拌30秒(模擬咀嚼)。其他步驟與實驗1-1-1相同。

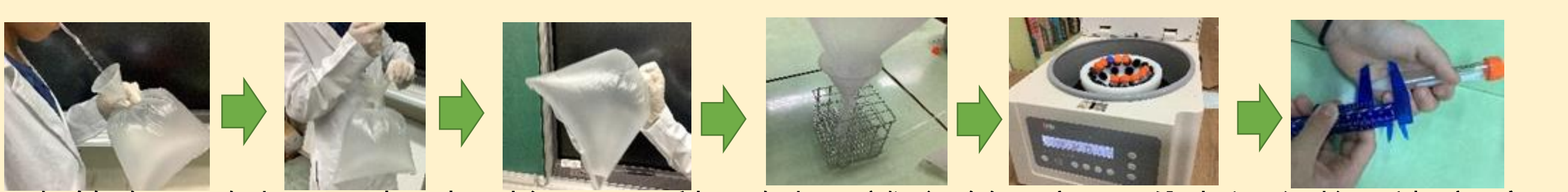


實驗1-2 建立「麻糬影響血糖的升降指標」

【準備】受試者在實驗當天上午7點之前吃完早餐，直至上午11點之前僅能喝白開水。每日11點實驗。

【做法】1. 受試者吃市售麻糬之前及之後每半小時，以集氣袋收集呼氣各3袋，直到2小時。

2. 將飽和澄清石灰水倒入集氣袋中，搖晃30秒，再將液體置於離心機中定量分析後，測量碳酸鈣沉積高度。實驗三次(天)，以t檢定驗證。



吹飽氣 → 倒入石灰水 → 搖晃30秒 → 倒入離心管 → 定量分析 → 測沉積高度

(所有照片由研究者拍攝)

本海報所有照片、圖表皆由研究者拍攝、繪製

動機

麻糬的Q彈口感，主要來自於糯米中高比例的支鏈澱粉，但支鏈澱粉同時也導致麻糬易噎食、高升糖、高熱量及難消化。為了解決以上問題，我們選擇數種較為有益生理機能的材料，取代部分糯米粉，降低支鏈澱粉的比例，並透過實驗測試其物理性質與消化特性，希望研發出好吃又健康的麻糬。

目的

- 一、建立各項評估指標。
- 二、研製以不同比例替代材料的自製麻糬，並測試其物理性質，找出口感最接近市售麻糬的自製麻糬。
- 三、比較各類麻糬在α-澱粉酶作用下水解葡萄糖化表現。
- 四、評估各類麻糬在胃內分解成食糜的水解差異程度。
- 五、推估各類麻糬對人體血糖影響的差異表現。

二、檢測呼氣中的CO₂濃度推估血糖升降

- (一)器材：集氣袋、飽和澄清石灰水、離心機、離心管、游標尺、手套和護目鏡
- (二)原理：CO₂通入石灰水中會與氫氧化鈣反應生成白色碳酸鈣沉澱，成為混濁水溶液
- $$\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$$
- 水溶液置於離心機中定量分析後測出碳酸鈣沉澱高度，即比較出CO₂相對濃度。以「血糖越高，CO₂濃度越高」的原理推估血糖。

四、模擬胃環境水解麻糬成食糜

- (一)藥品：鹽酸(1M，pH=1，模擬胃酸)、蒸餾水
- (二)器材：多功能攪拌器(模擬胃的物理性攪拌)、離心機、15ml離心管、500ml燒杯、滴管、游標尺、手套、護目鏡。

【發現】

1. 三位受試者R值皆表現出隨著澱粉成為還原糖的量增加，使本氏液中的氧化亞銅被釋出的濃度增加，因而紅色比例增加。但個體間的唾液澱粉酶活性有差異。
2. 為了建立更客觀的「麻糬水解葡萄糖化指標」，以α-澱粉酶進行實驗1-1-2。

【發現】

1. α-澱粉酶在前40%時水解市售麻糬的速度比三位受試者的唾液澱粉酶快，而在第60%後則和甲、丙相近。
2. 本研究以α-澱粉酶的三次R值平均曲線作為「麻糬葡萄糖化指標」，在實驗3中與三種自製麻糬進行比較。

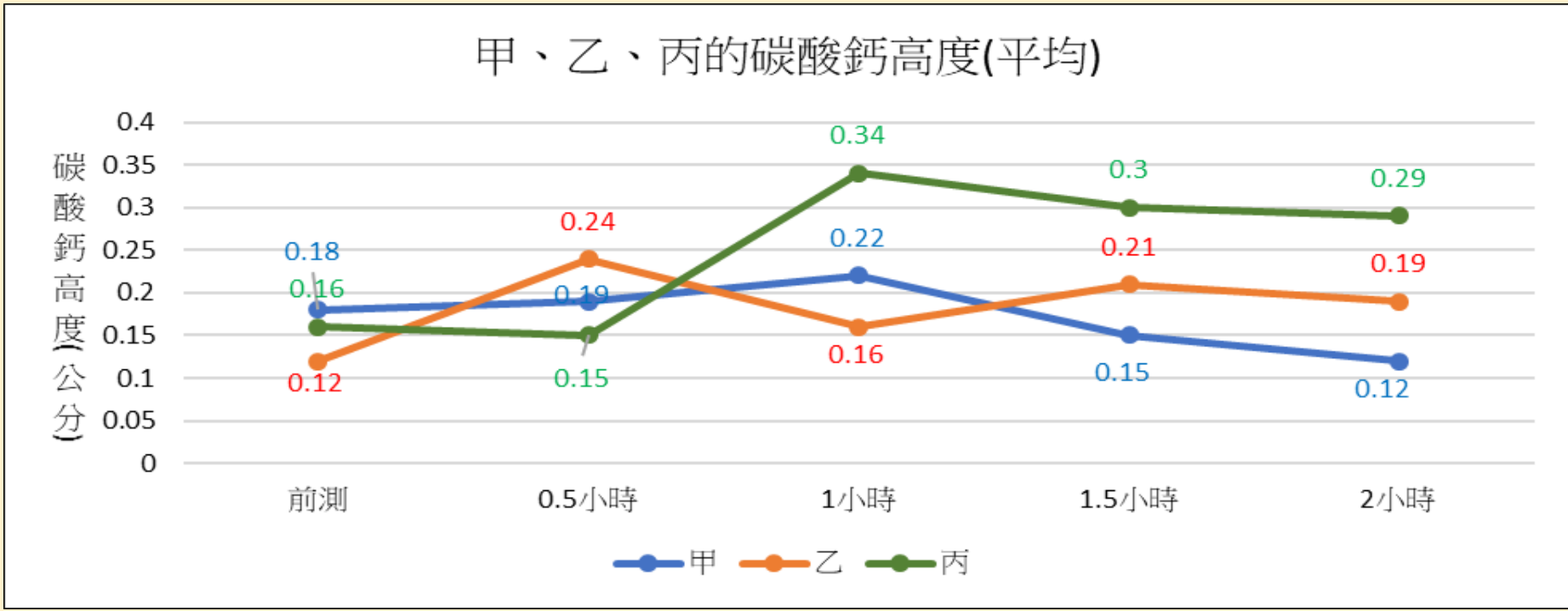
三位受試者吃市售麻糬後測得的碳酸鈣高度與 t 檢定結果							
時間 受試者		前測	0.5 小時	1 小時	1.5 小時	2 小時	t 檢定 (t 值/p 值)
甲	第 1 次	0.17	0.09	0.22	0.19	0.13	t12 = (-0.7327/.4931)
	第 2 次	0.16	0.37	0.25	0.11	0.11	t23= (0.8446/.4330)
	第 3 次	0.21	0.10	0.20	0.15	0.11	t13 = (0.1873/.8561)
	平均	0.18	0.19	0.22	0.15	0.12	t 甲 乙=(-0.4472/.6670)
乙	第 1 次	0.18	0.24	0.11	0.14	0.31	t12 = (0.3354/.7460)
	第 2 次	0.06	0.24	0.21	0.27	0.11	t23 = (0.0441/.9662)
	第 3 次	0.12	0.24	0.16	0.21	0.15	t13 = (0.4778/.6483)
	平均	0.12	0.24	0.16	0.21	0.19	t 乙 丙=(-1.453/.1958)
丙	第 1 次	0.16	0.11	0.19	0.11	0.65	t12 = (0.0150/.9884)
	第 2 次	0.13	0.16	0.24	0.57	0.11	t23 = (-0.1179/.9091)
	第 3 次	0.19	0.18	0.58	0.22	0.11	t13 = (-0.0909/.9299)
	平均	0.16	0.15	0.34	0.3	0.29	t 甲 丙=(-1.7874/.1286)

【發現】受試者各自數值皆未達顯著差異，顯示個體內數據穩定，可以做為參照標準。受試者間平均值也未達顯著差異，顯示本實驗過程一致性高、誤差小，可信賴度高。

研究過程與結果

【發現】（延續實驗1-2）

2. 三位受試者血糖變化略有不同，應與個體間消化特性不同有關，故以三位受試者各自平均值作為「麻糬影響血糖升降指標」，進行實驗5。



二、研發口感最接近市售麻糬的自製麻糬

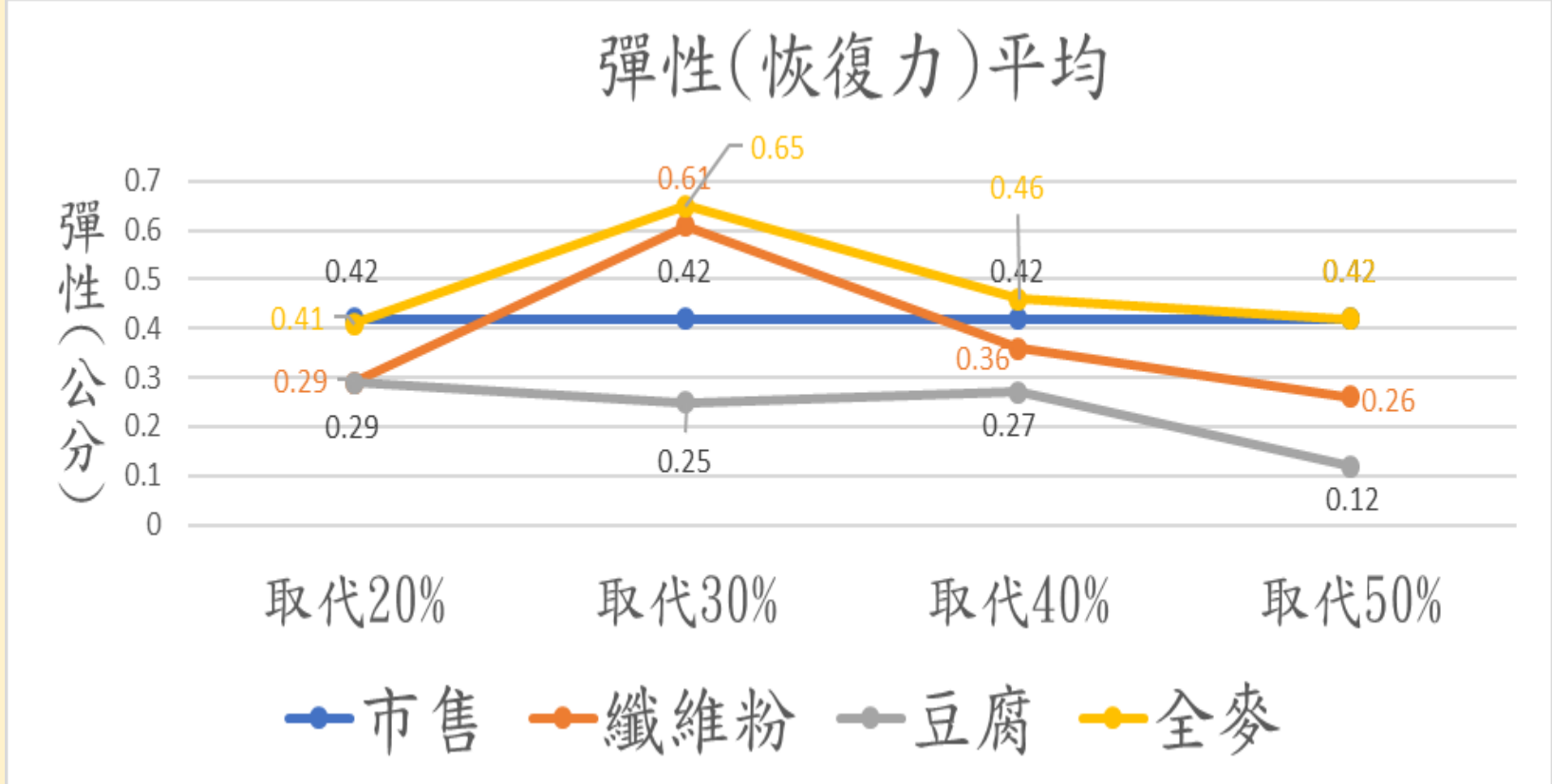
自製麻糬

【做法】以嫩豆腐、纖維粉、全麥麵粉，取代20、30、40、50%的糯米粉，做出的12種自製麻糬，外觀與口感如下：（所有照片由研究者拍攝）

取代比例		20%	30%	40%	50%
豆腐麻糬	外觀				
	口感	口感軟嫩，有豆漿的香氣。隨著豆腐比例增加，豆漿味更濃。非常淡的黃色。			
纖維粉麻糬	外觀				
	口感	口感軟嫩，咀嚼後即化，微甜。纖維粉比例增加，甜味更明顯。白色並有透明感。			
全麥麵粉麻糬	外觀				
	口感	口感Q彈、有嚼勁，可以吃到纖維的顆粒感。土黃色並有棕色斑點。全麥麵粉比例增加，纖維感更強，顏色更深。			

實驗二-1 麻糬的「彈性」比較

【做法】麻糬放在「彈性測量槽」裡，鋪至4cm，推到3cm處即放開。測放開10秒後麻糬恢復的長度。每種麻糬做6顆，每顆做6次，取平均值。



（照片由研究者拍攝）

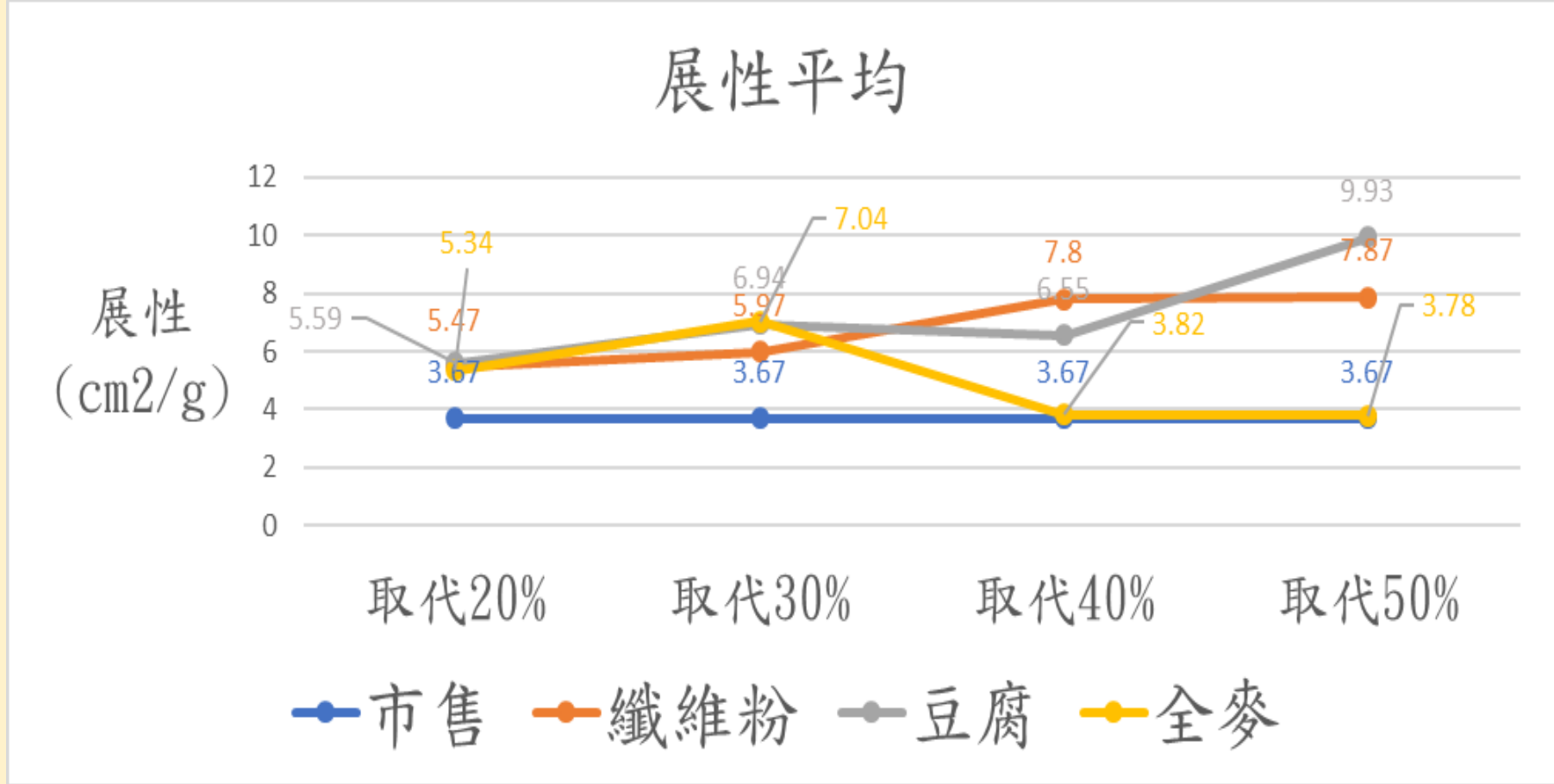


▲麻糬放在測量槽裡，鋪至4cm處

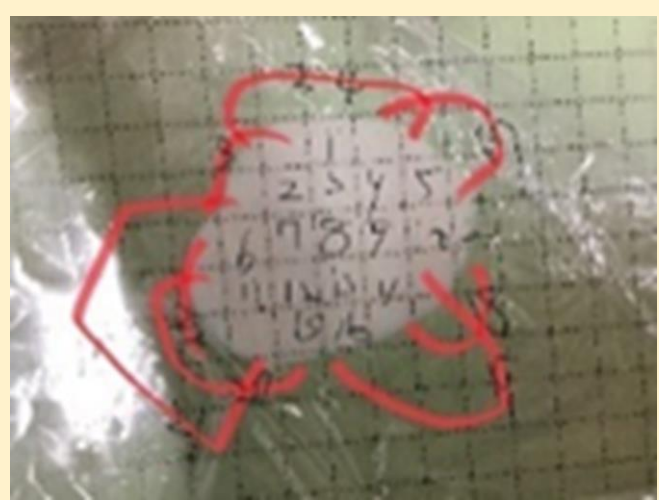
【發現】50%全麥麵粉麻糬的彈性與市售麻糬相同。

實驗二-2 麻糬的「展性」比較

【做法】估算麻糬被重壓10秒後的面積，再除以重量，即為展性，每種麻糬做6顆，取平均。



（照片由研究者拍攝）

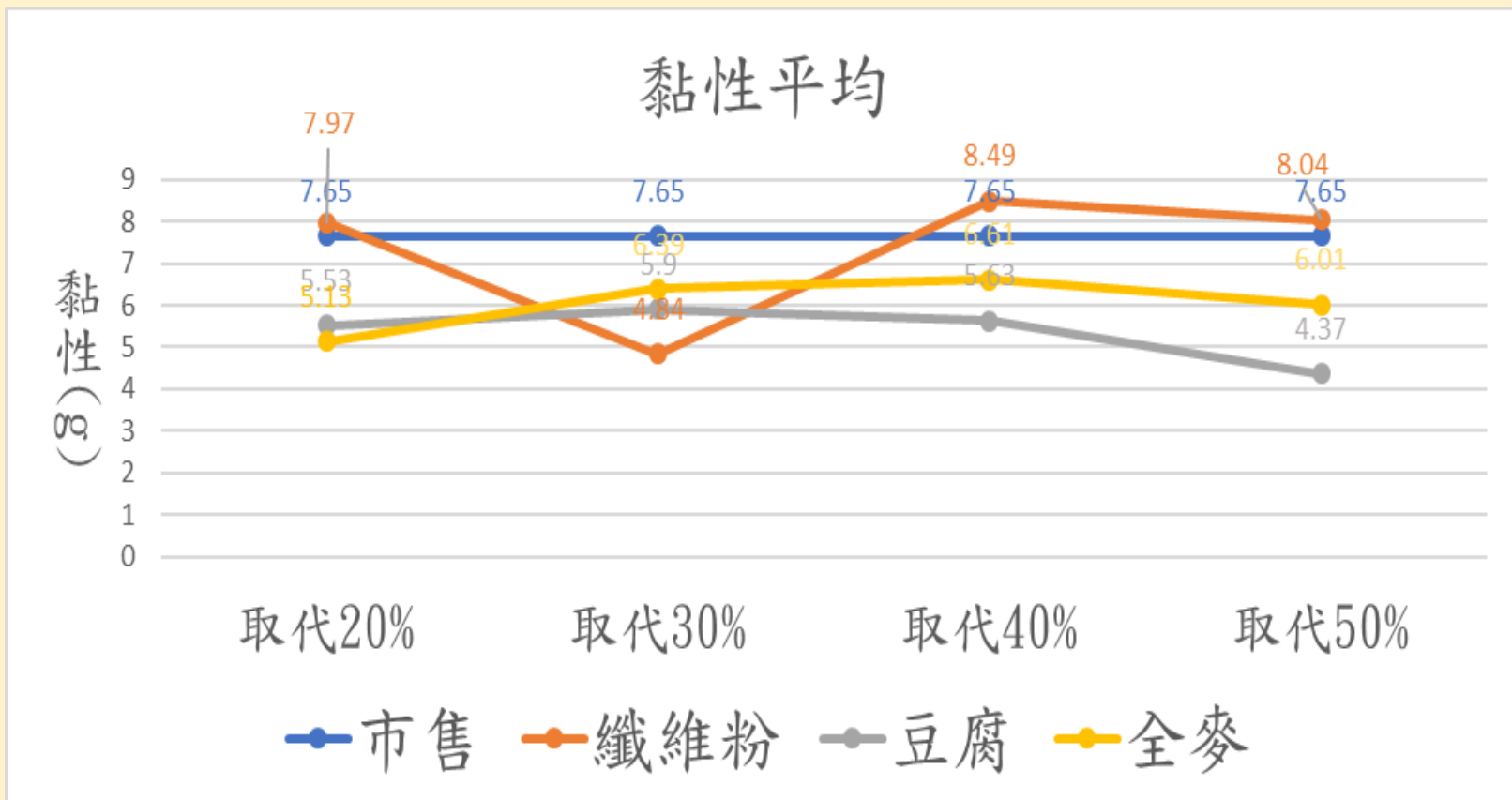


▲以透明方格片估算麻糬壓扁後的面積。

【發現】50%全麥麵粉麻糬的展性最接近市售麻糬。

實驗二-3 麻糬的「黏性」比較

【做法】滑輪組一端吊掛砝碼，另一端吊掛夾住保鮮膜的長尾夾，測出保鮮膜能離開麻糬的砝碼重量，即為黏性。（所有照片由研究者拍攝）



▲測量黏性的裝置

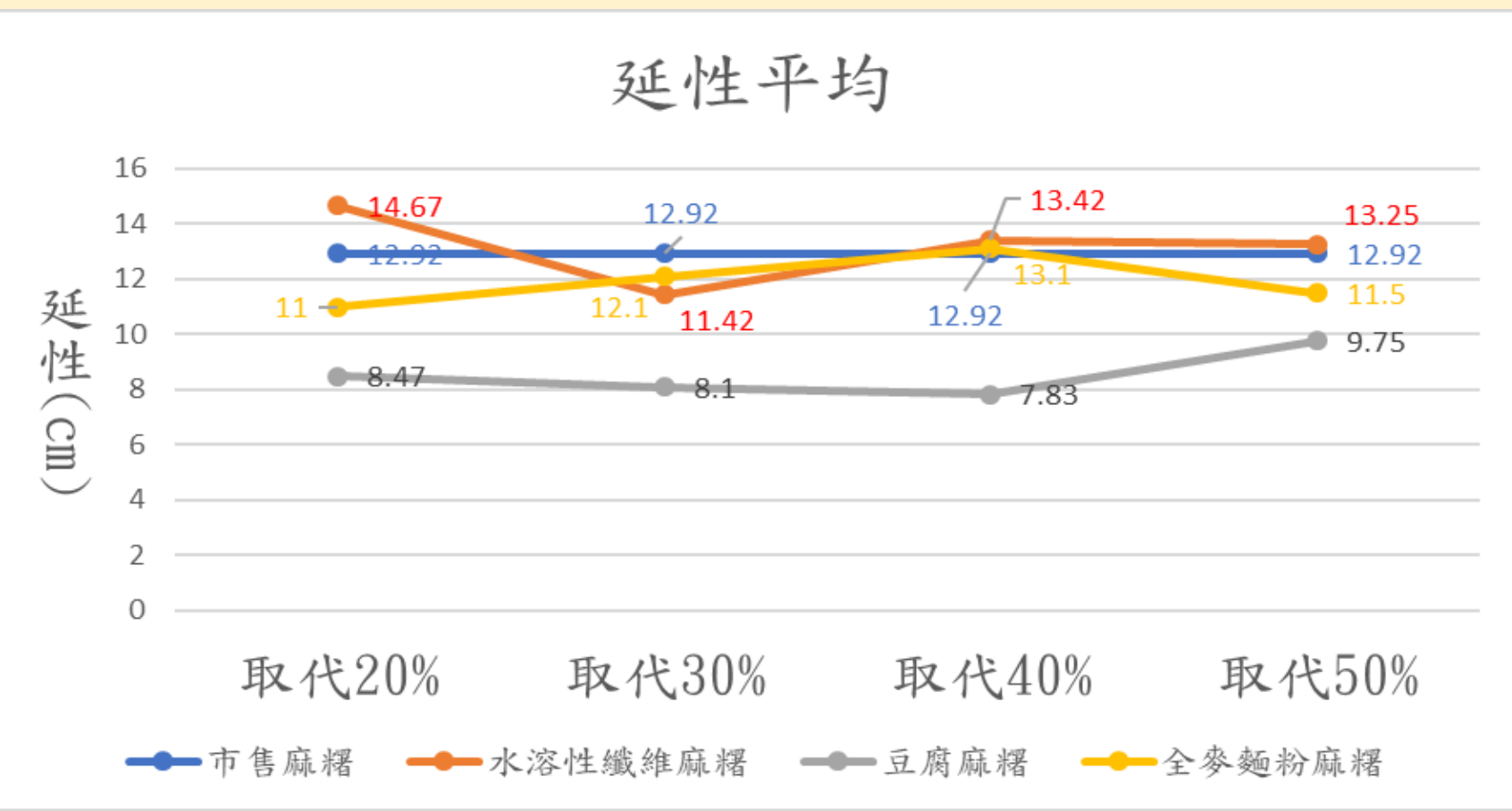


▲測保鲜膜離開麻糬的砝碼重

【發現】20%纖維粉麻糬的黏性是最接近市售麻糬的。

實驗二-4 麻糬的「延性」比較

【做法】以平板錄影，紀錄麻糬因地心引力自然斷掉的長度，即為延性。（所有照片由研究者拍攝）



▲測量延性的裝置



▲測量麻糬斷掉的長度

【發現】40%的全麥麵粉麻糬，其延性最接近市售麻糬。

熱量計算

【做法】分析各類麻糬原料成分，換算成熱量（1公克醣類、蛋白質的熱量4大卡，脂質9大卡），整理出各類麻糬總熱量如下表：

成分 種類	重量	糯米粉				取代物				總熱量(大卡)	降低熱量比率
		重量(g)	蛋白質(g)	醣類(g)	脂質(g)	重量(g)	蛋白質(g)	醣類(g)	脂質(g)		
市售麻糬		70	3.64	58.24	0.28	/	/	/	/	250.04	/
豆腐麻糬	20%	56	2.91	46.59	0.22	14	0.64	0.28	0.42	207.44	17.04%
	30%	49	2.55	40.77	0.20	21	0.97	0.42	0.63	186.31	25.49%
	40%	42	2.18	34.94	0.17	28	1.29	0.56	0.84	164.97	34.02%
	50%	35	1.82	29.12	0.14	35	1.61	0.70	1.05	143.71	42.53%
纖維粉麻糬	20%	56	2.91	46.59	0.22	14	0	8.4	0	233.58	6.58%
	30%	49	2.55	40.77	0.20	21	0	12.6	0	225.48	9.82%
	40%	42	2.18	34.94	0.17	28	0	16.8	0	217.21	13.13%
	50%	35	1.82	29.12	0.14	35	0	21	0	209.02	16.41%
全麥麵粉麻糬	20%	56	2.91	46.59	0.22	14	1.89	9.66	0.28	248.70	0.54%
	30%	49	2.55	40.77	0.20	21	2.84	14.49	0.42	248.18	0.74%
	40%	42	2.18	34.94	0.17	28	3.78	19.32	0.56	247.45	1.04%
	50%	35	1.82	29.12	0.14	35	4.73	24.15	0.70	246.84	1.28%

【發現】豆腐麻糬的熱量可降低最多，可達17-43%。

【統整】

- 綜合實驗2-1到2-4的結果可知，20%纖維粉、40%全麥麵粉、50%全麥麵粉麻糬的口感最接近市售麻糬。後續以此三種自製麻糬與市售麻糬進行實驗3-5。
- 豆腐麻糬口感與市售麻糬差異最大，但熱量可降低最多。

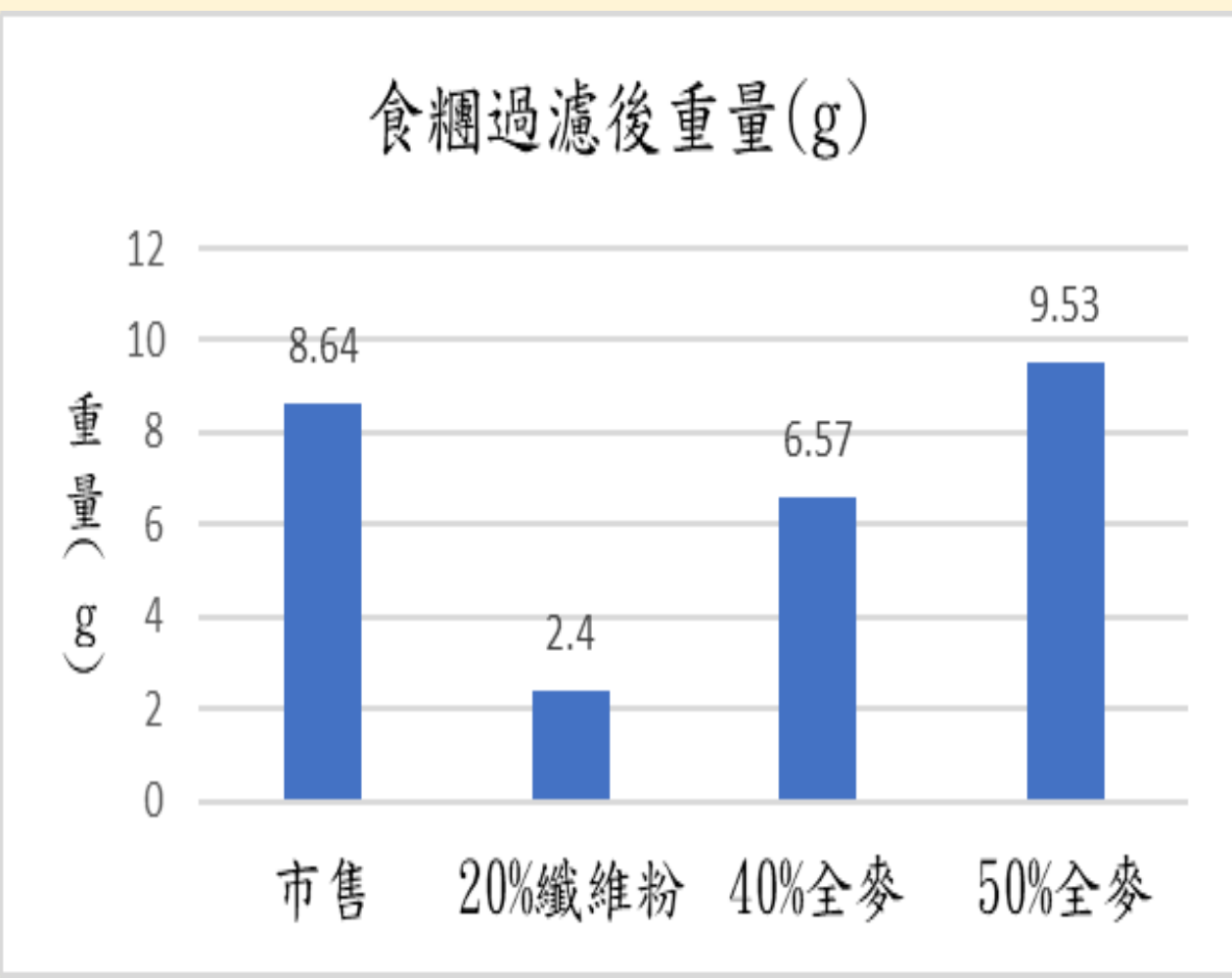
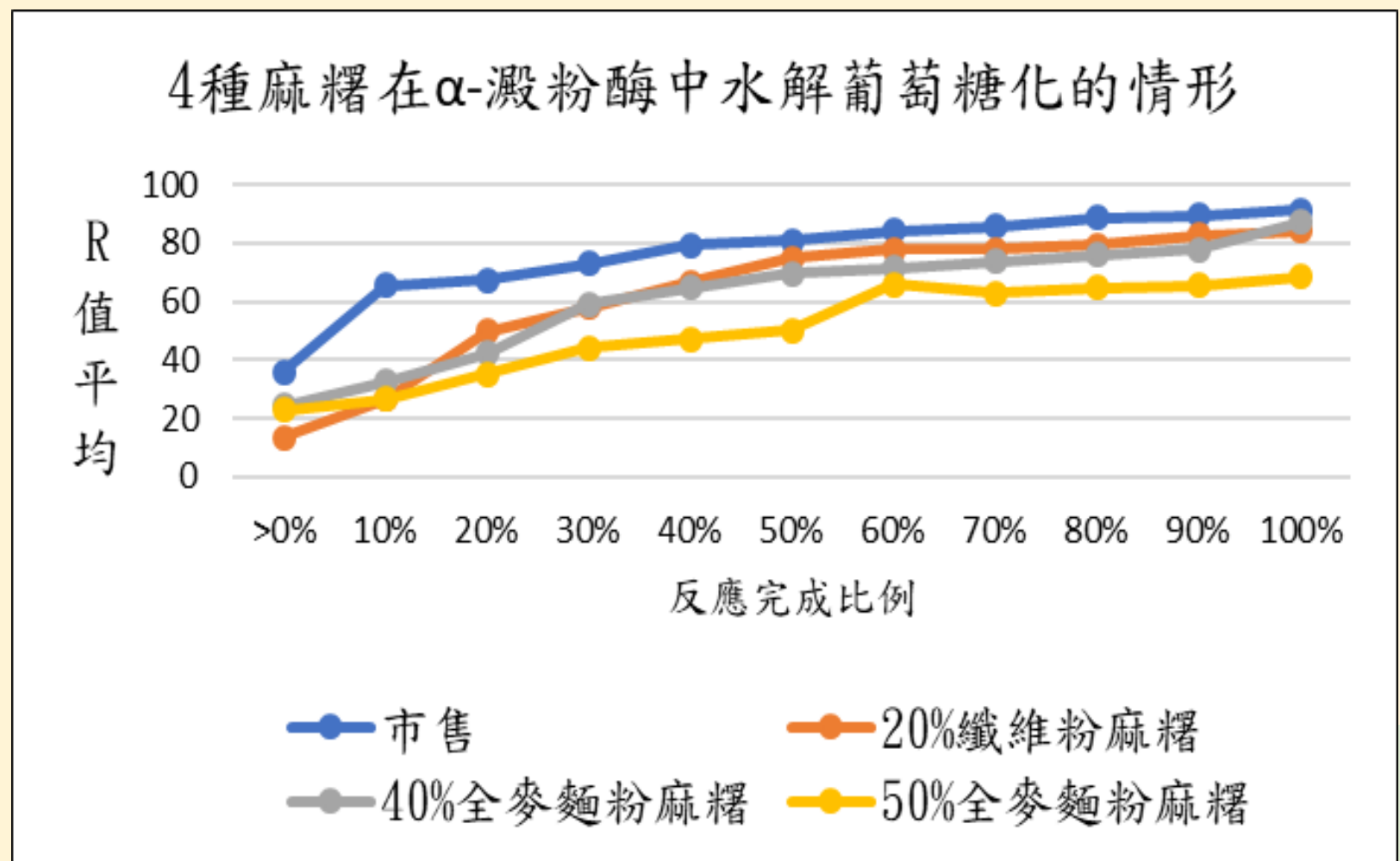
三、比較市售麻糬與自製麻糬在 α -澱粉酶作用下水解葡萄糖化的表現。

實驗3 自製麻糬的水解葡萄糖化反應

- 【做法】1. 根據實驗2-1~2-4，以20%纖維粉、40%全麥麵粉、50%全麥麵粉麻糬進行實驗。
2. 以實驗1-1-2的實驗步驟，取得三種自製麻糬的水解葡萄糖化的R值平均。
3. 重新取10g麻糬，加入0.5%的 α -澱粉酶水溶液中，以調理機攪拌5秒後，再用濾紙過濾6時。



▲以2號濾紙過濾4種麻糬食糰
（照片由研究者拍攝）



【發現】

- 在 α -澱粉酶中水解葡萄糖化的速度：市售麻糬>20%纖維粉麻糬>40%全麥麵粉麻糬>50%全麥麵粉麻糬。延長觀察時間後發現50%全麥麵粉麻糬要到320~340分鐘後才能反應完，速度最慢。
- 20%纖維粉麻糬在口中保留食糰最少，不易噎食，較適合幼兒、長者或有吞嚥困難的人食用，此結果與研究者實際食用20%纖維粉麻糬的經驗一致。

研究過程與結果

四、評估各類麻糬在胃內分解成食糜的水解差異程度

實驗4 模擬麻糬在胃內分解成食糜的水解差異程度

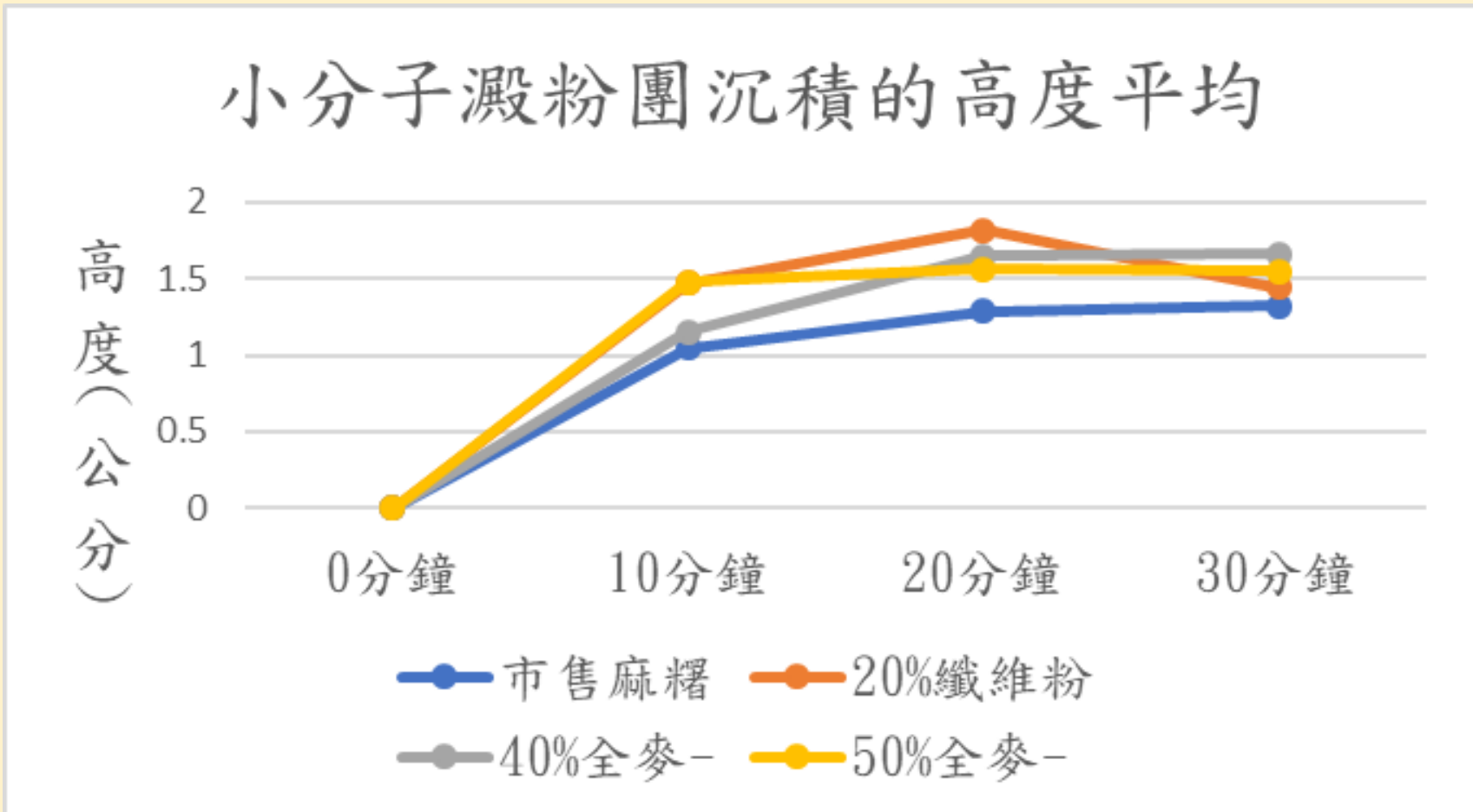
【做法】1. 100ml的鹽酸和200ml蒸餾水混合成300ml鹽酸溶液(pH=1)。



2. 20克麻糬、300ml鹽酸溶液放入攪拌機內攪拌
3. 每10分鐘取3管10ml食糜液體。
4. 放入離心機進行定量分析
5. 游標尺量小分子澱粉團的沉積高度

【發現】

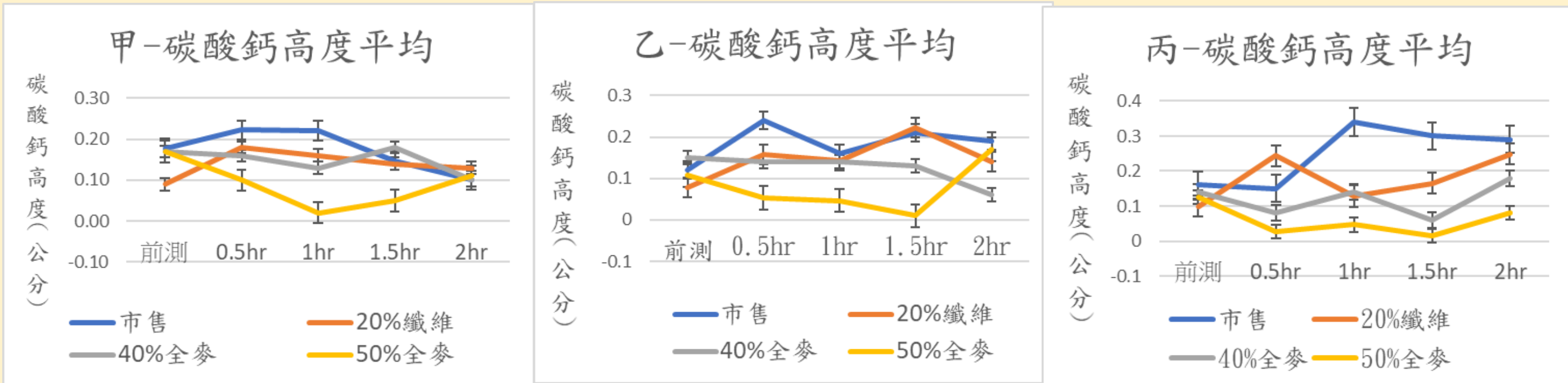
1. 在研究的前10分鐘時，所有麻糬在模擬胃內快速水解。
2. 在第20分鐘時，在胃內水解成食糜的速度以20%纖維粉麻糬最佳、市售麻糬最差。20%纖維粉麻糬較適合胃功能不佳者食用。



五、推估各類麻糬對人體血糖影響的差異表現

實驗5 麻糬影響人體CO₂濃度

【做法】受試者分別吃三種自製麻糬，步驟如實驗1-2，取得的數據與實驗1-2的參照標準進行比較。



【發現】雖然三位受試者血糖表現略有不同，但仍能明顯觀察到：

1. 推估影響血糖上升速度：市售麻糬 > 20%纖維粉麻糬 > 40%全麥麵粉麻糬 > 50%全麥麵粉麻糬。
2. 市售麻糬、20%纖維粉麻糬血糖趨勢類似；40%、50%全麥麵粉麻糬曲線類似。50%全麥麵粉麻糬減緩血糖上升效果最佳，可能適合需要控制血糖者食用。

討論

一、20%纖維粉麻糬最適合吞嚥能力差、胃功能不佳者

實驗3與4結果顯示，20%纖維粉麻糬在唾液與胃液中最容易液化與分解，具易吞嚥、快速排空優勢。這與菊苣纖維「高吸水性、親水性、不耐酸」的特性吻合，有助鬆散麻糬結構並加快胃排空，較適合老人、小孩及消化功能較弱者，具作為健康輔助食品的潛力。

二、40%、50%全麥麵粉麻糬可能有助穩定血糖

根據實驗5的結果顯示，推估三位受試者在食用40%、50%全麥麻糬後0.5~1小時血糖仍持續下降，之後才緩升，顯示此兩種麻糬可能延緩血糖上升。這與全麥麵粉富含「非水溶性纖維」有關，能增加食物黏稠度、減少與酵素接觸與葡萄糖吸收，對需控糖者有益。

三、多種麻糬配方兼具風味與健康功能，可因人選擇

- (一)豆腐麻糬：口感軟嫩，與市售麻糬差異最大，但豆漿香氣是其風味特色，且最有效降低總熱量，適合追求減重的同時又想兼顧風味者食用。
- (二)纖維粉麻糬：口感軟嫩，入口即化，不加糖即有甜味，且易吞嚥、不易脹氣，適合喜歡微甜口感或消化功能、吞嚥功能較弱者食用。
- (三)全麥麵粉麻糬：口感與市售麻糬最接近，尤其是彈性與展性。最利於延緩血糖上升。較適合喜歡Q彈口感或是想控糖者食用。

四、本研究結果突顯個體間代謝差異的同時，亦達到對食品影響的評估之價值

實驗1-1-1與1-1-2顯示，市售麻糬可在兩種酶作用下水解葡萄糖化，然而三位受試者的唾液澱粉酶活性不一，顯示人體酵素具個體差異。為降低此差異的影響，本研究採用 α -澱粉酶作為統一水解酵素，提升實驗一致性與科學信度。另根據實驗1-2與5發現，雖然不同受試者對相同麻糬的血糖反應略有差異，但各類麻糬對不同個體的血糖波動趨勢類似，顯示其血糖影響具穩定性與可預測性，本研究可做為未來研究的基礎，進一步收集更多樣本的探討。

結論

- 一、以濃度為0.5%的 α -澱粉酶建立「麻糬水解葡萄糖化指標」；以三位受試者的碳酸鈣產出高度平均，作為各自「麻糬影響血糖升降的評估指標」。
- 二、50%全麥麵粉麻糬的彈性與展性、40%全麥麵粉麻糬的延性、20%纖維粉麻糬的黏性口感最接近市售麻糬。以此三種自製麻糬進行 α -澱粉酶水解葡萄糖化、胃內水解成食糜、推估血糖升降實驗。豆腐麻糬與市售麻糬口感差異最大，但降低熱量的效果最明顯，較適合需減重者。
- 三、在 α -澱粉酶下水解葡萄糖化速度：市售麻糬 > 20%纖維粉麻糬 > 40%全麥麵粉麻糬 > 50%全麥麵粉麻糬。20%纖維粉麻糬在咀嚼後幾乎已完全液化，不易造成噎食，較適合咀嚼能力差者。
- 四、在胃內水解成食糜的速度：20%纖維粉麻糬最佳、市售麻糬最差。20%纖維粉麻糬在胃內最容易被水解成食糜，較適合胃功能不佳者食用。
- 五、推估血糖升高的速度：市售麻糬 > 20%纖維粉麻糬 > 40%全麥麵粉麻糬 > 50%全麥麵粉麻糬。50%全麥麵粉麻糬減緩血糖上升效果最明顯，可能較適合需要控制血糖者食用。

參考文獻

- 王郁婷(2019)。攜帶型直笛檢測器研發與呼出氣體分析。中華民國第60屆科學展覽會。
- 王振宇、黎庭吟、朱學政、許容華、張好菁、謝朝明(2010)。誰是口水王—唾液澱粉酶對澱粉的消化作用。中華民國第51屆中小學科學展覽會。
- 池谷敏郎(2020)。胃弱使用說明書：解除消化不良、胃食道逆流、胸悶、壓力型胃痛，日本名醫認證的顧胃指南(涂紋鳳譯)。高寶國際出版。
- 吳靜宜(2024)。體內環保健康小尖兵-膳食纖維。長庚醫訊，43(12)，30-31。https://www.cgmh.org.tw/cgmh/cgmh_file/2211016.pdf
- 呂孟凡(2021)。為什麼糯米容易升糖又常被說難消化?營養師解析給你看。營養麵包—呂孟凡營養師提供有科學根據的營養知識。<https://reurl.cc/nmdRm1>
- 林惠中(2021)。分析化學(含定性定量分析、儀器分析)。鼎文書局。
- 柯幸君(2021年2月4日)。低升糖指數飲食法。馬偕紀念醫院。https://www.mmh.org.tw/know_health_view.php?docid=909
- 島田英昭(2021)。你又胃食道逆流了嗎?【完全圖解】日本專科醫師教你這樣做，有效降低80%復發率!(蔡麗蓉譯)。方舟文化出版。
- 陳愛禮、曾鈺文、林豈絨、賴羿棠、邱崇祐、江宇翔(2022)。「飯」科學~探討米飯的抗性澱粉形成條件。中華民國第62屆科學展覽會。
- 劉維(2020)。《葡萄糖澱粉·碘液本氏液》《顏色的變化》[影片]。<https://reurl.cc/j9Z0oZ>
- Chihhsiang C. (2015)。葡萄糖的測定。<https://youtu.be/GRRHpSLtVTI?si=xR6cGGXJrzRahKpa>
- Lin, C.-H., Wu, L.-X., Chen, K.-H., Lo, H.-F., Lin, K.-C., Kasai, T., Chen, C.-C., Shih, C.-H., Manzano, M. C., Santos, G. N., Manzano, E., & Yu, D. E. (2020). Non-invasive and time-dependent blood sugar monitoring via breath. Analytical Sciences. https://www.jstage.jst.go.jp/article/analsci/advpub/0/advpub_19P407/_pdf