

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

第三名

082904

檢測奇招-從愛玉出發

學校名稱： 新北市板橋區文聖國民小學

作者： 小六 董羽晏 小六 許涵憶 小六 徐梓瑄 小六 劉以甯	指導老師： 白建華 江政謙
---	-------------------------

關鍵詞： 愛玉、自製質構儀、鈦網刀頭

摘要

本研究是以機械取代手工製作愛玉凍，以及開發自製食品質構儀的過程。起因於想製作衛生的愛玉凍，改以機械製作並維持流程不沾手。為了比較愛玉品質，研發自製檢驗食品質構儀。利用不同的攪拌刀具和機械方法製作愛玉，並與手工製作的愛玉品質進行比較。結果是調理機搭配鈦網刀頭，只需 2 分鐘，即可做成優良的愛玉。整體流程快速衛生，品質與手工愛玉不相上下！

自製質構儀經過改良，並與市售電子式質構儀比較驗證。在檢測同樣的愛玉時，結果口感數據接近、整體趨勢相符，具有相當的可信度。最後再以質構儀檢測其他性質的市售食品，同樣可以測得物理特性並分析出口感！證明它可以廣泛運用在其他食品上，完成新型手動質構儀開發。

壹、前言

一、研究動機

平時放學時，喜歡和同學在學校附近的菜市場吃愛玉冰。有一家檸檬愛玉冰最受我們喜歡，他們家的愛玉有著自然香氣，口感 Q 軟特別好吃。老闆總是自誇的說，這都是純手工做的愛玉呢！看著老闆一邊用手擠捏愛玉，一邊與客人開心聊天。我們心裡卻想著，這樣不太衛生吧。該怎樣才能做出一樣軟嫩好吃、且更衛生的愛玉呢？試著製作時，手工洗的過程真的很累人，如果有機器代勞，應該又快又輕鬆，還可減少手的觸摸呢！還發現搓揉技巧及比例不同，做出的愛玉凍有很大差別，到底怎樣做出品質相同的愛玉呢？探尋資料後，原來有種叫質構儀的機器，可以測出愛玉的口感。問了許多人，都沒有這種儀器，該怎麼辦呢？因此藉著參加科展的機會著手研究，希望可以做出品質優良又衛生的愛玉凍。

二、研究目的

- (一)、探討製作愛玉凍的變因。
- (二)、以機械代替手工並尋求愛玉最佳品質與效率。
- (三)、從生活中取材，自製食品質構儀。
- (四)、探討不同方法的流程與 TPA 數據分析比對。
- (五)、以市售電子儀器驗證並完成自製新型質構儀。

三、文獻回顧

我們從書籍、網站資料及相關文獻的研究報告，將重要資料及原理的重點節錄如下：

(一)、愛玉籽如何結凍？

手工將愛玉籽裝進紗布袋裡面，在水中不斷地搓揉，將愛玉籽中的高分子、酵素、金屬離子等物質，析出到水溶液裡面，形成愛玉萃取液，靜置一段時間後，讓愛玉凍成型。舊文獻指出，愛玉籽表層具有一種稱為「果膠酯酶」的酵素，其功能是讓果膠分子上許多甲基酯鍵（COOCH₃）去酯化成為羧基（COO⁻），當水中有二價離子時，離子就可嵌入果膠分子之間形成價橋，進而使果膠長鏈間連結形成果凍。隨著連結區愈來愈多，愛玉膠質就變成愛玉凍了！

第 50 屆科展作品「凍裡乾坤－愛玉與凝膠因子之探討」中，該研究發現：愛玉籽及果柄泡水後，會從表面產生透明膜，並釋出愛玉膠質。且實驗觀察 0°C~100°C 間，愛玉凝凍的狀況，發現各種溫度，對愛玉凝固影響不大，即使將膠質 100°C 時仍會凝結。使用離子含量低的 RO 水、水溶液的 pH 值太低、製作過程中籽打碎（釋出果膠酯酶抑制劑）及添加油脂都會明顯凝固硬度不足，阻礙愛玉凝膠。

(二)、測量愛玉凍的凝結度與口感？

我們查到相關的研究中，測量愛玉凍的凝結度方法也不少。台南永福國小科展作品「給愛玉一點顏色瞧瞧」，測量愛玉凍的凝結使用脫模後的愛玉凍塌陷程度，測量坍塌高度來分析。第 57 屆科展作品「驚天『凍』地～探討添加物對『蒟蒻果凍』凝膠機制之影響與感官品評接受度」，研究中使用自製的測量器具，於果凍上方加壓，直至果凍被弓形鐵製器具由上而下完全切斷為止，以討論果凍咀嚼性。並在模型上方加壓，讓探頭陷入果凍，觀察果凍承受力，以討論果凍硬度；再加壓讓果凍呈現裂痕或爆碎，以討論其破碎力。

(三)、機器搓洗愛玉相關研究

關於機械化製作愛玉凍的相關研究，有各種方法用機器搓洗愛玉籽。如洗衣機、榨汁機、果汁機、調理機……等，其藉由水流衝擊與摩擦可溶出愛玉膠質，愛玉籽越濃，攪拌時間越短、硬度越高。因此機械化製作是可行的，但結果大多數效果不佳，凝膠的品質不如手工搓洗出的愛玉凍。也因此，我們想改進現有的機器，試著製作看看。

(四)、質構儀原理

是包含時間、力、距離三元素之分析儀器。可以根據樣品的物理特性做出數據化的描述，是一種感官量化的儀器。其原理為探頭以等速度下壓，使食物產生形變。當形變時，會產生抵抗力，機器記錄測量出探頭下所受到的力，再進一步再將測量到的數值進行分析，求出模仿人口咬合之各項質地多面分析(Texture Profile Analysis)參數。

(五)、食品質地分析(TPA)

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

利用質構儀測得之 F-t 曲線（如圖 1）的極大、極小值與所圍面積可轉換成下列參數：

1. 硬度：第一次下壓區段內最大力量值。
2. 脆度：硬度之前出現的較小峰值。
3. 黏性：A3 面積，愛玉黏住探頭的力值即反應其黏度大小
4. 彈性：T2/T1，樣品去除壓力後恢復到變形前的高度比率
5. 咀嚼性：膠著性 x 彈性 = $A2/A1 \times \text{硬度} \times \text{彈性}$ ，咀嚼固體後吞嚥下去的能量。
6. 膠著性： $A2/A1 \times \text{硬度}$ ，只用於描述半固體物質特性。
7. 內聚性： $A2/A1$ ，樣品內部凝聚成固體的自我支撐力，表示測試樣品經過第一次壓縮變形後所表現出來的對第二次壓縮的相對抵抗能力。
8. 回復性： $A5/A4$ ，樣品在第一次壓縮過程中回彈的能力。

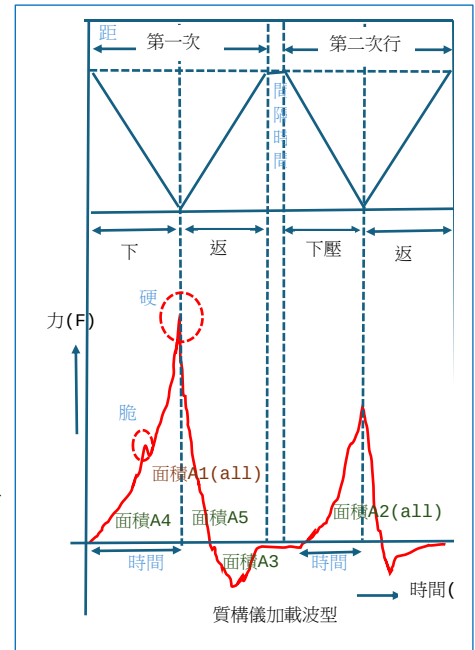


圖 1 質構儀測得數據繪出 F(力)-t(時間) 波型圖



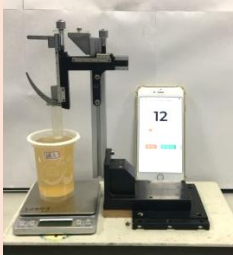


肆、研究設備及器材

一、市售器材：



			
高度計	轉速計	手機節拍器 app	雙軸可調式玻片夾
			
TDS 水質測量	高度調整架	市售質構儀 CT3	轉速調速器

二、自製及改裝器材：

			
原廠刀(鋸齒)	鈍刀頭	布刀頭	鈦網刀頭
			
質構儀一代	質構儀二代	質構儀三代	質構儀四代
			
愛玉切丁器	愛玉夾	改裝顯微鏡組	紗布杯

伍、研究過程及方法

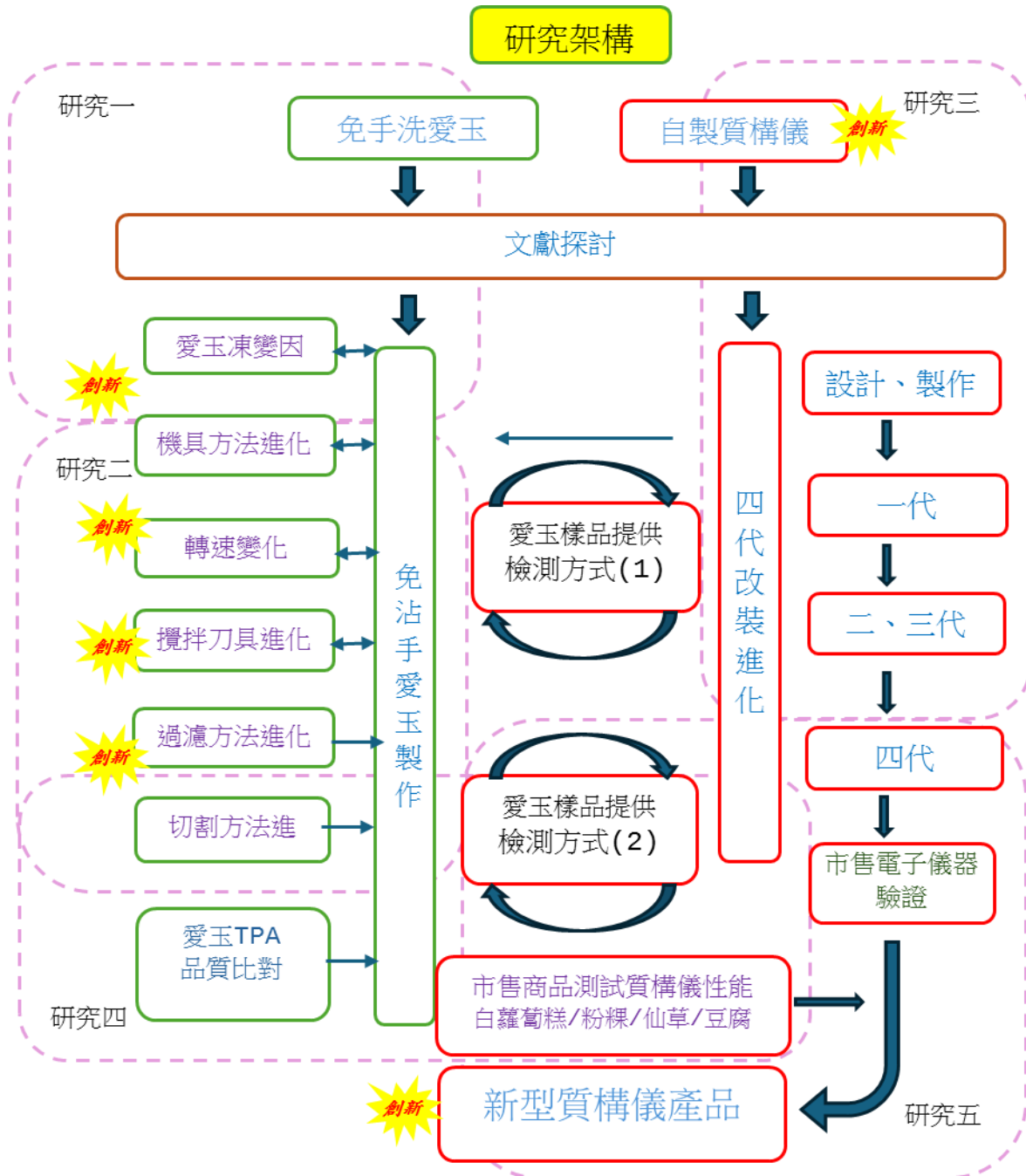


圖 2 研究架構圖

研究一、探討愛玉結凍的變因

關於愛玉籽分泌膠質、濃度比例、凝固時間……等。文獻中有各種說法，不盡相同。因此以我們購買的「阿里山野生愛玉籽」進行凝凍的基本研究，確定後續實驗的控制變因。

(本研究所有實驗相關照片都為作者/指導老師拍攝)

一、觀察愛玉籽遇水後膠質分泌情形

實驗方法：

1. 乾燥愛玉籽放玻片上，適度加水並蓋上蓋玻片。
2. 每3分鐘拍一張照片，觀察愛玉籽吸水後分泌膠質情形。

結果與討論：

1. 發現愛玉籽泡水後，出現一層厚膜，大約膨脹30分鐘後，膜厚度幾乎不再變化，可能是膠質分泌出來並慢慢凝結了（如圖19）。
2. 後續目的就是用機械，在凝固之前，將這些膠質分離出來。



圖 19 觀察愛玉籽邊緣膠質分泌情形

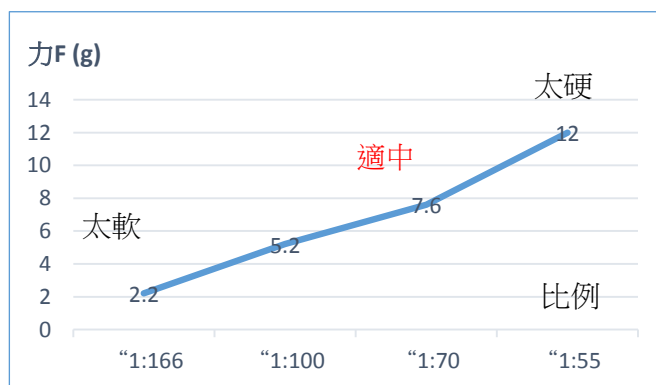
二、愛玉籽與水的最佳比例

萃取愛玉時，太稀難結凍、太濃容易造成浪費。由以下實驗，用試吃的方式找出最合適的比例。

實驗方法：

1. 愛玉籽(g)與水(g)，四種搭配比例為 1：166、1：100、1：70及 1：55。
(即愛玉籽3、5、7、9克，混合500ml 水)
2. 手工搓洗，時間6分鐘，凝固1小時。
3. 試吃描述口感。

表 1 不同比例的愛玉口感



結果與討論：（如表1）

當 1：70 的比例時，愛玉凍軟硬適中，與市場販賣的愛玉凍口感類似，後續研究均採用此濃度製作愛玉。

三、觀察愛玉凝固時間

製做時發現愛玉濃度會影響結凍速度，藉此觀察愛玉的凝固時間。

實驗方法：

1. 手工搓洗愛玉分為 A 組高濃度 1：70 ， B 組低濃度 1：166
2. 按時間觀察結凍的程度。10分、20分、30分、40分、50分、60分、90分、一天後。

結果與討論：（如表2）

A、B 組在60分鐘後，都凝結了，水分泌不多；一天後都變得更硬了，且愛玉縮小了。為了經濟效益與量測方便，本研究採用愛玉凝固60分鐘後，再進行各種實驗。

表 2 高低濃度愛玉結凍時間觀察表

	10分	20分	30分	40分	50分	60分	90分	一天後
A 組1:70	○	○	●	●	●	●	●	●
觀察紀錄	稍微結凍	已有凝結的感覺	明顯結凍	手摸比30分硬一點	摸起來，明顯凝結	摸起來沒什麼變、有水	表面大量分泌水分	手摸更硬、大量分泌水
	10分	20分	30分	40分	50分	60分	90分	一天後
B 組1:166	X	X	○	○●	●	●	●	●
觀察紀錄	無法結凍	無法結凍	手摸稍微有凝結的感覺	手摸硬度還很軟	摸起來硬度沒什麼變化	摸表面些微分泌水分	表面分泌水分	愛玉凍變小 硬度差不多

X 未凝結 ○部分凝結 ●完全凝結

研究二、以不同方法製作愛玉凍並尋求最佳效率與品質

用不同機器分批製作愛玉，逐步調整攪拌時間、改進刀具、測量硬度與試吃口感描述。尋求以現有機器最有效率的方式，製作高品質的愛玉凍。

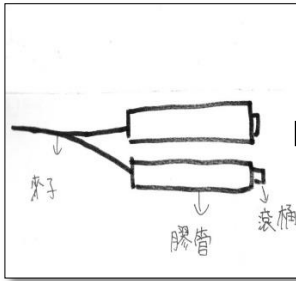
一、為了避免手直接觸摸，自製免沾手設備：

(一) 愛玉夾

功能：將愛玉膠液從濾袋中擠出。

製做過程：

1. 長型不鏽鋼水草夾套上空心鋼筷做成滾筒，用矽膠管包覆在滾筒外（如圖 20）。
2. 將鋼管、矽膠管、墊片和塑膠珠串好，用環氧樹脂固定完成（如圖 21）。
3. 使用起來很順手，順暢又乾淨，與手擠的效果沒有明顯差別（如圖22）。



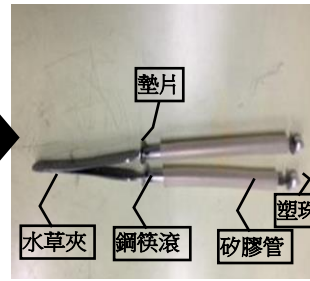
設計圖

圖 20

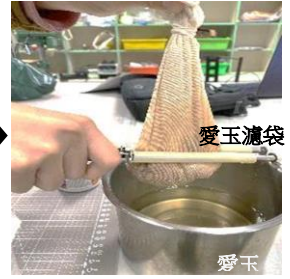


水草夾、矽膠管和鋼筷等

圖 21



墊片
水草夾
鋼筷滾
矽膠管



操作圖

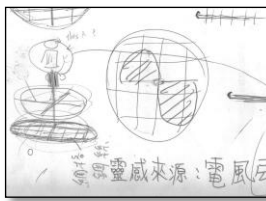
圖 22

(二) 愛玉切丁器：

功能：愛玉凍切塊時避免手觸摸。

製做過程：（如圖23）

1. 將 2 個不鏽鋼鍋用砂輪機切割掉鍋底並研磨圓滑。
2. 將外筒、內筒邊緣固定不鏽鋼絲網格。兩筒組合鎖上。
3. 使用雙筒下壓入愛玉凍，經過外筒網格擠壓，會被切割成2公分條狀。
4. 旋轉把手，用第二層不銹鋼網切成丁狀。



設計圖

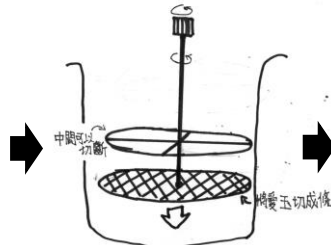


圖 23 切丁器製作過程



操作圖

二、不同方法製作愛玉

實驗(一)、手工洗愛玉法

先以傳統手工揉洗製作，並挑選最佳搓洗時間，以此愛玉為後續的口感數據標準。

實驗步驟：（如圖24）

1. 取愛玉 7g、水 500g (1:70)，手工搓洗。
2. 測量液體 EC(導電度)濃度及溶液 TDS(總溶解固體)值。

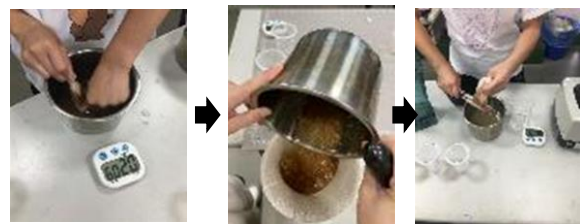


圖 24 手工揉洗愛玉

3. 手工搓洗 3、6、10、12分鐘，製作4組。
4. 用自製愛玉夾，擠出萃取液體，記錄觀察。
5. 倒入果凍杯，靜置1小時等待凝結。
6. 自製質構儀量測數據，記錄表面最大硬度、口感描述。

結果與討論：（如表3）

1. 手工洗6分鐘時，愛玉籽徹底析出膠質，軟硬適中，大家覺得可口好吃。並以此口感，當成愛玉凍的標準。
2. 以凝結均勻口感滑順的愛玉凍成品，透過質構儀測量，硬度越高代表愛玉籽被析出的膠質越徹底，因此以最大硬度的搭配選為最佳品質。
3. 手洗10、12分鐘，都有提早結塊現像，吃起來不均勻，口感差。雖然硬度也蠻高的，不適合選為最佳搭配。
4. 液體 EC(導電度)濃度及溶液 TDS(總溶解固體)值，數值愈高代表雜質愈多、愈濃。希望藉由 EC、TDS 值，判斷愛玉溶液膠結程度。但測量時數據經常跳動，只取最終的數據。

表 3 手工洗愛玉 時間/硬度/試吃口感

	分鐘	EC	TDS	硬度(g)	口感描述
手工洗	3	358	163	8	軟軟口味不錯
手工洗	6	416	221	13	本組最佳搭配，手工看起來比較濃，口感重，像果凍
手工洗	10	444	222	12.3	顏色較深，略結塊，愛玉籽完全乾澀
手工洗	12	344	188	10	有點像蒟蒻。洗到有凝固，倒出膠塊狀，失敗

實驗(二)、手打蛋器攪拌法

實驗步驟：

1. 手打蛋器（如圖25）速度約200轉/分鐘。
2. 依時間10、15、20分鐘共製作3組愛玉凍。
（愛玉比例、測量、凝固時間……等，控制變因相同，省略敘述）



圖 25 手打蛋器

結果與討論：（如表4）

表 4. 手打蛋器時間/硬度/試吃口感

	轉速	分鐘	EC	TDS	硬度(g)	口感描述
手打蛋器	約200	10	192	144	-	實驗失敗，無法結凍
手打蛋器	約200	15	288	183	6.2	本組最佳，成功正常凝固了，蠻軟的
手打蛋器	約200	20	401	222	8.5	實驗失敗，糊糊的，還沒倒出就凝固。

1. 手打蛋器效率很差，需要攪拌 15 分鐘才略凍結。
2. 20 分鐘攪拌太久已經凝固了，有不均勻塊狀，雖硬度 8.5，仍不獲選最佳搭配。
3. 觀察 EC 和 TDS 數值可以比對出液體濃度，但不精準只能當參考。
4. 使用手打蛋器太累了，雖然衛生但不算自動機器。

實驗(三)、數位攪拌器攪拌法

實驗步驟：（如圖26）

1. 以數位攪拌器攪拌，以12線和大4線攪拌頭。
2. 放入紗布杯中，以調速器設定轉速200、400、600轉/分，共製作3組愛玉。
（愛玉比例、測量、凝固時間……等，控制變因相同，省略敘述。）



圖 26 數位攪拌器攪拌愛玉

結果與討論：（如表5）

1. 使用12線攪拌頭、轉速600轉、攪拌15分鐘。勉強結凍，但效率太差了。
2. 12線效果優於大4線攪拌頭；高轉速優於低轉速。
3. 光滑玻璃杯摩擦效果差。改成紗布杯，增加杯子的摩擦力。效果也不理想，不好裝和清潔，因此終止使用紗布杯。

表 5. 數位攪拌器 時間/硬度/試吃口感

	刀頭	轉速	分鐘	EC	TDS	硬度(g)	口感描述
數位攪拌器	大4線頭	300	20	112	123	--	實驗失敗。肉眼看出溶出膠質極少。
數位攪拌器	12線頭	300	15	188	114	--	實驗失敗。濃度很稀無法結凍。
數位攪拌器	12線頭	600	15	201	134	6	最佳，還算成功，有些結凍感，仍然軟

實驗(四)、鑽床攪拌法

實驗步驟：（如圖27）

1. 鑽床接上 大4線頭、12線頭、雙葉片頭，三種攪拌工具。
2. 轉速以1050、2300、3100轉，搭配攪拌工具，調整時間進行攪拌。
（愛玉比例、測量、凝固時間……等，控制變因相同，省略敘述。）



圖 27 鑽床攪拌愛玉

結果與討論：（如表6）

1. 本組最佳搭配的為大4線頭、3100轉，攪拌4分鐘。
2. 4分鐘時以硬度5.5來看，和其他機器比仍然效率不足。而5分鐘則已經提早凝結了。
3. 雙葉片、12線攪拌頭，1050轉攪拌時已有變形現象，為了安全不繼續試。
4. 轉頭、轉速、時間，必須彈性搭配調整，才能做出愛玉。
5. 鑽床體積大、操作時晃動大，有危險性。

表 6. 鑽床 時間/硬度/試吃口感

	刀頭	轉速	分鐘	EC	TDS	硬度(g)	口感描述
鑽床	12線	1050	2	--	--	--	實驗失敗，攪拌頭變形
鑽床	雙葉片	1050	2	--	--	--	實驗失敗，攪拌頭變形
鑽床	大4線	1050	3.5	282	141	--	實驗失敗，籽用手搓，殘留果膠很黏
鑽床	大4線	2300	5	258	140	4.2	成功，味道和顏色都比較濃。
鑽床	大4線	3100	3	318	157	4.1	成功，籽還有些滑，推估4分鐘更好，味道顏色淡
鑽床	大4線	3100	4	324	142	5.5	成功，本組效率最佳搭配，硬度效果尚可。
鑽床	大4線	3100	5	304	157	5	倒出時已凝結，攪拌過頭了，愛玉凍口感鬆散

實驗(五)、調理機攪拌法

由於調理機轉速很快，刀具銳利，很快就把愛玉籽打碎了，所以進行了刀具改裝。

實驗步驟：（如圖28）

- 一、準備原廠刀頭，與改裝後的鈍刀頭、布刀頭、鈦網刀頭。
- 二、轉速 11000 轉、33000 轉，搭配四種刀頭，觀察結凍狀況彈性調整攪拌時間。
（愛玉比例、測量、凝固時間……等，控制變因相同，省略敘述。）

實驗(五)-1：原廠刀頭

1. 原廠刀頭(鋸齒)轉速11000轉、33000轉。
2. 攪拌時間1分鐘、2分鐘。



圖 28 調理機攪拌愛玉完整過程

結果與討論：（如表7）

原廠刀頭11000轉時、33000轉時，愛玉籽都破碎，糊成一團，無法凝結（如圖 29）。根據文獻，可能是酵素釋放出來的關係，導致愛玉無法結凍。



圖 29 破碎的愛玉籽

表 7 調理機-原廠刀頭 時間/硬度/試吃口感

	刀頭	轉速	分鐘	EC	TDS	硬度(g)	口感描述
調理機	原廠刀頭	11000	1	--	--	--	實驗失敗。太稀，無法結凍
調理機	原廠刀頭	11000	2	--	--	--	實驗失敗。目測愛玉籽有5%破碎，無法結凍
調理機	原廠刀頭	33000	2	--	--	--	實驗失敗。目測愛玉籽有20%破碎，無法結凍

實驗(五)-2：鈍刀頭（如圖 29）

1. 將原廠刀頭用砂輪機，磨掉鋸齒刀刃，再用銼刀磨圓，整體圓滑不刮手。
2. 以11000轉，攪拌 2分鐘、3分鐘、4分鐘，製作3杯愛玉凍。



結果與討論：（如表 8）

1. 本組效率最佳搭配是鈍刀頭，11000轉時，攪拌3分鐘，硬度6.5。
2. 攪拌時間增加，愛玉果膠釋出越快，結凍越快。
3. 在4分鐘時開始起泡，倒入果凍杯時已呈黏稠狀，攪拌過頭，提早結凍。

表 8 調理機-鈍刀頭 時間/硬度/試吃口感

	刀頭	轉速	分鐘	EC	TDS	硬度(g)	口感描述
調理機	鈍刀頭	11000	2	416	201	5.2	Q 軟
調理機	鈍刀頭	11000	3	455	213	6.5	本組效率最佳搭配，口感好
調理機	鈍刀頭	11000	4	402	222	6.3	大約四分鐘時接近凝固，一但靜止立刻開始凝固!

實驗(五)-3：布刀頭

實驗步驟：（如圖 30）

1. 刀面用棉布片包覆緊密，用環氧樹脂黏上去，製成布刀頭。
2. 轉速以11000轉，時間2分鐘、3分鐘、4分鐘進行攪拌。



結果與討論：（如表9）

1. 本組效率最佳搭配為布刀頭11000轉、攪拌3分鐘。
2. 攪拌4分鐘，硬度高達7.6，但已經呈現不均結凍。
3. 布刀頭效率快，結凍效果好，擾流效果明顯。美中不足是不耐用、難清洗，反而有孳生細菌的可能，所以不進行後續發展。

表 9 調理機-布刀頭 時間/硬度/試吃口感

刀頭	轉速	分鐘	EC	TDS	硬度(g)	口感描述	
調理機	布刀頭	11000	2	352	126	7.1	過濾出的愛玉籽有點黏，吃起來有點脆
調理機	布刀頭	11000	3	354	177	7.4	本組效率最佳搭配，過濾出的籽乾淨、沒甚麼黏度。
調理機	布刀頭	11000	4	390	218	7.6	過度攪拌，已有提早凝凍現象，不均勻。

實驗(五)-4：鈦網刀頭

實驗步驟：（如圖 31）

- 1、將鈦網切割勻稱，用砂輪機打磨邊角，整體圓滑不刮手。
- 2、以11000轉，2分鐘、3分鐘、4分鐘，進行攪拌。

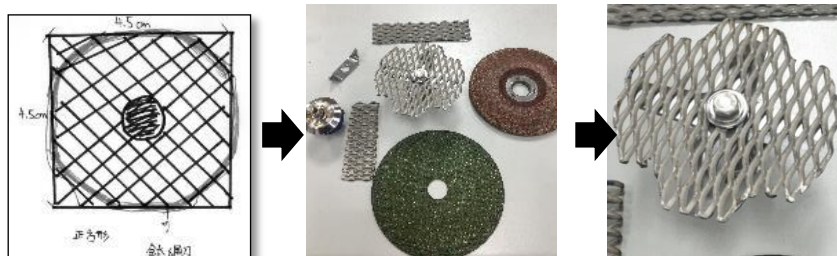


圖 31 鈦網刀頭製做過程

結果與討論：（如表 10）

1. 本組效率最佳搭配為鈦網刀頭、11000轉、攪拌2分鐘，也是所有攪拌方法時間最短的。
2. 實驗過程中觀察，鈦網刀效果很好，水流沖擊力強。
3. 材質是鈦金屬，優點是耐用不生鏽、清洗方便。

表 10 調理機-鈦網刀頭 時間/硬度/試吃口感

刀頭	轉速	分鐘	EC	TDS	硬度(g)	口感描述	
調理機	鈦網刀	11000	2	398	199	7.2	本組效率最佳搭配。
調理機	鈦網刀	11000	3	280	146	6.1	過濾後籽很乾淨不滑。
調理機	鈦網刀	11000	4	325	296	6.3	大約四分鐘時接近凝固，一但靜止立刻開始凝固。倒出來已經成膠黏住。

研究三、從生活中取材自製食品質構儀

我們想用生活中的機械，攪拌製作愛玉，改善手工洗愛玉衛生問題。想把做出的愛玉品質，用科學數據呈現，因此嘗試自製質構儀。

一、手動版質構儀開發

市售質構儀（如圖2）非常昂貴，也沒有管道可以借用。從文獻中理解測量原理後，我們利用手邊的設備和材料，嘗試自製「手動版質構儀」。首先在自然教室中找尋探測長度的儀器，發現「高度計」功能、大小很適合。於是模仿市售質構儀外型，動手做做看！



圖 3 市售質構儀

探頭製作：

根據文獻，用於測量果凍類食品時，常使用圓柱狀直徑1.25cm的探頭。我們用PVC管為模型灌入環氧樹脂，管內徑為1.3cm，底部研磨平整，製成圓柱型探頭。



圖 4 環氧樹脂製做探頭

(一)、第一代質構儀

製作過程：

1. 以現有的高度計為質構儀主體（如圖5）。
2. 側面接上改裝L型六角扳手，配合果凍杯的尺寸，當探頭延伸臂。
3. 扳手前端加上環氧樹脂（如圖4、6），製作成圓柱狀探頭。
4. 將調整螺絲上做記號，螺絲每旋轉1/2圈，探頭移動0.5mm。
5. 鎖上穩固金屬底座（如圖7）。

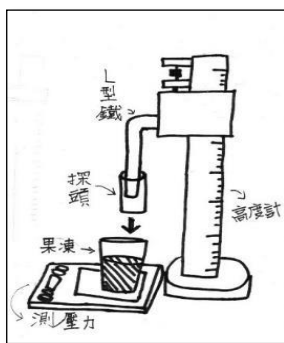


圖 5 手繪設計稿



圖 6 灌製探頭過程

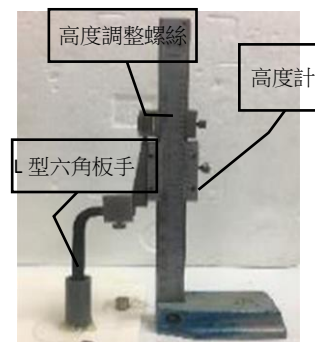


圖 7 第一代質構儀

結果與討論：

優點：製作簡單，高度計是現有成品。螺絲精密度不錯，上下位移數據準確。手轉螺絲半圈，剛好探頭下壓 0.5mm。

缺點：耐用度不佳，操作時手感太緊且無法修改。主螺絲柱太細，容易磨損產生間隙。行程太短，只有15mm，使用一段時間後，測量出的資料誤差愈大，即淘汰不用。

(二)、第二代質構儀

製作過程：

1. 以樂高基礎積木搭建整體台座（如圖8）。
2. 轉動用主螺絲加粗、加長，改善耐用性，螺帽加固增加穩定性（如圖9）。
3. 裝上手動旋轉用塑膠蓋，螺絲前端加工以環氧樹脂製作探頭（如圖10）。

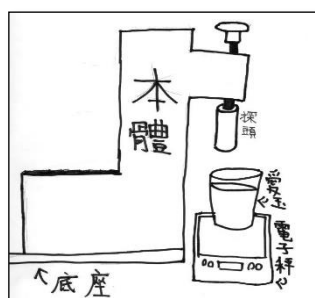


圖 8 手繪設計稿



圖 9 製作過程

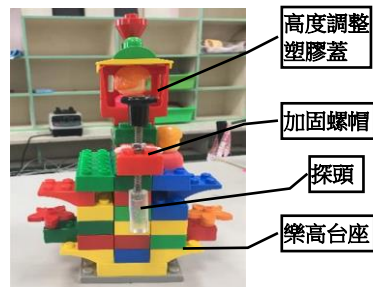


圖 10 第二代質構儀

結果與討論：

優點：機體材料容易取得，製造簡單快速。

缺點：轉動用的長螺絲的精密度不足，樂高積木容易鬆動。

(三)、第三代質構儀

製作過程：

1. 以積木搭建整體台座，以環氧樹脂黏著穩固（如圖11）。
2. 拆下顯微鏡載物台上可雙軸調整的「玻片夾」套件（如圖12）。
3. 將玻片夾套件直立，支架下方加上探頭，鎖上積木台座（如圖13）。
4. 將高度調整主螺絲圓周分為6格，手動控制每轉1格(1/6圈)，下降0.5mm。

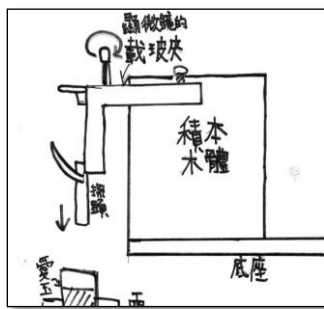


圖 11 手繪設計稿



圖 12 製作過程

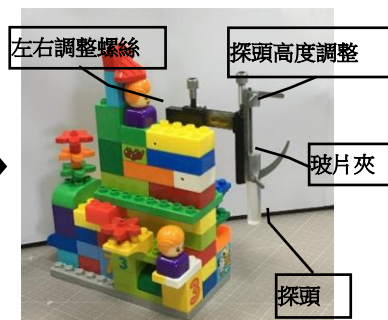


圖 13 第三代質構儀

結果與討論：

優點：使用舊顯微鏡拆下的「玻片夾」成品。轉動時手感、精密度和前一代相比，都進步非常多。

缺點：操作時需要高精密度，因此塑膠積木台座穩定度顯得不足。

(四)、第四代質構儀

製作過程：

1. 舊微鏡底座零件當作基座，並鎖到穩固的鋁合金底座（如圖 14）。
2. 以 20 公分長、2 公分正方規格的工字型鋁為支架（如圖 15）。
3. 鋁材側面鎖上從前一代拆下的「玻片夾」套件（如圖 16）。
4. 高度調整螺絲旁，增加壓克力製的刻度校準盤，每轉一格降 0.5mm（如圖 17）。



圖 17 刻度校準盤

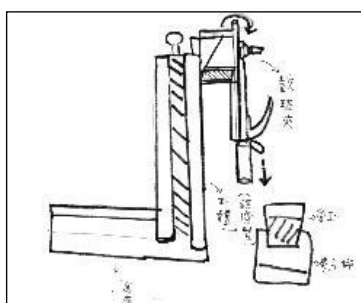


圖 14 手繪設計稿



圖 15 製作過程

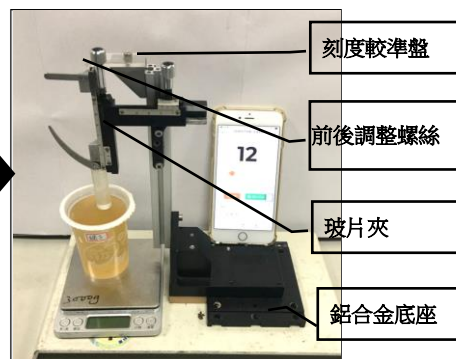


圖 16 第四代質構儀

結果與討論：

優點：構造簡單、穩固、精密，是目前我們改裝出最好操作的手動檢測儀器。

缺點：金屬鋁材與鋼質底鑽孔不容易，需要協助才能完成。

二、手動質構儀操作方法

自製質構儀是手動操作，因此每個步驟標準化，熟練才能降低誤差。

測量愛玉凍步驟：

1. 愛玉凍表面吸去多餘水分。
2. 將果凍杯放置於電子秤上，並用探頭對準愛玉中心（如圖 18-1）。
3. 探頭下降到接觸愛玉凍，電子秤上受力為零。
4. 依手機 APP 節拍器節奏，持續每 5 秒旋轉螺絲一格，每次下降 0.5mm，紀錄下壓力數據。（如圖 18-2）
5. **方法(1)**：觀察下壓力數據，當壓力突然減少時，前數值就是測得最大表面強度。（愛玉凍表面穿透了，電子秤壓力讀數減少。）
方法(2)：設定固定下壓距離，持續紀錄數據，抵達設定深度後即返回。
6. 反向轉動條紋螺絲，持續向上移動探頭減壓，直到電子秤數值為負值（黏起來了）。
7. 最終會因為黏度不足，愛玉脫離探頭，數據歸零，此為一個循環。
8. 同位置進行二次循環，可依數據繪製成波形圖。再進一步以 TPA 方法，計算口感的數據。



圖 18-1



圖 18-2

研究四、探討不同方法流程及質構儀 TPA 數據分析

一、不同方法製作愛玉的比較：

(一)、手工洗愛玉法

優點：成本便宜，靠手感受黏稠度，可在最佳時間凝結。

缺點：衛生有疑慮、耗費人力、品質不均、效率太低。

(二)、手打蛋器攪拌法

優點：成本便宜。

缺點：不適合製作愛玉凍，耗費人力、效率太低。

(三)、數位攪拌器攪拌法

優點：易觀察攪拌速度，和水流方向與膠體的關係。

缺點：不適合製作愛玉凍，機械轉速過低只有600轉、攪拌時間太長、效率太低。

(四)、改裝鑽床攪拌法

優點：容易變化轉速，快速測出轉速和愛玉凝結成凍的關係。

缺點：不適合製作愛玉凍，危險性較高；轉速高時機體會振動，體積大、普遍性低。

(五)、調理機攪拌法

優點：轉速非常高，杯子有擾流設計，水流摩擦力效果好，為本研究製作愛玉的首選。

缺點：調理機成本較高，更換與改裝攪拌器刀頭不容易，清洗機械較麻煩。

二、自製質構儀的 TPA 數據分析

在完成多項洗愛玉實驗後，挑選機器製作出的最佳愛玉凍，透過自製質構儀測量實驗數據，繪製成波型圖比較。再用 Excel 表格計算折線圖面積，套入 TPA 數據計算方法口感數據。(如圖32、表11)

根據文獻 TPA 數據計算方式為：

- (1) 硬度: 第一次下壓區段內最大力量值
- (2) 黏性: A3面積
- (3) 彈性: T2 / T1
- (4) 咀嚼性: $A2 / A1 \times \text{硬度} \times \text{彈性}$
- (5) 膠著性: $A2 / A1 \times \text{硬度}$
- (6) 黏聚性: $A2 / A1$
- (7) 回復性: $A5 / A4$

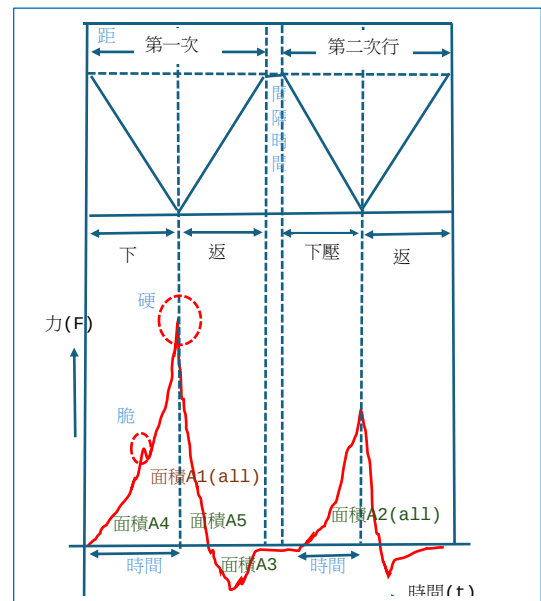


圖 32

各組最佳愛玉比較：

標準手工洗的與四種最佳搭配，以質構儀-方法(1)

測量後畫成波型圖。(如圖 33)

1. 手工洗 (6 分鐘)
2. 鑽床一大 4 線頭 (4 分鐘)
3. 調理機一布刀頭 (3 分鐘)
4. 調理機一鈍刀頭 (3 分鐘)
5. 調理機一鈦網刀頭 (2 分鐘)

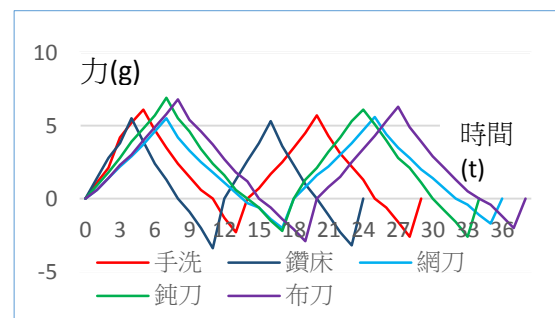


圖 33 各組最佳愛玉比較

結果與討論

由波型圖看出各種愛玉，量測到峰型態差不多。

再以 TPA 方法分析後（如表 11），畫成雷達圖（如圖 34）看出，愛玉凍整體型狀相似、即口感類似。以上自製的愛玉，都是各種方法裡，挑洗出最佳品質的愛玉凍。硬度、彈性試吃起來沒有明顯差異。

我們的目的是做出最接近手工洗（紅色線）的愛玉，以鈦網刀（淺藍色線）性質最相似。效率方面，鈦網刀僅需要攪拌 2 分鐘！比手洗 6 分鐘快很多，能節省人力、速度快，鈦合金網本身也很耐用不生鏽，是這次愛玉製作研究的最佳方法，值得參考採用。

五種自製愛玉，TPA 性質比較雷達圖
（為方便檢視，3、6 和 7 項有同乘參數）

表 11 TPA 方法計算五種愛玉數據

TPA 性質	鑽床	手工洗	鈍刀	布刀	鈦網刀
硬度	5.5	6.1	4.8	6.8	5.5
黏性	7.0	3.6	4.3	7.0	4.2
彈性	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0
咀嚼性	5.9	6.7	3.9	4.8	7.1
膠著性	6.9	6.7	4.5	5.6	7.1
黏聚性	1.3	1.1	0.9	0.8	1.3
回復性	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9

*依上圖計算面積比例得到 TPA 性質

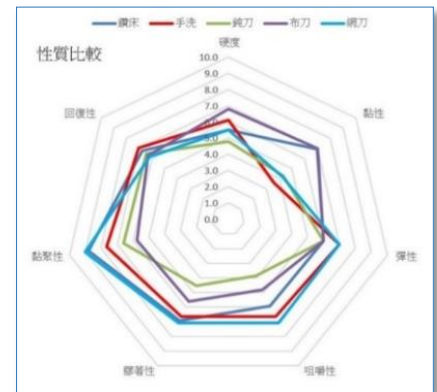


圖 34

研究五、以市售電子儀器驗證並完成新型質構儀

一、以市售電子儀器質構儀驗證

為了驗證自製第四代質構儀，聯繫食品相關科系的大學，終於得到 ○○管理學院設備支援，提供 CT3 (Brookfield CT3 Texture Analyzer,) 質構儀，讓我們測量愛玉凍測，取得數據並比較。(如圖 35)



圖 35 CT3 質構儀

(一)、比較兩者檢測方法（如圖 36、表 12）

1. 經過學院指導標準儀器操作流程時發現，我們之前的愛玉凍檢測方法，與 CT3 質構儀檢測方法不同。

前檢測方法-方法(1)：觀察下壓力數據，當壓力突然減少時，前數值就是測得最大表面強度。（愛玉凍表面被穿透了，壓力減少。），探測深度不一。

新檢測方法-方法(2)：設定固定下壓距離，持續紀錄數據，抵達設定深度後即返回。探測深度固定。

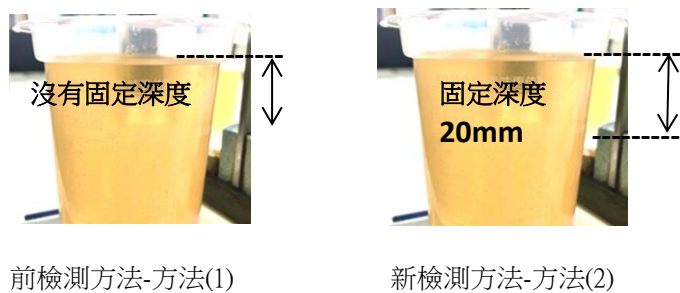


圖 36 檢測方法示意圖

2. CT3 質構儀測量深度設定為 20mm，是因為我們累積的愛玉加壓破壞經驗，強度最大值都在探頭加壓深度 20mm 以內。

表 12 質構儀差異比較表

	檢測方法	探頭移動速度	探頭規格	最大壓力(硬度)	果凍容器
自製質構儀	方法(1)	每 5 秒移動 0.5mm。 量 1 次數據	直徑 12.5mm 圓柱， 接觸面光滑	愛玉表面強度	200ml 果凍杯
CT3 質構儀	方法(2)	每 5 秒移動 0.5mm。 量 50 次數據	直徑 13mm 圓柱，接 觸面非常光滑	愛玉整體強度	200ml 果凍杯

(二)、比較兩者測量愛玉凍的數據

實驗步驟：（如圖 37）

1. 挑選 3 個代表性愛玉凍樣本送測（手工洗 6 分、調理機-鈍刀 3 分、調理機-鈦網刀 2 分）。
2. CT3 (Brookfield CT3 Texture Analyzer) 質構儀，使用直徑 13mm 圓柱探頭。
3. 參數設定，每 5 秒量 50 次數據、位移 0.5mm；探頭深度設定為 20mm，往返循環 2 次。

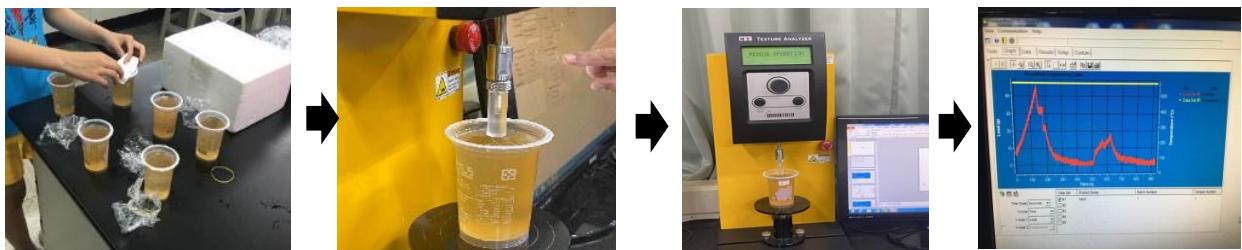


圖 37 CT3 質構儀檢測流程

結果與討論：

1. CT3 質構儀測量 3 個樣本結果截圖。(如圖 38)
2. 將 CT3 質構儀測試 3 樣本數據，重新以 Excel 編輯，繪製成波型圖。(如圖 39)
3. 自製第四代質構儀以「新檢測方法-方法(2)」測量同一批送測的愛玉凍繪製成圖。(如圖 40)

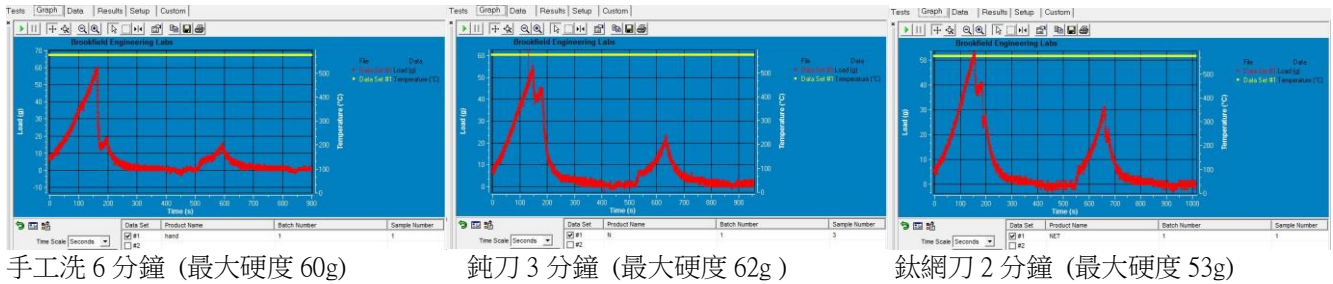


圖 38 CT3 質構儀測量 3 個愛玉樣本波型圖

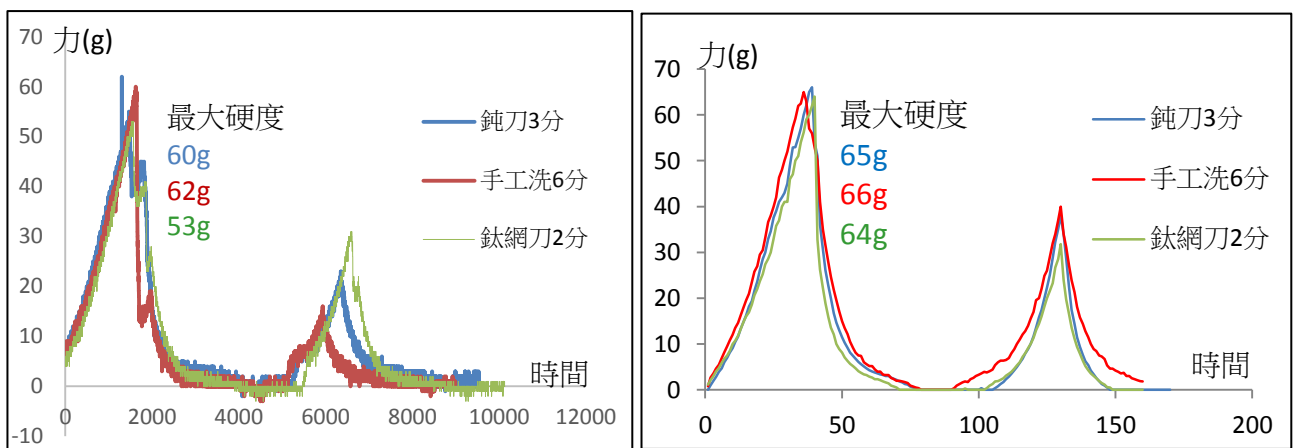


圖 39
○○管理學院 CT3 質構儀-波型圖

圖 40
自製第四代質構儀-波型圖

4. 兩台儀器測出各組愛玉，第一次波峰最大硬度很接近。第二次波峰數值略有差異。整體圖形趨勢，相似度還是蠻高的。
5. 兩台質構儀數據用 TPA 方法計算得到口感，比較結果如（表 13）。
數據越接近，代表自製質購儀越準確！顯示在硬度、黏性、彈性數據比較的差異較小。而咀嚼性的差異略大，咀嚼性依照計算公式推算，跟第二次波峰高度與面積有關，等待更詳細研究。
6. 由數據圖形比較，整體而言相似度很高，足以證明自製第四代質構儀，在熟練的操作下，具備不錯的精準度。

表 13 相同愛玉以 TPA 方法計算數據差異

TPA 性質	自製質構儀			CT3 質構儀		
	手工洗 6	鈍刀 3 分	鈦網刀 2 分	手工洗 6	鈍刀 3 分	鈦網刀 2 分
硬度	65	66	64	60	62	52
黏度	0	0	0	0	0	0
彈性	1.1	0.6	0.7	1.0	0.8	0.8
咀嚼性	32.2	13.8	14.5	12.4	0.6	15.6
膠著性	29.8	21.5	20.5	12.5	0.7	20.6
內聚性	0.5	0.3	0.3	0.2	0.0	0.4
回復性	0.7	0.4	0.2	0.3	0.9	0.7

數據相近

二、修正方法重新驗證愛玉凍

實際操作○○管理學院的 CT3 質構儀，發現量測方式不同，我們不禁對原本量測方法及前實驗結果，產生的懷疑！決定用機械再重製一次愛玉凍比較。

挑選代表性的 3 種，手工洗愛玉(品質標準)、調理機-鈍刀頭、調理機-鈦網刀頭，搭配不同攪拌時間變因重製愛玉凍。並以第四代質構儀「新檢測方法-方法(2)」測量，繪製成圖比較。

(一)、手工洗愛玉 (如圖 41)

實驗步驟：

1. 手工揉洗 4、6、8分鐘，製作3組愛玉凍。
2. 第四代質構儀方法(2)測量，探頭固定深度 20mm。

結果：

與研究(三) 實驗一相同，仍然是手工揉洗 6 分鐘，硬度最高、結凍最好。

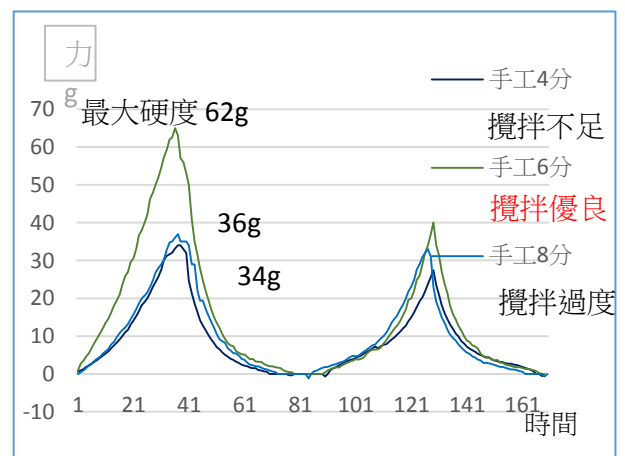


圖 41 手工洗愛玉

(二)、調理機—鈍刀頭 (如圖 42)

實驗步驟：

1. 調理機-鈍刀頭以11000轉，2、3、4、5分鐘進行攪拌，製作4組愛玉凍。
2. 第四代質構儀方法(2)測量，探頭固定深度20mm

結果：

2分鐘時，攪拌不足愛玉太軟；3分鐘時，結凍優良；4~5分鐘時，愛玉攪拌過度，太軟糯。

結果與**研究(三) 實驗五-2**相同，仍然是鈍刀頭，攪拌3分鐘，硬度最高結凍最好。

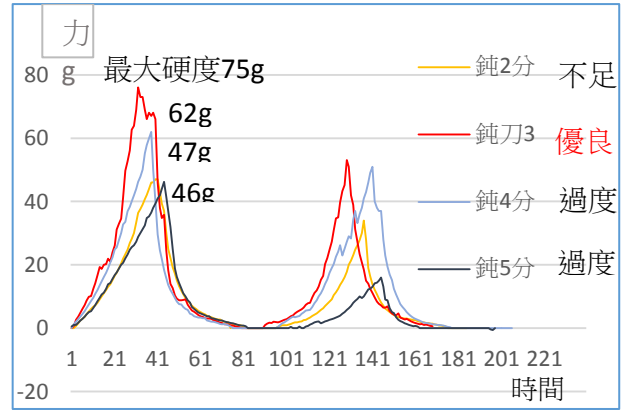


圖 42 鈍刀愛玉凍比較

(三)、調理機—鈦網刀頭（如圖 43）

實驗步驟：

- 1、調理機-鈦網刀頭以11000轉，2、3、4分鐘進行攪拌，製作3組愛玉凍。
- 2、第四代質構儀方法(2)測量，探頭固定深度20mm。

結果：

結果與**研究(三) 實驗五-3**相同，仍然是鈦網刀頭，搭配調理機，攪拌2分鐘為最佳搭配。

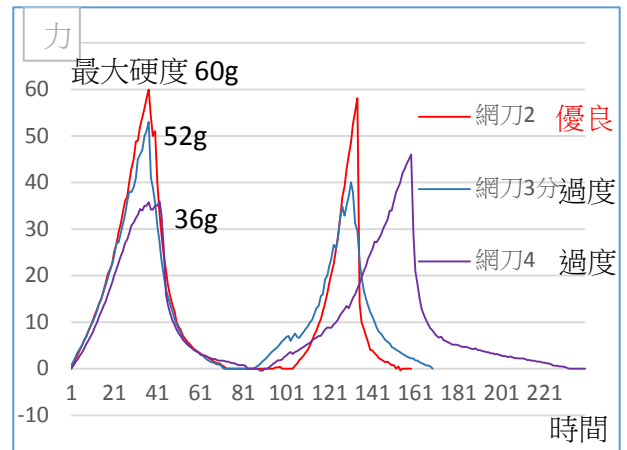


圖 43 鈦網刀愛玉比較圖

小結論：

將以上三種最佳愛玉凍放在一起比（如圖 44）。圖的重疊性高，做出來的愛玉品質幾乎一樣！證明用調理機搭配合適的刀具，製做出的愛玉品質，可以完美取代手工洗愛玉了。

重製愛玉凍並重新測量的結果，讓我們鬆了一口氣，使用舊方法與新方法測量，機械種類、刀頭及時間，最佳製做愛玉的搭配結果相同。兩種探頭下壓方法，只要控制變因掌控得宜，強度較高的物體，就算壓的方式不同，測出最大硬度也是相對高的。而探頭下壓深度，也可依照經驗修正。

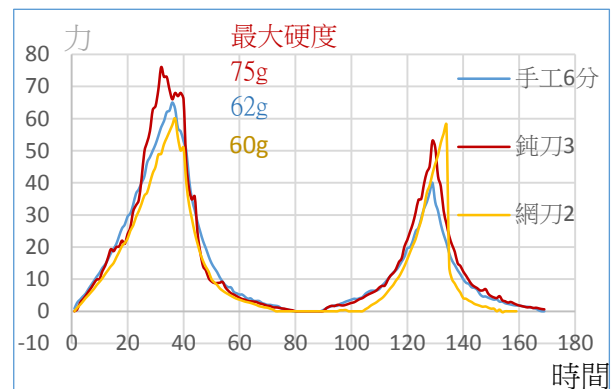


圖 44 手工、鈍刀、鈦網刀，各組最佳愛玉比較圖

(四)、相似性質的食品檢測

為了驗證自製質構儀，是否能適用在其他食品上？於是挑選幾個相似性質食品，「自製的愛玉、中華愛玉、中華豆腐、白蘿蔔糕」，一起進行檢測。

實驗步驟：（如圖 45）

1. 試體形狀與體積必須相同，使用切開的果凍杯，做成自製取樣工具。
2. 用取樣工具挖出統一厚度 3.2 公分，形狀相同的樣品。
3. 第四代質構儀、方法(2)分別測量數據，繪製成圖。
4. 以 TPA 方法及 Excel 軟體試算表計算數據。（如表 14）

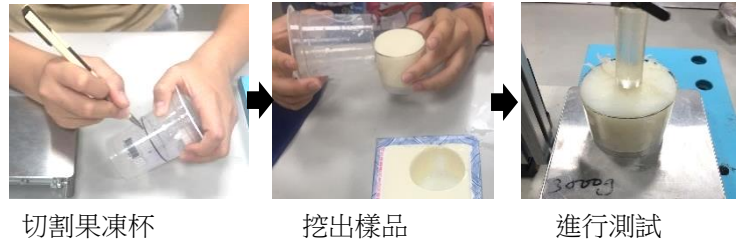


圖 45 果凍杯採樣方法

結果：（如圖 46）

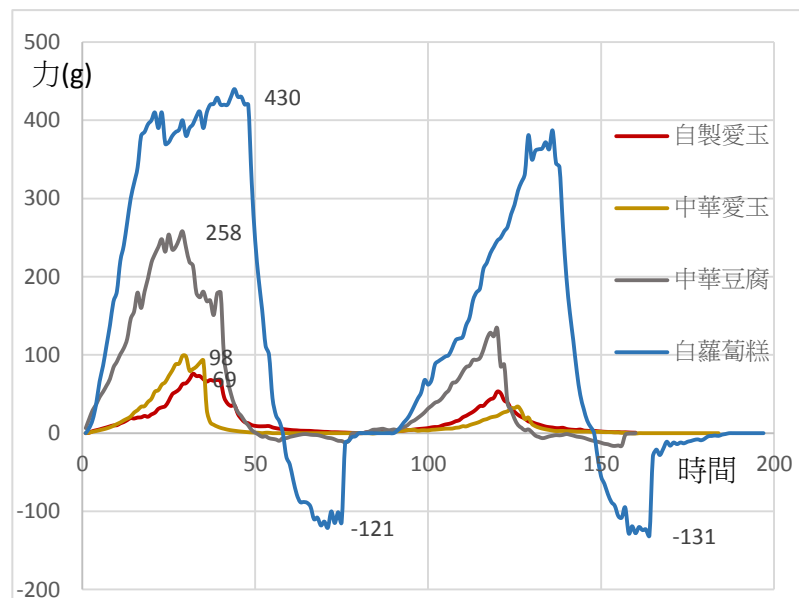


圖 46 相似性質食品的比较波型圖

表 14 相似性質食品以 TPA 方法計算數據

TPA 性質	自製愛玉	中華愛玉	粉粿	蘿蔔糕	中華豆腐
硬度	69.0	98.0	201.0	430.0	258.0
黏性	0.0	0.0	1255.0	1599.0	147.5
彈性	1.2	1.4	1.5	1.0	1.5
咀嚼性	46.8	49.9	374.6	288.4	49.6
膠著性	38.8	35.8	246.4	275.9	33.5
內聚性	0.5	0.4	1.2	0.7	0.3
回復性	0.8	0.7	0.5	0.4	1.0

TPA 性質分析：（如表 14）

由結果可知，手動操作的自製質構儀，在各種樣品上，都可以測得數值，並以 TPA 分析出口感數據明顯不同。

如黏性，在愛玉凍上幾乎測量不出來，而在蘿蔔糕、粉粿上則可測得很高的數據。如硬度，自製愛玉與中華愛玉，硬度相差 13，數值看似差很多，但在比較其他食品後，原來兩種愛玉凍是很接近的！咀嚼性、膠著性來看，蘿蔔糕和粉粿也遠高於愛玉和豆腐，和試吃時的主觀口感蠻符合的。

若想探測差異更大的樣品(如麵包、水果、巧克力)，或做食品切斷性、穿刺性，可能需要更換探頭樣式了，往後可再繼續研究。

陸、討論

- 一、在研究初期，各種機械用第一代質構儀進行方法(1)測量(準確度較差)，後續以第四代方法(2)重做測量，實驗的結果還是相同的。前期實驗中偶有愛玉測出硬度高，卻不選為最佳搭配(如表4)，是因為愛玉凍不均質、提早結塊了，口感不佳的緣故。
- 二、機械的轉速快，水流因向心力的關係形成漩渦，攪拌效果差。實驗中發現杯壁有擾流設計，或粗糙內面，愛玉出膠效率比較好。
- 三、我們的愛玉凍經過冷藏，會有大量泌水現象，如果可以做出不泌水的免手洗愛玉凍，也是個研究方向。市售愛玉還有多種口味，如果機械化製作愛玉時添加天然果汁，增加口味變化，應該是有趣的事。
- 四、自製質構儀可以再進化，裝上馬達、齒輪、皮帶、搭配電腦課的 Arduino 電路板控制程式，再加上重量回傳，控制下壓距離。也許可以做出自動的質構儀。
- 五、自製質構儀，可再進行探頭原理深究，為不同樣品開發新型探頭，嘗試更多元的研究。
- 六、目前自製質構儀驗證，只限於比較 CT3 質構儀及少量的愛玉樣本測試。如有其他機型再驗證，有助於自製質構儀改良。
- 七、自製質構儀成本低廉，一台不到一千元，與數十萬的市售質構儀相比，自製質構儀是可以考慮採用的。

柒、結論

- 一、以家用機械取代手工揉捏，並善用愛玉夾及愛玉切丁器，完成了一套有效率、衛生、免沾手的愛玉製作流程。
- 二、機械製作愛玉的最佳方法，是使用調理機搭配鈦網刀頭，只需攪拌2分鐘即可製作出品質與手工製作相近的愛玉，流程快速衛生。
- 三、機器的攪拌時間、轉速、刀具型態、水流摩擦，都是影響愛玉膠析出的主因。刀具太銳利或轉速太快，會使愛玉籽破裂，凝結效果變差。
- 四、自製質構儀和市售 CT3型質構儀做比較驗證，兩者在相同愛玉樣品測量下，硬度、黏性和彈性……等數據差異小；兩者實驗數據繪製成力(F)、時間(T)波型圖，趨勢一致。證明自製儀器有相當參考價值。
- 五、自製的質構儀，除了檢測愛玉外，還能測試其他食品的物理特性，具有廣泛的應用前景。且經濟實惠，可以讓有興趣研究科學的人，輕鬆了解食品物理性質。

捌、參考文獻資料

1. 吳輝虎、吳登楨、邱家玉(2007)。影響愛玉子品質及凝膠力因子之研究。苗栗區伍、農業改良場研究彙報 (2007 / 09 / 01)。
2. 李柏宏 (2000)。愛玉子凝膠性及愛玉凍品質之研究國立台灣大學化學研究所博士論文，台北市。
3. 莊子瑩、李明娟、戴惠敏 (2005)。愛玉～愛在凍結時，全國中小學科展第45屆優勝作品
4. 傅麗玉、楊水平 (2015) 愛玉說愛玉凍的化學，臺灣化學教育。
5. 陳英宇、梁賢淞、林政宇、黃琛富(2010)。「凍」裡乾坤－愛玉凝膠因子之探討，全國中小學科展第 50 屆優勝作品。
6. 黃永傳、陳文彬(1979)愛玉凍原料植物----愛玉之回顧與前瞻。中國園藝26(4)100~111。
7. 長宏儀器開發有限公司(2009)。全質構分析 Texture Profile Analysis (TPA)，原理說明書。
8. 李佳佩 (2001)。愛玉子果膠酯酶抑制劑之理化性質分析及應用性探討。國立臺灣大學食品科技研究所碩士論文，台北市9。
9. 第 57 屆科展作品驚天「凍」地～探討添加物對「蒟蒻果凍」凝膠 機制之影響與感官品評接受度。
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/080204.pdf>
- 10.第59 屆中小學科學展覽會高級中等學校組，膜去得掉 膠出得來－愛玉凍新製程。

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/59/pdf/NPHSF2019-052210.pdf>

【評語】 082904

1. 本實驗使用機械代替手工並尋找最佳的愛玉凍品質和效率且具有提升愛玉的衛生品質，實驗設計架構符合邏輯性。內容含蓋文獻回顧，改良自製儀器以獲得製造的愛玉與使用市售儀器相近的品質。自製儀器取材生活化，並經由實驗測試後進行儀器修正。
2. 實驗設計以食品質地分析 (Texture Profile Analysis, TPA) 決定愛玉凍物性，TPA 的原理較為複雜，可能會增加實驗的困難度與學齡學生的理解範圍，建議可設計較易操作與理解的實驗。

作品簡報

檢測奇招一

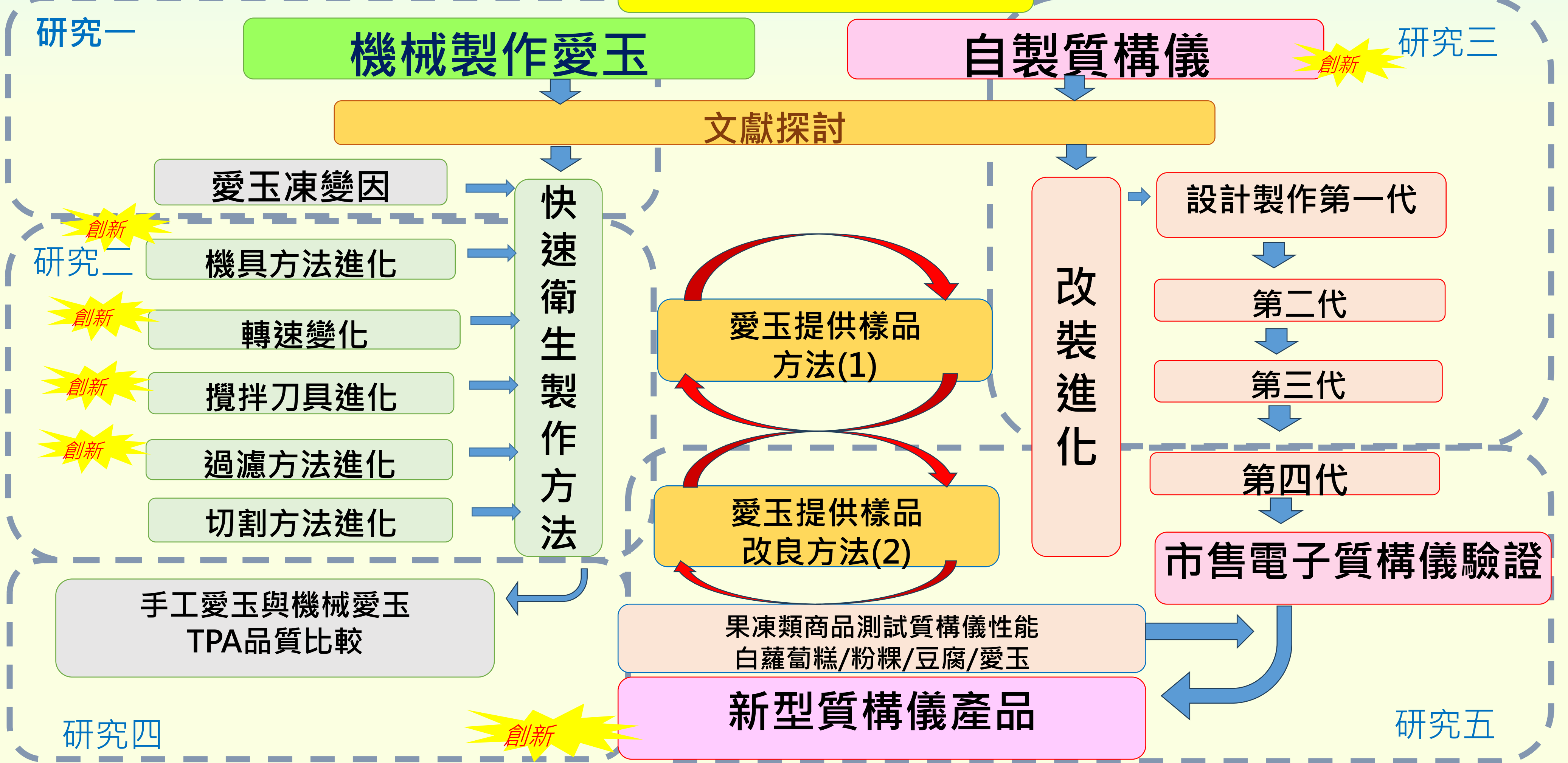


從愛玉出發

摘要

探討「**機械化製作愛玉凍的方法，及開發自製食品質構儀**」。最終使用調理機—鈦網刀頭 2 分鐘即可完成愛玉凍，品質好、快速且衛生。同時為了測量愛玉品質，開發了「自製質構儀」，並與電子式質構儀比較，證明有高可信度。再用自製質構儀檢測其他的食品，同樣可以測得物理特性並分析出口感！可以廣泛運用。

研究架構圖



壹、研究動機

我們喜歡吃愛玉，卻擔心手工衛生問題，想到利用機器來製作愛玉凍。但機器做出的愛玉品質好不好？和手工相比呢？有沒有儀器或方法可以量化、證明呢？

貳、研究目的

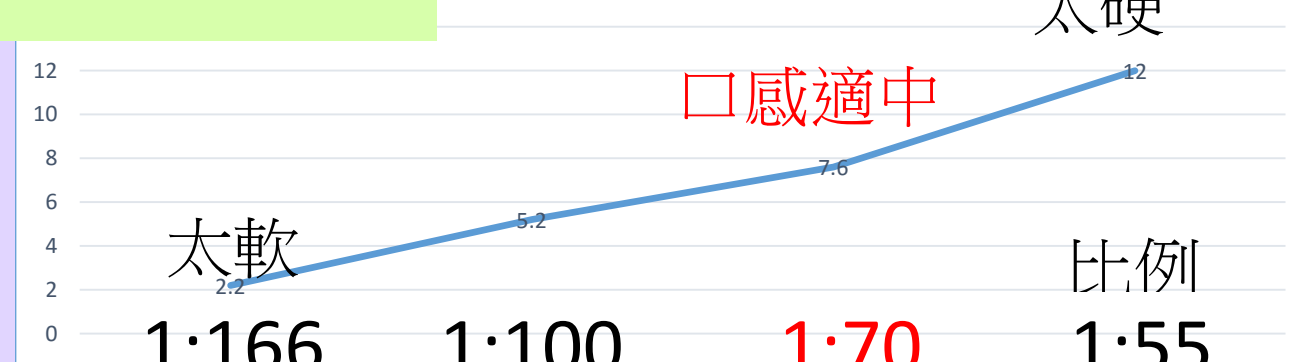
- 一、探討製作愛玉凍的變因
- 二、機械代替手工並求愛玉最佳品質效率
- 三、從生活中取材自製食品質構儀
- 四、探討不同方法的流程與TPA數據分析比對
- 五、市售電子儀器驗證完成自製新型質構儀

參、研究過程及方法

研究一、探討愛玉結凍的變因

愛玉最佳比例

表1 愛玉籽與水的比例



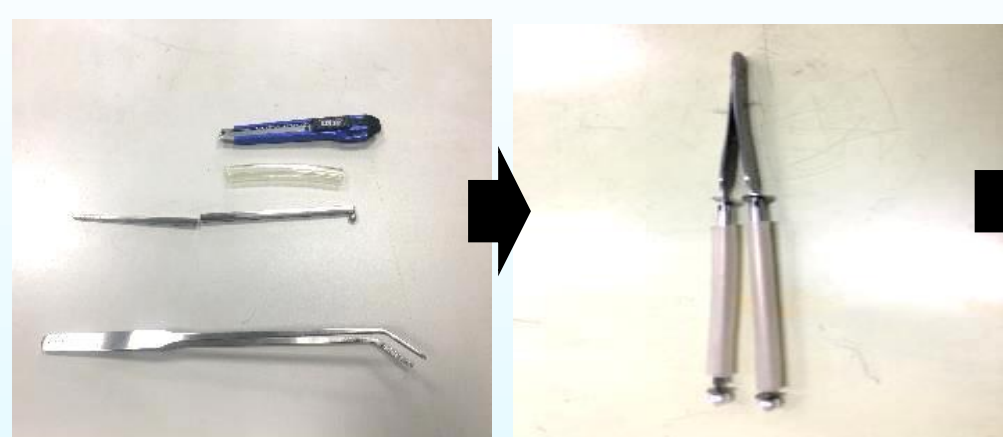
比例 1:70，初步試吃和市售愛玉類似。(表1)

愛玉凝固時間

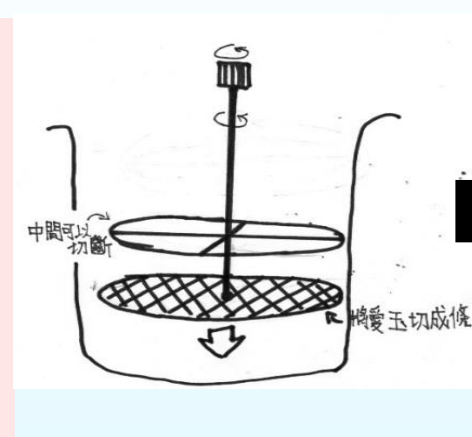
觀察紀錄	30分	40分	50分	60分	90分	一天後
精微結凍	已有凝結的	明顯結凍	摸比30分	摸起來、明	摸起來沒什	表面大量分
硬	硬一點	硬一點	硬一點	硬一點	硬一點	硬一點
軟	軟一點	軟一點	軟一點	軟一點	軟一點	軟一點
觀察紀錄	無法結凍	無法結凍	無法結凍	無法結凍	無法結凍	無法結凍

60分鐘後，凝固呈現穩定。

研究二、以不同方法製作愛玉凍並尋求最佳效率與品質



自製愛玉夾
將膠液從濾袋中擠出。避免手觸摸。



自製愛玉切丁器
在愛玉凍切塊時避免手觸摸。

手工和各種機械製做愛玉凍

實驗(一)、手工洗愛玉

最佳搓揉 6 分鐘
硬度最佳，設定為愛玉凍的標準。



分鐘	EC	TDS	硬度(g)	口感描述
手工洗 3	358	163	8	軟軟口味不錯
手工洗 6	416	221	13	本組最佳品質搭配，手工看起來比較濃，口感重，像果凍
手工洗 10	444	222	12.3	顏色較深，略結塊，愛玉籽完全乾澀
手工洗 12	344	188	10	有點像餛飩。洗到有凝固，倒出膠塊狀，失敗

「自製質構儀」

測量愛玉凍硬度。結凍硬度越高，代表愛玉籽膠質析出的效率越好。

實驗(二)、手打蛋器

最佳攪拌 15 分鐘
效率太差不用採用。



轉速	分鐘	EC	TDS	硬度(g)	口感描述
手打蛋器 約200	10	192	144	-	實驗失敗，無法結凍
手打蛋器 約200	15	288	183	6.2	本組最佳，成功正常凝固了，蠻軟的
手打蛋器 約200	20	401	222	8.5	實驗失敗，糊糊的，還沒倒出就凝固。

實驗(三)、數位攪拌器

最佳攪拌 15 分鐘
效率太差不用採用。



刀頭	轉速	分鐘	EC	TDS	硬度(g)	口感描述
數位攪拌器 大4線頭	300	20	112	123	--	實驗失敗，肉眼看出溶出膠質極少。
數位攪拌器 12線頭	300	15	188	114	--	實驗失敗，濃度很稀無法結凍。
數位攪拌器 12線頭	600	15	201	134	6	最佳，還算成功，有些結凍感，仍然軟

實驗(四)、鑽床

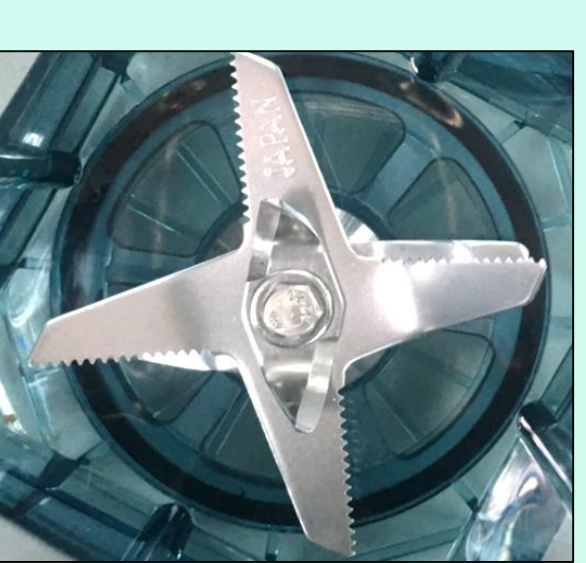
最佳攪拌 4 分鐘
晃動大不用採用。



刀頭	轉速	分鐘	EC	TDS	硬度(g)	口感描述
鑽床 12線	1050	2	--	--	--	實驗失敗，攪拌頭變形
鑽床 雙葉片	1050	2	--	--	--	實驗失敗，攪拌頭變形
鑽床 大4線	1050	3.5	282	141	--	實驗失敗，籽用手搓，殘留果膠很黏
鑽床 大4線	2300	5	258	140	4.2	成功，味道和顏色都比較濃。
鑽床 大4線	3100	3	318	157	4.1	成功，籽還有些滑，推估4分鐘更好，味道顏色
鑽床 大4線	3100	4	324	142	5.5	成功，本組效率最佳搭配，硬度效果尚可。
鑽床 大4線	3100	5	304	157	5	倒出時已凝結，攪拌過頭了，愛玉凍口感鬆散

實驗(五)、調理機

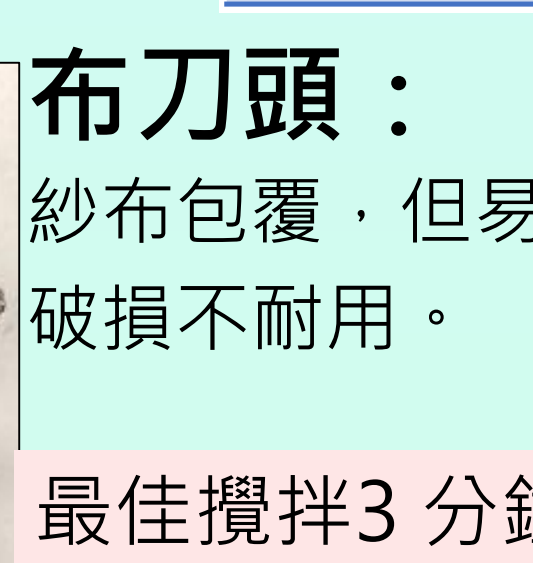
原廠刀頭：攪拌約2分鐘後，太銳利，愛玉籽破碎。無法結凍



布刀頭：紗布包覆，但易破損不耐用。最佳攪拌 3 分鐘



鈍刀頭：原廠刀頭研磨鈍化製成。最佳攪拌 3 分鐘



鈦網刀頭：鈦網製成。材質不生鏽，水流強，清洗方便衛生。最佳攪拌 2 分鐘



鈦網刀頭：鈦網製成。材質不生鏽，水流強，清洗方便衛生。最佳攪拌 2 分鐘



刀頭	轉速	分鐘	硬度(g)	口感描述
原廠	11000	1	--	無法結凍。
原廠	11000	2	--	愛玉籽有5%破碎，無法結凍
原廠	33000	2	--	愛玉籽有20%破碎，無法結凍
布刀頭	11000	2	7.1	過濾出的愛玉籽有點黏
布刀頭	11000	3	7.4	本組最佳搭配，濾籽乾淨
布刀頭	11000	4	7.6	過度攪拌，提早凝凍不均勻。
鈍刀頭	11000	2	5.2	Q軟
鈍刀頭	11000	3	6.5	本組效率最佳搭配
鈍刀頭	11000	4	6.3	大約四分時接近凝固
鈦網刀	11000	2	7.2	本組效率最佳搭配。
鈦網刀	11000	3	6.1	過濾後籽很乾淨。
鈦網刀	11000	4	6.3	大約四分時接近凝固。

調理機搭配「鈍刀頭、鈦網刀頭」2~3分鐘攪拌完成。高效率，有開發價值。

研究三、從生活中取材自製食品質構儀

手動版質構儀開發

質構儀是利用力與位移原理，經過下壓試體，由電子秤測量力數據。數據可畫出波形圖，換算出口感。我們以愛玉為樣本，持續改進自製質構儀。

第一代質構儀



以高度計為主體。側面L型六角板手。探頭與市售規格雷同。

特點：高度計精密，但螺絲耐用度不佳。

第二代質構儀



樂高積木搭建。裝長螺絲及旋轉蓋。

特點：長螺絲耐用，但積木容易鬆動。

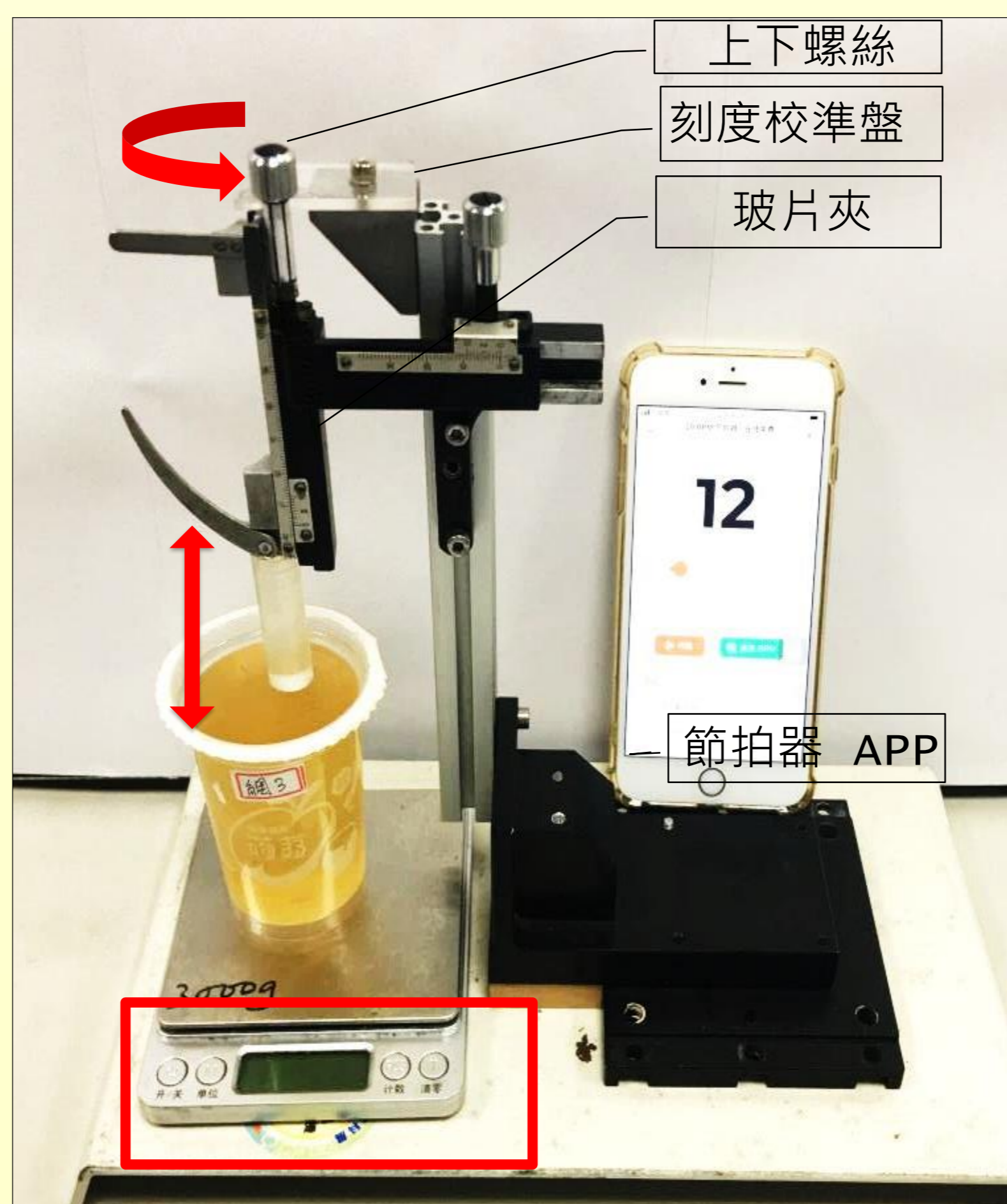
第三代質構儀



樂高環氧樹脂黏著。使用顯微鏡玻片夾套件。

特點：玻片夾高精密度，但台座穩定度不足。

第四代質構儀



第四代特點：

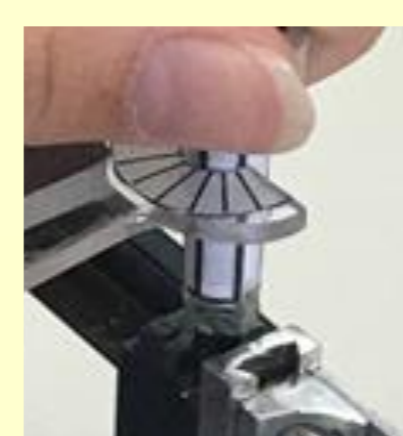
1. 鋁材支架及玻片夾，底座穩固簡單，測量位移精密。
2. 增加「刻度校準盤」轉動時更準確。



手繪稿



環氧樹脂探頭



刻度校準盤



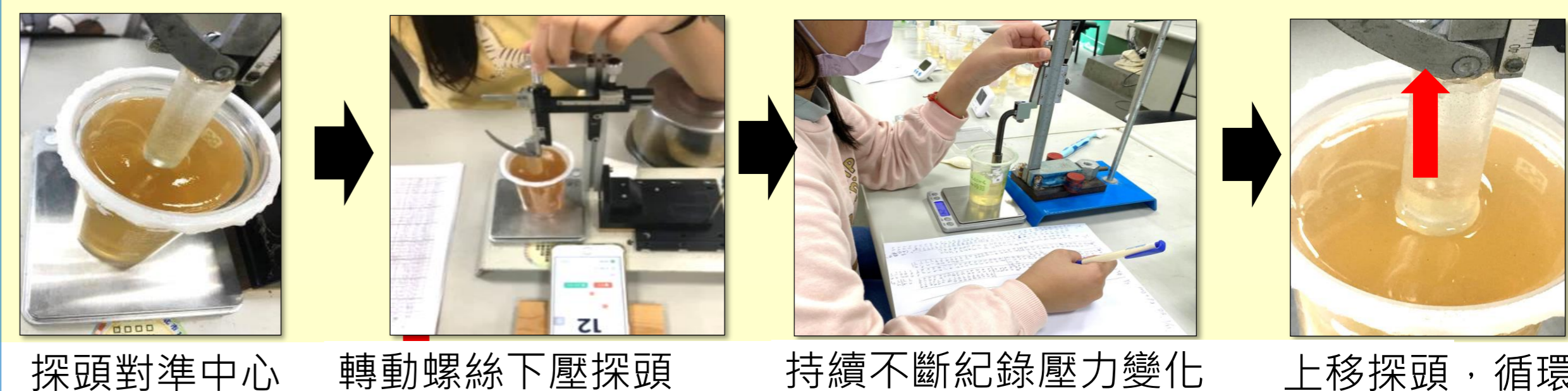
玻片夾

質構儀的操作流程

自製質構儀每個步驟標準化、熟練才能降低誤差。

1. 表面用吸去水分。
2. 探頭下壓，記錄電子秤受力。
3. 每 5 秒一次持續向下壓。每次下降0.5mm。
4. 我們將下壓方式分兩種
方法(1)：當壓力突然減少時愛玉破裂，此數值就是表面強度。
方法(2)：抵達固定深度後返回，測得此整體強度。
5. 同位置進行反轉上移探頭，最終會因黏度不足，脫離探頭，數據歸零。為一個循環。
6. 二次循環數據繪製成波形圖。

質構儀的操作流程圖解



探頭對準中心

轉動螺絲下壓探頭

持續不斷紀錄壓力變化

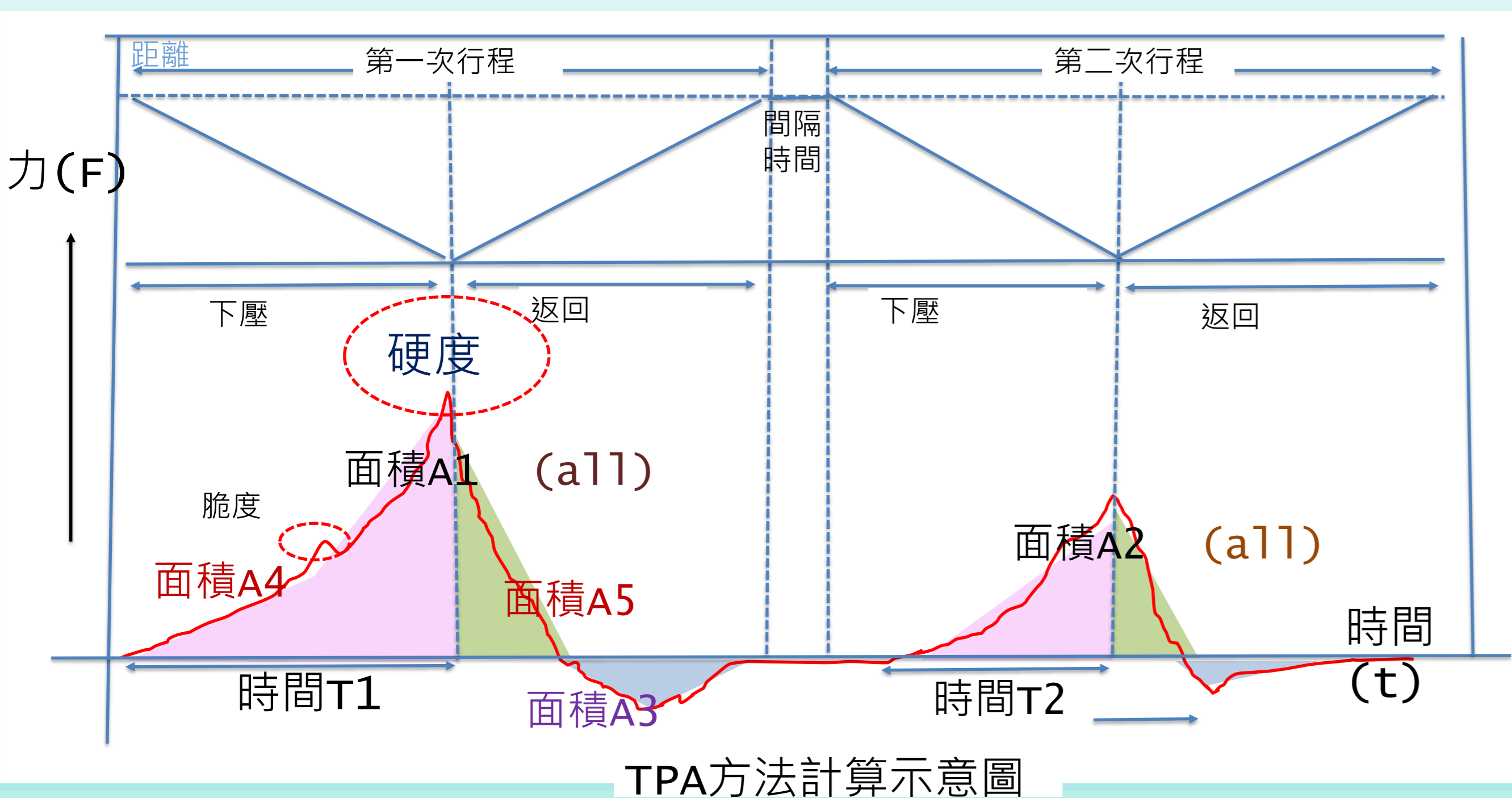
上移探頭，循環

研究四、探討不同方法流程及質構儀TPA數據分析

質構儀的數據，如何換算口感？

TPA方法是模擬人類口腔咬合方式。同位置進行二次壓力的波形圖計算。根據文獻TPA計算口感項目有：

1. 硬度：第一次下壓區段內最大力值
2. 黏性：A3面積
3. 彈性：T2 / T1
4. 咀嚼性：A2/A1 x 硬度 x 彈性
5. 膠著性：A2 / A1 x 硬度
6. 黏聚性：A2 / A1
7. 回復性：A5 / A4
8. 脆度：硬度前出現較小峰值



TPA方法計算示意圖

研究(二)愛玉實驗結果，挑選五個最佳品質的愛玉凍，經自製質構儀第一代測量後，繪製波型圖(圖1)，再以TPA方法算成口感。(圖2)

- 手工洗 (6分鐘)
鑽床—大4線頭 (4分鐘)
調理機—布刀 (3分鐘)
調理機—鈍刀 (3分鐘)
調理機—鈦網刀 (2分鐘)

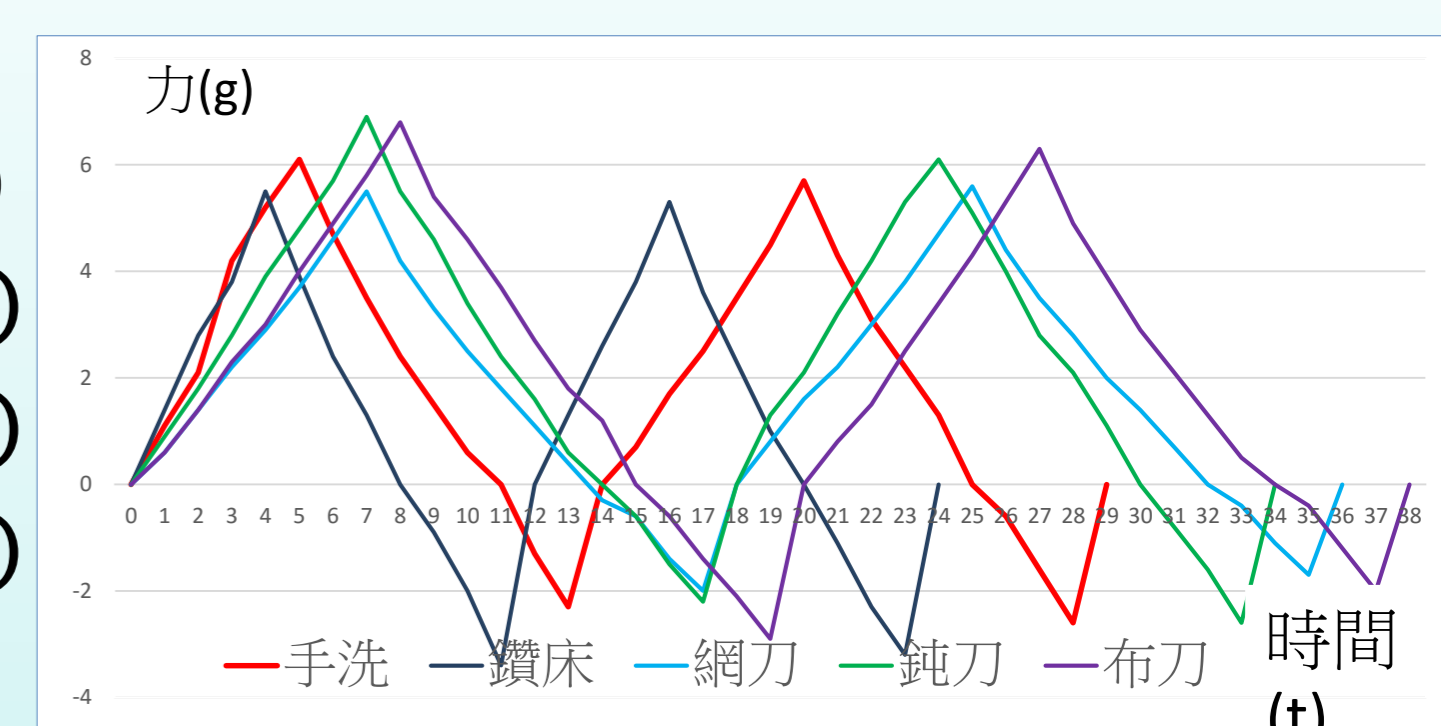


圖1 研究二選五個最佳品質愛玉波型圖

小結果：

五個愛玉是各種方法裡，最佳品質的愛玉凍。硬度、彈性等數據相近，但黏性差異較大。(圖2)

初步證明自製質構儀，可以發揮功能。

	鑽床	手工洗	鈍刀	布刀	鈦網刀
硬度	5.5	6.1	4.8	6.8	5.5
黏性	7.0	3.6	4.3	7.0	4.2
彈性	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0
咀嚼性	5.9	6.7	3.9	4.8	7.1
膠著性	6.9	6.7	4.5	5.6	7.1
黏聚性	1.3	1.1	0.9	0.8	1.3
回復性	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9

圖2 依上圖計算得到TPA口感性質

研究五、以市售電子儀器驗證並完成新型質構儀

為了驗證自製質構儀到底準不準？

以市售電子式質構儀進行驗證。由管理學院-食品科系提供

CT3質構儀(Brookfield CT3 Texture Analyzer)，進行測量比較。(圖3)



設定參數

開始下壓

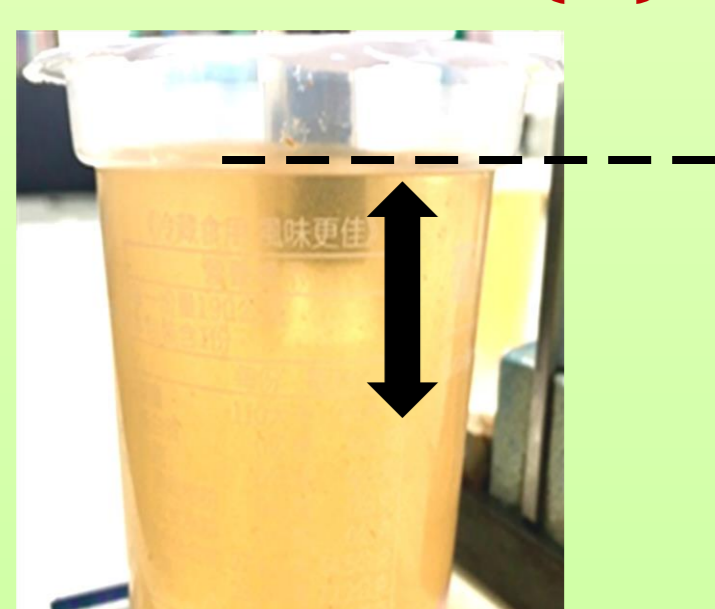
電腦數據計算出圖

圖3 市售CT3質構儀檢測流程

(一)、比較檢測方法

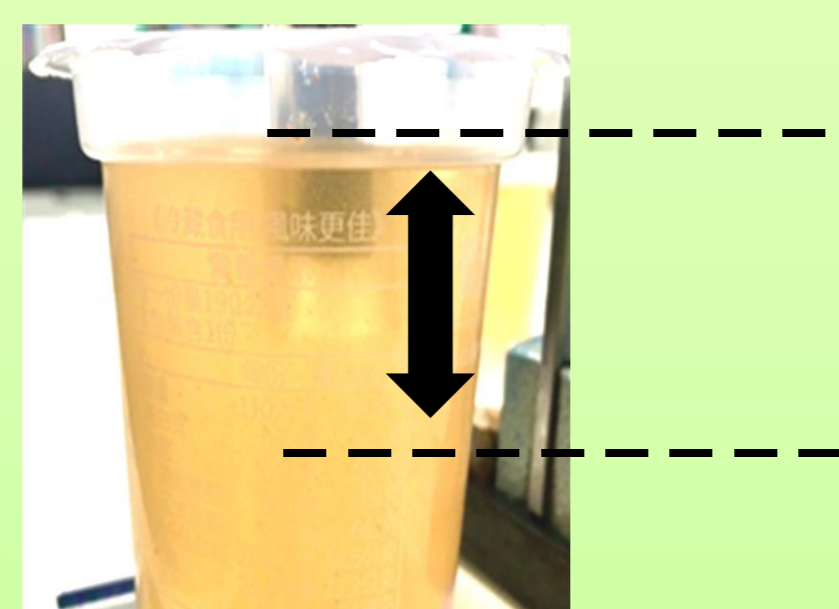
看過儀器標準操作方式後，發現我們的檢測方法，與CT3質構儀檢測方法不同！不同處如下圖：

原檢測方法-方法(1)



探頭下壓沒有固定深度

改良檢測方法-方法(2)



探頭下壓固定深度20mm

(二)、比較測量愛玉凍的數據

挑三個重要樣本，手工洗(6分鐘)、鈦網刀(2分鐘)、鈍刀(3分鐘)的愛玉凍。CT3質構儀和自製第四代質構儀，方法(2)測量相同三個樣本，繪製波形圖比較。(圖4)

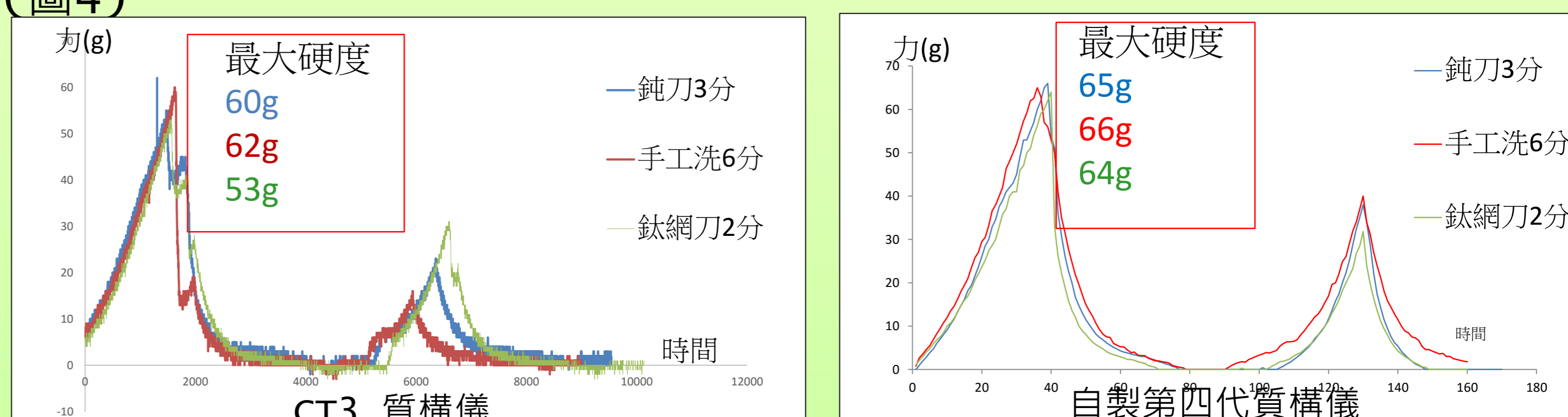


圖4 兩台質構儀同時測量愛玉，繪製波形圖比較

攪拌方式	自製質構儀			CT3質構儀		
	手工洗6	鈍刀3分	鈦網刀2分	手工洗6	鈍刀3分	鈦網刀2分
硬度	65	66	64	60	62	52
黏度	0	0	0	0	0	0
彈性	1.1	0.6	0.7	1.0	0.8	0.8
咀嚼性	32.2	13.8	14.5	12.4	0.6	15.6
膠著性	29.8	21.5	20.5	12.5	0.7	20.6
黏聚性	0.5	0.3	0.3	0.2	0.0	0.4
回復性	0.7	0.4	0.2	0.3	0.9	0.7

小結果：

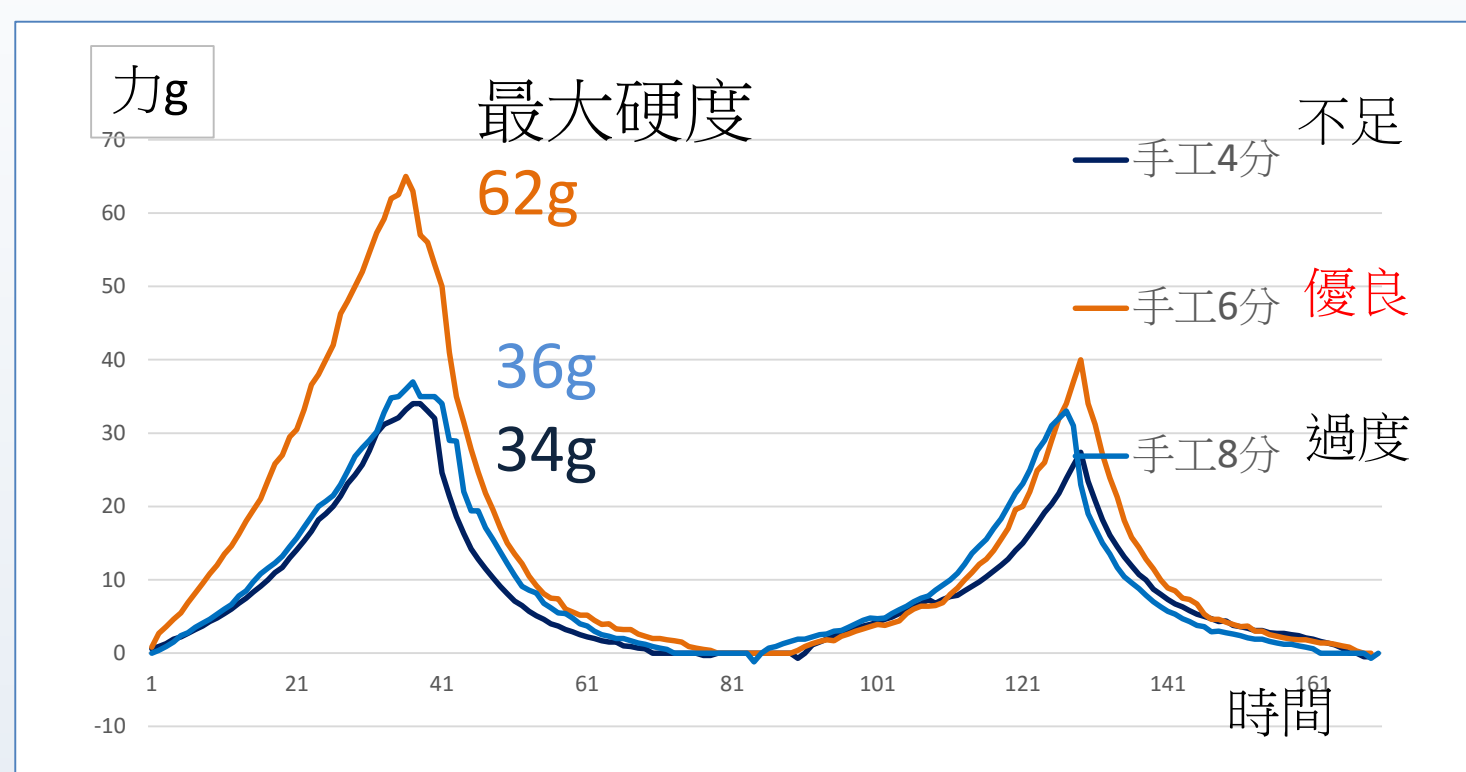
兩台質構儀數據的波形圖相似度很高。

口感數據，自製質購儀**硬度稍高**，討論出原因是探頭稍大的關係。黏性、彈性則接近。

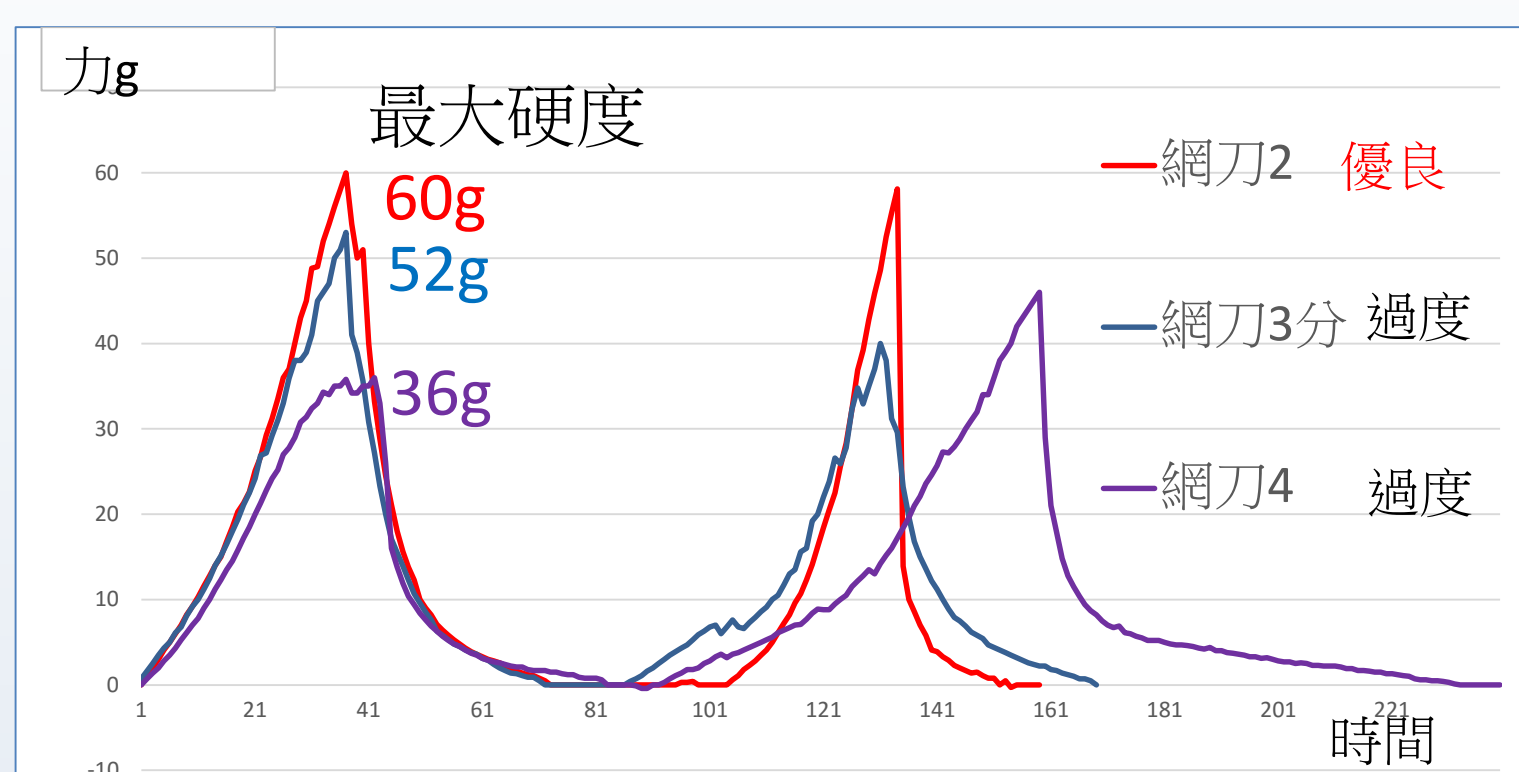
證明自製第四代質構儀，在熟練的操作下，有不錯的精準度，具備參考價值。

(三)、修正方法重新驗證愛玉凍

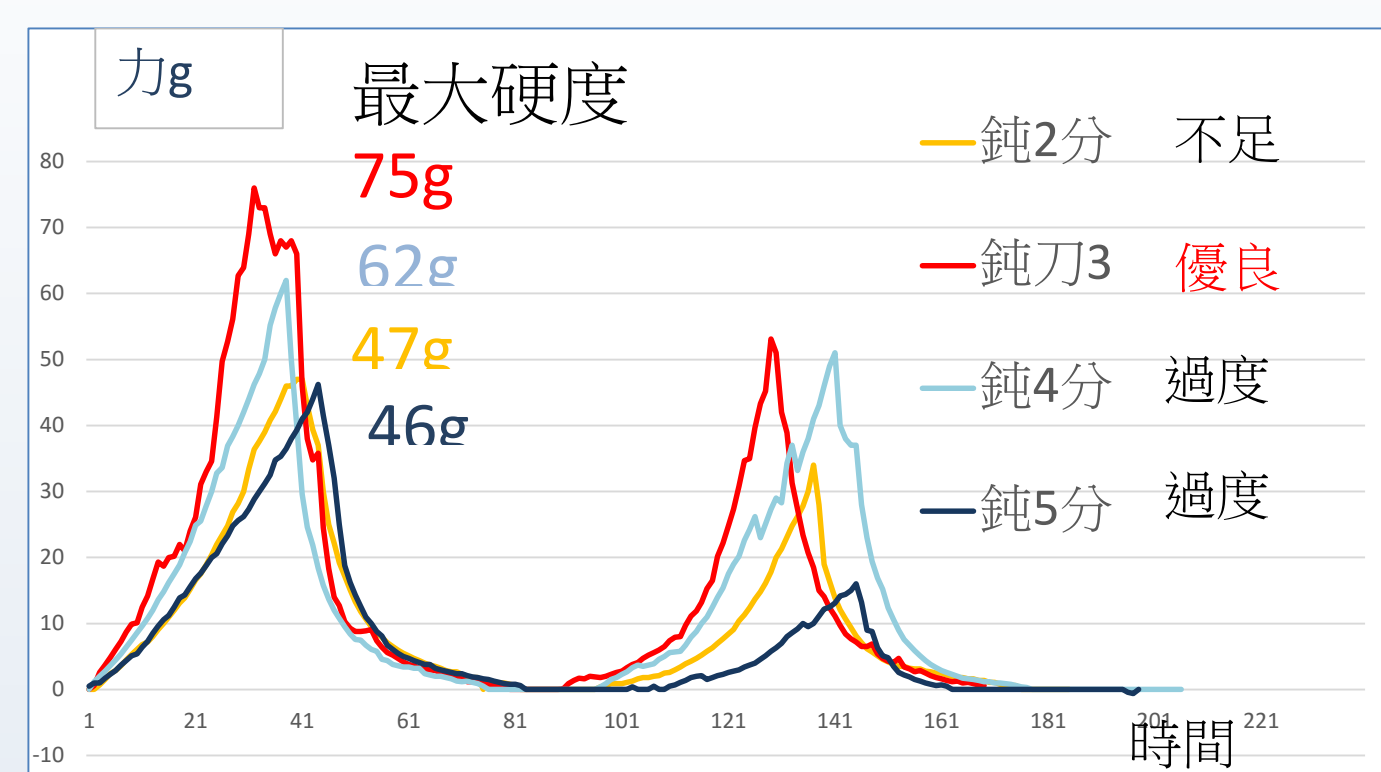
自製質構儀改良方法(2)重新測量，比較愛玉凍硬度。



手工洗愛玉 揉洗 4、6、8分鐘
結果：6分鐘時最佳。



調理機—鈦網刀 攪拌 2、3、4分鐘。
結果：2分鐘最佳。



調理機—鈍刀 攪拌 2、3、4、5分鐘。
結果：3分鐘時最佳。

小結果：

重新使用自製質購儀改良方法(2)測量後，結果與方法(1)相同。**方法(2)更容易檢測，誤差更小。**

推論：質購儀探頭下壓方法，依受測物可做調整。

小結果：

再將上面三圖最佳愛玉凍放在一起比。(圖5)
圖的重疊性高，代表**手工與機械愛玉品質幾乎相同！**
證明「自製質購儀」可準確檢測。
調理機搭配合適刀具，做出的愛玉品質可以完美取代手工洗愛玉。

CT3質構儀測量方式不同。對前實驗結果，產生懷疑！

於是重製三種愛玉以「自製質購儀第四代」測量。

手工洗愛玉、調理機—鈍刀、調理機—鈦網刀

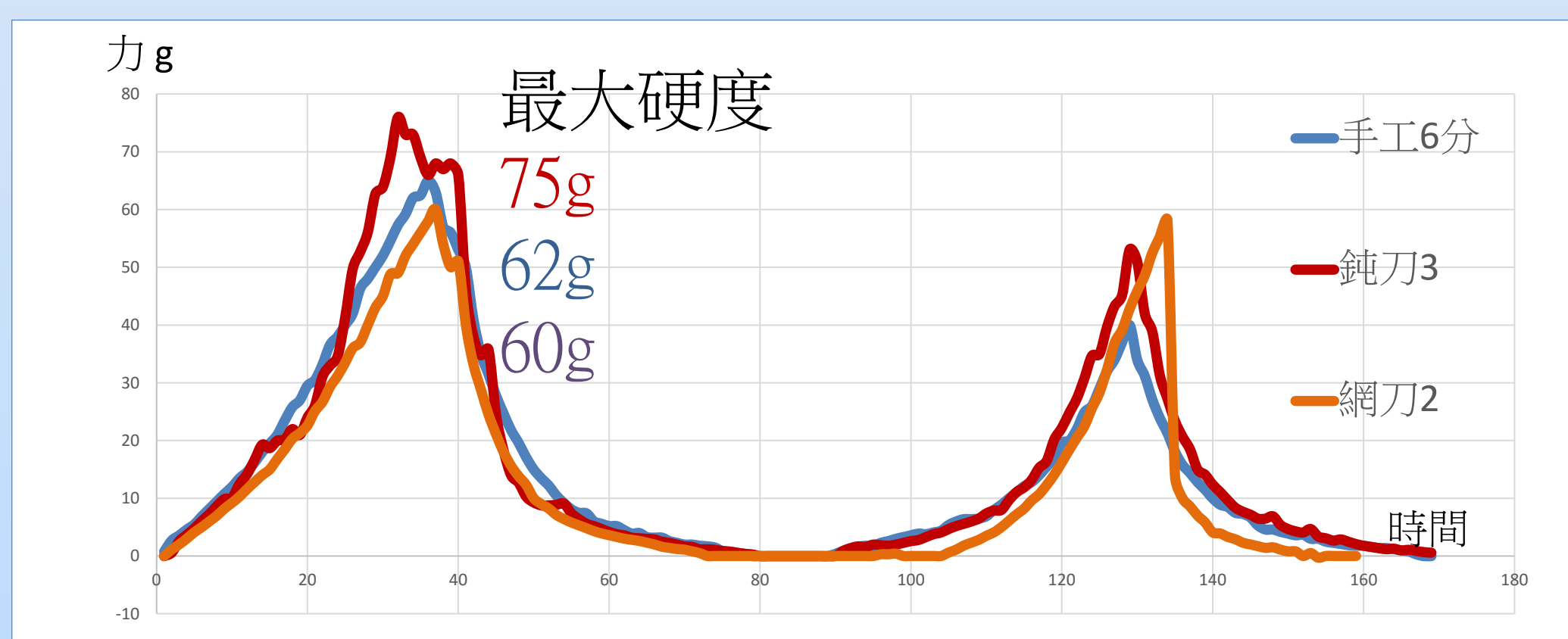


圖5 三種最佳愛玉凍比較

(四)、相似性質的食品檢測

為了驗證自製質構儀，是否能適用在其他食品上？

檢測：自製愛玉、中華愛玉、粉粿、白蘿蔔糕、中華豆腐

實驗步驟：
試體形狀與體積必須相同。使用果凍杯取樣。(如圖6)
質構儀方法(2)分別測量數據繪製成圖。(如圖7)



圖6

TPA性質分析：

自製質構儀在各種樣品都可測出物理性質。分析出口感數據明顯不同。

黏性：愛玉凍上量不出來，而蘿蔔糕黏性很高。

硬度：自製愛玉與中華愛玉，硬度相差29比較後是接近的！

咀嚼性、膠著性：兩愛玉都類似，而蘿蔔糕、粉粿非常高。
右表可以看出，不同的食品物理性質差異很大。(圖8)

若想探測麵包、水果或做切斷性穿刺性，則需換探頭樣式。

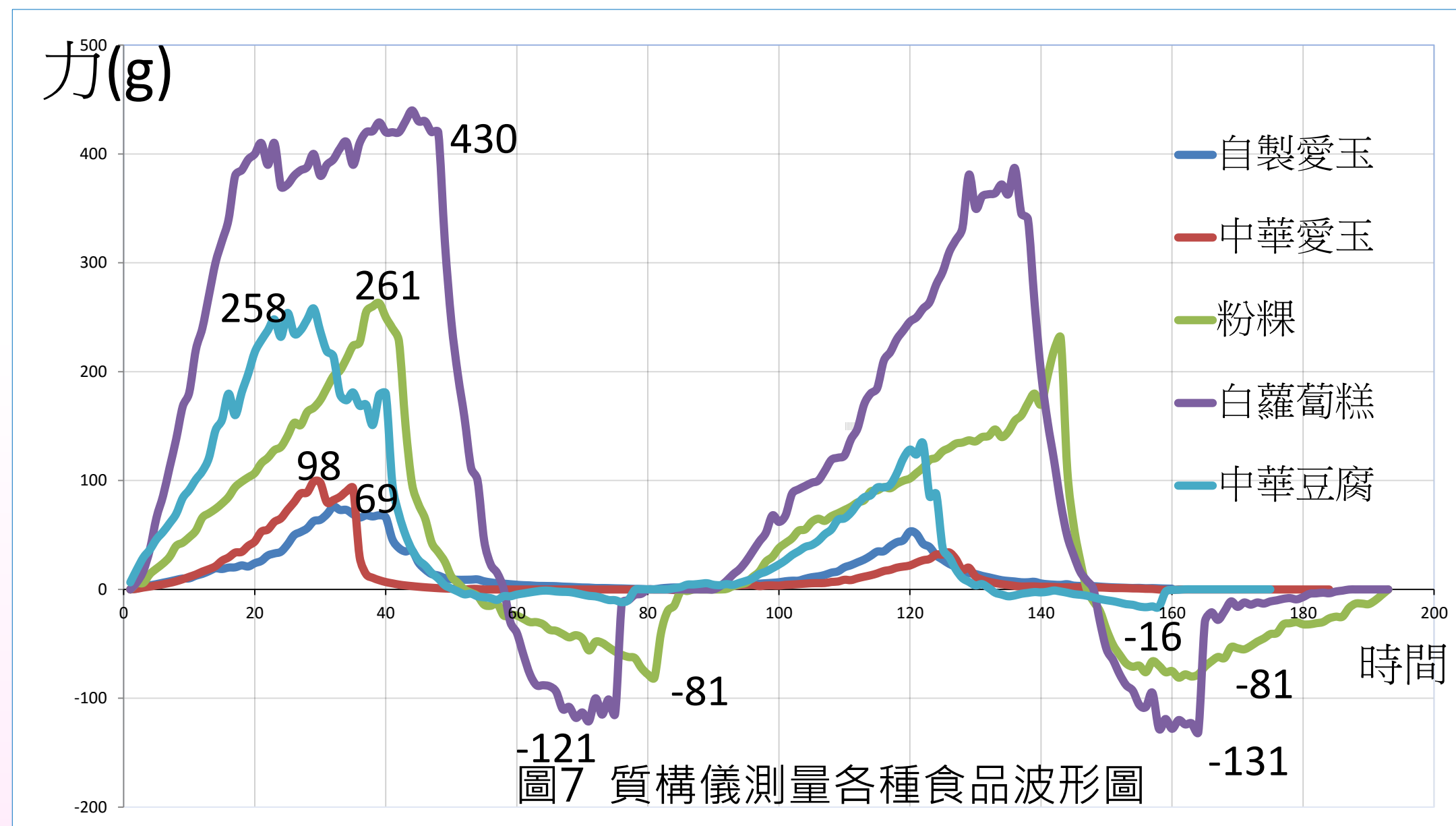


圖7 質構儀測量各種食品波形圖

TPA性質	自製愛玉	中華愛玉	粉粿	白蘿蔔糕	中華豆腐
硬度	69.0	98.0	261.0	430.0	258.0
黏性	0.0	0.0	1255.0	1599.0	147.5
彈性	1.2	1.4	1.5	1.0	1.5
咀嚼性	46.8	49.9	374.6	288.4	49.6
膠著性	38.8	35.8	246.4	275.9	33.5
黏聚性	0.5	0.4	1.2	0.7	0.3
回復性	0.8	0.7	0.5	0.4	1.0

圖8 質構儀測量各種食品口感數據

肆、結論

一. 機械取代手工製作愛玉，同時用質購儀測量品質。結果調理機—鈦網刀頭 2分鐘可完成和手工媲美的愛玉凍。再搭配自製工具—愛玉夾、切丁器，完成快速有效率、衛生的機械製作流程。

二. 自製質構儀不斷改進，精準度耐用度都大幅提升。和市售CT3質構儀比較，趨勢一致、數據差異小。證明自製質構儀有相當參考價值。

三. 自製質構儀也能檢測其他食品物理性質，且成本低，一台不到一千元，與數十萬的市售質構儀相比，物美價廉，有廣泛的應用前景。

伍、參考文獻

- 吳輝虎、吳登楨、邱家玉(2007)。影響愛玉子品質及凝膠力因子之研究。苗栗區
- 農業改良場研究彙報(2007/09/01)。
- 李柏宏(2000)。愛玉子凝膠性及愛玉凍品質之研究國立台灣大學化學研究所博士論文。台北市。
- 莊子瑩、李明娟、戴惠敏(2005)。愛玉~愛在凍結時。全國中小學科展第45屆優勝作品
- 傅麗玉、楊水平(2015)愛玉說愛玉凍的化學。臺灣化學教育。
- 陳英宇、梁賢淞、林政宇、黃琛富(2010)。「凍」裡乾坤-愛玉凝膠因子之探討。中小學科展第50屆優勝作品。