

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 農業與食品學科

第一名

052210

膜去得掉 膠出得來—愛玉凍新製程

學校名稱：國立民雄高級農工職業學校

作者： 職二 張茗樑 職二 黃友傳 職二 何庭瑜	指導老師： 王瓊祥 王俊雄
---	-----------------------------

關鍵詞：愛玉凍、果膠、果膠酯酶抑制劑

得獎感言

艱辛的科學研究之路

當我們踏上這條科展之路，我們知道研究是無止盡的，即使到了最後一刻都不能放棄。每天只要下課就往實驗室裡鑽。實驗、整理數據還有與老師討論實驗的結果。雖然非常的辛苦，但是努力是值得的。只要實驗有什麼重大突破，或者是拍攝到清晰、關鍵的照片，都會令我們非常的開心。最後踏入比賽會場，我們努力那麼久，結果將要在這一刻一一呈現給評審。從開始佈置那一刻起，直到比賽結束之前，我們從不鬆懈，即使到了飯店還是在努力練習，準備把最好的呈現出來。

回想起過去做實驗的日子，每一天都過的很忙碌，但是生活卻過得如此充實。每一天整理數據統計數據，就連回家晚上也要繼續努力。自從做了科展很多時候失去了時間，例如：午休的時候只能做科展不能睡覺，假日時大家都在放假我們也還是要關在實驗室裡，甚至有關全校性的活動我們這一年來都沒好好參與過。為什麼我們要這樣呢？那是因為我們想好好的針對我們的題目，來進行更深入的研究，希望可以為食品安全衛生做一些貢獻。這並不單單是我們只想得獎，而是我們面對一件事情的處理態度。在研究的過程中最怕遇到的就是實驗的進度跟不上變化，還有跟一開始的預測不一樣，有的時候必須重新檢討甚至砍掉重煉。但是在實驗中與同伴們一起突破困難解決各種難題，還有老師們努力的指導我們、幫助我們解決所有瓶頸。這都是課堂上學不到的東西，真的是收穫滿滿。

站在自己的作品面前，看著前面組別正在報告他們的作品，我們感到非常緊張，不知道自己是否會失常。我們為自己加油打氣，期許自己可以保持平常心，相信自己努力的作品，頓時心中充滿了對自己的自信，此時的我們已經不再緊張了。

在比賽的最後一天，也就是頒獎典禮，那是最緊張刺激的時刻。在主持人開始宣布名次時，我們的心情非常的緊張，當宣布到第一名，聽到「國立民雄農工」，我們的心情真的是非常的激動與開心~。

感謝在這一路上支持著我們的老師、父母以及朋友，有你們無私奉獻，與不放棄不嫌煩的指導我們，我們才能夠度過無數的挫折與低潮，最後完成我們所有的研究。謝謝你們。



得到大會獎第一名興奮的心情



利用顯微鏡拍攝觀察愛玉子



一顆顆的將愛玉子剪開需要非常小心與很費時間

壹、摘要

本研究測得愛玉子：水=1：100 是製作愛玉凍的最適比例，我們成功拍攝愛玉子加水膨潤後之顯微影像，在愛玉子表面形成一層相當明顯的黏膜，這層黏膜是愛玉凍凝膠之關鍵。藉由電動打蛋器搭配不銹鋼網之測試、調理機搭配木製刀片、調整調理機較低轉速之測試，證明適度的攪打可使愛玉子黏膜釋出，而愛玉子完整未破裂，這是愛玉凍成功凝膠之關鍵。可調轉速之調理機價格昂貴，因而本實驗自行設計組裝精簡便宜的轉速控制器，搭配普通果汁機減速攪打愛玉子，當轉速處於 3000~4000rpm 範圍時，愛玉凍之凝膠高度、硬度、顯微影像、消費者喜好程度，皆與手工搓洗愛玉凍相似，足以媲美手工搓洗愛玉凍之品質。

貳、研究動機與目的

一、研究動機

1. 一般市面上所販售的愛玉凍皆採用手工搓洗，未經加熱處理而直接食用，我們不知道它的製造過程是否乾淨衛生，品質也多不穩定，因此，我們想研發非手工之機械化方法，來製作出乾淨衛生的愛玉凍。
2. 過去有許多愛玉子相關之研究，使用各種非手工之機械方法來製作愛玉凍，但是皆無法媲美手工搓洗愛玉凍之凝膠品質，或完全無法使愛玉子凝膠。
3. 本研究鎖定在家庭用的小家電，因家用小家電之價格低廉且實用性高，可能為多數家庭已購買，也不需額外添購，我們利用既有之小家電，加以簡易改裝產生新的功能與附加價值，可利用最低成本來製作出乾淨衛生的愛玉凍。



二、研究目的

- (一) 探討手工搓洗及機械化攪打愛玉子之凝膠關鍵因子。
- (二) 研發機械化之新製程，製作媲美手工搓洗愛玉凍之凝膠品質。
- (三) 利用既有之小家電，創造新的附加價值，以最低成本來製作出乾淨衛生的愛玉凍。

參、研究過程與方法

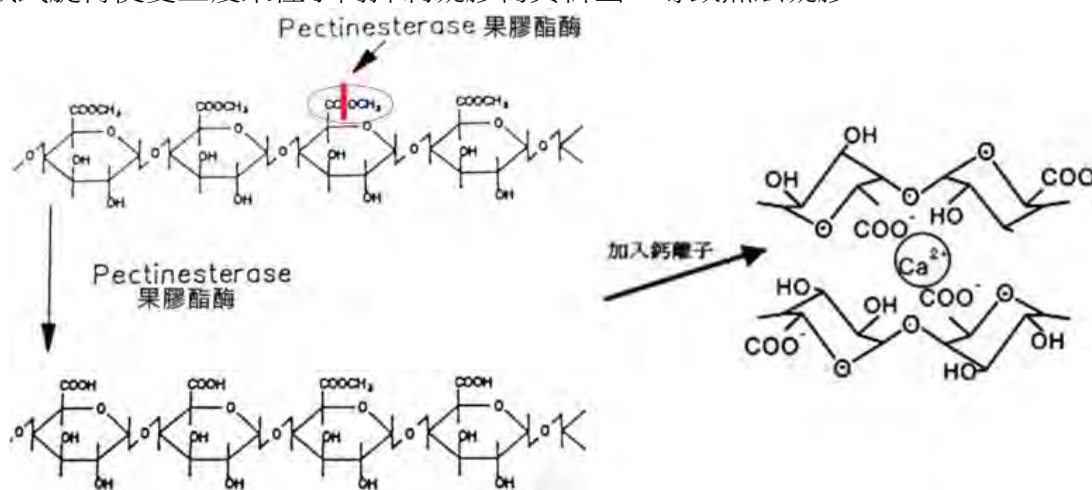
一、文獻回顧

(一) 愛玉子⁽¹¹⁾

市售愛玉子乃是愛玉陽乾雌花果，包括瘦果(achene)與花托(receptacle)之統稱，是將採下的新鮮隱花果經削果、翻轉、乾燥後而成的。愛玉子為多年生常綠大藤本植物，藉由氣根攀附於樹幹及岩石上，雌雄異株，花柱生於隱頭花序的花托內，雌株隱頭花序的花托中生有1~2萬朵的雌花，及少量發育不全退化之雌花，雌花授粉後發育成為瘦果。葉為互生，有二種型態，幼年葉為心臟型，成年葉則為長橢圓形或闊披針型，表面為綠色，有光澤，葉背則是灰白色或茶褐色。

(二) 愛玉的凝膠原理⁽³⁾⁽⁵⁾⁽¹¹⁾

愛玉凍的凝膠原理，是利用果膠酯酶(pectinesterase, PE)將高甲氧基果膠水解成低甲氧基果膠，在與水中之二價陽離子鍵結產生網狀結構，將水分子包覆形成果凍。愛玉凍的凝膠機制係因愛玉種子在水中溶出高甲氧基果膠，同時受到果酵素作用，進行脫甲基反應而變成低甲氧基果膠，在與水中雙價陽離子交聯而形成更巨大分子即為凝膠作用。機械式旋轉使愛玉瘦果種子內抑制凝膠物質析出，導致無法凝膠。



(三) 果膠⁽⁵⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹²⁾

理想之愛玉凍，其果膠含量應於0.05~0.10%之間，此研究結果與市售愛玉含0.06~0.09。

1. 高甲氧基果膠(high methoxyl pectin, HMP)：高甲氧基果膠為果膠質分子中甲氧基含量超過7%以上者稱之，在高甲氧基果膠中加入適量的糖(糖度65%以上)、酸(pH2.8~3.2)，符合凝膠條件後，高甲氧基果膠會藉著氫鍵發生膠凝化。
2. 低甲氧基果膠(low methoxyl pectin, LMP)：低甲氧基果膠為果膠質分子中甲氧基含量在7%以下者稱之。低甲氧基果膠在pH2.6~6.5之間，於鈣等多價金屬離子靠著離子鍵構成網狀結構而凝膠，此原理因凝膠條件與糖濃度無關。
3. 果膠酯酶

可以使愛玉瘦果溶出的高甲氧基果膠分子上的甲基酯鍵(COOCH₃)去酯化，形成低甲氧基果膠，當水中有二價離子時，離子就可嵌入果膠分子之間形成架橋，進而使果膠

長鏈間形成網狀結構的凝膠。

4. 果膠酯酶抑制劑

搓洗愛玉子時間過短可能會致使果膠濃度太低，或搓洗過度導致部分種子破裂，使抑制劑溶出所致。若將愛玉子磨碎萃取其蛋白質，則萃取液沒有 PE 活性，因此推論種子內可能含某種 PE 抑制物質。

(四) 相關研究

我們蒐集過去許多愛玉子相關之研究，使用各種非手工之機械化方法來製作愛玉凍，但是皆無法媲美手工搓洗愛玉凍之凝膠品質，或完全無法使愛玉子凝膠。有關於機械化搓洗愛玉凍相關之研究，資料簡要彙整如下所示：

1. 震盪法：⁽⁵⁾

本研究是以試管震盪機(Vortex genie-2)之最大震幅震盪 3min，所形成之愛玉凍凝膠效果不錯，但仍不如手工搓洗之愛玉凍。

2. 洗衣機：⁽⁵⁾

將市售之小型洗衣機(洗衣機 3.0 公斤)內槽裝上不鏽鋼條，將愛玉子裝入孔徑適當之雙層布袋中，加入自來水後，利用其正逆轉交互，袋中之愛玉子與內槽之不鏽鋼條，產生類似搓洗之效果，而使果膠濃出。利用洗衣機改良而成的萃取機，所得到的果膠含量達手工搓洗之九成以上，凝膠效果不錯，但仍不如手工搓洗之愛玉凍。

3. 電動打蛋器：⁽⁷⁾

使用電動打蛋器靠著離心原理甩出膠質，所形成之愛玉凍凝膠效果不錯，但仍不如手工搓洗之愛玉凍。

4. 壓汁機：⁽⁷⁾⁽⁹⁾

使用壓汁機製作愛玉，愛玉凍會凝膠但遠不如手工搓洗之愛玉凍。

5. 手搖杯：⁽⁹⁾

使用手搖杯製作愛玉，愛玉凍會凝膠但遠不如手工搓洗之愛玉凍。

6. 果汁機：⁽⁹⁾

果汁機製作愛玉的效果很差，短時間的攪拌會使膠質溶出，攪拌時間增加會使底部刀片打碎愛玉子，使抑制凝固的物質溶出，因此無法凝結成愛玉凍。

7. 調理機：⁽⁹⁾

使用調理機無法製作愛玉，攪拌過程中，愛玉子被打碎的情形更為嚴重，幾乎都被打成泥狀，過濾出來的愛玉子濾液無法凝結成愛玉凍。

8. 加熱攪拌器：⁽⁹⁾

使用加熱攪拌器製作愛玉，攪拌 30 分鐘凝膠效果不錯、形狀完整，但仍不如手工搓洗之愛玉凍。

二、研究架構



三、設備與材料

(一) 設備



電子秤
JIN YUAN JYK-6000
(TAIWAN)



電動打蛋器
AIRLUX(唐鋒家電) HA-3126
(TAIWAN)



調理機
神象 NJ-666
(TAIWAN)



果汁機
PANASONIC MX-V188
(TAIWAN)



游標卡尺(300mm)
MITUTOYO
(JAPAN)



轉速計
YOKOGAWA MODEL 3631
(JAPAN)



烘箱
MEMMER KC-900
(GERMANY)



解剖顯微鏡
NIKON SMZ-10A
(JAPAN)



相機
CANON EOS650D
(JAPAN)



推拉力計
LUTRON FG-5000
(USA)



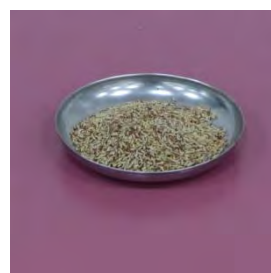
筆記型電腦
ACER 4730ZG
(TAIWAN)



色差儀
Lovibond LC100
(UK)

(二) 材料：

1. 愛玉子(進 X 行 XX 市東區中正路 402 號)
2. 革蘭氏染色碘液(ASK, Taiwan)



四、研究方法

A. 愛玉凍凝膠條件之建立

【實驗 A1】「愛玉子：水」凝膠之測試

前言：本實驗擬先探討不同比例「愛玉子：水」對凝膠之影響，找出愛玉子和水的最適當比例。

步驟：

1. 分別秤取不同比例的愛玉子和水(愛玉子：水= 1:50 / 1:75 / 1:100 / 1:125 / 1:150 / 1:175)，裝入棉布濾袋內，採用手工搓洗5分鐘，倒入模型中，如右圖所示。

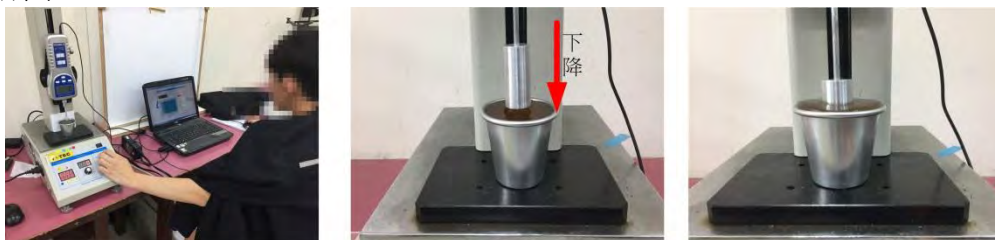


2. 靜置1小時後脫模，觀察並拍攝愛玉凍凝膠之外觀。

3. **凝膠高度之測量：**利用游標卡尺量取紀錄愛玉凍凝膠高度，如下圖所示。



4. **凝膠硬度之測量：**利用推拉力計連接電腦，採用圓柱狀探頭測量愛玉凍凝膠硬度，如下圖所示。



結果：

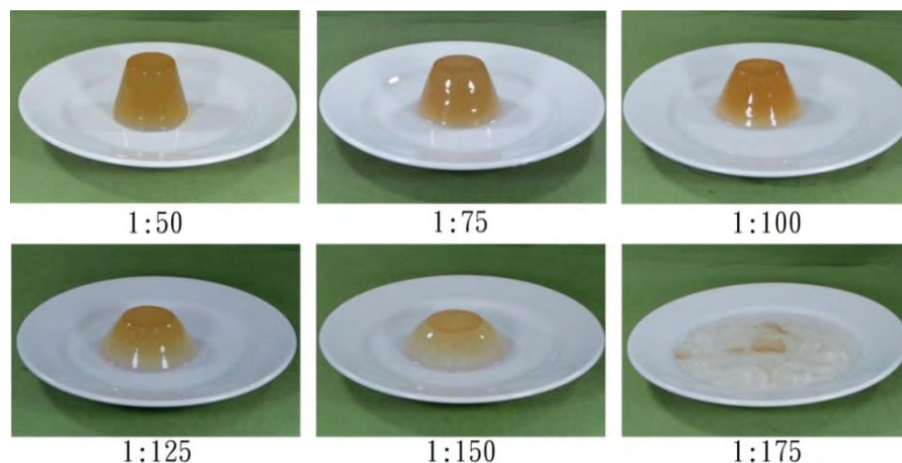


圖1. 不同比例「愛玉子：水」所製作的愛玉凍之凝膠情形

1. 如圖 1 所示，隨著加水比例之遞增(1:50 → → → 1:175)，愛玉凍之色澤逐漸變淡。
2. 如圖 1、表 1、圖 2 所示，隨著加水比例之遞增(1:50 → → → 1:175)，愛玉凍凝膠高度呈現遞減之趨勢。

表 1. 不同比例「愛玉子：水」對愛玉凍凝膠高度之影響

愛玉子：水	高度 (mm)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
1 : 50	41.5	42.1	42.5	42.0	0.5
1 : 75	37.0	38.5	38.8	38.1	1.0
1 : 100	34.7	33.6	34.9	34.4	0.7
1 : 125	27.8	26.6	27.8	27.4	0.7
1 : 150	22.3	24.0	24.5	23.6	1.1
1 : 175	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠

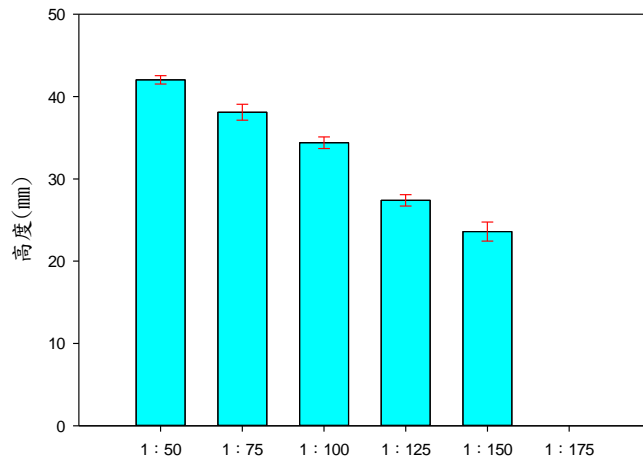


圖 2. 不同比例「愛玉子：水」對愛玉凍凝膠高度之影響

3. 如表 2、圖 3 所示，隨著加水比例之遞增(1:50 → → → 1:175)，愛玉凍硬度呈現遞減之趨勢。

表 2. 不同比例「愛玉子：水」對愛玉凍硬度之影響

愛玉子：水	力(gw)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
1 : 50	262	237	251	250.0	12.5
1 : 75	121	120	112	117.7	4.9
1 : 100	67	68	71	68.7	2.1
1 : 125	40	40	36	38.7	2.3
1 : 150	31	35	34	33.3	2.1
1 : 175	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠

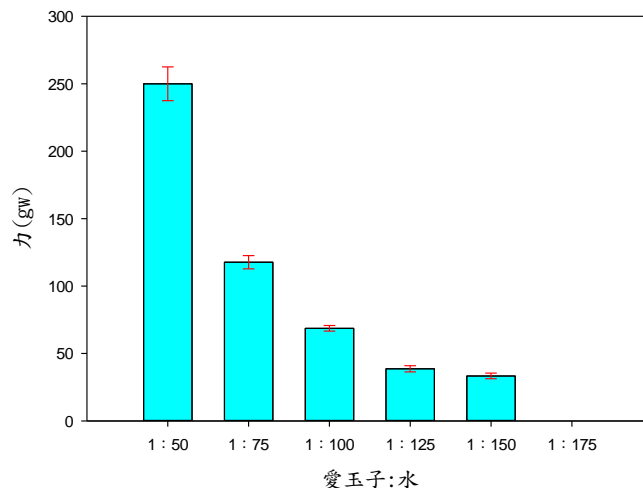


圖 3. 不同比例「愛玉子：水」對愛玉凍硬度之影響

討論：

1. 由本實驗結果顯示，加水的比例越多，愛玉凍的色澤就會越淡，這可能是因愛玉子所釋放出果膠被水稀釋所致。
2. 雖然愛玉子：水=1：50時，愛玉凍凝膠高度最高，但試吃後發覺愛玉凍質地偏硬，凝膠口感不佳。當愛玉子：水=1：100時，雖然其凝膠高度並非最高，但實際試吃愛玉凍時，質地軟硬適中，凝膠口感較佳，而且色澤與市售愛玉凍較為相似。因此，我們決定本研究製造愛玉凍，均採用愛玉子：水=1：100之比例。

【實驗 A2】愛玉子顯微影像之觀察

前言：本實驗擬藉由顯微鏡觀察並拍攝愛玉子之顯微影像，希望能更進一步瞭解愛玉子之凝膠原理。

步驟：

1. 取一粒愛玉子放在載玻片上，並蓋上蓋玻片。
2. **加水膨潤：**利用1ml注射器由蓋玻片邊緣注入自來水，自來水會藉由毛細現象逐漸滲入蓋玻片與載玻片之間隙，加自來水使愛玉子膨潤。
3. **加碘液染色：**利用1ml注射器由蓋玻片邊緣注入碘液，碘液會藉由毛細現象逐漸滲入蓋玻片與載玻片之間隙，加碘液使愛玉子染色。
4. **加水脫色：**利用1ml注射器由蓋玻片邊緣注入自來水，自來水會藉由毛細現象逐漸滲入蓋玻片與載玻片之間隙，加自來水使愛玉子脫色。
5. 利用解剖顯微鏡觀察並拍攝愛玉子之顯微影像。



結果：

1. 愛玉子加水膨潤後，會在愛玉子表面形成一層極不明顯的黏膜，如圖4C所示。
2. 剛加碘液染色時，愛玉子表面那一層黏膜非常明顯未被染色，圖4D所示。
3. 加碘液染色1分鐘後，愛玉子表面那一層黏膜逐漸被染色，圖4E所示。
4. 加水脫色後，愛玉子表面那一層黏膜明顯被染色，圖4F所示。



圖 4. 愛玉子→加水膨潤→加碘液染色→加水脫色過程之顯微影像

討論：

1. 彙整相關文獻⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾與本實驗之驗證，我們整理出愛玉凍成功凝膠之推論：愛玉子加入水膨潤後，手工搓洗出愛玉子表面這一層黏膜，因果膠酯酶作用，所含之高甲氧基果膠會轉變成低甲氧基果膠，當水中有二價離子時會形成架橋，進而使果膠長鏈間形成網狀結構的凝膠→愛玉凍成功凝膠，如圖5所示。

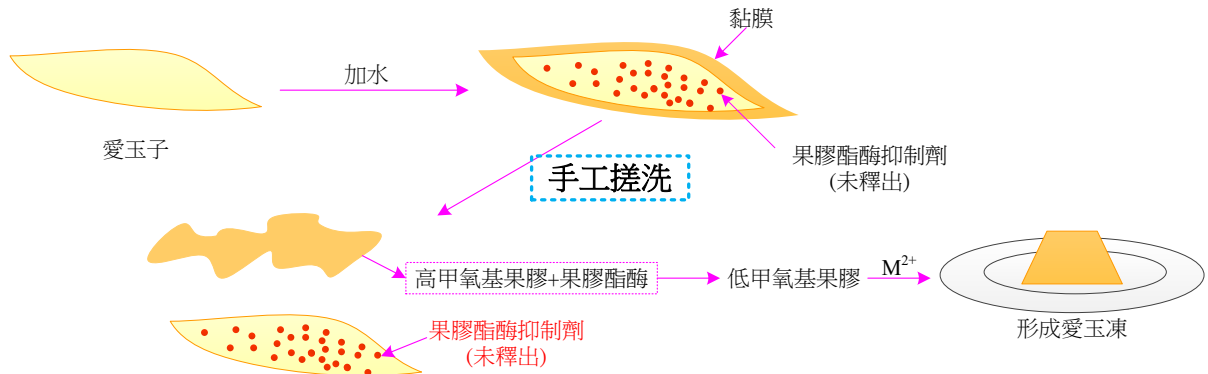


圖 5. 愛玉凍成功凝膠之推論

2. 蒐集相關文獻⁽⁵⁾，我們整理出愛玉凍無法凝膠之推論：愛玉子若經高速攪打，會使愛玉子破裂，其內部之果膠酯酶抑制劑會釋出，導致果膠酯酶失去作用，因而高甲氧基果膠無法轉變成低甲氧基果膠→愛玉凍無法凝膠，如圖6所示。

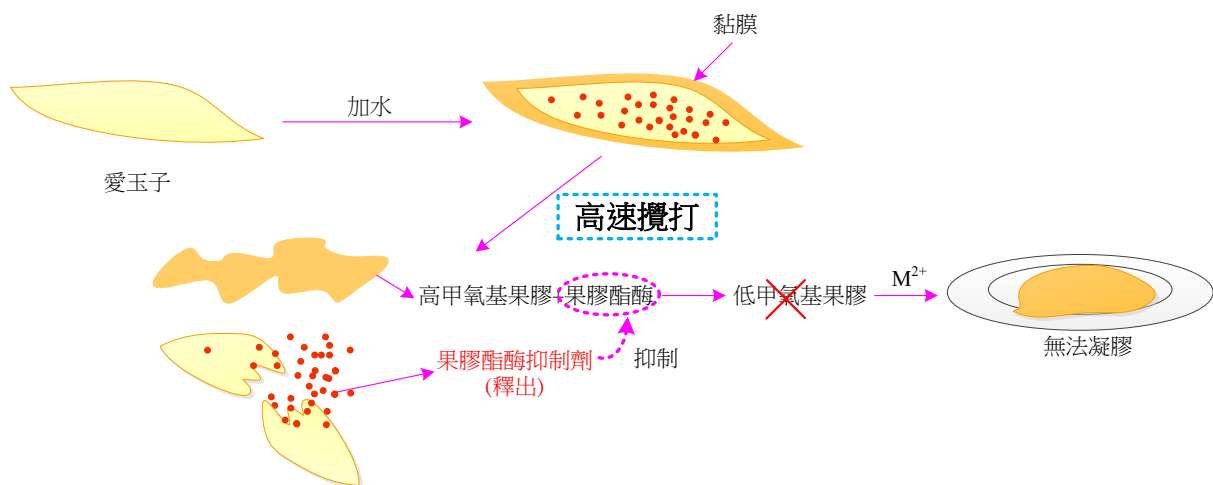


圖 6. 愛玉凍無法凝膠之推論

B. 機械化可行性之探討

【實驗 B1】電動打蛋器攪打之測試

前言：本實驗擬採用攪打力較弱的電動打蛋器，攪打愛玉子隨著水流撞擊摩擦容器之內壁(未加不銹鋼網/加不銹鋼網)，希望能瞭解此方法對愛玉凍凝膠之效果。

步驟：

1. 實驗變因：容器之內壁(未加不銹鋼網/加不銹鋼網)

2. 取3g愛玉子加入300g水中。(愛玉子：水 = 1：100)。
3. 採用電動打蛋器分別攪打5分鐘(未加不銹鋼網/加不銹鋼網)，倒入之模型中。
4. 靜置1小時後脫模，觀察並拍攝愛玉凍凝膠之狀況。



結果：

1. 由圖 7A 顯示，以電動打蛋器「未加不銹鋼網」攪打後，愛玉凍凝膠狀況不佳，無法形成立體愛玉凍。
2. 由圖 7B 顯示，電動打蛋器「加不銹鋼網」攪打後，愛玉凍凝膠狀況些微改善，但是依然無法形成立體愛玉凍。

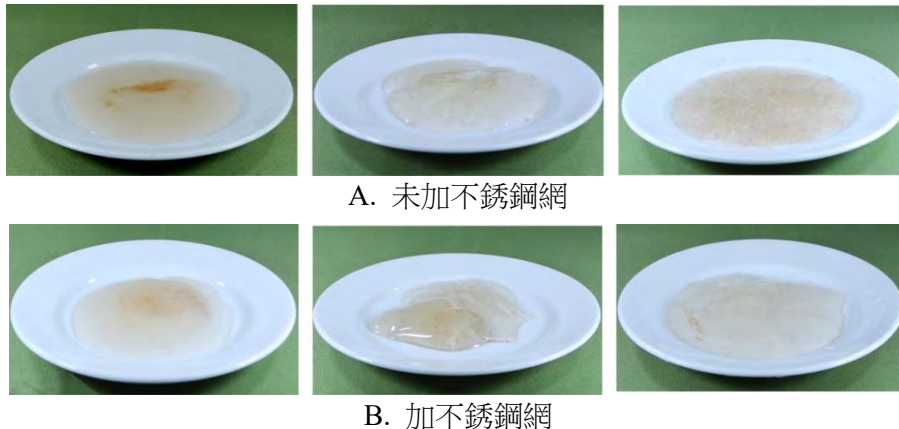


圖7. 以電動打蛋器(未加不銹鋼網/加不銹鋼網)攪打對愛玉凍凝膠之影響

討論：

1. 由本實驗結果得知，電動打蛋器搭配「不銹鋼網」可增加攪打愛玉之摩擦力，雖然能些微改善凝膠狀況，但因摩擦力不足而無法使愛玉子內的果膠大量溶出，愛玉凍之凝膠仍然十分不理想。
2. 推論由於電動打蛋器攪打力不足，愛玉子表面那一層黏膜仍大量殘留在愛玉子表面，導致水中果膠溶出量不足，因而愛玉凍無法成功凝膠。

【實驗 B2】調理機攪打之測試

前言：由【實驗 B1】得知想要使愛玉凍凝膠，必須要增加攪打摩擦力，才能使愛玉子釋放出更多果膠使愛玉凍凝膠，因此，本實驗擬採用轉速更高的調理機(金屬刀片/木製刀片)，提供更大的摩擦力進行攪打。

步驟：

1. 實驗變因：刀片種類(金屬刀片/木製刀片)
2. 取3g愛玉子加入300g水中。(愛玉子：水 = 1：100)。
3. 採用調理機轉速檔位 7 分別攪打 5 分鐘(金屬刀片/木製刀片)，倒入之模型中。
4. 靜置 1 小時後脫模，觀察並拍攝愛玉凍凝膠之狀況。



結果：

1. 由圖 8A 顯示，以調理機搭配「金屬刀片」攪打後，愛玉凍凝膠狀況不佳，無法形成立體愛玉凍。
2. 由圖 8B 顯示，以調理機搭配「木製刀片」攪打後，可形成立體愛玉凍，但是與手工搓洗之凝膠高度仍有些許差距。

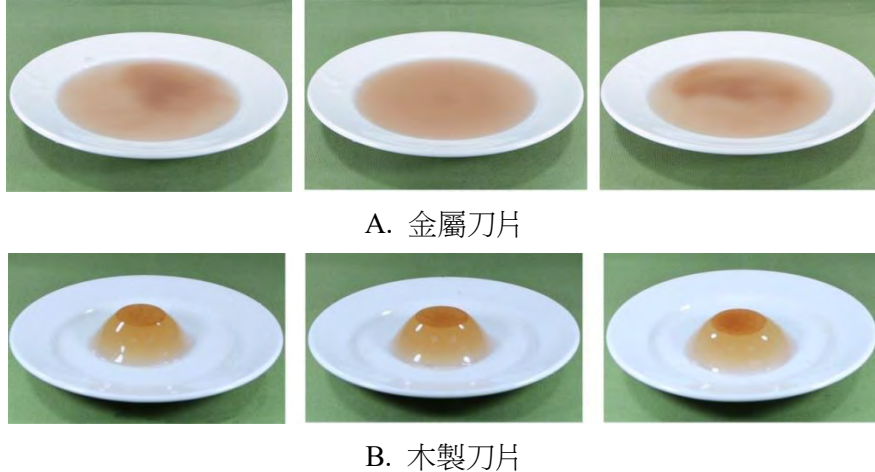


圖8. 調理機搭配不同刀片(金屬刀片/木製刀片)對愛玉凍凝膠之影響

討論：

1. 以調理機「金屬刀片」攪打後，愛玉凍凝膠狀況不佳，可能因「金屬刀片」在高速攪打時，對愛玉子所產生的切削力、撞擊力、摩擦力過大，導致愛玉子攪打粉碎，由相關文獻⁽⁵⁾得知，過大的外力會使果膠酯酶抑制劑釋出，導致愛玉凍之凝膠不理想。
2. 我們推測調理機若是搭配非銳利的「木製刀片」攪打，因「木製刀片」在高速攪打時，對愛玉子所產生的切削力、撞擊力、摩擦力較小，使愛玉子不至於被攪打粉碎，不會使果膠酯酶抑制劑釋出，因而愛玉凍之凝膠情形較佳。

【實驗 B3】降低轉速攪打之測試

前言：本實驗擬調降調理機轉速，使愛玉子受到的切削力、撞擊力、摩擦力較小，避免果膠酯酶抑制劑釋出，又可以使果膠酯酶完整釋出，進而改善愛玉凍凝膠狀況。

步驟：

1. 實驗變因：不同轉速(檔位：1/2/3/4/5/6/7)。
2. 取3g愛玉子加入300g水中。(愛玉子：水 = 1：100)。
3. 採用調理機搭配金屬刀片、木製刀片，調整到不同轉速的檔位(1/2/3/4/5/6/7)，分別攪打 5 分鐘，倒入之模型中。
4. 靜置 1 小時後脫模，觀察並拍攝愛玉凍凝膠之狀況。
5. **凝膠高度之測量：**利用游標卡尺量取紀錄愛玉凍凝膠高度。

結果：

1. 如圖 9 所示，調理機搭配金屬刀片，若採用較低速的檔位 1 攪打，愛玉凍可以成功凝膠，愛玉凍高度為 28.8 ± 1.0 ；若採用較高速的檔位：2、3、4、5、6、7 攪打，愛玉凍無法凝膠。

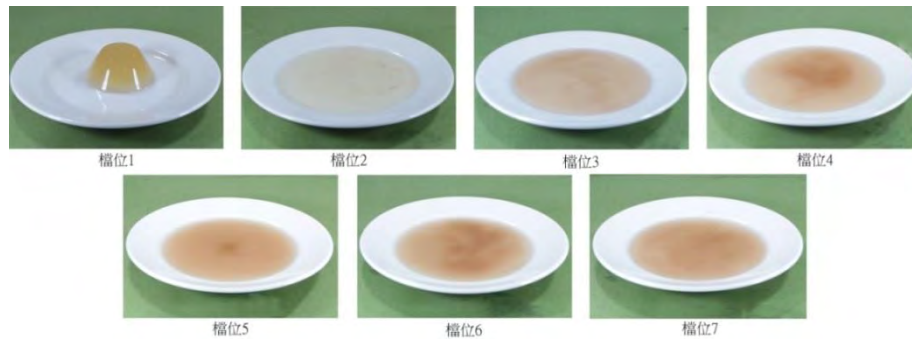


圖 9. 調理機搭配金屬刀片以不同轉速(檔位)攪打對愛玉凍凝膠之影響

2. 如圖 10 所示，調理機搭配木製刀片，採用各種檔位：1、2、3、4、5、6、7 攪打，以肉眼觀察愛玉凍皆可成功凝膠。

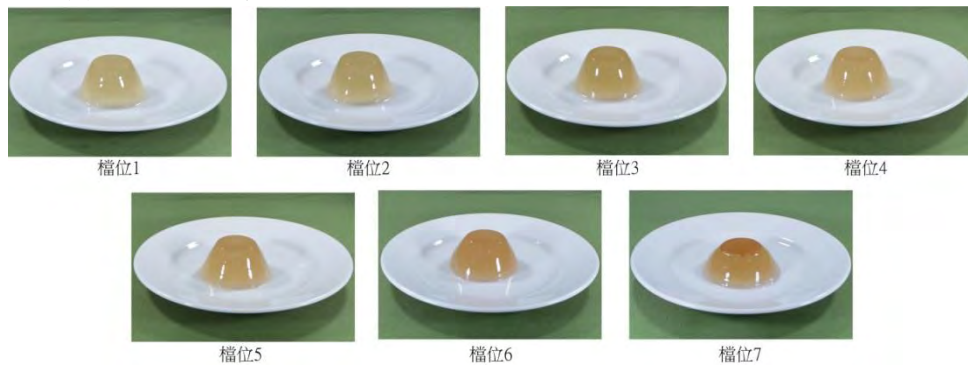


圖 10. 調理機搭配木製刀片以不同轉速(檔位)攪打對愛玉凍凝膠之影響

3. 如表 3、圖 11 所示，若使用較低速的檔位：2、3 攪打，則愛玉凍凝膠高度最高；若使用最高速檔位：7 攪打，則愛玉凍凝膠高度最低。

表 3. 調理機搭配木製刀片以不同轉速(檔位)攪打對愛玉凍高度之影響

轉速檔位		高度 (mm)				標準差	
		測試一	測試二	測試三	平均值		
低速	1	31.0	34.5	30.3	31.9 ^b	2.3	
	↓	2	33.4	34.5	34.0	34.0 ^a	0.6
	↓	3	34.3	34.8	33.2	34.1 ^a	0.8
	↓	4	29.8	30.1	31.1	30.3 ^b	0.7
	↓	5	26.5	27.6	28.3	27.5 ^c	0.9
	↓	6	26.1	25.8	26.7	26.2 ^c	0.5
高速	7	23.1	23.5	23.4	23.3	0.2	

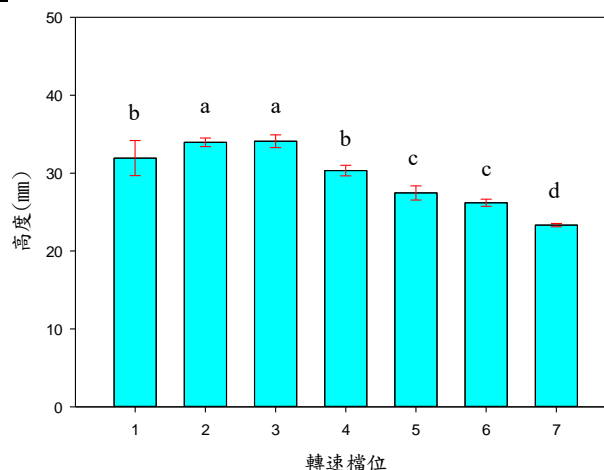


圖 11. 調理機搭配木製刀片以不同轉速(檔位)攪打對愛玉凍高度之影響

討論：

1. 若調理機搭配金屬刀片以較低速的檔位：1 攪打，對愛玉子所產生的切削力、撞擊力、摩擦力仍稍微較小，我們推論因果膠酯酶抑制劑未大量釋出，使愛玉凍可以成功凝膠。若調理機搭配金屬刀片以較高速的檔位：2、3、4、5、6、7 攪打，對愛玉子所產生的切削力、撞擊力、摩擦力較大，我們推論果膠酯酶抑制劑大量釋出，使愛玉凍無法凝膠。
2. 若調理機搭配木製刀片以較高速的檔位：4、5、6、7 攪打，對愛玉子所產生的切削力、撞擊力、摩擦力仍稍微大一些，使果膠酯酶抑制劑少量釋出，導致愛玉凍之凝膠較低一些。若調理機搭配木製刀片以較低速的檔位：2、3 攪打，對愛玉子所產生的切削力、撞擊力、摩擦力較小一些，可使果膠溶出，但不至於使果膠酯酶抑制劑釋出，因此，愛玉凍之凝膠高度近似手工搓洗。若調理機搭配木製刀片更低速的檔位：1 攪打，對愛玉子所產生的切削力、撞擊力、摩擦力更小一些，使果膠相對溶出量較低，因而愛玉凍之凝膠高度稍低一些。

C. 新製程之探討

【實驗 C1】自製轉速控制器之設計組裝

前言：由【實驗 B3】證明調理機搭配木製刀片與調降轉速攪打，會使愛玉凍成功凝膠，但市售調理機價格昂貴，而一般的家庭用的果汁機無法調降轉速，且不能更換木製刀片，因此，本實驗擬自製成本低廉的轉速控制器，沿用現有金屬刀片，藉由調降果汁機之轉速，希望能使愛玉凍成功凝膠。

步驟：

1. 測試果汁機需要的控制轉速的電阻大小。
(經過實際測試後，得知在控制果汁機的電路中，只需連接兩顆一大一小的可變電阻，就能隨意平順地控制果汁機的轉速。)
2. 設計自製轉速控制器之電路圖，如圖 12 所示。

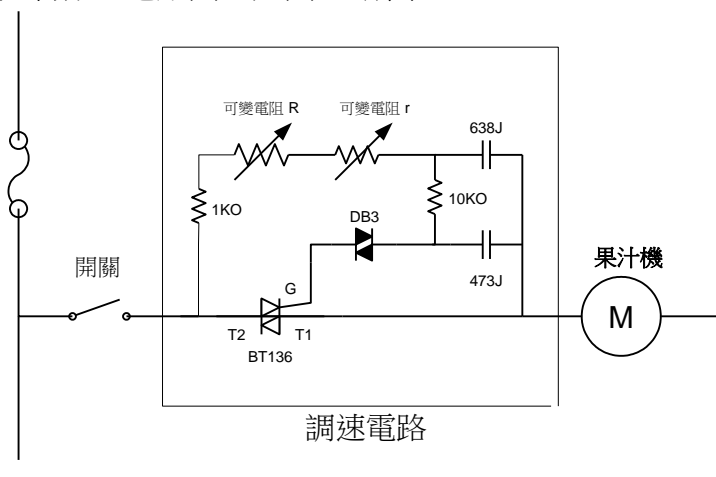


圖 12. 自製轉速控制器之電路圖

3. 自製轉速控制器之製作與組裝過程，如圖 13 所示。
4. 將自製轉速控制器連接果汁機，如圖 14B 所示。
5. 調整電阻旋鈕，進行控制果汁機轉速之測試，如圖 14A 所示。
6. 果汁機底部挖一小孔，作其用途是提供一光束通道，作為轉速計偵測果汁機馬達轉速用，如圖 14C 所示。

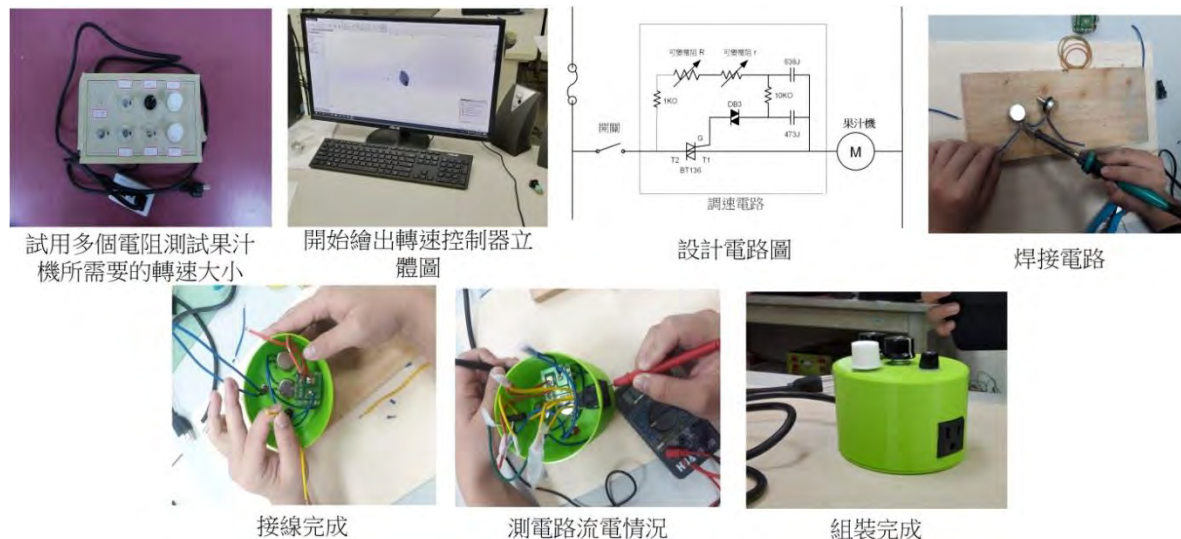


圖 13. 自製轉速控制器之製作與組裝過程

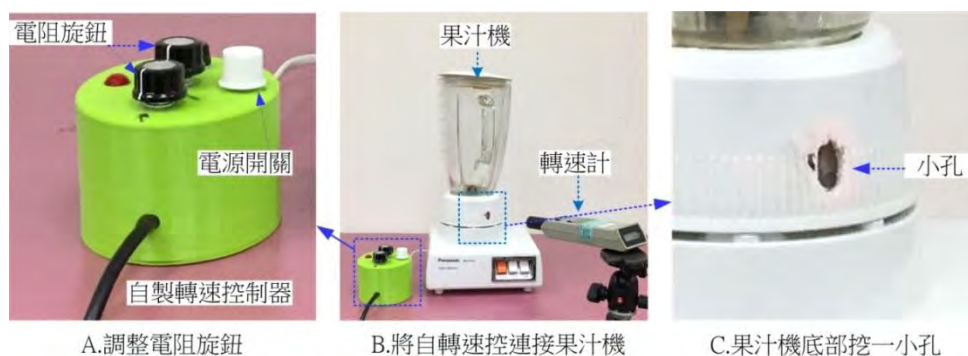


圖 14. 利用自製轉速控制器控制果汁機轉速之測試

結果：

1. 經過測試電路流電情況後，本實驗驗證調整自製「轉速控制器」上的電阻旋鈕，確實可以有效控制果汁機的轉速快慢。
2. 透過果汁機底部小孔之光束通道，轉速計可精準地測定果汁機馬達之轉速。

討論：

1. 本實驗剛開始用多個電阻來精確控制所有的轉速，後來經實驗，得到可以更加精簡做出一大一微小的轉速控制，經過實際測試轉速控制器接上果汁機的確能控制轉速。如右圖所示。
2. 本實驗剛開始，是直接利用轉速計測定果汁機無負載(空杯)內金屬刀片之轉速，但是果汁機有負載(杯內裝有愛玉子、水)時馬達轉速會下降，測到的果汁機無負載之轉速，並不等於果汁機有負載之轉速，如圖 15A 所示。



3. 當果汁機有負載(杯內裝有愛玉子、水)時，杯內高速水流氣泡會造成嚴重干擾，導致轉速無法偵測果汁機之轉速，如圖 15B 所示。
4. 為了測定果汁機有負載(杯內裝有愛玉子、水)時之轉速，我們直接在果汁機底部，鑽一小孔，提供轉速計之光束通道，如此，才能使轉速計精準地測定果汁機有負載(杯內裝有愛玉子、水)時之轉速，如圖 15C 所示。



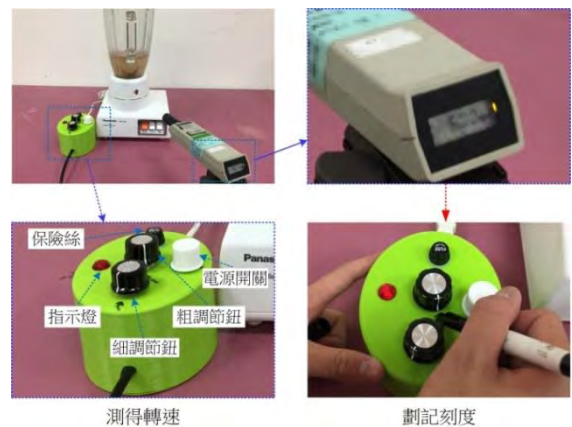
圖 15. 利用轉速計測定果汁機之轉速

【實驗 C2】轉速對愛玉凍高度之影響

前言：雖然調理機調降轉速攪打愛玉子，可使愛玉凍成功凝膠，但可調轉速的調理機價格昂貴約(8800 元)，本實驗擬採用一般的果汁機，搭配自製轉速控制器調降轉速，找出最佳轉速來攪打愛玉子，希望可以更低的成本製作凝膠品質佳的愛玉凍。

步驟：

1. 實驗變因：不同轉速(500 /1000 / 1500 / 2000 / 2500 / 3000 / 3500 / 4000 / 4500 / 5000 / 5500 / 6000 / 6500 /7000 / 7500 / 8000 rpm)
2. 取3g愛玉子加入300g水中。(愛玉子:水=1:100)。
3. 採用不可調速的「果汁機+自製轉速控制器」，依序控制轉速 (500 /1000 / / 7500 / 8000 rpm)攪打5分鐘，倒入之模型中。
4. 靜置1小時後脫模，觀察並拍攝愛玉凍凝膠之狀況。
5. **凝膠高度之測定：**利用游標卡尺量取紀錄愛玉凍凝膠高度。
6. 利用Excel、xlstat統計軟體，分析各組實驗凝膠高度之數據，是否有顯著差異(信賴水準95%)。



結果：

1. 如圖 16 所示，轉速 500~1000rpm，愛玉凍無法凝膠；轉速 7500~8000rpm，愛玉凍也無法凝膠。
2. 如表 4、圖 17 所示，當轉速 1500~2500rpm 時，隨著果汁機轉速遞增，愛玉凍高度隨之遞增；當轉速 3000~4000rpm 時，愛玉凍凝高度最高；當轉速 4000~7000rpm 時，隨著果汁機轉速遞增，愛玉凍高度隨之遞減。

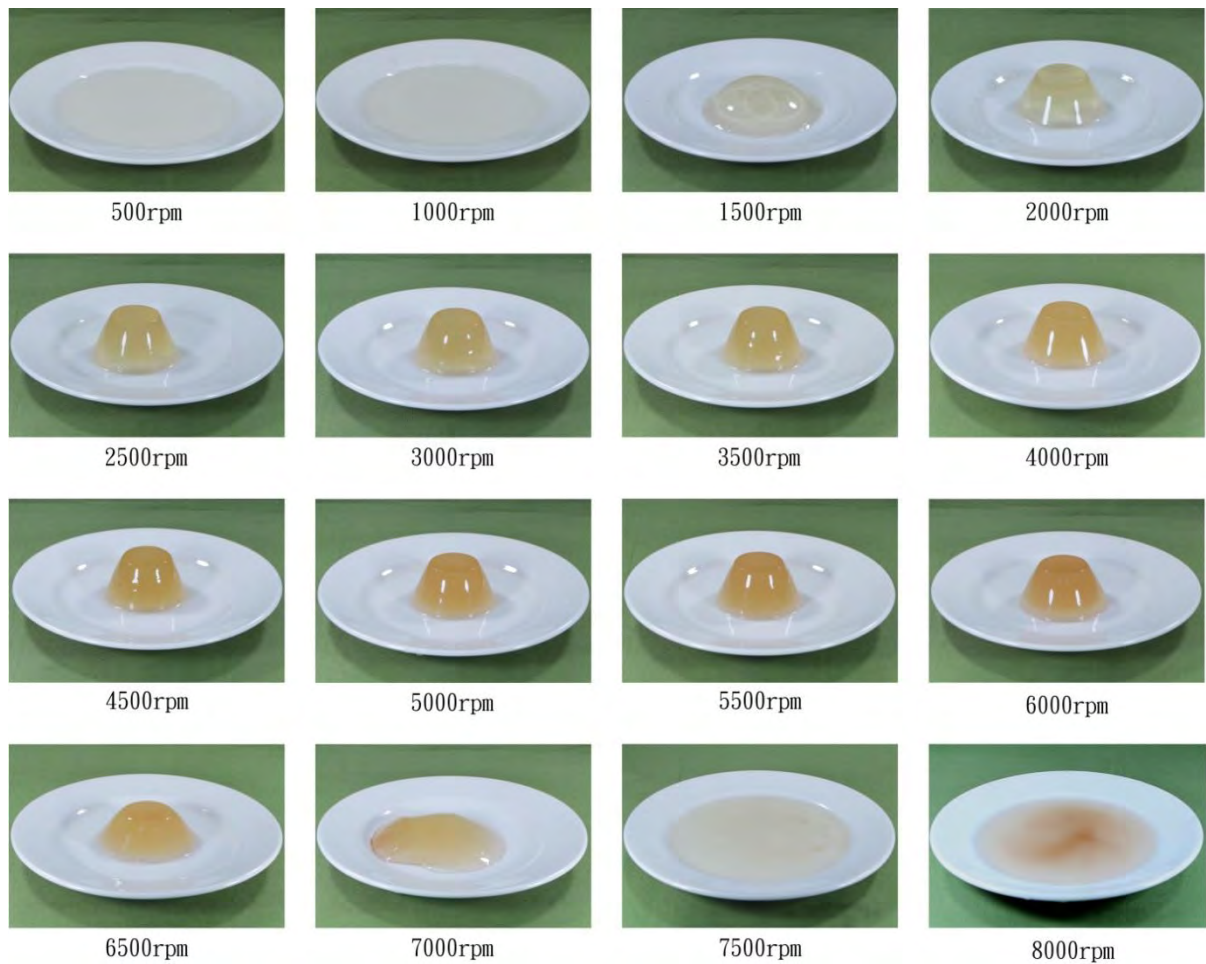


圖 16. 「果汁機+自製轉速控制器」以不同轉速攪打對愛玉凍凝膠之影響

表 4. 「果汁機+自製轉速控制器」以不同轉速攪打對愛玉凍高度之影響

果汁機(減速)	愛玉凍高度 (mm)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
500rpm	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠
1000rpm	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠
1500rpm	16.3	17.0	18.5	17.3 ^f	1.1
2000rpm	27.1	28.6	28.2	28.0 ^d	0.8
2500rpm	31.3	31.8	32.2	31.8 ^b	0.5
3000rpm	33.5	34.5	34.2	34.1 ^a	0.5
3500rpm	34.8	34.2	33.5	34.2 ^a	0.7
4000rpm	34.5	34.8	33.6	34.3 ^a	0.6
4500rpm	32.1	32.6	31.7	32.1 ^b	0.5
5000rpm	30.5	31.0	31.6	31.0 ^{bc}	0.6
5500rpm	31.5	30.4	30.5	30.8 ^{bc}	0.6
6000rpm	29.0	30.5	29.4	29.6 ^c	0.8
6500rpm	25.3	26.6	25.8	25.9 ^e	0.7
7000rpm	13.5	16.5	16.3	15.4 ^g	1.7
7500rpm	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠
8000rpm	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠

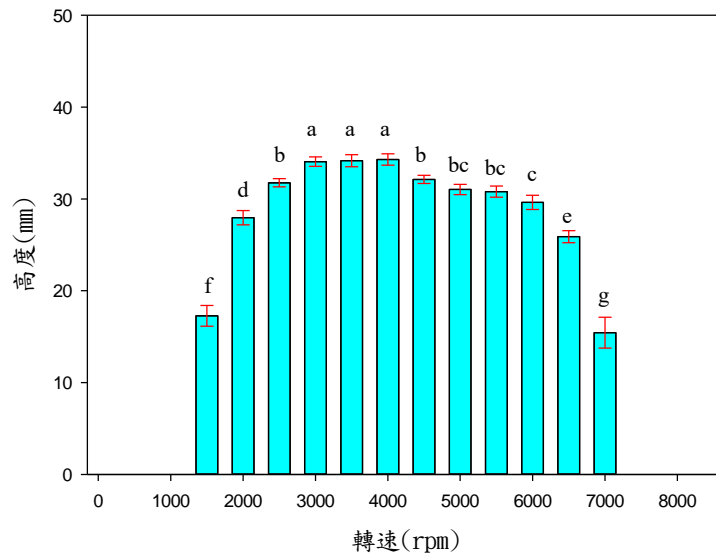


圖 17. 「果汁機+自製轉速控制器」以不同轉速攪打對愛玉凍高度之影響

討論：

1. 當果汁機轉速 500~1000rpm 時，愛玉凍無法凝膠，我們推論可能是因「金屬刀片」在低速攪打時，對愛玉子所產生的切削力、撞擊力、摩擦力不足，果膠釋出量不夠，導致愛玉凍無法凝膠。
2. 當果汁機轉速 3000~4000rpm 時，我們推論可能因「金屬刀片」對愛玉子所產生的切削力、撞擊力、摩擦力適當，果膠釋出量足夠，而且未釋放出果膠酯酶抑制劑，因此，愛玉凍凝膠甚佳，媲美手工搓洗之品質。
3. 當果汁機轉速 7500~8000rpm 時，愛玉凍無法凝膠，我們推論可能是因「金屬刀片」在高速攪打時，對愛玉子所產生的切削力、撞擊力、摩擦力過大，因此，愛玉子破裂，釋放出大量的果膠酯酶抑制劑，導致愛玉凍無法凝膠。

【實驗 C3】轉速對愛玉凍色澤之影響

前言：在【實驗 C2】中採用「果汁機+自製轉速控制器」以不同轉速攪打製作愛玉凍，其色澤深淺明顯有差異，本實驗擬以色差計測定愛玉凍之色澤，希望進一步探討影響色澤之關鍵因子。

步驟：

1. 實驗變因：不同轉速(1500 / 2000 / 2500 / 3000 / 3500 / 4000 / 4500 / 5000 / 5500 / 6000 / 6500 / 7000rpm)。
2. 取3g愛玉子加入300g水中。(愛玉子:水=1:100)。
3. 採用不可調速的「果汁機+自製轉速控制器」，依序控制轉速 (1500 / 2000 / / 6500 / 7000 rpm)攪打5分鐘，倒入之模型中。
4. 靜置1小時後脫模，觀察並拍攝愛玉凍凝膠之狀況。
5. **凝膠色澤之測定：**利用色差計測量紀錄愛玉凍凝膠之L、a、b值。以標準白板(L=100、a=0、b=0)為比較基準，計算出色差值(ΔE_{ab})。

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{((L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2)}$$

(L₁, a₁, b₁)：樣品1之L、a、b值 / (L₂, a₂, b₂)：樣品2 之L、a、b值

6. 利用SigmaPlot軟體進行繪圖與線性回歸，計算出色差值(ΔE_{ab})之關係式。

結果：

1. 如表 5、圖 18 所示，隨著果汁機轉速遞增，愛玉凍色差值(ΔE_{ab})隨之遞增，亦即，果汁機轉速愈快，愛玉凍之色澤愈深。
2. 果汁機轉速與愛玉凍色差值(ΔE_{ab})呈現明顯的線性關係，利用SigmaPlot軟體進行線性回歸，得到其趨勢線方程式： $y = 3.6234x + 37.2925$ ， $R^2 = 0.9809$ 。

表 5. 「果汁機+自製轉速控制器」以不同轉速攪打對愛玉凍色差值(ΔE_{ab})之影響

果汁機(減速)	色差值(ΔE _{ab})				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
1500rpm	42.4	41.6	41.9	42.0	0.4
2000rpm	43.5	43.8	43.0	43.4	0.4
2500rpm	45.2	47.0	47.0	46.4	1.0
3000rpm	47.7	47.6	48.3	47.9	0.4
3500rpm	49.6	51.5	50.4	50.5	1.0
4000rpm	52.5	52.8	54.3	53.2	1.0
4500rpm	53.4	55.8	54.8	54.7	1.2
5000rpm	58.4	55.8	55.5	56.6	1.6
5500rpm	58.8	56.8	56.6	57.4	1.2
6000rpm	61.4	57.7	57.5	58.9	2.2
6500rpm	62.7	57.8	58.4	59.6	2.7
7000rpm	62.7	61.2	61.4	61.8	0.8

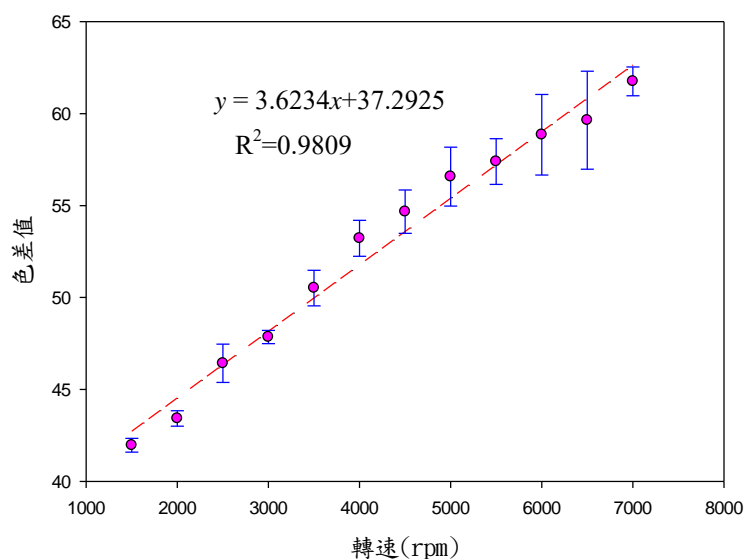


圖 18. 「果汁機+自製轉速控制器」以不同轉速攪打對愛玉凍色差值(ΔE_{ab})之影響

討論：由本實驗結果證明，果汁機攪打轉速會影響愛玉凍之色澤，果汁機攪打轉速愈快，愛玉凍之色澤愈深，其原因值得深入探討。

D. 不同製程之比較

【實驗 D1】愛玉凍凝膠品質之測定

前言：本實驗將測試果汁機+轉速控制器減速攪打愛玉子，驗證是否可媲美手工搓洗愛玉凍之凝膠品質。

步驟：

1. 實驗變因：手工搓洗/果汁機(3000rpm) /果汁機(4000rpm)
2. 取3g愛玉子加入300g水中。(愛玉子：水 = 1：100)。
3. 分別採用手工搓洗/果汁機(3000rpm) /果汁機(4000rpm)攪打愛玉子 5 分鐘，倒入之模型中。
4. 靜置 1 小時後脫模，觀察並拍攝愛玉凍凝膠之狀況。
5. **凝膠色澤之測定：**利用色差計測量紀錄愛玉凍凝膠之L、a、b值。以標準白板(L=100、a=0、b=0)為比較基準，計算出色差值(ΔE_{ab})。
6. **凝膠高度之測定：**利用游標卡尺量取紀錄愛玉凍凝膠高度。
7. **凝膠硬度之測定：**利用推拉力計連接電腦，測量紀錄愛玉凍凝膠硬度。
8. 利用Excel、xlstat統計軟體，分析兩組實驗凝膠高度、硬度、色澤之數據，是否有顯著差異(信賴水準95%)。

結果：

1. 由圖 19 顯示，手工搓洗/果汁機(3000rpm) /果汁機(4000rpm)所製作愛玉凍凝膠之外觀，以肉眼觀察，三者之凝膠高度相近，但手工搓洗之愛玉凍凝膠色澤明顯較深。

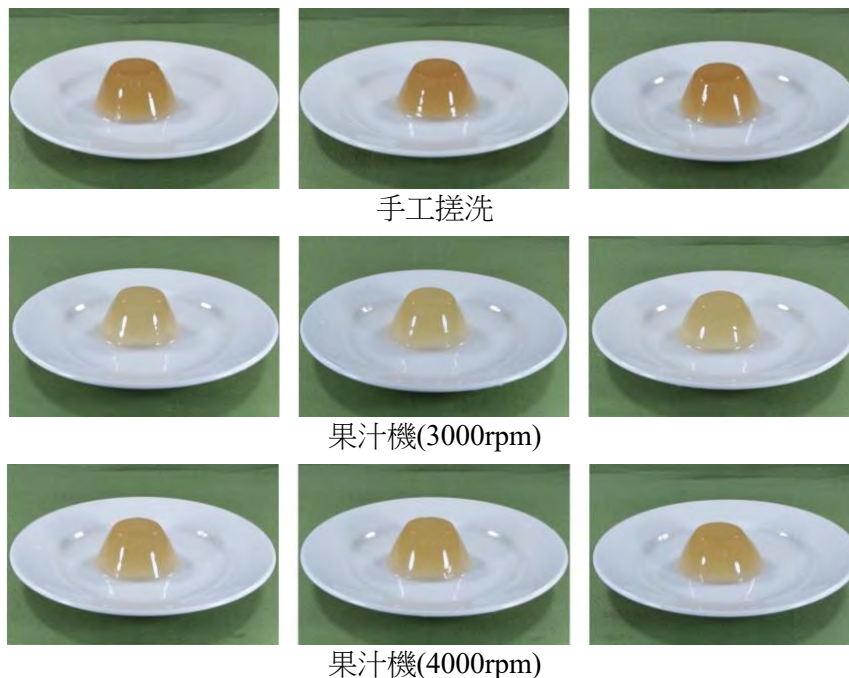


圖 19. 以手工搓洗/果汁機(3000rpm) /果汁機(4000rpm)製作愛玉凍凝膠外觀之比較

2. 由表 6、圖 20 顯示，手工搓洗之愛玉凍凝膠之色差值最大(色澤最深)；果汁機(3000rpm)之色差值最小(色澤最淺)。

表 6. 以手工搓洗/果汁機(3000rpm) /果汁機(4000rpm)製作愛玉凍凝膠色差值之比較

	色差值(ΔE_{ab})				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
手工搓洗	63.3	64.4	62.9	63.5 ^a	0.8
果汁機(3000rpm)	48.4	48.8	48.1	48.4 ^c	0.4
果汁機(4000rpm)	52.3	55.7	53.4	53.8 ^b	1.7

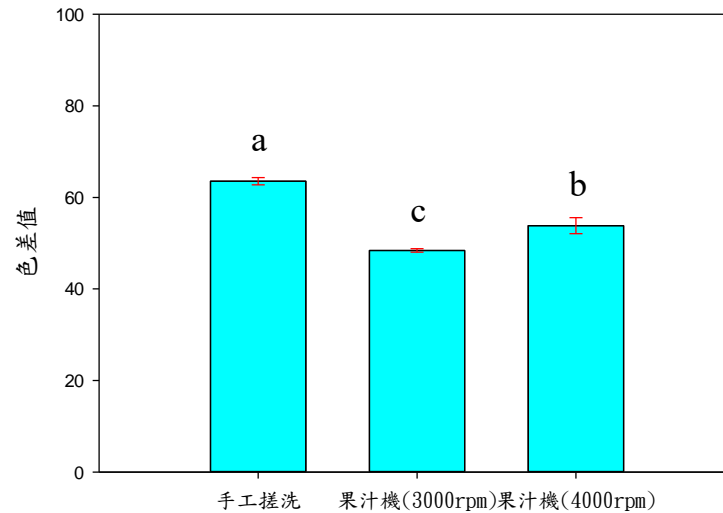


圖 20. 以手工搓洗/果汁機(3000rpm) /果汁機(4000rpm)製作愛玉凍凝膠色差值之比較

3. 由表 7、圖 21 顯示，以手工搓洗/果汁機(3000rpm) /果汁機(4000rpm)製作愛玉凍凝膠高度，經 xlstat 統計分析結果，三者沒有顯著差異(信賴水準 95%)。

表 7. 以手工搓洗/果汁機(3000rpm) /果汁機(4000rpm)製作愛玉凍凝膠高度之比較

	高度 (mm)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
手工搓洗	34.1	34.4	33.4	34.0 ^a	0.5
果汁機(3000rpm)	34.4	33.8	34.5	34.2 ^a	0.4
果汁機(4000rpm)	34.5	34.8	33.7	34.3 ^a	0.6

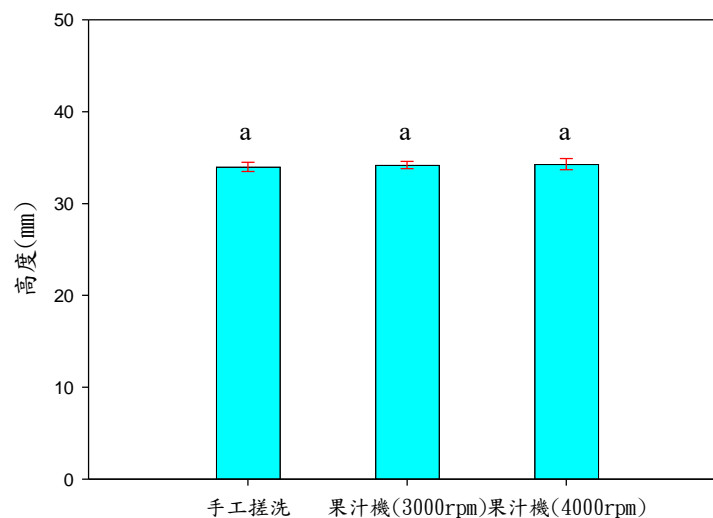


圖 21. 以手工搓洗/果汁機(3000rpm) /果汁機(4000rpm)製作愛玉凍凝膠高度之比較

4. 由表 8、圖 22 顯示，以手工搓洗/果汁機(3000rpm) /果汁機(4000rpm)製作愛玉凍凝膠硬度，經 xlstat 統計分析結果，三者沒有顯著差異(信賴水準 95%)。

表 8. 以手工搓洗/果汁機(3000rpm) /果汁機(4000rpm)製作愛玉凍凝膠硬度之比較

	力 (gw)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
手工搓洗	66	72	67	68.3 ^a	3.2
果汁機(3000rpm)	68	73	66	69.0 ^a	3.6
果汁機(4000rpm)	70	65	69	68.0 ^a	2.6

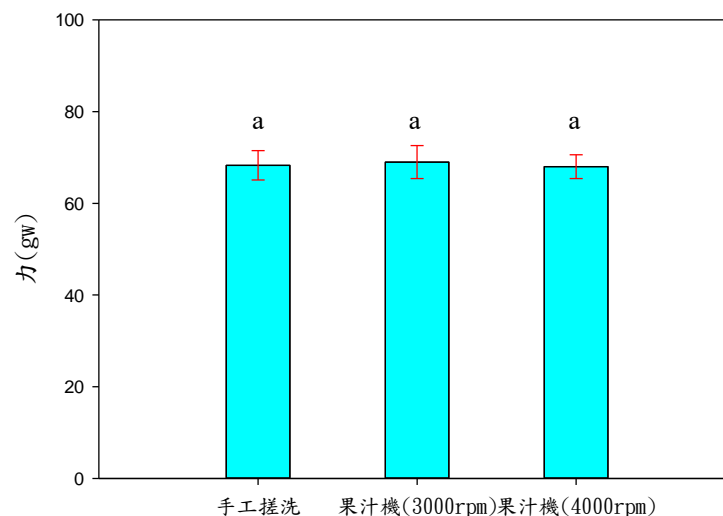


圖 22. 以手工搓洗/果汁機(3000rpm) /果汁機(4000rpm)製作愛玉凍凝膠硬度之比較

討論：

1. 手工搓洗之愛玉凍凝膠色澤明顯最深，推論可能是搓洗過度用力；而果汁機(3000rpm)之色澤最淺，推論可能原因是果汁機轉速較低，對愛玉子所產生的切削力、撞擊力、摩擦力較小所造成。
2. 由本實驗結果驗證，以果汁機(3000rpm) /果汁機(4000rpm)減速攪打愛玉子，凝膠高度、凝膠硬度皆可媲美手工搓洗愛玉凍之凝膠品質。
3. 以「果汁機+轉速控制器減速」製作愛玉凍，可媲美手工搓洗之凝膠品質，推論可能是果汁機減速攪打時，對愛玉子所產生的切削力、撞擊力、摩擦力適當，如同手工搓洗之效果，使果膠順利釋出形成凝膠，又不至於使果膠酯酶抑制劑釋出，因此，愛玉凍凝膠甚佳，足可媲美手工搓洗之效果。

【實驗 D2】官能品評測試

前言：

以果汁機(3000rpm) /果汁機(4000rpm)減速攪打愛玉子，雖然其愛玉凍凝膠高度、硬度可媲美手工搓洗愛玉凍之凝膠品質，但是否一樣好吃？還是不確定，因此，必須進行消費者官能品評測試。

步驟：

1. 本實驗利用社團活動時段，隨機邀請校內外人士約 70 人（屬未經品評訓練的品評員），在學校品評室（簡易型品評室）進行喜好性感官品評試驗，如右圖所示。(回收問卷 69 份，有效問卷 61 份)
2. 採用九分制喜好性品評法，品評項目包括：色澤、彈性、質地、整體性等，品評表上呈現：極度不喜歡、非常不喜歡、有點不喜歡、稍微不喜歡、沒有喜歡或不討厭、稍微喜歡、有點喜歡、非常喜歡及極度喜歡等九個等級選項。
3. 先由電腦上亂碼產生器隨機產生三組 3 碼亂數，分別以代表三種樣品，受試消費者並不知道三組 3 碼亂數代表何種樣品。
4. 一個樣品使用一張品評表，品評表完全相同，僅樣品編號不同。
5. 為了避免次序效應，樣品之供應順序隨機排列。
6. 將品評測試完畢之評分表上，極度不喜歡 極度喜歡等九個等級選項，轉換成 1 ~ 9 分，進行數據記錄分析。
7. 將品評數據利用 Excel、xlsat 統計軟體，進行實驗數據之分析，檢測「手工搓洗」、「果汁機(3000rpm)」、「果汁機(4000rpm)」三種樣品是否具有顯著差異(信賴水準 95%)。



結果：

1. 由電腦上亂碼產生器隨機產生三組 3 碼亂數：206、583、373。
206：代表手工搓洗之愛玉凍樣品。
583：代表果汁機(3000rpm)之愛玉凍樣品。
373：代表果汁機(4000rpm)之愛玉凍樣品。
2. 由圖 23A 顯示，在「色澤」項目，受試者對「手工搓洗」之喜好程度最低，與「果汁機(3000rpm)」、「果汁機(4000rpm)」二者分析比對，確實有顯著差異；但受試者對「果汁機(3000rpm)」、「果汁機(4000rpm)」二者之喜好程度，並沒有顯著差異。
3. 由圖 23C 顯示，在「質地」項目，受試者對「手工搓洗」之喜好程度最低，但「手工搓洗」與「果汁機(3000rpm)」二者之喜好程度，並沒有顯著差異；而受試者對「果汁機(3000rpm)」、「果汁機(4000rpm)」二者之喜好程度，也沒有顯著差異；但受試者對「手工搓洗」與「果汁機(4000rpm)」二者之喜好程度，則有顯著差異。
4. 由圖 23B、圖 23D 顯示，在「彈性」、「整體性」項目，受試者對「手工搓洗」、「果汁機(3000rpm)」、「果汁機(4000rpm)」三者之喜好程度，並沒有顯著差異。

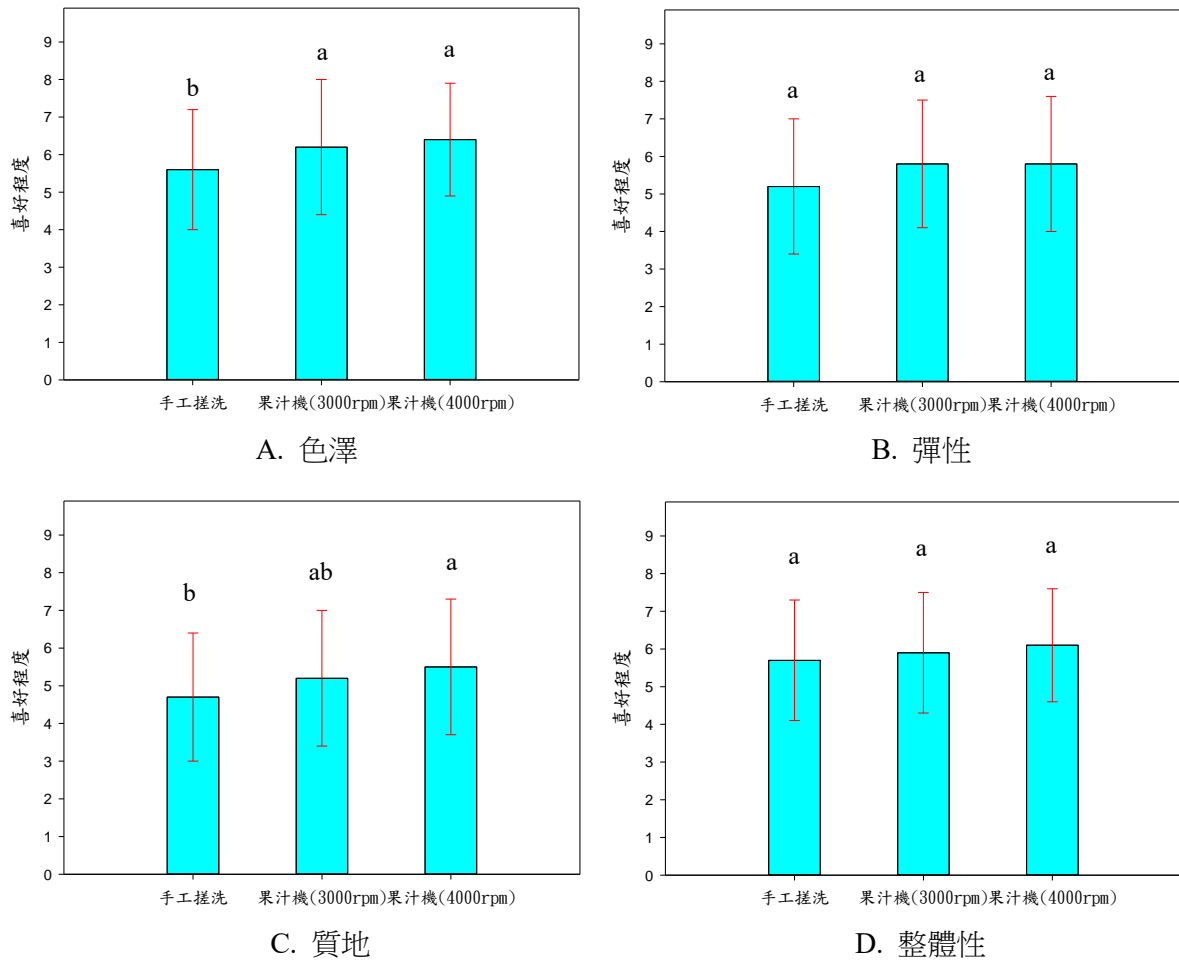


圖 23. 官能品評測試之結果

討論：

1. 在「色澤」項目，受試者對「手工搓洗」製作的愛玉凍之喜好程度最低，受試者反應是「手工搓洗」愛玉子色澤較深所致。
2. 在「彈性」、「整體性」項目，受試者對「手工搓洗」、「果汁機(3000rpm)」、「果汁機(4000rpm)」三者之喜好程度，並沒有顯著差異，這表示「果汁機+轉速控制器」減速攪打愛玉子，確實可媲美「手工搓洗」愛玉凍之凝膠品質，且有過之而無不及。

E. 愛玉凍凝膠關鍵之驗證

【實驗 E1】破損愛玉子對凝膠之影響

前言：本實驗擬將完整愛玉子摻混不同比例破損愛玉子(利用剪刀將愛玉子剪半)，探討破損愛玉子對於愛玉凍凝膠之影響。

步驟：

1. 實驗變因：完整愛玉子摻混不同比例破損愛玉子，如下表所示。

愛玉子樣品	A	B	C	D	E	F	G
完整愛玉子	100%	80%	60%	50%	40%	20%	0%
破損愛玉子	0%	20%	40%	50%	60%	80%	100%

2. 依上表之比例分別秤取3g愛玉子加入300g水中，採用手工搓洗5分鐘，倒入模型中。

3. 靜置1小時後脫模，觀察並拍攝愛玉凍凝膠之外觀。
4. 凝膠高度之測量：利用游標卡尺量取紀錄愛玉凍凝膠高度。

結果：

1. 由圖 24 顯示，若完整愛玉子摻混破損愛玉子比例愈高，則愛玉凍凝膠愈差，當摻混破損愛玉子比例增加到 50%時，愛玉凍就無法凝膠。

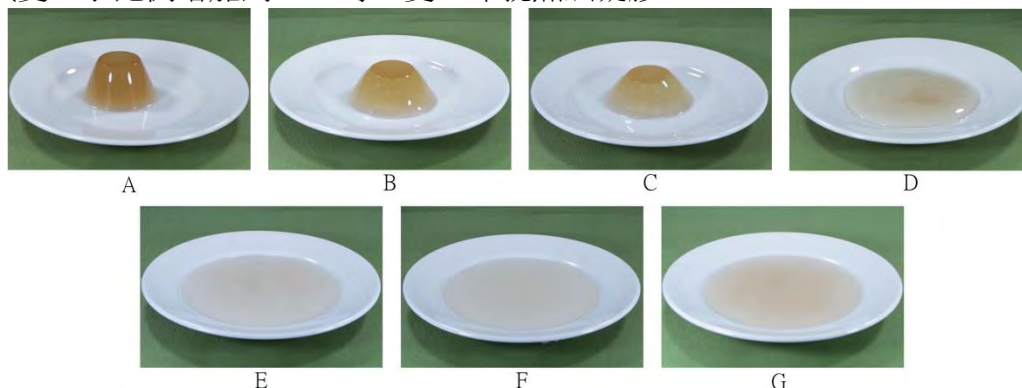


圖 24. 完整愛玉子摻混不同比例破損愛玉子對愛玉凍凝膠外觀之比較

2. 由表 9、圖 25 顯示，樣品一、樣品二、樣品三有成功凝膠，此三者隨著完整愛玉子摻混破損愛玉子比例遞增，愛玉凍凝膠高度隨之遞減。

表 9. 完整愛玉子摻混不同比例破損愛玉子對愛玉凍凝膠高度之影響

	愛玉子 完整：破損	愛玉凍高度 (mm)				標準差
		測試一	測試二	測試三	平均值	
A	100%：0%	34.7	33.6	34.9	34.4	0.7
B	80%：20%	25.9	26.4	25.3	25.9	0.6
C	60%：40%	22.5	21.8	23.5	22.6	0.9
D	50%：50%	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠
E	40%：60%	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠
F	20%：80%	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠
G	0%：100%	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠

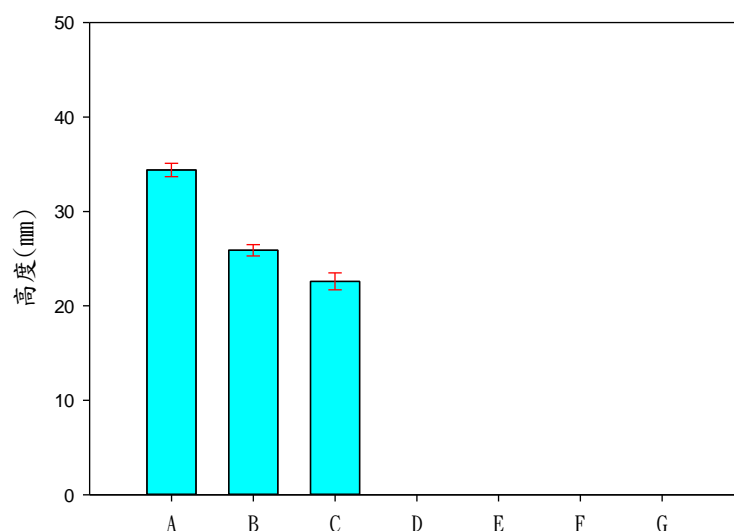


圖 25. 完整愛玉子摻混不同比例破損愛玉子對愛玉凍凝膠高度之影響

討論：

1. 若完整愛玉子摻混破損愛玉子比例愈高，則愛玉凍凝膠愈差，這表示破損愛玉子確實會釋出抑制愛玉凍凝膠之物質，由相關文獻⁽⁵⁾得知，此物質是果膠酯酶抑制劑。
2. 在圖 6 中有關愛玉凍無法凝膠之推論：若愛玉子破裂，其內部之果膠酯酶抑制劑會釋出，導致果膠酯酶失去作用，因而高甲氧基果膠無法轉變成低甲氧基果膠，導致愛玉凍無法凝膠，由本實驗證明，我們對於愛玉子凝膠關鍵之推論是正確的。

【實驗 E2】愛玉子顯微結構之觀察

前言：本實驗擬觀察拍攝一連串愛玉子顯微影像，包含各種製程處理對之愛玉子顯微結構之影響，希望更深入瞭解愛玉凍凝膠之因果關係。

步驟：

1. 各種製程處理之愛玉子：完整愛玉子、破損愛玉子(剪半愛玉子)、手工搓洗、電動打蛋器、調理機、果汁機攪打之愛玉子。
2. 將各種製程處理後之愛玉子經50°C 乾燥1小時。
3. 分別取適量各種乾燥後的愛玉子，置於載玻片上，蓋上蓋玻片，以解剖顯微鏡觀察並拍攝其顯微影像。

結果：

1. 由圖 26 顯示，完整愛玉子是指購買後未經處理的愛玉子，其外觀並無破損現象。



圖 26. 完整愛玉子之顯微影像

2. 由圖 27 顯示，破損愛玉子是經剪刀減半處理的愛玉子，內部物質明顯被釋放出來。

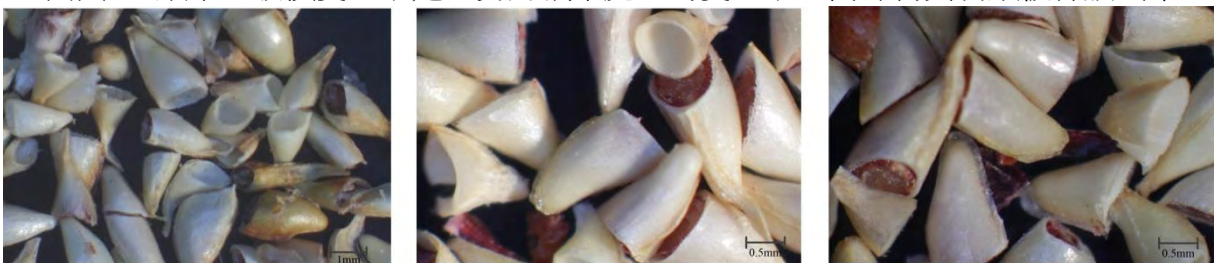


圖 27. 破損愛玉子(剪半愛玉子)之顯微影像

3. 由圖 28 顯示，經手工搓洗之愛玉子，其外觀並無破損現象，但其內部部分褐色物質外露。



圖 28. 手工搓洗愛玉子之顯微影像

4. 由圖 29 顯示，經電動打蛋器攪打之愛玉子，其外觀並無破損現象，幾乎與完整愛玉子之外觀相近，放大觀察發現愛玉子表層還殘留部分膠體。

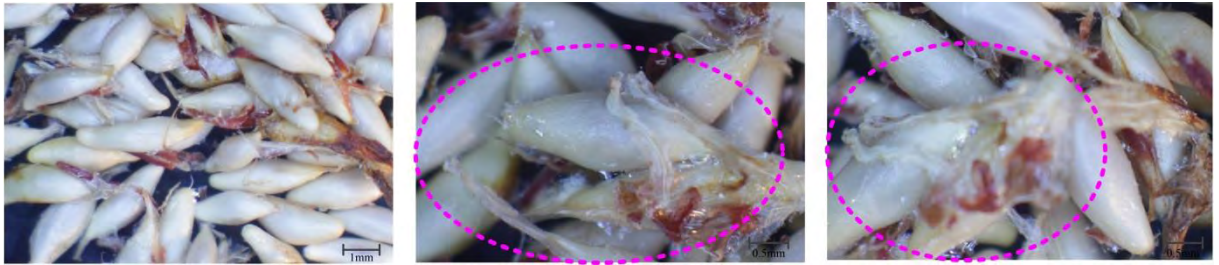
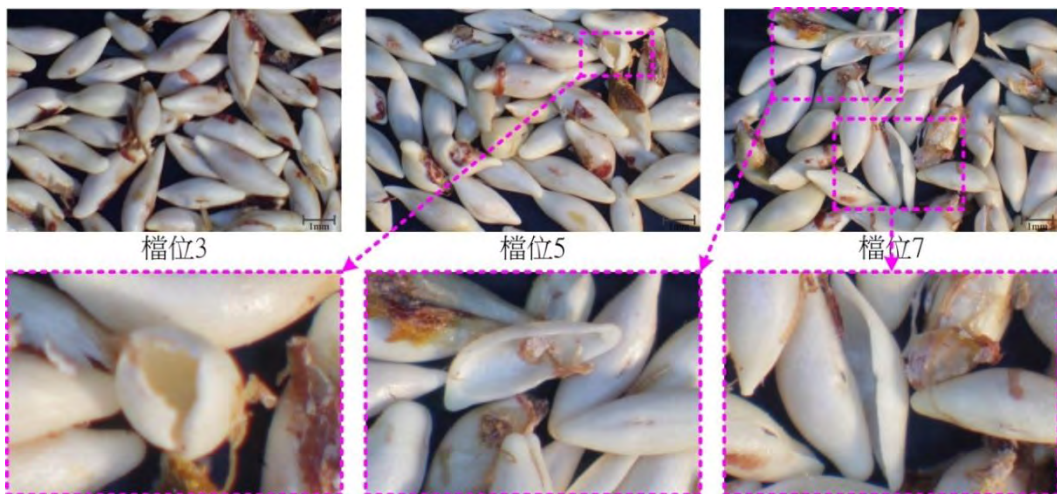


圖 29. 電動打蛋器攪打愛玉子之顯微影像

5. 由圖 30A 顯示，經調理機搭配金屬刀片攪打之愛玉子，外觀明顯破碎，幾乎沒有完整愛玉子存留。
6. 由圖 30B 顯示，經調理機搭配木製刀片攪打之愛玉子，檔位 3(轉速較慢)，愛玉子外觀較為完整；但檔位 5(轉速稍快)，則愛玉子破損處開始出現；檔位 7(轉速更快)，則愛玉子破損處出現更多。



A.金屬刀片



B.木製刀片

圖 30. 調理機攪打愛玉子之顯微影像

7. 由圖 31 顯示，經果汁機(減速)攪打之愛玉子，轉速低於 5000rpm，愛玉子外觀完整；當轉速 5000rpm 時，愛玉子破損處開始出現，隨著果汁機轉速遞增，愛玉子破損處也隨之遞增。若經果汁機(未減速)全速攪打之愛玉子，外觀明顯破碎，幾乎沒有完整愛玉子存留。

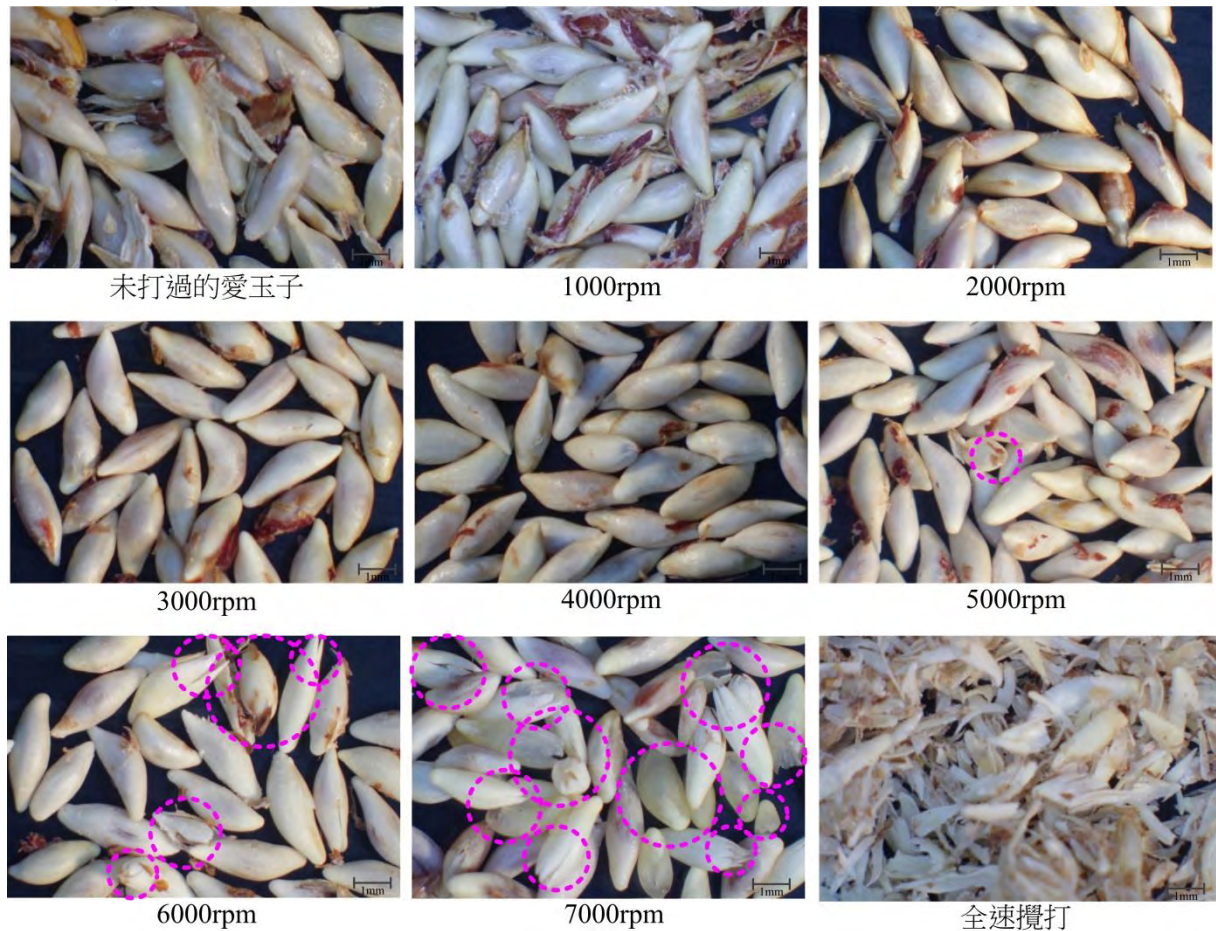


圖 31. 果汁機攪打愛玉子之顯微影像

討論：

1. 由測試結果顯示，果汁機全速(不加轉速控制器→未減速)攪打愛玉子，果汁機之轉速高達 11760rpm(高於 7000rpm)，愛玉子嚴重破碎，因此愛玉凍無法凝膠，如圖 32 所示。



圖 32. 果汁機全速(不加轉速控制器→未減速)攪打愛玉子之測試

2. 由本實驗更加證明圖 6 中有關愛玉凍凝膠之推論：若愛玉子完整未破裂，愛玉凍可成功凝膠；若愛玉子破裂，其內部之果膠酯酶抑制劑會釋出，少量釋出會減弱愛玉凍凝膠，釋出量漸增將導致愛玉凍無法凝膠。

肆、研究結論

一、實驗結論

A. 愛玉凍凝膠條件之建立

【實驗 A1】不同比例「愛玉子：水」凝膠之測試

愛玉子：水=1：100 時，雖然其凝膠高度並非最高，但實際試吃愛玉凍時，質地軟硬適中，凝膠口感較佳，而且色澤與市售愛玉凍較為相似。因此，我們決定本研究製造愛玉凍，均採用愛玉子：水=1：100 之比例。

【實驗 A2】愛玉子顯微影像之觀察

本實驗成功拍攝愛玉子加水膨潤後之顯微影像，在愛玉子表面形成一層相當明顯的黏膜，這層黏膜是愛玉凍凝膠之關鍵。

B. 機械化可行性之探討

【實驗 B1】電動打蛋器攪打之測試

由本實驗結果得知，電動打蛋器搭配「不銹鋼網」可增加攪打愛玉之摩擦力，雖然能些微改善凝膠狀況，但因摩擦力不足而無法使愛玉子內的果膠大量溶出，愛玉凍之凝膠仍然十分不理想。

【實驗 B2】調理機攪打之測試

以調理機搭配「金屬刀片」攪打後，愛玉凍凝膠狀況不佳；以調理機搭配「木製刀片」攪打後，可使愛玉凍成功凝膠，但與手工搓洗之凝膠高度仍有些許差距。

【實驗 B3】降低轉速攪打之測試

若調理機搭配木製刀片以較低速的檔位攪打，對愛玉子所產生的切削力、撞擊力、摩擦力較小一些，可使果膠溶出，但不至於使果膠酯酶抑制劑釋出，因此，愛玉凍之凝膠高度近似手工搓洗。

C. 新製程之探討

【實驗 C1】自製轉速控制器之設計組裝

本實驗成功製作出一大一微小的轉速控制，將轉速控制器接上果汁機實際測試，確實可以精確控制果汁機之轉速。

【實驗 C2】轉速對愛玉凍高度之影響

當果汁機轉速調降為 3000~4000rpm 時，因「金屬刀片」對愛玉子所產生的切削力、撞擊力、摩擦力適當，果膠釋出量足夠，而且未釋放出果膠酯酶抑制劑，因此，愛玉凍凝膠甚佳，媲美手工搓洗之品質。

【實驗 C3】轉速對愛玉凍色澤之影響

由本實驗結果證明，果汁機攪打轉速會影響愛玉凍之色澤，果汁機攪打轉速愈快，則愛玉凍之色澤愈深。

D. 不同製程之比較

【實驗 D1】愛玉凍凝膠品質之測定

由實驗結果顯示，除了手工搓洗之愛玉凍凝膠色澤明顯較深外，以果汁機(3000rpm)/果汁機(4000rpm)減速攪打愛玉子，凝膠高度、凝膠硬度皆可媲美手工搓洗愛玉凍之凝膠品質。

【實驗 D2】官能品評測試

在「彈性」、「整體性」項目，受試者對「手工搓洗」、「果汁機(3000rpm)」、「果汁機(4000rpm)」三者之喜好程度，並沒有顯著差異，這表示「果汁機+轉速控制器」減速攪打愛玉子，確實可媲美「手工搓洗」愛玉凍之凝膠品質；在「色澤」、「質地」項目甚至於有過之而無不及。

E. 愛玉凍凝膠關鍵之驗證

【實驗 E1】破損愛玉子對凝膠之影響

由實驗結果顯示，若完整愛玉子摻混破損愛玉子比例愈高，則愛玉凍凝膠愈差，驗證若愛玉子破裂，其內部之果膠酯酶抑制劑會釋出，導致果膠酯酶失去作用，因而高甲氧基果膠無法轉變成低甲氧基果膠，導致愛玉凍無法凝膠。

【實驗 E2】愛玉子顯微結構之觀察

本實驗更加證明圖 6 中有關愛玉凍凝膠之推論：若愛玉子完整未破裂，愛玉凍可成功凝膠；若愛玉子破裂，其內部之果膠酯酶抑制劑會釋出，少量釋出會減弱愛玉凍凝膠，釋放量漸增將導致愛玉凍無法凝膠。

二、具體貢獻

1. 本研究以乾淨衛生的愛玉凍新製程，取代有衛生疑慮的手工搓洗方式。
2. 本研究製作出成本低廉的轉速控制器，適度降低果汁機轉速，使愛玉凍凝膠甚佳，媲美手工搓洗之品質。
3. 可利用一般果汁機，搭配成本低廉的轉速控制器，即可製作出媲美手工搓洗品質之愛玉凍。

三、與課程相關性

食品化學與分析：果膠凝膠之原理與條件。

應用微生物實習：樣品之染色與顯微攝影。

伍、參考資料

1. 王曄崙、邱耀慶、郭主歆、(2007)。解開「澱粉~碘」的藍色密碼，全國中小學科展第 47 屆優勝作品。
2. 江春梅、陳彩雲(2010)。食品微生物實習 I。
3. 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)，P59 - 67。
4. 呂秀英(2011)。正確使用統計圖表呈現處理間比較台灣農業研究 60 (1)：p61- 71 台中市。行政院農業委員會農業試驗所。
5. 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。
6. 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
7. 莊竣守、曾旭宏、葉宸瑋 (2016) 易籽而膠，行之有醇—探討薜荔榕亞屬植物的凝膠特性與酵素活性分析，全國中小學科展第 56 屆優勝作品。
8. 郭文玉、劉發勇、邱宗甫(2014) 食品加工 I。
9. 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。
10. 黃永傳、陳文彬、邵雲屏 (1980) 愛玉凍凝膠機構之研究。中果園藝26(4):117-126。
11. 蔡仲華 (2002)。愛玉子專題報告。中央研究院高生命科學資優生培育計劃專題研究報告。
12. 賴金泉、王昭君(2013)。食品化學與分析 I。

【評語】 052210

1. 以自製模具探討攪拌型態與愛玉子出膠對愛玉凍製作之影響。
2. 依實驗目的自行設計模具，驗證控因及變因之關聯性，以證實結論。
3. 回答問題清楚、簡潔。

摘要

本研究測得愛玉子：水=1：100是製作愛玉凍的最適比例，我們成功拍攝愛玉子加水膨潤後之顯微影像，在愛玉子表面形成一層相當明顯的黏膜，這層黏膜是愛玉凍凝膠的關鍵。藉由電動打蛋器搭配不銹鋼網之測試、調理機搭配木製刀片、調整調理機較低轉速之測試，證明適度的攪打可使愛玉子黏膜釋出，而愛玉子完整未破裂，這是愛玉凍成功凝膠的關鍵。可調轉速之調理機價格昂貴，因而本實驗自行設計組裝精簡便宜的轉速控制器，搭配普通果汁機減速攪打愛玉子，當轉速處於3000~4000rpm範圍時，愛玉凍之凝膠高度、硬度、顯微影像、消費者喜好程度，皆與手工搓洗愛玉凍相似，足以媲美手工搓洗愛玉凍之品質。

壹 研究動機

- 1.一般市面上所販售的愛玉凍皆採用手工搓洗，未經加熱處理而直接食用，我們不知道它的製造過程是否乾淨衛生，品質也都不穩定，因此，我們想研發非手工之機械化方法，來製作出乾淨衛生的愛玉凍。
- 2.過去有許多愛玉子相關之研究，使用各種非手工之機械方法來製作愛玉凍，但是皆無法媲美手工搓洗愛玉凍之凝膠品質，或完全無法使愛玉子凝膠。
- 3.本研究鎖定在家庭用的小家電，因家用小家電之價格低廉且實用性高，可能為多數家庭已購買，也不需額外添購，我們利用既有之小家電，加以簡易改裝產生新的功能與附加價值，可最低成本來製作出乾淨衛生的愛玉凍。

貳 研究目的

- (一)探討手工搓洗及機械化攪打愛玉子之凝膠關鍵因子。
- (二)研發機械化之新製程，製作媲美手工搓洗愛玉凍之凝膠品質。
- (三)利用既有之小家電，創造新的附加價值，以最低成本來製作出乾淨衛生的愛玉凍。

參 研究架構



肆 研究方法

A. 愛玉凍凝膠條件之建立

【實驗A1】「愛玉子：水」凝膠之測試

- 1.由本實驗結果顯示，當愛玉子：水=1：100時，雖然其凝膠高度並非最高，但實際試吃愛玉凍時，質地軟硬適中，凝膠口感較佳，而且色澤與市售愛玉凍較為相似。因此，我們決定本研究所製造的愛玉凍，均採用愛玉子：水=1：100之比例。
- 2.如圖1所示，隨著加水比例之遞增(1:50 → 1:175)，愛玉凍之色澤逐漸變淡。

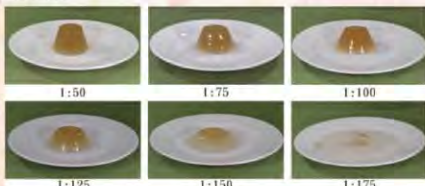


圖1.不同比例「愛玉子：水」所製作的愛玉凍之凝膠情形

- 3.如圖2、表1所示，隨著加水比例之遞增(1:50 → 1:175)，愛玉凍凝膠高度呈現遞減之趨勢。



凝膠高度之測量

表1.不同比例「愛玉子：水」對愛玉凍凝膠高度之影響

愛玉子：水	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
1:50	41.8	42.1	42.5	42.9	0.5
1:75	37.8	38.5	38.8	38.7	1.0
1:100	34.7	35.6	34.9	34.4	0.7
1:125	27.8	26.6	27.8	27.4	0.7
1:150	23.3	24.0	24.5	23.6	1.1
1:175	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠

圖2.不同比例「愛玉子：水」對愛玉凍凝膠高度之影響

- 4.如圖3、表2所示，隨著加水比例之遞增(1:50 → 1:175)，愛玉凍硬度呈現遞減之趨勢。



凝膠硬度之測量

表2.不同比例「愛玉子：水」對愛玉凍硬度之影響

愛玉子：水	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
1:50	262	237	251	250.0	12.5
1:75	121	120	112	117.7	4.9
1:100	67	68	71	68.7	2.1
1:125	40	40	46	38.7	2.3
1:150	31	35	34	33.3	2.1
1:175	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠

圖3.不同比例「愛玉子：水」對愛玉凍硬度之影響

【實驗A2】愛玉子顯微影像之觀察

- 1.如圖4所示本實驗成功拍攝愛玉子加水膨潤後之顯微影像，在愛玉子表面形成一層相當明顯的黏膜，這層黏膜是愛玉凍凝膠的關鍵。



圖4.愛玉子+加水膨潤+加碘液染色+加水脫色過程之顯微影像

- 2.手工搓洗出愛玉子表面這一層黏膜，因果膠酯酶作用，所含之高甲氧基果膠會轉變成低甲氧基果膠，當水中有二價離子時會形成架橋，使→愛玉凍成功凝膠，如圖5所示。

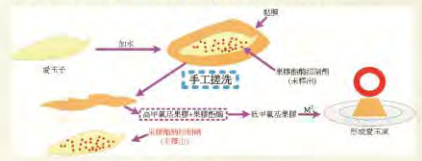


圖5.愛玉凍成功凝膠之推論

- 3.愛玉子若經高速攪打，會使愛玉子破裂，其內部之果膠酯酶抑制劑會釋出，導致果膠酯酶失去作用，因而高甲氧基果膠無法轉變成低甲氧基果膠→愛玉凍無法凝膠，如圖6所示。

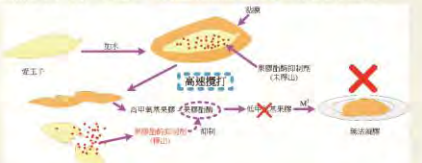


圖6.愛玉凍無法凝膠之推論

B. 機械化可行性之探討

【實驗B1】電動打蛋器攪打之測試

- 如圖7所示，電動打蛋器搭配「不銹鋼網」可增加攪打愛玉之摩擦力，雖然能些微改善凝膠狀況，但因摩擦力不足而無法使愛玉子內的果膠大量溶出，愛玉凍之凝膠仍然十分不理想。

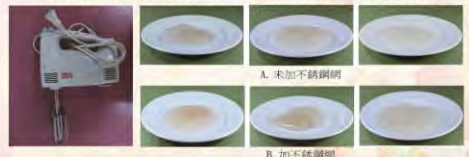


圖7.以電動打蛋器(未加不銹鋼網/加不銹鋼網)攪打對愛玉凍凝膠之影響

【實驗B2】調理機攪打之測試

如圖8所示以調理機搭配「金屬刀片」攪打後，愛玉凍凝膠狀況不佳；以調理機搭配「木製刀片」攪打後，可使愛玉凍成功凝膠，但與手工搓洗之凝膠高度仍有些許差距。

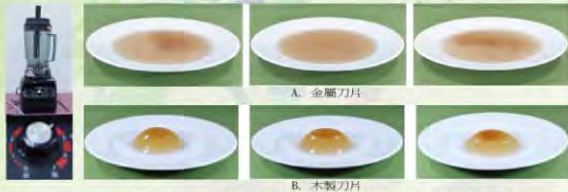


圖8. 調理機搭配不同刀片(金屬刀片/木製刀片)對愛玉凍凝膠之影響

【實驗B3】降低轉速攪打之測試

- 1.若調理機搭配木製刀片以較低速的檔位攪打，對愛玉子所產生的切削力、撞擊力、摩擦力較小一些，可使果膠溶出，但不至於使果膠酶抑制劑釋出，因此，愛玉凍之凝膠高度近似手工搓洗。
- 2.如圖9所示，調理機搭配金屬刀片，若採用較低速的檔位1攪打，愛玉凍可以成功凝膠，愛玉凍高度為 28.8 ± 1.0 ；若採用較高速的檔位：2、3、4、5、6、7攪打，愛玉凍無法凝膠。

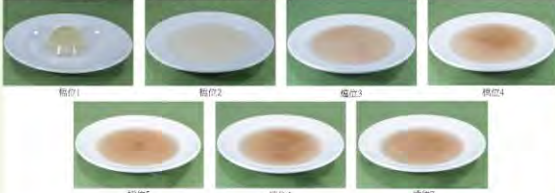


圖9. 調理機搭配金屬刀片以不同轉速(檔位)攪打對愛玉凍凝膠之影響

- 3.如圖10所示，調理機搭配木製刀片，採用各種檔位：1、2、3、4、5、6、7攪打，以肉眼觀察愛玉凍皆可成功凝膠。

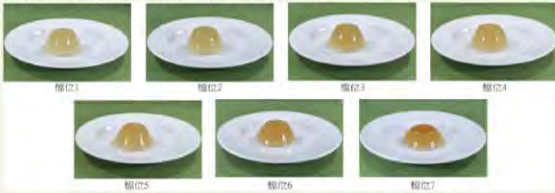


圖10. 調理機搭配木製刀片以不同轉速(檔位)攪打對愛玉凍凝膠之影響

- 3.如表3、圖11所示，若使用較低速的檔位：2、3攪打，則愛玉凍凝膠高度最高；若使用最高速檔位：7攪打，則愛玉凍凝膠高度最低。

表3. 調理機搭配木製刀片以不同轉速(檔位)攪打對愛玉凍高度之影響

轉速檔位	高度 (mm)				標準差
	測試一	測試二	測試三	平均值	
檔位1	31.0	34.5	30.5	31.9 ^a	2.3
↓	33.4	34.5	34.0	34.0 ^a	0.6
↓	34.3	34.8	33.2	34.1 ^a	0.8
↓	29.8	30.1	31.1	30.3 ^a	0.7
↓	26.5	27.6	28.3	27.5 ^b	0.9
↓	26.4	25.8	26.7	26.2 ^b	0.5
最高速	23.4	23.5	23.4	23.3 ^b	0.2

圖11. 調理機搭配木製刀片以不同轉速(檔位)攪打對愛玉凍高度之影響

C. 新製程之探討

【實驗C1】自製轉速控制器之設計組裝

- 1.本實驗所設計組裝轉速控制器，經過測試電路流電情況後，驗證調整自製「轉速控制器」上的電阻旋鈕，確實可以有效控制果汁機的轉速快慢。透過果汁機底部小孔之光束通道，轉速計可精準地測定果汁機馬達之轉速。
- 2.本實驗剛開始用多個電阻來精確控制所有的轉速，後來經實驗，得到可以更加精簡做出一大一微小的轉速控制，經過實際測試轉速控制器接上果汁機的確能控制轉速。如圖12所示。

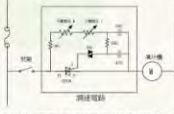


圖12. 自製轉速控制器之電路圖



圖13. 自製轉速控制器之製作與組裝過程



圖14. 利用自製轉速控制器控制果汁機轉速之測試

- 3.本實驗剛開始，是直接利用轉速計測定果汁機無負載(空杯)內金屬刀片之轉速，但是果汁機有負載(杯內裝有愛玉子、水)時馬達轉速會下降，測到的果汁機無負載之轉速，並不等於果汁機有負載之轉速，如圖15A所示。

- 4.當果汁機有負載(杯內裝有愛玉子、水)時，杯內高速水流氣泡會造成嚴重干擾，導致轉速無法偵測果汁機之轉速，如圖15B所示。

- 5.為了測定果汁機有負載(杯內裝有愛玉子、水)時之轉速，我們直接在果汁機底部，鑽一小孔，提供轉速計之光束通道，如此，才能使轉速計精準地測定果汁機有負載(杯內裝有愛玉子、水)時之轉速，如圖15C所示。

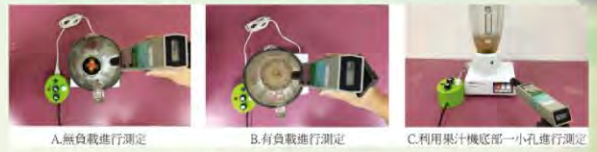


圖15. 利用轉速計測定果汁機之轉速

【實驗C2】轉速對愛玉凍高度之影響

- 1.如圖16所示當果汁機轉速調降為3000~4000rpm時，因「金屬刀片」對愛玉子所產生的切削力、撞擊力、摩擦力適當，果膠釋出量足夠，而且未釋放出果膠酶抑制劑，因此，愛玉凍凝膠甚佳，媲美手工搓洗之品質。

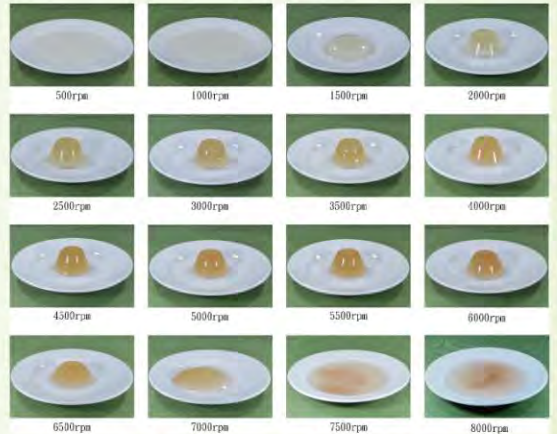


圖16. 「果汁機+自製轉速控制器」以不同轉速攪打對愛玉凍凝膠之影響

- 2.如表4、圖17所示，當轉速1500~2500rpm時，隨著果汁機轉速遞增，愛玉凍高度隨之遞增；當轉速3000~4000rpm時，愛玉凍凝膠高度最高；當轉速4000~7000rpm時，隨著果汁機轉速遞增，愛玉凍高度隨之遞減。

表4. 「果汁機+自製轉速控制器」以不同轉速攪打對愛玉凍高度之影響

果汁機(轉速)	愛玉凍高度 (mm)				標準差
	測試一	測試二	測試三	平均值	
500rpm	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠
1000rpm	16.3	17.0	18.5	17.3 ^a	1.1
1500rpm	27.1	28.6	28.2	28.0 ^b	0.8
2000rpm	31.3	31.8	32.2	31.8 ^b	0.5
2500rpm	33.5	34.5	34.2	34.1 ^b	0.5
3000rpm	34.8	34.2	33.5	34.2 ^b	0.7
3500rpm	34.5	34.8	33.6	34.3 ^b	0.6
4000rpm	32.1	32.6	31.7	32.1 ^b	0.5
4500rpm	30.5	31.0	31.6	31.0 ^b	0.6
5000rpm	31.5	30.4	30.5	30.8 ^b	0.6
6000rpm	29.0	30.5	29.1	29.6 ^b	0.8
6500rpm	25.3	26.6	25.8	25.9 ^b	0.7
7000rpm	13.5	16.5	16.3	15.4 ^b	1.7
7500rpm	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠
8000rpm	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠	未凝膠

圖17. 「果汁機+自製轉速控制器」以不同轉速攪打對愛玉凍高度之影響

【實驗C3】轉速對愛玉凍色澤之影響

- 如表5圖18所示，果汁機攪打轉速會影響愛玉凍之色澤，果汁機攪打轉速愈快，則愛玉凍之色澤愈深。

表5. 「果汁機+自製轉速控制器」以不同轉速攪打對愛玉凍色澤(ΔE_{ab})之影響

果汁機(轉速)	色澤(ΔE _{ab})				標準差
	測試一	測試二	測試三	平均值	
1500rpm	42.4	41.6	41.9	42.0	0.4
2000rpm	43.5	43.8	43.0	43.4	0.4
2500rpm	45.2	47.0	47.0	46.4	1.0
3000rpm	47.7	47.6	48.3	47.9	0.4
3500rpm	49.6	51.5	50.4	50.5	1.0
4000rpm	52.5	52.9	54.3	53.2	1.0
4500rpm	53.4	55.8	54.8	54.7	1.2
5000rpm	58.4	58.8	55.5	56.6	1.6
5500rpm	58.8	56.8	56.6	57.4	1.2
6000rpm	61.4	57.7	57.3	58.9	2.2
6500rpm	62.7	57.8	58.4	59.6	2.7
7000rpm	62.7	61.2	61.4	61.8	0.8

圖18. 「果汁機+自製轉速控制器」以不同轉速攪打對愛玉凍色澤(ΔE_{ab})之影響

D. 不同製程之比較

【實驗D1】愛玉凍凝膠品質之測定

- 1.由實驗結果顯示，除了手工搓洗之愛玉凍凝膠色澤明顯較深外，以果汁機(3000rpm)/果汁機(4000rpm)減速攪打愛玉子，凝膠高度、凝膠硬度皆可媲美手工搓洗愛玉凍之凝膠品質。

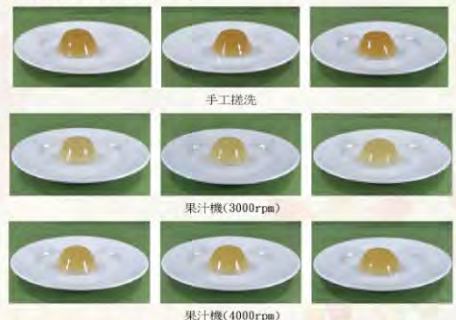
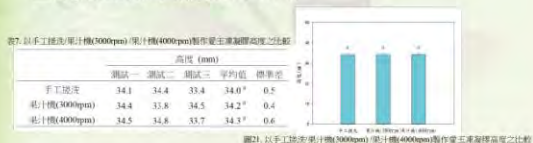


圖19. 以手工搓洗/果汁機(3000rpm)/果汁機(4000rpm)製作愛玉凍凝膠外觀之比較

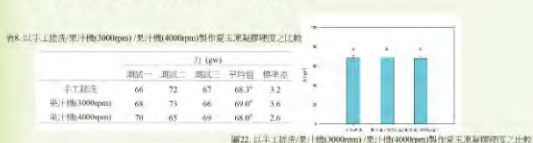
2.由表6、圖20顯示，手工搓洗之愛玉凍凝膠之色差值最大(色澤最深)；果汁機(3000rpm)之色差值最小(色澤最淺)。



3.由表7、圖21顯示，以手工搓洗/果汁機(3000rpm)/果汁機(4000rpm)製作愛玉凍凝膠高度，經xIstat統計分析結果，三者沒有顯著差異(信賴水準95%)。

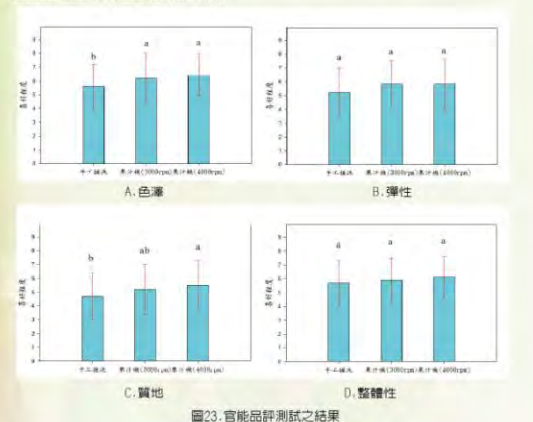


4.由表8、圖22顯示，以手工搓洗/果汁機(3000rpm)/果汁機(4000rpm)製作愛玉凍凝膠硬度，經xIstat統計分析結果，三者沒有顯著差異(信賴水準95%)。



【實驗D2】官能品評測試

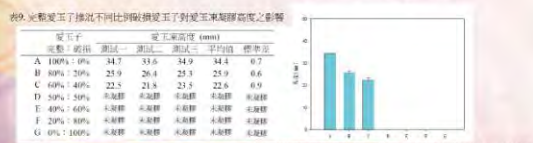
如圖23所示在「彈性」、「整體性」項目，受試者對「手工搓洗」、「果汁機(3000rpm)」、「果汁機(4000rpm)」三者之喜好程度，並沒有顯著差異，這表示「果汁機+轉速控制器」減速攪打愛玉子，確實可媲美「手工搓洗」愛玉凍之凝膠品質；在「色澤」、「質地」項目甚至於有過之而無不及。



E. 愛玉凍凝膠關鍵之驗證

【實驗E1】破損愛玉子對凝膠之影響

如表9圖24圖25，若完整愛玉子摻混破損愛玉子比例愈高，則愛玉凍凝膠愈差，驗證若愛玉子破裂，其內部之果膠酯酶抑制劑會釋出，導致果膠酯酶失去作用，因而高甲氧基果膠無法轉變成低甲氧基果膠，導致愛玉凍無法凝膠。



【實驗E2】愛玉子顯微結構之觀察

1.由圖26顯示，完整愛玉子是指購買後未經處理的愛玉子，其外觀並無破損現象。



圖26. 完整愛玉子之顯微影像

2.由圖27顯示，破損愛玉子是指剪刀剪半處理的愛玉子，內部物質明顯被釋放出來。



圖27. 破損愛玉子(剪半愛玉子)之顯微影像

3.由圖28顯示，經手工搓洗之愛玉子，其外觀並無破損現象，但其內部部分褐色物質外露。



圖28. 手工搓洗愛玉子之顯微影像

4.由圖29顯示，經電動打蛋器攪打之愛玉子，其外觀並無破損現象，幾乎與完整愛玉子之外觀相近，放大觀察發現愛玉子表面還殘留部分膠體。



圖29. 電動打蛋器攪打愛玉子之顯微影像

5.由圖30A顯示，經調理機搭配金屬刀片攪打之愛玉子，外觀明顯破碎，幾乎沒有完整愛玉子存留。

6.由圖30B顯示，經調理機搭配木製刀片攪打之愛玉子，檔位3(轉速較慢)，愛玉子外觀較為完整；但檔位5(轉速稍快)，則愛玉子破損處開始出現；檔位7(轉速更快)，則愛玉子破損處出現更多。

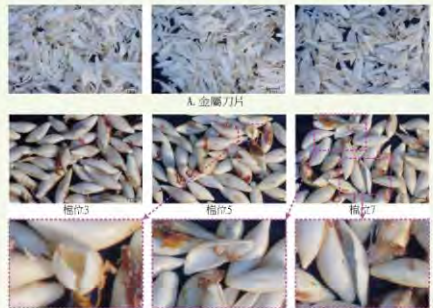


圖30. 調理機攪打愛玉子之顯微影像

7.由圖31顯示，經果汁機(減速)攪打之愛玉子，轉速低於5000rpm，愛玉子外觀完整；當轉速5000rpm時，愛玉子破損處開始出現，隨著果汁機轉速遞增，愛玉子破損處也隨之遞增。若經果汁機(未減速)全速攪打之愛玉子，外觀明顯破碎，幾乎沒有完整愛玉子存留。



圖31. 果汁機攪打愛玉子之顯微影像

8.由測試結果顯示，果汁機全速(不加轉速控制器-未減速)攪打愛玉子，果汁機之轉速高達11760rpm(高於7000rpm)，愛玉子嚴重破碎，因此愛玉凍無法凝膠，如圖32所示。



圖32. 果汁機不加轉速控制器的轉速攪打愛玉子之測試

伍 具體貢獻

- 1.本研究以乾淨衛生的愛玉凍新製程，取代有衛生疑慮的手工搓洗方式。
- 2.本研究製作出成本低廉的轉速控制器，適度降低果汁機轉速，使愛玉凍凝膠最佳，媲美手工搓洗之品質。
- 3.本研究更加證明圖6中有關愛玉凍凝膠之推論：若愛玉子完整未破裂，愛玉凍可成功凝膠；若愛玉子破裂，其內部之果膠酯酶抑制劑會釋出，少量釋出會減弱愛玉凍凝膠，釋放量漸增將導致愛玉凍無法凝膠。

