

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生活與應用科學科

第三名

030804

「凍」裡乾坤—愛玉凝膠因子之探討

學校名稱：南投縣私立普台國民中小學

| | |
|---|-----------------------------|
| 作者： 國二 陳英宇 國二 梁貿淞 國二 林政宇 國二 黃琛富 | 指導老師： 蘇毓智 李博仁 |
|---|-----------------------------|

關鍵詞：愛玉子、硬度測試裝置、果膠酯酶

摘要

本研究旨在探究愛玉凝膠。並發展有效的硬度測試裝置—以線鋸方式，將切開愛玉所需重量作為硬度數據，以此測試不同條件製作的愛玉。

結果顯示藉摩擦、水流衝擊可溶出愛玉膠質，最佳凝膠條件為：用礦物質較多的水、40°C 攪拌、靜置溫度 20°C 以下、pH=11，且愛玉子越多，攪拌時間短且硬度高；若子少，則攪拌時間長且硬度低。若將子打碎、或添加油則會阻礙凝膠。

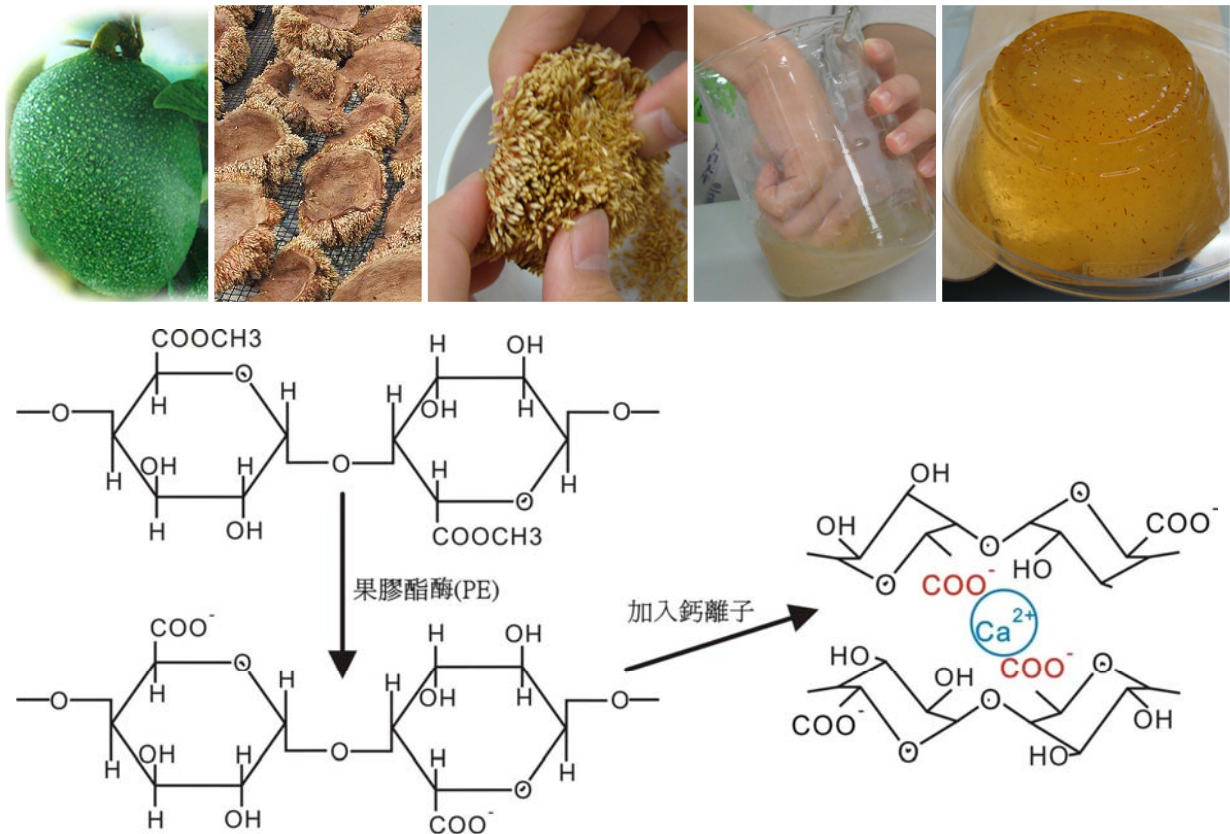
用各種鹽類溶液製作愛玉，特定濃度下可促進果膠酯酶活性，凝膠硬度高，但大量出水，若希望硬度夠又不出水，可用氯化鈣 0.03%、氯化鎂 0.01%、氯化鈉 0.1%、碳酸鎂 0.005%、碳酸氫鈉 0.01%、碳酸鈉 0.01%、硫酸鈣 0.02% 或硫酸鎂 0.05% 水溶液；用飲料做愛玉以麥茶、綠茶最佳，汽水失敗、牛奶過硬。最後，配合水質、溫度，用電動打蛋器設計簡易方法製作愛玉，供大眾參考。

研究動機

社團課時，老師讓我們動手搓愛玉，但同學們的成品卻差異很大，有的太軟、有的嚴重出水、有的凝固失敗，為了解原因，我們實際請教販售愛玉子的商人，他告訴我們：搓愛玉時，水質、水量、搓法都很重要，愛玉子與水的重量比約為 1：40~60；通常用地下水或自來水；特別注意有油、搓揉時間過短、過長都會使愛玉凝結受阻、變成只能敷臉用的愛玉水；因此，坊間販售的愛玉疑似添加便宜的洋菜增加愛玉硬度。

文獻指出，愛玉子表層具有一種稱為「果膠酯酶」的酵素，其功能是讓果膠分子上許多甲基酯鍵（ COOCH_3 ）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（林讚標，1991）（圖一）。

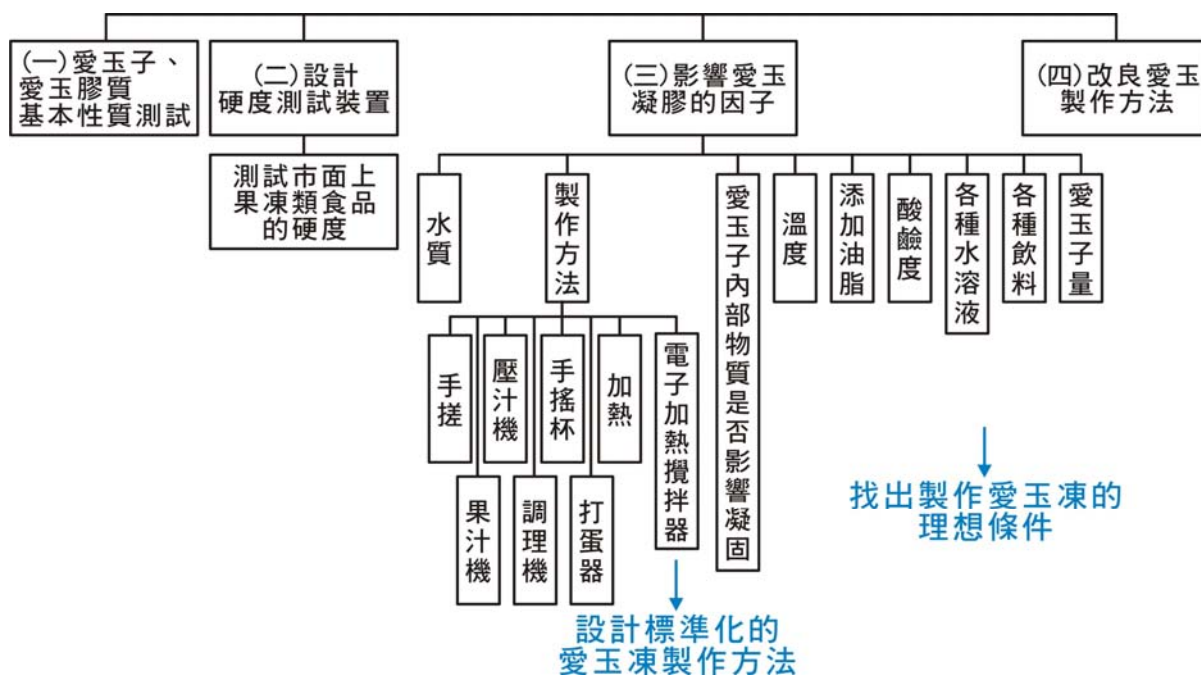
我們實際搓製的愛玉，加熱後不融化，顯示愛玉凝膠的化學反應不能以高溫還原，我們購買市售的愛玉進行觀察，發現加熱後可融化，冷卻還可以重新凝固；這使我們懷疑市面上愛玉的真實性；為了瞭解影響愛玉凝膠因子、提高製作愛玉效率並降低成本，我們選擇愛玉這個台灣特有消暑聖品做為研究題目。



圖一、愛玉製作過程及化學反應：上排由左而右分別是新鮮愛玉果實（網路圖片）、曬愛玉子（網路圖片）、剝愛玉子、手搓愛玉子、愛玉成品；下排為果膠酯酶的作用機制及鈣的鍵結方式（改繪自林讚標「愛玉子專論」（1991）及李佳佩「愛玉子果膠酯酶抑制劑之理化性質分析及應用性探討」（2001））

壹、研究目的

- 一、愛玉子、愛玉膠質的基本性質
 - (一) 愛玉子形態觀察及泡水、攪拌後的形態變化
 - (二) 愛玉膠質的成份
- 二、比較不同方法及水質製作的愛玉，並設計標準化的愛玉製作方法
 - (一) 使用水質：地下水、自來水、RO 水、波爾天然水、多喝水、悅氏礦泉水
 - (二) 膠質溶出方法：手搓、壓汁機、手搖杯、煮沸、果汁機、調理機、電動打蛋器、電子加熱攪拌器
- 三、探討打破愛玉子溶出的內部物質是否影響愛玉凝凍
- 四、探討溫度對愛玉凝固的影響
 - (一) 攪拌溫度
 - (二) 冷卻溫度
 - (三) 攪拌後進行 30 分鐘溫度處理
- 五、探討油脂對愛玉凝固的影響
 - (一) 攪拌時添加油脂
 - (二) 冷卻時添加油脂
- 六、探討酸鹼度對愛玉凝固的影響
 - (一) 酸性水溶液：鹽酸、醋酸
 - (二) 鹼性水溶液：氫氧化鈉
- 七、探討不同濃度的水溶液製作的愛玉硬度
 - (一) 氯化物：氯化鈣、氯化鎂、氯化鈉
 - (二) 碳酸鹽：碳酸鎂、碳酸鈉、碳酸氫鈉
 - (三) 硫酸鹽：硫酸鈣、硫酸鎂
 - (四) 醣類：葡萄糖、澱粉液
 - (五) 其他：營養發泡錠
- 八、探討不同濃度的飲料製作的愛玉硬度
牛奶、紅茶、綠茶、麥茶、運動飲料、汽水
- 九、最佳溫度下，減少愛玉子的量對愛玉造成的影響
- 十、改良愛玉製作方法



圖二、研究架構圖

貳、研究設備及器材

| 儀器、試液 | 器材 | 藥品 | 耗材 | 水質、其他 |
|----------|-----------|------|-----|-----------------------|
| 電子天平 | 燒杯 | 氯化鈣 | 愛玉子 | 地下水 |
| 數位相機 | 量筒 | 氯化鎂 | 絲襪 | RO 水 |
| 數位顯微鏡 | 美工刀 | 氯化鈉 | 秤紙 | 自來水 |
| 解剖顯微鏡 | 濾網 (孔徑最細) | 碳酸鎂 | 塑膠杯 | 紅茶 (純喫茶) |
| pH Meter | 酒精燈 | 碳酸氫鈉 | 保鮮膜 | 綠茶 (純喫茶) |
| 電子恆溫加熱器 | 三腳架 | 碳酸鈉 | 鋁箔紙 | 牛奶 (瑞穗鮮乳) |
| 冰箱 | 陶瓷纖維網 | 硫酸鈣 | 竹片 | 麥茶 (愛之味麥仔茶) |
| 防潮櫃 | 磁石 | 硫酸鎂 | 黏土 | 汽水 (雪碧) |
| 壓汁機 | 載玻片 | 葡萄糖 | 細鐵絲 | 波爾天然水 |
| 果汁機 | 蓋玻片 | 澱粉 | 竹籤 | 多喝水 |
| 調理機 | 塑膠盆 | 蔗糖 | 中藥袋 | 悅氏礦泉水 |
| 電子加熱攪拌器 | 尺 | 鹽酸 | 濾紙 | 中華甜愛玉 |
| 電動打蛋器 | 滴管 | 醋酸 | 洋菜粉 | 中華甜豆花 |
| 本氏液 | 試管 | 氫氧化鈉 | 沙拉油 | 統一布丁 |
| 碘液 | 針筒 | | 秤紙 | 瑞穗鮮奶布丁 |
| 廣用酸鹼指示劑 | 玻棒 | | | 營養發泡錠 (MERCK 活力寶營養鎂錠) |

表一、本實驗使用的各種器材

本實驗使用的各種電器型號為：

- ◎ 電子加熱攪拌器：CORNING PC-420
- ◎ 果汁機：飛利浦 HR 1840/AC
- ◎ 數位顯微鏡：MOTIC AD640
- ◎ 電動打蛋器：AIRLUX 4A00025
- ◎ 調理機：第一夫人料理機 V-688
- ◎ 電子恆溫加熱器：JOHNLEN CS065-30



圖三、幾種本實驗使用的器材：A. 電子加熱攪拌器 B. 電動打蛋器 C. 壓汁機
D. 手搖杯 E. 果汁機 F. 調理機 G. Motic 數位顯微鏡 H. 電子恆溫加熱器

參、研究過程或方法

一、愛玉子來源與處理

選購乾燥愛玉果實，將剝好的愛玉子放置在電子防潮櫃中保存

二、愛玉子形態觀察

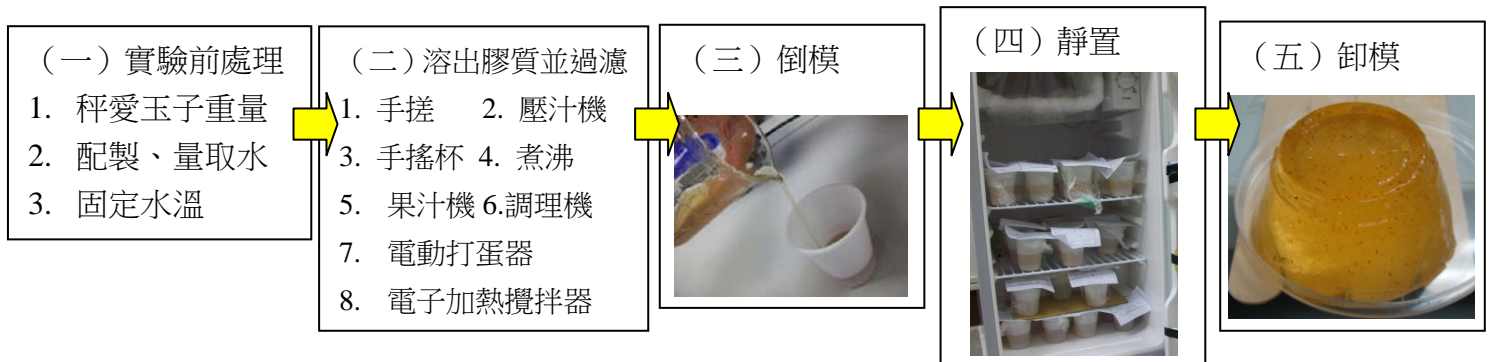
(一) 形態測試

1. 使用解剖顯微鏡及 Motic 數位顯微鏡觀察愛玉子
2. 使用 Motic 數位顯微鏡觀察泡水後的愛玉子和果柄
3. 使用 Motic 數位顯微鏡觀察攪拌後的愛玉子和果柄

(二) 成份測試：取愛玉子 (2.5g)、RO 水 (100 mL)，以電子加熱攪拌器攪拌愛玉子 30 分鐘，並將產生的膠質做以下測試

1. 澱粉：以碘液測試
2. 還原糖：加入本氏液隔水加熱
3. 酸鹼度：以廣用指示劑測試

三、製作愛玉的流程 (圖三)



圖三、製作愛玉的流程

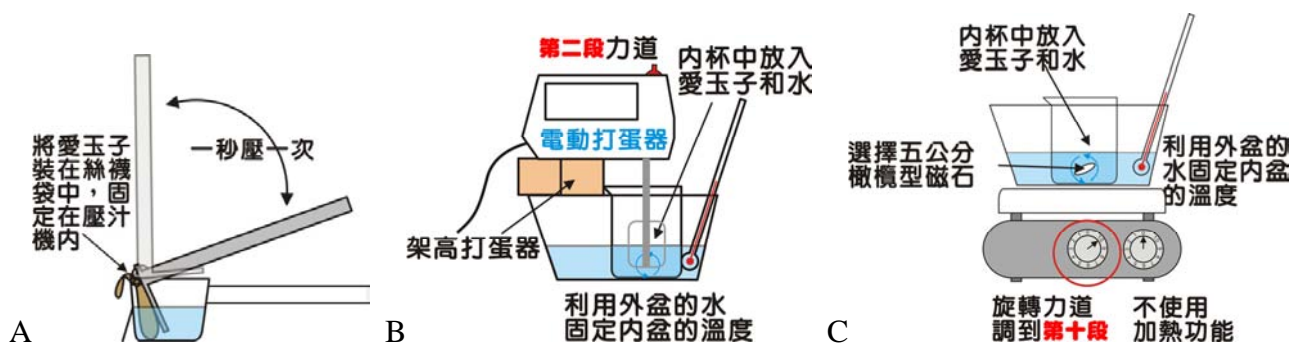
(一) 溶出愛玉膠質及過濾的方法

| 方法 | 子重：水重 | 愛玉子處理 | 溫度控制 | 處理速度 /力道 | 實驗時間 | 過濾方法 |
|------------|--------------------------------|-------|----------------------|--------------------|----------------------|----------|
| 1. 手搓 | 1 : 40 (2.5g 子 100 mL 水) | 絲襪袋包 | 處理 前將 水溫 固定 | 一秒搓揉一下 | 1、3、5 分鐘 | 不用 過濾 |
| 2. 壓汁機 | | 絲襪袋包 | | 一秒壓一下 | 1、3、5、7 分鐘 | |
| 3. 手搖杯 | | 絲襪袋包 | | 一秒垂直上下 一次 | 1、3、5、7 分鐘 | |
| 4. 煮沸 | | 不包 | | | 1、3、5 分鐘 | 濾網 |
| 5. 果汁機 | 使用容量 250mL 的 燒杯裝 | 不包 | 全程 控溫 | 第二段 | 5、10、15、20 秒 | 中藥袋 |
| 6. 調理機 | | 不包 | | | 5、10、15、20 秒 | 中藥袋 |
| 7. 電動打蛋器 | 250mL 的 燒杯裝 | 不包 | 全程 控溫 | 第二段 | 5、10、20、30、40 分鐘 | 濾網 |
| 8. 電子加熱攪拌器 | | 不包 | | 5 cm、橄欖型磁 石，第十段 | 10、20、30、40、50 分鐘 | 濾網 |

表二、本實驗溶出愛玉膠質的方法



圖四、製作愛玉的八種方法：A. 手搓 B. 手搖杯 C. 壓汁機 D. 煮沸 E. 果汁機
F. 調理機 G. 電動打蛋器 H. 電子加熱攪拌器



圖五、A. 壓汁機、B. 電動打蛋器、C. 電子加熱攪拌器製作愛玉方法

(二) 水的選擇與處理

1. 選用各種水質：地下水、自來水、RO 水、市售礦泉水
2. 調配各種不同濃度的水溶液
3. 以 pH meter 測試及調配各種不同 pH 值的水溶液
4. 使用各種飲料，並配成不同濃度

(三) 倒模、靜置與卸模

1. 倒模：倒 70 mL 愛玉膠質到容量 200 mL 的塑膠杯中
2. 靜置：5°C，冷藏 24 小時
3. 卸模：以竹籤小心讓愛玉滑出

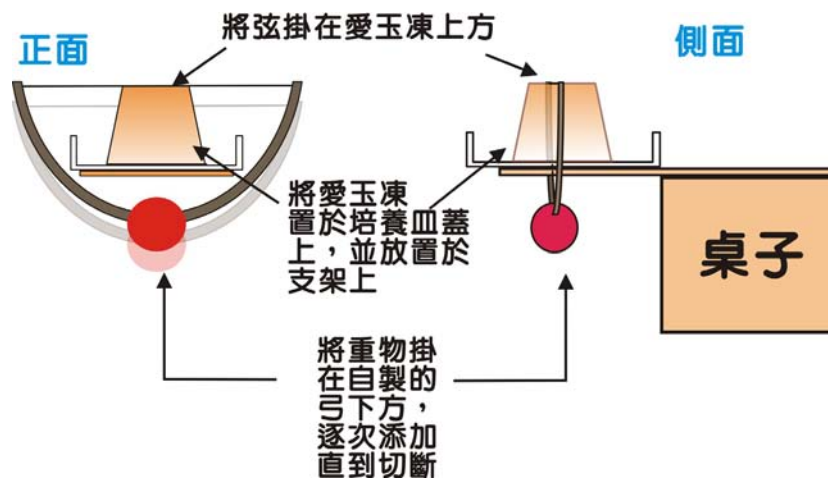
(四) 測量出水量

四、愛玉硬度測試方法

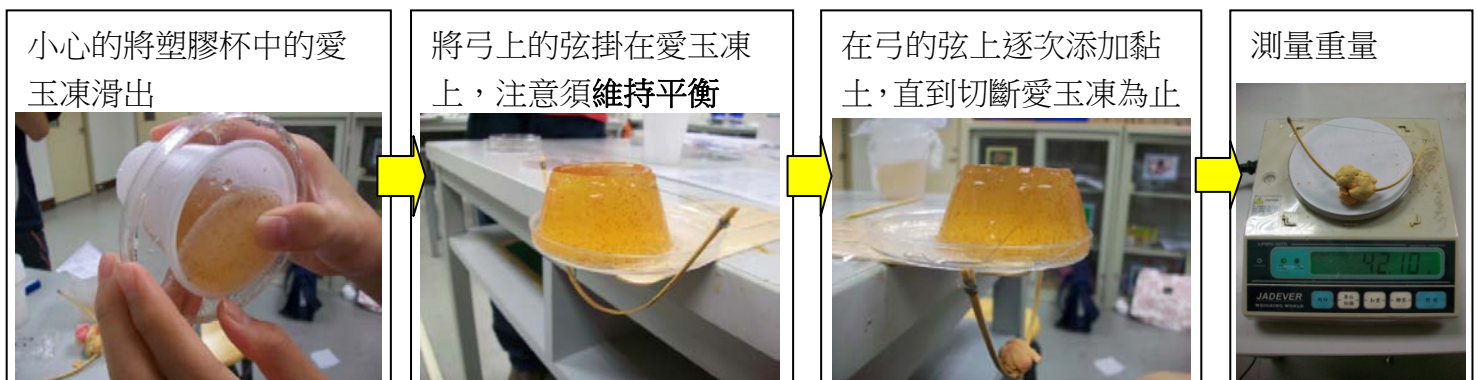
(一) 硬度測試裝置設計：利用竹片與細鐵絲製成一把像線鋸的「弓」，並在桌子上架上一個突出的測試平台

(二) 硬度測試方法

1. 將塑膠杯中的愛玉滑出，倒在培養皿蓋子上
2. 將弦掛在愛玉上（與鐵絲接觸的愛玉大約 4.5cm 寬），並維持平衡
3. 在弓上逐次添加黏土，直到切斷愛玉為止
4. 秤弓加黏土的「重量」，作為「硬度」的代表數值
5. 實驗多次取平均值



圖六、愛玉硬度測試裝置說明圖



圖七、愛玉硬度測試步驟

五、其他果凍類食品的硬度測試方法

- (一) 調配重量百分濃度分別為 0.1%~1.0%的洋菜溶液，加熱融化後，倒 70 mL 到容量 200 mL 的塑膠杯中，待凝固後以本實驗設計的硬度測試裝置測試硬度（表三、圖八）
- (二) 將統一布丁、中華甜愛玉、瑞穗鮮奶布丁、中華花生豆花等果凍類點心切成面積為長 4.5 cm、寬 4.5 cm 方塊狀，再測試硬度（表四、圖八）
- (三) 所有數據皆為實驗多次取平均值

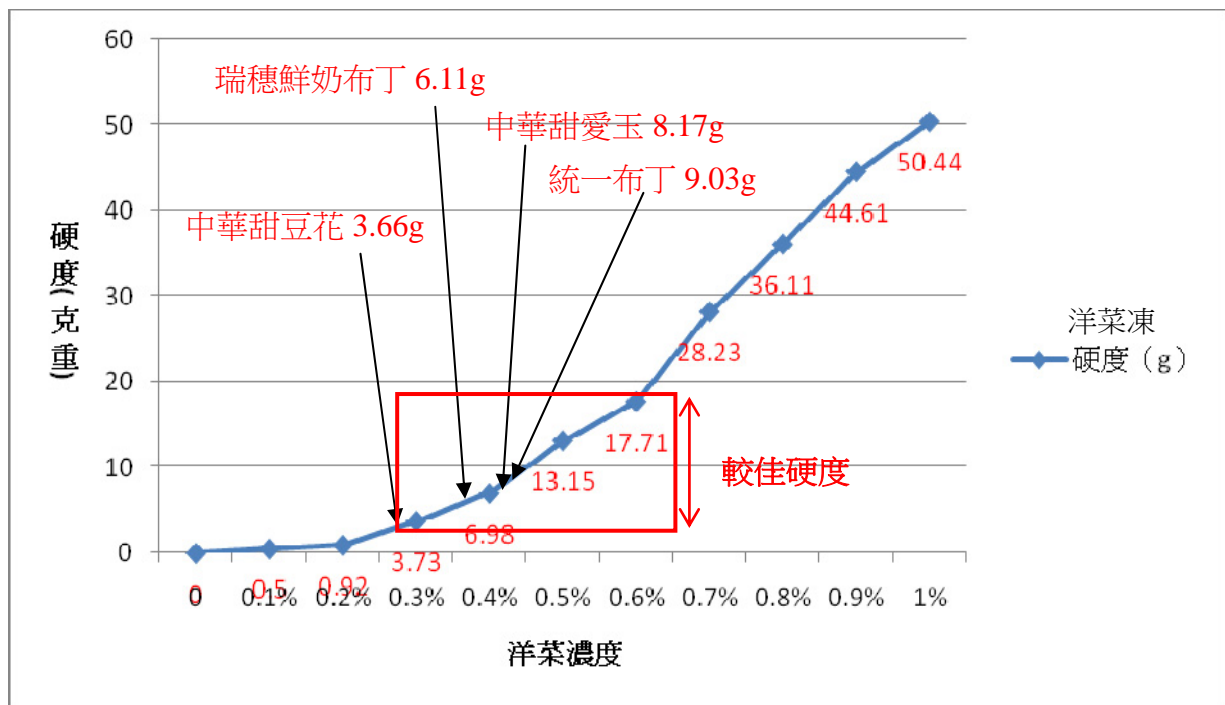
市售的果凍食品硬度在本硬度測試裝置中測得硬度大約介於 3.66g（中華甜豆花）~ 9.03g（統一布丁）間，洋菜凍則是濃度越高，硬度越硬，包裝上建議濃度為 0.6%，硬度約 17.71g，我們推測愛玉的最佳硬度也大約是 3.66~17.71g 之間，較符合消費者的喜好（圖八）。

| | | | | | | | | | | | |
|----------|---|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 洋菜濃度 (%) | 0 | 0.1% | 0.2% | 0.3% | 0.4% | 0.5% | 0.6%* | 0.7% | 0.8% | 0.9% | 1.0% |
| 硬度 (g) | 0 | 0.5 | 0.92 | 3.73 | 6.98 | 13.15 | 17.71 | 28.23 | 36.11 | 44.61 | 50.44 |

表三、各種不同濃度的洋菜凍硬度；*包裝上的果凍製作建議濃度

| | | | | |
|--------|------|-------|-------|--------|
| 食品名稱 | 統一布丁 | 中華甜愛玉 | 中華甜豆花 | 瑞穗鮮奶布丁 |
| 硬度 (g) | 9.03 | 8.17 | 3.66 | 6.1 |

表四、統一布丁、中華甜愛玉、中華甜豆花、瑞穗鮮奶布丁的硬度



圖八、市面上果凍類食品的硬度

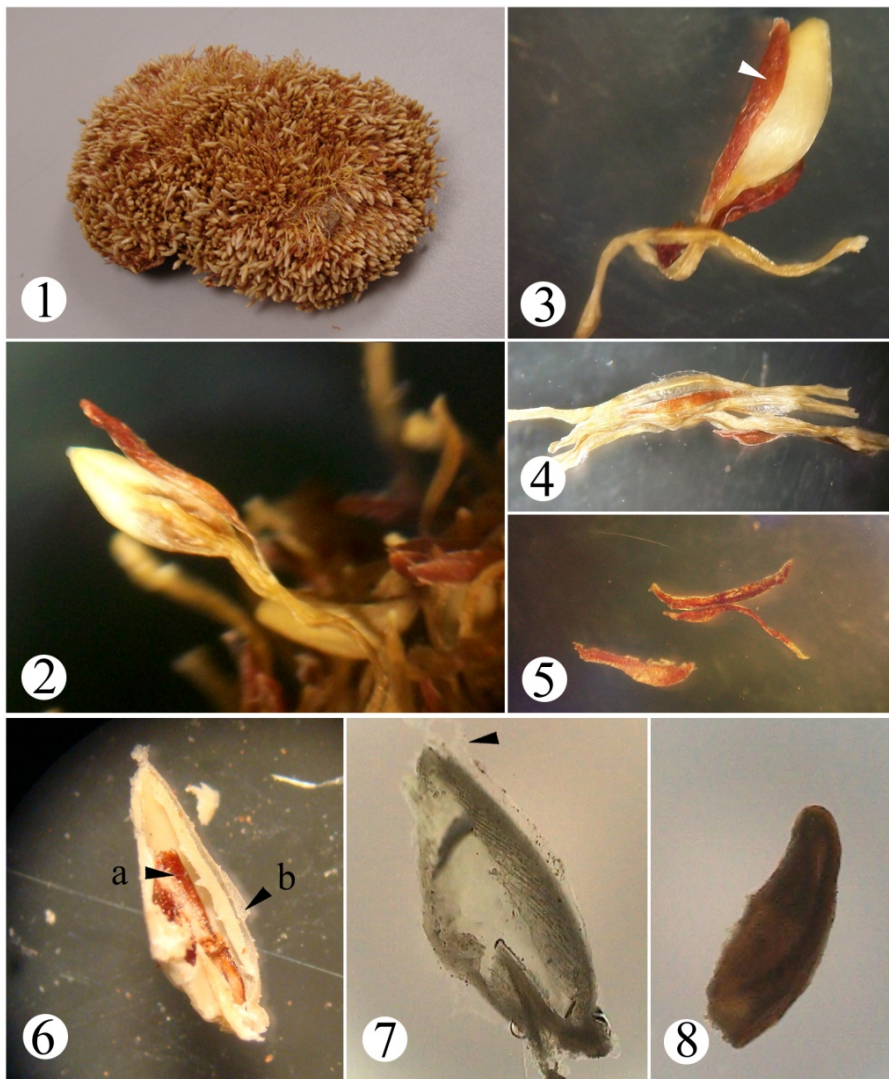
肆、研究結果

一、愛玉子基本性質測量

(一) 愛玉子形態觀察及泡水、攪拌後的形態變化

1. 形態觀察

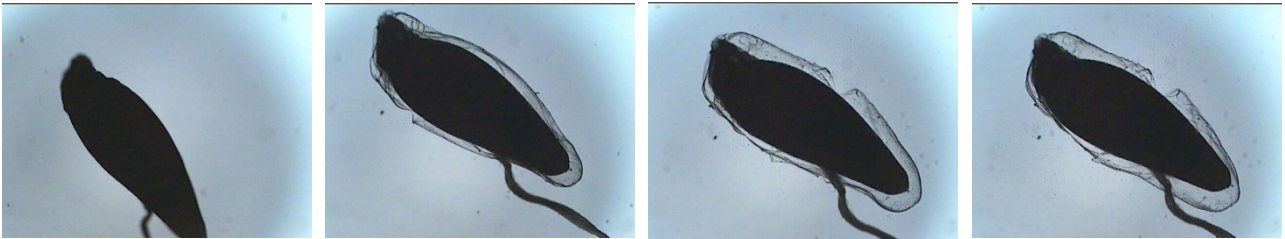
愛玉 (*Ficus pumila* var. *awkeotsang* (Makino) Corner)，屬桑科、無花果屬，為台灣特有亞種。分佈於 800~2000 公尺山區，雌雄異株，果期在 9~12 月，俗稱的愛玉子是愛玉的瘦果，瘦果包藏在隱花果內，將隱花果削去果肉後翻出，乾燥後即可販售 (圖八 1)。將愛玉子剝下，可發現瘦果連接著果柄，瘦果外有疑似花瓣的構造 (圖八 3)，切開愛玉子時可發現外果皮、內部的胚等構造 (圖八 6~8)。



圖九、愛玉子的顯微觀察：1~6 為解剖顯微鏡下拍攝；7~8 為複式顯微鏡下拍攝。1. 乾燥愛玉果實 2. 愛玉果實上的愛玉子 3. 一個愛玉子，箭頭所指處為包裹愛玉子的紅色外皮 (可能是花萼或雌花花瓣) 4. 愛玉子果柄 (鬚鬚) 5. 包裹愛玉子的紅色外皮 6. 愛玉子縱切，箭頭所指 a 為愛玉子內的胚；b 為愛玉子果皮 7. 縱切愛玉子，箭頭所指處為果皮 (透明薄膜) 8. 愛玉子內的胚。

1. 愛玉子形態變化 (圖十)

愛玉子泡水後，從表面產生一層透明薄膜，隨著時間增加，膜與愛玉子的距離會越來越寬，最後破裂，推測愛玉子從表皮處釋出膠質。

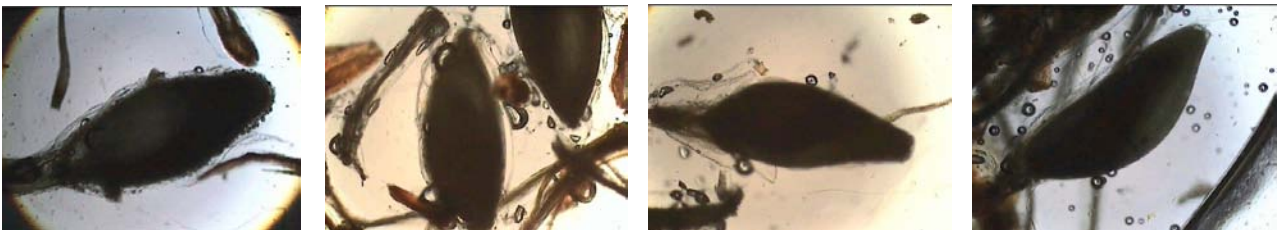


未泡水 (4X) 泡水 5 分鐘 (4X) 泡水 10 分鐘 (4X) 泡水 20 分鐘 (4X)

圖十、愛玉子泡水後的形態變化

2. 攪拌愛玉子形態變化測試 (圖十一)

愛玉子泡水，以電子加熱攪拌器攪拌後 1 分鐘，表面薄膜產生，隨著時間增加，表面薄膜脫落情況增加，30 分鐘時，幾乎所有種子表面薄膜已完全脫落。

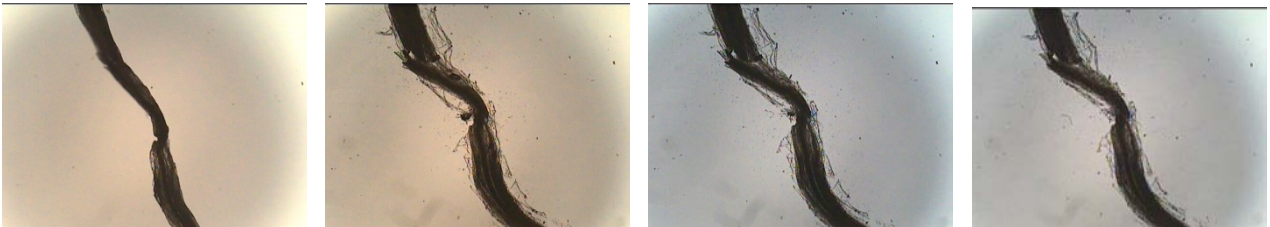


攪拌 1 分鐘 (4X) 攪拌 5 分鐘 (4X) 攪拌 10 分鐘 (4X) 攪拌 30 分鐘 (4X)

圖十一、愛玉子攪拌後的形態變化

3. 泡水愛玉子果柄形態變化 (圖十二)

愛玉子果柄泡水後，也會從表面產生一層透明薄膜，隨著時間增加，薄膜漸漸擴散或破裂，並釋放出膠質。

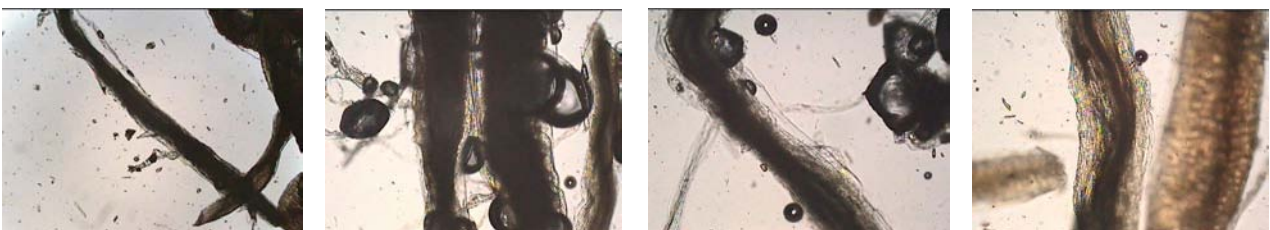


未泡水 (4X) 泡水 5 分鐘 (4X) 泡水 10 分鐘 (4X) 泡水 20 分鐘 (4X)

圖十二、愛玉果柄 (鬚鬚) 泡水後的形態變化

4. 攪拌愛玉子果柄形態變化 (圖十三)

果柄表面薄膜漸漸展開、摩擦而脫落，隨著時間增加，表面薄膜脫落情況增加。



攪拌 1 分鐘 (4X) 攪拌 5 分鐘 (4X) 攪拌 10 分鐘 (4X) 攪拌 30 分鐘 (4X)

圖十三、愛玉子果柄 (鬚鬚) 攪拌後的形態變化

(二) 愛玉膠質的成份

1. 澱粉：以碘液測試澱粉，發現愛玉子膠質不含澱粉質

2. 還原糖

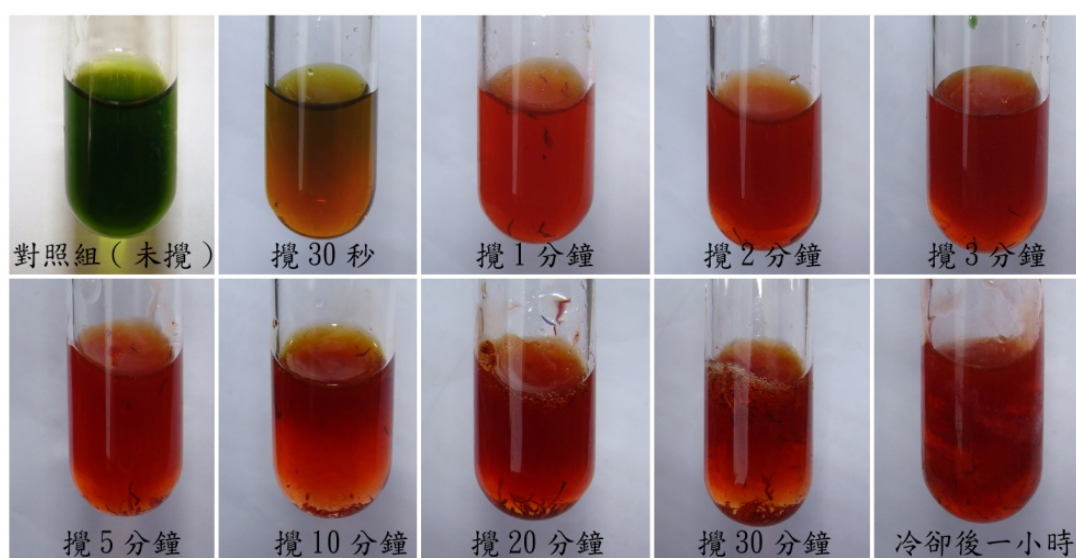
以本氏液測試，發現攪拌 30 分鐘的愛玉子膠質漸漸轉為黃色（圖十四），由此可知愛玉膠質含還原糖。



圖十四、還原糖測試

3. 酸鹼度

以廣用指示劑測試，發現攪拌 30 秒的愛玉子膠質變成黃色，攪拌 1 分鐘以上的愛玉子膠質呈現紅色（圖十五），由此可知愛玉子膠質為酸性。



圖十五、酸鹼度測試

二、比較不同方法、配合不同水質製作的愛玉硬度，並設計標準化的愛玉製作方法

(一) 使用水質：地下水、自來水、RO 水、波爾天然水、多喝水、悅氏礦泉水

| | 波爾天然水 | 多喝水 | 悅氏礦泉水 |
|---|-------|-----------|--------|
| 鈣 | 8~18 | 14.8~27.6 | 0.1~15 |
| 鎂 | 4~8 | 8.8~16.4 | 0.1~15 |
| 鈉 | 4~8 | 2.7~11.3 | 0.1~10 |

表五、各種不同礦泉水的礦物質濃度，
單位為 mg/L（資料來自瓶上標籤）

(二) 膠質溶出方法：手搓、壓汁機、手搖杯、加熱、果汁機、調理機、打蛋器、電子加熱攪拌器

1. 手搓（表六、圖十六 A）

以手搓製作愛玉，3 分鐘達最好的效果，5 分鐘則硬度下降，僅地下水稍微提高，**推測搓 5 分鐘時，愛玉已開始凝固，繼續搓則會破壞凝固**。六種水質製作的愛玉硬度為：多喝水 > 波爾天然水 > 自來水 > 地下水 > 悅氏礦泉水 > RO 水。

| 處理時間 \ 水質 | 地下水 | 自來水 | 波爾天然水 | RO 水 | 多喝水 | 悅氏礦泉水 |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------------|
| 1 分鐘 | 0.88 | 9.3 | 11.12 | 0.58 | 12.04 | 0.6 |
| 3 分鐘 | 5.72 | 13.6* | 13.5* | 4.94* | 20.62* | 5.4* |
| 5 分鐘 | 8.65* | 11.7 | 12.26 | 4.32 | 19.9 | 4.8 |

表六、使用各種水質，以手搓不同時間製作的愛玉硬度（單位：克；*最高硬度）

2. 壓汁機（表七、圖十六 B）

使用壓汁機製作愛玉，地下水、波爾天然水、多喝水壓 5~7 分鐘可達最好的效果，多喝水有最佳硬度表現，整體而言，效果不如手搓。

| 處理時間 \ 水質 | 地下水 | 自來水 | 波爾天然水 | RO 水 | 多喝水 | 悅氏礦泉水 |
|-----------|-----------|-----------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| 1 分鐘 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 分鐘 | 0.5 | 3* | 3.98 | 0 | 11.17 | 0 |
| 5 分鐘 | 1* | 2.97 | 8.56* | 0 | 16.48* | 0 |
| 7 分鐘 | 0.5 | 2.32 | 8.51 | 1.28* | 5.98 | 1.14* |

表七、使用各種水質，以壓汁機壓不同時間製作的愛玉硬度（單位：克；*最高硬度）

3. 手搖杯（表八、圖十六 C）

使用手搖杯製作愛玉，大部分水質在 7 分鐘時硬度最高，多喝水效果最佳，但效果不如手搓、壓汁機。

| 處理時間 \ 水質 | 地下水 | 自來水 | 波爾天然水 | RO 水 | 多喝水 | 悅氏礦泉水 |
|-----------|--------------|--------------|-------------|-----------|-------------|--------------|
| 1 分鐘 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.3 | 0 |
| 3 分鐘 | 0.74 | 0.5 | 3.44 | 0 | 5.4 | 0 |
| 5 分鐘 | 0.64 | 1.16 | 4.56 | 0 | 5.8* | 0 |
| 7 分鐘 | 1.86* | 2.58* | 5.5* | 1* | 4.1 | 0.96* |

表八、使用各種水質，以手搖杯搖不同時間製作的愛玉硬度（單位：克；*最高硬度）

4. 加熱（表九、圖十六 D）

使用煮沸方法製作愛玉，可溶出的膠質，但膠質**無法凝固**。

| 處理時間 \ 水質 | 地下水 | 自來水 | 波爾天然水 | RO 水 | 多喝水 | 悅氏礦泉水 |
|-----------|-----|-----|-------|------|-----|-------|
| 1 分鐘 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 分鐘 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 分鐘 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

表九、使用各種水質，加熱不同時間製作的愛玉硬度（單位：克）

5. 果汁機（表十、圖十六 E）

果汁機製作愛玉的效果普遍很差，僅自來水攪拌 15 秒有 1.66 克的微弱硬度，其餘皆凝固不佳或未凝固，可能短時間的攪拌會使膠質溶出，但攪拌時間增加會使底部鋼刀打碎愛玉子，使抑制凝固的物質溶出。

| 水質 處理時間 | 地下水 | 自來水 | 波爾天然水 | RO 水 | 多喝水 | 悅氏礦泉水 |
|------------|------|-------|-------|------|------|-------|
| 5 秒鐘 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 |
| 10 秒鐘 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 秒鐘 | 0.5* | 1.66* | 0.5 | 0 | 1.4* | 0 |
| 20 秒鐘 | 0 | 0 | 0.78* | 0 | 0 | 0 |

表十、使用各種水質，以果汁機打不同時間製作的愛玉硬度（單位：克；*最高硬度）

6. 調理機（表十一、圖十六 F）

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嚴重，幾乎都被打成泥，過濾出來的愛玉子濾液都無法凝結成愛玉。

| 水質 處理時間 | 地下水 | 自來水 | 波爾天然水 | RO 水 | 多喝水 | 悅氏礦泉水 |
|------------|-----|-----|-------|------|-----|-------|
| 5 秒鐘 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 秒鐘 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 秒鐘 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 秒鐘 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

表十一、使用各種水質，以調理機打不同時間製作的愛玉硬度（單位：克）

7. 電動打蛋器（表十二、圖十六 G）

使用電動打蛋器製作愛玉，所有水質攪拌 30 分鐘都有凝凍，多喝水的硬度最高，其他水質的結果也大致吻合手搓結果，攪拌 40 分鐘時，多喝水已凝固，以中藥袋強迫過濾後，製成的愛玉硬度大幅下降。

| 水質 處理時間 | 地下水 | 自來水 | 波爾天然水 | RO 水 | 多喝水 | 悅氏礦泉水 |
|------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 5 分鐘 | 0.64 | 1.96 | 2.42 | 0.5 | 2.78 | 0.5 |
| 10 分鐘 | 1 | 2.41 | 2.81 | 0.5 | 3.43 | 0.88 |
| 20 分鐘 | 1.68 | 3.99 | 4.64 | 0.7 | 5.3 | 0.74 |
| 30 分鐘 | 3.7 | 5.05 | 4.13 | 2.24 | 6.54* | 1.26 |
| 40 分鐘 | 6.16* | 10.49* | 6.46* | 3.28* | 3.89 | 5.24* |

表十二、使用各種水質，以電動打蛋器打不同時間製作的愛玉硬度（單位：克；*最高硬度）

8. 電子加熱攪拌器（表十三、圖十六 H）

使用電子加熱攪拌器製作愛玉，攪拌 30 分鐘凝凍效果佳、形狀完整；攪拌 40 分鐘製作的愛玉硬度很高，但多喝水攪拌時已開始凝固；攪拌 50 分鐘硬度大多下降。

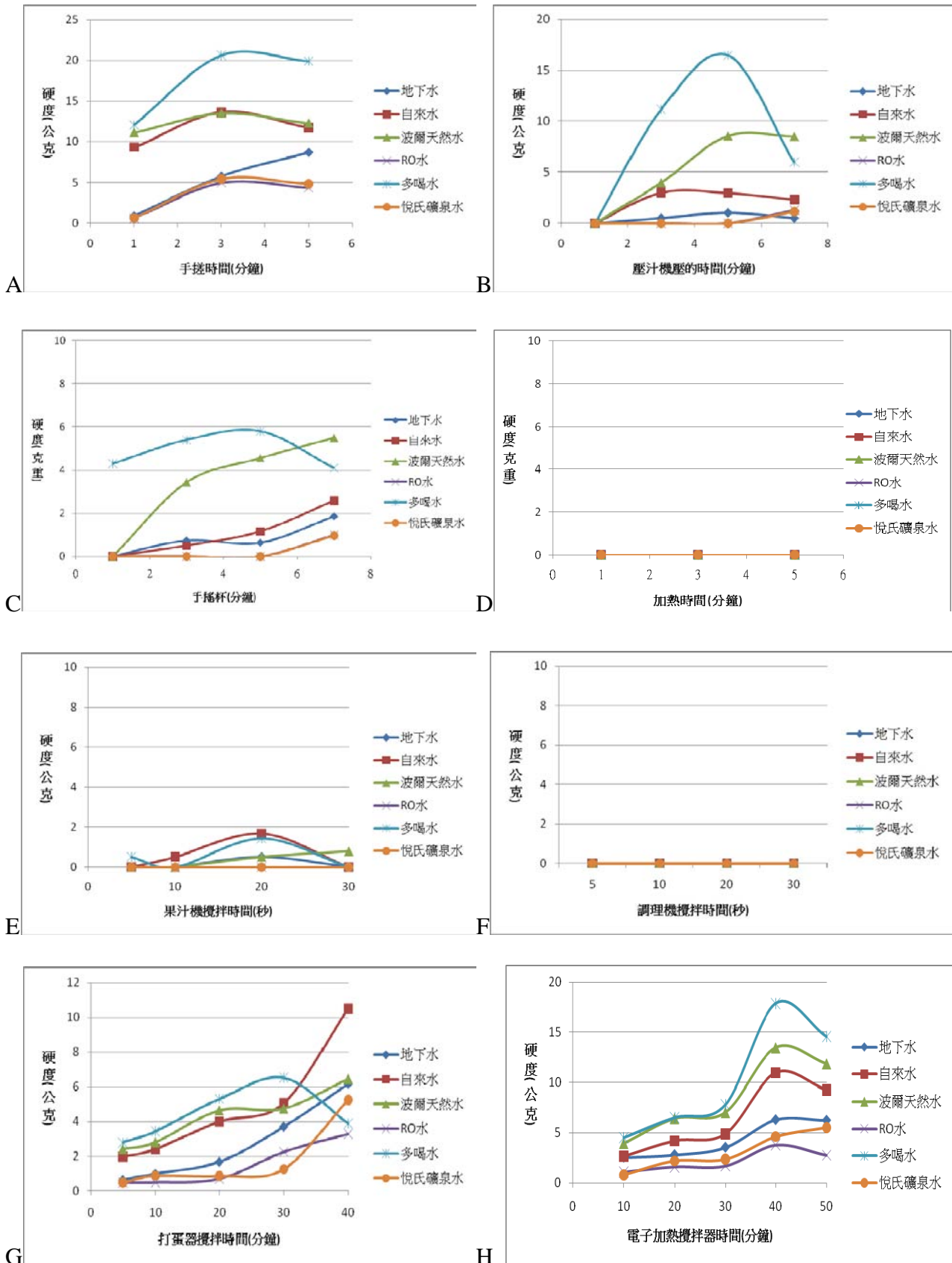
| 水質 處理時間 | 地下水 | 自來水 | 波爾天然水 | RO 水 | 多喝水 | 悅氏礦泉水 |
|------------|-------------|---------------|---------------|-------------|---------------|--------------|
| 10 分鐘 | 2.54 | 2.66 | 3.94 | 1.08 | 4.54 | 0.8 |
| 20 分鐘 | 2.8 | 4.2 | 6.42 | 1.6 | 6.54 | 2.2 |
| 30 分鐘 | 3.54 | 4.9 | 7.03 | 1.68 | 7.82 | 2.39 |
| 40 分鐘 | 6.3* | 10.94* | 13.44* | 3.8* | 17.87* | 4.62 |
| 50 分鐘 | 6.24 | 9.24 | 11.84 | 2.78 | 14.56 | 5.54* |

表十三、使用各種水質，以電子加熱攪拌器攪拌不同時間製作的愛玉硬度（單位：克；
*最高硬度）

綜合以上方法，手搓製作的愛玉硬度高，但是缺點是不易標準化；壓汁機、手搖杯效果差；加熱、果汁機、調理機無法製作愛玉；而電動打蛋器、電子加熱攪拌器，製作愛玉的效果佳、也能標準化，因此，本實驗將使用「電子加熱攪拌器」固定製作流程（表十四）進行後續實驗。

| 方法 | 水質 | 子重：水重 | 愛玉子處理 | 溫度控制 | 處理速度 / 力道 | 實驗時間 | 過濾方法 |
|---------|------------|---------------------|-------|------------------|----------------|---------------|------|
| 電子加熱攪拌器 | RO 水或各種水質* | 2.5g : 100mL 或各種比例* | 不包 | 20°C 或其他溫度* 全程控溫 | 5 cm、橄欖型磁石，第十段 | 30 分鐘或其他處理時間* | 濾網 |

表十四、標準愛玉製作流程（*可因實驗目標調整的操作變因）



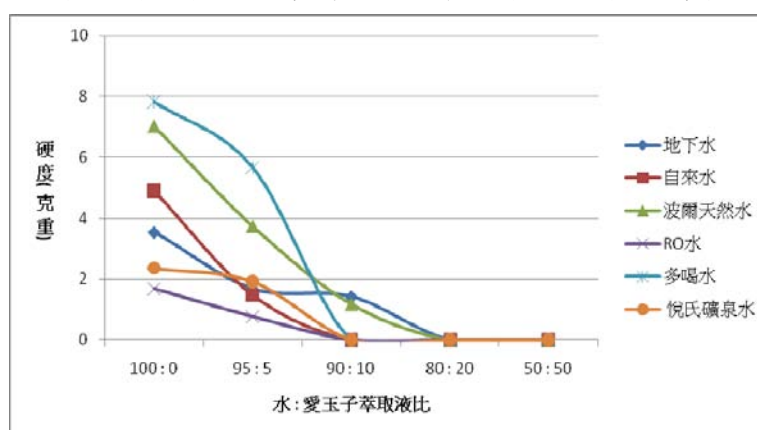
圖十六、以各種水質配合不同方法製作的愛玉硬度：A. 手搓 B. 壓汁機 C. 手搖杯
D. 加熱 E. 果汁機 F. 調理機 G. 電動打蛋器 H. 電子加熱攪拌器

三、探討打破愛玉子溶出的內部物質是否影響愛玉凝凍（取愛玉子：RO 水 = 1：40，以調理機打 1 分鐘過濾製成粗萃取液，並與各種水質調配不同比例以標準愛玉製作流程製作愛玉）（表十五、圖十七）

加入的愛玉子萃取液越多，凝固情形越差，顯示愛玉子內部有抑制凝固的物質。

| 水質 | 地下水 | 自來水 | 波爾天然水 | RO 水 | 多喝水 | 悅氏礦泉水 |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 水量：粗萃取液量 | | | | | | |
| 100：0 | 3.54* | 4.9* | 7.03* | 1.68* | 7.82* | 2.39* |
| 95：5 | 1.68 | 1.48 | 3.74 | 0.76 | 5.66 | 1.92 |
| 90：10 | 1.42 | 0 | 1.18 | 0 | 0 | 0 |
| 80：20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50：50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

表十五、各種不同比例的水：愛玉子粗萃取液製成的愛玉硬度（單位：克；*最高硬度）



圖十七、各種不同比例的水：愛玉子粗萃取液製成的愛玉硬度

四、探討溫度對愛玉凝固的影響（用 RO 水，以標準愛玉製作流程製作愛玉）

（一）攪拌溫度（表十六、圖十八 A）

在不同溫度下攪拌，溫度越高，製作的愛玉硬度越高，**40°C 硬度最高**，若溫度繼續升高，愛玉硬度開始下降。

| 攪拌溫度 | 10°C | 20°C | 30°C | 40°C | 50°C | 60°C |
|--------|------|------|------|--------------|------|------|
| 硬度 (g) | 1.5 | 1.68 | 3.46 | 5.66* | 4.9 | 1.71 |

表十六、各種攪拌溫度，製作的愛玉硬度（*最高硬度）

（二）冷卻溫度（表十七、圖十八 B）

將過濾的膠質放在 5、20、28°C 下靜置 24 小時製作愛玉，以 **20°C 硬度最佳**，28°C 最差。

| 冷卻溫度 | 5°C | 20°C | 28°C |
|--------|------|--------------|------|
| 硬度 (g) | 1.68 | 2.07* | 1.34 |

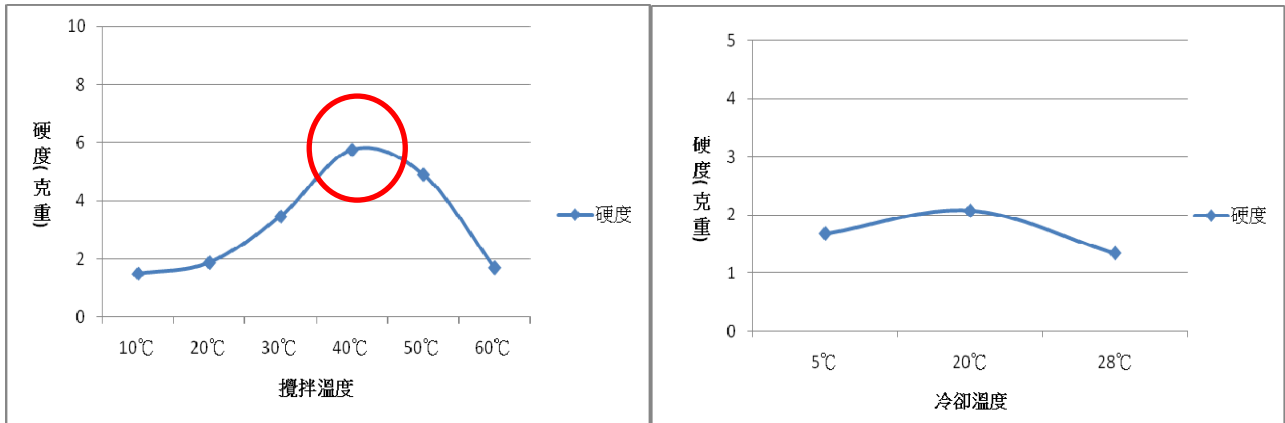
表十七、各種冷卻溫度，製作的愛玉硬度（*最高硬度）

(三) 攪拌後進行 30 分鐘溫度處理 (表十八、圖十八 C)

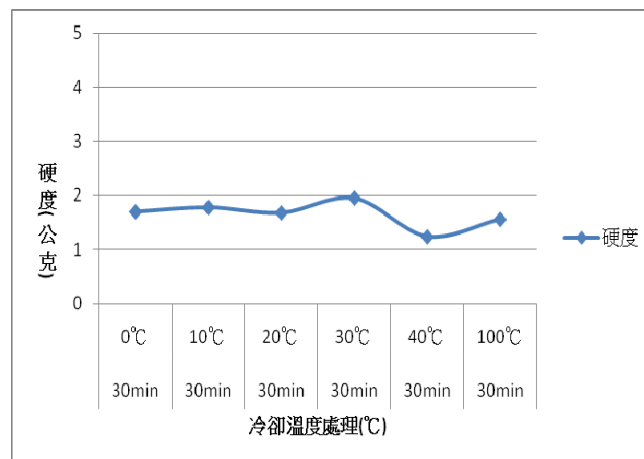
將過濾的膠質在各種溫度下水浴 30 分鐘，再以 5°C 冷卻 24 小時製作愛玉，發現各種溫度處理對愛玉凝固影響不大，即使將膠質以 100°C 水浴，仍會凝固。

| | | | | | | |
|-------|-----|------|------|--------------|------|-------|
| 溫度處理 | 0°C | 10°C | 20°C | 30°C | 40°C | 100°C |
| 硬度(g) | 1.7 | 1.78 | 1.68 | 1.95* | 1.24 | 1.56 |

表十八、攪拌後進行各種溫度處理，製作的愛玉硬度 (*最高硬度)



A. 各種溫度製作的愛玉硬度 (○最高硬度) B. 各種冷卻溫度製作的愛玉硬度。



C. 攪拌後進行各種溫度處理製作的愛玉硬度。

圖十八、溫度對愛玉凝膠硬度造成的影響

五、探討油脂對愛玉凝固的影響 (使用各種水質，以標準愛玉製作流程製作愛玉)

(一) 攪拌時添加油脂 (表十九、圖十九 A)

攪拌過程中，以針筒添加沙拉油製作愛玉，只要添加微量，做出來的愛玉硬度皆下降。

| | | | | | | |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 加油 \ 水質 | 地下水 | 自來水 | 波爾天然水 | RO 水 | 多喝水 | 悅氏礦泉水 |
| 0 c.c. | 3.54* | 4.9* | 7.03* | 1.68* | 7.82* | 2.39* |
| 微量(加一滴) | 2.52 | 2.08 | 4.36 | 0.7 | 3.32 | 2.14 |
| 0.2 c.c. | 1.33 | 2.24 | 3.96 | 1.1 | 2.86 | 1.76 |
| 0.4 c.c. | 1.87 | 1.44 | 2.92 | 0.92 | 2.92 | 1.78 |

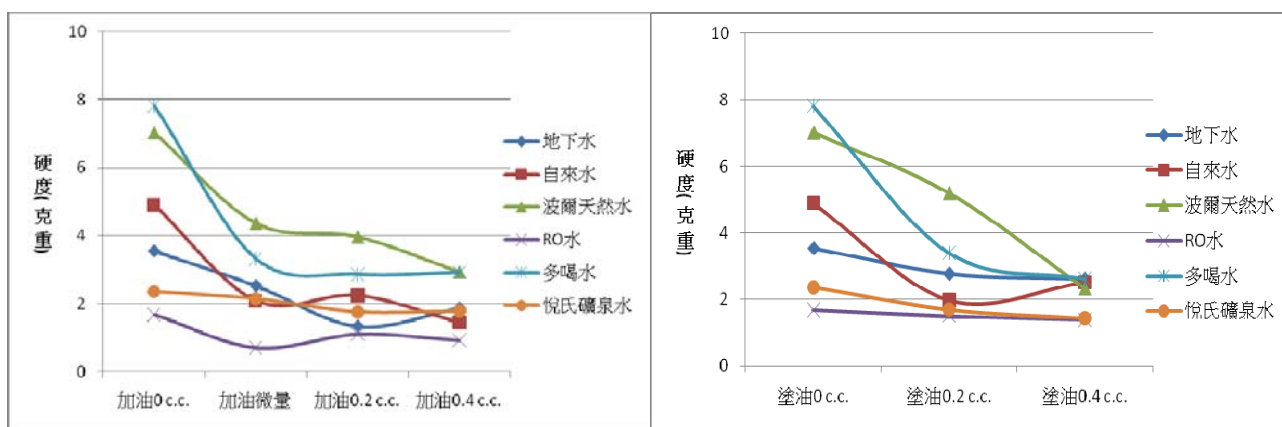
表十九、攪拌時添加油脂製作的愛玉硬度 (單位：克；*最高硬度)

(二) 攪拌後，在盛裝的容器內塗抹油脂（表二十、圖十九 B）

攪拌過後，將膠質倒入塗抹沙拉油的塑膠杯中，做出來的愛玉硬度也會下降。

| 塗油 \ 水質 | 地下水 | 自來水 | 波爾天然水 | RO 水 | 多喝水 | 悅氏礦泉水 |
|----------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0 c.c. | 3.54* | 4.9* | 7.03* | 1.68* | 7.82* | 2.39* |
| 0.2 c.c. | 2.78 | 1.98 | 5.2 | 1.5 | 3.4 | 1.7 |
| 0.4 c.c. | 2.62 | 2.52 | 2.32 | 1.38 | 2.62 | 1.44 |

表二十、攪拌後，在盛裝的容器內塗抹油脂製作的愛玉硬度（單位：克；*最高硬度）



A. 攪拌時添加油脂

B. 攪拌後，在盛裝容器內塗抹油脂

圖十九、油脂對愛玉凝膠硬度造成的影響

六、探討酸鹼度對愛玉凝固的影響（用 RO 水配製不同 pH 值的水溶液，以標準愛玉製作流程製作愛玉）

(一) 酸性水溶液：鹽酸、醋酸（表二十一、圖二十 A）

水溶液越酸，製作出來的愛玉硬度越低，醋酸水溶液降幅比鹽酸水溶液明顯。

| 不同的酸 \ pH | 6.5~7 (RO) | 6 | 5 | 4 | 3 |
|-----------|--------------|------|------|------|------|
| 鹽酸 | 1.68* | 1.46 | 1.54 | 1.52 | 0.86 |
| 醋酸 | 1.68* | 1.26 | 1.1 | 0.86 | 0.52 |

表二十一、使用鹽酸、醋酸配製不同 pH 值的水溶液，製作的愛玉硬度（單位：克；

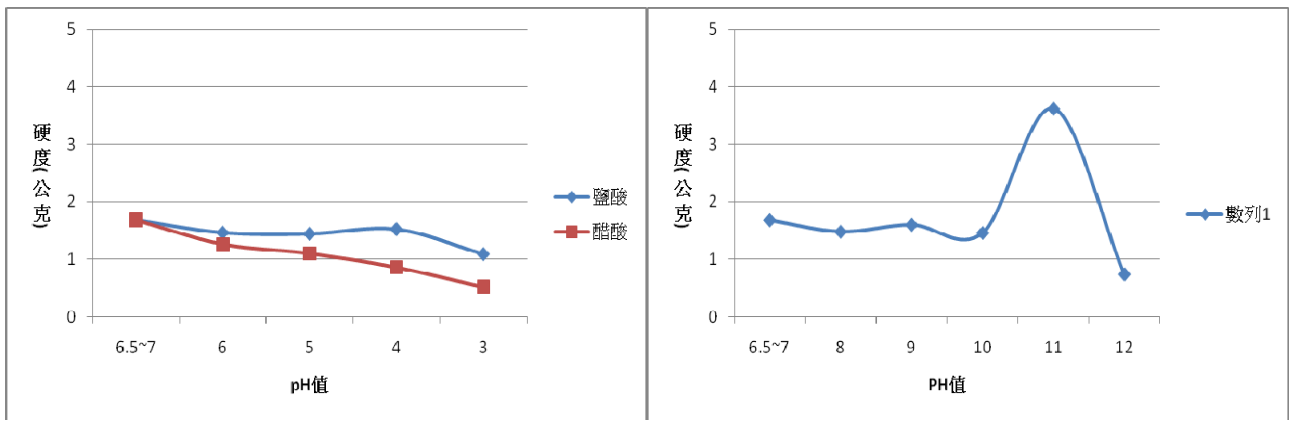
*最高硬度）

(二) 鹼性水溶液：氫氧化鈉（表二十二、圖二十 B）

pH 值 6.5~10 的氫氧化鈉水溶液製作的愛玉硬度差異不大，但 pH=11 的水溶液製作的愛玉硬度很高，pH=12 時硬度又遽降。

| pH | 6.5~7 (RO) | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|------------|------|-----|------|--------------|------|
| 硬度(g) | 1.68 | 1.48 | 1.6 | 1.24 | 3.24* | 0.74 |

表二十二、使用氫氧化鈉配製不同 pH 值的水溶液，製作的愛玉硬度（*最高硬度）



A. 不同 pH 值的鹽酸、醋酸水溶液製作的愛玉 硬度
B. 不同 pH 值的氫氧化鈉水溶液製作的愛玉 硬度

圖二十、酸鹼度對愛玉凝膠硬度造成的影響

七、探討不同濃度的水溶液製作的愛玉硬度（使用 RO 水配製不同的水溶液，以標準愛玉製作流程製作愛玉）

(一) 氯化物：氯化鈣、氯化鎂、氯化鈉（表二十三~二十五、圖二十一）

以 0.1% 氯化鈣、1% 氯化鎂、0.5% 氯化鈉水溶液製作的愛玉硬度最高，但大量出水，而 0.03~0.04% 氯化鈣、0.01~0.1% 氯化鎂、0.1% 氯化鈉水溶液做的愛玉硬度適中（3.66~17.71g 之間），若希望愛玉不要出水，則氯化鈣勿超過 0.03%、氯化鎂勿超過 0.1%、氯化鈉勿超過 0.5%。

| 濃度 | 0 | 0.001% | 0.005% | 0.01% | 0.02% | 0.03% | 0.04% | 0.05% | 0.1% | 0.5% | 1% | 5% |
|-----------|------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|------|----|----|
| 硬度(g) | 1.68 | 2.1 | 1.71 | 2.76 | 3.4 | 5.5 | 9.36 | 25.02 | 55.3* | 0.5 | 0 | 0 |
| 出水量(c.c.) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.375 | 5.4 | 11.7 | 21.7 | 0 | 0 | 0 |

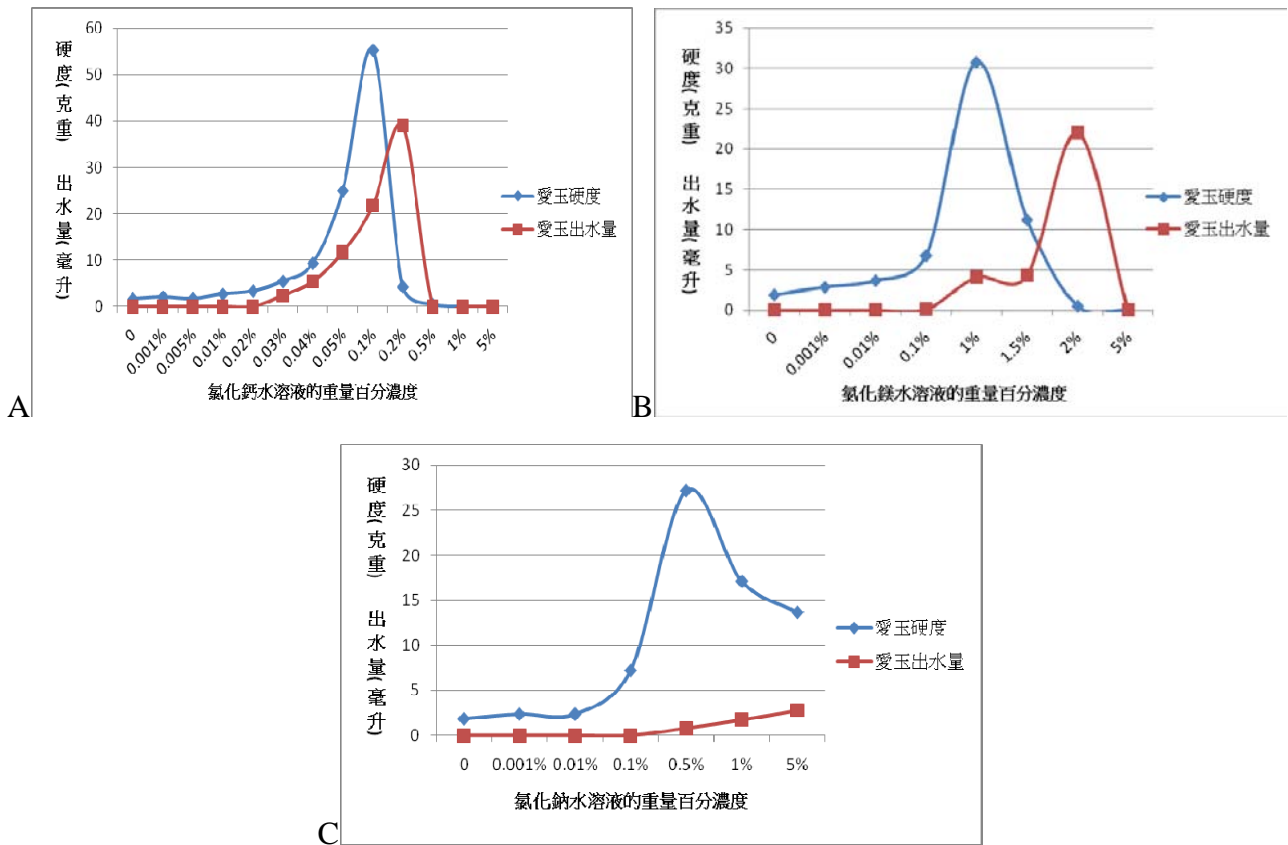
表二十三、使用氯化鈣配製不同濃度的水溶液，製作的愛玉硬度（*最高硬度）

| 濃度 | 0 | 0.001% | 0.01% | 0.1% | 1% | 1.5% | 2% | 5% |
|-----------|------|--------|-------|------|---------------|-------|-----|----|
| 硬度(g) | 1.68 | 2.84 | 3.66 | 6.76 | 30.76* | 11.22 | 0.5 | 0 |
| 出水量(c.c.) | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 4.1 | 4.3 | 22 | 0 |

表二十四、使用氯化鎂配製不同濃度的水溶液，製作的愛玉硬度（*最高硬度）

| 濃度 | 0 | 0.001% | 0.01% | 0.1% | 0.5% | 1% | 5% |
|-----------|------|--------|-------|------|---------------|-------|-------|
| 硬度(g) | 1.68 | 2.4 | 2.4 | 7.24 | 27.16* | 17.12 | 13.68 |
| 出水量(c.c.) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.8 | 1.75 | 2.8 |

表二十五、使用氯化鈉配製不同濃度的水溶液，製作的愛玉硬度（*最高硬度）



圖二十一、不同濃度的氯化物水溶液製作的愛玉硬度及出水量：A. 氯化鈣 B. 氯化鎂 C. 氯化鈉

(二) 碳酸鹽：碳酸鎂、碳酸氫鈉、碳酸鈉 (表二十六~二十八、圖二十二)

碳酸鎂水溶液製作的愛玉，在濃度 0.02% 時硬度達 12.25g，出水 8 c.c.；碳酸氫鈉水溶液製作的愛玉硬度在 0.015% 時達 3.98g，0.02~0.1% 間不凝固，到了 0.5% 時又有 4.02 的硬度；碳酸鈉水溶液在 0.01% 有 5.18g 的最高硬度，0.1% 以上不凝固。

| 濃度 | 0 | 0.005% | 0.01% | 0.015% | 0.02% (飽和) |
|-----------|------|--------|-------|--------|---------------|
| 硬度(g) | 1.68 | 5.68 | 6.64 | 7.66 | 12.25* |
| 出水量(c.c.) | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |

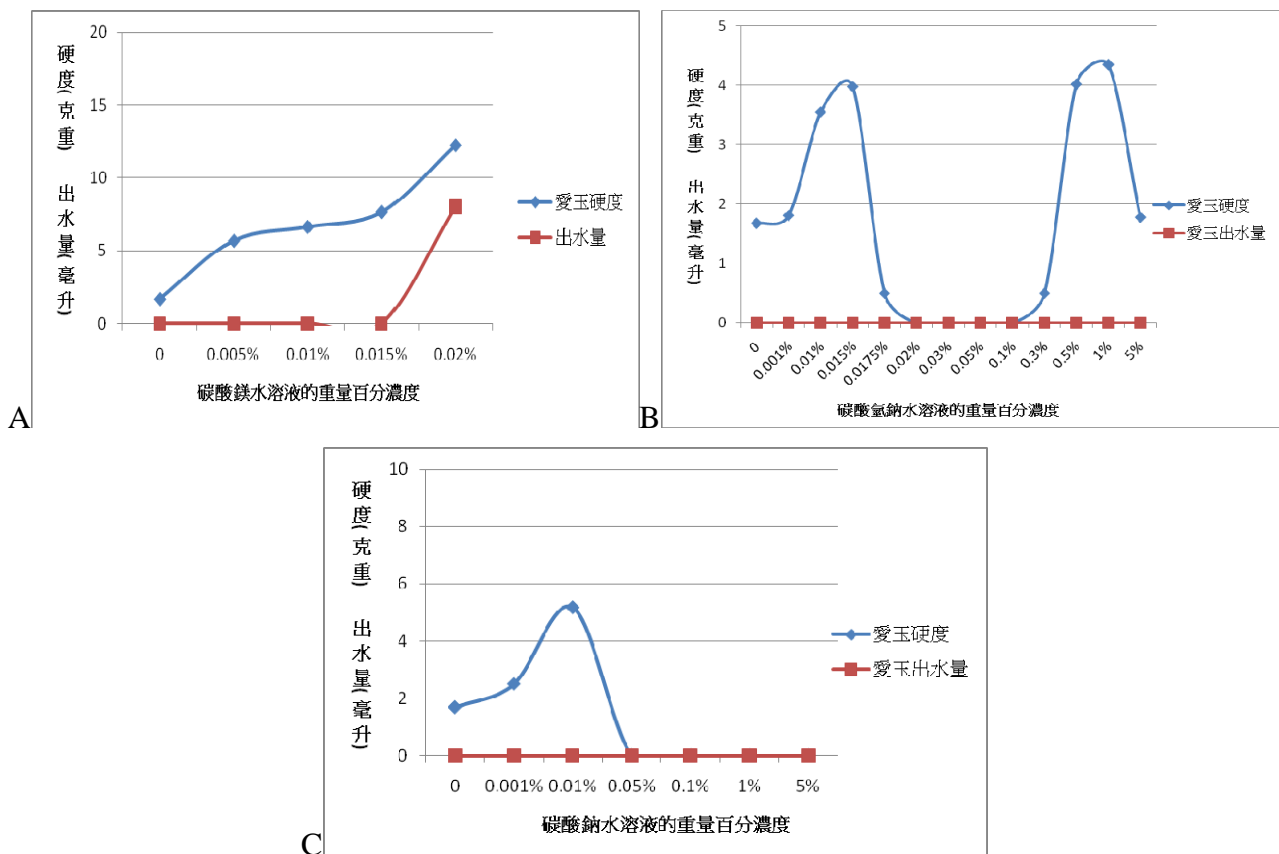
表二十六、使用碳酸鎂配製不同濃度的水溶液，製作的愛玉硬度 (*最高硬度)

| 濃度 | 0 | 0.001% | 0.01% | 0.015% | 0.017% | 0.02% | 0.03% | 0.05% | 0.1% | 0.3% | 0.5% | 1% | 5% |
|-----------|------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|------|------|--------------|------|------|
| 硬度(g) | 1.68 | 1.81 | 3.55 | 3.98 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 4.02* | 4.35 | 1.78 |
| 出水量(c.c.) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

表二十七、使用碳酸氫鈉配製不同濃度的水溶液，製作的愛玉硬度 (*最高硬度)

| 濃度 | 0 | 0.001% | 0.01% | 0.1% | 0.5% | 1% | 5% |
|-----------|------|--------|--------------|------|------|----|----|
| 硬度(g) | 1.68 | 2.5 | 5.18* | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 出水量(c.c.) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

表二十八、使用碳酸鈉配製不同濃度的水溶液，製作的愛玉硬度 (*最高硬度)



圖二十二、不同濃度的碳酸鹽水溶液製作的愛玉硬度及出水量：A. 碳酸鎂 B. 碳酸氫鈉 C. 碳酸鈉

(三) 硫酸鹽：硫酸鈣、硫酸鎂 (表二十九~三十、圖二十三)

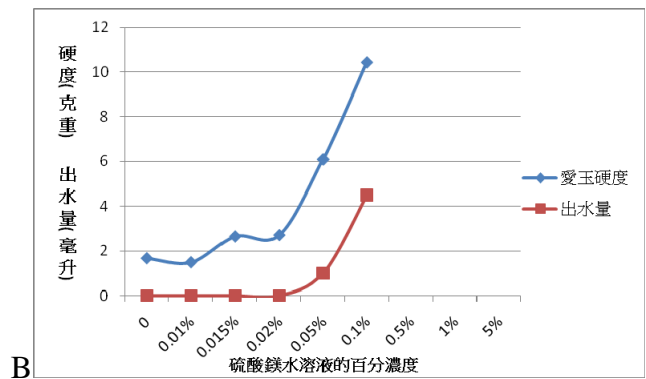
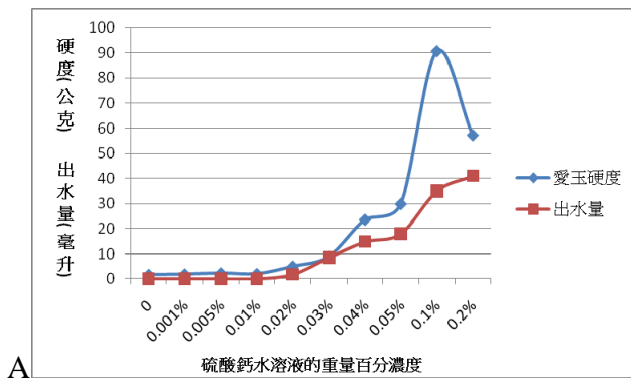
硫酸鈣水溶液製作的愛玉在 0.1%時硬度達 90.7g，不過大量出水，濃度再增加則硬度遽降；硫酸鎂水溶液在 0.5%的濃度以上，做出來的愛玉加壓後會嚴重變形滲水，無法測試硬度。

| 濃度 | 0 | 0.001% | 0.005% | 0.01% | 0.02% | 0.03% | 0.04% | 0.05% | 0.1% | 0.2% |
|------------|------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 硬度(克) | 1.68 | 1.88 | 2.32 | 2.04 | 5.02 | 8.95 | 23.67 | 29.99 | 90.7* | 57.26 |
| 出水量 (c.c.) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.75 | 8.5 | 14.8 | 18 | 35 | 41 |

表二十九、使用硫酸鈣配製不同濃度的水溶液製作的愛玉硬度及出水量 (*最高硬度)

| 濃度 | 0 | 0.01% | 0.015% | 0.02% | 0.05% | 0.1% | 0.5% | 1% | 5% |
|------------|------|-------|--------|-------|-------|-------|-------------------|----|----|
| 硬度(克) | 1.68 | 1.5 | 2.66 | 2.72 | 6.1 | 10.44 | 加壓後，嚴重變形及出水，無法測硬度 | | |
| 出水量 (c.c.) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4.5 | | | |

表三十、使用硫酸鎂配製不同濃度的水溶液製作的愛玉硬度及出水量



圖二十三、不同濃度的硫酸鹽水溶液製作的愛玉硬度及出水量：A. 硫酸鈣 B. 硫酸鎂

(四) 醣類：葡萄糖、澱粉液 (表三十一~三十二、圖二十四)

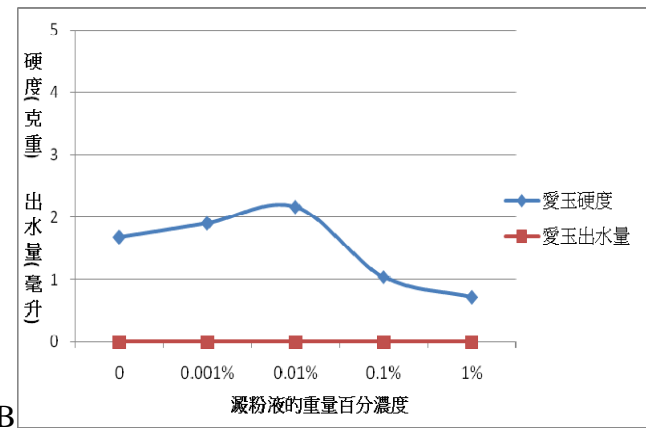
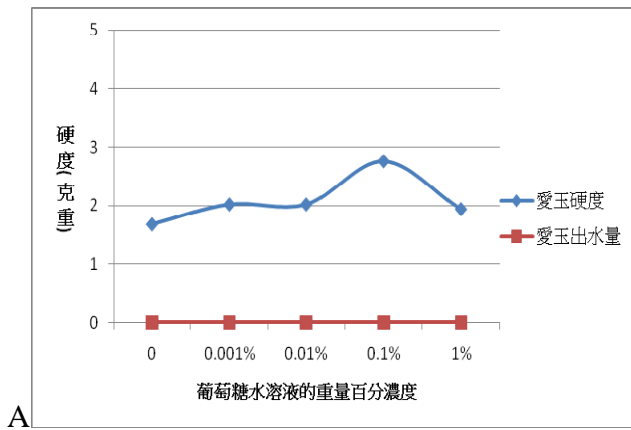
葡萄糖水溶液僅在 0.1% 時硬度稍高，有 2.76g；澱粉液在 0.01% 時硬度略提高，有 2.16g。

| 濃度 | 0 | 0.001% | 0.01% | 0.1% | 1% |
|-----------|------|--------|-------|-------|------|
| 硬度(克) | 1.68 | 2.02 | 2.02 | 2.76* | 1.94 |
| 出水量(c.c.) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

表三十一、使用葡萄糖配製不同濃度的水溶液製作的愛玉硬度 (*最高硬度)

| 濃度 | 0 | 0.001% | 0.01% | 0.1% | 1% |
|-----------|------|--------|-------|------|------|
| 愛玉硬度(克) | 1.68 | 1.9 | 2.16* | 1.04 | 0.72 |
| 出水量(c.c.) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

表三十二、使用澱粉液配製不同濃度的水溶液製作的愛玉硬度 (*最高硬度)



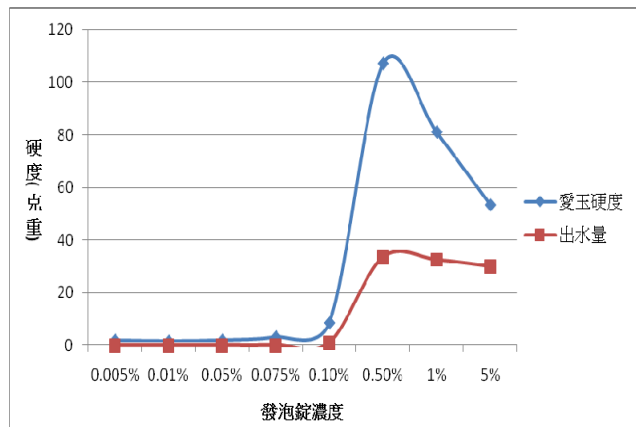
圖二十四、不同濃度的醣類水溶液製作的愛玉硬度及出水量：A. 葡萄糖 B. 澱粉

(五) 其他：營養發泡錠 (表三十三、圖二十五)

以 0.5% 的發泡錠水溶液製作的愛玉最硬，達 106.98 克，0.1% 的發泡錠水溶液製作的愛玉硬度足夠 (8.6 g)，且只有些微出水 (1 c.c.)。

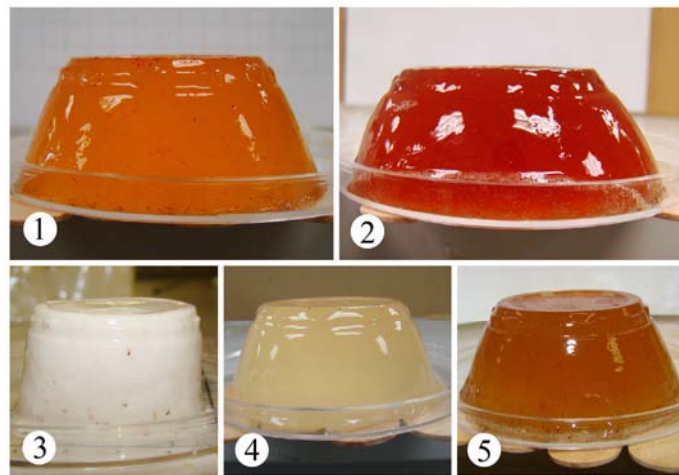
| 濃度 | 0 | 0.005% | 0.01% | 0.05% | 0.075% | 0.1% | 0.5% | 1% | 5% |
|-----------|------|--------|-------|-------|--------|------|---------|-------|-------|
| 愛玉硬度(克) | 1.68 | 1.98 | 1.64 | 2 | 3.2 | 8.6 | 106.98* | 80.97 | 53.34 |
| 出水量(c.c.) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 33.5 | 32.5 | 30 |

表三十三、使用營養發泡錠配製不同濃度的水溶液製作的愛玉硬度 (*最高硬度)



圖二十五、不同濃度的營養發泡錠水溶液製作的愛玉硬度及出水量

八、探討不同濃度的飲料製作的愛玉硬度（調整飲料濃度，以標準愛玉製作流程製作愛玉）
（表三十四、圖二十六~二十七）

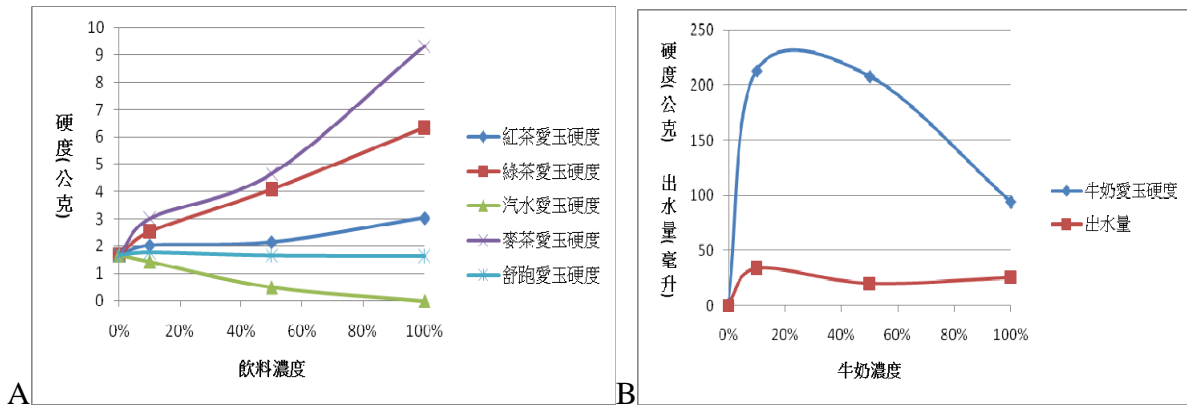


圖二十六、使用不同濃度的飲料製作的愛玉：1.綠茶愛玉 2.紅茶愛玉
3.牛奶愛玉 4.舒跑愛玉 5.麥茶愛玉

使用不同濃度的飲料製作愛玉，綠茶和麥茶效果最好（硬度分別是 6.34g 及 9.32g），汽水不能凝凍，牛奶製作的愛玉硬度過高（93.98g），10% 的牛奶製作的愛玉硬度更高達 213g 且大量出水。

| 飲料 濃度比例 | 牛奶 | 紅茶 | 綠茶 | 汽水 | 麥茶 | 舒跑 |
|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 100% | 93.98 / 25.5 | 3.04* / 0 | 6.34* / 0 | 0 / 0 | 9.32* / 0 | 1.64 / 0 |
| 50% | 208 / 20 | 2.16 / 0 | 4.09 / 0 | 0.5 / 0 | 4.66 / 0 | 1.66 / 0 |
| 10% | 213* / 34 | 2.04 / 0 | 2.54 / 0 | 1.44 / 0 | 3.02 / 0 | 1.78* / 0 |
| 0% | 1.68 / 0 | 1.68 / 0 | 1.68 / 0 | 1.68* / 0 | 1.68 / 0 | 1.68 / 0 |

表三十四、使用不同濃度的飲料製作的愛玉硬度及出水量（硬度 / 出水量）
（硬度單位：克；出水量單位：c.c.；*最高硬度）



圖二十七、使用不同濃度的飲料製作的愛玉硬度及出水量：

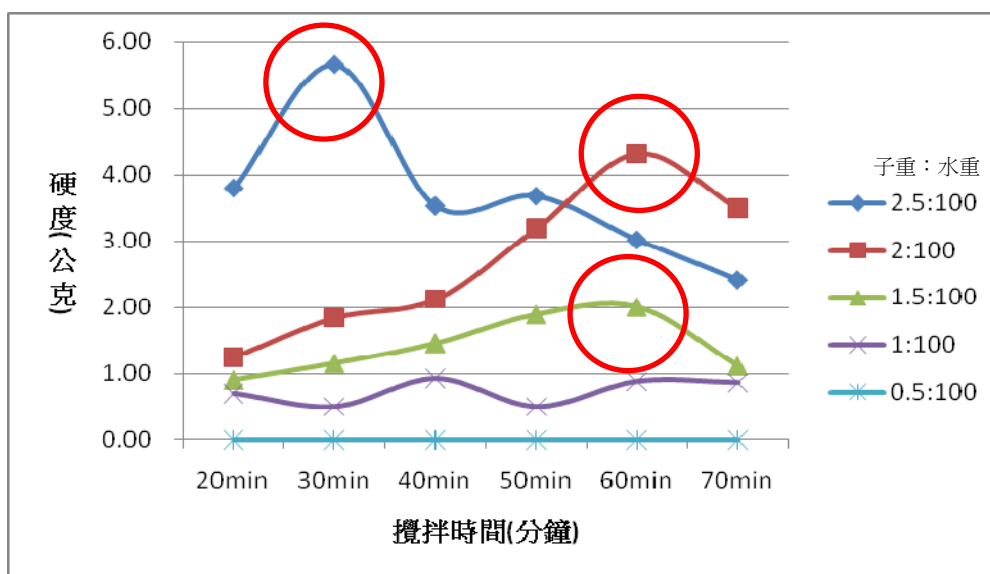
A. 紅茶、綠茶、汽水、麥茶、舒跑 B. 牛奶

九、最佳溫度下，減少愛玉子的量對愛玉造成的影響（用 RO 水、40°C、不同子量、攪拌時間，以標準愛玉製作流程製作愛玉）（表三十五、圖二十八）

結果顯示當子重：水重 = 2.5：100 時，攪拌 30 分鐘可達最高硬度 5.66g，當子重：水重降到 2：100 及 1.5：100 時，須攪拌 60 分鐘才有最高硬度分別為 4.31g 及 2g。由此可知，子量多時，攪拌所需時間短，硬度也高；子量少，攪拌時間較長、硬度也低。但當子量太少時（ $\leq 1：100$ ），增加時間也未必凝凍或硬度很低。

| 攪拌時間 子重：水重 | 20min | 30min | 40min | 50min | 60min | 70min |
|---------------|-------|--------------|--------------|-------|--------------|-------|
| 2.5:100 | 3.80 | 5.66* | 3.53 | 3.68 | 3.02 | 2.42 |
| 2:100 | 1.25 | 1.84 | 2.12 | 3.19 | 4.31* | 3.49 |
| 1.5:100 | 0.91 | 1.16 | 1.46 | 1.89 | 2* | 1.12 |
| 1:100 | 0.7 | 0.5 | 0.92* | 0.5 | 0.88 | 0.86 |
| 0.5:100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

表三十五、最佳溫度下，不同比例的子重：水重、不同攪拌時間製作的愛玉硬度（單位：克；*最高硬度）

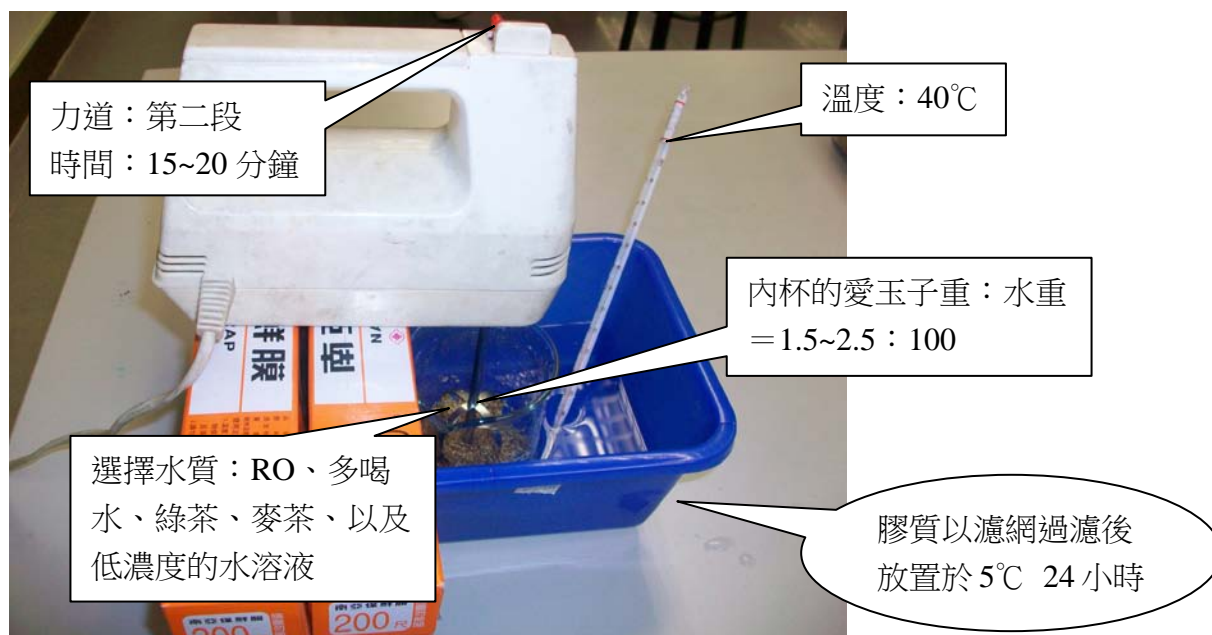


圖二十八、最佳溫度下，不同比例的子重：水重、不同攪拌時間製作的愛玉硬度（○最高硬度）

十、改良愛玉製作方法

以 RO 水及先前實驗中的幾種最佳水質，用電動打蛋器、溫度 40°C、以中等力道攪拌 15~20 分鐘（圖二十九），並將愛玉子減少，最後將膠質濾出後以放置於 5°C 24 小時，期望設計出省子、省時、硬度足夠（>3.66g）的做法，供大眾參考。實驗結果列於表三十六。

結果顯示，給予足夠的時間，RO 水也能製作硬度足夠的愛玉，不過我們仍建議使用像多喝水這種礦物質豐富的礦泉水；此外，若要製作特殊風味的愛玉，綠茶、麥茶的效果不錯；我們也推薦使用 0.05% 的營養發泡錠水溶液製作愛玉，這種方法是一般家庭中容易辦到的製作方法。



圖二十九、以電動打蛋器改良愛玉製作的方法

| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------------|---------------|--------------|--------------|----------------|--------------|
| 水質 | RO | 多喝水 | 綠茶 | 麥茶 | 氯化鈣 0.02% | 氯化鈉 0.1% | 氯化鎂 0.01% |
| 子重：水重 | 1.5 : 100 | 1.5 : 100 | 2 : 100 | 2 : 100 | 1.5 : 100 | 1.5 : 100 | 1.5 : 100 |
| 時間（分鐘） | 60 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 愛玉硬度（克） | 4.31 | 7.59 | 6.13 | 5.8 | 12.16 | 5.77 | 3.69 |
| 水質 | 碳酸氫鈉 0.1% | 碳酸鈉 0.1% | 碳酸鎂 0.005% | 硫酸鈣 0.02% | 硫酸鎂 0.05% | 營養發泡錠 0.05% | |
| 子重：水重 | 2.5 : 100 | 2.5 : 100 | 1.5 : 100 | 1.5 : 100 | 1.5 : 100 | 1.5 : 100 | |
| 時間（分鐘） | 20 | 20 | 15 | 15 | 15 | 20 | |
| 愛玉硬度（克） | 5.76 | 4.04 | 4.5 | 8.84 | 5.46 | 8 | |

表三十六、使用打蛋器、各種水質、40°C、減少子量及攪拌時間製作愛玉的最佳條件

伍、討論

愛玉凝膠酵素—果膠酯酶作用原理在前人研究中已大致了解，但過去研究著重在酵素萃取、活性測量、生成機制等，實際做出的果凍品質卻缺乏一套有效而標準的測試系統，有些研究用嘴巴咬、或加壓看變形等，都不夠精準。因此，本實驗嘗試多種新方法測試硬度，最後發展出以線鋸方式，將切開愛玉所需重量作為硬度數據，解決愛玉硬度測量不易的問題。

結果顯示，愛玉子表面藉擠壓摩擦、水流旋轉等方式可溶出愛玉膠，有文獻指出，改裝過後的洗衣機也能製作愛玉（李柏宏，2000）。而打破愛玉子會使抑制凝固的物質流出，文獻指出此為果膠酯酶抑制劑（李佳佩，2001）；此外，加熱不能製作愛玉，推測果膠酯酶在 100℃ 下失去活性。我們測試幾種不同水質，發現礦物質含量最高的多喝水效果最好，RO 水做的愛玉較軟，因為水中沒有礦物質。

膠質溶出最快的溫度是 40℃，此溫度下，即使是 RO 水也能做出硬度很高的愛玉，因此，推測手搓愛玉之所以效果好，可能是手上的溫度剛好適合。此外，愛玉凝固的溫度 20℃ 以下較佳，28℃ 則不適合。如果將愛玉膠質進行各種溫度處理，則對愛玉硬度影響不大，推測果膠酯酶在攪拌時就已經發揮作用，攪拌完畢即功成身退。

我們發現只要添加微量的油或將愛玉膠質倒入塗有油的容器，都會阻礙凝固，可能因為果膠分子在有油脂的環境中溶進油裡，不易與水中的礦物質離子鍵結。

以各種水溶液製作愛玉，0.1%氯化鈣、1%氯化鎂、0.5%氯化鈉、0.02%碳酸鎂、0.1%硫酸鈣或 0.1%硫酸鎂，可做出非常硬的愛玉，文獻指出，適當的鹽類濃度對果膠酯酶有促進功效，但濃度過高會造成活性降低（林讚標，1991），本實驗測得的硬度結果與文獻相符，但在應用上，不需做這麼硬的果凍，且這些愛玉嚴重出水，賣相不佳，建議降低濃度。

特別的是，碳酸氫鈉水溶液做出來的愛玉在 0.01% 及 1% 時有兩個高峰，在 0.02~0.1% 間不凝固，推測因酸鹼度、或果膠分子形狀改變造成與離子鍵結受阻，碳酸鈉在濃度 0.05% 時就無法凝膠，可能是碳酸鈉與水中的鈣形成不溶於水的碳酸鈣。另外，0.5% 硫酸鎂水溶液製作的愛玉形狀完整，但受壓的果凍並非脆裂而是變形然後滲水，可能因為鎂與鈣離子大小不同，鍵結形成架橋的強度也不同，在應用上，鎂離子可能使愛玉更有彈性。

以市售營養發泡錠製作愛玉的效果，結果類似其他鹽類，最佳凝固濃度為 0.5%，但大量出水，可能因為發泡錠中鹽類成分在特定濃度下，也會促使果膠酯酶作用而凝膠。

酸鹼度部分，文獻指出果膠酯酶的活性在不含或含微量 NaCl 時，pH = 6.5~7 時效果最佳（林讚標，1991），不過本實驗發現在 pH = 11 的氫氧化鈉水溶液做出的愛玉最硬，推測愛玉膠質是酸性的，鹼性環境恰好將酸度中和。

我們使用各種飲料製作愛玉，以麥茶與綠茶最佳，紅茶與舒跑效果普通，汽水不能做愛玉，而牛奶愛玉硬度過高且大量出水，這可能與牛奶複雜的成分有關。

在 40°C 的最佳溫度下，愛玉子量多時，達到最高硬度所需的時間越短，且愛玉硬度較高；當愛玉子量少時，所需時間長，愛玉硬度也較低。推測攪拌時果膠會溶出，並開始和鈣離子鍵結；當愛玉子較少、溶液中的果膠量不夠時，和鈣離子鍵結的機會也低，因此需要更長的時間充分溶出果膠，不過子量越少，愛玉硬度也較軟。

陸、結論

- 一、愛玉子及果柄泡水後會從表面產生一透明薄膜，並釋出膠質。釋出的愛玉膠質為酸性、含還原糖、不含澱粉。
- 二、利用本實驗設計的「硬度測試裝置」可以有效測出果凍的硬度，測試過市面上的果凍類食品發現，硬度在 3.66~17.71g 間，此硬度可能較適合消費者的喜好。
- 三、最適合做愛玉的水質為礦物質含量較高的礦泉水（本實驗中為多喝水），此礦物質可能是鈣離子或鎂離子，RO 水做成的愛玉硬度較差。
- 四、製作愛玉的方法以手搓效果最好；不過電子加熱攪拌器攪拌 40 分鐘有接近手搓的水準，而處理時間過久則會破壞凝固。加熱會使酵素失去活性，也無法製作愛玉；果汁機、調理機會打碎愛玉子，釋出果膠酯酶抑制劑，因此也不適合製作愛玉。
- 六、40°C 是溶出膠質的最佳溫度，RO 水也能做出硬度高的愛玉；靜置溫度以 20°C 以下較佳；若膠質已溶出完畢，再以各種溫度處理，對愛玉的硬度影響不大。
- 七、無論是攪拌時或冷卻時添加油脂都會使愛玉凝固變差。
- 八、鹽酸、醋酸水溶液的 pH 值越低，做出的愛玉硬度越低，醋酸影響較鹽酸顯著；氫氧化鈉水溶液在 pH = 11 做出的愛玉硬度最高。

九、下表為製作愛玉「硬度最高」及「硬度較佳」的水溶液濃度

| | 氯化鈣 | 氯化鎂 | 氯化鈉 | 碳酸鈉 | 碳酸鎂 | 碳酸氫鈉 | 硫酸鈣 | 硫酸鎂 | 營養發泡錠 |
|----------------|----------------|---------------|------|-------|--------|------|-------|-------|-------|
| 最高硬度 | 0.1% | 1% | 0.5% | 0.01% | 0.02% | 0.1% | 0.1% | 0.1% | 0.5% |
| 最佳硬度 (且不出水) | 0.03~ 0.04% | 0.01~ 0.1% | 0.1% | 0.01% | 0.015% | 0.1% | 0.01% | 0.02% | 0.1% |

- 十、以各種飲料製作愛玉，綠茶與麥茶最適合、汽水無法凝固，牛奶硬度過高。
- 十一、當愛玉子量多時，製做出最高硬度所需的攪拌時間短，且硬度高；當愛玉子量少時，所需時間長，硬度也較低，不過愛玉子的量不宜太少，否則硬度太差或無法凝凍。
- 十二、用電動打蛋器搭配最佳水質、溫度，可有效減少愛玉子消耗及攪拌時間，如此便能降低愛玉製作成本、精確控制愛玉品質，改裝後也有機會量產，將愛玉製作普及一般大眾。

柒、參考資料及其他

1. 林讚標（1991）。愛玉子專論。行政院農委會林業試驗所。
2. 李柏宏（2000）愛玉子凝膠性質及愛玉品質之研究。國立臺灣大學農業化學研究所博士論文，台北市。
3. 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。國立台灣大學食品科技研究所碩士論文，台北市。
4. 行政院農委會網站 <http://www.coa.gov.tw/>

【評語】 030804

本作品以鄉土材料“愛玉凍”的製作為出發點，探討愛玉凝膠的最後硬度之量測，為了量測而設計簡單的切割工具，以及加入不同礦物質（氯化鎂、氯化鈣、氯化鈉）等對製作的影響，各項實驗都有設計與執行成果，且可以應用，故予以推薦。