

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 化學科

080205

「蒟」世無雙～添加物對「蒟蒻」凝膠性質之
影響

學校名稱：新北市雙溪區柑林國民小學

作者： 小六 林郁樺 小六 林詩儒 小六 魏沛萱 小六 邱苡庭	指導老師： 劉秋燕
---	--------------

關鍵詞：魔芋、凝膠、添加物

摘要

蒟蒻，在日本被稱為「腸胃清道夫」，本研究發現添加物可改變蒟蒻的凝膠性質，善用其凝膠性可開發蒟蒻創意用途。

首先藉由自行設計的硬度、彈性等測試器具進行物性測試，操縱變因包含蒟蒻濃度、鹼液 pH 值、鹼粉(鹽類)種類、常見添加物、天然色素、貯存方式等。研究發現**蒟蒻濃度與 pH 值是影響品質的關鍵**，**膠體 pH10 以上有助於固化成型**。糖的添加會使凝膠性下降，但**鹽巴有助於凝膠**，實驗中發現 Na^+ 優於 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ，這些現象符合陽離子可提供交聯作用的模型，提出蒟蒻電池是可開發的環保微型電池。利用天然色素可增添蒟蒻視覺性與特殊風味，採用酸鹼中和易使蒟蒻外表扭曲變形，採**冷凍儲存方式會有離水現象**使組織呈纖維網絡海綿狀，可做成蒟蒻海綿。

壹、前言

一、研究動機

今年暑假我們想做冰涼的蒟蒻果凍，結果我們購買的蒟蒻粉竟然無法凝固，**奇怪蒟蒻粉和蒟蒻果凍粉不同嗎？**好奇的我們上網蒐集資料才知道他們製作方法與凝膠特性竟然完全不一樣。「蒟蒻」是一種稱為「**魔芋**」的植物，真是奇怪的名字，勾起我們想一探究竟的好奇心。

我們是一群喜愛探索新鮮東西的小孩，超市裡賣的蒟蒻塊有一股異味，是甚麼造成呢？可以利用**天然色素讓蒟蒻增添顏色嗎？**我們試著添加綠色奇異果汁、紅色甜菜根汁與番茄汁，原以為蒟蒻會有漂亮的顏色和口味，結果竟然噴濺得亂七八糟完全無法凝固？而且蒟蒻**顏色變化**出乎想像，製作過程顏色一直在改變，實在很神奇，為何顏色會變變變呢？**冰到冷凍庫**更是發現超奇妙的現象，**到底影響蒟蒻凝膠品質的因素是什麼？**這真是一連串有趣的蒟蒻凝膠探索之旅，最後我們想依據研究結果的蒟蒻特性**開發創意蒟蒻新用途**，例如：冷凍後做成**蒟蒻海綿**、蒟蒻添加物的離子與電解質等想到**蒟蒻電池**的可行性，做為日後延伸研究。

★與課程相關單元：

自然與生活科技五下第三單元水溶液、六下第二單元物質的變化（翰林版）

二、研究目的與問題

研究目的：

- (一) 瞭解蒟蒻的成分與製作方法。
- (二) 探討影響蒟蒻凝膠品質的因素與製作比例。
- (三) 探討常見的調味料(糖、鹽、米酒)等偏中性溶液對蒟蒻塊凝膠現象的影響性。
- (四) 探討中性鹽 NaCl、MgCl₂、CaCl₂對蒟蒻塊凝膠現象的影響性。
- (五) 探討鹼性、酸性、酸鹼中和溶液對蒟蒻凝膠現象的影響性。
- (六) 探討花青素、荳紅素、葉綠素、薑黃素、類胡蘿蔔素對蒟蒻色澤與品質的影響性。
- (七) 探討貯存方式與溫度對蒟蒻塊的凝膠品質的影響性。
- (八) 依據研究結果開發創意蒟蒻新用途，例如:蒟蒻海綿、蒟蒻電池等作為日後延伸研究之方向。

研究問題：

- (一) 市售蒟蒻是什麼物品做的？成分為何？如何手工製作蒟蒻塊？
- (二) 蒟蒻粉加水會形成什麼現象？蒟蒻溶液是酸性還是鹼性？
- (三) 製作過程中加鹼性水溶液對蒟蒻凝膠有何影響性？鹼液 pH 值越大有助凝膠嗎？
- (四) 糖水、鹽水、酒精等偏中性溶液對蒟蒻凝膠有影響嗎？
- (五) 製作過程中可以加酸性物質嗎？對蒟蒻凝膠有何影響性？
- (六) 如果要製作彩色的蒟蒻，但不想添加人工色素，可以添加哪些天然的色素呢？
- (七) 天然色素中花青素(紫高麗菜、黑枸杞、蝶豆花、黑豆水)、荳紅素(甜菜根、紅肉火龙果)、薑黃素(薑黃粉)、類胡蘿蔔素(紅蘿蔔、南瓜)、葉綠素(地瓜葉、珍珠菜)等對蒟蒻塊的色澤與口感可以被大眾所接受嗎？
- (八) 蒟蒻應該如何保存呢?貯存溫度(室溫、冷藏、冷凍)對蒟蒻塊的品質有影響嗎？
- (九) 創意的各式彩色蒟蒻製品除了健康可食用的價值外，是否還有其他用途？

三、文獻回顧

(一)認識市售蒟蒻製品材料

提問：蒟蒻粉和蒟蒻果凍粉一樣嗎？

蒟蒻粉和蒟蒻果凍粉不一樣。

- 1.純蒟蒻粉是不會凝固的，必須添加鹼粉，才会有凝固作用。
- 2.蒟蒻果凍粉是添加有蒟蒻粉的果凍粉，一般是鹿角菜膠和蒟蒻粉的混合粉末。

討論：

我們發現蒟蒻粉的價差很大，超市買的**蒟蒻有異味**，網路上說有些還**添加二氧化硫**，蒟蒻粉在去除澱粉、提高葡甘露聚糖的含量時，為了防止其氧化與褐變，有些業者會採用**燻硫**的方式，再使用酒精純化技術除去不純物質。為了成本部分業者勿用非食品級的鹼粉，真是太可怕了，為了健康我們決定自己製作，並了解蒟蒻的凝膠機制。

凝膠（凍結、不可動）是一種「非流動性的膠態網絡，是一種交聯系統，連接一個聚合體與其它聚合物的鍵，稱為「交叉鏈接」又分為「熱可逆凝膠、熱不可逆凝膠」。

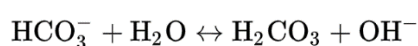
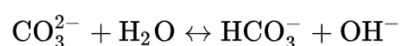
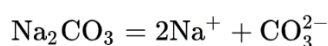
本研究的蒟蒻膠體一旦煮成蒟蒻塊即屬於熱不可逆凝膠，與前人研究的果凍類(吉利丁、洋菜、鹿角菜膠、石花菜等)不同，果凍類加熱後會融化再度變為液態化是屬於熱可逆凝膠。

表一、蒟蒻粉及蒟蒻凍粉之差異

	蒟蒻粉	蒟蒻凍粉
組成	純蒟蒻粉	蒟蒻粉、洋菜其他膠體混合物
熱可逆性	不可逆	可逆
凝膠機制	加鹼、加水、再經加熱後即可凝膠	膠體間交互作用，使所有膠體溶解之後冷卻即可凝膠
加工產品	蒟蒻乾、蒟蒻麵	果凍甜點、鹹品凍類

提問：一般市面上蒟蒻粉的副成分「鹼粉」是什麼？可以使用其他鹼性物質來凝膠嗎？

1. 市面上的蒟蒻所使用的鹼粉有「食品級**碳酸鈉** (Na₂CO₃)」、「食品級**氫氧化鈣** Ca(OH)₂」，食品用等級的化學藥品，則必須符合《食品化學法典》(FCC) 的國際認證標準。**有些廠商會誤用非食品級是非常危險的食安問題。**
2. 「食品級**碳酸鈉** (Na₂CO₃)」在水溶液中水解，電離出的碳酸根離子與水中氫離子結合成碳酸氫根離子，導致溶液中氫離子減少，剩下電離的氫氧根離子，所以溶液 pH 顯鹼性。



3.討論:採用食品添加物如:食品級的 K_2CO_3 、 $NaHCO_3$ 、 $NaOH$ ，是不是也能使蒟蒻凝膠固化成塊狀呢?值得本研究實驗測試。

(二)蒟蒻粉的特性

提問：蒟蒻粉的成分是什麼？



(取自 Shutterstock 免費圖片)

1.蒟蒻（學名：Amorpha Hallus konjac），天南星科魔芋屬，蒟蒻粉是取自魔芋，魔芋根莖（蒟蒻塊莖）富含具有高度黏性和膨脹力的水溶性纖維，魔芋根莖首先將其乾燥，然後研磨成細粉，最終產品是「葡甘露聚醣粉」的食物纖維，熱量非常低。

2. 根據資料:蒟蒻芋本身具有大量的草酸，具有生物毒性，不可直接生食，需要經過磨碎、水洗、添加食品級的氫氧化鈣或碳酸鈉、煮沸，加工後的蒟蒻後方可食用。

3.魔芋粉是白色或奶油淡棕黃色粉末，無臭、無味。可分散於水中，加熱和攪拌可提高溶解度，其水溶液有很強的稠度。

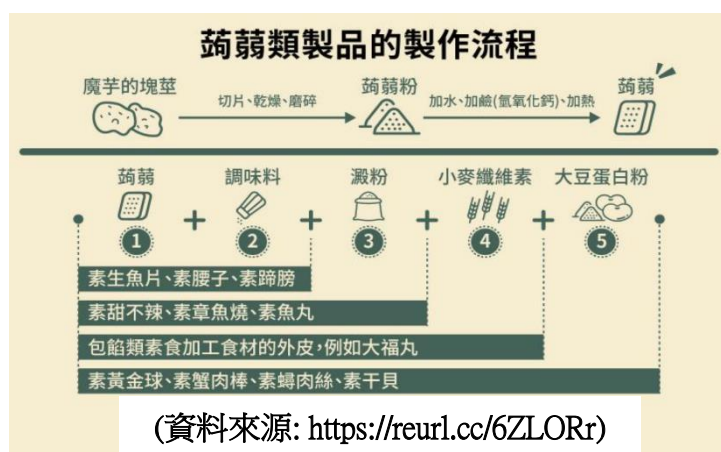
提問：目前市面上蒟蒻的應用為何？

1.蒟蒻可以加入各種調味料使他產生不同的味道，增加食用的美味。

2.加入澱粉、小麥纖維素、大豆蛋白粉做成素食店常見的素食食品。

3.蒟蒻具有增稠、增加Q度、高纖、耐煮、保水等特性。

4.魔芋作為食品的用途極廣泛：



1. 增稠劑和穩定劑可以添加到果凍、果醬、果汁、蔬菜汁、雪糕、冰淇淋及其他冷飲、固體飲料、調味粉和湯料粉中

2. 粘結劑可以添加到麵條、米線、肉丸、火腿腸、麵包和糕點中增強筋力和保持新鮮狀態

3. 凝膠劑可以添加到各種軟糖、牛皮糖和水晶糖中，還可以用來製作仿生食品

4. 用於冰淇淋的穩定劑，使口感平滑細膩

5. 餅乾、蛋糕等的烘烤食品添加劑，使產品外觀光滑，質地疏鬆

6. 可增加線面的強度，增加麵條韌性

7. 作為食品保鮮劑，可抑制嗜氧性微生物的繁殖，延長蛋、肉、魚，水果和蔬菜保鮮期。

討論:

本研究是我們對蒟蒻凝塊的初次探究，我們重點放在蒟蒻凝膠機制的探究，以及天然添加物對蒟蒻片的品質與色澤變化，日後可再延伸探究加入澱粉、小麥纖維素、大豆蛋白粉……等的變化。

(三)本研究價值

- 1.本研究與前人的果凍類作品不同，蒟蒻的凝膠機制與製作方式，網路資料繁雜而未有明確的實驗數據驗證，蒐集到的資料大多提出以「去乙醯基」作為凝膠原理，本研究實驗中發現 Na^+ 優於 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ，這些現象符合陽離子可提供交聯作用的模型，並試著提出蒟蒻電池是可開發的環保微型電池的可能性。
- 2.天然色素在鹼性條件與加熱前後的顏色多次變化未有前人探究原因，本研究提出製作方式供參考，實驗中也意外發現蒟蒻凝膠時加熱酸鹼值下降的現象。
- 3.冷凍蒟蒻時內部纖維的變化建議可作為蒟蒻海綿，本研究除了食用外提出可以有其他用途，因此本實驗具有創意性與實用性。

貳、研究設備及器材

一、基本材料：

1. 本研究主體：蒟蒻（學名：Amorphophallus konjac），天南星科魔芋屬，多年生宿根性塊莖草本植物，本研究材料為蒟蒻粉(選購自米夏生活有機館，廠牌：博古企業公司進口「日本清水株式會社」產品)。(照片來源:維基百科/自攝)



2. 食品添加物(化學藥品)：碳酸鈉 Na_2CO_3 、氫氧化鈣 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、碳酸鉀 K_2CO_3 、小蘇打 NaHCO_3 、氫氧化鈉 NaOH 。以及添加物 NaCl 、 MgCl_2 、 CaCl_2
3. 常用調味添加物：鹽巴(台鹽)、糖(台糖)、米酒(台灣菸酒公司酒精度 22%)

4. 創意天然色素：除薑黃粉購自超市薑黃製品外，其餘皆取自天然植物

花青素(紫高麗菜汁、甜菜根、蝶豆花、黑豆水)

苜紅素(甜菜根、紅肉火龍果)

薑黃素(薑黃粉)-購自全聯超市薑黃粉

類胡蘿蔔素(紅蘿蔔、南瓜、番茄)

葉綠素(地瓜葉、珍珠菜)

5. 其他:咖啡、紅茶、天然水果(奇異果、蘋果、紫葡萄……等)。





二、器具：

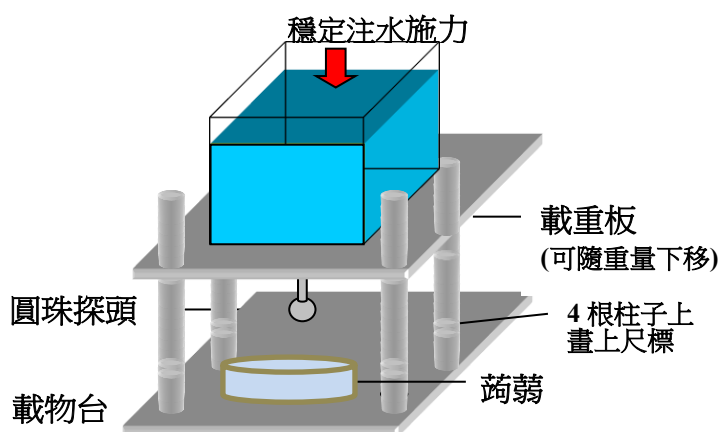
1.自製硬度測試器(圖一)

2.自製彈性耐壓力測試器(圖二)

3.自製切割力測試器(圖三)

4.其他:

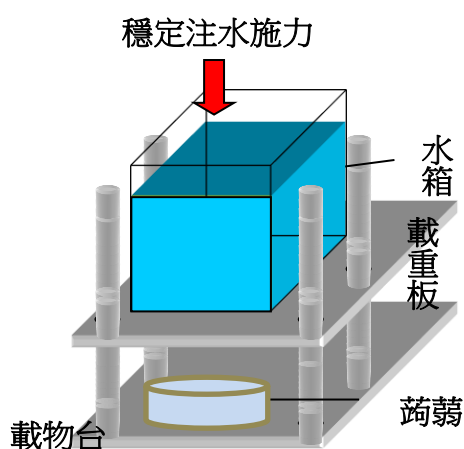
1.電鍋(大同牌) 	2.電動攪拌器 	3.電子式酸鹼計 	4. 電磁爐 	5.攪拌器 
6.天平 	7.微量電子秤(0.1克) 	8.電子秤 	9 按壓穩定注水抽水馬達 	10.切割力測量(自行設計) 
11.硬度測量器具(自行設計) 	12.耐壓度測量器(自行設計) 	13.蒟蒻電池用具: 小型電子錶、鎂片、銅片、三用電表、電線 	14.其他：溫度計、方形壓克力盒(1000ml)、計時器、標籤紙、篩網、燒杯(250ml、1000ml)玻璃攪拌棒、瓷湯匙、數位相機、玻璃試管、玻璃湯鍋、玻璃保鮮盒(475ml)錐形瓶、滴管、烘培專用刮刀木杵、保鮮膜、圓球探頭(8mm)	



操作說明:

- 1.將量測器放在電子秤上並架設錄影裝置。
- 2.在模型上方定速緩慢注入水量，觀測柱子上的尺標與探頭，直至探頭陷入蒟蒻內 1 公分時停止注水。
- 3.輔以錄影裝置，水的重量即為施力，**施力愈大，代表硬度越大。**

圖一 自製的硬度測量器



操作說明:

- 1.將蒟蒻塊下壓至原長度的一半，停滯 1 分鐘後鬆開施力。
- 2.觀察回彈 1 分鐘後回彈的高度，換算回彈率。回彈率越大代表彈性越佳。

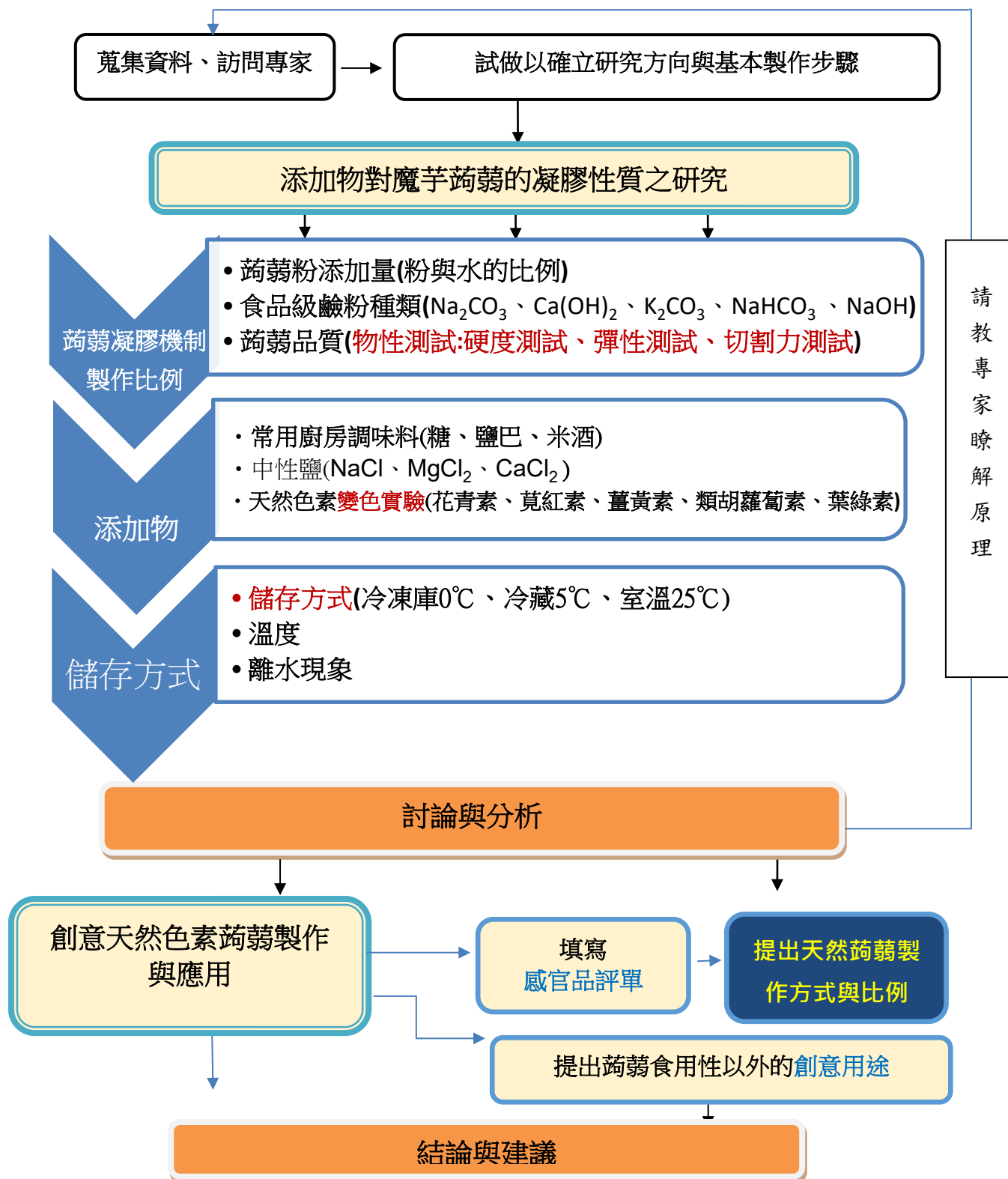
圖二 自製的耐壓力測量器

三、測量器具的設計與改良

改良次數	圖示	改良說明
第 1 代		第一代 尖式探頭 (直徑 6mm) 測試剛做好的蒟蒻是可行的，但是蒟蒻冷藏後變得很軟，無法操作。
第 2 代		第二代 鈍式探頭 (直徑 5mm) 1.蒟蒻冷藏後依然無法操作，還沒施力就已經陷入蒟蒻中 2.這種探頭陷入時會瞬間下陷，操作時不好觀察。
第 3 代		第三代 鈍式探頭 (直徑 8mm) 1.蒟蒻冷藏後已經可以使用 2.缺點:這種探頭陷入時會瞬間下陷，操作時不好觀察。
第 4 代		第四代 圓球式探頭 (直徑 10mm) 1.改良成球式探頭，下陷 10mm 剛好是直徑，比較好觀察，減少觀測時的誤差。2.缺點:蒟蒻冷藏後按壓表面凹陷且內部已經扁掉卻依然無法搓進去，代表直徑 10mm 球太大了。
第 5 代		第五代 圓球式探頭 (直徑 8mm) 目前採用此款來進行硬度測試，操作時易於觀測，透過錄影輔助觀察，可以精準紀錄下陷 1 公分時的施力

參、研究過程或方法

一、研究架構流程



圖三 研究架構圖

二、研究方法

測定方法如下:

(一) 硬度測試

1. 以平板攝影輔助觀測。
2. 蒟蒻製作完成後完成退鹼程序後，各取出三個蒟蒻塊測量，直接放在電子秤上扣重後在模型上方定速緩慢注入水量，直至探頭陷入蒟蒻內 1 公分時停止注水。
3. 觀察錄影畫面讀取探頭陷入蒟蒻內 1 公分時電子秤上的重量，即為施力。
4. 重複三個蒟蒻塊測量後求平均值，施力愈大，代表硬度越大。



(二) 彈性測試(按壓回彈率)

是指每壓一公分蒟蒻反彈高度的百分比，回彈率越大代表彈性愈佳。

1. 蒟蒻完成退鹼程序後各取出三個蒟蒻塊一一測量(每塊高 5 公分)。
2. 將蒟蒻下壓至原高度的一半(2.5 公分)停滯 1 分鐘後移開施力重物。
3. 觀察回彈 1 分鐘後回彈的高度，換算成回彈率。
4. 重複三個蒟蒻塊測量後求平均值，回彈率越大代表彈性越佳。



$$\text{回彈率} = \frac{\text{重壓後反彈的高度}}{\text{重壓前高度}-\text{重壓後高度}} \times 100\%$$

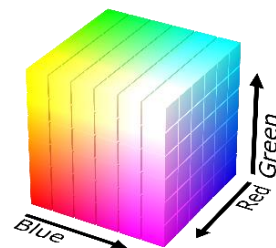
(三) 離水率/吸水率：

1. 放入冰箱前每一種樣品秤重。
2. 冷藏室:三天後取出冷藏室樣品再秤重，算出減少的重量。失重再除以原來的重量，即為失重的離水率。
3. 冷凍庫:三天後取出冷凍庫樣品，解凍後壓出內部孔隙內的水分再秤重，算出減少的重量。失重再除以原來的重量，即為失重的離水率。放入水中重新吸水，增加的重量可換算出吸水率。

(四) RGB 分析方法：

本研究利用拍照後，以電腦軟體讀取 RGB 數據並記錄。

RGB 意義：三原色光模式 (RGB color model)，又稱 RGB 顏色模型或紅綠藍顏色模型，一個顏色顯示的描述是由三個數值控制的，他分別為 R、G、B。但三個數值位為最大時，顯示為白色，當三個數值最小時，顯示為黑色。(資料來源:整理自「維基百科」)



(五)官能嗜好性品評

1. 採評分制，是一種「嗜好性」品評的方式，請家人、老師、同學…進行評分，主要是透過試吃者喜好，填寫試吃單，採評分制，品評項目以含外觀顏色(視覺)、氣味與風味(嗅覺)、咀嚼口感(味覺)、Q 彈性(觸覺)等來評分。
2. 採用五分制，每次樣品品評間隔 15 秒，並以溫水為消味劑。
3. 針對大眾喜好度做為製作時的參考依據。

實驗設計:

官能品評試吃單項目分為外觀(視覺)、氣味與風味(嗅覺)、質地組織(按壓觸覺)、口感(咀嚼性)，平均即為整體接受度。參加試吃人員為本校全校師生以及家長共 30 名，以及市區學校自願參加的高年級同學 50 名，有效問卷 68 份。

試吃者：_____

評分標準：非常喜歡為 5 分、喜歡 4 分、一般 3 分、不喜歡 2 分、非常不喜歡 1 分

試驗樣品編號	對照組 A	B	C	D	E
外觀顏色 (視覺)					
氣味與風味 (嗅覺)					
咀嚼口感 (味覺)					
Q 彈性 (觸覺)					
接受度 (平均)					

整體感覺：

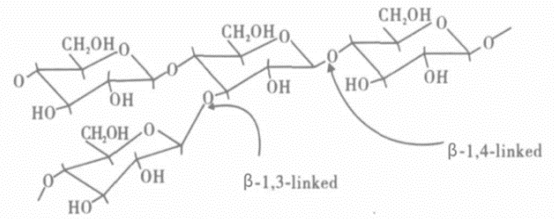
1. 我最喜歡的口味是編號：_____
2. 我最不喜歡的口味是編號：_____。我不喜歡的原因？_____

肆、研究結果

一、探討蒟蒻粉的凝膠原理

(一)蒟蒻的化學組成

蒟蒻成份有將近 80%都是聚葡甘露糖（konjac glucomannan）所組成，14%為水分、蛋白質為 1.7%。碳水化合物的主鏈為 D-甘露糖與 D-葡萄糖以 β -1,4 糖苷鍵鍵結而成，支鏈則有 β -1,3 的糖苷鍵鍵結，這種碳水化合物鍵結成的多醣是無法被人體的酵素消化吸收，因此蒟蒻熱量低。



(二)蒟蒻的吸水特性

1.在蒟蒻聚葡甘露糖的鍵結中具有許多的「羥基」，這樣讓蒟蒻的碳水化合物鏈上具有高度的親水性，可以吸附水分，因此將為加工的蒟蒻粉溶在水中會呈現黏稠的膠狀物質，而也是這樣的結構，讓蒟蒻具有高度的水含量。

2.從化學上講，葡甘露聚醣是由甘露糖和葡萄糖組成的纖維與其他膳食纖維相比具有最高的粘度和分子量，將葡甘露聚醣粉末放入水中時，會劇烈膨脹吸水，天然蒟蒻因為具有「乙醯基」，所以熱水中不凝膠，只是變成黏稠糊狀而已。

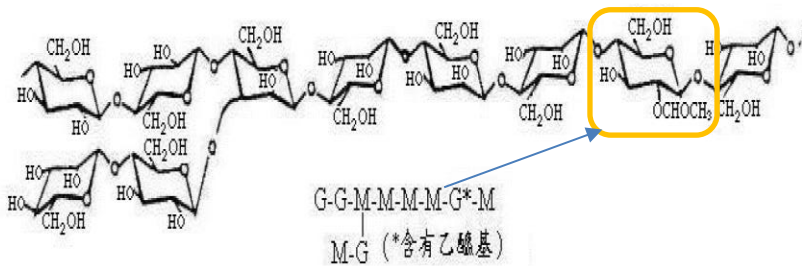
(三)蒟蒻凝膠機制

1.加鹼作用與加熱作用

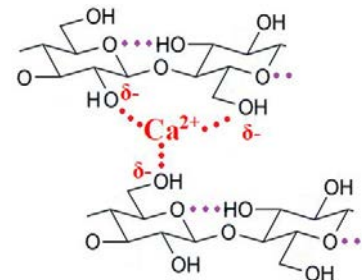
葡甘露聚糖主鍊上平均每隔 9~19 個單糖單位有一個乙醯基，加入鹼後，會將「乙醯基」脫除，加熱後產生熱不可逆的彈性膠體物質，而且加熱也不溶解的熱穩定凝膠。(如圖四)

2.交叉鏈接

溶液中若有陽離子，則當鹼性使鏈接(linking)產生陰離子，陰離子與金屬陽離子(Ca^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+})產生交聯(cross linking)而獲得一種特殊的凝膠，陽離子的添加可產生「架橋」使膠體結構更加穩定。(如圖五)



圖四 蒟蒻之化學結構-去乙醯基(賴鳴鳳等，1999)



圖五 交聯作用示意圖(自繪)

小結: 加水 → 加鹼 → 加熱

魔芋蒟蒻的製作必須加水吸水呈糊狀時加入鹼水溶液充分攪拌後，再加熱煮熟後凝膠固化。

二、探討影響蒟蒻凝膠品質的因素

【實驗一】蒟蒻粉濃度對蒟蒻溶液的 pH 值與蒟蒻膠體品質的影響性

提問：蒟蒻粉加水會有何現象？蒟蒻溶液是酸性還是鹼性？蒟蒻粉與水量調配比例？

實驗設計 操縱變因:蒟蒻粉重量(添加量為水量的 2%、3%、4%、5%)

結果

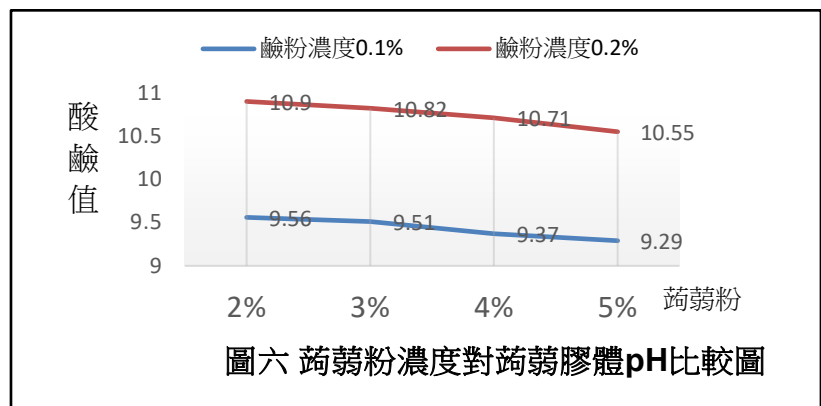
1.吸水凝膠情形:蒟蒻粉添加愈多，溶液越黏，凝膠速度也越快，水分很快被吸收而濃稠。以蒟蒻粉當基準量，水的添加若太高倍數呈流動性，實驗後發現為水量不要超過 50 倍比較好，也不要低於 25 倍，會太黏稠。

2.酸鹼性: 蒟蒻溶液是弱酸性，添加量高時大約 pH6.4。

(1)鹼粉 0.1%時:加入鹼粉後膠質溶液呈現鹼性，膠質溶液的 pH 值會隨蒟蒻粉添加量增加略為下降，但差異不明顯

(pH9.3~9.6)

(2) 鹼粉 0.2%時: 酸鹼值差異不明顯(pH10.6~10.9)。



討論:

- 並非越硬越好，從吸水情形以及試吃品評後提出:蒟蒻粉用量約為水分的 2~4%為佳。
- 蒟蒻粉吸水會逐漸變得粘稠，最後失去流動性而成為具有彈性的膠凍，溶液中的膠體粒子或聚合物在一定條件下互相連接，形成空間網狀結構，失去流動性能，此時若加熱水煮是無法凝固的。此結果與蒐集的資料符合。

【實驗二】食用鹼粉的添加量對蒟蒻塊品質有何影響性

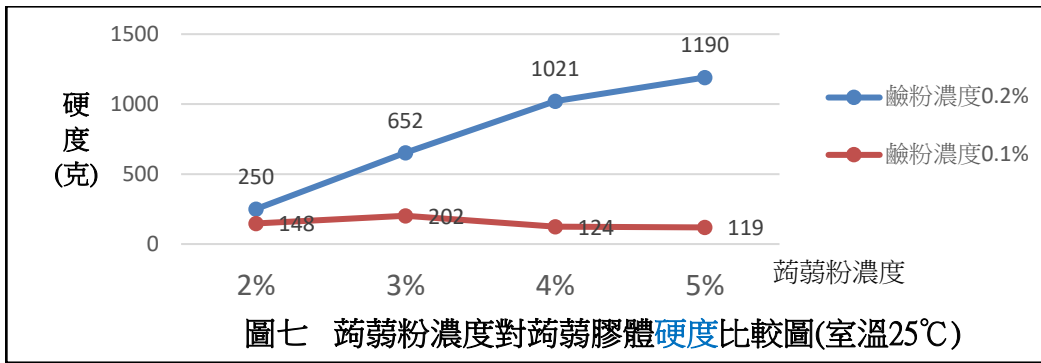
提問：鹼粉用量要添加多少才容易固化成型？品質如何？

實驗設計 操縱變因: Na_2CO_3 溶液(鹼粉溶液的濃度 0.05%、0.1%、0.2%)

結果

(一)硬度測試

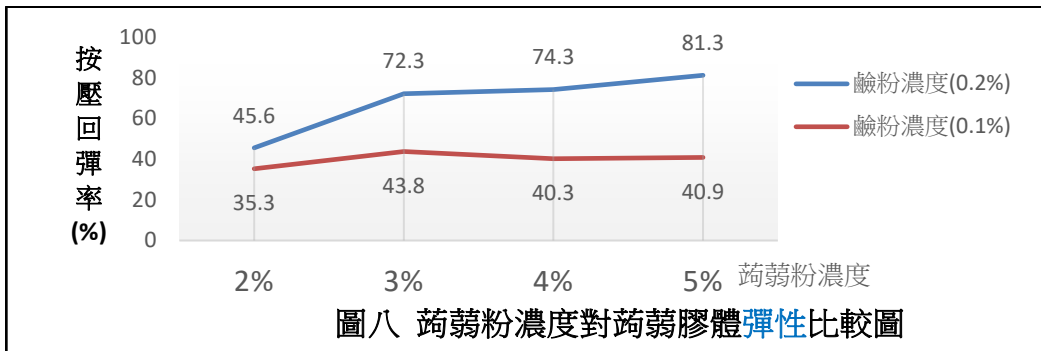
- 碳酸鈉水溶液的濃度(0.05%)時:蒟蒻軟爛無法操作。
- 在碳酸鈉水溶液的濃度(0.1%)時，硬度並不明顯。
- 在碳酸鈉水溶液的濃度(0.2%)時，有上升趨勢。



(二)彈性測試：

- 1.在碳酸鈉水溶液的濃度(0.1%)時，按壓回彈率不佳，都在 50%以下。
- 2.當碳酸鈉水溶液的濃度(0.2%)時，蒟蒻粉濃度 3%以上時，回彈率在七成以上。

討論:當鹼粉量不足時，膠體凝膠作用差，會影響蒟蒻凝膠的品質。

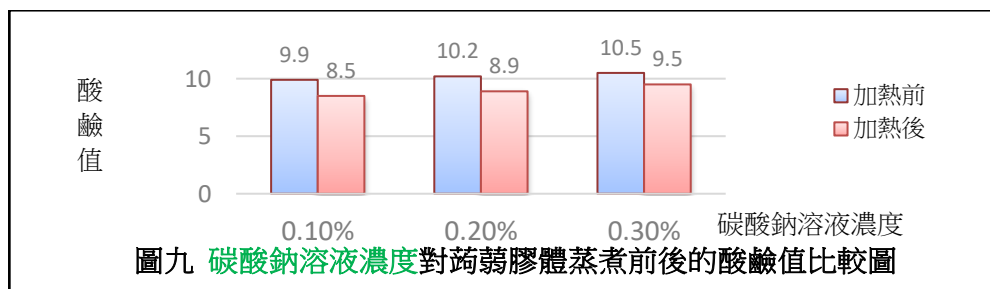


(三) 討論:pH 值與成型固化的觀察

1. 沒添加鹼粉無法凝結成塊狀。溶液的酸鹼值會隨鹼粉 (Na_2CO_3) 的添加量增加而鹼性增強。
2. 當 Na_2CO_3 溶液的酸鹼值為 pH9 時，蒟蒻膠質溶液會降到 pH9 以下，此時發現不論蒟蒻粉添加的重量百分比濃度 2%~5%都幾乎無法成型固化。
3. 當 Na_2CO_3 溶液的酸鹼值為 pH10 以上時，蒟蒻膠體的成型度也比較好。
- 4.發現蒸煮後蒟蒻膠溶液的 pH 值都比蒸煮前小，顯示蒸煮的過程蒟蒻膠體的酸鹼值會下降。

由於蒟蒻粉溶液偏弱酸性，所以如果蒟蒻粉添加量越多，鹼粉用量也應該增加，從實驗得知蒟蒻膠質溶液達 pH10 以上時，成品的成型度品質佳。

小結:乙醯基的存在造成空間立體的阻礙，排列不佳，但是加鹼「去乙醯化」再加熱後就變成排列較為整齊穩定的網絡，所以固化成凝膠塊。



建議:

- 1.蒟蒻膠質溶液的酸鹼值越高則凝膠強度越強，固化效果愈好，但是必須多次泡水，去除鹼性才可以食用，否則會影響口感。
- 2.根據試吃品評提出建議: 若以蒟蒻粉當基準量，水量以 40 倍調配，則碳酸鈉用量為蒟蒻粉的 4~5%為佳，如果喜歡硬一點可以略增加蒟蒻粉與鹼粉用量，或是水量略微降低。
- 3.從實驗紀錄表得知鹼粉量的添加在 1 公升中加入 1 克時會凝膠成型(此時酸鹼值 9.9)。我們以此作為後續實驗調配之比例(蒟蒻粉:鹼粉:水分= 25 : 1 : 1000)。

【實驗三】鹼粉種類不同對蒟蒻塊品質有何差異性

實驗設計 操縱變因: 使用食品級的 Na_2CO_3 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 K_2CO_3 、 NaHCO_3 、 NaOH

結果:

(一)實驗觀察

- 1.蒟蒻粉加鹼產生「去乙酰基」而凝膠，在實驗中使用食品級的 K_2CO_3 、 Na_2CO_3 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 NaOH 鹼性物質，實驗結果都可以促進蒟蒻粉的凝膠。小蘇打 NaHCO_3 鹼性弱，形成弱膠狀，無法固化。
 - (1) 碳酸鉀(K_2CO_3):加到蒟蒻粉中，發現蒟蒻彈體彈性強，咀嚼性比較大。
 - (2) 碳酸鈉(Na_2CO_3):加到蒟蒻粉中發現彈性會增加。
 - (3) 小蘇打(碳酸氫鈉) NaHCO_3 鹼性弱，形成弱膠狀。
 - (4) 氫氧化鈉(NaOH):強鹼性，腐蝕性大，製作時務必小心。
 - (5) 氫氧化鈣 $\text{Ca}(\text{OH})_2$:蒟蒻偏白色， $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 有特殊的異味。
- 2.隨鹼性水溶液的濃度增加凝膠速率會增加，酸鹼值 10 以上加熱固化程度佳。
- 3.建議製作時務必戴手套，以免鹼性強時有腐蝕肌膚的危險，退鹼程序也要做足夠。
- 4.發現 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液的溶解度 0.2%以上就無法完全溶解，會有沉澱物。討論:蒐集資料發現氫氧化鈣 25°C 時的飽和溶解度 1.56 克/公升，建議用量:添加量調配水溶液時勿超過 0.15%。

討論:

NaOH 強鹼性危險，而 K_2CO_3 凝膠彈性太大。所以我們建議還是使用 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 Na_2CO_3 製作蒟蒻較合適。

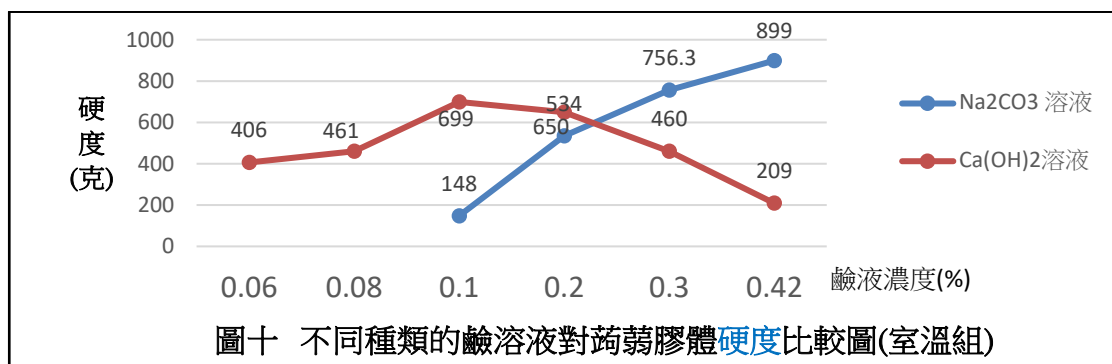
(二)硬度測試

1. 增加水溶液的酸鹼值有助於凝膠作用， Na_2CO_3 水溶液的鹼性強度隨添加量增加而上升從實驗得知鹼性增加硬度上升。

2. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液的溶解度低，用量超過飽和溶解度時則硬度就不會上升反而有下降現象。

討論: Na_2CO_3 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，因鹼性強若有差異，所以建議製作蒟蒻時的使用量也會不同。

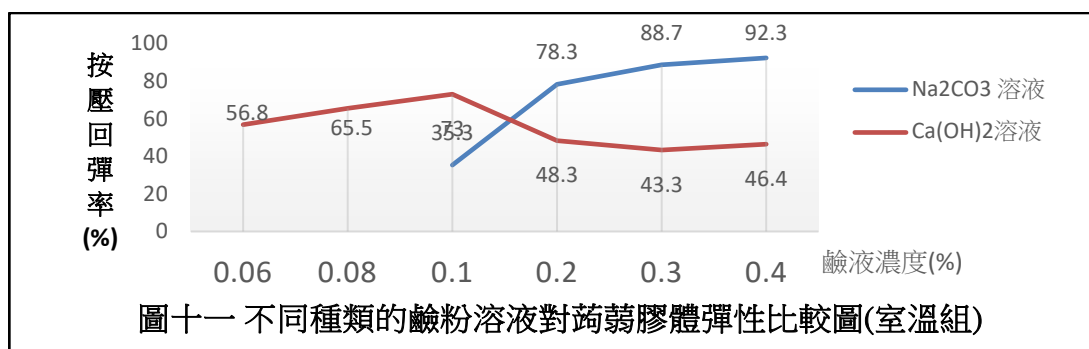
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 鹼性強，使用量會比少。添加量在飽和溶解度內則硬度隨加量增加而上升。



(三)彈性測試

1. 鹼粉(Na_2CO_3)增加，會使彈性增加。濃度 0.1% 以下時，蒟蒻成型度不佳。

2. 鹼粉($\text{Ca}(\text{OH})_2$)增加，濃度 0.2~0.4% 時彈性並沒有明顯差異，推論是氫氧化鈣使用量太多，已經超過飽和溶解度，於是我們決定降低氫氧化鈣水溶液濃度 0.06% 0.08% 0.10%，發現按壓回彈率有些微增加。



小結:

(一)使用 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，強鹼又有強烈的異味，建議使用 Na_2CO_3 更為合適。

(二)蒟蒻濃度與 pH 值是影響蒟蒻品質的關鍵。依實驗結果提出以下製作建議:

1. 蒟蒻粉: 鹼粉 Na_2CO_3 : 水分 = 25 : 1 : 1000(後續實驗調配之比例)，若喜好硬一點的口感，建議方法:(1)略增蒟蒻粉(2)略增鹼粉(3)水分減少。
2. 建議蒟蒻濃度 2~4%、加鹼粉後蒟蒻溶液 pH 值 10 以上，成型度與接受度高。
3. 鹼粉 Na_2CO_3 建議約為蒟蒻粉重量的 4~5%。

三、探討添加物對蒟蒻凝膠品質的影響

【實驗四】探討糖水、鹽水、酒精等溶液對蒟蒻塊品質有何影響性

提問：廚房裡常使用的糖、鹽、米酒會影響蒟蒻塊凝膠嗎？

(一)膠體成型固化觀察

1. 根據實驗記錄，添加鹼粉後蒟蒻膠體 pH 值 10，黃糖和鹽巴皆可以凝膠，煮熟結成塊狀。
2. 攪拌過程中凝膠速度：鹽巴 > 對照組 > 糖 > 米酒。
3. 蒟蒻粉加入米酒中無法變濃稠狀，使用濃度 75%酒精，有明顯蒟蒻粉沉澱。(如下圖照片)
4. 添加鹼粉後蒟蒻膠體酒精組 pH 值 7.1，增加鹼粉使溶液鹼性增強至 pH10，米酒組依然無法有效的結塊成型。討論:又使用 95%乙醇測試，實驗證明蒟蒻粉無法溶於乙醇。



圖片說明：添加糖後



添加含碘鹽後



米酒(酒精 22%)

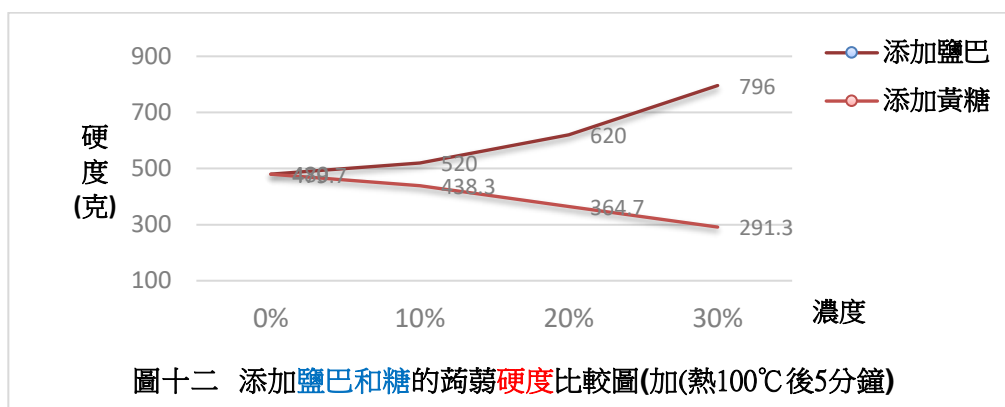


防疫酒精(酒精 75%)

(二)硬度測試

1. 添加鹽巴，硬度有上升的趨勢。(圖十二)
2. 添加糖，會使蒟蒻變軟，硬度隨糖的添加量增加而有下降趨勢。(圖十二)
3. 酒精會影響凝膠，實驗結果只有蒟蒻底部有薄薄一層凝固，上層是軟爛的。

建議:如果要有酒精氣味，可以善用蒟蒻會吸水的特性，測試後浸泡法是可行的方式。



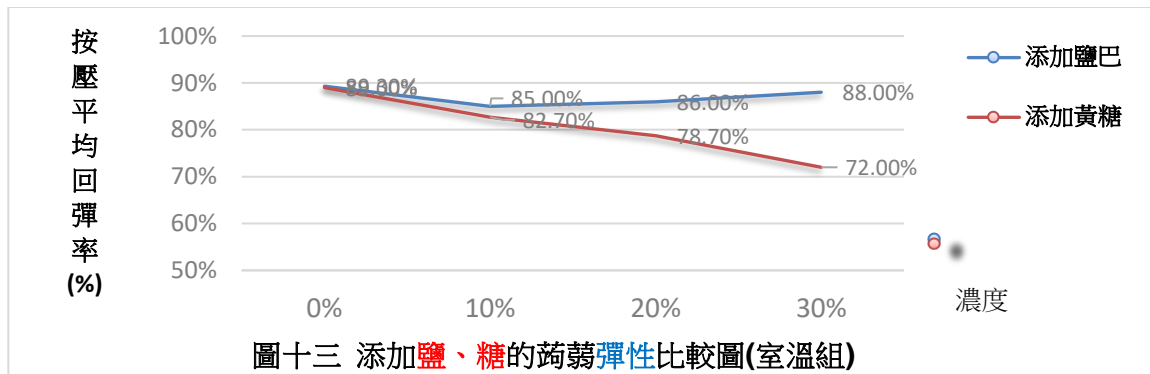
(三)彈性測試

1. 添加糖和鹽巴的蒟蒻按壓回彈率都在七成以上。
2. 按壓回彈率：

(1)添加鹽巴做成的蒟蒻塊與對照組差異不大。

(2)添加黃糖做成的蒟蒻彈性有下降情況。

建議: 添加黃糖 40%時無法凝結成糊狀，所以糖添加量建議在 30%以下。



3.試吃品評：Q 彈好吃，煮成鹹的也很好吃，可是浸泡退鹼的方式會隨浸泡時間增長而味道會變淡，浸泡 5 天時已嚐不出甜味與鹹味，原本黃砂糖水組是淡褐色也變淡了，應該是泡水去鹼時間太長，內部物質擴散釋出，造成蒟蒻顏色變淡。



【實驗五】分析 NaCl、MgCl₂、CaCl₂ 對蒟蒻塊的凝膠特性有何差異性

提問: 從實驗四發現添加鹽巴會使蒟蒻塊變硬，是什麼原因呢?和金屬陽離子有關嗎?

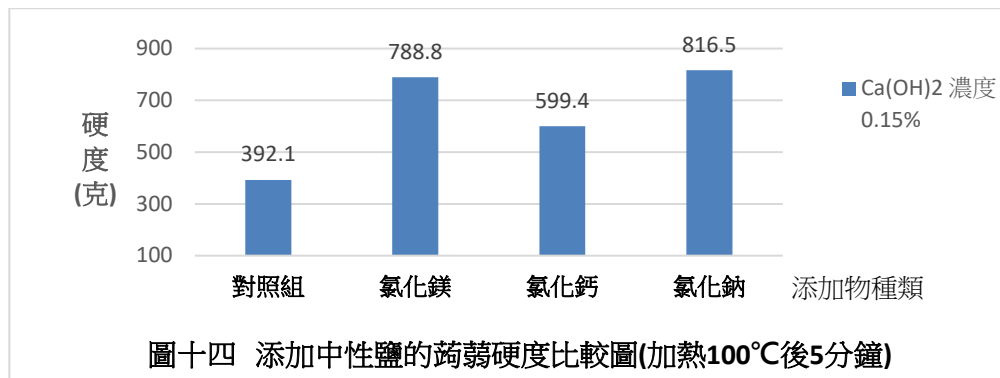
設計:

鹼粉種類	(一)鹼粉 Ca(OH) ₂	(二)鹼粉 Na ₂ CO ₃
組別		
對照組 (未添加)	蒟蒻粉濃度 2.5%、 鹼粉 Ca(OH) ₂ 濃度 0.15%	蒟蒻粉濃度 2.5%、 鹼粉 Na ₂ CO ₃ 濃度 0.25%
實驗組 (添加中性鹽，有 3 組)	分別多添加 3%的 NaCl、MgCl ₂ 、CaCl ₂	分別多添加 1%的 NaCl、MgCl ₂ 、CaCl ₂

結果

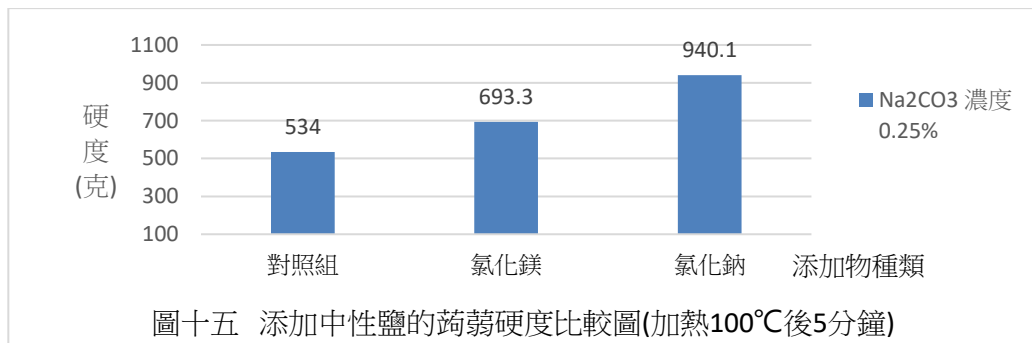
(一)鹼粉 Ca(OH)₂

- 1.分別多添加 3%的 NaCl、MgCl₂、CaCl₂ 蒟蒻塊皆比對照組(未添加)硬度增大。(圖十四)
- 2.鹽巴的硬度最大。



(二) 鹼粉 Na_2CO_3

1. NaCl 、 MgCl_2 蒟蒻塊皆比對照組(未添加)硬度大，但是 CaCl_2 未固化。實驗中添加量 1% 的氯化鈣，當使用鹼粉為 Na_2CO_3 時反而呈現黏彈性與硬度都下降甚至無法凝固。
2. 實驗中未加鹼粉時鹽巴組是弱膠性，加入鹼粉 Na_2CO_3 後明顯提升凝膠速度與膠體的彈性，而且多是試驗也發現添加越多越是明顯。



討論:

實驗顯示:

添加的鹼水溶液及金屬離子不同則凝膠特性也會不相同。

1. 蒟蒻粉加入碳酸鈉、氫氧化鈣等鹼性物質透過「去乙酰化」的過程消耗氫氧基，這過程產生更多的氫鍵來穩定膠體結構，加熱後凝膠固化有脆脆的品質，具「熱不可逆」的特性。
2. 溶液中若有金屬陽離子，對凝膠有其影響性。

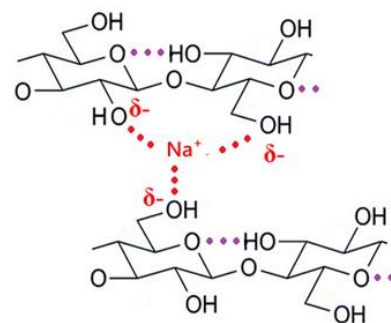
分析:

請教專家得知:

1. MgCl_2 、 CaCl_2 對凝膠有其影響， Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 容易和碳酸根離子或氫氧根離子結合而降低溶液的鹼性，所以影響其凝膠。鹽巴有助於凝膠，實驗中發現 Na^+ 優於 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ，這些現象符合陽離子可提供交聯作用的模型。
2. 蒟蒻凝膠也會受電解質的影響，陽離子的添加可產生「架橋」使膠體結構更加穩度，金屬鹽類並非都能提升凝膠性，依鹼液種類與酸鹼值有關，因為膠體的 pH9 以上有助於固化，否則凝膠會呈弱膠特性不易成型。

3. 葡甘露聚糖的長鏈分子間除了利用氫鍵作用力之外，金屬陽離子(Ca^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+})的存在更可加強長鏈分子間之交聯作用(corss linking)而獲得一種特殊的凝膠。

右圖說明: 根據專家指導諮詢後畫出右圖交聯示意圖，紫色虛線為同一條鏈內的氫鍵，紅色虛線為金屬陽離子與羥基上帶部分負電的氧原子之間的靜電作用力。



小結:

1. 糖的添加會使凝膠強度下降，但蒟蒻添加鹽巴有助於凝膠，實驗中發現 Na^+ 優於 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ，這些現象符合陽離子可提供交聯作用的模型。
2. 蒟蒻具有加鹼加熱可凝膠的特性，添加的鹼水溶液及金屬離子不同則凝膠特性也會不相同。

【實驗六】探討酸性添加物對蒟蒻塊的凝膠機制有何影響性

提問：蒟蒻必須在鹼性條件下才能凝膠固化，若以水果汁製作蒟蒻塊如何能成功固化呢？

1. 依據實驗結果顯示：取五種水果榨汁，以水果汁取代 50% 水分後添加鹼粉後蒟蒻膠質溶液 pH 值約 4~5.1，實驗結果發現都無法成型結塊。(如右方照片:未成型的葡萄汁蒟蒻)



2. 實驗結果歸納：酸性物會影響蒟蒻加熱後成型固化的成功率。

討論

水果一般多為酸性，從實驗結果發現酸性溶液會使凝膠溶液吸水膨脹，但是蒸煮過程卻無法凝成塊狀物，而且蒸煮過程中因為熱脹過程而有嚴重的噴濺情形。

表二 添加酸性物質對蒟蒻塊凝膠現象觀察紀錄表

項目	酸性添加物						
	無 (對照組)	白醋 (3%)	紅火龍果 汁(50%)	蘋果汁 (50%)	奇異果 汁(50%)	葡萄汁 (50%)	番茄汁 (50%)
溶液 pH 值(添加鹼粉前)	7.6	5.1	4.2	3.5	3.3	3.6	3.8
蒟蒻膠質溶液 pH 值(添加鹼粉後)	10	6.2	5.1	4.5	4.3	4.6	4.8
加熱後凝結成塊觀察	○	X	X	X	X	X	X

【實驗七】「酸鹼中和」對蒟蒻塊的凝膠品質有何影響性

提問：假設要做水果蒟蒻塊，在酸性溶液中增加鹼粉量或降低水果汁含量，使蒟蒻膠質溶液 pH 值呈現鹼性後就可以凝膠成型固化嗎？

(一)實驗紀錄

- 1.若添加酸性的食材，則膠體 pH 值下降呈酸性，會影響蒟蒻的凝膠。若增加鹼粉用量，使膠質溶液鹼性增強，是可行的固化成型方式。(如表三)
- 2.其餘 pH 值 6.5~8.8 蒸煮過程中仍有噴濺現象(如右照片:甜菜根、蘋果汁、奇異果、咖啡)，代表凝膠強度比較小，會影響成型度。



表三 增加鹼粉量蒟蒻塊凝膠觀察紀錄表

項目 \ 酸性添加物	無 (對照組)		醋		奇異果汁		蘋果汁		甜菜根		咖啡	
	蒟蒻膠質 pH 值(添加鹼粉後)	10	10.5	5.6	9.8	6.6	7.6	7.6	9.6	6.5	8.8	6.5
加熱後結塊成形	○	○	X	○	X	X	X	○	X	X	X	X

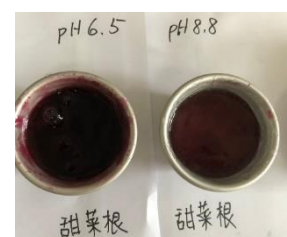
(二)實驗結果:

1. 加熱前蒟蒻粉都有吸水糊化凝膠的情形，摸起來像果醬般。
- 2.發現水果太酸，若增加鹼粉使 pH 值 9 以上時皆可以凝成固態，而且隨鹼性強度增大而凝膠強度也會增加。若達到 pH 值 10 以上更佳。

2.實驗發現：

(1)變色:

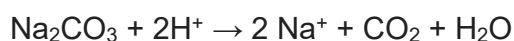
甜菜根添加魔芋粉後原本是紅色的(如右圖)，但是加入鹼粉後顏色呈現變色(褐紅色)現象，蒸煮後再次變色(藕色)，引起我們的好奇，可能與課本所說的酸鹼值的變色有關，值得我們繼續探究。



(2)變形:

發現添加物為酸性時，蒟蒻不易固化成型，增加鹼粉 Na₂CO₃ 的用量達 PH10 時有成功凝結成形，但是卻扭曲變形且內部孔隙大。成品更加柔軟，推論是酸鹼中和時會產生細微的氣泡，加熱後氣泡熱漲冷縮，消氣後造成緊縮皺褶現象。

酸鹼中和產生二氧化碳，當我們加入酸性物質時，製做過程還會加上食用鹼粉(碳酸鈉)，碳酸鈉遇酸會發生劇烈反應，同時生成二氧化碳和水：











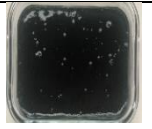















【實驗八】探討花青素、苜紅素、葉綠素、薑黃素、類胡蘿蔔素對蒟蒻色澤的影響

結果:

類胡蘿蔔素、葉黃素都不會因鹼性而變色，但是花青素、苜紅素、薑黃素蒟蒻皆會因鹼性而產生色變。說明如下:

1. 花青素(紫高麗菜、蝶豆花、黑枸杞、黑豆水)
蝶豆花和紫色高麗菜汁做成的蒟蒻成品為藍綠色系。黑枸杞和黑豆為黃褐色系。
2. 苜紅素(甜菜根、紅火龍果):
為酸性，所以增加鹼粉後，紅色的甜菜素在 pH 值 10.0 時為黃色，但加熱後 pH 值下降，煮熟後蒟蒻酸鹼值由 pH10.5 降為 pH8 左右，所以顏色再度變色呈紫藕色。
3. 薑黃素:薑黃在酸性條件下呈淺黃色，製作蒟蒻時加入鹼粉，薑黃在鹼性條件 pH10 以上呈紅褐色，蒟蒻煮熟後又變為黃棕色，討論後應該是蒟蒻酸鹼值下降為 pH8.3 有關。
4. 類胡蘿蔔素(南瓜、胡蘿蔔、番茄):
蒟蒻顏色不會改變，為原本添加物的顏色。
5. 葉綠素(地瓜葉、珍珠菜):蒟蒻顏色不會改變，呈現偏綠色。

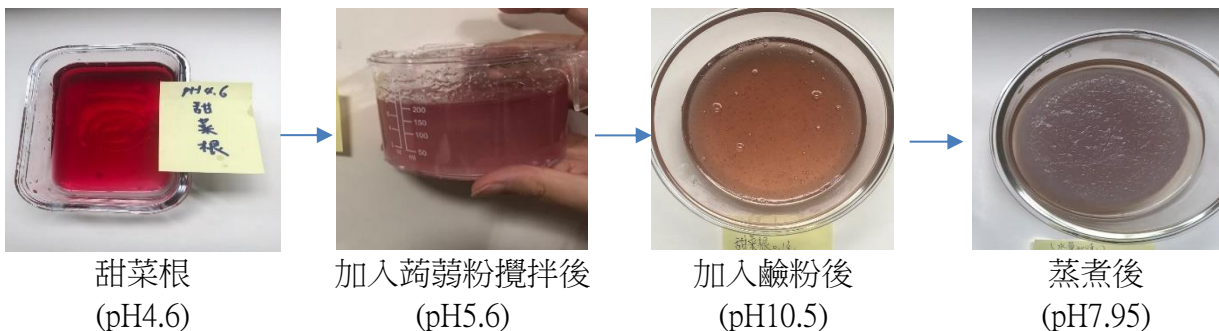
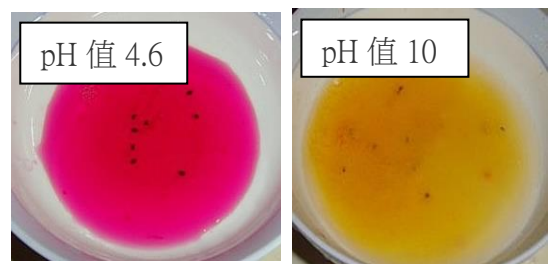
表四 蒟蒻蒸煮前後顏色與酸鹼值的變化紀錄彙整表

添加物	蒸煮前	蒸煮後	RGB 三原色分析-	酸鹼值變化
對照組(原味)			R167、G108、B52  R242、G242、B242 	pH10.5 降為 pH8.08 灰白色系
紫高麗菜汁			R68、G102、B6  R2、G112、B127 	pH10.3 降為 pH8.3 藍綠色系
蝶豆花汁			R51、G102、B63  R0、G96、B126 	pH10.4 降為 pH8.2 藍綠色系
黑枸杞			R160、G138、B82  R147、G128、B130 	pH10.2 降為 pH8.12 褐色系
黑豆水			R115、G75、B58  R148、G82、B67 	pH10.35 降為 pH8.34 褐色系
甜菜根			R154、G69、B46  R149、G133、B181 	pH10.5 降為 pH7.95 紫藕色系

薑黃			R204、G0、B0 R255、G204、B0	 	pH10.6 降為 pH8.3 黃色系
番茄			R204、G51、B0 R155、G50、B57	 	pH10.6 降為 pH8.3 紅色系
南瓜			R255、G192、B0 R255、G211、B0	 	pH10.6 降為 pH8.3 黃色系
珍珠菜葉			R0、G57、B10 R82、G96、B51	 	pH10.5 降為 pH7.95 綠色系
地瓜葉			R0、G81、B74 R0、G72、B38	 	pH10.5 降為 pH7.95 綠色系

討論:

紅色火龍果加鹼粉後，紅色的甜菜素在 pH 值在 10.0 時為黃色，而加入蒟蒻粉的膠質液蒸煮後 pH 值下降，因此甜菜根蒟蒻因膠體的酸鹼值下降了，所以顏色就又變色，所以蒟蒻膠體煮前與煮後顏色的轉變主要是 pH 值下降的緣故。



小結:

1. 蒟蒻蒸煮前後顏色與酸鹼值的變化有關，蒸煮後酸鹼值下降，故花青素、苜紅素、薑黃素等會隨 pH 而變色，導致蒟蒻顏色蒸煮前後產生變化。
2. 類胡蘿蔔素、葉黃素都不會因鹼性而變色，但是花青素、苜紅素、薑黃素蒟蒻皆會因鹼性而產生色變。

四、探討溫度對蒟蒻塊品質的影響

【實驗九】探討貯存方式與溫度對蒟蒻塊的品質有何影響性

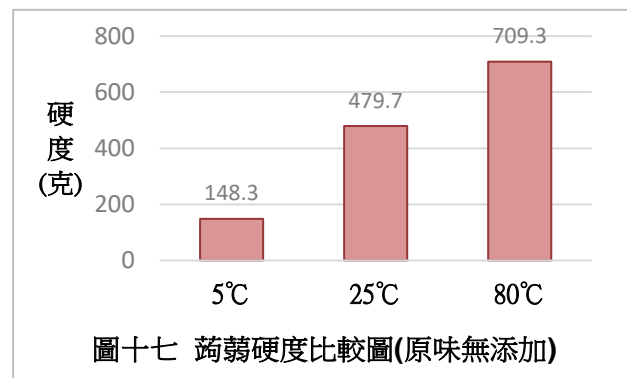
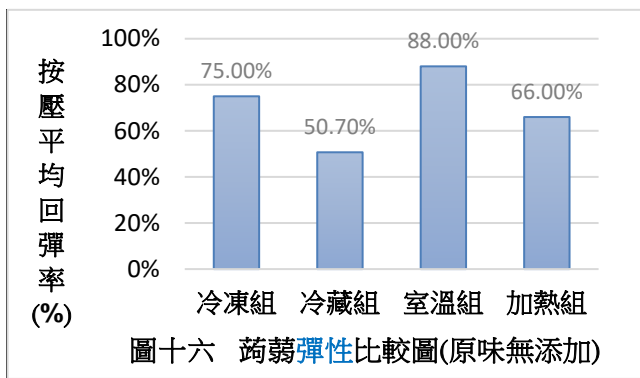
提問：蒟蒻塊的儲存方式會影響硬度、彈性嗎？蒟蒻塊加熱後硬度會變化嗎？

(一)彈性測試

- 1.室溫組: 彈性非常好，依然接近九成左右。
- 2.由大到小排列為室溫組(25°C) > 冷凍組(0°C) > 冷藏組(5°C)。冷藏組再次加熱後彈性有些微增加。(圖十六)
- 3.討論: 冷凍庫組取出解凍後，按壓會有水流出來。

(二)硬度測試

- 1.放入冰箱冷藏室會讓蒟蒻硬度變小。
- 2.儲存溫度下降到 5°C 時，雖然硬度與彈性都下降了，但是取出加熱後又會恢復硬脆的口感。
- 3.蒟蒻塊溫度不同時硬度也會有差異。隨蒟蒻塊溫度上升而硬度也會增加。(圖十七)



討論： 冷凍庫蒟蒻的觀察

- (1)蒟蒻之中有大量的水分和纖維，藉由冷凍，就把水分與蒟蒻纖維分離了。
- (2)解凍後可以擠出水分(冰融化後)，剩下的固態物就是具有彈力的蒟蒻纖維。
- (3)放入水中吸水力強，像海綿，吃起來很有咀嚼性。

(三)不同的儲存方式品質觀察

1.放室溫:蒟蒻夏日第 3 天就有酸味產生。

2.放入冷藏室(5°C)

- (1)蒟蒻若沒有泡在水裡，會縮水變小，而且變得乾巴巴的。貯存冷藏室務必密封或浸泡水中，否則會脫水變成乾硬。(如右圖)
- (2)從冰箱取出的蒟蒻塊變得透明與柔軟，低溫使蒟蒻凝膠硬度下降。
- (3)再次加熱後，蒟蒻又變得硬脆有彈性，成形度也變好了。



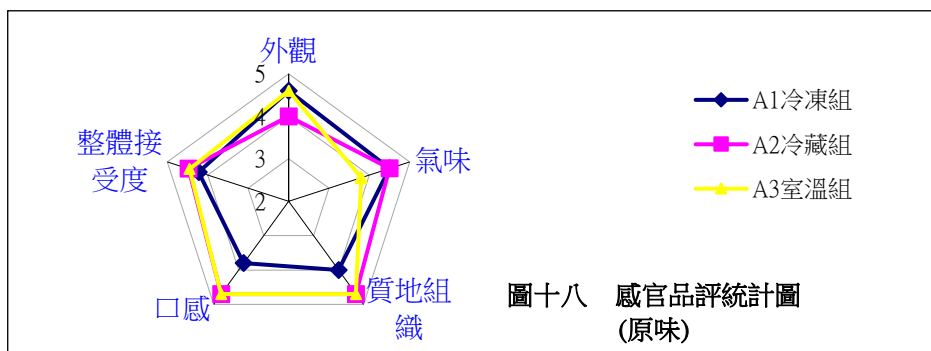
3.放入冷凍庫(0°C)

(1)蒟蒻解凍後變成內部網狀組織明顯，粗糙度增加。

(2)發現蒟蒻內部的水分融化解凍後，用力壓蒟蒻會使水分釋出，放入水中又會再度吸滿水分，而且內部孔隙明顯，口感特別且堅韌，很像絲瓜絡。



(四)試吃品評單分析



1. 口感: 最特別的是冷凍組，喜好度比較低。
2. 外觀: 冷藏組摸起來軟爛，冷凍組似海綿。
3. 質地組織: 冷凍組網絡明顯、粗糙，接受度不佳。
4. 氣味: 室溫組第 3 天已經有些許不良氣味。
5. 整體接受度以冷藏組最佳。

建議:

- (1)冷藏的蒟蒻可依個人喜好食用，若要冷食則有滑潤口感，但加熱後會恢復硬脆口感。
- (2)冷凍庫裡的蒟蒻纖維化粗糙可作為菜瓜布使用，如果要食用使用量不宜太多，以免影響消化。試吃品評結果: 還是有人覺得是口感不錯的零嘴。

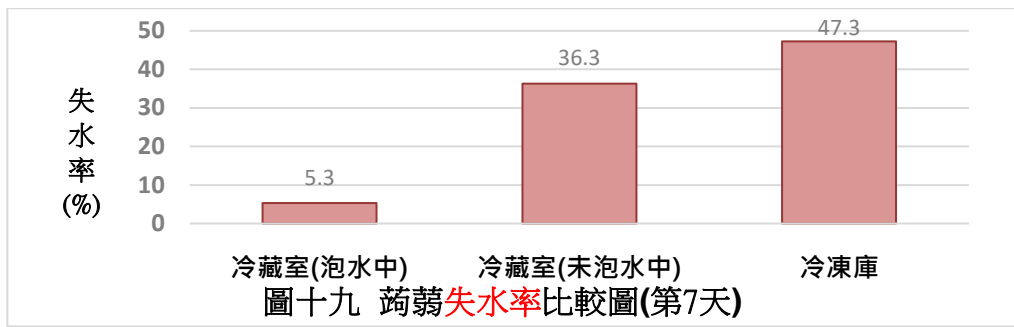
【實驗十】探討貯存方式對蒟蒻塊的離水現象有何差異?

實驗設計

- 1.三種儲存方式:放冷凍庫(泡水中)、放冷藏室(無泡水)、放冷藏室(泡水中)
- 2.放入冰箱 3 天後取出解凍 2 小時後以 3 公斤重物按壓後秤重。
- 3.比較蒟蒻經按壓後的失水狀況，換算失水率，失水率越高代表組織內部離水現象越嚴重。

結果

1. 冷凍庫蒟蒻內的水排出後，換算失水率達 47.3%，但按壓後會反彈回來，彈性佳。
2. 冷藏室蒟蒻第 7 天變得乾硬，體積縮小，內部水分散失嚴重。



五、創意蒟蒻製品之應用與建議

【實驗十一】天然彩色蒟蒻

提問：善用蒟蒻吸水特性，以天然色素汁液採「浸泡方式」增加顏色可行嗎？

1.退鹼程序時採用浸泡汁液的方式是可行的。






剛製作好的蒟蒻呈鹼性，天然的酸鹼變色指示劑會呈現鹼性的顏色，浸泡清水時內部的鹼水會逐漸退去。

2.如果浸泡天然色素水，蒟蒻會吸取外部的汁液而呈現美麗的天然色彩。若浸泡酸性汁液更有助於快速退鹼(如右圖酸性汁液)。

3.冷凍蒟蒻內部會有離水現象使組織呈海綿狀，可做成蒟蒻海綿，可做為日後繼續延伸研究。



表五 天然色素汁液蒟蒻的製作方式建議表

顏色	建議	製作方式	
紅色系	採浸泡方式		1.原味蒟蒻放入紫色高麗菜汁+醋、檸檬或汽水等酸液中 2.蝶豆蒟蒻放入(甜菜根汁)中，出現外層變紅紫色。
黃橙色系	採直接加入方式		1.薑黃蒟蒻 2.南瓜蒟蒻 3.紅蘿蔔蒟蒻
綠色系	採直接加入方式		地瓜葉、菠菜、珍珠菜...等綠色蔬菜蒟蒻
藍靛色系	採直接加入或浸泡方式		1.蝶豆花蒟蒻 (直接加入) 2.紫色高麗菜蒟蒻(直接加) 3.蝶豆花汁蒟蒻 (浸泡法)
其他	採直接加入方式		1.咖啡蒟蒻 2.火龍果蒟蒻 3.甜菜根蒟蒻 4.黃糖蒟蒻

(註:蒟蒻泡清水退鹼後顏色會慢慢變淺。)

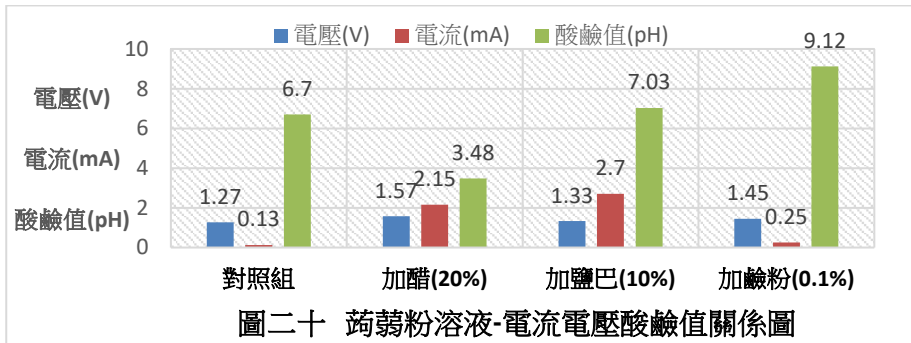
【實驗十二】日後延伸研究---蒟蒻電池的可行性

實驗設計 使用鎂-銅金屬合來作實驗，電極深度固定為 2 公分，電極間距固定為 2 公分，電極面積固定為 0.4×2 公分(電極面積為 0.8 平方公分)，再以三用電錶測量其電壓、電流。

結果 蒟蒻電池是可開發的環保微型電池

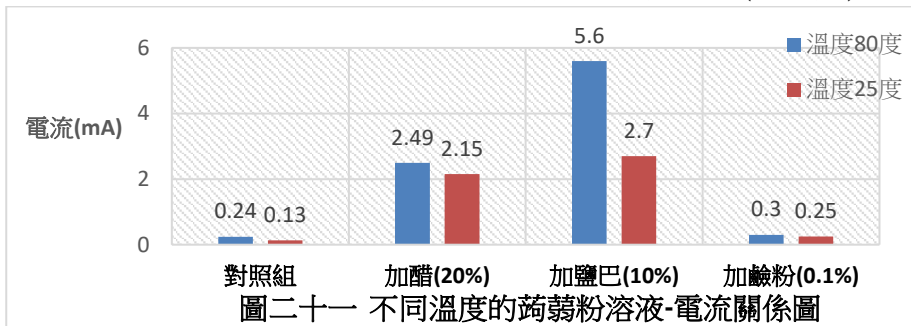
(一)蒟蒻粉膠質溶液-添加不同電解質

1. 蒟蒻粉膠質溶液能讓「數位式電子時鐘」運作，代表具有電力。
2. 不同添加物的電壓值差異不大。
3. 電流由大到小:鹽巴組>加醋組>加鹼組>對照組。



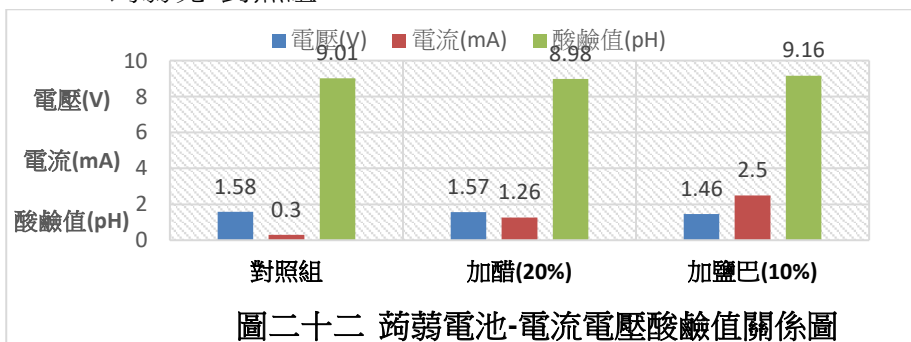
(二)蒟蒻粉膠質溶液-不同溫度

1. 溫度增高電流會增大，應是溫度愈高化學反應速率愈快的緣故。
2. 電流由大到小:鹽巴組>加醋組>加鹼組>對照組(未添加)



(三)蒟蒻塊電池

1. 不同添加物的電壓值差異不大。
2. 當蒟蒻粉添加鹼粉與水後做成的蒟蒻塊當作對照組，電流由大到小:鹽巴蒟蒻塊>加醋蒟蒻塊>對照組。



伍、討論

討論一、瞭解蒟蒻製作方式以確立製作模式(正式實驗前的試做)

1.攪拌

- (1)方法 1：木杵(熱水攪拌)
- (2)方法 2：小型按壓式攪拌器。
- (3)方法 3：電動攪拌器攪拌。



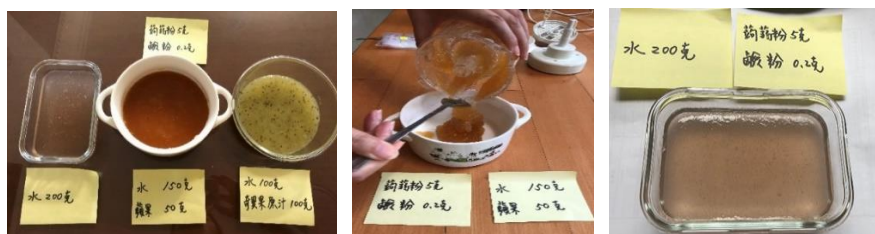
結果：1.熱水攪拌有助於溶解，但是溶液會因為蒸發而造成水分散失。

2.以攪拌器操作速度更快，有助於攪拌時變因控制一致性。

討論：討論後以溫水加入蒟蒻粉後電動攪拌器攪拌 3 分鐘後加入鹼粉溶液攪拌 3 分鐘，靜置 3 小時使溶液充分吸水凝膠再放入電鍋外鍋 250mL 加熱蒸煮。

2.裝入模具

圖片說明：
嘗試以果汁(取代 25%的水分)來製作蒟蒻



結果：蒸煮前蒟蒻粉吸水後的凝膠像果醬般，摸起來都有點糊糊軟軟的。

3.蒸煮

結果：

- 1.以成型度來看「糖水」成功，但是奇異果與蘋果汁失敗，蒸煮過程噴濺、膨脹、溢出。
- 2.蒸煮後顏色會變成不透明。

討論：

- 1.懷疑能否成塊狀與溶液的酸鹼性有關。(奇異果蒟蒻膠 pH4.5、蘋果汁蒟蒻膠 pH4.9)
- 2.蒸煮過程發現有些蒟蒻會有噴濺的情況，後續改為用鋁箔蓋住以防止噴濺溢出，但又發現鹼性過強使鋁箔有變色現象，後續改為玻璃製。



3.泡水去鹼

結果：

1. 降低蒟蒻粉的量，蒟蒻塊顏色比較淡，而且成品比較軟。而泡水後顏色會變淺，也比較沒異味。
2. 放冰箱冷藏後蒟蒻塊變得有點軟爛變半透明(如右圖)，但是重新加熱又會讓蒟蒻變硬，口感變脆。



討論二、利用天然植物色素製作創意蒟蒻製品

我們的想法:

蒟蒻能夠幫助腸胃的蠕動，在日本有「胃腸清道夫」之稱。因為吸水力很強，容易產生飽足感，也經常被作為減肥食品，但本身沒甚麼香味，有時市面上的蒟蒻又有異味，如果添加一些天然的添加物或果汁類應該會增加它的美味。

自然界有很多食用色素可能來自植物的根、莖、花、葉、果實等材料，我們想利用天然的顏色來製作健康蒟蒻塊，我們從校園裡和菜市場裡找食材，以下是我們想使用的食材如下：

1.花青素(紫高麗菜汁、黑枸杞、蝶豆花、黑豆水) 2.莧紅素(甜菜根、紅肉火龍果) 3.薑黃素(薑黃粉) 4.類胡蘿蔔素(紅蘿蔔、南瓜、番茄) 5.葉綠素(地瓜葉、珍珠菜) 6.其他:咖啡、紅茶等。

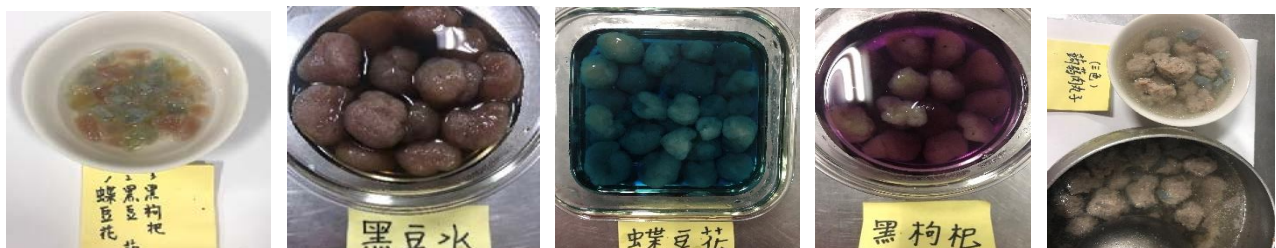
創意蒟蒻製品:

提問: 若將蒟蒻粉微量的加入傳統麵條、豆腐、貢丸的製作程序中，依據蒟蒻粉的糊化凝膠性，是否會使成品增添不一樣的口感?

結果: 透過冷熱處理與善用蒟蒻吸水特性，可製作出色彩繽紛的蒟蒻製品例如蒟蒻麵條、蒟蒻豆腐、蒟蒻丸子、蒟蒻脆丸、蒟蒻 Q 丸、蒟蒻生魚片.....等。



糖蒟蒻疙瘩(冷熱皆宜) 蒟蒻零嘴(冷凍處理) 蒟蒻生魚片(冷藏組) 黑豆蒟蒻脆片



彩色 Q 蒟蒻(冷熱皆宜)黑豆蒟蒻脆丸(熱) 蝶豆花蒟蒻丸 黑枸杞 Q 丸(冰) 蒟蒻丁肉丸

討論三、蒟蒻塊可以做成環保電池嗎?

前人研究，將果汁製成果凍電池，可以微增電功率，簡易型果凍電池可作為緊急時低功率電子產品之供電用途，本研究蒟蒻製作時加鹽巴可增加凝膠硬度，鹽巴水含電解質，蒟蒻塊電池是否也可行呢？影響蒟蒻電池發電效能的變因如:電極與電解質的深度和接觸面積、兩電極相距距離、電解質種類、電解質的狀態、溫度、攪動電極....等，可做為日後研究之延伸。

陸、結論

一、瞭解蒟蒻的凝膠原理

- (一)凝膠固化會受酸鹼性的影響，酸性和弱鹼都會使凝膠性減弱甚至無法凝成固態，蒟蒻葡甘露聚糖在加入鹼後，會將「乙醯基」脫除，具有「加鹼加熱可凝膠」的特性。
- (二)加熱後可形成加熱也不溶解的熱穩定凝膠，具「加熱不可逆性」。

二、影響蒟蒻凝膠品質的因素

- (一)蒟蒻粉加水吸水強變成親水性膠體，蒟蒻濃度與 pH 值是影響蒟蒻品質的關鍵。蒟蒻粉比例太少或鹼水 pH 太低會無法成型固化。
- (二)蒟蒻濃度 3~4%、加鹼粉後蒟蒻溶液 pH 值 10 以上，蒟蒻品評接受度高。
- (三)鹼粉種類不同 品質有差異，以 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 作為鹼粉做出來的蒟蒻偏白色。
- (四)鹼粉鹼性對皮膚有腐蝕性，建議製作時務必戴手套， $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 添加量需在飽和溶解度以內 0.06~0.1% 為佳。以 Na_2CO_3 製作時勿低於 0.1%，以 0.1~0.2% 為佳。

三、添加物對蒟蒻凝膠品質的影響

- (一)糖、鹽巴的添加濃度對於蒟蒻塊的凝膠作用具有影響性。添加鹽巴會使蒟蒻易於凝膠，而添加糖做成的蒟蒻彈性、硬度都會下降，建議糖添加量在 30% 以下。
- (二)蒟蒻粉無法溶於乙醇。
- (三)鹽巴有助於凝膠，但並非所有中性鹽都相同，要視鹼水溶液種類而定，實驗中發現 Na^+ 優於 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ，這些現象符合陽離子可提供交聯作用的模型。
- (四)葡甘露聚糖的長鏈分子間除了利用氫鍵作用力之外，金屬陽離子(Ca^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+})的存在更可加強長鏈分子間的交聯作用(cross linking)而獲得一種特殊的凝膠。
- (五)添加蝶豆花、紫色高麗菜汁等花青素，製作的蒟蒻呈現藍綠色。黑豆汁蒟蒻呈現褐色。
- (六)添加紅蘿蔔、南瓜、番茄等類胡蘿蔔素，以及地瓜葉、珍珠菜等葉綠素，會出現食材原料的原本顏色，即不會變色。
- (七)薑黃素 pH 值在 10 以上時開始由黃色轉成橘紅色，甜菜根和紅色火龍果等莧紅素為紅色系，pH 值在 10 以上時會呈現黃色，但加熱後蒟蒻的酸鹼值會下降，導致蒟蒻再次變色。
- (八)利用植物天然色素(葉綠素、薑黃素、花青素、莧紅素、類胡蘿蔔素)具天然色澤，可以增加營養與視覺性。

四、探討溫度對蒟蒻凝膠品質的影響

- (一)貯存溫度的下降會削減其凝膠強度，使彈性與硬度下降，甚至導致凝膠出現不安定性。但是再次加熱後，蒟蒻又變得硬脆有彈性，成型度也變好了

- (二)建議儲存條件應以泡在水中或密封後放入冰箱的冷藏室 (5°C)以防止脫水乾硬。。
- (三)放冷凍庫的蒟蒻內部的水分融化解凍後，用力壓蒟蒻會使水分釋出，放入水中又會再度吸滿水分，內部孔隙明顯，口感特別而且堅韌。

五、官能品評的嗜好性分析與建議

- (一) 食品用等級的化學**食品添加物**，必須符合《食品化學法典》(FCC) 的國際認證標準，若誤用非食品級是非常危險的食安問題。
- (二) 試吃品評顯示:喜好度會因凝膠性的增加而增大。
- (三)如果蒟蒻粉比例太高則硬度與 Q 彈的咀嚼口感也會影響喜愛的程度，而鹼粉過多則退鹼成效不佳時，其氣味會影響接受度。
- (四)**貯存溫度的下降會削減其凝膠強度**，使彈性與硬度下降，但是冰冷的蒟蒻可以加糖改吃甜蒟蒻，更加滑順可口。
- (五)冷凍庫的蒟蒻解凍後變成吸水海綿般，而且纖維化明顯，吃起來口感特別，建議可做成滷味零食適量食用。
- (六) 製作比例受到酸鹼度與各種添加食材濃度影響，所以製作時應依添加物的酸鹼性來做調整，建議蒟蒻膠體的酸鹼值宜 pH10 為佳。

六、日後延伸研究

- (一)建議:若將蒟蒻粉微量的加入傳統麵條、豆腐、貢丸的製作程序中，依據蒟蒻粉的糊化凝膠性，會使成品增添不一樣的口感，可製作出色彩繽紛的蒟蒻品。
- (二)綠能環保的蒟蒻電池電池，後續可繼續探討瞭解蒟蒻電池發電的奧秘。

柒、參考文獻資料

- (一)不同膠質影響果凍品質研究 <https://reurl.cc/M09Aen>。(檢索日期 2020/09/21)
- (二)賴鳴鳳等(1999)，水溶性蒟蒻膠萃取與分子性質之探討
- (三)硬不硬有關係---神奇的凝膠 <https://reurl.cc/0pkm9Y>
- (四)食品添加資料庫 <https://www.unature.tw/blogs/unature/14814569-no-3>
- (五)淺談食品色素 <https://lib.cysh.cy.edu.tw/science/content/1981/00120144/0006.htm>
- (六)中華民國第 56 屆中小學科學展覽，動「池」凍「池」--水果電池
- (七)蒟蒻 超 Q 彈素食食材怎麼來的 <https://www.foodnext.net/issue/paper/4357941999>
- (八)洋菜、明膠、果凍粉、魚膠粉的區別 - 食譜大全 <https://food.tank.tw/article/>
- (九)維基百科 <https://reurl.cc/q5ZA2g>

【評語】 080205

這是一個可以試著發展成給小朋友做的科學啟蒙實驗，由日常生活中看到的商品作為探討其背後化學反應的動機，有動手做實驗的部分，也有可以吃的部分，應該會是相當吸引小朋友的科學啟蒙教材。在實驗設計上有自製量測工具，值得鼓勵，但所量測數據之可信度仍需先確認。在實驗條件設計上，還可以在加強，例如：實驗一就可以得到蒟蒻溶液 pH 值，及酸鹼度隨時間之變化。這樣加鹼粉及圖六的部分的必要性就需要考慮。在結果討論方面，可以多做探討，如：交聯作用的原理與離子電荷的關係？去乙酰基後形成什麼？添加不同的鹼粉是不是只是酸鹼度的影響？在參考資料上應列上 57 屆全國科展新北永和國小的驚天凍地~探討添加物對蒟蒻果凍凝膠機制之影響。

作品簡報

「蒟」世無雙 ~ 添加物對「蒟蒻」凝膠性質之影響

國小組 化學科

簡介

蒟蒻粉的凝膠原理

蒟蒻(魔芋)

成分有將近80%是「**葡甘露聚糖**」食物纖維，放入水中會劇烈吸水膨脹變成凝膠糊狀，但是此時蒟蒻膠放水中又會溶解分散為**黏稠溶液無法凝固成塊狀**

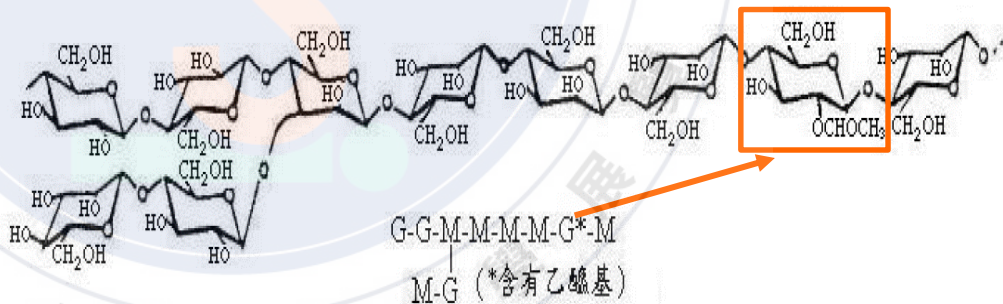
加入鹼後，
會將「**乙醯基**」脫除

加熱85°C以上可產生
熱不可逆的彈性膠體物質



魔芋地下塊莖

(取自Shutterstock免費圖片)



圖四 蒟蒻之化學結構-去乙醯基(賴鳴鳳等, 1999)

研究設計---影響蒟蒻粉凝膠性質的因素?

蒟蒻凝膠機制製作比例

1. 蒟蒻粉添加量(粉與水的比例)

2. 食品級鹼粉種類

(Na_2CO_3 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 K_2CO_3 、 NaHCO_3 、 NaOH)

儲存方式

(冷凍庫 0°C 、冷藏 5°C 、室溫 25°C)

1. 溫度變化

2. 離水現象

其他添加物

1. 常用調味料(糖、食鹽、米酒)

2. 中性鹽(NaCl 、 KCl 、 MgCl_2 、 CaCl_2)

3. 天然植素 (花青素、苋紅素、薑黃素、類胡蘿蔔素、葉綠素)

建議-創意應用

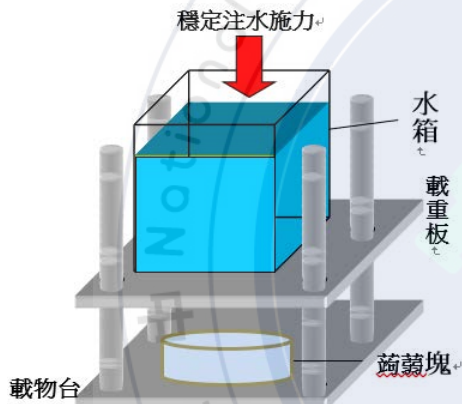
天然色彩蒟蒻-增添視覺性

蒟蒻電池-綠能微型

蒟蒻海綿-可分解

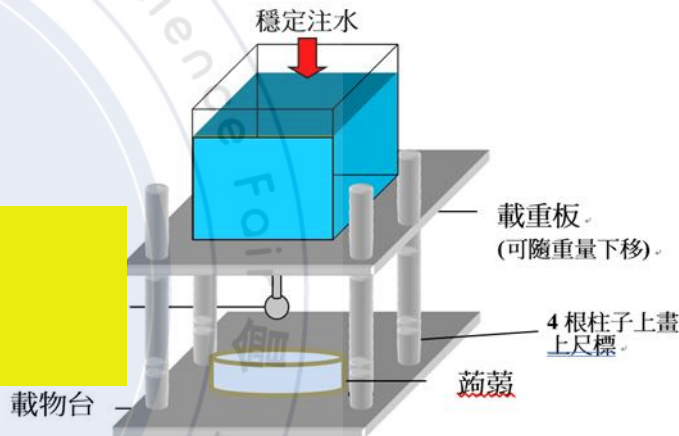
研究方法

1. 彈性測試(自製耐壓力測試器)



第5代
圓珠探頭
(直徑8mm)

2. 硬度測試



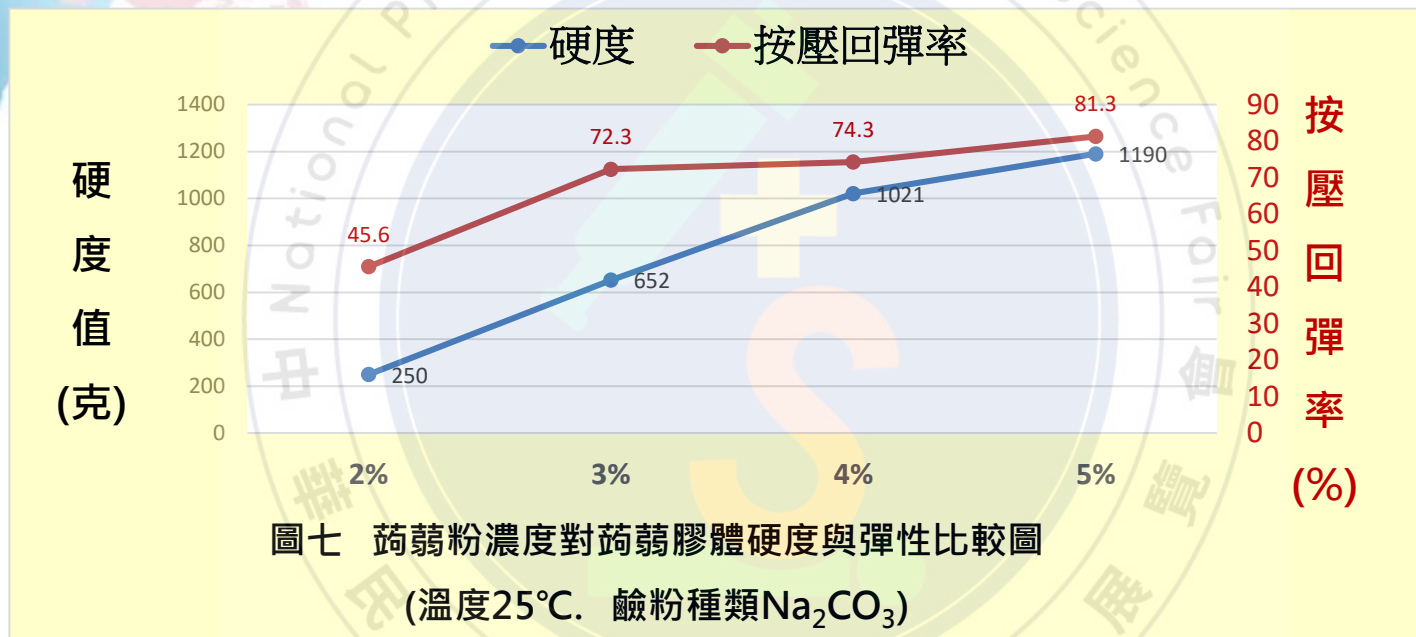
$$\text{回彈率} = \frac{\text{重壓後反彈的高度}}{\text{重壓前高度} - \text{重壓後高度}} \times 100\%$$

按壓回彈率越大代表彈性越佳。

施力愈大(硬度值), 代表硬度越大。

研究結果 1：探討蒟蒻製作比例

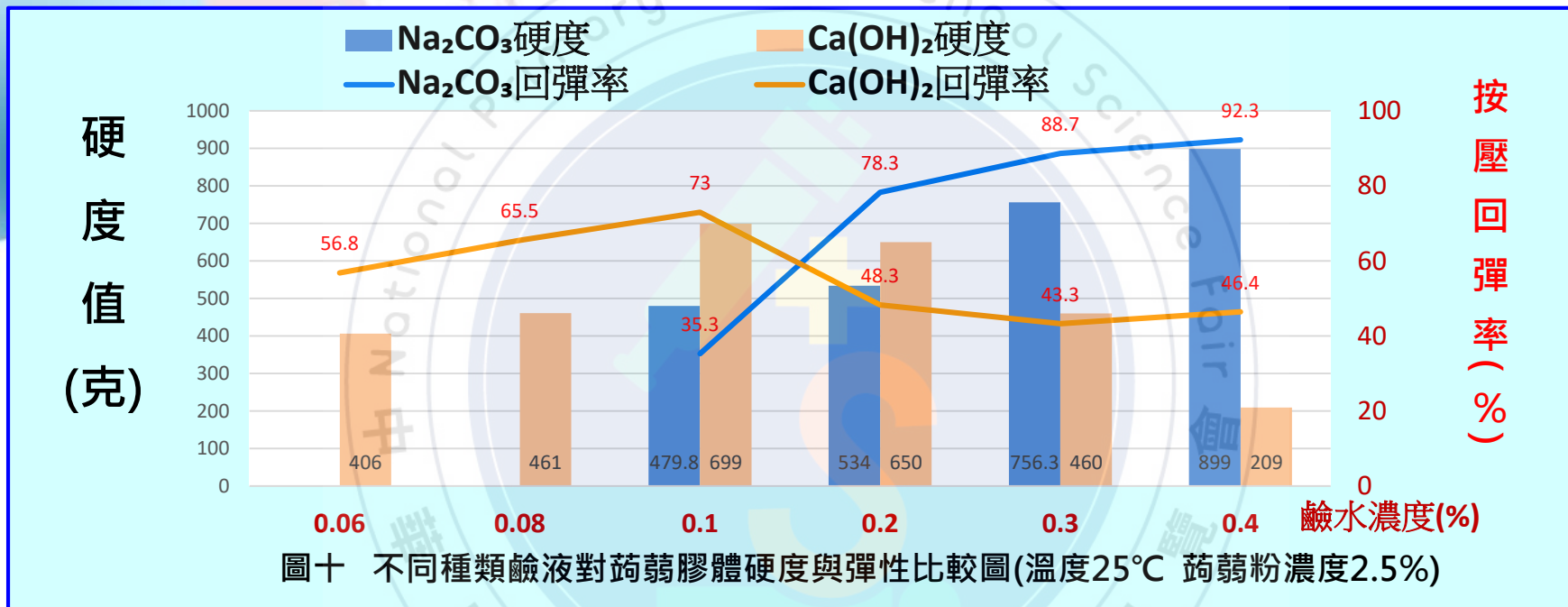
(一)蒟蒻粉濃度



▲ 隨蒟蒻粉濃度增加蒟蒻塊硬度和彈性也增加

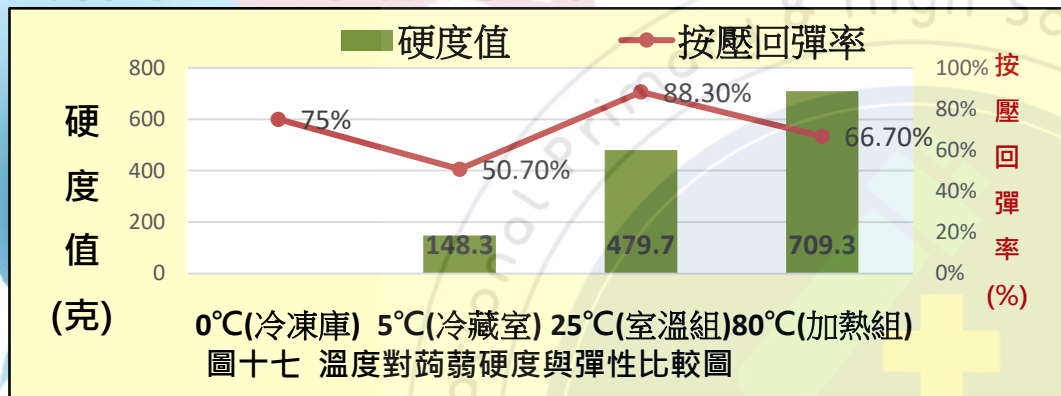
▲ 建議:試吃品評後提出蒟蒻粉用量約為水分的3%為佳。

(二)鹼水種類與濃度



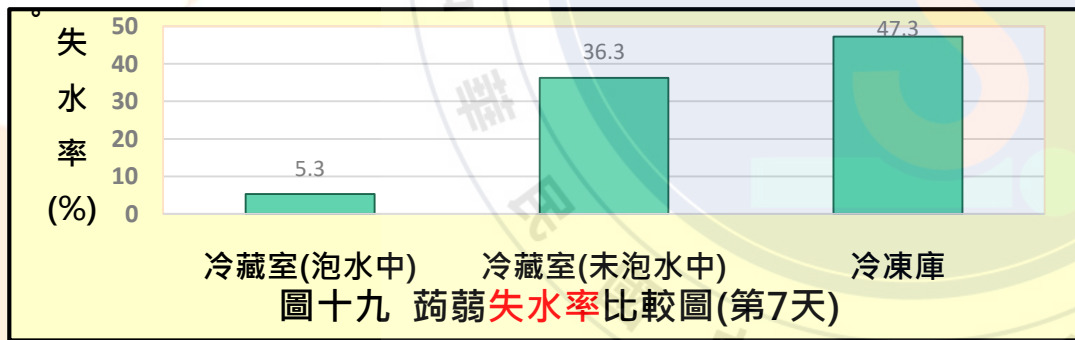
- ▲ 鹼水為Na₂CO₃:硬度和彈性隨濃度增加而上升，但降到pH9以下時無法凝固。
- ▲ Na₂CO₃、Ca(OH)₂在濃度0.1%時，Ca(OH)₂硬度大於Na₂CO₃。
- ▲ Ca(OH)₂在0.2%時有沉澱物，此時凝膠性質受影響有下降趨勢。

結果 -2貯存方式



硬度: 1. 冷藏組最軟。

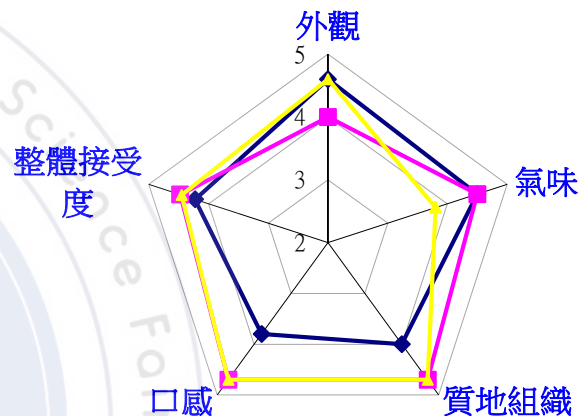
2. 貯存溫度的下降會削減其凝膠強度，但再次加熱後，又變得硬脆



失水率: 1. 冷凍組最高。

2. 越高代表組織內部離水現象越嚴重。

◆ A1 冷凍組 ◆ A2 冷藏組 ◆ A3 室溫組



圖十八 感官品評統計圖

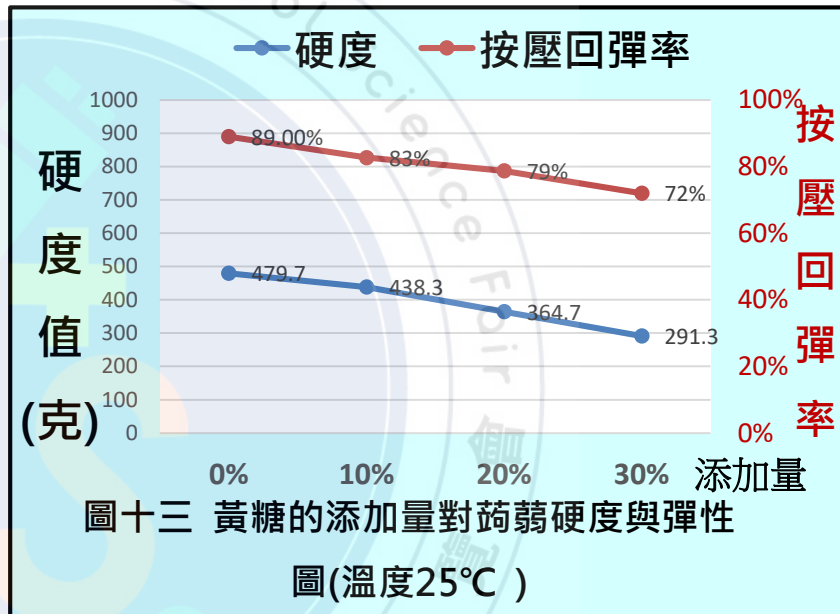
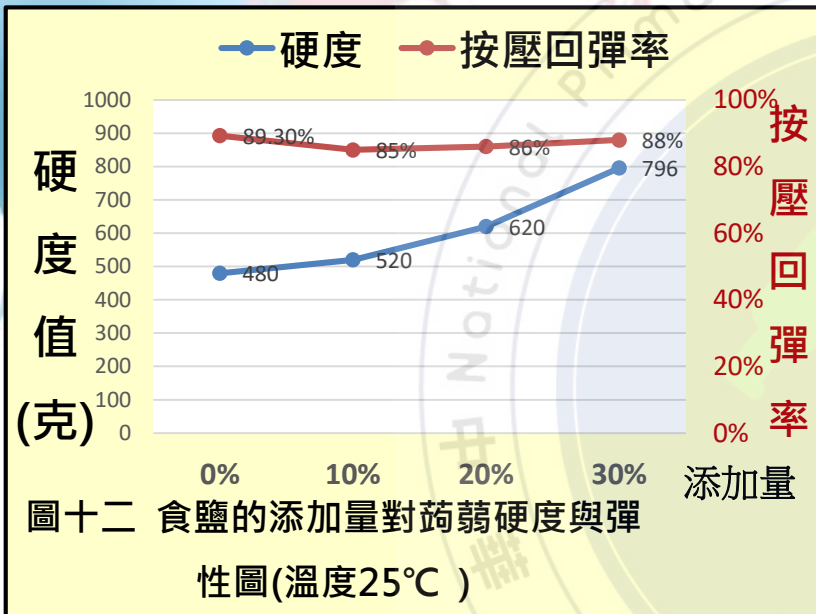


冷凍組蒟蒻

建議: 冷藏室(浸泡水中)

研究結果 3

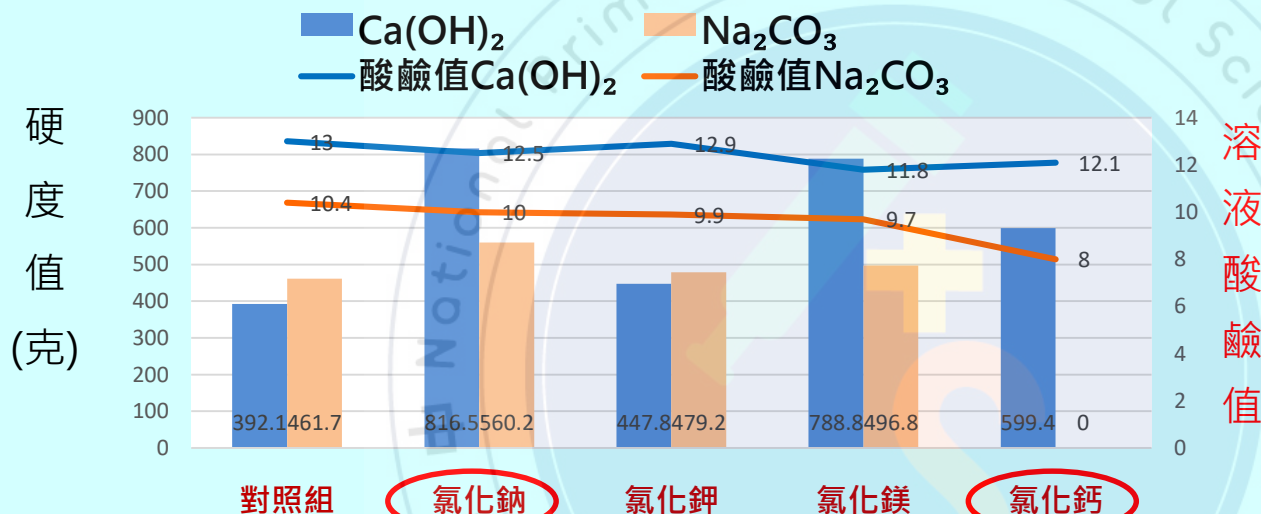
常見調味料(糖.鹽.米酒)



- 1.凝膠速度：食鹽 > 對照組 > 糖 > 米酒 (蒟蒻粉無法溶於乙醇)
- 2.食鹽:硬度隨食鹽增加而有上升趨勢。
- 3.黃糖:硬度和彈性都是隨糖量增加而下降。



研究結果 4 添加其他鹽類



圖十四 添加物對蒟蒻膠體硬度與pH比較圖

(加熱組溫度80°C 蒟蒻粉濃度2.5% 鹼粉濃度0.15% 添加物3%)

創意蒟蒻電池的可行性





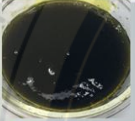
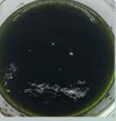

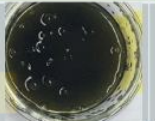














具有電力

電流由大到小: 鹽巴蒟蒻 > 加醋蒟蒻 > 對照組

1. 添加NaCl、MgCl₂、CaCl₂、KCl都有助於硬度上升，NaCl最佳。
2. 使用鹼粉Na₂CO₃，又添加CaCl₂，有沉澱物，且無法使蒟蒻固化。

研究結果 5

天然植素—蒟蒻的變色試驗

類胡蘿蔔素/葉綠素					花青素				薑黃素/荳紅素	
	南瓜	紅蘿蔔	珍珠菜葉	地瓜葉	蝶豆花	紫色高麗菜	黑枸杞	黑豆水	薑黃	甜菜根
增煮前 膠體顏色										
蒸煮後 顏色										
色澤分析	RGB三原色分析: R204、G163、B0 HSL分析: H31、S255、L102	RGB三原色分析: R182、G91、B22 HSL分析: H18、S201、L102	RGB三原色分析: R25、G65、B11/ HSL分析:H74、 S180、38	RGB三原色分析: R5、G66、B4 /HSL分析:H84、 S226、L35	RGB三原色分析: R0、G96、B126 HSL分析: H138、S255、L63	RGB三原色分析: R2、G112、B127 HSL分析: H133、S247、L65	RGB三原色分析: R147、G128、 B130 / HSL分析: H19、S35、L130	RGB三原色分析: R115、G75、B58 /HSL分析:H13、 S84、L87	RGB三原色分析-R160、 G123、B0//HSL分析- H32、S255、L80	RGB三原色分析-R105 G63、B117/HSL分析- H203、S77、L90
顏色變化: 不變色(維持植物色)					偏藍綠色系		偏褐色系		偏黃色	藕色

變色原因:

為加熱後pH值會下降，故花青素、荳紅素、薑黃素等會隨pH而變色

研究結果 6 「酸鹼中和」方式

若增加鹼粉使pH值9以上時皆可以凝成固態

成功固化:

- 1.降低酸性果汁%
- 2.增加鹼粉量

發現:

- 1.變形扭曲
- 2.內部孔洞多

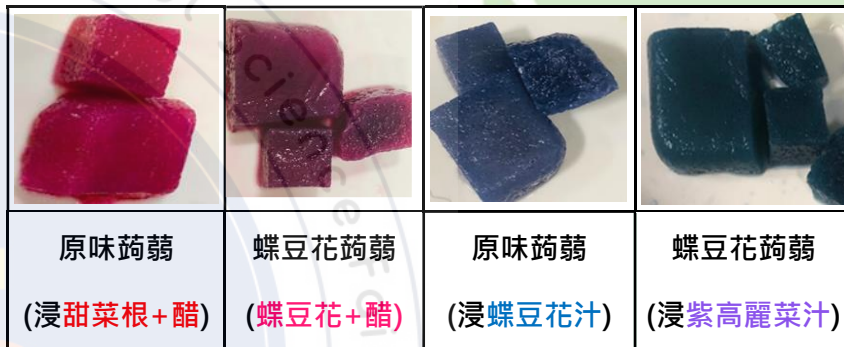
改善:

- 1.部分切碎取代果汁
- 2.防過度熱脹冷縮

碳酸鈉遇酸會發生劇烈反應，同時生成二氧化碳和水

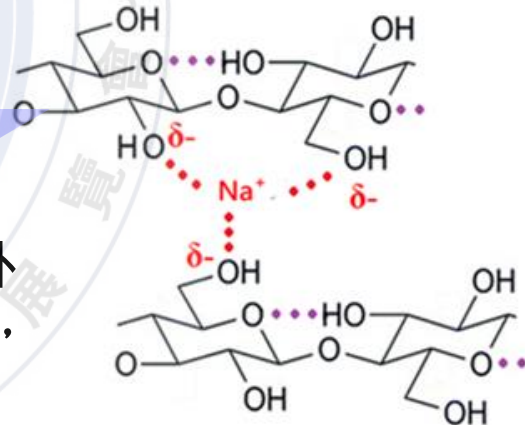


研究結果 7 「浸泡方式」



研究結果 8 凝膠交聯作用的科學建模

實驗發現蒟蒻粉除了加鹼加熱(去乙醯化)可凝膠以外，**金屬陽離子**也會影響， Na^+ 優於 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ，這些現象符合陽離子是可提供交聯作用的模型



交聯示意圖(自行繪製)

結論

● 1.糖的添加使凝膠性下降，但**鹽巴**有助於凝膠，實驗也發現 Na^+ 優於 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ ，本研究提供**交聯作用**的模型

● 2.蒟蒻濃度與pH值是影響蒟蒻品質的關鍵
建議 蒟蒻粉:食用鹼粉:水量=25 : 1 : 1000 。

● 3.酸性添加物可用**酸鹼中和方式**，但孔隙會增加、扭曲變形。

● 4.**儲存方式**以**冷藏組**為佳，加熱會恢復硬脆口感

● 5.**創意**:(1)利用天然色素可增添**蒟蒻視覺性**。(2)**蒟蒻環保電池**是可開發的小型電池。(3)冷凍蒟蒻可做成**蒟蒻海綿**

參考文獻

- (一)賴鳴鳳、廖樹杰、呂政義(1999)。水溶性蒟蒻膠萃取與分子性質之探討。食品科學。26 (5) : 456-467
- (二)游心瑜等(2018)。驚天「凍」地。中華民國第 57屆中小學科學展覽。
- (三)陳可欣、林琬真。不同膠質影響果凍品質研究。(檢索日期2020/09/21)。
- (四)鄭甯等(2017)。(動「池」凍「池」~水果電池，中華民國第 56 屆中小學科學展覽。
- (五)洋菜、明膠、果凍粉、魚膠粉的區別 - 食譜大全 <https://food.tank.tw/article/>
- (六)衛生福利部食品藥物管理署 - 食品添加物標準草案查詢系統
- (七)維基百科-葡甘露聚醣