

# 糖酸共舞~動「凍」腦

名次：佳 作

學校名稱：東區忠孝國中

作者：吳冠綦、李亭儀、杜倫葑、陳竑錡、高維謙、許庭彬

指導教師：夏穎蕓

## 摘要

暑假的時候我們自己在家裡做洋菜果凍，無意間發現糖加多一點時果凍會變硬，而梅子醋果凍竟然叉子一插就碎了。如果加糖會讓果凍變硬、加酸會讓果凍變軟，改變製作洋菜果凍時糖和酸的比例，是否就可以做出軟硬適中的梅子醋果凍呢？我們以砝碼等重物壓放在劍山上的果凍，用來測試果凍的耐受重量和硬度，結果發現醋酸濃度越高時，果凍的酸鹼值越小、耐受重量也越小。添加單醣的洋菜果凍比較硬，推測應該和同濃度的單糖氫鍵數比雙醣多有關。此外，純度較高的麥芽糖，做出來的洋菜果凍比添加其他糖的果凍軟；且颱風過後所有果凍都變軟，推測水中的雜質或礦物質濃度會影響果凍的硬度。洋菜果凍同時含有醋酸和蔗糖時，當蔗糖濃度 10% 以下果凍明顯較軟；而蔗糖濃度超過 15% 以後，果凍變得較硬；推測加酸變軟和加糖變硬效應互相抵銷的濃度比例為 [醋酸：蔗糖 = 0.10~0.20%：12.5% ]。當稀釋的梅子醋水溶液酸鹼值為 3.5 時，想要製作出軟硬適中的梅子醋果凍，蔗糖濃度至少要達 13%。

## 壹、研究動機

一年級的自然課本上有提到海藻中的石花菜可以製作果凍，暑假的時候我們在家裡自己做洋菜果凍，發現糖加多一點的時候，果凍吃起來感覺會比較硬。有一次我們拿酸甜好喝的梅子醋拿來做果凍，沒想到做好的梅子醋果凍用叉子一插，果凍竟然碎掉了！

我們上網查資料，發現原來酸會影響洋菜果凍的凝結。如果加酸會讓洋菜果凍變軟、加糖會讓洋菜果凍變硬，改變製作果凍時酸和糖的比例，是否就可以做出軟硬適中的梅子醋果凍呢？我們和老師討論之後，決定做實驗來試試看。

## 貳、研究目的

- 一、探討不同濃度的醋酸對於洋菜果凍耐受重量與酸鹼值的影響
- 二、探討不同濃度的蔗糖對於洋菜果凍耐受重量與酸鹼值的影響
- 三、探討不同種類的糖對於洋菜果凍耐受重量與酸鹼值的影響
- 四、探討不同濃度的醋酸和不同濃度的蔗糖對於洋菜果凍耐受重量與酸鹼值的影響
- 五、探討適合製作梅子醋果凍的蔗糖比例

## 參、文獻探討

洋菜是由紅藻植物門石花菜科的海藻提煉而來，日本人稱為寒天，是一種白色半透明、含有 Ca 鹽或 Ca-Mg 鹽的多糖衍生物，具有凝膠的效果；保水性佳能吸收二十倍的水，富含水溶性膳食纖維，可增加飽足感，預防肥胖、便秘及大腸癌，還可減少膽固醇吸收，降低心血管疾病發生率，穩定飯後血糖濃度。洋菜的熔點是 85°C，凝固點在 31 °C 至 40 °C 之間，當醋酸濃度 0.3% 以上時會使洋菜不易凝膠。市面上賣的梅子醋果凍大部分是添加吉利 T 或是蒟蒻凍粉，使用這兩種材料做果凍前要先與砂糖乾拌以避免結塊，因為無法預期到底要添加多少砂糖才能避免結塊，不符合我們想要探討「糖」和「酸」的比例對於果凍硬度的影響，所以選用洋菜做為這次實驗的原料。我們選用再現性較高的「劍山加重物法」測試果凍的硬度——把果凍被重物壓到劍山底部時所能耐受的最小重量視為果凍的硬度，耐受重量的數值越大表示果凍越硬。

肆、研究設備與器材

			
燒杯	電子天平	安全吸球	玻璃刻度吸管
			
玻棒	量杯	量筒	滴管
			
電子溫度計	磁攪拌子	加熱攪拌器	pH計
			
甜度計	砝碼	劍山	洗滌瓶
			
保鮮膜	果凍盒	隔熱手套	標籤紙
			
濾水袋	洋菜粉	醋酸	蔗糖
			
葡萄糖	麥芽糖	果糖	十〇梅子醋

## 伍、研究過程與方法

### 一、測果凍的耐重程度：

1. 把果凍從果凍盒中取出，輕輕放在劍山的表面。
2. 在果凍上方放上一個塑膠杯，把砝碼輕輕放入杯中，慢慢增加砝碼重量，直到果凍底部整個壓入劍山。
3. 計算果凍的耐重程度(果凍耐重程度 = 砝碼重量 + 杯重)並記錄。

### 二、測果凍的酸鹼值：

1. 用蒸餾水將 pH 計前端探測的玻璃球沖洗乾淨，以 pH 值 = 4 和 pH 值 = 7 的緩衝液校正 pH 計後備用。
2. 將測完耐重程度的果凍從劍山上取下，放回果凍盒中，以 pH 計測試果凍的酸鹼值並記錄。

### 三、製作原味果凍：

1. 秤取洋菜粉 1 公克，倒入裝有 125 毫升水的燒杯中。
2. 把磁攪拌子和電子溫度計放入裝有洋菜粉的水溶液中，燒杯口用保鮮膜包住，放在加熱攪拌器上加熱到 90~95 度，至洋菜粉完全溶解即可。
3. 將燒杯取下降溫至 85~88 度，均分到兩個果凍杯中，以保鮮膜封住後放入冰箱冷卻至結凍。

### 四、製作添加醋酸的果凍：

1. 配置 0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25% 等不同重量百分濃度的醋酸水溶液。
2. 秤取洋菜粉 1 公克，分別倒入裝有 125 毫升不同重量百分濃度的醋酸水溶液中。
3. 重複製作原味果凍的步驟 2~3，即完成添加不同重量百分濃度的醋酸果凍。

### 五、製作添加蔗糖的果凍：

1. 配置 5%、10%、15%、20%、25% 等不同重量百分濃度的蔗糖水溶液。
2. 秤取洋菜粉 1 公克，分別倒入裝有 125 毫升不同重量百分濃度的蔗糖水溶液中。
3. 重複製作原味果凍的步驟 2~3，即完成添加不同重量百分濃度的蔗糖果凍。

### 六、製作添加不同種類的含糖果凍：

1. 配置 25% 的蔗糖、麥芽糖、果糖和葡萄糖等不同種類的含糖水溶液。
2. 秤取洋菜粉 1 公克，分別倒入裝有 125 毫升不同種類的含糖水溶液中。
3. 重複製作原味果凍的步驟 2~3，即完成添加不同種類的含糖果凍。

### 七、製作添加醋酸和蔗糖的果凍：

1. 配置 0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25% 等不同重量百分濃度的醋酸水溶液。
2. 以不同重量百分濃度的醋酸水溶液，配置 5%、10%、15%、20%、25% 等不同重量百分濃度的蔗糖水溶液，最後形成含有不同濃度的醋酸和蔗糖水溶液。
3. 秤取洋菜粉 1 公克，分別倒入裝有 125 毫升不同種類的醋酸和蔗糖水溶液。

4. 重複製作原味果凍的步驟 2~3，即完成添加不同種類的醋酸和蔗糖果凍。

#### 八、製作調整蔗糖濃度的梅子醋果凍

1. 將梅子醋稀釋五倍配置成梅子醋水溶液。

2. 取 1 滴梅子醋水溶液滴在甜度計上，觀察其重量百分濃度並記錄。

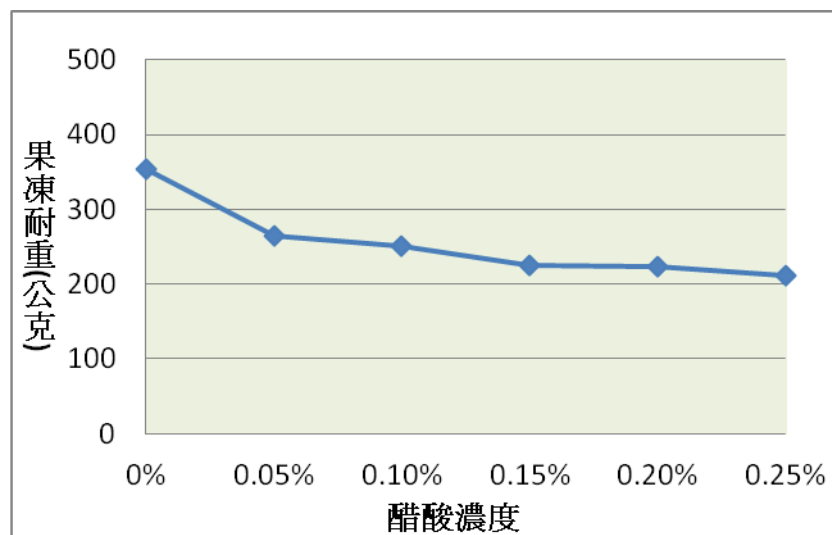
3. 取 125 毫升梅子醋水溶液，加入洋菜粉 1 公克，重複製作原味果凍的步驟 2~3，即完成未調整蔗糖濃度的梅子醋果凍。

4. 依照梅子醋瓶身外的營養標示，計算調整蔗糖重量百分濃度為 10%、12.5%、15%時需添加的蔗糖質量，配置成不同重量百分濃度的梅子醋蔗糖水溶液，取 1 滴梅子醋蔗糖水溶液滴在甜度計上，觀察其重量百分濃度並記錄。

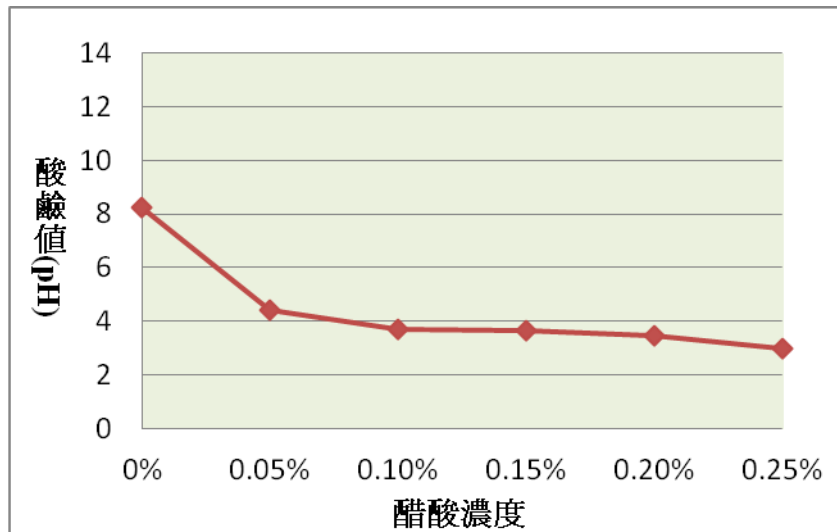
5. 取 125 毫升梅子醋蔗糖水溶液，加入洋菜粉 1 公克，重複製作原味果凍的步驟 2~3，即完成不同重量百分濃度的梅子醋蔗糖果凍。

#### 陸、結果與討論

一、探討不同濃度的醋酸對於洋菜果凍耐受重量與酸鹼值的影響



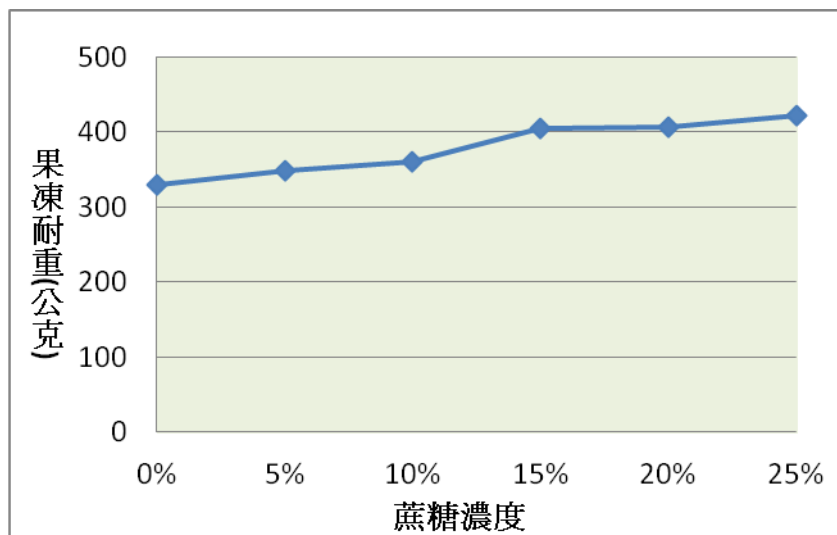
圖一、含有不同濃度醋酸的洋菜果凍耐受重量



圖二、含有不同濃度醋酸的洋菜果凍酸鹼值

圖一顯示洋菜果凍所含的醋酸濃度越高，果凍的耐受重量越低、硬度越小，而且在果凍脫模時偶爾還會破掉，增添實驗的困難度。圖二顯示原味果凍呈現弱鹼性(pH = 8.1)，隨著果凍的醋酸濃度變高，酸鹼值也跟著下降，而且圖一和圖二的趨勢相似，說明洋菜果凍越酸則硬度就會越小。文獻中提到酸可能會造成洋菜的糖苷鍵水解，推測這就是洋菜果凍添加醋酸後會變軟的原因。

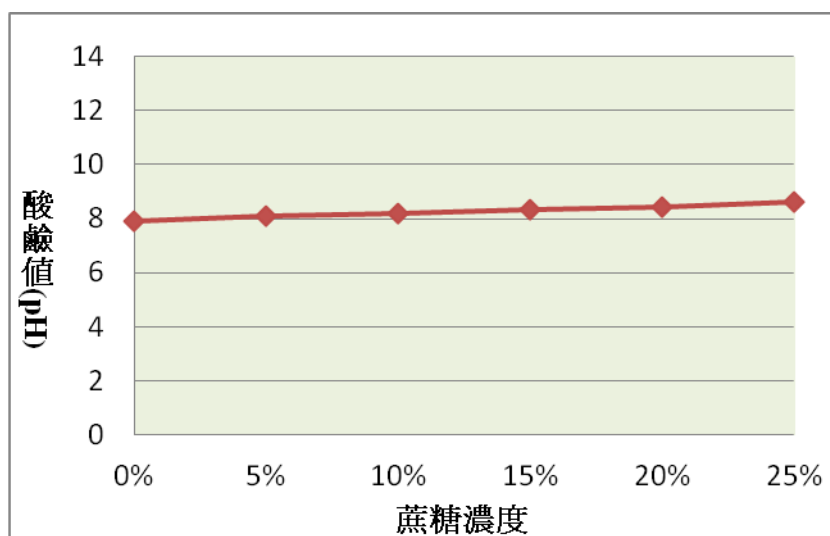
## 二、探討不同濃度的蔗糖對於洋菜果凍耐受重量與酸鹼值的影響



圖三、含有不同濃度蔗糖的洋菜果凍耐受重量

由圖三中我們發現添加的蔗糖濃度越高，洋菜果凍的耐重程度越重。在查尋參考資料時，我們發現有一份簡報中提到「醣類會與多醣(果膠質)分子競爭水分，造成多醣與水分子間的氫鍵鍵結減少、多醣分子間的氫鍵鍵結增加，因而促成多醣分子聚集造成膠體強度增加。」蔗糖會和水形成氫鍵，而洋菜雖然

不是果膠質，但確實是一種多糖衍生物，推測高濃度的蔗糖會和洋菜競爭水分，使洋菜的多糖衍生物形成較多的氫鍵，造成洋菜聚集(就像是局部的洋菜濃度增加)，因而提高了果凍的硬度。

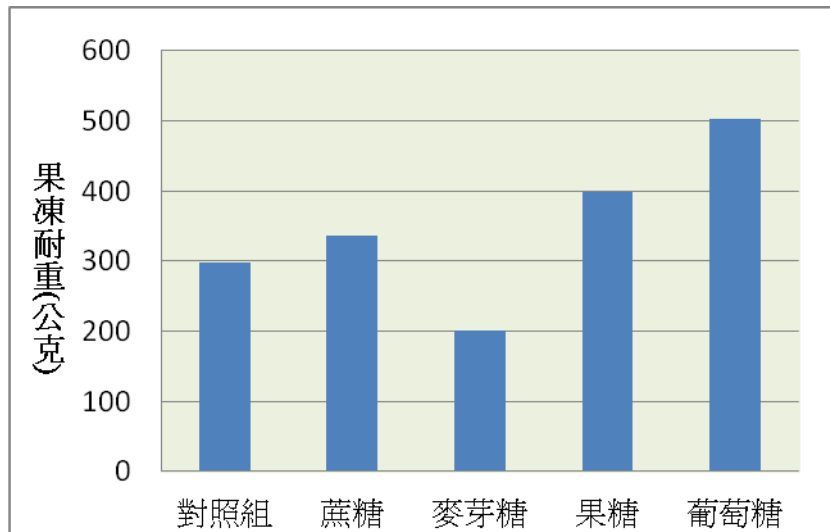


圖四、含有不同濃度蔗糖的洋菜果凍酸鹼值

圖四顯示隨著蔗糖濃度增加，洋菜果凍的酸鹼值會小幅上升(從對照組的 8.1 至 25%蔗糖的 8.5)。蔗糖本身是中性的，理論上加再多的蔗糖也不應該影響洋菜果凍的酸鹼值，推測是因為在蔗糖的製作過程中會使用到石灰，石灰是氧化鈣，溶於水會變成鹼性的氫氧化鈣，可能是因此造成少量的氧化鈣殘留，所以洋菜果凍的酸鹼值才會隨著蔗糖的濃度增加而上升。

### 三、探討不同種類的糖對於洋菜果凍耐受重量與酸鹼值的影響

添加蔗糖會使洋菜果凍的硬度增加，那添加其他種類的糖是否也會有這樣的效果呢?我們分別添加葡萄糖和果糖進行測試，結果沒想到這兩種糖可以使果凍變得更硬。葡萄糖和果糖是單糖也是還原糖，而蔗糖是雙糖但卻是非還原糖，到底使洋菜果凍變硬的原因是因為單糖的特性，還是因為是還原糖的因素呢?我們決定使用同樣是雙糖但屬於還原糖的麥芽糖來製作果凍，來確認添加糖會造成洋菜果凍變硬的原因。



圖五、含有不同種類糖的洋菜果凍耐重重量

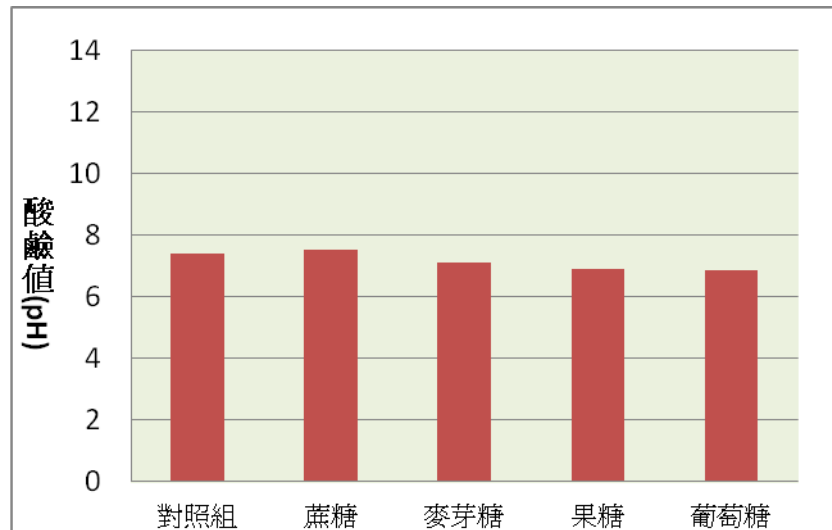
觀察圖五我們發現，添加相同重量百分濃度的不同種類的糖時，葡萄糖的果凍耐重重量最大、硬度最硬，而添加麥芽糖的果凍卻是耐重重量最小、硬度最軟。如果是因為糖的還原性造成影響，那同樣是添加還原糖的麥芽糖果凍不應該比葡萄糖果凍軟這麼多；而且之前提到加酸會使果凍變軟，可能是因為洋菜的糖苷鍵被破壞，所以我們推測果凍變硬可能也是和鍵結有關。葡萄糖和果糖都是單糖，一個分子可以形成五個氫鍵；而蔗糖和麥芽糖因為在結合成雙糖時用去兩個羥基(-OH)，所以一個分子只有 8 個氫鍵。當我們取相同質量的糖配置成同樣的重量百分濃度的水溶液時，單糖產生的氫鍵數是雙糖的 1.1875 倍

$$\left( \left[ \frac{X}{180} \times 5 \right] : \left[ \frac{X}{342} \times 8 \right] \right) = 1.1875$$

可能會有雜質或礦物質殘留)，但市面上食用的麥芽糖或果糖不是膏狀就是液狀黏稠，都很難操作或計算濃度，所以只好使用粉狀或顆粒狀、藥品級的麥芽糖和果糖(其中又以麥芽糖的純度最高、雜質最少)；推測因為藥品級的麥芽糖和果糖含有的雜質和礦物質較少，所以做出來的洋菜果凍的硬度較軟、耐重重量較小。如果這項實驗要做改良，就要把所有的糖都換成藥品級的來做實驗，才能更確定單糖和雙糖對果凍硬度的影響。

此外我們還發現，這一批果凍是在颱風之後做的，結果不論是無添加糖的對照組原味果凍，或是添加 25%蔗糖的果凍，都比我們在颱風之前做的洋菜果凍還要軟(見圖三)。南部地區的自來水是含有較多鈣、鎂離子的硬水，而洋菜果凍本身就是含有 Ca 鹽或 Ca-Mg 鹽的多糖衍生物。因為颱風時期大量降雨，把水中的鈣、鎂離子都稀釋掉了，這或許就是颱風後做的洋菜果凍硬度較軟、耐重重量較小的原因，也說明水中的少量離子會對果凍的硬度造成影響。



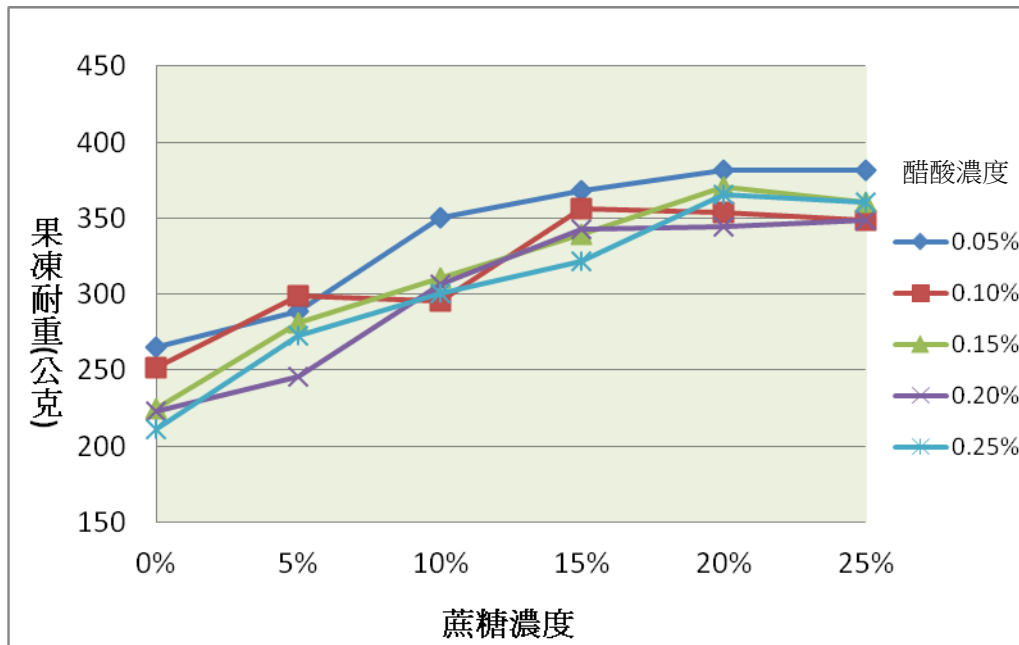


圖六、含有不同種類糖的洋菜果凍酸鹼值

由圖六我們發現不同種類的糖製做洋菜果凍的酸鹼值變化不大，因為糖本身就是中性，所以不太會影響果凍酸鹼值。而且就像是之前提到的，颱風之後的自來水不但使洋菜果凍的硬度變軟、耐受重量變小，連帶也使得對照組和添加 25%蔗糖的洋菜果凍酸鹼值比颱風之前的低，推測可能是因為自來水中的某些礦物質或離子濃度下降，所以才影響了洋菜果凍的酸鹼值。

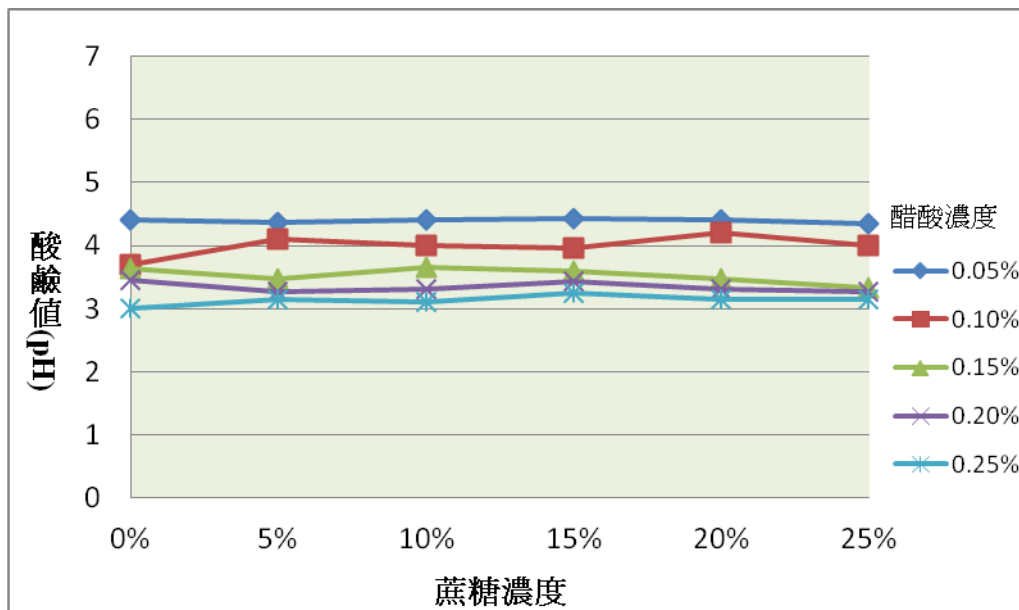
#### 四、探討不同濃度的醋酸和不同濃度的蔗糖對於洋菜果凍耐受重量與酸鹼值的影響

我們發現加酸的果凍會變軟，而加糖的果凍會變硬，那麼加了酸又加了糖的果凍到底會有什麼結果呢？我們選用五種不同濃度的醋酸，分別加入五種不同濃度的蔗糖來製作洋菜果凍並進行探討。



圖七、含有不同濃度的醋酸和蔗糖的洋菜果凍耐受重量

從圖七的趨勢看來，我們發現隨著蔗糖濃度的增加，不論是添加哪種濃度的醋酸，做出來的洋菜果凍耐受重量都會逐漸增加，但當蔗糖濃度超過 15% 以後果凍的耐受重量會逐漸呈現飽和的現象。和對照組的原味果凍的耐受重量相比（圖一、圖三和圖五，重量為 353~298 公克），當洋菜果凍的蔗糖濃度在 10% 以下時，不論醋酸是低濃度的 0.05% 或是高濃度的 0.25%，製作出的洋菜果凍耐受重量都比對照的原味果凍低，顯示在這種條件下，醋酸產生的效應較大。當蔗糖濃度在 10~15% 時，除了添加 0.05% 醋酸的果凍耐重大於對照組之外，其餘添加不同濃度醋酸的果凍耐重程度足以和原味果凍相比；而且不論是添加 0.10%、0.15% 或 0.20% 醋酸的果凍，耐重程度的曲線會聚集在同一點（約 12.5%），我們推測這一交點即是加醋酸使果凍變軟、加蔗糖使果凍變硬效應互相抵銷的濃度比例（醋酸：蔗糖 = 0.10~0.20%：12.5%）。

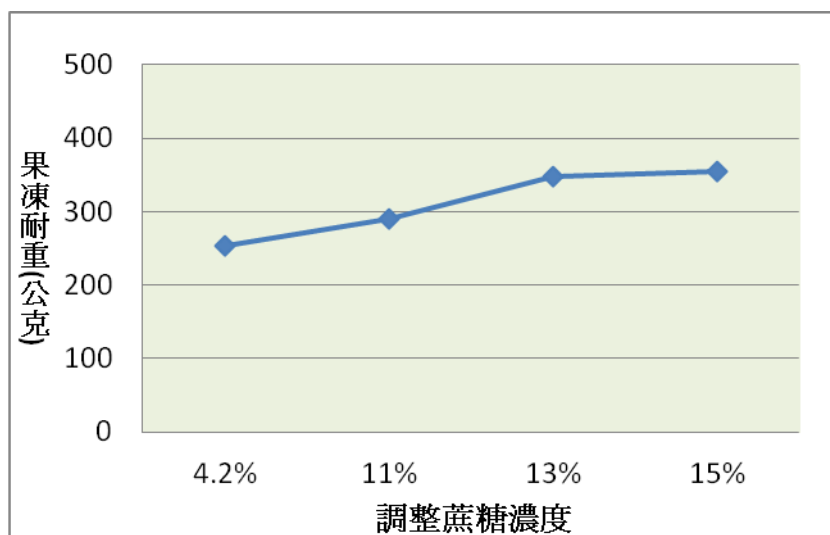


圖八、含有不同濃度醋酸和蔗糖的洋菜果凍酸鹼值

由圖八可知，果凍中添加的醋酸濃度越高，酸鹼值就會越低，而蔗糖本身是中性的，雖然之前我們在製作蔗糖果凍時，發現隨著蔗糖的濃度增加，果凍的酸鹼值會小幅上升(見圖四)，但在這裡卻沒有這種現象，推測是醋酸和蔗糖中所含的鹼性雜質酸鹼中和之後的結果。

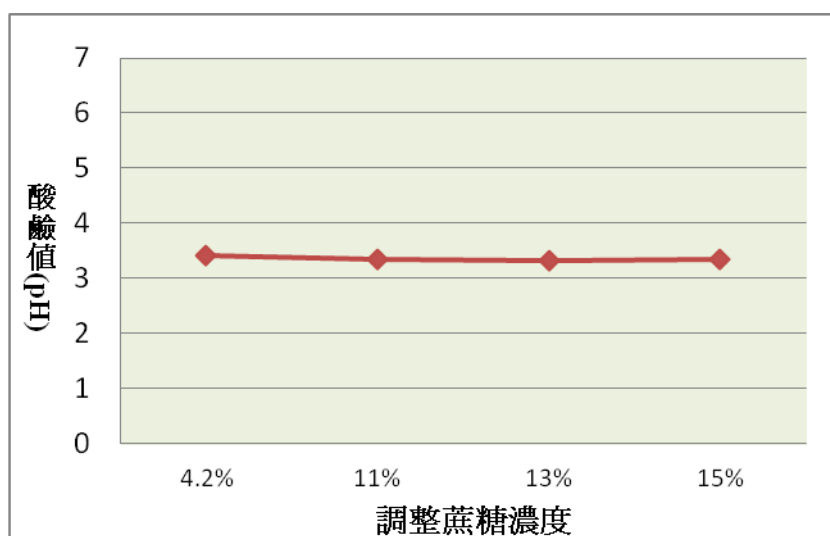
#### 五、探討適合製作梅子醋果凍的蔗糖比例

我們想要製作軟硬適中的梅子醋果凍，所以必須調整果凍中的蔗糖濃度來提升果凍的硬度。將梅子醋稀釋五倍後以甜度計測量蔗糖重量百分濃度是 4.2%，製作成的洋菜果凍的 pH = 3.4，比對圖八的結果，我們推測稀釋五倍後的梅子醋水溶液的醋酸濃度應該介 0.15~0.20%之間。由圖七我們發現當醋酸濃度介於 0.10~0.20%時，如果要讓洋菜果凍達到和對照組相當的耐重程度，最佳的蔗糖濃度應為 10~15%，所以我們就將梅子醋水溶液的蔗糖濃度分別調整至 10%、12.5%和 15%後，製作含梅子醋的洋菜果凍，進行下一步的實驗。



圖九、調整蔗糖濃度後的梅子醋果凍的耐受重量

由圖九可以看到，稀釋五倍的梅子醋水溶液的蔗糖重量百分濃度是 4.2%，調整梅子醋水溶液的蔗糖濃度以甜度計測量分別是 11%、13%和 15%，當蔗糖濃度調整到 13%時，果凍的耐受重量逐漸趨向飽和，顯示梅子醋果凍的最佳蔗糖濃度就是 13%。



圖十、調整蔗糖濃度後梅子醋果凍的酸鹼值

由圖十可知，調整梅子醋果凍的蔗糖濃度並不會影響果凍的酸鹼值。比對圖九的梅子醋果凍的耐受重量與蔗糖濃度關係圖的趨勢來看，調整蔗糖濃度後主要影響的是梅子醋果凍的耐受重量，對於酸鹼值並無影響。

## 柒、結論

1. 洋菜果凍中所含的醋酸濃度越高，果凍的酸鹼值越小、耐受重量也隨之下降，顯示酸性的環境會破壞洋菜的結構，使得果凍變軟。
2. 添加的蔗糖濃度越高，洋菜果凍摸起來越硬、耐受重量越大。
3. 加糖會使洋菜果凍變硬，和糖具有氫鍵的特性有關，但和糖是否具有還原性無關；相同濃度時單醣可以提供較多的氫鍵，使洋菜果凍的硬度大幅提升，耐受重量明顯大於添加雙醣的果凍。
4. 大雨後以自來水製作的洋菜果凍明顯變軟、耐受重量下降，證明水中的少量離子或礦物質的濃度改變會影響果凍的硬度。
5. 同時含有醋酸和蔗糖的洋菜果凍中，當蔗糖濃度低於 10% 時，醋酸使果凍變軟的效果較明顯；蔗糖濃度超過 15% 以後，蔗糖使果凍變硬的效果較明顯，且耐受重量逐漸呈現飽和。
6. 醋酸使果凍變軟和蔗糖使果凍變硬效應互相抵銷的濃度比例為 [ 醋酸：蔗糖 = 0.10~0.20%：12.5% ]。
7. 當梅子醋水溶液的酸鹼值為 3.5 時(醋酸含量約 0.10~0.20%)，想要製作出軟硬適中的梅子醋果凍，蔗糖濃度至少要達 13%。

## 捌、參考文獻

1. 台北市第三十六屆中小學科學展覽作品：硬不硬有關係---神奇的凝膠
2. 新竹女中 96 學年度化學科專題研究報告：凍未條
3. 維基百科：洋菜 <https://zh.wikipedia.org/wiki/洋菜>
4. 解開果凍布丁的各種疑惑  
[http://www.ytower.com.tw/prj/prj\\_309/pl.asp](http://www.ytower.com.tw/prj/prj_309/pl.asp)
5. 教育大市集：15-2 天然聚合物(葡萄糖、果糖、蔗糖、麥芽糖)  
[https://market.cloud.edu.tw/content/senior/chemistry/tp\\_sc/content1/number4/3/15-2.htm](https://market.cloud.edu.tw/content/senior/chemistry/tp_sc/content1/number4/3/15-2.htm)
6. 什麼是甜度？是怎麼測出來的？  
<http://freshstork.pixnet.net/blog/post/33180850>--什麼是甜度？是怎麼測出來的？