

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030209

富麗「醣」皇~醣的黏性之探討

學校名稱：新北市立錦和高級中學

| | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| 作者： 國二 張宇賢 國二 張語涵 | 指導老師： 張元馨 鐘建坪 |
|---------------------------------|-----------------------------|

關鍵詞：醣、滴落時間、黏性

摘要

本研究以滴落時間作為探討不同「醣」的黏性差異，並與黏度計結果比較分析其效度。首先收集並檢測不同種類的單醣、雙醣和代糖是否適合進行黏性測試。除半乳糖、乳糖、水合麥芽糖、阿斯巴甜和糖精之外，其餘 11 種醣類均適合。接著分別進行醣類黏性探討；分析莫耳分率與黏性之關係；以不同濃度純蔗糖探討黏性；並以黏度計確認本實驗的可行性。研究結果發現：黏性以麥芽糖醇最大，而木糖醇最小，推測羥基的多寡可能是影響黏性的主要因素；混糖實驗發現純蔗糖比例越高、黏性越好，莫耳分率和黏性之間的相關係數高；純蔗糖濃度與黏性有高度正相關；最後，本實驗方法與黏度計比較具有效度。文末進行相關結果討論，並說明未來本研究結果在傳統小吃的運用。

壹、研究動機

在逛老街時一定會買一支糖葫蘆來解嘴饞，微酸的山楂果外面包覆著一層薄脆且「不黏牙」的糖漿，一口咬下去，微甜的糖中和了山楂果的酸，真的非常好吃。有時候，也會看到吹糖師展現吹糖技藝，用糖吹捏成各種造型圖案(圖 1)。讓我不禁思索著，平時我最喜歡吃的糖，有些放在桌上一會兒就會溶化，也會讓放置糖的地方黏黏的，很難清理；但是，有些糖卻不受環境的影響，可以維持原狀。明明是同樣的溫度，有些糖會溶化，讓桌子或手黏黏的；有些糖卻不容易產生這樣的情況，因此我好奇，不同種類的「醣」在性質上有哪些差異？而又有那些因素影響了醣的黏性？



圖 1. 吹糖技藝。

查了相關資料後發現，原來糖葫蘆外面包裹的是「冰糖」，用來製作吹糖的糖料是由「蔗糖」和「麥芽糖」加熱調製而成的。冰糖和蔗糖主要的原料是甘蔗，由甘蔗提煉出來的蔗糖為黃色晶體，再經過提純後製成冰糖，外觀則呈現白色；麥芽糖則是利用小麥在發芽時產生的澱粉酶把糯米分解而製成麥芽糖，其製作過程與蔗糖和冰糖不同，但都是日常生活中常見的「醣」，也都是由兩分子的「單醣」聚合而成的「雙醣」(圖 2)(說糖解惑，2021)。

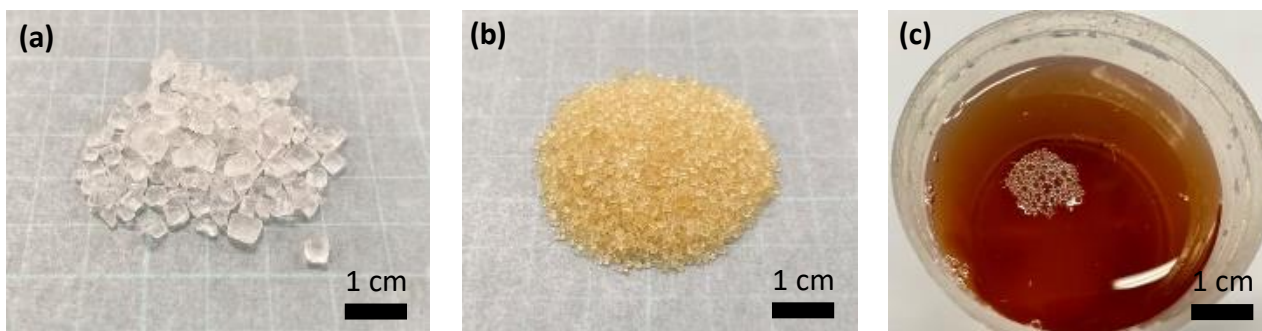


圖 2. 冰糖、砂糖和麥芽糖外觀照。(a)冰糖 (b)蔗糖 (c)麥芽糖。

單糖 ($C_6H_{12}O_6$) 為碳水化合物，種類包含葡萄糖、果糖和半乳糖。其結構在眾多糖分子中是最簡單的 (圖 3 至圖 5)，不能被分解為更小分子的糖，一般是結晶固體，能溶於水，絕大多數單糖有甜味，可以被人體直接吸收。葡萄糖是自然界分佈最廣且最為重要的一種單糖；果糖存在於蜂蜜、水果和地瓜等食物當中；半乳糖則可在奶製品或甜菜中找到 (醴有千萬面貌，2021)。

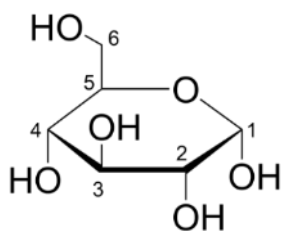


圖 3. 葡萄糖結構式

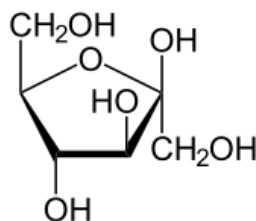


圖 4. 果糖結構式

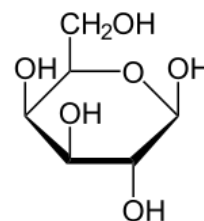


圖 5. 半乳糖結構式

雙糖 ($C_{12}H_{22}O_{11}$) 是由兩個單糖分子經縮合反應除去一個水分子而成的一種碳水化合物，可溶於水，種類包含蔗糖、麥芽糖和乳糖 (白蕙茶、葉名倉，2021)。蔗糖由一分子的葡萄糖和一分子的果糖化合而成，試藥級蔗糖 (蔗糖；本研究為了避免名詞上的混淆，因此將純度達 100% 的蔗糖稱為純蔗糖) 可在化工材料行購買，而一般市售蔗糖會依製程與處理方式不同，其蔗糖含量有所差異 (表 1)，可將蔗糖分為黑糖、二砂、細砂、方糖和冰糖等，其特色如下：

表 1. 蔗糖的種類與純度表

| 種類 | 純度 |
|----------|---------|
| 黑糖 | 89.0 % |
| 二砂 | 97.0 % |
| 方糖 | 99.5 % |
| 細砂 | 99.5 % |
| 冰糖 | 99.9 % |
| 純蔗糖 (蔗糖) | 100.0 % |

1. 黑糖：傳統古法是將甘蔗榨汁，經濃縮、冷卻結晶而成。現在則是將二砂經過溶解並添加糖蜜製成。
2. 二砂：甘蔗經過壓搾產生蔗汁及蔗渣，蔗汁經過處理可製成二砂。

3. 方糖：挑選晶體尺寸粒度適當的精製細砂，與少量的糖漿混合成為含水分 1.5~2.5% 的溼糖，然後用成型機擠壓製成方塊狀，再經乾燥到水分 0.5% 以下。
4. 細砂：糖漿經過一次結晶再精煉產生細砂。
5. 冰糖：以細砂為原料，經加水溶解、再結晶製成，其晶粒尺寸較上述之細砂大。

麥芽糖由兩分子的葡萄糖化合而成；乳糖則存在於哺乳類的乳汁中，是由葡萄糖和半乳糖化合而成的雙糖(圖 6 至圖 8)。

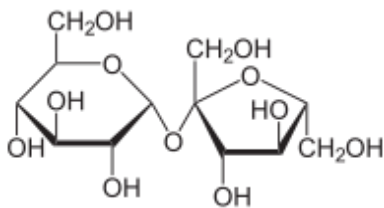


圖 6. 蔗糖結構式

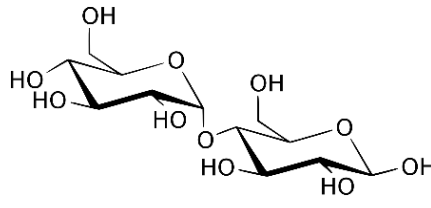


圖 7. 麥芽糖結構式

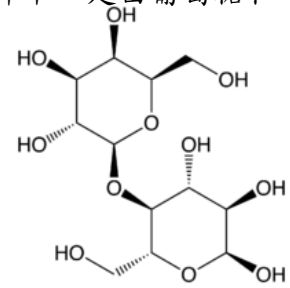


圖 8. 乳糖結構式

除了單糖與雙糖之外，有些食品也會添加人工甜味劑當作甜味的來源，尤其是需要減少熱量的食物中。我好奇，這些甜味劑 (代糖) 也能當作糖葫蘆或者吹糖的材料嗎？因此我找了五種不同的甜味劑：阿斯巴甜、糖精、山梨糖醇、木糖醇和麥芽糖醇 (圖 9 至圖 13)，希望能夠了解代糖的特性，並探討代糖在黏性上的差異。

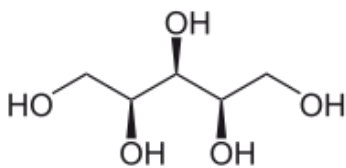


圖 9. 木糖醇結構式

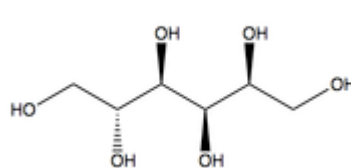


圖 10. 山梨糖醇結構式

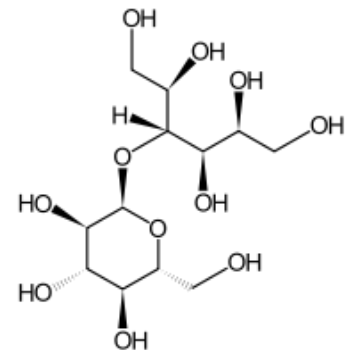


圖 11. 麥芽糖醇結構式

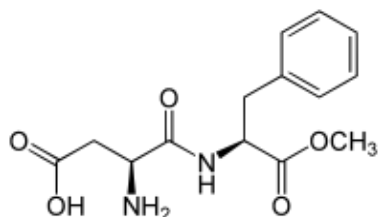


圖 12. 阿斯巴甜

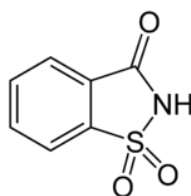


圖 13. 糖精

吹糖的糖料是由蔗糖和麥芽糖以不同的比例加熱調製而成，國二理化課本有提到莫耳濃度，若將兩種糖以不同莫耳比例混合在一起，黏性的變化又會如何？上網查詢相關資料時發現，這個想法和「拉午耳定律」有異曲同工之妙 (劉燕孝，2017)。因此我們好奇，如果將兩種糖以不同的莫耳比例混合，所測得的結果，能否推測不同糖混合之後其分子間的作用是否改變。

固體的糖必需在水裡溶解後才會有流動性。然而，流體 (液體和氣體) 在流動時，會因為分子本身的摩擦力而產生阻力，這阻力的大小稱為流體的「黏度」，也就是黏性的程度，又稱「黏滯性」，是所有的流體都具有的物理性質。而流體受外力時所產生的阻力，主要來自於液體分子之間的相互吸引力，也就是說，液體黏度越大，分子之間的吸引力也會越大。例如：蜂蜜和楓糖較黏稠，具有較高的黏度；而水和空氣容易流動，具有較低的黏度。

簡而言之，流體的黏度越高，流動性則越差，流動相同距離時需要時間較長；反之，流體的黏度越低，流動性則越佳，流動相同距離時需要時間較短。黏度會因物質的種類、濃度和溫度而改變。溫度越低、濃度越高時，黏度則越佳 (曹智萍等，2014)。

綜上所述，本研究想要探討不同種類的「糖」，在溫度和濃度的影響之下，以其「滴落時間」，作為探討其黏性差異的依據。最後，我們希望本研究所設計出來的實驗能有效的應用在日常生活中，因此，我們使用標準黏度計來當作是校正的標準，期望我們的實驗有一定的準確度。

貳、研究目的

本研究主要目的如下：

1. 測試不同種類的「糖」在溶解且加熱之後的變化，詳細記錄觀察結果。
2. 探討不同種類的「單糖」黏性的差異。
3. 測試不同純度蔗糖的黏性，進一步以混合物成份解釋造成黏性差異可能的原因。
4. 探討不同種類「代糖」的黏性，及代糖取代傳統小吃材料的可能性。
5. 綜合分析比較單糖、雙糖和代糖的黏性，從化學結構式推敲造成黏性不同的主要原因。
6. 分析糖水溶液黏性與莫耳分率之關係，探討混合糖溶液分子之間的作用力關係。
7. 檢測不同濃度的純蔗糖在黏性上的差別，並解釋可能的原因。
8. 探討實驗方法的有效性，用黏度計確認本實驗方法的準確度與可行性。

參、研究設備及器材

一、藥品

- | | | | |
|--------|----------|----------|----------|
| 1. 葡萄糖 | 5. 乳糖 | 9. 細砂 | 13. 糖精 |
| 2. 果糖 | 6. 水合麥芽糖 | 10. 方糖 | 14. 木糖醇 |
| 3. 半乳糖 | 7. 黑糖 | 11. 冰糖 | 15. 山梨糖醇 |
| 4. 純蔗糖 | 8. 二砂 | 12. 阿斯巴甜 | 16. 麥芽糖醇 |

二、器材

- | | | | |
|-------------|-----------|---------|---------|
| 1. 精密電子秤 | 5. 黏度試驗水槽 | 9. 玻璃棒 | 13. 量角器 |
| 2. 加熱板 | 6. 黏度計 | 10. 玻璃片 | |
| 3. 滴定管鐵架與鐵環 | 7. 燒杯 | 11. 碼錶 | |
| 4. 溫度計 | 8. 刮勺 | 12. 量筒 | |

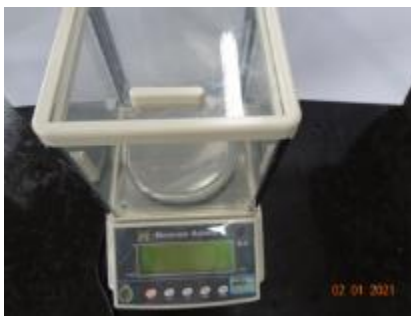


圖 14. 精密電子秤



圖 15. 加熱板



圖 16. 溫度計



圖 17. 滴定管鐵架與鐵環

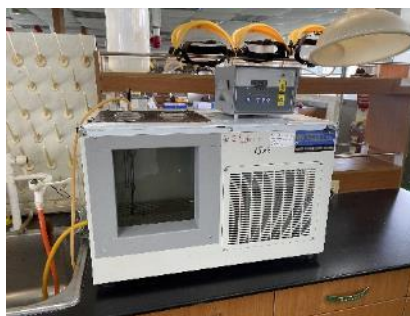


圖 18. 黏度試驗水槽



圖 19. 黏度計

肆、研究過程或方法

一、研究架構與流程圖

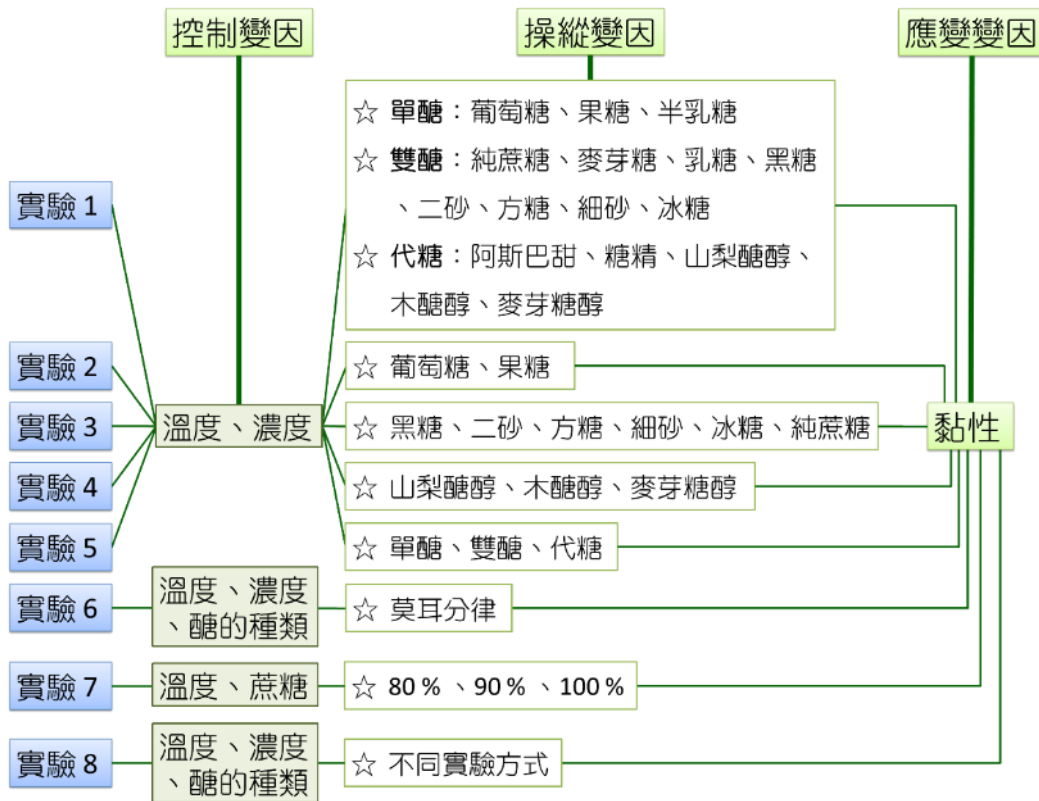


圖 20. 研究架構與流程圖

二、**實驗 1** 測試不同種類的「醣」在溶解且加熱之後的變化，詳細記錄觀察結果。

1. 將 5 g 的醣加入 10 g 的水中，放置於加熱板上加熱，隨著溫度的升高，醣會逐漸溶解在水中，直至完全溶解。
2. 將水溶液加熱至剩下 5 g，並放置在室溫下進行降溫，當溫度降低至 110 °C 時開始進行實驗操作。
3. 將降溫至 110 °C 的醣水溶液以傾斜 30 度的角度斜放在鐵圈上，使燒杯內的醣水溶液滴落，同時放置一片玻璃片在鐵架底部，並保持燒杯和玻璃片的距離為 16 cm(圖 21)。
4. 以碼表測量醣類滴下 1 滴至玻璃片所需要的時間(圖 22)。
5. 考量樣本的有效性，每種醣類至少試驗 30 次。
6. 測試以下醣類的黏度特性，並將觀察結果記錄下來。
 - (1) 單醣：葡萄糖、果糖、半乳糖
 - (2) 雙醣：純蔗糖、麥芽糖、乳糖
 - (3) 不同純度的蔗糖：黑糖、二砂、細砂、方糖、冰糖
 - (4) 代糖：阿斯巴甜、糖精、山梨糖醇、木糖醇、麥芽糖醇

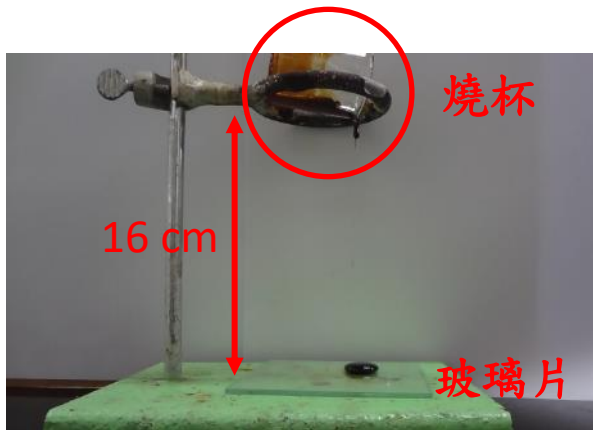


圖 21. 將裝有醣水溶液的燒杯傾斜 30 度，以利醣滴下。

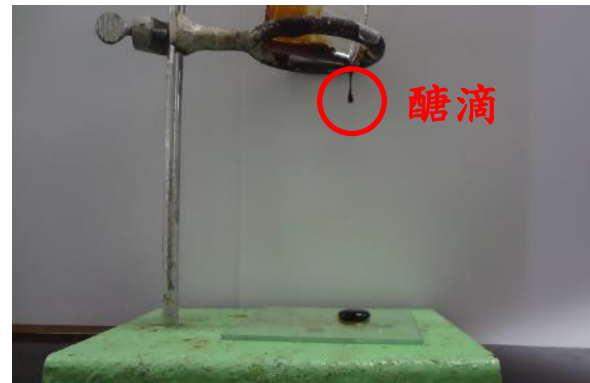


圖 22. 醣滴落圖

三、**實驗 2** 探討不同種類的「單醣」黏性的差異。

7. 以葡萄糖和果糖作為實驗材料，重複實驗步驟 1~4，並紀錄實驗結果。

四、**實驗 3** 測試不同純度蔗糖的黏性。

8. 使用黑糖、二砂、細砂、方糖、冰糖、純蔗糖作為實驗材料，重複實驗步驟 1~4，並紀錄實驗結果。

五、**實驗 4** 探討不同種類「代糖」的黏性。

9. 以麥芽糖醇、山梨糖醇、木糖醇作為實驗材料，重複實驗步驟 1~4，並紀錄實驗結果。

六、**實驗 5** 綜合分析比較單醣、雙醣和代糖的黏性。

10. 選擇葡萄糖、純蔗糖、麥芽糖醇、山梨糖醇和木糖醇作為實驗材料，重複實驗步驟 1~4，並紀錄實驗結果。

七、**實驗 6** 分析糖水溶液黏性與莫耳分率之關係。

11. 以不同莫耳數比混合葡萄糖和純蔗糖，重複實驗步驟 1~4，並紀錄實驗結果。

八、**實驗 7** 檢測不同濃度的純蔗糖在黏性上的差別。

12. 重複實驗步驟 1~4，將純蔗糖濃度降低為 90 % 和 80 % 進行實驗操作，並記錄結果。

九、**實驗 8** 探討實驗方法的有效性，用黏度計確認本實驗方法的準確度與可行性。

1. 利用黏度計進行測量

- (1) 將實驗槽的溫度調至 40 °C (圖 23)。
- (2) 用吸管吸取 15 ml 濃度為 70 % 的醣類注入黏度計內。
- (3) 放置約 5 分鐘，讓黏度計和醣類的溫度達到平衡後，利用安全吸球將醣類吸至 A 點上方。
- (4) 移去安全吸球後，測量醣類從 A 點流至 B 點的時間 (圖 24)。
- (5) 重複步驟 1~4，測量木糖醇、純蔗糖和麥芽糖醇流動的時間。

2. 我們設計的實驗方法

- (1) 以我們所設計的實驗方法測量木糖醇、純蔗糖和麥芽糖醇的滴落時間，濃度固定為 70 %、溫度則為 40 °C。

3. 分析比較兩種實驗方法的差異，評估我們設計的實驗能否有效取代實驗室中的黏度計。



圖 23. 黏度試驗水槽。溫度設定為 40 °C。

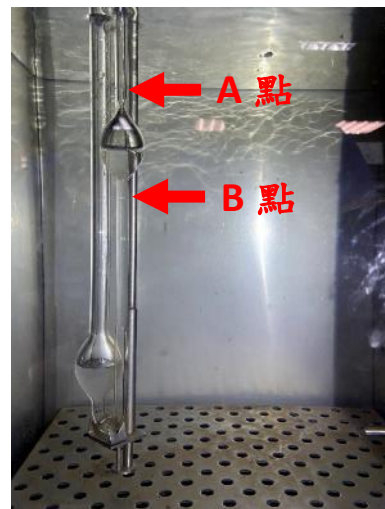


圖 24. 黏度計。

伍、研究結果

一、測試不同種類的「糖」在溶解且加熱之後的變化，詳細記錄觀察結果

(一) 單糖：葡萄糖、果糖、半乳糖

1. 葡萄糖

- (1) 溶於水、加熱前後為無色水溶液(圖 25、26)。
- (2) 加熱時較不易燒焦。
- (3) 加熱後會產生黏性，且呈現液態。

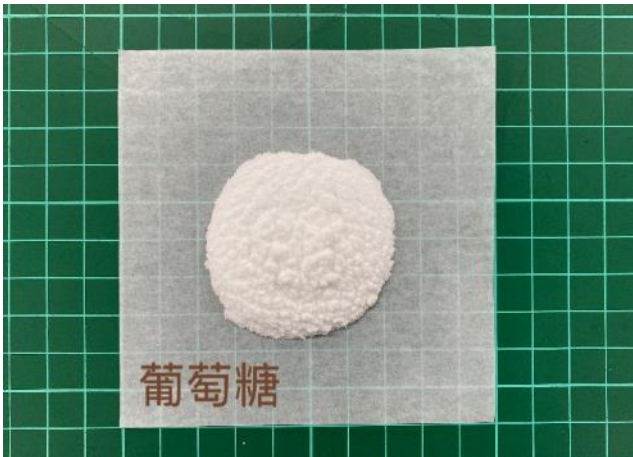


圖 25. 葡萄糖外觀



圖 26. 葡萄糖水溶液

2. 果糖

- (1) 溶於水、加熱前後為淡黃色水溶液(圖 27、28)。
- (2) 加熱時較不易燒焦。
- (3) 加熱後會產生黏性，且呈現液態。

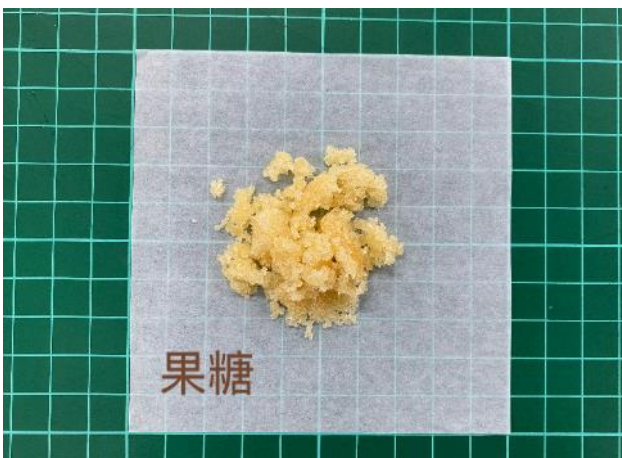


圖 27. 果糖外觀

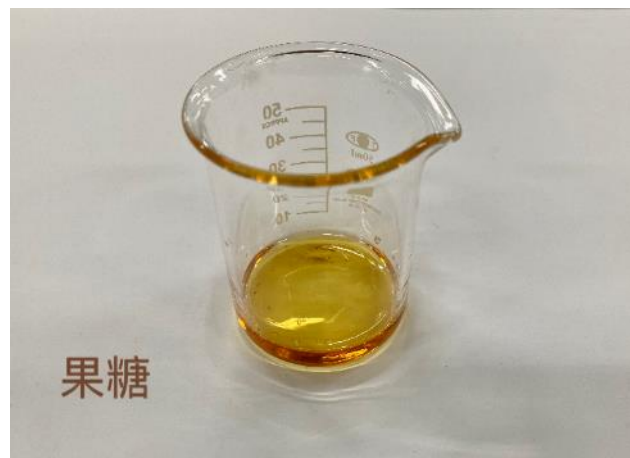


圖 28. 果糖水溶液

3. 半乳糖

- (1) 溶於水、加熱前為透明水溶液，加熱後呈現淡黃色。在水溶液濃度未達 100 % 之前仍維持透明無色，一旦達到 100 % 則轉變為淡黃色(圖 29、30)。
- (2) 加熱時較不易燒焦。
- (3) 加熱後會產生黏性，且呈現液態。
- (4) 黏性過大，使半乳糖大量黏滯在燒杯上，無法進行實驗操作。

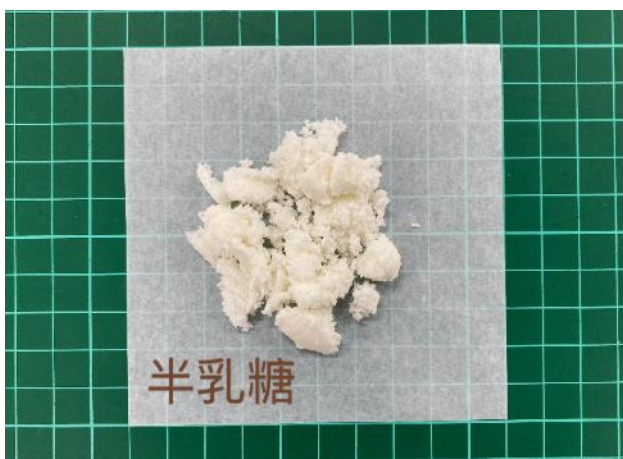


圖 29. 半乳糖外觀

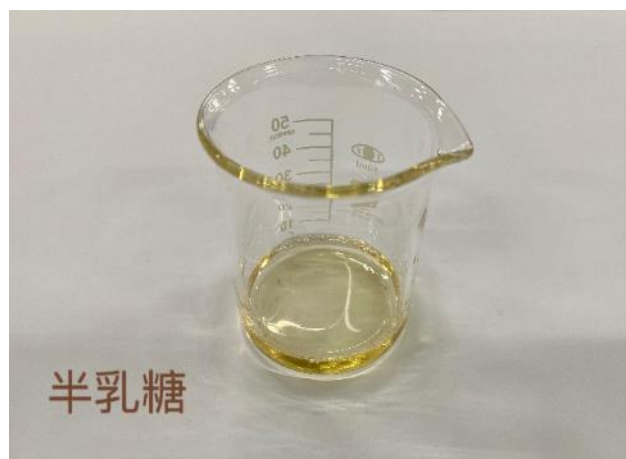


圖 30. 半乳糖水溶液

→ 根據測試結果我們認為：葡萄糖和果糖適合作為實驗材料，半乳糖則因黏性過大，會全部沾黏在燒杯上，因此無法進行實驗操作。

(二) 雙糖：純蔗糖、乳糖、麥芽糖

1. 純蔗糖

- (1) 溶於水、加熱前為透明水溶液，加熱後呈現淡黃色。在水溶液濃度未達 100 % 之前仍維持透明無色，一旦達到 100 % 則轉變為淡黃色。若持續加熱，顏色則轉為暗紅色(圖 31 至圖 35)。
- (2) 加熱後會產生黏性，且呈現液態。
- (3) 降溫後容易拉扯塑型，可拉出絲狀糖絲。

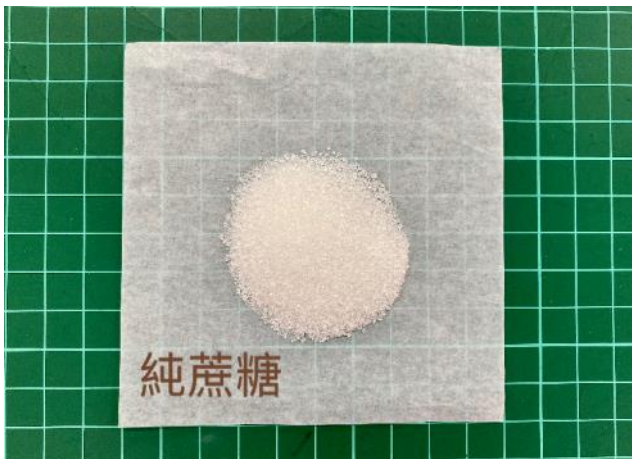


圖 31. 純蔗糖外觀

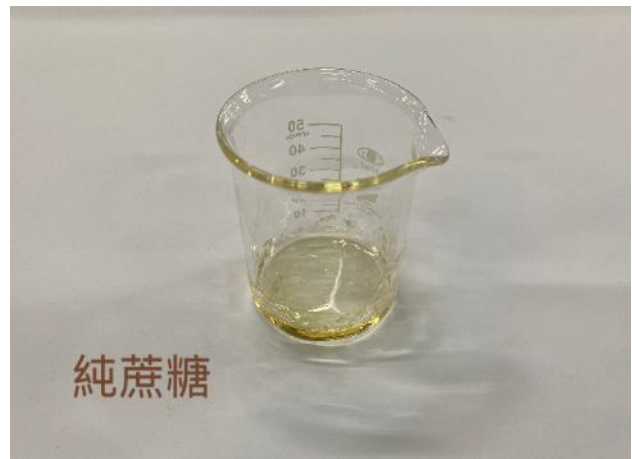


圖 32. 純蔗糖水溶液



圖 33. 濃度 100% 的純蔗糖



圖 34. 濃度 90% 的純蔗糖



圖 35. 濃度 80% 的純蔗糖

2. 乳糖

- (1) 溶於水、加熱前後均為淡黃色透明水溶液(圖 36、37)。
- (2) 加熱後會產生黏性，且呈現液態。
- (3) 溫度下降快。
- (4) 黏性過大，使乳糖大量黏滯在燒杯上，無法進行實驗操作。



圖 36. 乳糖外觀

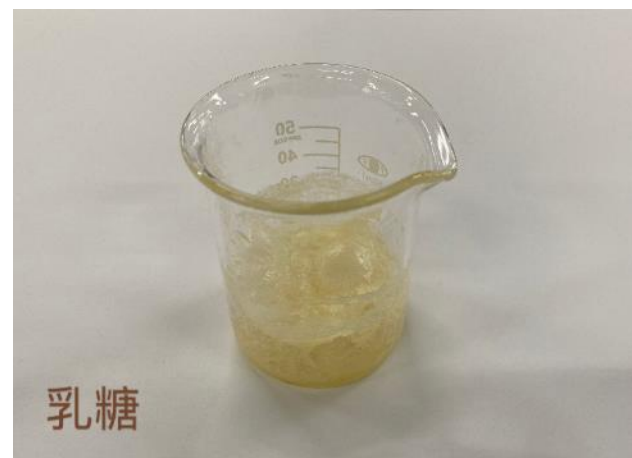


圖 37. 乳糖水溶液

3. 麥芽糖

- (1) 溶於水、加熱前後均為透明水溶液(圖 38、39)。
- (2) 加熱後會產生黏性，且呈現液態。
- (3) 呈現液態後表面會產生一層薄膜使液體無法流動，無法進行實驗操作。

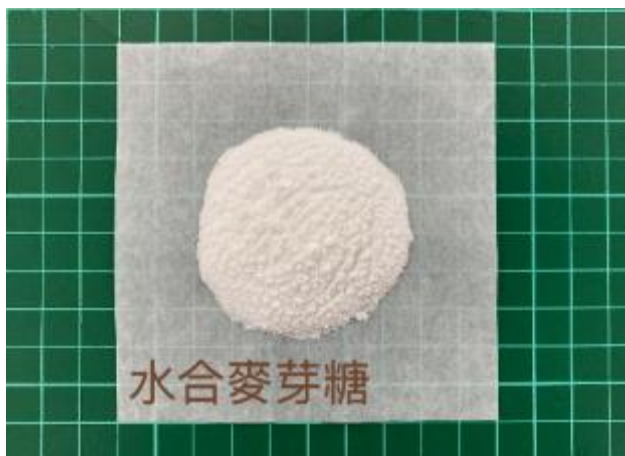


圖 38. 麥芽糖外觀

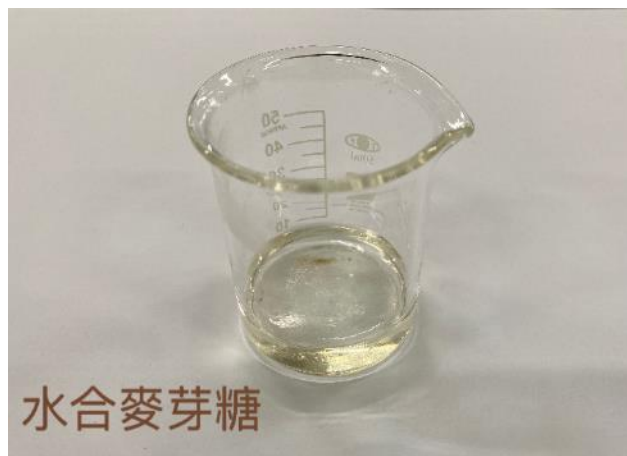


圖 39. 麥芽糖水溶液

➔ 根據測試結果我們認為：純蔗糖適合作為實驗材料。我們經過多次實驗發現，乳糖會沾黏在燒杯上，麥芽糖則是在表面產生一層薄膜，導致麥芽糖水溶液無法流動，因此不適合當作為此次實驗的材料。

(三) 不同純度的蔗糖：黑糖、二砂、細砂、方糖、冰糖

1. 黑糖

- (1) 溶於水、加熱前後均為黑色水溶液(圖 40、41)。
- (2) 加熱後會產生黏性，且呈現液態。
- (3) 當水分減少至一定程度時會開始大量冒泡。
- (4) 降溫後容易拉扯塑型，可拉出絲狀糖絲。



圖 40. 黑糖外觀

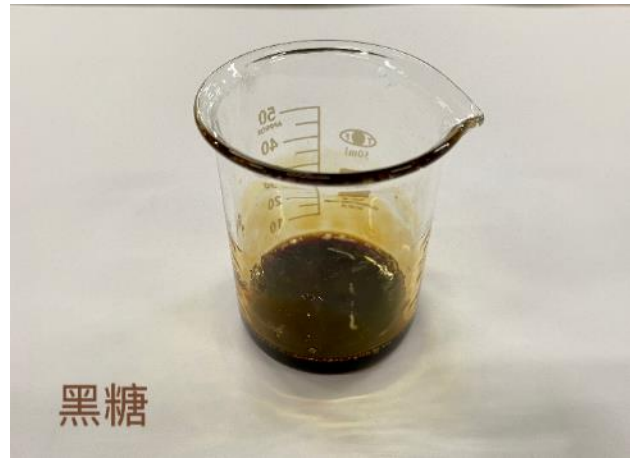


圖 41. 黑糖水溶液

2. 二砂

- (1) 溶於水、加熱前後均為淡黃色水溶液(圖 42、43)。
- (2) 加熱後會產生黏性，且呈現液態。
- (3) 當水分減少至一定程度時會開始大量冒泡。
- (4) 降溫後容易拉扯塑型，可拉出絲狀糖絲。

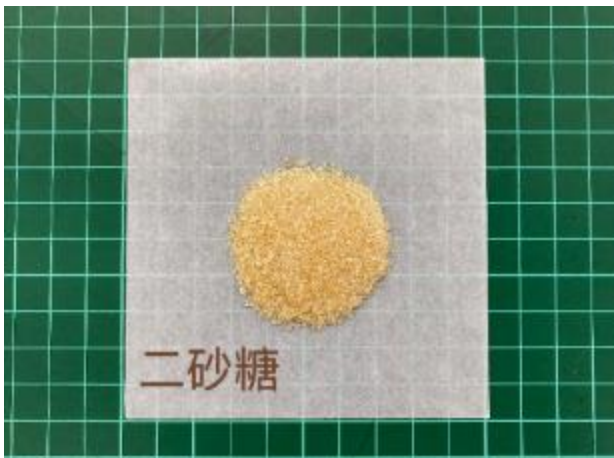


圖 42. 二砂外觀

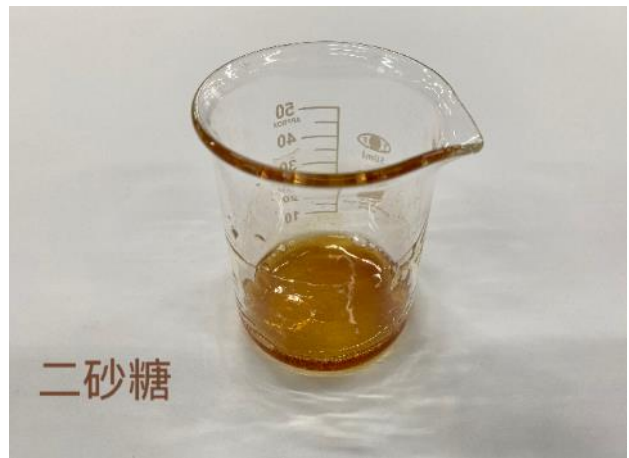


圖 43. 二砂水溶液

3. 細砂

- (1) 溶於水、加熱前為透明水溶液，加熱後呈現淡黃色。在水溶液濃度未達 100% 之前仍維持透明無色，一旦達到 100% 則轉變為淡黃色。若持續加熱，顏色則轉為暗紅色(圖 44、45)。
- (2) 加熱後會產生黏性，且呈現液態。
- (3) 降溫後容易拉扯塑型，可拉出絲狀糖絲。

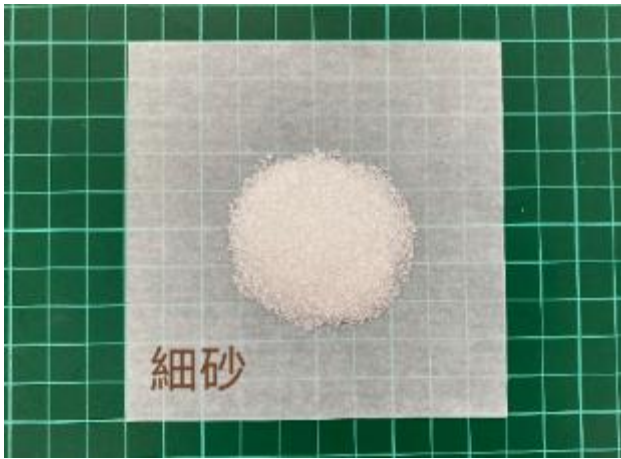


圖 44. 細砂外觀

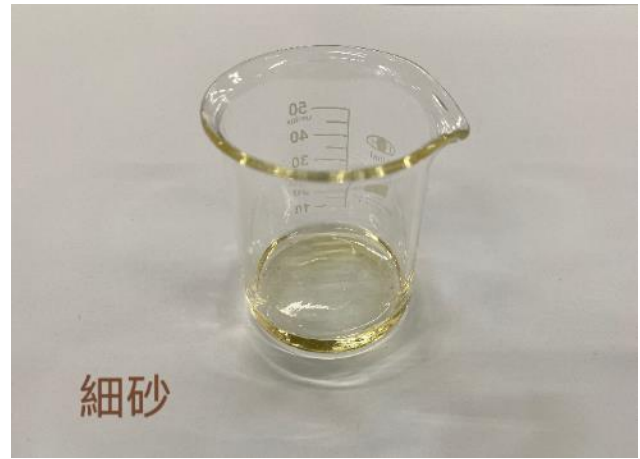


圖 45. 細砂水溶液

4. 方糖

- (1) 溶於水、加熱前為透明水溶液，加熱後呈現淡黃色。在水溶液濃度未達 100 % 之前仍維持透明無色，一旦達到 100 % 則轉變為淡黃色。若持續加熱，顏色則轉為暗紅色(圖 46、47)。
- (2) 加熱後會產生黏性，且呈現液態。
- (3) 降溫後容易拉扯塑型，可拉出絲狀糖絲。

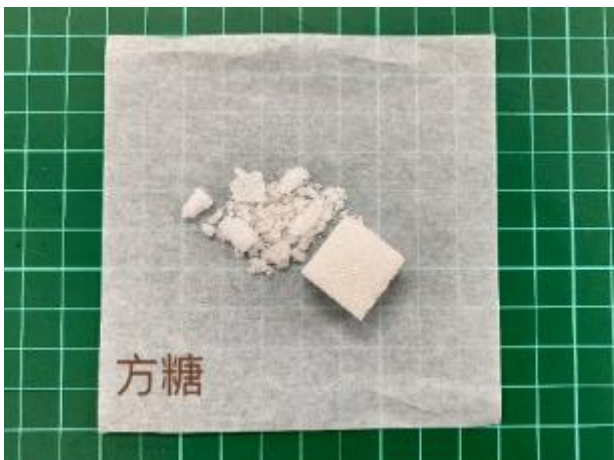


圖 46. 方糖外觀

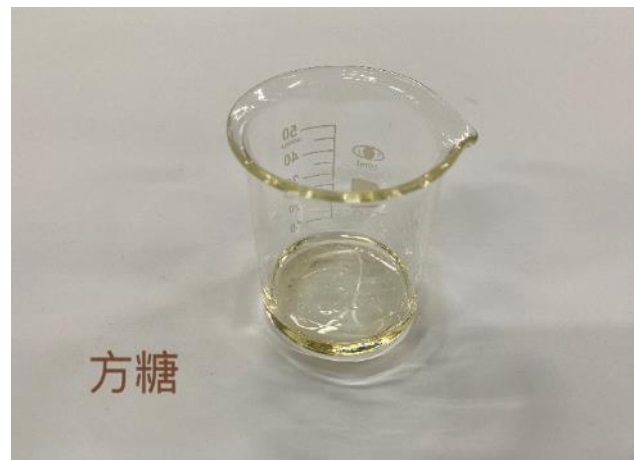


圖 47. 方糖水溶液

5. 冰糖

- (1) 溶於水、加熱前為透明水溶液，加熱後呈現淡黃色。在水溶液濃度未達 100 % 之前仍維持透明無色，一旦達到 100 % 則轉變為淡黃色。若持續加熱，顏色則轉為暗紅色(圖 48、49)。
- (2) 加熱後會產生黏性，且呈現液態。
- (3) 當水分減少至一定程度時會開始大量冒泡。

(4) 降溫後容易拉扯塑型，可拉出絲狀糖絲。

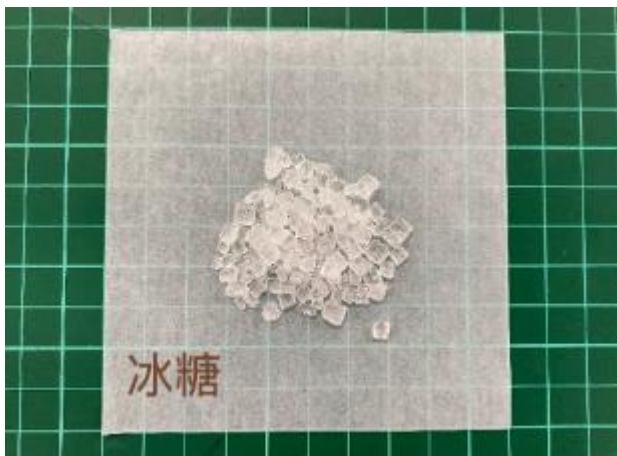


圖 48. 冰糖外觀

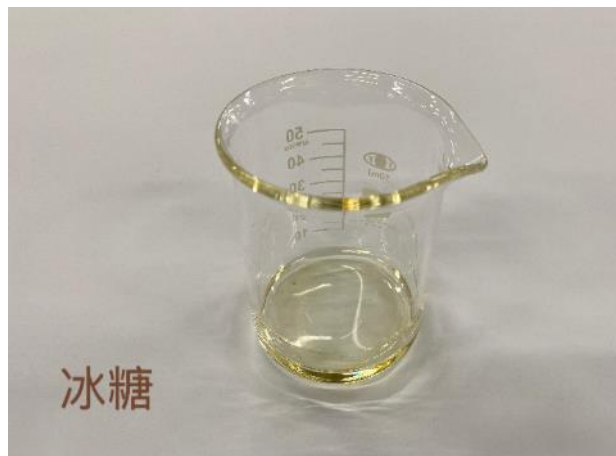


圖 49. 冰糖水溶液

→ 根據測試結果我們認為：以上 5 種不同純度的蔗糖均適合作為實驗材料。

(四) 代糖：阿斯巴甜、糖精、山梨糖醇、木糖醇、麥芽糖醇。

1. 阿斯巴甜和糖精溶於水後會形成透明水溶液，但加熱後會產生異味，並變成白色粉末，因此本實驗不採用這兩種糖類當成實驗材料。

2. 山梨糖醇

(1) 溶於水、加熱前後均為透明水溶液(圖 50、51)。

(2) 加熱後會產生黏性，且呈現液態。

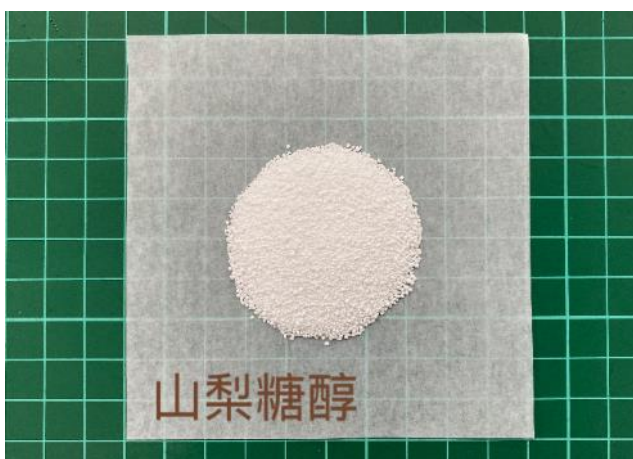


圖 50. 山梨糖醇外觀

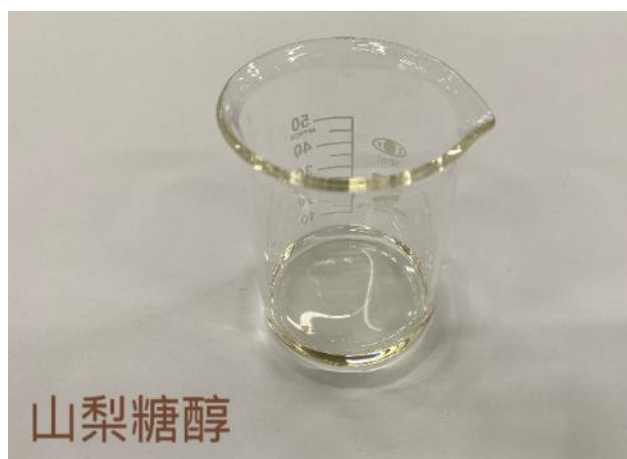


圖 51. 山梨糖醇水溶液

3. 木糖醇

(1) 溶於水、加熱均前後為透明水溶液(圖 52、53)。

(2) 加熱後會產生黏性，且呈現液態。

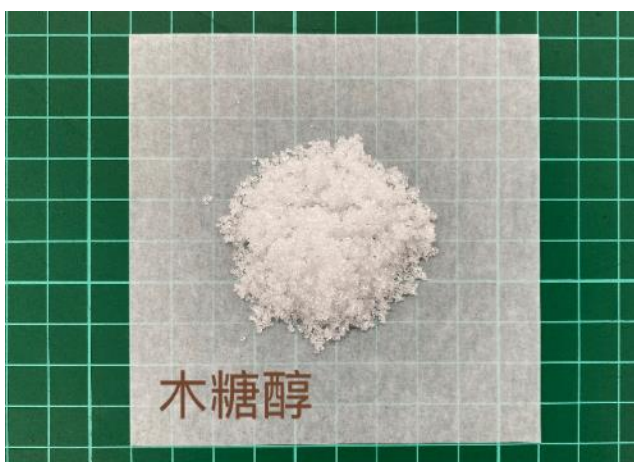


圖 52. 木糖醇外觀

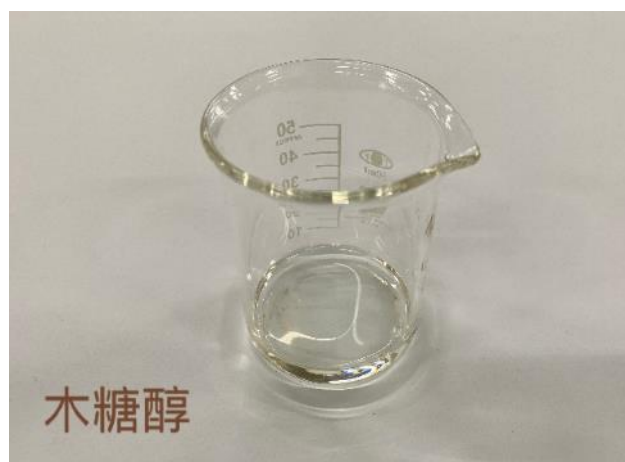


圖 53. 木糖醇水溶液

4. 麥芽糖醇

(1) 溶於水、加熱均後前為透明水溶液(圖 54、55)。

(2) 加熱後會產生黏性，且呈現液態。

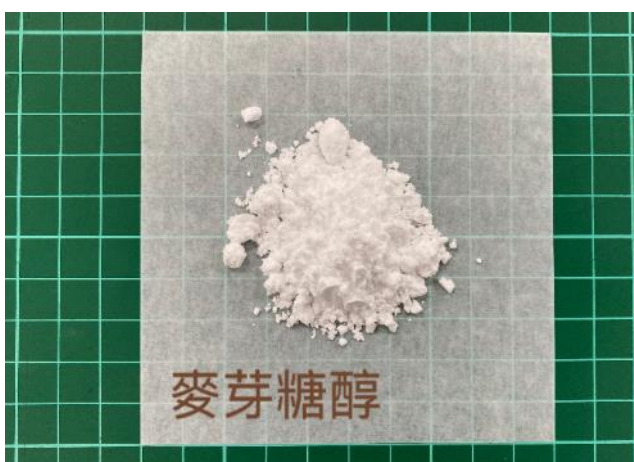


圖 54. 麥芽糖醇外觀



圖 55. 麥芽糖醇水溶液

→ 根據測試結果我們認為：除阿斯巴甜和糖精外，其餘 3 種代糖：山梨糖醇、木糖醇、麥芽糖醇，均適合作為實驗材料。

二、探討不同種類的「單醣」黏性的差異

常見單醣有三種，分別為葡萄糖、果糖和半乳糖，根據前測結果，半乳糖在會黏滯在燒杯上，無法進行實驗操作，因此在探討單醣黏性差異的實驗，我們使用葡萄糖和果糖，每組實驗均蒐集至少 30 組數據進行統計分析，葡萄糖和果糖的平均數分別為 0.61 和 0.62 秒，變異數則為 0.010 和 0.009。進一步以獨立樣本 t 檢定進行分析，檢定結果 $p = 0.44$ ($p > .05$) 也就是說葡萄糖和果糖在黏性上無顯著差異 (表 2；圖 56)。

表 2. 葡萄糖和果糖的平均數與變異數

| | 葡萄糖 | 果糖 |
|--------|-------|-------|
| 平均數(秒) | 0.611 | 0.615 |
| 變異數 | 0.010 | 0.009 |
| 觀察值個數 | 31 | 32 |

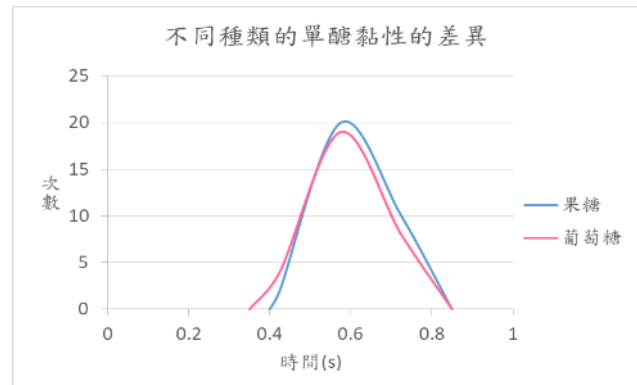


圖 56. 不同種類單醣黏性的實驗結果

三、測試不同純度蔗糖的黏性

(一) 探討黑糖和純蔗糖黏性的差異

以獨立樣本 t 檢定進行分析，檢定結果 $p = 4.2 \times 10^{-7}$ ($p < .05$)，也就是說黑糖和純蔗糖在黏性上有顯著差異，且黑糖的黏性比純蔗糖還要好。黑糖平均的滴落時間為 1.36 秒，而純蔗糖的則為 1.16 秒 (表 3；圖 57)。

表 3. 純蔗糖和黑糖的平均數與變異數

| | 純蔗糖 | 黑糖 |
|--------|-------|-------|
| 平均數(秒) | 1.162 | 1.360 |
| 變異數 | 0.015 | 0.026 |
| 觀察值個數 | 31 | 32 |

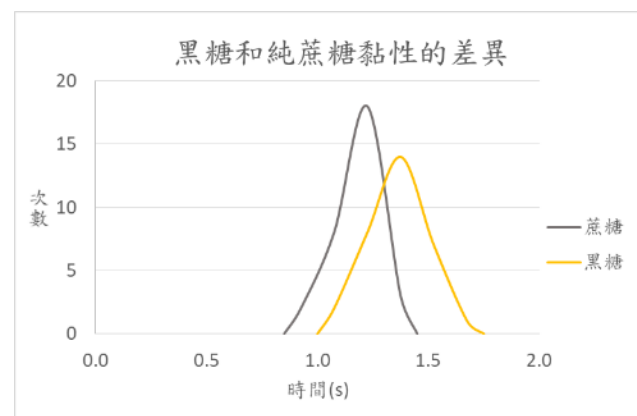


圖 57. 黑糖和蔗糖黏性的實驗結果

(二) 探討二砂和純蔗糖黏性的差異

以獨立樣本 t 檢定進行分析，檢定結果 $p = 3.2 \times 10^{-11}$ ($p < .05$)，也就是說二砂和純蔗糖在黏性上有顯著差異，且二砂的黏性比純蔗糖還要好。二砂平均的滴落時間為 1.43 秒，而純蔗糖的則為 1.16 秒 (表 4；圖 58)。

表 4. 純蔗糖和二砂的平均數與變異數

| | 純蔗糖 | 二砂 |
|--------|-------|-------|
| 平均數(秒) | 1.162 | 1.427 |
| 變異數 | 0.015 | 0.028 |
| 觀察值個數 | 31 | 40 |

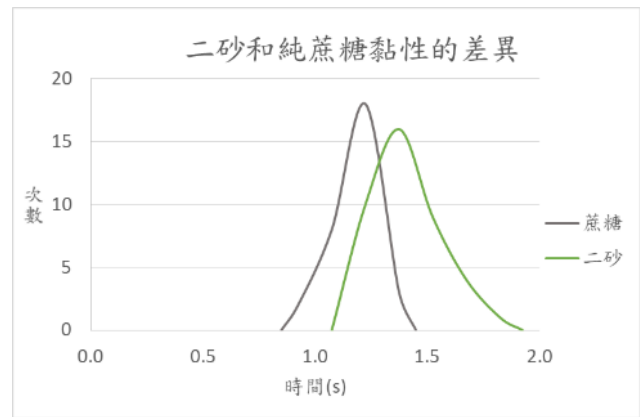


圖 58. 二砂和純蔗糖黏性的實驗結果

(三) 探討方糖和純蔗糖黏性的差異

以獨立樣本 t 檢定進行分析，檢定結果 $p = 6.2 \times 10^{-8}$ ($p < .05$)，也就是說方糖和純蔗糖在黏性上有顯著差異，且方糖的黏性比純蔗糖還要好。方糖平均的滴落時間為 1.39 秒，而純蔗糖的則為 1.16 秒 (表 5；圖 59)。

表 5. 純蔗糖和方糖的平均數與變異數

| | 純蔗糖 | 方糖 |
|--------|-------|-------|
| 平均數(秒) | 1.162 | 1.386 |
| 變異數 | 0.015 | 0.027 |
| 觀察值個數 | 31 | 30 |

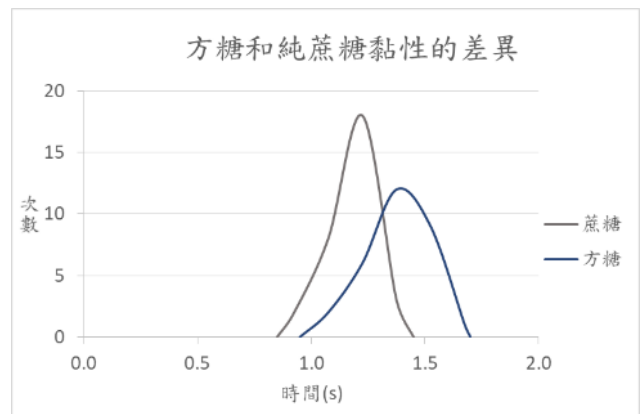


圖 59. 方糖和純蔗糖黏性的實驗結果

(四) 探討細砂和純蔗糖黏性的差異

以獨立樣本 t 檢定進行分析，檢定結果 $p = 1 \times 10^{-5}$ ($p < .05$)，也就是說細砂和純蔗糖在黏性上有顯著差異，且純蔗糖的黏性比細砂還要好。細砂平均的滴落時間為 0.99 秒，而純蔗糖的則為 1.16 秒 (表 6；圖 60)。

表 6. 純蔗糖和細砂的平均數與變異數

| | 純蔗糖 | 細砂 |
|--------|-------|-------|
| 平均數(秒) | 1.162 | 0.994 |
| 變異數 | 0.015 | 0.025 |
| 觀察值個數 | 31 | 30 |

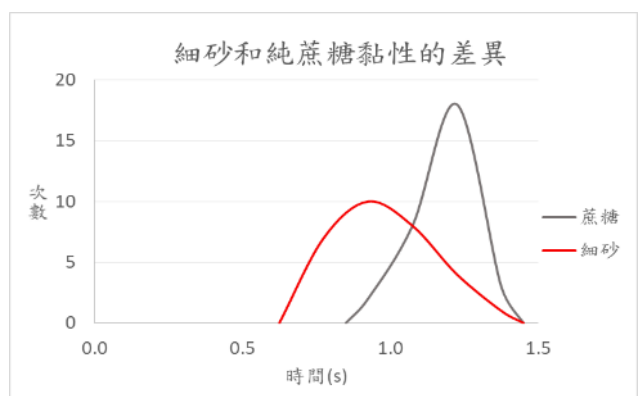


圖 60. 細砂和純蔗糖黏性的實驗結果

(五) 探討冰糖和純蔗糖黏性的差異

以獨立樣本 t 檢定進行分析，檢定結果 $p = 3.3 \times 10^{-20}$ ($p < .05$)，也就是說冰糖和純蔗糖在黏性上有顯著差異，且純蔗糖的黏性比冰糖還要好。冰糖平均的滴落時間為 0.76 秒，而純蔗糖的則為 1.16 秒 (表 7；圖 61)。

表 7. 純蔗糖和冰糖的平均數與變異數

| | 純蔗糖 | 冰糖 |
|--------|-------|-------|
| 平均數(秒) | 1.162 | 0.760 |
| 變異數 | 0.015 | 0.014 |
| 觀察值個數 | 31 | 32 |

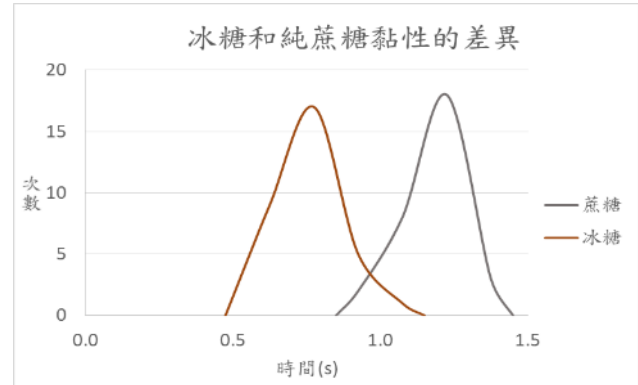


圖 61. 冰糖和純蔗糖黏性的實驗結果

綜上所述，我們可得出黑糖、二砂、方糖和純蔗糖黏性之間皆有顯著差異，且黏性大於純蔗糖。進一步以獨立樣本 t 檢定綜合分析比較黑糖、二砂與方糖黏性之關係，結果發現，三者之間在黏性上無顯著差異，但二砂顯著大於黑糖 ($p = 0.04 < .05$)。細砂、冰糖和純蔗糖之間黏性也有顯著差異，且黏性顯著小於純蔗糖，而冰糖的黏性則是顯著小於細砂 ($p = 8.9 \times 10^{-9} < .05$) (圖 62)。

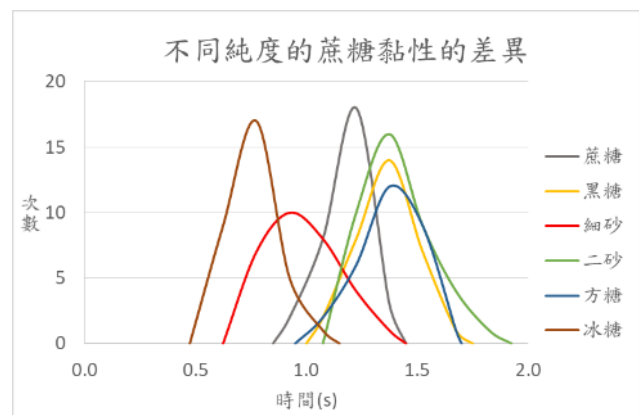


圖 62. 不同純度的蔗糖黏性的實驗結果

四、探討不同種類「代糖」的黏性

(一) 探討木糖醇和山梨糖醇黏性的差異

以獨立樣本 t 檢定進行分析，檢定結果 $p = 5.1 \times 10^{-4}$ ($p < .05$)，也就是說山梨糖醇和木糖醇在黏性上有顯著差異，且山梨糖醇的黏性比木糖醇還要好。山梨糖醇平均的滴落時間為 0.63 秒，而木糖醇的則為 0.55 秒 (表 8；圖 63)。

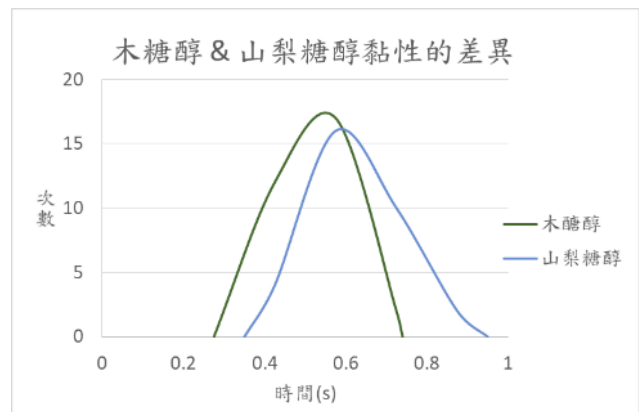


圖 63. 木糖醇和山梨糖醇黏性的實驗結果

(二) 探討山梨糖醇和麥芽糖醇黏性的差異

以獨立樣本 t 檢定進行分析，檢定結果 $p = 4.1 \times 10^{-30}$ ($p < .05$)，也就是說山梨糖醇和麥芽糖醇在黏性上有顯著差異，且麥芽糖醇的黏性比山梨糖醇還要好。山梨糖醇平均的滴落時間為 0.63 秒，而麥芽糖醇的則為 1.74 秒 (表 8；圖 64)。

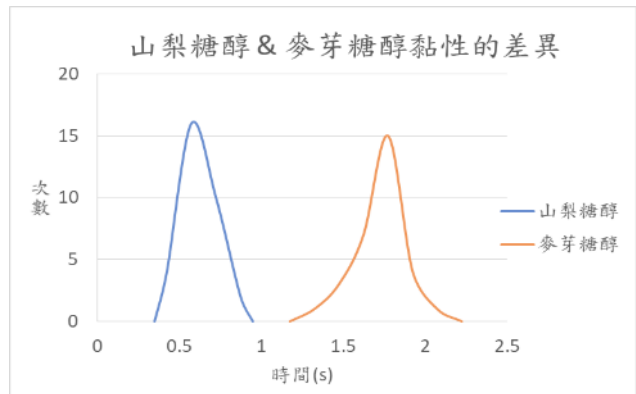


圖 64. 山梨糖醇、麥芽糖醇黏性的實驗結果

(三) 探討木糖醇和麥芽糖醇黏性的差異

以獨立樣本 t 檢定進行分析，檢定結果 $p = 1.4 \times 10^{-29}$ ($p < .05$)，也就是說木糖醇和麥芽糖醇在黏性上有顯著差異，且麥芽糖醇的黏性比木糖醇還要好。木糖醇平均的滴落時間為 0.55 秒，而麥芽糖醇的則為 1.74 秒 (表 8；圖 65)。

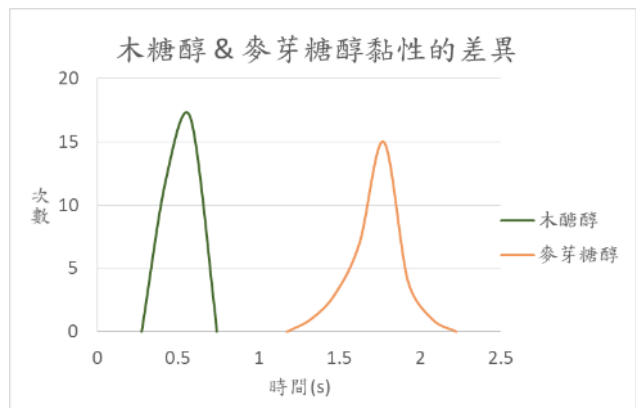


圖 65. 木糖醇和麥芽糖醇黏性的實驗結果

根據上述研究結果我們認為，這三種代糖彼此之間黏性有顯著差異，且黏性大小為：麥芽糖醇 > 山梨糖醇 > 木糖醇 (表 8；圖 66)。

表 8. 木糖醇和麥芽糖醇的平均數與變異數

| | 木糖醇 | 山梨糖醇 | 麥芽糖醇 |
|--------|-------|-------|-------|
| 平均數(秒) | 0.549 | 0.629 | 1.736 |
| 變異數 | 0.007 | 0.010 | 0.036 |
| 觀察值個數 | 31 | 32 | 30 |

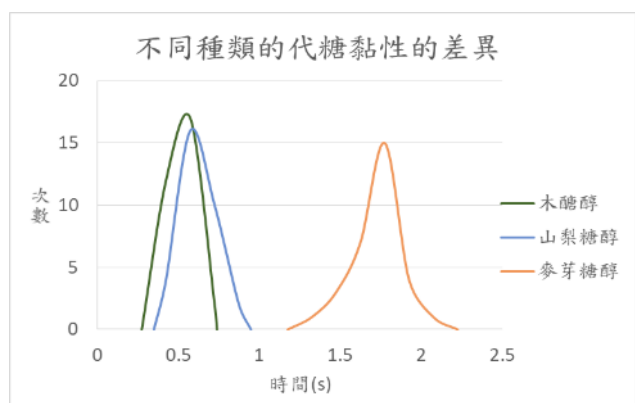


圖 66. 不同種類代糖黏性的實驗結果

五、綜合分析比較單醣、雙醣和代糖的黏性

因單醣黏性彼此之間無顯著差異，綜合分析時我們選擇葡萄糖當作比較材料的主要原因為葡萄糖為分布最廣的醣類。而選擇純蔗糖則是因為純度為 100%，避免其他因素干擾判斷。代糖則因為黏性差異大，因此都列入考量。經獨立樣本 t 檢定綜合分析比較：麥芽糖醇 > 純蔗糖 > 山梨糖醇 ≈ 葡萄糖 > 木糖醇，葡萄糖和山梨糖醇黏性無顯著差異 ($p = 0.24 > .05$)，但其黏性皆顯著大於木糖醇 (圖 67、68)。

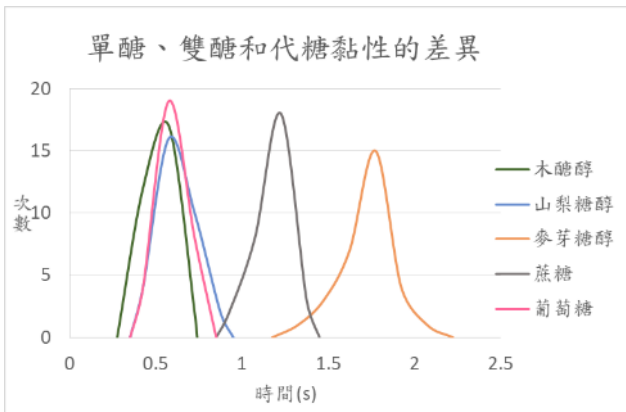


圖 67. 單醣、雙醣和代糖黏性的實驗結果



圖 68. 單醣、雙醣和代糖平均秒數的比較圖

六、分析糖水溶液黏性與莫耳分率之關係

因代糖價格較貴，且部分代糖加熱後具有臭味，不適合作為平民小吃使用，而蔗糖、葡萄糖、果糖分別與麥芽糖混合後，糖水溶液的黏性過大，無法進行實驗操作。因此，混糖部份以純蔗糖與葡萄糖混合 (圖 69)，結果發現在濃度 100%，溫度 110°C，當混合中的純蔗糖比例越高，黏性越好；反之，葡萄糖比例越高時，黏性越差。不同莫耳數比例的葡萄糖和純蔗糖與黏性之間的決定係數 (R^2) 為 0.93 (趨近於 1)，代表它們之間具有線性關係，數據點能夠接近的落在一條直線上。

因為疫情的關係，本實驗未完成葡萄糖混果糖，以及果糖混蔗糖的實驗。但是根據我們實驗 2 的研究結果，葡萄糖與果糖在黏性上無

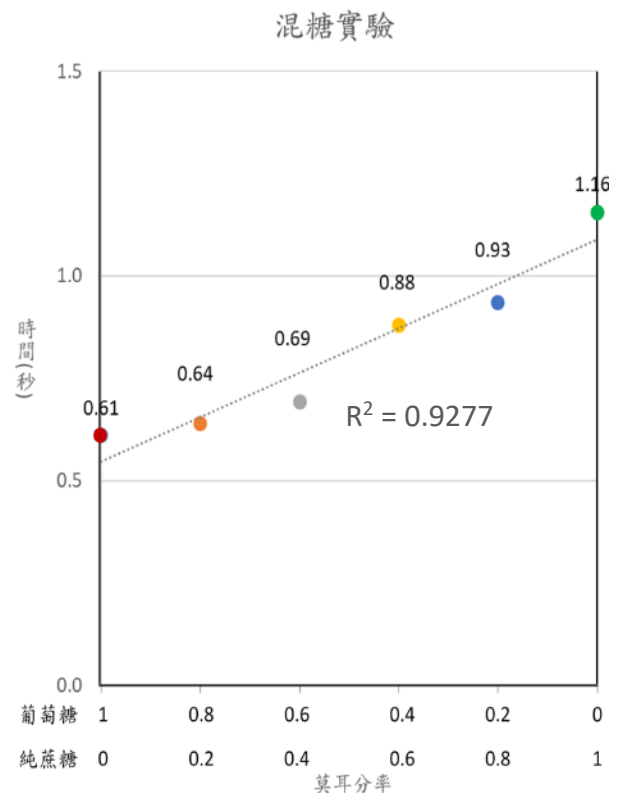


圖 69. 混糖實驗結果

顯著差異，因此我們預期果糖混蔗糖的研究結果會與葡萄糖混蔗糖的研究結果相似。

七、檢測不同濃度的純蔗糖在黏性上的差別

(一) 探討濃度 100 % 和 90 % 的純蔗糖黏性的差異

以獨立樣本 t 檢定進行分析，檢定結果 $p = 3.5 * 10^{-8}$ ($p < .05$)，也就是說濃度 100 % 和 90 % 的純蔗糖在黏性上有顯著差異，且 100 % 的純蔗糖黏性比 90 % 還要好。100 % 的純蔗糖平均的滴落時間為 1.16 秒，而 90 % 的則為 0.96 秒 (表 9；圖 70)。

(二) 探討濃度 90 %、80 % 的純蔗糖黏性的差異

以獨立樣本 t 檢定進行分析，檢定結果 $p = 1.3 * 10^{-8}$ ($p < .05$)，也就是說濃度 90 % 和 80 % 的純蔗糖在黏性上有顯著差異，且 90 % 的純蔗糖黏性比 80 % 還要好。90 % 的純蔗糖平均的滴落時間為 0.96 秒，而 80 % 的則為 0.74 秒 (表 9；圖 70)。

如圖 70、71 所示，不同濃度的蔗糖彼此黏性有顯著差異，且黏性大小為：100 % > 90 % > 80 %。濃度與秒數的相關係數高達 0.99，也就是說濃度與黏性有高度正相關，濃度高低會影響黏度大小。

表 9. 不同濃度純蔗糖的平均數與變異數

| | 80 % | 90 % | 100 % |
|--------|-------|-------|-------|
| 平均數(秒) | 0.742 | 0.962 | 1.162 |
| 變異數 | 0.018 | 0.017 | 0.015 |
| 觀察值個數 | 31 | 30 | 31 |

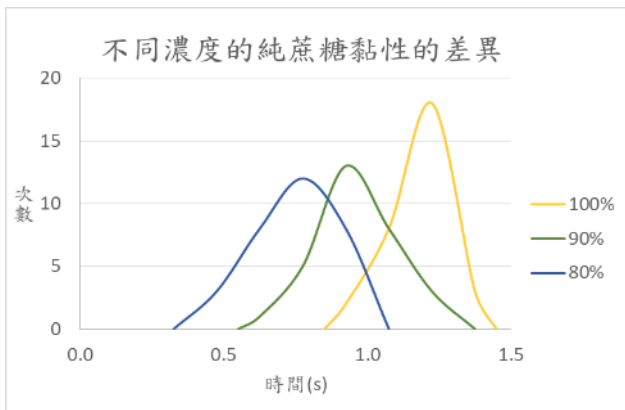


圖 70. 不同濃度純蔗糖黏性的實驗結果

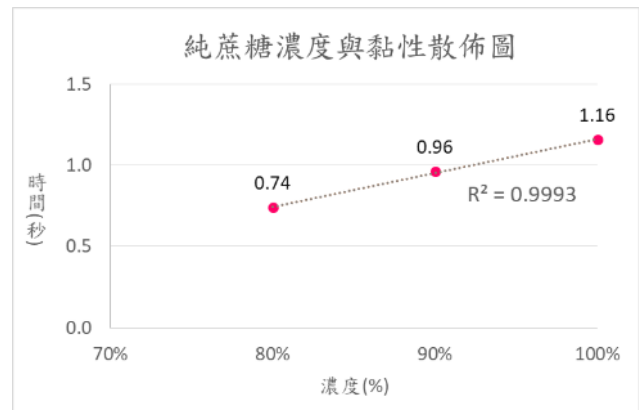


圖 71. 純蔗糖濃度與黏性散佈圖

八、探討實驗方法的有效性，用黏度計確認本實驗方法的準確度與可行性

本實驗共設計三組實驗，表 10 (a)使用本實驗方法進行，濃度與溫度控制在 70 %、40 °C；(b)以黏度計進行實驗操作，濃度與溫度控制在 70 %、40 °C；(c)使用本實驗方法進行，濃度與溫度控制在 100 %、110 °C。

在濃度 70 %、溫度 40 °C 時，比較我們的實驗方法(表 10 (a)組)和黏度計測得的結果(表 10 (b)組)，其決定係數(R^2)為 0.99，也就是說，我們的實驗方法在相同溫度與濃度條件時可以解釋 99 % 黏度計數據的變異量，兩者之間有高度的線性正相關(圖 72)。當改變濃度與溫度時(表 10 (a)(c)組、(b)(C)組)，參考蔡智萍等人(2014)分析，將數據進行指數趨勢分析，其決定係數分別 0.93 與 0.94，在控制變因不同的情況下，對於變異量的解釋能力亦相當高 (圖 73、74)。

表 10. 不同實驗方法測得的實驗結果。表格 (a)、(b)、(c) 數據對照下圖的 (a)、(b)、(c)

| 時間(秒) 種類 | 控制&操縱 變因 | | 本實驗方法 (a) | 黏度計 (b) | 本實驗方法 (c) |
|-------------|-------------|--|------------|---------|--------------|
| | | | 70 %、40 °C | | 100 %、110 °C |
| 木糖醇 | | | 0.51 | 302 | 0.55 |
| 純蔗糖 | | | 0.73 | 379 | 1.16 |
| 麥芽糖醇 | | | 0.76 | 388 | 1.74 |

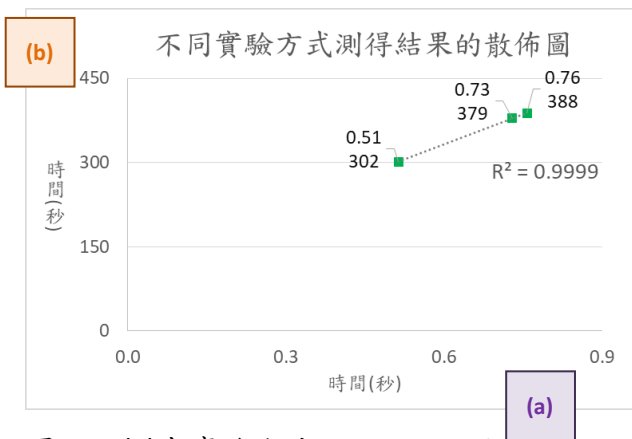


圖 72. (a)本實驗方法，70 %、40 °C。
(b)黏度計，70 %、40 °C。

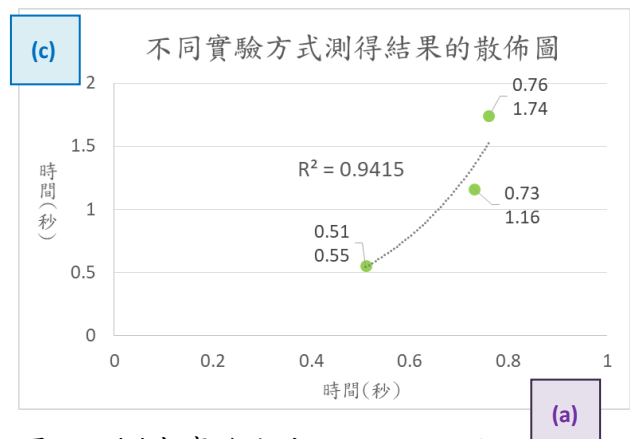


圖 73. (a)本實驗方法，70 %、40 °C。
(c)本實驗方法，100 %、110 °C。

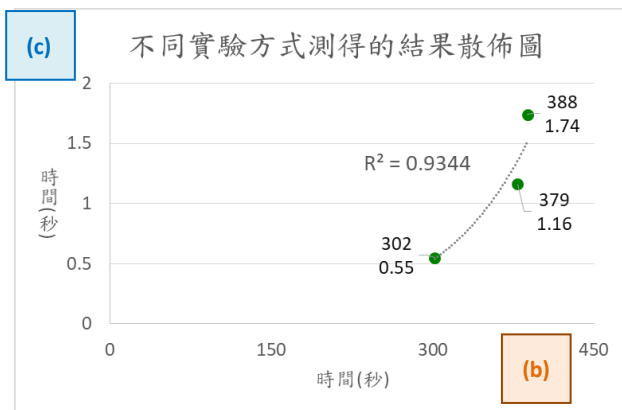


圖 74. (b)黏度計，70 %、40 °C。
(c)本實驗方法，100 %、110 °C。

陸、討論

一、測試不同種類的「醣」在溶解且加熱之後的變化，詳細記錄觀察結果

根據實驗結果我們認為，半乳糖和乳糖並不適合取代蔗糖應用在糖葫蘆或吹糖上，主要原因在於兩者水溶液加熱後黏稠度非常高，而且會快速冷卻並黏滯在燒杯上。而乳糖價格為800元/公斤，半乳糖價格3,800元/公斤，兩者的價格是一般蔗糖的數十倍，不適合應用在物美價廉的傳統小吃上。

水合麥芽糖在加熱後表面會形成一層薄膜，且濃稠度很高，即使冷卻也不會硬掉，因此不適合裹在仙楂果外，形成糖衣。若要應用在吹糖，則必需將砂糖、麥芽糖和水放入鍋爐裡加熱，軟化後用力敲打、攪拌，吹糖的糖不能太硬也不能太軟，糖料過軟，吹不出形狀，糖料太硬，吹起來又容易破掉(記憶裡的古早味，2021；黃重豪、顏涵正，2021)。因此麥芽糖必需搭配蔗糖，才能調配出合適的黏度，若單獨使用，則過於黏稠。

阿斯巴甜和糖精溶於水後會形成透明水溶液，但加熱後會產生異味，查詢兩種代糖的分子結構式後發現(圖 12、13)，阿斯巴甜加熱後產生臭味的來源應該是「胺基」，而糖精的臭味來源則是「硫原子」(阿斯巴甜，2021；糖精，2021)，並不適合使用在加熱的小吃。

二、探討不同種類的「單醣」黏性的差異

醣類的黏性和分子之間的吸引力有關，若能建立愈多分子間吸引力的分子，則黏度愈高(黃一玄，2021)。從圖 56 我們可以看到，葡萄糖和果糖數據的分布圖非常相似，而以獨立樣本 t 檢定進行分析的結果也證實了葡萄糖和果糖的黏性無顯著差異，因此我們可以合理推測兩溶質溶於水後產生的水溶液其分子之間的作用力大致相同。

三、測試不同純度蔗糖的黏性，進一步以混合物成份解釋造成黏性差異可能的原因

根據文獻(說糖解惑，2021；都是來自甘蔗，2021)與表 1 不同種類蔗糖比例，黑糖是將甘蔗榨汁，經濃縮、冷卻結晶，或是將二砂經過溶解並添加糖蜜製成；而二砂的則無糖蜜成分，純度為 97%；方糖則是挑選晶體尺寸粒度適當的精製細砂，與少量的糖漿混合成為含水分 1.5% 至 2.5% 的溼糖，然後用成型機擠壓製成方塊狀，再經乾燥到水分 0.5% 以下。

以上三種糖類的黏性都顯著大於純蔗糖。細砂是糖漿經過一次結晶再精煉產生；冰糖則以細砂為原料，經加水溶解、再結晶製成，其晶粒尺寸比細砂大，這兩種糖類的黏性都顯著小於純蔗糖。

二砂、方糖和黑糖的黏性都顯著高於純蔗糖，二砂和方糖、方糖和黑糖黏性之間沒有顯著差異，但是二砂黏性顯著高於黑糖。我們認為，二砂所含有 3% 的其他物質影響了黏性；黑糖的黏性會比較好的主要因為：黑糖含有糖蜜和礦物質等成分(鐵、鈣、鎂等) 影響了黑糖的黏性；方糖則是因為製造過程中添加了少量的糖漿而黏性較好。簡而言之，三者水溶液的黏性都因為製造過程中添加了其他物質而受到影響。

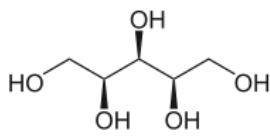
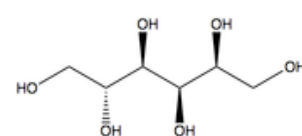
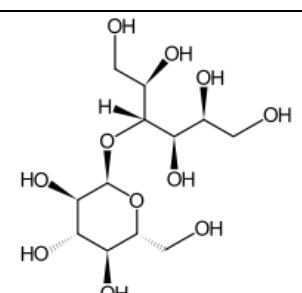
四、探討不同種類「代糖」的黏性，及代糖取代傳統小吃材料的可能性

經由實驗 1 觀察醣溶解加熱後的變化，我們發現阿斯巴甜和糖精會產生臭味，而這個臭味可能來自於胺基和硫原子，且這兩種代糖的價格並不便宜，分別是 12,000 元/公斤和 1,800 元/公斤，不適合取代物美價廉的傳統小吃材料。

山梨糖醇是還原葡萄糖所製成的一種糖類，木糖醇則可從白樺、覆盆子、玉米等植物中提取，麥芽糖醇是由澱粉的水解混合物氫化而成，三者的原料與製程方式不同(麥芽糖醇，2021；陳文婷等，2021；李亦晴、葉名倉，2021)。進一步從化學結構式羥基數量與分子量來看，木糖醇最少，山梨糖醇次之，麥芽糖醇最多(見表 11)；這與我們的黏性測試實驗結果的趨勢相符：麥芽糖醇 > 山梨糖醇 > 木糖醇，因此我們推測羥基數量與其分子量大小可能影響分子間作用力，進而造成代糖黏性差異的原因。

另外，木糖醇和山梨糖醇的黏性遠小於純蔗糖，且價格也不低(木糖醇：4,000 元/公斤；山梨糖醇：1,600 元/公斤) 因此我們認為，這兩種代糖亦不適合取代蔗糖應用在傳統小吃：吹糖或冰糖葫蘆。麥芽糖醇的黏性較純蔗糖好，加熱後黏性不會過大，冷卻後也不會結塊，但價格比蔗糖貴 12 倍(蔗糖：40 元/公斤，麥芽糖醇：500 元/公斤)，若要應用在傳統小吃，仍需考量成本。

表 11. 代糖的分子量與結構式

| 名稱 | 木糖醇 | 山梨糖醇 | 麥芽糖醇 |
|-----|---|--|---|
| 分子量 | 152.15 | 182.17 | 344.31 |
| 結構式 |  |  |  |

五、綜合分析比較單醣、雙醣和代糖的黏性，從化學結構式推敲造成黏性不同的主要原因

根據研究結果我們發現，麥芽糖醇的黏性比純蔗糖大，葡萄糖、山梨糖醇和木糖醇的黏性都顯著小於純蔗糖 (表 12)。我們利用結構式中的羥基數量與分子量進一步與各個醣類的滴落時間進行相關性比較，分析後發現和醣類黏性有最大關聯性的是羥基數量 (滴落時間和羥基數量之間的決定係數為 0.92)，其中黏度最高的麥芽糖醇，它的羥基最多，而黏性最小的葡萄糖，羥基最少。根據結果，我們推測可能羥基數量越多的醣類，可以形成較多的分子間作用力，使得它的黏性就會較好。而黏性與分子量的決定係數約 0.84。也就是說，羥基數量造成的黏性差異可能比分子量的影響更為重要 (圖 75)。

表 12. 單醣、雙醣和代糖的黏性 (秒數越大代表黏性越強)、化學式和分子量。

| 種類 | 木糖醇 | 葡萄糖 | 山梨糖醇 | 純蔗糖 | 麥芽糖醇 |
|---------|---|---|---|---|---|
| 平均時間(秒) | 0.55 | 0.61 | 0.63 | 1.16 | 1.74 |
| 化學式 | C ₅ H ₁₂ O ₅ | C ₆ H ₁₂ O ₆ | C ₆ H ₁₄ O ₆ | C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ | C ₁₂ H ₂₄ O ₁₁ |
| 分子量 | 152.15 | 180.156 | 182.17 | 342.3 | 344.31 |
| 羥基數量 | 5 | 5 | 6 | 8 | 9 |

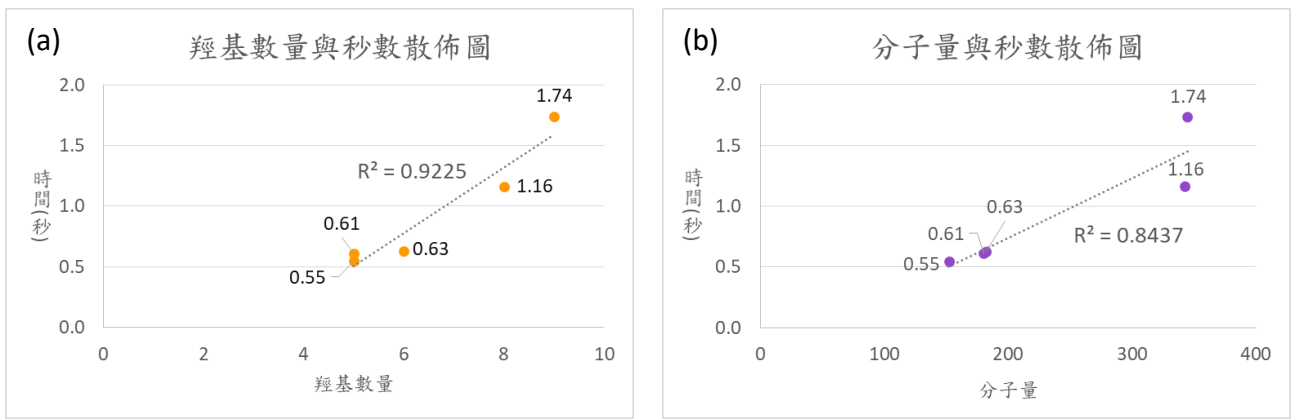


圖 75. (a) (b) 分別為羥基數量、分子量對秒數 (代表黏性) 的散佈圖，決定係數越大，代表越能解釋黏性的差異。

六、分析糖水溶液黏性與莫耳分率之關係，探討混合糖溶液分子之間的作用力關係

混糖實驗中以不同的莫耳數比混合純蔗糖和葡萄糖，結果發現純蔗糖的比例越高，黏性越大。不同莫耳數比例的葡萄糖和純蔗糖與黏性之間的相關係數(R)為 0.96 (趨近於 1)，代表它們之間具有良好的線性關係。因黏性的來源為分子間的作用力(黃一玄，2021)，顯示混合葡萄糖與蔗糖的溶液，其分子間的作用力與其單獨葡萄糖或是蔗糖溶液相同。

當蔗糖、葡萄糖、果糖分別與麥芽糖混合在一起後，糖水溶液的黏性超過葡萄糖混蔗糖，具有可塑性。這也解釋了吹糖會使用麥芽糖當作主要材料的原因，吹糖必需加入適當比例的麥芽糖，調配出軟硬適中的糖料，在高溫時可以塑形，溫度降低後又能維持特定形狀。

七、檢測不同濃度的純蔗糖在黏性上的差別，並解釋可能的原因

研究結果顯示，純蔗糖水溶液濃度越高時，糖的黏性也會越大 (糖水濃度與黏性有高度的正相關)，推論當濃度愈大時，分子的數量愈多，分子間之間彼此的吸引力可能增加。濃度較低時，糖分子之間的吸引力會受到水分子的影響而改變，因此加越多的水，黏性就會越低。這個研究結果與曹智萍等人在 2014 的研究結果相似，糖水溶液濃度越高，黏度越大。

八、探討實驗方法的有效性，用黏度計確認本實驗方法的準確度與可行性

真正物質的絕對黏度需要藉由黏度計測量並經過複雜的公式換算而得，其數學與科學能力的要求遠高於國中學生。為達本實驗方法的有效性，我們實際以相同條件測量糖液在黏度計中通過管徑的時間，作為外在效度的評估依據。結果發現在濃度 70%、溫度 40 °C 時，我們的實驗和黏度計測得的結果相關係數為 0.99，兩者之間有高度的正相關。根據數據分析的結果，本實驗創新測量黏度的方法，雖然未能取得絕對黏度的數值，但在與黏度計的測量結

果比較後具有效度，可以廣泛應用在國中實驗室，甚至家庭中直接進行簡便的操作，落實生活中「探究與實作」的精神。

柒、結論

一、實驗結論

1. 半乳糖和乳糖不適合取代蔗糖應用在傳統小吃例如糖葫蘆或吹糖，主要因為兩者水溶液加熱後黏稠度非常高，會快速冷卻並黏滯在燒杯上。再來則是價格昂貴，若應用在食品加工則成本會過高。
2. 水合麥芽糖在加熱後表面會形成一層薄膜，且濃稠度很高，即使冷卻也不會硬掉，不適合當成糖衣包裹在仙楂果外。若是製成吹糖所需的糖料則需與蔗糖混合才能達到既有可塑性，在冷卻後又能夠固定成型的效果。
3. 阿斯巴甜和糖精溶於水後會形成透明水溶液，但加熱後會產生異味並變成白色粉末。其臭味推估來自於分子結構中的「胺基」和「硫原子」，不適合添加在需要加熱的食品。
4. 探討不同種類的「單醣」黏性的差異，結果顯示葡萄糖和果糖黏性無顯著差異。因醣類的黏性與其分子之間的作用力有關，因此我們可以合理推測葡萄糖和果糖溶於水後其分子之間的作用力大致相同。
5. 就不同純度的蔗糖而言，可能是混合物的其他成分影響到了糖類的黏性。
 - (1) 黏性大於純蔗糖：二砂、方糖、黑糖
 - (2) 黏性小於純蔗糖：細砂、冰糖
6. 推測羥基數量和分子量大小將影響分子間的作用力，造成代糖黏性差異的原因。代糖黏性大小為：麥芽糖醇 > 山梨糖醇 > 木糖醇。
7. 綜合分析比較單醣、雙醣和代糖黏性差異，依序為：麥芽糖醇 > 純蔗糖 > 山梨糖醇 ≈ 葡萄糖 > 木糖醇，其中葡萄糖和山梨糖醇黏性無顯著差異。根據結果推測羥基數量多寡可能比其分子量大小影響醣類的黏性更為明顯。
8. 混糖實驗中以不同的莫耳數比混和純蔗糖和葡萄糖，結果發現不同莫耳數比例的葡萄糖和純蔗糖與黏性之間具有高度的線性關係。顯示混合葡萄糖與蔗糖的溶液，其分子間的作用力與其單獨葡萄糖或是蔗糖溶液相同。
9. 純蔗糖濃度與黏性有高度正相關，黏性大小為：100% > 90% > 80%。
10. 在相同條件下，我們設計的實驗方法與黏度計測量所得結果的相關係數為 0.99，因此我們認為本研究所設計出的實驗方法具有效度，可以簡易取代黏度計，更廣泛的應用在日

常生活中。

二、未來展望

1. 期許在了解不同種類糖的黏性後，能對糖葫蘆和吹糖技藝有更深的助益。
2. 在烘焙方面，糖的應用非常廣泛。本實驗期望在深入了解糖的性質之後，能將實驗結果與實驗方法應用在食品烘焙上，落實生活中「探究與實作」的精神。

捌、參考文獻資料

一、期刊

曹智萍、林佩萱、陳良宇 (2014)。糖水溶液黏度量測的熱力學觀點。 *MC-Transaction on Biotechnology*, 6 (1), 27-35。

劉燕孝 (2017)。高中化學拉午耳定律推導之探討。 *科學教育月刊*，403，19-23。

二、網站

黃重豪、顏涵正(2021)。百變戲法吹糖人。 *臺北百工圖*，70-73。取自 <https://reurl.cc/1YmrYm>

麥芽糖醇(2021年2月12日)。 *維基百科*。取自 <https://reurl.cc/kVyzx9>

陳文婷、周芳妃、葉名倉 (2021年2月19日)。山梨糖醇。 *科學 Online*。取自 <https://reurl.cc/7rp6o5>

李亦晴、葉名倉(2021年2月19日)。木糖醇。 *科學 Online*。取自 <https://reurl.cc/1Ymrgm>

黃一玄(2021年2月19日)。黏度(或稱黏滯)。 *科學 Online*。取自 <https://reurl.cc/ogQO95>

白蕙茶、葉名倉(2021年2月19日)。雙醣。 *科學 Online*。取自 <https://reurl.cc/7rp6y5>

【記憶裡的古早味】吹夢巨人翁登賢-百變糖人蘊藏甜蜜回憶(2021年3月8日)。 *文化銀行*。取自 <https://reurl.cc/pgMQDb>

醣有千萬面貌，質譜儀來解(2021年3月9日)。 *研之有物*。取自 <https://reurl.cc/GmEMZW>

說糖解惑，黑糖蔗糖傻傻分不清楚？認識糖的製造流程(2021年3月12日)。 *台糖通訊*。取自 <https://reurl.cc/Q7Em2Z>

都是來自甘蔗！粗糖、砂糖、黑糖和冰糖的差別是...(2021年3月12日)。 *自由時報*。取自 <https://reurl.cc/ggNMDg>

阿斯巴甜 (2021年3月12日)。 *維基百科*。取自 <https://reurl.cc/MA09OX>

糖精 (2021年3月12日)。 *維基百科*。取自 <https://reurl.cc/rgDoYZ>


【評語】 030209

本實驗研究主題為不同種類糖水濃度與黏度的關係，作者也自製黏度測量裝置。實驗標地物及自製的測量儀器皆來自日常生活、國中實驗室隨手可得之物品，內容相當生活化，合乎國中生研究之範疇。

然而，在此研究中，有幾項實驗設計太過粗糙，造成結論並不完整，提供如下：

1. 此設計中，測量是基於燒杯懸於鐵圈上，傾斜30度來進行。此方式有點太過簡略，容易造成較高實驗誤差。
2. 自製與商售黏度計測量值關係圖中，作者只以3點數據做出線性迴歸，這部份應改進到至少5點數據，以減少誤差。
3. 相較於商售黏度計測量，本實驗偵測時間差異均不超過1秒，如何避免人為誤差並沒討論。或針對此部份，如何增加量測的準確度？雖然使用統計方法來分析分子量或羥基與黏度的相關性，但結果可能因實驗誤差而失真。
4. 結果的呈現，主要是以所觀察到的現象進行報導。缺乏更深入探討其背後所造成此結果之因素，以及進一步確認其有效性。部份結論也看不出和黏度之相關性。

作品簡報



富麗「醣」皇
醣的黏性之探討

組別：國中組

科別：化學科

研究動機

- 糖葫蘆外面包裹的是「冰糖」。吹糖材料混合「蔗糖」和「麥芽糖」，使其高溫具有可塑性，低溫時可凝固成型。
- 流體（如糖液）流動會因分子間吸引力而產生阻力，此阻力稱為流體**黏度**¹。流體的黏度越高，流動性則越差；黏度會因**物質的種類**、**濃度**和**溫度**而改變²。
- 黏度的測量若藉由商售黏度計，時常價格較貴，或計算複雜。

研究目的

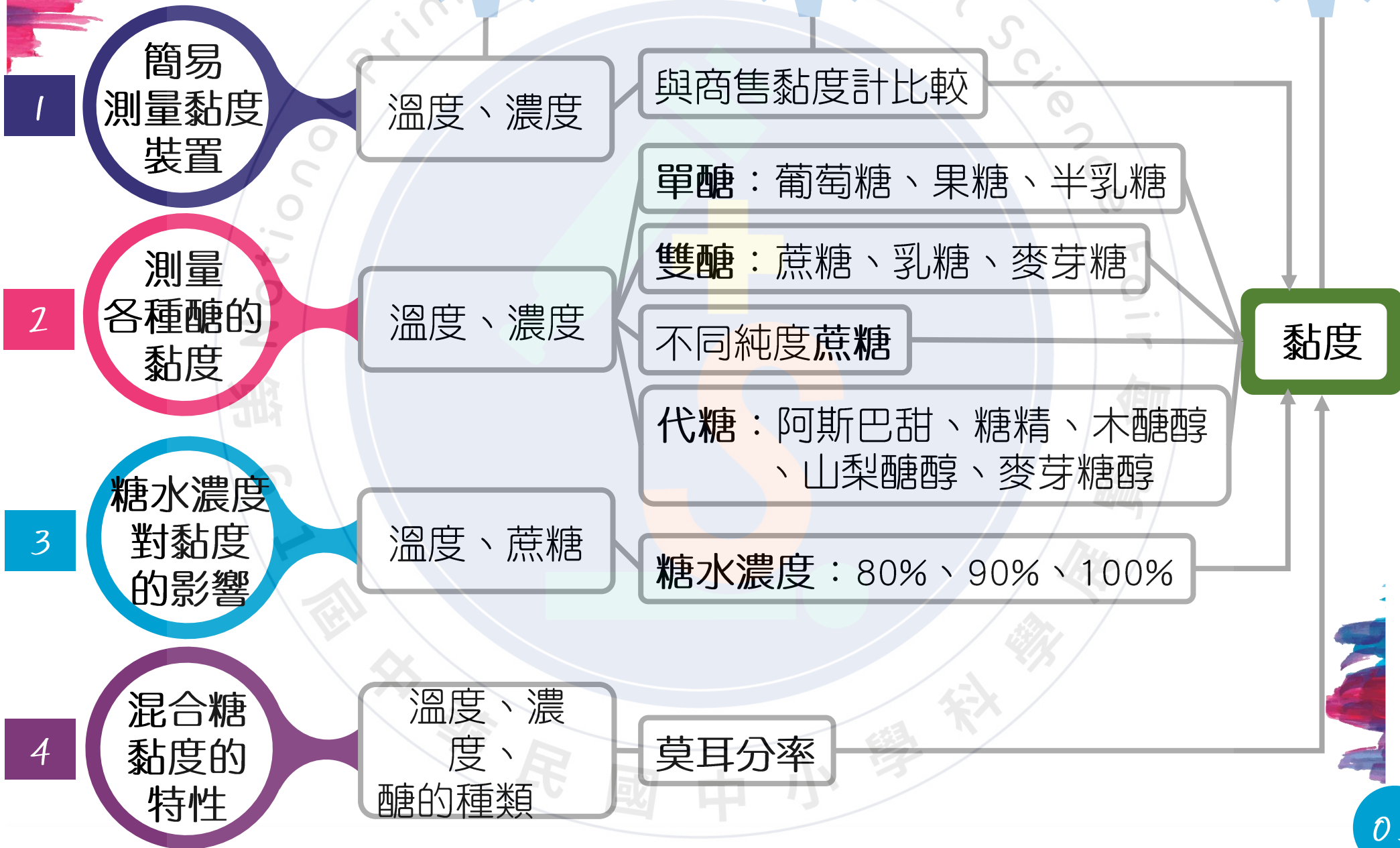
- 1 自製簡易測量黏度裝置，並與商售黏度計比較。
- 2 以自製簡易測量黏度裝置測量各種糖的黏度，並分析影響其黏度差異的因素。
- 3 探討糖水濃度對黏度的影響。
- 4 探討混合糖黏度的特性及可能的應用。

研究架構

控制變因

操縱變因

應變變因



研究方法

★ 本實驗裝置

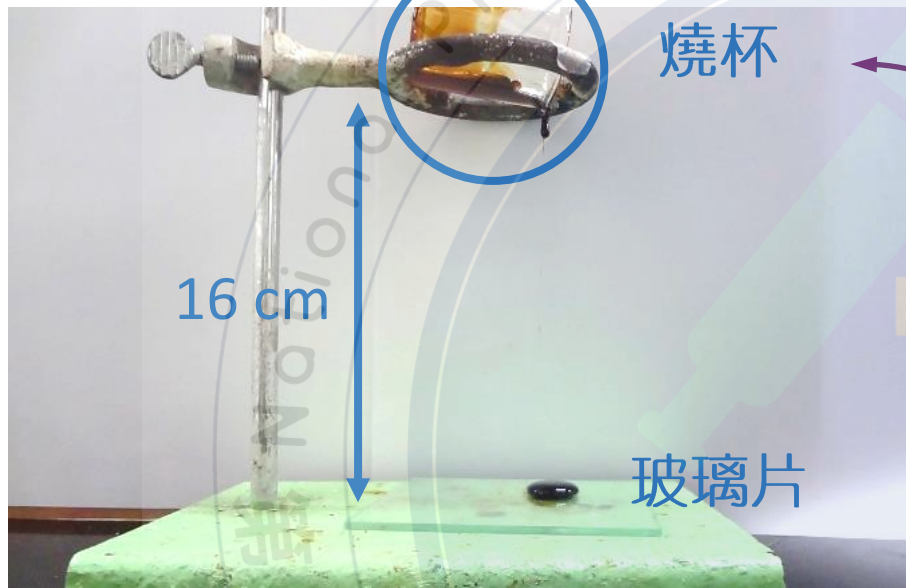


圖 1. 自製簡易測量黏度裝置

★ 商售黏度計

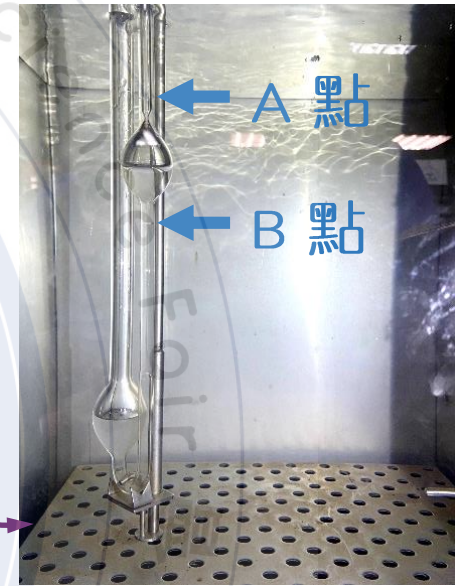


圖 2. 商售黏度計

- 圖 1：燒杯傾斜 30° ，糖液自然滴落，測量形成糖滴到滴落至玻璃表面的時間，做統計圖分析並求平均值。
- 圖 2：測量液體由 A 點流至 B 點所需的時間。

研究結果與討論

★ 自製簡易測量黏度裝置與商售黏度計的比較

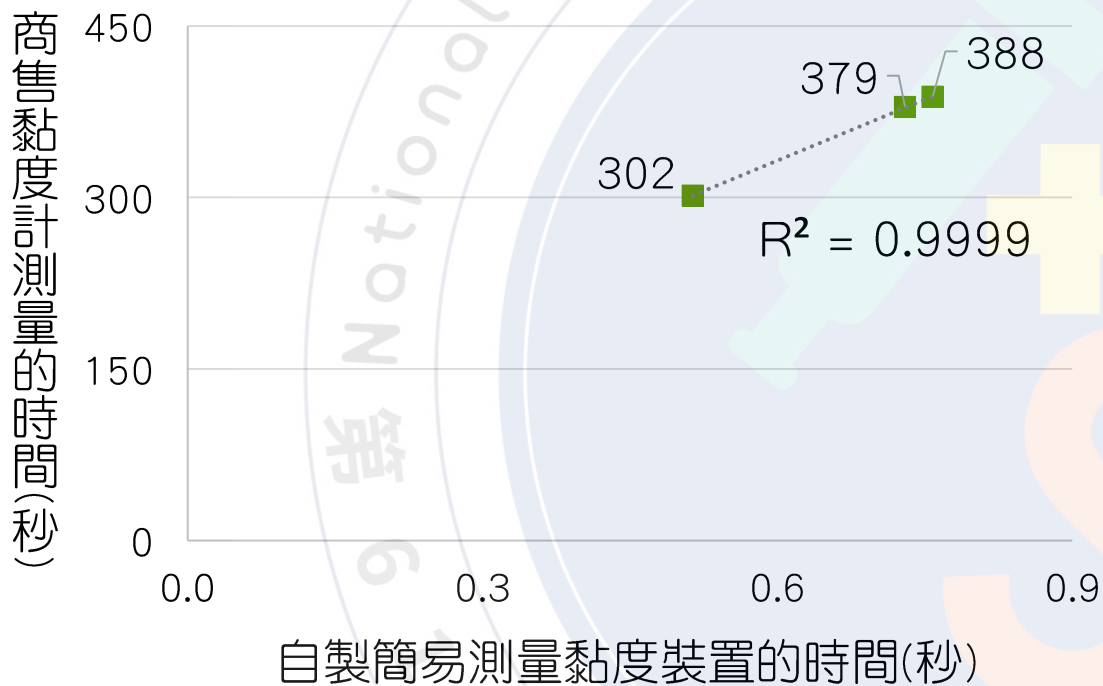


圖 3. 自製簡易測量黏度裝置與商售黏度計測量值關係圖

- 圖 3 為溫度 40 °C、濃度 70 % 的木糖醇、蔗糖、麥芽糖醇三種糖水溶液，分別利用自製簡易測量黏度裝置與商售黏度計測得的秒數。
- 簡易測量黏度裝置與商售黏度計測量值有非常高的線性關係，其 R^2 值高達 0.9999。
- 證明本簡易測量黏度裝置的可靠性。

研究結果與討論

★ 測試各種「糖」，找出可進行實驗操作的種類

表 1. 測試的醣類

| | 名稱 | 能否進行 實驗操作 | 不能測試原因 |
|----|-----------|--------------|--------|
| 單醣 | 葡萄糖 | ○ | |
| | 果糖 | ○ | |
| | 半乳糖 | × | 留滯在燒杯中 |
| 雙醣 | 蔗糖(含不同純度) | ○ | |
| | 乳糖 | × | 留滯在燒杯中 |
| | 麥芽糖 | × | 表層出現薄膜 |
| 代醣 | 阿斯巴甜 | × | 產生臭味 |
| | 糖精 | × | 產生臭味 |
| | 山梨糖醇 | ○ | |
| | 木糖醇 | ○ | |
| | 麥芽糖醇 | ○ | |

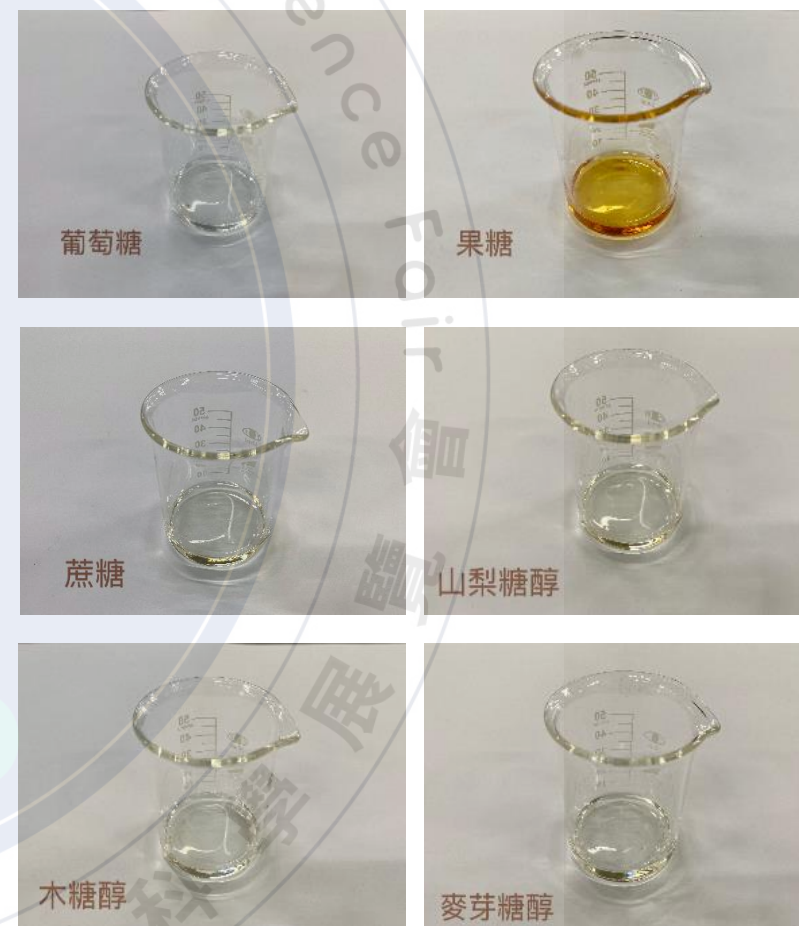
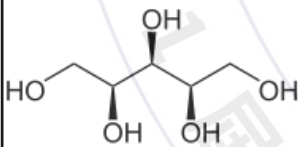
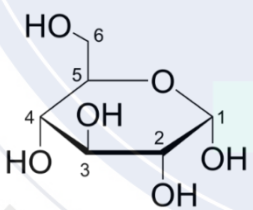
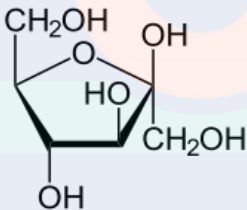
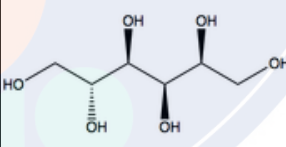
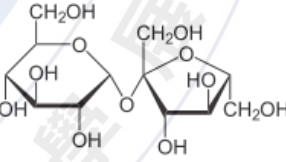
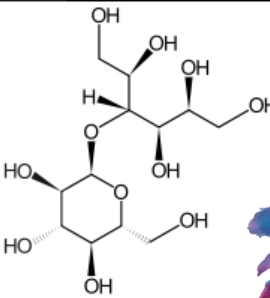


圖 4. 加熱後的葡萄糖、果糖、蔗糖、山梨糖醇、木糖醇、麥芽糖醇水溶液

研究結果與討論

★ 比較各種糖的黏度，並分析影響其差異的因素

表2. 六種糖的黏性大小與影響黏度因素的數據

| 種類 | 木糖醇 | 葡萄糖 | 果糖 | 山梨糖醇 | 蔗糖 | 麥芽糖醇 |
|-------|---|---|--|---|---|---|
| 分子式 | $C_5H_{12}O_5$ | $C_6H_{12}O_6$ | $C_6H_{12}O_6$ | $C_6H_{14}O_6$ | $C_{12}H_{22}O_{11}$ | $C_{12}H_{24}O_{11}$ |
| 分子量 | 152 | 180 | 180 | 182 | 342 | 344 |
| 羥基數 | 5 | 5 | 5 | 6 | 8 | 9 |
| 結構 | 直鏈 | 單環 | 單環 | 直鏈 | 雙環 | 鏈環 |
| |  |  |  |  |  |  |
| 黏度(秒) | 0.55 | 0.61 | 0.62 | 0.63 | 1.16 | 1.74 |

研究結果與討論

★ 比較各種糖的黏度，並分析影響其差異的因素

☆ 黏度大小比較與影響黏度的因素

- 葡萄糖 ≈ 果糖：分子量和羥基數相同，兩者結構相似。
- 葡萄糖 ≪ 蔗糖：結構相似；分子量和羥基數相異。
- 木糖醇 < 山梨糖醇：結構相似；分子量和羥基數相異。
- 蔗糖 ≪ 麥芽糖醇：分子量相近；羥基數和結構相異。

☆ 推論影響黏度大小的本性因素：分子量、羥基數、結構

- 分子量愈大、羥基數愈多。
- 結構：鏈環狀 > 環狀 > 鏈狀。

研究結果與討論

★ 分析影響各種糖黏度差異的因素

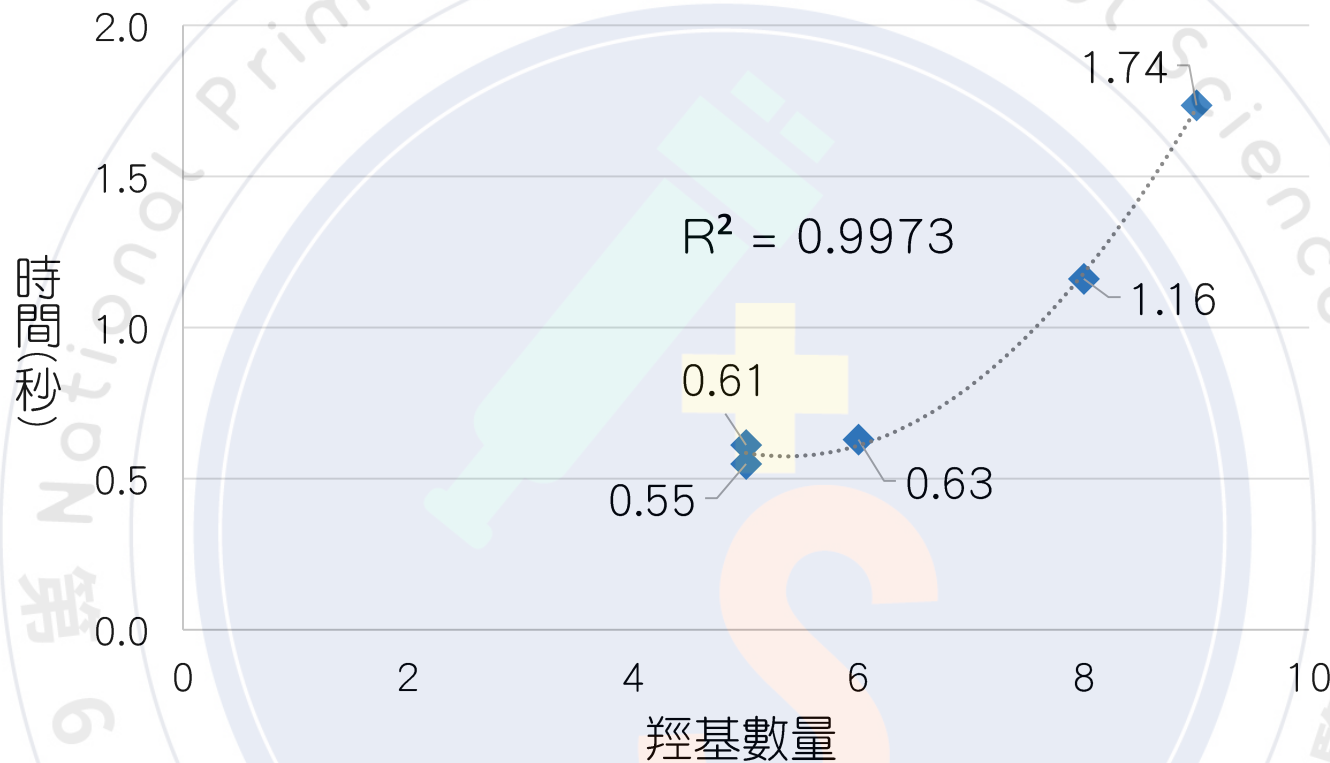


圖 5. 木糖醇、葡萄糖、山梨糖醇、蔗糖、麥芽糖醇的黏度與其羥基數作圖

- 五種糖黏度與羥基數的關係為凹向上的曲線，**羥基數愈多黏度愈大**。
- 推論造成黏度差異的原因：**羥基數量與分子量影響分子間的作用力**，**而結構的對稱性亦會影響其黏度**。

研究結果與討論

★ 探討糖水濃度對黏度的影響

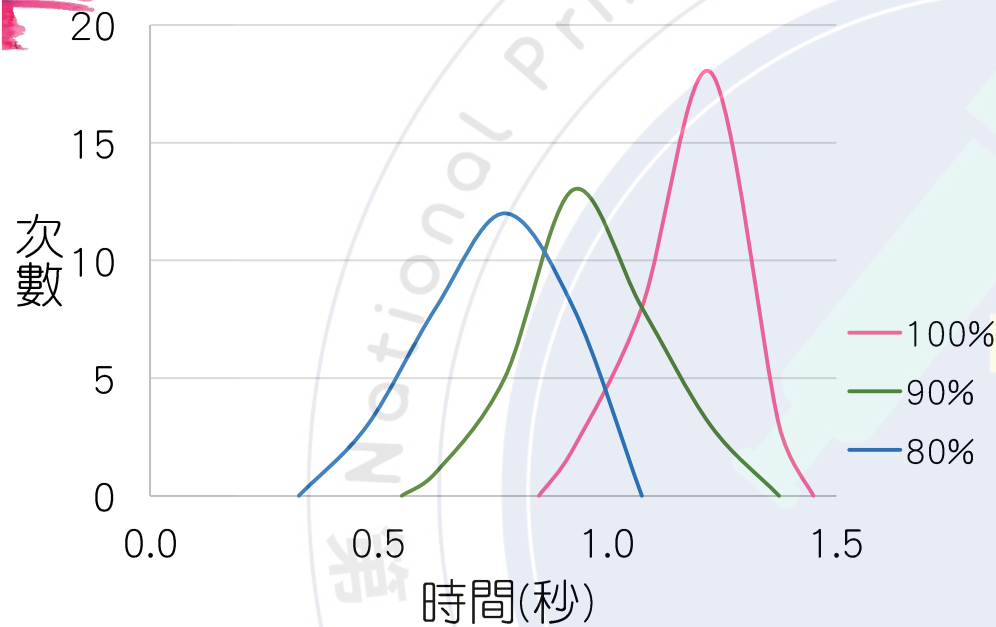


圖 6. 各種濃度蔗糖水溶液的黏度統計圖

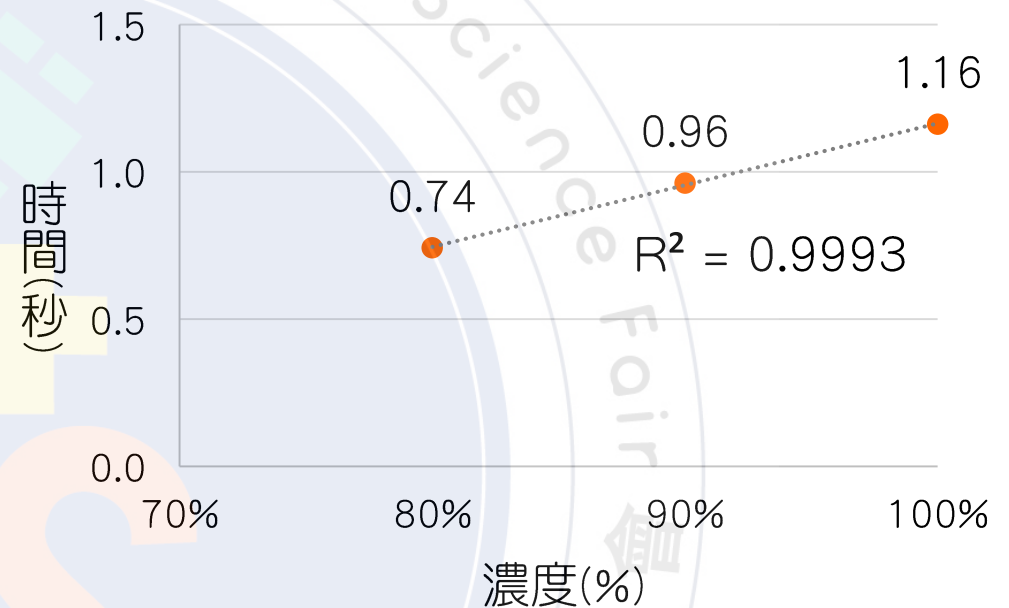
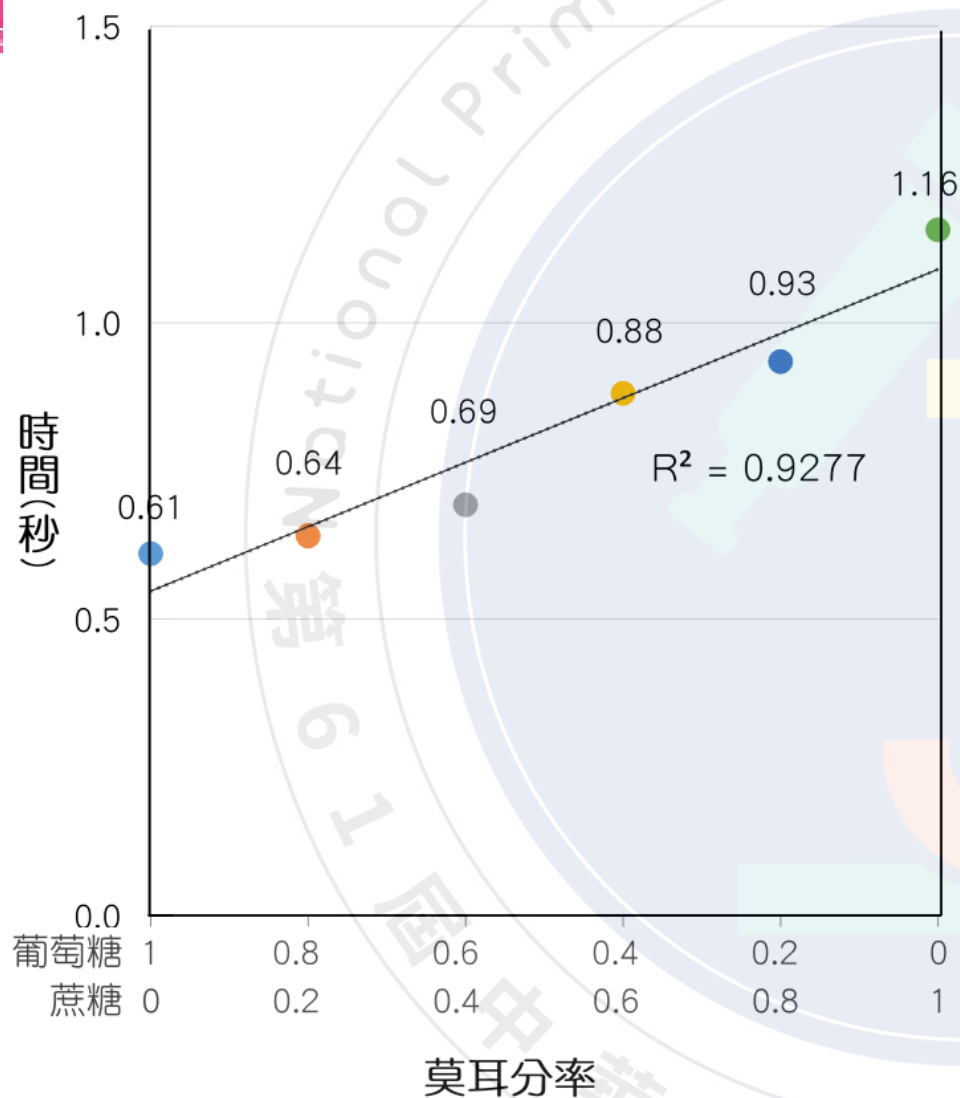


圖 7. 黏度與蔗糖水溶液濃度的關係圖

- 圖 6 及 圖 7 為溫度 110 °C，濃度分別為 80 %、90 %、100 % 的蔗糖溶液，利用自製簡易測量黏度裝置測得的秒數。
- 定溫下，高濃度的蔗糖溶液，其黏度與蔗糖濃度有非常高的線性關係，其 R^2 值高達 0.9993。

研究結果與討論

★ 探討混合糖黏度的特性及其可能應用



- 圖 8 葡萄糖與蔗糖混合後的黏度與兩者的莫耳分率關係圖，約略呈線性關係，表示混合糖液近似理想溶液。
- 市售手搖杯飲料添加的轉化糖是由蔗糖水解成葡萄糖與果糖的混合液，可利用本實驗的方法與結論，只要測糖液黏度，便可估算蔗糖水解百分率。

圖 8. 混合糖 (葡萄糖、蔗糖) 的黏度與混合比率的關係圖

結論

- 自製簡易測量黏度裝置可代替商售黏度計，具有簡易使用與成本低的優點。
- 影響糖液黏度因素有糖的種類、溫度、濃度。溫度高時糖液具有高可塑性，顯示其黏度較低溫時小。糖液濃度愈大黏度則愈大，高濃度糖液的黏度隨濃度增加而線性增加。
- 影響糖液黏度的本性因素有羥基數、分子量及分子結構。羥基數愈多或分子量愈大則造成黏性愈大，分子結構對黏性的影響為鏈環狀 > 環狀 > 鏈狀。
- 混合糖液之間的黏度具有高度線性關係，近似理想溶液，未來可以簡易取代黏度計，實際運用在生活中。

參考文獻

1. 黃一玄(2021年2月19日)。黏度(或稱黏滯)。科學Online。取自 <https://reurl.cc/ogQO95>
2. 曹智萍、林佩萱、陳良宇(2014)。糖水溶液黏度量測的熱力學觀點。MC-Transaction on Biotechnology, 6 (1), 27-35。