

# 中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 生活與應用科學科(二)

第三名

082921

甜葡萄追緝令—自製非侵入式糖度篩選法

學校名稱：臺北市松山區民族國民小學

作者：  小四 林羿葦 小四 李振寧 小四 趙禹昕	指導老師：  陳衍甫 紀毓中
---------------------------------------	-------------------------

關鍵詞：甜度分級、溶液密度、非侵入式篩選

# 甜葡萄追緝令—自製非侵入式糖度篩選法

## 摘要：

家庭餐桌上，妹妹總要吃最甜的葡萄，愛漂亮的姊姊只要微甜口感，罹患糖尿病的阿姨卻害怕吃到甜葡萄，面對眾多不同需求，我們思考：有沒有一種方法，可以迅速在清洗水果到端上餐桌過程中，就能直接分辨甜度並做出分級？

我們以不同品種葡萄為實驗對象，採持續加入溶質增加溶液密度方式，觀察其在水中沉浮變化，配合糖度計實測葡萄糖度，得到「葡萄越慢浮出，糖度越高」的結論，驗證「葡萄甜度與在逐漸增加密度溶液中的沉浮順序相關」之假設。

本研究提出經濟實用的自製非侵入式糖度篩選法，輕鬆為葡萄甜度分級，還可擴大應用於市場及醫院，讓民眾不必花大錢也能享受應用科學帶來的生活品質。並發想能朝構建糖度與密度資料庫，做為產業分級應用。

## 壹、前言

### 一、研究動機

熱鬧的家庭餐桌上，妹妹吵著要吃最甜的葡萄，愛漂亮的姊姊想要「有點甜、又不會太甜」的口感，然而罹患糖尿病的阿姨卻對水果避之唯恐不及，只是默默地望「甜」興嘆，害怕吃到過甜的葡萄。

我們思考：有沒有一種方法，能讓人們在清洗水果到端上餐桌的過程中，可以輕鬆又快速的分辨水果甜度並直接做出分級？這樣就能讓大家各取所需，皆大歡喜了！

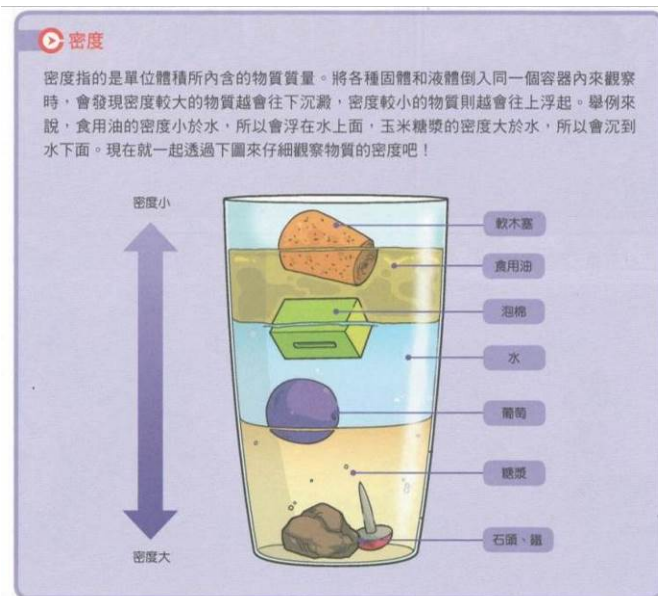
在仔細觀察清洗水果的過程後，我們發現：有的水果會全部沉在水盆底部（例如：葡萄和小番茄），而有的水果則會浮在水面上（例如：藍莓），於是我們產生了疑問：「決定水果在水中沉浮的關鍵因素，是不是取決於水果本身的大小或重量呢？」

可是，當我們再次觀察清洗十穀米的過程，發現會浮在水面上的並不一定是顆粒最小的穀物。於是有同學提出了在百科全書上閱讀過有關密度的實驗圖片，認為物質在水或溶液中的沉浮應是取決於「密度」。這個新鮮的名詞引發了我們學習的興趣，但密度與水果甜度間是否有關係呢？對於全部都沉在水盆底部的水果，我們又該如何分辨它們的甜度差異呢？在搜集資料尋找答案的過程，我們發現了有趣的「彩虹分層密度儀」（圖一），進一步知道可以用糖或鹽等物質加入水中，製作出不同密度的溶液。

我們仔細觀察圖片（圖二）中葡萄的位置，是位於糖漿與水之間，糖漿那麼甜，在最下層，所以我們想：葡萄是否也是越甜就會沉的越下面？如果能在水與糖漿之間製造出超多層的「彩虹分層密度儀」，再把葡萄放入，那麼，甜的葡萄是不是就會沉到比較下層的位置？



（圖一）彩虹分層密度儀



（圖二）『漫畫大英百科 3 物質的特性』第 76 頁

然而，在考慮了「葡萄丟入水中會擾動分層，使分層間顏色混濁不易觀察」的問題後，我們改用「在水中逐次定量添加溶質以增加溶液密度」的方式，去觀察葡萄在溶液中的沉浮變化（葡萄與溶液的相對密度），為了把葡萄在溶液中沉浮狀態數值化以進行比較，我們以「葡萄在逐漸增加密度的溶液中沉浮狀態改變時，溶液的累計添加溶質量」作為量化的相對密度，也就是「當原本沉在溶液底部的葡萄，終於浮上水面的那一刻，溶液中的累計添加溶質量有多少？」的概念，然後再用這個量化的數值來探討它與葡萄「實測糖度」間的關聯性。如果前面的推想成立，那麼我們是否就能應用簡易的科學方法，自製出經濟便利又實用的「神奇配方溶液」呢？相較於需要破壞水果進行測量的糖度計，「神奇配方溶液」採用非侵入的方式進行糖度篩選，以水果在溶液中沉浮程度的表現作為判斷方式，能快速分辨水果甜度並達到分級的效果。

根據密度原理，如果 A 葡萄在密度較低的溶液中浮起，而 B 葡萄在密度較高的溶液中浮起，就表示 A 葡萄的密度小於 B 葡萄。因此，若葡萄「實測糖度」與「葡萄在逐漸增加密度的溶液中沉浮狀態改變時，溶液的累計添加溶質量」相關，那麼葡萄的「糖度」是否就與「密度」具相關性呢？

我們決定嘗試利用密度和比重的原理，在考量現有器材的大小與水果在甜度上的落差

程度後，選擇以「葡萄」當作實驗主軸，試著運用科學原理，達到迅速在一串葡萄中以非侵入式篩選法做出甜度分級的目的。這樣一來，我們不僅可以讓家人享受到符合他們個人需求的不同甜度水果，而且還能將研究成果分享給傳統市場或醫院的供餐系統。這樣做既經濟實惠，又能確保食品安全，同時迅速滿足不同病況患者的飲食健康需求，達到健康客製化供餐的目標。更進一步，我們發想，若能將本研究中測得的葡萄糖度與體積測定儀的掃描數值等類型數據結合起來，我們期待在累積了大量數據的資料庫擴展後，能將數據回饋應用於產業，必對產業帶來益處，有利產業升級。

## 二、目的

- (一) 探討葡萄「甜度」與其「在逐漸增加密度溶液中沉浮狀態改變時，溶液的累計添加溶質量」之關聯性。
  1. 葡萄「品種不同」是否影響此關聯性？
  2. 葡萄「有籽與無籽」是否影響此關聯性？
- (二) 運用密度原理探討葡萄甜度與密度之關聯性。
- (三) 探討是否有適用於區別葡萄甜度之最佳濃度溶液？並提出專屬的「神奇配方」，應用自製非侵入式糖度篩選法，快速以比重區分葡萄甜度並作出分級。
- (四) 探討以「葡萄在逐漸增加密度的溶液中沉浮狀態改變時，溶液的累計添加溶質量」作為相對密度的『溶液密度篩選法』之相關應用。

## 三、文獻探討

決定做這個主題後，我們首先想到的是釀造葡萄酒的酒莊，會如何選用他們需要的葡萄呢？在研讀梁淑意（2016）「經濟通」的「人手摘葡萄比機械好？波爾多的葡萄篩選」文章中，我們發現部分資金比較雄厚的酒莊，使用「光學葡萄篩選機」，現在也開始有酒廠利用「糖水機器」來量度葡萄果實密度，他們會把理想葡萄中的糖用同等份量加進水中，當採收回來的葡萄經過這些糖水，糖分不足的就會浮在水面，達標的則會沉底，這樣的技術，可以把表面上看起來很大很漂亮，但是密度和重量卻不夠的葡萄篩走，準確度也很高，但是前面提到的這兩種機器，都非常昂貴，換算成新臺幣都要好幾百萬以上，不符合一般家庭或小型商家使用。

另外，我們研讀了兩篇科展的報告作為參考，第一篇是「水果甜不甜？我請浮力幫你選」（嘉義科展第 62 屆）、第二篇是「重不重有關係嗎？柳丁甜度之研究」（全國科展第 45 屆），並與我們的研究「甜葡萄追緝令—自製非侵入式糖度篩選法」比較如下(表一)：

比較項目		差異比較		
作品名稱		水果甜不甜？ 我請浮力幫你選	重不重有關係嗎？ 柳丁甜度之研究	甜葡萄追緝令 —自製非侵入式糖度篩選法
研究對象		多種水果	柳丁 聚焦	葡萄 聚焦
研究方法	數值化量測	量測重量/體積/估算密度 科學	量測重量/體積/估算密度 科學	量測重量/體積/估算密度 科學
		X	X	溶液浮沉法 科學
	非數值化量測	溶液浮沉法	外觀指標	X
量測工具		外購糖度計	自製糖度計 創新	外購糖度計
		X	X	租用體積儀 精準
分析方法		重量/體積=估算密度 科學	重量/體積=估算密度 科學	重量/體積=估算密度 科學
		浮沉的狀況	X	浮沉的加溶質量 科學
		用肉眼觀察	用折線圖 科學	用散佈圖 更科學
		用口嚐比較	X	用相關係數 更科學
研究結果		較粗略	外觀指標有相關 量測指標無相關	有神奇配方驗證 科學
		X	只適用於柳丁甜度區別	有應用發想 創新

(表一) 兩篇科展報告與本研究差異比較表

## 貳、研究設備及器材

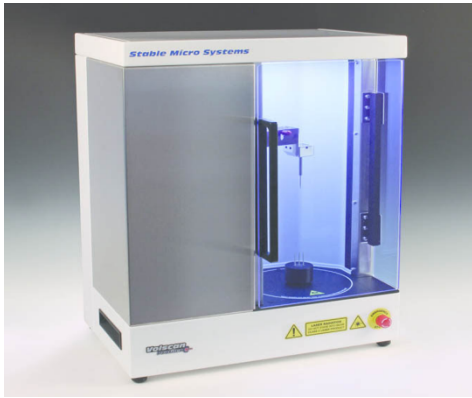
燒杯 X2、量筒 X1、小量杯、葡萄數串（巨峰葡萄、綠色無籽葡萄、黑色無籽葡萄）、糖度計、果糖糖漿、軟木塞 X2、沙拉油、水、十元硬幣、樂高、泡綿、油漆筆、奇異筆、砂糖、攪拌棒、玻棒、電子秤、天秤、食皿、茶匙、滴管、實驗紀錄表、玻璃缸、壓克力隔板、製冰盒、食用碘鹽、相機(拍照用)、租用 VSP600C 體積測定儀。(如圖三~六)



(圖三) 研究器材



(圖四) 玻璃缸與壓克力隔板



(圖五) VSP600C 體積測定儀



(圖六) 糖度計

### 參、 研究過程或方法

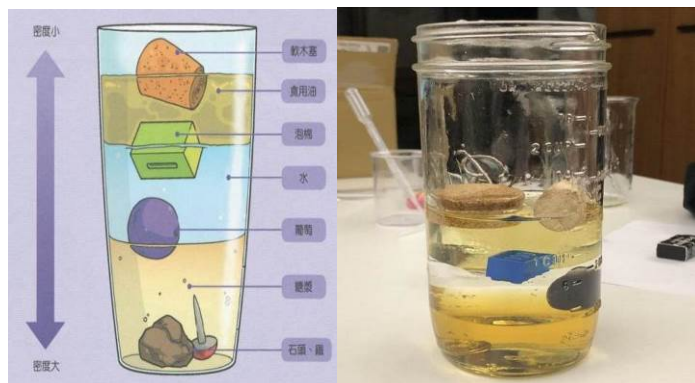
研究方法				
前置作業		實驗		
了解密度原理	如何測質量?	實驗架構圖		
	如何測體積?			
如何測甜度?	小型實驗	大型實驗	驗證實驗(神奇配方實驗)	
用什麼當溶質?	實驗步驟流程圖	實驗步驟流程圖	如何求得神奇配方?	
用哪些品種的葡萄?	修正細節		實驗步驟	

(表二) 研究方法大綱

#### 一、 前置作業

##### (一) 先了解「密度」原理

依據 BomBom Story (2016) 『漫畫大英百科 3 物質的特性』第 76 頁的圖片 (如圖二)，我們先將相同體積的糖漿、水、食用油這 3 種液體秤重，發現它們的重量依序為糖漿>水>食用油，我們把這三種液體依序倒入在燒杯中 (倒入各類液體的過程必須非常緩慢，並且儘可能使用玻棒，避免液體四濺或交界混雜而影響觀察)，再放入軟木塞、泡棉、葡萄、十元硬幣、樂高積木，觀察這些固體在燒杯中的位置，一開始泡棉的位置不太對，後來我們把泡棉裡面的氣泡



(圖七)

壓出來，終於看到像書本上所呈現的樣子(如圖七)。經由查閱資料的過程，我們學到了密度是「質量(重量)除以體積」。

### 1. 如何測量質量?

我們知道要用天秤來測量質量(如圖八)，但考慮時間與人力有限，天秤量測法難運用在較大規模實驗中，在實際比較電子秤與天秤測量的差異發現兩者差異很小後，我們決定所有實驗均採用電子秤來量測重量(如圖九)，以電子秤測量到的重量取代質量。



(圖八) 天秤



(圖九) 電子秤

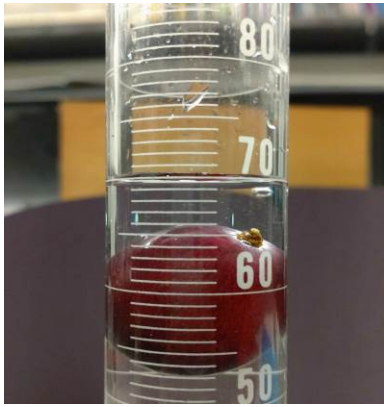
### 2. 如何測量體積?

因為每顆葡萄的形狀、大小都不相同，因此我們在前置小型實驗中採用「排水法」，以量筒來量測葡萄體積(如圖十)。但在操作的過程中遇到下列問題，造成「以實測重量除以體積」所得的密度值(本報告中統稱為「估算密度」)與浮起順序之關係，和我們預期的結果不相符：

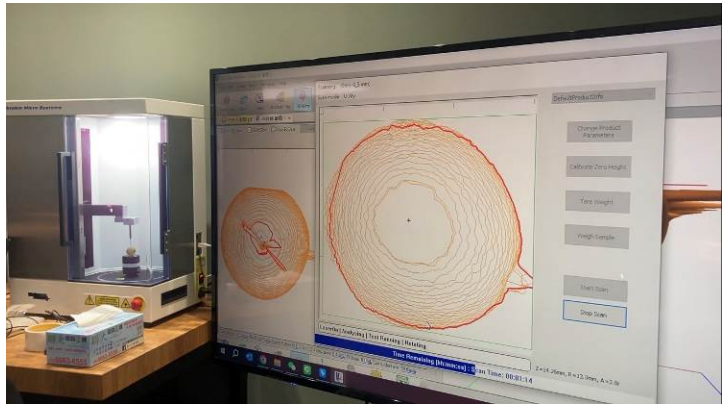
- (1) 量筒的刻度為 1ml，由於其精確度有限，無法準確讀取小於 1ml 的數值。
- (2) 葡萄間的體積差異小，量筒的量測結果較難分辨與判讀。
- (3) 市售量筒管徑過小，部分葡萄無法放入，我們只好採用小量杯排水法測量較大葡萄的體積。但市售小量杯的刻度為 2ml，更不精確，造成數值判讀更加困難。

#### 解決方式：拍照法與租用儀器

為了解決以上問題，我們除了將判讀數值的方式由肉眼直接判讀，改為將量測刻度拍照，方便我們放大確認外，對於相近度高的照片，我們另外採用 ImageJ 軟體協助判讀。就在我們四處尋覓更好的體積量測方法時，終於找到了以雷射掃描量測的「體積測定儀」，並在較大規模實驗的時候，租用儀器公司的 VSP600C 體積測定儀(如圖十一)，以取得較精確的體積測量數據。



(圖十) 以量筒測量葡萄體積

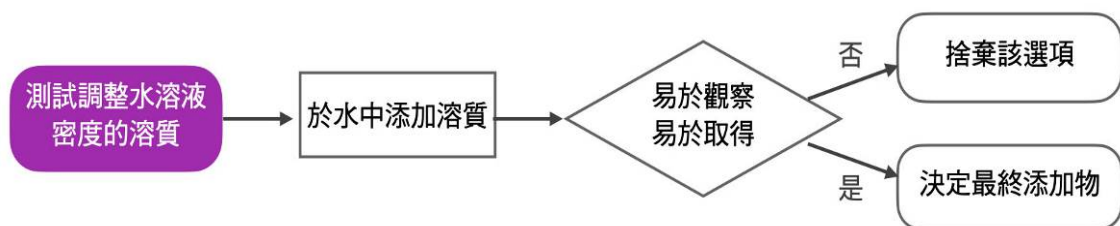


(圖十一) VSP600C 體積測定儀

## (二) 如何測量甜度?

我們的實驗需要去分辨葡萄甜度的不同，但如果採用直接試吃的方式，會因每個人的感覺不一樣，有主觀感受不同的問題。所以我們購買了糖度計(如圖六)，希望有可客觀比較的實驗數據。經參考劉慧瑛(1992)「果蔬甜度、糖度、可溶固形物與糖含量的論析」，我們知道甜度與糖度的差別，也了解兩者之間具有關聯，在不考量酸度等其他因素影響下，糖濃度越高，甜度越大。而且在我們看了這篇論析內容中水果糖度與「換算甜度」的關係後發現，葡萄在換算後的差異小，因此在本次的實驗中，我們採用糖度的高低，來做為葡萄相對甜度分辨及驗證的基準，糖度的單位寫做 **Brix**。我們這篇報告裡面寫的甜度所代表的意思就是可以數值化的糖度(Brix)。

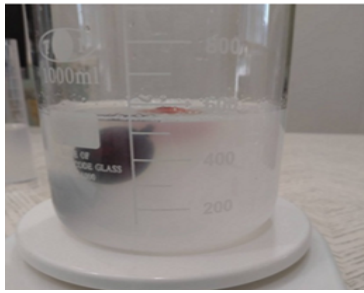
## (三) 用什麼物質製作不同密度的溶液?



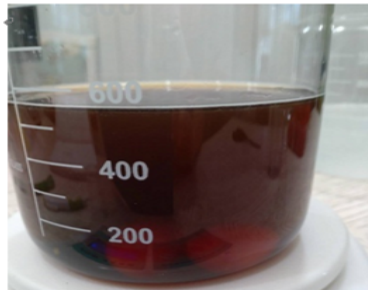
(圖十二) 尋找實驗適用溶質流程圖

水是最容易取得的液體，而且我們知道海水跟及糖漿的密度都比水還大，也就是水越鹹或越甜都可以增加密度，因此我們想用加鹽或加糖的方式來調整水溶液的密度。我們先用水加鹽的方法，發現鹽加多了溶液會呈現白白霧霧的狀態，看不清楚容器裡面的樣子(如圖十三)。所以我們改以黑糖為溶質，結果溶液變成咖啡色，難以觀察(如圖十四)，最後我們將溶質換成白砂糖，發現溶液能維持比較透明的狀態，清楚可見容器內部情況(如圖十五)，適合實驗觀察，所以我們決定以水為溶劑，白砂糖為溶質，採用定量白砂糖逐次加入容器水中的方式去調整溶液的密度。

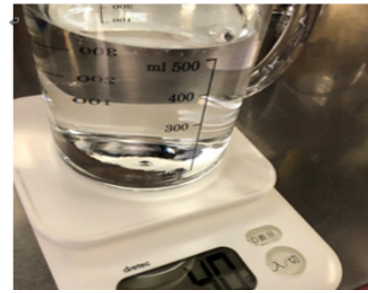




(圖十三) 鹽水



(圖十四) 黑糖水



(圖十五) 白砂糖水

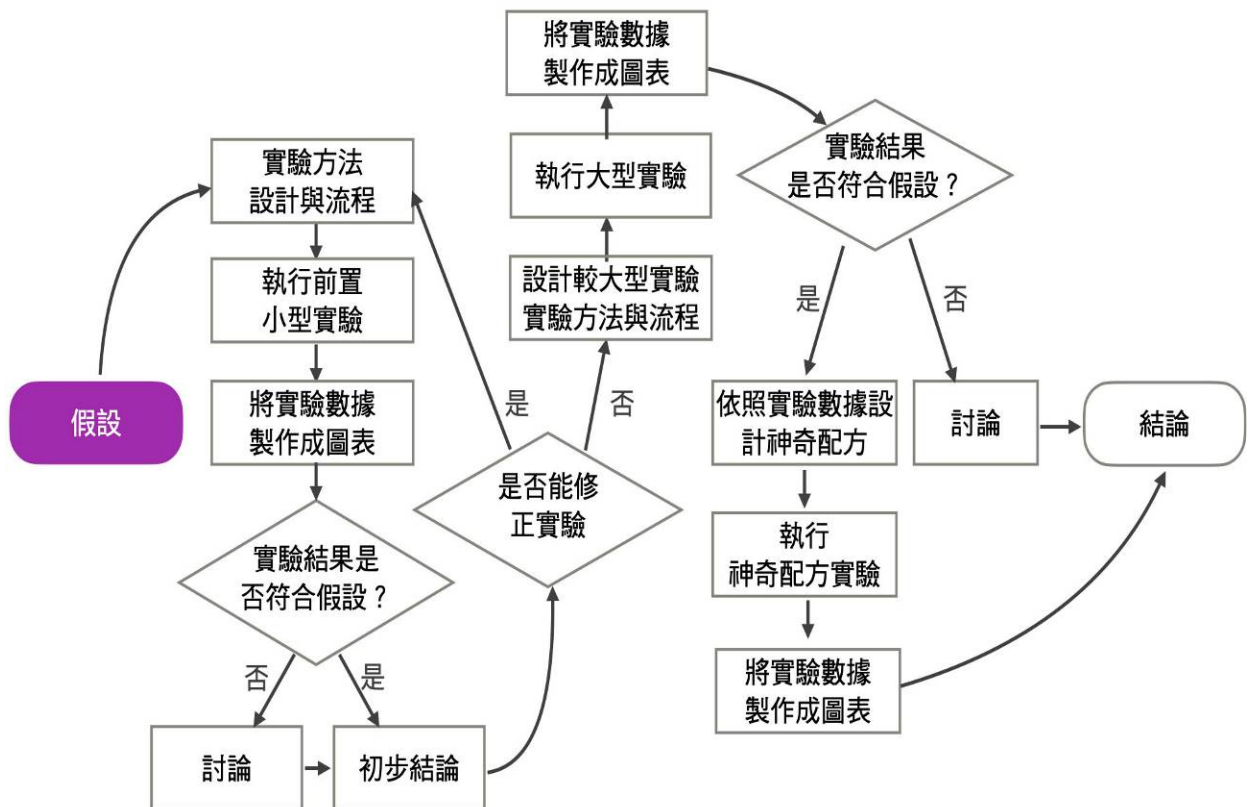
選擇溶質時也要注意各種溶質的飽和度，若實驗中溶液達到飽和就無法繼續增加溶液的密度了，幸好白砂糖的飽和度很高，我們的實驗都沒達到溶液過飽和的狀況，有一次為了不浪費實驗的糖水，我們將實驗後的糖水過濾後想製作成冰糖，結果因為糖水未達飽和狀態，冰糖沒有製作成功。

#### (四) 採用那些品種的葡萄?

我們以市面上容易買到的三種葡萄為實驗對象，並考慮葡萄有籽與無籽是否影響葡萄的甜度與其「在逐漸增加密度溶液中沉浮狀態改變時，溶液的累計添加溶質量」之關聯性，選擇以有籽的巨峰葡萄、綠色無籽葡萄與黑色無籽葡萄來做實驗。

## 二、實驗

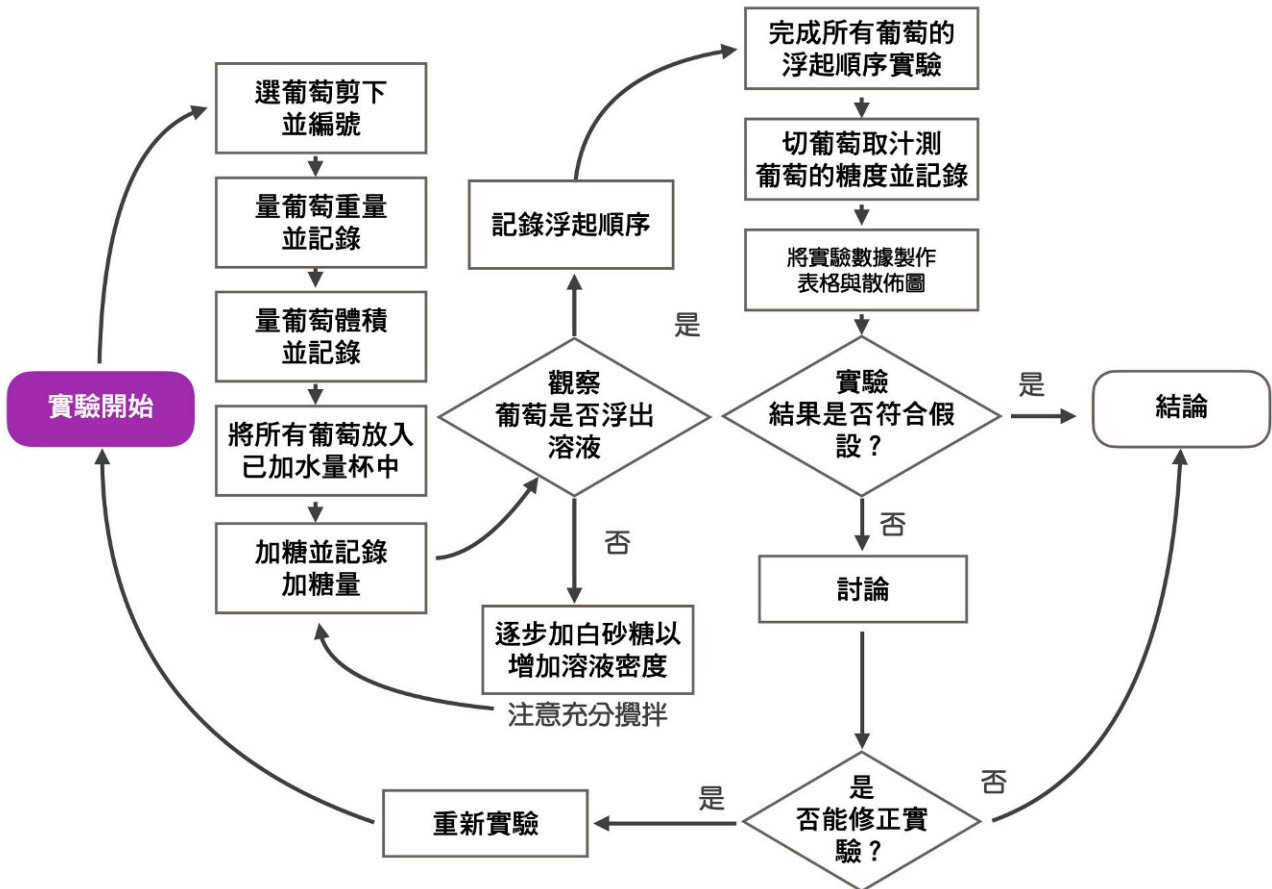
### (一) 實驗架構



(圖十六) 實驗架構圖

## (二) 前置小型實驗

### 1. 實驗步驟



(圖十七) 前置小型實驗的實驗步驟流程圖

### 2. 以前置小型實驗驗證假設，並修正實驗細節

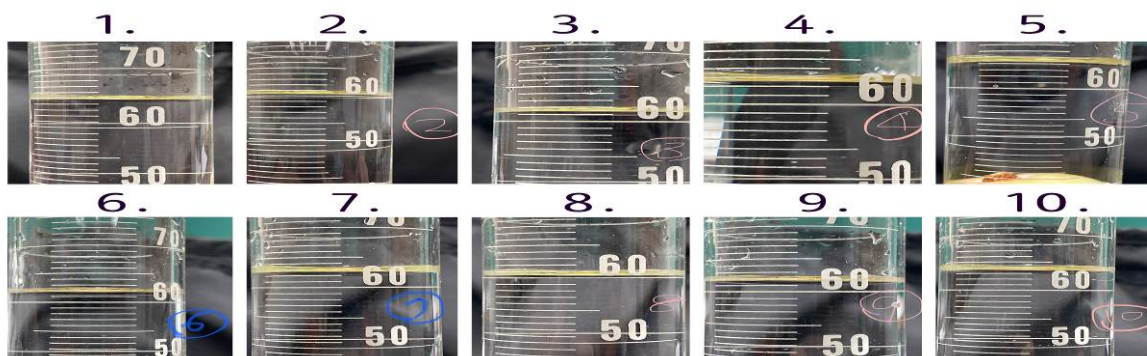
我們知道需要用較大的樣本數做實驗才具代表性，但大規模實驗也代表需投入更高的成本、人力與時間，所以在執行較大型實驗前，我們做了多次小型實驗來驗證假設，並檢討小型實驗所發現的問題後，想辦法修正實驗細節，希望能更有效率地執行較大規模實驗。經過七次小型實驗，我們做了以下修正：

#### (1) 每一次的實驗操作分別使用單一品種葡萄，並增加取樣數

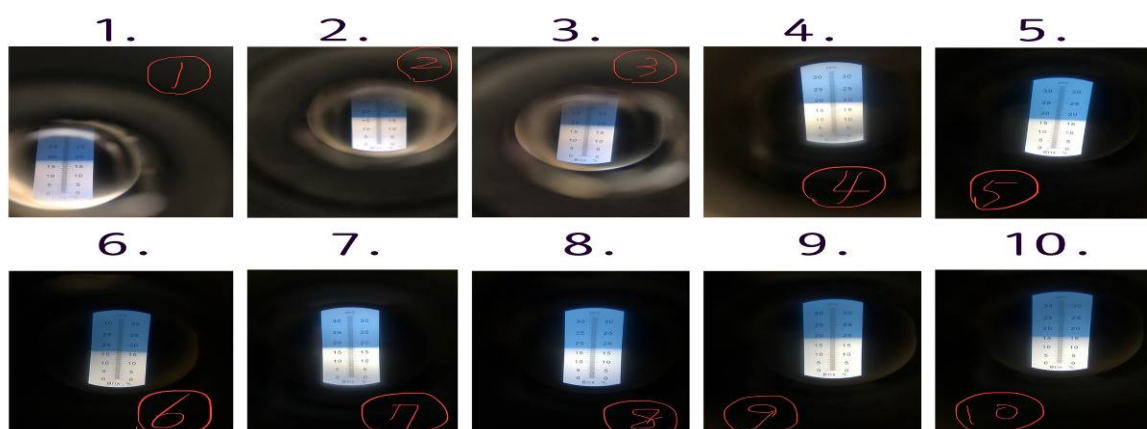
我們前置小型實驗採用燒杯為容器，受限燒杯大小，每次僅能執行約 10 顆葡萄的實驗，為了讓樣本的數據符合統計上的意義，我們在較大型實驗中改以「玻璃缸」為容器，分別執行三個品種各 100 顆葡萄的實驗。

#### (2) 修正實驗數據讀取方式

(a) 原本由肉眼直接觀察讀取並記錄量筒及糖度計的刻度數據，改為以手機拍照看放大照片確認(如圖十八、圖十九)，以避免人為誤差並求取更精確的數值。

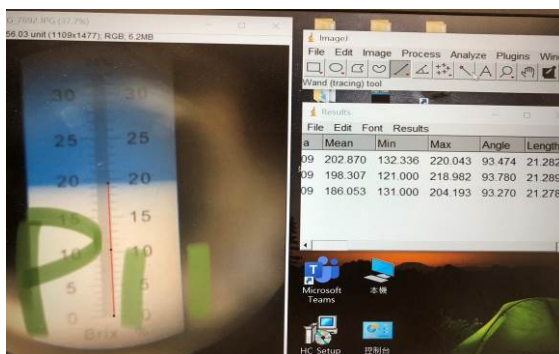


(圖十八) 第五次實驗拍攝的體積量測結果圖

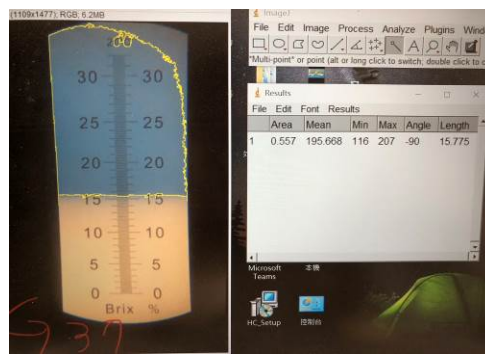


(圖十九) 第五次實驗拍攝的糖度量測結果圖

(b) 對於放大後仍難以判讀刻度數據的照片，採用 ImageJ 軟體協助判讀。(如圖二十、圖二十一)



(圖二十) 以 ImageJ 軟體判讀糖度



(圖二十一) 以 ImageJ 軟體判讀糖度

### (3) 設計「透明壓克力隔板」，以避免攪動溶液的動作損害葡萄

我們用攪拌棒來加快溶質的溶解速度，但卻造成葡萄損傷(如葡萄蒂頭被攪落、蒂頭被撕開、葡萄破損等)，因此我們發揮創意，自行設計了一塊不吸水的壓克力隔板(考慮吸水材質會影響溶液濃度)，把葡萄與需要溶解的糖區隔開來，這樣攪動溶液去溶解糖時就不怕傷到樣本了(如圖二十二)，透明的隔板既不會阻礙觀察實驗結果，還可以藉由隔板形成的水流幫助攪拌，讓溶液密度更均勻(如圖二十三)。



(圖二十二)



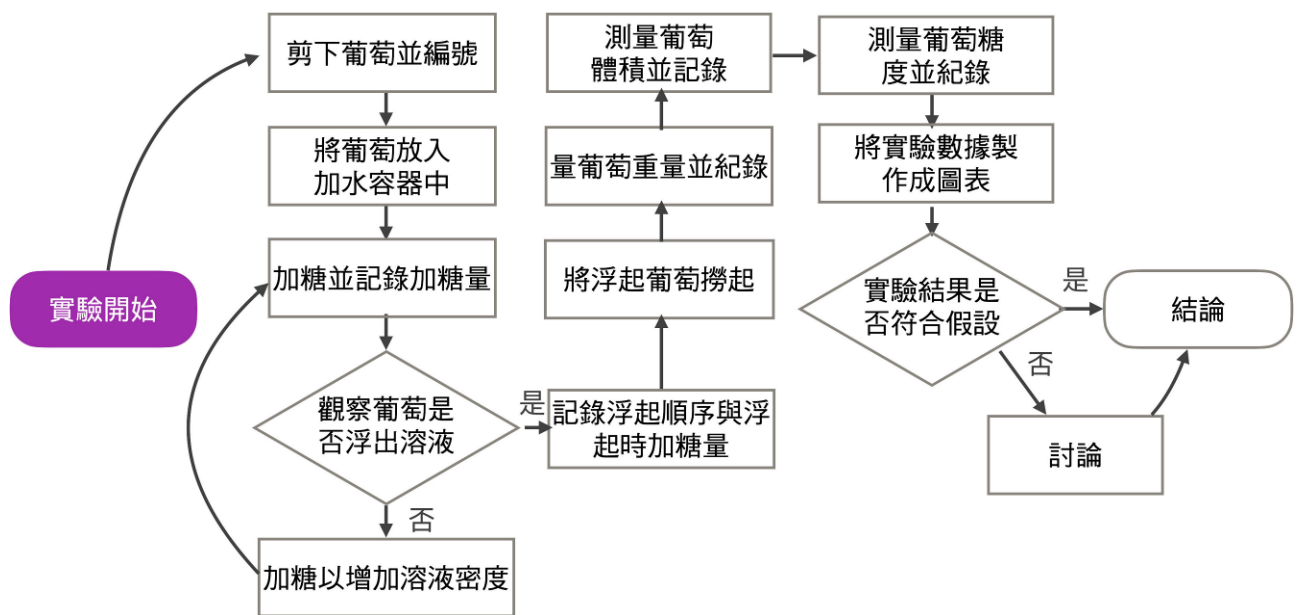
(圖二十三)

#### (4) 採用散佈圖與相關係數去探討兩個變數之間的相關性

我們一開始採用折線圖去看兩個變數之間的相關性，發現若兩個變數為負相關時用折線圖很難判別，接著改用散佈圖去呈現，散佈圖雖然可以看出趨勢與分散程度，但無法把結果量化，於是在較大規模實驗後我們採用 Excel 軟體中的 `correl` 函數功能去求取相關係數，以量化兩個變數之間的相關性。

### (三) 較大型實驗

#### 1. 實驗步驟



(圖二十四) 較大型實驗的實驗步驟圖

#### (1) 改變葡萄重量與體積的量測時點，以縮短實驗時間

考量實驗樣本數變多，如果先量測所有葡萄的重量與體積後才進行逐漸增加溶液密度的沉浮實驗，我們還必須等待葡萄浮出溶液後才量測其糖度，則單顆葡萄從剪下到實測其糖度的時間，估計將超過 6 小時，擔心葡萄脫水影響實驗結果。因此較大型實驗中，我們將葡萄重量與體積的量測時點改為「單顆葡萄浮出溶液後，立即量測其重量及體積，並銜接後續的糖度量測作業」，這樣一邊在進行沉浮實驗

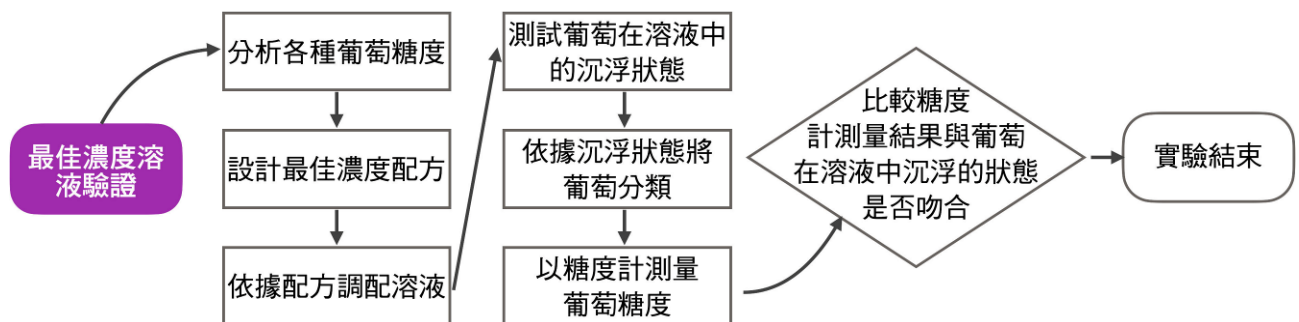
時，一邊可執行重量、體積與糖度的量測，有效縮短實驗時間，降低葡萄暴露在室溫可能產生的變化與影響。

## (2) 改變葡萄編號的時點與方法，以避免葡萄編號使用的「油漆筆」對量測葡萄體積造成誤差

由於前兩次較大型實驗中，由「體積測定儀」測得的「重量除以體積」之「估算密度」值，與以「葡萄浮起時溶液加糖量」呈現的葡萄相對密度，兩者間之相關係數最高一次仍只有到達 0.2280 (取前 59 顆浮起的巨峰葡萄之數據)，屬低度相關，我們懷疑是葡萄編號使用的油漆筆造成機器誤判，所以在最後一次較大型實驗中，我們修正為葡萄先不編碼，直接做沉浮實驗，等到各顆葡萄分別浮起後，依浮出順序放入有編號的製冰格中作為編碼，並以沒有寫上編碼的葡萄，執行體積測定儀掃描作業，以求取更精確的結果。

## (四) 依據實驗結果，試算「神奇配方（最佳濃度溶液）」分級建議並執行驗證實驗

我們想藉由實驗結果找出「神奇配方（最佳濃度溶液）」，方便我們可以快速應用在生活中，因此我們依據實驗結果試算，並提出以白砂糖為溶質的最佳濃度溶液分級建議，並對這個建議執行驗證(如圖二十五)。



(圖二十五) 神奇配方實驗流程圖

### 1. 設計「神奇配方（最佳濃度溶液）」分級調配建議的方法:

- (1) 我們採用三種葡萄在大樣本(單種葡萄樣本超過 100 顆)實驗結果，以 Excel 軟體製作出三種葡萄的「糖度」與「葡萄浮起時溶液累計加糖量之散佈圖」。
- (2) 依據各品種葡萄散佈圖上趨勢線之方程式，將葡萄以糖度區分成三級。
  - (a) 分別取得三種葡萄在歷次實驗中，各別之「最高」與「最低」糖度。依品種將前項取得之「最高糖度」減去「最低糖度」後，均分為三等份，即可得出三種葡萄的「低標糖度」與「高標糖度」。

(b) 運用代表趨勢線的方程式，求得三種葡萄的高、低標糖度所對應之葡萄浮起時的溶液累計加糖量，也就是三種葡萄各別的「高標最佳濃度溶液」與「低標最佳濃度溶液」。

2. 用「神奇配方（最佳濃度溶液）」迅速將葡萄分級的步驟：

- (1) 依葡萄品種調製一大杯「低標最佳濃度溶液」與一大杯「高標最佳濃度溶液」。
- (2) 將葡萄剪下一顆顆放入「低標最佳濃度溶液」中，葡萄若浮起屬於「低糖度」。
- (3) 將沉入「低標最佳濃度溶液」底部的葡萄撈起，洗淨擦乾後放入「高標最佳濃度溶液」中，浮出水面的葡萄屬於「中糖度」，沉入溶液底部的葡萄則屬「高糖度」。

#### 肆、研究結果：

##### 一、前置小型實驗結果

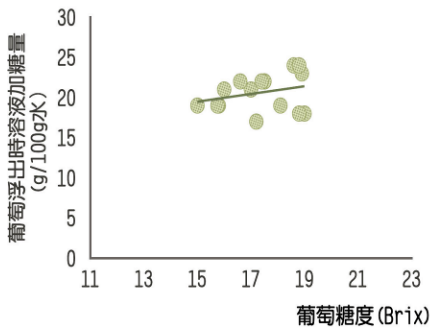
前置小型實驗共 6 次(不含第四次「最佳濃度溶液」配方驗證)，實驗結果如下（表三）：

	葡萄品種			葡萄大小		葡萄新鮮度		溶液密度增減法		葡萄糖度與溶液加糖量呈現正相關	「估算密度」與溶液加糖量呈現正相關	發現的問題
	巨峰	綠色無籽	黑色無籽	差不多	差距大	新鮮	不新鮮	加糖加密度	加水減密度			
實驗一	4	4		○		○		○		7/8	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>●葡萄品種不夠</li> <li>●浮出順序與估算密度無相關</li> <li>●葡萄體積測量數據不易判讀</li> </ul>
實驗二	3	3	3		○	○ 無籽葡萄	○ 巨峰	○		4/9	些微	<ul style="list-style-type: none"> <li>●單一品種取樣數不足</li> <li>●葡萄不新鮮的影響</li> <li>●葡萄體積過大的影響</li> <li>●攪拌溶液費時且會弄傷葡萄</li> </ul>
實驗三		5	5	○		○			○	只能看出不同品種的浮沉差異	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>●加水減低溶液密度不易均勻</li> <li>●突然改變調整溶液密度方式，致實驗結果無一致比較基礎</li> </ul>
實驗五		10		○		○		○		X	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>●葡萄結實，不易取汁測糖度</li> <li>●葡萄體積測量數據以拍照需要注意水平</li> </ul>
實驗六			10	○		○		○		8/10	X	<ul style="list-style-type: none"> <li>●整批葡萄實測糖度低</li> </ul>
實驗七	10			○		○	○	○		8/10	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>●有1顆葡萄有酒味</li> </ul>

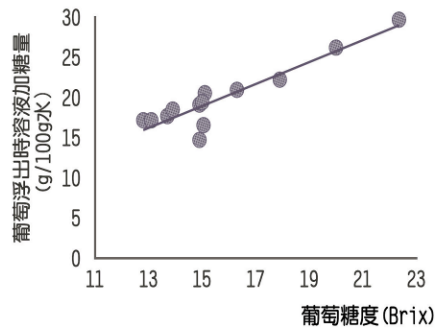
附註: 1. 「葡萄品種」的三欄中的數字代表各種葡萄的樣本數  
 2. 「葡萄糖度與溶液加糖量呈現正相關」一欄中所填寫的分數，其分母代表實驗葡萄樣本數，分子代表符合「葡萄糖度越高，則其自溶液浮起時之溶液累計加糖量越高」的樣本數。

(表三) 前置小型實驗結果分析比較表

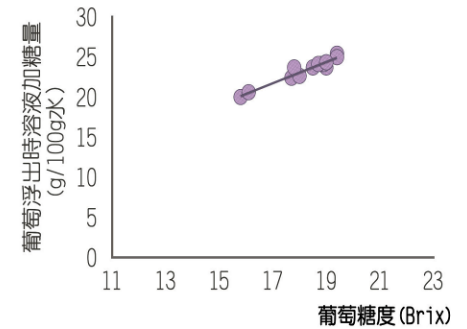
因為實驗三的溶液密度是採「加水減密度」的方式，與其他 5 次實驗的「加糖加密度法」不同，故排除實驗三的數據，將其他 5 次實驗數據依葡萄品種彙整後，以散佈圖去看兩個數值間的相關性，三種葡萄的「葡萄糖度」與「葡萄浮出時溶液累計加糖量」有正相關(如圖二十六~圖二十八的上圖)，但巨峰葡萄的「估算密度」與「葡萄浮出時溶液累計加糖量」之間則為低度相關(如圖二十八的下圖)。



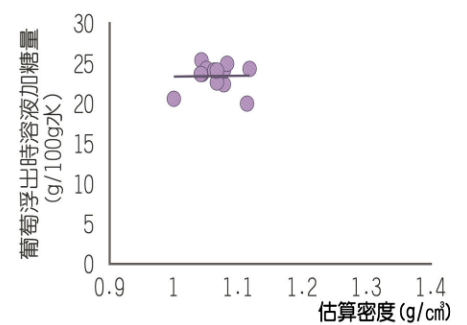
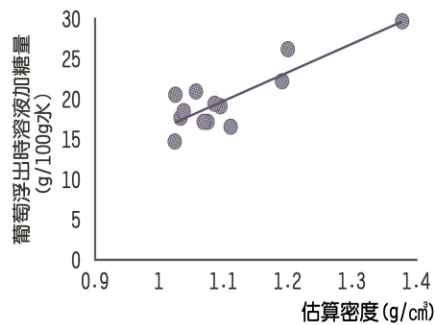
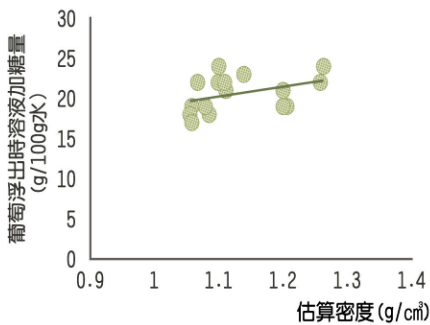
(圖二十六) 綠色無籽葡萄



(圖二十七) 黑色無籽葡萄



(圖二十八) 巨峰葡萄

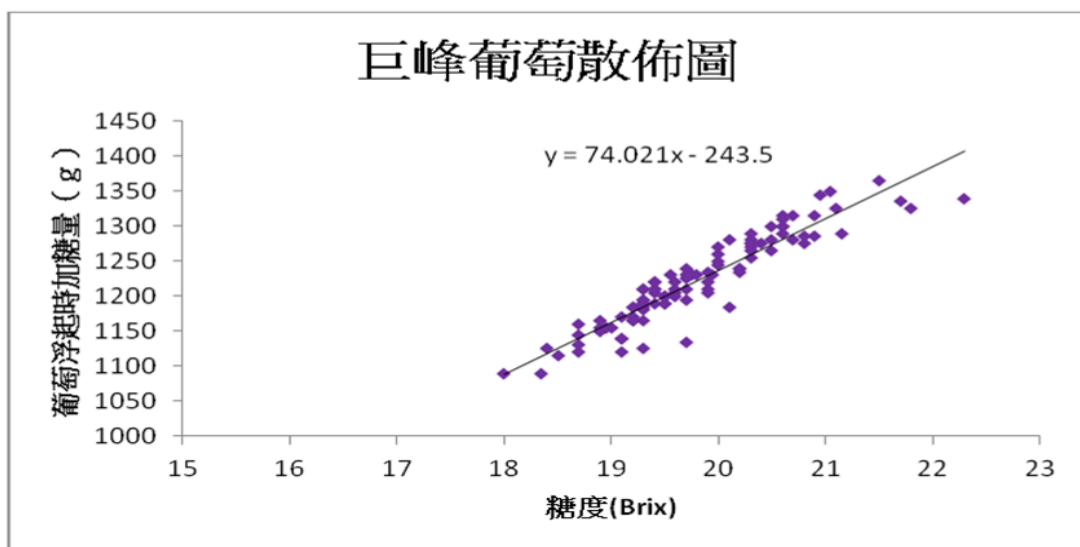


## 二、較大型實驗結果

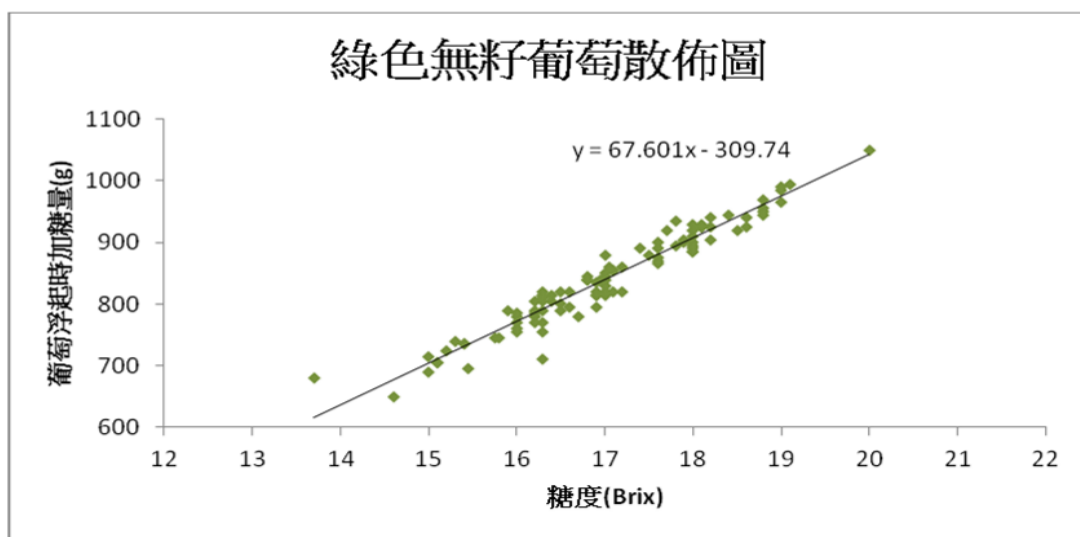
(一) 葡萄「糖度」與其「在逐漸增加密度的溶液中沉浮狀態改變時，溶液的累計加糖量」實驗：

### 1. 葡萄品種不同：

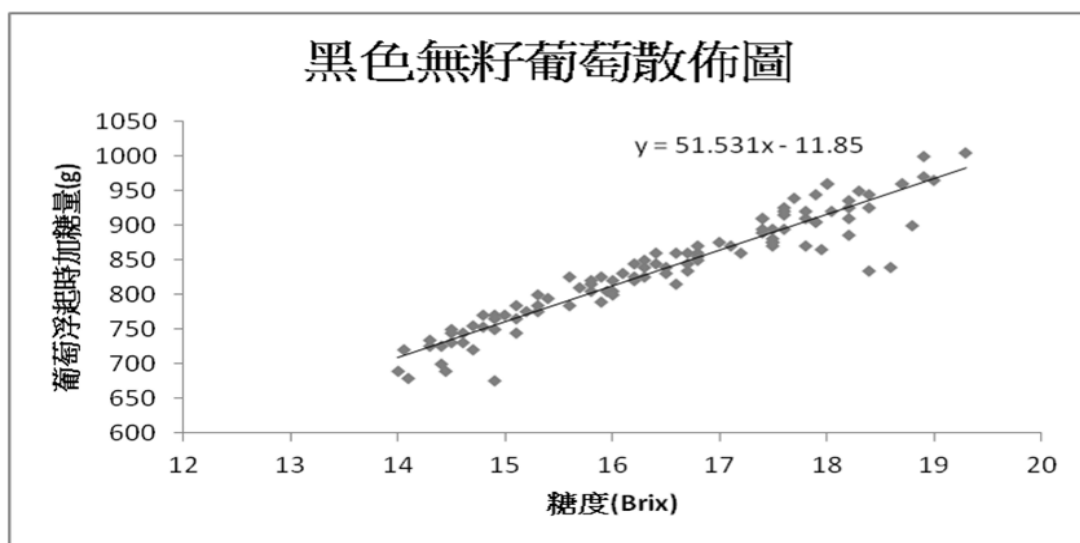
三個品種葡萄，分別採樣 100 顆以上，作「葡萄糖度」與其「在逐漸增加密度的溶液中沉浮狀態改變時，溶液的累計加糖量」之實驗。以散佈圖分別檢視三個品種葡萄的實驗結果，「葡萄糖度」與「葡萄浮出時溶液加糖量」均為正相關(如圖二十九、圖三十、圖三十一)。



(圖二十九) 巨峰葡萄散佈圖—糖度 vs 葡萄浮起時累計加糖量



(圖三十) 綠色無籽葡萄散佈圖—糖度 vs 葡萄浮起時累計加糖量

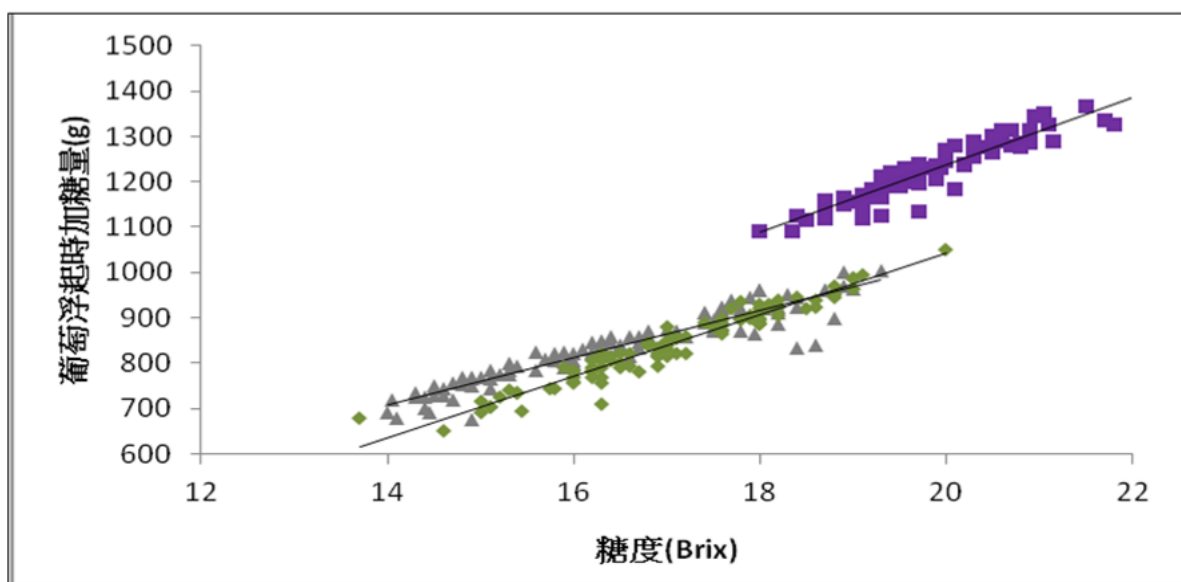


(圖三十一) 黑色無籽葡萄散佈圖—糖度 vs 葡萄浮起時累計加糖量



## 2. 有籽葡萄與無籽葡萄：

將三種葡萄(紫色點代表巨峰葡萄；綠色點代表綠色無籽葡萄；灰黑色點代表黑色無籽葡萄)之數據呈現在同一張散佈圖中(如圖三十二)，則可發現巨峰葡萄的糖度較高，故散佈在圖的右方，最有趣的是：相同糖度的巨峰葡萄竟需要比無籽葡萄更多的加糖量才能浮出溶液(圖中巨峰散佈在無籽的上方)；而兩種無籽葡萄的糖度與葡萄浮起時的累計加糖量則較為接近。



(圖三十二) 三種葡萄散佈圖—糖度 vs 葡萄浮起時累計加糖量

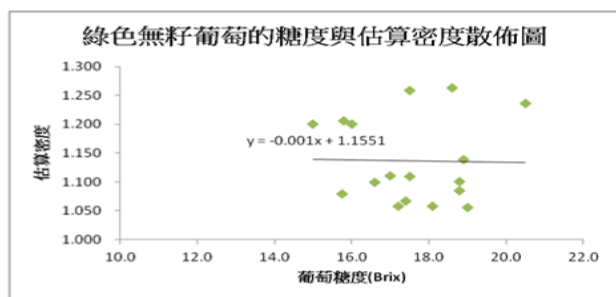
進一步用 Excel 軟體求取三種葡萄在「糖度」與「葡萄浮出時溶液累計加糖量」間的「相關係數」，其結果皆超過 0.9，屬高度正相關(如表四)，表示實驗結果符合假設。

糖度 VS 加糖量	相關係數 (correl)
巨峰葡萄	0.9340
綠色無籽葡萄	0.9681
黑色無籽葡萄	0.9457

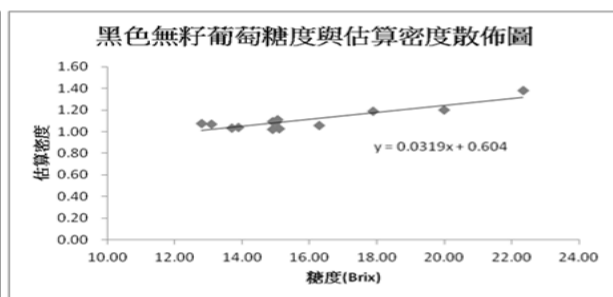
(表四) 三種葡萄的「葡萄糖度」與「葡萄浮出時溶液累計加糖量」相關係數對照表

## 三、葡萄甜度與估算密度關聯性：

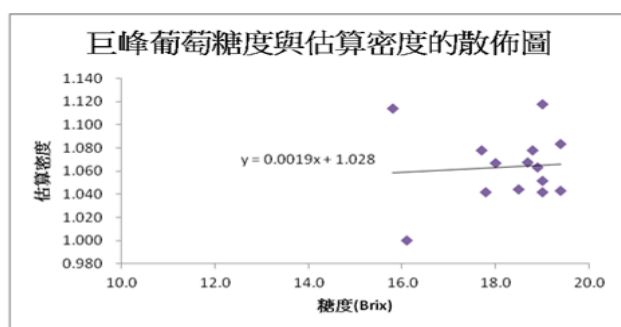
我們在前置小型實驗時可看出葡萄「糖度」與「葡萄浮起時累計加糖量」之間有正相關，但是卻無法找出葡萄「糖度」與「估算密度」之間的相關情況，有時會出現負斜率的不合理狀況(如圖三十三~三十五前置小型實驗各品種整合散佈圖)。



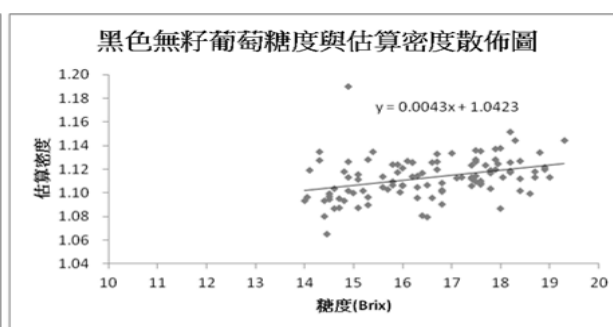
(圖三十三)



(圖三十四)



(圖三十五)



(圖三十六)

為探究這個問題，在較大型實驗中，我們租用了精密的體積測定儀，可是我們在巨峰葡萄與綠色無籽葡萄的較大型實驗時遇到儀器故障的突發狀況，所以只完成最早浮起的前 59 顆巨峰葡萄與前 32 顆綠色無籽葡萄的體積量測。等儀器修好後，最後一次較大型實驗，我們終於順利完成完整的 105 顆黑色無籽葡萄的體積量測數值，其「糖度」與「估算密度」的散佈圖（如圖三十六）。依據現有不齊全的資料去分析兩個包含「估算密度」的相關係數：「糖度」與「估算密度」、「估算密度」與「葡萄浮起時(累計)加糖量」（如表五），發現樣本數最少的綠色無籽葡萄在這兩組相關係數上，都是負相關；樣本數次之的巨峰葡萄在兩組相關係數上，都是低度相關；而樣本數最多的黑色無籽葡萄在這兩組相關係數上則是中度相關，我們懷疑當樣本數增加時，兩個變數間的相關係數都會增加。

項目	相關係數 (corral)		
葡萄品種	綠色無籽葡萄	巨峰葡萄	黑色無籽葡萄
實測數量	32顆	59顆	105顆
估算密度vs加糖量	-0.1157	0.2280	0.3599
糖度vs估算密度	-0.2315	0.2491	0.3481

(表五)各品種葡萄「實測數量」影響「變數間相關係數」數值變化表

所以我們拿順利完成體積測定儀掃描的 105 顆黑色無籽葡萄實驗數據來驗證上述的想法 (如表六)，發現當擷取樣本數增加時，表內變數間的相關係數也都會增加，這也說明了為什麼樣本數少的前置小型實驗中的「估算密度」常遇到問題。

黑色無籽葡萄	相關係數 (correl)		
	前33顆	前50顆	全105顆
糖度 vs 加糖量	0.7979	0.8554	0.9457
估算密度 vs 加糖量	0.2396	0.3047	0.3599
糖度 vs 估算密度	0.1965	0.2354	0.3481

黑色無籽葡萄共測105顆，以自溶液浮出的順序排列：  
 前33顆：取浮出順序為前33顆葡萄作分析  
 前50顆：取浮出順序為前50顆葡萄作分析

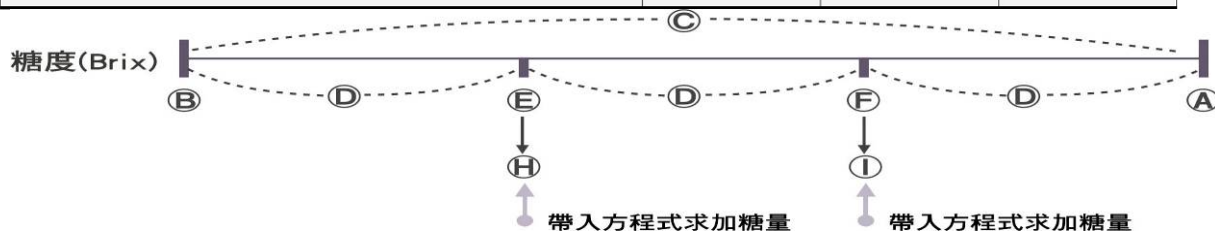
(表六)「擷取樣本數多寡」影響「變數間相關係數」數值變化表

#### 四、提出「神奇配方（最佳濃度溶液）」分級調配建議及驗證結果

##### (一)「神奇配方（最佳濃度溶液）」分級調配建議

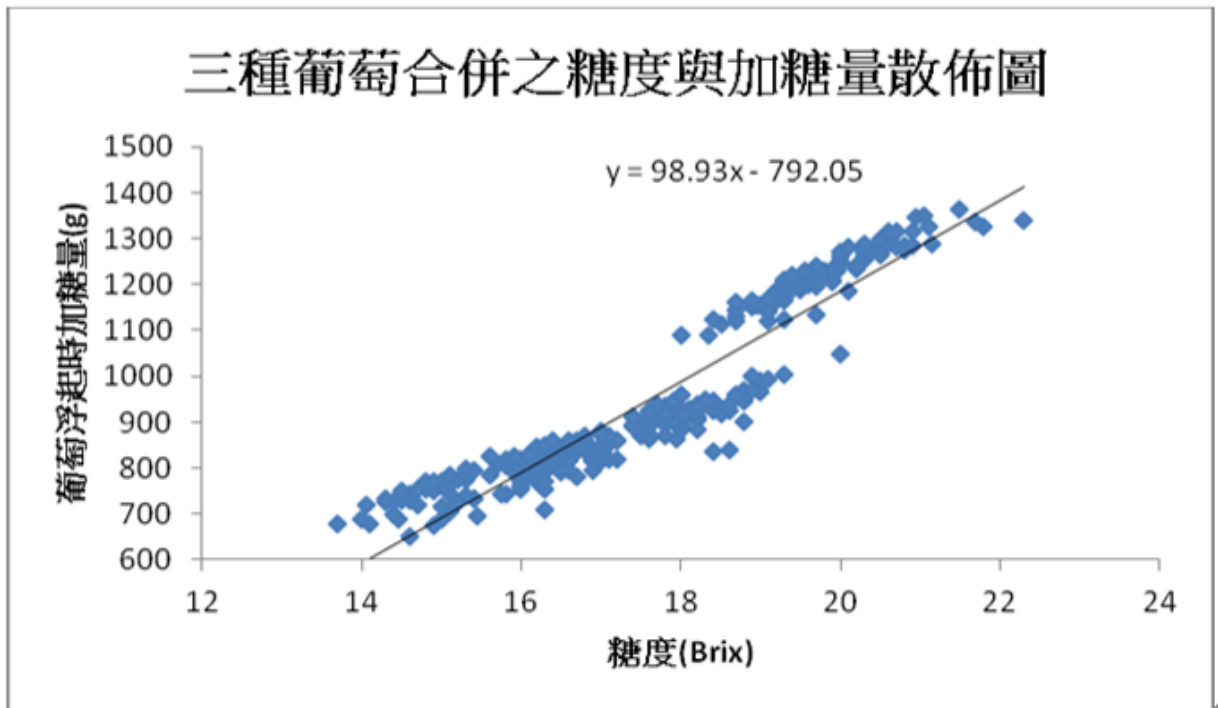
依三次較大型實驗結果，設計本報告的「神奇配方（最佳濃度溶液）」分級調配建議 (如本報告 P12~13 與表七)，依品種及糖度各區分成低糖度、中糖度、高糖度三等級。

	巨峰葡萄	綠無籽葡萄	黑無籽葡萄
Ⓐ 歷次實驗測得最高糖度	22.3	20	22.35
Ⓑ 歷次實驗測得最低糖度	13	13.7	12.8
Ⓒ 各種葡萄之糖度總差距 = Ⓐ - Ⓑ	9.3	6.3	9.55
Ⓓ 各種葡萄之糖度1/3差距 = Ⓒ / 3	3.1	2.1	3.2
Ⓔ 各種葡萄之低標糖度 = Ⓑ + Ⓓ	16.1	15.8	16.0
Ⓕ 各種葡萄之高標糖度 = Ⓐ - Ⓓ	19.2	17.9	19.2
Ⓖ 各種葡萄趨勢線的方程式	$y = 74.021x - 243.5$	$y = 67.601x - 309.74$	$y = 51.531x - 11.85$
Ⓗ 各種葡萄之低標溶液濃度建議量 = 以 Ⓔ 帶入 Ⓖ 求得的低標對應建議之加糖量	948.2381	758.3558	811.8
Ⓖ 各種葡萄之高標溶液濃度建議量 = 以 Ⓕ 帶入 Ⓖ 求得的高標對應建議之加糖量	1177.7032	900.3179	975.8
Ⓗ 各種葡萄之低標溶液濃度建議量 = 以 Ⓔ 帶入 Ⓖ 求得的低標對應建議每百克水之加糖量	23.7	19.0	20.3
Ⓖ 各種葡萄之高標溶液濃度建議量 = 以 Ⓕ 帶入 Ⓖ 求得的高標對應建議每百克水之加糖量	29.4	22.5	24.4



(表七) 三品種各自的「神奇配方（最佳濃度溶液）」計算及建議表

考量實際應用上，一般使用者可能不會去細分葡萄品種，故另外提供混合品種的「神奇配方（最佳濃度溶液）」。我們先參考三品種葡萄合併之糖度與累計加糖量散佈圖(如圖三十七)，發現這時候趨勢線不太能代表整體(散佈圖上很多點都不在趨勢線上)。



(圖三十七) 三種葡萄合併之散佈圖—糖度 vs 葡萄浮起時加糖量

所以我們改用之前三品種的加糖平均值與糖度平均值提出混合品種的「（神奇配方）最佳濃度溶液」分級建議(如表八)。

	巨峰葡萄	綠無籽葡萄	黑無籽葡萄	混合品種
	方程式估算法			平均法 =左邊3個數據的平均
低標對應建議每100g 水之加糖量	23.7	19.0	20.3	21.0
高標對應建議每100g 水之加糖量	29.4	22.5	24.4	25.4
葡萄之低標目標糖度	16.1	15.8	16.0	16.0
葡萄之高標目標糖度	19.2	17.9	19.2	18.8

(表八) 混合品種的「（神奇配方）最佳濃度溶液」分級建議

## (二) 「神奇配方（最佳濃度溶液）」分級調配建議之驗證結果

1. 三品種各自的「神奇配方（最佳濃度溶液）」分級調配建議的驗證結果如下(表九、表十)：

	葡萄種類	分級	狀態	驗證結果	成功率	
					糖度成功率	分級成功率
單品種葡萄驗證	巨峰葡萄	高糖度	在每百克水加29.4g糖的溶液中沉下	5顆樣本全符合	93%	97%
		中糖度	在每百克水加29.4g糖的溶液中浮起	18顆樣本全符合		
		低糖度	在每百克水加23.7g糖的溶液中浮起	7顆樣本中有5顆符合; 不符者糖度16.5/17.1(目標 ≤ 16.1)		
	綠色無籽葡萄	高糖度	在每百克水加22.5g糖的溶液中沉下	9顆樣本中有8顆符合; 不符者糖度17.2與(目標 ≥ 17.9)	60%	60%
		中糖度	在每百克水加22.5g糖的溶液中浮起	7顆樣本中有6顆符合; 不符者糖度18(目標 ≤ 17.9)		
		低糖度	在每百克水加19.0g糖的溶液中浮起	14顆樣本中有4顆符合，多達10顆不符合 不符者糖度在16.3-17.3間(目標 ≤ 15.8)		
	黑色無籽葡萄	高糖度	在每百克水加24.4g糖的溶液中沉下	12顆樣本中有7顆符合; 不符者糖度18.0-18.9(目標 ≥ 19.2)	73%	100%
		中糖度	在每百克水加24.4g糖的溶液中浮起	12顆樣本中有9顆符合; 不符者糖度15.8-15.9(目標 ≥ 16.0)		
		低糖度	在每百克水加20.3g糖的溶液中浮起	6顆樣本全符合		

(表九) 三品種各自的「神奇配方(最佳濃度溶液)」分級方式與驗證結果

#	巨峰葡萄			實測糖度	綠色無籽葡萄			實測糖度	黑色無籽葡萄			實測糖度
	依糖度分級				分級				分級			
	低	中	高		低糖度	中糖度	高糖度		低糖度	中糖度	高糖度	
1	v			16.1	v			16.3	v			15.6
2	v			17.1	v			16.8	v			14.9
3	v			16.1	v			16.3	v			15.2
4	v			16.0	v			17.3	v			13.6
5	v			15.5	v			15.7	v			13.9
6	v			15.5	v			13.3	v			13.8
7	v			16.5	v			15.6		v		17.7
8		v		18.1	v			10.0		v		17.2
9		v		18.3	v			17.2		v		17.6
10		v		18.2	v			16.4		v		15.8
11		v		17.3	v			17.2		v		15.9
12		v		17.5	v			16.3		v		16.2
13		v		17.9	v			16.9		v		17.0
14		v		19.1	v			17.0		v		17.1
15		v		16.7		v		16.5		v		17.2
16		v		16.6		v		18.0		v		17.4
17		v		17.0		v		17.0		v		15.8
18		v		16.6		v		16.5		v		17.2
19		v		17.9		v		15.8			v	18.7
20		v		16.6		v		16.2			v	18.3
21		v		17.3		v		16.2			v	18.0
22		v		17.9			v	18.0			v	20.5
23		v		17.8			v	17.2			v	18.7
24		v		19.0			v	18.8			v	18.9
25		v		19.0			v	17.9			v	19.7
26			v	22.6			v	19.0			v	21.0
27			v	20.3			v	18.4			v	20.6
28			v	20.3			v	19.8			v	20.9
29			v	20.1			v	21.7			v	19.2
30			v	22.6			v	21.6			v	19.7

附註：黃色底數據表示不符合目標糖度，但符合分級；橘色底數據表示不符合目標糖度與分級

(表十) 三品種各自的「神奇配方(最佳濃度溶液)」驗證實驗數據

依配方針對三個品種的葡萄各做 30 顆驗證，分析實驗結果：

(1) 實驗數據顯示，巨峰葡萄在中、高糖度等級中表現完美，低糖度等級中則有 2 顆實測糖度高於目標糖度，糖度驗證成功率是 93%。再分析這 2 顆葡萄，其中 1 顆不但高於目標糖度，且糖度數據也落在中糖度等級區間，另一顆葡萄雖高於目標糖度，但實測數據低於被篩選為中糖度等級的所有數據，因此若以葡萄的相對糖度之角度來看，驗證成功，分級驗證的成功率 97%。

(2) 綠色無籽葡萄則不成功，本次驗證實驗所用的 30 顆綠色無籽葡萄來自兩串葡萄，其中一串葡萄體積巨大且量測糖度時很難擠汁，與前置小型實驗五的綠色無籽葡萄一樣難以擠汁，它們依據相對密度被分級為低糖度，但實測糖度為中糖度。糖度與分級驗證的成功率都是 60%。

(3) 黑色無籽葡萄在低糖度等級中表現完美，但中糖度等級中有 3 顆、高糖度等級中有 5 顆實測糖度低於目標，糖度驗證的成功率是 73%，但這 8 顆葡萄的實測糖度，都高於被篩選為前一等級的樣本實測糖度，因此若以葡萄的相對糖度之角度來看，驗證成功，分級驗證的成功率是 100%。

2. 混合品種的「神奇配方（最佳濃度溶液）」分級驗證結果(如表十一、表十二)：

葡萄種類	分級	狀態	驗證結果	成功率	
				糖度成功率	分級成功率
巨峰葡萄	高糖度	在每百克水加25.4g糖的溶液中沉下	3顆樣本全符合	80%	100%
	中糖度	在每百克水加25.4g糖的溶液中浮起	6顆樣本中有4顆符合; 不符者糖度15.8/15.8(目標 ≥ 16.0)		
	低糖度	在每百克水加21.0g糖的溶液中浮起	1顆樣本全符合		
綠色無籽葡萄	高糖度	在每百克水加25.4g糖的溶液中沉下	無	90%	90%
	中糖度	在每百克水加25.4g糖的溶液中浮起	4顆樣本中有3顆符合; 不符者糖度15.2(目標 ≥ 16.0)		
	低糖度	在每百克水加21.0g糖的溶液中浮起	6顆樣本全符合		
麝香葡萄	高糖度	在每百克水加25.4g糖的溶液中沉下	無	100%	100%
	中糖度	在每百克水加25.4g糖的溶液中浮起	無		
	低糖度	在每百克水加21.0g糖的溶液中浮起	10顆樣本全符合		
荔枝葡萄	高糖度	在每百克水加25.4g糖的溶液中沉下	3顆樣本全符合	80%	100%
	中糖度	在每百克水加25.4g糖的溶液中浮起	7顆樣本中有5顆符合; 不符者糖度19.0/19.2(目標 ≤ 18.8)		
	低糖度	在每百克水加21.0g糖的溶液中浮起	無		

(表十一) 混合品種的「神奇配方（最佳濃度溶液）」分級方式與驗證結果

#	巨峰葡萄				綠色無籽葡萄				麝香葡萄				荔枝葡萄			
	依糖度分級			實測糖度	依糖度分級			實測糖度	依糖度分級			實測糖度	依糖度分級			實測糖度
	低	中	高		低	中	高		低	中	高		低	中	高	
1	v			15.2	v			15.4	v			15.6		v		18.4
2		v		16.0	v			14.6	v			16.0		v		18.0
3		v		18.0	v			15.0	v			14.2		v		17.2
4		v		15.8	v			15.0	v			16.0		v		19.0
5		v		18.8	v			15.4	v			16.0		v		18.2
6		v		15.8	v			15.0	v			15.0		v		19.2
7		v		16.0		v		15.2	v			16.0		v		18.4
8			v	19.0		v		16.6	v			15.0			v	20.2
9			v	19.2		v		16.8	v			15.0			v	20.2
10			v	20.0		v		16.4	v			16.0			v	20.4

附註：黃色底數據表示不符合目標糖度，但符合分級；橘色底數據表示不符合目標糖度與分級

（表十二）混合品種的「神奇配方（最佳濃度溶液）」分級驗證實驗數據

根據配方採用四個品種的葡萄(因為季節性買不到黑色無籽葡萄，增加麝香葡萄與荔枝葡萄)各做 10 顆驗證，分析實驗結果：

- (1) 實驗數據顯示巨峰葡萄在中糖度等級中有 2 顆實測糖度低於目標，糖度驗證的成功率是 80%，但所有被篩選為中糖度等級樣本的實測糖度，都低於被篩選為高糖度等級的樣本實測糖度，因此若以葡萄的相對糖度之角度來看，屬驗證成功，分級驗證的成功率是 100%。
- (2) 實驗數據顯示綠色無籽葡萄的配方驗證成功，10 顆樣本中只有 1 顆分級為中糖度但實測應為低糖度，糖度與分級驗證的成功率都是 90%。
- (3) 麝香葡萄的配方驗證 10 顆，糖度與分級驗證的成功率都是 100%，驗證成功。
- (4) 實驗數據顯示荔枝葡萄在中糖度等級中有 2 顆實測糖度高於目標，糖度驗證的成功率是 80%，但所有被篩選為中糖度等級樣本的實測糖度，都低於被篩選為高糖度等級的樣本實測糖度，因此若以葡萄的相對糖度之角度來看，屬驗證成功，分級驗證的成功率是 100%。

經我們實驗驗證，以「在逐漸增加溶液密度的情況下，甜度高的葡萄多數會比甜度低的葡萄更慢浮起」的概念所調配出的「神奇配方（最佳濃度溶液）」是實用可行的，讀者可以依據不同的目的，選擇適合使用的神奇配方類別，如果是一般大眾的居家使用，可以選擇混合品種的神奇配方，不必特別尋找對應的品種；但如果是因為個別化的目的，需要比較精準的分級，那麼就應該選擇單一相對應的品種的神奇配方來使用，以達到相對更精確分級的效果。在實務上的操作是以自來水添加溶質去增加溶液密度的方法，把一顆顆新鮮的葡萄(剔除不新鮮的葡萄)放進溶液中，就可以迅速辨別葡萄的甜度，沉在容器底下的是比較甜的葡萄。

最後，如果在使用神奇配方的時候，發生當次選用的葡萄甜度特別高的情況，想要在較甜的葡萄們中選出更甜的葡萄，就只需要持續加入溶質去增加溶液的密度，注意攪拌均勻，越後面才浮上來的就是越甜的葡萄，這樣就不怕吃不到這串葡萄裡最甜的葡萄了；相反的，糖尿病患者等低糖度需求者，要在較不甜的葡萄中選出更不甜的葡萄，則可以持續加入水去減低溶液的密度，並注意充分攪拌均勻，那麼，浮上來的就是相對更不甜的葡萄。

## 伍、討論：

### 一、葡萄的「估算密度」為什麼常常失靈？

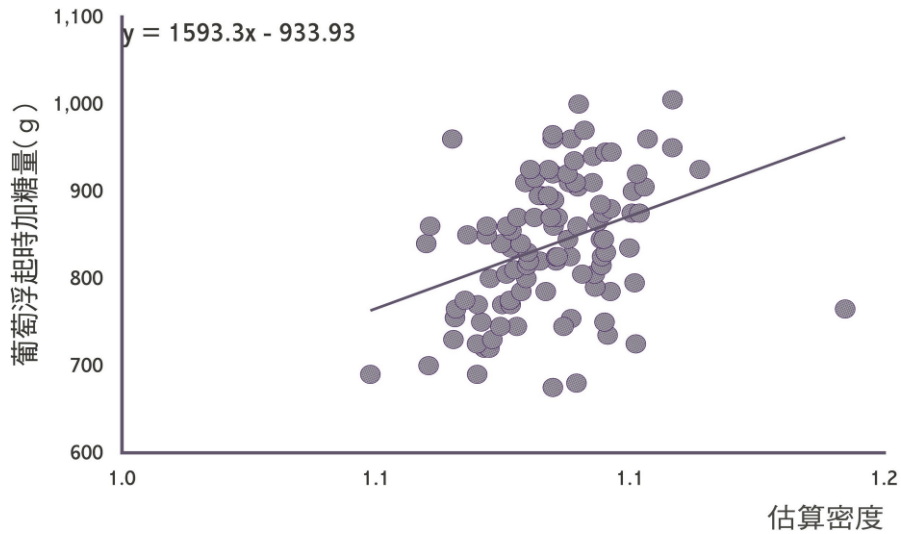
研究的過程中，我們在葡萄「估算密度」的精確度上遭遇到許多困難，因此我們也投入了大量的心力，透過一次次的討論和修正實驗方法，想要找出問題的癥結點，從前幾次小規模實驗中，我們以葡萄的「實測重量」除以「實測體積」去估算葡萄的密度(簡稱「估算密度」)，發現其與「葡萄在逐漸增加密度的溶液中沉浮狀態改變時，溶液的累計加糖量」之間都沒有很大的正相關。

一開始我們認為是採用「排水法」來測量葡萄體積的量筒精密度不夠(刻度是 1 ml)，導致以肉眼觀測數值上有誤差，後來我們改採將「量測數值拍照後放大檢視刻度」，並「針對近似數值配合使用 ImageJ 軟體判讀照片」方式，仍無法穩定改善此狀況。所以我們的「估算密度」一直無法與「葡萄浮起時溶液累計加糖量(即溶液密度)」呈現高度正相關。

為取得更具意義的「估算密度」，我們尋求了儀器公司的協助，改採雷射掃描的「體積測定儀(型號 VSP600C)」來測量葡萄體積(量測到小數點下 3 位)、重量(量測到小數點下 1 位)，經完成 105 顆黑色無籽葡萄的體積量測數值，得到「估算密度」與「葡萄浮起時溶液累計加糖量」之間相關係數為 0.3599，其散佈圖如圖三十八，顯示用機器測量體積確實比用量筒手工測量體積更精準；然而「估算密度」與「糖度」之相關係數為 0.3481，其散佈圖如圖三十九，遠低於「葡萄浮起時溶液累計加糖量(即溶液密度)」與「糖度」之相關係數 0.9457，也就是說實際測量葡萄重量與體積取得的「估算密度」不夠精確，反而用我們實驗的溶液密度法來量測相對密度既經濟又簡單。

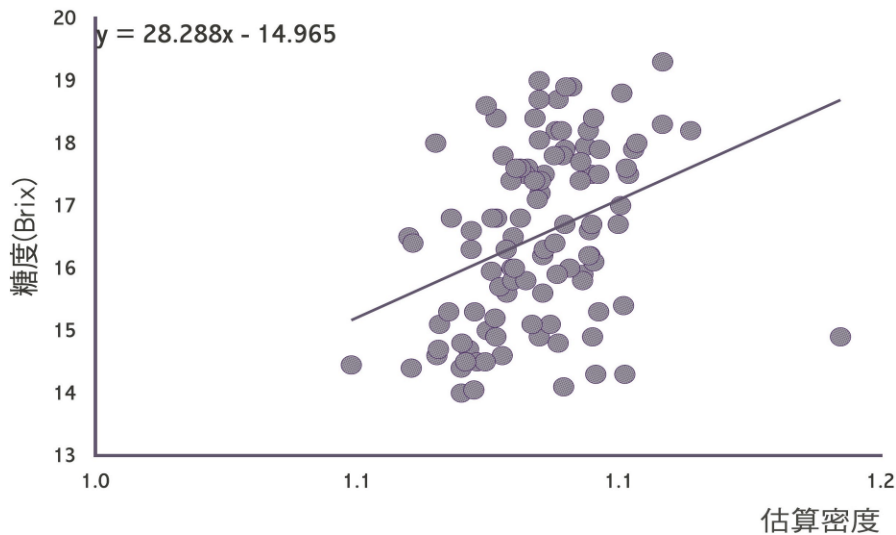


黑無籽葡萄估算密度與加糖量散佈圖



(圖三十八)

黑無籽葡萄估算密度與糖度散佈圖



(圖三十九)

本實驗方法適用於密度大於 1(在清水中會沉下)、數量大、體積較小、外型不規則的一些不易量測體積的物體。

## 二、為什麼巨峰葡萄放了兩週後，甜度與密度不再相關了？

我們使用同一串巨峰葡萄，第一次實驗很順利，葡萄所測出的實際糖度與實驗中的浮出順序一致，也就是甜度越高的越慢浮出，但在第二次實驗中發現放了兩週的巨峰葡萄，其甜度與浮沉情形的相關性變得不顯著，且同一串巨峰葡萄在做第一次實驗時測得的糖度(15.8~19.4)明顯大於第二次實驗測得的糖度(13.3~14.0)。(兩次實驗甜度比較如表十三)

兩次實驗巨峰葡萄的甜度比較

品種	巨峰葡萄						
	編號	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2
葡萄甜度 (糖度Brix)		15.8	17.7	16.1	19.4	13.3	14.0

(表十三) 同一串巨峰葡萄放兩周後甜度差異

所以我們推測：葡萄放久後，可能產生某些變化，例如：變酸、發酵或有酒味等，使葡萄的甜度減低或受到干擾，讓葡萄的甜度不再是對葡萄密度最主要的影響因素。在查閱 Awe,S.,&Nnadoze,S.N.(2015)有關葡萄釀酒過程的相關資料發現，葡萄放久後會發酵使比重變小，符合我們的推測。

### 三、為什麼以「高濃度糖水逐次加入自來水的方法」作為降低溶液密度的實驗方式，會讓葡萄的甜度跟浮沉順序看不出相關性？

我們在前置小型實驗中，曾經一度改變調整溶液密度的模式（前兩次實驗均以水加糖溶解的模式，將溶液密度逐漸調高，在第三次實驗中，為了改善持續高強度攪拌衍生的費力耗時及葡萄損傷問題，我們改以高密度的糖水溶液，逐次加水，使溶液密度逐漸降低的方式執行）然而實驗成果卻不如預期。

經討論後我們認為：先放入高密度的溶液(糖水)再加入少量的低密度溶液(水)，因為水密度相對較低，有可能不容易很快下沉與下面密度高的糖水混合，如果沒有充分攪拌（我們在第三次實驗中，為了克服葡萄受破損及脫皮問題，均只攪拌三五下就看結果），就無法讓整個燒杯的溶液充分混合而有相同的密度，所以我們測出來的結果只能看出甜度差異很大的兩個品種的葡萄有沉浮差別，無法更精確的觀察出葡萄甜度與浮沉順序之規律性及相關性。

有鑑於前置小型實驗三的結果，我們建議應以自來水不斷加白砂糖去增加溶液密度的方法做實驗。

### 四、是什麼影響「難以擠汁的葡萄」其甜度與密度間相關性？

在前置小型實驗其中的第五次實驗及「神奇配方（最佳濃度溶液）」驗證實驗中(請參閱第 18~23 頁)，我們實測糖度時，發現選用的綠色無籽葡萄均很結實，難以用手擠出果汁，實驗結果更發現這些葡萄的甜度與密度變得沒有相關性，明明甜度較高的葡萄，卻比甜度較低的更早浮上來，但大規模實驗時用的綠色無籽葡萄多汁易擠，就沒有這個問題。

經討論後推測可能是因為難以徒手擠出果汁的葡萄，其結構(果肉)或其他因素對其密度的影響大於葡萄汁甜度對其密度的影響，所以產生這樣的結果。我們實驗中沒有遇到其他品種的葡萄有難以擠汁的情況，是否是所有難以擠汁的葡萄都有此狀況，或是僅限於綠色無籽葡萄，則有待更進一步實驗釐清。

## 五、能否用食鹽取代砂糖做實驗?

在做「神奇配方（最佳濃度溶液）」驗證實驗時，我們原本構想除了白砂糖外，食用碘鹽應該是家家戶戶隨手可得與慣用的溶質好材料，但實際操作時發現食用碘鹽的成分除了氯化鈉，還有碘酸鉀，且包裝上並無明確提供各成分所佔百分比，因此無法推估食用碘鹽的密度。但我們仍嘗試以食用碘鹽為溶質，試著也去做「神奇配方（最佳濃度溶液）」驗證實驗，並發現其所需添加溶質量約為白砂糖的一半份量，只是我們也發現葡萄放置鹽水中容易會有脫水的現象，讓質量、體積與糖度都失真，所以我們最後仍以白砂糖為溶質的「神奇配方（最佳濃度溶液）」建議為主，不特別另外提出以鹽為溶質的配方建議。

## 陸、結論：

一、葡萄的「甜度」，與其「在逐漸增加密度溶液中沉浮狀態改變時，溶液的累計添加溶質量」相關。

除了不新鮮、特別結實難擠汁葡萄，其餘實驗採樣葡萄均符合「糖度越低的葡萄，在逐漸增加密度溶液中較快浮起；糖度越高的葡萄，在逐漸增加密度溶液中越慢浮起」。

(一)葡萄品種不同，不影響此相關性。但難以擠汁的綠色無籽葡相關性會降低。

葡萄種類	葡萄的甜度，與其在逐漸增加密度溶液中沉浮狀態改變時，溶液的累計添加溶質量之相關性
巨峰葡萄	高度正相關
綠色無籽葡萄	多汁：高度正相關
	難擠汁：低度相關
黑色無籽葡萄	高度正相關

(表十四) 目的一的結論

(二) 葡萄有籽與無籽，對其甜度與「在逐漸增加密度溶液中沉浮狀態改變時，溶液的累計添加溶質量」之相關性有影響，但不影響兩變數間的高度正相關性。

二、葡萄甜度與密度有關聯性。

三、提出適用於區別葡萄甜度之「神奇配方（最佳濃度溶液）」，成功自製出經濟實用的非侵入式糖度篩選法，快速完成葡萄甜度篩選分級。

#### 四、本研究的應用與延伸發想:

##### (一) 用水果的糖度與密度相關性去做分級的應用：

在衛福部的「包裝食品營養標示應遵循事項」中，食品的「含糖量」為強制標示項目，業者必須將產品中所含糖量（包括額外添加的、以及食品本身含有的）加總標示，因此對於糖尿病患等需要限制糖攝取量的人來說，這樣的標示有助於他們計算熱量及控制飲食，不過，對於習慣在傳統市場、蔬果店或原產地購物的人們來說，選購的幾乎都是沒有包裝標示的蔬果，其中究竟含有多少糖份，根本不得而知。

因此本實驗運用溶液密度去分級樣本糖度的方法，是非侵入性(不須犧牲樣本)、簡單容易執行且執行成本低的分級方法，可以直接提供民眾輕鬆運用科學方法選用符合需求甜度的食品，尤其對有減糖飲食需求的族群，更有莫大的幫助，我們想：以現在的農業技術，水果都越來越甜，但對講究減糖養生或糖尿病的患者而言，糖當然是越少越好，如果依據「國人每日飲食指南」來換算，每人每日可食用葡萄份量是 13 顆，那麼，我們的研究可以有效提供糖尿病患者在這個定量的條件下，輕鬆的選擇相對較不甜的水果來食用，會是更健康也更安心的選擇！

另外，本研究除了應用於葡萄外，也可以使用在其他汁多而甜且密度大於 1 的水果中，例如小番茄、芒果、鳳梨等。這可以協助一般消費者(送禮或自用)、餐廳、販賣即食水果盒的商店、醫院廚房或糖尿病患者等，運用簡單而迅速的方式幫水果分級並各取所需(如表十五)。

適用對象	低糖度	中糖度	高糖度
餐廳	養生餐廳 醫院給特定病患的餐點	一般餐廳 醫院給一般病患的餐點	高級餐廳
家戶	糖尿病患 養生保健訴求者	一般消費者	兒童愛好甜食者
商家	製作加工食品 如果醬、葡萄乾等	便利商店即食水果盒	高級的即食水果盒

(表十五) 適用水果分級篩選的應用

##### (二)其他可用溶液密度去做分級的應用：

例如：豆類，包含咖啡生豆、綠豆、紅豆、黃豆、花豆等，也可以用溶液密度法以比重去做簡易而迅速的分級。陳俞嘉（2021）「讓精品咖啡更上一層樓的乾處理廠，

比重分級篩選出最好的咖啡豆！」咖啡生豆的密度對於買家、貿易商和烘焙商來說，都是很重要的資訊，有些高海拔的地方，因為咖啡櫻桃成熟的夠慢，所以生豆的密度也越大，密度越大的豆子含糖量也越高，會讓咖啡喝起來更甜、特徵更複雜，所以，如果是種植咖啡豆的小農，或是政府輔導青年創業（咖啡相關產業），在選豆或進行烘焙前能夠使用我們經濟又實用的篩選法，去將密度不同的生豆分離，做出分級，不但能兼顧成本，還可使烘焙的過程更能夠趨近一致性。

### **(三) 發想篩選出發酵、變質腐化的運用：**

從討論二發現葡萄不新鮮會發酵讓比重變低的實例發想，除了能用溶液密度法幫忙挑出不新鮮的雞蛋，或許也能篩選出開始變質的罐頭？

### **(四) 大數據資料庫的建立：**

若能有更大量實驗數據，將有助於建立水果「糖度」與「估算密度」間的對照表回饋給儀器資料庫，後續在產業以相關儀器執行水果樣品的重量、體積、硬度等綜合量測時，系統能內建糖度的參照數據給產業做參考，提供加值服務及精進品質研究。

**(五) 本研究發現結實的綠色無籽葡萄，其甜度與密度間無高度相關性，然而是否其他葡萄品種只要結實不易擠汁的葡萄也有同樣的結果，則待往後實驗證明。**

## **五、數據不能更動，但是思考卻可以活化：**

當第一次實驗的結果不如我們的假設或預期時，我們感到很沮喪，但是後來在討論及追尋答案的過程中發現，只要用心觀察實驗數值，發揮創意和追根究底的精神，透過每個人不同的思考模式，竟然也會產生許多有趣的火花和新的發想，讓我們能重新找到辦法前進。

我們發現科學的迷宮雖然曲折，但其實是無限寬廣，而且充滿趣味！

## **柒、參考資料及其他：**

- (1) 劉慧瑛(1992)。「果蔬甜度、糖度、可溶固形物與糖含量的論析」，臺灣省農業試驗所技術服務，10(2)，12-17。 <https://scholars.tari.gov.tw/handle/123456789/11040>
- (2) S. Awe, & S.N. Nnadoze (2015).Production and Microbiological Assesment of Date Palm (Phoenix dactylifera L.) Fruit Wine. British Microbiology Research Journal.8(3).480-488.ISSN:2231-0886
- (3) Gomdori co.文；Hong Jong-Hyun 圖；徐月珠 譯，科學實驗王（11），2020年4月25日25刷，台北市，三采文化，28頁、31-56頁，2010年6月

- (4) BomBom Story 文；朴先英 圖；徐月珠 譯，漫畫大英百科【物理化學 5】：水—水的特性，初版，台北市，三采文化，76 頁，2017 年 5 月
- (5) BomBom Story 文；劉永承 圖；徐月珠 譯，漫畫大英百科【物理化學 3】：物質的特性，初版，台北市，三采文化，76 頁，2016 年 10 月
- (6) 大衛·阿德勒文；安娜·瑞夫 圖；張東君 譯，好好玩的密度 --能漂浮和不能漂浮的物體，初版，新北市，字畝文化，12-14 頁、26-27 頁、30-31 頁，2019 年 7 月

網路資訊：

- 陳柏鈞(2020 年)。營養師陳柏鈞：糖度與甜度大解惑。檢自 <https://www.unitas.me/?p=14964> (1 月，2023 年)
- 陳俞嘉。(4 月 14 日，2021 年)。讓精品咖啡更上一層樓的乾處理廠，比重分級篩選出最好的咖啡豆。檢自 <https://www.foodnext.net/column/columnist/paper/5616576869> (5 月，2023 年)
- 超簡單彩色分層水。(2 月 29 日，2016 年)。檢自 <https://www.youtube.com/watch?v=47pffUAxprc> (1 月，2023 年)
- 用鹽水調出七彩分層。(12 月 17 日，2016 年)。檢自 <http://n.sfs.tw/content/index/10444> (1 月，2023 年)
- 鹽的密度比水大還是小。(8 月 14 日，2019 年)。檢自 <https://beesask.com/rural/1244781.html> (1 月，2023 年)
- 人手摘葡萄比機械好？波爾多的葡萄篩選。(11 月 17 日，2016 年)。檢自 <http://www.etnet.com.hk/www/tc/diva/travel/winetasting/33845> (5 月，2023 年)
- 假葡萄酒 vs 真葡萄酒淺談葡萄酒的比重控制對酒精發酵的影響。(3 月 18 日，2016 年)。檢自 <https://matsuhaku104.pixnet.net/blog/post/385183417-%E9%A3%9F%E5%AE%89%E9%A2%A8%E6%9A%B4%E4%B8%8B%2C---%E5%81%87%E8%91%A1%E8%90%84%E9%85%92-vs-%E7%9C%9F%E8%91%A1%E8%90%84%E9%85%92-----%E6%B7%BA%E8%AB%87> (5 月，2023 年)
- 體積測定儀 VSP600C <https://www.lotun.com.tw/sms1/%E9%AB%94%E7%A9%8D%E6%B8%AC%E5%AE%9A%E5%84%80-vsp600c>

## 【評語】 082921

本作品利用浮選法的概念，以密度差異的原理，以及密度與甜度間的關聯性，對不同甜度的葡萄，進行快速的篩選。

1. 想法良好，但對葡萄密度量測方法不佳。除了排水法量測體積，或用精確度有限且昂貴的設備之外，建議可以使用浮力法量測體積，更好的量測葡萄的密度。
2. 使用的 VSP600C 體積測定儀，原理為何？精確度為何（描述小數點以下位數但沒有單位是沒有意義的）？看起來像是用雷射掃描表面，而解析能力受限於雷射光斑，且對不平整區域可能有散射的干擾，造成量測的體積與最後換算的密度有相當誤差。
3. 建議可以估算並報導各種密度量測方法的相對誤差，或估計值的變動會對最後的數值有多大的影響。
4. 加糖量已知與溶液密度有良好關聯性，但與估算密度有顯著差異，顯示估算密度有非常大的誤差。

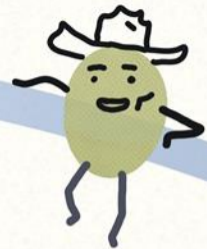
5. 建議可以量測不同加糖量的溶液的密度，並與浮選出葡萄的密度比較，若是無法得到穿過 0,0 且斜率唯一，高度相關的數據，即可知道問題在估算的葡萄密度，或是浮選的過程有誤。
6. 在分類葡萄糖度與分級成功率時，真實糖度(以糖度計量測)和回歸獲得的糖度可以再一次對照，並於修正關聯性。
7. 建議可以額外考慮「神奇配方」的滲透壓，是否會造成葡萄成分的改變。一般而言等滲透壓的葡萄糖溶液約 5%，本作品所用的糖濃度較高，可能造成葡萄脫水。
8. 作者認為加水稀釋會因攪拌造成傷害，但加固體糖至水中，更不容易混合溶解，需要更強的攪拌，且高密度的糖勢必沉在水底，密度差的問題更大，故最終建議往水裡加糖不太合理。若以較高濃度的糖水加入水中，或許比較容易均勻混合。對於加水入糖水時，縱使擔心密度差造成混合不易，也可以用水管由杯底加水。
9. 折線圖的座標軸上應有格線標記所標註數字的位置。
10. 進行分類後的糖水，可再思考是否能有其它用途。



## 作品海報

# 甜葡萄追緝令

—— 自製非侵入式糖度篩選法



# 摘要

本研究提出實用的「自製非侵入式糖度篩選法」：以調整溶液密度方式，觀察葡萄沈浮變化與實測糖度關係，得出「葡萄越慢浮出，其密度越大，糖度也越高」結論，並依此設計神奇配方，讓民眾不必花大錢，就能輕鬆對葡萄等水果做「甜度分級」，最直接成效之一就提供糖尿病患者居家減糖選擇。

此篩選法可分級、分類，易操作、成本低，從居家、攤販、小農擴至醫院及青年創業均可廣泛應用。

## 研究動機

怎麼區分出甜的葡萄與不甜的葡萄？

問題



困境

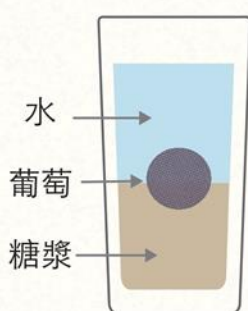
- 糖度計 (侵入式 X)
- 糖水機器 (昂貴 X)
- 光學葡萄篩選機 (昂貴 X)

葡萄密度越高就越甜嗎？

葡萄的甜度 = 糖度？

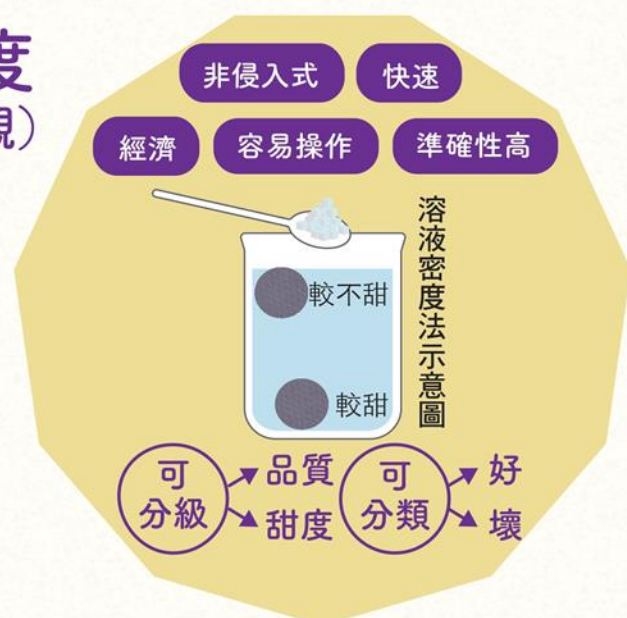
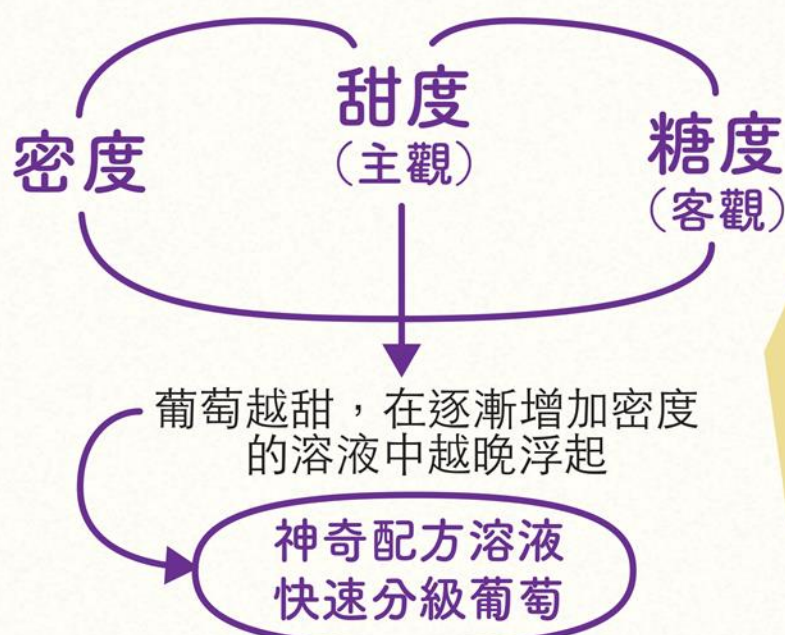
水果種類	糖度(Brix)	糖質含量
蘋果	12.5	12.5%
梨	12.5	12.5%
葡萄	17.5	17.5%
西瓜	16.3	16.3%

農業試驗所期刊  
葡萄糖度與甜度換算關係



百科全書中有張令人玩味的圖片讓我們突發奇想：葡萄的位置處於水與糖漿的中間，三種東西之間的關聯性

可依健康與口味需求，篩選不同甜度等級葡萄，例如：糖尿病患者可以食用較不甜等級葡萄得到減糖與同時獲得對其有益葡萄多酚



## 研究過程與方法

前置作業



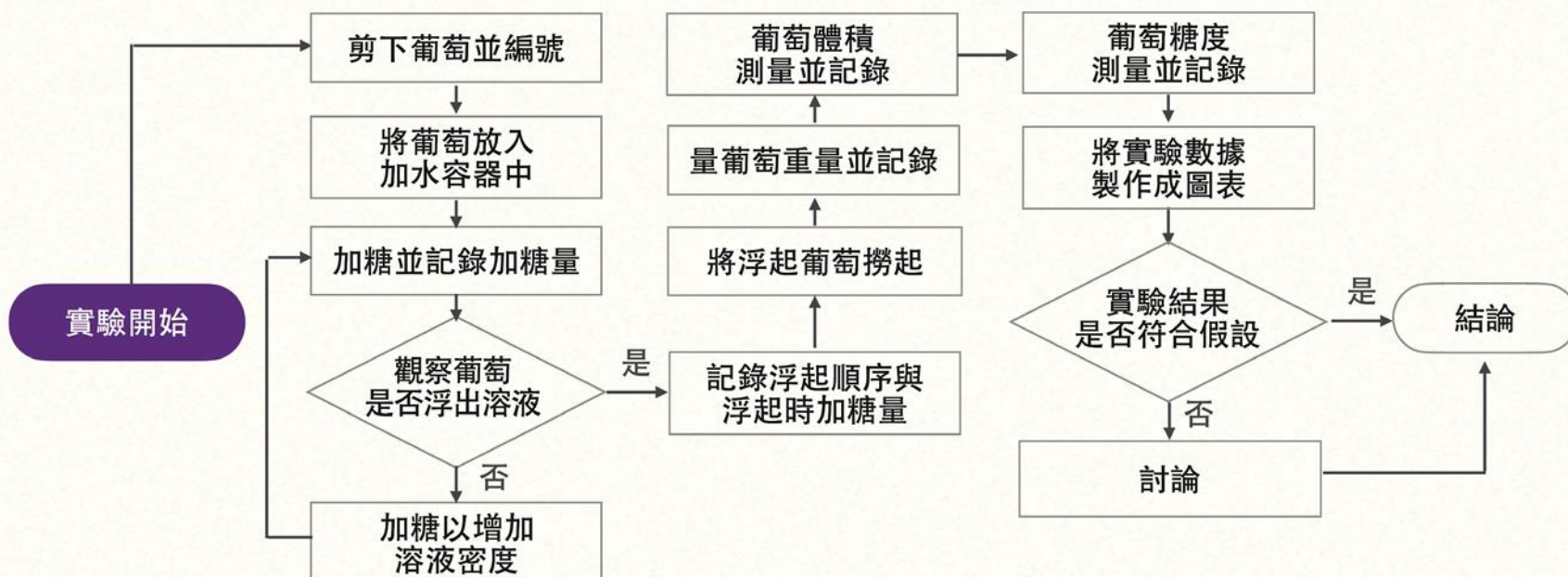
小型前置實驗

共七次小型實驗（第四次為神奇配方驗證）發現如下：

- 【實驗一】葡萄體積測量數據不易判讀 →修正
  - 【實驗一】浮出順序和估算密度相關性不如預期 →修正
  - 【實驗一】排水法量測葡萄體積的困難 →修正
  - 【實驗二】葡萄不新鮮（巨峰） →討論
  - 【實驗二】攪拌溶液費時且會弄傷葡萄 →修正
  - 【實驗三】採「加水減密度法」失敗 →修正
  - 【實驗五】葡萄難擠汁 →討論
- 修正**
- 修正實驗數據讀取方式
    - 手機拍照放大確認取代肉眼觀察
    - 「ImageJ照片判定」
    - 改用「體積測定儀」取代排水法
  - 為避免攪拌造成葡萄破損而改採「加水減密度法」，卻易造成溶液密度不均勻，故改回「加糖加密度法」。
  - 攪拌時葡萄容易破損
    - 設計「透明壓克力隔板」區隔攪拌動作與受測葡萄



較大型實驗



神奇配方

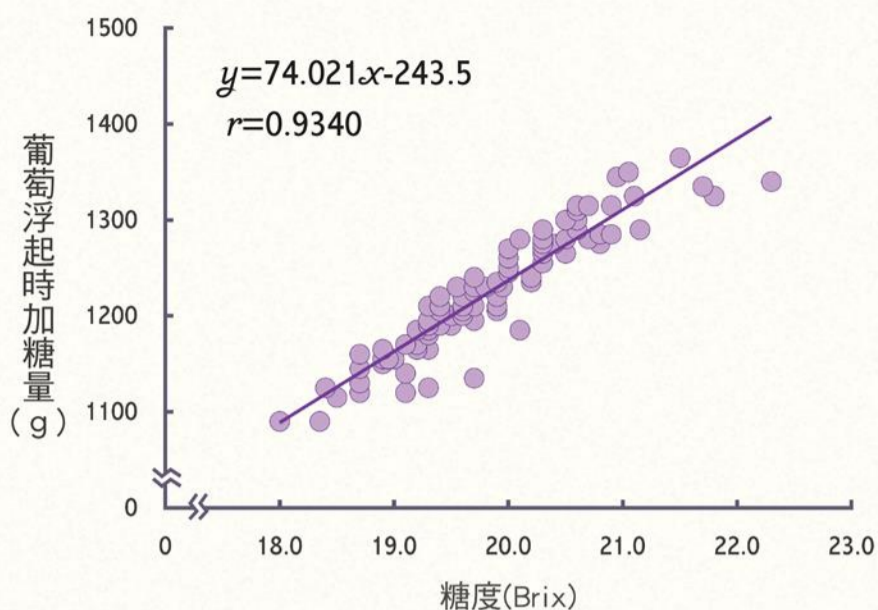
「神奇配方(最佳濃度溶液)」分級調配建議與驗證結果

# 研究結果與討論

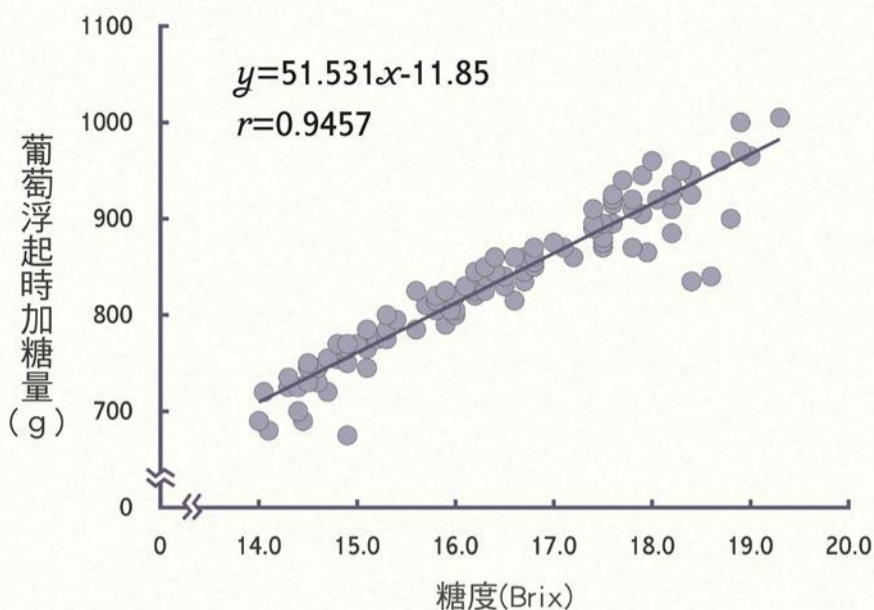
## 一. 葡萄的「甜度(糖度)」與「葡萄浮起時的溶液總加糖量」有高度正相關。

### 1. 不同品種葡萄的「甜度(糖度)」與「加糖量」高度正相關。

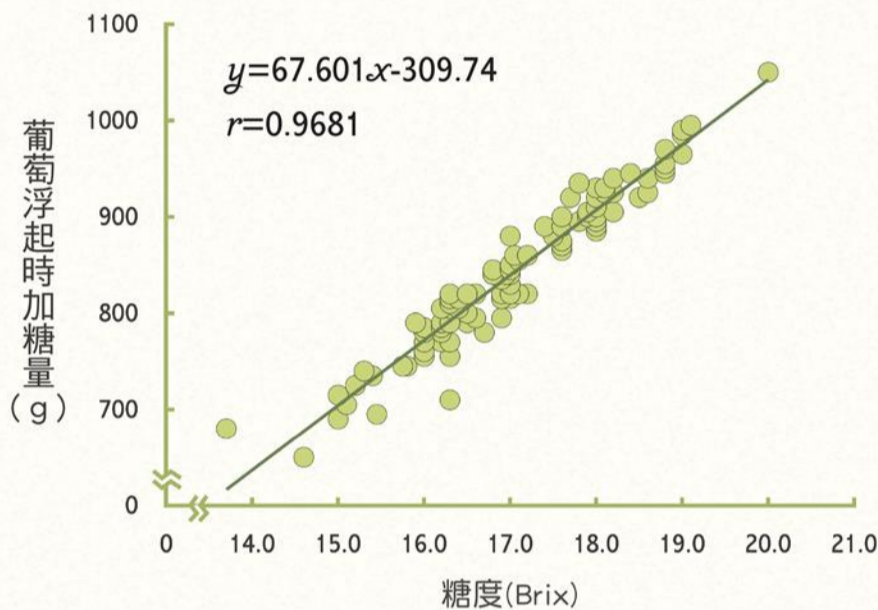
巨峰葡萄散佈圖



黑色無籽葡萄散佈圖



綠色無籽葡萄散佈圖



- 透過實驗我們得到「隨著溶液中的糖量越來越高，越晚浮起的葡萄會更甜(糖度高)」的結論。
- 三個品種葡萄的散佈圖，散佈點與趨勢線間的距離緊密，也就是單一品種的趨勢線能代表並且預測「甜度(糖度)」與「加糖量」間的關係。
- 兩變數間的相关係數都高於0.9，屬高度相關。

糖度 VS 加糖量	相關係數 (correl)
巨峰葡萄	0.9340
綠色無籽葡萄	0.9681
黑色無籽葡萄	0.9457

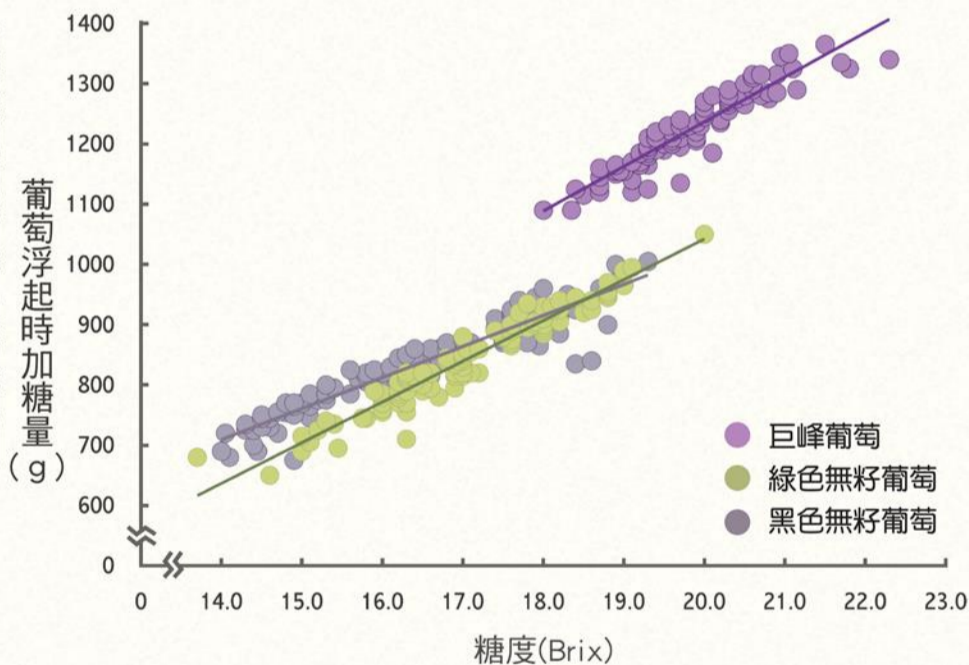
### 討論

葡萄新鮮度影響結果？ 在小型實驗中我們發現葡萄久放會發酵使比重變小，推測因此影響其甜度(糖度)與密度的相關性。  
葡萄難擠汁影響結果？ 可能是因為其結構(果肉)對密度的影響大於葡萄汁甜度(糖度)對密度的影響。

### 2. 葡萄有無籽，會影響「甜度(糖度)」與「加糖量」之相關性，但兩變數間仍為高度正相關。

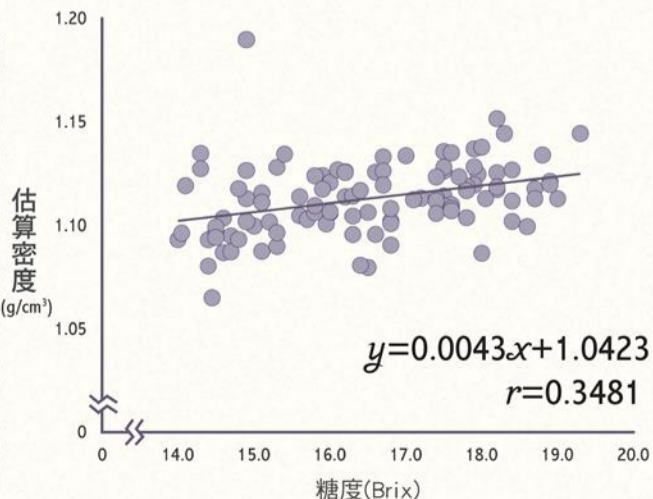
- 巨峰葡萄的甜度(糖度)較高，故散佈在圖的右方，兩種無籽葡萄的甜度(糖度)較低散佈在左方。
- 兩種無籽葡萄的分布相近。
- 有籽的巨峰葡萄與左下方的無籽葡萄具有不同的趨勢線，但都呈現正相關。
- 在葡萄糖度相同的情況下，巨峰葡萄卻比無籽葡萄需要更多的加糖量才能浮出溶液（圖中巨峰葡萄散佈在無籽葡萄的上方）。

三種葡萄合併之散佈圖



## 二. 葡萄「甜度(糖度)」與葡萄本身「密度」有關聯性。

黑無籽葡萄糖度與估算密度散佈圖



- 葡萄甜度(糖度)與其密度具正相關性，其相關係數是0.3481，屬中度相關，所以用「估算密度」篩選葡萄糖度較不精準。
- 當樣本數增加時，兩個軸線的相关係數也會跟著增加，說明樣本數少的前置小型實驗的「估算密度」為什麼常遇到問題。（右表）

完成體積測定儀掃描的實驗數據：

黑色無籽葡萄	相關係數 (correl)		
	前33顆	前50顆	全105顆
糖度 vs 加糖量	0.7979	0.8554	0.9457
估算密度 vs 加糖量	0.2396	0.3047	0.3599
糖度 vs 估算密度	0.1965	0.2354	0.3481

黑色無籽葡萄共測105顆，以自溶液浮出的順序排列：  
前33顆：取浮出順序為前33顆葡萄作分析  
前50顆：取浮出順序為前50顆葡萄作分析

### 討論

估算密度具參考價值？  
● 體積測定儀在量測體積的「準確性」和「時間效率」上優於排水法  
● 葡萄的體積與重量都小，量測誤差會造成很大的差異，所以「估算密度」篩選葡萄糖度較不精準  
● 在用密度來做糖度篩選時，「溶液密度法」比「估算密度法」更為便捷準確

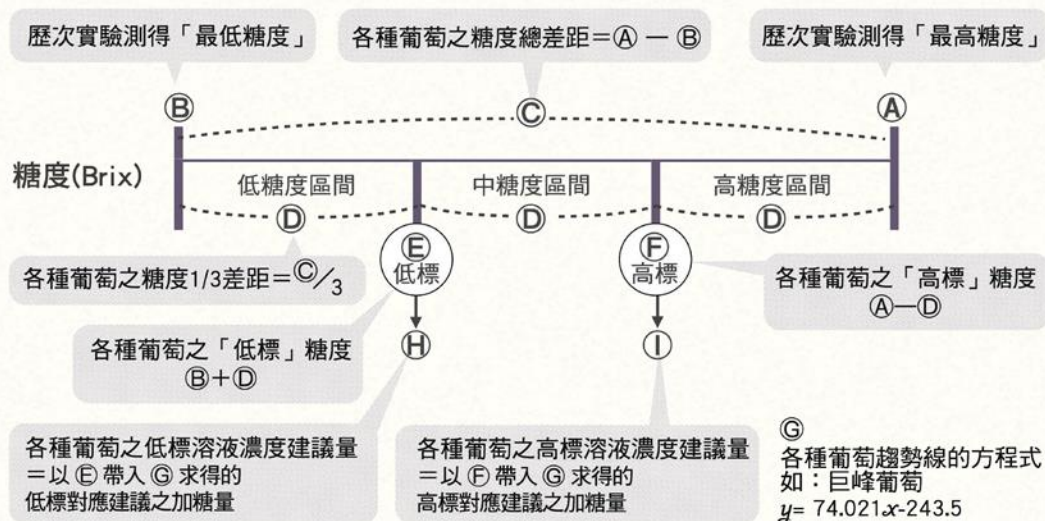
### 三. 提出適用於區別葡萄甜度之「神奇配方(最佳濃度溶液)」，成功製出經濟實用的非侵入式糖度篩選法，快速完成葡萄甜度篩選分級。

依實驗結果，設計「神奇配方(最佳濃度溶液)」分級調配建議，依糖度區分成低、中、高「糖度」三等級。

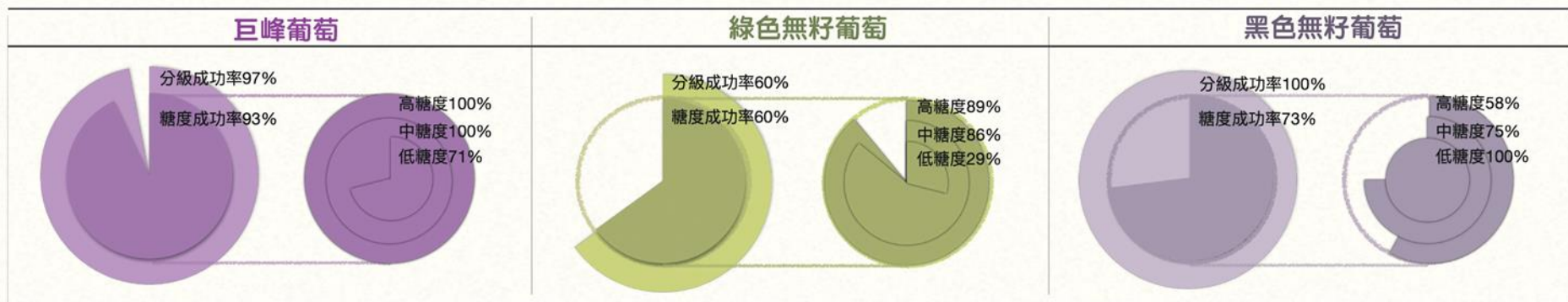
#### 1. 三品種個別驗證成功

●巨峰葡萄與黑色無籽葡萄的分級成功率都高達97%以上，總糖度成功率則為73%以上，表示神奇配方能達到分級的功效。

●綠色無籽葡萄低糖度驗證不理想，但如果排除難擠汁的葡萄，則成功率會提高為90%。

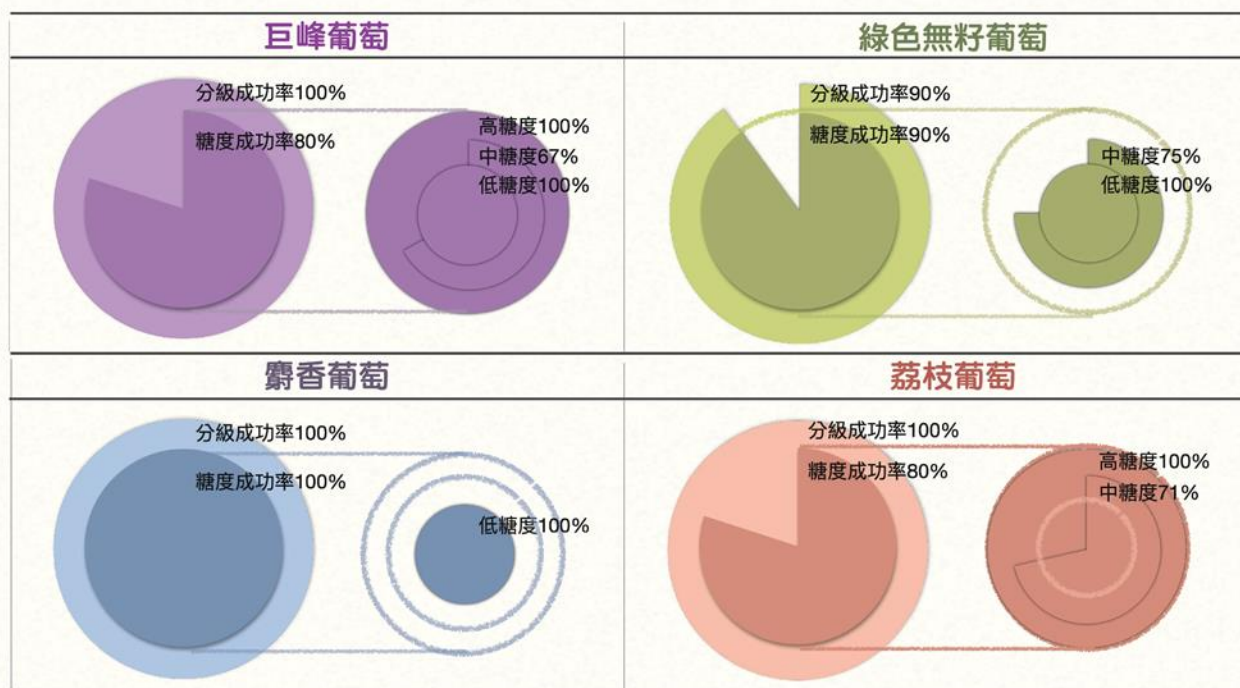


依配方對三個品種的葡萄各取30顆驗證結果



#### 2. 不分品種的驗證成功

針對4個品種的葡萄共取40顆（各取10顆）驗證結果



神奇配方	巨峰葡萄	綠色無籽葡萄	黑色無籽葡萄	不分品種
	方程式估算法			平均法
低標加糖量(每100g水)	23.7g	19.0g	20.3g	21.0g
高標加糖量(每100g水)	29.4g	22.5g	24.4g	25.4g

●我們以上面算出的3個品種的高標與低標建議加糖量去做平均數，來作為不分品種的高標與低標建議加糖量（見上表）。

●不分品種的神奇配方，其總糖度與分級的成功率都高於80%，驗證成功。

## 結論與應用

#### 一 用水果糖度與密度相關性做分級應用

適用對象	低糖度	中糖度	高糖度
餐廳	養生餐廳醫院給特定病患的餐點	一般餐廳醫院給一般病患的餐點	高級餐廳
家戶	糖尿病患養生保健訴求者	一般消費者	兒童愛好甜食者
商家	製作加工食品如果醬、葡萄乾等	即食水果盒	高級的即食水果盒

也可以使用在其他汁多而甜且密度大於1的水果中，例如小番茄、芒果、鳳梨等，幫水果分級並各取所需（如表）。



依葡萄不新鮮是因為發酵讓比重變低的實例發想，能用溶液密度法幫忙挑出不新鮮的雞蛋，那麼對於「篩選開始變質的罐頭」也值得研究。

#### 三 發想篩選出發酵變質腐化的運用

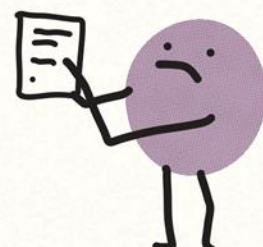
#### 二 其他可用溶液密度法去做分級的應用



可應用在豆類的篩選。例如：咖啡生豆、綠豆、紅豆、黃豆、花豆等。

以咖啡豆為例子，種植咖啡豆的小農，或是青年創業（咖啡相關產業），在選豆或進行烘焙前使用我們的篩選法，去將密度不同的生豆分級，不但能兼顧成本，並可使烘焙的過程更能夠趨近一致性。

若有更大量實驗數據，將有助建立水果「糖度」與「估算密度」間的對照表回饋給儀器資料庫，有助於提供產業增值服務及精進品質研究。



#### 四 大數據資料庫的建立



## 參考文獻

- BomBom Story 文:劉永承 圖:徐月珠 譯, 漫畫大英百科【物理化學 3】:物質的特性
- 劉慧瑛(1992)。「果蔬甜度、糖度、可溶固形物與糖含量的論析」, 臺灣省農業試驗所技術服務, 10(2)
- S. Awe, & S.N. Nnadoze (2015). Production and Microbiological Assessment of Date Palm (Phoenix dactylifera L.) Fruit Wine. British Microbiology Research Journal.8(3)