

2025仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽

決賽成果報告書

隊伍名稱：健康防衛隊

作品名稱：健康飲料助手

科學概念1：折射率與糖分濃度

折射率 (n) 是光在不同介質中傳播速度的比值，反映介質對光的偏折能力。當光從空氣進入液體時，其滿足司乃耳定律 (Snell's Law)：

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

n_1 、 n_2 為空氣與液體的折射率， θ_1 、 θ_2 為入射角與折射角。液體的糖分濃度 (C) 與折射率呈正相關：

$$n = n_0 + k \cdot C$$

其中 n_0 為純水的折射率， k 為折射率隨濃度變化的係數。本研究測量折射率，進一步推算糖分濃度。

科學概念2：浮力與液體密度的應用

浮力 (F_b) 液體對浸入物體產生的向上推力，根據阿基米德原理 (Archimedes' Principle)，浮力與液體密度成正比：

$$F_b = \rho \cdot V \cdot g$$

其中 ρ 為液體密度， V 為浮子排開的液體體積， g 為重力加速度。進一步推導密度公式：

$$\rho = \frac{F_b}{V \cdot g}$$

透過壓力感測器測量浮力，結合已知浮子體積 V ，即可計算液體密度，進一步輔助糖分濃度的準確測量。

決賽成果報告書內文

1. 發想動機：

我們非常喜歡喝手搖飲，但這些飲品的含糖量，會對健康造成威脅。雖然飲料提供無糖、微糖等選項，但其標準不統一，且缺乏定量依據。市面上的飲料分析工具多為單功能，無法綜合提供全面健康數據；高精度檢測儀器則價格昂貴、體積龐大，不適合家庭或個人使用。

為此，我們設計了一款**便攜式健康飲料分析儀**，結合折射率測量、密度，快速檢測飲料中的**糖分**，並計算卡路里含量。該設備不僅幫助消費者了解飲料健康數據，還可作為 STEM 教具，展示物理與化學檢測技術。

希望這款作品能讓大家喝得安心，選擇健康飲品，提升健康意識，並促進環境永續與科學教育的發展。

2. 作品創意性：

健康飲料助手(Drinalyze)– Drink smart, live better! 聰明選飲，健康生活!本研究創新結合折射率，可快速檢測糖分，並計算卡路里含量，提供全面健康分析，突破現有單功能檢測工具的限制。採用模組化便攜設計，體積小巧、成本低廉，適合家庭和外出使用，解決傳統檢測設備價格高昂、體積龐大的問題。同時，設備支持數據記錄與無線傳輸，同步至手機生成個性化健康建議，幫助消費者科學選擇飲品。

該作品還具有教育價值，通過展示物理與化學檢測原理，適合作為 STEM 教具激發學習興趣。同時融入環保理念，採用可回收材料，設計便於維修升級，降低浪費。本作品結合創新性、實用性與教育性，適用於家庭、教育和食品行業，促進健康意識和環境永續發展。

3. 硬體及電路架構圖：

硬體主要由雷射模組(650nm)、光感應模組、壓力感測器模組(HX711)、溫度感測器(DS1820)和 Arduino Uno 等元件組成，如圖3-1。**本研究設計雷射光源以30度入射角射入液面，這是由於 $\sin 30^\circ = 0.5$ ，容易於程式中實現，也避免計算的誤差。**由光感應模組量測出折射

角的位置；壓力感測器模組求出浮子的浮力，再由 Arduino UNO 計算出折射率和密度，經由線性回歸法，進而求出飲料中含糖濃度。

本研究初期構想採用圓柱形樣品槽注入液體，左上方配置雷射模組射入光源，下方則以 TCS34725 色彩感測器偵測折射光點，以推算折射率；同時搭配 HX711 壓力感測模組與懸吊式圓球浮子量測浮力，進而求得密度，如圖3-1、圖3-2。

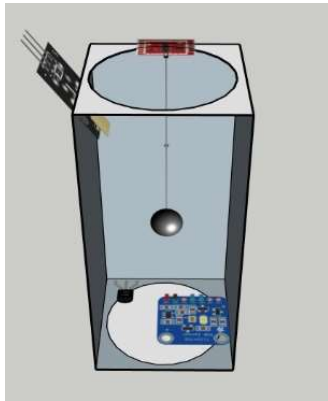


圖3-1 健康飲料助手初期構想

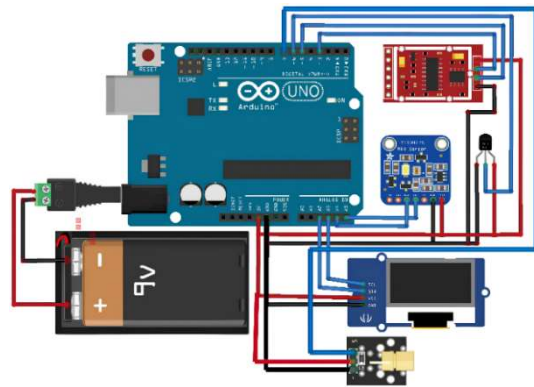


圖3-2 電路圖初期構想

經實作驗證與初步測試後，我們設計出**第一代原型機**，將光學模組進行關鍵優化，以**光敏電阻陣列**取代 **TCS34725**，大幅提升折射率量測的角度解析度。顯示器以 LCD 取代 OLED，解決硬體衝突，顯示不穩定的問題。結構方面以塑料與鋁件組裝，快速完成功能性驗證。

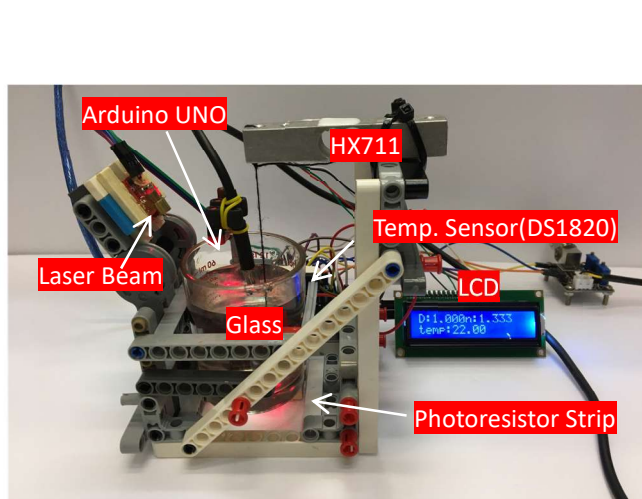


圖3-3 第一代原型硬體

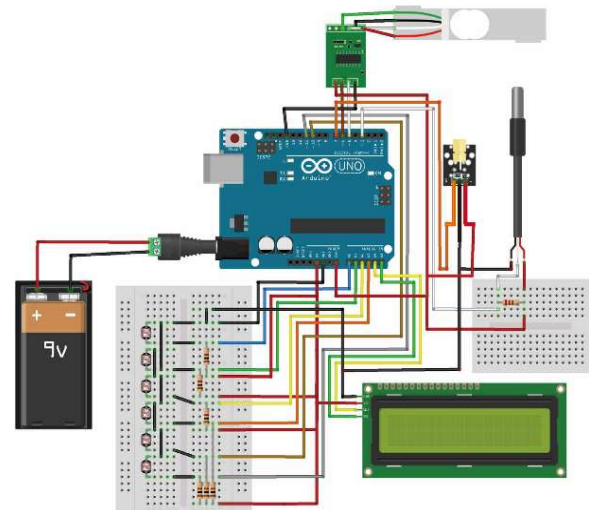


圖3-4 第一代原型電路圖

我們針對光路進行精確的尺寸規劃，關鍵幾何參數已標註於設計圖中，如圖3-5。為確保雷射光能以**30度入射角**射入液面，我們將雷射模組安裝高度設定為 **8.65 cm**，搭配液面高度 **4cm**。為觀測折射角變化的邊界狀況，我們將**第一顆光敏電阻**的位置設定於雷射模組出光口垂直下方**5cm**處，該點為光線在空氣中直行，尚未進入液體產生折射時所落下的位置，也

為折射角變化範圍的外緣參考點。實作時因雷射口徑為0.6cm，所以光點位置會落於約5.3cm位置，約0.3cm 誤差，將於程式和計算時將此誤差修正。此設計不僅有助於校準光線折射與偏移範圍，也為後續折射率變化的精細量測提供幾何基準。

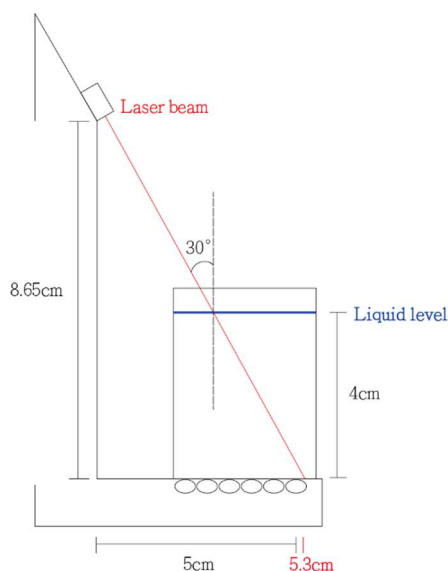


圖3-5 關鍵尺寸設計圖

在第二代模型中，我們針對密度模組進行優化：調整浮子大小(1.15cm)並新增浮子線穩定器以穩定浮子運動，減少因液面擾動造成的晃動干擾，進一步提升數據穩定性與測量準確度。結構部分改以雷射切割木料強化整體剛性，提升耐用性與精度，如圖3-6。

為進一步提升操作便利性與測量一致性，我們也加入按鈕式校準機制，如圖3-7，使用者可透過按鍵操作快速對照純水的標準值，進行自動校正。此設計讓儀器在多次樣品更換或長時間使用後，仍能保持量測結果的穩定與準確，大幅提升整體使用效率與可靠性。

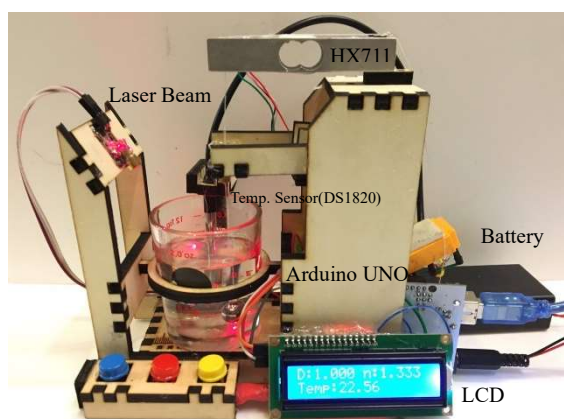


圖3-6 第二代模型

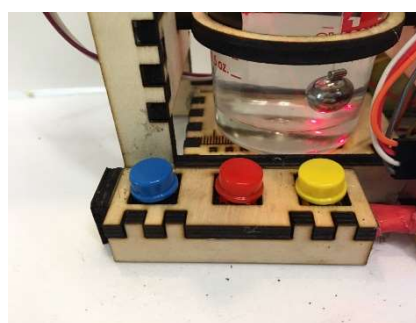


圖3-7 按鈕式校準機制

4. 作品成果報告：

本作品以「便攜式健康飲料分析儀」為構想，實際完成可運作之原型裝置，並針對多項技術挑戰進行優化改良，成功整合折射率、密度、溫度補償三種感測模組，計算糖分濃度與卡路里含量，具備高實用性與教育推廣潛力。

(1). 系統優化與挑戰解決

a. 感測器調整：以光敏電阻陣列取代 TCS34725，原先使用 TCS34725 色彩感測器量測折射光，但實作中其模塊本身約 1.85x2.3cm 大。為求高解析度，改採光敏電阻 6 顆組成陣列，但因一顆光敏電阻僅 0.5cm 大，解析度仍嫌不足，參表 4-1。隨糖濃度增加，折射角位置僅 4.1cm-3.85cm 間變化，差約 0.25cm。本研究發現：光點落在第 2 與第 3 顆光敏電阻間，藉二顆光敏電阻間光強差並正規化，降低光強度的誤差，推算出折射角位置。由此建立光強差與折射角位置的線性方程式，進一步求出折射率如圖 4-1、圖 4-2。再建立折射率與糖濃度的方程式，如圖 4-3，提升量測解析度，並優化程式，如圖 4-4，計算出含糖濃度。光敏電阻市價約 3-10 元左右，比較市價約 250 元的 TCS3 4725 和約 2000 元的高解析 CCD (TSL1401)，成本較低。

表 4-1 糖濃度與各物理參數值

液體 糖 濃度 (%)	光強 差值	正規化 光強差 (Normalized)	折射 率	折射角 位置(cm)
0	36	0	1.333	4.1
10	41	0.139	1.37	4.05
20	49	0.361	1.409	4
30	57	0.583	1.497	3.9
60	63	0.750	1.545	3.85

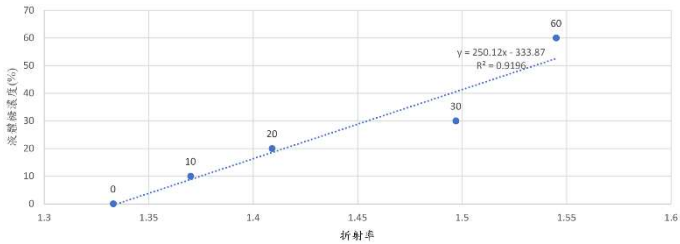


圖 4-1 正規化光強差與折射角位置

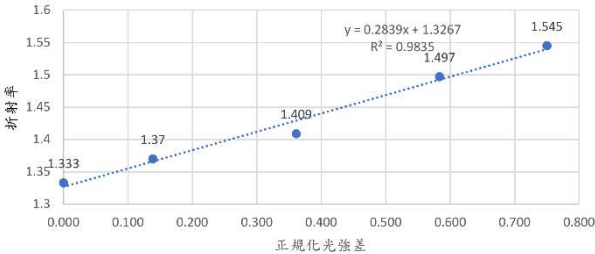


圖 4-2 正規化光強差與折射率

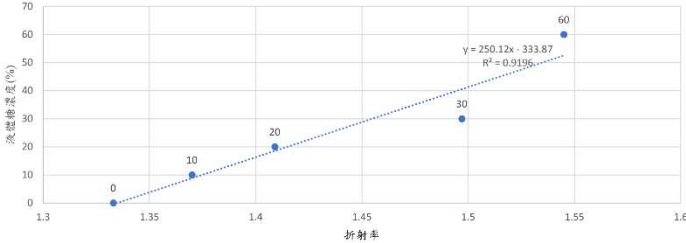


圖 4-3 折射率與液體糖濃度

```
float refractedAngleRad = atan((((diffmin-purewater)/purewater)*-0.3346+1.620094)/ 4);  
// 計算折射率 n2  
float sinTheta1 = 0.5; // 入射角30度  
float sinTheta2 = sin(refractedAngleRad);
```

圖 4-4 求折射角度和折射率程式

b. 顯示模組調整：由 OLED 改為 I2C1602 LCD 模組，原構想使用 OLED 模組顯示結果，但實測發現與溫度感測器（DS18B20）資源衝突，導致畫面顯示不穩。經過多次實測後發現改用 LCD 顯示器，成功排除衝突問題，並提升資訊呈現的穩定性與可讀性。

c. 高精度需求下的結構設計

(a). 設計專用固定架：

高濃度糖水的折射角位置變化僅在0.25cm 內，參表4-1，折射角度變化僅約3度差，若結構不穩將嚴重影響精確度。為此設計專用固定架，如圖4-5，維持雷射光源以30度入射角射入液面，穩定雷射與樣品槽位置。減少因液面高度或角度偏差造成的誤差，並導入標準操作流程確保可重複性。

(b). 優化密度模組的穩定性：

由於浮子採用懸吊式設計，每次更換樣品液體時容易因液面波動產生晃動，若未完全靜止即開始測量，常造成數據誤差，且需反覆等待與重新校正，導致操作繁瑣、測量效率低落。為改善此問題，我們新增浮子線穩定器，使浮子在受控範圍內移動，顯著降低晃動干擾，如圖4-6。此設計不僅提升測量準確度與穩定性，更大幅縮短等待時間，提升整體實驗效率。



圖4-5 雷射專用固定架

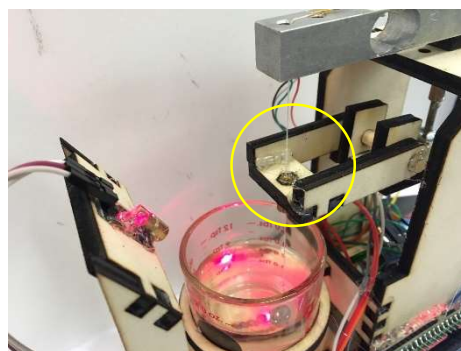


圖4-6 浮子線穩定器

d. 校正制度強化

為確保準確度，我們建立雙重基準校正制度：

折射率校正：純水 $n=1.333$ 為標準，如圖4-7，量測光折射角投影位置；密度校正：以純水密度 $\rho=1.000 \text{ g/ml}$ 為基準，此法有效對齊系統輸出與理論值，提高系統信賴度。本研究量得純

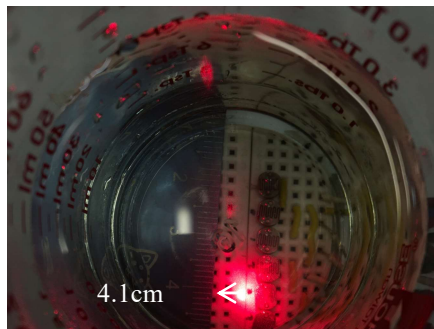


圖4-7 校正純水折射角位置

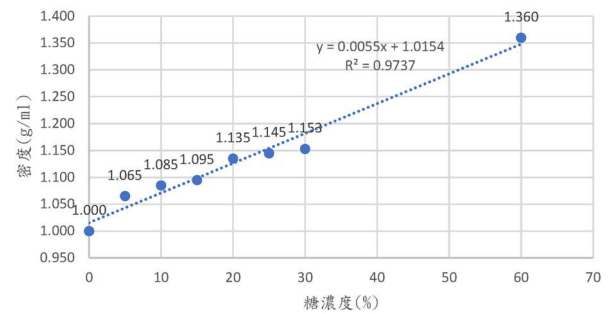


圖4-8 液體含糖濃度與密度

水密度為1.002，修正物理誤差值0.02g/ml，量得含糖濃度與密度間呈線性正相關，如圖4-8。

e. 感測器漂移 (drift) 與誤差克服

感測器長時間使用出現漂移現象：包括 HX711壓力模組與折射率光感模組，長時間運作後會因溫度變化、結構應力釋放或電壓波動產生零點偏移，導致純水密度與折射率不再等於理論值。

為克服漂移問題，設計**按鈕式校準機制**，使用者可透過按鈕操作觸發校準模式，系統將對照空氣與純水的標準值進行修正，持續維持系統的量測精度與長期穩定性。導入 Arduino 的 interrupt 中斷功能，如圖4-9，使系統能即時監測按鍵觸發訊號並精準執行對應校準程序，有效提升整體反應效率與數據穩定性。透過硬體中斷實作與模組化校準邏輯整合，系統不僅能適應不同操作環境，也能維持長時間運作下的數據穩定性與可靠性。

```
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), stopLoop, CHANGE); // 按鈕按下觸發中斷

void stopLoop() { //中斷功能
    menu = 1;      //進入校準功能
    stopFlag = true;
}
```

圖4-9 啟動中斷 Interrupt 和中斷函式 ISR

(2). 資料分析與應用成果：

本研究以0%、5%、10%、15%、20%、25%、30%、60%標準蔗糖水溶液進行實驗，建立**折射率與密度對糖濃度的線性回歸模型(Linear Regression)**，分別求得斜率 $k_1=95.31$ 與 $k_2=115.95$ ，如式4-1，程式如圖4-10。再結合溫度補償係數 $k_{temp}=-0.0045/^{\circ}\text{C}$ ，其值為固定糖濃度10%的液體，在液體溫度為10°C、20°C、30%，經實驗求得，使演算法具備溫度適應性，如式4-2。

$$C_{\text{糖}} = 95.31 \cdot (n - 1.333) + 115.95 \cdot (\rho - 1.000) - 2.57 \quad \text{式4-1}$$

$$C_{\text{補償}} = C_{\text{糖}} \cdot (1 + (-0.0045 \cdot (T - T_0))) \quad \text{式4-2}$$

$C_{\text{補償}}$ 、 $C_{\text{糖}}$ ：補償和未補償糖分濃度（g/100mL）、 n ：液體折射率、 ρ ：密度、 T ：溫度。

此外，我們提供熱量消耗建議（如步行30分鐘消耗100 kcal），協助使用者做出更健康的飲品

表4-2 標準液的參數值

標準液編號	液體糖濃度(%)	折射率	密度(g/ml)
1	0	1.333	1.000
2	5	1.361	1.065
3	10	1.37	1.085
4	15	1.398	1.095
5	20	1.409	1.135
6	25	1.435	1.145
7	30	1.497	1.153
8	60	1.545	1.360

```
float sugar_concentration(float n, float d){
    float c = 95.31*(n - np) + 115.95*(d - nd) -2.57;
    return c;    //糖濃度
}
float density_measure(int count){
    float weight = scale.get_units(count);

    Serial.println(weight, 3);
    if (weight < 0){
        weight = 0;
    }
    Serial.println(weight, 3);
    float density = (weight/(1.333*PI* pow(radius,3)))-0.02;
    Serial.println(density, 3);
    return density;    //密度
}
```

圖4-10密度和糖濃度的程式

選擇。本研究根據每100毫升飲料中以糖分濃度，每克糖提供4kcal 為主，暫忽略蛋白質和脂肪不計，計算飲料的卡路里含量：

$$\text{卡路里(kcal)} = C_{\text{補償}} \cdot 4 \quad \text{式4-3}$$

(3). 實測驗證：COCO 百香雙響炮和麥當勞-雪碧應用案例

我們團隊最喜歡喝的手搖飲品-COCO 的百香雙響炮，針對其五段甜度（全糖、少糖、半糖、微糖、無糖）與二種冰量（正常、去冰）進行量測，發現：**a. 「無糖」的糖濃度為零%**；「全糖」則高達15%左右，如表4-3。**b. 「全糖」熱量以每杯650ml 的飲料計算高達**

386kcal，須步行2小時才可消耗完。c. 冰量在濃度上幾無差異。d. 建議選擇「少糖」以下的甜度，才能聰明選飲，健康生活。

本研究可透過折射率與密度準確區分甜度等級，具備定性與定量分析能力。也實測麥當勞的雪碧的糖份，約為8%，容量500ml 的熱量約為165kcal，如圖4-11。未來將擴展至市售飲品（如清心、麻古等），建構開源資料庫，提供消費者與教育單位參考。

表4-3 COCO 實測結果(熱量以大杯650ml 計算)

COCO 實測		無糖	微糖	半糖	少糖	全糖
含糖 濃度 (%)	正常冰 約16.8℃	0	4.371	6.982	10.426	13.754
	去冰 19.66℃	0	4.213	7.104	10.23	14.865
熱量 (kcal)	正常冰 約16.8℃	0	114	182	271	358
	去冰 19.66℃	0	110	185	266	386

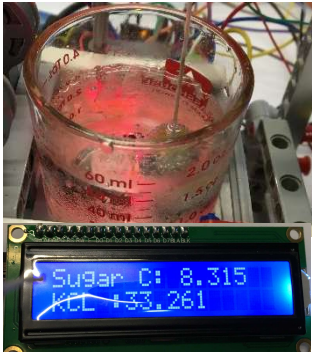


圖4-11麥當勞的雪碧實測
(熱量為100ml 為基準)

(4). 創新價值與未來發展

- a. 作品優化：本儀器量測誤約差±3%左右，為提升系統的準確率，尋求尺寸較小的感光元件，以增加折射率的精度。
- b. 實用性與低成本：成本低於 NTD2000元，適合家庭使用、教育推廣與學生科展。
- c. 技術創新：融合折射率＋密度＋溫度補償，打造雙重感測系統。
- d. 應用價值：可推廣至飲品熱量提醒 App、營養管理系統。
- e. 教育推廣：轉化為 STEM 教具包，帶入物理、化學、健康跨域教育。
- f. 未來拓展：建立台灣熱門手搖飲品牌糖分熱量資料庫，打造「智慧飲料健康地圖」。

(5). Arduino 重要程式碼：

a. 計算折射率程式

```
181 float refractive_index(int count){
182     digitalWrite(Laser, HIGH); // 開啟雷射
183     delay(1000);
184     float n2 = 0;
185     for (int j=0; j < count; j++){
186         // 讀取感測器數據
187         minValue = sensorValues[0];
188         for (int i = 0; i < 4; i++) {
189             sensorValues[i] = analogRead(sensorPins[i]);
190             Serial.print(i);
191             Serial.print(" ");
192             Serial.println(sensorValues[i]);
193             if (sensorValues[i] < minValue) { // 取最小值
194                 minValue = sensorValues[i];
195                 mIndex = i;
196                 Serial.print(i);
197                 Serial.print("min=");
198                 Serial.println(sensorValues[i]);
199             }
200         }
201         float diffmin= sensorValues[mIndex-1] - sensorValues[mIndex];
202
203         Serial.print("diffmin=");
204         Serial.println(diffmin);
205         Serial.print("Purewater=");
206         Serial.println(purewater,3);
207
208         // 計算折射角 (假設每個感測器之間距離固定)
209         float sensorSpacing = 0.5; // 入射角30度
210         float refractedAngleRad = atan(((diffmin-purewater)/purewater)*-0.3346+1.620094)/ 4);
211         Serial.print("refractedAngleRad="); // 計算折射角
212         Serial.println(refractedAngleRad,3); // y = -0.3346*光線度差+4.10257-2.482606
213         float theta2 = refractedAngleRad; // 4cm為液面高度
214
215         // 計算折射率 n2
216         float sinTheta1 = 0.5; // 入射角30度
217         float sinTheta2 = sin(refractedAngleRad); // 計算折射角
218         Serial.print("sinTheta2=");
219         Serial.println(sinTheta2,3);
220         n2 += (sinTheta1 / sinTheta2)*n1;
221         delay(100);
222     }
223     return n2/count-npoffset;
224 }
```

b. 計算糖濃度和溫度補償程式

```
165 void measure(){
166     float density, n2, calorie;
167
168     show("Measuring...");
169
170     sensors.requestTemperatures(); // 要求測溫
171
172     float temp = sensors.getTempCByIndex(0) - 2;
173
174     sc = 0;
175     for(int i = 0; i < 10; i++){
176         density = density_measure(10);
177         delay(100);
178         n2 = refractive_index(10);
179         delay(100);
180         sc += sugar_concentration(n2, density) * (1-0.0045*(temp-25)); // Indoor Temp. = 25度C
181         delay(100);
182         if(density < 0){
183             density = 0;
184         }
185     }
```

5. 參考文獻：

- (1). 東森新聞(2023)。每天喝手搖超傷身！腎臟醫勸快戒掉：有3大危害。取自網址：
<https://reurl.cc/04aV3Y>
- (2). 劉慧瑛(1992)。果蔬甜度、甜度、可溶性固形物與含糖量的論析。台灣省農業試驗所技術服務，6(10)，12-15。
- (3). Smith, J. & Johnson, R. (2015). Optical Properties of Liquids and Solids: Refractive Index Applications. Springer.
- (4). Zhao, X., & Lee, K. (2019). Correlation Between Refractive Index and Sugar Concentration in Aqueous Solutions. Journal of Food Science, 34(2), 123-130.
- (5). Cheng, H., & Park, J. (2017). Caloric Contributions of Sugars and Fats in Popular Beverages: Analytical Approaches. Food Chemistry, 45(6), 334-340.