

新竹市第四十三屆中小學科學展覽會

作品說明書

組 別：國中組

科 別：生活與應用科學組（二）

作品名稱：迫在「霉」睫 - 探討食物發霉程度對其電阻值的影響

關 鍵 詞：黴菌、電阻值、洋菜凍

編號：

摘要

本研究探討食物發霉程度對其電阻值的影響，並利用Arduino設計一種感測器來測量電阻值變化，從而偵測食物是否發霉以及黴菌生長的程度。我們選擇以成分單純可控的洋菜凍做實驗，探討了不同洋菜凍濃度、厚度及探針距離對電阻值的影響，以及黴菌生長過程之電阻值的變化。實驗結果顯示，洋菜凍的濃度越低，電阻值越高；不同厚度的洋菜凍電阻值會隨著厚度的增加而降低；探針距離過大時會影響測量結果的穩定性。而洋菜凍在發霉後，黴菌生長程度會顯著影響電阻值，隨著發霉時間的延長，電阻值及其數據差異度逐漸降低，未來有機會實現有效評估食物是否發霉以及發霉程度。

壹、前言

一、研究動機

寒假結束時，我們正在整理教室冰箱，意外發現上學期實驗所使用的洋菜凍長出許多種類不同的黴菌，而日常生活中往往都有食物放置過久不小心長出黴菌卻沒有發現而誤食的實例，因此我們十分好奇是否能夠做出一感測器能夠偵測此食物已有黴菌生長。這引發了我們的思考：如果能發展一感測器，能夠在肉眼看見黴菌之前提前警告，將大大減少誤食，也能避免因黴菌引起的健康問題。經實驗我們發現黴菌的生長多寡會影響洋菜凍的電阻值，且不同種類的黴菌可能對電阻值產生不同程度的影響。因此，我們決定利用Arduino，設計並製作一個感測器，藉由測量電阻變化來判斷食物是否發霉，並進一步判斷黴菌生長的多寡。這不僅能提高食品安全性，也對食品保存管理有著實際的應用價值。

二、研究目的

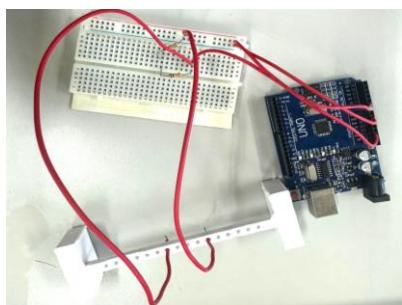
- (一) 瞭解不同洋菜凍濃度對電阻值之關係
- (二) 瞭解不同洋菜凍厚度對電阻值之關係
- (三) 探討探針距離對電阻值之影響
- (四) 探討黴菌生長程度對洋菜凍電阻值的影響
- (五) 探討連續長時間的洋菜凍電阻值變化
- (六) 探討黴菌生長對食物電阻值的影響

貳、研究設備及器材

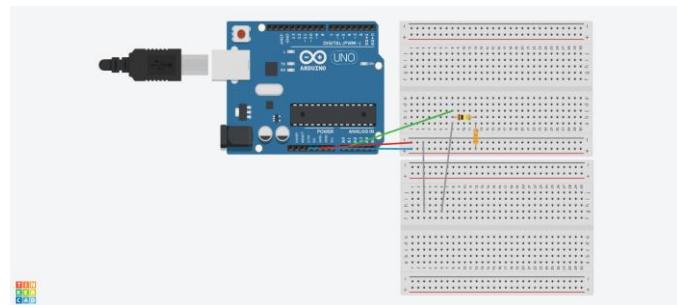
一、實驗器材

| | | | |
|----------------|-------|-------|-----|
| Arduino UNO R3 | 麵包板 | 陶瓷電阻 | 單芯線 |
| 繼電器 | 探針固定架 | 加熱攪拌器 | 攪拌子 |
| 紫外線消毒箱 | 電子秤 | 3d列印機 | 石臘膜 |
| 燒杯 | 培養皿 | 刮勺 | 純水 |
| 澱粉 | 洋菜粉 | 二砂糖 | 起司片 |
| 吐司 | | | |

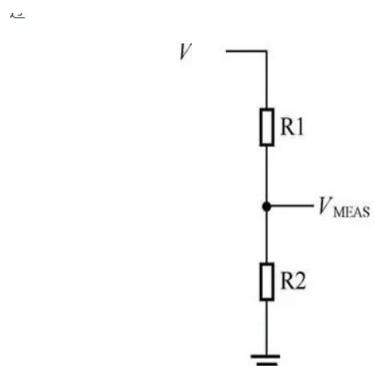
二、實驗裝置:



(圖1) 測量電阻裝置圖

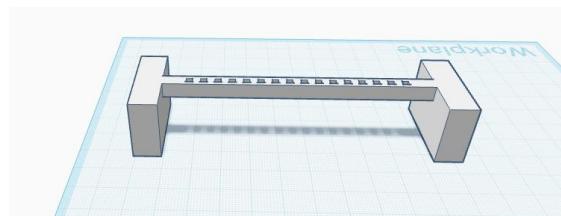


(圖2) 裝置示意圖



(圖3) 電路示意圖

上圖中的V表示使用3.3V的電壓(原先我們也嘗試了5V的電壓，不過因電壓太高，洋菜凍很快便出現被電解、破壞的現象，因此我們最後選擇使用3.3V的電壓)，而R1使用 $133K\Omega$ 的電阻，能使R2電阻值變化的空間較大，較好觀察數據的變化。而R2表示洋菜凍本身的電阻。Vmeas是R2所造成的分壓，此處是接線到Arduino版上的A0腳位。



(圖4) 探針固定架3D圖

(長:11.5cm寬:3.5cm高:2.6cm、每個洞間隔0.5cm)

我們自製了探針固定架來固定單芯線



(圖5) 紫外線消毒箱

洋菜凍調配完成，等待凝固之後，先用75%酒精消毒一遍箱內，再將洋菜凍放入消毒後的紫外線箱，蓋下瓦楞板蓋後，開啟紫外線燈消毒30分鐘後拿出。

參、研究過程或方法

一、實驗步驟

(一) 瞭解不同洋菜凍濃度對電阻值之關係：

1. 秤80g的水，置於加熱攪拌器加熱。
2. 待水加熱三分鐘，秤1g的澱粉加入燒杯，並開啟攪拌器。
3. 待澱粉溶於水中，分別秤1g的二砂糖及1g洋菜粉，加熱20分鐘。
4. 分別於培養皿倒入30g，等待冷卻凝固後蓋上蓋子，放入紫外線消毒箱消毒30分鐘。
5. 利用aduino測量洋菜凍電阻值，固定探針距離2公分，持續記錄5分鐘。
6. 增加10g的水，重複步驟2~5至水量達到130g。
7. 於培養基外蓋標上編號。
8. 製成趨勢圖觀察電阻值差異，圖例上80表示1：80比例的洋菜凍，數字越大代表水量越多，以此類推。

程式碼：

```
const byte analogPin = A0;  
int value;  
void setup() {  
    Serial.begin(9600);  
}  
  
void loop() {  
    value = analogRead(analogPin);  
    Serial.println(value);  
    delay(500);  
}
```

解析程式碼：

首先const byte analogPin

= A0先定義了A0為類比輸入腳位，因為A0腳位接在洋菜凍上，回傳洋菜凍分壓的類比數值。int value宣告一個整數變數叫做value用來儲存讀取的洋菜凍分壓的類比數值。

接著是循環部分loop()內的value = analogRead(analogPin)讀取A0腳位的類比數值(範圍0~1023，以下實驗步驟再解釋本實驗中使用的範圍約為0~675)。接著delay(500)為每0.5秒測量一個類比數值。最後Serial.println(value)將讀取到的數值顯示在序列監視器上。

(二) 瞭解不同洋菜凍厚度對電阻值之關係：

1. 秤90g的水，置於加熱攪拌器加熱。
2. 待水加熱三分鐘，秤1g的澱粉加入燒杯，並開啟攪拌器。
3. 待澱粉溶於水中，分別秤1g的二砂糖及1g洋菜粉，加熱20分鐘。
4. 分別於培養皿倒入30g、25g、20g(倒入培養皿分別為0.7cm、0.5cm、0.3cm)，等待冷卻凝固後蓋上蓋子，放入紫外線消毒箱消毒30分鐘。
5. 利用aduino測量洋菜凍電阻值，固定探針距離2公分，持續記錄5分鐘。
6. 製成趨勢圖觀察電阻值差異。

(三) 探討探針距離對電阻值之影響

1. 秤90g的水，置於加熱攪拌器加熱。
2. 待水加熱三分鐘，秤1g的澱粉加入燒杯，並開啟攪拌器。
3. 待澱粉溶於水中，分別秤1g的二砂糖及1g洋菜粉，加熱20分鐘。
4. 於培養皿倒入30g，等待冷卻凝固後蓋上蓋子，放入紫外線消毒箱消毒30分鐘。
5. 利用aduino測量洋菜凍電阻值，分別用不同探針距離0.5~7.0公分，持續記錄5分鐘。
6. 製成趨勢圖觀察電阻值差異。

(四) 探討黴菌生長程度對洋菜凍電阻值的影響：

1. 秤100g的水，置於加熱攪拌器加熱。
2. 待水加熱三分鐘，秤1g的澱粉加入燒杯，並開啟攪拌器。

3. 待澱粉溶於水中，分別秤1g的二砂糖及1g洋菜粉，加熱20分鐘。
4. 分別於培養皿倒入30g，等待冷卻凝固後蓋上蓋子，放入紫外線消毒箱消毒30分鐘。
5. 在培養基上殖入黴菌孢子，讓黴菌生長
6. 使用image j 計算黴菌生長面積
7. 利用aduino測量洋菜凍電阻值，固定探針距離2公分，持續記錄5分鐘。
8. 製成趨勢圖觀察電阻值差異。

(五) 長時間連續監控洋菜凍電阻變化：

1. 秤100g的水，置於加熱攪拌器加熱。
2. 待水加熱三分鐘，秤1g的澱粉加入燒杯，並開啟攪拌器。
3. 待澱粉溶於水中，分別秤1g的二砂糖及洋菜粉，加熱20分鐘。
4. 分別於培養皿倒入30g，等待冷卻凝固後蓋上蓋子，放入紫外線消毒箱消毒30分鐘。
5. 利用aduino測量洋菜凍電阻值，固定探針距離2公分，利用程式碼設計每30分鐘通一次電(電壓3.3V)，持續通電8分鐘並紀錄訊號值，8分鐘後斷電並重複循環偵測。
6. 製成趨勢圖觀察電阻值差異。

程式碼：持續自動通斷電測量：

```
const byte analogPin = A0;  
int value=0;  
int RelayPIN=7;  
float Timer_wait=30.0 ; //斷電時間(min)  
float Timer_measuring=8.0 ; //通電時間(min)  
void setup() {  
Serial.begin(9600);  
pinMode(RelayPIN,OUTPUT);  
digitalWrite(RelayPIN,HIGH);  
}
```

```

void loop() {
    for(int i=Timer_wait*60;i>0;i--){
        digitalWrite(RelayPIN,HIGH);
        Serial.print("倒數=");
        Serial.println(i);
        value = analogRead(analogPin);
        Serial.print("斷電A0讀值=");
        Serial.println(value);
        delay(1000);
    }

    Serial.println("Start measuring... ");
    Serial.println("通電A0讀值=");
    digitalWrite(RelayPIN,LOW);
    delay(1000);

    for(int j=0;j<Timer_measuring*2*60;j++){
        value = analogRead(analogPin);
        delay(500);
        Serial.println(value);
    }

    delay(1000);
    Serial.println("End measuring... ");
    digitalWrite(RelayPIN,HIGH);
    delay(1000);
}

```

解析程式碼：

這段程式碼的作用是設定一個定時器，先倒數一段時間，然後開啟繼電器
讀取感測器的數據並顯示在電腦上，最後結束測量並關閉繼電器。

首先，`Serial.begin(9600);` 讓Arduino跟電腦開始溝通，使我們能在電腦上看到Arduino的訊息。接下來，`pinMode(RelayPIN,OUTPUT);` 是設定一個引腳（RelayPIN）

為輸出，使我們可以控制接在這個引腳上的設備，像是繼電器。, `digitalWrite(RelayPIN,HIGH)` ; 會把引腳設為高電位，開啟繼電器。

接下來程式進入`loop()`，這是一個無限循環，程式會不停執行裡面的動作。首先，`for (int i=Timer_wait*60;i>0;i--)` 這段會開始倒數，倒數時間是由`Timer_wait`決定，這段時間內繼電器會保持開啟，並且顯示倒數的數字（`Serial.print("倒數=")`）。每次倒數，程式會讀取來自感測器的數值（`value = analogRead(analogPin);`），並顯示出來（`Serial.print("斷電A0讀值=")`），然後程式會等1秒鐘再繼續倒數。

接著，for迴圈的倒數結束後，印出「Start measuring...」及「通電A0讀值=」的文字。同時，用`digitalWrite(RelayPIN,LOW);`開啟繼電器，使3.3V通電到電路中後，延遲1秒進入`for(int j=0;j<Timer_measuring*260;j++)`迴圈，其中每0.5秒測量一次，倒數時間是由`Timer_measuring`決定，共測8分鐘。

最後，在8分鐘迴圈結束後，顯示End measuring...並以`digitalWrite(RelayPIN,HIGH);`再次關閉繼電器，使3.3V無法輸入到電路中。再重複以上步驟。

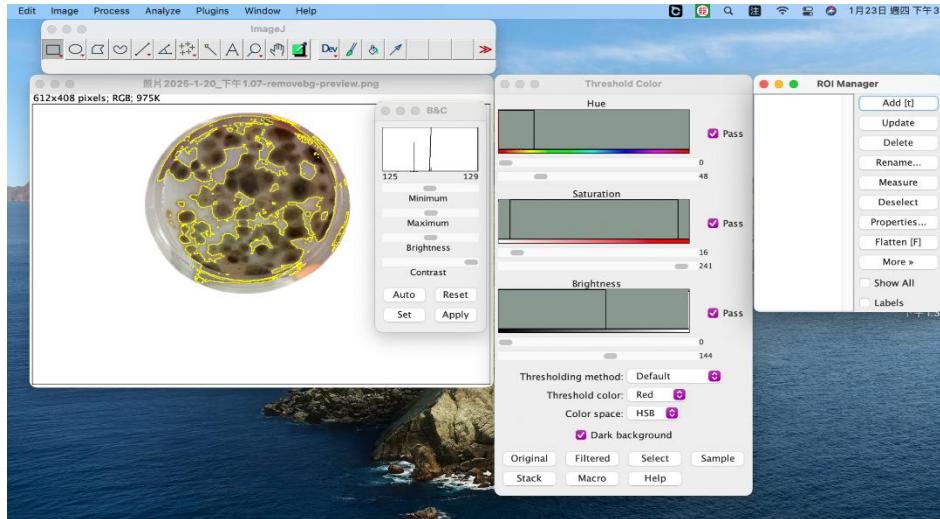
(六) 探討黴菌生長對食物電阻值的影響：

1. 取一片起司片
2. 利用aduino測量起司片電阻值，固定探針距離2公分，持續記錄5分鐘。
3. 製成趨勢圖觀察電阻值差異。
4. 將實驗中的起司片換成吐司，重複以上步驟。

(七) 數據處理

1. 洋菜凍濃度以1：100為例，表示100g的純水含有1g的洋菜粉、1g的砂糖、1g的澱粉。
2. 洋菜凍電阻值計算：
$$\frac{\text{測量值}}{\text{最大值}} = \frac{\text{洋菜凍R}}{\text{R} + 133\text{k}}$$
，洋菜凍的R是由 $(\text{R} + 133\text{k}) * \text{測量值}/\text{最大值}$ ，最大值為使用3.3v時的最大訊號值。

3. 圖表中100、200、300代表1~100秒的平均、101~200秒的平均、201~300秒的平均測量值：value。
4. IMAGE J影像處理：在IMAGE J中開啟要分析的圖片，並使用color Threshold選出發霉區域，如下(圖6)所示，再使用ROI Manager 記錄發霉面積和總面積並計算發霉面積百分比。



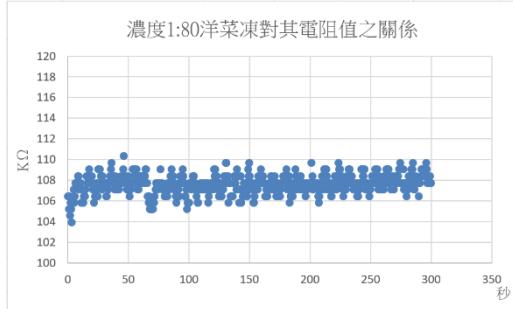
(圖6) image j影像處理介面

5. 標準差計算：標準差可以衡量一組資料值的分佈。高標準差表示資料值分佈範圍較廣，而低標準差表示資料值圍繞資料集的平均數集中分佈範圍較窄，以下公式代表實驗數據中，有n個樣本的資料值，每個資料值都用 x 表示。符號 x_i 代表其中一個資料值，符號 \bar{x} 表示所有樣本的平均值。 Σ 符號代表加總， $i=1$ 、 n 代表從第1個資料開始加到第n個資料，在此公式中，這代表著將資料值與樣本平均數之間的每個平方差相加，除以 $n-1$ 時，可以獲得變異數的無偏估計值。

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

肆、研究結果

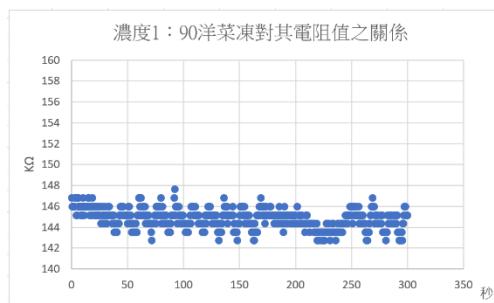
一、瞭解不同洋菜凍濃度對電阻值之關係



(圖7)

| 時間(秒) | 100 | 200 | 300 |
|---------|--------|--------|--------|
| 測量值 | 326.43 | 326.58 | 327.27 |
| 電阻值(kΩ) | 107.36 | 107.46 | 107.90 |
| 標準差 | 1.03 | 0.79 | 0.76 |

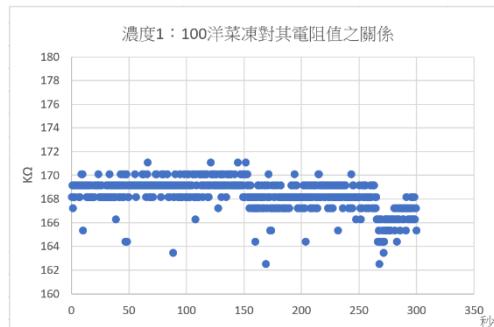
(表1)



(圖8)

| 時間(秒) | 100 | 200 | 300 |
|---------|--------|--------|--------|
| 測量值 | 371.05 | 370.60 | 370.02 |
| 電阻值(kΩ) | 145.16 | 144.80 | 144.33 |
| 標準差 | 0.88 | 0.80 | 0.89 |

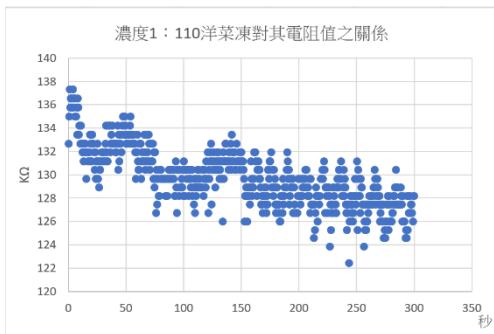
(表2)



(圖9)

| 時間(秒) | 100 | 200 | 300 |
|---------|--------|--------|--------|
| 測量值 | 397.73 | 397.51 | 396.38 |
| 電阻值(kΩ) | 168.85 | 168.65 | 167.56 |
| 標準差 | 0.95 | 1.20 | 1.47 |

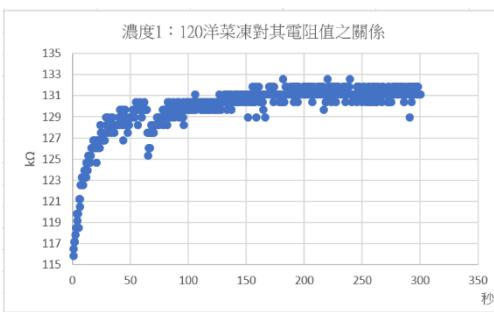
(表3)



(圖10)

| 時間(秒) | 100 | 200 | 300 |
|------------------|--------|--------|--------|
| 測量值 | 376.88 | 373.79 | 371.44 |
| 電阻值($k\Omega$) | 131.80 | 129.56 | 127.75 |
| 標準差 | 2.11 | 1.68 | 1.55 |

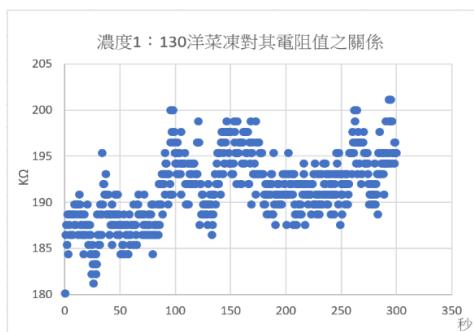
(表4)



(圖11)

| 時間(秒) | 100 | 200 | 300 |
|------------------|--------|--------|--------|
| 測量值 | 347.99 | 352.46 | 353.22 |
| 電阻值($k\Omega$) | 127.49 | 130.74 | 131.30 |
| 電阻值 | 4.23 | 0.88 | 0.71 |

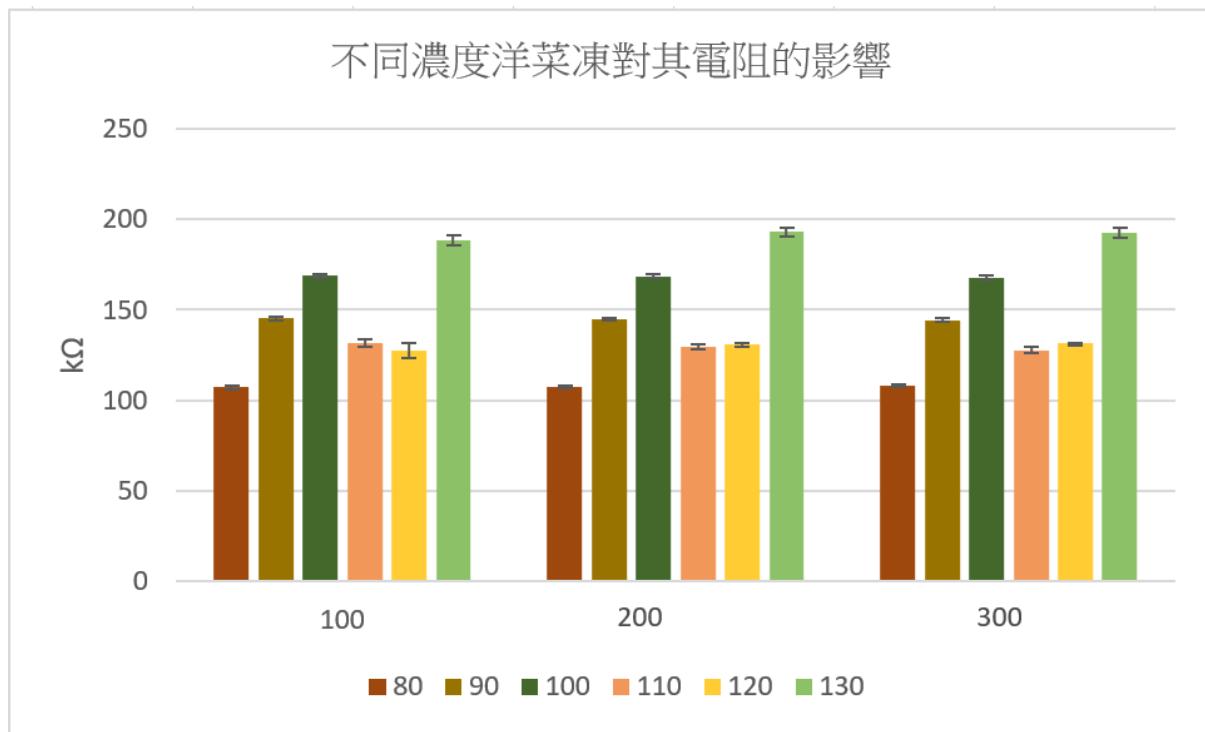
(表5)



(圖12)

| 時間(秒) | 100 | 200 | 300 |
|------------------|--------|--------|--------|
| 測量值 | 416.23 | 421.01 | 420.66 |
| 電阻值($k\Omega$) | 188.24 | 193.09 | 192.69 |
| 標準差 | 2.86 | 2.54 | 2.47 |

(表6)

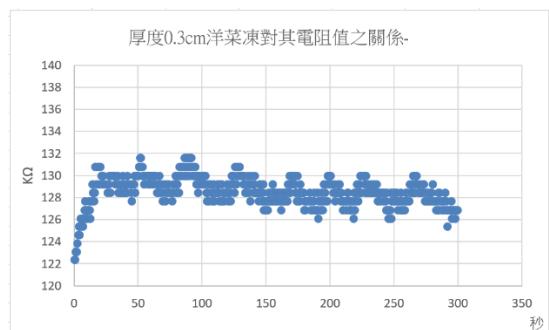


(圖13) 不同濃度洋菜凍對其電阻的影響關係圖

(80表示1：80洋菜凍和水的比例，數字越大代表濃度越小，以此類推)

由上圖(圖13)可以得知在洋菜凍培養基未發霉的情況下，洋菜凍培養基的濃度越低，電阻值也會明顯變高，但比例1：110及1：120的洋菜凍培養基卻不符合此趨勢，推測1：110及1:120的洋菜凍培養基測量值較其他比例的洋菜凍培養基低是因為在測量時的溫度和濕度與其他洋菜凍培養基測量時不同的關係而影響實驗結果。

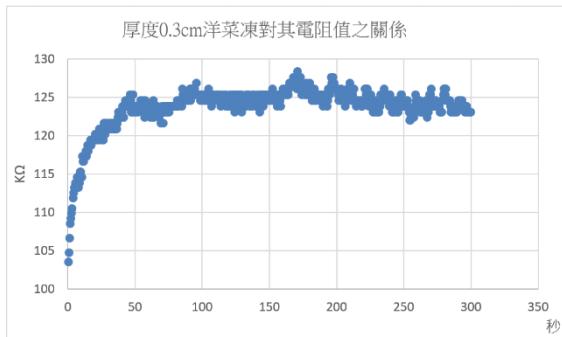
二、瞭解不同洋菜凍厚度對電阻值之關係



(圖14)

| 時間(秒) | 100 | 200 | 300 |
|---------|--------|--------|--------|
| 測量值 | 375.75 | 375.10 | 374.53 |
| 電阻值(kΩ) | 122.33 | 128.46 | 128.02 |
| 標準差 | 1.71 | 0.95 | 0.95 |

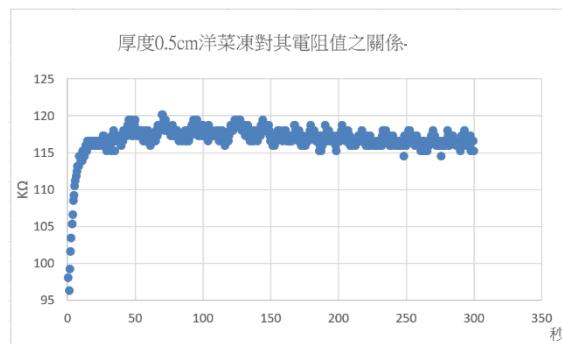
(表7)



(圖15)

| 時間(秒) | 100 | 200 | 300 |
|------------------|--------|--------|--------|
| 測量值 | 365.89 | 370.83 | 369.56 |
| 電阻值($k\Omega$) | 121.52 | 125.19 | 124.24 |
| 標準差 | 4.15 | 0.96 | 0.95 |

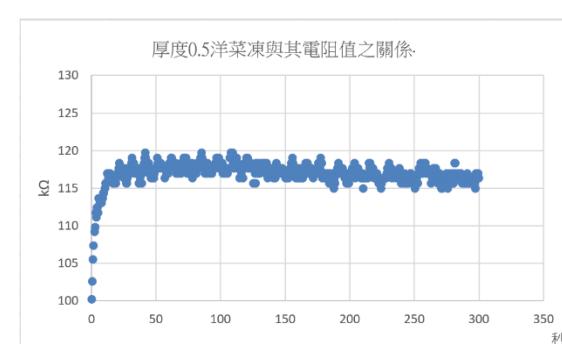
(表8)



(圖16)

| 時間(秒) | 100 | 200 | 300 |
|------------------|--------|--------|--------|
| 測量值 | 358.47 | 360.21 | 358.96 |
| 電阻值($k\Omega$) | 116.22 | 117.43 | 116.56 |
| 標準差 | 3.81 | 0.83 | 0.70 |

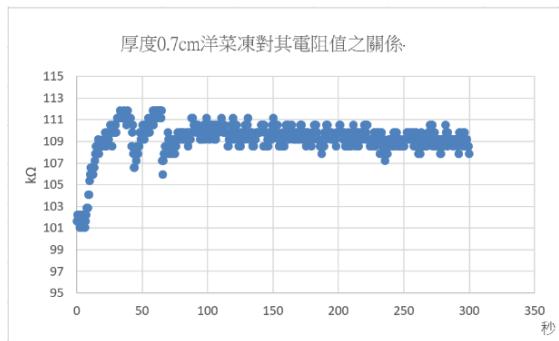
(表9)



(圖17)

| 時間(秒) | 100 | 200 | 300 |
|------------------|--------|--------|--------|
| 測量值 | 355.80 | 356.56 | 355.43 |
| 電阻值($k\Omega$) | 114.37 | 114.89 | 114.12 |
| 標準差 | 2.57 | 0.86 | 0.79 |

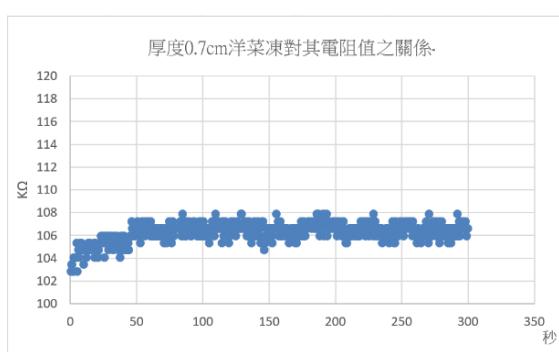
(表10)



(圖18)

| 時間(秒) | 100 | 200 | 300 |
|---------|--------|--------|--------|
| 測量值 | 347.47 | 348.75 | 347.97 |
| 電阻值(kΩ) | 108.81 | 109.64 | 109.14 |
| 標準差 | 2.61 | 0.66 | 0.64 |

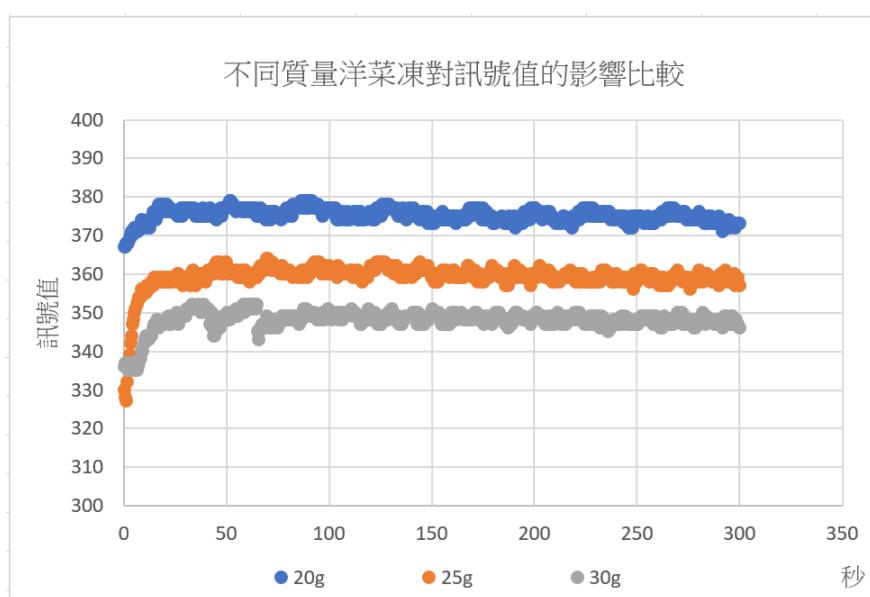
(表11)



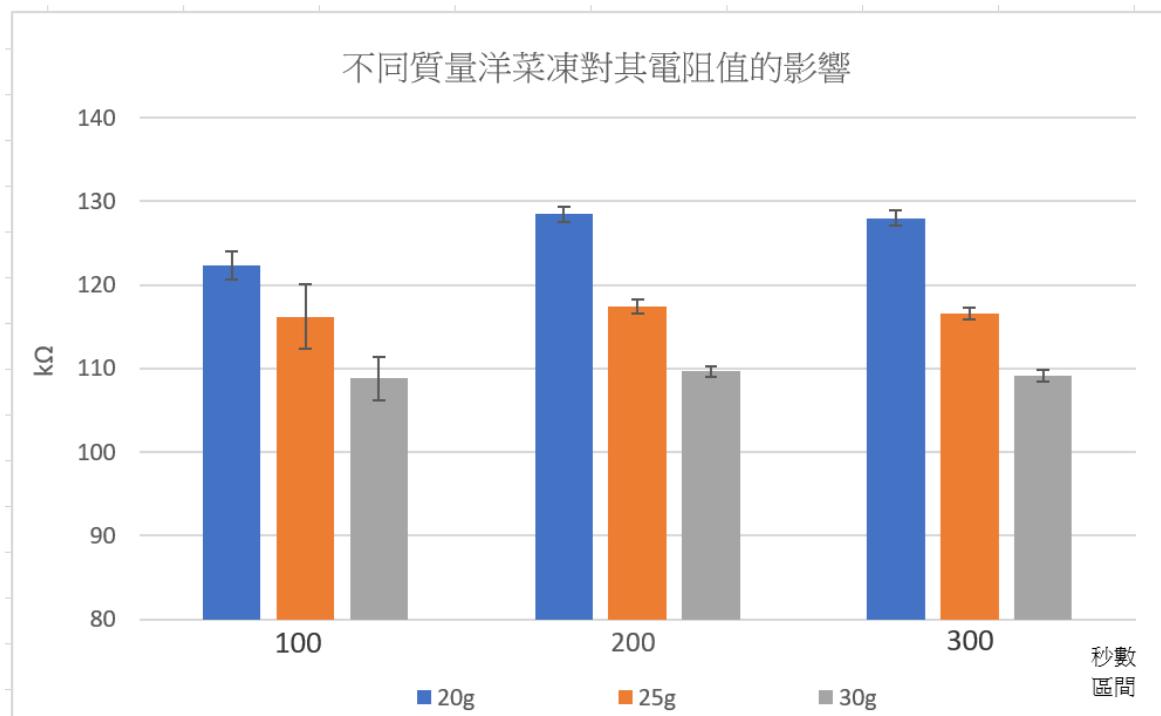
(圖19)

| 時間(秒) | 100 | 200 | 300 |
|---------|--------|--------|--------|
| 測量值 | 342.67 | 343.94 | 343.79 |
| 電阻值(kΩ) | 105.73 | 106.54 | 106.44 |
| 標準差 | 1.00 | 0.60 | 0.56 |

(表12)



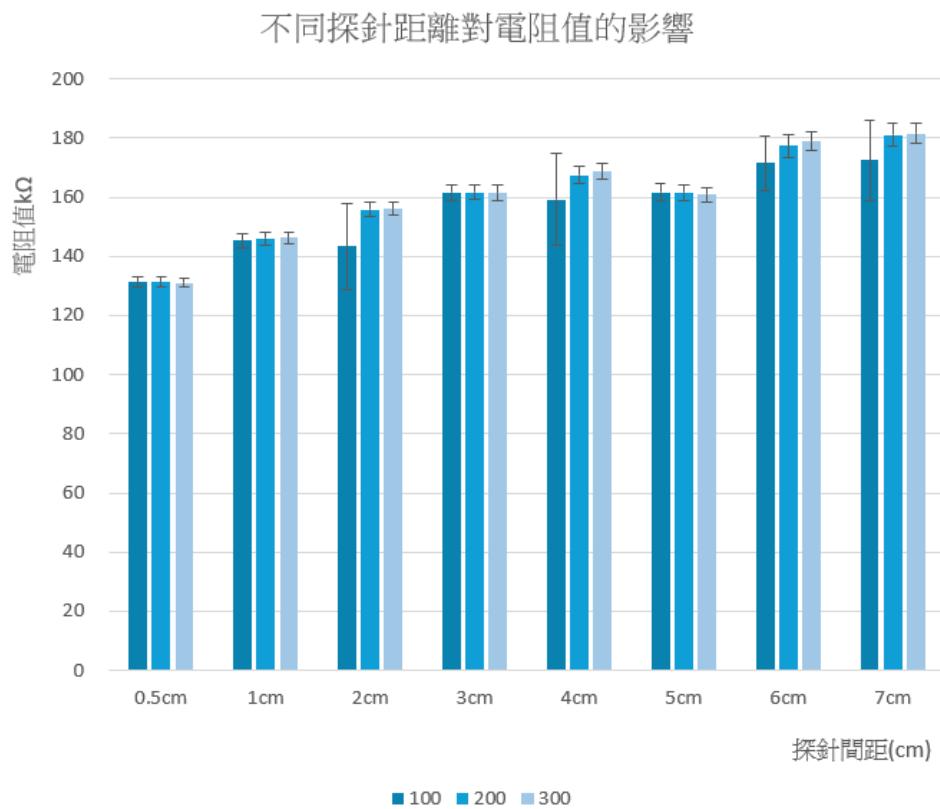
(圖20) 不同質量洋菜凍對訊號值的影響比較



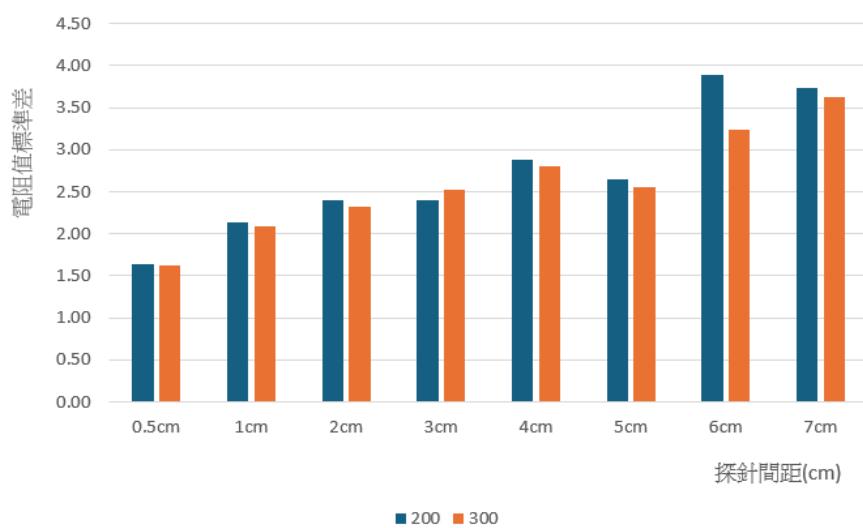
(圖21) 不同質量洋菜凍對電阻值的影響

根據上圖 (圖21) , 當洋菜凍質量越多時，於培養皿上的厚度越厚，在厚度為0.3公分時電阻值約為128kΩ，在厚度為0.5公分時電阻值約為110kΩ，在厚度為0.7公分時，電阻值約為108kΩ。在上述實驗結果中，可以發現厚度越厚，電阻值越低，但下降程度不多，且於實驗操作時，因為20克的洋菜凍厚度太淺，感測探針容易鬆動脫落而使測量中斷，又因測量不同質量洋菜凍時訊號變化趨勢相近(如圖20)，沒有因厚度而有不穩定的現象，因此後續實驗我們皆使用30克的洋菜凍。

三、探討探針距離對電阻值之影響



(圖22) 不同探針距離對電阻值的影響



(圖23) 探針間距對電阻值標準差的影響

我們利用自製探針固定架調整探針距離，每個間隔為0.5公分。主要從1公分開始，每增加1公分測一次，結果如上圖

(圖23)所示，隨著探針距離越大，電阻值也逐漸上升，但標準差較大訊號較不穩定，再加上考慮到實際測量時，探針距離過大，使影響因素較複雜，例如：因為會在不同位置做多次測量，而導致洋菜凍被破壞，而有裂痕或破碎等問題，影響數據穩定性，因此我們最終選用2公分的探針距離作為後續實驗的測量距離。

四、探討黴菌生長程度對洋菜凍電阻值的影響

12/31 (9天)

(表13)

| 時間(秒) | 100 | 200 | 300 |
|------------------|--------|--------|--------|
| 測量值 | 366.45 | 362.89 | 367.29 |
| 電阻值($k\Omega$) | 141.48 | 138.64 | 142.13 |
| 標準差 | 3.06 | 0.63 | 1.65 |

1/2 (11天)

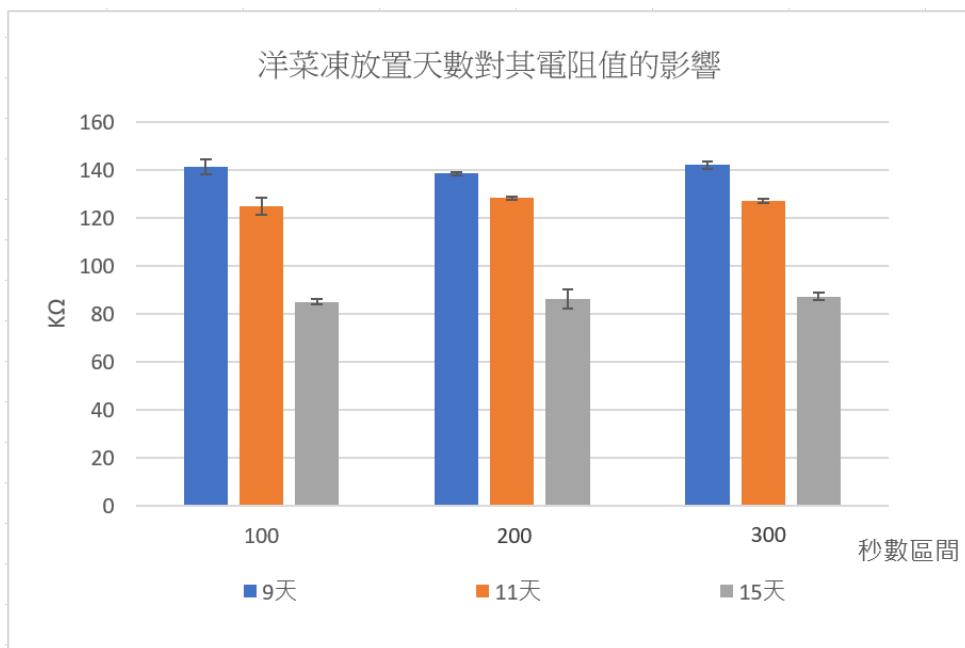
(表14)

| 時間(秒) | 100 | 200 | 300 |
|------------------|--------|---------|--------|
| 測量值 | 344.19 | 349.365 | 347.38 |
| 電阻值($k\Omega$) | 124.85 | 128.49 | 127.06 |
| 標準差 | 3.52 | 0.70 | 0.83 |

1/6 (15天)

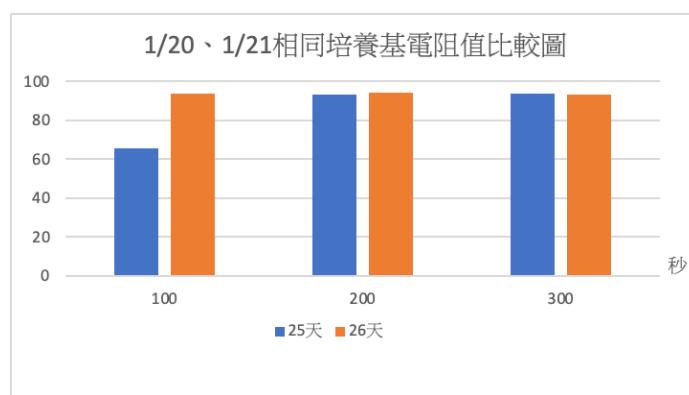
(表15)

| 時間(秒) | 100 | 200 | 300 |
|------------------|--------|--------|--------|
| 測量值 | 277.59 | 279.68 | 281.63 |
| 電阻值($k\Omega$) | 85.19 | 86.32 | 87.25 |
| 標準差 | 1.11 | 4.05 | 1.61 |



(圖24) 洋菜凍放置天數對電阻值的影響

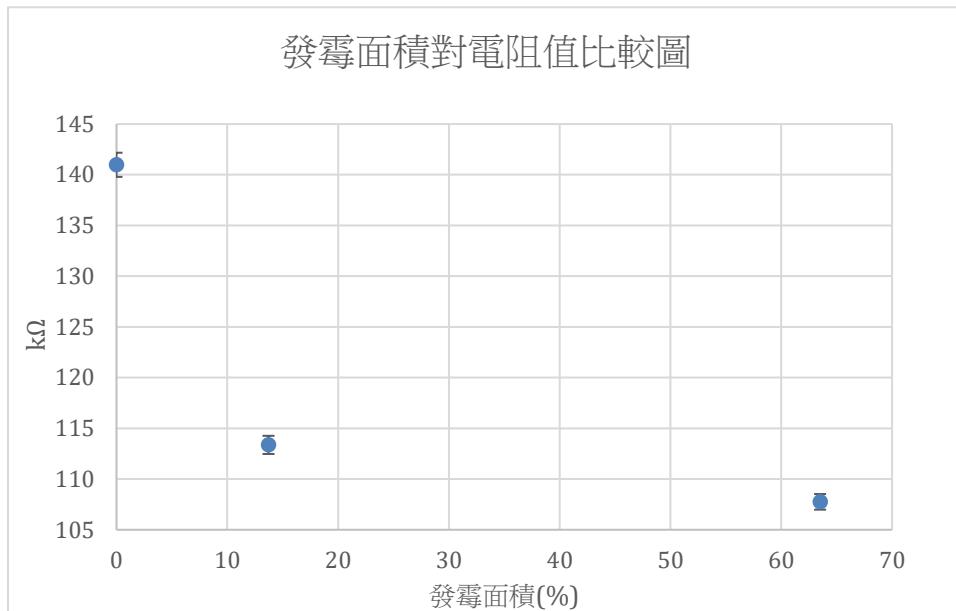
根據(圖24)可以得知，放置15天的洋菜凍培養基電阻值比放置11天的洋菜凍培養基低，並且放置11天的洋菜凍培養基電阻值也會比放置9天的洋菜凍培養基低，可依此判斷在黴菌生長時會讓洋菜凍培養基的電阻值降低，且放置的天數越多，洋菜凍培養基的電阻值也會變得越小。



(圖25) 1/20、1/21相同培養基電阻值比較圖

根據上圖(圖25)，在前100秒時，放置25天的洋菜凍培養基的電阻值比放置26天的洋菜凍培養基低，但在101~300秒的期間，放置25天的洋菜凍培養基電阻值和放置26天的洋菜凍培養基電阻值相近，判斷造成前100秒的情況是因為偵測器需穩定一段時間，訊號還未穩定。在放置25天的洋菜凍培養基和放置26天的洋菜凍培養基的比較中，相隔一天洋菜凍培養基的電阻值基本沒有變化，由此可知放置天數較

多時，放置天數對洋菜凍培養基的電阻值的影響會比放置天數較少時來的小，推測原因是黴菌生長在洋菜凍培養基上的量已經達到一定的程度，所以電阻的變化量才沒有那麼劇烈。



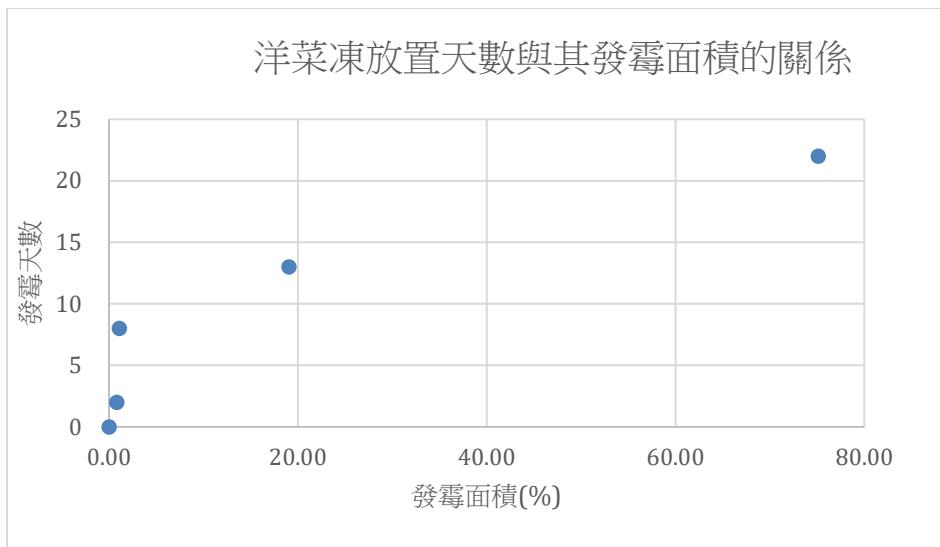
(圖26) 發霉面積對電阻值的影響



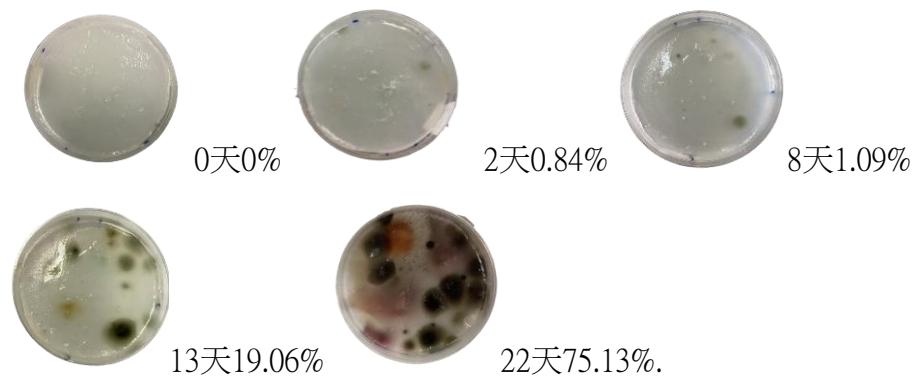
(圖27) 不同發霉程度的洋菜凍外觀照(括弧內為發霉%數)

| | A | B | C |
|---------|--------|--------|--------|
| 發霉%數 | 0 | 13.72 | 63.50 |
| 電阻值(kΩ) | 140.98 | 113.37 | 107.75 |
| 標準差 | 1.19 | 0.90 | 0.77 |

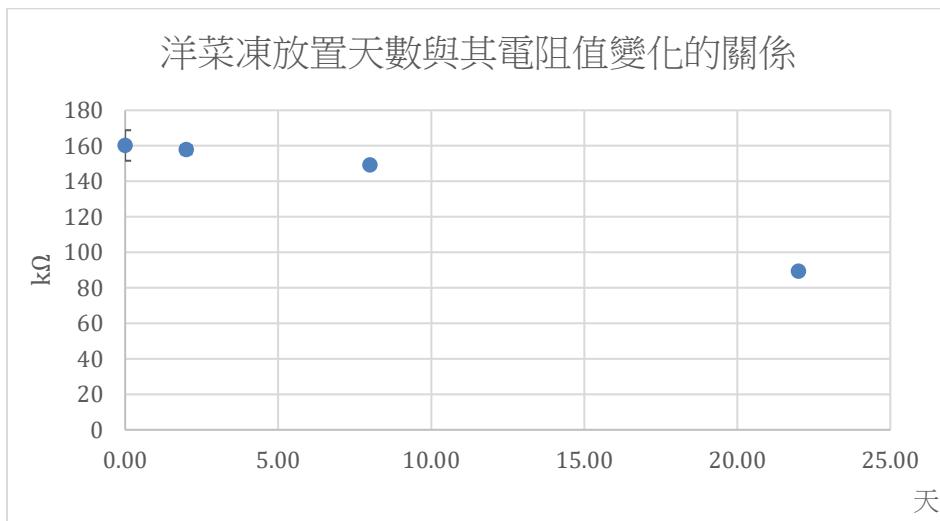
(表16) 洋菜凍發霉程度與其電阻值及標準差比較



(圖28) 洋菜凍放置天數與其發霉面積的關係



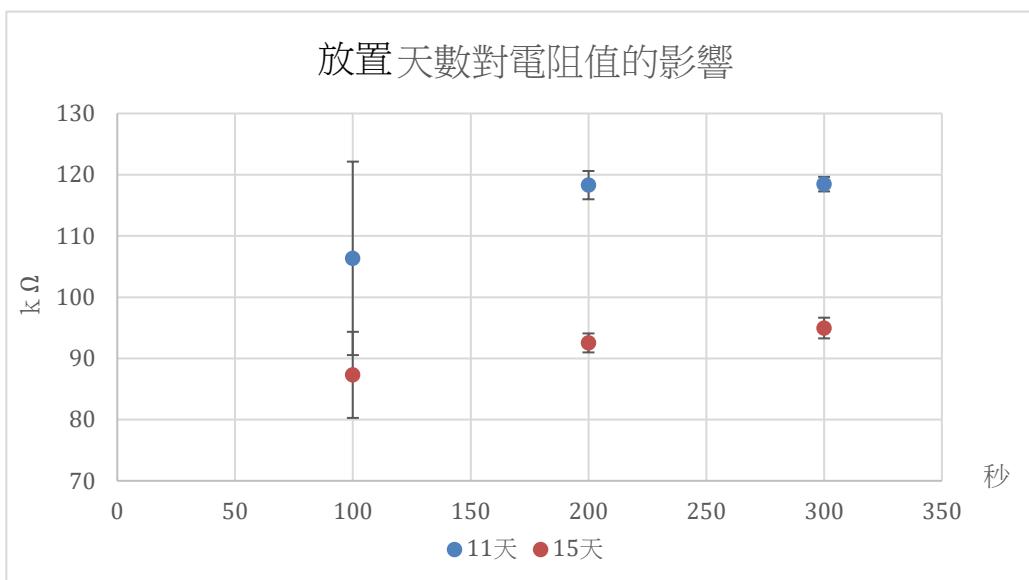
圖(29) 洋菜凍放置天數與發霉面積變化



(圖30) 洋菜凍放置天數與電阻值變化的關係

| | | | | |
|------------------|--------|--------|--------|-------|
| 發霉天數 | 0 | 2 | 8 | 22 |
| 電阻值($k\Omega$) | 160.14 | 157.82 | 149.19 | 89.31 |
| 標準差 | 8.60 | 2.59 | 1.60 | 1.56 |

(表17) 洋菜凍發霉程度與其電阻值及標準差比較



(圖31) 1:120放置天數對電阻值的影響

| | 秒 | 100 | 200 | 300 |
|-----|-----------|--------|-------|--------|
| 11天 | $k\Omega$ | 106.34 | 118.3 | 118.46 |
| | 標準差 | 15.8 | 2.31 | 1.19 |
| 15天 | $k\Omega$ | 87.31 | 92.53 | 94.96 |
| | 標準差 | 7.03 | 1.55 | 1.69 |

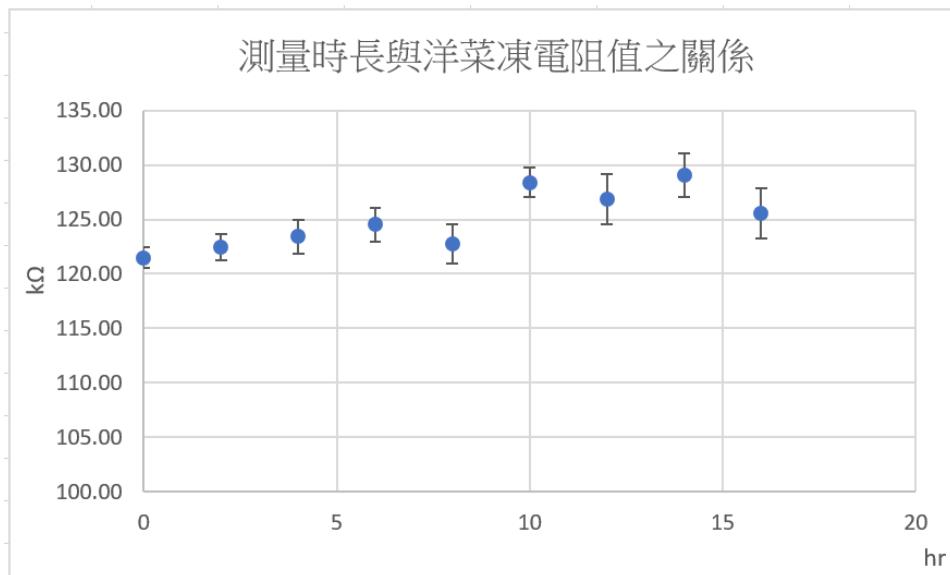
(表18) 洋菜凍發霉程度與其電阻值及標準差比較

我們利用IMAGE J來計算不同發霉程度的洋菜凍培養基的發霉面積比例，結果如(圖26)、(圖30)以及(表16)、(表17)所示，根據(表16)、(表17)可以得知，發霉面積越大的洋菜凍培養基，電阻值相對會越低，並且隨著發霉面積越來越大，電阻值的變化量也越來越小，在(圖26)、(表16)中，發霉面積從0%到13%時電阻下降了約27 $k\Omega$ ，但在發霉面積從1

3%~63%時，電阻值只下降了 $6k\Omega$ ，我們推測會發生這種情況的原因是因為黴菌生長在洋菜凍培養基上的數量已經達到一定的程度，才會導致電阻值的變化量變小。

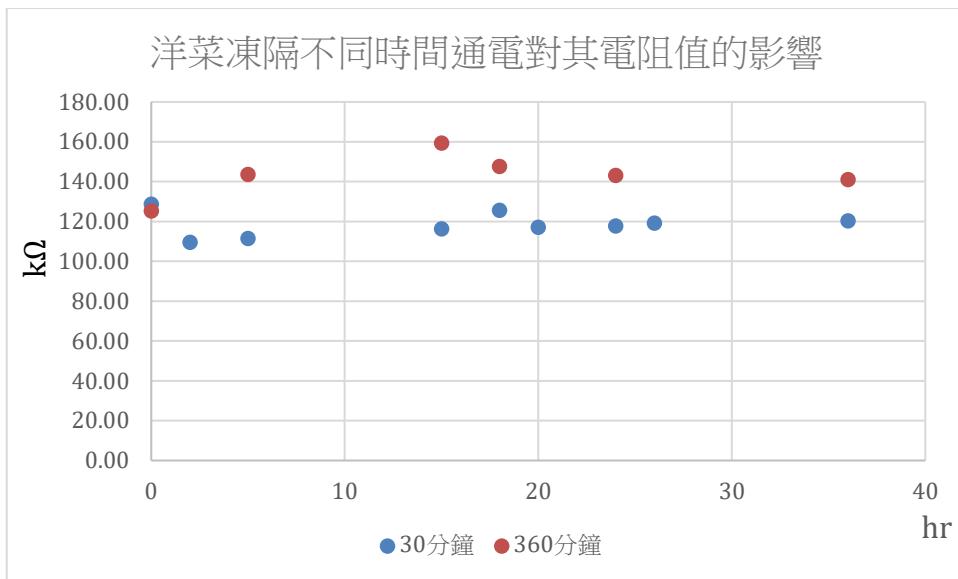
根據(表16)亦可知發霉面積越大，洋菜凍培養基的標準差也越小，若在排除環境因素影響的情況下，可推論發霉越嚴重，會使洋菜凍培養基的電阻值趨於穩定。在(圖30)、(表17)中也有發霉天數越多，發霉面積越大，且標準差變小的變化。

五、探討連續長時間的洋菜凍電阻值變化



(圖32) 測量時長與洋菜凍電阻值之關係

我們利用繼電器調整通電測量與斷電時間以進行長時間測量，欲觀察黴菌不同發霉程度對電阻值的影響，我們先測量時長是否會影響洋菜凍電阻值。從(圖32)中可以發現，電阻值隨測量時長增加，呈現微幅上升的趨勢。可依此判斷測量時長對洋菜凍的電阻值變化有些微上升的影響。在前4個小時內，電阻值呈上升趨勢，從 $121.5k\Omega$ 增加到 $124.54k\Omega$ ，表示洋菜凍的電阻值隨時間逐步增加。在8小時至12小時之間，出現了些許波動，推測為外在環境因素影響。



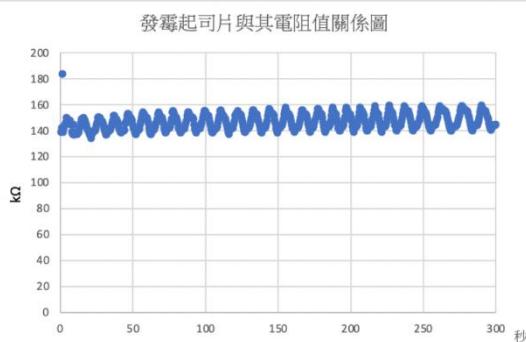
(圖33) 洋菜凍間隔不同時間對其電阻值的影響

我們更改程式碼中的通電間隔分鐘數，比較每隔30分鐘或隔360分鐘通電一次，觀察通電次數是否會造成洋菜凍電阻值變化，從(圖33)中可以發現，在測量時間5~15小時期間電阻值變化較大，在15小時過後的測量值都比較穩定，但兩種間隔時間通電後測量，電阻值都會有緩慢升高的趨勢，此現象在更長時間測量會更加明顯。

六、探討黴菌生長程度對食物電阻值的影響

我們使用起司片以及吐司來當作測量的食物。

發霉起司片



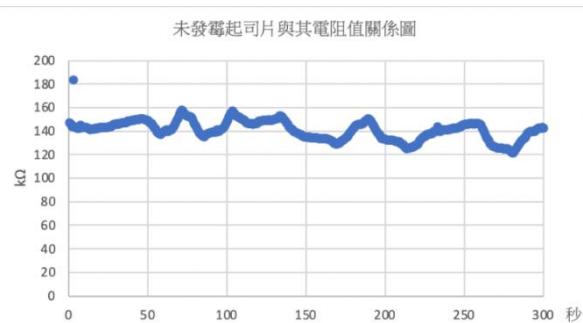
(圖34)

| | 100 | 200 | 300 |
|---------|--------|--------|--------|
| 電阻值(kΩ) | 145.12 | 147.67 | 148.75 |
| 標準差 | 5.80 | 5.65 | 6.02 |

(表19)

(圖34) 為測量發霉的起司片的數據，在圖中可以發現數據非常的不穩定並且有規律的上下起伏波動，平均電阻值大概落在 $150\text{k}\Omega$ 左右，而標準差大概為5.8，且電阻值依舊有上升的趨勢。

未發霉起司片

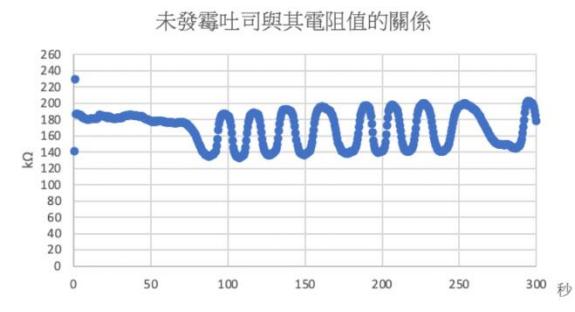


(圖35)

| | 100 | 200 | 300 |
|-------------------------|--------|--------|--------|
| 電阻值($\text{k}\Omega$) | 144.81 | 142.43 | 135.26 |
| 標準差 | 5.52 | 7.58 | 7.48 |

(表20)

(圖35) 為測量為發霉的起司片所得到的電阻值數據，從圖表中可以看出沒有發霉的起司所測量到的電阻值數據也不穩定，標準差落在7左右，在(表20)中可以發現電阻平均值呈現下降的趨勢。



(圖36)

| | 100 | 200 | 300 |
|-------------------------|--------|--------|--------|
| 電阻值($\text{k}\Omega$) | 175.07 | 163.14 | 170.73 |
| 標準差 | 14.99 | 23.18 | 22.22 |

(表21)

(圖36) 為測量為發霉的吐司所得到的結果，從圖表中可以看出測得的電阻值數據不穩定並且標準差在20左右，圖片中也無法看出有上升的趨勢。

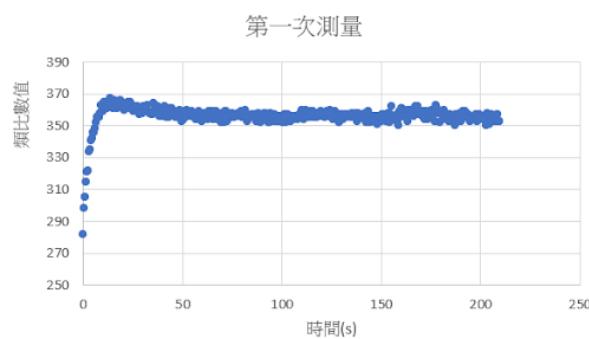
伍、綜合討論

- 我們發現在實驗進行時，周圍的環境會對洋菜凍培養基所測得的電阻值有影響，根據文獻資料可以得知，溫度越低或者濕度越高時，電阻值會變小，相反溫度越高或者濕度越低時，電阻值會越大。
- 在1~100秒的數據中，電阻值標準差較大，代表資料的數值變化量較大，起始的測量值較小，然後在最初的100秒間會逐漸增加而造成標準差較大，而在100秒以後到300秒的數據就比較穩定，基本不會有太大的起伏。因此我們多數實驗測量時，都至少測量300秒，並取用100~300秒後的數據來做結果討論與分析。

後來我們仔細查看數據變化趨勢後，發現洋菜凍電阻值變化較劇烈的期間只有在0~15秒內，在超過15秒以後就趨於穩定，我們認為是因為arduino剛開始供電的時候電流不穩定所造成的結果。

以下是我們的測試過程：

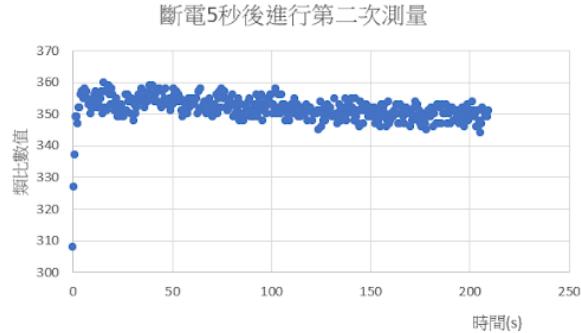
我們讓洋菜凍通電一段時間，斷電五秒後再通電，藉此測試是洋菜凍培養基本身的問題還是arduino uno版的問題，根據下圖，第一次測量時測量值在前15秒從280上升到360左右，在斷電五秒之後重新測量時，測量值在5秒內從310上升到360左右，第三次測量時在5秒內從305上升到350左右，表示類比訊號可以快速回到穩定狀態。因此我們推論造成洋菜凍電阻值在測量前幾秒內不穩定的原因是arduino uno版通電後需要一點時間才輸出穩定的直流3.3V電源而非洋菜凍或者其他因素的影響。



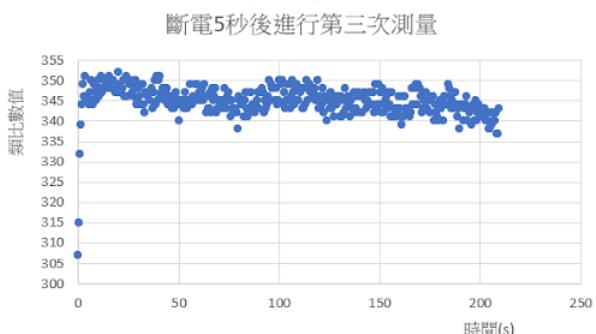
(圖37)

| | 第一次測量 | | |
|------|--------|--------|--------|
| | 100 | 200 | 300 |
| 類比數值 | 356.22 | 356.24 | 354.42 |
| 標準差 | 8.54 | 2.35 | 2.04 |
| 電阻值 | 144.61 | 144.63 | 143.10 |

(表22)



(圖38)



(圖39)

(表23)

| | 斷電5秒後進行第三次測量 | | |
|------|--------------|--------|--------|
| | 100 | 200 | 300 |
| 類比數值 | 345.56 | 344.60 | 340.91 |
| 標準差 | 4.48 | 2.59 | 2.09 |
| 電阻值 | 135.87 | 135.11 | 132.22 |

(表24)

3. 根據實驗結果可以得知，除了1:120的洋菜凍培養基以外，當洋菜凍的濃度越小時，電阻值也會越大，1:120的洋菜凍培養基的電阻值相較其他洋菜凍培養基較小的原因推測是因為溫度較低或者濕度較高的關係而影響實驗結果。
4. 根據實驗結果得知，當洋菜凍培養基的厚度越厚時，洋菜凍培養基的電阻值也越低，呈現穩定下降的趨勢，符合電阻定律中面積越大，電阻越小的性質，不過不同厚度的洋菜凍培養基之間的電阻差距不大。
5. 我們發現已發霉的洋菜凍培養基的電阻值會比未發霉的洋菜凍培養基小，並且發霉面積越多、放置天數越久，洋菜凍培養基的電阻值也會越小，認為是黴菌在生長時會改變洋菜凍的組成，可能是水分或代謝產物等等，讓洋菜凍培養基的電阻值下降。
6. 在洋菜凍培養基發霉20天左右以後，放置天數與發霉面積對洋菜凍培養基電阻

值的改變量變小，並且黴菌生長面積的變化量變小。

7. 我們為了確定要使用哪個探針距離，於是做了各種不同探針距離的實驗，根據實驗結果所示，arduino探針的距離越近，所測得的洋菜凍培養基電阻值越小，符合電阻定律中長度越短，電阻越小。
8. 我們在實驗中發現，在洋菜凍培養基發霉面積越大、程度越深時，我們所測量到的電阻值數據的標準差會隨之變小，代表我們測量到的數值越穩定。
9. 我們想透過實驗五觀察長時間測量來連續監測黴菌生長狀況，但我們發現洋菜凍培養基若一次測量太久後，所測得到的電阻值會變得較不穩定，洋菜凍外觀上也會開始出現裂痕，推測是持續通電太久造成洋菜凍被電解、破壞外觀，因此我們做了不同間隔時長通電實驗來驗證是否長時間測量真的會導致測量的電阻值變得不穩定，從實驗結果中可以發現間隔較短時間(30分鐘測一次)及長時間(360分鐘測一次)的連續測量訊號值沒有明顯差異，但兩者皆有隨時間緩慢上升的趨勢。推測即使在通電次數不多的情況下，仍會出現洋菜凍在通電後造成結構被破壞的影響。
10. 我們發現在長時間的連續測量中，洋菜凍培養基的電阻值會持續緩慢升高，我們查閱電解後造成電阻上升的相關文獻發現，也可能是因在進行電阻測量時產生的極化現象導致洋菜凍培養基的電阻值升高，極化現象是指通電時，電極周圍離子濃度、電荷分佈發生變化，導致電阻增加的現象。極化會影響導電性，使測得的電阻值變化，特別是在長時間測量或施加電壓時更明顯，可能的原因包含：
 - (1)濃度極化
當電場施加時，帶電離子會移動到電極表面進行氧化還原反應。如果離子補充速度(擴散速率)趕不上消耗速度，則電極附近的離子濃度會變低，影響導電性。這會使得溶液中的電阻變大，因為缺少足夠的離子來維持電流。
 - (2)電荷極化
當電極上累積過多的電荷時，可能會影響電子或離子的遷移能力，使導電性下降，增加測得的電阻。
 - (3)反應極化
如果電極的氧化還原反應速率受到限制，則電子或離子的傳遞可能變慢，導致電流減小，電阻變大。

11. 在測量起司片以及吐司的實驗中，我們發現在測量過程中所測得的電阻值十分不穩定，並且都是呈不規則的上下來回波動，標準差也超過5，而沒有發霉的起司片所測得的標準差比發霉的起司片還要大，我們推測會造成這種狀況的原因是因為吐司以及起司片的成分較洋菜凍複雜許多，因此在被電擊的期間會分解出其他物質才導致我們所測量得的數據變的不穩定。

陸、結論

依照我們的實驗結果討論與分析，得到以下幾點結論：

- 一、洋菜凍培養基的濃度越低，洋菜凍培養基的電阻值越高
- 二、洋菜凍培養基的厚度越厚，洋菜凍培養基的電阻值越低
- 三、兩個探針的間距越近，所測得的電阻值越小
- 四、洋菜凍培養基發霉面積越多，洋菜凍培養基的電阻值越小，發霉時間越久，洋菜凍培養基的電阻值變化量越小
- 五、洋菜凍培養基剛開始發霉時，電阻值變化量較大，在發霉接近20天後，洋菜凍培養基的電阻值變化量減少
- 六、發霉程度越嚴重，洋菜凍培養基的標準差越小

柒、未來研究與展望

一、調整食物成分比例以更了解食物發霉對電阻值的影響

因為我們只有測量了洋菜凍以及吐司、起司片發霉對電阻值的影響，沒有足夠多不同食物的數據，且在測量食物發霉對電阻值的影響時，我們觀察到電阻訊號出現來回震盪不穩定的現象。然而，目前我們尚未能明確解釋此變化的機制。我們推測，這可能與通電後食物基質內部發生的複雜化學變化有關。相較於洋菜凍，食物的組成成分更為多樣，包含水分、澱粉、糖類、油脂與蛋白質等，而這些成分的不同及比例皆可能影響導電特性。

若希望進一步應用 Arduino 感測器來偵測食物是否發霉，未來的研究方向應包括分析食物的成分，找出影響電阻值變化的關鍵因素。此外，為了更準確地理解影響機制，可以嘗試調配不同比例的澱粉、糖類、油脂與水分，以探討

各成分對電阻值的影響。透過系統性實驗與數據分析，我們或許能建立更穩定的判斷標準，提升感測器對食物發霉的識別能力。

二、設計嚴密實驗空間以控制環境因素

我們在實驗時沒有很好的控制周圍的溫度、濕度，以及黴菌生長未加以控制因此造成在不同環境下測量的數值可能會有誤差，如果能夠設計一實驗環境能維持溫度、濕度的穩定性，便可以排除這些誤差。

三、控制黴菌種類與生長程度追蹤

在本實驗中，我們讓洋菜凍在自然通風的環境下發霉，因此黴菌生長的程度時而嚴重，時而較為輕微，缺乏穩定性。未來的研究方向將著重於更精確地追蹤黴菌的種類及生長狀況，並搭建獨立的黴菌培養空間，以調控適當的溫濕度，從而探討不同環境條件對食物發霉的影響。此外，未來研究可進一步使用特定的霉菌菌種，以比較不同菌種對食物腐敗的影響，藉此提升實驗的可控性與數據的可靠性。

捌、參考資料及其他

黃瑞陽(2007)雙黴搶珠——從黴菌的競爭關係尋找生物抑制物。第六屆旺宏科學獎成果報告書

彭宇一、朱铁梅、韩国旗、呂梦熒、张昕雨(2024)低水膠比混凝土電阻率的影響因素探究。Material Sciences 材料科學, 2024, 14(7), 1059-1067

陳瑩珊、康浚維(2011)。擠『黴』弄『演』—研究麵包黴菌間的競爭關係。

【作品內圖表照片說明】

本作品『迫在「霉」睫-探討食物發霉程度對其電阻值的影響』內容所有照片、圖片、圖表，皆由作者自行拍攝、繪製。