

# 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高級中等學校組 農業與食品學科

052205

探究食品添加劑在糯米粉糰中的增塑效果

學校名稱：國立臺南女子高級中學

作者： 高二 黎玟彤 高二 陳妍均	指導老師： 陳俊佑 林威昇
-------------------------	---------------------

關鍵詞：塑化、食品添加劑、氫鍵

## 摘要

為了解含氫鍵的食品添加劑對糯米粉糰所造成的塑化效應影響，自製拉伸機探討。於文獻探討中，我們找到了數篇文獻也在探討添加物對澱粉延展影響的問題，不過其製備方式略有不同。其一為將澱粉混合並熱壓做成薄膜；另一為將澱粉配置成凝膠液。我們基於可製成食品的方向進行研究，目前所得研究成果與論文的情形相似，氫鍵確實會影響澱粉團的能承受張力，冷卻情形也是變因。其中，添加劑劑量增加可達增塑效果。冷卻時間越長，麵條越脆弱，彼此間能承受的張力差也越大。冷卻溫度降低則使麵條所能承受的張力提高。

## 壹、研究動機

過去學校化學相關課程曾經提到，甘油分子間因為氫鍵的關係具有極大作用力，也因此擁有良好的黏滯性。查詢相關資料時，發現有一則論文提及：「Lourdin, Bizot, and Colonna (1997a) reported that glycerol at a content below 12 wt.% could decrease the ductility of potato starch film; when the amount of glycerol exceeded 12%, however, the ductility increased. [1]」但若結合以往做湯圓時的經驗則會發現，在糯米粉糰中添加越多的水，糯米粉糰質地越柔軟，可塑性越佳。水和甘油之間皆具有極強的氫鍵，但添加於食品卻產生截然不同的效果，對此感到非常困惑。又發現，這篇論文的實驗方法和一般食品的製程並不相同，直接把澱粉團中的水分完全烘乾。為了得知實際上於澱粉添加甘油時所造成的影響，設計實驗來探討究竟結果為何。

## 貳、研究目的及研究問題


- 一、探討糯米粉糰從材料力學角度之分析結果
  - 二、探討冷卻時間對張力造成的影響
  - 三、探討冷卻溫度對張力造成的影響
  - 四、在添加單一添加劑不同添加量下添加劑對麵糰張力的影響探討
- 以張力探討澱粉的相關文獻: [2]、[3]、[4]

## 參、研究設備及器材

### 一、實驗藥品及器材

#### 實驗器材和藥品

<p>甘油 (glycerol), 鳥久製藥 99.9%</p>	<p>木糖 (D-(+)- Xylose), 98%</p>	<p>甘露醇 (D- Mannitol), 98%</p>	<p>糯米粉 (Glutinous rice flour)</p>
 <p>作為添加劑</p>			 <p>澱粉</p>
<p>針筒</p>	<p>燒杯、撈網、載玻片、鑷子和剪刀</p>		
			
<p>擠麵用</p>	<p>調整、固定、修剪烹煮後麵條</p>		

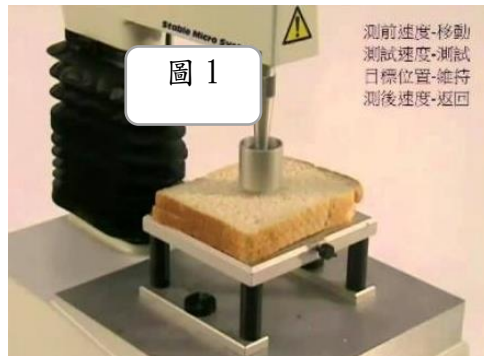
滑車	水瓶	壓克力片及螺絲	熱熔槍
			
提供拉力 作為距離標的	提供拉力	固定麵條， 供測距儀偵測	固定儀器
定滑輪		研鉢	磅秤
			
固定繩子高度		攪拌用	秤重

## 二、實驗設備

### (一)自製施力量測 Arduino 機台之原型及目的

翻閱以往和食品科學相關的科展，可以發現大部分在數據與量化的方面，往往顯得較為薄弱，有些案例甚至只有官能品評的紀錄，顯得可信度不足。

因此在決定開始研究這個題目的時候，我們希望能夠藉由量測、量化實驗得到的結果，進行有意義的分析。我們希望在研究時可以和其他材料力學相關的資料比較，並確認澱粉糰的添加物是否會因為氫鍵而造成張力的影響。我們參考了一些期刊文獻的研究過程中量測數據的方式。由於想引用其資料做借鏡及對比，因此採用了拉力測量，而非一般食品研究使用的質構儀(圖 1)。



#### 1. 市售拉伸機(圖 2)的原理

(1)透過測力感測器、擴大器和資料處置系統測量拉力。根據虎克定律，在輕微變形時，一個彈性物體某一點的應變  $\epsilon$  與彈性物體所受的力成正比。以 S 型試驗機感測器為例，當感測器受到拉力 P 的影響時，因為彈性物體貼有應變片，應變片連接至測量電路中，就可以經由測由它輸出的電壓測出物體當下受力的大小。

(2)形變的測量是藉由兩夾具之間間隔變化帶動光電編碼器的軸扭轉，光電編碼器輸出脈衝，再由處置器對此燈號進行處置得出試樣的變形量。

#### (二) 自製拉伸機的測量方式

圖 3 為機台全體，圖 4 為為拉伸前樣貌，圖 5 為運作施力分析



圖 3



圖 4

以水瓶的重力藉由定滑輪轉向拉動滑車和繩條

$$m_{瓶} \times G = F = (m_{瓶} + m_{車}) \times a_{瓶 \& 車} + (m_{繩條}) \times a_{繩條} + 摩擦力$$

繩條受力為  $\sqrt{\text{水平拉力}^2 + \text{重力}^2}$

由繩條受拉伸時接近水平  
得知重力影響甚微  
測得拉力近水平拉力

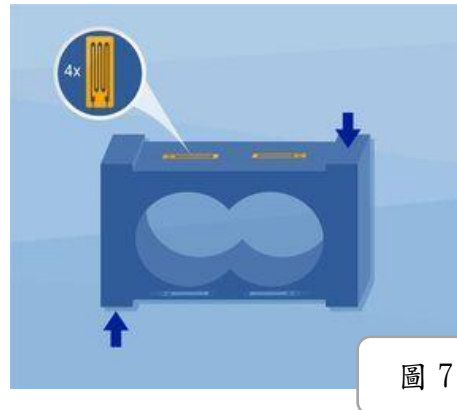
圖 5

### (三)組成介紹

#### 1.硬體部分

##### (1).秤重感測器結構和功能

秤重傳感器是 Arduino 經常搭配的感測器模組之一，主體是長條狀中有空洞灰色金屬「彈性體」以彈性體上四塊極小的電導體「應變片」及 4 條連接而出的數據及電源線(如圖 6)



金屬的選擇可能是鋼或是鋁，如名字「彈性體」，他們會在負載重量下產生一定的形變。但每次變形後會返回到初始位置，能夠彈性回應許多次的負載。

實際上由於通電的關係，秤重傳感器的內部呈現一個惠司同電橋的狀態。當應變體產生微弱的形變，這些形變會拉長或縮短應變片內的電阻，導致回流的電流改變(如圖 7)。計算電流差值，並回推計算就可以取得形變量。

由於彈性體可能是鋁或鋼，秤重感測器的一個特點是環境有著決定性的作用。溫度的改變對金屬造成明顯的影響，熱漲冷縮會影響他們的原始長度，進而影響到計算時的誤差。所以應待在一個溫度相差不大的地區進行實驗，或者有相對的校正程序。

此外彈性體材質會影響適合承載的重量以及精度，所以應該選擇適合的量級以得到較精確的結果。

##### (2).超音波測距儀(HC-SR04)(見圖 8)

接線方式：

HC-SR04 超音波 →Arduino 主控板，

VCC → +5V

trig (控制端) → 任意 Digital Pin

echo (接收端) → 任意 Digital Pin



GND（接地端） → GND

偵測距離:輸入 DC5V 時、偵測距離 2cm~450cm

HC-SR04 超音波主要分成很簡易的三個部分：超聲波傳送孔、超聲波接收孔、數據傳輸板。使用上將尾端數據以及電流的四個接點連結到 **Arduino** 上即可。實際上的內部運作是：超聲波板先發送 8 個訊號，然後等待接收訊號回波。於收到時計算回波來回所花費的時間，再依照公式轉換成距離。

### (3).滑車(trochlea)

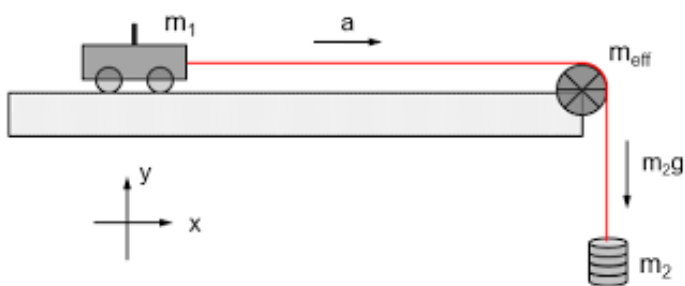


圖 9

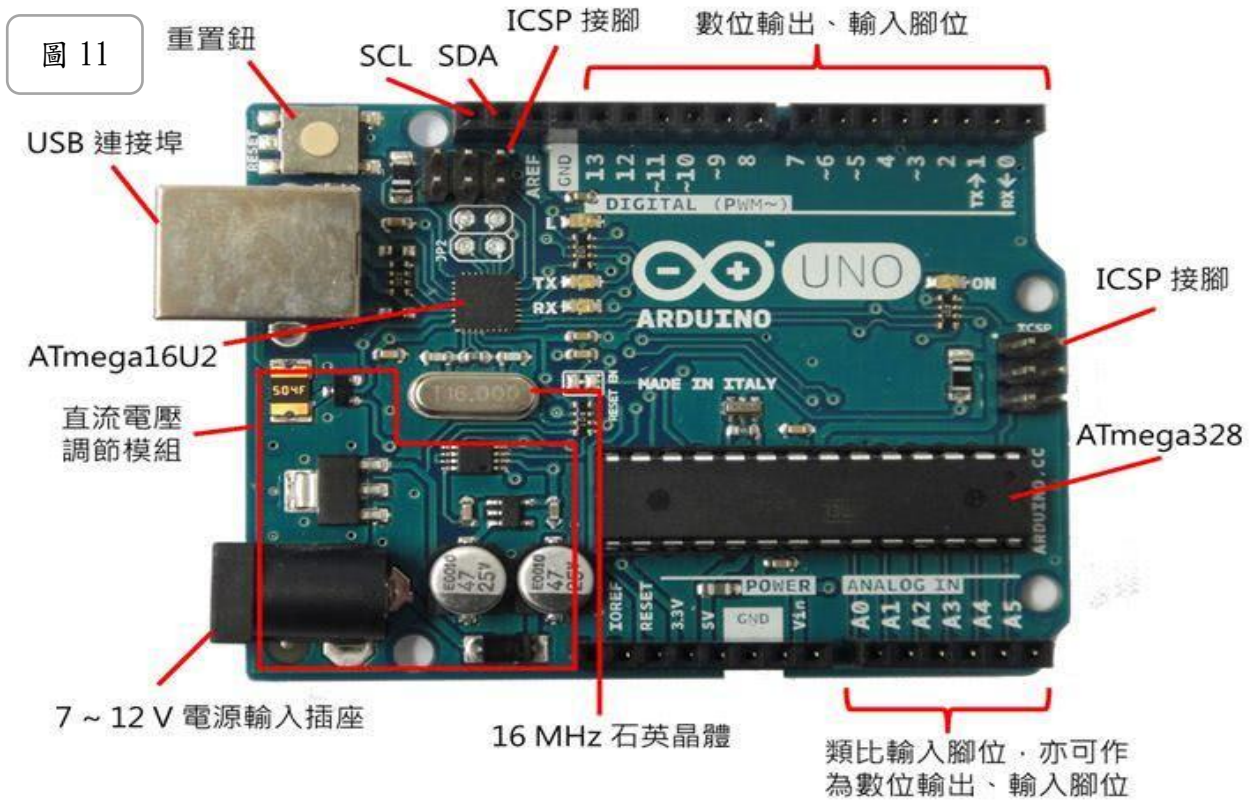


圖 10

量測的麵條十分纖細，所能承受的力量也非常小，很容易因為施力過大導致麵條從被拉伸到斷裂的時間太過短暫，不利儀器記錄實驗情形。所以我們使用滑車對其施以定力，讓麵條施以微小的力量緩慢地拉開，則儀器可以清晰地記錄麵條被拉伸的情形。此外有些實驗所需拉力較大，因此滑車後面吊掛輕型可調整重量水瓶(二十公克)(如圖 9、10)的方式施予拉力。



#### (4).Arduino



一種實用、便宜、體積小巧並且開放修改權限，讓大家都能夠修改使用的微型控制器。主要的優點是編寫容易，並且可以在網路上找到大量的函式庫。這次我們實驗機台中使用的是 UNO 版本(如圖 11)。

#### 2.軟體部分

##### (1).歸零校正及實際測量

由於上述介紹的秤重感測器特性，每次開始一輪實驗前都需要統一的校正，以確保數據換算出來的拉力數值是正確的。

實際測量時我們同時組裝超聲波測距及秤重傳感器的程式包，共同組合成我們測量所需要的程式。在正確的時間呼叫他們，讓程式可以同時顯示出拉力及長度，並另外加裝程式碼外掛使他們可以輸入 excel 試算表。

註:程式碼及其他詳見附錄

## 肆、研究過程及方法

研究過程或方法及進行步驟如流程圖 1

### 一、文獻探討

#### (一)直鏈澱粉及支鏈澱粉

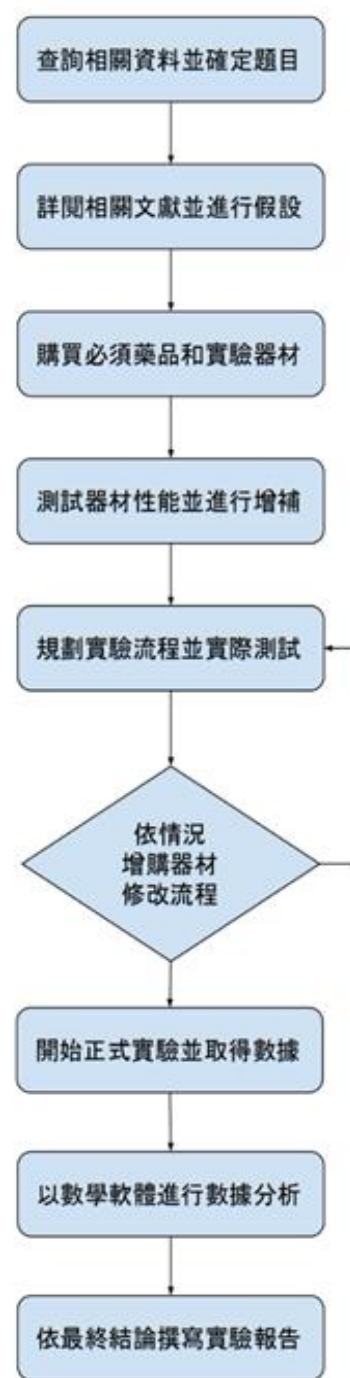
實驗一開始遇到的問題就是要挑什麼澱粉作為研究主題，根據文獻中所述「Firstly, the rapid recrystallization of single helical structures of amylose occurs after processing. Secondly, a slower development of the crystallization of amylopectine occurs (Van Soest et al., 1997). [5]」由於直鏈澱粉老化的速率十分的快，實驗儀器沒有辦法負荷太短的時間尺度，同時因直鏈澱粉比支鏈澱粉接觸水的表面積大，比支鏈澱粉容易溶於溫水，溶解之後黏度比較低、較不呈糊狀的特性。於是我們挑選了支鏈澱粉比例很高的糯米澱粉(見表 1) [6] 希望可以降低這些因素的造成的影響。並且每次調配完開始實驗用的麵糰，我們都盡快地在 40 分鐘內就完成實驗，只要超過 40 分鐘，我們就會捨棄該組數據。

表 1

直鏈-支鏈比例/澱粉種類	直鏈澱粉	支鏈澱粉
糯米粉	3~8%	92~97%
玉米澱粉	33.85%	66.15%

#### (二)水的增塑

根據文獻：「The development of a plasticized starch requires the addition of high (25–30 wt.%) plasticizer content. Water remains the best natural plasticizer, but starch being very hydrophilic, its moisture content strongly depends on the storage conditions, Schmitt 等(2015) [7]」及「A clear increase in percentage elongation of films with increasing water and/or polyol contents was



流程圖 1

observed. These results should be attributed to the plasticization of the hygroscopic polymer matrix by water in agreement with previous publications (Lawton and Fanta, 1994 [ 8 ] ; Lawton,1996 [ 9 ] ; Hosene, 1994 [ 10 ] ; Christensen et al., 1982 [ 11 ] ; Bader and Gortiz, 1994 [ 12 ] ). In this respect, natural polymers behave similarly to synthetic polymers which are sensitive to moisture absorption (Okaya, 1992) [ 13 ] .」所述，水可作為增塑劑探討。不過本實驗中麵粉糰製作時就已將水作為控制變因，所以不討論水造成的影響。

### (三)增塑劑的選擇

參考文獻：「The nature and the composition of the plasticizersystem (including water) greatly affect the transformation of gran- ular starch into a homogenous thermoplastic phase (Hulleman, Janssen, & Feil, 1998 [ 14 ] ) but also the glass transition temperature ( $T_g$ ) of the final material (Shi et al., 2007) [ 15 ] 」及「Observed discrepancies between the empirical (group contribution theory) and experimental values might be explained by the following: accessibility of polar groups (EH), the geometry of the voids in the polymer matrix, and the relative strengths of water—water, water—polyol versus the polymer—water and polymer—polyol compo- site blends (Mueller-Plathe, 1991 a,b, 1992). [ 16 ] [ 17 ] [ 18 ] 」所述，我們在眾多的含氫鍵食品添加劑選擇了木糖、甘油及甘露醇。不同增塑劑的性質可能影響是我們選擇木糖的原因，而甘油及甘露醇則屬於多元醇。

## 二、材料及名詞介紹

增塑劑:使被添加物質具有柔軟、易於彎曲、摺疊、彈性佳、黏性好的性質而易於塑形的添加劑亦可能使材料液化。

甘露醇(木蜜醇): $C_6H_{14}O_6$ ，白色結晶固體，是一種己六醇，可以作為甜味劑，無吸濕性。一分子含有六個羥基，於水中的溶解度為 216 g/L。可食品添加。

甘油(丙三醇): $C_3H_5(OH)_3$ ，無色無臭、有甜味的黏性液體，沸點為  $290^{\circ}C$ 。一分子含有三個羥基，可以和水以任何比例互溶，吸水性很強。可食品添加。

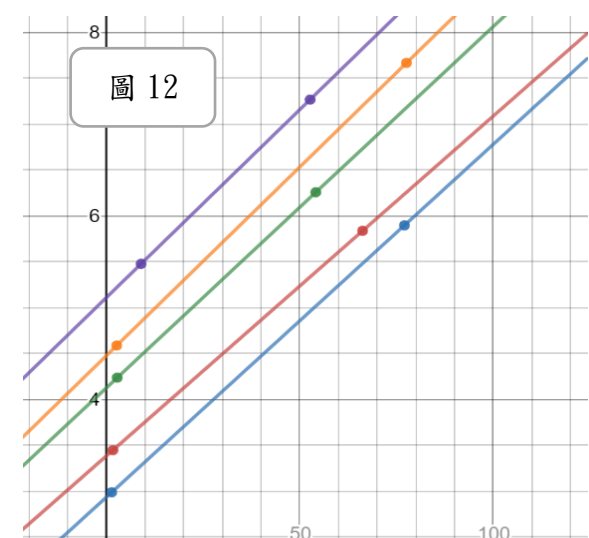
木糖: $C_5H_{10}O_5$ ，是一種戊醛糖，為白色細針狀結晶或結晶性粉末。一分子含有四個羥基，於水中的溶解度為 512.4 g/L 可食品添加。

氫鍵:氫鍵是分子間作用力的一種，是一種永久偶極之間的作用力，氫鍵發生在已經以共價鍵與其它原子鍵結合的氫原子與另一個電負度大的原子(如:F、O、N)之間，其鍵能最大約為 200kJ/mol，一般為 5-30kJ/mol，比一般的共價鍵、離子鍵和金屬鍵鍵能要小，但強於靜電引力。

### 三、前置實驗及試驗

#### (一)機器驗證





為了證明自製儀器所測得的數據可信，我們進行了一組實驗，以自製系統拉伸橡皮筋，藉由所得數據換算 K 值。數據證明，自製儀器的精度足夠，可以用於實驗取得數據。



同一條橡皮筋在不同原始長度及拉力下所求得之長度(x 軸)對拉力(y 軸)圖中所有的直線斜率十分相近(誤差在 3%左右)斜率(彈性係數)相等(如圖 12)故證明機器重現性高

(一)前期有關調製麵團比例的嘗試(如表 2)

表 2

			
完全呈現散粉狀態，無法成形	可以觀察到小粉團，仍未成形	可以勉強成型，會有粉末掉落	完全成型，足夠柔軟得以塑形

### (三)先導實驗

#### 先導實驗簡介

#### 初版實驗步驟：

- 1.在研鉢中量取七公克的水
- 2.加入該次實驗所需添加物
- 3.直接加入十公克重糯米粉
- 4.將粉糰迅速以手混合均勻
- 5.將麵糰搓成平滑圓球烹煮
- 6.將煮熟的麵粉糰撈出放涼
- 7.以木製模具壓製麵團定型(如圖 15)
- 8.等待至五分鐘以機器拉伸(如圖 13)

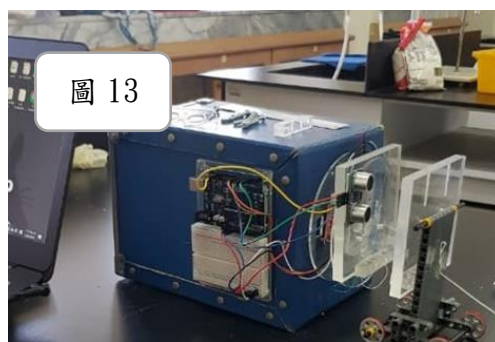


圖 13



圖 14



圖 15

#### 初版實驗可疑情形:

測試用添加劑未完全溶於水便直接加入糯米粉時搓揉會有顆粒感，這表示有可能會因此混和不均勻。搓成圓球烹煮的時候很難控制球的形狀，而且圓不圓難以量化，搓揉的時間也頗長，水分殘留在手套上的情形很明顯。

螢幕字模具將糯米粉團定型的時候，因為糯米粉團已經煮過了，有很明顯的彈性，難以定型，總是有某些部分比較纖細，截面積難以固定。

### 四、研究進行步驟

綜合以上先導實驗的結果，提出了許多修正。

#### (一)調製並烹煮添加各類添加劑的麵糰

- 1.量取 7 公克重的蒸餾水
- 2.依照該次實驗添加添加物
- 3.以刮勺將添加物和蒸餾水攪拌均勻

4.加入 10 公克重的糯米粉

5.將糯米粉和添加物水溶液混合均勻並置入針筒

6.將麵團從針筒中擠出並放入沸水中烹煮一分鐘

(二)測量該次麵糰的各項性質

1.將麵條平行且不延長地放置於載玻片上，

左右超出玻片各 0.5 公分，其餘剪去

2.將麵條一端架上滑車上的壓克力支架，

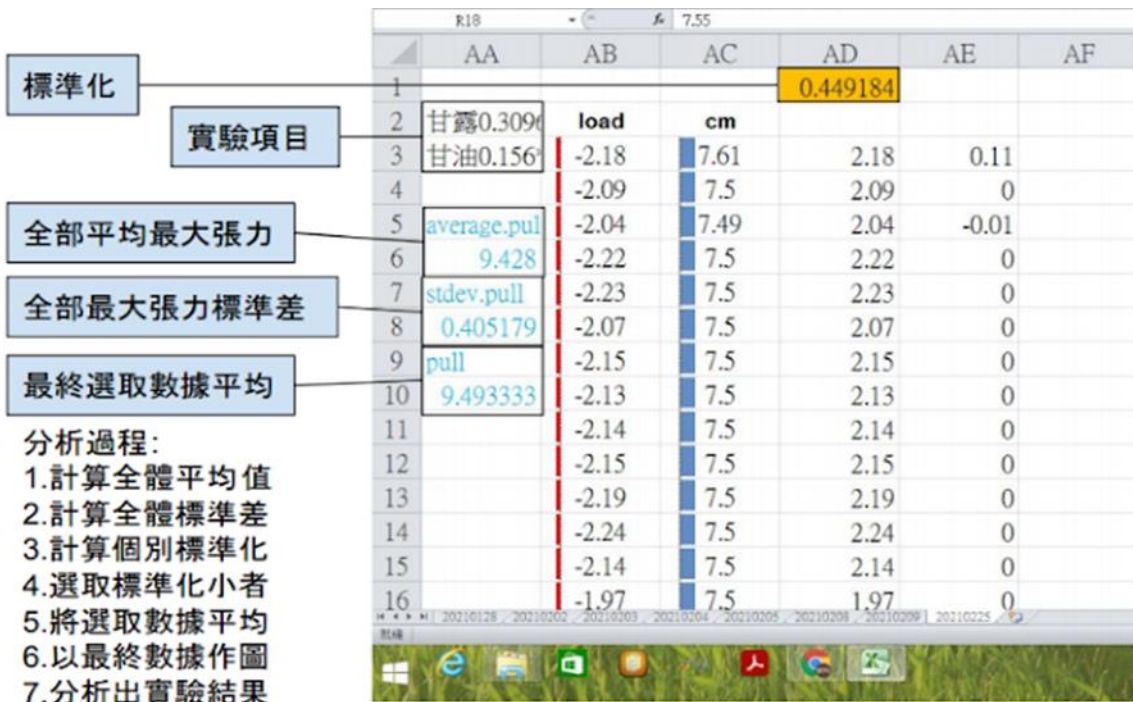
一端架上連接了拉力測量版的壓克力支架

3.靜置放涼，等待水分揮發直到 3 分鐘又 5 秒

4.放開固定中的滑車，使麵條被拉伸直至斷裂

(三)分析實驗數據

0.6	-0.05039				-0.47027				-0.05039				1.62916				-1.05811			
load	cm	load	cm	load	cm	load	cm	load	cm	load	cm	load	cm	load	cm	load	cm	load	cm	
-8.81333	-1.76	7.89	1.76	-0.14	-1.6	7.84	1.6	0	-2.1	8.54	2.1	0.51	-1.89	7.71	1.89	-0.37	-1.79	7.79	1.79	-0.05
-1.73	7.98	1.73	-0.05	-1.56	7.86	1.56	0.02	-2.16	7.96	2.16	-0.07	-2	8.01	2	-0.07	-1.74	7.79	1.74	-0.05	
average.pu	-1.74	7.96	1.74	-0.07	-1.71	7.84	1.71	0	-2.17	7.96	2.17	-0.07	-2.03	8.01	2.03	-0.07	-1.69	7.79	1.69	-0.05
8.836	-1.73	7.5	1.73	-0.53	-1.74	7.38	1.74	-0.46	-2.14	8.44	2.14	0.41	-2.01	7.61	2.01	-0.47	-1.71	7.37	1.71	-0.47
stdcv.pull	-1.76	7.98	1.76	-0.05	-1.64	7.37	1.64	-0.47	-2.21	8.03	2.21	0	-2.08	7.61	2.08	-0.47	-1.78	7.84	1.78	0
0.11908	-1.69	7.96	1.69	-0.07	-1.67	7.38	1.67	-0.46	-2.07	8.03	2.07	0	-2.18	7.61	2.18	-0.47	-1.72	7.84	1.72	0
pull	-1.77	7.96	1.77	-0.07	-1.71	7.84	1.71	0	-2.03	8.03	2.03	0	-2.19	7.62	2.19	-0.46	-1.64	7.84	1.64	0
8.813333	-1.75	7.96	1.75	-0.07	-1.69	7.38	1.69	-0.46	-2.22	8.03	2.22	0	-2.11	7.61	2.11	-0.47	-1.69	7.84	1.69	0
	-1.78	7.96	1.78	-0.07	-1.61	7.37	1.61	-0.47	-2.25	8.03	2.25	0	-1.96	7.62	1.96	-0.46	-1.8	7.84	1.8	0
	-1.85	7.96	1.85	-0.07	-1.63	7.37	1.63	-0.47	-2.24	8.03	2.24	0	-1.89	8.03	1.89	-0.05	-1.71	7.84	1.71	0
	-1.84	7.98	1.84	-0.05	-1.71	7.37	1.71	-0.47	-2.17	8.03	2.17	0	-2	7.61	2	-0.47	-1.73	7.38	1.73	-0.46
	-1.83	7.96	1.83	-0.07	-1.62	7.37	1.62	-0.47	-2.11	8.01	2.11	-0.02	-2.03	7.61	2.03	-0.47	-1.7	7.37	1.7	-0.47
	-1.9	8.03	1.9	0	-1.57	7.37	1.57	-0.47	-2.26	8.01	2.26	-0.02	-2.07	7.61	2.07	-0.47	-1.65	7.84	1.65	0
	-1.94	8.03	1.94	0	-1.64	7.38	1.64	-0.46	-2.21	8.44	2.21	0.41	-2.14	8.03	2.14	-0.05	-1.7	7.38	1.7	-0.46
	-1.83	7.55	1.83	-0.48	-1.67	7.38	1.67	-0.46	-2.17	8.44	2.17	0.41	-2.05	7.61	2.05	-0.47	-1.79	7.84	1.79	0
	-1.67	8.03	1.67	0	-1.62	7.37	1.62	-0.47	-2.08	8.44	2.08	0.41	-1.92	8.03	1.92	-0.05	-1.75	7.84	1.75	0
	-1.79	7.55	1.79	-0.48	-1.6	7.37	1.6	-0.47	-2.07	8.44	2.07	0.41	-2.02	7.61	2.02	-0.47	-1.71	7.84	1.71	0
	-1.91	7.55	1.91	-0.48	-1.56	7.37	1.56	-0.47	-2.06	8.03	2.06	0	-2.13	7.61	2.13	-0.47	-1.69	7.86	1.69	0.02
	-1.87	8.03	1.87	0	-1.73	7.37	1.73	-0.47	-2.13	8.44	2.13	0.41	-2.06	7.61	2.06	-0.47	-1.68	7.84	1.68	0
	-1.83	8.03	1.83	0	-1.69	7.38	1.69	-0.46	-2.16	8.44	2.16	0.41	-1.93	7.62	1.93	-0.46	-1.78	7.84	1.78	0
	-1.81	8.03	1.81	0	-1.58	7.38	1.58	-0.46	-2.16	7.98	2.16	-0.05	-1.93	8.03	1.93	-0.05	-1.83	7.37	1.83	-0.47
	-1.83	8.01	1.83	-0.02	-1.64	7.79	1.64	-0.05	-2.11	8.44	2.11	0.41	-1.96	7.61	1.96	-0.47	-1.78	7.37	1.78	-0.47
	-1.76	8.03	1.76	0	-1.59	7.79	1.59	-0.05	-2.12	7.98	2.12	-0.05	-1.98	8.03	1.98	-0.05	-1.67	7.79	1.67	-0.05
	-1.78	8.03	1.78	0	-1.66	7.84	1.66	0	-2.19	8.01	2.19	-0.02	-1.96	8.08	1.96	0	-1.58	7.84	1.58	0
	-1.75	8.03	1.75	0	-1.66	7.84	1.66	0	-2.22	8.44	2.22	0.41	-1.95	8.08	1.95	0	-1.64	7.84	1.64	0
	-1.67	8.03	1.67	0	-1.79	7.84	1.79	0	-2.22	8.03	2.22	0	-1.97	8.08	1.97	0	-1.64	7.86	1.64	0.02
	-1.72	8.03	1.72	0	-1.78	8.08	1.78	0.24	-2.18	8.08	2.18	0.05	-2.03	7.67	2.03	-0.41	-1.69	7.84	1.69	0
	-1.75	8.03	1.75	0	-1.74	8.68	1.74	0.84	-2.01	8.08	2.01	0.05	-2.05	8.15	2.05	0.07	-1.67	7.84	1.67	0
	-1.89	8.08	1.89	0.05	-1.77	10.09	1.77	2.25	-2.09	8.08	2.09	0.05	-2.13	7.84	2.13	-0.24	-1.76	7.84	1.76	0
	-1.79	8.34	1.79	0.31	-1.97	11.4	1.97	3.56	-2.11	8.08	2.11	0.05	-2.04	8.61	2.04	0.53	-1.78	7.91	1.78	0.07
	-1.87	8.8	1.79	0.77	-2.42	12.51	2.42	4.67	-2.18	8.2	2.18	0.17	-2.11	9.2	2.11	1.12	-1.83	7.91	1.83	0.07
	-1.87	8.68	1.87	1.65	-3.42	14.29	3.42	6.45	-2.3	8.61	2.3	0.58	-2.29	10.16	2.29	2.08	-1.76	7.96	1.76	0.12
	-2.03	10.86	2.03	2.83	-4.54	16.25	4.54	8.41	-2.33	10.26	2.33	1.23	-2.56	11.86	2.56	3.78	-1.66	8.2	1.66	0.36
	-2.63	12.28	2.63	4.25	-5.63	18.24	5.63	10.4	-2.41	10.28	2.41	2.25	-3.29	12.93	3.29	4.85	-1.62	8.73	1.62	0.89
	-3.74	18.88	3.74	5.85	-6.66	20.26	6.66	12.42	-2.55	11.57	2.55	3.34	-4.14	15.13	4.14	7.05	-1.82	10.09	1.82	2.25
	-4.87	16.06	4.87	8.03	-7.48	22.7	7.48	14.86	-3.15	13.58	3.15	5.55	-5.15	16.95	5.15	8.87	-2.04	10.87	2.04	3.03
	-5.98	14.44	5.98	9.41	-7.97	24.35	7.97	16.51	-4.03	15.36	4.03	7.33	-6.32	18.38	6.32	10.3	-2.3	12.81	2.3	4.97
	-6.85	12.21	6.85	11.18	-8.4	26.42	8.4	18.58	-5.16	16.78	5.16	8.75	-7.32	20.26	7.32	12.18	-2.96	14.12	2.96	6.28
	-7.71	10.03	7.71	13	-8.74	28.96	8.74	21.12	-6.29	19.09	6.29	11.06	-8.04	22.15	8.04	14.07	-4	16.01	4	8.17
	-8.31	22.77	8.31	14.74	-8.78	31.1	8.78	23.26	-7.41	21.03	7.41	13	-8.55	23.04	8.55	15.86	-5.32	18.36	5.32	10.52
	-8.68	24.53	8.68	16.5	-8.52	33.38	8.52	25.44	-8.19	22.7	8.19	14.67	-8.88	25.78	8.88	17.7	-6.59	19.86	6.59	12.02
	-8.83	26.37	8.83	18.34	-8.19	35.17	8.19	27.33	-8.59	24.3	8.59	16.27	-9.03	28.14	9.03	20.06	-7.52	22.77	7.52	14.43
	-8.86	28.21	8.86	20.18	-7.5	37.84	7.5	30	-8.83	25.9	8.83	17.87	-8.75	29.86	8.75	21.78	-8.14	24.13	8.14	16.29
	-8.76	29.98	8.76	21.95	-3.86	40.27	3.86	32.43	-8.67	27.14	8.67	19.11	-7.6	31.99	7.6	23.86	-8.5	25.61	8.5	17.77
	-8.71	31.89	8.71	23.86	-1.03	44.24	1.03	36.4	-8.55	29.38	8.55	21.35	-3.38	35.12	3.38	27.04	-8.71	27.68	8.71	19.84
	-8.46	33.76	8.46	25.73	-1.07	44.77	1.07	36.03	-8.11	31.06	8.11	23.6	-1.46	38.25	1.46	30.17	-8.56	30.03	8.56	22.19
	-7.7	35.31	7.7	27.28	-1.17	43.66	1.17	35.2	-4.77	33.59	4.77	25.56	-1.72	40.92	1.72	32.84	-1.89	32.75	1.89	24.91
	-6.21	37.58	6.21	29.52	-1.26	44.34	1.26	36.4	-1.81	36.29	1.81	28.26	-1.71	43.28	1.71	34.2	-0.92	35.76	0.92	27.92
	-2.58	40.41	2.58	33.38	-1.3	44.7	1.3	36.86	-1.86	39.37	1.86	31.34	-1.73	43.71	1.73	35.99	-0.89	39.03	0.89	31.19
	-1.54	43.3	1.54	38.77	-1.45	44.7	1.45	36.86	-1.88	42.52	1.88	34.49	-1.63	45.95	1.63	38.57	-0.95	42.48	0.95	34.62
	-1.51	44.88	1.51	36.85	-1.35	44.65	1.35	36.11	-1.99	44.22	1.9	36.19	-1.54	43.76	1.54	35.68	-1.13	44.7	1.13	33.86
	-1.42	44.07	1.42	36.04	-1.37	44.12	1.37	36.28	-1.86	44.46	1.86	36.43	-1.59	44.17	1.59	36.19	-1.21	43.71	1.21	35.57
	-1.45	44.12	1.45	36.09	-1.41	42.52	1.41	34.68	-1.97	44.34	1.97	36.31	-1.66	44.19	1.66	36.11	-1.16	44.24	1.16	36.4
	-1.51	44.61	1.51	36.58	-1.21	44.71	1.21	36.87	-1.88	44.41	1.88	36.38	-1.65	44.1	1.65	36.02	-1.11	44.29	1.11	36.45
	-1.36	44.02	1.36	35.99	-1.3	45.12	1.3	37.28	-1.87	44.12	1.87	36.09	-1.62	43.71	1.62	35.63	-0.96	44.48	0.96	36.64
	-1.3	44.42	1.3	36.09	-1.35	44.29	1.35	36.15	-1.85	44.07	1.85	36.04	-1.52	43.76	1.52	35.68	-1.05	44.71	1.05	36.87
	-1.53	41.77	1.53	33.74	-1.33	44.7	1.33	36.86	-1.86	44.94	1.86	36.91	-1.56	44.94	1.56	36.86	-1.1	44.66	1.1	36.82
	-1.56	44.37	1.56	36.34	-1.48	45.05	1.48	37.21	-1.78	44.95	1.78	36.92	-1.54	43.64	1.54	35.56	-1.04	44.65	1.04	36.81



## 伍、結果及討論

### 一、實驗結果

#### (一)從應力應變曲線探討糯米糰之力受力狀況

#### 應力應變曲線

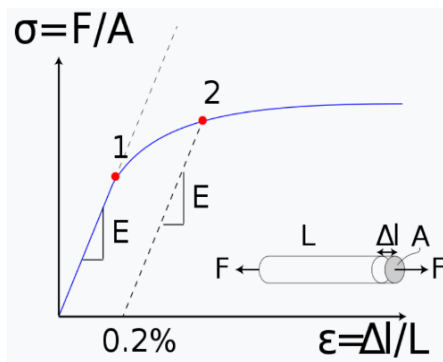


圖 16

以上為其他學術資料中的應力應變曲線和我們所測得的應力應變曲線。

應力應變曲線是材料力學用以分析材料性質的一種方式。其座標的 x 軸為應力，座標的 y 軸為應變。應力為物體受拉力時產生的反作用力，應變則是物體受拉力時形變的情形。在應力應變曲線圖中，我們可以粗略的分辨物體是延性或脆性材料。脆性材料受到拉伸時，沒有

明顯長度變化就已經斷裂，如圖 16 的紅線；延性材料則相反，受到拉伸時會產生頸縮--截面積變小(也就是變細)

頸縮的現象在應力應變曲線上的表示的部分也很明顯--就是峰值後在下降卻仍沒有斷裂的一小段，又在我們對實驗過程的錄影中，很明顯地看到了糯米條都會產生頸縮的現象。

在圖 17 的自製儀器數據分析報告中，我們也清楚地看到了這一點，側面證明了我們的儀器是有效的，精度也達到一定標準。

## (二)以時間為變因之實驗的結果

以烹煮後的放置時間為操縱變因實驗若干次後，得到了放置時間越長，平均拉力越小且拉力標準差越大的結果。換句話說，麵條會隨著冷卻放置時間加長變得越來越脆弱和不穩定(見表 3)。

表 3

放置時間(分鐘) <sup>↵</sup>	2 <sup>↵</sup>	3 <sup>↵</sup>	4 <sup>↵</sup>
拉力(公克) <sup>↵</sup>	8.986 <sup>↵</sup>	8.582 <sup>↵</sup>	7.768 <sup>↵</sup>
拉力標準差 <sup>↵</sup>	0.537708 <sup>↵</sup>	0.585935 <sup>↵</sup>	0.817845 <sup>↵</sup>

根據以下文獻推測，這樣的情形和麵糰老化和再結晶是相關的。

「Dynamical mechanical analysis (DMA) yields a decrease of the peak intensity 「 of loss factor with aging time, H. Schmitt, A. Guidez, K. Prashantha\*, J. Soulestin, M.F. Lacrampe, P.Krawczak(2015). [ 19 ] 」

「 During storage, water/polyols plasticized starch can undergo recrystallization phenomena, named retrogradation. The retrogradation is a practical issue because it affects the quality and self life of final products (Delville, Joly, Dole, & Bliard, 2003; Tako, Tamaki, & Konishi, 2008) [ 20 ] 」

「 For instance, it can lead to opacity and hardening of the material and eventually decreases the elongation, at break (Smits, Ruhnau, & Vliegthart, 1998; Yu, Prashantha, Soulestin, Lacrampe, & Krawczak, 2013) [ 21 ] 」



「. The retrogradation is mainly due to internal stresses in the material caused by the difference in the rearrangement rate of starch molecules, H. Schmitt, A. Guidez, K. [ 22 ] 」

### (三)以溫度為變因之實驗的結果

因為一次偶然的機會(嚴重的寒流，氣溫和上一次實驗相差九度)我們做了以冷卻溫度為變因的實驗。發現冷氣溫度越低，麵條冷卻後所能承受的張力越大。由於相關實驗數據仍不夠充足，兩者間的準確關聯目前仍不清楚。數據見(表 4)

表 4

溫度(攝氏)	exp1	exp2
23	9.19	8.443333
14	10.263333	9.386667

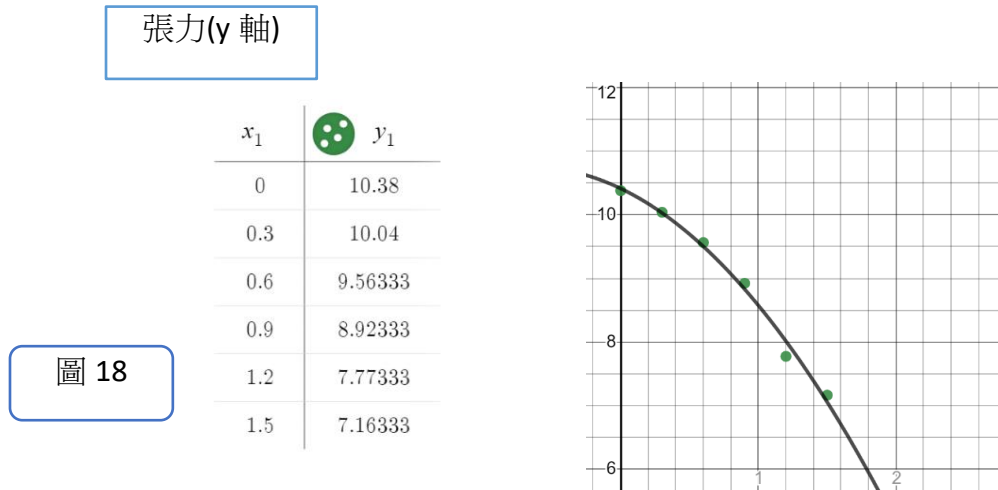
### 四、探討在添加單一添加劑不同添加量下添加劑對麵糰張力的影響

實驗過程中，每一組數據的產生過程是相同的，如下:

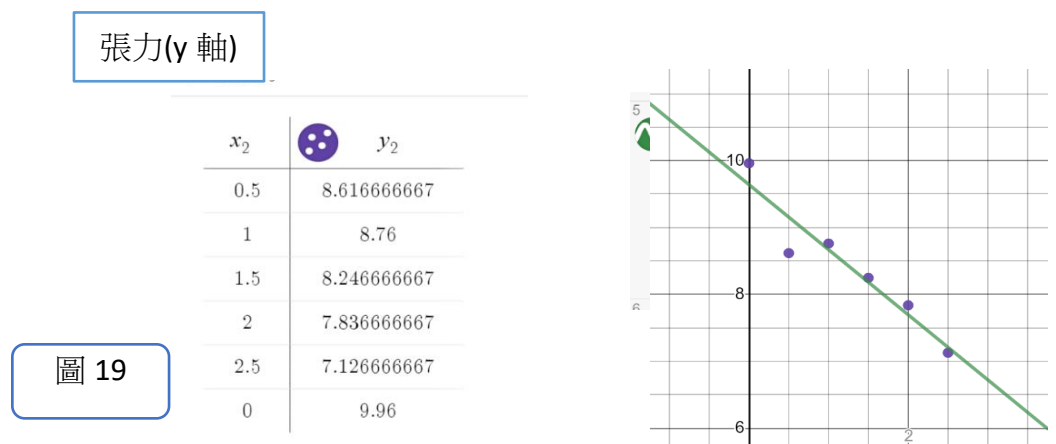
先按照適當的比例將糯米粉及各成份調成麵糰並將其塞入針筒，並蓋上蓋子以防水份散失。從針筒中擠出一條麵條並以沸水煮之，靜置至三分五秒後，量測其物理性質之相關數據。以上步驟重複五次，取得五個數據，再依上文中提及的計算方式取得一數據點。故同一數據點的麵條來自同一次製造的麵團。

在經過相關的六組實驗之後，可以取得一條完整數據線。換句話說，一條數據線包含六組實驗數據，是由三十個單一數據經由計算取得的結論。

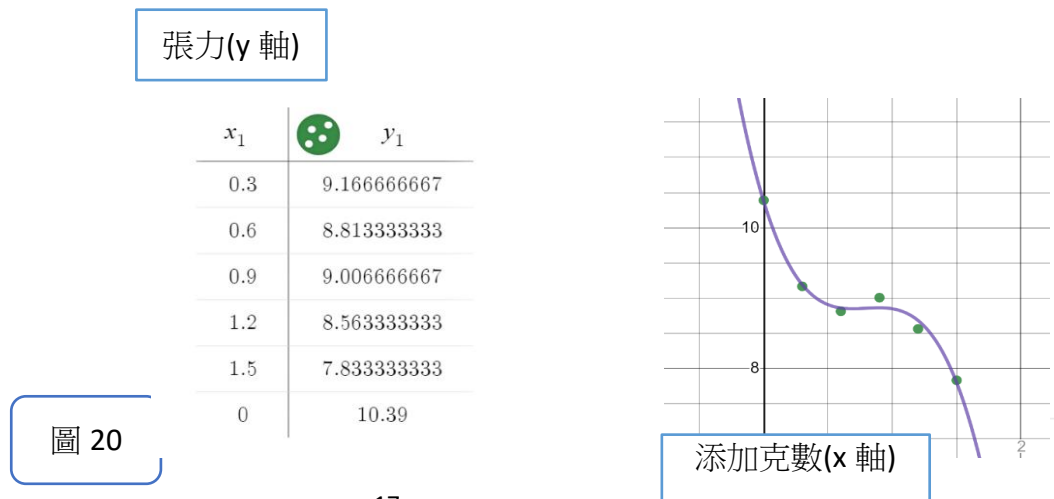
## 1、 結果討論



甘油的添加量和添加後麵糰可承受之最大張力(見圖 18)呈二次曲線。其根據為論文中的資料:「Lourdin, Bizot, and Colonna (1997a) reported that glycerol at a content below 12 wt.% could decrease the ductility of potato starch film; when the amount of glycerol exceeded 12%, however, the ductility increased. [23]」。不過或許是因為我們在實驗中以沸水將食物加熱，保留了水分，與文獻中的薄片烘烤有所差異，所以造成了不同結果。



木糖的添加量和添加後麵糰可承受之最大張力(見圖 19)呈一次曲線。其根據為本次實驗的結果和一次和二次曲線都十分貼近，為了避免過度擬合造成結論錯誤，採取一次曲線作為最終結論。



甘露醇的添加量和添加後麵糰可承受之最大張力(見圖 20)呈三次曲線。其根據為本次實驗的結果確實較貼近三次曲線(經反覆實驗再三確認若以一次擬合偏離趨勢較遠的數據)。甘露醇的效果在添加量中段出現一截趨勢極為平緩的曲線，也就是說，在該添加量附近，添加量多寡對於拉力的影響極小。甘露醇的分子是成長鏈狀，分子量近甘油的兩倍。在添加量達到一定比例後因為系統亂度增加，拉近澱粉分子的能力也會變得差，導致增塑效果無法提升。在添加比例更高之後，因為亂度增加的太過嚴重，整個麵糰直接軟化，張力也因此大幅下降。

受實驗器材及設備以及添加增塑劑至一定含量麵糰會呈現液化或流動之現象的限制，故添加量及量測兼具有所調整且我們沒有辦法做到預計的 12%重量百分濃度。不過在有限的材料及測量數據下，我們依然得出了一些結論：

#### (1) 所有實驗都顯示在添加劑增多時麵條之拉力下降

根據文獻：「Plasticization process transforms the semi-crystalline granules into a homogeneous, rather amorphous material by the destruction of hydrogen bonds between the starch molecules, and synchronously the formation of hydrogen bonds between plasticizer and starch molecules (Pang et al., 2007). [ 24 ] 」及「With increasing plasticizer(water, polyols) content there was a progressive decrease of TB of the blends. The plasticized blends also showed increased percentage elongation, whereas their flexural modulus and tensile strength exhibited a substantial drop, Ioannis 等(1997).

[ 25 ] 」

」所述，因此所有實驗在添加劑增多時麵條之拉力下降是合理的。

(2) 依定比例後張力下降的量為甘露醇=甘油>木糖

根據文獻：「In general, sorbitol, despite its greater molecular weight, exhibited a more pronounced plasticizing effect (greater T, depression) [ 26 ] than glycerol on the polymer matrix. This is in agreement with other findings on starch-based polymer blends (Arvanitoyannis et al., 1996; Psomiadou et al., 1996). [ 27 ] 」及「Higher plasticization levels with polyols or polyol-water were shown to have a very pronounced effect both on percentage elongation and tensile strength of films. In fact, tensile strength decreased proportionally to the plasticizer content, whereas the percentage elongation showed a substantial increase in agreement with previous studies(Lawton, 1996 [ 28 ] ; Arvanitoyannis et al., 1996 [ 29 ] ; Psomiadou et al., 1996). [ 30 ] 」及「The decrease in tensile strength at high plasticizer levels could be attributed to the plasticizer absorption, due to which the blend is above the glass transition at the ambient testing temperature (21~23°C) [ 31 ] 」所述醇類的效果比之醣類為佳。

(3) 推測添加劑所造成的影響和添加物每克具有的氫鍵莫耳數應有關聯

我們推測添加劑所造成的影響和添加物每克具有的氫鍵莫耳數應有關聯(氫鍵數多則增塑)，因「定比例後張力的下降為甘露醇=甘油>木糖」而添加物每克具有的氫鍵莫耳數計算值為：

$$\text{甘露醇: } 6/182.172=0.0329359067255$$

$$\text{甘油: } 3/92.02=0.032601608346$$

$$\text{木糖: } 4/150.13=0.0266435755678$$

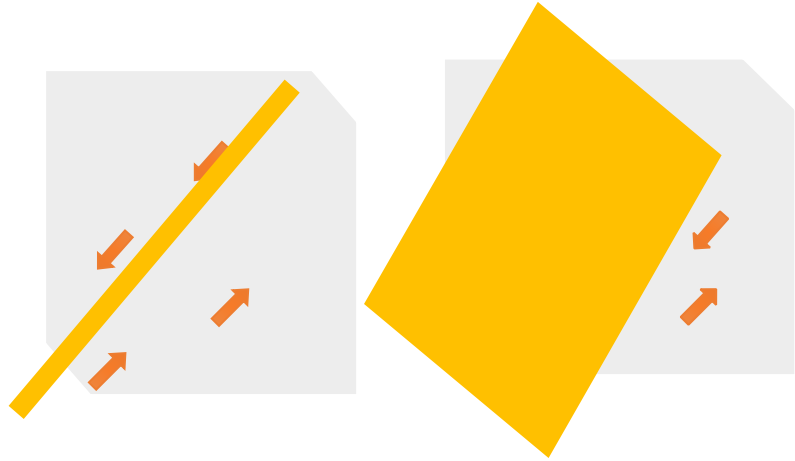
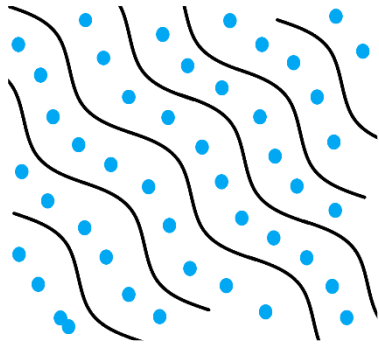
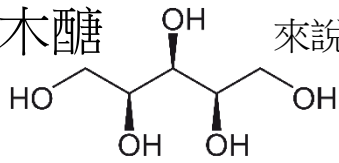
大小相對關係正確，不過實驗測試醣類太少，預期做為未來後續之實驗目標。

且從「物體慣於保持在最大亂度」的角度思考，也頗有相通結論：

當添加增塑劑在麵糰中時，由於增塑劑和水相比不但分子量大得多，添加量也少很多，並不足以完全均勻分布在每一個澱粉分子周圍，而會使澱粉在微觀上聚集成小團塊(就像在一

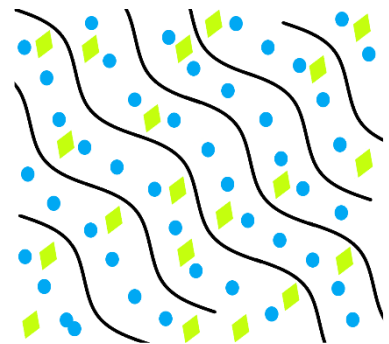
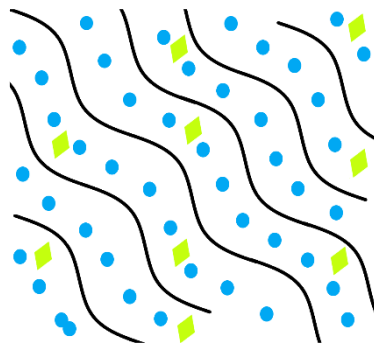
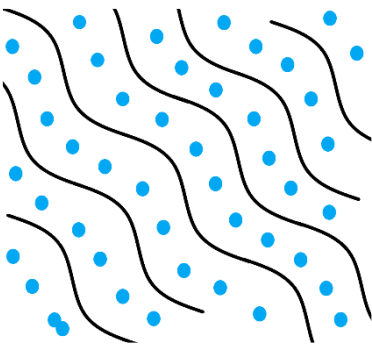
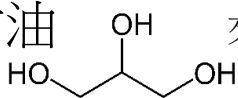
些麵粉中加入少量的水時，麵粉會結塊一樣)。這樣的小團塊會把一些澱粉分子之間的距離拉近，而導致澱粉糰微觀上的結構受到破壞，使得其能承受的拉力降低。

以 **木糖** 來說，其各分子間的微觀狀況應為：



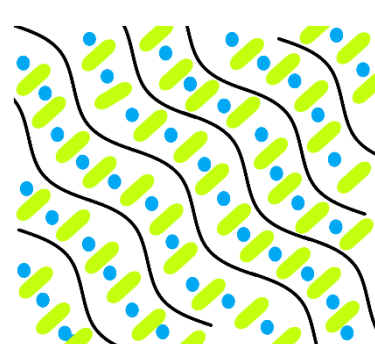
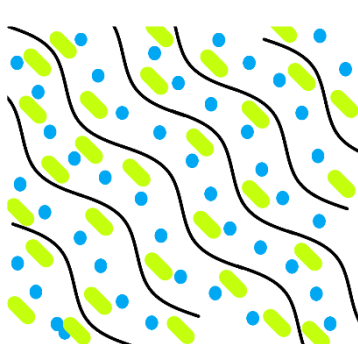
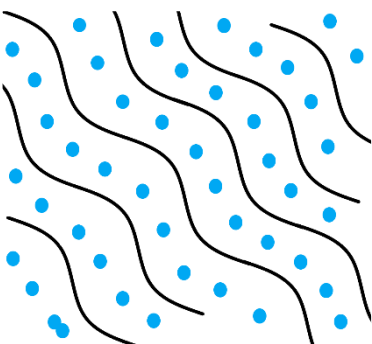
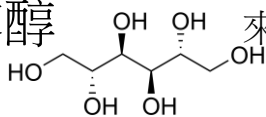
當分子間形成的氫鍵越來越多，拉力增強，澱粉分子間的聚合度也就越低，整體構造變軟。

以 **甘油** 來說，其各分子間的微觀狀況應為：



甘油也同理以上，不過可能由於分子量比較小施力更平均，斷裂較木糖晚一點

以 **甘露醇** 來說，其各分子間的微觀狀況應為：



甘露醇分子是三者中較大且屬於長條狀結構，可能在排列的時候方向上的不同引起二次曲線

以目前的數據資料和相關文獻推斷，得出以下結論:根據目前實驗結果進行分析和討論，關於各增塑劑的原理目前猜測應該和氫鍵有關。

## 陸、本計畫之創見性及其未來應用

目前認為，本計畫的實驗結果可用於食品相關產業，生產口感良好且健康的食物。另外，羥基相關的研究結果亦有運用於其他產業的可能。

未來可以再進行其他實驗，補足目前實驗相對不完整的部分。項目如下：

- 一、改變烹煮的方式，以烤箱烤熟或炸的方式代替沸水煮熟，以得知在更高添加量或其他烹飪方式時，添加劑對於麵條可承受張力的影響。
- 二、嘗試以其他種類澱粉為基底，以確認增塑效果是否在其他澱粉也可以應用。
- 三、和大學的精確儀器比較，得知目前使用儀器的信效度。
- 四、和擁有質構儀的學術機構合作或直接租借質構儀，以一般食品的量測方法確認添加後的麵團在其他性質上的變化。
- 五、模組化並聯結其他儀器，使剩餘操作部分(混拌、擠麵)機械化，降低誤差。
- 六、將滑車模組加上軌道，避免滑車方向發生任何偏移，或桌面摩擦力不固定(實驗桌在其他人使用後殘留油脂或其他會影響摩擦力的物質，造成影響)。
- 七、探討在添加多重添加劑不同添加量下添加劑對麵糰張力的影響。

## 柒、結論

- 一、從材料力學角度探討糯米粉糰之分析是可行的
- 二、所以隨著添加物濃度越高反而使澱粉單鏈之間的氫鍵效應下降，故張力變小。即如果添加物提供更多 OH 基那就越加強塑化的效應。
- 2、在 0~1.5g 添加量內依定比例後張力的下降為甘露醇=甘油>木糖

## 捌、參考資料(文獻)及其他

〔1〕 Lourdin, D., Bizot, H., & Colonna, P. (1997). "Antiplasticization" in starch-glycerol films? *Journal of Applied Polymer Science*, 63, 1047–1053.

〔2〕 ASTM (1989) Mechanical Properties; Tensile strength and Elongation

gation. Annual book of ASTM standards, D828-88. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.

〔 3 〕 Arvanitoyannis, I. and Psomiadou, E. (1994) Composites of anionic copolyamides (nylon6/nylon12) with short E-glass fibers; preparation and properties. *J. Appl. Polym. Sci.*51( 11), 1863-1899.

〔 4 〕 H. Schmitt, A. Guidez, K. Prashantha\*, J. Soulestin, M.F. Lacrampe, P. Krawczak(2015)Studies on the effect of storage time and plasticizers on the structural variations in thermoplastic starch

〔 5 〕 Van Soest, J. J. G., & Vliegenthart, J. F. G. (1997). Crystallinity in starch plastics:Consequences for material properties. *Trends in Biotechnology*, 15, 208–213.

〔 6 〕 玉米澱粉直鏈和支鏈比例

Ya-Wen Chuang & Ming-Shaiun Guu(2007)Comparisons of Starch Properties of Arrowroot (*Maranta arundinacea* L.) and Other Starchy Crops .Department of Plant Industry, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung.Retrieved, from [https://web.tari.gov.tw/csam/CEB/member/publication/4\(1\)/008.pdf](https://web.tari.gov.tw/csam/CEB/member/publication/4(1)/008.pdf)

糯米粉直鏈和支鏈比例

臺南區農業改良場 陳曉菁 · 王仕賢(2012)。米穀粉品質對烘焙產品之影響。農政與農情，101年5月(第239期)。取自 [https://www.coa.gov.tw/ws.php?id=2445710&RWD\\_mode=N](https://www.coa.gov.tw/ws.php?id=2445710&RWD_mode=N)

〔 7 〕 H. Schmitt, A. Guidez, K. Prashantha\*, J. Soulestin, M.F. Lacrampe, P. Krawczak(2015)Studies on the effect of storage time and plasticizers on the structural variations in thermoplastic starch

〔 8 〕 Lawton, J. W. and Fanta, C. F. (1994) Glycerol-plasticized films prepared from starch-poly (vinylalcohol) mixtures: effect of poly(ethylene-co-acrylic acid). *Carbohydr. Polym.*23,275-280.

〔 9 〕 Lawton, J. W. (1996) Effect of starch type on the properties of starch containing films. *Carbohydr. Polym.* 29, 203-208.

〔 10 〕 Hosene, R. C. (1994) Glass transition and its role in cereals.

In *Principles of Cereal Science and Technology*, 2nd edn, pp.

307-3 18. American Association of Cereal Chemists, St Paul,MN.

〔 11 〕 Christensen, C. M., Miller, B. S. and Johnston, J. A. (1982) Moisture and its measurement. In *Storage of cereals and their products*, ed. C. M. Christensen, pp. 4243. American

Association of Cereal Chemists, St Paul, MN.

[ 12 ] Bader, H. G. and Gortiz, D. (1994) Investigation on high amylose corn starch films. Part 3: Stress-strain behaviour. *Starch/Stärke* 46,435-439.

[ 13 ] Okaya, T. (1992) General properties of polyvinyl alcohol in relation to its applications. In *Polyvinyl alcohol developments*, ed. C. A. Finch, pp. 1-29. John Wiley & Sons, New York.

[ 14 ] Hulleman, S. H. D., Janssen, F. H. P., & Feil, H. (1998). The role of water during plasticization of native starches. *Polymer*, 39, 2043–2048.

[ 15 ] Shi, R., Liu, Q., Ding, T., Yanming, H., Liqun, Z., Dafu, C., et al. (2007). Ageing of soft thermoplastic starch with high glycerol content. *Journal of Applied Polymer Science*,

[ 16 ] Mueller-Plathe, F. (1991) Diffusion of penetrants in amorphous polymers: a molecular dynamics study. *J. Chem. Phys.* 94,3129-3199.

[ 17 ] Mueller-Plathe, F. (1991) Calculation of the free energy for gas absorption in amorphous polymers. *Macromolecules* 24,6475-6476.

[ 18 ] Mueller-Plathe, F. (1992) Molecular dynamics simulation of gas transport in amorphous polypropylene. *J. Chem. Phys.* 96,3200-3205. 103, 574–586.

[ 19 ] H. Schmitt, A. Guidez, K. Prashantha\*, J. Soulestin, M.F. Lacrampe, P. Krawczak (2015) Studies on the effect of storage time and plasticizers on the structural variations in thermoplastic starch

[ 20 ] Delville, J., Joly, C., Dole, P., & Bliard, C. (2003). Influence of photocrosslinking on the retrogradation of wheat starch based films. *Carbohydrate Polymers*, 53,373–381.

[ 21 ] Smits, A. L. M., Ruhnau, F. C., & Vliegenthart, J. F. G. (1998). Ageing of starch based systems as observed with FT-IR and solid state NMR spectroscopy. *Starch—Stärke*, 50, 478–483.

[ 22 ] H. Schmitt, A. Guidez, K. Prashantha\*, J. Soulestin, M.F. Lacrampe, P. Krawczak (2015) Studies on the effect of storage time and plasticizers on the structural variations in thermoplastic starch

[ 23 ] Lourdin, D., Coignard, L., Bizot, H., & Colonna, P. (1997). Influence of equilibrium relative humidity and plasticizer concentration on water content and glass transition of starch materials. *Polymer*, 38, 5401–5406.

[ 24 ] Pang, J., Wang, S., Yu, J., Liu, H., Yu, J., & Gao, W. (2007). Comparative studies on morphological and crystalline properties of B-type and C-type starches by acid hydrolysis. *Food Chemistry*, 105, 989–995.

[ 25 ] Ioannis Arvanitoyannis” & Costas G. Biliaderis (1997) Physical properties of polyol-plasticized edible films made from sodium caseinate and soluble starch blends

[ 26 ] Arvanitoyannis, I., Psomiadou, E. and Nakayama, A. (1996) Edible films made from sodium



caseinate, starches, sugars or glycerol. Part 1. Carbohydr. Polym. 31, 179-192.

[ 27 ] Psomiadou, E., Arvanitoyannis, I. and Yamamoto, N. (1996) Edible films made from natural resources; microcrystalline cellulose (MCC), methyl cellulose (MC) and corn starch and polyols-Part 2. Carbohydr. Polym. 31, 193-204.

[ 28 ] Lawton, J. W. (1996) Effect of starch type on the properties of starch containing films. Carbohydr. Polym. 29, 203-208.

[ 29 ] Arvanitoyannis, I., Psomiadou, E. and Nakayama, A. (1996) Edible films made from sodium caseinate, starches, sugars or glycerol. Part 1. Carbohydr. Polym. 31, 179-192.

[ 30 ] Psomiadou, E., Arvanitoyannis, I. and Yamamoto, N. (1996) Edible films made from natural resources; microcrystalline cellulose (MCC), methyl cellulose (MC) and corn starch and polyols-Part 2. Carbohydr. Polym. 31, 193-204.

[ 31 ] Ioannis Arvanitoyannis" & Costas G. Biliaderis(1997)Physical properties of polyol-plasticized edible films made from sodium caseinate and soluble starch blends

## 附件

```
#include "HX711.h"//HX711 接線設定
const int DT_PIN = 6;
const int SCK_PIN = 5;
const int sample_weight = 50;
//基準物品的真實重量(公克)
HX711 scale; //定義scale為HX711物件
float scale_factor;
//ADC RAW 與重量的比值(比例)
float load = 0;
//濾波後的重量
```

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  scale.begin(DT_PIN, SCK_PIN);
  scale.set_scale();
  // 開始校正以取得比例
  scale.tare(); //歸零
  Serial.println("DATA,Nothing on
it.(after 5 seconds.)");
  for (int i=0;i<5;i++){
    delay(1000);
    Serial.print("."); }
  Serial.println();
```

```
Serial.println(scale.get_units(10), 2);
// 取得10次數值的平均，
並以2位小數印出。
Serial.println("Please put sample object on it...
(in 5 seconds)");
//提示放上基準物品
for (int i=0;i<5;i++){
  delay(1000);
  Serial.print("."); }
Serial.println();
```

```
//開始計算
float current_weight=scale.get_units(10);
// 取得10次數值的平均
scale_factor=(current_weight/sample_weight);
Serial.print("Scale number: ");
Serial.println(scale_factor,2);
// 顯示比例參數，2位小數
scale.set_scale(scale_factor);
// 設定比例參數
//scale.tare();// 歸零
```

```
//校正完畢
Serial.println("Please remove sample object...");
//提示拿掉基準物品
for (int i=0;i<5;i++){ //停5秒
  Serial.print(".");
  delay(1000); }
Serial.println("OK.");}
void loop(){ }
```

## 附錄

```
#include "HX711.h"
//HX711 接線設定
const int DT_PIN = 6;
const int SCK_PIN = 5;
const int sample_weight = 50; //基準物品的真實重量(公克)
const float scale_factor = 419.96; //ADC RAW 與重量的比值(比例)比例值
float load = 0; //濾波後的重量

//Ultrasonic 接線設定
const int trigPin = 2; //Trig
const int echoPin = 4; //Echo
long time = 0;
int timeBetweenReadings = 100;
HX711 scale; //定義 scale 為 HX711 物件
```

```
#include "HX711.h"
//HX711 接線設定
const int DT_PIN = 6;
const int SCK_PIN = 5;
const int sample_weight = 50; //基準物品的真實重量(公克)
const float scale_factor = 419.96; //ADC RAW 與重量的比值(比例)比例值
float load = 0; //濾波後的重量

//Ultrasonic 接線設定
const int trigPin = 2; //Trig
const int echoPin = 4; //Echo
long time = 0;
int timeBetweenReadings = 100;
HX711 scale; //定義 scale 為 HX711 物件
```

## 附錄

```
void loop() {
  if(millis() > time + timeBetweenReadings){ //每隔 timeBetweenReadings
    //scale.power_up(); // 結束電子秤的睡眠模式
    load = scale.get_units(1); //讀取重量，低通濾波。
    //scale.power_down(); // 進入睡眠模式
    time = millis(); //記錄目前時間點
    long duration;
    float cm;
    pinMode(echoPin, INPUT);
    pinMode(trigPin, OUTPUT);

    //送出一個方波 Trig 超音波開始測量距離
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10); //trig 訊號至少在 HIGH 保持 10us
    digitalWrite(trigPin, LOW);

    //讀取超音波回傳時間，echo 訊號為 HIGH 的時間即是超音波來回的時間。
    duration = pulseIn(echoPin, HIGH); //單位為 us
    cm = microsecondsToCentimeters(duration); //換算成距離 cm

    Serial.println((String)"DATA,"+load+","+cm);
    delay(10); } }
float microsecondsToCentimeters(long microseconds){
  return (microseconds*0.034029)/2,}
```

## 【評語】 052205

1. 本作品探討甘油、木糖、甘露醇等添加劑對糯米粉團之張力的影響，並自行設計張力測定儀器，以測試麵條之張力。
2. 實驗結果引用許多國外參考文獻的論點，不宜直接將原文整段拷貝到研究報告中，應該重新整理再撰寫成中文，使報告更一致，且增加可閱讀性。
3. 實驗方法及結果分析之量化科學性較為不足。表四數據之小數點後位數，應考量有效數字，而非越多越準確。為何圖 18 採二次曲線、圖 19 採用一次直線、圖 20 採用二次曲線？宜根據參考文獻而使用適當的統計方法。
4. 實際成果之應用性有待確認，並未提出明確的添加劑劑量與糯粉團張力及最終成品的品質之相關性。

## 作品簡報



# 探討食品添加劑在糯米粉糰中的增塑效果

科別：農業與食品學科

組別：高級中等學校組

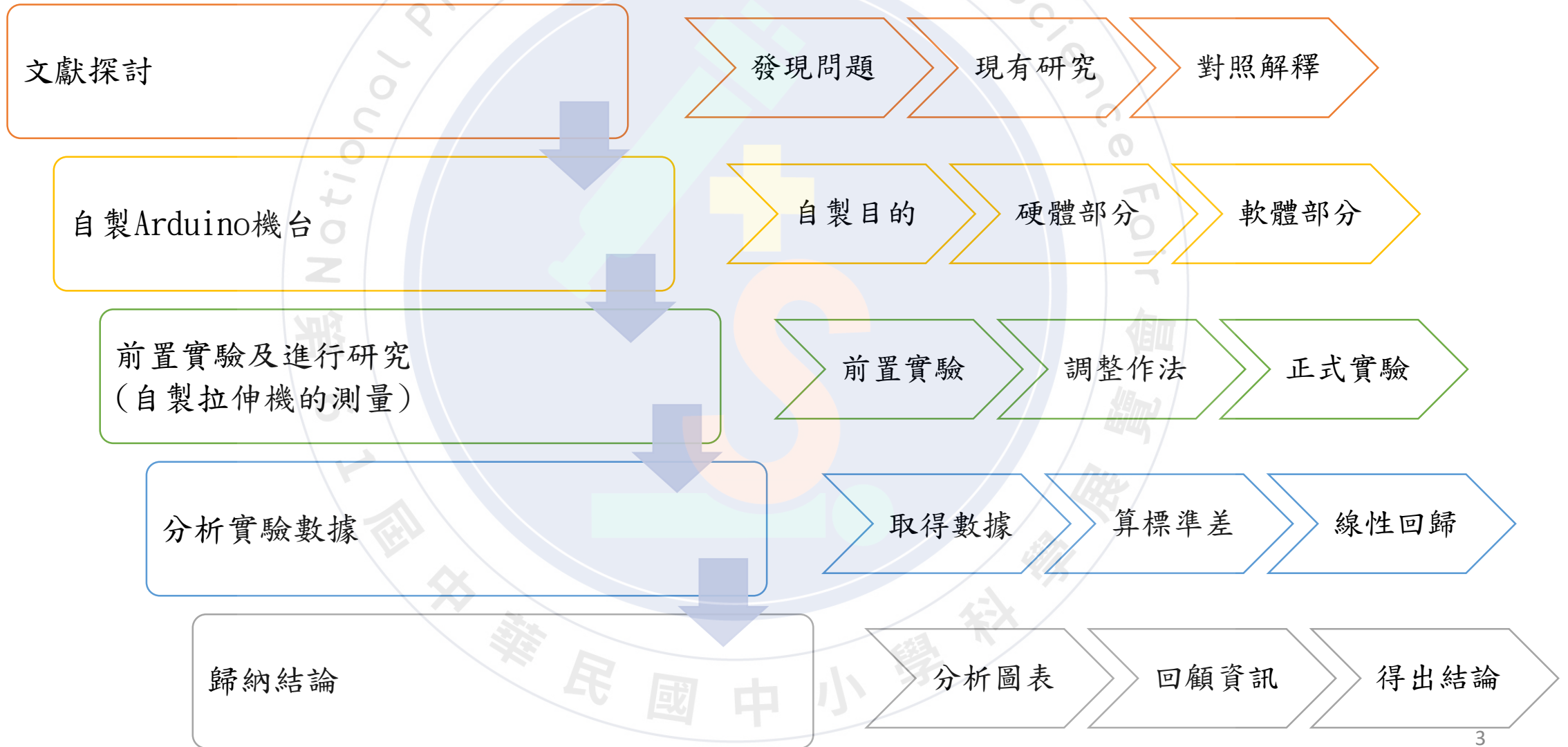
## 研究動機

學校化學課程中曾提到甘油分子間因為氫鍵的關係具有極大作用力，也因此擁有良好的黏滯性。查詢相關資料時，發現有一則論文提及：「甘油含量低於重量百分比百分之十二時會降低馬鈴薯澱粉薄膜的延展性；但當甘油用量超過12%時，延展性增加。」但若結合以往做湯圓時的經驗則會發現，在糯米粉糰中添加越多的水，糯米粉糰可塑性越佳。水和甘油之間皆具有極強的氫鍵，但添加於食品卻產生不同的效果。又發現，此論文實驗方法和一般食品的製程不同，把澱粉團中的水分完全烘乾。為了得知實際上於澱粉添加甘油時所造成的影響，設計實驗探討結果。

## 研究目的及研究問題

- 一、探討糯米粉糰從材料力學角度之分析結果
- 二、探討冷卻時間對張力造成的影響
- 三、探討冷卻溫度對張力造成的影響
- 四、在添加單一添加劑不同添加量下添加劑對麵糰張力的影響探討

# 研究過程及方法(研究流程)





## 研究過程及方法(文獻探討)

### ✓ 直鏈及支鏈澱粉

根據文獻中所述：

「直鏈澱粉加工後快速重結晶，  
支鏈澱粉的結晶老化發展較慢」

-> 挑選支鏈澱粉比例高的糯米澱粉

### ✓ 水的增塑

根據文獻中所述：

「增塑澱粉需要添加大量 (25~30wt%)

增塑劑水仍是最好的增塑劑」

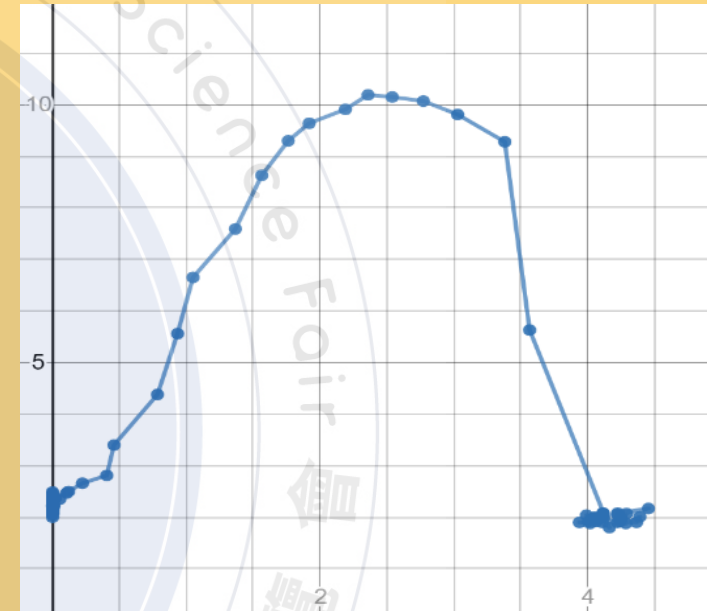
-> 將水的增塑作為控制變因討論

### ✓ 增塑劑的選擇

根據文獻中所述：

「增塑劑的性質和組成系統  
極大地影響了澱粉轉化向均質塑性」

-> 添加劑選擇木糖、甘油及甘露醇



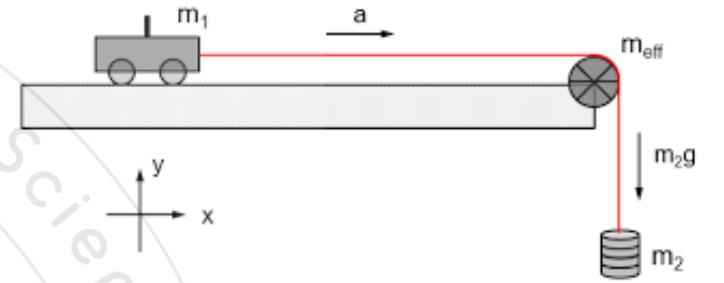
單次實驗測量數據繪製之應力應變曲線

座標的x軸為應力(力除以截面積)  
(物體受拉力時產生的反作用力)

座標的y軸為應變(伸長量除原長)  
(物體受拉力時形變的情形)

# 研究過程及方法(自製機台)

- 食品科學相關的科展數據與量化方面顯得較為薄弱 例如:官能品評
- 希望能夠藉由量測、量化實驗得到的結果，進行有意義的分析



```
#include "HX711.h"//HX711 接線設定
const int DT_PIN = 6;
const int SCK_PIN = 5;
const int sample_weight = 50;
//基準物品的真實重量(公克)
HX711 scale; //定義scale為HX711物件
float scale_factor;
//ADC RAW 與重量的比值(比例)
float load = 0;
//濾波後的重量

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  scale.begin(DT_PIN, SCK_PIN);
  scale.set_scale();
  // 開始校正以取得比例
  scale.tare(); //歸零
  Serial.println("DATA,Nothing on it.(after 5 seconds.)");
  for (int i=0;i<5;i++){
    delay(1000);
    Serial.print("."); }
  Serial.println();
}
```

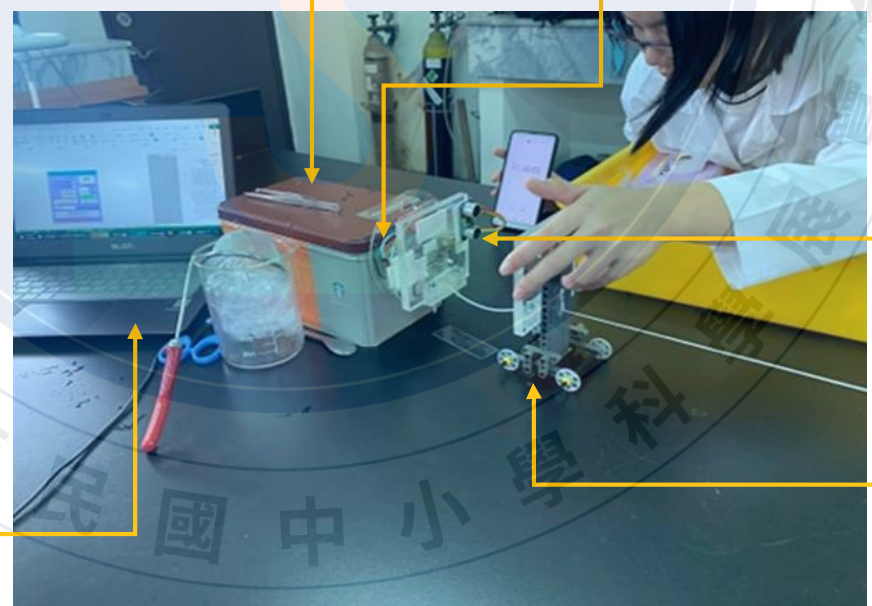
```
//開始計算
float current_weight=scale.get_units(10);
// 取得10次數值的平均
// 取得10次數值的平均
scale_factor=(current_weight/sample_weight);
Serial.print("Scale number: ");
Serial.println(scale_factor,2);
// 顯示比例參數，2位小數
scale.set_scale(scale_factor);
// 設定比例參數
//scale.tare(); // 歸零

Serial.println(scale.get_units(10), 2);
// 取得10次數值的平均，
// 並以2位小數印出。
Serial.println("Please put sample object on it... (in 5 seconds)");
//提示放上基準物品
for (int i=0;i<5;i++){
  delay(1000);
  Serial.print("."); }
Serial.println();
```

```
//校正完畢
Serial.println("Please remove sample object...");
//提示拿掉基準物品
for (int i=0;i<5;i++){ //停5秒
  Serial.print(".");
  delay(1000); }
Serial.println("OK.");
void loop(){ }
```



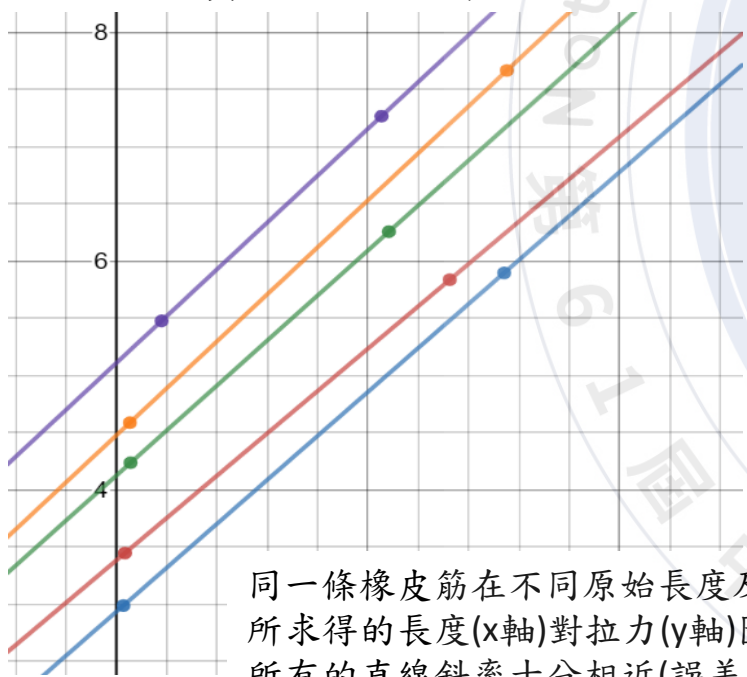
1/2/3/5/10/20 Kg Weighing Sensor



# 研究過程及方法(研究方法)

## 機器驗證

我們以自製系統拉伸橡皮筋，藉由所得數據換算K值。數據證明儀器的精度足夠，可以用於實驗取得數據。



同一條橡皮筋在不同原始長度及拉力下所求得的長度(x軸)對拉力(y軸)圖中所有的直線斜率十分相近(誤差在3%左右)斜率(彈性係數)相等故證明機器重現性高

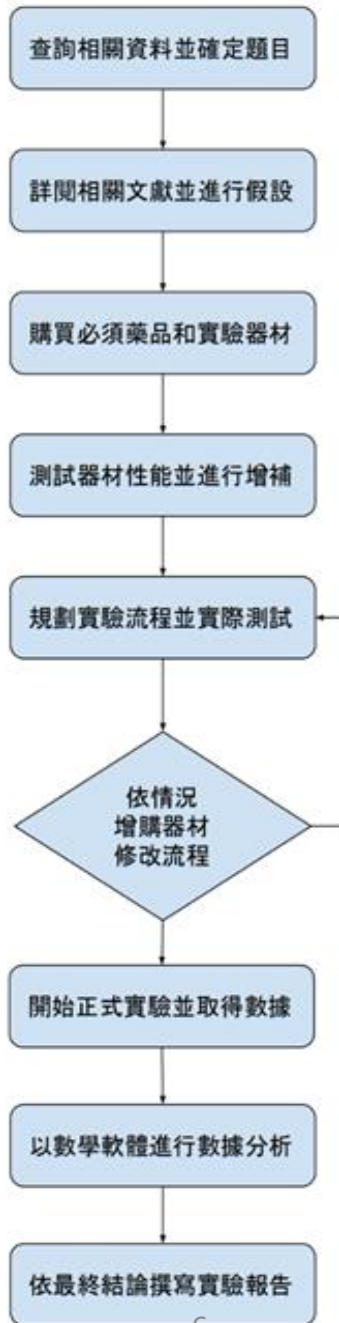
## 實驗過程

### (一) 調製並烹煮添加各類添加劑的麵糰

1. 量取7公克重的蒸餾水
2. 依照該次實驗添加添加物
3. 以刮勺將添加物和蒸餾水攪拌均勻
4. 加入10公克重的糯米粉
5. 將糯米粉和添加物水溶液混合均勻並置入針筒
6. 將麵團從針筒中擠出並放入沸水中烹煮一分鐘

### (二) 測量該次麵糰的各項性質

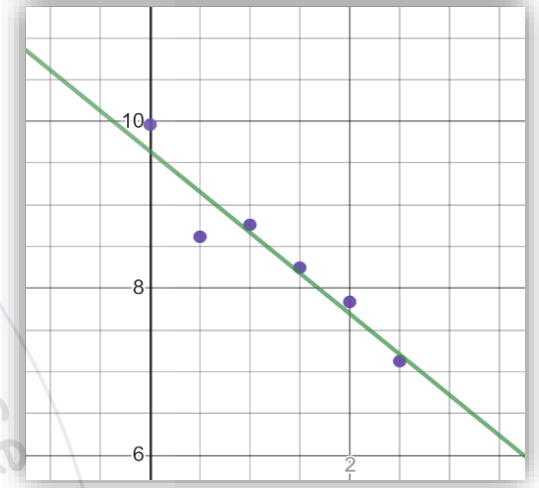
1. 將麵條平行且不延長地放置於載玻片上，左右超出玻片各0.5公分，其餘剪去
2. 將麵條一端架上滑車上的壓克力支架，一端架上連接了拉力測量版的壓克力支架
3. 靜置放涼，等待水分揮發直到3分鐘又5秒
4. 放開固定中的滑車，使麵條被拉伸直至斷裂



# 研究過程及方法(數據分析)

- 五個數據計算取得一數據點
- 相關的六組實驗之後，可以取得一條完整數據線

FRU6	load	cm	load	cm	load	cm	load	cm	load	cm
-8.81333	-1.76	7.89	-1.16	7.84	-2.21	8.54	2.1	0.51	1.89	7.71
	-1.73	7.98	-1.56	7.86	-2.16	7.96	2.16	-0.07	-2	8.01
average.pu	-1.74	7.96	-1.71	7.84	-2.17	7.96	2.17	-0.07	-2.03	8.01
8.836	-1.73	7.5	-1.74	7.38	-2.14	8.41	2.14	0.41	-2.01	7.61
sidev.pull	-1.76	7.98	-1.64	7.37	-2.21	8.03	2.21	0	-2.08	7.61
0.11988	-1.69	7.96	-1.67	7.38	-2.07	8.03	2.07	0	-2.18	7.61
pull	-1.77	7.96	-1.57	7.37	-2.22	8.03	2.22	0	-2.19	7.62
8.813333	-1.75	7.96	-1.69	7.38	-2.22	8.03	2.22	0	-2.11	7.61
	-1.78	7.96	-1.61	7.37	-2.25	8.03	2.25	0	-1.96	7.62
	-1.85	7.96	-1.63	7.37	-2.24	8.03	2.24	0	-1.89	8.03
	-1.84	7.98	-1.71	7.37	-2.17	8.03	2.17	0	-2	7.61
	-1.83	7.96	-1.62	7.37	-2.11	8.03	2.11	-0.02	-2.03	7.61
	-1.9	8.03	-1.57	7.37	-2.26	8.03	2.26	-0.02	-2.07	7.61
	-1.94	8.03	-1.64	7.38	-2.21	8.44	2.21	0.41	-2.14	8.03
	-1.83	7.55	-1.67	7.38	-2.17	8.44	2.17	0.41	-2.05	7.61
	-1.67	8.03	-1.62	7.37	-2.08	8.44	2.08	0.41	-1.92	8.03
	-1.79	7.55	-1.16	7.37	-2.07	8.44	2.07	0.41	-2.02	7.61
	-1.91	7.55	-1.56	7.37	-2.06	8.03	2.06	0	-2.13	7.61
	-1.87	8.03	-1.73	7.37	-2.13	8.44	2.13	0.41	-2.06	7.61
	-1.83	8.03	-1.69	7.38	-2.16	8.44	2.16	0.41	-1.93	7.62
	-1.81	8.03	-1.58	7.38	-2.16	7.98	2.16	-0.05	-1.93	8.03
	-1.83	8.01	-1.64	7.79	-2.11	8.44	2.11	0.41	-1.96	7.61
	-1.76	8.03	-1.59	7.79	-2.12	7.98	2.12	-0.05	-1.98	8.03
	-1.78	8.03	-1.66	7.84	-2.22	8.44	2.22	0.41	-1.95	8.08
	-1.75	8.03	-1.79	7.84	-2.22	8.03	2.22	0	-1.97	8.08
	-1.72	8.03	-1.78	8.08	-2.18	8.08	2.18	0.05	-2.03	2.03
	-1.75	8.03	-1.74	8.88	-2.01	8.08	2.01	0.05	-2.05	8.15
	-1.89	8.08	-1.77	10.09	-2.09	8.08	2.09	0.05	-2.13	7.84
	-1.87	8.34	-1.97	11.14	-2.11	8.08	2.11	0.05	-2.04	8.61
	-1.79	8.8	-2.42	12.51	-2.18	8.2	2.18	0.17	-2.11	9.2
	-1.87	10.68	-3.42	16.29	-2.3	8.61	2.3	0.58	-2.29	10.16
	-2.03	10.86	-4.54	18.25	-2.33	10.26	2.33	1.23	-2.56	11.86
	-2.63	12.28	-5.63	18.24	-2.41	10.28	2.41	2.25	-3.29	12.93
	-3.74	13.88	-6.66	20.26	-2.55	10.47	2.55	3.54	-4.14	13.13
	-4.87	16.06	-7.48	22.7	-3.15	10.58	3.15	5.55	-5.15	16.95
	-5.98	17.44	-7.97	24.85	-4.03	10.36	4.03	7.33	-6.32	18.38
	-6.85	18.21	-8.4	26.82	-5.16	10.78	5.16	8.75	-7.32	20.26
	-7.71	20.03	-8.74	28.05	-6.29	10.09	6.29	11.06	-8.04	22.15
	-8.31	22.77	-8.78	30.1	-7.41	10.16	7.41	13	-8.55	24.84
	-8.68	24.83	-8.52	33.38	-8.19	10.27	8.19	14.67	-8.88	28.88
	-8.83	26.37	-8.19	35.17	-8.59	10.43	8.59	16.27	-9.03	32.84
	-8.86	28.21	-7.5	37.88	-8.83	10.59	8.83	17.87	-8.75	36.86
	-8.76	29.98	-8.67	40.27	-8.67	10.14	8.67	19.11	-7.6	40.17
	-8.71	31.89	-1.03	44.24	-8.55	10.38	8.55	21.35	-8.38	43.01
	-8.46	33.83	-1.07	48.03	-8.11	10.16	8.11	23.66	-7.46	46.77
	-7.7	35.31	-1.17	43.66	-4.77	10.23	4.77	25.56	-1.72	49.02
	-6.21	37.58	-1.26	44.24	-1.81	10.29	1.81	28.26	-1.71	44.28
	-2.58	40.41	-1.3	44.7	-1.86	10.37	1.86	31.34	-1.73	43.19
	-1.54	44.31	-1.45	44.7	-1.88	10.53	1.88	34.49	-1.63	43.98
	-1.51	44.88	-1.35	46.68	-1.85	10.67	1.85	36.69	-1.52	44.07
	-1.42	44.07	-1.37	44.12	-1.96	10.46	1.96	38.43	-1.59	44.17
	-1.45	44.12	-1.41	42.82	-1.97	10.44	1.97	40.51	-1.66	44.04
	-1.51	44.61	-1.21	44.71	-1.88	10.41	1.88	42.8	-1.65	44.3
	-1.36	44.02	-1.3	45.12	-1.87	10.41	1.87	45.09	-1.62	44.71
	-1.3	44.02	-1.35	46.29	-1.85	10.29	1.85	46.69	-1.52	44.07
	-1.53	44.17	-1.33	44.7	-1.86	10.41	1.86	48.01	-1.56	44.06
	-1.56	44.37	-1.48	45.05	-1.78	10.49	1.78	50.02	-1.54	43.64



X軸:添加劑重量(公克重)/  
y軸:張力(公克重)

標準化

實驗項目

全部平均最大張力

全部最大張力標準差

最終選取數據平均

分析過程:

1. 計算全體平均值
2. 計算全體標準差
3. 計算個別標準化
4. 選取標準化小者
5. 將選取數據平均
6. 以最終數據作圖
7. 分析出實驗結果

	AA	AB	AC	AD	AE
1				0.449184	
2	甘露0.309%	load	cm		
3	甘油0.156%	-2.18	7.61	2.18	0.11
4		-2.09	7.5	2.09	
5	average.pull	-2.04	7.49	2.04	-0.01
6	9.428	-2.22	7.5	2.22	
7	stdev.pull	-2.23	7.5	2.23	
8	0.405179	-2.07	7.5	2.07	
9	pull	-2.15	7.5	2.15	
10	9.493333	-2.13	7.5	2.13	
11		-2.14	7.5	2.14	
12		-2.15	7.5	2.15	
13		-2.19	7.5	2.19	
14		-2.24	7.5	2.24	
15		-2.14	7.5	2.14	
16		-1.97	7.5	1.97	

## 結論與討論

受實驗器材及設備以及添加增塑劑至一定含量麵糰會呈現液化或流動之現象的限制，故添加量及量測兼具有所調整且我們沒有辦法做到預計的12%重量百分濃度。不過在有限的材料及測量數據下，我們依然得出了一些結論：

- 張力的下降和氫鍵的形成有關，氫鍵越多，麵糰所能承受的張力越低。
- 冷卻會導致已糊化的麵糰老化，時間越長，溫度越高，老化越嚴重。
- 添加劑所造成的影響和添加物每克最多可形成氫鍵莫耳數應有關聯。

添加等重的添加量下張力下降的量：甘露醇 $\approx$ 甘油 $>$ 木糖。

## 結果及討論

(一)所有實驗都顯示在添加劑增多時麵條之拉力下降

(二)依定比例添加後張力下降的量為甘露醇 $\approx$ 甘油 $>$ 木糖

(三)因「添加物每克可形成氫鍵莫耳數和定比例添加劑造成張力下降程度大小順序相同」，

推測添加劑所造成的影響和添加物每克可形成的氫鍵莫耳數應有關聯(可形成氫鍵數多則增塑效果佳)。

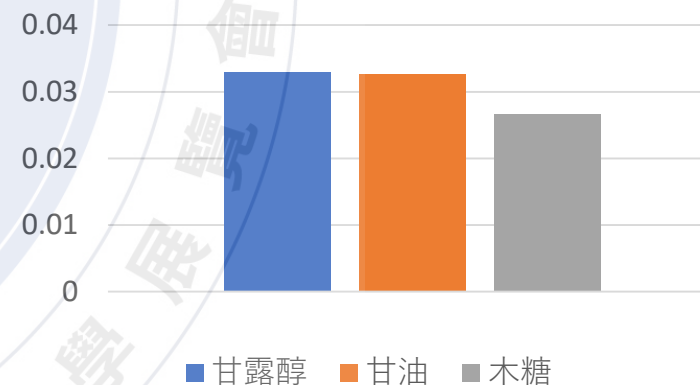
不過實驗測試醣類太少，預期作為未來後續之實驗目標。

從「物體慣於保持在最大亂度」的角度思考，也頗有相通結論：

由於增塑劑和水相比不但分子量大得多，添加量也少很多，添加

時無法完全均勻分布，而會使澱粉在微觀上聚集成小團塊。小團

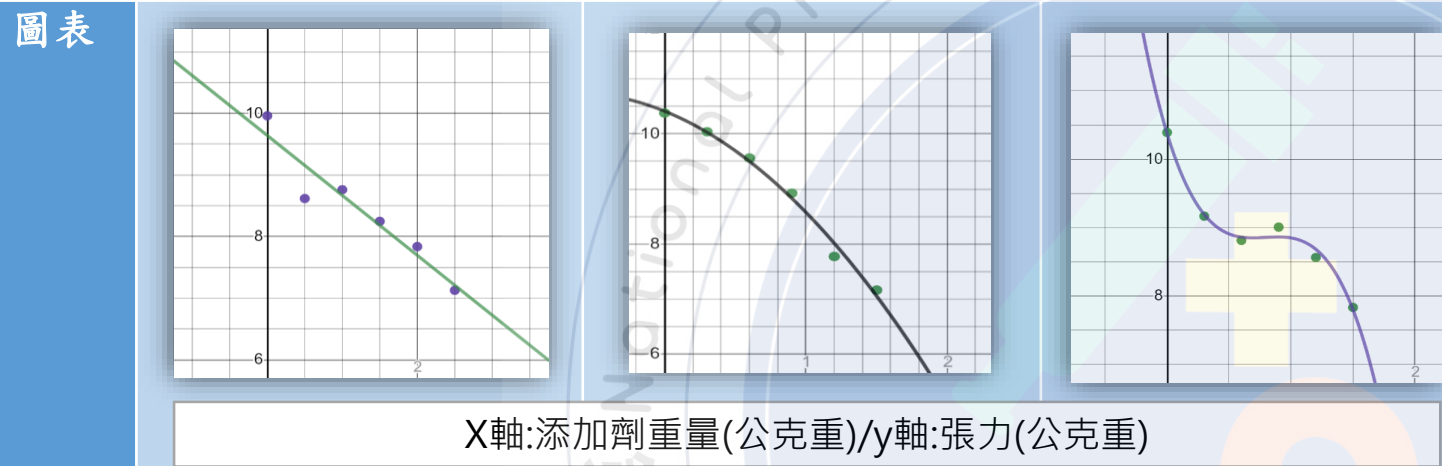
塊會破壞澱粉糰微觀上的結構，使得其能承受的拉力降低。



添加物每克可形成氫鍵莫耳數長條圖

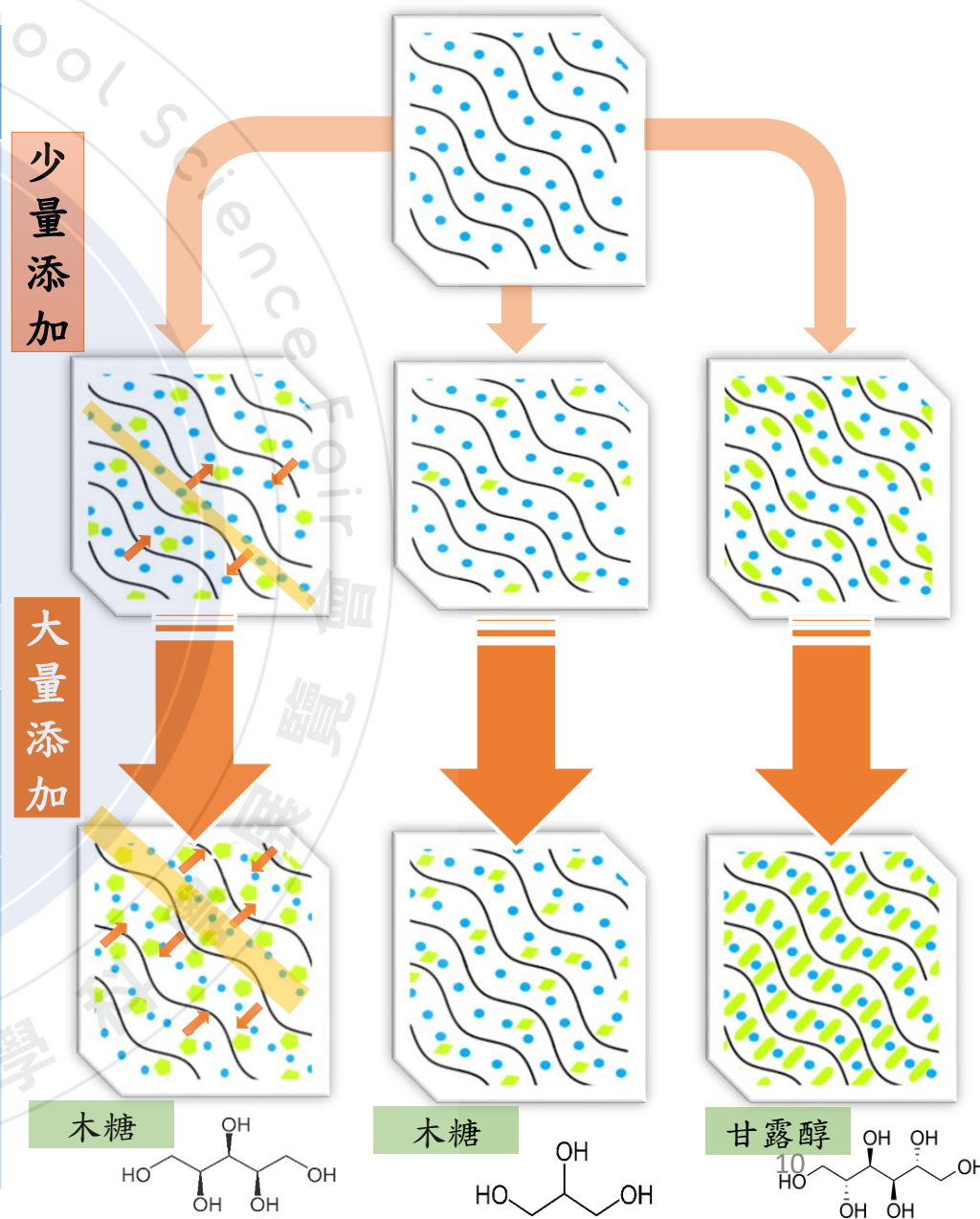
# 結果及討論(增塑模擬圖)

## 添加量和添加後麵糰可承受之最大張力關係圖分類



項目	木糖	甘油	甘露醇
線性回歸近似	一次曲線	二次曲線	三次曲線
可能造成原因	當分子之間形成的氫鍵越來越多，拉力增強，澱粉分子間的聚合度也就越低，整體質地變軟	甘油也同理木糖，不過可能由於分子量比較小施力更平均，斷裂較木糖晚	甘露醇分子是三者中較大且屬於長條狀結構，可能在排列的時候方向上的不同引起二次曲線

### 含水糯米粉團



## 本計畫之創見性及其未來應用

本研究結果可用於食品產業，以取代複雜和有害的增塑劑，未來可再進行以下實驗擴充應用：

- 一、改變烹煮的方式、澱粉種類或添加多重添加劑，量測其影響。
- 二、和大學的精確儀器比較，得知目前使用儀器的信效度。
- 三、和擁有質構儀的學術機構合作或直接租借質構儀，確認麵團其他性質上的變化。
- 四、模組化並聯結其他儀器，使剩餘操作部分(混拌、擠麵)機械化，降低誤差。

## 結論

- 一、從材料力學角度探討糯米粉糰之分析是可行的
- 二、隨著添加物濃度越高反而使澱粉單鏈之間的氫鍵效應下降，故張力變小。即如果添加物提供更多OH基那就越加強塑化的效應。
- 三、在0~1.5g添加量內依定比例後張力的下降為甘露醇=甘油>木糖



## 參考資料（文獻）及其他

- [1] Dominique Larrea-Wachtendorffa, Gino Di Nobilea, Giovanna Ferrari(2020)Effects of processing conditions and glycerol concentration on rheological and texture properties of starch-based hydrogels produced by high pressure processing (HPP)
- [2] H. Schmitt, A. Guidez, K. Prashantha\*, J. Soulestin, M.F. Lacrampe, P. Krawczak(2015)Studies on the effect of storage time and plasticizers on the structural variations in thermoplastic starch
- [3] Ioannis Arvanitoyannis” & Costas G. Biliaderis(1997)Physical properties of polyol-plasticized edible films made from sodium caseinate and soluble starch blends
- [4] Julien H. Arrizabalaga, Aaron D. Simmons, and Matthias U. Nollert, Fabrication of an Economical Arduino-Based Uniaxial Tensile Tester
- [5] Lourdin, D., Bizot, H., & Colonna, P. (1997). “Antiplasticization” in starch-glycerol films? Journal of Applied Polymer Science, 63, 1047 - 1053.
- 糯米粉直鏈和支鏈比例  
臺南區農業改良場 陳曉菁 · 王仕賢(2012)。米穀粉品質對烘焙產品之影響。農政與農情，101年5月(第239期)。取自[https://www.coa.gov.tw/ws.php?id=2445710&RWD\\_mode=](https://www.coa.gov.tw/ws.php?id=2445710&RWD_mode=)