

屏東縣第 65 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科別：物理科

組別：國中組

作品名稱：-探討牛頓流體與非牛頓流體之間的現象-

關 鍵 詞：非牛頓流體、撞擊力、糊化（最多三個）

編 號：B2021

摘 要

澱粉液溫度越高，澱粉液流速越慢。到了 70℃ 下的澱粉液幾乎都糊化了，而且不流動，所以流速為零。30℃ 時 20% 的木薯粉流速最快 1.227cm/s，再來是 40% 木薯粉次之 1.037cm/s。50℃ 時流速最快的是 20% 玉米粉 0.883cm/s。

溫度增加，砝碼在每一種濃度的澱粉液的震盪次數均下降，且濃度越高震盪越少，澱粉的黏性也增加了。砝碼在每一種澱粉、不同濃度下的震盪臨界溫度範圍

玉米粉 20%，70~72℃、玉米粉 40%，55~57℃、木薯粉 20%，78~80℃，木薯粉 40%，55~60℃、糯米粉 20%，55~58℃、糯米粉 40%，50~53℃。

溫度越高、濃度越高，砝碼下落被削減的作用力越大。50℃ 時的砝碼作用力削減程度大過 30℃，且濃度越高削減的程度越大。

壹、研究動機：

我們曾經玩過泡水玉米粉，用手輕輕抓，就跟水一樣抓不起來，但是，我們用力捶它，卻捶不下去。老師說這種捶不下去的流體是一種非牛頓流體，在泡水的澱粉裡蠻常出現的。什麼是非牛頓流體呢？我們著實好奇，上網查了資料也問了老師才知道牛頓流體和非牛頓流體的不同，而且其它泡水澱粉煮過也會轉變成非牛頓流體。

因此我們想了解澱粉液由牛頓流體轉為非牛頓流體時，需要甚麼條件，還有到底有那些物理性質會改變。

貳、文獻探討

我們知道澱粉液在不同溫度下其性質會改變，在常溫下滑動和水一樣是屬於牛頓流體。但是隨著溫度升高，澱粉在水中結構會改變，產生黏性及糊化的現象。它們在接受外力擠壓時，會自動排列整齊而抵抗外力，形成不符合牛頓黏性定律的流體，即為**非牛頓流體**。所以當用力用手指戳或拳頭槌打這些澱粉液時，接觸的地方因為壓力大而黏度增加，使手指或拳頭就無法戳入或捶入澱粉液中，因此我們想知道澱粉液的性質由牛頓流體轉為非牛頓流體時的溫度變化與其物理性質的轉變為何。

參、研究目的

牛頓流體重物還能下落，但是非牛頓流體重物則下不去，所以我們讓彈簧秤掛著砝碼，用等高的砝碼落入不同溫度下澱粉液，**砝碼受彈簧秤形變力與砝碼作用在澱粉液或澱粉糊上的反作用力、黏性與摩擦力影響下**，不但會讓掛在彈簧秤上的砝碼在澱粉液上的數值改變，也會使砝碼在澱粉液或澱粉糊的上下震盪次數的改變。

因此我們根據文獻訂出我們想要探討的方向。以下是我們的研究目的：

一、不同溫度下澱粉液的流動速率。

二、彈簧秤掛著砝碼，用等高的砝碼落入不同溫度下澱粉液，其受彈簧秤彈力影響，在澱粉液中的上下震盪次數的改變。

三、等高的砝碼落入不同溫度下澱粉液，其受彈簧秤彈力影響，其在澱粉液中施力與受力的改變。

肆、研究藥品和器材

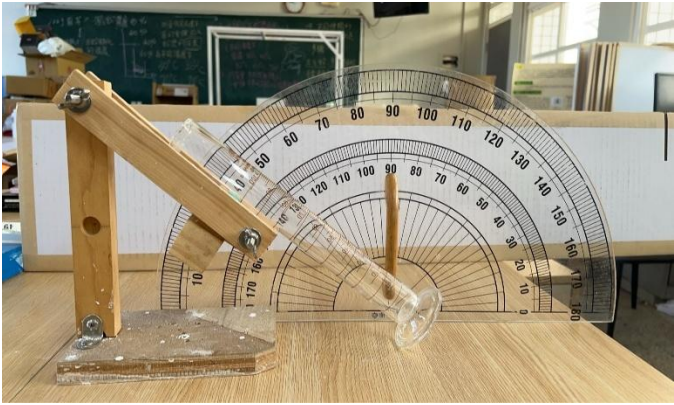
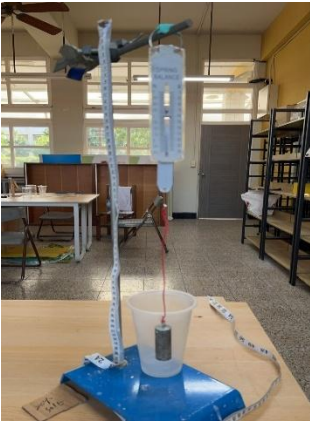
一.不同的澱粉

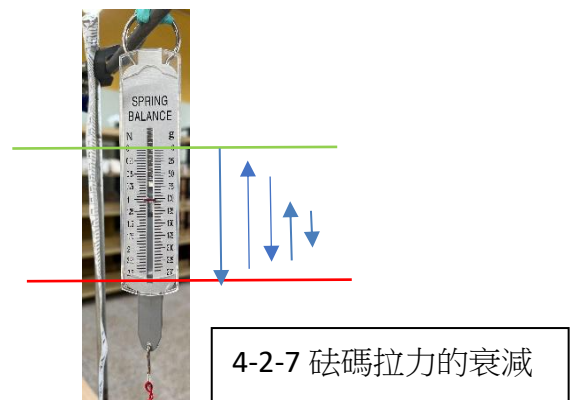
4-1-1 玉米澱粉	4-1-2 木薯粉	4-1-3 低筋麵粉	4-1-4 高筋麵粉	4-1-5 片栗粉	4-1-6 糯米粉
					

二.實驗器材

4-2-1 溫度計	4-2-2 碼表	4-2-3 加熱攪拌機	4-2-4 電子秤
			

鐵架與鐵圈、量角器、掛勾砝碼 100gw、滴管、玻棒、量筒、木質可調角度架、塑膠杯、彈簧秤(250gw)

	
4-2-5 澱粉液流速測量裝置	4-2-6 澱粉液重物撞擊實驗裝置



4-2-7 砝碼拉力的衰減

肆、研究過程及方法

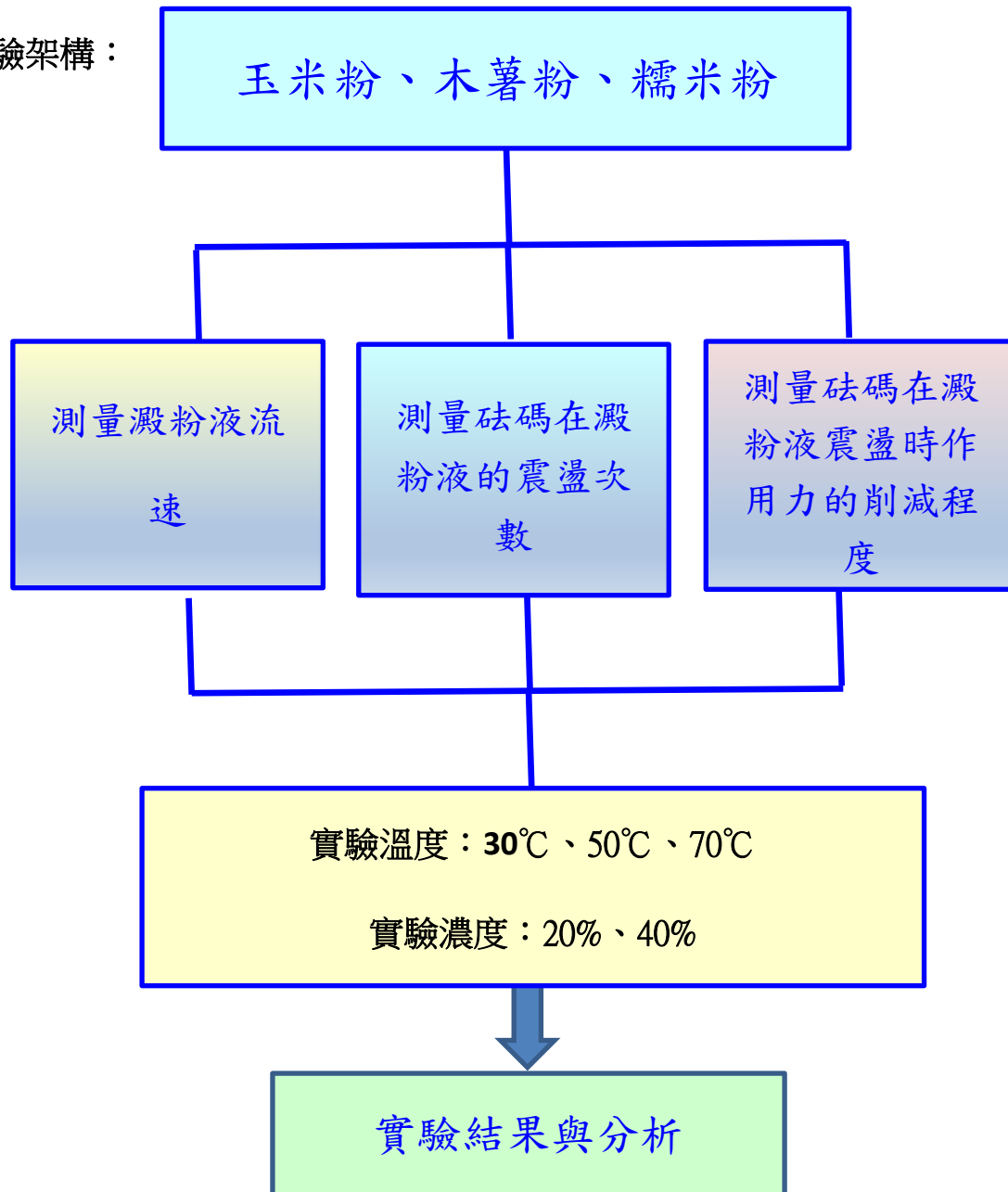
一、測量澱粉液的流速

- (1) 調配出玉米粉、木薯粉、糯米粉加水的重量百分率為比例為 20%、40%、60%的澱粉液備用。
- (2) 將步驟一的澱粉液分別加熱至不同溫度 (30°C、50°C、70°C、90°C)
- (3) 將量筒以 45° 斜放，以黏土固定，分別用滴管吸取 1ml 的澱粉液對齊量筒 100 公分處，觀察用碼表計時 10 秒內滑行距離。
- (4) 記錄並且每一種溫度和流體重複 3 次，取平均值

二、測量砝碼垂直落入澱粉液後的震盪情形

- (1) 將 100gw 的砝碼懸吊在在彈簧秤下，自然垂吊高度恰好以澱粉液液面上
- (2) 將砝碼升高約 10cm，垂直落下時，其拉力與重量恰為彈簧秤的極限 250gw
- (3) 分別把水和各濃度且不同溫度下的澱粉液放在砝碼下，分別觀察砝碼受彈簧秤彈力的影響，施力在澱粉液裡，並上下震盪的次數與受力損失的情形。
- (4) 用手機錄影觀察其震盪次數（其落入流體上下彈跳的次數）與 砝碼下拉與回彈彈簧秤上的讀數。每種溫度和流體均重複 3 次，取其平均值並記錄

實驗架構：



伍、研究結果與討論

實驗一、澱粉液在不同溫度下其滑動速率

我們知道澱粉液在不同溫度下其性質會改變，其流動的狀況也不同。我們針對不同種類的澱粉、配製不同濃度在不同溫度下，其流速的改變。

表 5-1 澱粉種類與濃度在不同溫度下流動情形

平均速率(cm/s)	30 度	50 度	70 度
玉米粉 20%	0.607	0.883	0
玉米粉 40%	0.587	0	0
木薯粉 20%	1.227	0.395	0
木薯粉 40%	1.037	0.375	0
糯米粉 20%	0.61	0.347	0
糯米粉 40%	0.55	0	0

圖1 30度平均流速cm/S

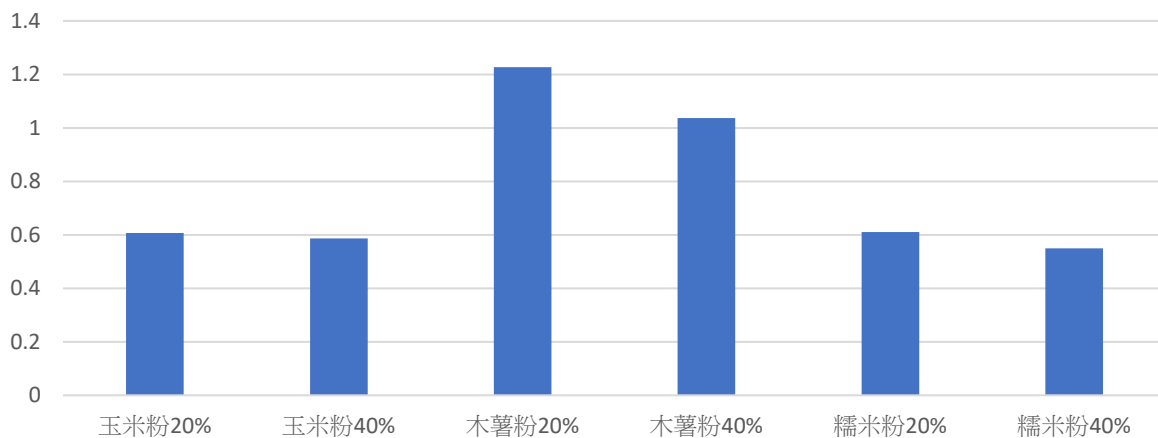
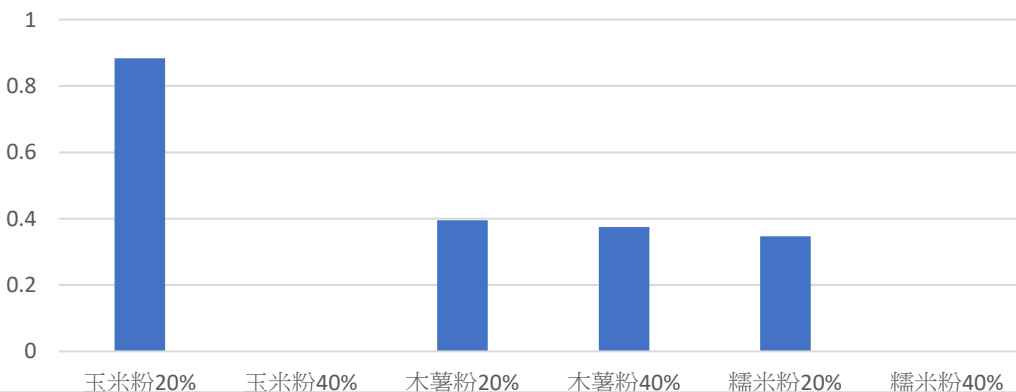


圖2 50度平均流速cm/S



我們發現溫度增加，澱粉液流速會漸漸慢下來，濃度越高就會越慢。到了 70℃ 下的澱粉液幾乎都糊化了，而且不流動，所以流速為零，因此我們便不再進行 90℃ 的實驗。30℃ 時 20% 的木薯粉流速最快 1.227cm/s，再來是 40% 木薯粉次之 1.037cm/s。50℃ 時流速最快的是 20% 玉米粉 0.883cm/s。

實驗二、澱粉液在不同溫度下其受砝碼撞擊的震盪情形

牛頓流體重物還能下落，但是非牛頓流體重物就不易下去，所以我們讓彈簧秤掛著砝碼，用等高的砝碼落入不同溫度下澱粉液，其受彈簧秤形變力與砝碼作用在澱粉液上的反作用力的影響，在澱粉液中的震盪次數的改變。

表二、等高的砝碼落入不同澱粉液，其受彈簧秤彈力影響，在澱粉液中的震盪次數

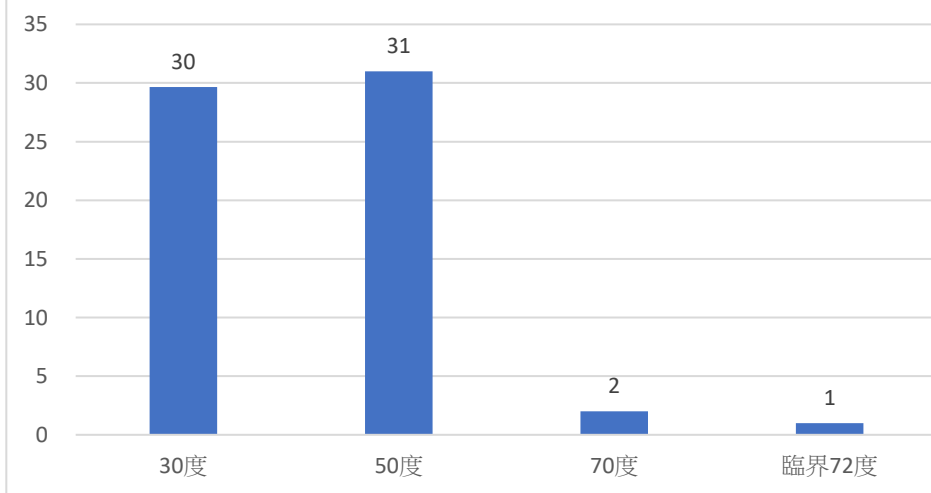
砝碼上下震盪次數	30 度	50 度	70 度	80 度
水	32			
玉米粉 20%	30	31	2	1
玉米粉 40%	31	2	1	
木薯粉 20%	24	11	5	
木薯粉 40%	22	2	1	
糯米粉 20%	11	6	1	
糯米粉 40%	12	2	1	

水30℃ 震盪次數

平均

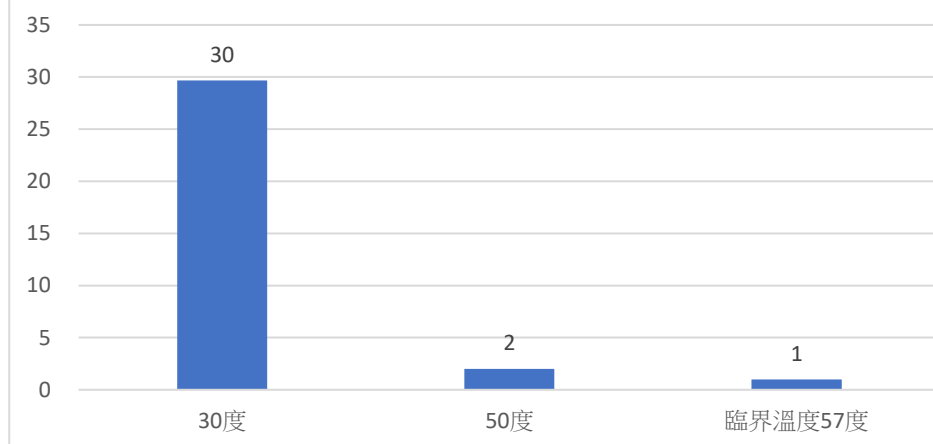
我們發現不同種類和濃度的澱粉在各溫度下，砝碼震盪的次數均不同，溫度越低震動次數越大。溫度越高，澱粉糊化使砝碼由高處落下不易回彈，而且我們加熱的溫度差距過大，所以我們慢慢往回找尋砝碼落下不回彈的溫度，此溫度可能是由牛頓流體轉為非牛頓流體的溫度轉折點。

圖 3 玉米粉20%砝碼震盪次數



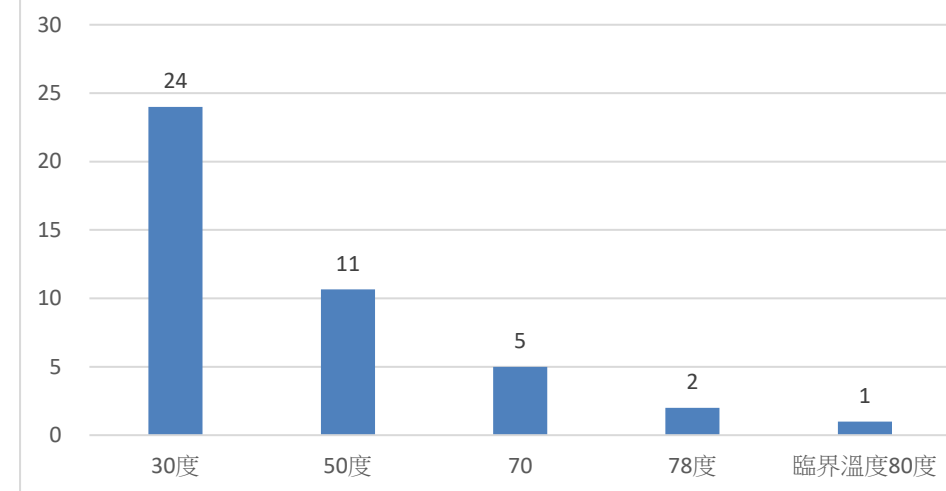
20%的玉米粉在 30℃、50℃ 下的震盪次數均高，但是到了 70℃，只震盪 2 次，結果我們升溫至 72℃ 幾度就找到臨界溫度。

圖 4 玉米粉40%砝碼震盪次數



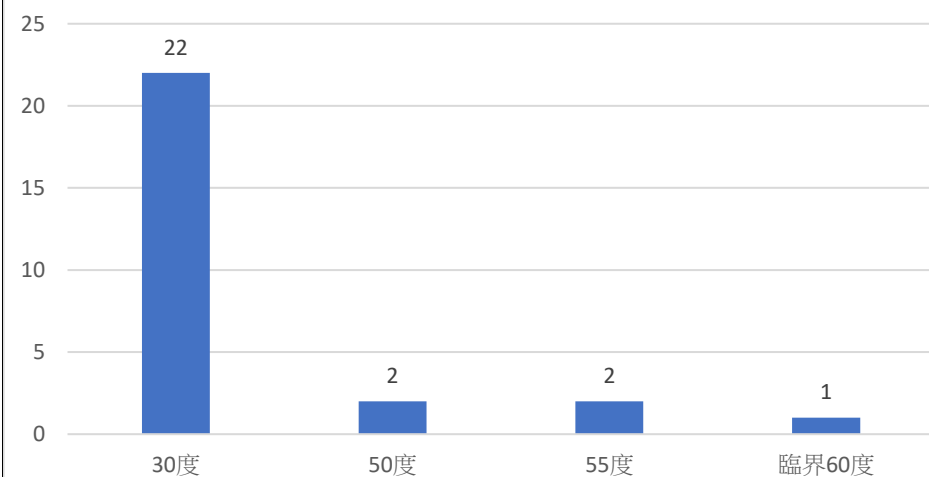
40%的玉米粉在30℃、的震盪次數很高，但是到了50℃，只震盪2次，我們升溫至57℃幾度就找到臨界溫度。

圖 5 木薯粉20%砝碼震盪次數

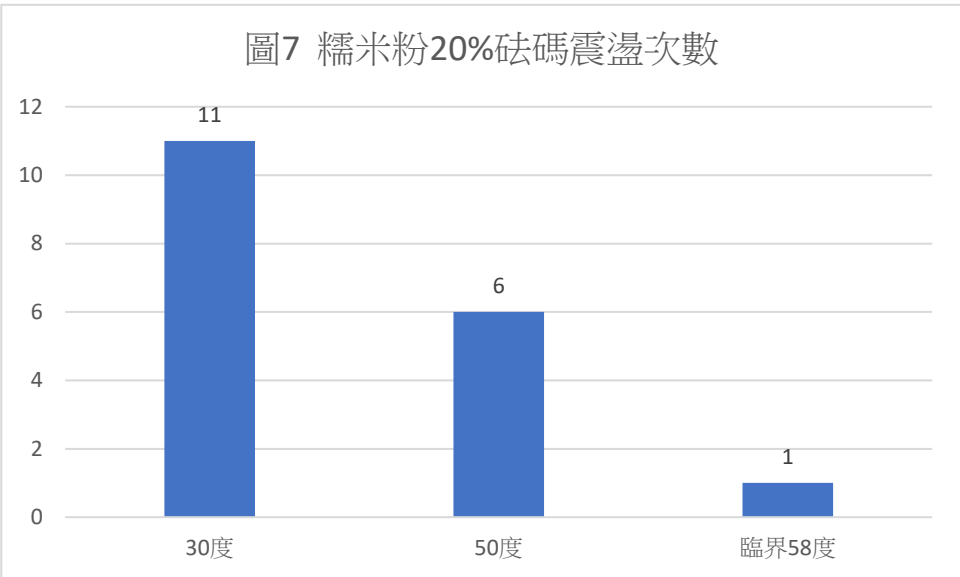
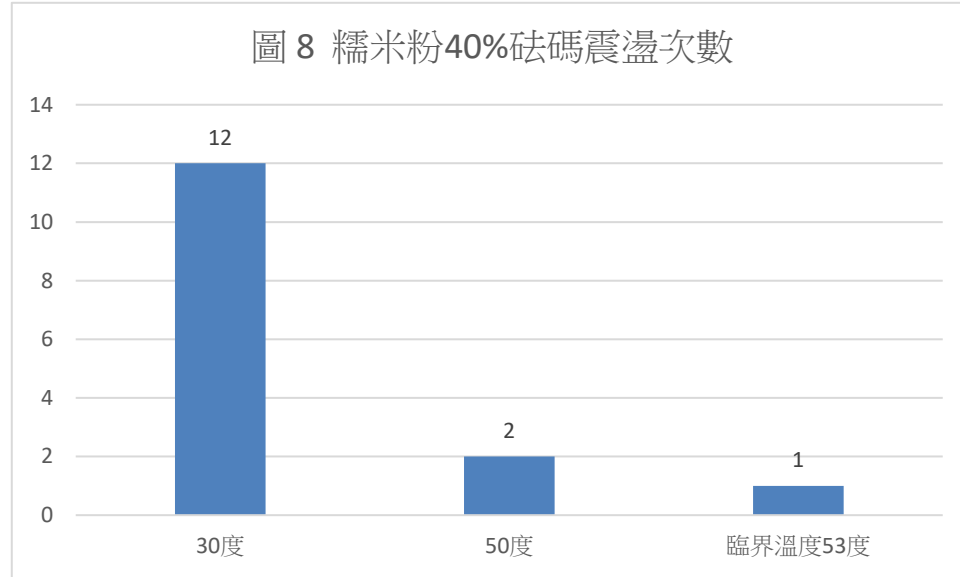


20%木薯粉的震盪次數30℃最高，越升溫就遞減，直到80℃，砝碼一落下就不再回彈，我們推測已經到臨界溫度了。

圖 6 木薯粉40%砝碼震盪次數



40%木薯粉的震盪次數30℃最高，升溫至50℃就銳減，直到80℃，砝碼一落下就不再回彈，我們推測已經到臨界溫度了。

圖7 糯米粉20%砵碼震盪次數  <table border="1"> <thead> <tr> <th>溫度</th> <th>震盪次數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>30度</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>50度</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>臨界58度</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	溫度	震盪次數	30度	11	50度	6	臨界58度	1	20%的糯米粉常溫下震盪次數不像其它澱粉這麼高，升溫至 50℃ 只剩 6 次，我們再繼續升溫至約 58℃，才到達臨界溫度。
溫度	震盪次數								
30度	11								
50度	6								
臨界58度	1								
圖 8 糯米粉40%砵碼震盪次數  <table border="1"> <thead> <tr> <th>溫度</th> <th>震盪次數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>30度</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>50度</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>臨界溫度53度</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	溫度	震盪次數	30度	12	50度	2	臨界溫度53度	1	40%的糯米粉常溫下震盪次數不像其它澱粉這麼高，升溫至 50℃ 只剩 2 次，我們只升溫至約 53℃，就達臨界溫度。
溫度	震盪次數								
30度	12								
50度	2								
臨界溫度53度	1								

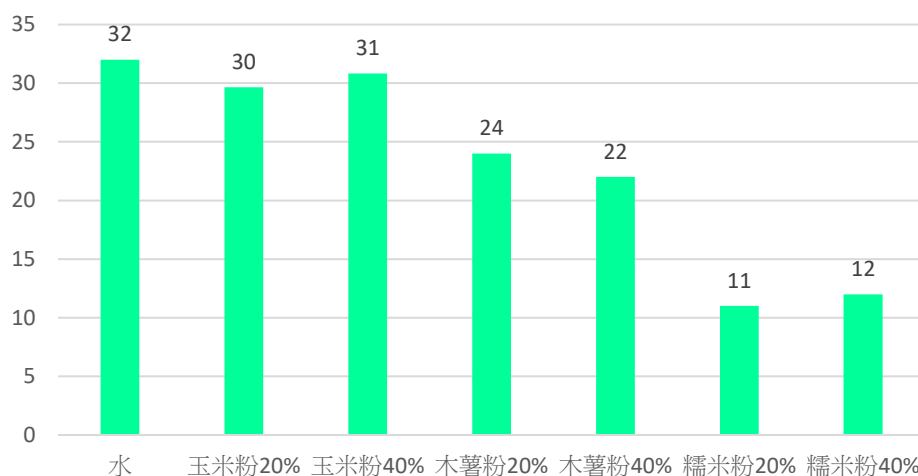
我們由以上實驗發現低溫、低濃度的震盪次數較多，屬於牛頓流體的範圍，當溫度增加，每一種濃度的澱粉液的震盪次數均下降，且濃度越高震盪越少，澱粉的黏性也增加了，也就是快到非牛頓流體的性質的臨界溫度了。其中 40%的糯米粉臨界溫度最低為大約在 53℃。再來是 20%糯米粉次之，臨界溫度最低為大約在 58℃。

因為我們用的溫度計只能測量澱粉液內部的中間溫度，而糊化的澱粉糊不液流動，所以測得我們只能記錄該位置當時測得的溫度。

在相同的溫度下，各澱粉的震盪次數是否有所差異呢？我們的分析如下：

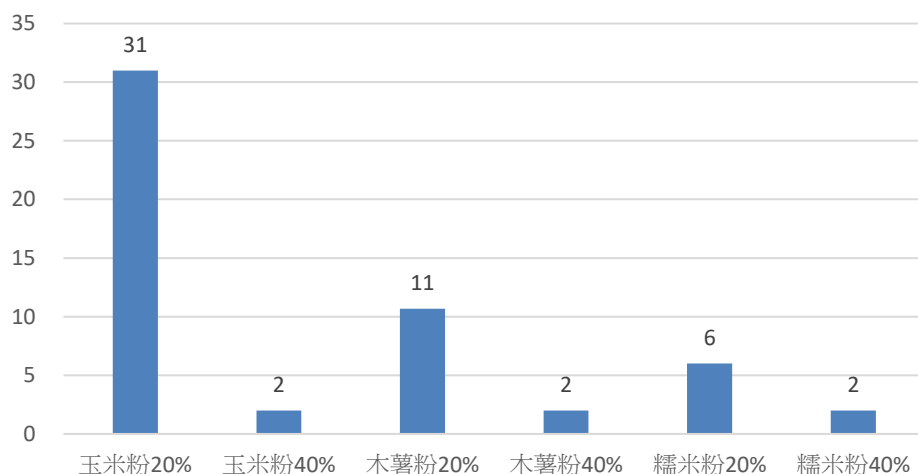
表三、同溫度下各不同種類、不同濃度澱粉震盪次數的差異

圖 9 30度的各澱粉震盪次數



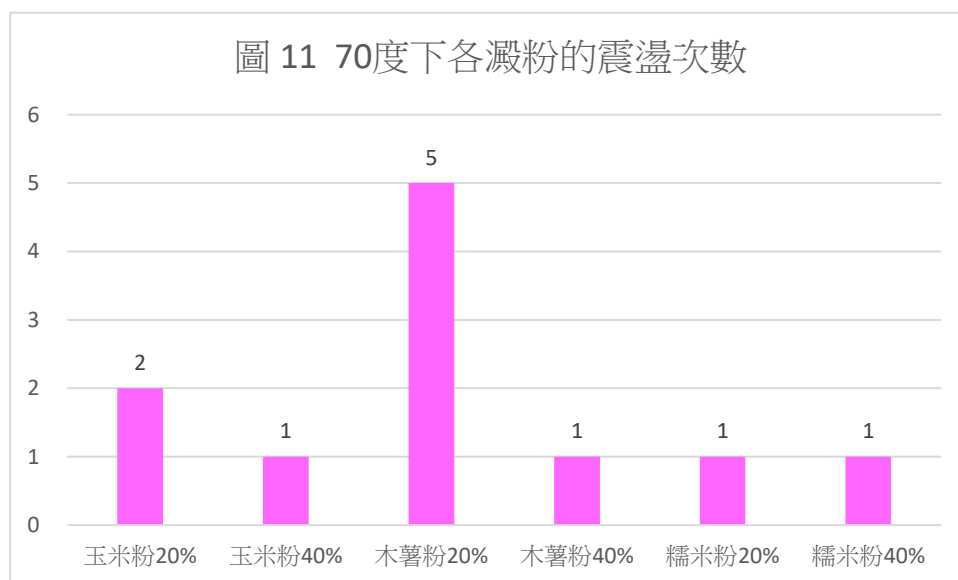
低濃度的次數較多，其中又以玉米粉最好，糯米粉較差，此溫度的澱粉還處在牛頓流體狀態，糯米粉的似乎易吸水而造成黏性較高。

圖10 50度下各同澱粉的震盪次數



溫度增加，高濃度的澱粉液震盪次數瞬間減少，除了玉米粉 20%還有 31 次、20%木薯粉 11 次、糯米粉 6 次之外，其它的都快停止了，此溫度的澱粉液很接近非牛頓流體了，當然開始糊化變黏稠了。

圖 11 70度下各澱粉的震盪次數



澱粉液到了 70 度，幾乎糊化不動且黏稠，砝碼落下就被黏住了，所有下落的力道全被吸住而動彈不得。20%木薯粉還在震盪。

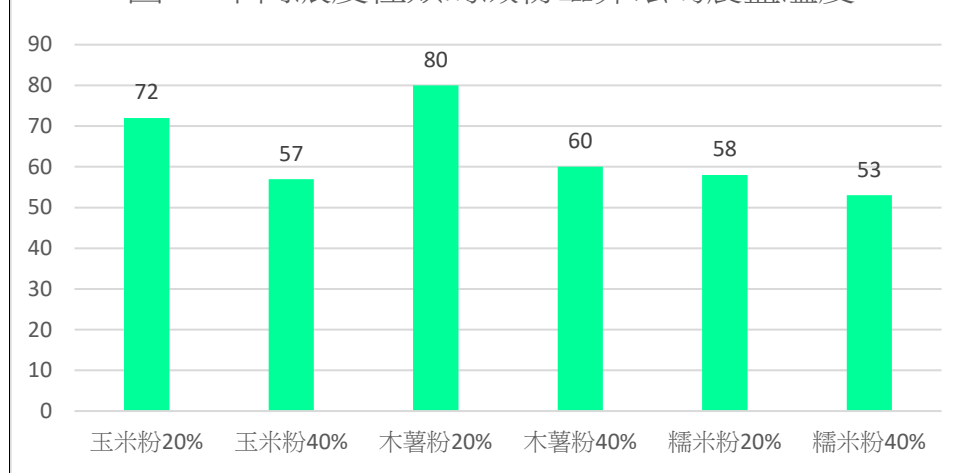
因為加熱的溫度幅度較大，不確定 70℃ 就是該臨界溫度，所以我們往回找恰好臨界震盪一次的溫度。請看以下結果。

我們整合了各濃度的臨界溫度如下表四。

表四、各澱粉液的臨界溫度

		臨界震盪溫度℃	震盪次數
	玉米粉 20%	72	1
	玉米粉 40%	57	1
	木薯粉 20%	80	1
	木薯粉 40%	60	1
	糯米粉 20%	58	1
	糯米粉 40%	53	1

圖12 不同濃度種類的澱粉臨界砝碼震盪溫度



我們在表四發現各種澱粉在不同濃度下的臨界溫度差異不小，濃度低的 20%玉米粉與木薯粉的臨界溫度較高，20%和 40%的糯米粉則臨溫度差異比較小，是否是因為糯米粉本身屬於支鏈澱粉較多，升溫時黏性較高，因此糊化溫度較低。

其中臨界溫度最高的是 20%木薯粉 80℃，最低是 40%糯米粉 53℃。

以上溫度均為溫度計所在位置的溫度，因為澱粉糊不流動了，所以我們歸納出以下的牛頓與非牛頓流體的臨界溫度範圍：

	玉米粉 20%	玉米粉 40%	木薯粉 20%	木薯粉 40%	糯米粉 20%	糯米粉 40%
臨界溫度℃ 範圍	70~72	55~57	78~80	55~60	55~58	50~53

實驗三、砝碼落入澱粉液或澱粉糊後回彈，期間殘餘的作用力

澱粉液在不同溫度下，彈簧秤拉著砝碼，當砝碼落入澱粉液內，其受彈簧秤拉力與澱粉液的反作用力而回彈，這個作用力也會和澱粉液或澱粉糊摩擦而逐漸停止，所以我們藉由彈簧秤上的讀數來觀察砝碼落入澱粉液或澱粉糊時，受澱粉的黏性與摩擦來觀察砝碼下落且回彈共損失多少作用力。

表五：砝碼拉伸和回彈時，在彈簧秤上顯示的殘餘作用力

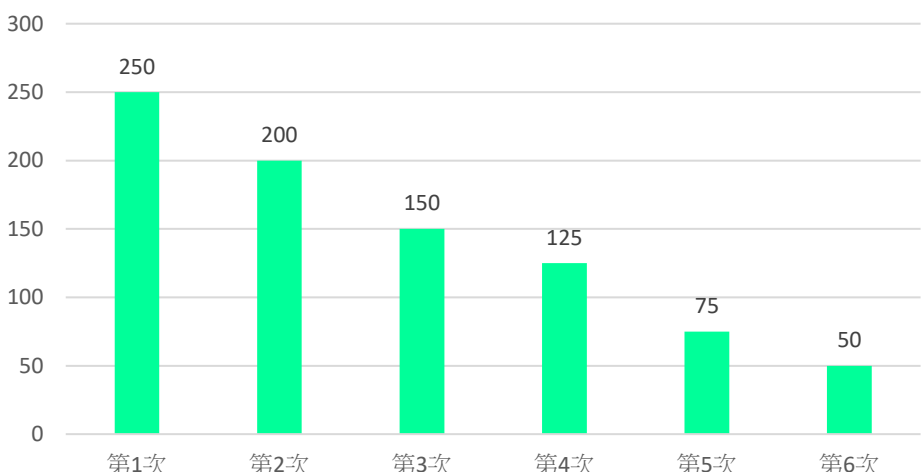
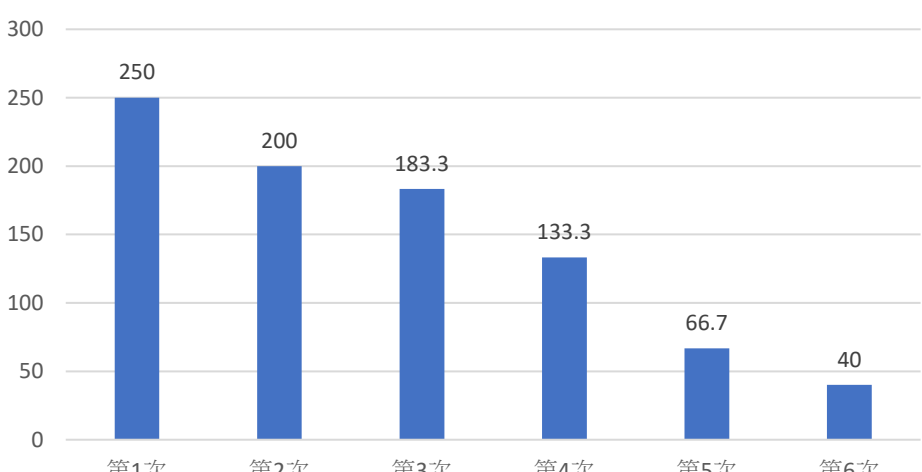
gw 圖 13 玉米粉20% 30度砝碼震盪殘餘的作用力  <table border="1"> <thead> <tr> <th>次數</th> <th>殘餘作用力 (gw)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>第1次</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>第2次</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>第3次</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>第4次</td> <td>125</td> </tr> <tr> <td>第5次</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>第6次</td> <td>50</td> </tr> </tbody> </table>	次數	殘餘作用力 (gw)	第1次	250	第2次	200	第3次	150	第4次	125	第5次	75	第6次	50	砝碼在 20%玉米粉裡觀察前 6 次的震盪，發現彈簧秤的讀數是逐漸遞減，第 1 次和第 6 次的殘餘作用力差了 5 倍之多。
次數	殘餘作用力 (gw)														
第1次	250														
第2次	200														
第3次	150														
第4次	125														
第5次	75														
第6次	50														
gw 圖14 玉米粉20%50度砝碼震盪殘餘的作用力  <table border="1"> <thead> <tr> <th>次數</th> <th>殘餘作用力 (gw)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>第1次</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>第2次</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>第3次</td> <td>183.3</td> </tr> <tr> <td>第4次</td> <td>133.3</td> </tr> <tr> <td>第5次</td> <td>66.7</td> </tr> <tr> <td>第6次</td> <td>40</td> </tr> </tbody> </table>	次數	殘餘作用力 (gw)	第1次	250	第2次	200	第3次	183.3	第4次	133.3	第5次	66.7	第6次	40	砝碼在 20%玉米粉裡觀察前 6 次的震盪，發現彈簧秤的讀數是逐漸遞減，第 1 次和第 6 次的殘餘作用力差了 5 倍之多。和 30℃時的數據很接近。
次數	殘餘作用力 (gw)														
第1次	250														
第2次	200														
第3次	183.3														
第4次	133.3														
第5次	66.7														
第6次	40														

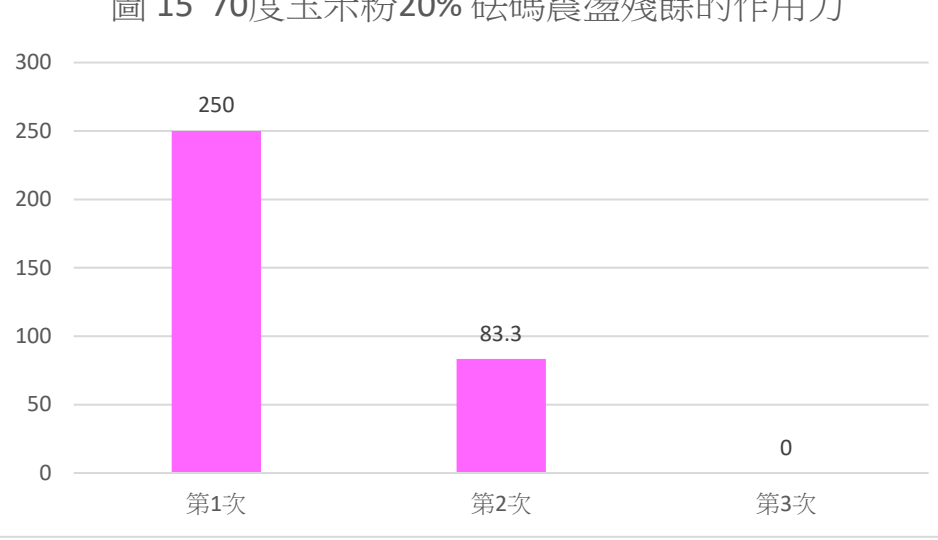
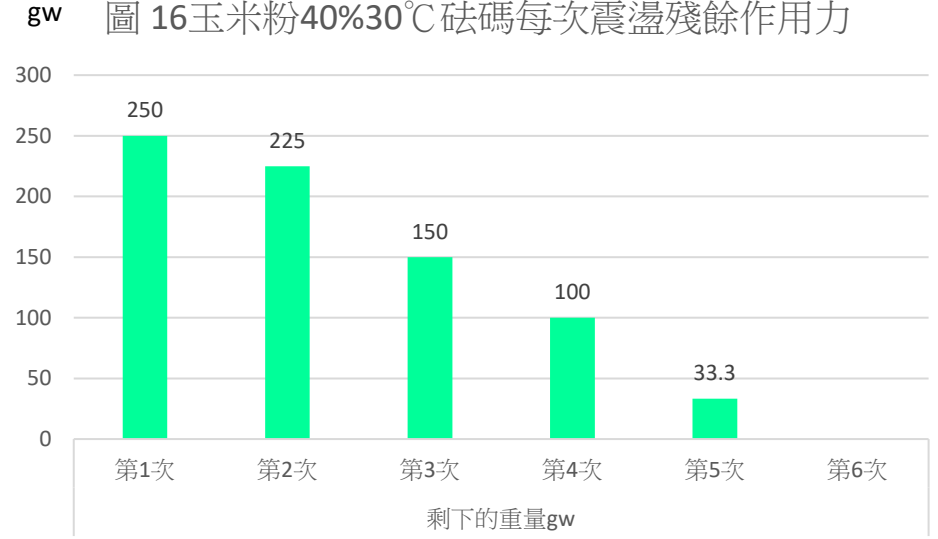
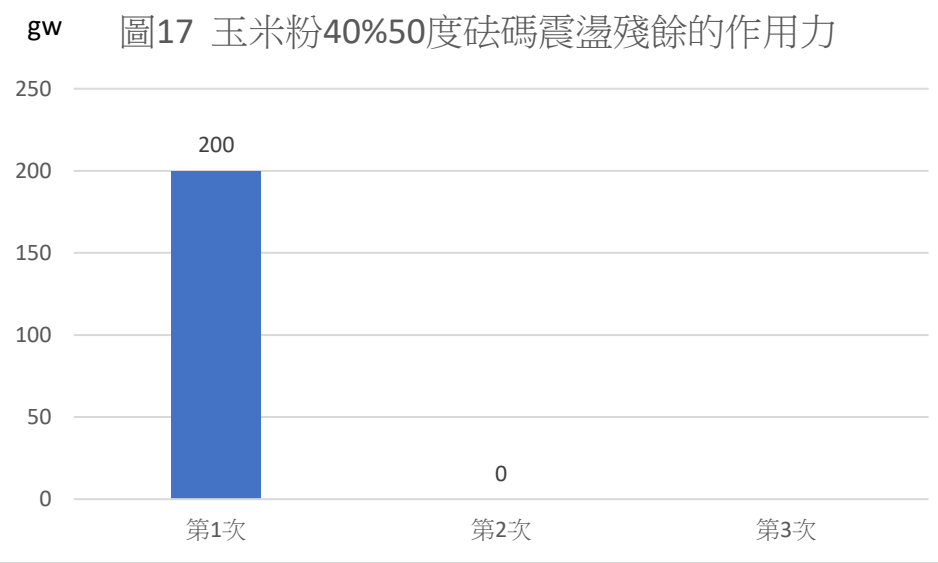
圖 15 70度玉米粉20% 砝碼震盪殘餘的作用力  <table border="1"><thead><tr><th>次數</th><th>作用力 (gw)</th></tr></thead><tbody><tr><td>第1次</td><td>250</td></tr><tr><td>第2次</td><td>83.3</td></tr><tr><td>第3次</td><td>0</td></tr></tbody></table>	次數	作用力 (gw)	第1次	250	第2次	83.3	第3次	0	加熱到 70℃ 後，正在糊化，回彈至第 2 次僅剩下 83.3gw 所以第 3 次就被黏住不動了。 附帶一提的是 20%玉米粉在 72℃ 實驗中，已經不再回彈了。因其重量和作用力全數被糊化澱粉吸收。						
次數	作用力 (gw)														
第1次	250														
第2次	83.3														
第3次	0														
gw 圖 16玉米粉40%30℃ 砝碼每次震盪殘餘作用力  <table border="1"><thead><tr><th>次數</th><th>剩下的重量 (gw)</th></tr></thead><tbody><tr><td>第1次</td><td>250</td></tr><tr><td>第2次</td><td>225</td></tr><tr><td>第3次</td><td>150</td></tr><tr><td>第4次</td><td>100</td></tr><tr><td>第5次</td><td>33.3</td></tr><tr><td>第6次</td><td>0</td></tr></tbody></table>	次數	剩下的重量 (gw)	第1次	250	第2次	225	第3次	150	第4次	100	第5次	33.3	第6次	0	砝碼在 40%玉米粉裡觀察前 5 次的震盪，發現彈簧秤的讀數是逐漸遞減，和 30℃ 時的數據很接近。
次數	剩下的重量 (gw)														
第1次	250														
第2次	225														
第3次	150														
第4次	100														
第5次	33.3														
第6次	0														
gw 圖17 玉米粉40%50度砝碼震盪殘餘的作用力  <table border="1"><thead><tr><th>次數</th><th>作用力 (gw)</th></tr></thead><tbody><tr><td>第1次</td><td>200</td></tr><tr><td>第2次</td><td>0</td></tr><tr><td>第3次</td><td>0</td></tr></tbody></table>	次數	作用力 (gw)	第1次	200	第2次	0	第3次	0	這應該接近臨界溫度了，250gw 拉力下去瞬間只剩 200gw，且回彈後再下去就被黏住了。 我們升溫至 57℃ 時砝碼一落下就不再回彈。						
次數	作用力 (gw)														
第1次	200														
第2次	0														
第3次	0														

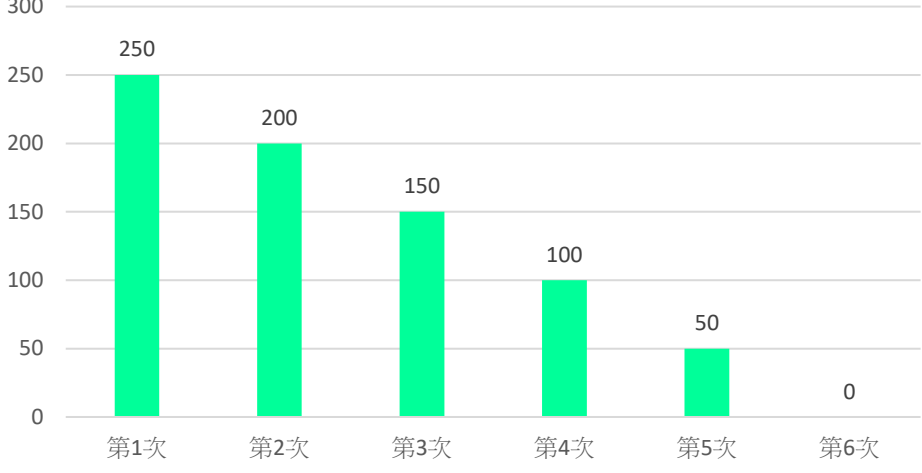
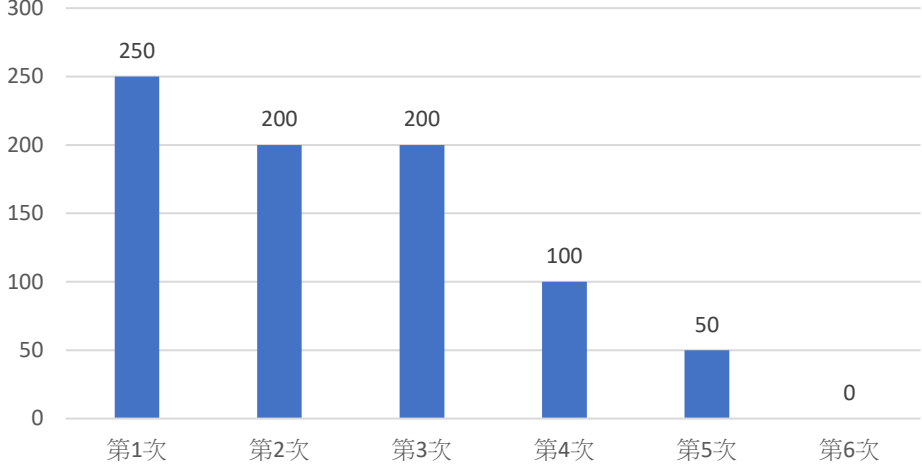
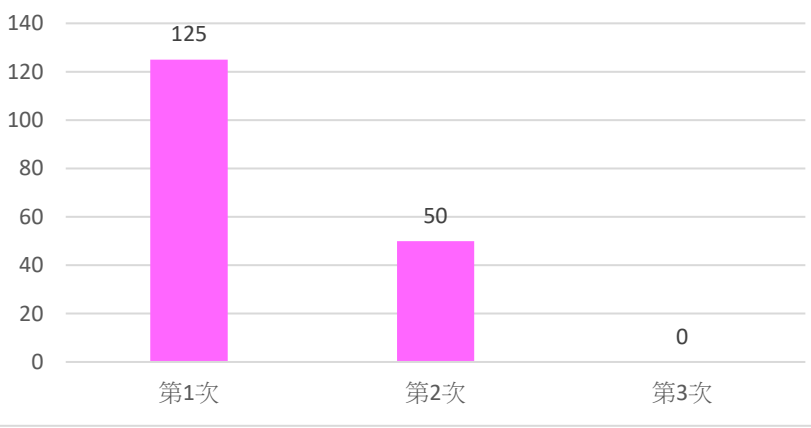
圖 18 木薯粉20% 30度砝碼震盪殘餘的作用力  <table border="1"> <thead> <tr> <th>次數</th> <th>作用力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>第1次</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>第2次</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>第3次</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>第4次</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>第5次</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>第6次</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	次數	作用力	第1次	250	第2次	200	第3次	150	第4次	100	第5次	50	第6次	0	砝碼在 20%木薯粉裡觀察前 5 次的震盪，發現彈簧秤的讀數是逐漸遞減。
次數	作用力														
第1次	250														
第2次	200														
第3次	150														
第4次	100														
第5次	50														
第6次	0														
圖19 木薯粉20% 50度砝碼震盪殘餘的作用力  <table border="1"> <thead> <tr> <th>次數</th> <th>作用力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>第1次</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>第2次</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>第3次</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>第4次</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>第5次</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>第6次</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	次數	作用力	第1次	250	第2次	200	第3次	200	第4次	100	第5次	50	第6次	0	砝碼在 20%木薯粉裡觀察前 5 次的震盪，發現彈簧秤的讀數是逐漸遞減，和 30°C時的數據很接近
次數	作用力														
第1次	250														
第2次	200														
第3次	200														
第4次	100														
第5次	50														
第6次	0														
圖 木薯粉20% 70度砝碼震盪殘餘的作用力  <table border="1"> <thead> <tr> <th>次數</th> <th>作用力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>第1次</td> <td>125</td> </tr> <tr> <td>第2次</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>第3次</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	次數	作用力	第1次	125	第2次	50	第3次	0	20%木薯粉到 70°C，幾近糊化，所以震盪兩次就停止了。 20%木薯粉在第一次落下就把砝碼的力道降為 1/2。 我們升溫至 80°C時砝碼一落下就不再回彈。重量全數吸收。						
次數	作用力														
第1次	125														
第2次	50														
第3次	0														

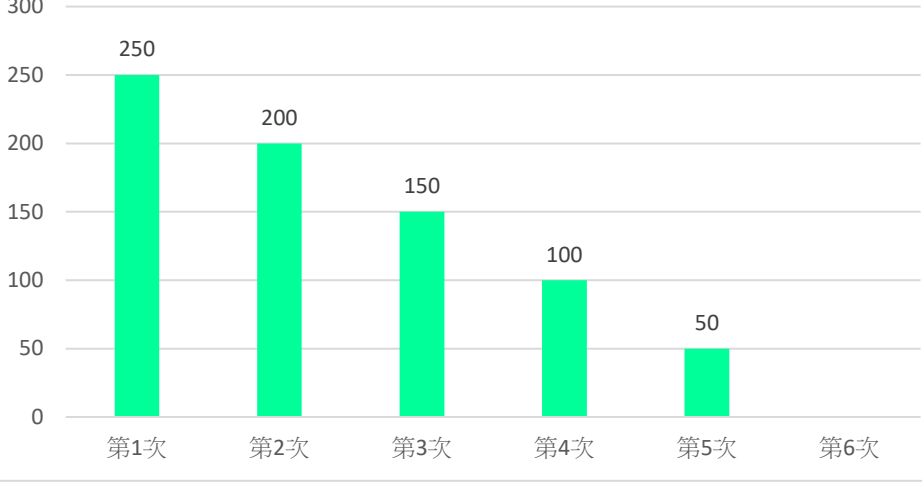
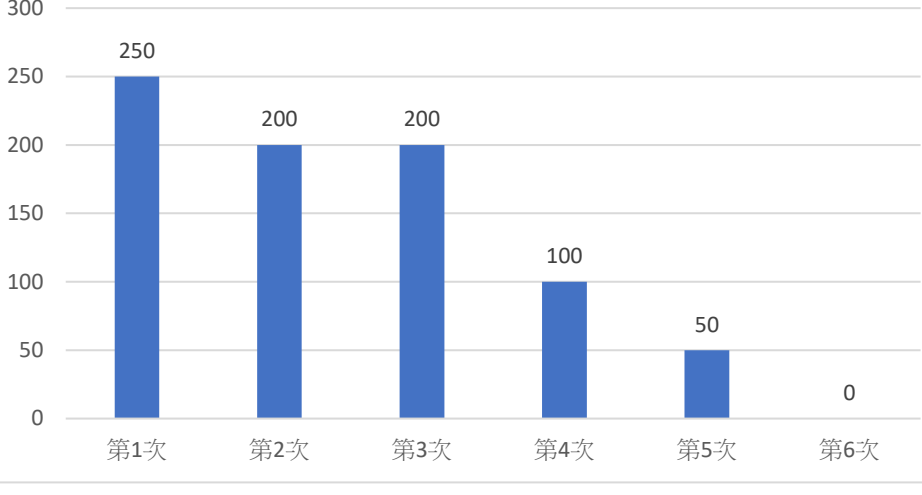
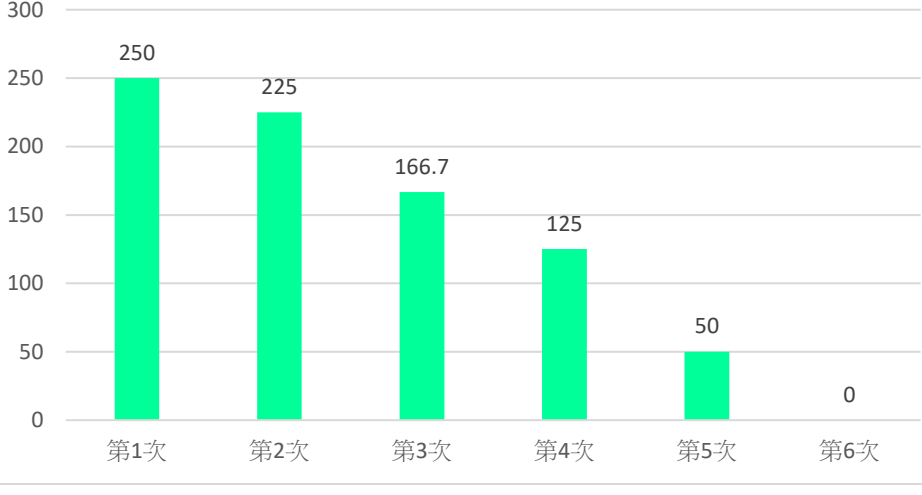
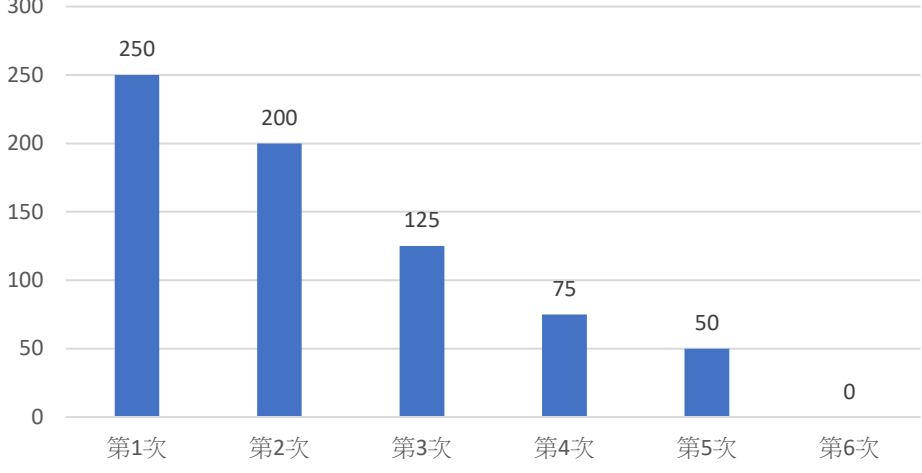
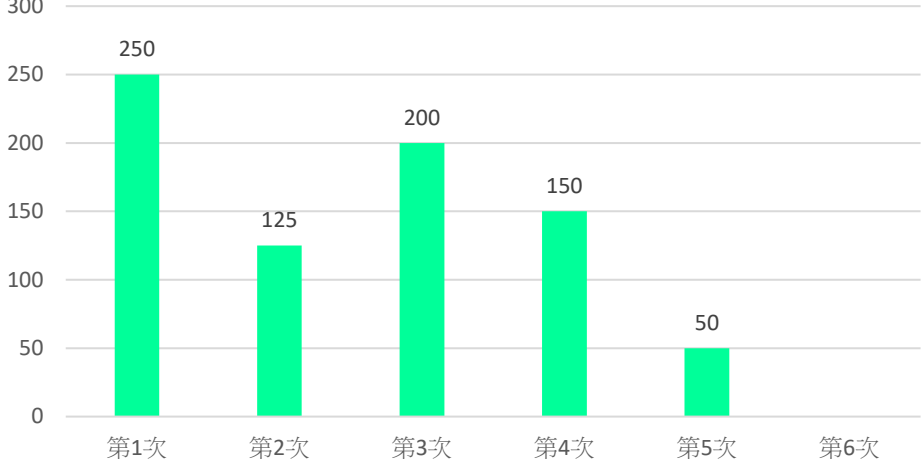
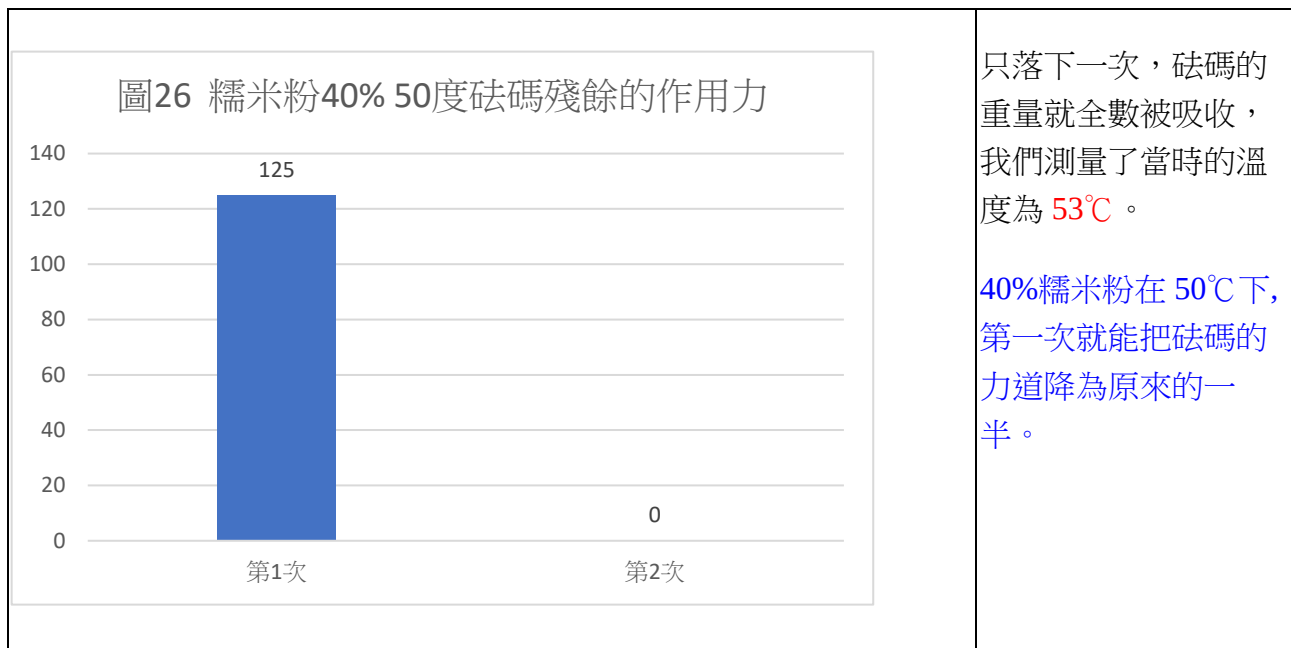
圖 21木薯粉40% 30度砝碼震盪殘餘的作用力  <table border="1"> <thead> <tr> <th>次數</th> <th>作用力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>第1次</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>第2次</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>第3次</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>第4次</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>第5次</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>第6次</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	次數	作用力	第1次	250	第2次	200	第3次	150	第4次	100	第5次	50	第6次	0	砝碼在 40%木薯粉裡觀察前 5 次的震盪，發現彈簧秤的讀數是逐漸遞減。
次數	作用力														
第1次	250														
第2次	200														
第3次	150														
第4次	100														
第5次	50														
第6次	0														
圖 22 木薯粉40% 50度砝碼震盪殘餘的作用力  <table border="1"> <thead> <tr> <th>次數</th> <th>作用力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>第1次</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>第2次</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>第3次</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>第4次</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>第5次</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>第6次</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	次數	作用力	第1次	250	第2次	200	第3次	200	第4次	100	第5次	50	第6次	0	砝碼在 40%木薯粉裡觀察前 5 次的震盪，發現彈簧秤的讀數是逐漸遞減，和 30℃時的數據很接近。 附帶一提的是木薯粉在 70℃實驗中，已經不再回彈了。因為在 60℃時，其重量和作用力全數被糊化澱粉吸收。
次數	作用力														
第1次	250														
第2次	200														
第3次	200														
第4次	100														
第5次	50														
第6次	0														
圖23 糯米粉20% 30度砝碼殘餘的作用力  <table border="1"> <thead> <tr> <th>次數</th> <th>作用力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>第1次</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>第2次</td> <td>225</td> </tr> <tr> <td>第3次</td> <td>166.7</td> </tr> <tr> <td>第4次</td> <td>125</td> </tr> <tr> <td>第5次</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>第6次</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	次數	作用力	第1次	250	第2次	225	第3次	166.7	第4次	125	第5次	50	第6次	0	砝碼在 20%糯米粉裡觀察前 5 次的震盪，發現彈簧秤的讀數是逐漸遞減。
次數	作用力														
第1次	250														
第2次	225														
第3次	166.7														
第4次	125														
第5次	50														
第6次	0														

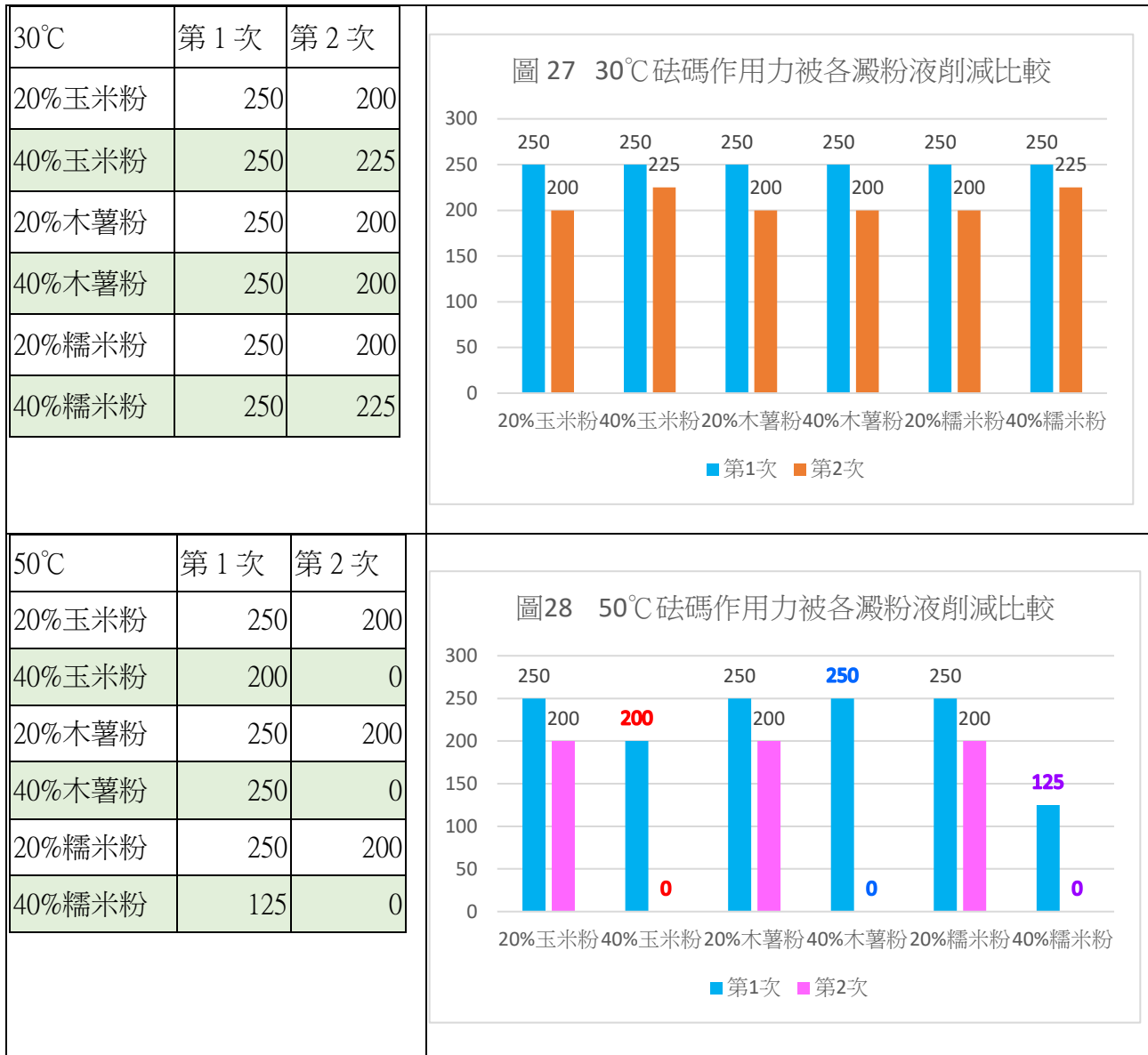
圖24 糯米粉 20% 50度砵碼殘餘的作用力  <table border="1"> <thead> <tr> <th>次數</th> <th>作用力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>第1次</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>第2次</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>第3次</td> <td>125</td> </tr> <tr> <td>第4次</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>第5次</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>第6次</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	次數	作用力	第1次	250	第2次	200	第3次	125	第4次	75	第5次	50	第6次	0	砵碼在 20%糯米粉裡觀察前 5 次的震盪，發現彈簧秤的讀數是逐漸遞減，和 30℃時的數據很接近。 附帶一提的是糯米粉粉在 70℃實驗中，已經不再回彈了。所以往回找臨界溫度發現 58℃其重量和作用力全數被糊化澱粉吸收。
次數	作用力														
第1次	250														
第2次	200														
第3次	125														
第4次	75														
第5次	50														
第6次	0														
圖 25 糯米粉40% 30度砵碼殘餘的作用力  <table border="1"> <thead> <tr> <th>次數</th> <th>作用力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>第1次</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>第2次</td> <td>125</td> </tr> <tr> <td>第3次</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>第4次</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>第5次</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>第6次</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	次數	作用力	第1次	250	第2次	125	第3次	200	第4次	150	第5次	50	第6次	0	砵碼在 40%糯米粉裡觀察前 5 次的震盪，發現彈簧秤的讀數是逐漸遞減。
次數	作用力														
第1次	250														
第2次	125														
第3次	200														
第4次	150														
第5次	50														
第6次	0														



由以上的實驗結果，我們發現當澱粉糊化後，砵碼落下接觸障礙物時，絕大部分的力道會被糊化的澱粉吸收，特別在臨界溫度下。也就是溫度越高、濃度越高，砵碼下落被削減的作用力越大。

實驗分析到這裡，我們思考到底哪一種澱粉、哪一種濃度在砵碼第一次到第二次之間落下後，被澱粉液或澱粉糊吸收最多的作用力，以下是我們的分析。

表六：砝碼掉落後，作用力被澱粉液或澱粉糊削減的比較



在 30℃ 下、砝碼下落時被削減的作用力，幾乎在所有的澱粉液中前面兩次的震盪，都落在 50gw 上下，也就是砝碼還保有 8 成以上的作用力繼續在澱粉液裡震盪。

我們發現 50℃ 時，砝碼在 40% 的木薯粉一開始下落就被削減 250gw，停止了。40% 的玉米粉次之，回彈至 200gw 後落下就停止了。還有 40% 糯米粉回彈至 125gw 後落下就停止了。所以 50℃ 多半是澱粉開始糊化的溫度，所以具有黏稠性，砝碼掉落時，阻力較大，容易把砝碼下落的作用力抵銷而停止震盪。

陸、結論

根據以上的實驗結果，我們歸納出以下幾點結論：

一、不同種類、濃度的澱粉液在不同溫度下其滑動速率

在擺放角度為 45° 的量筒澱粉液溫度增加，澱粉液流速會漸漸慢下來，濃度越高也會越慢。到了 70°C 下的澱粉液幾乎都糊化了，而且不流動，所以流速為零。 30°C 時 20% 的木薯粉流速最快 1.227cm/s ，再來是 40% 木薯粉次之 1.037cm/s 。 50°C 時流速最快的是 20% 玉米粉 0.883cm/s 。

二、澱粉液在不同溫度下其受砝碼撞擊的震盪情形分析

(一)震盪次數與臨界溫度範圍

1、不同種類和濃度的澱粉在各溫度下，砝碼震盪的次數均不同，溫度越低震動次數越大。溫度越高，澱粉糊化使砝碼由高處落下不易回彈。

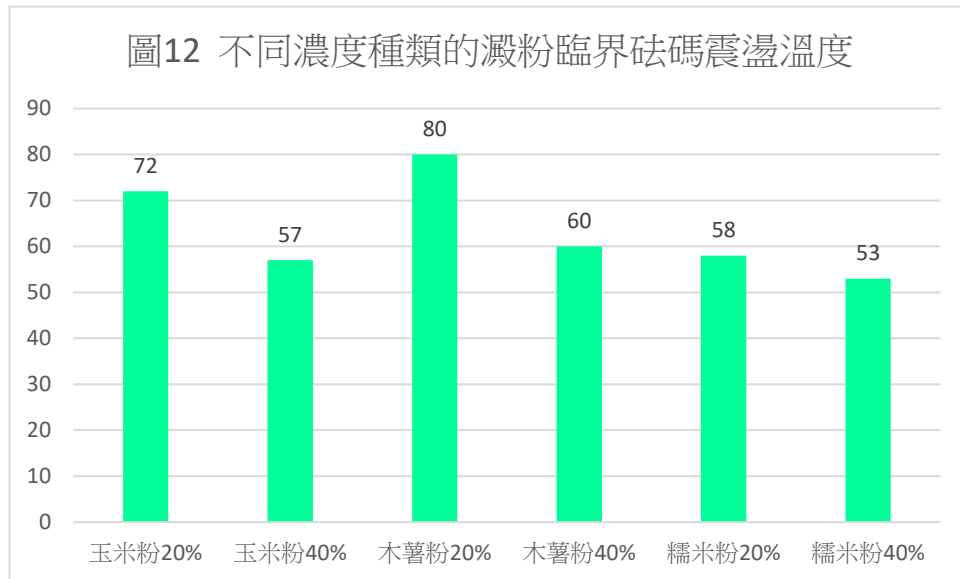
2、低溫、低濃度的震盪次數較多，屬於牛頓流體的範圍，當溫度增加，砝碼在每一種濃度的澱粉液的震盪次數均下降，且濃度越高震盪越少，澱粉的黏性也增加了，也就是快到非牛頓流體的性質的臨界溫度了。

3、在 30°C 下，低濃度的砝碼上下震盪次數較多，其中又以玉米粉最多達 31 次，其次是木薯粉 22~24 次，糯米粉較差，糯米粉的似乎易吸水而造成黏性較高，震盪次數較少。

4、在 50°C 下，高濃度 40% 的澱粉液震盪次數瞬間減少，除了玉米粉 20% 還有 31 次、20% 木薯粉 11 次、糯米粉 6 次之外，其它的都快停止了，此溫度的澱粉液很接近非牛頓流體了，當然開始糊化變黏稠了。

5、澱粉液到了 **70 度**，幾乎糊化不動且黏稠，砝碼落下就被黏住了，所有下落的力道全被吸住而動彈不得。僅 20% 木薯粉還在震盪。

6、因為我們框選的溫度範圍較大，為了找尋近似的牛頓與非牛頓流體之間的臨界溫度範圍，我們嘗試在澱粉液開始變黏稠時縮小溫度範圍找尋臨界溫度，而糊化的澱粉糊不液流動，所以我們只能記錄該位置當時測得的溫度。其中 40% 的糯米粉臨界溫度最低為 53℃。再來是 20% 糯米粉次之，臨界溫度最低為 58℃ 左右。



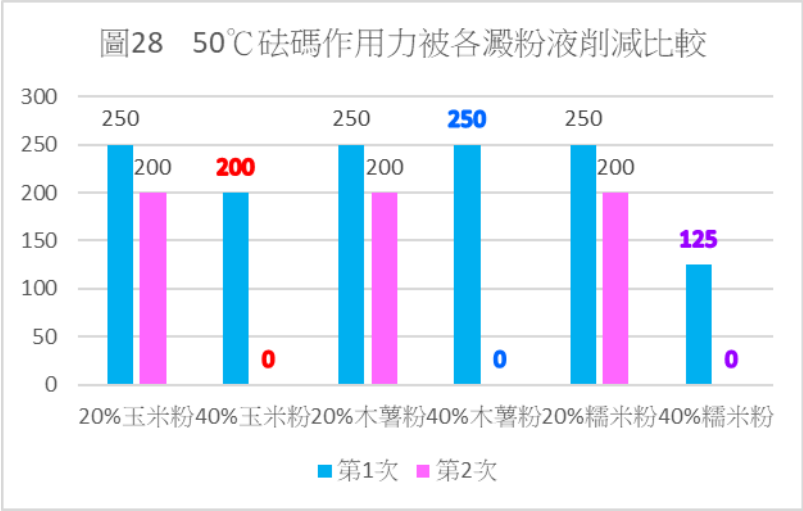
	玉米粉 20%	玉米粉 40%	木薯粉 20%	木薯粉 40%	糯米粉 20%	糯米粉 40%
臨界溫度℃範圍	70~72	55~57	78~80	55~60	55~58	50~53

(二) 砝碼落入澱粉液或澱粉糊後回彈，期間殘餘的作用力

1、當澱粉糊化後，砝碼落下接觸障礙物時，絕大部分的力道會被糊化的澱粉吸收，特別在臨界溫度範圍下。也就是溫度越高、濃度越高，砝碼下落被削減的作用力越大。

2、在 30℃ 下、砝碼下落時被削減的作用力，幾乎在所有的澱粉液中前面兩次的震盪，都落在 50gw 上下，也就是砝碼還保有 8 成以上的作用力可以繼續在澱粉液裡震盪。

3、我們發現 50℃時，砝碼在 40%的木薯粉一開始下落就被削減 250gw，停止了。40%的玉米粉次之，回彈至 200gw 後落下就停止了。還有 40%糯米粉回彈至 125gw 後落下就停止了。所以 50℃多半是澱粉開始糊化的溫度，所以具有黏稠性，砝碼掉落時，阻力較大，容易把砝碼下落的作用力抵銷而停止震盪。



柒、參考文獻

- 1、「剛」「柔」並進、「硬」「軟」兼施～探討流體的「固化」與固體的「液化」現象，蔡昀芸等，國小組，物理科，第 54 屆國展優勝
- 2、探討非牛頓流體對安全帽結構吸收衝擊力的影響，趙嘉亨等，高中組，天文與物理學科，第 63 屆國展優勝
- 3、『遇強則強，遇弱則弱』～難以置信的非牛頓流體，國小組，物理科，北市第 51 屆科展優勝
- 4、一躍而起—非牛頓流體在簡諧運動下的跳躍現象，蕭如芸等，高中組，物理科，第 55 屆國展優勝
- 5、<https://youtu.be/B6sqBeBeO0s?si=-cAVawxEIAk6rl7n>—（中央大學）物理演示實驗,非牛頓流體
- 6、翰林版自然第三冊第 2 章水溶液、第 5 冊第 2 章力與運動