

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 物理科

030106

兵來漿擋—非牛頓流體防衝撞力之研究

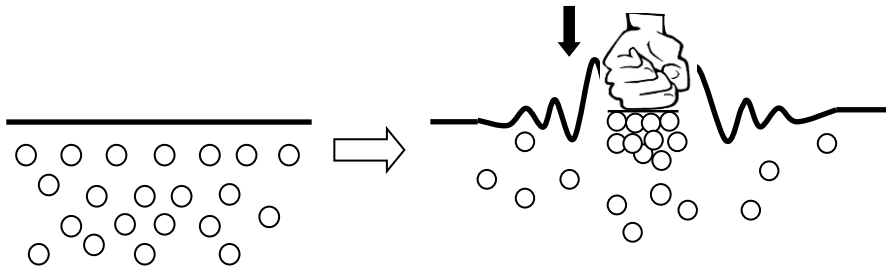
學校名稱：臺中市立居仁國民中學

作者：  國三 葉庭瑄  國三 張憲紘  國三 劉芷辰	指導老師：  王翠妃  陳惠如
---	-----------------------------

關鍵詞：流體、力學

## 壹、摘要

非牛頓流體的膨性流體有一現象稱為『擴溶現象』（當粉漿急速受到外力時，粉漿顆粒相吸卡住彼此，形成堅硬固體狀表面，但未受力部分則是產生波動的液體），所受衝力因波動而減少。實驗發現濃度50%~58.5%的玉米粉漿與濃度20%~58.5%的太白粉漿符合膨性流體的特性，且玉米與太白粉漿的濃度越大吸收彈珠撞擊衝量越大。糯米粉漿則不符合膨性流體。將實驗結果運用於安全氣囊的設計，發現雙層安全氣囊：以58.8%玉米粉漿填裝面向車頭的氣囊，防止車體形變對人體的傷害；面對人體方向的氣囊則灌入氣體，利用氣體的可壓縮性減少人體的衝撞力。此裝置在車輛下滑急停時，人體所受衝撞力最小。能有效的減少人體因衝撞所受的傷害。



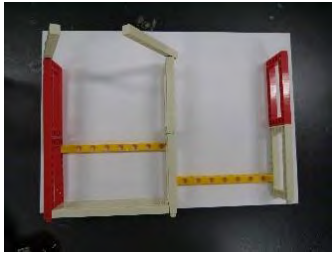


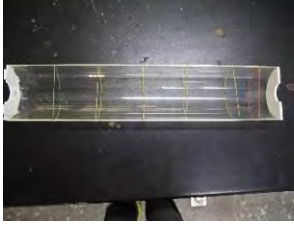



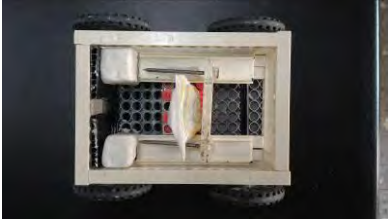
## 貳、研究動機

曾經在電視節目上看過有人踩在濃稠的玉米漿中，竟然不會陷下去。這有趣的畫面瞬間攫住我的目光，讓我再也移不開視線，更想一探現象背後的原理。因此，我立刻翻箱倒櫃找出玉米粉如法炮製也配了一盆玉米漿。當我光著腳丫踏進漿中，便感覺到一股冰涼且黏稠的感覺，接著雙腳就像陷入流沙一般，身體重心頓失平衡。我只好用力拔出一隻腳，並快速的在漿上踩踏。這時，腳又像站在地面一般踏實；但是，只要腳步稍作停頓，又會陷入冰冷黏稠的「漿」淖中。此時，猶如電光石火般，我的腦中閃現前陣子在路上目睹的車禍現場。當時，後方車輛追撞前面等待紅燈的車輛，後車因車速太快，導致車頭凹陷，零件飛散，損傷相當嚴重。再低頭望向深陷在玉米漿中的雙腳，如果我善用玉米漿受力變硬又可吸收撞擊力的特質。將這股濃稠漿體的緩衝能力應用於安全氣囊中，是否可有效吸收衝撞能量也可避免安全氣囊因氣體大量灌入下所產生的爆炸現象？因此，我們計畫利用玉米粉漿、太白粉漿、糯米粉漿……等非牛頓流體進行實驗操作，了解其中的原理與特性，期盼能藉此研究結果減少類似意外衝擊所造成的傷害。

## 參、研究目的

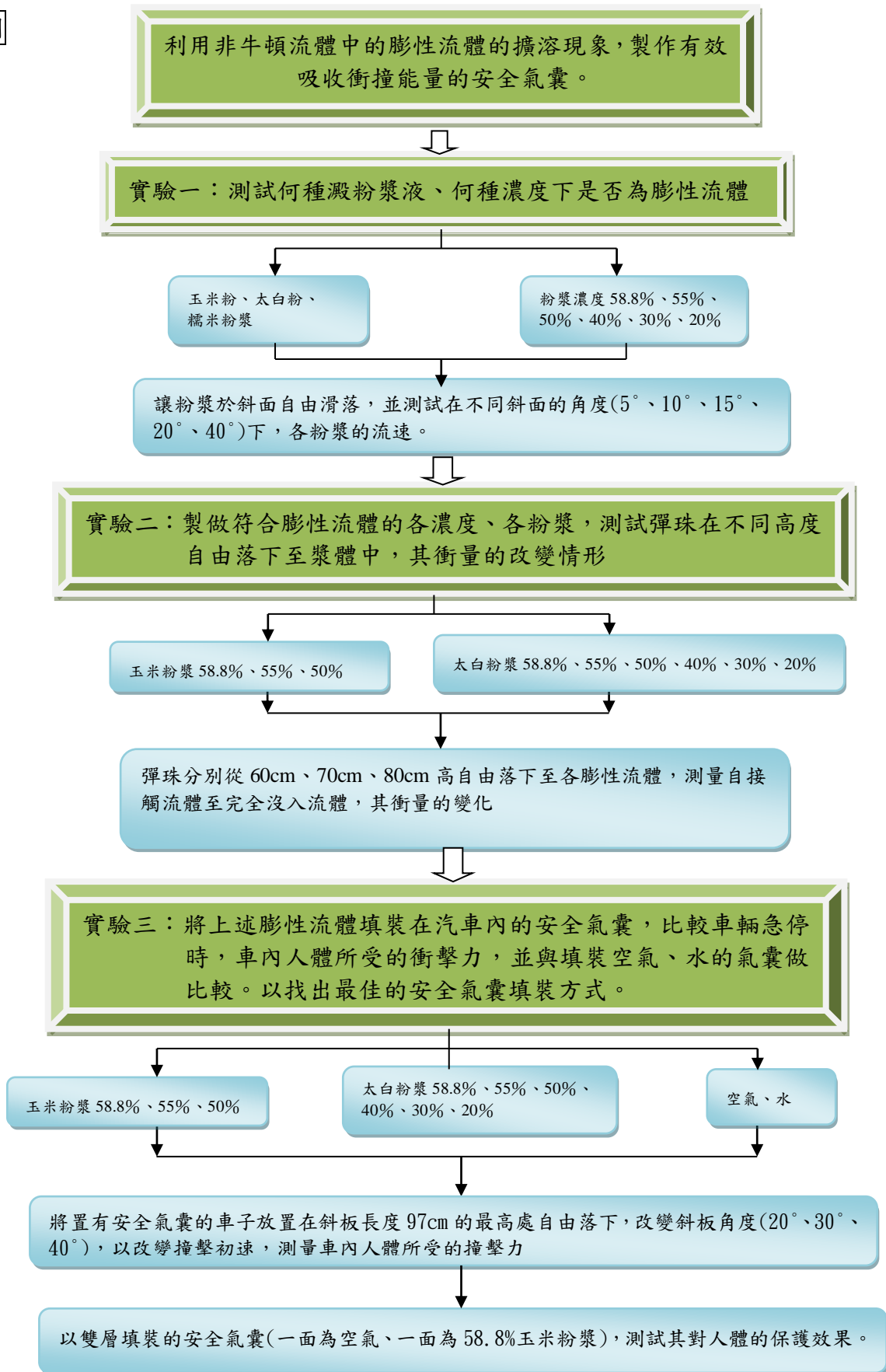
- 1、判定何種濃度的粉漿為膨性流體。
- 2、測量彈珠在不同高度落下至各種膨性流體，其衝量的變化。
- 3、模擬車子中的安全氣囊，製作出有效減少人體衝撞力的安全氣囊。

## 肆、研究器材和設備

名稱	數量	規格	名稱	規格	數量	照片
玉米粉	10包	500克/包	流速裝置 1 (架設粉漿儀器)	35cm *6cm * 17cm	1	
太白粉	12包	300克/包				
糯米粉	6包	500克/包				
塑膠杯 (盛裝粉漿)	數個	700mL	流速裝置2 (置放粉漿)		2個\	
顯微照相機			流速裝置	半徑 6cm 長度 60cm	2個	
衝撞力的 測試器	1		測量 裝置 裝置	45cm 15cm 110cm	1座	
車子滑行的軌道	1		安全 氣囊 的車子		1台	

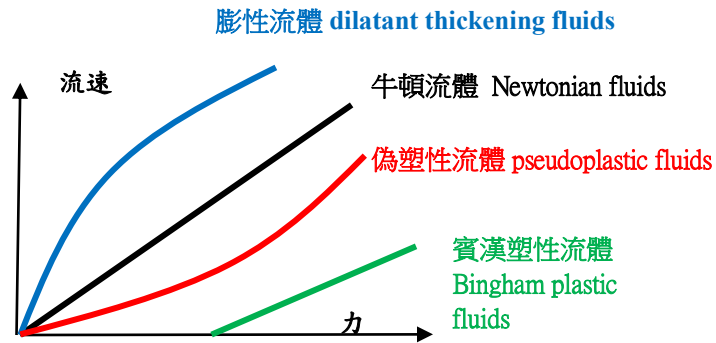
# 伍、研究步驟

流程圖



## 一、檢測不同種類粉漿在何種濃度下為膨性流體：

此實驗是為了要檢測不同種類、濃度的粉漿是否為非牛頓流體當中的「膨性流體」。牛頓流體的定義是當施力於流體，其施力大小與其流體的流速會成正比關係，就如同下圖所呈現通過原點的直線圖形(黑色線)，而非牛頓流體則是流體的受力與其流速不成正比關係。而非牛頓流體中，又分為膨性流體、偽塑性流體、賓漢塑性流體，其中「膨性流體」最符合我們動機所提的玉米漿的特性，其特性為：當我們施的力愈大，使其流體變形得愈大時，其黏性也會愈大。(如下圖)我們依照上述提到「膨性流體」的特性，並且參考毛細管黏度計所應用的原理，設計此實驗來進行檢測。



### (一) 實驗裝置的設置：

#### 1、滴落容器：

(1)在塑膠杯底部挖一個直徑為 0.2 公分的小孔洞。

(2)於杯壁兩旁戳出兩個洞，使用筷子穿過使其能夠架設在裝置上。(如圖一)

#### 2、壓克力坡道：

在坡道上套上數條橡皮筋，以第一條及最後一條橡皮筋作為起點和終點，中間每間隔 10 公分套上一條橡皮筋，以做為標註。(如圖二)

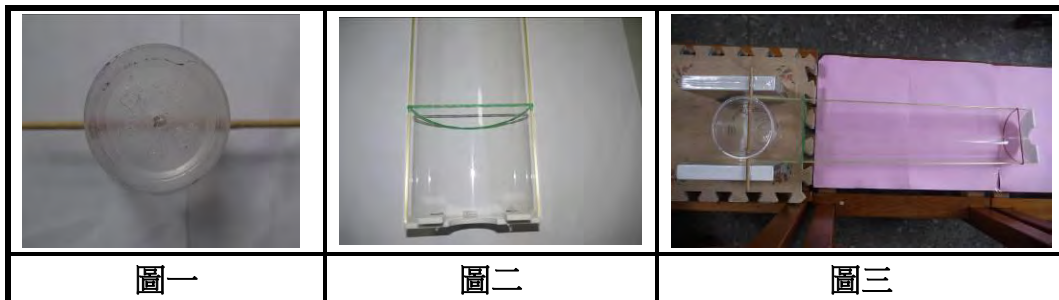
#### 3、組裝：

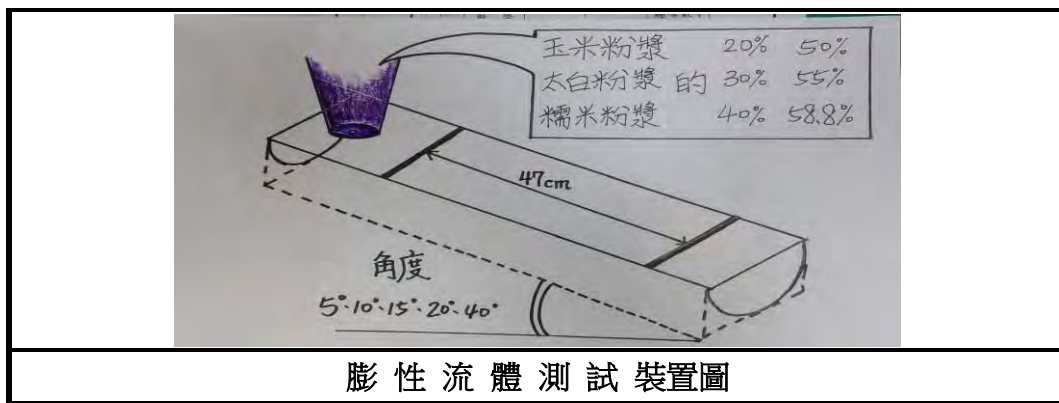
(1)將有挖洞的塑膠杯固定在儀器上，(如圖三)

(2)把塑膠杯以試管架與智高組合架高，

(3)將坡道放置在塑膠杯下方，

(4)坡道尾端使用塊狀海綿防止其滑動。





## (二) 實驗方法：

- 1、首先設定實驗的坡道角度為 $5^{\circ}$
- 2、將 50 克的粉漿倒入塑膠杯中。
- 3、當粉漿流至起點(第一條橡皮筋)開始計時，至終點(最後一條橡皮筋)終止計時。
- 4、測量粉漿在坡道長 47cm 流動時所花的時間 (設為 t 秒)，而流速的表示為 47cm/t
- 5、將坡道依次改變  $10^{\circ}$ 、 $15^{\circ}$ 、 $20^{\circ}$ 、 $40^{\circ}$  共採用 5 個角度，重複 1~4 實驗。

## (三) 進行測試：

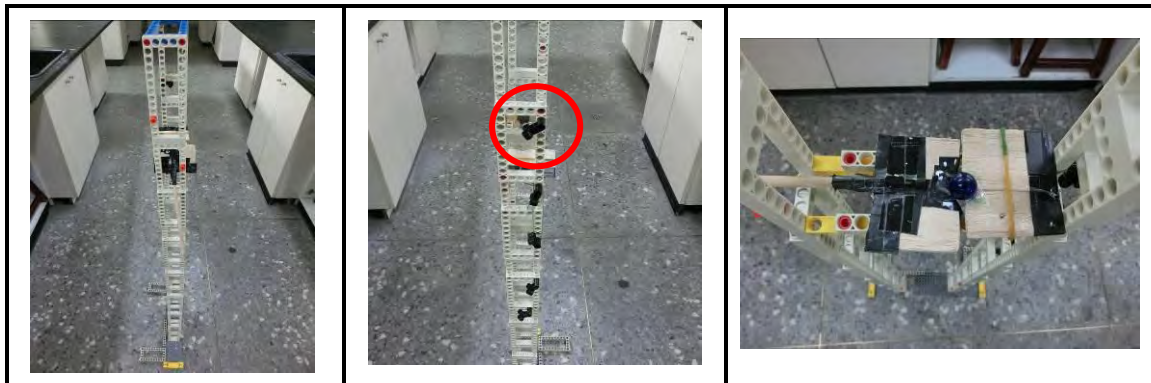
依照上方實驗方法，完成下方不同種類、濃度粉漿的實驗

- 1、先取水 50 公克進行實驗，作為牛頓流體的代表也作為對照組。
- 2、調配不同濃度的玉米粉漿、太白粉漿、糯米粉漿，每一種粉均配置濃度為 10%、20%、30%、40%、50%、55%、58.8% 進行實驗。
3. 以 Excel 繪出各種粉漿在各濃度下，其斜面坡度改變與流速間的關係圖，以驗證其是否為膨性流體。

## 二、比較濃度 50%、55%、58.8% 的玉米粉漿與濃度 20%、30%、40%、50%、55%、58.8% 太白粉漿等膨性流體 (非牛頓流體)，當彈珠從不同高度落下後，其衝量的改變量

### (一) 實驗裝置的設計：

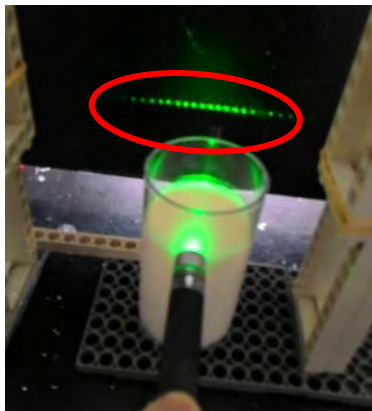
- 1、利用 Gigo 積木組合出一組長 41 cm×寬 8 cm×高 100 公分的實驗裝置。(如下圖四)
- 2、為了穩固裝置，另外在裝置旁加裝數個大長方架，讓它成垂直狀態，不讓它左右移動影響實驗高度，每次實驗以綁線的重錘作校正，以確定實驗裝置維持鉛直狀態。
- 3、為了加強實驗的流暢度以及方便性，我們在實驗裝置旁利用黑色零件作為高度的標注，並將彈珠自由掉落的高度分別設定 60cm、70cm、80cm 三種高度。(如下圖五)
- 4、並將兩片 6 cm×6 cm 木板與竹筷組合 (如下圖六)，作為彈珠的閘門裝置，並將彈珠置於其上方，當木板抽開時，即可讓彈珠自由落下。(如此可避免摩擦力、附著力等因素)
- 5、選定彈珠為落下物體，主要是利用彈珠為球體的特性以減少空氣阻力所造成的影響，並以電子天平與游標尺測量，選取質量為  $5.25 \pm 0.025$  g，直徑  $1.52 \pm 0.01$  cm 的數個彈珠作為測量。



圖四

圖五 高度的標註

圖六 彈珠閘門

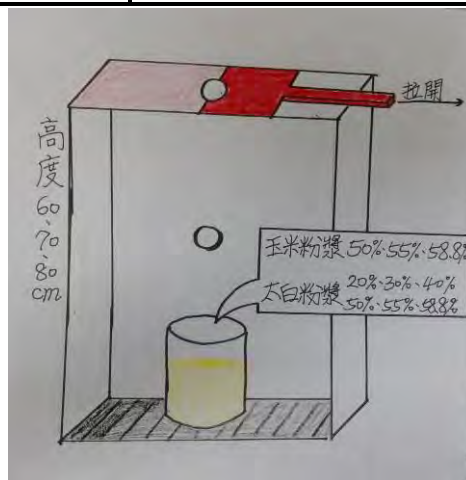


圖七(1) 未有彈珠落下,雷射光點存在



圖七(2) 彈珠落下,遮蔽雷射光點

吸收彈珠衝量至製圖  
測量膨性流體



6、利用攝影機同時錄影彈珠自由掉落到整個沒入的時間與碼表，為減少人為讀取的誤差，我們在液面上方打入一雷射光，其雷射光的光線可平行液面打至杯面另一側形成光點（如圖七），當彈珠敲打至液面則光點消失，當彈珠全部沒入液體中光點則會再出現，最後再以電腦慢速撥放並同一個人讀出光點消失至光點出現所花的時間做為彈珠撞擊液體至沒入所花的時間為  $t$ 。

※假設彈珠敲至粉漿的速度為  $V_0$  m/s、完全沒入的速度  $V$  m/s、所花的時間為  $t$  s、

彈珠半徑為  $d$  m、彈珠所受的衝量為  $J = \Delta P$ （動量變化量）

$$d = (V_0 + V)t/2 \rightarrow V = 2d/t - V_0$$

$$J = \Delta P = m\Delta V = m(V - V_0)$$

※衝量的定義：因物體所受的衝量等於它的動量的變化量，叫做動量定理。和動量的狀態量不同，衝量是一個過程量。一個恆力的衝量指的是這個力與其作用時間的乘積，也代表力隨時間積分的結果。因非牛頓流體無法遵守牛頓第二定律，加速度並非為定值，所以觀察彈珠隨時間的動量變化（衝量）來代表彈珠的受力情形。

## (二)實驗的變因

### 1、粉漿種類與濃度

先測定彈珠由3種高度自由落入純水至沒入的時間作為對照組。由第一個實驗結果可得知濃度50%、55%、58.8%的玉米粉、與濃度20%、30%、40%、50%、55%、58.8%的太白粉符合膨性流體（非牛頓流體）之特性，故配置此9種粉漿分別置於實驗裝置的底部，以測定彈珠從不同高度落下至粉漿，其彈珠在粉漿完全沒入的時間。

### 2、選定的高度

選取的高度分別為60、70、80公分。不採60cm以下的高度，主因高度太小時，即使以慢速撥放攝影過程，人為讀取誤差比例太大，高於80cm整體裝置會變的不穩定，故選此高度範圍。

## (三)實驗的進行前準備

1、架設上述裝置至明亮清晰的地方

2、架設攝影器材

(1)全程使用錄影

(2)採取HD高畫質攝影

3、將調配好的粉漿置於底部基座上

4、將閘門裝置置放於指定高度上

5、為了減少風阻，實驗空間關閉窗戶與電風扇等

6、將碼錶架設置於鏡頭所拍攝的範圍內，以利拍攝

## (四)實驗的進行

1、在白板上寫下這次實驗的彈珠落下的高度、粉漿種類與濃度、實驗次數。

2、彈珠落下後按下碼錶，至彈珠完全沒入。

3、開始錄影，錄下可擦拭白板內容，並停留4~5秒，再重複實驗3次。

三、2013年在美國曾發生因安全氣囊中的鐵罐所承裝的硝酸銨，因未切實密封導致濕氣滲入而過度反應產生大量氮氣，進而爆炸而擊傷駕駛與乘客，所以當年許多車輛必須再次運回車廠重新檢修。因化學反應所造成的氣體膨脹，其反應速度會受許多因素所影響(例如溫度、濕度.....等)，為增加安全氣囊的安全性與有效吸收撞擊力，所以本組思考想將澱粉粉漿的非牛頓特性置放於安全氣囊中，以減少車輛撞擊時所造成的傷害。

### (一)測試人體衝撞力

1、以黏土來模擬人體，製作5cm\*2cm\*1.5cm的黏土，以黏土凹陷程度，判別人體受力多少。

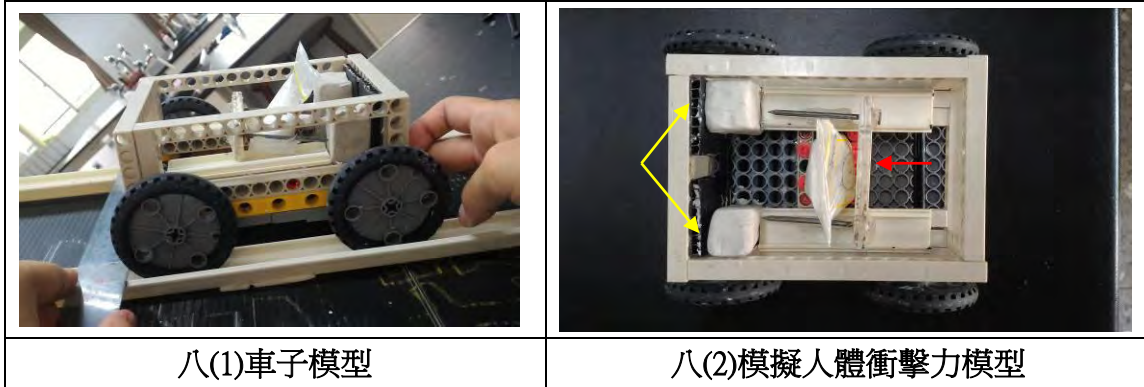
2、在黏土上方置放釘子，分別放上重物5gw、10gw、15gw、30gw、50gw、100gw，測量黏土分別的凹陷程度。



3、繪出黏土受力與凹陷程度的關係圖，作為之後的檢量線。

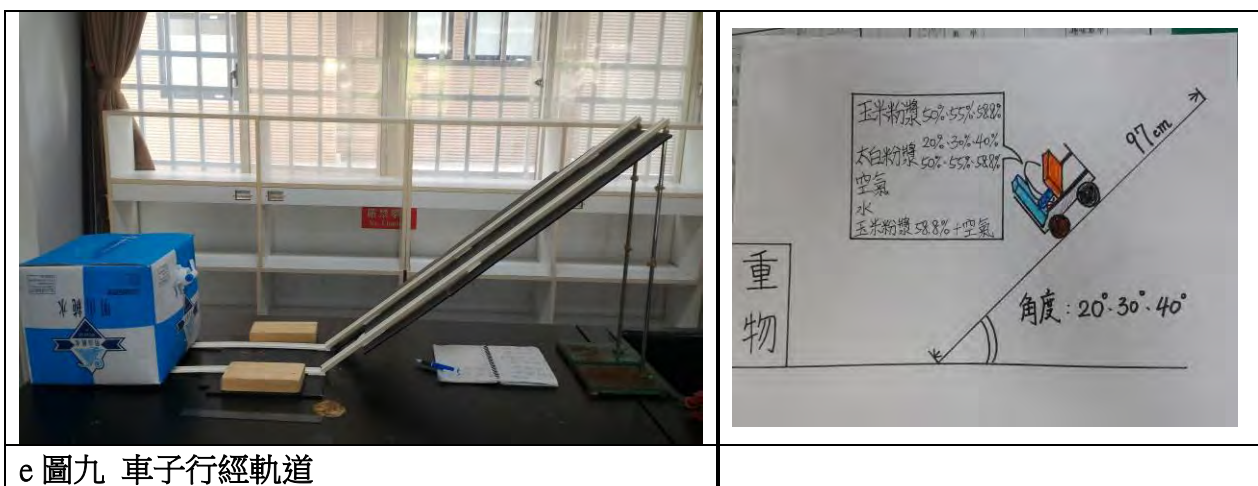
(二)製作車體

- 1、使用 Gigo 製作一 11.5cm\*16cm\*9cm 的四輪車體(如圖八(1))
- 2、為測試人體的衝撞力大小，我們在車體內部左右兩側放上黏土 5cm\*2cm\*1.5cm 的黏土(如圖八(2))，以黏土凹陷的程度判斷此撞擊對人體傷害多少。
- 3、並在車體內部裝上鐵釘運行軌道，當車體往前衝至緊急剎車時，鐵釘依慣性撞至黏土，造成凹陷，由凹陷程度推測受力大小。



(三)衝撞力的模擬

- 1、製作出長 94cm 的斜面軌道，並在斜面底部放上障礙物，讓車子由斜面最高點開始自由滑行後，撞擊障礙物急停，釘子依慣性撞擊黏土，測量黏土凹陷程度以推算人體上的衝撞力。
- 2、將斜面調整角度分別為 20°、30°、40°，藉以改變車子撞擊障礙物的速度。
- 3、分別測試無安全氣囊氣體安全氣囊、水安全氣囊、玉米漿 58.8%、55%、50%、40%、30%、20%安全氣囊、太白粉漿 58.8%、55%、50%、40%、30%、20%安全氣囊，氣體與 58.8%玉米粉漿各半的安全氣囊，將上述安全氣囊置放於黏土與釘子間，利用黏土凹陷程度判斷其衝擊力的變化。(如圖九)



四、依實驗三.的結果，太白粉、玉米粉、糯米粉粉屬於澱粉，為何受力時有不同的效果與現象，基於此好奇，我們進行三種粉漿的連續觀察。

- (一)分別配置相同濃度(50%)玉米粉漿、太白粉漿、糯米粉漿，分別取適量放置於在玻片上，並在其上方放置蓋玻片，準備進行觀測。
- (二)將所需觀測的粉漿載玻片放置於顯微照相機 (Digital microscope measurement) 進行拍照，每種粉漿連續拍攝五天。(顯微照相機的放大倍數為 500)
- (三)再以 Amcap 軟體算出各種粉漿連續七天的澱粉粒子大小的變化情形，以做分析。

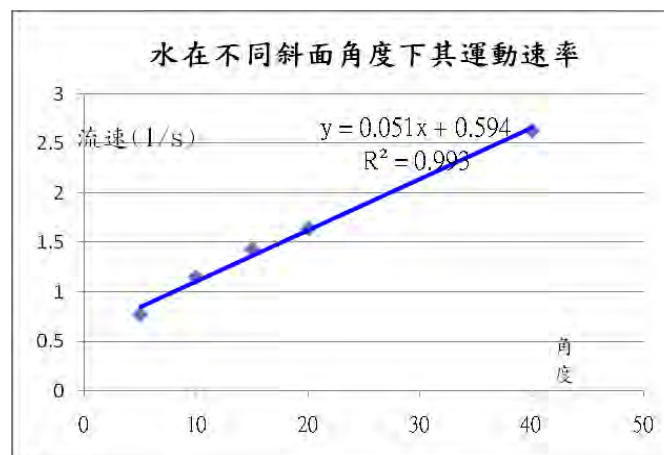
## 陸、研究結果與討論

一、將水、玉米粉、太白粉、糯米粉配置不同濃度，分別在角度 5°、10°、15°、20°、40° 的斜面上，測量不同濃度與不同粉漿滑落 47cm 所需的時間，以了解在不同下滑力之下，粉漿的流速有何變化性

- (一)測量水 50 克分別在角度 5°、10°、15°、20°、40° 的斜面上，滑落 47 公分的斜面長度所需的時間，並推算在不同下滑力下，粉漿的流速有何變化性（作為粉漿的對照組）。

**實驗結果：**

斜面角度		5°	10°	15°	20°	40°
滑 落 時 間 (sec)	測試 1	1.31	0.86	0.64	0.56	0.35
	測試 2	1.29	0.88	0.65	0.54	0.38
	測試 3	1.30	0.87	0.60	0.58	0.40
	測試 4	1.31	0.88	0.64	0.58	0.38
	測試 5	1.29	0.87	0.66	0.54	0.39
滑落平均時間 (sec)		1.30	0.87	0.64	0.56	0.38
滑落速度 (s <sup>-1</sup> )		0.77	1.15	1.56	1.79	2.63



**實驗結果**：隨著斜面角度越來越大，水所受的下滑力越大，其流速與斜面角度呈線性關係如右所示  $Y(\text{流速}) = 0.525X(\text{角度}) + 0.653$

**實驗討論**：由圖形結果顯示，其下滑力與斜面角度所呈現的線性關係可證明水為牛頓流體 ( $R^2 = 0.9718$ )，以此圖形可將水作為之後粉漿非牛頓流體（膨脹流體）的對照組。

(二) 將玉米粉配置 20%、30%、40%、50%、55%、58.8% 六種濃度，分別在角度 5°、10°、15°、20°、40° 的斜面上，測量不同濃度玉米粉漿滑落 47cm 所需的時間，以了解在不同下滑力之下，粉漿的流速有何變化性

◆玉米粉濃度 58.8%◆

斜面角度	5°	10°	15°	20°	40°
下滑時間 (秒)	2062	1035	619	454	312
流速 ( $s^{-1}$ )	0.0005	0.0010	0.0016	0.0022	0.0032

◆玉米粉濃度 55%◆

斜面角度	5°	10°	15°	20°	40°
下滑時間 (秒)	266	124	77	62	44
流速 ( $s^{-1}$ )	0.0038	0.0081	0.0129	0.0161	0.0227

◆玉米粉濃度 50%◆

斜面角度	5°	10°	15°	20°	40°
下滑時間 (秒)	333	48.8	26.3	21.3	15
流速 ( $s^{-1}$ )	0.0030	0.0204	0.0380	0.0469	0.0667

◆玉米粉濃度 40%◆

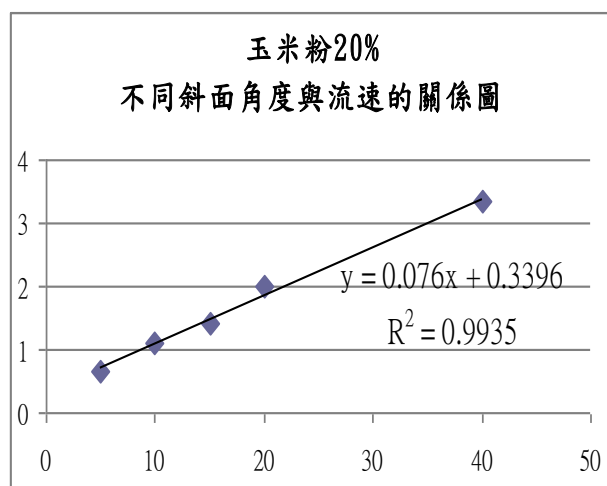
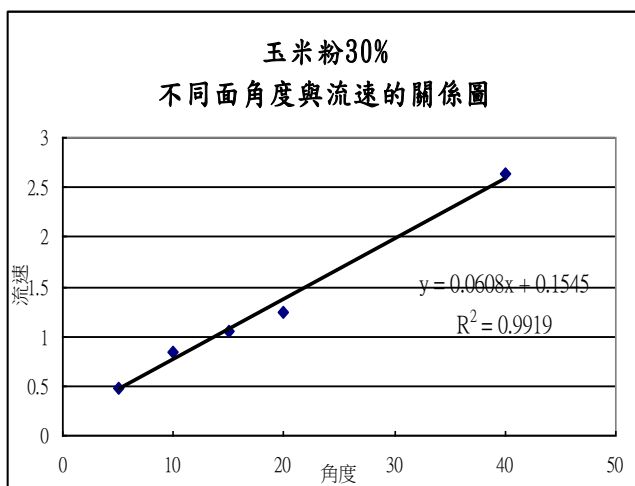
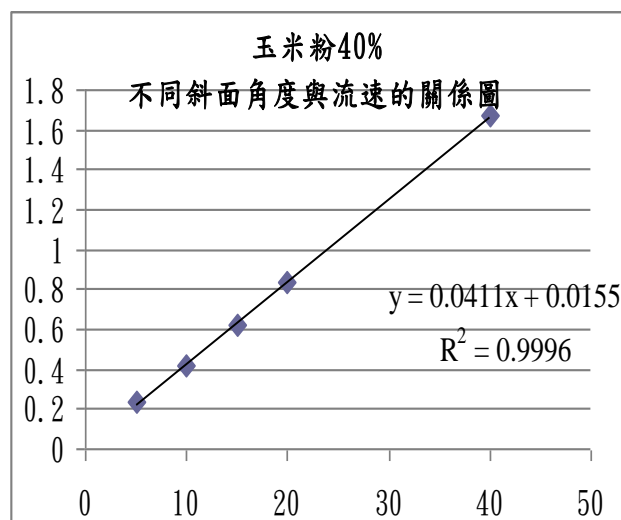
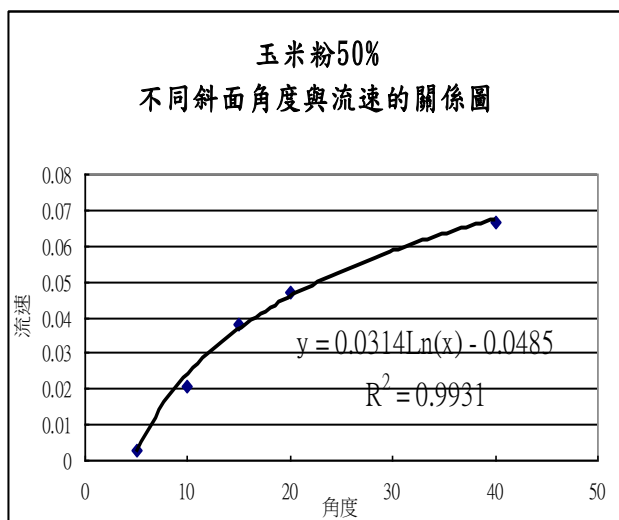
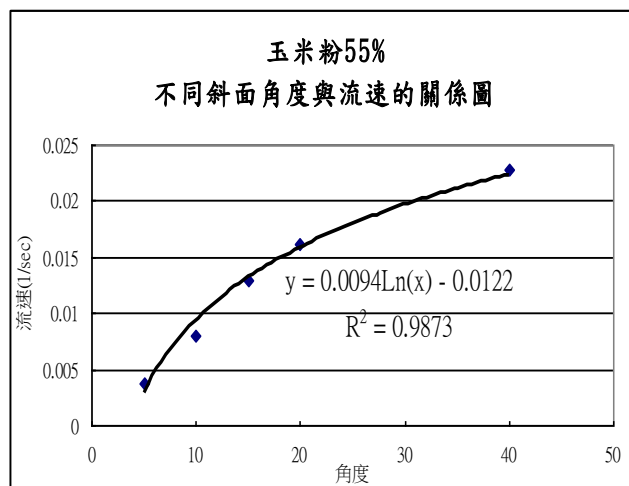
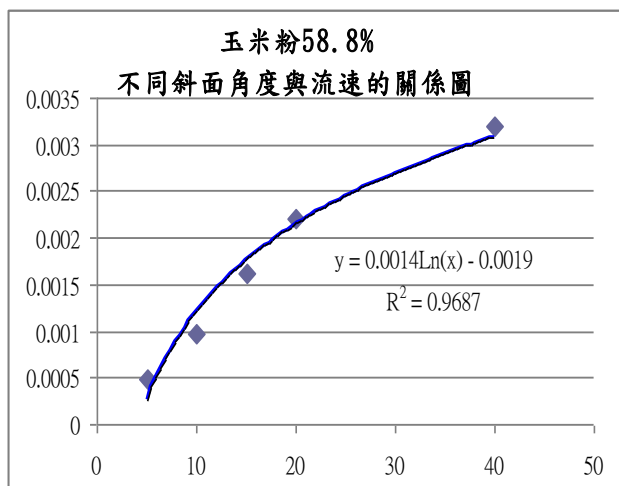
斜面角度	5°	10°	15°	20°	40°
下滑時間 (秒)	4.2	2.4	1.6	1.2	0.6
流速 ( $s^{-1}$ )	0.2380	0.4167	0.6250	0.8333	1.6667

◆玉米粉濃度 30%◆

斜面角度	5°	10°	15°	20°	40°
下滑時間 (秒)	2.1	1.2	1.0	0.8	0.38
流速 ( $s^{-1}$ )	1.4762	0.8333	1.0526	1.2500	2.6316

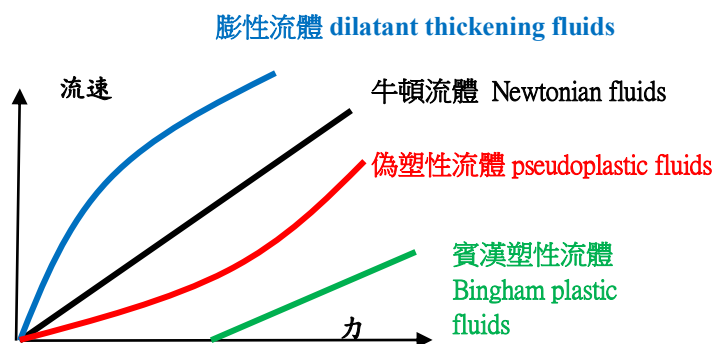
◆玉米粉濃度 20%◆

斜面角度	5°	10°	15°	20°	40°
下滑時間 (秒)	1.5	0.9	0.7	0.5	0.3
流速 ( $s^{-1}$ )	0.6667	1.1111	1.4286	2.0000	3.3333



**實驗結果**：我們利用斜面角度的增加，增加玉米漿下滑力，觀察下滑力的改變與流速的關係，發現玉米漿濃度 58.8%、55%、50% 皆呈現如對數的圖形 ( $R^2=0.9687$ 、 $0.9873$ 、 $0.9931$ )。而濃度 40%、30%、20% 皆呈現線性的圖形 ( $R^2=0.9996$ 、 $0.9919$ 、 $0.9935$ )。

**實驗討論**：膨性流體的特性，當受力越大，黏度增加，換而言之其流速增加量變小，由力與流速的關係圖可發現其線的斜率也越來越小。依此判斷玉米粉漿在濃度 50% 以上才具備有膨性流體的特質。



(三) 將太白粉配置 10%、20%、30%、40%、50%、55.5%、58.8% 七種濃度，分別在角度  $5^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $40^\circ$  的斜面上，測量不同濃度玉米粉漿滑落 47cm 所需的時間，以了解在不同下滑力之下，粉漿的流速有何變化性

◆太白粉濃度 58.8%◆

斜面角度	$5^\circ$	$10^\circ$	$15^\circ$	$20^\circ$	$40^\circ$
下滑時間 (秒)	802	306	169	125	85
流速 ( $s^{-1}$ )	0.0012	0.0033	0.0059	0.0080	0.0118

◆太白粉濃度 55%◆

斜面角度	$5^\circ$	$10^\circ$	$15^\circ$	$20^\circ$	$40^\circ$
下滑時間 (秒)	112	61	39	28	18
流速 ( $s^{-1}$ )	0.0089	0.0164	0.0256	0.0357	0.0556

◆太白粉濃度 50%◆

斜面角度	$5^\circ$	$10^\circ$	$15^\circ$	$20^\circ$	$40^\circ$
下滑時間 (秒)	26.0	11.6	6.4	4.5	3.2
流速 ( $s^{-1}$ )	0.0385	0.0863	0.1572	0.2234	0.3171

◆太白粉濃度 40%◆

斜面角度	$5^\circ$	$10^\circ$	$15^\circ$	$20^\circ$	$40^\circ$
下滑時間 (秒)	10.2	4.4	2.4	1.7	1.2
流速 ( $s^{-1}$ )	0.0977	0.22624	0.4202	0.5988	0.8403

◆太白粉濃度 30%◆

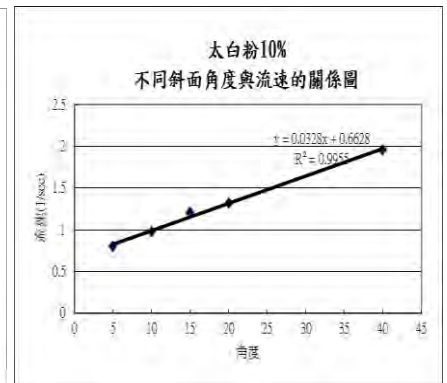
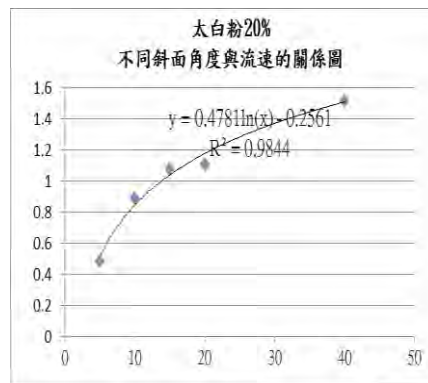
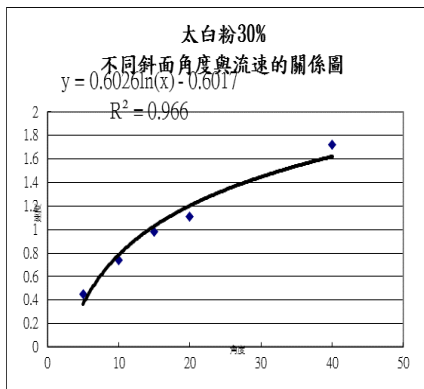
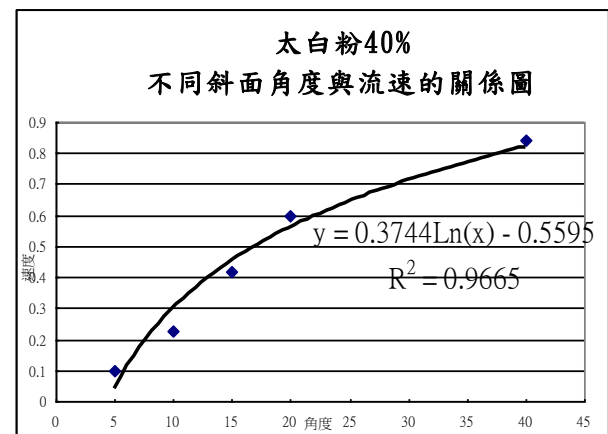
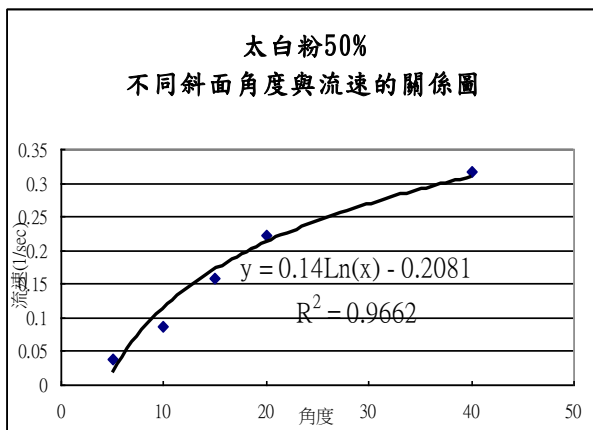
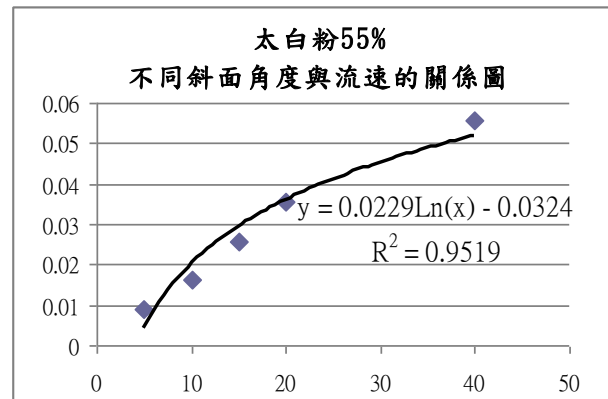
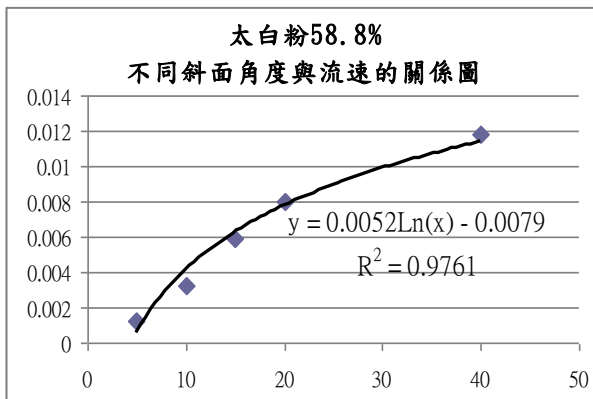
斜面角度	5°	10°	15°	20°	40°
下滑時間 (秒)	2.2	1.4	1.0	0.9	0.6
流速 (s <sup>-1</sup> )	0.4525	0.7407	0.9804	1.1111	1.7241

◆太白粉濃度 20%◆

斜面角度	5°	10°	15°	20°	40°
下滑時間 (秒)	2.06	1.12	0.93	0.90	0.66
流速 (s <sup>-1</sup> )	0.4854	0.8929	1.0753	1.1111	1.5152

◆太白粉濃度 10%◆

斜面角度	5°	10°	15°	20°	40°
下滑時間 (秒)	1.25	1.02	0.83	0.76	0.51
流速 (s <sup>-1</sup> )	0.8000	0.9804	1.2048	1.3158	1.9608



**實驗結果**：我們利用斜面角度的增加，增加太白粉漿下滑力，觀察下滑力的改變與流速的關係，發現太白粉漿濃度 58.8%、55%、50%、40%、30%、20% 皆呈現如對數的圖形 ( $R^2=0.9761$ 、 $0.9519$ 、 $0.9662$ 、 $0.9665$ 、 $0.966$ 、 $0.9844$ )。而 10% 濃度皆呈現線性的圖形 ( $R^2=0.9955$ )

**實驗討論**：依照膨性流體的特性，當受力越大，黏度增加，換而言之其流速增加量變小，由力與流速的關係圖可發現其線的斜率也越來越小。依此判斷太白粉漿在濃度 20% 以上才具備有膨性流體的特質。

(四) 將糯米粉配置 10%、20%、30%、40% 四種濃度，分別在角度  $5^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $40^\circ$  的斜面上，測量不同濃度玉米粉漿滑落 47cm 所需的時間，以了解在不同下滑力之下，粉漿的流速有何變化性

◆糯米粉濃度 40%◆

斜面角度	$5^\circ$	$10^\circ$	$15^\circ$	$20^\circ$	$40^\circ$
下滑時間 (秒)	153.00	118.23	79.02	65.12	39.00
流速 ( $s^{-1}$ )	0.0065	0.0085	0.0127	0.0154	0.0256

◆糯米粉濃度 30%◆

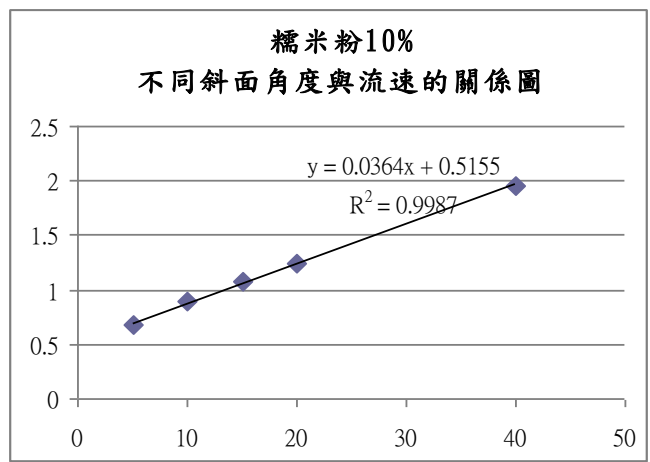
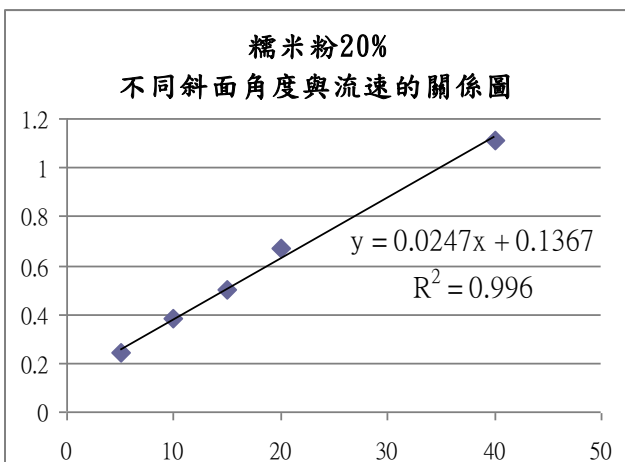
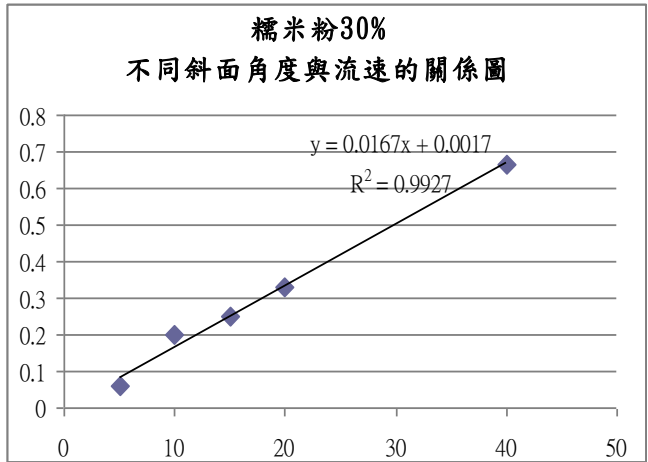
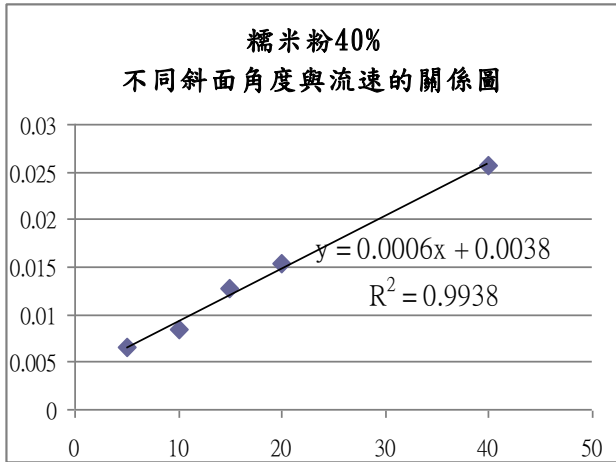
斜面角度	$5^\circ$	$10^\circ$	$15^\circ$	$20^\circ$	$40^\circ$
下滑時間 (秒)	16.11	5.02	4.00	3.01	1.50
流速 ( $s^{-1}$ )	0.0621	0.1992	0.2500	0.3322	0.6667

◆糯米粉濃度 20%◆

斜面角度	$5^\circ$	$10^\circ$	$15^\circ$	$20^\circ$	$40^\circ$
下滑時間 (秒)	4.10	2.61	2.01	1.52	0.90
流速 ( $s^{-1}$ )	0.2439	0.3846	0.5000	0.6667	1.1111

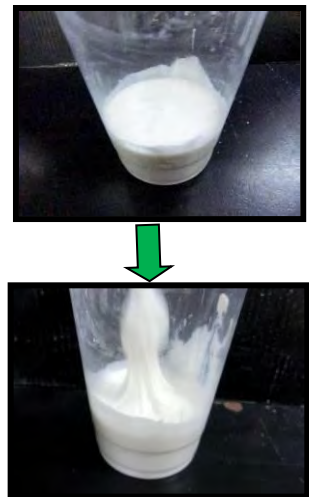
◆糯米粉濃度 10%◆

斜面角度	$5^\circ$	$10^\circ$	$15^\circ$	$20^\circ$	$40^\circ$
下滑時間 (秒)	1.49	1.12	0.93	0.80	0.51
流速 ( $s^{-1}$ )	0.6711	0.8929	1.0753	1.2500	1.9608



**實驗結果**：當我們將糯米粉漿濃度配置超過 40% 時，我們發現糯米粉漿竟呈現如球狀的黏稠物。（如下圖）放置在斜面上無法滴出也無法滑動，故我們實驗濃度降低改設定為糯米粉漿濃度為 40%、30%、20%、10%，利用斜面角度的改變，增加糯米粉漿的下滑力，觀察下滑力的改變與流速的關係，發現糯米粉漿濃度 40%、30%、20%、10% 皆呈現如斜直線的圖形（ $R^2=0.9938$ 、 $0.9922$ 、 $0.9960$ 、 $0.9987$ ）。

**實驗討論**：當下滑力越大（斜面角度變大），糯米粉粉漿其黏度沒有改變，所以呈現，流速和其斜面角度成正比關係，換而言之糯米粉在濃度 40% 以下很類似牛頓流體，並不具膨性流體的特性。





二、將具有膨脹流體特性（非牛頓流體）的玉米漿 50%、55%、58.8%與太白粉漿 20%、30%、40%、50%、55%、58.8%將其配置後，測量彈珠分別由 60cm、70cm、80cm 三種高度落至不同濃度的粉漿所需的時間，以了解粉漿所吸收的衝擊力。

※彈珠衝量變化的計算範例：

將彈珠置放於離 30% 玉米漿 60cm 高處，將彈珠自由落下後，重複實驗三次，發現彈珠從打到液面至完全沒入液體所花的時間平均為 0.218 秒。

假設彈珠打到液面的速度為  $V_0$ ，完全沒入液面的速度為  $V$ ，此段時間移動的位移為  $S$ （為彈珠直徑）

因  $S = (V_0 + V) t / 2 \rightarrow V = 2S/t - V_0 = 2 \times (5.26 \times 10^{-2} \text{m}) / 0.218 \text{s} - 2.69 \text{m/s} = -2.55 \text{m/s}$

$J$ （衝量） $= m \Delta V = 1.52 \times 10^{-3} \text{kg} \times [2.69 - (-2.55)] \text{m/s} = 0.027555 \text{kg.m/s}$

#### ◆玉米粉漿◆

濃度		30%			40%			50%			55%			58.8%		
60 公分 高	滯留粉漿 時間(s)	0.21	0.22	0.22	0.23	0.27	0.25	0.44	0.40	0.39	0.55	0.52	0.55	0.66	0.62	0.61
	滯留粉漿 平均時間	0.218			0.250			0.410			0.540			0.630		
	衝量 (kg.m/s)	0.027555			0.027659			0.027909			0.028003			0.028045		
70 公分 高	滯留粉漿 時間(s)	0.07	0.08	0.09	0.08	0.07	0.09	0.36	0.37	0.40	1.10	1.10	1.00	2.21	2.24	2.21
	滯留粉漿 平均時間	0.080			0.080			0.380			1.100			2.220		
	衝量 (kg.m/s)	0.036080			0.036084			0.037662			0.037937			0.03801		
80 公分 高	滯留粉漿 時間(s)	0.051	0.057	0.057	0.28	0.28	0.29	0.38	0.42	0.40	0.90	0.95	0.94	2.06	2.09	2.09
	滯留粉漿 平均時間	0.055			0.280			0.400			0.930			2.080		
	衝量 (kg.m/s)	0.041382			0.043718			0.043890			0.044117			0.044212		

#### ◆太白粉漿◆

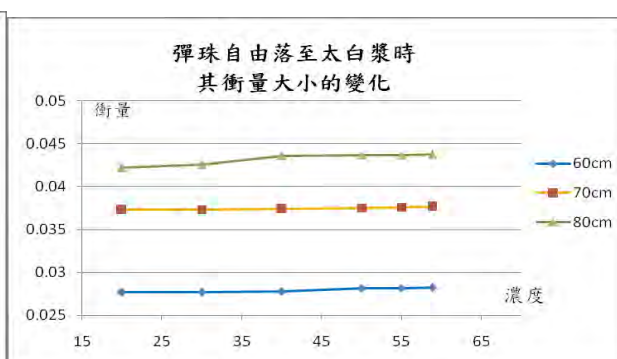
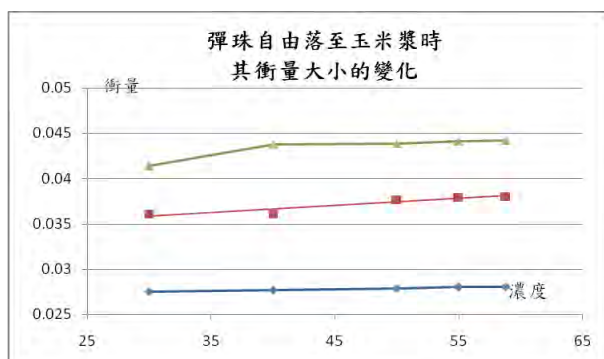
濃度		20%			30%			40%			50%			55%			58.8%		
60 公分 高	滯留粉漿 時間(s)	0.25	0.24	0.26	0.26	0.27	0.26	0.32	0.31	0.36	0.99	0.97	1.04	1.46	1.44	1.42	1.84	1.85	1.84
	滯留粉漿 平均時間	0.250			0.263			0.330			1.000			1.440			1.843		
	衝量 (kg.m/s)	0.027659			0.027695			0.027814			0.028139			0.028188			0.028212		
70 公分 高	滯留粉漿 時間(s)	0.20	0.20	0.19	0.21	0.25	0.17	0.21	0.22	0.26	0.28	0.28	0.31	0.33	0.35	0.31	0.39	0.38	0.34
	滯留粉漿 平均時間	0.2			0.21			0.23			0.29			0.33			0.37		
	衝量 (kg.m/s)	0.037283			0.037321			0.037387			0.037531			0.037598			0.037650		
80 公分 高	滯留粉漿 時間(s)	0.10	0.09	0.11	0.15	0.12	0.12	0.83	0.82	0.78	1.59	1.58	1.60	2.11	2.17	2.17	3.80	3.81	3.82
	滯留粉漿 平均時間	0.1			0.13			0.81			1.59			2.15			3.81		
	衝量 (kg.m/s)	0.04216			0.042533			0.043566			0.043663			0.043689			0.043721		

【各濃度玉米粉漿在不同高度上所吸收的衝量的整理】

玉米粉漿 各種濃度	30%	40%	50%	55%	58.8%
60cm 高 所受衝量 (kg.m/s)	0.027555	0.027659	0.027909	0.028003	0.028045
70cm 高 所受衝量 (kg.m/s)	0.036080	0.036084	0.037662	0.037937	0.03801
80cm 高 所受衝量 (kg.m/s)	0.041382	0.043718	0.043890	0.044117	0.044212

【各濃度太白粉漿在不同高度上所吸收的衝量的整理】

太白粉漿 各種濃度	20%	30%	40%	50%	55%	58.8%
60cm 高 所受衝量 (kg.m/s)	0.027659	0.027695	0.027814	0.028139	0.028188	0.028212
70cm 高 所受衝量 (kg.m/s)	0.037283	0.037321	0.037387	0.037531	0.037598	0.037650
80cm 高 所受衝量 (kg.m/s)	0.042160	0.042533	0.043566	0.043663	0.043689	0.043721



**實驗結果**：不論是太白粉漿或玉米粉漿，當彈珠由越高的地方落下，接觸到粉漿時，粉漿可吸收的衝量越大；且粉漿濃度越大可吸收的衝量也是越大。若以太白粉漿與玉米粉漿作比較，玉米粉漿吸收彈珠的衝量能力比較好。

**實驗討論**：換而言之，提高漿體的濃度能有效吸收彈珠的衝量。

再和彈珠打到水的衝量做比較 (**60cm**→0.027537kg.m/s、**70cm**→0.035417kg.m/s、**80cm**→0.029226kg.m/s)，可以發現水並無因自由落下的高度越高而增加其吸收彈珠衝量的能力，且玉米或太白粉漿體所吸收衝量的能力約為水的 1.02~1.5 倍。

三、自製氣體、水、玉米與太白粉漿體、漿體與氣體各半的安全氣囊置放於車內，測試車子不同速度撞擊障礙物時，其車內人體所受的衝撞力大小。

※依利用斜面角度的改變，並結合車輛行經的長度S，去計算撞擊時的初速V

，可推出 $V=\sqrt{(2aS)}$ ，如下

行經距離97cm			
斜面角度	20°	30°	40°
撞擊速度	0.80m/s	0.97m/s	1.10m/s

(一)玉米粉漿安全氣囊

※58.8%玉米粉漿

斜面路徑 97cm	20°	黏土壓縮量(cm)							黏土衝撞力(gw)	
		左	0.30	0.40	0.30	右	0.40	0.30	0.30	18.38
		平均壓縮量			0.33					
30°	黏土壓縮量(cm)							黏土衝撞力(gw)		
	左	0.35	0.30	0.40	右	0.40	0.40	0.30	21.68	
	平均壓縮量			0.36						
40°	黏土壓縮量(cm)							黏土衝撞力(gw)		
	左	0.40	0.40	0.40	右	0.40	0.40	0.45	27.18	
	平均壓縮量			0.41						

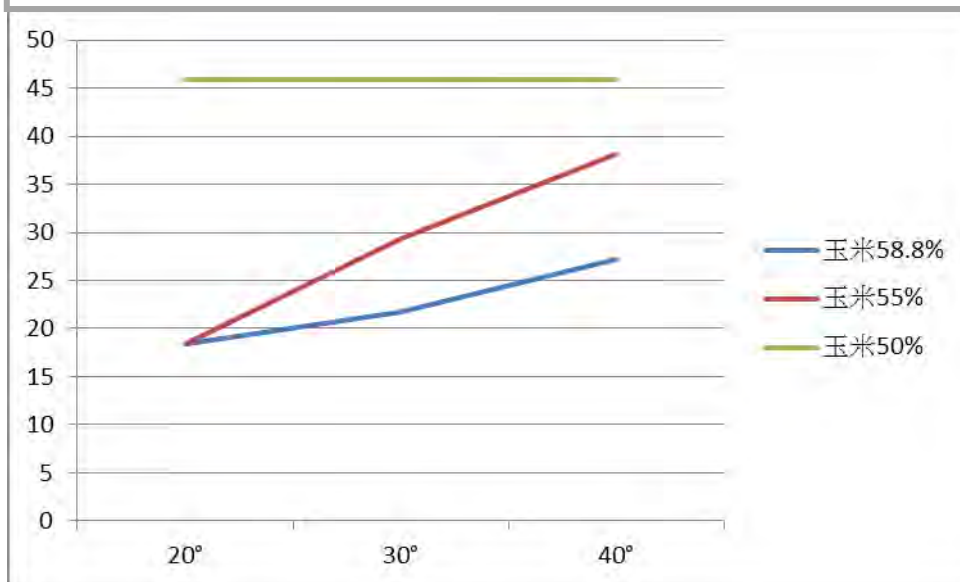
※55%玉米粉漿

斜面路徑 97cm	20°	黏土壓縮量(cm)							黏土衝撞力(gw)	
		左	0.30	0.40	0.30	右	0.30	0.35	0.35	18.38
		平均壓縮量			0.33					
30°	黏土壓縮量(cm)							黏土衝撞力(gw)		
	左	0.45	0.40	0.40	右	0.35	0.45	0.50	29.37	
	平均壓縮量			0.43						
40°	黏土壓縮量(cm)							黏土衝撞力(gw)		
	左	0.50	0.40	0.60	右	0.60	0.50	0.45	38.16	
	平均壓縮量			0.51						

※50%玉米粉漿

斜 面 路 徑  97cm	20°	黏土壓縮量(cm)							黏土衝撞力(gw)	
		左	0.60	0.60	0.60	右	0.50	0.55	0.60	45.86
		平均壓縮量				0.58				
	30°	黏土壓縮量(cm)							黏土衝撞力(gw)	
		左	0.55	0.60	0.55	右	0.60	0.55	0.60	45.86
		平均壓縮量				0.58				
	40°	黏土壓縮量(cm)							黏土衝撞力(gw)	
		左	0.55	0.60	0.60	右	0.55	0.55	0.60	45.86
		平均壓縮量				0.58				

將不同濃度的玉米粉漿所做的安全氣囊置放於黏土前方，測試車輛在不同角度的斜面自由滑下至底部後，急停時，黏土(模擬人體)所受的衝擊力關係圖



**實驗結果**：玉米粉漿吸收車衝撞力的能力為 58.8% > 55% > 50%，50%玉米粉漿不管斜面角度如何改變，其所受的衝擊力大小無明顯變化。

**實驗討論**：衝擊力越小，代表此安全氣囊吸收衝擊力的效果較好，以58.8%的玉米粉漿吸收衝擊力最好，而當玉米粉漿降到50%，其衝擊力大小無變化，也代表此粉漿無吸收衝擊力的能力。

(二)太白粉漿安全氣囊

※58.8%太白粉漿

斜 面 路 徑  97cm	20°	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)
		左	0.35	0.40	0.40	右	0.40	0.35	0.40	23.88
		平均壓縮量				0.38				
	30°	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)
		左	0.40	0.35	0.45	右	0.40	0.45	0.35	26.08
		平均壓縮量				0.4				
	40°	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)
		左	0.45	0.40	0.4	右	0.40	0.40	0.45	28.27
		平均壓縮量				0.42				

※55%太白粉漿

斜 面 路 徑  97cm	20°	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)
		左	0.45	0.40	0.45	右	0.40	0.45	0.40	29.37
		平均壓縮量				0.43				
	30°	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)
		左	0.45	0.50	0.40	右	0.50	0.40	0.45	31.57
		平均壓縮量				0.45				
	40°	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)
		左	0.50	0.55	0.45	右	0.45	0.50	0.50	35.96
		平均壓縮量				0.49				

※50%太白粉漿

斜 面 路 徑  97cm	20°	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)
		左	0.55	0.50	0.55	右	0.50	0.55	0.50	40.36
		平均壓縮量				0.53				
	30°	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)
		左	0.60	0.60	0.65	右	0.55	0.60	0.60	48.05
		平均壓縮量				0.60				
	40°	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)
		左	0.60	0.65	0.60	右	0.65	0.60	0.60	50.25
		平均壓縮量				0.62				

※40%太白粉漿

斜 面 路 徑  97cm	20°	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)
		左	0.50	0.55	0.55	右	0.55	0.55	0.50	
		平均壓縮量				0.53				
	30°	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)
		左	0.60	0.60	0.60	右	0.65	0.55	0.60	
		平均壓縮量				0.60				
	40°	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)
		左	0.65	0.60	0.60	右	0.60	0.60	0.60	
		平均壓縮量				0.61				

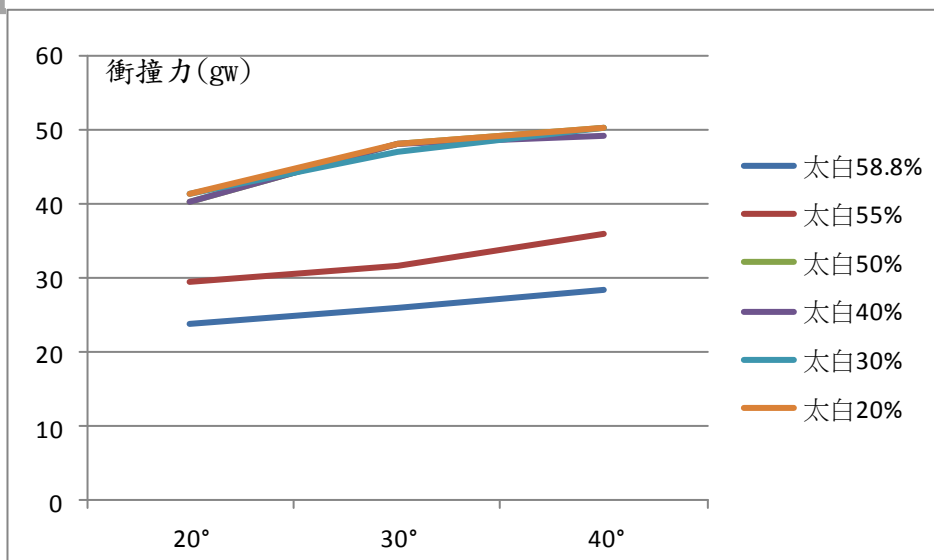
※30%玉米粉漿

斜 面 路 徑  97cm	20°	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)
		左	0.55	0.55	0.55	右	0.50	0.55	0.55	
		平均壓縮量				0.54				
	30°	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)
		左	0.60	0.60	0.60	右	0.60	0.55	0.60	
		平均壓縮量				0.59				
	40°	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)
		左	0.65	0.60	0.60	右	0.60	0.60	0.65	
		平均壓縮量				0.62				

※20%玉米粉漿

左 平 均 壓 縮 量	0.6 0.6	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)
		左	0.55	0.50	0.55	右	0.55	0.55	0.55	
		平均壓縮量				0.54				
	30°	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)
		左	0.60	0.55	0.60	右	0.65	0.60	0.60	
		平均壓縮量				0.60				
	40°	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)
		左	0.60	0.65	0.60	右	0.65	0.60	0.60	
		平均壓縮量				0.62				

將不同濃度的太白粉粉漿所做的安全氣囊置放於黏土前方，測試車輛在不同角度的斜面自由滑下至底部後，急停時，黏土(模擬人體)所受的衝擊力關係圖



**實驗結果**：太白粉漿吸收衝擊力的能力以 58.8% > 55% > 50% ≒ 40% ≒ 30% ≒ 20%

**實驗討論**：太白粉漿以 58.8% 吸收衝擊能力最好，當濃度降至 50% 以下時，其吸收衝擊力的大小未有太大變化，代表濃度低於 50% 時期幾乎沒有吸收衝擊力的能力。

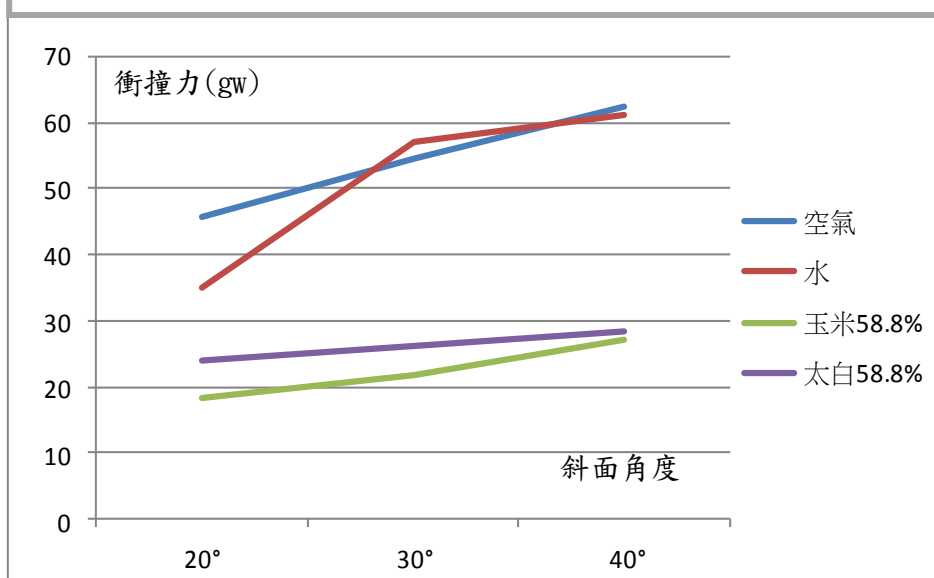
### (三) 空氣安全氣囊

斜面路徑	20°	黏土壓縮量 (cm)								黏土衝擊力 (gw)
		左	0.55	0.60	0.55	右	0.60	0.55	0.60	45.86
平均壓縮量				0.58cm						
97cm	30°	黏土壓縮量 (cm)								黏土衝擊力 (gw)
		左	0.60	0.65	0.65	右	0.65	0.70	0.70	54.65
平均壓縮量				0.66cm						
97cm	40°	黏土壓縮量 (cm)								黏土衝擊力 (gw)
		左	0.70	0.75	0.75	右	0.75	0.70	0.75	62.34
平均壓縮量				0.73cm						

(四)水安全氣囊

斜 面 路 徑  97cm	20°	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)
		左	0.45	0.50	0.45	右	0.50	0.45	0.50	34.87
		平均壓縮量				0.48cm				
30°	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)	
	左	0.65	0.70	0.75	右	0.70	0.75	0.70	57.04	
	平均壓縮量				0.70cm					
40°	黏土壓縮量(cm)								黏土衝撞力(gw)	
	左	0.70	0.75	0.70	右	0.70	0.70	0.75	61.27	
	平均壓縮量				0.72cm					

分別相同濃度的玉米粉、太白粉漿、空氣、水所做的安全氣囊置放於黏土前方，測試車輛在不同角度的斜面自由滑下至底部後，急停黏土(模擬人體)所受的衝擊力關係圖



**實驗結果**：以吸收衝擊力的能力來看 58.8%玉米粉漿 > 58.8%太白粉漿 > 水 > 空氣

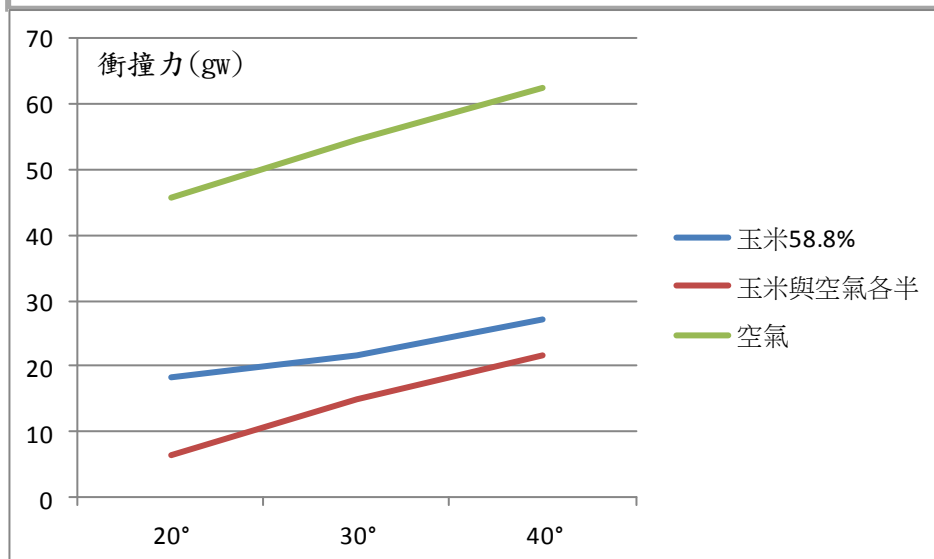
**實驗討論**：相同濃度時玉米粉漿吸收衝擊力的能力比太白粉漿好，且以斜率做比較，可以發現角度越大，撞擊速度越大時，玉米粉漿仍維持比太白粉漿更好的吸收能力。而空氣的安全氣囊，以斜率來看，斜面角度度越大，撞擊速越大，其吸收衝擊力的能力越差。



(五) 58.8%玉米粉漿與空氣各半的安全氣囊

斜 面 路 徑  97cm	20°	黏土壓縮量(cm)							黏土衝撞力(gw)	
		左	0.20	0.20	0.25	右	0.20	0.20	0.25	6.30
		平均壓縮量			0.22cm					
30°	黏土壓縮量(cm)							黏土衝撞力(gw)		
	左	0.30	0.30	0.30	右	0.30	0.30	0.30	15.09	
	平均壓縮量			0.30cm						
40°	黏土壓縮量(cm)							黏土衝撞力(gw)		
	左	0.40	0.30	0.40	右	0.30	0.35	0.40	21.68	
	平均壓縮量			0.36cm						

分別將空氣、58.8%玉米粉漿、58.8%玉米粉漿與空氣各半所做的安全氣囊置放於黏土前方，測試車輛在不同角度的斜面自由滑下至底部後，急停時，黏土(模擬人體)所受的衝擊力關係圖



**實驗結果**：玉米粉漿與空氣各半的安全氣囊明顯可比只有玉米粉漿的安全氣囊或常見的空氣氣囊吸收衝擊力的能力更好。

**實驗討論**：換而言之，當玉米粉漿與空氣各半的安全氣囊，面對汽車的方向可以玉米粉漿來阻擋車輛因受力壓縮而變形，空氣那方則可使人體有足夠的緩衝空間，不致因急停而使人體受損害。

三、使用顯微照相機拍攝相同濃度的玉米漿、太白粉漿、與糯米粉漿，觀察從第一天~第五天其澱粉粒子的顆粒大小在水溶液中的變化情形，以了解澱粉粒子變化情形與膨性流體特性的關聯性。

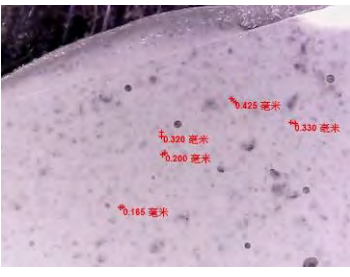




※玉米粉漿顯微照相圖

天數	第一天	第二天	第三天
澱粉顆粒直徑	0.04mm	0.07mm	0.06mm
圖片			
天數	第四天	第五天	
澱粉顆粒直徑	0.06mm	0.06mm	
圖片			

※太白粉漿顯微照相圖

天數	第一天	第二天	第三天
澱粉顆粒直徑	0.07mm	0.07mm	0.06mm
圖片			
天數	第四天	第五天	
澱粉顆粒直徑	0.07mm	0.07mm	
圖片			

※糯米粉漿顯微照相圖

天數	第一天	第二天	第三天
澱粉顆粒直徑	0.07mm		
圖片			
天數	第四天	第五天	
澱粉顆粒直徑			
圖片			

**實驗結果：** 玉米澱粉在粉漿中一開始顆粒較小（直徑約 0.04mm），但之後澱粉粒子可以變大至直徑 0.06~0.07mm。太白粉在粉漿中的顆粒直徑變化不大，約 0.06~0.07mm。糯米粉漿只有一開始可以以顯微照相機讀出澱粉粒子大小，後來皆呈現混濁狀態，第四天之後整個粉漿又似乎像脫水般，看不出流動的狀態。

**實驗討論：** 由實驗結果可以發現唯有玉米粉漿經過五天水解時間，其顆粒直徑大小可以改變，再查詢文獻資料可以發現，玉米粉內的直鏈澱粉與支鏈澱粉的比例為 29.24%：70.76%；太白粉內的直鏈澱粉與支鏈澱粉的比例為 15%：85%；而糯米粉內所含的直鏈澱粉低於 10%，玉米粉的直鏈澱粉比例高於其他兩者，推論直鏈澱粉比例應與所觀察顆粒直徑長度相關。

## 柒、結論

- 一、澱粉粉漿依照其流體特性為膨性流體，當受力越大時其黏度會增加。根據實驗結果，觀察流速與力的關係曲線，可發現曲線的斜率會越來越小（如對數圖形），只有濃度 58.8%、55%、50% 的玉米粉漿與濃度 20%、30%、40%、50%、55%、58.8% 的太白粉漿才符合膨性流體的特性，而糯米粉漿則非膨性流體。
- 二、玉米粉漿與太白粉漿在符合膨性流體的濃度下，皆可有效吸收其彈珠撞擊衝量，並符合濃度越高吸收衝量越大。而關於當彈珠高度越高，其粉漿吸收衝量的能力實驗中，可發

現當彈珠從70cm高落下為60cm的1.34倍，從80cm高落下為60cm的1.77倍，換而言之當彈珠撞擊的初速越大，其粉漿可吸收更大的衝量。

三、膨性流體有一特別現象稱為『擴溶現象』(當粉漿急速受到外力時，玉米澱粉顆粒相吸卡住彼此，形成了堅硬的固體狀表面)，我們想依照此特性製作含膨性流體的安全氣囊，測試是否可藉由其擴溶現象，減少車輛衝撞時對人體的傷害。實驗結果可以發現，

- (1)以玉米粉漿而言，減少車輛衝撞力的效果濃度 $58.8\% > 55\% > 50\%$ ，而濃度50%以下的玉米粉漿不論撞擊車速為 $0.8\text{m/s} \sim 1.1\text{m/s}$ ，其衝撞力大小皆無太大變化，應為黏土與粉漿已壓至極限，所以衝撞力大小無太大變化。
- (2)以太白粉漿而言，減少車輛衝撞力的效果濃度 $58.8\% > 55\% > 50\% \approx 40\% \approx 30\% \approx 20\%$ ，當濃度降至濃度50%以下時，其吸收衝撞力的大小未有太大變化，應為黏土與粉漿已壓至極限，所以衝撞力大小無太大變化。
- (3)而裝有空氣的安全氣囊。其讓人體所接收的衝撞力為玉米粉漿的3.41倍~1.65倍；同樣相對於太白粉漿，空氣安全氣囊讓人體所接受衝撞力為2.2倍~1.56倍，以此做比較可以發現以空氣裝安全氣囊的效果較玉米粉漿或太白粉漿都差。
- (4)而與水填裝安全氣囊做比較，空氣安全氣囊讓人體所接受衝撞力為其1.31倍~1.02倍，其防衝撞能力略好於空氣；但相對於玉米及太白粉粉漿，其衝撞力仍為粉漿的2.63~1.18倍，仍以粉漿防衝撞能力較佳。
- (5)接下來我們想要製造雙面氣囊，依照膨性流體的擴溶現象有效擋住車輛的衝撞力，防止車輛因變形而對人體造成傷害，所以將實驗過最好的58.8%玉米粉漿填裝氣囊並面向車頭方向；並利用氣體可壓縮的特性，將氣體灌入氣囊並面對人體方向，避免因急停對人體造成傷害，測試結果發現車輛下滑急停所受的衝撞力為單獨填裝58.8%玉米粉漿的0.38~0.79倍，也是常見空氣氣囊的0.14~0.35倍，其對人體的安全性是最佳的，此安全氣囊設計可考慮置放於實際車輛中，更可有效的避免衝撞對人體的傷害。

四、從實驗一~三的結果，雖然濃度20%以上的太白粉漿與濃度50%以上的玉米粉漿皆為膨性流體，應具擴溶現象，但由安全氣囊的測試中可發現玉米澱粉防衝撞力(即擴溶現象)皆優於其他(如太白粉漿、水、空氣)，故進行粉漿粒子的觀察。由連續五天的顯微照相可發現，玉米澱粉顆粒大小可有直徑 $0.04\text{mm} \sim 0.07\text{mm}$ 的變化，而太白粉的澱粉顆粒維持約 $0.07\text{mm}$ ，唯有玉米粉漿經過五天水解時間，其顆粒直徑大小可以改變，再查詢文獻資料可以發現，玉米粉內的直鏈澱粉與支鏈澱粉的比例為29.24%：70.76%；太白粉內的直鏈澱粉與支鏈澱粉的比例為15%：85%；而糯米粉內所含的直鏈澱粉低於10%，玉米粉的直鏈澱粉比例高於其他兩者，推論直鏈澱粉比例應與所觀察顆粒直徑長度相關。且由後續的實驗結果可以發現玉米粉漿吸收衝量能力最佳，推測直鏈分子結構應與吸收衝量有其相關，兩者的關係性似乎是值得下次研究的議題。

## 捌、結語

當科展寫到這裡的時，才驚覺原來這一年多的實驗生活已經結束了，回想起這一年多生活，從不斷閱讀許多資料、討論、與爭論過程中，決定主題與研究的方法。並經歷長時間與粉漿的戰爭，尤其是去年北極寒流吹到台灣，我們在寒假披著厚厚外套，用凍僵的手配置著粉漿。到最後這幾個月，我們三個能不用言語就能很有默契的分配好工作（做實驗、錄影、計時、紀錄……），這些畫面在最後一直不斷地在腦海中撥放，感謝這段充實又忙碌的科展生活，與能順利闖進全國賽，開闊我們的視野，這些種種的歷程為我們國中生活做下很重要的紀錄與特別的回憶！

## 玖、參考資料

- 一、國中自然與生活科技第四冊第四章有機化合物 與 第五冊第二章牛頓三大定律。南一出版社。
- 二、黃馬克, 李明怡, 食品科學概論-保健食品初級工程師, 千華數位文化 (2015)
- 三、李忠華, 張永利, 孫可明, 流體力學, 東北大學出版社 (2009)
- 四、液體黏度之測定-奧士瓦黏度計  
<http://www.wretch.cc/blog/jacky1989522/15317890>
- 五、朱敬平。第十四章 非牛頓液體。台北市：台灣科技大學。取自：  
<http://elixirr.myweb.hinet.net/MPTP.htm>
- 六、非牛頓流體：<http://elixirr.sg1003.myweb.hinet.net/Chapter14-nonnewtonianfluid.pdf>

## 【評語】 030106

研究主題清楚，企圖量濃漿減少衝擊的效應，以生活材料取材，具潛在實用價值。實驗過程適當且收集了有效數據，並能觀察入微。表達清晰；有豐富圖表，作圖宜皆標示坐標軸說明。應有更深入論證，針對推測，應設想如何驗證。

作品海報

# 壹、摘要

非牛頓流體有一種「**擴溶現象**」(當粉漿急速受到外力時，澱粉顆粒相吸卡住彼此，形成堅硬的固體表面)，如此所受的衝力因波動而減少。最後將此現象用於安全氣囊設計中，發現能有效避免人體因衝擊力所受傷害。

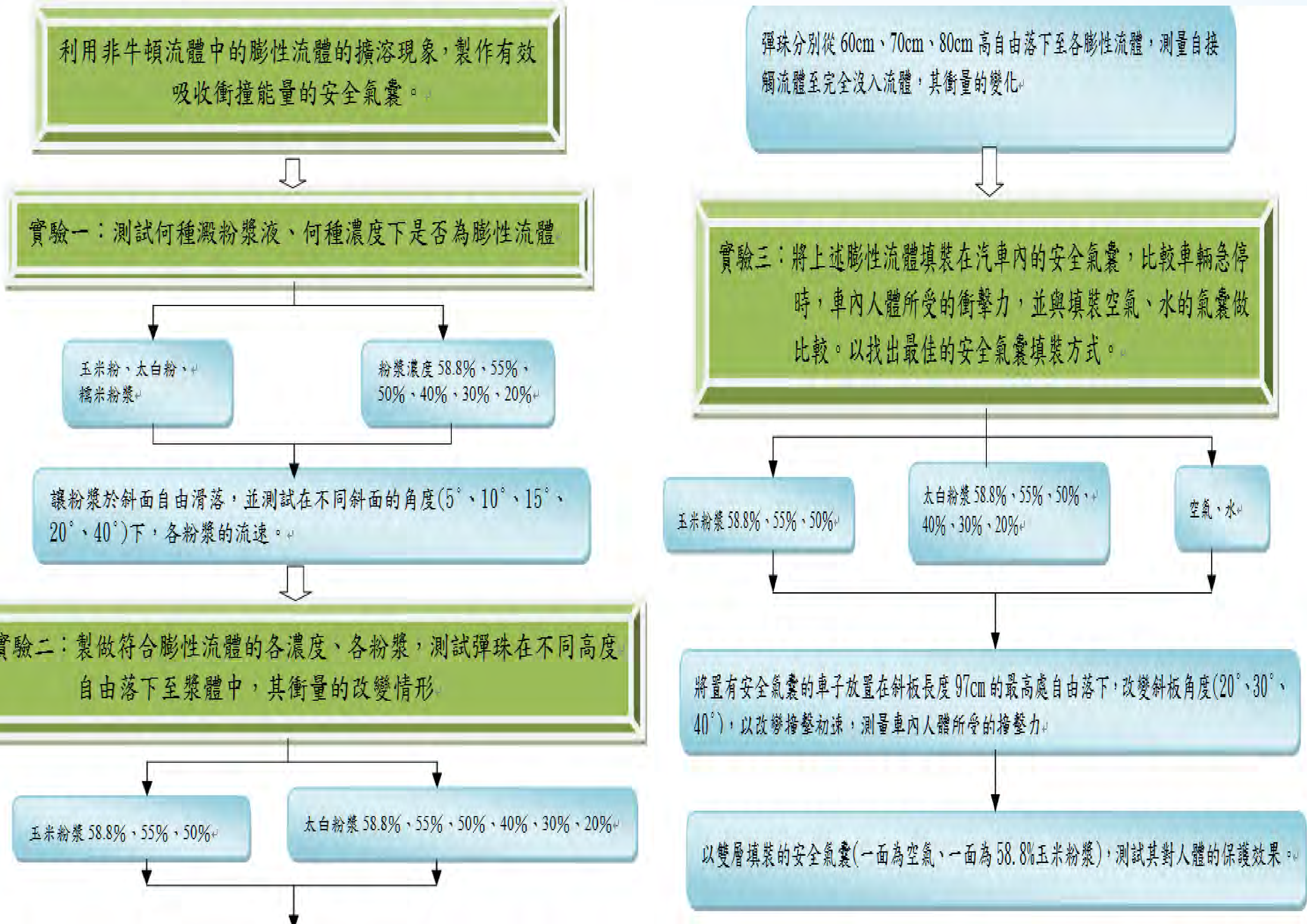
# 貳、研究動機

曾看過有人踩在玉米漿中，卻不會陷下去。這有趣的畫面使我想探究其原理。我們配了一盆玉米漿，感受到其受力變硬的特質。此時，我的腦中閃現車禍時的嚴重損傷。如果我善用此特性，是否可將漿體的緩衝能力應用於安全氣囊中？

# 參、研究目的

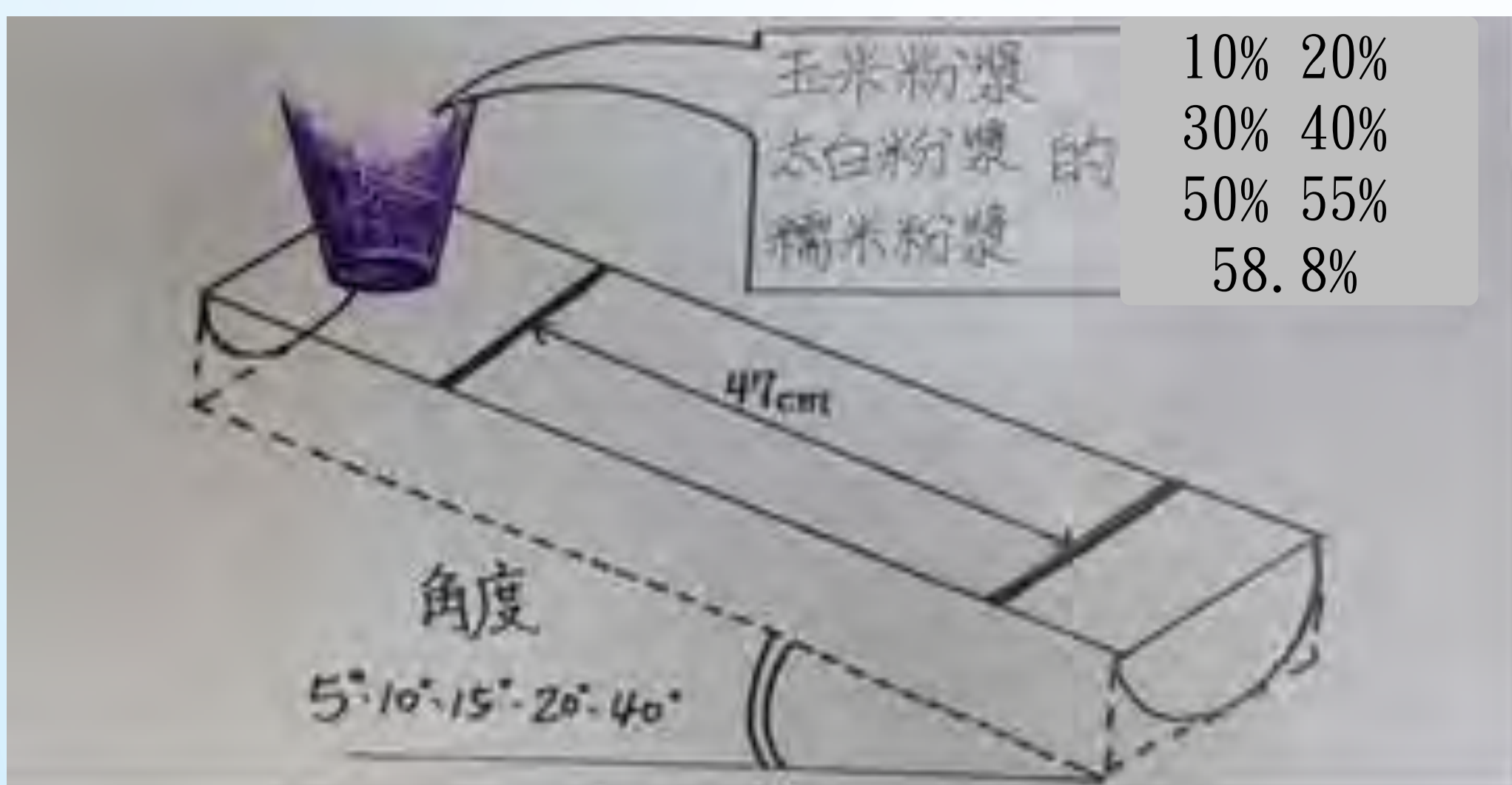
- 1、判定何種濃度的粉漿為膨性流體。
- 2、測量彈珠在不同高度落下至各種膨性流體，其衝量的變化。
- 3、模擬車子中的安全氣囊，製作出有效減少人體衝撞力的安全氣囊。

# 肆、實驗架構圖

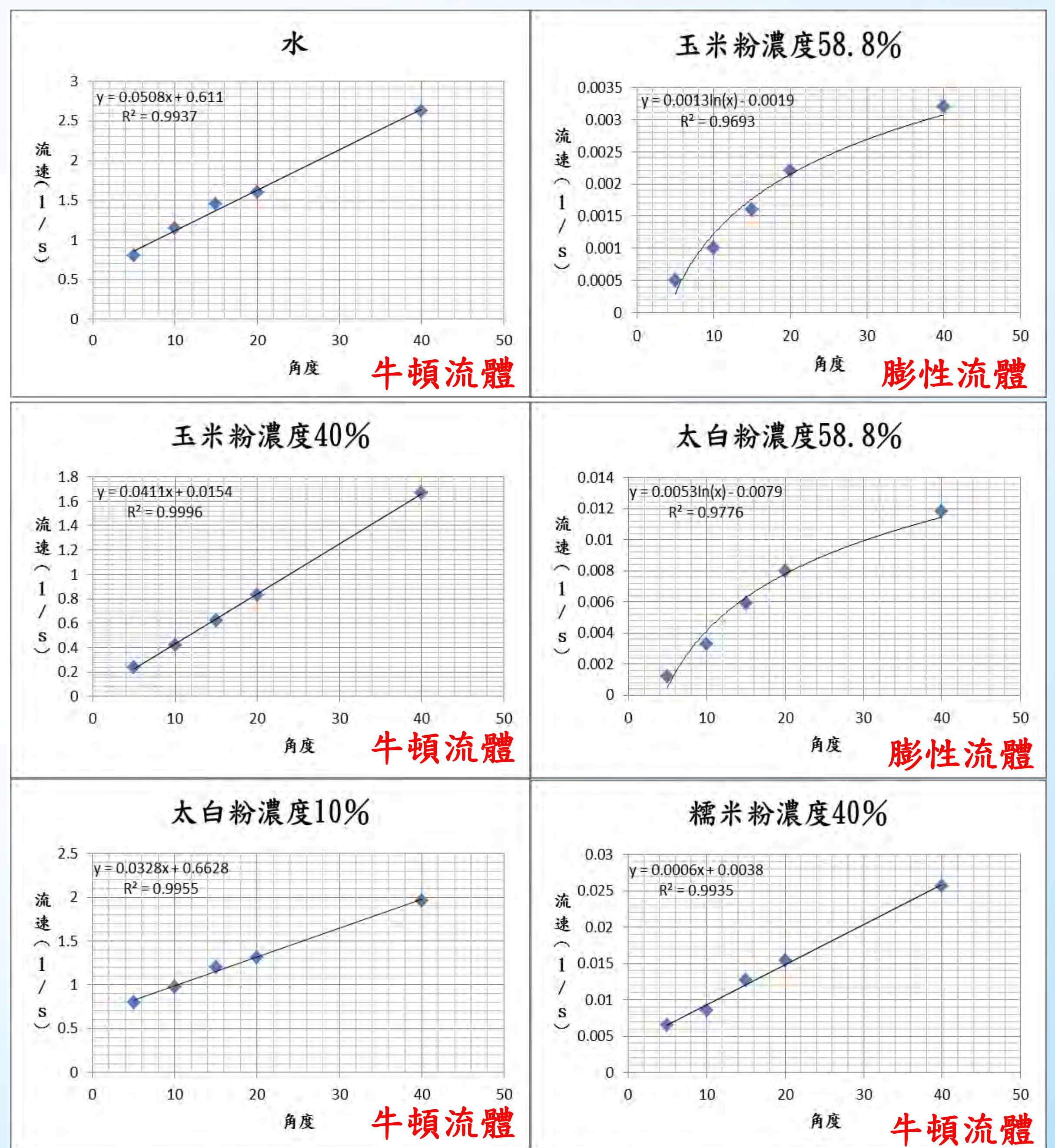
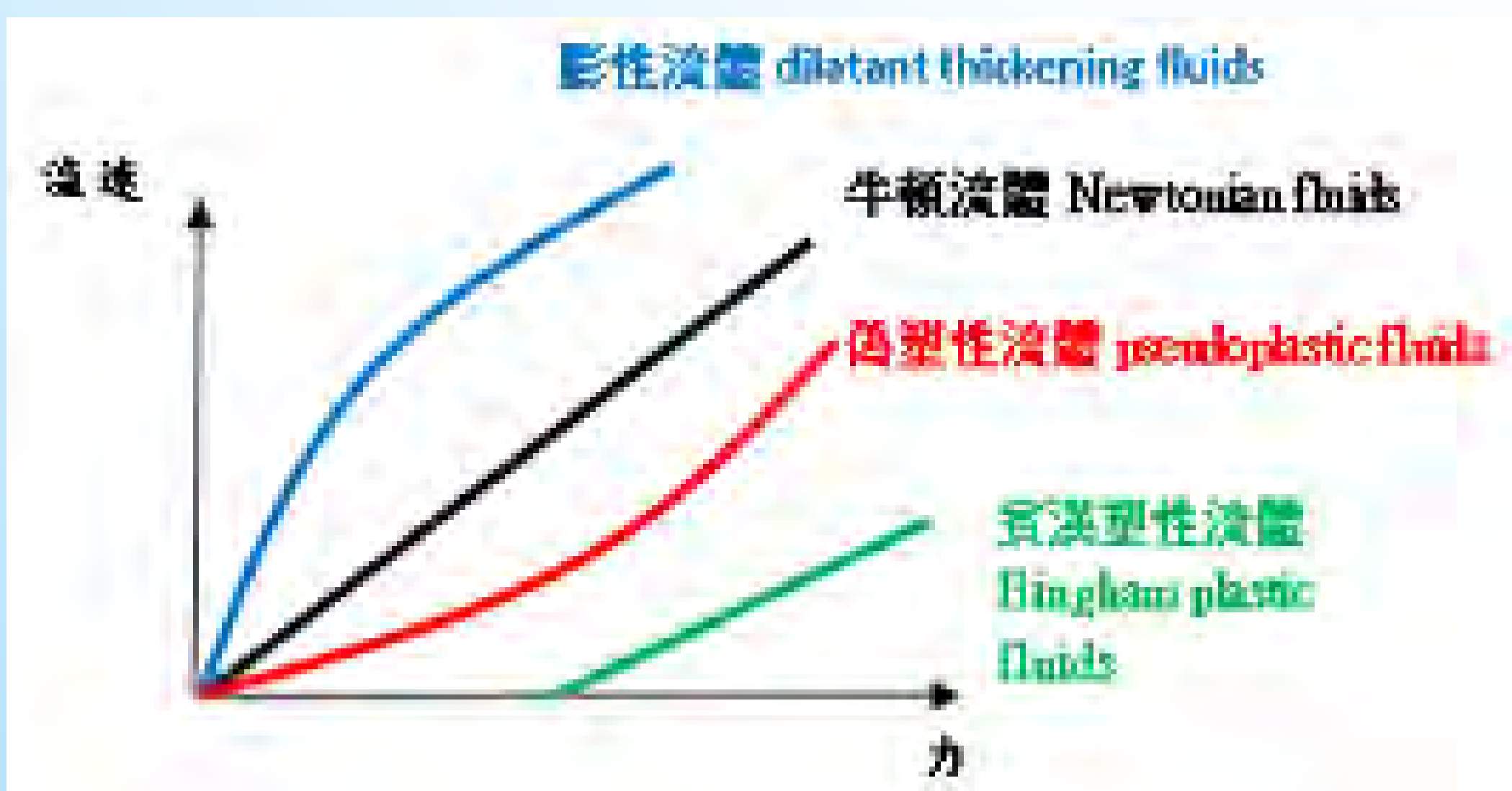


# 伍、實驗研究與結果

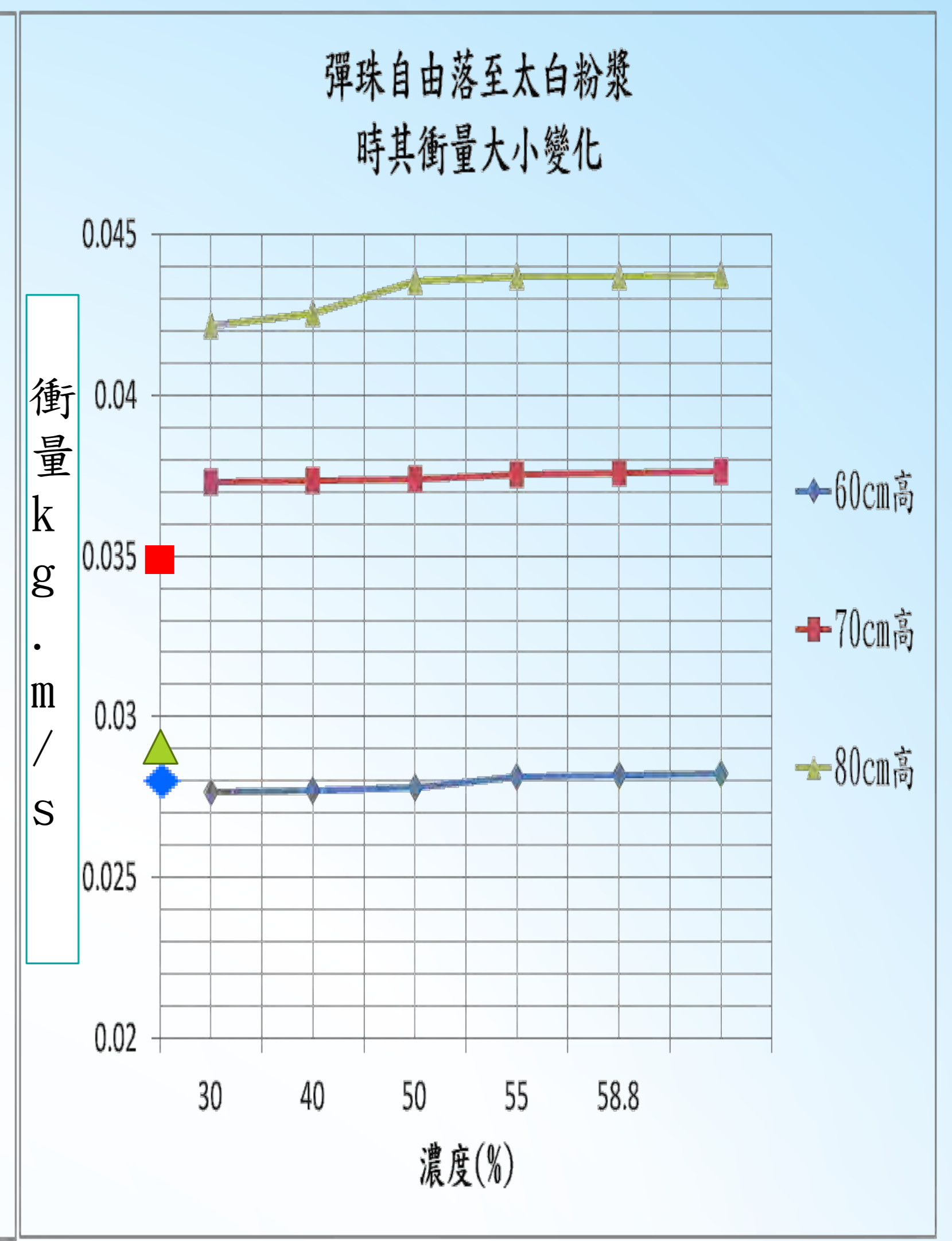
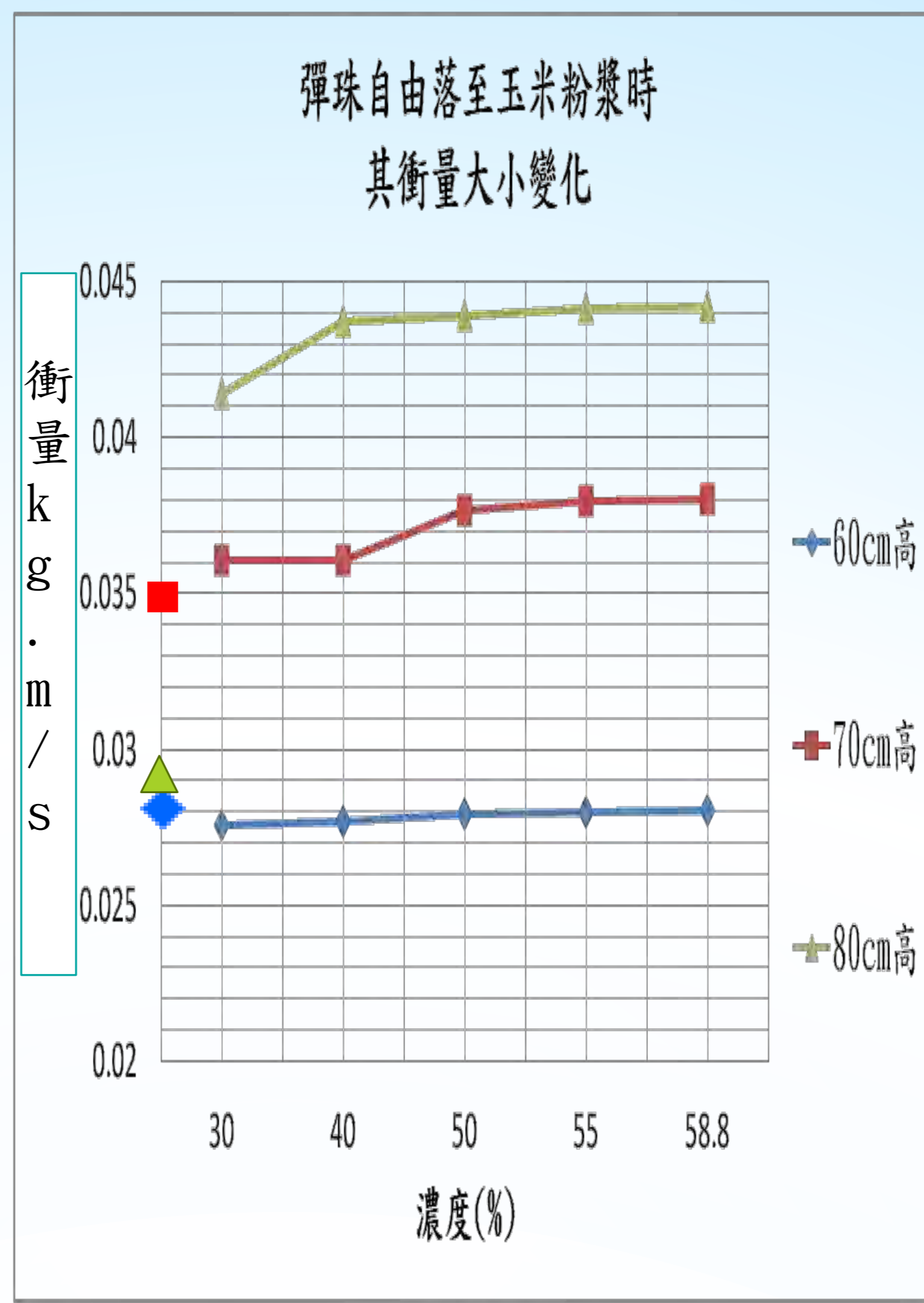
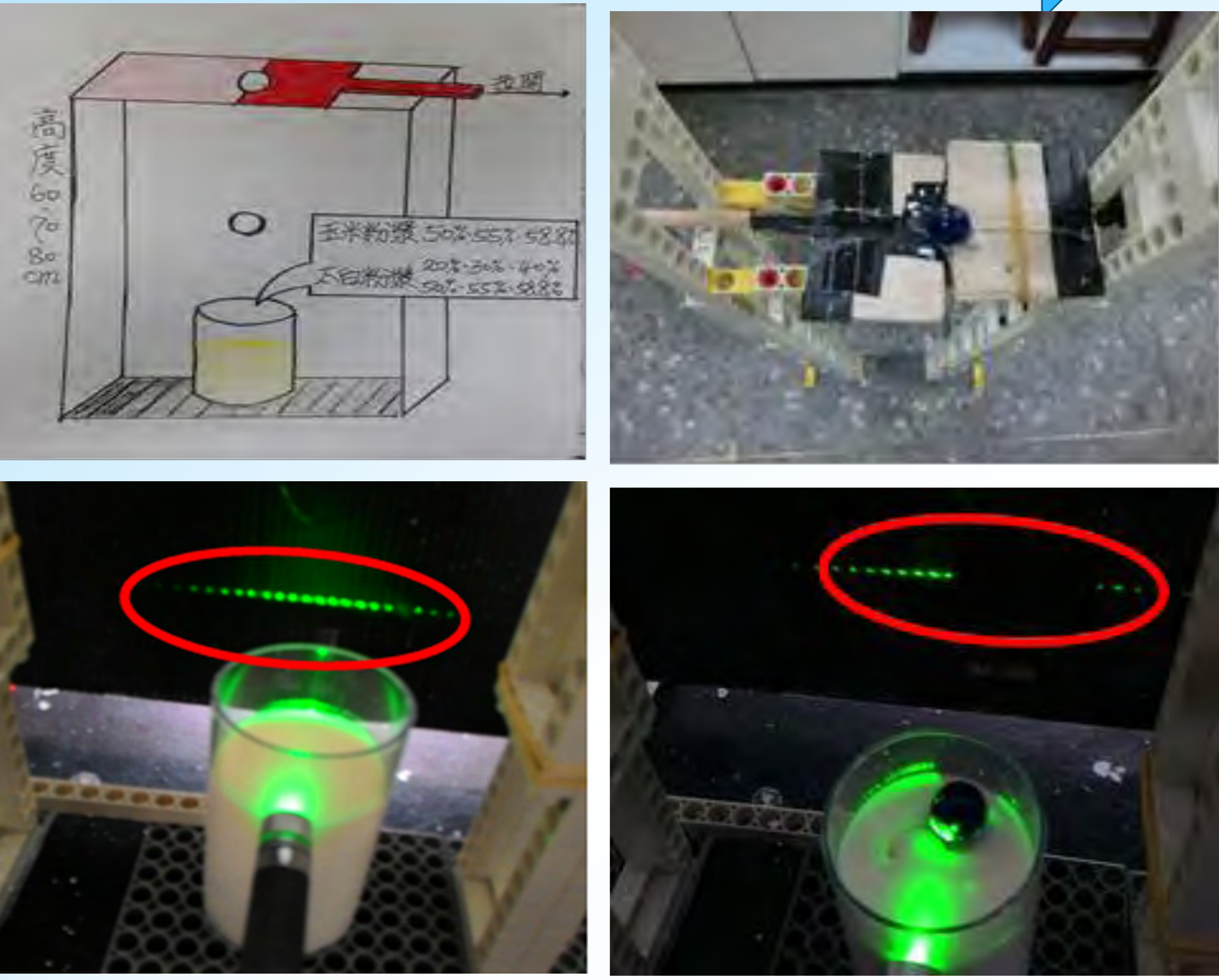
## 實驗一：判定膨性流體



牛頓流體與非牛頓流體的定義

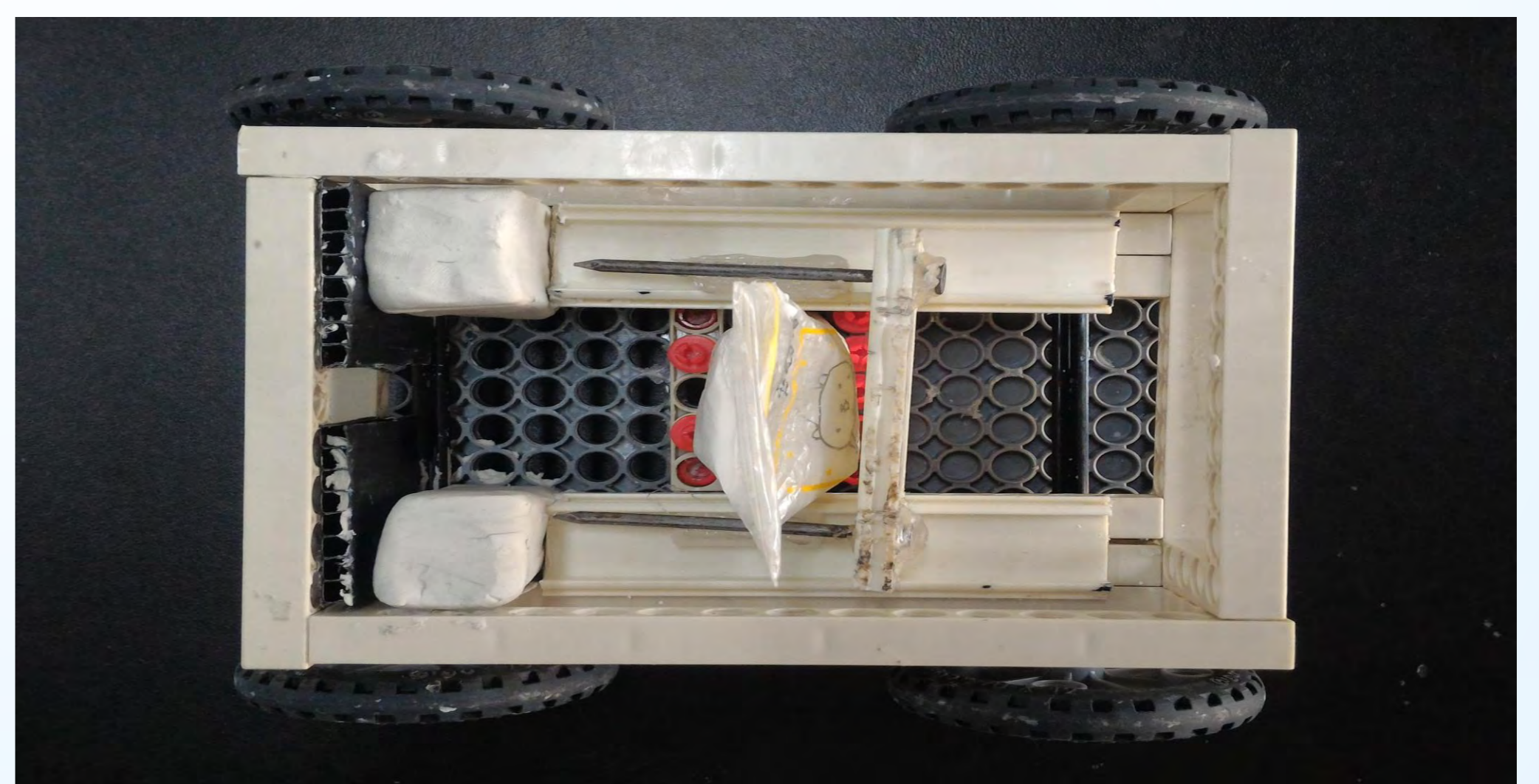
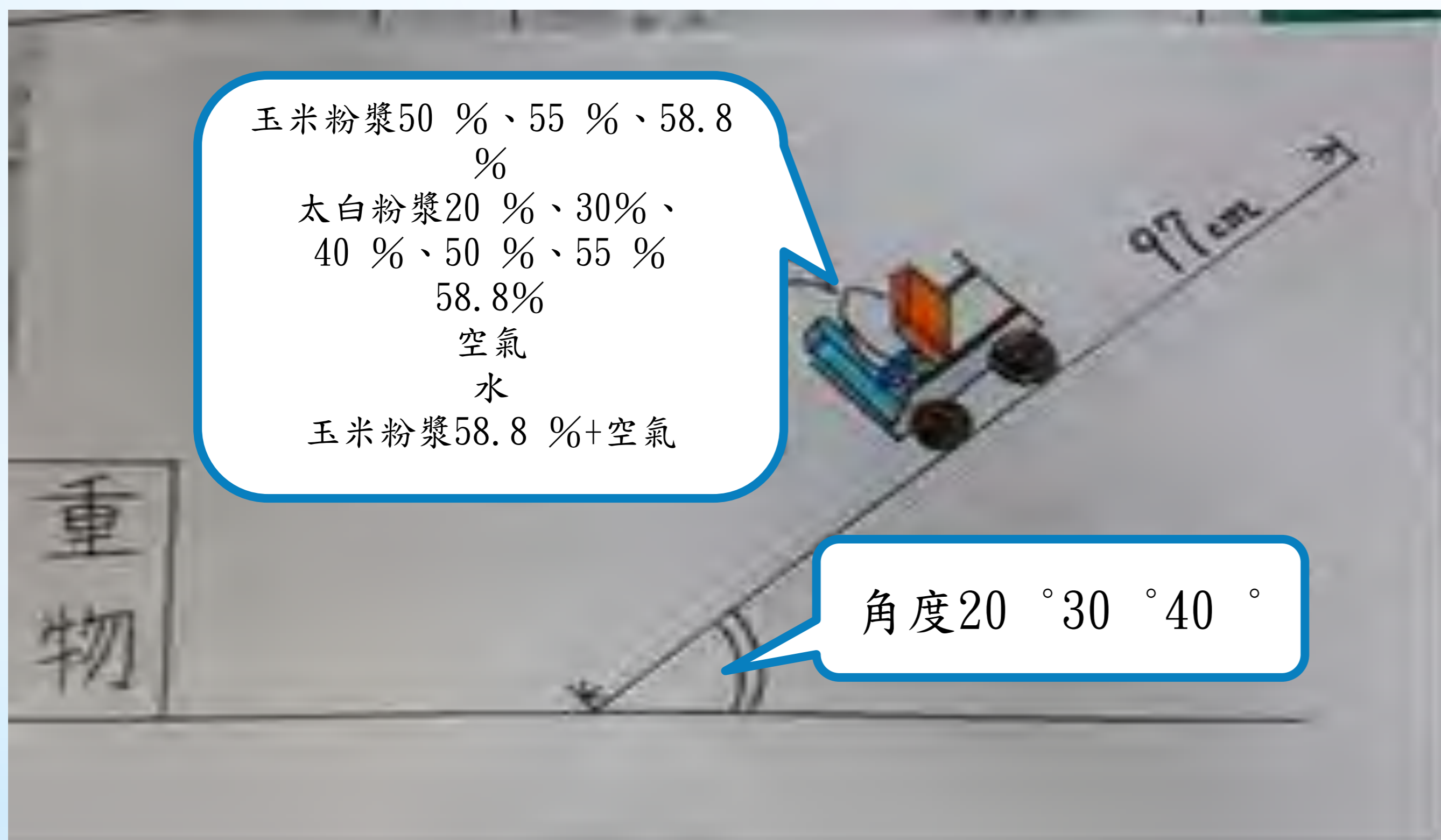


## 實驗二：粉漿吸收的衝量

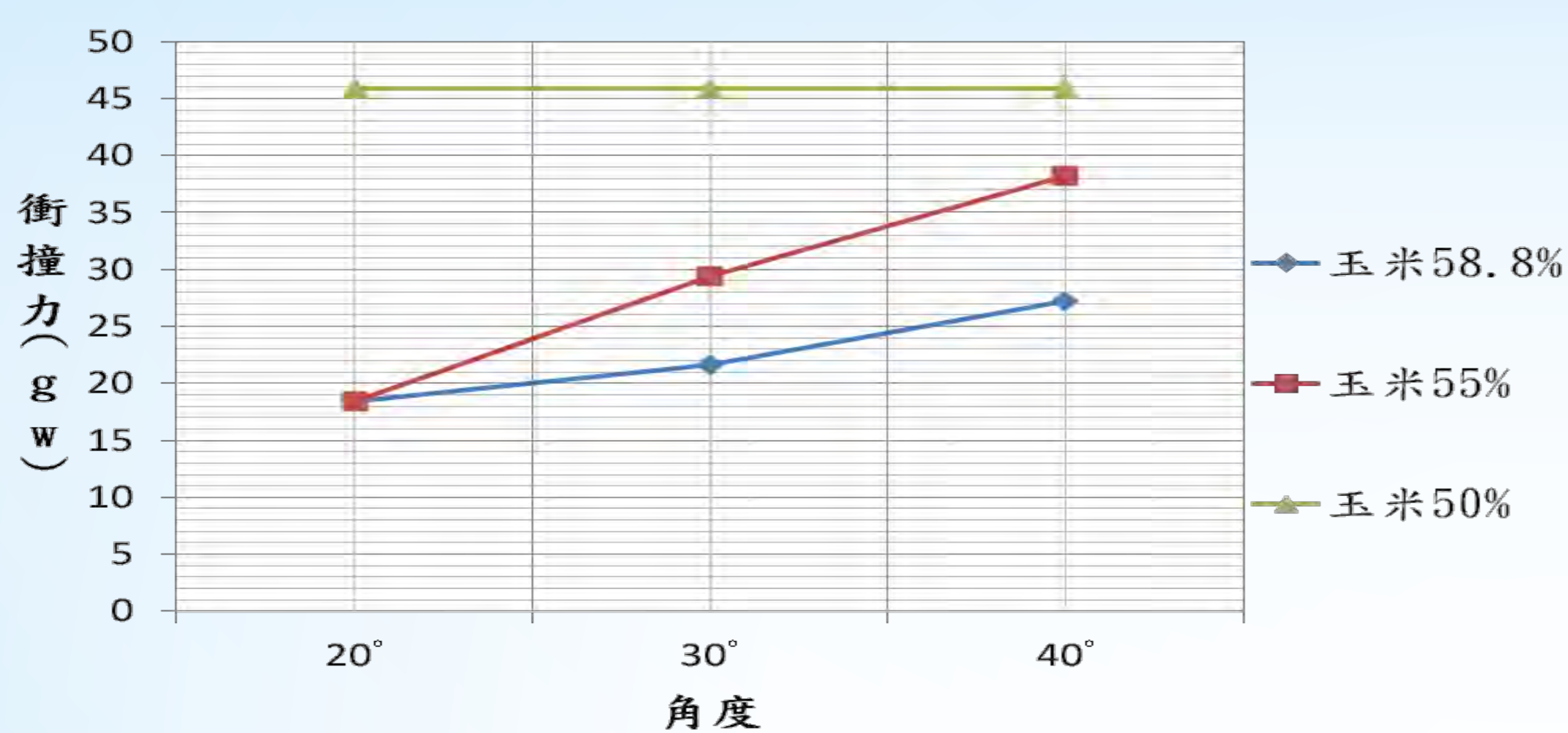


**實驗討論：**提高漿體的濃度能有效吸收彈珠的衝量，並和彈珠打到水的衝量做比較 (60cm→0.028kg·m/s、70cm→0.035kg·m/s、80cm→0.029kg·m/s)，可以發現水並無因自由落下的高度越高而增加其吸收彈珠衝量的能力。

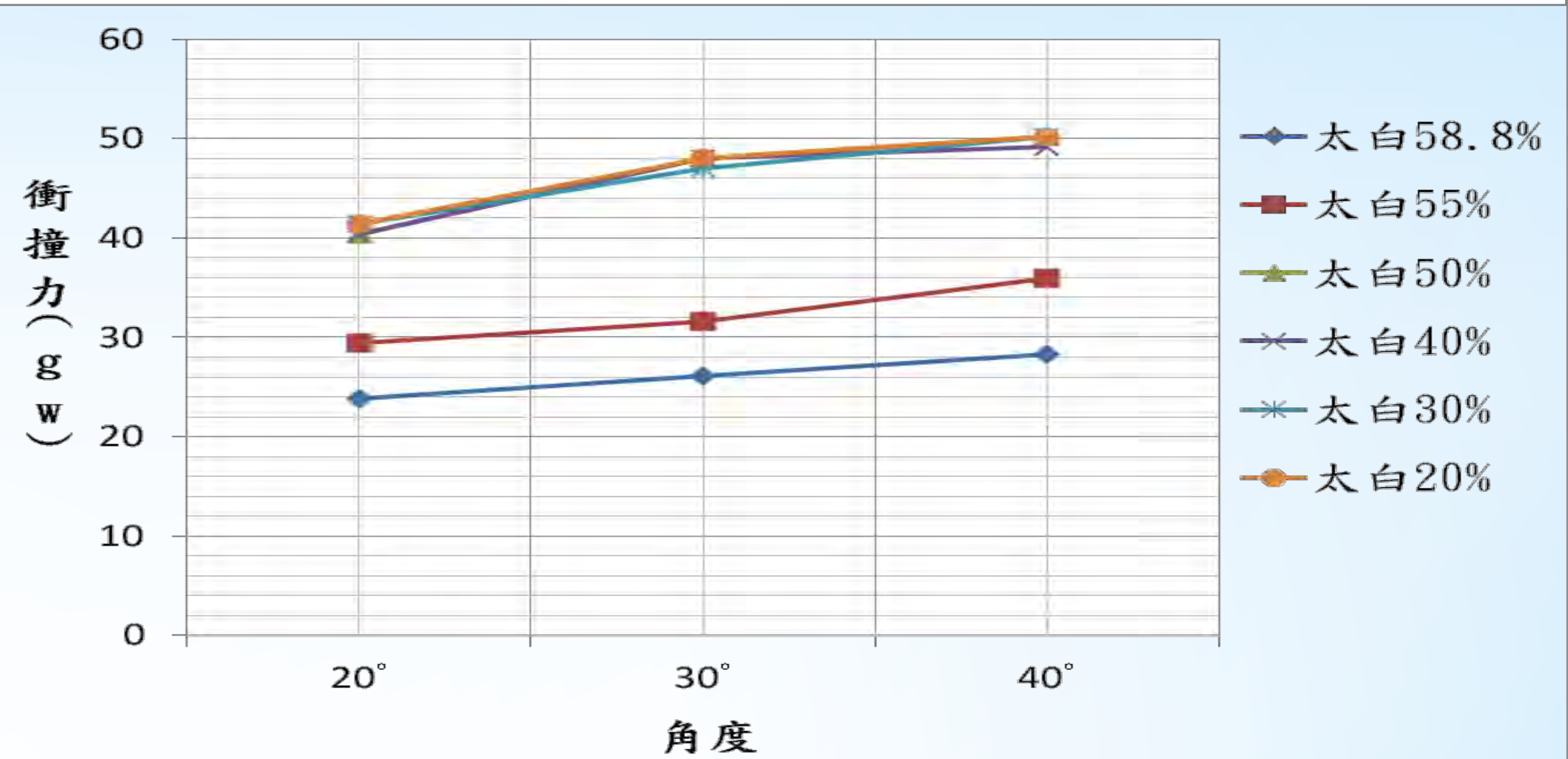
## 實驗三：模擬安全氣囊



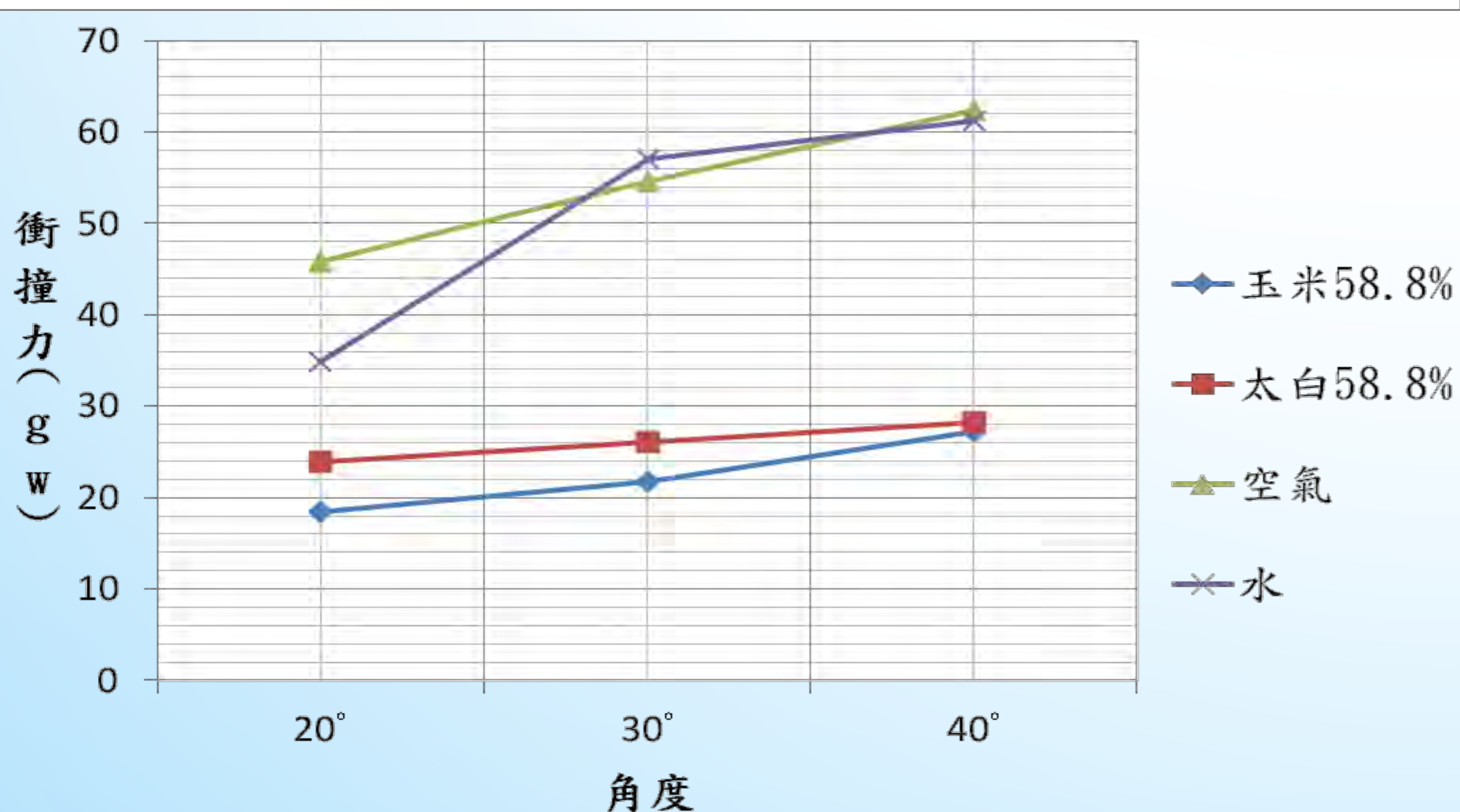
將不同濃度的玉米粉漿所做的安全氣囊置放於黏土前方，測試車輛在不同角度的斜面自由滑下至底部後，急停時，黏土(模擬人體)所受的衝擊力關係圖。



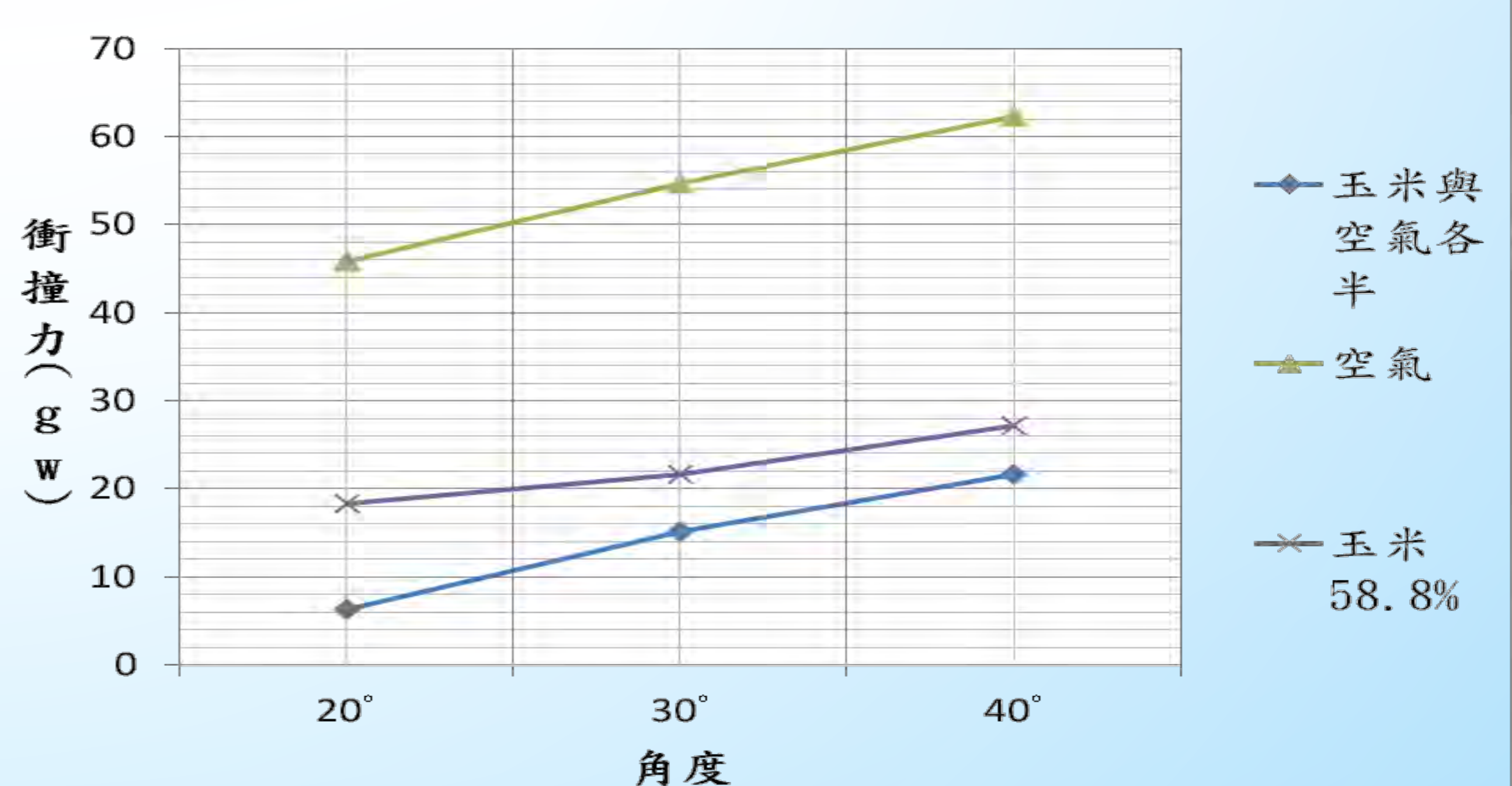
將不同濃度的太白粉漿所做的安全氣囊置放於黏土前方，測試車輛在不同角度的斜面自由滑下至底部後，急停時，黏土(模擬人體)所受的衝擊力關係圖。



分別將濃度的玉米粉、太白粉漿、空氣、水所做的安全氣囊置放於黏土前方，測試車輛在不同角度的斜面自由滑下至底部後，急停時，黏土(模擬人體)所受的衝擊力關係圖。



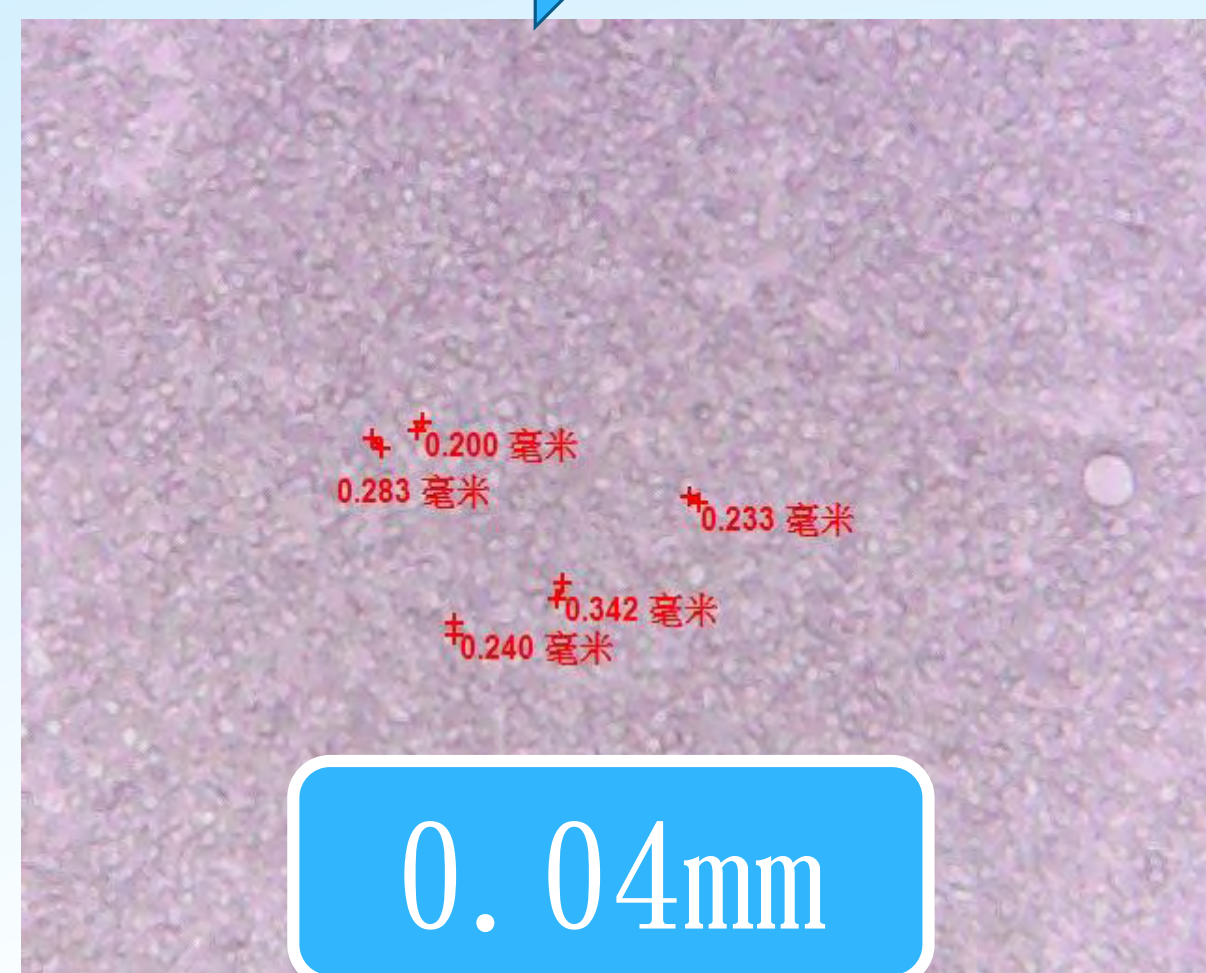
分別將空氣、58.8%玉米粉漿、58.8%玉米粉漿與空氣個半所做的安全氣囊置放於黏土前方，測試車輛在不同角度的斜面自由滑下至底部後，急停時，黏土(模擬人體)所受的衝擊力關係圖。



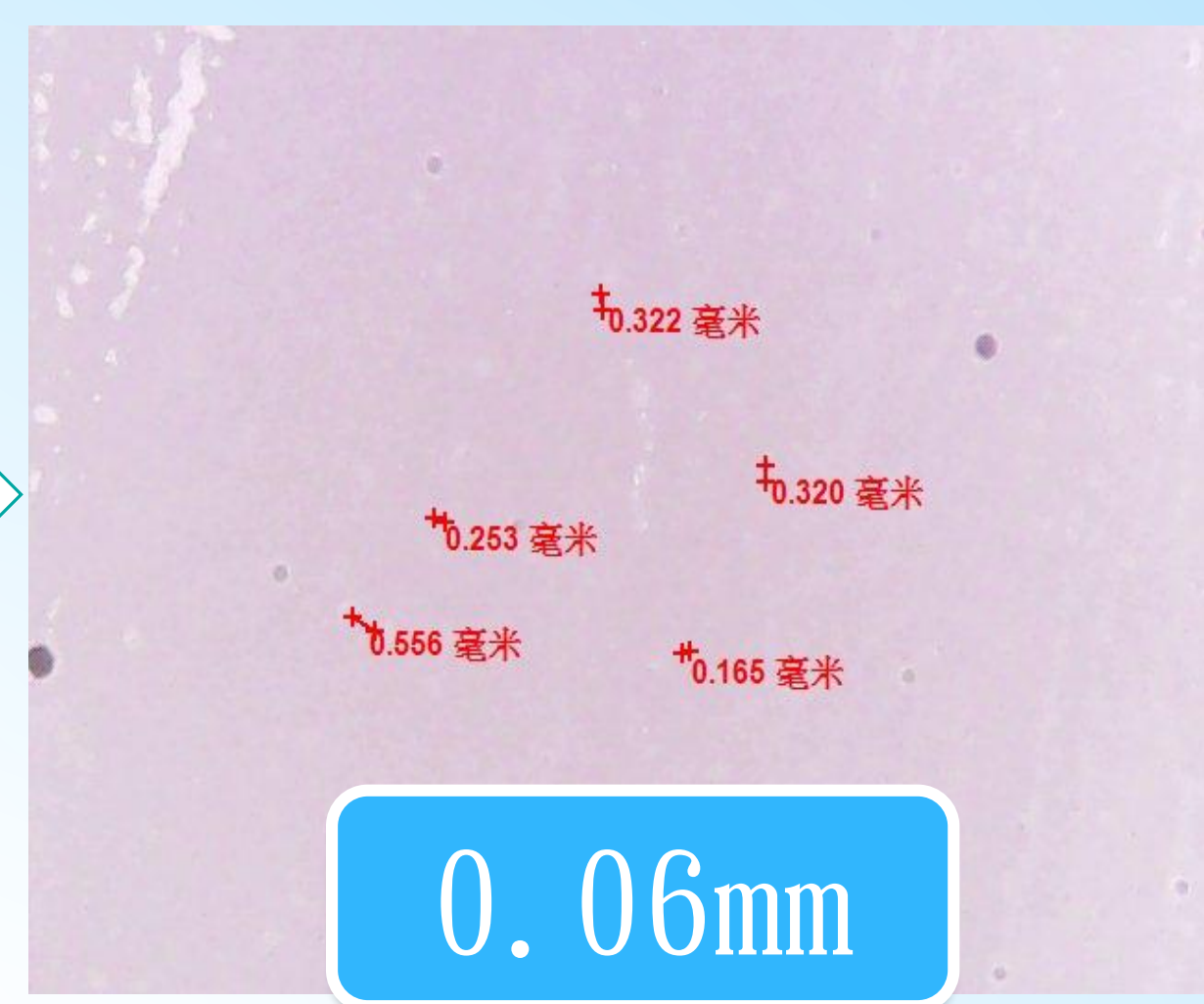


## 實驗四：觀察粒子大小變化

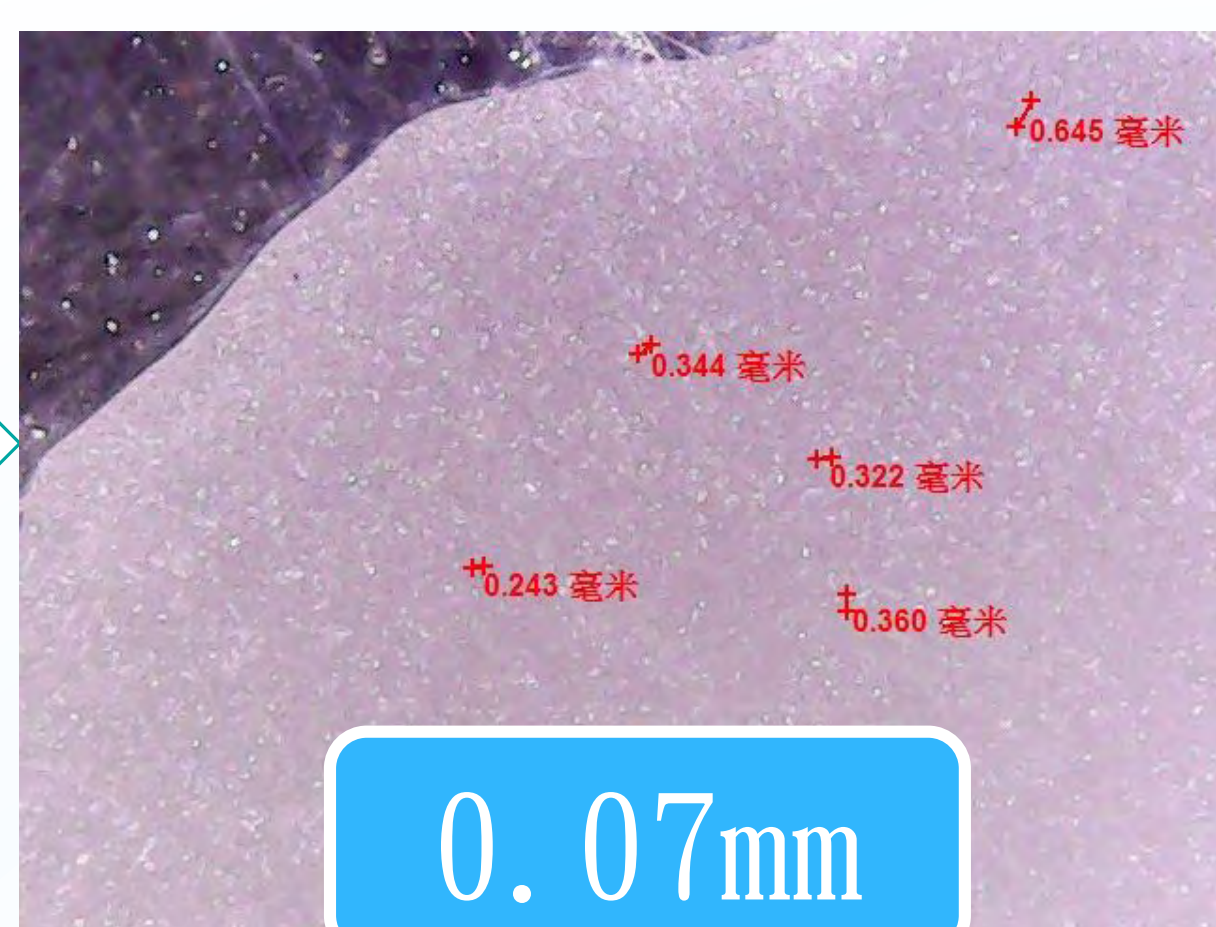
玉米粉漿第一天顯微照相圖



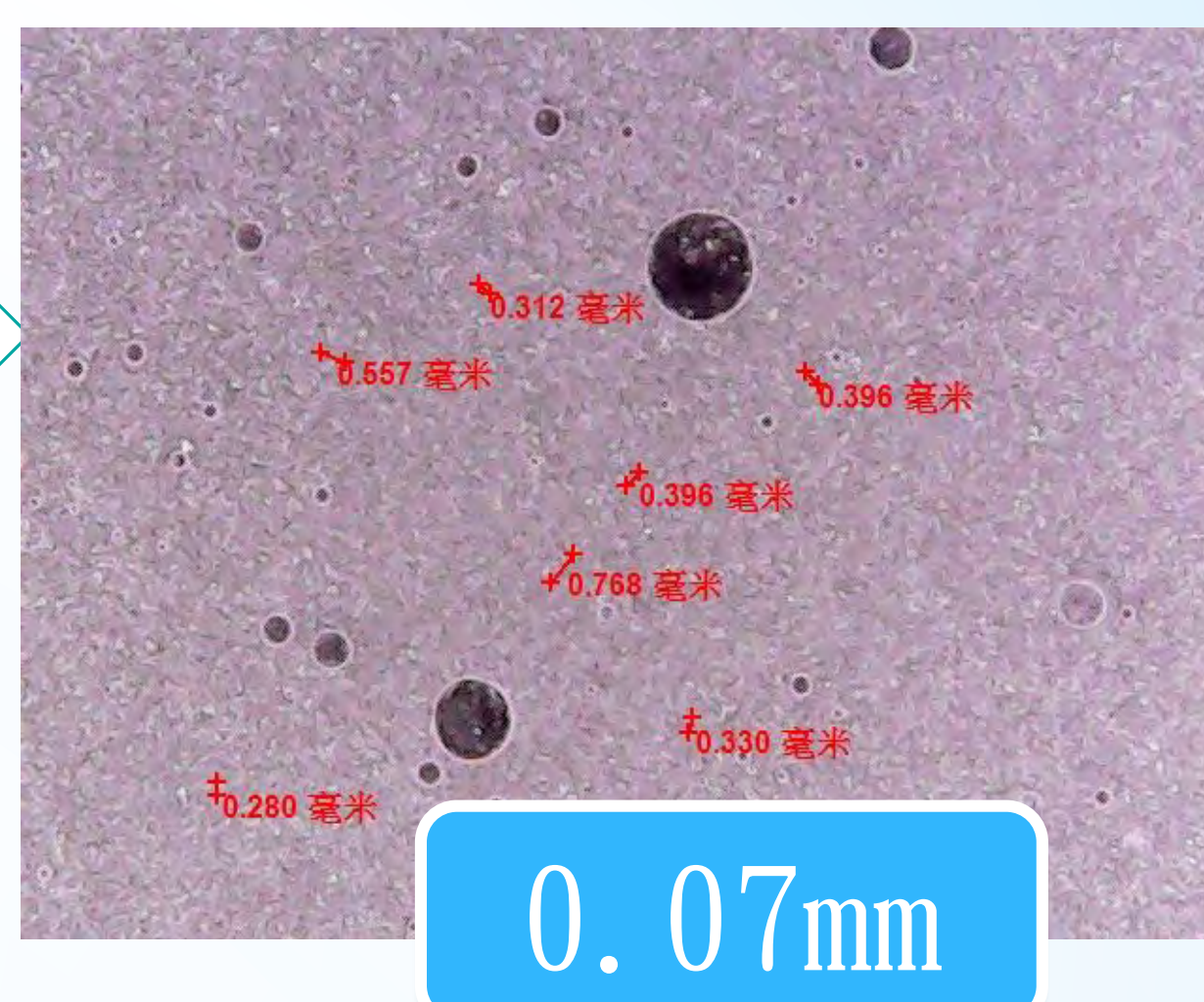
玉米粉漿第五天顯微照相圖



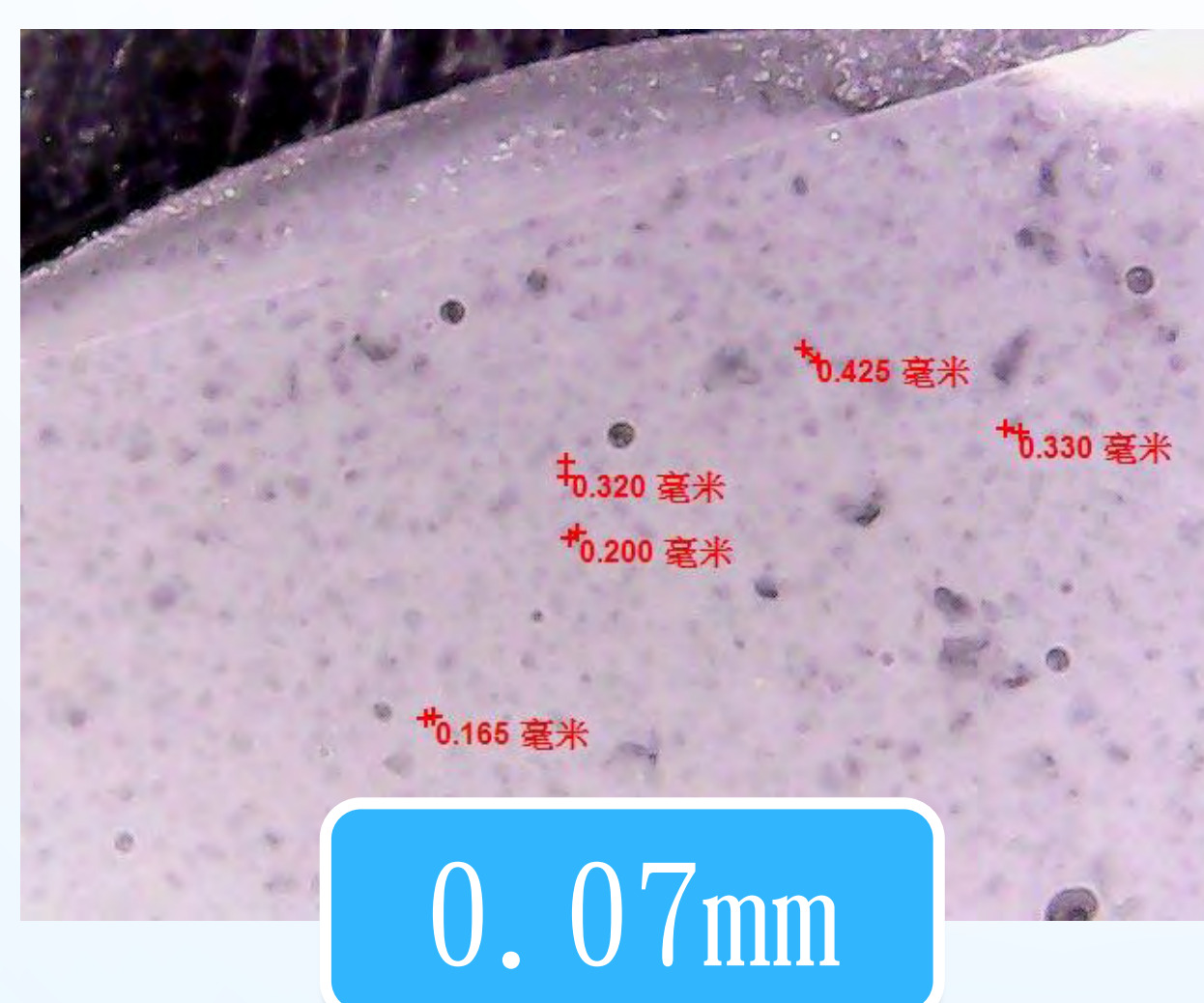
太白粉漿第一天顯微照相圖



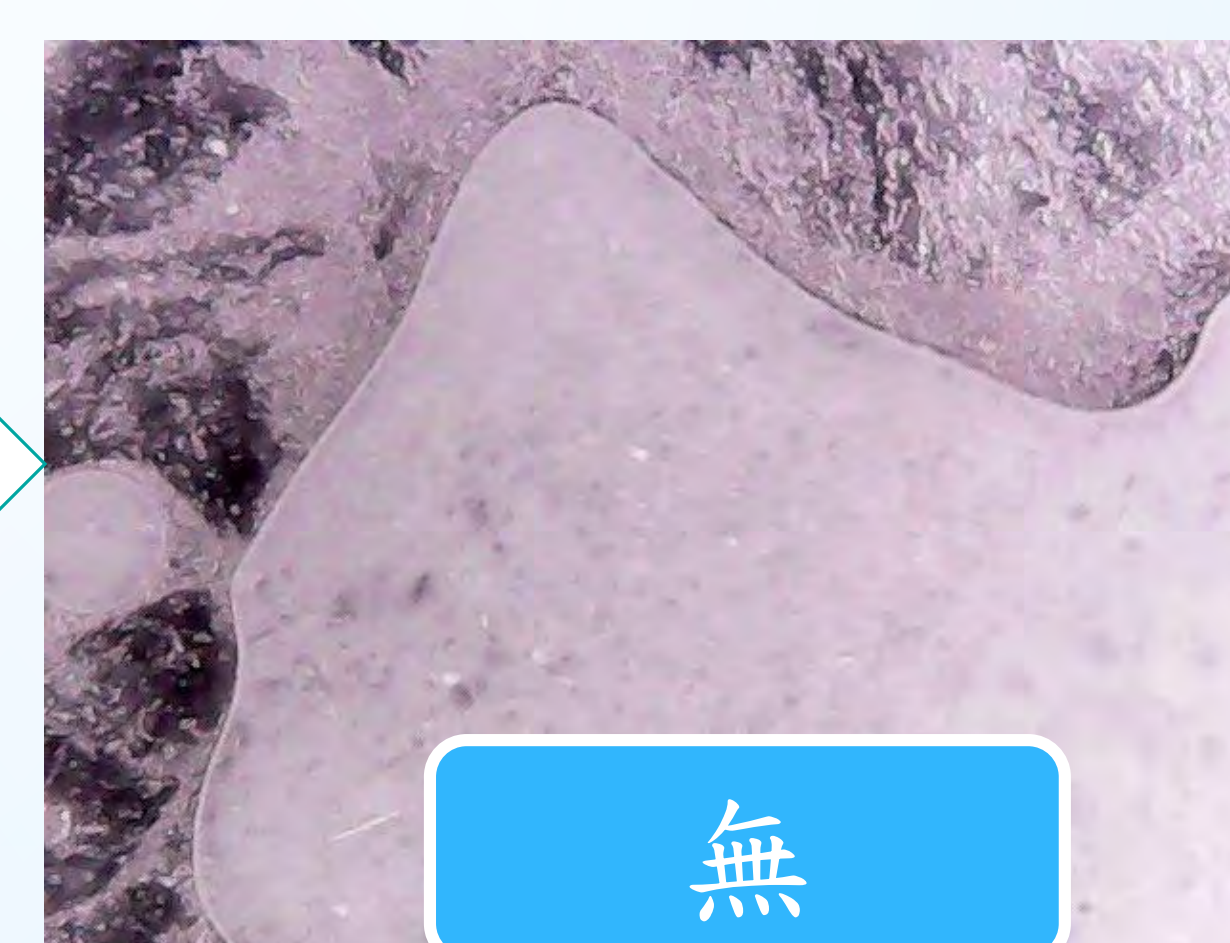
太白粉漿第五天顯微照相圖



糯米粉漿第一天顯微照相圖



糯米粉漿第二天顯微照相圖



## 陸、結論

- 一、根據實驗結果，觀察流速與力的關係曲線，可發現曲線的斜率會越來越小（如對數圖形），只有濃度50%以上的玉米粉漿與濃度20%以上的太白粉漿才符合膨性流體的特性。
- 二、玉米粉漿與太白粉漿在符合膨性流體的濃度下，高度越高時，粉漿越能有效吸收彈珠的衝量，跟水吸收的衝量差距越大。
- 三、我們想依照其擴溶現象製作含膨性流體的安全氣囊，減少車輛衝撞時對人體的傷害。實驗結果可以發現：

(1)以玉米粉漿而言，減少車輛衝撞力的效果濃度58.8%最好，而濃度50%以下的玉米粉漿 不論撞擊車速如何，其衝撞力大小皆無太大變化，應為黏土與粉漿已壓至極限，所以衝撞力大小無太大變化。

(2)以太白粉漿而言，減少車輛衝撞力的效果濃度58.8%最好，當濃度降至濃度50%以下時，呈現與玉米漿相同的情形。

(3)而裝有空氣的安全氣囊。其讓人體所接收的衝撞力為玉米粉漿的3.41倍~1.65倍；同樣相對於太白粉漿，空氣安全氣囊讓人體所接受衝撞力為2.2倍~1.56倍，可以發現以空氣裝安全氣囊的效果較粉漿差。

(4)而與水填裝安全氣囊做比較，空氣安全氣囊讓人體所接受衝撞力為其1.31倍~1.02倍，其防衝撞能力略好於空氣；但相對於玉米及太白粉粉漿，其衝撞力仍為粉漿的2.63~1.18倍，仍以粉漿防衝撞能力較佳。

(5)接下來我們想要製造雙面氣囊，依照膨性流體的擴溶現象有效擋住車輛的衝撞力，防止車輛因變形而對人體造成傷害，所以將實驗過最好的58.8%玉米粉漿填裝氣囊並面向車頭方向；並利用氣體可壓縮的特性，將氣體灌入氣囊並面對人體方向，避免因急停對人體造成傷害，測試結果發現車輛下滑急停所受的衝撞力為單獨填裝58.8%玉米粉漿的0.38~0.79倍，也是常見空氣氣囊的0.14~0.35倍，其對人體的安全性是最佳的，此安全氣囊設計可考慮置放於實際車輛中，更有效的避免衝撞對人體的傷害。

四、從實驗一~三的結果，雖然濃度20%以上的太白粉漿與濃度50%以上的玉米粉漿皆為膨性流體，應具擴溶現象，但由安全氣囊的測試中可發現玉米澱粉防衝撞力效果最好，故進行粉漿粒子的觀察。由連續五天的顯微照相可發現，玉米澱粉顆粒大小可有直徑0.04mm~0.07mm的變化，而太白粉的澱粉顆粒維持約0.07mm，唯有玉米粉漿經過五天水解時間，其顆粒直徑大小可以改變，再查詢文獻資料可以發現，玉米粉內的直鏈澱粉與支鏈澱粉的比例為29%：71%；太白粉內的直鏈澱粉與支鏈澱粉的比例為15%：85%；而糯米粉內所含的直鏈澱粉低於10%，玉米粉的直鏈澱粉比例高於其他兩者，推論直鏈澱粉比例應與所觀察顆粒直徑長度相關。兩者的關係性似乎是值得下次研究的議題。

## 柒、參考資料

一、國中自然與生活科技第四冊第四章有機化合物 與第五冊第二章牛頓三大定律。南一出版社。

二、黃馬克, 李明怡, 食品科學概論-保健食品初級工程師, 千華數位文化 (2015)

三、李忠華, 張永利, 孫可明, 流體力學, 東北大學出版社 (2009)

五、朱敬平。第十四章 非牛頓液體。台北市：台灣科技大學。取自：  
<http://elixirr.myweb.hinet.net/MPTP.htm>

六、非牛頓流體：<http://elixirr.sg1003.myweb.hinet.net/Chapter14-nonnewtonianfluid.pdf>

四、液體黏度之測定-奧士瓦黏度計 <http://www.wretch.cc/blog/jacky1989522/15317890>