

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

082924

抽絲剝繭的新世代螺祖—棉花糖機的製作及棉花糖潮解探討

學校名稱：臺北市士林區士林國民小學

作者： 小六 許意驊 小六 李采恩 小六 陳子豪	指導老師： 巫青玟 柯孟昌
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：棉花糖機、糖、潮解

摘要

在經歷自製十代棉花糖機的過程後，我們將孔徑 2mm、洞數 192 個、孔洞呈螺旋排列的轉盤（放糖容器）組裝在轉速 8000 rpm 馬達上，然後以酒精燈提供將糖融化的熱源，接著拿起長竹籤收集糖紗，成功自製棉花糖，完成一部組裝簡單、製作量多的棉花糖機。

以各種糖品做成棉花糖時，硬糖方面建議用以檸檬糖為原料做出的棉花糖最快做好。若將白砂糖加上葡萄糖漿、奶油、油(細水柱狀)、油(噴霧狀)融在一起能做出延緩潮解時間的棉花糖，其中又以在棉花糖外噴上微量油霧，能有效隔離外層水氣，效果最好。

壹、研究動機

我們常常在夜市看到有人在賣棉花糖，但是看老闆在製作過程加了很多的色素，覺得很不健康，棉花糖的價格也不便宜，所以想自己動手做台棉花糖機，這樣不但可以吃到自己動手做的棉花糖，又可以了解棉花糖形成的原理。

四年級自然課我們曾接電使馬達運轉，這個經驗被我們應用在製作棉花糖機上。過程中，驚覺棉花糖的產生跟紡織工廠裡整理纖維、抽紗、織布的過程非常類似。我們是否有可能應用自製棉花糖機”織”出不同的棉花糖呢？若想要”織”出成功的棉花糖，要先解決糖紗受潮易黏手及坍塌變形的問題，因此開始著手往”抽絲剝繭的新世代嫻祖”的目標前進。

貳、研究目的

一、了解棉花糖機的構造及產生棉花糖的原理。

二、改變棉花糖機的結構，用最簡單的裝置做出棉花糖。

三、研究可以成功做出棉花糖的糖品。

四、研究可以延遲糖紗潮解的方法。

參、文獻探討

一、棉花糖（美式英語：cotton candy；英式英語：candyfloss；澳式英語：fairy floss）

棉花糖是一種傳統的街頭小吃，發明於 1900 年代的美國，經由世界博覽會傳播，目前已成為一款風靡於世界各地的甜食。棉花糖主要是由砂糖受熱膨脹所產生的，雖然體積十分龐大，但一根棉花糖的重量僅為 31.2404 克（1 盎司）左右，熱量大約有 116 卡路里。

二、潮解

(一)潮解是因空氣中水分含量大而使固體物質溶解的一種現象。有些晶體能自發吸收空氣中的水蒸氣，在它們的固體表面逐漸形成飽和溶液，它的水蒸氣壓若是低於空氣中的水蒸氣壓，則平衡向著潮解的方向進行，水分子向物質表面移動。這種現象叫做潮解。

(<https://www.ngm.com.tw/wiki/%E6%BD%AE%E8%A7%A3>)

(二)潮解是某些易溶於水的物質吸收空氣中的水蒸氣或水分中水蒸氣被晶狀固體吸收，直到結晶溶解為飽和溶液的現象，稱為潮解。

(<https://translate.google.com/translate?hl=zh-TW&sl=zh-CN&u=https://zhidao.baidu.com/question/10538597&prev=search>)

肆、研究設備與器材

一、製作棉花糖機的器材	數量	二、糖品種類	數量	三、防止糖潮解的材料	數量
1. 各種罐子	1	1. 砂糖	適量	1. 奶油	適量
2. 馬達	1	2. 黑糖	適量	2. 橄欖油	適量
3. 螺帽	1	3. 冰糖	適量	3. 奶精	適量
4. 電池	3	4. 糖粉	適量	4. 葡萄糖漿	適量
5. 盤子	1	5. 各種糖果	適量		
6. 塑膠盆	2				
6. 電鑽	1				
7. 蠟燭	1				
8. 鐵盒	1				
9. 打火機	1				
10. 筷子	4				
11. 熱熔槍	1				
12. 冰棒棍	4				
13. 雙面膠	1				



伍、研究過程與方法



一、了解棉花糖機的構造及產生棉花糖的原理。

- (一)上網查詢棉花糖機的構造及產生棉花糖的原理。
- (二)親自到夜市看棉花糖製作過程。

二、改變棉花糖機的結構，用最簡單的裝置做出棉花糖。

- (一)利用身邊器材自製一台棉花糖機。
- (二)先將糖果罐等鑽洞，然後用螺帽固定罐子和馬達，再把馬達和熱源固定，然後準備收集盆。組裝好後放入 5g 糖品、點火，打開馬達，再把糖倒下去就完成了。
- (三)不斷檢討棉花糖機的缺點，進行改良棉花糖機。

三、研究可以成功做出棉花糖的糖的種類。

- (一)收集家裡各種常見的糖，先查詢、分析了解各種糖的成分。
- (二)將這些糖放入棉花糖機中試試看是否能做成棉花糖。
- (三)分析出各種糖可製造出棉花糖的重量。
- (四)分析各種糖製造出棉花糖可以開始噴紗的時間，以及收集糖紗成為棉花糖的時間。(計算製造出棉花糖所需的時間。)

四、研究可以延遲糖紗潮解的方法。

- (一)改變製作棉花糖的**糖品種類**，如砂糖、黑糖等，觀察製造出的糖紗是否容易潮解。
- (二)改變製作棉花糖的**糖顆粒**，如糖粉、冰糖等，觀察製造出的糖紗是否容易潮解。
- (三)改變製作棉花糖的**糖品成分**，如將糖加入奶油、橄欖油…等，觀察製造出的糖紗是否容易潮解。

陸、研究結果

一、了解棉花糖機的構造及產生棉花糖的原理。

(一) 市售的插電式各種棉花糖機：



(二) 棉花糖主要是利用離心力的原理。首先先把糖加熱溶解成濃稠的糖漿，置放糖漿的容器外會覆蓋一個充滿小孔的蓋子或網狀物；然後製造棉花糖的機器，會以高速旋轉產生離心力，此時，糖漿受到離心力，就會像脫水機脫水的原理一樣往外噴射出去，而且經過細孔或網子時，會變成很細的“糖漿注”，因為溫度下降急速冷卻後，就成了細絲狀的固體，也就是棉花糖；隨後使用竹籤收集而成。

二、改變棉花糖機的結構，用最簡單的裝置做出棉花糖。

(一) 棉花糖主要是利用離心力的原理。首先分析市售棉花機，發現製作棉花糖機，一定要先準備熱源、糖、可以旋轉起來的工具。可以旋轉起來的工具，最先想到利用的是四年級自然課時用過的小馬達。

(二) 我們利用身邊簡單的器材，不斷地改良，製作了十代的棉花糖機。

1.第一代棉花糖機



鑽洞的糖果罐



第一代棉花糖機



塑膠收集盆

(1)製作的原因：

想要自己做一台棉花糖機，自製棉花糖，還可以了解棉花糖形成的原理。

(2)製作的方式：

- A. 將糖果罐鑽洞，製成轉盤。
- B. 用螺絲和螺帽固定糖果罐和小馬達。
- C. 把馬達和蠟燭用冰棒木棍固定在盤子上。
- D. 收集兩個大塑膠盆當作收集盆。

(3)製作的結果：

優點	缺點
A. 小馬達轉速夠快 B. 回收再利用(糖果盒、塑膠盆、冰棒木棍)	A. 轉盤底部的洞沒有鑽在圓心，造成整體搖晃，轉動不平衡 B. 整體無法達到轉動平衡，造成支架不穩且晃動，以致傾斜 C. 蠟燭的火勢不夠強，易受到轉盤轉動時空氣的流動而熄滅 D. 使用塑膠螺絲及塑膠螺帽，易受高溫融化 E. 火源無法穩定供應，以致加熱不均勻 F. 無法成功噴紗

2. 第二代棉花糖機

蠟燭當作加熱工具和鋁製收集盆



用兩支竹筷固定馬達



(1) 改良的原因：

第一代棉花糖機有轉盤底部的洞沒有鑽在圓心、支架不穩、蠟燭易熄滅、塑膠螺絲及塑膠螺帽易受高溫融化、加熱不均勻等缺點，**無法成功噴紗**。

(2) 改良的方式：

- A. 將糖果盒在紙上畫圓剪下，利用對折的方式找出圓心，並在圓心鑽洞，製成轉盤
- B. 用兩支竹筷固定馬達(使馬達轉動平穩)
- C. 將馬達插入木板的凹槽中(穩定支架)
- D. 將馬達和轉盤用鐵螺絲和鐵螺帽固定(使螺絲和螺帽不易融化)
- E. 使用兩個蠟燭當作加熱工具(使加熱更均勻)
- F. 收集兩個鋁製的盤子當作收集盆(避免使用塑膠製品)

(3) 改良的結果：

優點	缺點
A. 轉速夠快	A. 基座不穩
B. 轉得夠穩	B. 收集盆不夠高
C. 使用鐵螺絲及鐵螺帽，不易融化	C. 加熱工具的火勢不夠強，易熄滅
D. 轉盤底部的洞有鑽在圓心	D. 加熱不均勻
E. 廢物再利用(糖果盒)	E. 無法成功噴紗

3. 第三代棉花糖機



把馬達和 L 型鐵架鎖住固定



第三代棉花糖機

(1) 改良的原因：

第二代棉花糖機基座不穩、收集盆不夠高、馬達支架不穩、火勢易熄滅、加熱不均勻的問題，造成棉花糖無法噴紗成功，所以製作了第三代的棉花糖機。

(2) 改良的方式：

- A. 將糖果盒鑽洞，製成轉盤
- B. 把馬達和 L 型鐵架鎖住固定(使馬達支架更穩固)
- C. 將 L 型鐵架的另一端鎖在木板上(使基座更穩固)
- D. 把馬達和轉盤用鐵螺絲和鐵螺帽固定
- E. 使用兩根蠟燭當作加熱工具
- F. 使用塑膠水族箱當作收集盆(將棉花糖機放入水族箱中，改善收集盆不夠高的問題)

(3) 改良的結果：

優點	缺點
<ul style="list-style-type: none"> A. 轉速夠快、夠穩 B. 使用鐵螺絲及鐵螺帽，不易融化 C. 轉盤底部的洞有鑽在圓心 D. 收集盆夠高 E. 馬達支架較穩 F. 廢物再利用(糖果盒) 	<ul style="list-style-type: none"> A. 基座不穩，震動情況很嚴重 B. 加熱工具的火勢不夠強，易熄滅 C. 噴出來的糖紗燒焦 D. 加熱不均勻

4.第四代棉花糖機



馬達軸心和轉盤固定



糖漿太重，使得轉速變慢

(1) 改良的原因：

第三代棉花糖機經過改良之後，終於可以噴出糖紗，但還是有基座震動嚴重、加熱工具易熄滅且不均勻、噴出來的糖紗燒焦這些缺點，所以繼續改良，製成第四代的棉花糖機。

(2) 改良的方式：

- A. 將糖果盒鑽洞，製成轉盤
- B. 把馬達和 L 型鐵架鎖住固定(使基座更穩)
- C. 將馬達軸心和轉盤固定
- D. 將砂糖融化成糖漿後放入糖果盒甩出，不直接加熱(使加熱均勻，避免糖紗燒焦)
- E. 使用鐵鍋當作收集盆(將棉花糖機掛在鐵鍋上)

(3) 改良的結果：

優點	缺點
A. 轉得夠穩	A. 糖漿太重，使得轉速變慢
B. 轉盤底部的洞有鑽在圓心	B. 製作過程較麻煩(糖漿需另製)
C. 收集盆夠高	C. 扭力不夠
D. 馬達支架較穩	D. 只噴出糖漿，無法噴紗
E. 廢物再利用(糖果盒)	

5.第五代棉花糖機



利用舊果汁機改良的第五代棉花糖機



第五代的棉花糖機做出的成品

(1) 改良的原因：

第四代棉花糖機糖漿太重轉速變慢、扭力不夠、只噴出糖漿無法噴紗這些缺點，所以又繼續改良製成了第五代的棉花糖機。

(2) 改良的方式：

- A. 將糖果盒鑽洞，製成轉盤
- B. 把舊果汁機和轉盤用鐵螺絲和鐵螺帽固定(可使轉速快，扭力足夠)
- C. 使用紙箱當作收集盆
- D. 將砂糖融化成糖漿後放入糖果盒甩出，不直接加熱(使加熱均勻，避免糖漿燒焦)

(3) 改良的結果：

優點	缺點
A. 轉速很快	A. 製造過程較麻煩
B. 可以成功噴紗	B. 聲音太大(吵)
C. 可以調整轉速	C. 組裝較麻煩
D. 不用預熱	D. 基座不穩，震動情況很嚴重
E. 廢物再利用(糖果盒、果汁機、紙箱)	E. 收集盆無法固定
	F. 噴糖紗的速度太快，比較不容易收集

6.第六代棉花糖機



冰棒木棍和鋁罐用塑鋼土固定



第六代的棉花糖機做出的成品

(1) 改良的原因：

第五代棉花糖機的糖漿需另製、組裝較麻煩、噴糖紗的速度太快**不容易收集**，所以進行改良，放棄使用電動，回到用小馬達當動力來源，改製成第六代的棉花糖機。

(2) 改良的方式：

- A. 將鋁罐鑽洞，製成轉盤
- B. 冰棒木棍和鋁罐用塑鋼土固定
- C. 把馬達和冰棒木棍用熱熔槍固定
- D. 使用紙箱當作收集盆
- E. 使用酒精燈當作加熱工具(加熱過程較簡單)

(3) 改良的結果：

優點	缺點
<ul style="list-style-type: none"> A. 轉得夠穩 B. 冰棒木棍上的洞有鑽在圓心 C. 收集盆夠高 D. 轉速很快 E. 廢物再利用(鋁罐、紙箱) F. 可以成功噴紗 	<ul style="list-style-type: none"> A. 需要用手拿 B. 噴出來的糖紗燒焦 C. 製作量少 D. 棉花糖製作過程會碰到紙箱，不衛生

7.第七代棉花糖機



第七代棉花糖機



第七代的棉花糖機做出的成品

(1) 改良的原因：

第六代棉花糖機需要用手拿不方便、噴出來的糖紗燒焦、製作量少、不衛生，於是再繼續改良棉花糖機。

(2) 改良的方式：

- A. 將鋁罐鑽洞，製成轉盤
- B. 把馬達和 L 型鐵架鎖住固定
- C. 將馬達軸心和轉盤用鐵螺絲、鐵螺帽和連接器固定
- D. 使用酒精燈當作加熱工具
- E. 用湯桶當收集盆
- F. 將鋼圈和鐵絲綁住，將鐵絲固定在紙箱的四周，將 L 型鐵架掛在鋼圈上面

(3) 改良的結果：

優點	缺點
A. 轉速很快	A. 組裝較麻煩
B. 可以 成功製作棉花糖	B. 鐵絲會卡住手，不方便收集
C. 利用廚房鍋具收集棉花糖， 很衛生	
D. 棉花糖製作量多，殘留量少	

8.第八代棉花糖機



第八代的棉花糖機局部



將第八代的棉花糖機的木條跨在湯桶上

(1) 改良的原因：

組裝較麻煩、收集棉花糖糖絲時鐵絲會卡住手等缺點，所以改良為第八代的棉花糖機。

(2) 改良的方式：

- A. 將鋁罐鑽洞，製成轉盤(如圖一)
- B. 把馬達和 L 型鐵架鎖住固定，將 L 型鐵架鎖在木條上面
- C. 將馬達軸心和轉盤用鐵螺絲、鐵螺帽和聯軸器固定
- D. 使用酒精燈當作加熱工具
- E. 將泡棉黏在木條的兩端(防震)，將木條跨在收集盆上(鐵絲不會卡住手，方便收集)

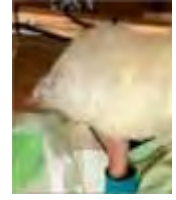
(3) 改良的結果：

優點	缺點
A. 轉速很快 B. 可以成功製作棉花糖 C. 利用廚房鍋具收集棉花糖， 很衛生 D. 組裝簡單(只要將機器放在湯桶上就可以用了)	A. 製作量不多，殘留量不少

9.第九代棉花糖機



更改第八代鋁罐成為第九代棉花糖機



第九代的棉花糖機做出的成品

(1) 改良的原因：製作量不多

(2) 改良的方式：

A. 改變鋁罐鑽洞位置

B. 將泡棉黏在木條的兩端(防震)，將棉花糖機跨在收集盆上

(3) 改良的結果：

A. 轉速很快、成功製作棉花糖、很衛生

B. 組裝簡單、製作量增多

※第八代與第九代的鋁罐及成品比較

棉花 糖 機 轉 盤	第八代	第九代	

10.第十代棉花糖機（可模組化材料包：DIY）

(1) 改良的原因：從 1-9 代棉花糖機發現，馬達轉速、轉盤的孔徑、洞數及打洞的位置排列都可能影響棉花糖的產量。

※各代棉花糖機機構比較表

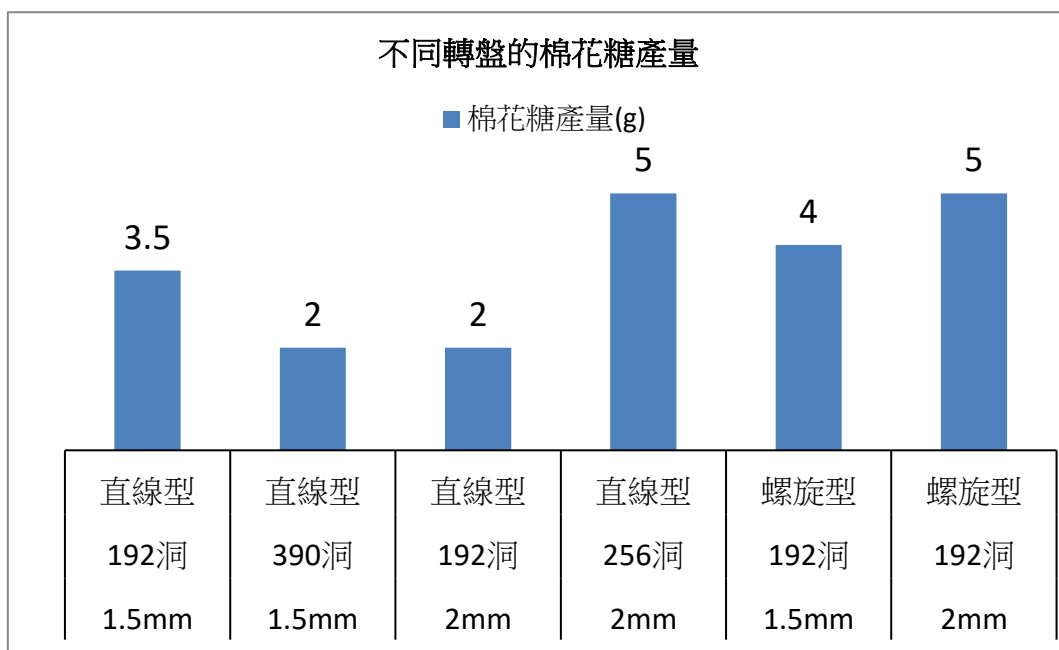
棉花糖機（代）	孔徑（mm）	孔數（個）	馬達轉速（rpm）	噴紗與否
1	2	20	4500	x
2	2	19	4500	x
3	1.5	26	4500	x
4	2	42	4500	x
5	2	660	4500	○（量極少）
6	1	30	18000	○（無法收集）
7	1	84	4500	○（量少）
8	1.5	76	5600	○（量少）
9	2	60	5600	○（量不穩定）
 10	2	192	8000	○

(2) 改良的方式：

進行操縱變因的實驗，分別以洞數、孔徑大小及打洞的排列方式為操縱變因，進行一系列的棉花糖機改造實驗，測量並記錄的棉花糖產量。

(3) 實驗的結果：

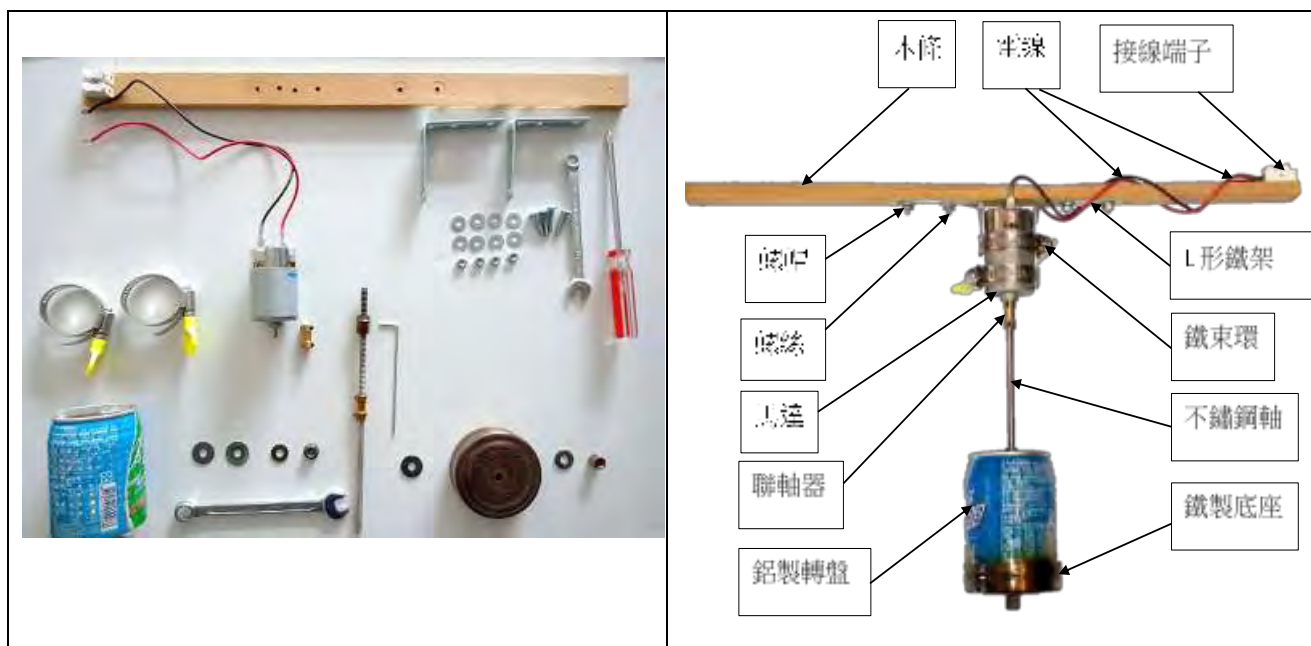
棉花糖機的轉盤規格			棉花糖產量（g）
孔徑（mm）	洞數（個）	排列方式	
1.5	192	直線型	3.5
1.5	390	直線型	2
2.0	192	直線型	2
2.0	256	直線型	5
1.5	192	螺旋型	4
2.0	192	螺旋型	5



※實驗結果顯示：棉花糖機的轉盤上洞的排列方式為**螺旋型**的棉花糖產量比直線型多。

因此，第十代棉花糖機的轉盤規格：**孔徑 2.0mm、192 洞、螺旋型排列。**

(4) 改良的結果



三、研究可以成功做出棉花糖的糖品種類。

(一)各種糖的成分比較：

糖的種類	顏色	成分
白砂糖	白色	為蔗糖的結晶，純度可達 99.6%以上。 成分: 蔗糖
冰糖	白色	為蔗糖的結晶，顆粒較砂糖大塊，純度可達 99.9%以上。 成分: 蔗糖
紅砂糖	紅色	紅砂糖含有超過 90%的蔗糖，主要成分是蔗糖，水分含 1.5-15.8%。 成分: 蔗糖、礦物質
檸檬硬糖	黃色	成分:白砂糖(蔗糖)、葡萄糖漿、檸檬酸、水果香精、食用色素
喉糖	咖啡色	成分: 蔗糖、葡萄糖漿、水、植物抽取物(枇杷葉、金銀花、桔梗)、 焦糖色素 E150d、香料、薄荷
牛奶糖	咖啡色	成分: 麥芽糖、蔗糖、奶油、奶粉、食鹽、大豆卵磷脂、香料
黑糖	黑色	成分:蔗糖、糖蜜、二砂、礦物質

由上表可知：

- 1.上述各種糖的主要成分都是蔗糖。
- 2.檸檬硬糖、喉糖等合成糖除了蔗糖以外，也含有葡萄糖漿的成分；接下來，在延後潮解時間的棉花糖配方時，我們也會試著加上葡萄糖漿看看是否有效。

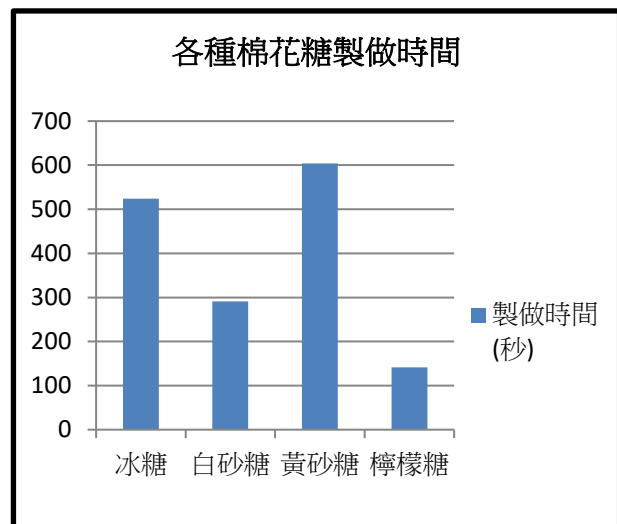
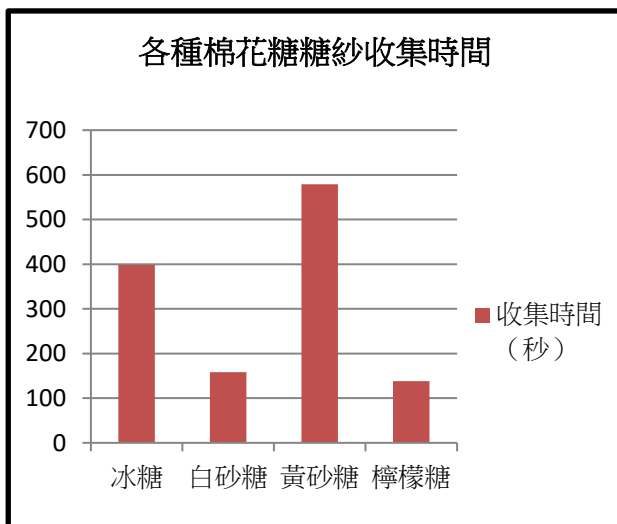
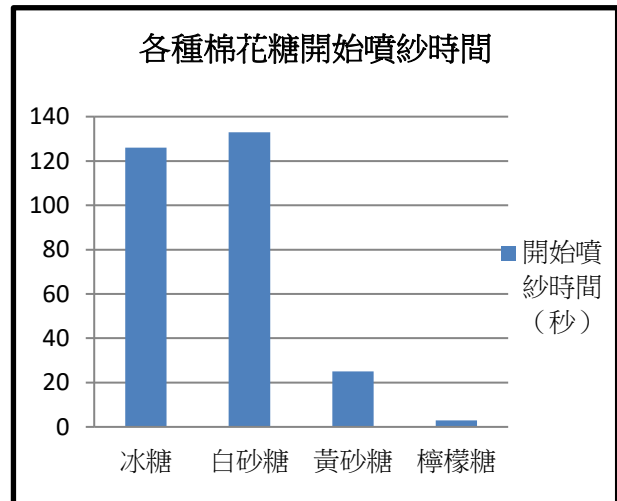
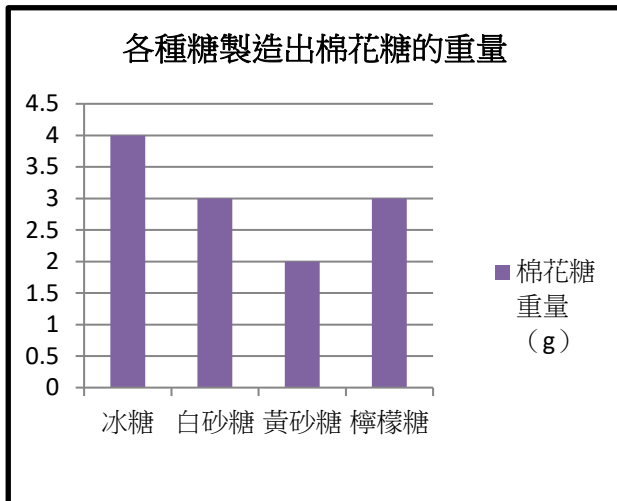
(二)成功的棉花糖種類(2h.108/1/2) 濕度 68% 溫度 18℃

糖的種類 (5g)	棉花糖重量 (g)	噴出時間 (秒)	收集時間 (秒)	糖紗粗細
冰糖	4	126	398	最細
白砂糖	3	133	158	第 2
黃砂糖	2	25	579	第 3
檸檬糖	3	3	138	最粗

(三)成功製成的棉花糖比較 (108/01/15 19:40 濕度 91% 溫度 21℃)

糖的種類	形成	體積	顏色	糖紗粗細 (細→粗)
冰糖	冰糖融化速度較慢,需要一段時間才會噴出糖紗，不過做出來的大小是最大的	1	白色	1
白砂糖	白砂糖融化速度較慢,需要一段時間才會噴出糖紗，做出來的棉花糖比冰糖小一點	2	白色	2



黃砂糖	黃砂糖在融化時比較容易燒焦，做出來的棉花糖是四種裡面最小的	4	黃色	3
檸檬糖	檸檬糖放下去很快幾秒鐘後就會噴出糖紗，做出來的棉花糖比黃砂糖的大一點	3	超級淺黃色	4



由上面四個統計圖可以知道：

1. 用 5g 的冰糖、白砂糖、黃砂糖和檸檬糖分別做出棉花糖時，冰糖可以收集到最多 4g 的棉花糖，黃砂糖收集到最少棉花糖，只能收集到 2g 棉花糖。
2. 各種棉花糖開始噴紗的時間，檸檬糖最快噴出糖紗，白砂糖最慢。
3. 各種棉花糖糖紗收集的時間，白砂糖和檸檬糖很快就收集好了，黃砂糖需要較久時間。
4. 整個棉花糖製作的時間來分析，以檸檬糖為原料做出的棉花糖最快做好，黃砂糖最慢。

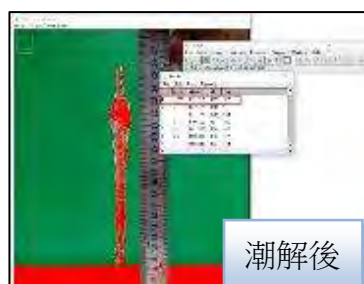
(四)失敗的棉花糖種類

糖的種類 (5g)	棉花糖重量 (g)	噴出時間 (秒)	收集時間 (秒)	糖紗 粗細	棉花糖相片
喉糖	難成形	8	139	粗	
黑糖	無法成形、 只噴出黑糖粉末				
紅糖	無法成形、只噴出紅糖粉末				
牛奶糖	無法成形、成絲				

四、研究可以延遲糖紗潮解的方法。

(一) 本研究的潮解定義：

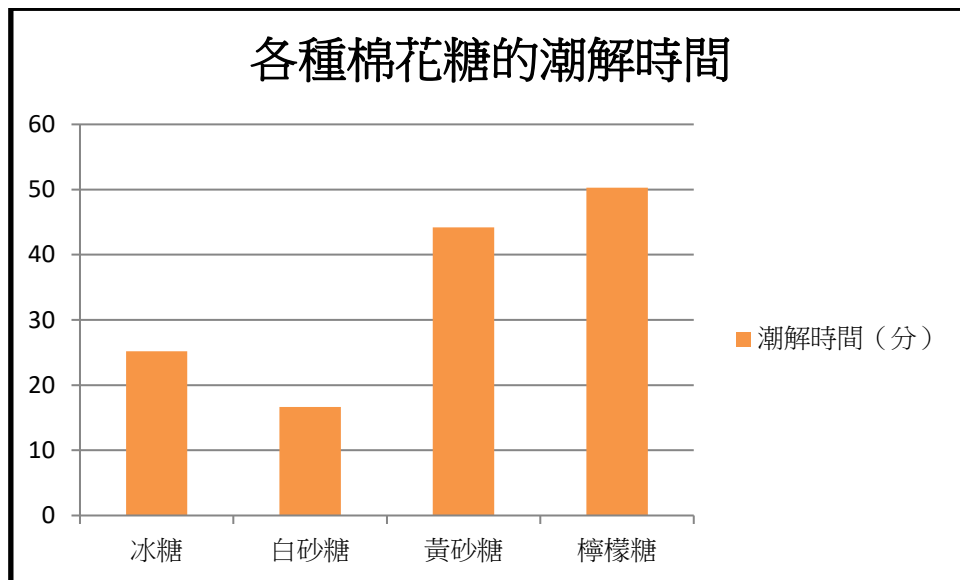
本研究利用 **imageJ 軟體** 計算棉花糖的截面積，並錄影紀錄棉花糖潮解的變化。分析影片中棉花糖縮小至原來截面積的 10% 所需的時間，定義為**潮解時間**。舉例如下：



潮解前截面積：10873
潮解後截面積：1088
※截面積變化百分比：
$1088 \div 10873 \approx 10\%$




(二) 測試各種棉花糖的潮解時間，如下表：


糖的種類 (5g)	棉花糖重量 (g)	噴出時間 (秒)	收集時間 (秒)	潮解時間	糖紗粗細 (細→粗)
冰糖	4	126	398	25 分 13 秒	1
白砂糖	3	133	158	16 分 39 秒	2
黃砂糖	2	25	579	44 分 12 秒	3
檸檬糖	3	3	138	50 分 18 秒	4

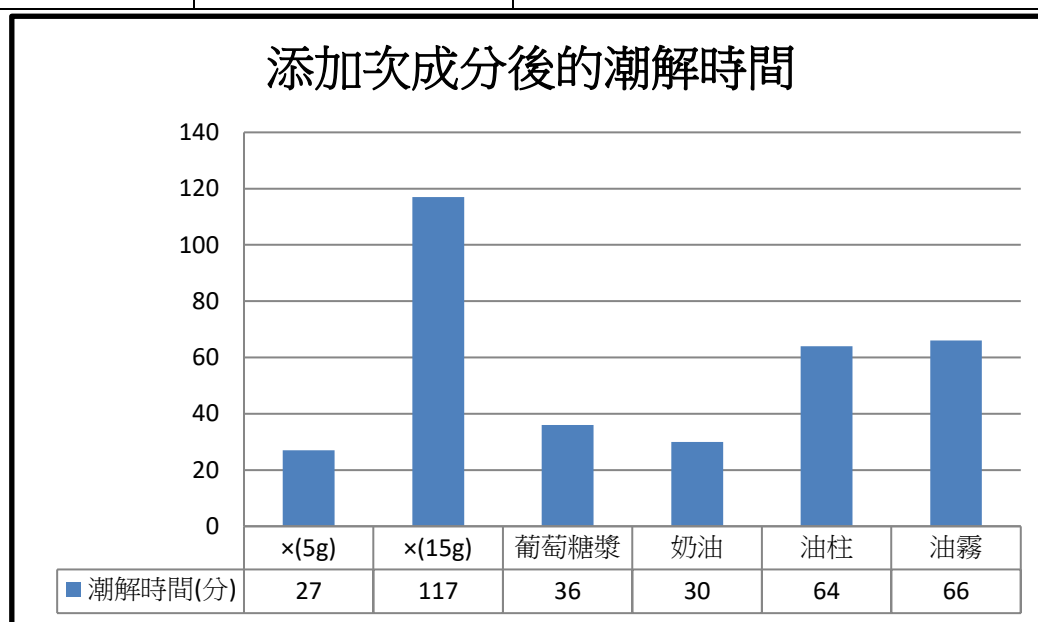


(三) 由上圖可知，檸檬糖做成的棉花糖潮解時間最久，白砂糖做成的棉花糖最快潮解。

(四) 以白砂糖為主要成分，加上葡萄糖漿、奶油、奶精、油(細水柱狀)、油(噴霧狀)為次要成分，做為製造棉花糖的配方。做出的棉花糖結果如下：

主成分 (5g)	次成分(1g)	潮解時間	圖示
白砂糖	×	27 分	
白砂糖糖漿 (15g)	×	1 小時 57 分	
白砂糖	葡萄糖漿	36 分 (很快噴出糖紗)	

白砂糖	奶油	30 分 (很快噴出糖紗)	
白砂糖	油(細水柱狀)	64 分 22 秒	
白砂糖	油(噴霧狀)	65 分 31 秒	
白砂糖	奶精	失敗	



(五) 嘗試新的棉花糖配方(主成分+次成分)製成的棉花糖，我們發現：

1. 以白砂糖為主成分，次成分為**葡萄糖漿**、**奶油**、**油(細水柱狀)**、**油(噴霧狀)**都可以成功做出棉花糖，次成分為奶精的配方無法成功噴紗做出棉花糖。
2. 如果以 15g 白砂糖先融成糖漿後再倒入棉花糖機進行噴紗測試，做出來的棉花糖的潮解時間最久，可持續將近 2 小時。
3. 配方中，如果次成分是油柱或油霧的話，潮解時間也可以延長 2 倍以上的時間。

4. 以白砂糖為主成分，次成分為**葡萄糖漿、奶油、油(細水柱狀)、油(噴霧狀)**做出的棉花糖，和單純只有白砂糖為成分做出的棉花糖進行潮解時間比較，可以有效延後棉花糖的潮解時間。

※各種棉花糖的潮解圖

冰糖		糖漿 棉花糖	
白砂糖		葡萄糖	
黃砂糖		糖+油 (柱)	
檸檬糖		糖+油 (霧)	

柒、討論

一、在自製棉花糖機的過程中，要先組裝**放糖容器**與提供轉速的**馬達**，再來是提供將糖融化的**熱源**，最後才拿起**收集糖紗的長竹籤**，由這些步驟做出美味可口的棉花糖。以下針對我們自製的十代的棉花糖機的進行分析：

- (一) 第一~五代棉花糖機，組合好的馬達和容器一直有強烈震動問題，加上熱源只能噴出燒焦的糖粉。因此，第五代把砂糖先加熱為糖漿放入棉花糖機，但糖漿太黏太重，再次失敗。
- (二) 第六代用更高轉速的舊果汁機來解決糖漿太重，出紗卻快到我們無法收集。
- (三) 第七代開始已經可以穩定成功做出棉花糖，但出紗的量不穩定。

二、從一~九代棉花糖機製做過程中，我們發現：**馬達轉速、轉盤的孔徑、洞數及打洞的位置排列**都可能影響棉花糖的產量。

棉花糖機（代）	孔徑（mm）	孔數（個）	馬達轉速（rpm）	噴紗與否
1	2	20	4500	x
7	1	84	4500	○（量少）
8	1.5	76	5600	○（量少）
9	2	60	5600	○（量不穩定）
10	2	192	8000	○

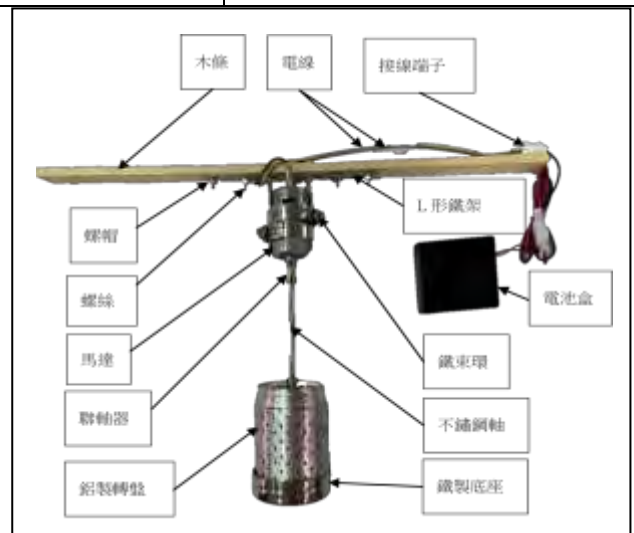
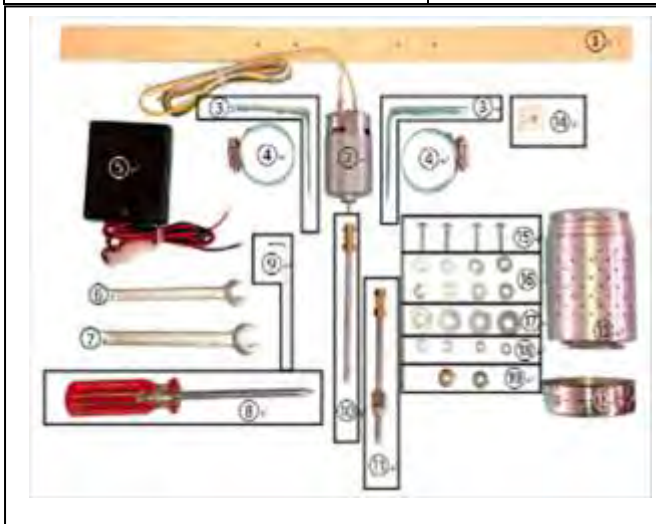
(一) 從各代棉花糖機成功率與馬達轉速比較，發現馬達轉速至少達 5600rpm 以上。

(二) 我們進行操縱變因的實驗，分別以洞數、孔徑大小及打洞的排列方式為操縱變因，進行一系列的棉花糖機轉盤改造實驗，測量並記錄的棉花糖產量。依照實驗結果，**第十代棉花糖機的轉盤規格為：孔徑 2.0mm、192 洞、螺旋型排列。保證成功！**

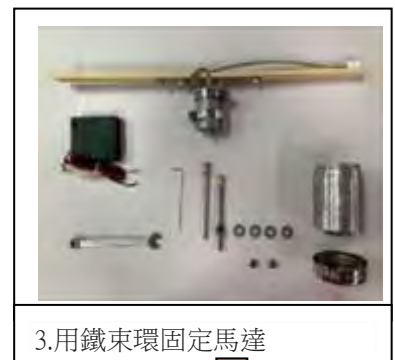
三、由第十代棉花糖機發想：將所有材料製成可模組化材料包，製成「小孩的科學」中可學又可玩的DIY 棉花糖機。

棉花糖機器材清單

①長木條	x1	⑧螺絲起子	x1	⑮螺絲	x4
②馬達	x1	⑨內六角扳手	x1	⑯小墊片	x8
③L 型鐵架	x2	⑩聯軸器和不鏽鋼棒	x1	⑰大墊片	x8
④束環	x2	⑪聯軸器和不鏽鋼螺棒	x1	⑱小螺帽	x4
⑤電池盒	x1	⑫不鏽鋼底座	x1	⑲大螺帽	x2
⑥8mm 板手	x1	⑬鋁製轉盤	x1		
⑦10mm 板手	x1	⑭接線端子	x1		



棉花糖機組裝步驟



油噴

注意事項

1. 墊片、螺絲等零件細小，小心誤食。
2. 操作棉花糖機時，馬達轉速很快、溫度高（ $>120^{\circ}\text{C}$ ），不可用手觸摸。
3. 製做結束，可以清水洗淨，避免滋生螞蟻、蟑螂。
4. 儀器操作斷電後，請移除電源，可確保棉花糖機使用年限。

四、潮解是因空氣中水分使固體物質溶解的一種現象。本研究計算棉花糖潮解時間，從製作好棉花糖，將棉花糖固定在保麗龍板上開始錄影計時，至棉花糖潮解前後的截面積變化百分比為 10% 為止。實驗中我們發現白砂糖做成的棉花糖最快潮解。因此，後續潮解研究，以解決白紗糖潮解為主要方向。

五、當我們試著以 15g 糖漿直接置入棉花糖機中，意外發現製作出來的棉花糖潮解時間延長了很多，推測潮解時間的長短與棉花糖的密度(重量)有關係。

六、我們在尋找棉花糖配方時，將油以噴霧方式快速在棉花糖周圍繞了 1 小圈，推測油霧將棉花糖與外界的水氣形成隔絕，延緩了棉花糖的潮解時間。此外，我們發現配方若是固體(如砂糖)加液體(如葡萄糖漿)，要先將兩者攪拌融在一起後，才會成功噴出糖紗；單獨加入液體狀成分，會直接噴出液體，無法成紗。

七、製作棉花糖過程時，我們在不同時間和地點測出的潮解時間也不盡相同，後來採用每次實驗時，測試多種配方，在同一空間地點完成，才免強解決這個問題。我們認為不同地方的時間的溫度、濕度都不同，這些因素會影響到潮解變化。

八、在製造棉花糖機時，我們使用了身邊常有的瓶罐、堆在倉庫中的舊果汁機，將這些原本要被淘汰的物品重新利用組裝，變成一個可以製造點心的機器，特別覺得有成就感。過程中雖然屢遭挫折，但是一項一項的解決問題，甚至是熟練了學校正在學習的簡單機械的應用，也覺得非常有收穫!而現在這短小精幹的棉花糖機竟讓我們出現一線商機。

捌、結論

- 一、**棉花糖主要是利用離心力的原理**。把糖加熱溶解成濃稠的糖漿，經過一個充滿小孔的蓋子或網狀物，然後製造棉花糖的機器會以高速旋轉產生離心力，將糖漿像脫水機脫水的原理一樣往外噴射出去，因為溫度下降急速冷卻後，就成了細絲狀的固體，隨後使用竹籤收集而成。
- 二、在自製棉花糖機的過程中，第十代棉花糖機組裝：**轉速 8000rpm 的馬達、孔徑 2mm、洞數 192 個且孔洞呈螺旋排列的轉盤（放糖容器）**等器材。然後是提供將糖融化的**熱源（酒精燈）**、**拿起收集糖紗的長竹籤**，完成目標中**轉速夠快、組裝簡單、製作量多**的棉花糖機。而且**保證成功！**
- 三、我們將**第十代棉花糖機**所有材料製成**可模組化材料包**，製成像「大人的科學」中**可學又可玩的 DIY 棉花糖機**。滿足和我們一樣用最低成本就可以自己在家中組裝棉花糖機，自製安全好吃的棉花糖。
- 四、用 5g 的冰糖、白砂糖、黃砂糖和檸檬糖分別做出棉花糖時，冰糖可以收集到最多 4g 的棉花糖，黃砂糖只能收集到 2g 棉花糖。
 - (一) 各種棉花糖收集時間，**白砂糖**和**檸檬糖**很快就收集好了，黃砂糖需要較久時間。
 - (二) 整個棉花糖製作的時間來分析，以**檸檬糖**為原料作出的棉花糖最快做好，黃砂糖最慢。
- 五、嘗試新的棉花糖配方(主成分+次成分)製成的棉花糖，我們發現：
 - (一) 以白砂糖為主成分，次成分為**葡萄糖漿、奶油、油(細水柱狀)、油(噴霧狀)**都可以成功做出棉花糖，次成分為奶精的配方無法成功噴紗做出棉花糖。
 - (二) 以白砂糖為主成分，次成分為**葡萄糖漿、奶油、油(細水柱狀)、油(噴霧狀)**做出的棉花糖，和單純只有白砂糖為成分做出的棉花糖進行潮解時間比較，都可以有效延後棉花糖的潮解時間。
- 六、關於自製棉花糖我們建議：

(一) 身邊的糖品幾乎都可以製成棉花糖。若趕時間的話，硬糖較快做成棉花糖。

(二) 在砂糖中添加一點含油脂的東西，能有效隔離水氣，延長潮解時間。

玖、參考資料及其他

一、第 42 屆全國科展國小組生活應用類『漫步在雲端-我的夢想製造機』。

二、第 43 屆全國科展國小組生活應用類『棉花糖製造機』

三、第 47 屆全國科展國中組生活應用類『黏綿到天邊-棉花糖製作研究』。

四、第 49 屆全國科展國中組生活應用類『棉花糖魔術師』。

五、棉花糖。取自：

[https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%A3%89%E8%8A%B1%E7%B3%96_\(%E6%A3%89%E7%B5%AE%E7%8B%80\)](https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%A3%89%E8%8A%B1%E7%B3%96_(%E6%A3%89%E7%B5%AE%E7%8B%80))

六、程乃珊. 棉花糖—1904 年美國聖路易斯世博會的發明。《食品與生活》雜誌: 52-53. 2011 年 3 期（中文）。

【評語】 082924

本作品利用生活中簡單的器材，不斷地改良，製作了十代不同的棉花糖機，最後提出可模組化的材料包。此類題材歷年雖有多件相關的科展作品，作者也有進行文獻探討，本次研究主題是著重在改良製造出可產出如市售產品效果的自製簡易機器，歷經一年的研究，不斷修正和測試，相當努力。

摘要

在經歷自製十代棉花糖機的過程後，我們將孔徑2mm、洞數192個、孔洞呈螺旋排列的轉盤（放糖容器）組裝在轉速8000 rpm馬達上，然後以酒精燈提供將糖融化的熱源，接著拿起長竹籤收集糖紗，成功自製棉花糖，完成一部組裝簡單、製作量多的棉花糖機。

以各種糖品做成棉花糖時，硬糖方面以檸檬糖為原料做出的棉花糖最快做好。製作棉花糖時，將選用的糖加上葡萄糖漿、奶油、油做出的棉花糖可以有效延長棉花糖的潮解時間。其中又以在棉花糖四周噴上微量油霧，能有效隔離外層水氣，效果最顯著。

壹、研究動機

我們常常在夜市看到有人在賣棉花糖，但是看老闆在製作過程加了很多的色素，覺得很不健康，而且棉花糖的價格也不便宜，所以想自己動手做，這樣不但可以吃到自己動手做的棉花糖，又可以了解棉花糖形成的原理。

四年級自然課我們利用通電使馬達旋轉，這個經驗被我們應用在製作棉花糖機。但過程中，驚覺棉花糖的產生跟紡織工廠裡整理纖維、抽紗、織布的過程非常類似。若想要“織”出漂亮的棉花糖要先解決糖紗受潮易黏手及坍塌變形的問題，因此開始著手往“抽絲剝繭的新世代螺祖”的目標前進。

貳、研究目的

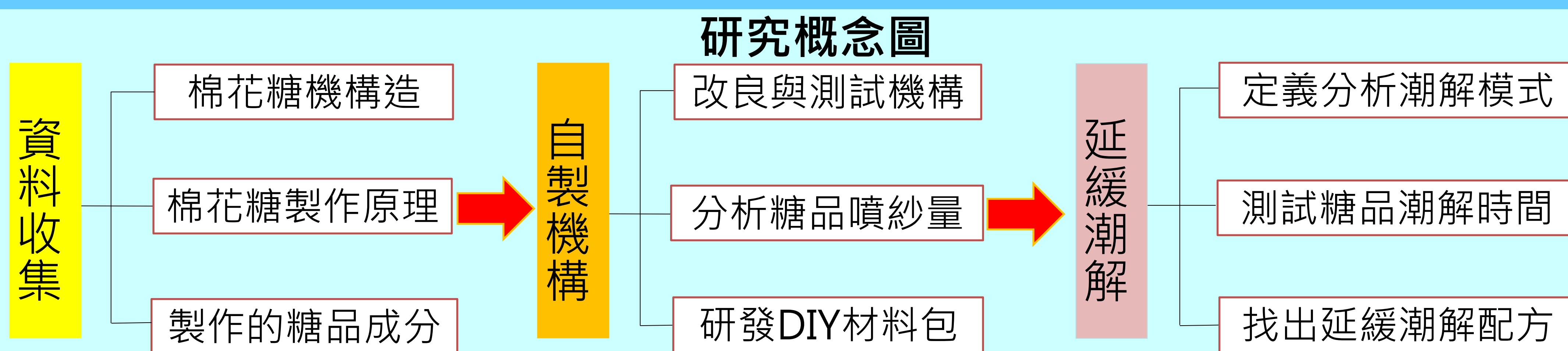
- 一、了解棉花糖機的構造及產生棉花糖的原理。
- 二、改變棉花糖機的結構，以簡易的裝置做出棉花糖。
- 三、研究可以成功做出棉花糖的糖品種類。
- 四、探討可以延緩糖紗潮解的方法。



參、研究設備及器材

- 一、棉花糖機製作器材：馬達、電池、電鑽、各種罐子、轉盤、板手、螺絲起子、螺帽、墊片
- 二、糖的種類：白砂糖、黑糖、冰糖、紅糖、糖果、黃砂糖、檸檬糖、喉糖、牛奶糖
- 三、防止糖潮解的材料：奶油、葵花油、奶精、葡萄糖漿

肆、研究過程與方法



一、了解棉花糖機的構造及產生棉花糖的原理。

上網查詢棉花糖機的構造及產生棉花糖的原理，並親自到夜市看棉花糖製作過程。

二、改變棉花糖機的結構，以簡易的裝置做出棉花糖。

- (一) 利用身邊器材自製一台棉花糖機。
- (二) 將轉盤鑽洞，用螺帽固定轉盤、馬達和收集盆製成棉花糖機。經多次改良後，得到最佳的棉花糖機構。
- (三) 分析了解各種糖的成分，分別計算製出棉花糖所需的時間與棉花糖重量，找出能成功製成棉花糖的最佳糖品種類。
- (四) 研發好用又好玩的DIY材料包，並製作網路教學影片與QR code條碼，提供操作者參考。

三、找出可以延緩棉花糖糖紗潮解的理想配方。

- (一) 在不同相對濕度下測量棉花糖潮解前後的重量變化，了解不同濕度下棉花糖潮解的程度。
- (二) 在相對濕度72%下，錄影紀錄棉花糖潮解過程。再利用imageJ軟體分析影片中棉花糖的截面積縮小至原來的10%所需的時間，定義為潮解時間。
- (三) 利用不同種類與配方的糖品製作棉花糖，觀察並比較製造出的糖紗潮解的情形。
- (四) 以糖為主成分，加入不同次成分與後製處理，找出可有效延後棉花糖的潮解時間的理想配方。

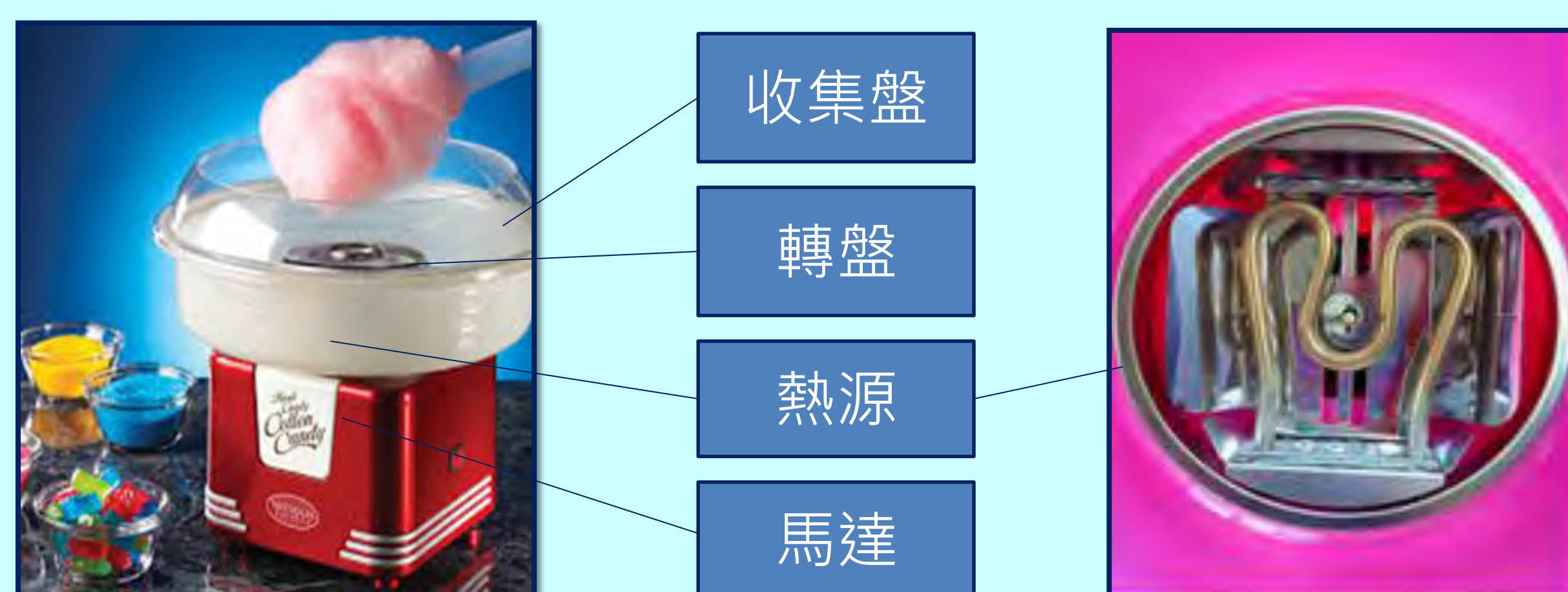
伍、研究結果

一、棉花糖機的構造及產生棉花糖的原理

(一)市售棉花糖機的構造包括：

馬達、熱源、轉盤、收集盤。(如圖一)

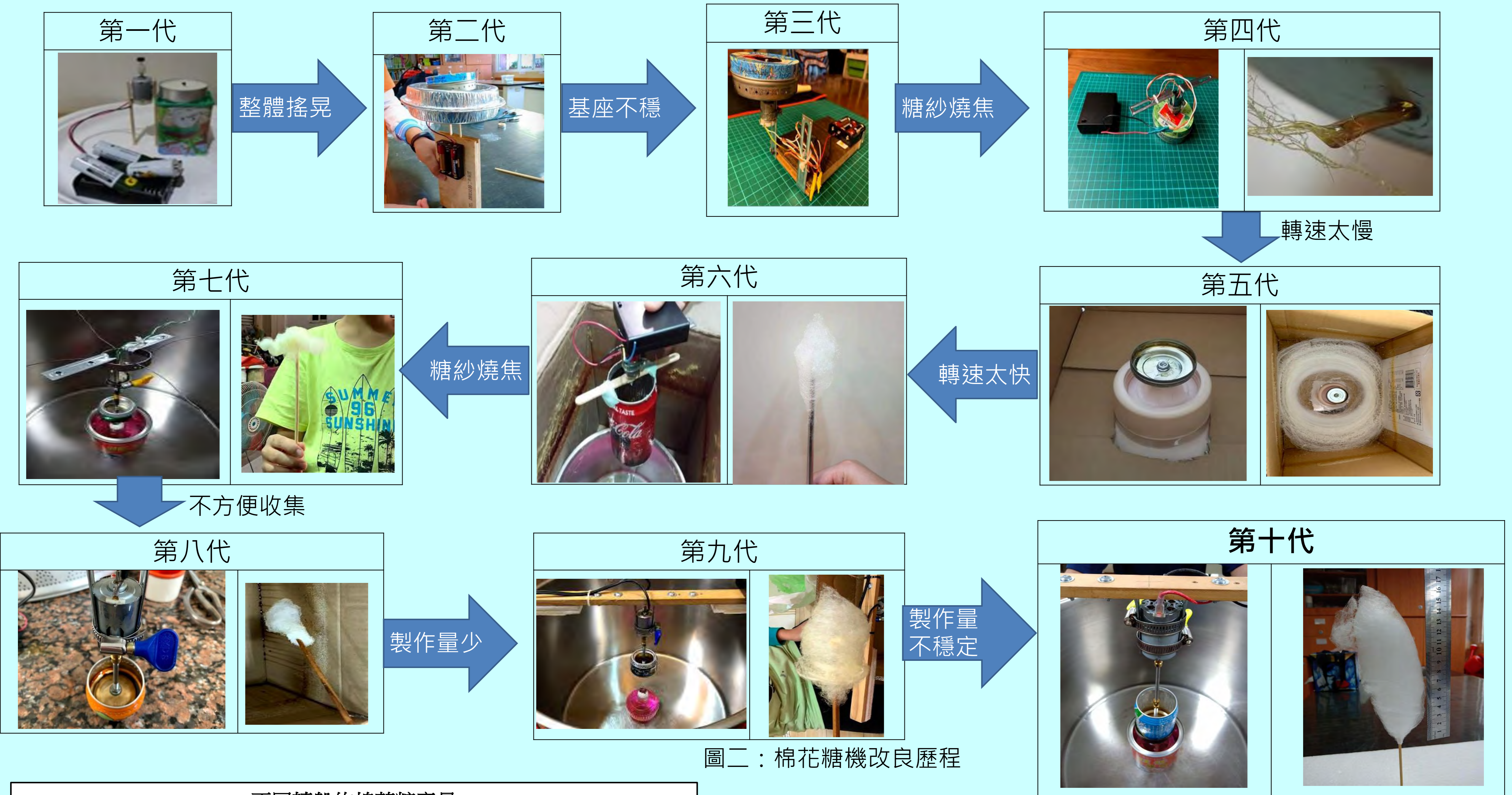
(二)製作原理：製做棉花糖時，先把糖加熱溶解成濃稠的糖漿，棉花糖機高速旋轉將糖漿甩出，糖漿經過細孔時，會變成很細的「糖漿注」，在溫度下降急速冷卻後，形成細絲狀的固體，也就是棉花糖，隨後使用竹籤收集而成。



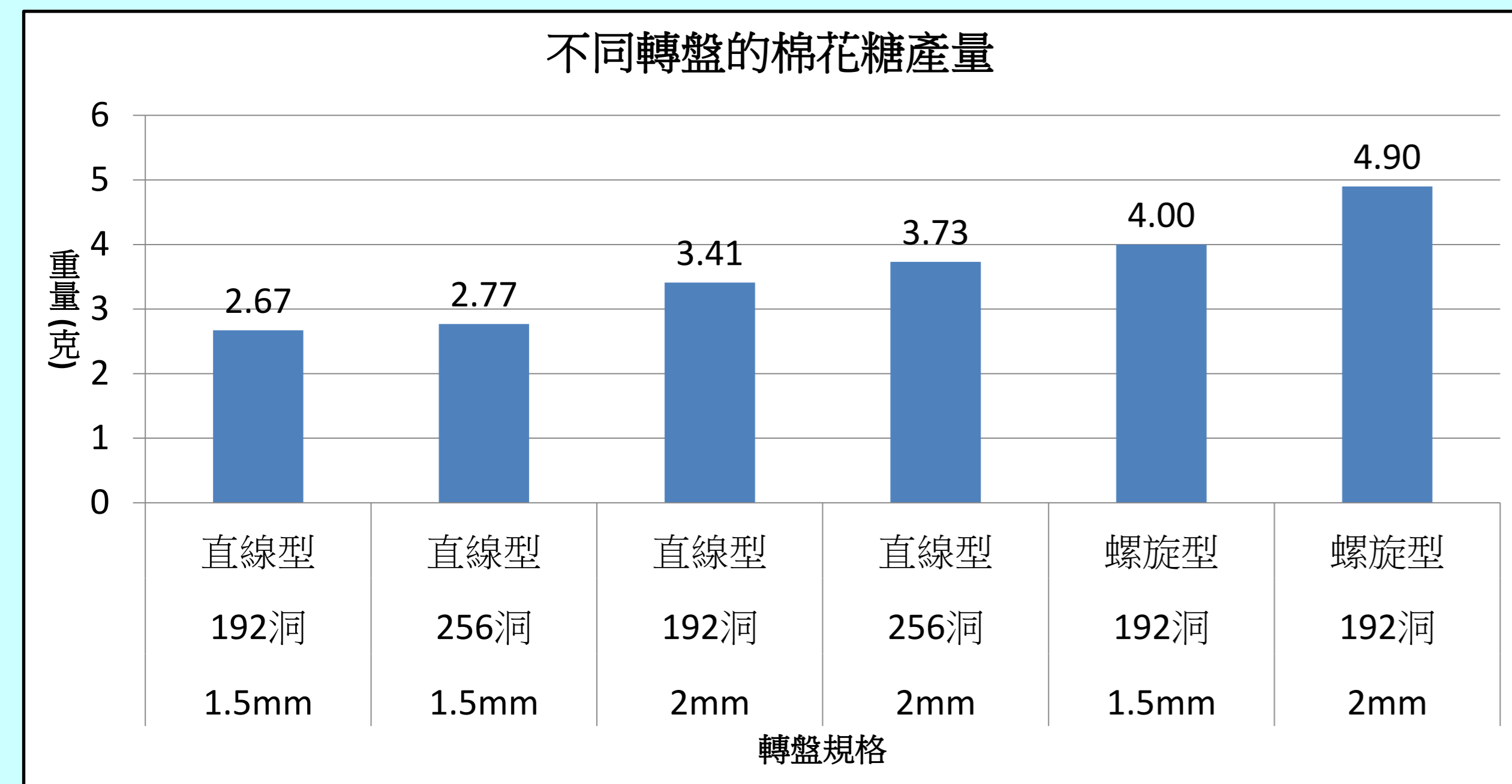
圖一：市售棉花糖機的構造圖

二、改變棉花糖機的結構，以簡易的裝置做出棉花糖

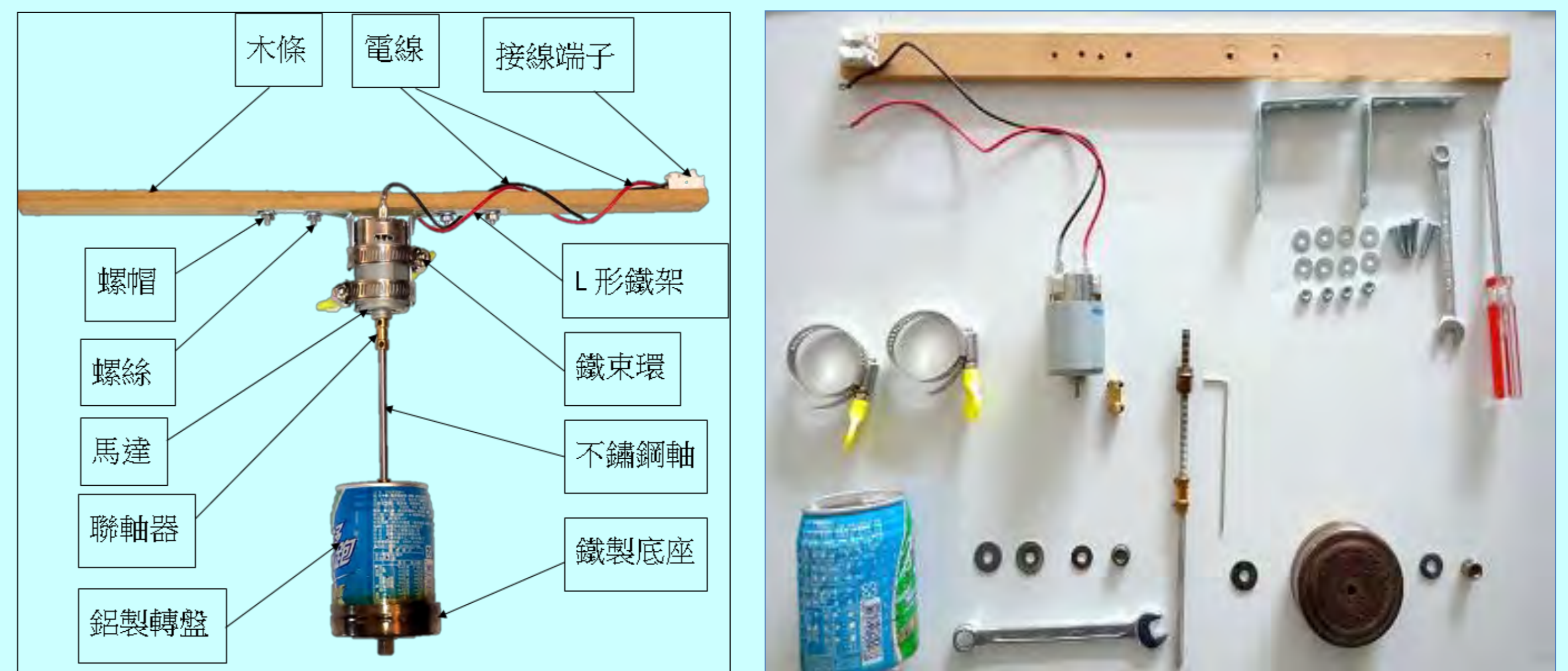
- (一)從1-9代棉花糖機發現(如圖二)：組裝穩定性、熱源、馬達轉速、轉盤孔徑、洞數及打洞的位置排列都可能影響棉花糖的產量。
 (二)首先解決：組裝穩定性、熱源、馬達轉速的問題。
 (三)改良轉盤設計：分別以洞數、孔徑大小及打洞的排列方式為操縱變因，進行控制變因的實驗，找出最佳轉盤組合(如圖三)：孔徑 2.0mm、192洞、螺旋型排列。完成最簡單裝置的第十代棉花糖機，機構圖如圖四。



圖二：棉花糖機改良歷程



圖三：第十代棉花糖機轉盤組合測試結果



圖四：第十代棉花糖機機構圖

棉花糖機器材清單

①長木條 ×1	⑧螺絲起子 ×1	⑮螺絲 ×4
②馬達 ×1	⑨內六角扳手 ×1	⑯小墊片 ×8
③L型鐵架 ×2	⑩聯軸器和不鏽鋼棒 ×1	⑰大墊片 ×8
④束環 ×2	⑪聯軸器和不鏽鋼螺桿 ×1	⑱小螺帽 ×4
⑤電池盒 ×1	⑫不鏽鋼底座 ×1	⑲大螺帽 ×2
⑥8mm板手 ×1	⑬鋁製轉盤 ×1	
⑦10m板手 ×1	⑭接線端子 ×1	

組裝步驟

1. 固定L型鐵架、電線和接線端子
2. 用鐵束環固定馬達
3. 裝上轉盤和底座
4. 裝聯軸器、不鏽鋼棒及螺絲
5. 裝上電池盒
6. 裝上電池盒

建議配方

1. 白砂糖 5g 2. 食用油噴劑 1cc (延緩潮解用)

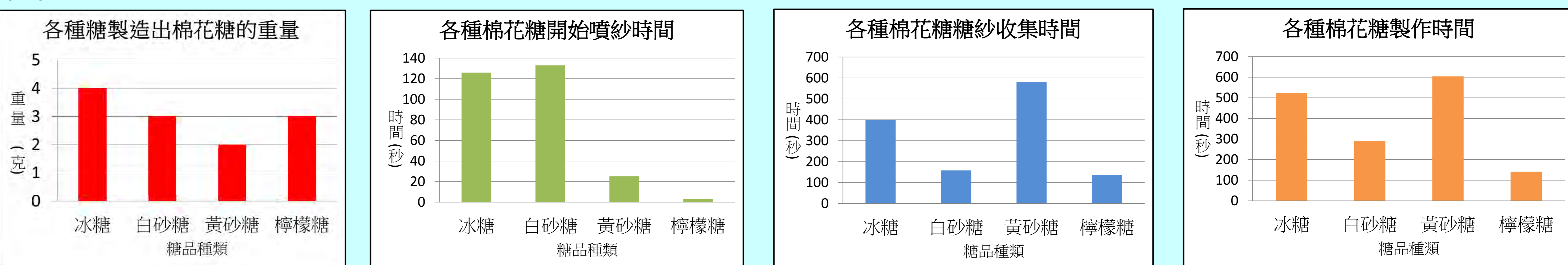
注意事項

1. 墊片、螺絲等零件細小，小心誤食。
2. 操作棉花糖機時，馬達轉速很快、溫度高 (> 150°C)，不可用手觸摸。
3. 製做結束，可以清水洗淨，避免孳生螞蟻、蟑螂。
4. 儀器操作斷電後，請移除電源，確保棉花糖機使用年限。

圖五：棉花糖機DIY材料包

三、成功做出棉花糖的糖品種類

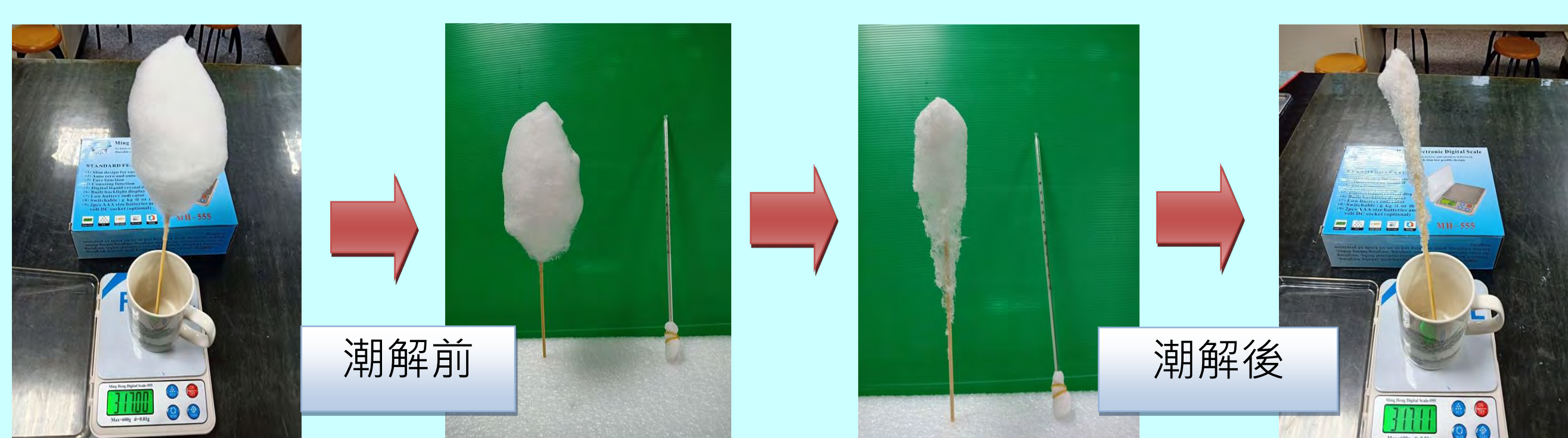
- (一)各種糖的主要成分都是蔗糖。檸檬硬糖、喉糖等合成糖除了蔗糖，有葡萄糖漿的成分，在延後潮解時間的棉花糖配方時，我們試著加上葡萄糖漿測試。
 (二)測試八種糖品中，冰糖、白砂糖、黃砂糖和檸檬糖可以做出棉花糖，成功製成棉花糖比較如圖五。



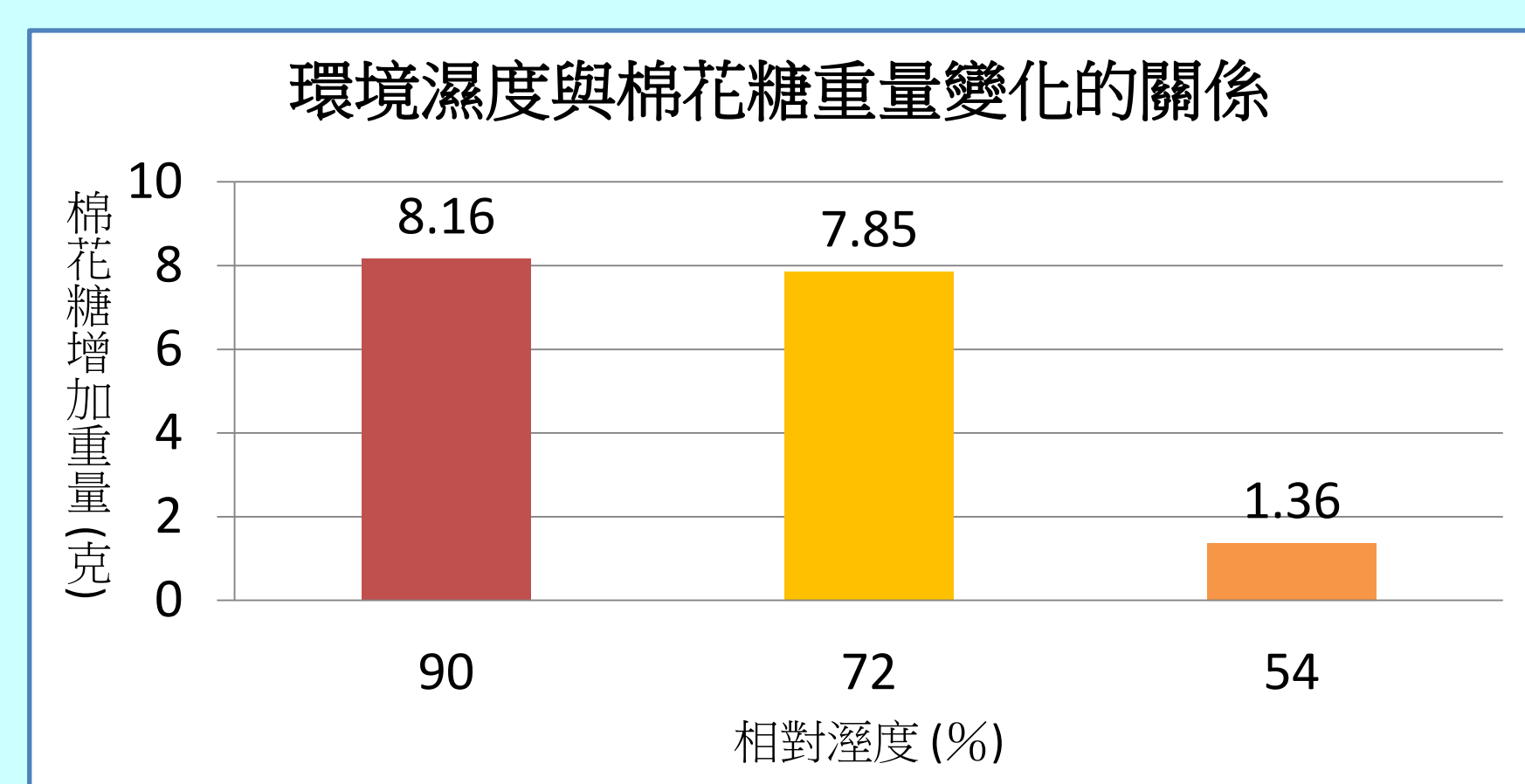
圖六：成功製成的棉花糖比較

四、可以延緩糖紗潮解的方法

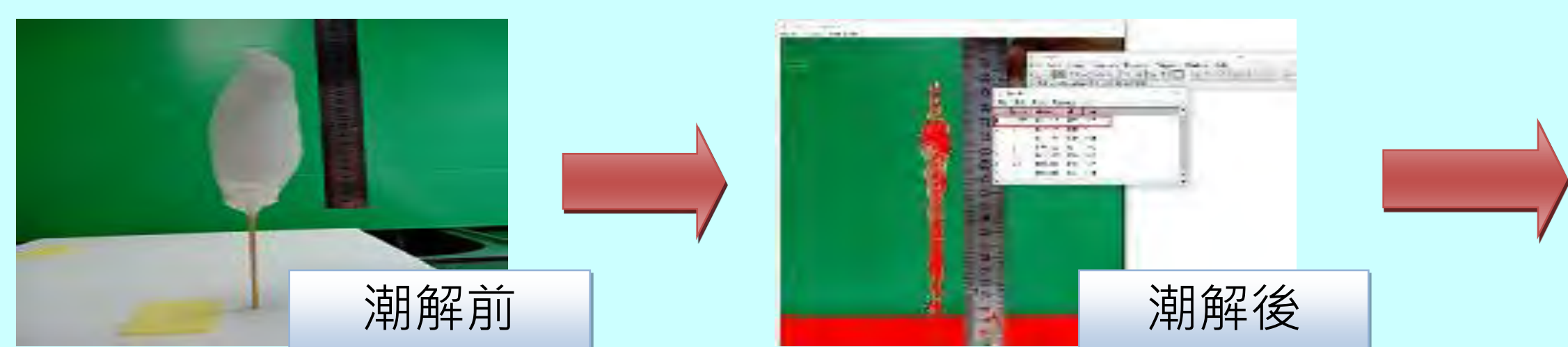
- (一)測量潮解前後棉花糖重量變化了解棉花糖潮解的程度(如圖七)；發現相對濕度越高，重量變化越大(如圖八)。
- (二)利用imageJ軟體計算棉花糖潮解至原來截面積的10%所需的時間，定義為潮解時間(如圖九)。
- (三)白砂糖做的棉花糖最快潮解。因此，選擇白砂糖為主配方，解決易潮解的問題(如圖十)。
- (四)以白砂糖為主成分，加入葡萄糖漿、奶油、油(水柱狀)、油(霧狀)，可有效延後棉花糖的潮解時間(如圖十一)。



圖七：濕度不同下比較棉花糖潮解情形

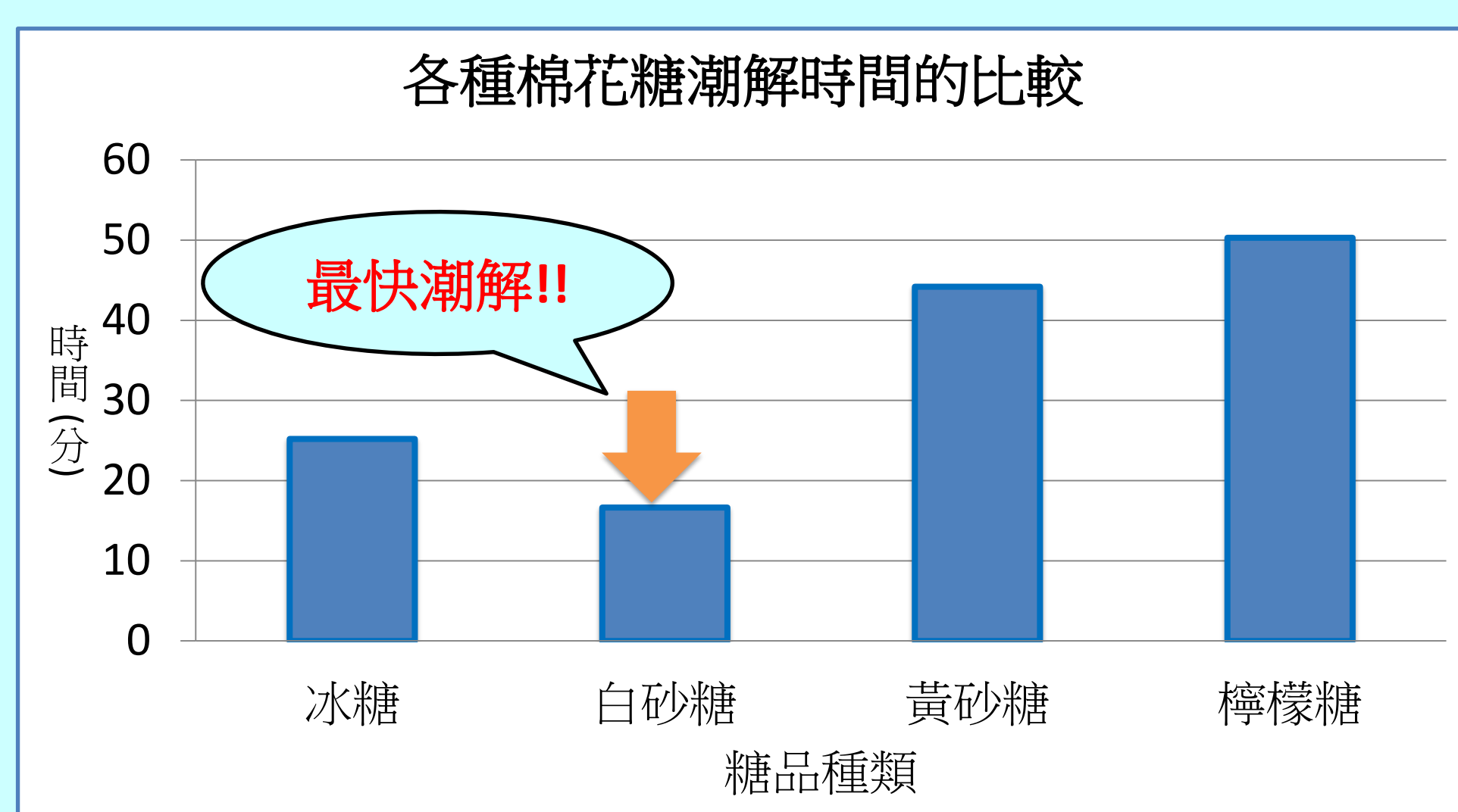


圖八：環境濕度與棉花糖重量變化的關係

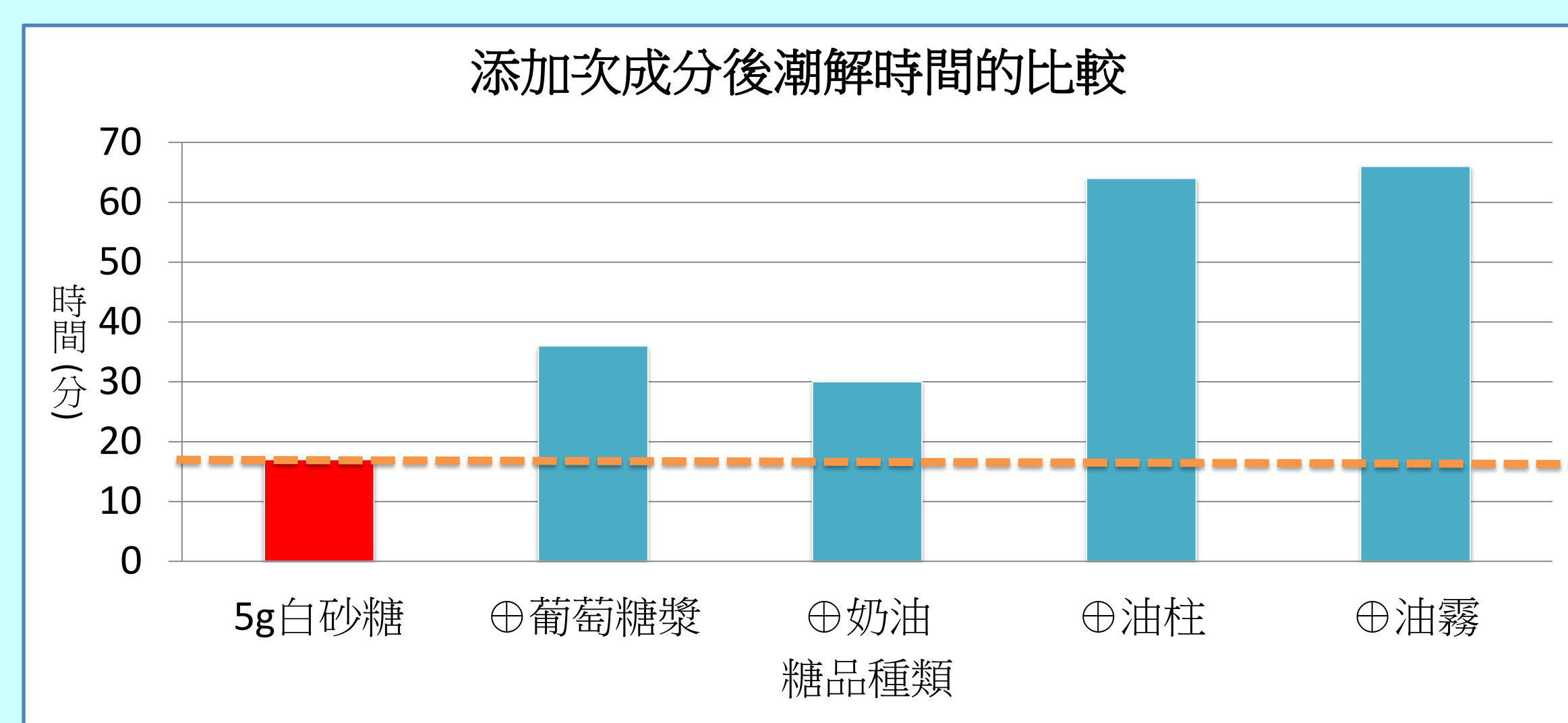


圖九：計算棉花糖截面積變化

※截面積變化百分比： $1088 \div 10873 \approx 10\%$



圖十：各種棉花糖潮解時間的比較



圖十一：添加次成分後潮解時間的比較

陸、討論

- 一、自製棉花糖機首先要組裝放糖容器與馬達，接著是提供將糖融化的熱源，最後收集糖紗做出棉花糖。自製棉花糖機主要過程如下：
 - (一)第一~三代棉花糖機，重點放在解決組裝馬達、容器的震動及糖粉燒焦問題。因此，第四代把砂糖先加熱為糖漿再放入棉花糖機。
 - (二)第五代用更高轉速的舊果汁機來解決糖漿太重的問題，但出紗太快而無法收集。
 - (三)第六代開始可以成功做出棉花糖，但出紗量不穩定。
- 二、棉花糖機製作過程中我們發現：**馬達轉速、轉盤的孔徑、洞數及打洞的位置排列**都會影響棉花糖的產量。
 - (一)馬達轉速至少達5600rpm以上，才可以成功噴紗。
 - (二)我們分別以洞數、孔徑大小及打洞的排列方式為操縱變因，進行一系列的棉花糖機轉盤改造實驗，測量記錄棉花糖產量。理想棉花糖機的轉盤規格為：孔徑2.0mm、192洞、螺旋型排列。**保證成功！**
- 三、我們將所有材料製成**模組化材料包**，製成可學又可玩的DIY棉花糖機。
- 四、本研究計算棉花糖潮解時間從2個方面著手反覆應證：
 - (一)一般人以棉花糖外觀由大變小來認定潮解。因此，我們從做好棉花糖開始**錄影計時**至棉花糖潮解後的截面積變為原面積的10%為止。
 - (二)潮解實際上是糖紗遇空氣中水分凝聚的現象。我們同時利用棉花糖重量變化來判別棉花糖潮解的程度。實驗中發現**白砂糖**做成的棉花糖最快潮解，因此，後續潮解研究以解決白砂糖潮解為主要方向。
- 五、我們在尋找棉花糖配方時，以噴霧方式將油滴灑在棉花糖周圍，**油霧將棉花糖與外界的水氣形成隔絕，延緩了棉花糖的潮解時間**。如果將固體(如砂糖)與液體(如葡萄糖漿)混合，要先將兩者攪拌融在一起後，才會成功噴出糖紗；單獨加入液體狀次成分，會直接噴出液體，無法成紗。
- 六、不同時間和地點測出的潮解時間不盡相同。因為溫度及濕度都會影響潮解速率。
- 七、在製造棉花糖機時，我們使用了身邊常有的瓶罐、舊果汁機...**重新利用組裝**，變成一個可以製造點心的機器，特別覺得有成就感。而現在這短小精幹的棉花糖機竟讓我們出現一線商機。

柒、結論

- 一、棉花糖機的主要構造包括：**馬達、熱源、轉盤、收集盤**。
- 二、自製棉花糖機的特點如下：
 - (一)具備**轉速8000rpm的馬達、孔徑2mm、洞數192個且孔洞呈螺旋排列的轉盤**（放糖容器），以酒精燈為熱源，是一臺『轉速夠快、組裝簡單、製作量多』的棉花糖機。
 - (二)我們將自製棉花糖機所有材料組合成**可模組化的材料包**，製成可學又可玩的DIY棉花糖機。能以低成本在自己家中組裝棉花糖機，自製衛生美味的棉花糖。
- 三、冰糖、白砂糖、黃砂糖和檸檬糖可以做出棉花糖。
- 四、製作棉花糖時，將選用的糖加上葡萄糖漿、奶油、油做出的棉花糖可以有效延長棉花糖的潮解時間。其中又以在棉花糖四周噴上微量油霧，能有效隔離外層水氣，效果最顯著。

捌、參考資料

- ◆第47屆全國科展國中組生活應用類『黏綿到天邊-棉花糖製作研究』。
- ◆第49屆全國科展國小組生活應用類『棉花糖魔術師』。