

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

國中-化學科

科 別：化 學 科

組 別：國 中 組

作品名稱：神奇小粉圓 - 碳酸鹽和酸反應速率的探討

關 鍵 詞：

編 號：030208

學校名稱：

高雄市立立德國民中學

作者姓名：

陳傳昇、林祖賢、吳凱琪

指導老師：

鄭彩華

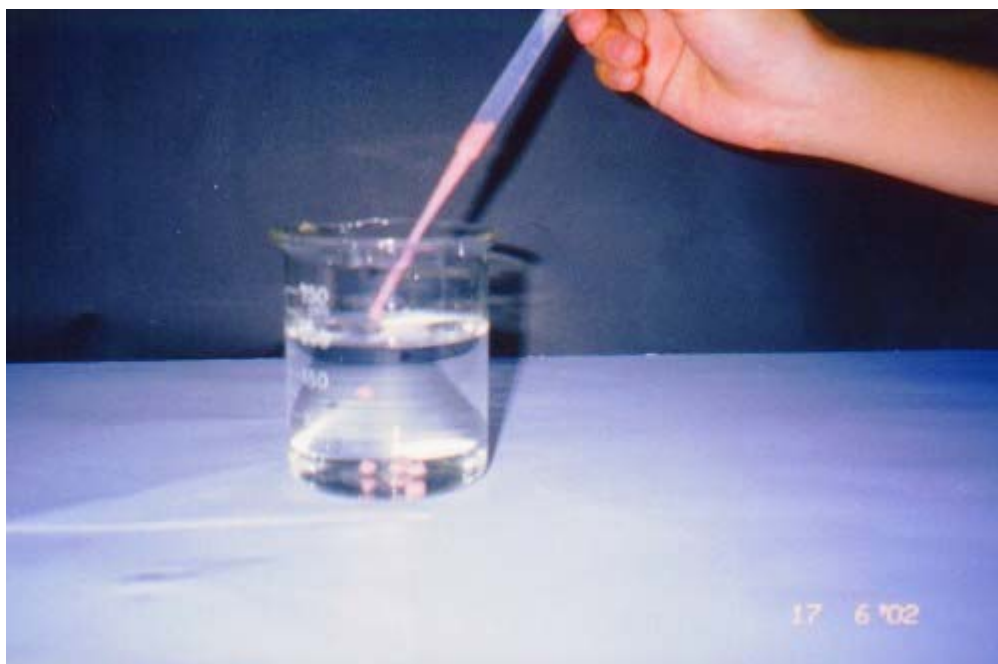


壹、摘要：

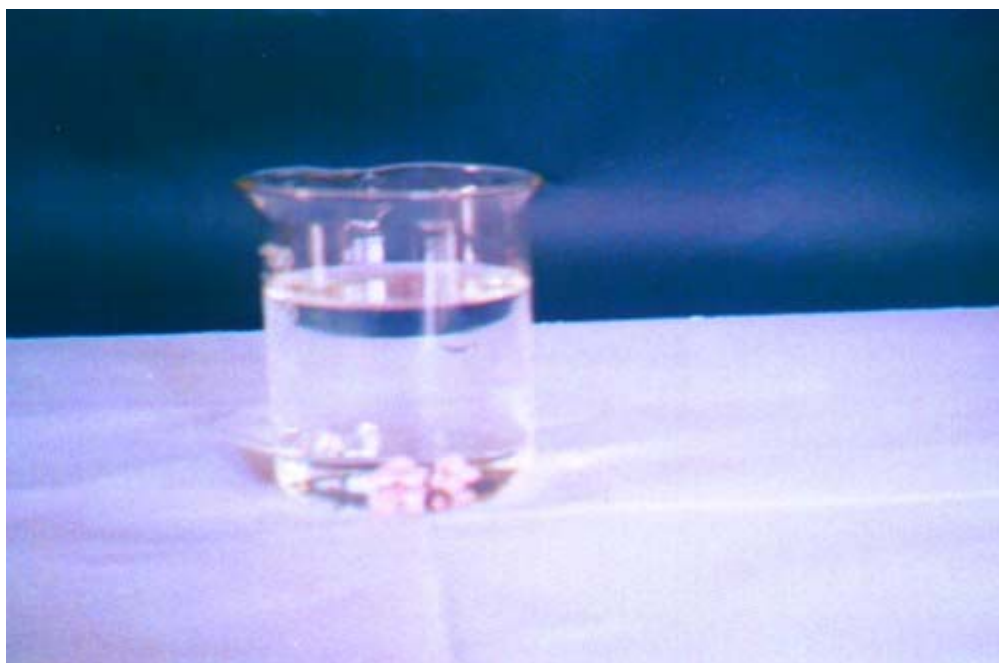
在這篇研究報告中，利用結蘭膠遇二價金屬離子產生凝膠的特性，結合碳酸鹽和酸的反應，設計成一個發泡小粉圓，不但趣味性高、食用價值高，而且能以此來做定量分析。

利用小粉圓中產生的二氧化碳至某個量時，會將小粉圓帶到液面上，來測量所需的時間，分別就反應溫度、碳酸鈣濃度、檸檬酸濃度、反應物碳酸鹽種類和不同酸種類等方面，測量小粉圓上浮的時間。以時間倒數的大小表示反應速率的快慢，經過分析，證實了理化所學到有關反應速率的知識，反應溫度升高，反應速率加快，反應物濃度升高，反應速率也加快，至於反應物種類，溶解度大的鹼土金屬碳酸鹽的反應速率大於溶解度小者，而強酸的反應速率大於弱酸。

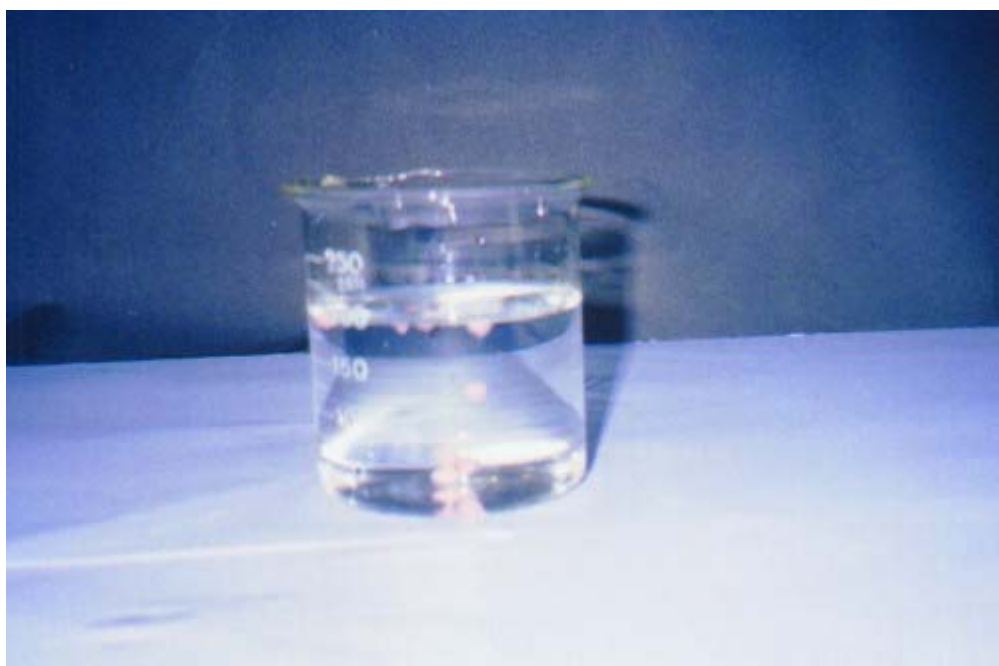
一、將小粉圓溶液滴入檸檬酸溶液中



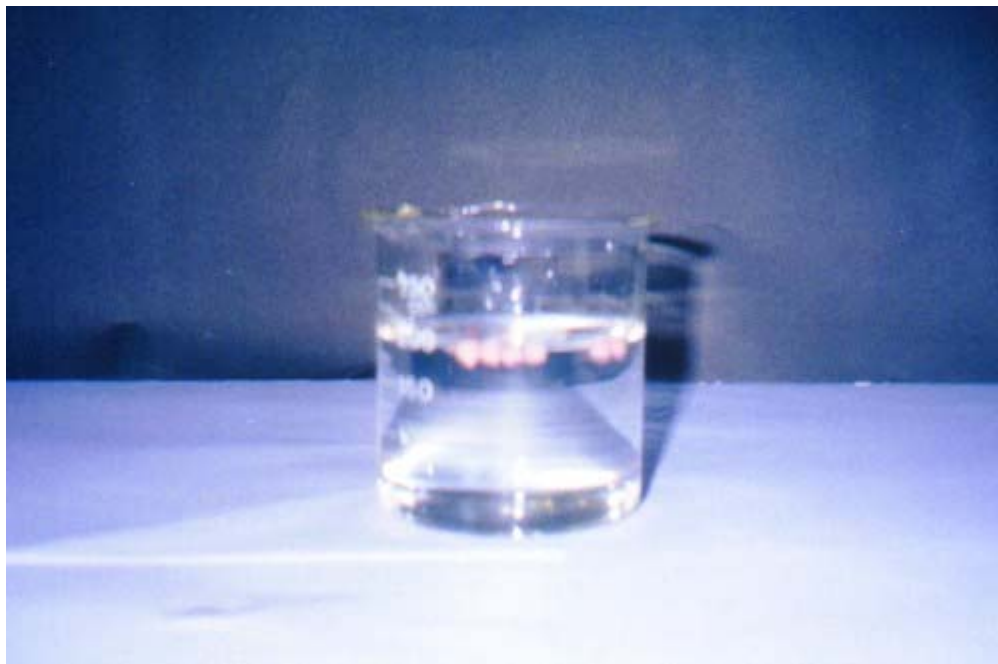
二、小粉圓形成且都沉在燒杯底下



三、一段時間後小粉圓開始浮上來



四、發泡小粉圓形成且全都浮在液面上



貳、研究動機：

這個研究動機與構想，主要出自下列兩點：

一、國中理化第三冊第十三章，鹽酸和碳酸鈣的反應及反應速率。

二、老師以前所指導的研究 - 粉圓的新製造技術。

乍看之下，這兩者並無關聯，但這次我們是要利用膠類遇二價金屬產生凝膠的特性，呈現另一種饒富趣味的變化。因此我們巧妙結合了碳酸鈣和檸檬酸的反應，設計成一個神奇發泡小粉圓，並且由發泡小粉圓的產生，來探討印證在理化第三冊所學到有關反應速率的知識。

參、研究目的：

一、結合膠類、碳酸鈣及檸檬酸，做出神奇的發泡小粉圓。並利用發泡小粉圓的產生，做下列有關碳酸鈣和檸檬酸反應之化學動力學探討。

二、溫度對反應速率的影響。

三、碳酸鈣濃度對反應速率的影響。

四、檸檬酸濃度對反應速率的影響。

五、鹼土金屬碳酸鹽種類對反應速率的影響。

六、不同酸種類對反應速率的影響。

七、小粉圓的應用 - 果汁小粉圓的製造。

肆、研究設備器材：

一、藥品：

結蘭膠、檸檬酸鈉、砂糖、碳酸鈣、檸檬酸、碳酸鎂、碳酸鋇、碳酸鋇、醋酸、硫酸、鹽酸、柳橙汁、檸檬汁。

二、儀器：

1000ml 定量瓶、100ml 量筒、電子天平、250ml 燒杯、滴管、計時器、磁攪拌加熱器、攪拌磁石、恆溫水浴槽、溫度計。

伍、研究過程：

一、首先配製小粉圓溶液備用，配製方法如下：

(一)稱 4 克結蘭膠、0.5 克檸檬酸鈉和 50 克砂糖於 1000ml 的定量瓶中。

(二)加冷水定量至 1 升，置於熱板上加熱，並以磁攪拌石攪拌。

(三)加熱至 80 - 85 後，冷卻至室溫備用。

二、將配好的小粉圓溶液進行下列的實驗：

(一) 溫度與反應速率：

- 1、取 100ml 小粉圓溶液，加入 2.5 克碳酸鈣，混合攪拌均勻。
- 2、稱 52.5 克檸檬酸於 1000ml 定量瓶中，加水溶解及定量後備用(0.25M 檸檬酸溶液)。
- 3、以 250ml 燒杯裝 0.25M 檸檬酸溶液 200ml，置於水浴槽中，維持溫度 25 。
- 4、用滴管將碳酸鈣 - 小粉圓混合溶液，滴入檸檬酸溶液中，形成一顆顆小粉圓沉降至燒杯底，待一段時間後小粉圓又緩緩浮上來，記錄小粉圓自沉到燒杯底後升至液面上所需時間。
- 5、以加冰塊或加熱的方式，控制改變水浴槽的溫度，以維持檸檬酸溶液溫度分別在 5 ， 10 ， 15 ， 20 ， 25 ， 30 ， 35 ， 40 ，再將碳酸鈣 - 小粉圓混合溶液滴入不同溫度之檸檬酸溶液中，同樣記錄小粉圓自沉到燒杯底後升至液面上所需時間。

(二) 碳酸鈣濃度與反應速率：

- 1、如下表，取 100ml 小粉圓溶液，分別加入不同重量之碳酸鈣，得到不同濃度的碳酸鈣 - 小粉圓溶液。

實驗次數	1	2	3	4	5	6
小粉圓 溶液體積	100ml	100ml	100ml	100ml	100ml	100ml
碳酸鈣 重 量	3.0g	2.5g	2.0g	1.5g	1.0g	0.5g
濃 度	0.30M	0.25M	0.20M	0.15M	0.10M	0.05M

- 2、以 250ml 燒杯裝 0.25M 檸檬酸溶液 200ml，置於水浴槽中，維持溫度 25 。
- 3、用滴管將不同濃度碳酸鈣 - 小粉圓混合溶液，滴入檸檬酸溶液中，分別記錄小粉圓自沉到燒杯底後升至液面上所需時間。

(三) 檸檬酸濃度與反應速率：

- 1、配製 200ml 下列不同濃度的檸檬酸溶液：0.3M、0.25M、0.2M、0.15M、0.10M、0.05M。
- 2、以 250ml 燒杯裝上列不同濃度檸檬酸溶液 200ml，置於水浴槽中，維持溫度 25 。
- 3、用滴管將 0.25M 碳酸鈣 - 小粉圓溶液，滴入不同濃度的檸檬酸溶液中，分別記錄小粉圓自沉到燒杯底後升至液面上所需時間。

(四) 鹼土金屬碳酸鹽種類與反應速率：

- 1、如下表，取 100ml 小粉圓溶液，分別加入不同重量之鹼土金屬碳酸鹽類，配製成 0.25M 下列鹼土金屬碳酸鹽 - 小粉圓混合溶液。

實驗次數	1	2	3	4
小粉圓溶液體積	100ml	100ml	100ml	100ml
鹼土金屬碳酸鹽	碳酸鎂 (MgCO ₃) ₄ Mg(OH) ₂ ·5H ₂ O	碳酸鈣 CaCO ₃	碳酸鋇 SrCO ₃	碳酸鋇 BaCO ₃
鹼土金屬碳酸鹽重量	3.04g	2.5g	3.69g	4.93g

2、以 250ml 燒杯裝 0.25M 檸檬酸溶液 200ml，置於水浴槽中，維持溫度 25℃。

3、用滴管將上面鹼土金屬碳酸鹽 - 小粉圓混合溶液，滴入檸檬酸溶液中，分別記錄小粉圓自沉到燒杯底後升至液面所需時間。

(五) 酸種類與反應速率：

1、配製 200ml 之 0.25M 硫酸、鹽酸、檸檬酸及醋酸溶液。

2、以 250ml 燒杯裝上列 0.25M 不同種類酸溶液 200ml 置於水浴槽中，維持溫度 25℃。

3、用滴管將 0.25M 碳酸鈣 - 小粉圓混合溶液，滴入不同種類的酸溶液中，分別記錄小粉圓自沉到燒杯底後升至液面上所需時間。

三、果汁小粉圓的製造：

(一) 取 100ml 小粉圓溶液，加入 2.5 克碳酸鈣，混合攪拌均勻。

(二) 以滴管將碳酸鈣 - 小粉圓混合溶液，滴入柳橙汁或檸檬汁中，包著果汁的小粉圓形成。

陸、研究結果：

一、溫度與反應速率：

表一：改變反應溫度，小粉圓自沉到燒杯底後升至液面上所需時間。碳酸鈣濃度 0.25M，檸檬酸濃度 0.25M。

溫度	時 間 (分 ' 秒 ")	平 均 時 間
5	20'50", 21'35", 21'20", 20'37", 20'55" 21'02", 20'31", 21'20", 20'45", 20'50"	20'58"
10	10'23", 10'11", 10'07", 10'34", 10'16" 10'25", 10'01", 10'26", 10'40", 10'30"	10'21"
15	4'18", 4'16", 4'13", 4'14", 4'10" 4'07", 4'14", 4'16", 4'04", 4'11"	4'12"
20	2'13", 2'16", 2'18", 2'11", 2'17" 2'20", 2'13", 2'21", 2'16", 2'14"	2'16"
25	1'01", 1'05", 1'02", 1'06", 1'00" 1'03", 1'04", 1'05", 1'05", 1'06"	1'04"
30	31", 32", 31", 29", 30" 30", 29", 32", 29", 31"	30.4"

35	20", 19", 21", 20", 21" 20", 21", 21", 22", 20"	20.5"
40	13", 13", 13", 14", 15" 15", 13", 15", 15", 17"	14.3"

二、碳酸鈣濃度與反應速率：

表二：改變碳酸鈣濃度，小粉圓自沉到燒杯底後升至液面上所需時間。檸檬酸濃度 0.25M，溫度 25

碳酸鈣濃度	時間 (分 秒")	平均時間
0.30M	46", 44", 45", 47", 45" 43", 44", 45", 45", 45"	44.9"
0.25M	1'01", 1'05", 1'02", 1'06", 1'00" 1'03", 1'04", 1'05", 1'05", 1'06"	1'04"
0.20M	1'33", 1'38", 1'36", 1'32", 1'39" 1'39", 1'44", 1'45", 1'36", 1'42"	1'38"
0.15M	2'22", 2'22", 2'23", 2'26", 2'31" 2'22", 2'22", 2'25", 2'17", 2'16"	2'23"
0.10M	1'01", 1'05", 1'02", 1'06", 1'00" 1'03", 1'04", 1'05", 1'05", 1'06"	3'56"
0.05M	6'50", 6'55", 7'03", 7'16", 7'14" 6'56", 7'02", 7'06", 7'20", 7'13"	7'06"

三、檸檬酸濃度與反應速率：

表三：改變檸檬酸濃度，小粉圓自沉到燒杯底後升至液面上所需時間。碳酸鈣濃度 0.25M，溫度 25。

檸檬酸濃度	時間 (分' 秒")	平均時間
0.30M	53", 52", 56", 56", 58" 52", 54", 53", 55", 55"	54.8"
0.25M	1'01", 1'05", 1'02", 1'06", 1'00" 1'03", 1'04", 1'05", 1'05", 1'06"	1'04"
0.20M	2'02", 2'05", 2'06", 2'00", 2'03" 2'03", 2'05", 2'04", 2'05", 2'01"	2'03"
0.15M	3'33", 3'29", 3'32", 3'37", 3'31" 3'23", 3'39", 3'36", 3'32", 3'40"	3'30"
0.10M	6'47", 7'27", 7'33", 6'51", 7'13" 7'24", 6'54", 7'56", 7'27", 7'57"	7'18"
0.05M	23'26", 23'01", 22'30", 22'50", 23'43" 22'36", 23'08", 23'31", 23'31", 24'12"	22'56"

四、鹼土金屬碳酸鹽與反應速率：

表四：0.25M 鹼土金屬碳酸鹽，小粉圓自沉到燒杯底後升至液面上所需時間。檸檬酸濃度 0.25M，溫度 25 。

鹼土金屬碳酸鹽	時 間 (分 ' 秒 ")	平 均 時 間
碳 酸 鎂	25", 23", 25", 22", 23" 22", 22", 24", 23", 24"	23.3"
碳 酸 鈣	1'01", 1'05", 1'02", 1'06", 1'00" 1'03", 1'04", 1'05", 1'05", 1'06"	1'04"
碳 酸 鋇	13'53", 14'12", 13'49", 14'13", 14'09" 13'59", 14'34", 14'25", 13'36", 13'45"	14'04"
碳 酸 鋇	5'05", 5'08", 5'15", 5'02", 5'11" 5'12", 5'16", 5'12", 5'09", 5'06"	5'10"

五、酸種類與反應速率：

表五：改變酸的種類，小粉圓自沉到燒杯底後升至液面上所需時間。碳酸鈣濃度 0.25M，酸濃度 0.25M，溫度 25 。

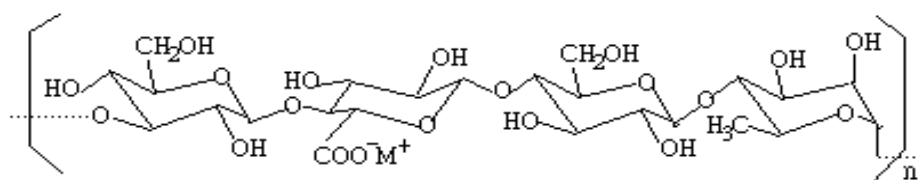
酸的種類	時 間 (分 ' 秒 ")	平均時間
硫 酸	5", 5", 4", 5", 6" 5", 5", 5", 5", 5"	5"
鹽 酸	12", 10", 10", 12", 11" 11", 11", 12", 11", 12"	11.2"
檸檬酸	1'01", 1'05", 1'02", 1'06", 1'00", 1'03", 1'04", 1'05", 1'05", 1'06"	1'04"
醋 酸	5'14", 5'04", 5'21", 5'14", 5'10", 5'10", 5'03", 5'04", 5'07", 5'08"	5'10"

柒、討論：

一、發泡小粉圓的形成：

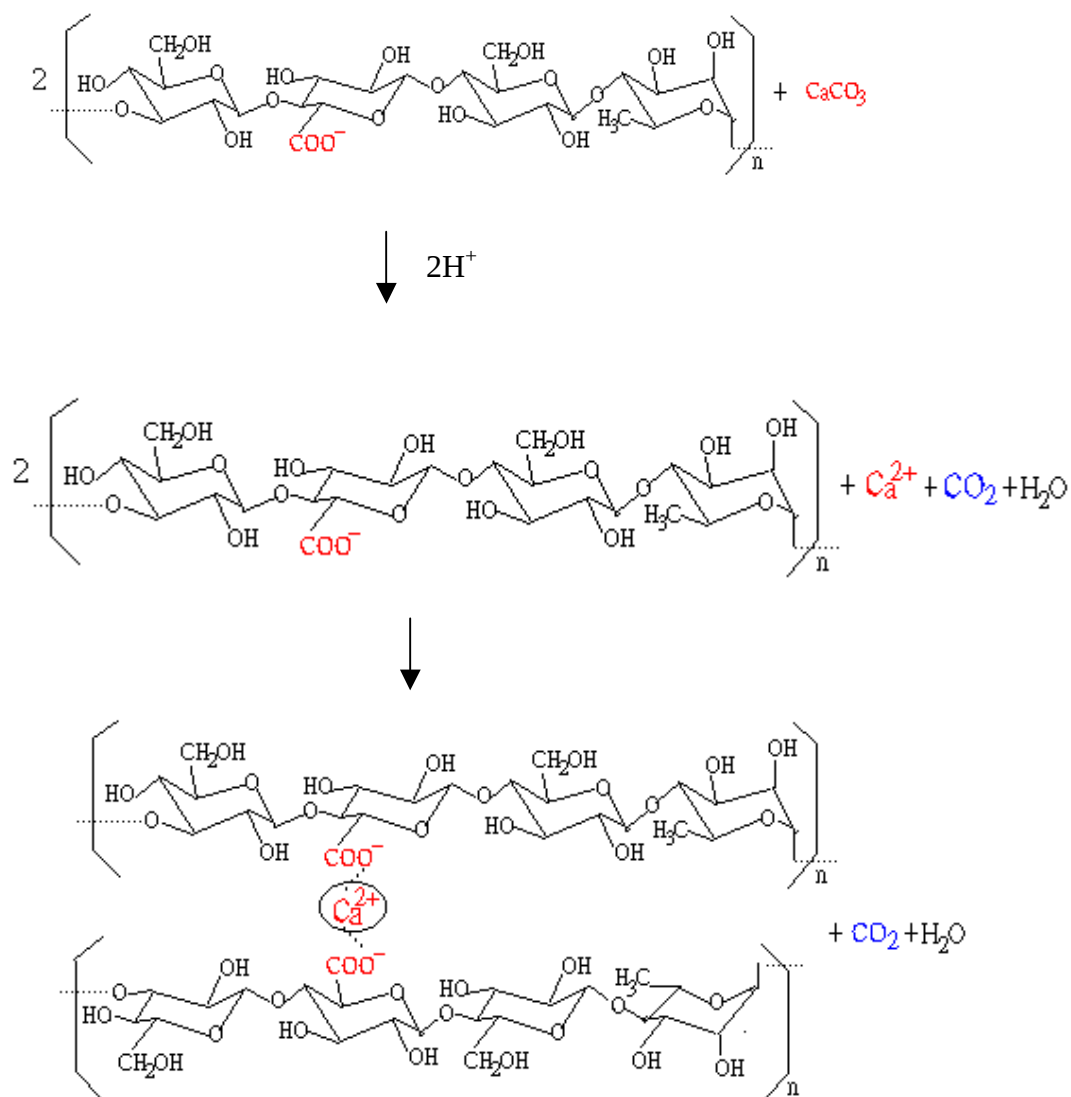
為何將含碳酸鈣的膠類溶液，滴在檸檬酸溶液中，會凝膠形成一顆顆小粉圓？並且這小粉圓中逐漸有氣泡產生，當產生至某個量時，會將小粉圓帶到液面上。

形成小粉圓的重要角色 - 結蘭膠之單元結構如下：

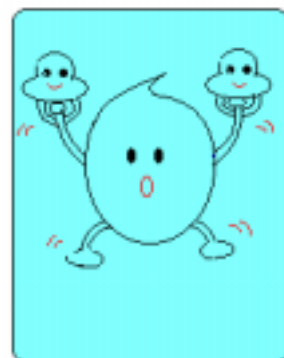
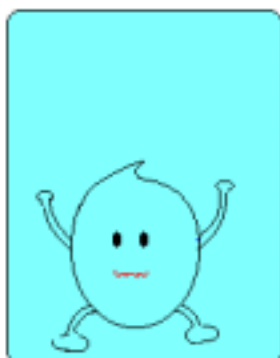
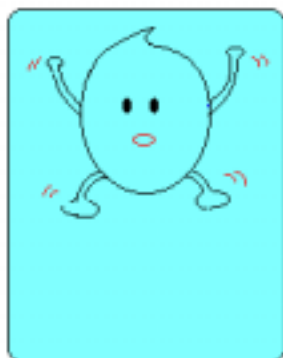


結蘭膠是一個高分子量的異多糖類的發酵產物，為一線性直鏈結構，由於其直鏈上有一 COO 官能基，所以當有二價正離子存在時，可與兩鏈上之 COO 有電荷間引力，使兩鏈之間產生凝聚，所以其與以前利用海藻酸鈉製造小粉圓之凝膠特性相同。

發泡小粉圓形成之化學反應式：



小粉圓的形成：



哇！我變做一顆
小粉圓掉下來了

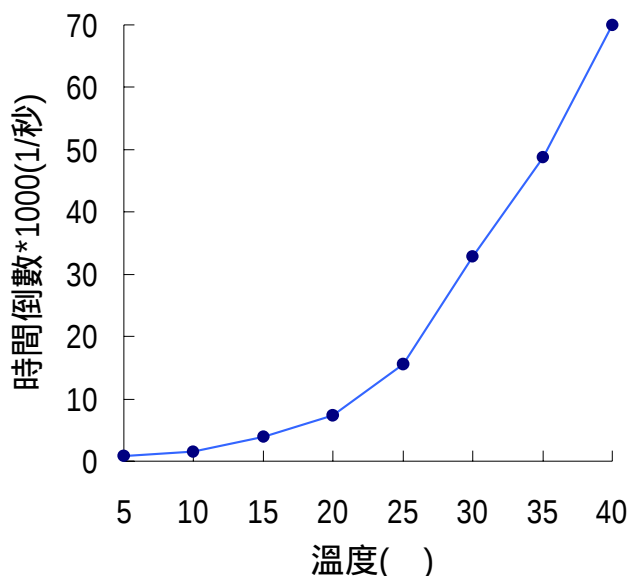
好可怕！沉到底了

奇怪？是誰把我拉
上來

二、溫度對反應速率的影響：

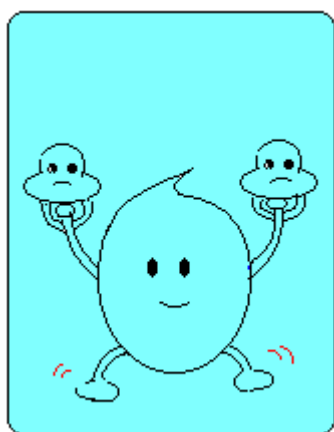
我們將表一的結果，以溫度做橫座標，時間的倒數做縱座標，繪成圖一。因時間倒數的大小表示反應速率的快慢，因此由圖一可見，溫度愈高，反應速率愈快，即小粉圓浮上的時間縮短，二氧化碳生成速率愈快。

在課本第九章中談到銅片在高溫下較容易被氧化，而食物在低溫下較不易腐敗，可見反應快慢與溫度有關。我們的實驗也證實了碳酸鈣與檸檬酸的反應，溫度愈高，反應速率愈快，而溫度愈低，反應愈慢。

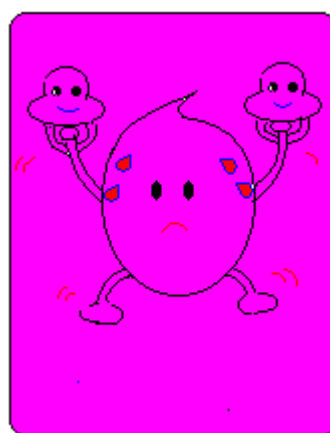


圖一:溫度對小粉圓上浮時間倒數作圖

溫度低



溫度高



好涼爽！我要待久一點

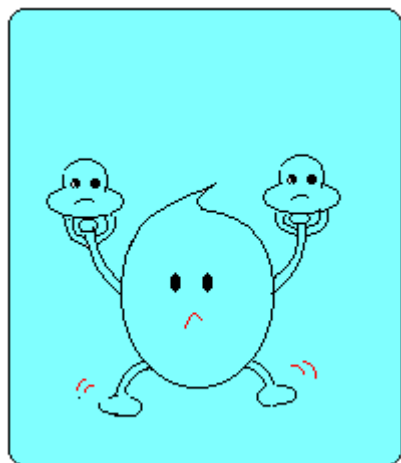
好熱！我要趕快上去

三、反應物濃度對反應速率的影響：

實驗結果發現，無論是增加碳酸鈣濃度或檸檬酸濃度，都會使小粉圓浮上的時間縮短，即二氧化碳生成速率增加。在課本第十三章中討論到濃度的效應 - 鎂帶與鹽酸反應

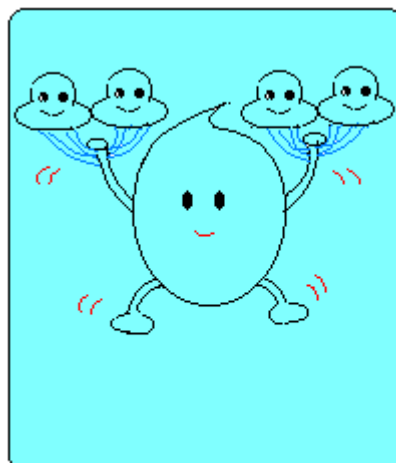
產生氫氣，在不同鹽酸濃度下，觀察氣體生成的快慢。其得到與我們相同的結果，即反應物濃度增加，反應速率加快。但課本的結果無法以數據表示其確實之關係，而我們可以將實驗的結果表二、表三，以碳酸鈣或檸檬酸濃度做橫座標，時間的倒數做縱座標，分別繪成圖二、圖三，明顯表示反應物濃度與反應速率的關係。

低濃度

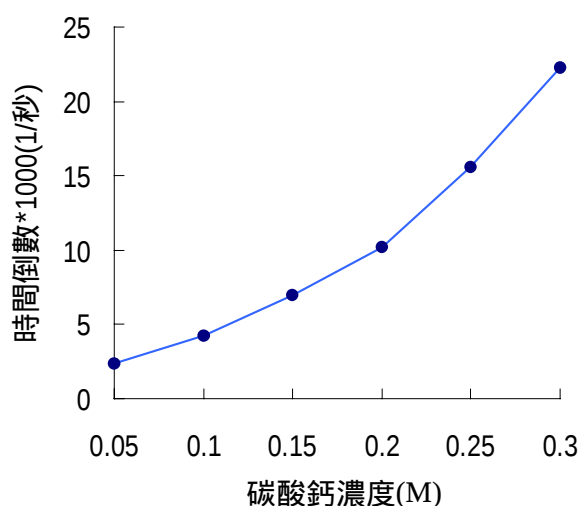


兩人拉好吃力！

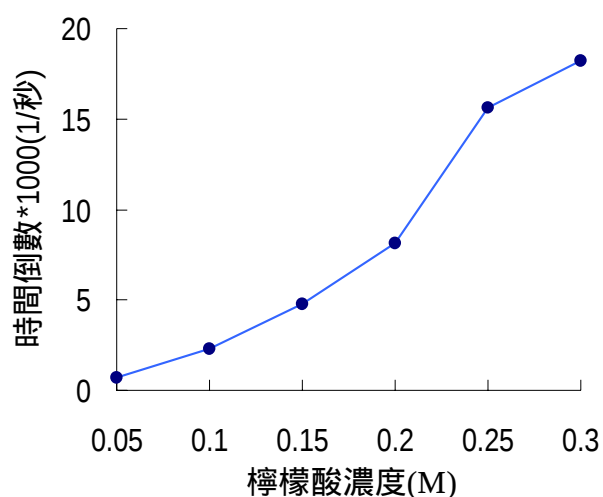
高濃度



四人拉好輕鬆！



圖二:碳酸鈣濃度對小粉圓上浮時間倒數作圖

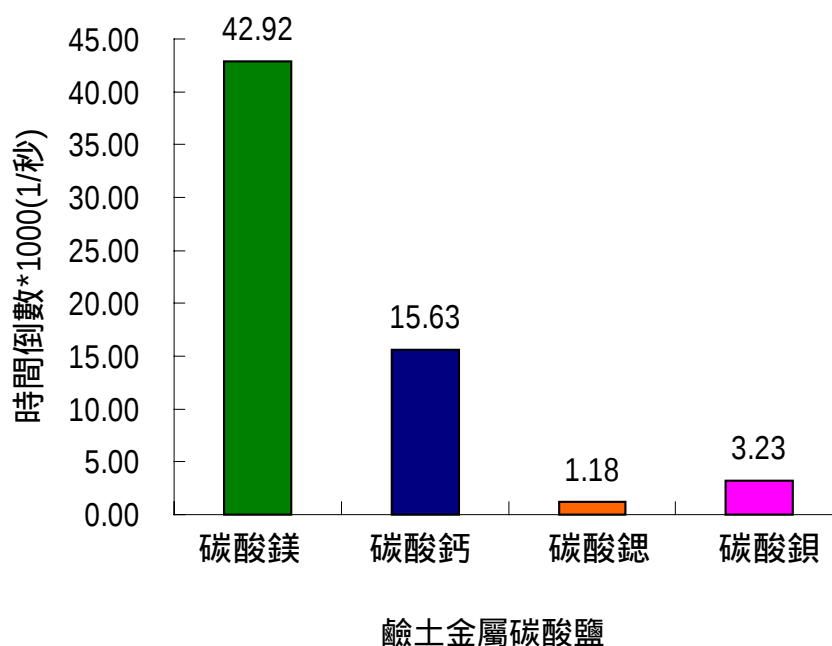


圖三:檸檬酸濃度對小粉圓上浮時間倒數作圖

四、反應物種類對反應速率的影響：

(一)碳酸鹽的種類：

雖然課本中沒有探討不同碳酸鹽與酸作用的情形，不過我們仍對不同碳酸鹽的反應感到興趣。我們以鹼土金屬所形成的碳酸鹽，如：碳酸鎂、碳酸鈣、碳酸鋇、碳酸鋇分別加入小粉圓溶液中與檸檬酸反應。實驗的結果顯示，加入碳酸鎂的小粉圓最快浮上來，其次依序為碳酸鈣、碳酸鋇、碳酸鋇，我們將實驗結果表四，繪成圖四比較，我們可看出鹼土金屬碳酸鹽與檸檬酸的反應速率，似乎有隨週期表由上往下而反應速率減緩： $\text{MgCO}_3 > \text{CaCO}_3 > \text{BaCO}_3 > \text{SrCO}_3$ ，但有發生異常的狀況 $\text{BaCO}_3 > \text{SrCO}_3$ ，我們查閱資料後發現，原來鹼土金屬碳酸鹽與酸的反應速率與其溶解度有相關性，碳酸鎂的溶解度最大，然後依序為碳酸鈣、碳酸鋇，而碳酸鋇溶解度最差，四者之溶解度積常數(K_{sp})分別為碳酸鎂 1×10^{-5} 、碳酸鈣 4.7×10^{-9} 、碳酸鋇 1.6×10^{-9} 、碳酸鋇 7×10^{-10} 。



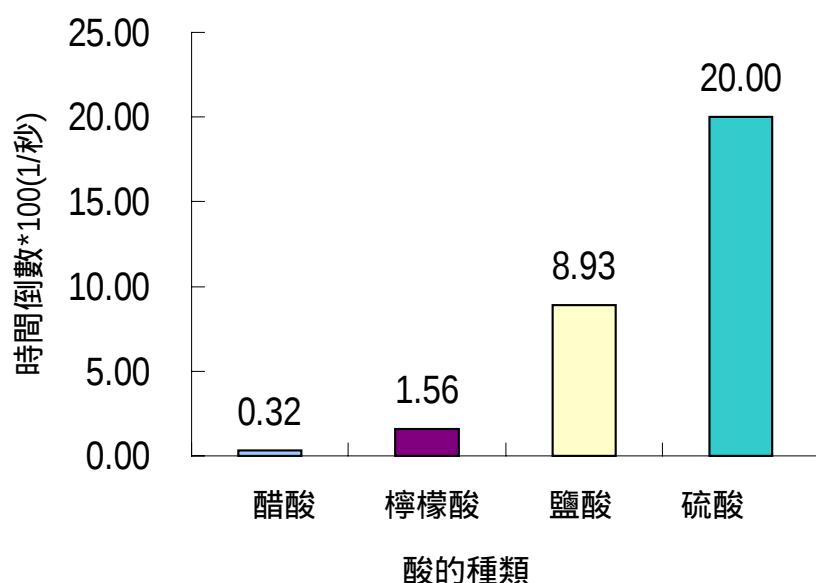
圖四：鹼土金屬碳酸鹽對小粉圓上浮時間倒數作圖

(二)酸的種類：

雖然碳酸鈣與不同種類的酸都會產生二氧化碳，但由我們的實驗證實不同種類的酸，其反應速率不同。我們以碳酸鈣 - 小粉圓溶液分別滴入 0.25M 之硫酸、鹽酸、檸檬酸及醋酸溶液中，結果發現小粉圓浮起最快的是硫酸，而後依序為鹽酸、檸檬酸、醋酸。

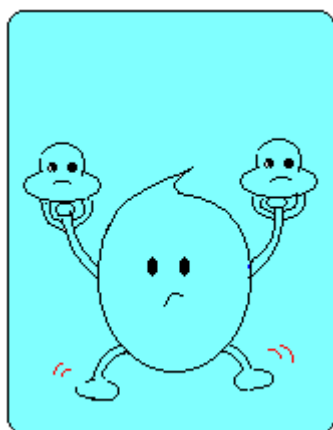
在課本第十三章中提到，硫酸、鹽酸在水溶液中幾乎完全解離，因此為強酸，而醋酸在水溶液中只有部分形成氫離子，故為弱酸。我們的實驗也證實了碳酸鈣與強酸的反應速率快，而與弱酸的反應慢。不過硫酸與鹽酸雖同為強酸，但由於硫酸為二質子酸，故 0.25M 硫酸等於 0.5N 硫酸，故實驗結果硫酸之反應較鹽酸快。同樣的，檸檬酸與醋酸同為弱酸，但檸檬酸為三質子酸，故 0.25M 檸檬酸等於 0.75N 檸檬酸，其反應

也較醋酸為快。我們將表五的結果以酸的種類對時間的倒數繪成圖五，可明顯比較出其差異。



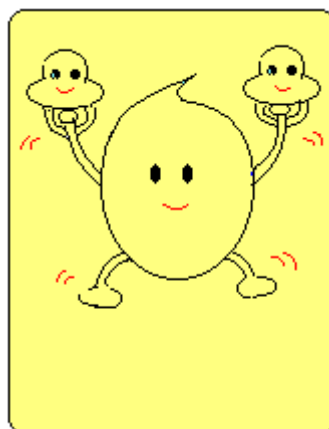
圖五：酸的種類對小粉圓上浮時間倒數作圖

弱酸



怎麼！我上來比別人慢？

強酸



哈！我上來得第一

五、小粉圓的應用 - 果汁小粉圓：

我們了解小粉圓的產生，是將碳酸鈣和結蘭膠的混合溶液滴入檸檬酸溶液中，我們想到是否用其它酸性溶液來代替，可增加小粉圓在食品上應用的價值。在課本第十三章中學到，有一些食品是酸性的，如柳丁汁及檸檬汁等酸性果汁，將小粉圓溶液滴入這些酸性果汁中，一樣會形成一顆顆的小粉圓，而且果汁會漸漸進入二氧化碳所形成的空隙中，形成好吃的果汁小粉圓。

捌、結論：

- 一、我們得到了一個新的粉圓製造方法，做出新奇的發泡小粉圓，且可將酸性果汁注入小粉圓中，增加小粉圓的食用價值。
- 二、小粉圓不但有其實用價值，同時可由二氧化碳生成的速率做理論基礎的探討，我們

得到了下列結論：

(一)反應溫度提高，會使反應速率加快。

(二)反應物濃度提高，也會使反應速率加快。

(三)反應物種類對反應速率有很大的影響：溶解度大的鹼土金屬碳酸鹽之反應速率大於溶解度小者，而強酸的反應速率大於弱酸。

玖、參考資料：

一、國中理化第三冊第十三章，國立編譯館。

二、邱翼聰等譯，定性分析，合記圖書出版社。

三、許振耀著，食品添加物使用法，華香園出版社，p214，1986。