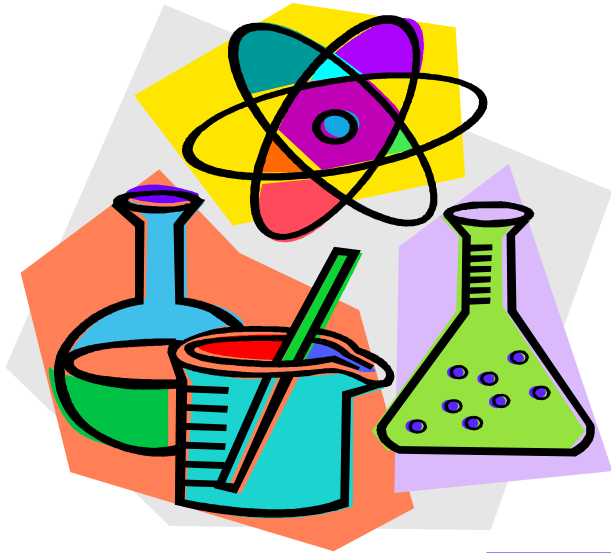


花蓮縣第 **59** 屆國民中小學科學展覽會

作品說明書



科 別：化學科

組 別：國中組

作品名稱：它可以讓你一柱擎天！

—大象牙膏輔助藥品之研究

關鍵詞：雙氧水、碘化鉀、輔助藥品

編 號：

摘要

大象牙膏是風靡全球的一項科學實驗。研究小組從網路上得知，大象牙膏通常會加入碳酸鈉(Na_2CO_3)。研究小組實測的結果發現，碳酸鈉的確可以增強大象牙膏的噴發效果。研究小組欲探討是否是因為鈉離子或碳酸根離子的緣故，因此以實驗室容易取得的藥品作材料，探討其他藥品是否能取代碳酸鈉，以增強大象牙膏的效果。

研究小組在實驗中發現，要取代碳酸鈉的藥品，需要具備下列二條件之一：一是其水溶液可以呈鹼性；二是可以扮演還原劑角色，能將碘分子還原成碘離子。若是兩項條件都能符合，將會是最好取代碳酸鈉的藥品。而硫代硫酸鈉($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)正是研究小組實驗後欲推薦的藥品。

壹、研究動機

大象牙膏是風靡全球的一項科學實驗，甚至 2009 年美國《連線》(WIRED)雜誌網站將大象牙膏列為十個最令人驚訝的化學實驗之一，在催化劑的催化下，雙氧水大量分解成氧氣，產生大量泡沫，形狀如大象的鼻子細長，又像牙膏般綿密，爆炸性的效果常令人大吃一驚(圖一)。



圖一 大象牙膏的驚人效果 (資料來源：自由時報)

研究小組在國立台灣大學所屬的高瞻自然科學教育資源平臺-科學 Oline 網站上，由彰化師大王禎主筆的「3D 有趣實驗：大象牙膏」一文中，搜尋到大象牙膏的操作步驟如下：

取一個 1000 ml 的量筒，放置在淺底盤的中間，並加入 5 ml 的洗碗精到量筒，再加 50 ml 的 20% 雙氧水，並滴入色素，輕輕地搖晃均勻。取一小紙張對折，放上 2 g 的「碳酸鈉」粉末和碘化鉀晶體，混合均勻。倒入兩固體混合物於量筒中，並且手部立即移開量筒。加入後，立即產生大量泡沫，如火山爆發，更像擠出巨大的牙膏。

在實驗步驟中，有一步驟是加入碳酸鈉，研究小組搜尋資料時發現，加入碳酸鈉，並不是為了加速大象牙膏反應，它只是為了抑制裡面的碘離子不變成碘，因為碘離子在反應中是當作催化劑，且碳酸鈉並不參與雙氧水的氧化還原反應(公共電視:流言追追追，<https://reurl.cc/oV2vM>)。真的只是單純抑制碘離子不變成碘嗎?是鈉離子還是碳酸根離子作用的結果呢?還有沒有其他物質可以取代碳酸鈉，讓大象牙膏效果更好呢?於是我們開始了這次的研究。

貳、研究目的

- 一、探討加入碳酸鈉是否對大象牙膏有幫助。
- 二、探討鈉離子對大象牙膏的影響。
- 三、探討碳酸根離子對大象牙膏的影響。
- 四、探討溶液 pH 值對大象牙膏的影響。
- 五、探討輔助藥品濃度對大象牙膏的影響。

參、研究器材

一、研究設備：電子秤、刮勺、秤紙、量筒、沙拉脫、沐浴乳空罐、透明塑膠管、捲尺、滴管

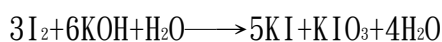
二、研究藥品：

(一)大象牙膏主要反應物：35%雙氧水(H_2O_2)

雙氧水為過氧化氫 (hydrogen peroxide) 的水溶液，化學式是 H_2O_2 ，為強氧化劑。過氧化氫與許多無機化合物或雜質接觸後會迅速分解而導致爆炸，放出大量的熱量、氧和水蒸氣。大多數重金屬 (如鐵、銅、銀、鉛、汞、鋅、鈷、鎳、鉻、錳等) 及其氧化物和鹽類都是活性催化劑(A⁺醫學百科，<https://reurl.cc/NbdO6>)。

(二)大象牙膏催化劑：碘化鉀(KI)

碘化鉀(potassium iodide)，化學式 KI。無色立方晶體。碘化鉀可由碘與氫氧化鉀溶液反應製備(A⁺醫學百科，<https://reurl.cc/96N00>)，反應式如下：

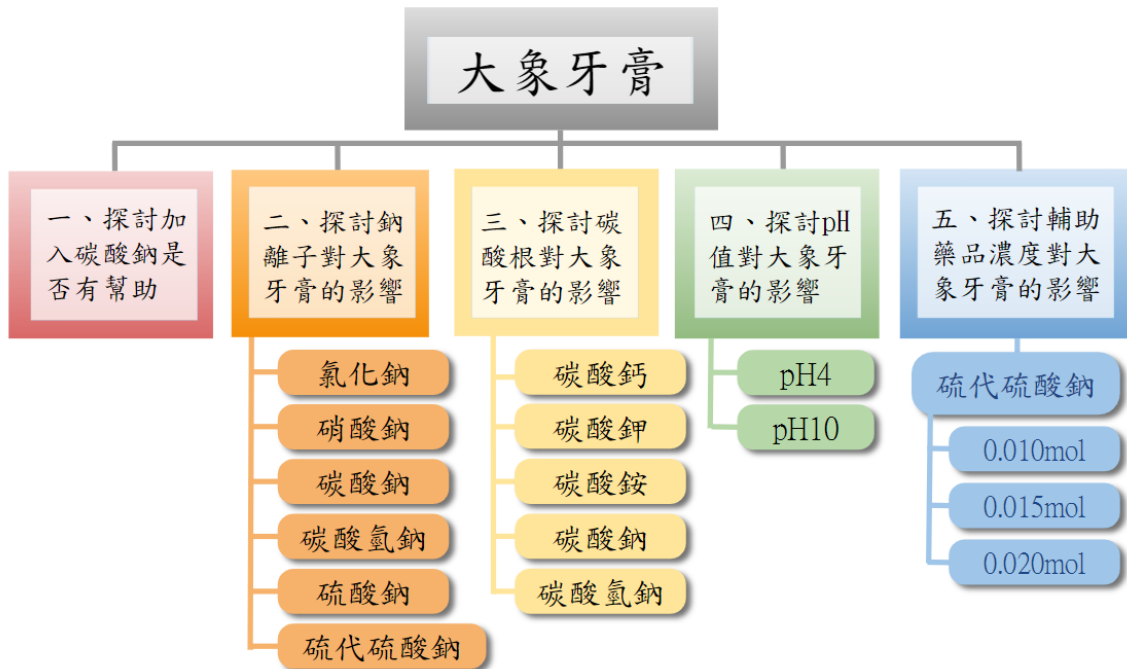


(三)大象牙膏輔助藥品：

將藥品(如碳酸鈉)加入大象牙膏中，欲探討藥品是否會對大象牙膏有影響，研究小組將這些藥品稱為輔助藥品。本研究欲探討的輔助藥品如下：

1. 碳酸鹽：碳酸鈉(Na_2CO_3)、碳酸鈣(CaCO_3)、碳酸鉀(K_2CO_3)、碳酸氫鈉(NaHCO_3)、碳酸銨($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$)。
2. 鈉鹽：碳酸鈉(Na_2CO_3)、碳酸氫鈉(NaHCO_3)、硫酸鈉(Na_2SO_4)、氯化鈉(NaCl)、硝酸鈉(NaNO_3)、硫代硫酸鈉($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)。
3. pH 標準液：pH4、pH7、pH10 校正液。

肆、研究架構

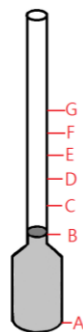


圖二 研究架構圖

伍、研究方法與過程

一、名詞解釋

1. 初始時間：大象牙膏所產生的氣泡自沐浴乳罐底部到沐浴乳罐頂部(如下圖三 A 至 B 的距離)所需的時間。
2. 反應距離：測量大象牙膏所產生的氣泡自透明塑膠管(以下簡稱管子)與沐浴乳罐相接(B點)處上升，每 5 秒後氣泡所在位置做標記，將 B 點到各標記間的距離，稱為反應距離(如下圖三 B 至 C、B 至 D 的距離，以此類推)。



圖三 實驗裝置圖

二、實驗過程

實驗一、探討加入碳酸鈉是否對大象牙膏有幫助

1. 計算碘化鉀與碳酸鈉 0.005 莫耳所需質量，如表一。

表一 碘化鉀與碳酸鈉 0.005 莫耳所需質量

藥品名稱(化學式)	分子量	0.005 莫耳的質量(克)
碘化鉀(KI)	166	$166 \times 0.005 = 0.83$
碳酸鈉(Na_2CO_3)	106	$106 \times 0.005 = 0.53$

2. 用電子秤量出 0.005 莫耳的碘化鉀，如圖四。

3. 先加入 5 ml 沙拉脫於沐浴乳空罐，將碘化鉀加 30 ml 的水調配成溶液，以不加輔助藥品為對照組，以 0.005 莫耳的碳酸鈉做為實驗組，分別加入沐浴乳空罐中混合均勻，如圖五。



圖四 0.005 莫耳的碘化鉀

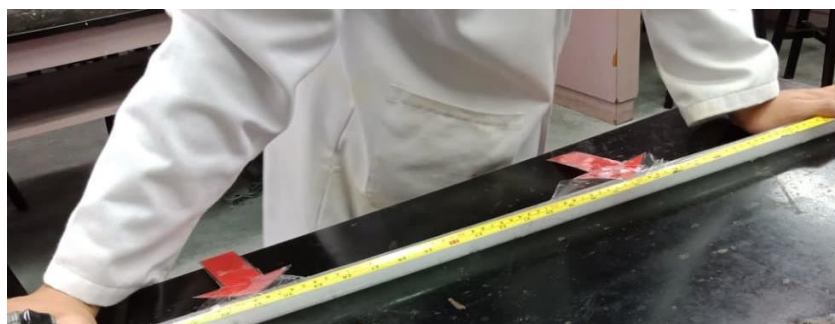


圖五 將沙拉脫倒入罐中

4. 加入 15 ml 雙氧水後，插上透明塑膠管並開始計時。

5. 氣泡到達管子底部時計時一次，接下來每五秒標記一次，共計五次。

6. 利用捲尺測量反應距離，如下圖六。



圖六 測量各標記間距離

實驗二、探討鈉離子對大象牙膏的影響

1. 計算碘化鉀與各種鈉鹽 0.005 莫耳所需質量，如下表二。

表二 碘化鉀與實驗鈉鹽 0.005 莫耳所需質量

藥品名稱(化學式)	分子量	0.005 莫耳的質量(克)
碘化鉀(KI)	166	$166 \times 0.005 = 0.83$
氯化鈉(NaCl)	58	$58 \times 0.005 = 0.29$
硝酸鈉(NaNO ₃)	85	$85 \times 0.005 = 0.43$
硫酸鈉(Na ₂ SO ₄)	142	$142 \times 0.005 = 0.71$
硫代硫酸鈉(Na ₂ S ₂ O ₃)	158	$158 \times 0.005 = 0.79$
碳酸鈉(Na ₂ CO ₃)	106	$106 \times 0.005 = 0.53$
碳酸氫鈉(NaHCO ₃)	84	$84 \times 0.005 = 0.42$

2. 用電子秤量出 0.005 莫耳的碘化鉀與實驗鈉鹽。
3. 先加入 5 ml 沙拉脫於沐浴乳空罐，將碘化鉀加 30 ml 的水調配成溶液，以不加輔助藥品為對照組，以 0.005 莫耳的氯化鈉做為實驗組，分別加入沐浴乳空罐中混合均勻。
4. 加入 15 ml 雙氧水後，插上透明塑膠管並開始計時。
5. 氣泡到達管子底部時計時一次，接下來每五秒標記一次，共計五次。
6. 利用捲尺測量反應距離。
7. 將步驟 3 的氯化鈉中分別以碳酸鈣、碳酸鉀、碳酸銨、碳酸鈉、碳酸氫鈉取代，並重複步驟 3~6。

實驗三、探討碳酸根離子對大象牙膏的影響

1. 計算碘化鉀與各種碳酸鹽 0.005 莫耳所需質量，如表三。
2. 用電子秤量出 0.005 莫耳的碘化鉀與實驗用碳酸鹽。
3. 先加入 5 ml 沙拉脫於沐浴乳空罐，將碘化鉀加 30 ml 的水調配成溶液，以不加輔助藥品為對照組，以 0.005 莫耳的碳酸鈣做為實驗組，分別加入沐浴乳空罐中混合均勻。
4. 加入 15 ml 雙氧水後，插上透明塑膠管並開始計時。
5. 氣泡到達管子底部時計時一次，接下來每五秒標記一次，共計五次。

- 利用捲尺測量反應距離。
- 將步驟 3 的碳酸鈣中分別以碳酸鉀、碳酸銨、碳酸鈉、碳酸氫鈉取代，並重複步驟 3~6。

表三 碘化鉀與實驗碳酸鹽 0.005 莫耳所需質量

藥品名稱	分子量	0.005 莫耳的質量(克)
碘化鉀(KI)	166	$166 \times 0.005 = 0.83$
碳酸鈣(CaCO_3)	100	$100 \times 0.005 = 0.50$
碳酸鉀(K_2CO_3)	138	$138 \times 0.005 = 0.69$
碳酸銨($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$)	96	$96 \times 0.005 = 0.48$
碳酸鈉(Na_2CO_3)	106	$106 \times 0.005 = 0.53$
碳酸氫鈉(NaHCO_3)	84	$84 \times 0.005 = 0.42$

實驗四、探討 pH 值對大象牙膏的影響

- 用電子秤量出 0.005 莫耳的碘化鉀。
- 先加入 5 ml 沙拉脫於沐浴乳空罐中，再加入碘化鉀，最後加 30ml 的 pH4 校正液，混合均勻。
- 加入 15 ml 雙氧水後，插上透明塑膠管並開始計時。
- 氣泡到達管子底部時計時一次，接下來每五秒標記一次，共計五次。
- 利用捲尺測量反應距離。
- 將 pH4 校正液以 pH10 校正液取代，並重複步驟 2~5。

實驗五、探討輔助藥品濃度對大象牙膏的影響

- 計算 0.005 莫耳碘化鉀與各濃度硫代硫酸鈉，如下表四。
- 用電子秤量出 0.005 莫耳的碘化鉀和 0.010 莫耳的硫代硫酸鈉。
- 先加入 5 ml 沙拉脫於沐浴乳空罐中，再加碘化鉀和硫代硫酸鈉，最後加 30 ml 的水，混合均勻。
- 加入 15 ml 雙氧水後，插上透明塑膠管並開始計時。
- 氣泡到達管子底部時計時一次，接下來每五秒標記一次，共計五次。
- 利用捲尺測量反應距離。

7. 將步驟 3 中的 0.010 莫耳硫代硫酸鈉分別改為 0.015 莫耳硫代硫酸鈉、0.020 莫耳硫代硫酸鈉，重複步驟 3~6。

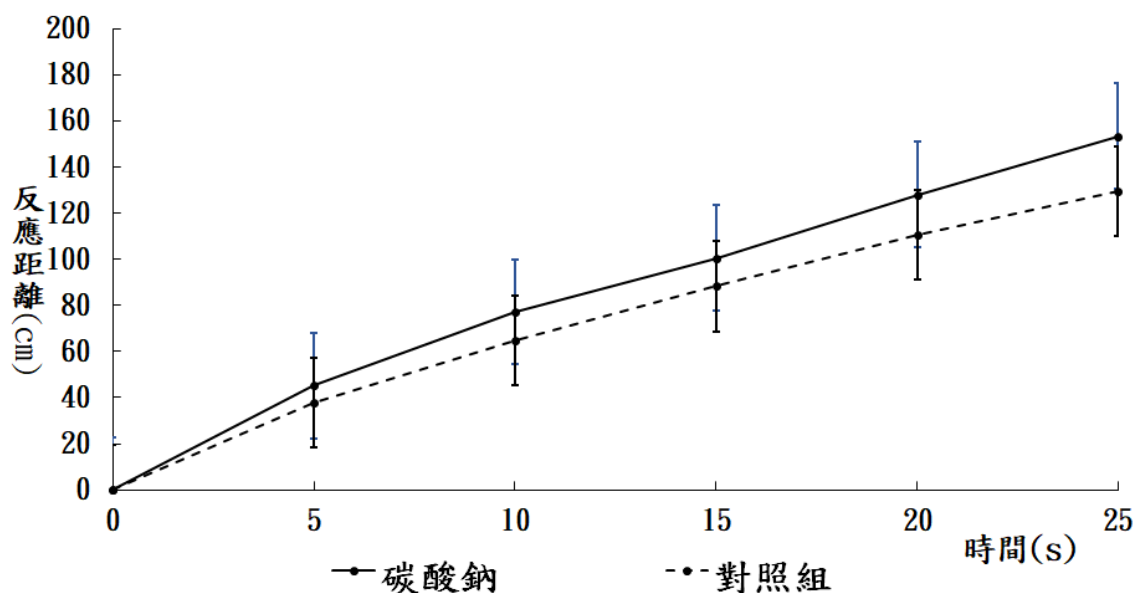
表四 硫代硫酸鈉在不同莫耳數下所需質量

藥品名稱(化學式)	相同體積的溶質莫耳數	克數
硫代硫酸鈉($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)	0.010	$158 \times 0.010 = 1.58$
	0.015	$158 \times 0.015 = 2.37$
	0.020	$158 \times 0.020 = 3.16$

陸、實驗結果

實驗一、探討加入碳酸鈉是否對大象牙膏有幫助

(一) 以碳酸鈉(Na_2CO_3)作為輔助藥品，以不加任何輔助藥品作為對照組，實驗結果如下圖七：

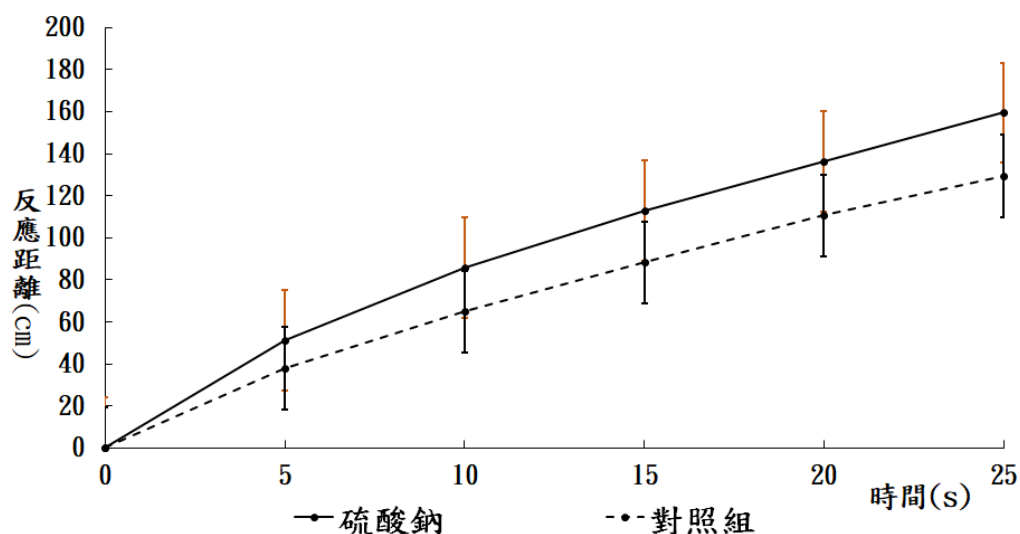


圖七 探討碳酸鈉是否對大象牙膏有幫助

- 結果說明：
1. 自沐浴乳罐底到罐頂的平均初始時間為 53.14 ± 4.73 秒。
 2. 比較碳酸鈉與對照組的效果，發現加入碳酸鈉對大象牙膏是有幫助的。
 3. 未加入任何輔助藥品時，大象牙膏產生的泡沫顏色為黃色，而加入碳酸鈉的泡沫顏色為白色。

實驗二、探討鈉離子對大象牙膏的影響

(一)以硫酸鈉(Na_2SO_4)作為輔助藥品，以不加任何輔助藥品作為對照組，實驗結果如下圖八：

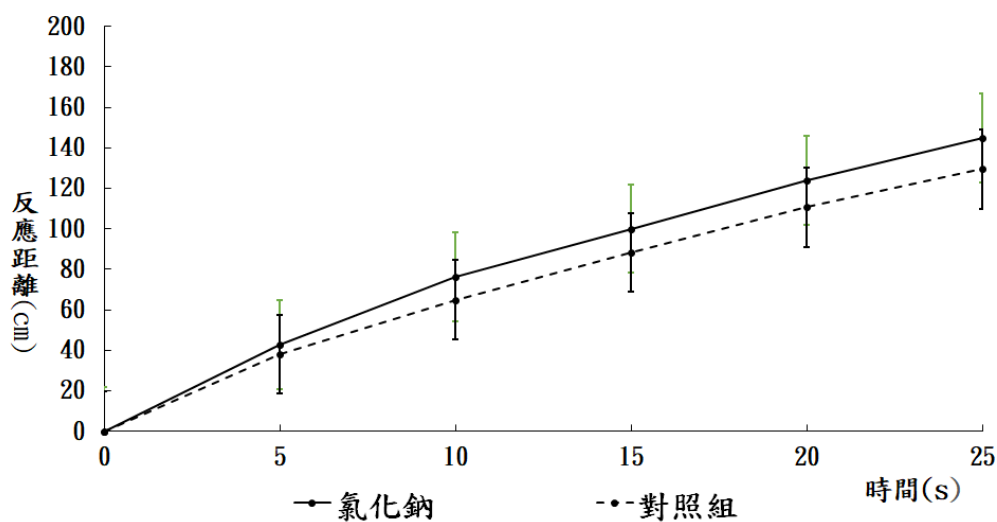


圖八 添加硫酸鈉對大象牙膏反應的影響

結果說明：1. 自沐浴乳罐底到罐頂的平均初始時間為 55.84 ± 4.24 秒。

2. 比較硫酸鈉與對照組的效果，發現加入硫酸鈉對大象牙膏是有幫助的。
3. 未加入任何輔助藥品時，大象牙膏產生的泡沫顏色為黃色，而加入硫酸鈉所產生的泡沫顏色為黃色。

(二)以氯化鈉(NaCl)作為輔助藥品，以不加任何輔助藥品作為對照組，實驗結果如下圖九：



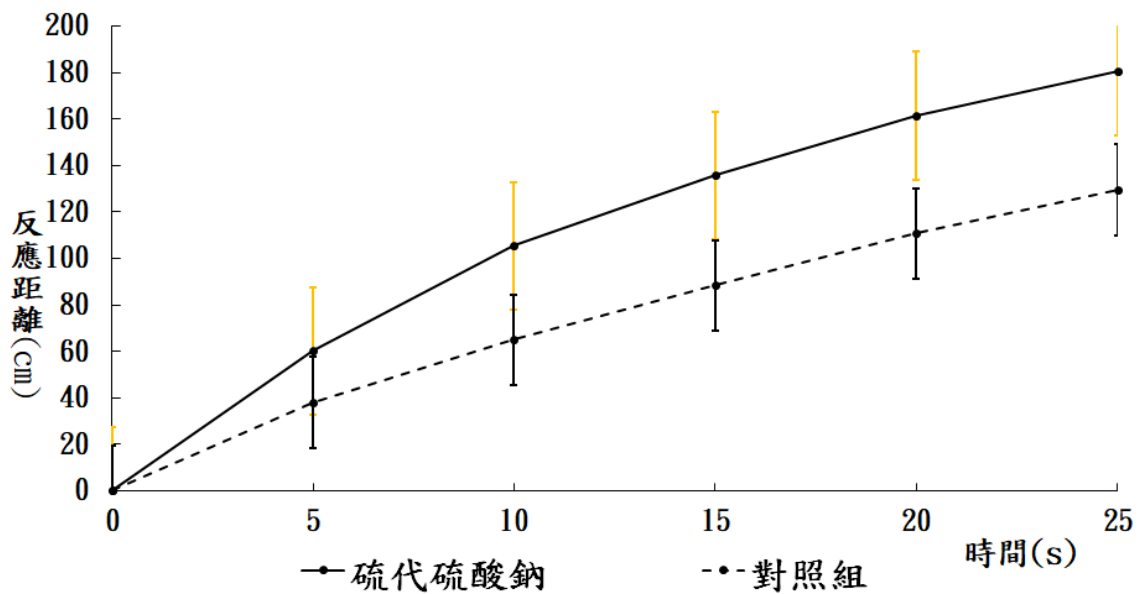
圖九 添加氯化鈉對大象牙膏反應的影響

結果說明：1. 自沐浴乳罐底到罐頂的平均初始時間為 61.59 ± 5.12 秒。

2. 比較氯化鈉與對照組的效果，發現加入氯化鈉對大象牙膏有幫助。

3. 未加入任何輔助藥品時，大象牙膏產生的泡沫顏色為黃色，加入氯化鈉所產生的泡沫顏色為黃色。

(三)以硫代硫酸鈉($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)作為輔助藥品，以不加任何輔助藥品作為對照組，實驗結果如下圖十：



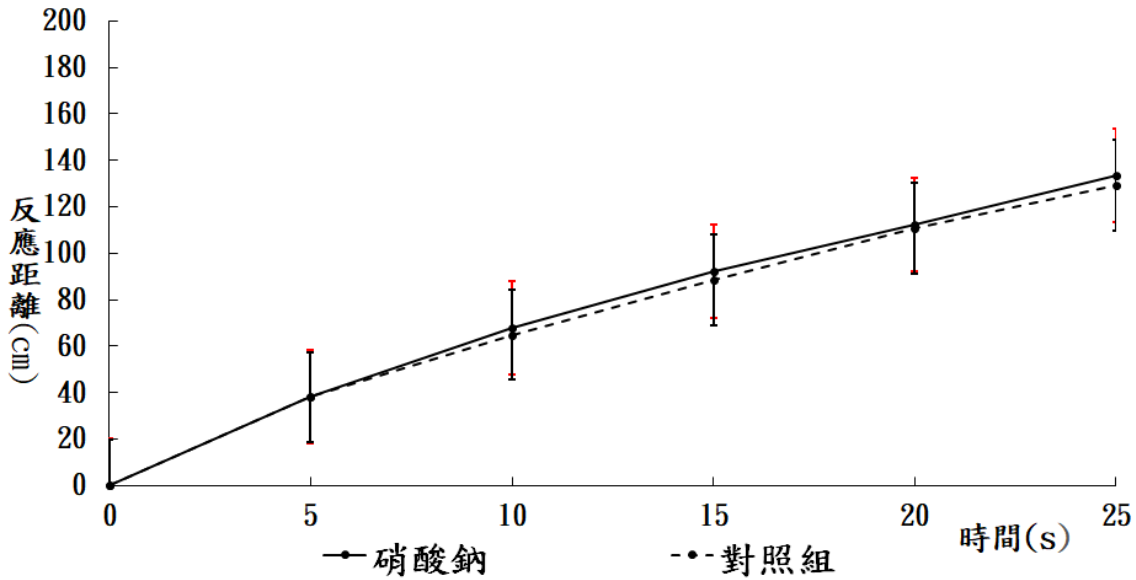
圖十 添加硫代硫酸鈉對大象牙膏反應的影響

結果說明：1. 自沐浴乳罐底到罐頂的平均初始時間為 5.00 ± 3.36 秒，反應相當劇烈。

2. 比較硫代硫酸鈉與對照組的效果，發現加入硫代硫酸鈉對大象牙膏有明顯的幫助。

3. 未加入任何輔助藥品時，大象牙膏產生的泡沫顏色為黃色，加入硫代硫酸鈉的泡沫顏色為黃色。

(四)以硝酸鈉(NaNO_3)作為輔助藥品，以不加任何輔助藥品作為對照組，實驗結果如下圖十一：

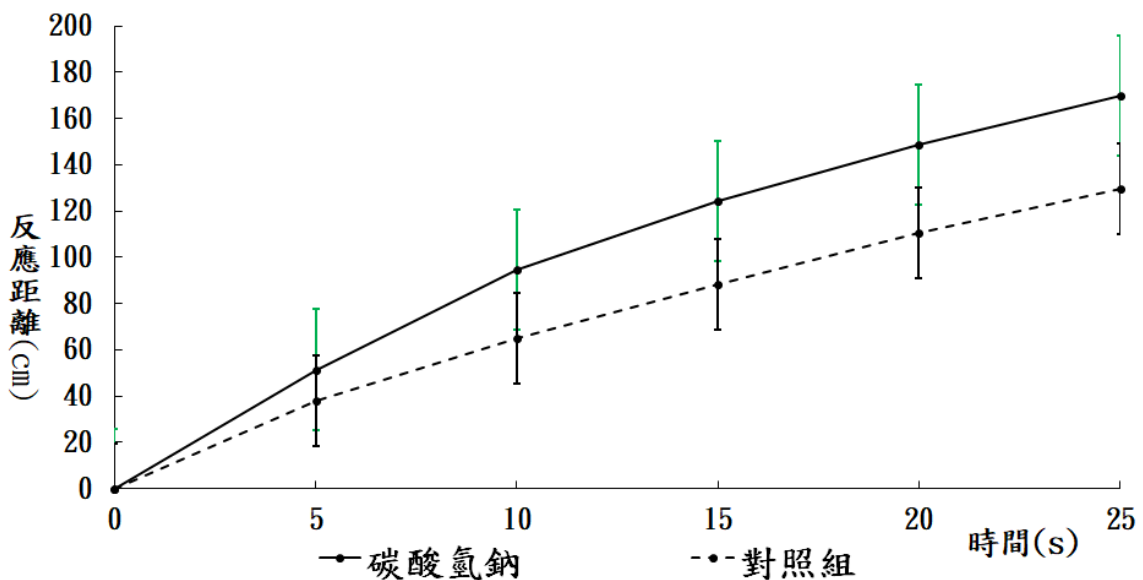


圖十一 添加硝酸鈉對大象牙膏反應的影響

- 結果說明：
1. 自沐浴乳罐底到罐頂的平均初始時間為 70.24 ± 9.55 秒。
 2. 比較硝酸鈉與對照組的效果，發現加入硝酸鈉對大象牙膏是沒有幫助的。
 3. 未加入任何輔助藥品時，大象牙膏產生的泡沫顏色為黃色，加入硝酸鈉的泡沫顏色為黃色。

(五)以碳酸氫鈉(NaHCO_3)作為輔助藥品，以不加任何輔助藥品作為對照組，實驗

結果如下圖十二：

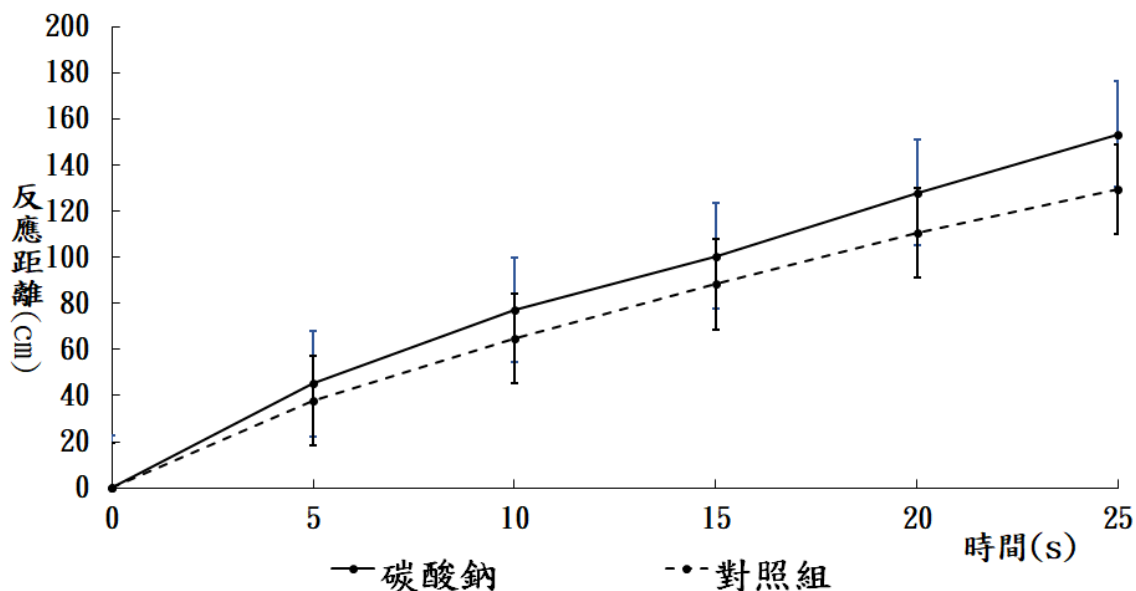


圖十二 添加碳酸氫鈉對大象牙膏反應的影響

- 結果說明：
1. 自沐浴乳罐底到罐頂的平均初始時間為 58.28 ± 8.59 秒。

2. 比較碳酸氫鈉與對照組的效果，發現加入碳酸氫鈉對大象牙膏是有幫助的。
3. 未加入任何輔助藥品時，大象牙膏產生的泡沫顏色為黃色，加入碳酸氫鈉的泡沫顏色為白色。

(六)以碳酸鈉(Na_2CO_3)作為輔助藥品，以不加任何輔助藥品作為對照組，實驗結果如下圖十三：





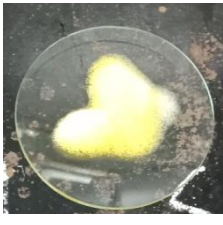



圖十三 添加碳酸鈉對大象牙膏反應的影響

- 結果說明：
1. 自沐浴乳罐底到罐頂的平均初始時間為 53.14 ± 4.73 秒。
 2. 比較碳酸鈉與對照組的效果，發現加入碳酸鈉對大象牙膏是有幫助的。
 3. 未加入任何輔助藥品時，大象牙膏產生的泡沫顏色為黃色，加入碳酸鈉的泡沫顏色為白色。

實驗二結果總結：

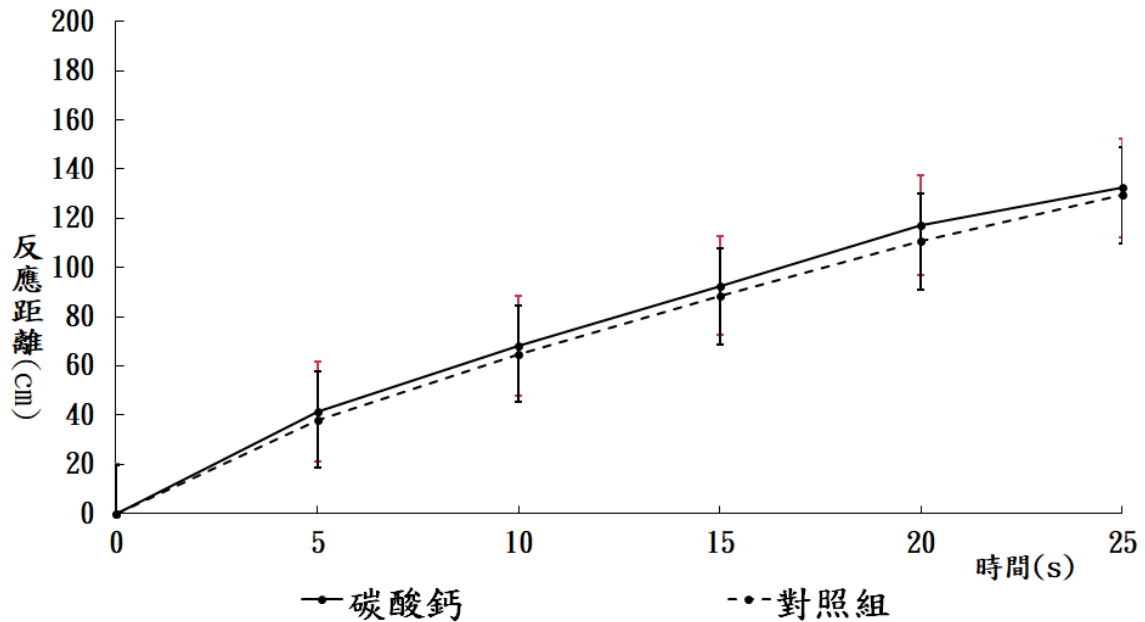
1. 在實驗鈉鹽中，從初始時間與反應距離來觀察，硫代硫酸鈉效果是最好的，硝酸鈉是最差的。
2. 效果由好到差，硫代硫酸鈉 > 硫酸鈉 > 碳酸氫鈉 > 碳酸鈉 > 氯化鈉 > 硝酸鈉。
3. 產生的泡沫顏色除了碳酸鈉和碳酸氫鈉為白色，其他藥品產生的泡沫皆為黃色，整理如下頁表五。

表五 各種實驗鈉鹽所產生大象牙膏的泡沫顏色

藥品名稱(化學式)	泡沫顏色	圖片
氯化鈉(NaCl)	黃色	
硝酸鈉(NaNO ₃)	黃色	
硫酸鈉(Na ₂ SO ₄)	黃色	
硫代硫酸鈉(Na ₂ S ₂ O ₃)	黃色	
碳酸鈉(Na ₂ CO ₃)	白色	
碳酸氫鈉(NaHCO ₃)	白色	

實驗三、探討碳酸根離子對大象牙膏的影響

(一)以碳酸鈣 (CaCO₃) 作為輔助藥品，以不加任何輔助藥品作為對照組，實驗結果如下圖十四：



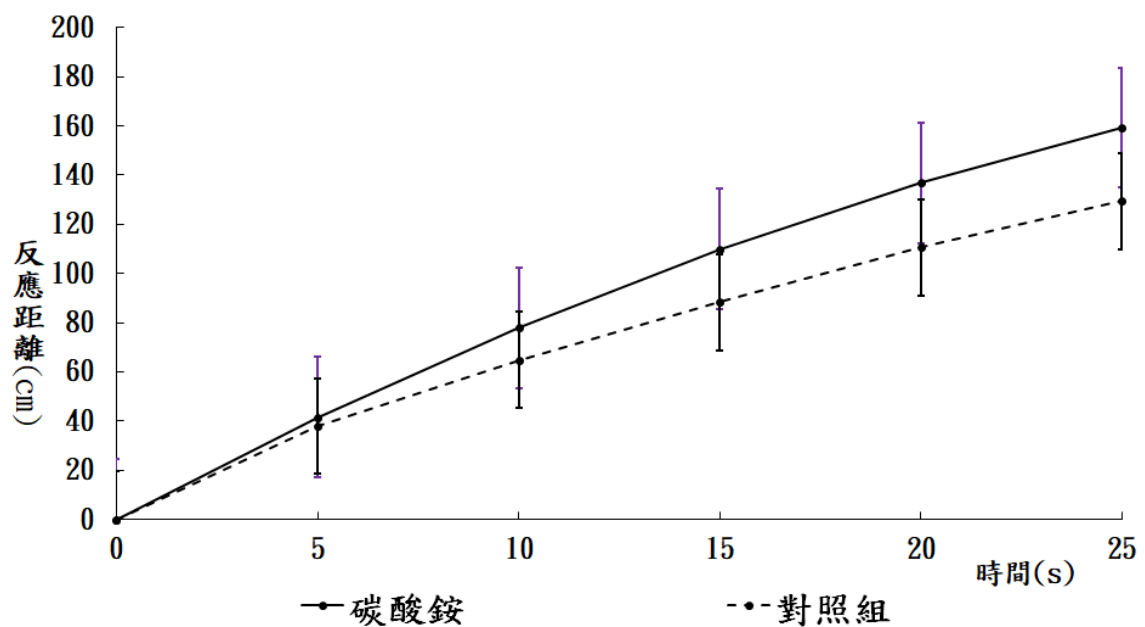
圖十四 添加碳酸鈣對大象牙膏反應的影響

結果說明: : 1. 自沐浴乳罐底到罐頂的平均初始時間為 70.22 ± 9.43 秒。

2. 比較碳酸鈣與對照組的效果，發現加入碳酸鈣對大象牙膏沒有幫助。

3. 未加入任何輔助藥品時，大象牙膏所產的泡沫顏色為黃色，而加入碳酸鈣為黃色。

(二) 以碳酸銨 ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$) 作為輔助藥品，以不加任何輔助藥品作為對照組，實驗結果如下圖十五：



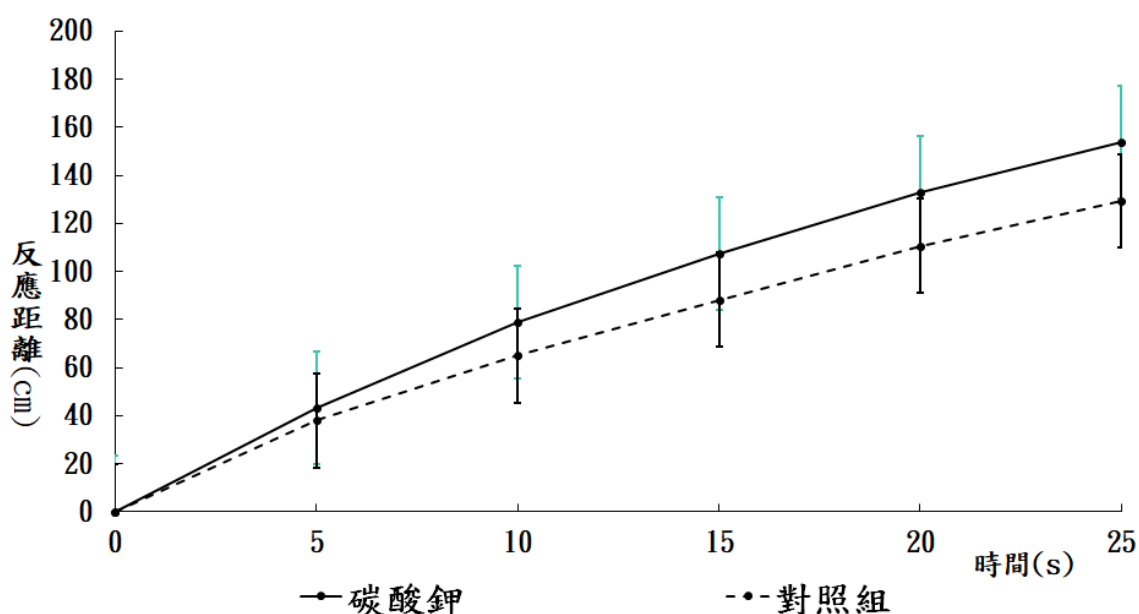
圖十五 添加碳酸銨對大象牙膏反應的影響

結果說明：1. 自沐浴乳罐底到罐頂的平均初始時間為 70.06 ± 3.46 秒。

2. 比較碳酸銨與對照組的效果，發現加入碳酸銨對大象牙膏有幫助。

3. 未加入任何輔助藥品時，大象牙膏所產的泡沫顏色為黃色，而加入碳酸鈣為黃色。

(三)以碳酸鉀 (K_2CO_3) 作為輔助藥品，以不加任何輔助藥品作為對照組，實驗結果如下圖十六：



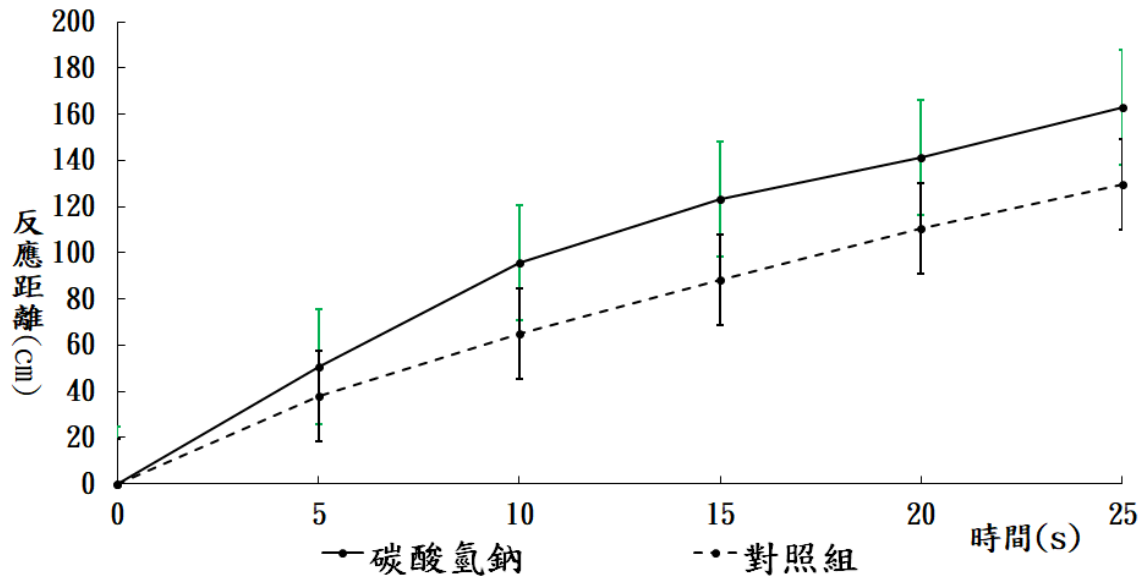
圖十六 添加碳酸鉀對大象牙膏反應的影響

結果說明：1. 自沐浴乳罐底到罐頂的平均初始時間為 50.28 ± 8.46 秒。

2. 比較碳酸鉀與對照組的效果，發現加入碳酸鉀對大象牙膏有幫助。

3. 未加入任何輔助藥品時，大象牙膏所產的泡沫顏色為黃色，而加入碳酸鉀為白色。

(四)以碳酸氫鈉 ($NaHCO_3$) 作為輔助藥品，以不加任何輔助藥品作為對照組，實驗結果如下圖十七：



圖十七 添加碳酸氫鈉對大象牙膏反應的影響

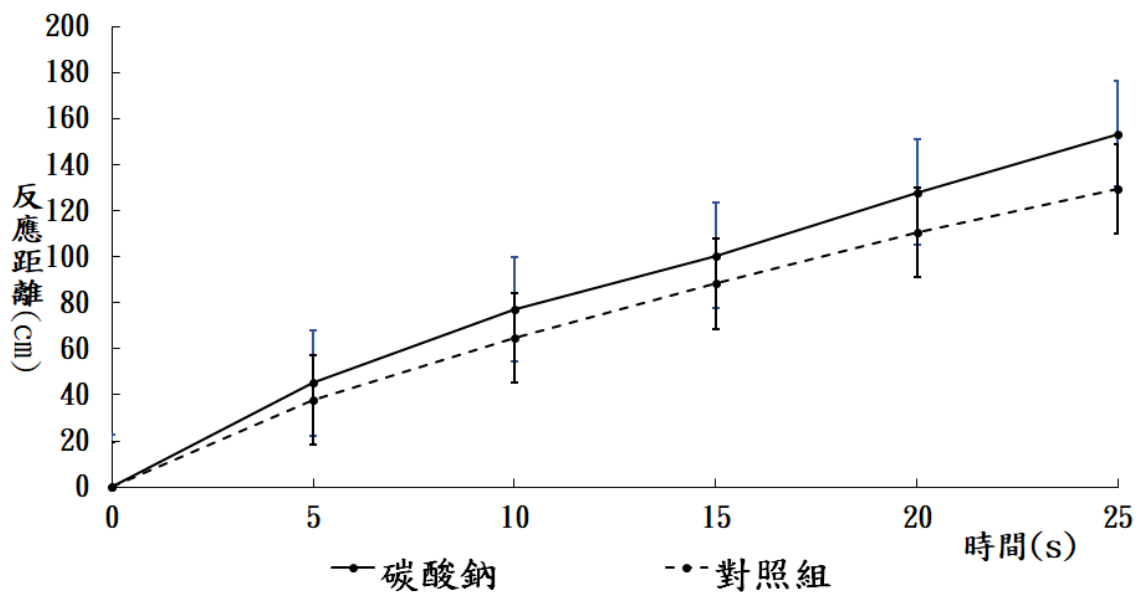
結果說明：1. 自沐浴乳罐底到罐頂的平均初始時間為 58.28 ± 8.59 秒。

2. 比較碳酸氫鈉與對照組的效果，發現加入碳酸氫鈉對大象牙膏有幫助。

3. 未加入任何輔助藥品時，大象牙膏所產的泡沫顏色為黃色，而加入碳酸氫鈉為白色。

(五)以碳酸鈉 (Na_2CO_3) 作為輔助藥品，以不加任何輔助藥品作為對照組，實驗

結果如下圖十八：



圖十八 添加碳酸鈉對大象牙膏反應的影響

結果說明：1. 自沐浴乳罐底到罐頂的平均初始時間為 53.14 ± 4.73 秒。

2. 比較碳酸鈉與對照組的效果，發現加入碳酸鈉對大象牙膏有幫助。

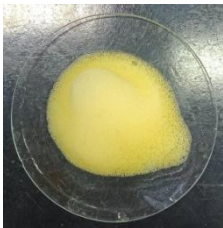




3. 未加入任何輔助藥品時，大象牙膏所產的泡沫顏色為黃色，而加入碳酸鈉為白色。

實驗三結果總結：1. 可以明顯發現其中碳酸氫鈉效果是最好的，碳酸鈣效果是最差的。

2. 效果由好到差，碳酸氫鈉 > 碳酸銨 > 碳酸鈉 > 碳酸鉀 > 碳酸鈣。

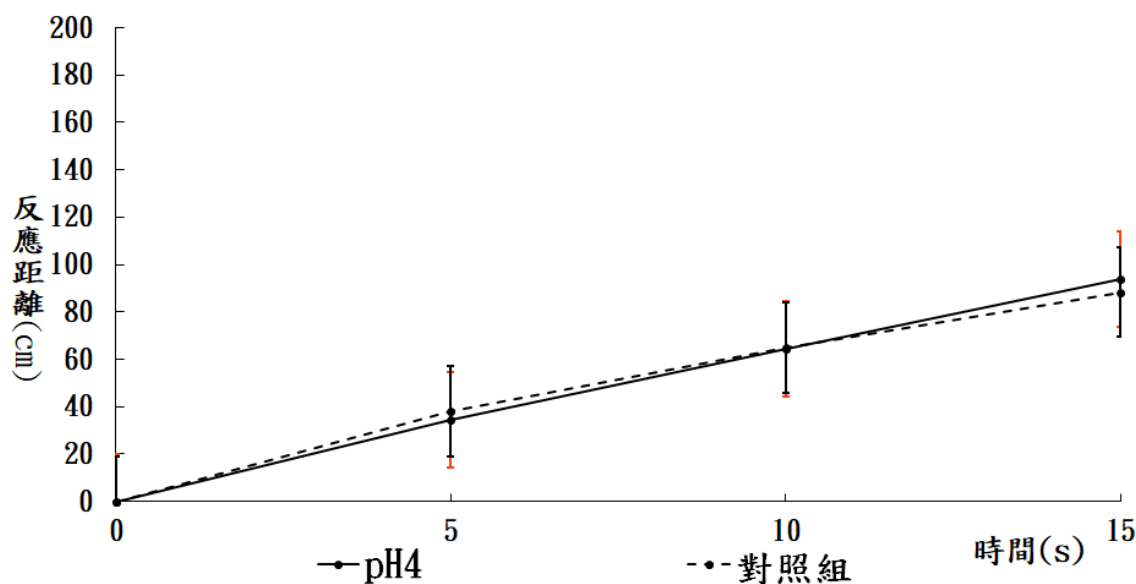
3. 除了碳酸鈉、碳酸氫鈉和碳酸鉀為白色，其他的藥品產生的泡沫顏色皆為黃色，如下頁表六。

表六 各種碳酸鹽所產生大象牙膏的泡沫顏色

藥品名稱(化學式)	泡沫顏色	圖片
碳酸鈣(CaCO_3)	黃色	
碳酸銨($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$)	黃色	
碳酸氫鈉(NaHCO_3)	白色	
碳酸鈉(Na_2CO_3)	白色	
碳酸鉀(K_2CO_3)	白色	

實驗四、探討 pH 值對大象牙膏的影響

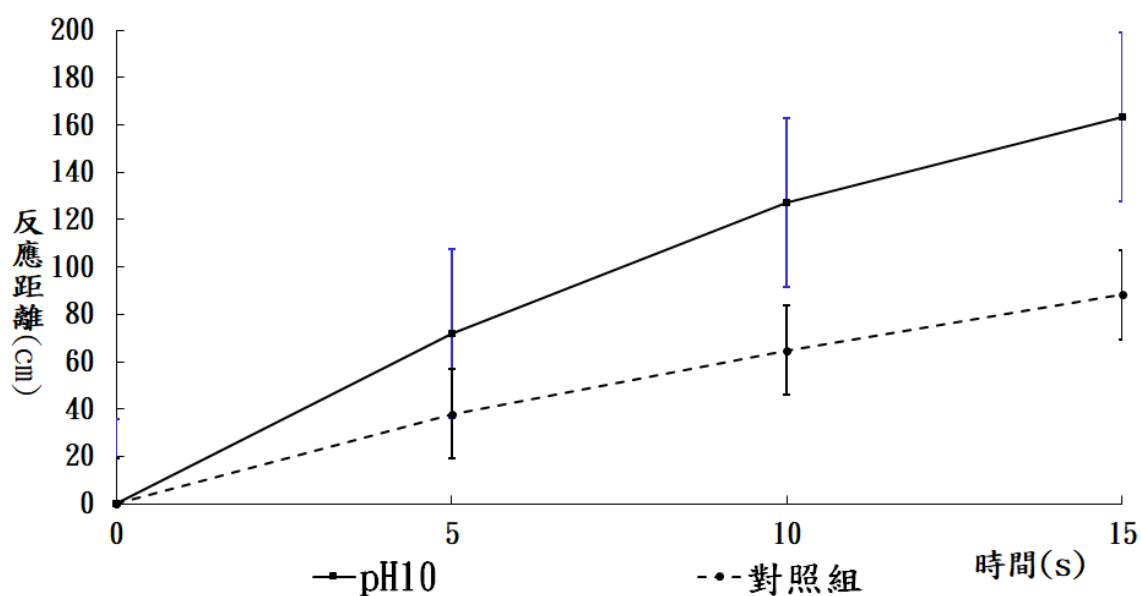
(一)以加 pH4 校正液為實驗組，以不加任何校正液作為對照組，實驗結果如下圖十九：



圖十九 添加 pH4 校正液對大象牙膏反應的影響

- 結果說明:
- 1.自沐浴乳罐底到罐頂的平均初始時間為 72.00 ± 3.74 秒。
 - 2.比較 pH4 校正液與對照組的效果，發現加入 pH4 校正液對大象牙膏沒有幫助。
 - 3.未加入校正液時，大象牙膏所產的泡沫顏色為黃色，而加入 pH4 校正液為白色。

(二)以加 pH10 校正液為實驗組，以不加任何校正液作為對照組，實驗結果如下圖二十：



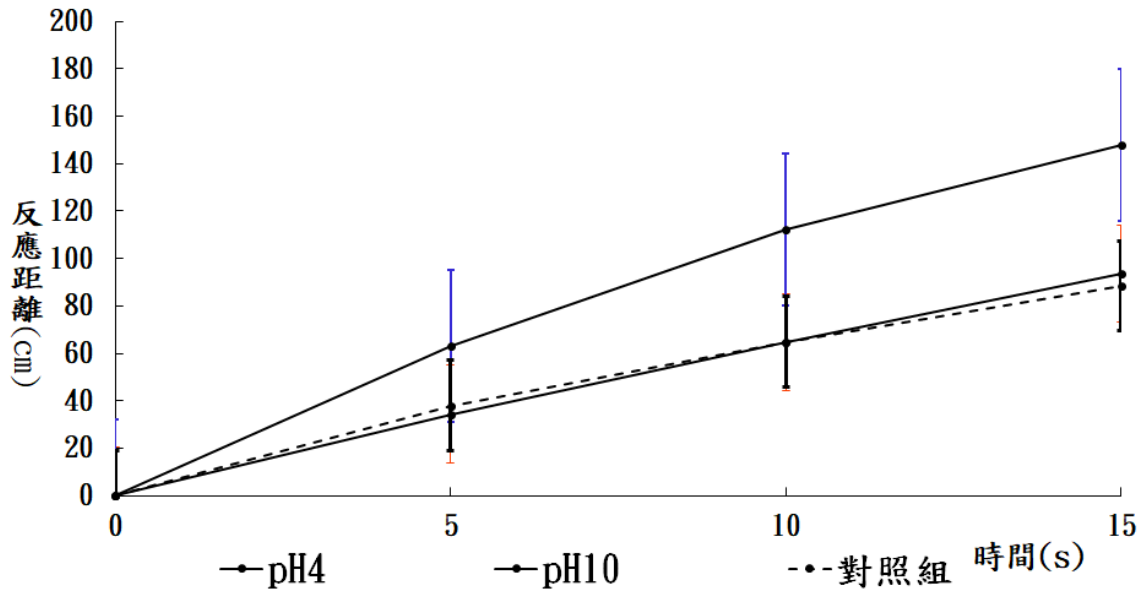
圖二十 添加 pH10 校正液對大象牙膏反應的影響

結果說明: 1.自沐浴乳罐底到罐頂的平均初始時間為 48.53 ± 11.97 秒。

2.比較 pH10 校正液與對照組的效果，發現加入 pH10 校正液對大象牙膏有明顯幫助。

3.未加入校正液時，大象牙膏所產的泡沫顏色為黃色，而加入 pH10 校正液為白色。

研究小組將兩種 pH 校正液對大象牙膏反應的影響彙整成圖二十一：



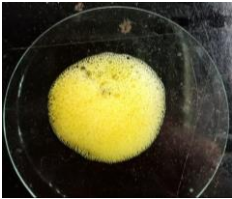

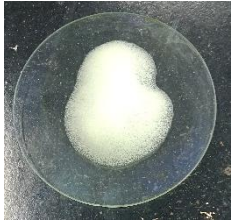
圖二十一 各 pH 值校正液對大象牙膏反應的影響

實驗四結果總結：1.可以明顯發現其中 pH10 效果是較好的，pH 值 4 效果是較差的。

2.效果由好到差，pH10 > 對照組(pH7) > pH4。

3.pH 值越接近鹼性產生的大象牙膏越白，如下表七。

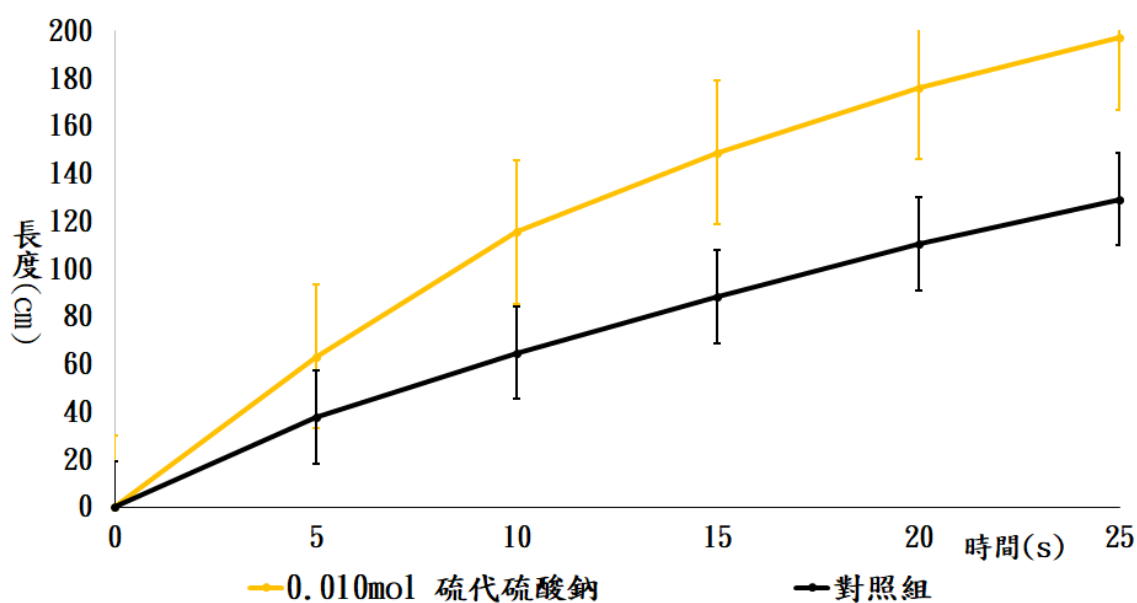
表七 各種 pH 值溶液所產生大象牙膏的泡沫顏色

pH 值	泡沫顏色	圖片
4	黃色	
7	黃色	
10	白色	

實驗五、探討藥品濃度對大象牙膏的影響

研究小組以反應效果最好的硫代硫酸鈉作為濃度探討的輔助藥品。

(一)以 0.010 mol 硫代硫酸鈉($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)作為輔助藥品，以不加任何輔助藥品作為對照組，實驗結果如下圖二十二：



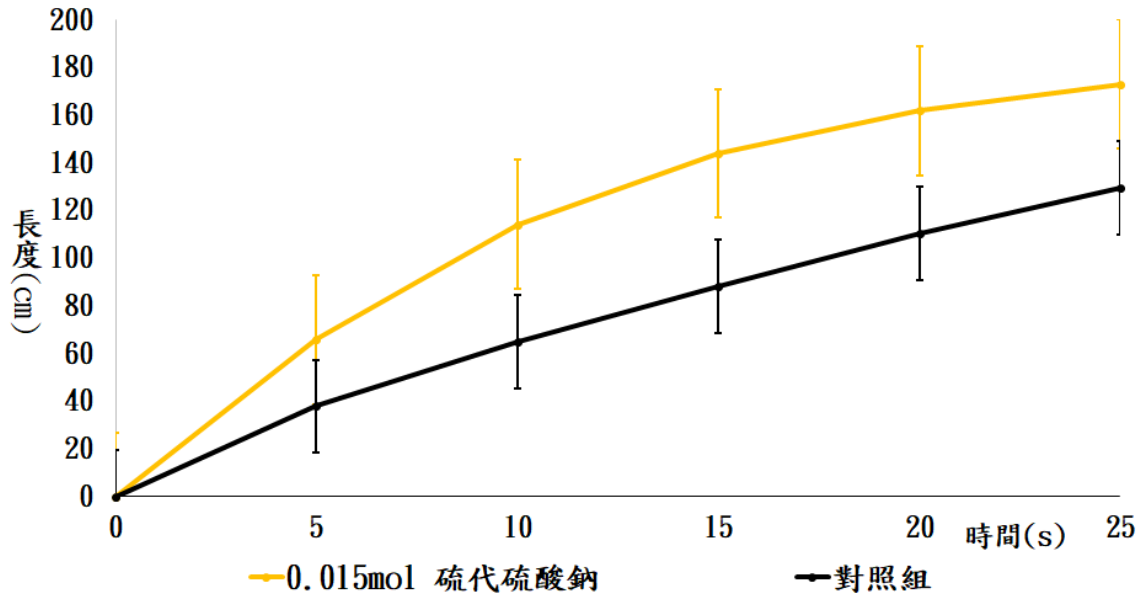
圖二十二 添加 0.010 mol 硫代硫酸鈉對大象牙膏反應的影響

結果說明: 1.自沐浴乳罐底到罐頂的平均初始時間為 48.77 ± 0.95 秒。

2.比較 0.010 mol 硫代硫酸鈉與對照組的效果，發現加入 0.010 mol 硫代硫酸鈉對大象牙膏有幫助。

3.未加入輔助藥品時，大象牙膏所產的泡沫顏色為黃色，而加入 0.010 mol 硫代硫酸鈉為黃色。

(二)以 0.015 mol 硫代硫酸鈉($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)作為輔助藥品，以不加任何輔助藥品作為對照組，實驗結果如下圖二十三：



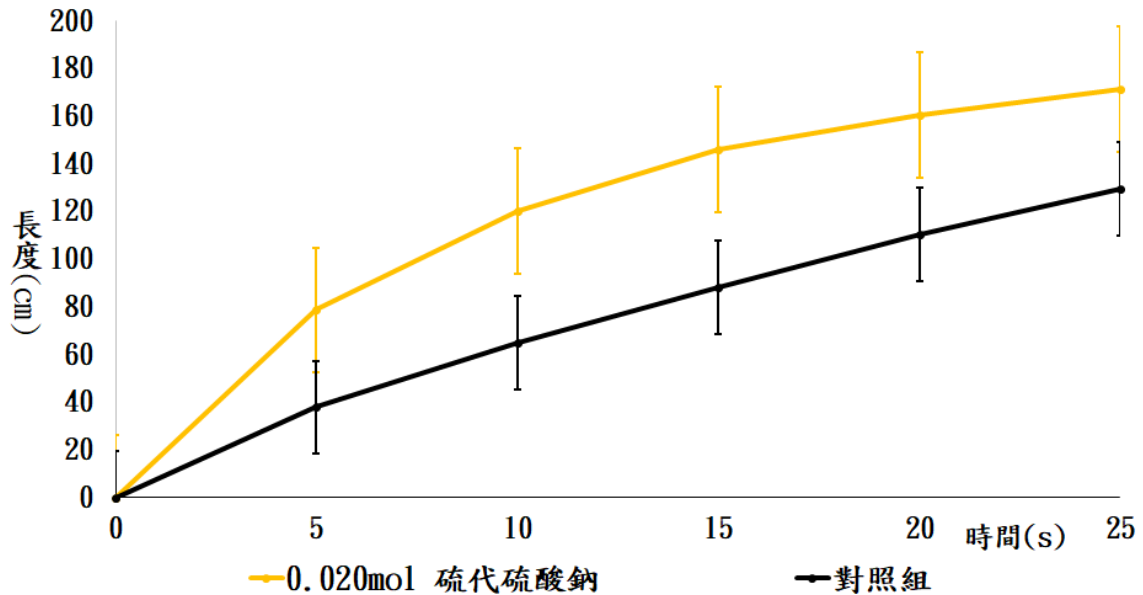
圖二十三 添加 0.015 mol 硫代硫酸鈉對大象牙膏反應的影響

結果說明: 1.自沐浴乳罐底到罐頂的平均初始時間為 29.56 ± 4.16 秒。

2.比較 0.015 mol 硫代硫酸鈉與對照組的效果，發現加入 0.015 mol 硫代硫酸鈉對大象牙膏有幫助。

3.未加入輔助藥品時，大象牙膏所產的泡沫顏色為黃色，而加入 0.015 mol 硫代硫酸鈉為黃色。

(三)以 0.020 mol 硫代硫酸鈉($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)作為輔助藥品，以不加任何輔助藥品作為對照組，實驗結果如下圖二十四：



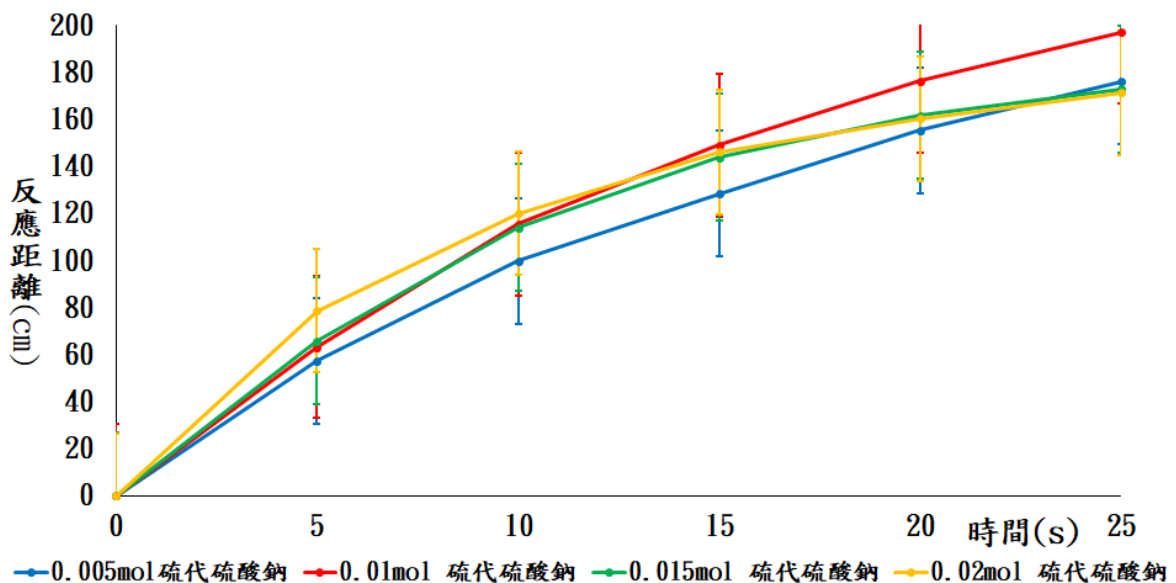
圖二十四 添加 0.020 mol 硫代硫酸鈉對大象牙膏反應的影響

結果說明:1.自沐浴乳罐底到罐頂的平均初始時間為 23.19 ± 1.42 秒。

2.比較 0.020 mol 硫代硫酸鈉與對照組的效果，發現加入 0.020 mol 硫代硫酸鈉對大象牙膏有幫助

3.未加入輔助藥品時，大象牙膏所產的泡沫顏色為黃色，而加入 0.020 mol 硫代硫酸鈉為黃色。

研究小組將各濃度硫代硫酸鈉對大象牙膏反應的影響彙整成圖二十五:



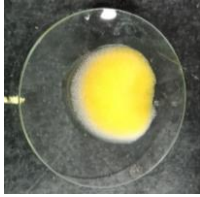
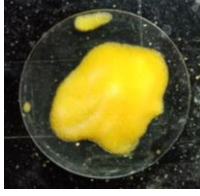
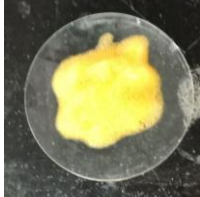
圖二十五 各濃度硫代硫酸鈉對大象牙膏反應的影響

實驗五結果總結：1.硫代硫酸鈉在不同濃度下對大象牙膏反應距離的影響差不多。

2.自沐浴乳罐底到罐頂的平均初始時間： $0.005\text{mol} < 0.02\text{mol} < 0.015\text{mol} < 0.01\text{mol}$ 。

3.硫代硫酸鈉在不同濃度產生的大象牙膏皆為黃色，如下表八。

表八 各種濃度的硫代硫酸鈉和硝酸鈉所產生大象牙膏的泡沫顏色

藥品名稱(化學式)	相同體積下溶質的莫耳數	泡沫顏色	圖片
硫代硫酸鈉 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)	0.010 mol	黃色	
	0.015 mol	黃色	
	0.020 mol	黃色	

柒、討論

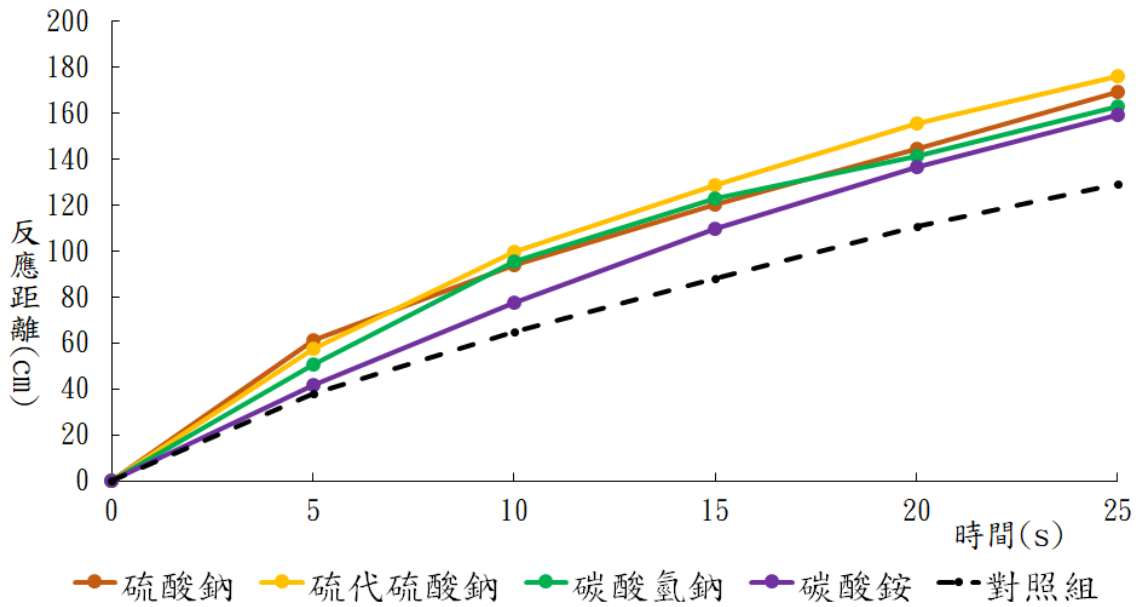
一、加入碳酸鈉是否對大象牙膏有幫助

從圖七可發現加入碳酸鈉的效果比對照組好。

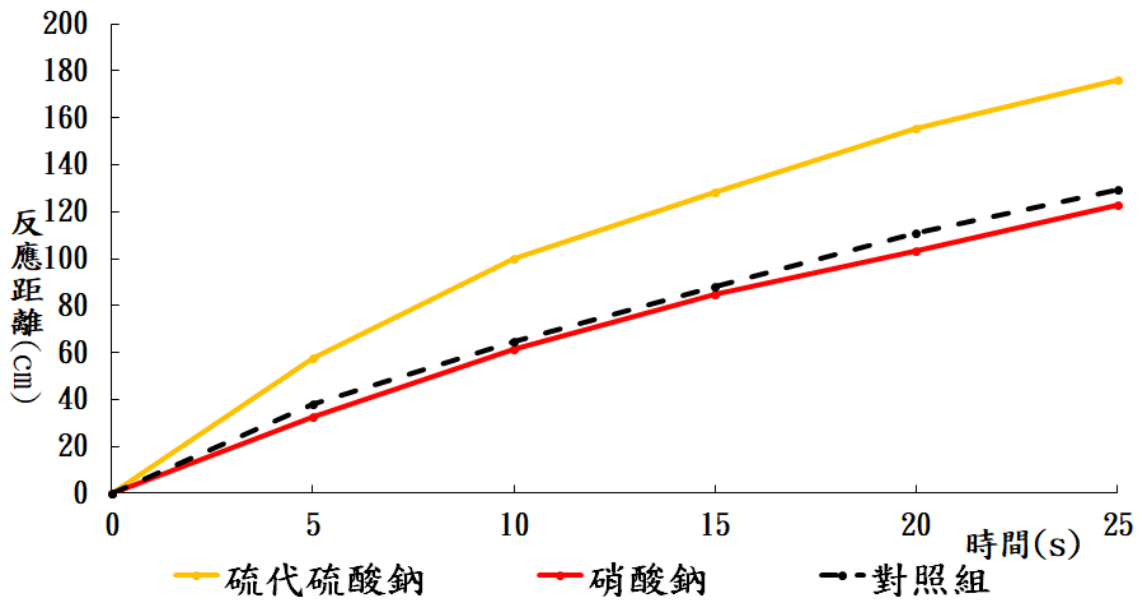
研究小組在網路上找到許多大象牙膏的實驗步驟(倪行健, 民 104 年; 3D 有趣實驗: 大象牙膏, <https://reurl.cc/DK3IE>; 神奇的阿拉丁燈---過氧化氫的分解反應, <https://reurl.cc/kMEob>), 皆提到要加入碳酸鈉。但研究小組搜尋相關的科展作品, 卻發現對於雙氧水在碘化鉀的催化下, 加入輔助藥品的相關研究闕如, 似乎加入碳酸鈉已成為大象牙膏的共識, 但真的碳酸鈉無可取代嗎? 從本研究的結果發現, 硫代硫酸鈉($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)、硫酸鈉(Na_2SO_4)、碳酸氫鈉(NaHCO_3)、碳酸銨($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$)皆比碳酸鈉的效果好。

二、鈉離子和碳酸根離子對大象牙膏的影響

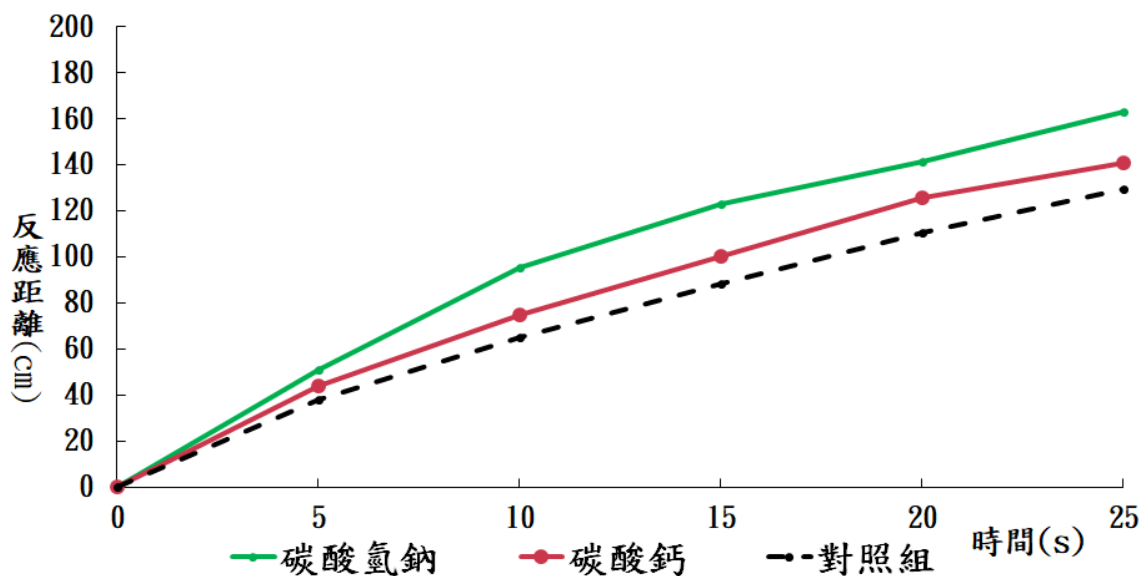
將實驗二中鈉鹽效果最好的前兩名(硫代硫酸鈉、硫酸鈉)及實驗三中碳酸鹽效果最好的前兩名(碳酸氫鈉、碳酸銨)與對照組進行比較, 發現具有明顯差距, 如圖二十六, 推測這四種藥品皆可幫助大象牙膏反應, 但如果鈉離子或碳酸根離子為主要影響因素, 兩種鹽類中各種輔助藥品的效果應該差不多, 但比較鈉鹽和碳酸鹽兩鹽類中效果最好及最差的輔助藥品, 可以發現明彼此間是有明顯差距, 如圖二十七及圖二十八, 研究小組推論鈉離子和碳酸根離子並不是影響大象牙膏的主要因素。



圖二十六：比較實驗用鈉鹽和碳酸鹽輔助藥品效果最好的前兩名對大象牙膏反應的影響



圖二十七 實驗用鈉鹽效果最好及最差的輔助藥品對大象牙膏反應的影響

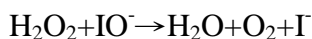
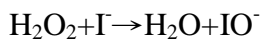


圖二十八 實驗用碳酸鹽效果最好及最差的輔助藥品對大象牙膏反應的影響

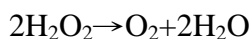
三、大象牙膏中的所有反應式

研究小組摘錄「大象牙膏」變成「碘沖天炮」(倪行健, 民 104 年)一文中關於大象牙膏相關的反應式如下：

(一)過氧化氫的分解反應式(以碘離子催化)



總反應式：



過氧化氫在常溫下分解速率不快，但可藉由碘離子當作催化劑，來產生大量氧氣與水。

(二)碘離子的氧化與還原

1. 碘離子氧化成碘分子

在酸性環境下，碘離子會與過氧化氫進行氧化還原反應，反應式如下：

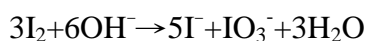
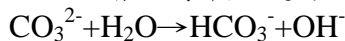


碘分子並無催化作用，導致反應無法繼續進行，且因為碘分子在濃度低時呈黃色，會使大象牙膏呈黃色。

2. 碘分子還原成碘離子

實驗步驟中會加入碳酸鈉，是因為碳酸鈉在溶解時呈弱鹼性，且在鹼性環境下，

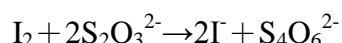
碘分子會自身氧化還原成碘離子，反應式如下：



四、硫代硫酸根離子及硫酸根離子對碘離子的影響

(一) 硫代硫酸根離子對碘離子的影響

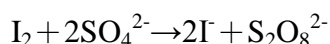
比較實驗(二)及實驗(三)，硫代硫酸鈉效果最好，推測原因，可能是因為硫代硫酸根也能還原碘分子，研究小組在網路上找到一篇關於碘鐘反應的文章:碘鐘實驗-碘鐘交響曲(魏景怡等，民 105 年)，其中提到硫代硫酸根離子可以還原碘分子，反應式如下：



從反應式得知，硫代硫酸根也能還原碘分子，所以硫代硫酸鈉的效果最好，是因為能將更多的碘分子還原，更有利於雙氧水分解。

(二) 硫酸根離子對碘離子的影響

比較實驗(二)及實驗(三)，硫酸鈉效果第二好，推測可能是硫酸根也能還原碘分子，但效果較硫代硫酸根離子差。在碘鐘實驗-碘鐘交響曲(魏景怡等，民 105 年)一文中也提到硫酸根離子可以還原碘分子，反應式如下：



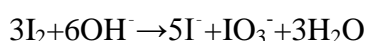
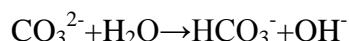
從反應式得知，硫酸根也能還原碘分子，所以硫酸鈉的效果好(效果較硫代硫酸鈉差)，是因為能將更多的碘分子還原，更有利於雙氧水分解。

五、比較各種根離子的功能性對大象牙膏的影響

將輔助藥品的實驗結果以理論分類，可以分成以下三類：

(一) 第一類：解離出氫氧根離子，使碘分子自身氧化還原：

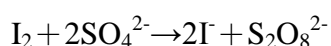
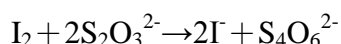
碳酸根離子對大象牙膏影響的反應式：



可以看出，碳酸根離子會與水化合後解離出氫氧根離子，再利用氫氧根離子使碘分子自身氧化還原成碘離子，輔助藥品中除了碳酸鈣(因為難溶於水，所以水溶液呈中性)的碳酸鹽皆屬與此類，有碳酸鈉、碳酸鉀、碳酸氫鈉與碳酸銨。

(二) 第二類：當作還原劑，還原碘分子：

根據「碘鐘實驗-碘鐘交響曲」(魏景怡等，民 105 年)一文指出，碘分子會與硫代硫酸根離子或硫酸根離子進行氧化還原反應，最後還原成碘離子，兩反應式如下：



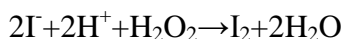
輔助藥品中的硫代硫酸鈉和硫酸鈉皆屬與此類。

(三) 第三類：既不解離出氫氧根離子，也沒辦法還原碘分子：

如果輔助藥品屬於中性鹽，而其陰離子(或陰離子團)也不能還原碘分子，效果會最差，碳酸鈣、硝酸鈉和氯化鈉皆屬與此類。

(四) 比較第一類及第二類對大象牙膏效果的影響：

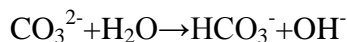
依照化學計量，係數比=莫耳數比：



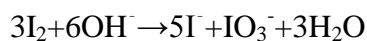
碘離子為限量試劑，碘離子與碘分子的係數比為 2：1，假設完全反應，則 0.005 莫耳的碘離子可產生 0.0025 莫耳的碘分子。

1. 第一類能還原碘分子的莫耳數

依照化學計量，係數比=莫耳數比：



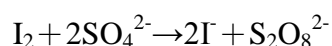
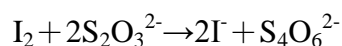
假設完全反應，碳酸根離子與氫氧根離子的係數比為 1：1，則 0.005 莫耳的碳酸鈉可解離出 0.005 莫耳的氫氧根離子。



假設完全反應，氫氧根離子與碘離子的係數比為 6：5，則 0.005 莫耳的氫氧根離子可還原成約 0.004 莫耳的碘離子，也就是 0.005 莫耳的碳酸根離子最後可使 0.0025 莫耳的碘分子還原成約 0.004 莫耳的碘離子。但因為碳酸鹽僅部分解離出氫氧根離子，所以實際還原的碘離子會比理論值還小。

2. 第二類能還原碘分子的莫耳數

依照化學計量，係數比=莫耳數比：



假設完全反應，硫代硫酸根離子與碘離子和硫酸根離子與碘離子的係數比為 1：1，則 0.005 莫耳硫代硫酸根離子或硫酸根離子最後可使 0.0025 莫耳的碘分子還原成 0.005 莫耳的碘離子。

從 1、2 的計算結果可看出，第一類輔助藥品及第二類輔助藥品最後還原成的碘離子莫耳數差不多，但因為碳酸鹽僅部分解離出氫氧根離子，所以第二類輔助藥品的效果才會比第一類輔助藥品的效果好。

綜合上述推論，各種輔助藥品對大象牙膏的影響好壞依序為：

第二類（硫代硫酸鈉、硫酸鈉）> 第一類（碳酸鈉、碳酸鉀、碳酸氫鈉、碳酸銨）> 第三類（硝酸鈉、氯化鈉、碳酸鈣），發現實驗結果與理論相符。

六、大象牙膏泡沫的顏色與溶液顏色的關係

因為碘分子在濃度低時呈黃色，會使大象牙膏所產生的泡沫呈黃色，而碘離子則是透明無色(倪行健，民 104 年)。研究小組推測，因為只有碘離子能催化過氧化氫分解成氧氣，碘分子不行，所以泡沫越偏白色，碘離子越多，催化能力較強，效果較好；泡沫越偏黃色，碘分子越多，催化能力較差，效果較差。這樣的理論和本實驗的氣泡顏色結果不太符合，研究小組對此充滿疑惑，期待未來能再深入研究。

七、pH 值對大象牙膏的影響

從圖二十一可看出，pH 值對大象牙膏的影響為鹼性>中性>酸性

研究小組在網路上找到許多科展作品，皆有探討 pH 值對過氧化氫分解速率的影響，也都有不一樣的結果，研究小組將各結果整理如下表九：

表九 各篇科展作品中探討 pH 值對過氧化氫分解速率的影響

篇名	作者	內容
e 世代的製氧法 (民 91 年)	游巖舜、陳俊成、顏煜洋、 黃智揚	探討以碘化鉀為催化劑，在不同 pH 值(2.5、5.5、7.5)過氧化氫水溶液中，O ₂ 產生速率，酸性水溶液中 O ₂ 產生速率較快
快氧加鞭—催生一對 氧！(民 103 年)	賴品任、鐘晨瑋、張慶驊	探討碘化鉀在不同 pH 值(3、5、7、9、11)水溶液下的催化效果，催化效果鹼性>酸性>中性
催化！氧化！KI 與雙氧 水的反應探討(民 103 年)	董芮妤、黃姿綸、黃俊凱	在不同酸鹼度對碘化鉀分解過氧化氫反應氧氣產生總壓力及產生速率，均為酸 (pH=3.8) >pH=7.8>鹼 (pH=13)

八、實驗中選用 0.005 莫耳藥品的意義

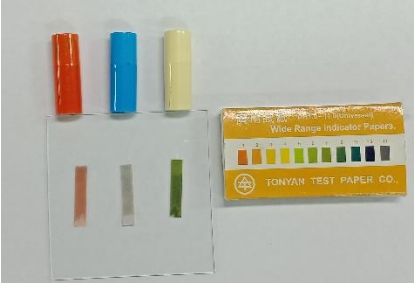



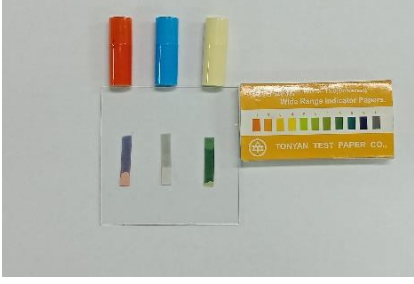
一開始做實驗時因為碘化鉀加太多，導致反應速率及快，大象牙膏所產生的泡沫在短時間內即超出透明塑膠管，因而沒辦法量化數據，所以研究小組不斷降低碘化鉀的莫耳數，最後使用 0.005 莫耳的碘化鉀，輔助藥品使用 0.005 莫耳，才能在所需要的時間內獲得有效的數據。

九、各種輔助藥品的酸鹼值對大象牙膏的影響

因為鹼性環境下有利於過氧化氫分解，所以輔助藥品的 pH 值理應會影響大象牙膏的效果。研究小組測量各輔助藥品水溶液的 pH 值，結果如下表十：

除了當作碘分子還原劑的第一類輔助藥品(硫酸鈉和硫代硫酸鈉)外，如果輔助藥品水溶液呈鹼性，大象牙膏的效果越好，所以對大象牙膏的效果，鹼性輔助藥品(碳酸鈉、碳酸鉀、碳酸氫鈉、碳酸銨)>中性輔助藥品(硝酸鈉、氯化鈉、碳酸鈣)。

表十 各輔助藥品水溶液的 pH 值

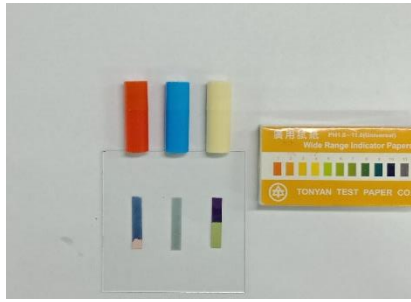
藥品名稱(化學式)	pH 值	照片	本研究之結果
氯化鈉(NaCl)	中性		中性鹽效果較差，與理論相符。
硝酸鈉(NaNO ₃)	中性		中性鹽效果較差，與理論相符。
硫酸鈉(Na ₂ SO ₄)	中性		雖然是中性鹽，但因為可以當碘分子的還原劑，效果較鹼性鹽及中性鹽好。
硫代硫酸鈉(Na ₂ S ₂ O ₃)	中性		雖然是中性鹽，但因為可以當碘分子的還原劑，效果較鹼性鹽及中性鹽好。
碳酸氫鈉(NaHCO ₃)	鹼性		鹼性鹽效果較好，與理論相符。

續下頁

表十 各輔助藥品水溶液的 pH 值(續)

碳酸鈉(Na_2CO_3)

鹼性



鹼性鹽效果較好，與理論相符。

碳酸鈣(CaCO_3)

中性



中性鹽（難溶於水）效果較差，與理論相符。

碳酸銨($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$)

鹼性



鹼性鹽效果較好，與理論相符。

碳酸鉀(K_2CO_3)

鹼性



鹼性鹽效果較好，與理論相符。

捌、結論

- 一、加入碳酸鈉對大象牙膏的效果確實有幫助。
- 二、鈉離子不是影響大象牙膏效果的主要因素，需視鈉鹽的種類而定，添加硫代硫酸鈉和硫酸鈉對大象牙膏反應效果明顯較佳，但添加氯化鈉、硝酸鈉是沒有明顯效果的。硫代硫酸鈉和硫酸鈉因為可以當碘分子的還原劑，效果會較其他鹼性鹽及中性鹽好。
- 三、碳酸根離子也不是影響大象牙膏效果的主要因素，需視碳酸鹽的種類而定。鹼性碳酸鹽因為能與水化合出氫氧根離子，所以對大象牙膏的效果會有幫助，但屬於中性且難溶於水的碳酸鈣則對大象牙膏是沒有幫助的。
- 四、pH 值是影響大象牙膏效果的主要因素，對大象牙膏的影響如下：鹼性(pH10)>中性(pH7)>酸性(pH4)。
- 五、輔助藥品的濃度對大象牙膏效果的影響有限。

玖、未來展望

- 一、因為受限於時間的關係，研究小組只探討了 pH 值 4、7、10 對大象牙膏的影響，希望之後能探討各種 pH 值對大象牙膏的影響。
- 二、受限於時間的關係，研究小組只探討了鈉鹽和碳酸鹽對大象牙膏的影響，希望之後能探討各種鹽類大象牙膏的影響，並找出最好的輔助藥品。
- 三、研究小組在濃度的探討上只探討了效果最好的硫代硫酸鈉對大象牙膏的影響，希望未來能繼續探討各種輔助藥品濃度對大象牙膏的影響。
- 四、關於泡沫顏色的問題，研究小組還沒找到合理的解釋，對此仍充滿疑惑，期待未來能再深入研究。

拾、參考文獻

- 一、倪行健。民 104 年。「大象牙膏」變成「碘沖天泡」。民 108 年 3 月 30 日，取自：臺灣化學教育網頁：<https://reurl.cc/74p4b>。
- 二、游崑舜、陳俊成、顏煜洋、黃智揚。民 91 年。e 世代的製氧法。取自：中華民國第 42 屆中小學科學展覽會。
- 三、董芮妤、黃姿綸、黃俊凱。民 103 年。催化！氧化！KI 與雙氧水的反應探討。取自：中華民國第 39 屆中小學科學展覽會。
- 四、賴品任、鐘晨瑋、張慶驊。民 103 年。快氧加鞭—催生一對氧！。取自：中華民國第 39 屆中小學科學展覽會。
- 五、3D 有趣實驗：大象牙膏(無日期)。民 108 年 3 月 30 日，取自：高瞻科學教育平台科學 Online 網頁：<https://reurl.cc/DK3IE>。
- 六、公共電視 流言追追追 061 放屁蟲與大象牙膏(無日期)。民 108 年 3 月 30 日，取自：YouTube：<https://reurl.cc/oV2vM>。
- 七、神奇的阿拉丁燈---過氧化氫的分解反應(無日期)。民 108 年 3 月 30 日，取自：國立彰化師範大學網頁：<https://reurl.cc/kMEob>。
- 八、碘鐘實驗-碘鐘交響曲(無日期)。民 108 年 3 月 30 日，取自：台灣大學化學系網頁：<https://reurl.cc/bD2eE>。