

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 化學科

第三名

080213

捕碳成鈣 鈉麼厲害

學校名稱：臺南市東區復興國民小學

| | |
|---------------------------------------|-------------------------|
| 作者： 小六 陳品安 小六 張可楹 小六 李柚論 | 指導老師： 蔡佳錚 李孟娟 |
|---------------------------------------|-------------------------|

關鍵詞：二氧化碳吸收液、碳酸鈣結晶、氫氧化物

摘要

為了回收二氧化碳，成為有價值的產物。本研究建立以**化學吸收液**捕捉二氧化碳，並生成**碳酸鈣**的流程。在吸收液吸收二氧化碳後的反應液中加入含鈣液，替換出碳酸鈣。以**沉澱法**、**空氣柱法**探討捕捉二氧化碳的化學吸收液特性，以**變色法**驗證吸收原理。以**光阻法**測量含鈣液的替換效果，並以吸收速率、吸收量、沉澱量、還原率，找出**最佳吸收液**。結果發現，以**氫氧化鈉**與二氧化碳產生酸鹼反應的方法固碳，再加入**氫氧化鈣**替換出**碳酸鈣**，並同時**還原**吸收液，循環利用，是二氧化碳捕捉再利用的好方法，不需要額外能量就能將二氧化碳轉換成**碳酸鈣**。最後研發捕碳成鈣循環裝置，包含二氧化碳吸收槽，替換沉澱槽、吸收液還原槽，展示了在生活中捕碳成鈣的應用潛力。

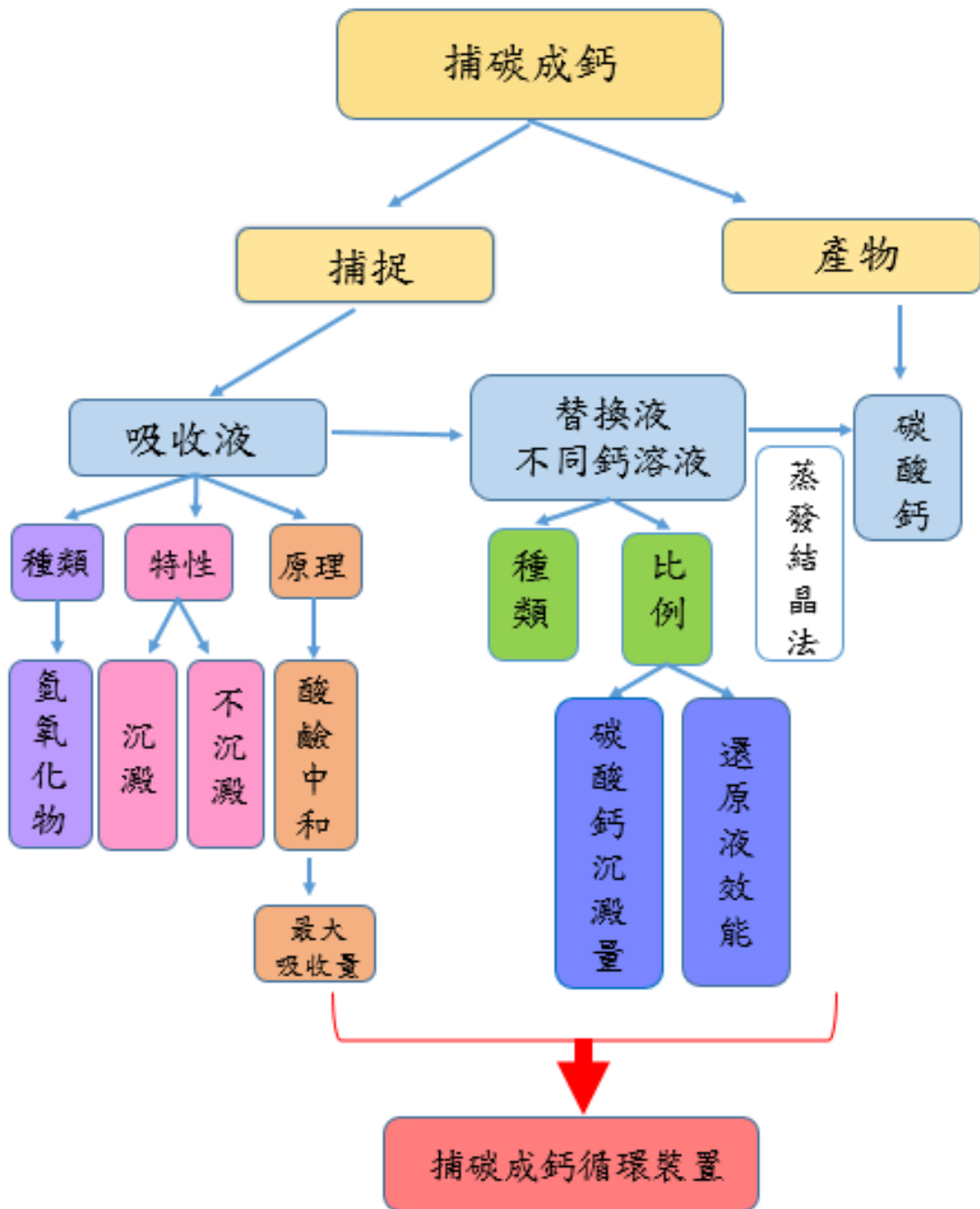
壹、研究動機

2021 年我國中央研究院環境變遷研究中心對台灣氣候變遷提出警訊，**台灣過去 110 年的年均溫上升攝氏 1.6 度，已高於全球的 1.07 度**。若不節制溫室氣體的碳排放量，可能「2060 年時就完全沒有冬天！」。二氧化碳的捕獲、封存與再利用是國際能源總署認為最重要的減碳技術之一，能夠捕獲二氧化碳並以工業化的方式將其**轉化成其他產品的原料**，那麼「二氧化碳就是有用的資源，不再是地球的累贅」。我們想到五年級自然課學過，在氫氧化鈣溶液中吹入二氧化碳會產生混濁，那是**碳酸鈣**沉澱，碳酸鈣容易結晶析出，且在工業上有很多用途。本研究想探討是否有**更適合吸收二氧化碳的水溶液**，可以將二氧化碳回收再利用，成為有價值的碳酸鈣產物。

貳、研究目的

- 一、探究可以捕捉二氧化碳的**化學吸收液特性**
 - (一) 以**沉澱法**測試不同溶液對二氧化碳的吸收情形
 - (二) 以**空氣柱法**比較不同吸收液對二氧化碳的吸收情形
 - (三) 以**不同基準**比較氫氧化鈉與氫氧化鉀的吸收速率
 - (四) 驗證二氧化碳吸收液的**吸收原理**並測量**飽和吸收量**
- 二、探究**氫氧化物**捕捉二氧化碳形成**碳酸鈣**的方法
 - (一) 從反應液替換出碳酸鈣的**最佳含鈣液**
 - (二) 從反應液替換出碳酸鈣的**氫氧化鈣比例**
 - (三) 替換後的**還原液循環利用**的效果
 - (四) **提升**還原液循環利用效果
 - (五) 提取碳酸鈣的方式
- 三、捕捉二氧化碳形成碳酸鈣的應用
 - (一) 建立二氧化碳捕捉成鈣的**流程**
 - (二) 研發**捕碳成鈣循環裝置**

參、研究架構圖



肆、研究原理

一、CO₂捕捉的化學吸收法:

利用化學吸收液與 CO₂產生碳酸化反應進行捕捉二氧化碳，並產生碳酸鹽產物。

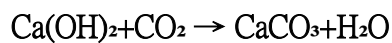
(一).本研究使用的氫氧化物吸收液的特性如下表：

| 化學吸收劑種類 | 特性 | |
|---------|------------------|-------------|
| | 溶解度 | 廣用酸鹼指示劑變色情形 |
| 氫氧化鈉 | 111 公克/100 mL | 紫色 |
| 氫氧化鉀 | 110 公克/100mL | 紫色 |
| 氫氧化鈣 | 0.185 公克/100mL | 深藍色 |
| 氫氧化鎂 | 0.0012 公克/100 mL | 青藍色 |

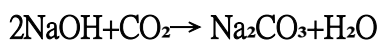
由於氫氧化鈉和氫氧化鉀的溶解度很高，而且鹼性強，本研究用少量克數(1 公克、2 公克)來配製水溶液。而氫氧化鈣和氫氧化鎂的溶解量很低，所以用飽和溶解量來配製這兩種水溶液。

(二)、本研究的氫氧化物吸收液與 CO₂ 碳酸化的化學反應式

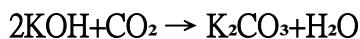
1.氫氧化鈣:



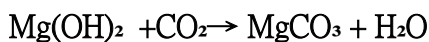
2.氫氧化鈉:



3.氫氧化鉀:

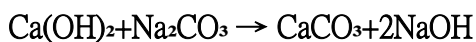


4.氫氧化鎂:

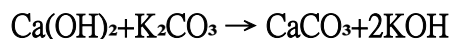


(三)、氫氧化鈣替換其他碳酸鹽，形成碳酸鈣的化學反應式

1.氫氧化鈣替換碳酸鈉:



2.氫氧化鈣替換碳酸鉀:



二、碳酸鈣

(一) 介紹與用途

碳酸鈣是一種常見的化學物質，化學式為 CaCO_3 。廣泛存在於自然界中，如石灰石、大理石和貝殼中。極不溶於水，會有沉澱產生。呈現白色粉末狀或結晶。

常見的用途：

1. 在藥品製造，如鈣補充劑
2. 在農業上，如碳酸鈣被用作土壤改良劑，調節土壤酸鹼度
3. 在環保工業上，碳酸鈣也被用於二氧化碳捕捉和碳循環等環保技術中，有助於減少溫室氣體排放和促進碳中和。

碳酸鈣是一種常用多功能的化學物質，在各個領域都有廣泛的應用，所以本研究才會使用碳酸鈣為主要產物。(將二氧化碳轉化成碳酸鈣)

(二) 碳酸鈣結晶

結晶是指物質從液態（溶液或熔融狀態）或氣態形成晶體。而碳酸鈣（ CaCO_3 ）結晶的形成需要鈣離子（ Ca^{2+} ）和碳酸根離子（ CO_3^{2-} ）在溶液中相遇並結合。

1. 碳酸鈣結晶的合成方法

(1) 水熱法：

將含有碳酸鈣前驅物的溶液或懸浮液置於高溫高壓的水熱反應器中，通過控制溫度和壓力來促進碳酸鈣晶體的形成。

(2) 溶膠凝膠法：

通過將溶膠（一種溶液或懸浮液）凝膠化成凝膠，然後對凝膠進行熱處理或冷凝，使碳酸鈣晶體形成均勻分布的碳酸鈣粉末。

(3) 沉澱法：

將含有鈣離子和碳酸鹽的溶液混合，使鈣離子和碳酸根結合成碳酸鈣。同時沉澱形成碳酸鈣晶體，可得到純度較高的碳酸鈣晶體，也能夠調節晶體的大小和形態。

沉澱法在器材和操作上比較適合我們小學生，本研究採用沉澱法。

2. 碳酸鈣的結晶型態

碳酸鈣主要結晶型態有立方體、稜柱體、球形、針狀。這些晶型具有不同的結構和性質。碳酸鈣的不同結晶形態會因不同條件影響，如：過飽和度、溫度、酸鹼度、是否有雜質。

本研究要觀察製造出的結晶樣貌。

三、歷屆科展相關作品分析

| 屆別與題目 | 研究重點 | | |
|---------------------------------|---|----------------------------------|---|
| | 變項 | 方法 | 結果 |
| 51 屆 捕捉你的點點滴滴 -二氧化碳溶解度的探討 | 一、物理性: 二氧化碳在不同氣體壓力、水溶液濃度、溫度的溶解度 二、化學性: 二氧化碳在不同酸鹼性的水溶液、不同蔬果汁的溶解度。 三、生物性: 不同植物。氫氧化鈣+植物光合+呼吸作用消耗二氧化碳的情形 | 自製二氧化碳溶解度測量實驗裝置 | 1. 二氧化碳在不同物理環境，溶解度不同。 2. 二氧化碳溶解度隨氫氧化物濃度、鹼性增加而提高 3. 植物會隨白天及黑夜循環吸收、排放二氧化碳 |
| 研究問題 | | | |
| 探討影響二氧化碳溶解度的因素 | | | |
| 51 屆 太陽能二氧化碳捕捉器 | 一、強鹼、弱鹼、胺類對二氧化碳捕捉量比較 二、不同捕捉劑適用的二捕捉器設計 | 用針筒收集二氧化碳氣體,針筒上有刻度可以得知二氧化碳氣體溶解量。 | 1 氫氧化物濃度增加反應速率也增加 2 捕捉二氧化碳弱鹼物質比強鹼物質反應慢 |
| 研究問題 | | | |
| 研發二氧化碳捕捉器。 | | | |

分析結果:

歷屆作品捕捉二氧化碳的方式是用化學吸附、物理條件、生物吸收，而且**歷屆作品**只有捕捉二氧化碳，**沒有探討回收二氧化碳後的利用價值**。我們則是先以不同化學吸收液吸收，再以含鈣物質替換出碳酸鈣。

伍、研究設備和材料

一、實驗器材與設備：3D 列印機、三用電錶、電子秤、計時器、針筒、量杯、玻棒、樣品瓶、燒杯、滴管、橡皮管。

三、實驗材料：二氧化碳鋼瓶、包鮮膜、濾紙。

三、實驗藥品：氫氧化鈉、氫氧化鈣、氫氧化鉀、氫氧化鎂、硫酸鈣、氯化鈣、磷酸鈣、醋酸鈣、檸檬酸鈣、矽酸鈣、乳酸鈣、碳酸氫鈉(小蘇打)、廣用酸鹼指示劑。

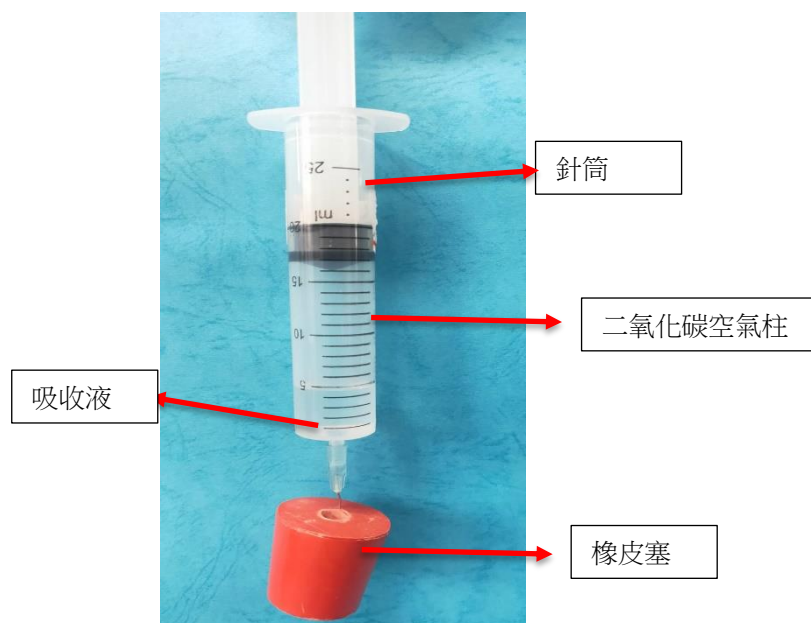
四、**自製實驗裝置**：

本研究自行研發的裝置如下，以下照片由作者拍攝。



(一)、CO₂吸收量測量裝置(針筒空氣柱法實驗裝置)：

1.功能：將吸收液與二氧化碳同時裝在針筒內，藉由針筒空氣柱的**刻度變化**可以**具體測量**吸收液對**二氧化碳**的吸收量。

2.裝置照片：



3.裝置步驟：

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 針筒吸取吸收液 | 灌入二氧化碳 | 針刺入橡皮塞防漏 | 觀察針筒空氣柱變化 |

4.自製實驗裝置的**精準性檢測**：

針筒沒有灌入吸收液，只抽取常態空氣或灌入二氧化碳，針筒活塞都不會隨時間下降，證明裝置不會漏氣，也證明空氣柱改變是因為吸收液吸收二氧化碳造成的。

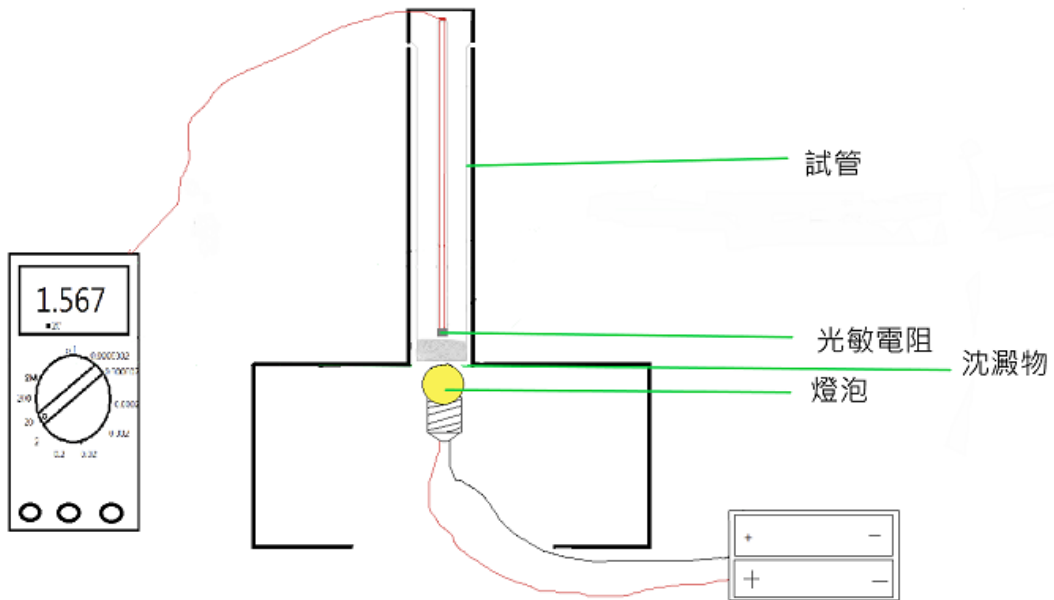
表一 針筒內無吸收液的空氣柱變化量

| 時間 (分) | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 常態 空氣 (mL) | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| CO ₂ (mL) | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |

(二)、碳酸鈣沉澱量測量儀：

1.功能 :以氫氧化鈣替換出的碳酸鈣，會沉澱在**試管底部**，碳酸鈣生成量不同，在試管底部沉積的碳酸鈣厚度就不同，透光度就不同。為了**比較**不同條件下碳酸鈣沉澱量的差異，以光敏電阻值越高，表示沉澱量越多。

2.內部構造圖：



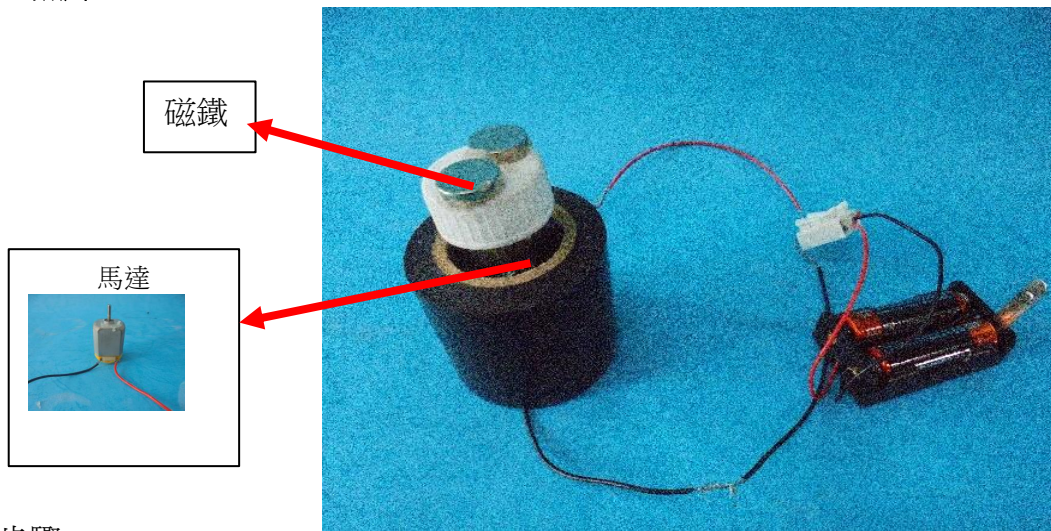
3.外觀照片：







(三)、磁石攪拌機：

1.功能:攪拌吸收液，加快吸二氧化碳與吸收液的反應。以磁石為攪拌子，不易與溶液產生反應。

2.裝置照片：



3.裝置步驟:

| | | | |
|--|--|---|--|
|  |  |  |  |
| 馬達 | 套上黏有磁鐵的瓶蓋 | 馬達連接電力供應器 | 磁石放入吸收液中，磁鐵帶動磁石轉動攪拌吸收液，加速吸收 |

陸、研究過程與結果

根據研究目的進行實驗，實驗過程與重要發現如下。

註:以下實驗過程與結果的照片皆為作者拍攝完成。

研究一：探究可捕捉二氧化碳的化學吸收液特性與吸收原理

實驗一-1 以沉澱法測試不同溶液對二氧化碳的吸收情形

【提問】：五年級有教過，在澄清石灰水內吹氣，會呈現白色混濁狀。石灰水是氫氧化鈣水溶液，和 CO₂ 產生反應的是氫氧化物還是含鈣化合物呢？

【探究想法】：將二氧化碳灌入其他的氫氧化物和含鈣化合物，是否也會有白色混濁呢？

【實驗設計】：

| | |
|------|--|
| 名詞定義 | 二氧化碳吸收液: 實驗中測試是否能夠吸收二氧化碳的水溶液，稱為二氧化碳吸收液。 |
| 操縱變因 | 不同的氫氧化物和含鈣化合物的水溶液。 |
| 應變變因 | 吸收液灌入 CO ₂ 後的反應液，是否呈現白色混濁與沉澱物。 |

(一)、實驗步驟：

1. 將四種氫氧化物，四種含鈣化合物在樣品瓶內配製成透明無色的溶液。

配製方法:

溶劑:50mL 蒸餾水

溶質:1 公克的氫氧化鈉、氫氧化鉀。氫氧化鈣和氫氧化鎂的最大溶解量不到 1 公克，所以採用最大溶解量。

2.含鈣溶液加到溶質不再溶解為止，並用濾紙過濾粉末，用澄清的水溶液做實驗。

3.裝入樣品瓶，插入灌氣管，封住瓶口，開始灌氣，觀察水溶液是否變成混濁狀。



圖一-1 實驗一-1 操作過程

(二)、實驗結果

表一-1-1 吸收液吸收 CO₂的情形

| 結果一 | 結果二 | 結果三 |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 吸收液呈現澄清 | 吸收液呈現混濁 | 靜置後的碳酸鈣沉澱 |

表一-1-2 不同吸收液的酸鹼性與吸收後沉澱情形

| 類別 特性 | 氫氧化物 | | | | 含鈣化合物 | | | | 對照組 | |
|----------|------|------|------|-------|-------|------|-----|------|------|----|
| | 氫氧化鈉 | 氫氧化鉀 | 氫氧化鎂 | 氫氧化鈣 | 硫酸鈣 | 氯化鈣 | 磷酸鈣 | 醋酸鈣 | | |
| 吸收液 | | | | | | | | | 蒸餾水 | |
| 酸鹼性 | 鹼性 | | | | 鹼性 | | | | 酸性 | 中性 |
| pH 值 | 13.6 | 13.1 | 9.79 | 12.38 | 7.5 | 7.85 | 7.4 | 5.27 | 7.18 | |
| 灌氣後有白色混濁 | × | × | × | ✓ | × | × | × | × | × | |

(三)、發現與討論:

1. 灌入 CO₂ 後，氫氧化物中，只有氫氧化鈣出現白色混濁；含鈣化合物都沒有出現白色混濁。
2. 將混濁液靜置後，瓶底會有白色沉澱物，那就是**碳酸鈣**。
3. **沒有白色混濁就表示沒有吸收 CO₂ 嗎?**其他氫氧化物應該也會吸收 CO₂，只是產物易溶於水，不會出現白色混濁，如何證明這個想法?進行下面實驗，研發可直接測量 CO₂ 消耗量的裝置。

實驗一-2：以空氣柱法比較不同化學吸附液對二氧化碳的吸收情形

【提問】:是否有些氫氧化物會吸收 CO₂，但**不會**出現白色混濁?如何**證明並測量**吸收量呢?

【探究想法】:氣體佔有空間，因此二氧化碳被吸收後，針筒活塞應該會下降。以**空氣柱**變化表示吸收量與吸收速度。

| | | |
|------|------|--|
| 實驗設計 | 名詞定義 | 空氣柱法: 用針筒測量二氧化碳剩餘量，來判斷二氧化碳吸收液吸收二氧化碳的量與速度。 |
| | 操縱變因 | 不同的化學吸收液。 |
| | 應變變因 | 以空氣柱下降的刻度，判斷吸收速率和吸收量。 |

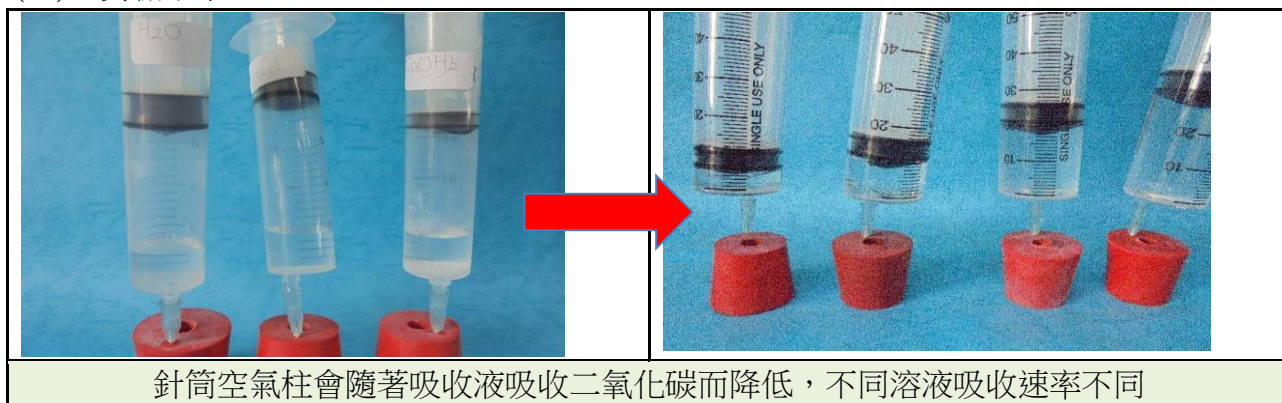
(一)、實驗步驟：

1. 同實驗一-1 配製吸收液。
2. 將步驟 1 中的溶液各 5mL 抽入針筒空氣柱測量裝置內。
3. 接著將裝置平放再抽入 20mL 的二氧化碳氣體。
4. 利用同步計時的功能，每 5 分鐘觀察紀錄針筒空氣柱剩下的氣體量。



圖一-2-1 實驗一-2 操作過程

(二)、實驗結果：



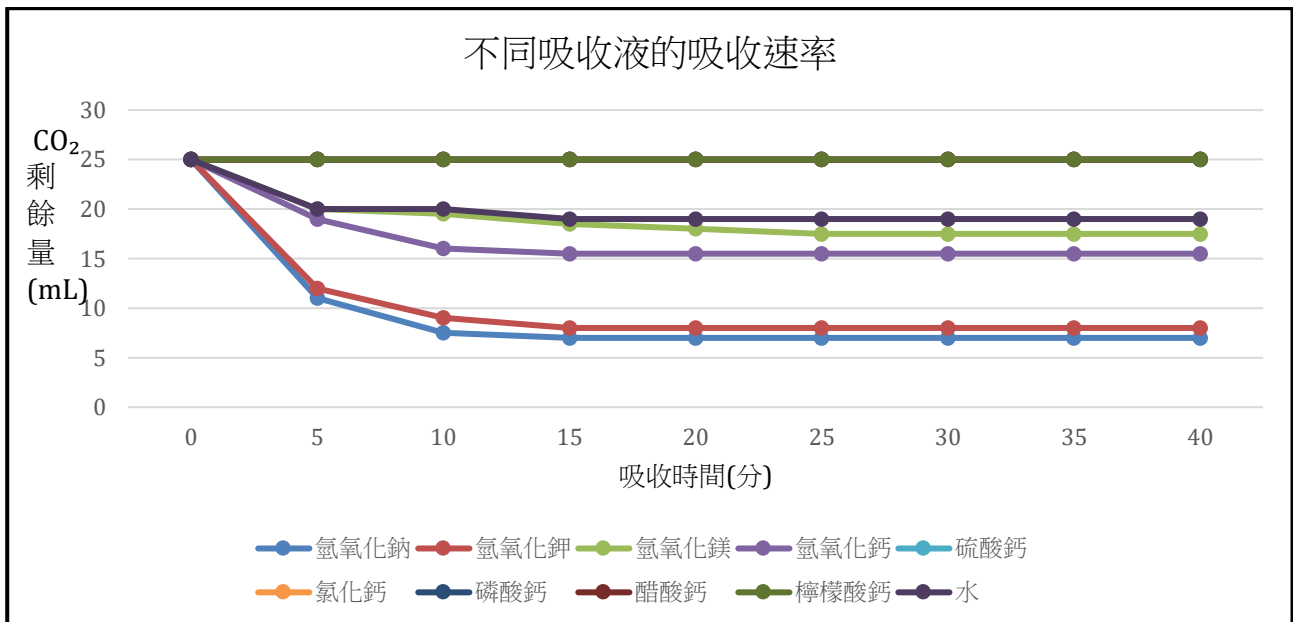
圖一-2-2 針筒空氣柱變化

表一-2-1 各種溶液的 pH 值

| 種類 | 氫氧化物 | | | | 含鈣化合物 | | | | | 對照組 |
|------|------|------|------|-------|-------|------|-----|------|------|-----|
| 吸收液 | 氫氧化鈉 | 氫氧化鉀 | 氫氧化鎂 | 氫氧化鈣 | 硫酸鈣 | 氯化鈣 | 磷酸鈣 | 醋酸鈣 | 檸檬酸鈣 | 水 |
| pH 值 | 13.6 | 13.1 | 9.79 | 12.38 | 7.5 | 7.85 | 7.4 | 5.27 | 7.8 | 7.1 |

表一-1-2 各種溶液的吸收速率

| 種類 | 氫氧化物 | | | | 含鈣化合物 | | | | | 對照組 |
|-----------------------------------|------|------|------|------|-------|-----|-----|-----|------|-----|
| CO ₂ (mL) 時間 (分) | 氫氧化鈉 | 氫氧化鉀 | 氫氧化鎂 | 氫氧化鈣 | 硫酸鈣 | 氯化鈣 | 磷酸鈣 | 醋酸鈣 | 檸檬酸鈣 | 水 |
| 0 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 5 | 11 | 12 | 20 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 20 |
| 10 | 7.5 | 9 | 19.5 | 16 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 20 |
| 15 | 7 | 8 | 18.5 | 15.5 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 19 |
| 20 | 7 | 8 | 18 | 15.5 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 19 |
| 25 | 7 | 8 | 17.5 | 15.5 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 19 |
| 30 | 7 | 8 | 17.5 | 15.5 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 19 |
| 35 | 7 | 8 | 17.5 | 15.5 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 19 |
| 40 | 7 | 8 | 17.5 | 15.5 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 19 |



(三)、發現與討論：

1. 氫氧化物中的氫氧化鉀、氫氧化鈉、氫氧化鎂灌入 CO_2 ，雖然沒有混濁現象，但針筒空氣柱有下降的情形，表示會吸收 CO_2 。
2. 含鈣化合物灌入 CO_2 沒有混濁現象，空氣柱也沒有下降，表示不會吸收 CO_2 。
3. 氫氧化物中吸收速率最快的是氫氧化鈉，其次是氫氧化鉀，再來是氫氧化鈣，最後是氫氧化鎂。而氫氧化鈉和氫氧化鉀吸收速率相近。
4. 吸收液的 pH 值越高，即水溶液鹼性愈強，吸收 CO_2 效率越好，是較佳的 CO_2 吸收液。
5. 吸收液吸收 CO_2 之後，沒有生成白色混濁物，不代表沒有吸收二氧化碳。

實驗一-3: 以不同基準比較氫氧化鈉與氫氧化鉀的吸收速率

【提問】：比較氫氧化鈉與氫氧化鉀的吸收率的基準是要採用相同公克數，還是相同分子數呢？就像兩個隊伍比賽拔河，比賽方式是要派出相同重量的隊員，還是相同數量的隊員？

【探究想法】：相同溶劑(蒸餾水)中含溶入相同克數與相同分子數的氫氧化鈉/氫氧化鉀。

| | | |
|------|------|--|
| 實驗設計 | 操縱變因 | 氫氧化鈉和氫氧化鉀的兩種比較基準:相同克數和相同分子數 |
| | 應變變因 | 吸收液的 CO_2 吸收速率:每 5 分鐘記錄 CO_2 剩餘量 |

(一)、實驗步驟：

1. 吸收液的調配方式:

(1) 相同克數的調配方式:

分別以 1 公克、2 公克的氫氧化鈉、氫氧化鉀溶於 50mL 蒸餾水中

(2) 相同分子數的調配方式:

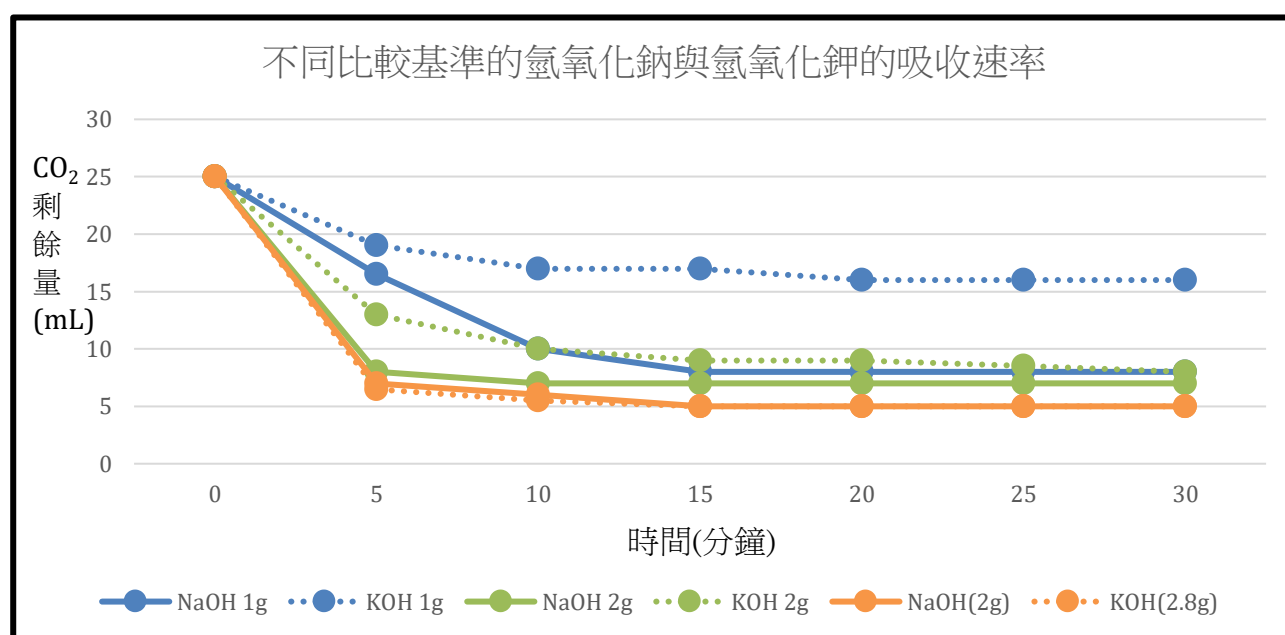
以 2 公克的氫氧化鈉和 2.8 公克氫氧化鉀，溶於 50mL 蒸餾水中，在水中有相同分子數。 $2/40=2.8/56$ (氫氧化鈉的分子量 40，氫氧化鉀的分子量 56)

2. 用針筒吸取 5mL 吸收液，灌入 20mL 的二氧化碳，以計時器每 5 分鐘記錄 CO_2 剩餘量，比較吸收液的吸收速率。

(二)、實驗結果：

表一-3-1 各種溶液的吸收速率

| CO ₂ 剩餘量 (mL) 時間 (分) | 相同克數(1 克) | | 相同克數(2 克) | | 相同分子數 | |
|------------------------------------|-----------|-----|-----------|-----|-------------|--------------|
| | NaOH | KOH | NaOH | KOH | NaOH (2 公克) | KOH (2.8 公克) |
| 0 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 5 | 16.5 | 19 | 8 | 13 | 7 | 6.5 |
| 10 | 10 | 17 | 7 | 10 | 6 | 5.5 |
| 15 | 8 | 17 | 7 | 9 | 5 | 5 |
| 20 | 8 | 16 | 7 | 9 | 5 | 5 |
| 25 | 8 | 16 | 7 | 8.5 | 5 | 5 |
| 30 | 8 | 16 | 7 | 8 | 5 | 5 |



(三)、發現與討論：

1. 吸收液的濃度越高，吸收速率越快。
2. 不同吸收液在前 5 分鐘的吸收速率有明顯的差異。
3. 吸收液在相同克數時，氫氧化鈉的吸收速率比氫氧化鉀快。
4. 吸收液在相同分子數時，氫氧化鉀的吸收速率僅比氫氧化鈉快一點點。
5. 相同克數時，氫氧化鈉的吸收速率都比氫氧化鉀快。
6. 相同分子數時，兩者的吸收速率非常相近。

實驗一-4. 驗證 CO₂ 化學吸收液的吸收原理是酸鹼中和反應，並依此原理測量飽和吸收量

【提問】：二氧化碳吸收液的吸收原理是酸鹼中和反應嗎？吸收液的最大吸收量是多少？吸收速度很快，就表示吸收量很大嗎？氫氧化鈉和氫氧化鉀哪一個吸收量最大？

【探究想法】：加入酸鹼指示劑來觀察吸收液的 pH 值變化情形。如果鹼性氫氧化物吸收液吸收酸性的二氧化碳溶液產生中和酸鹼反應，指示劑顏色會有變化。當指示劑變綠色且空氣柱不再下降時，就可測量吸收液的**總吸收量**。

| | | |
|------|------|--|
| 實驗設計 | 名詞定義 | 飽和吸收量： 指化學吸收液可以吸收二氧化碳的最大吸收量，持續灌入 CO ₂ 氣體，直到吸收液中的 廣用指示劑變綠色時的總吸收量 。 |
| | 操縱變因 | 氫氧化鈉和氫氧化鉀的兩種比較基準： 相同克數 和 相同分子數 |
| | 應變變因 | 二氧化碳飽和吸收量 |

(一)、實驗步驟：

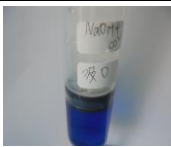

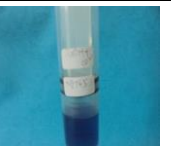









1. 同實驗一-3 配製方式，取氫氧化鈉/氫氧化鉀溶液 5mL，滴入廣用酸鹼指示劑 5 滴(約 1mL)，再抽入針筒空氣柱測量裝置內。
2. 利用二氧化碳鋼瓶灌入 40mL 的 CO₂ 氣體，搖晃加速吸收。
3. 吸收到管內無 CO₂ 為止，並觀察廣用酸鹼指示劑的變化。持續灌入二氧化碳直到廣用指示劑變成中性(綠色)，且空氣柱不再下降時，計算總吸收量。

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 吸收液加入酸鹼指示劑後的顏色 | 針筒抽取吸收液，再灌入二氧化碳 | 灌 CO ₂ 氣體至空氣柱不再下降，且酸鹼指示劑出現綠色，即最大吸收量 |

圖一-4 實驗一-4 操作過程

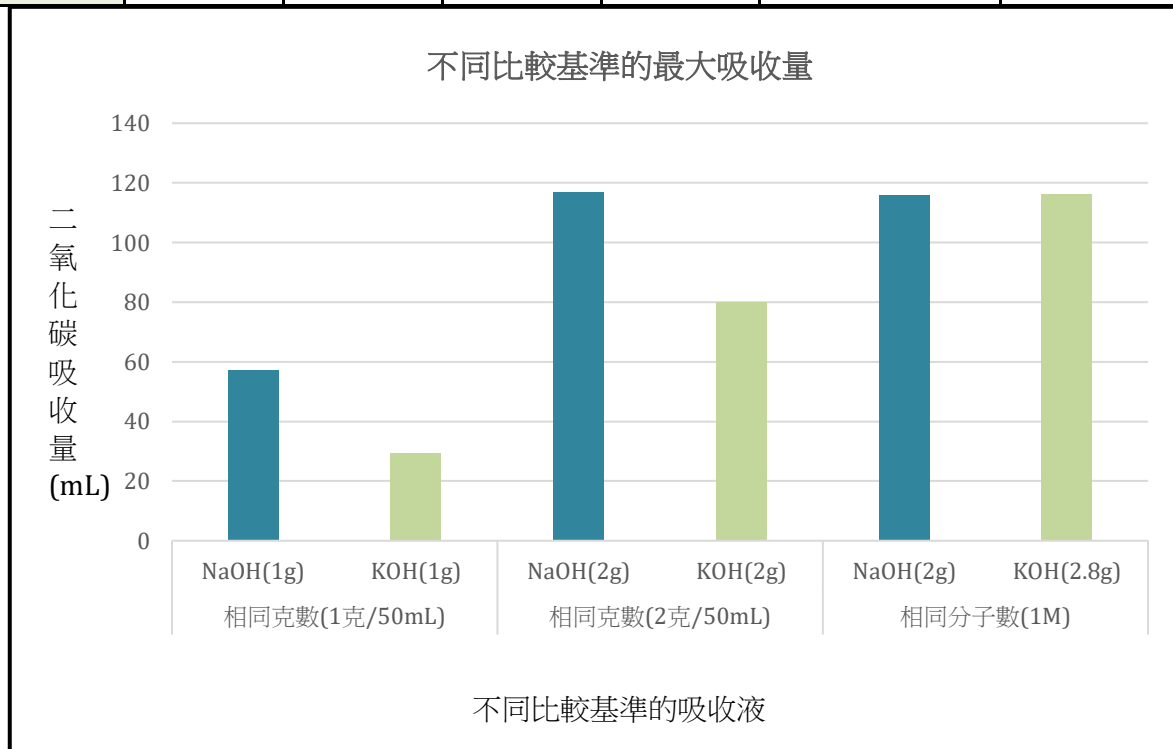
(二)、實驗結果：

表一 4-1 吸收液吸收 CO₂ 後的變色情形

| | | | | | | |
|----------|---|---|---|--|---|---|
| 照片 |  |  |  |  |  |  |
| 吸收過程顏色變化 |  |  |  |  |  |  |

表一-4-2 不同比較基準的氫氧化鈉與氫氧化鉀最大吸收量

| 比較基準 | 相同克數(相同重量百分濃度) | | | | 相同分子數(相同莫耳濃度)(1M) | |
|---------------|----------------|------|------------|-----|-------------------|---------------|
| | (1 克/50mL) | | (2 克/50mL) | | (2 公克/50mL) | (2.8 公克/50mL) |
| | NaOH | KOH | NaOH | KOH | NaOH | KOH |
| 5mL 最大吸收量(mL) | 57.2 | 29.3 | 116.3 | 80 | 116.3 | 116.1 |



(三)、發現與討論：

1. 吸收液吸收過程中，酸鹼指示劑的顏色變化依序是：紫→靛→藍→綠，表示吸收液和CO₂一直在進行酸鹼中和反應。
2. 廣用酸鹼指示劑變成綠色後，針筒內的空氣柱便停止移動，表示吸收液不再吸收CO₂，顏色也不再變化，所以得知中和至中性時所消耗的CO₂量即是吸收液的飽和吸收量。
3. 不管在相同克數或相同分子數，氫氧化鈉的最大吸收量都比氫氧化鉀多，不過在相同分子數中，兩者最大吸收量的數接近。
4. 吸收液的濃度對於吸收量的影響很大，氫氧化鈉 1 公克增加到 2 公克，吸收量增加約 2 倍，氫氧化鉀從 2 公克增加到 2.8 公克，吸收量增加約 1.4 倍。
5. 由酸鹼指示劑的顏色變化可以驗證化學吸收液吸收的原理是酸鹼中和反應，也可以測出飽和吸收量。

研究二：探討氫氧化物捕捉二氧化碳形成碳酸鈣的方法

實驗二-1 探討從反應液替換出碳酸鈣的最佳含鈣液




【提問】：氫氧化鈉、氫氧化鉀對CO₂有較強的吸收力，但是生成的碳酸鈉和碳酸鉀易溶於水，沒有碳酸鈣可以回收利用，是否可以用含鈣液替換成碳酸鈣？

【探究想法】：以含鈣溶液中的鈣，將碳酸鈉和碳酸鉀的鈉和鉀置換出來，生成可沉澱回收的碳酸鈣，並比較碳酸鈣沉澱量。

| | | |
|------|------|--------------------------------|
| 實驗設計 | 名詞定義 | 替換液： 替換碳酸鈉及碳酸鉀，成為碳酸鈣的含鈣水溶液。 |
| | 操縱變因 | 吸收二氧化碳前、後，加入不同的含鈣溶液。 |
| | 應變變因 | 碳酸鈣沉澱情形。 |

(一)、實驗步驟：

- 1.將未吸收和吸收過二氧化碳的氫氧化鈉、氫氧化鉀各 5 毫升，分別倒入玻璃試管中。
- 2.不同含鈣水溶液，包含氫氧化鈣、磷酸鈣、醋酸鈣、矽酸鈣、乳酸鈣及氯化鈣各 5 毫升加入分別加入步驟 1 的試管中。
- 3.觀察加入含鈣水溶液後的沉澱情形。

| | | | |
|---|---|--|---------------|
|  |  |  | |
| 針筒抽取氫氧化鈉 10mL | 灌入二氧化碳 15mL | 將未吸收與吸收的氫氧化鈉放入試管 | 加入不同含鈣液觀察沉澱情形 |

圖二-1 實驗二-操作過程

(二)、實驗結果：

表二-1-1 氫氧化鈉吸收 CO₂前後加入不同含鈣液的情形

| 吸收 CO ₂ 前後 不同含鈣液 | 吸收二氧化碳前 (NaOH) | 吸收二氧化碳後 (Na ₂ CO ₃) |
|--------------------------------|-------------------|---|
| 氫氧化鈣 | 沒有白色沉澱物 | 有明顯的白色沉澱物 |
| 磷酸鈣 | 沒有白色沉澱物 | 沒有白色沉澱物 |
| 醋酸鈣 | 沒有白色沉澱物 | 一開始有薄霧狀白色物體，但過了約五秒後就冒出氣泡，並且薄霧狀白色物體消失了 |
| 矽酸鈣 | 沒有白色沉澱物 | 沒有白色沉澱物 |
| 乳酸鈣 | 有極多白色膠狀沉澱物 | 有明顯的白色膠狀沉澱物 |
| 氯化鈣 | 有極多白色膠狀沉澱物 | 有明顯的白色膠狀沉澱物 |

表二-1-2 氫氧化鉀吸收 CO₂ 前後加入不同含鈣液的沉澱情形

| 吸收 CO ₂ 前後 不同含鈣液 | 沒有吸收二氧化碳 (KOH) | 有吸收二氧化碳 (K ₂ CO ₃) |
|--------------------------------|-------------------|--|
| 氫氧化鈣 | 沒有白色沉澱物 | 有明顯的白色沉澱物 |
| 磷酸鈣 | 沒有白色沉澱物 | 有明顯的白色沉澱物 |
| 醋酸鈣 | 沒有白色沉澱物 | 一開始有薄霧狀白色物體，但過了約五秒後就冒出氣泡，並且薄霧狀白色物體消失了 |
| 矽酸鈣 | 沒有白色沉澱物 | 有明顯的白色沉澱物 |
| 乳酸鈣 | 有極多白色膠狀沉澱物 | 有明顯的白色膠狀沉澱物 |
| 氯化鈣 | 有極多白色膠狀沉澱物 | 有明顯的白色膠狀沉澱物 |

表二-1-3 不同含鈣液對氫氧化鈉、氫氧化鉀吸收對 CO₂ 前後的替換情形

| 含鈣溶液 | | 氫氧化鈣 | 磷酸鈣 | 醋酸鈣 | 矽酸鈣 | 乳酸鈣 | 氯化鈣 |
|----------------------------|---|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 氫氧化鈉 吸收 CO ₂ | 前 | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| | 後 | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| 氫氧化鉀 吸收 CO ₂ | 前 | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| | 後 | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |

(註:有沉澱 ✓ 沒有沉澱 打叉 ✗)

(三)、發現與討論：

- 氫氧化鈉吸收液吸收 CO₂ 前、後，再加入不同鈣溶液，會出現沉澱的情形有三種：
 - 吸收 CO₂ 前、後，加入鈣溶液，都沒有沉澱的有：磷酸鈣、醋酸鈣、矽酸鈣。
 - 吸收 CO₂ 前、後，加入鈣溶液，都有沉澱的有：乳酸鈣、氯化鈣。
 - 吸收 CO₂ 前、後，加入鈣溶液，吸收前沒有沉澱，吸收後有沉澱的有：氫氧化鈣。
- 氫氧化鉀吸收液吸收 CO₂ 前、後，再加入不同鈣溶液，會出現沉澱的情形和氫氧化鈉相同。
- 未吸收 CO₂ 的氫氧化鉀和氫氧化鈉與氫氧化鈣反應都不會產生白色沉澱物，吸收 CO₂ 後才會產生白色沉澱物，所以使用氫氧化鈣當作替換液。

實驗二-2：探討從反應液替換出碳酸鈣的氫氧化鈣比例

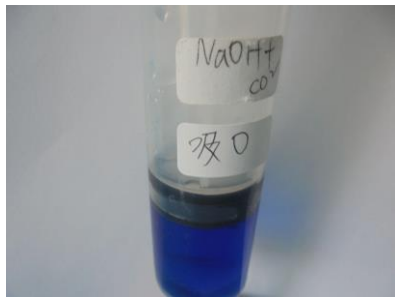




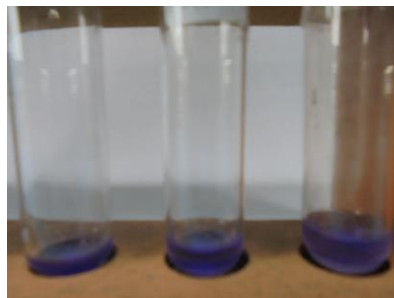

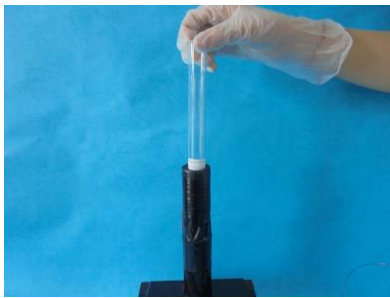

【提問】：在吸收液吸收最大量二氧化碳後(飽和反應液)，要加入多少氫氧化鈣才能替換出最多的碳酸鈣？

【探究想法】：碳酸鈣的沉澱量越多，試管底部的透光度愈小，光敏電阻測得的數值越大。

| | | |
|------|------|--|
| 實驗設計 | 名詞定義 | 飽和反應液: 吸收液吸收最大量二氧化碳後的反應液 碳酸鈣沉澱量: 在飽和反應液中加入氫氧化鈣替換液，試管底部會出現替換出來的碳酸鈣，把試管放入碳酸鈣沉澱量測量儀，沉澱量愈多，透光度越小，光敏電阻的電阻值越大。以光敏電阻表示沉澱量。 |
| | 操縱變因 | 氫氧化鈉和氫氧化鉀的飽和反應液與氫氧化鈣替換液的比例。 |
| | 應變變因 | 碳酸鈣沉澱量(以光敏電阻的電阻值表示)。 |

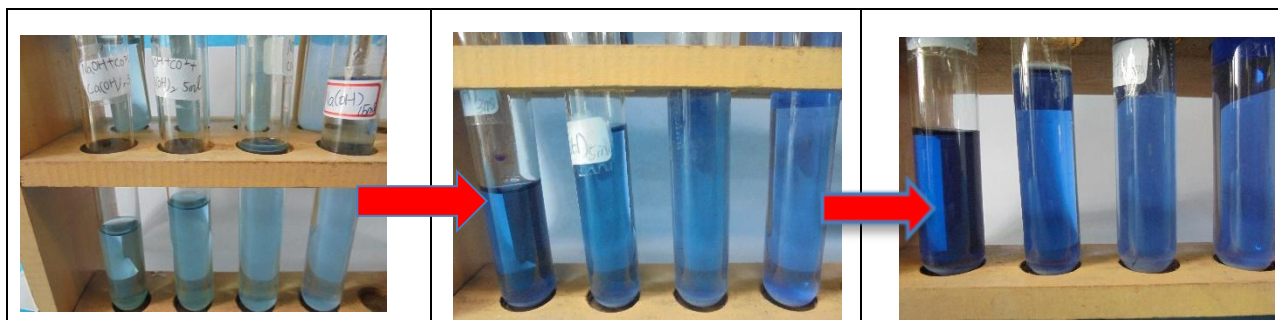
(一)、實驗步驟：

- 1.用針筒吸取有加廣用酸鹼指示劑的氫氧化鉀、氫氧化鈉溶液各 20mL，再各打入 40mL 二氧化碳氣體，搖動針筒加速吸收。
- 2.將步驟 1 中吸收完二氧化碳後的吸收液，持續灌入二氧化碳，直到針筒內的液體變成綠色。
3. 將步驟 2 中的飽和反應液 5mL 各放入 6 支試管中，再分別加入不同體積的氫氧化鈣溶液 3、5、10、15、20、25mL。
- 4.試管口用油土封住，防止接觸外面的氣體，靜置等待沉澱。
- 5.把沉澱後的澄清液抽出，並把底部只有碳酸鈣的試管，放入透光度測量儀量測電阻值。

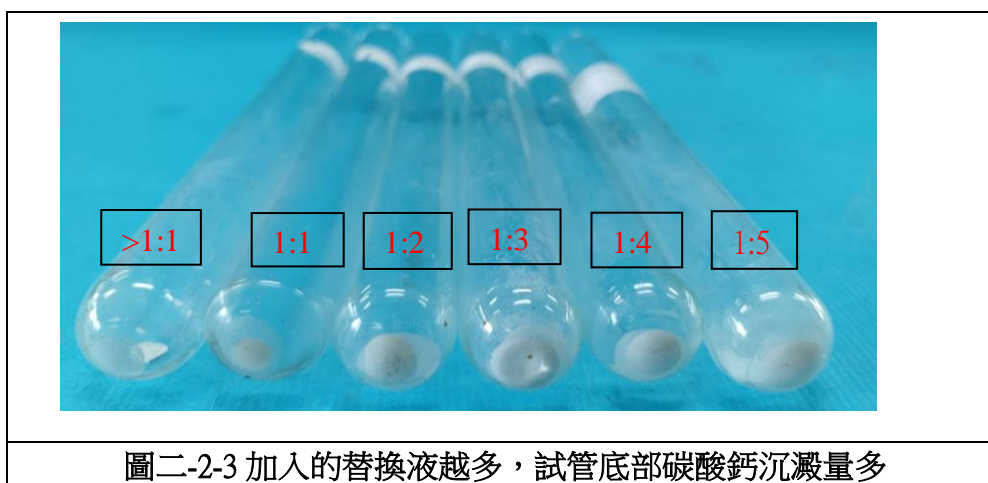
| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 滴入酸鹼指示劑的吸收液 | 灌入 CO ₂ 直到最大吸收量 | 上下搖動針筒加速吸收 |
|  |  |  |
| 加入不同比例氫氧化鈣 | 等待沉澱並還原出吸收液 | 抽出澄清液 |
|  |  |  |
| 試管底部的碳酸鈣沉澱物 | 試管放入光敏電阻測量器中 | 讀取三用電表電阻數值 |

圖二-2-1 實驗二-2 操作過程

(二)、實驗結果：



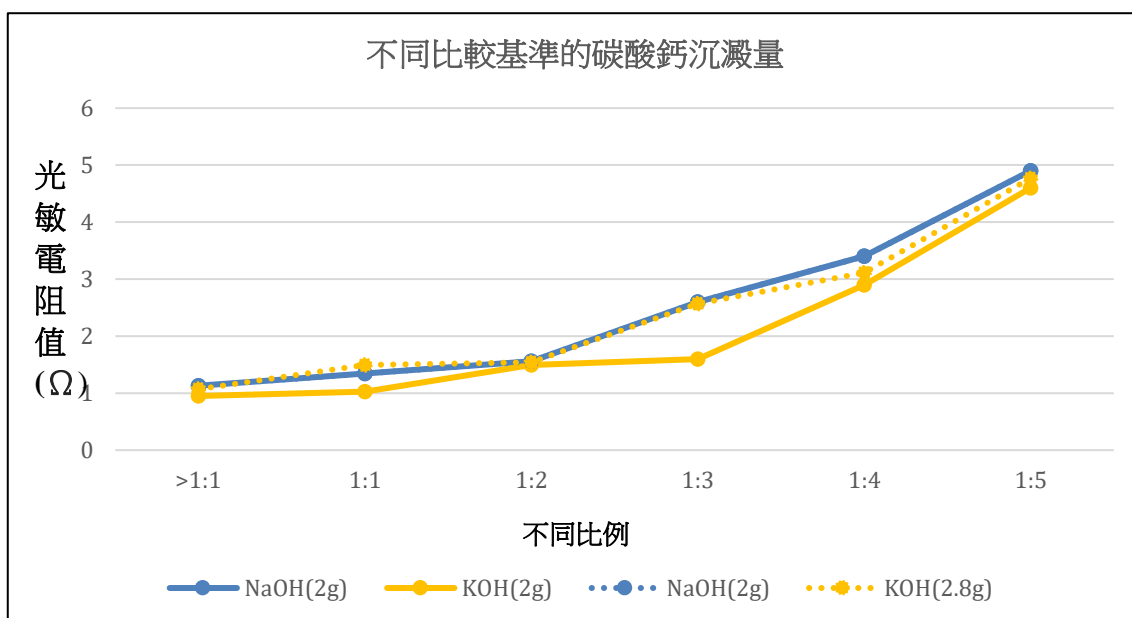
圖二-2-2 加入不同比例替換液，替換過程中，顏色隨時間愈來愈紫，表示 pH 值增加，證明還原出原來的鹼性吸收液



圖二-2-3 加入的替換液越多，試管底部碳酸鈣沉澱量多

表二-2 不同比例氫氧化鈣替換液的碳酸鈣沉澱量(光敏電阻值)

| 反應液與替換液比例 | | 小於 1:1 | 1:1 | 1:2 | 1:3 | 1:4 | 1:5 |
|----------------|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 替換液添加量 | | 3mL | 5mL | 10mL | 15mL | 20mL | 25mL |
| 相同克數 (2 公克) | 氫氧化鈉 | 1.13Ω | 1.34Ω | 1.56Ω | 2.6Ω | 3.4Ω | 4.9Ω |
| | 氫氧化鉀 | 0.95Ω | 1.03Ω | 1.49Ω | 1.6Ω | 2.9Ω | 4.6Ω |
| 相同分子數 | 氫氧化鈉 | 1.13Ω | 1.34Ω | 1.56Ω | 2.6Ω | 3.4Ω | 4.9Ω |
| | 氫氧化鉀 | 1.07Ω | 1.49Ω | 1.54Ω | 2.57Ω | 3.11Ω | 4.77Ω |



(三)、發現與討論：

- 1.加入氫氧化鈣還原氫氧化鈉時，指示劑會從綠色→藍色→紫色，表示氫氧化鈉確實被還原出來，所以 pH 值會增加，所以指示劑顏色會變紫。
- 2.氫氧化鈣替換液加入越多，不論是氫氧化鈉碳化反應液或氫氧化鉀碳化反應液，試管中沉澱物的光敏電阻值越大，表示替換出來的碳酸鈣越多。
- 3.在克數相同的情況下，以氫氧化鈉為吸收液，替換出的碳酸鈣比氫氧化鉀多。
- 4.在相同分子數中，氫氧化鈉的沉澱量與氫氧化鉀相近。

實驗二-3：替換後的還原液循環利用效果




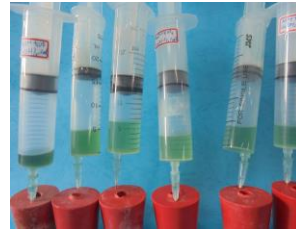
【提問】：氫氧化鈣和氫氧化鈉/氫氧化鉀碳化反應液的哪一種比例所還原出來的還原液，吸收 CO₂效果最好？

【探究】：測量還原液再次吸收二氧化碳的量。

| | | |
|------|------|---|
| 實驗設計 | 名詞定義 | 還原液: 氫氧化鈣加入碳酸化反應液後，從碳酸鈉/鉀中替換出碳酸鈣，並還原成原本的吸收液(氫氧化鈉/鉀)。被替換液還原的吸收液稱為還原液。 還原吸收量: 還原液的飽和吸收量。 還原吸收率: $(\text{還原液的飽和吸收量}) \div (\text{原吸收液的飽和吸收量}) \times 100 = \text{還原吸收率}(\%)$ |
| | 操縱變因 | 氫氧化鈉(吸收液)與氫氧化鈣(替換液)的比例。 |
| | 應變變因 | 還原液再次吸收 CO ₂ 的量。 |

(一)、實驗步驟：

1. 抽出實驗二-2 的上層澄清液(還原液)，用針筒吸取澄清液(還原液)5ml。
2. 針筒內灌入 20 ml 的 CO₂，搖晃加速吸收速度，直到指示劑變成綠色(變成中性)，並且空氣柱不再下降，記錄 CO₂總吸收量。

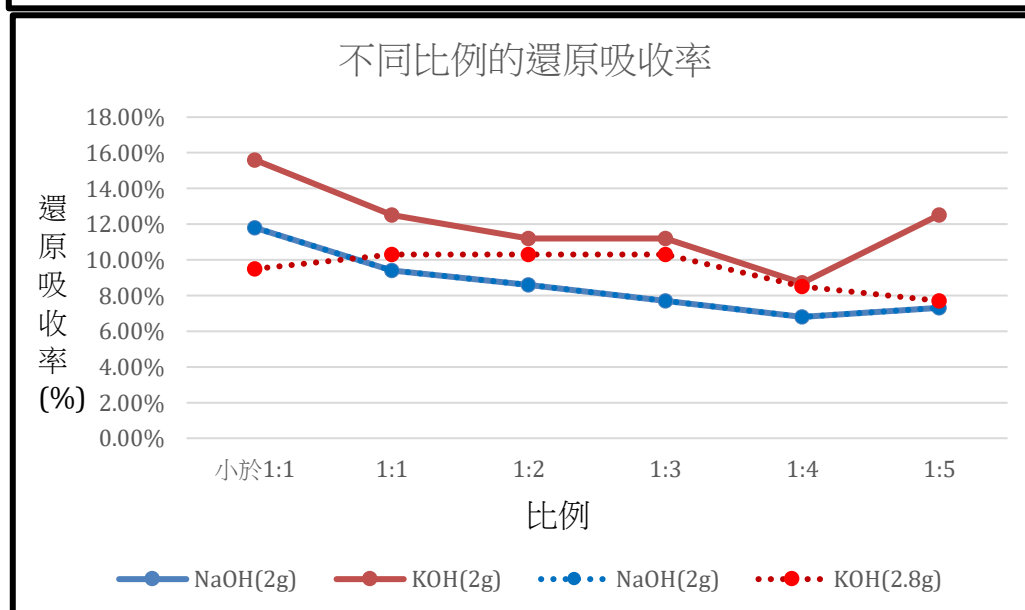
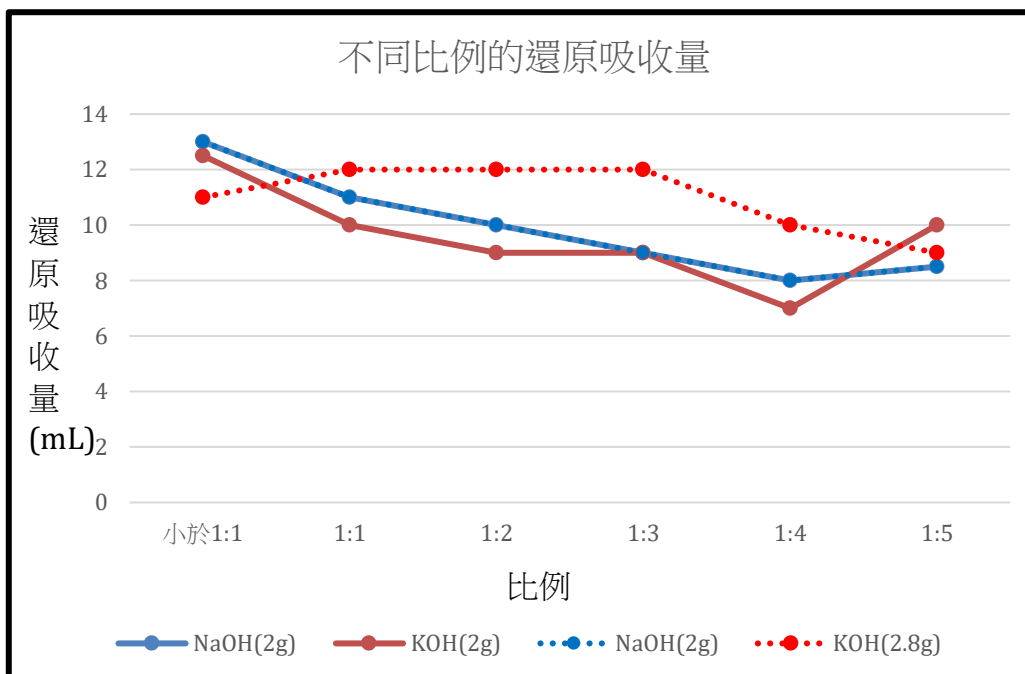
| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 抽出沉澱後的澄清液 | 抽取 5mL 還原液，灌入 20 mL 的 CO ₂ | 搖晃加速吸收速度 | 灌氣直到指示劑變成綠色(中性) |

圖二-3 實驗二-3 操作過程

(二)、實驗結果：

表二-3 不同反應液與替換液比例的還原液吸收量與還原吸收率

| 替換液添加量 | | | 3ml | 5ml | 10ml | 15ml | 20mL | 25mL |
|--------------|-------------------|------|--------|-------|-------|-------|------|-------|
| 反應液與替換液比例 | | | 小於 1:1 | 1:1 | 1:2 | 1:3 | 1:4 | 1:5 |
| 相同克數 (2g) | 還原 吸收量 (mL) | 氫氧化鈉 | 13 | 11 | 10 | 9 | 8 | 8.5 |
| | | 氫氧化鉀 | 12.5 | 10 | 9 | 9 | 7 | 10 |
| | 還原 吸收率 (%) | 氫氧化鈉 | 11.8% | 9.4% | 8.6% | 7.7% | 6.8% | 7.3% |
| | | 氫氧化鉀 | 15.6% | 12.5% | 11.2% | 11.2% | 8.7% | 12.5% |
| 相同分子 數 | 還原 吸收量 (mL) | 氫氧化鈉 | 13 | 11 | 10 | 9 | 8 | 8.5 |
| | | 氫氧化鉀 | 11 | 12 | 12 | 12 | 10 | 9 |
| | 還原 吸收率 (%) | 氫氧化鈉 | 11.8% | 9.4% | 8.6% | 7.7% | 6.8% | 7.3% |
| | | 氫氧化鉀 | 9.5% | 10.3% | 10.3% | 10.3% | 8.5% | 7.7% |



(三)、發現與討論：

- 1.以相同克數為基準，氫氧化鈉的還原吸收量比氫氧化鉀好。
- 2.以相同分子數為基準，氫氧化鉀的還原吸收力、還原率較好。
3. 雖然吸收液可以還原而循環利用，但還原後的吸收液無法回到原本的鹼性，所以吸收量變少，如果要再次利用的話，需要增加濃度。
4. 氫氧化鈣的量加得愈多，碳酸鈣的沉澱量越多，應該有更多還原液，但還原液的吸收效果卻越差。綜合考量沉澱量與還原率，選定最佳的比例是 1:1。
- 5.加入的氫氧化鈣越多，還原液液的還原率愈差，可能是因為飽和的氫氧化鈣含水量多，加越多水越多，稀釋了還原液的濃度。
- 6.還原液的還原吸收率不佳，進行以下實驗探討原因與改善方法。

實驗二-4：探討提升還原液還原率的方法


【提問】：還原液的還原吸收率不佳的原因是否和還原液的含水量有關？吸收液的碳酸化反應會產生水。 $2\text{NaOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ，稀釋了還原液的濃度？

【探究想法】：替換過程分為 1.不接觸空氣 2.接觸空氣，以增加水分蒸散，提高還原液的濃度。比較有、無密封的還原液吸收量

| | | |
|------|------|----------------|
| 實驗設計 | 操縱變因 | 替換液替換過程中是否接觸空氣 |
| | 應變變因 | 還原液的吸收量 |

(一)、實驗步驟：

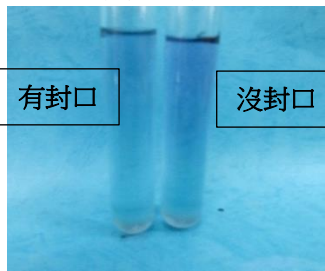
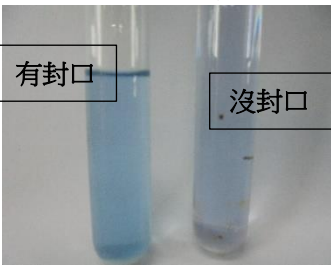
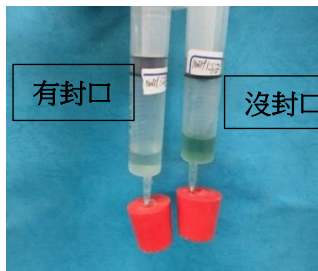
- 1.取氫氧化鈉吸收液 10mL，灌入 CO_2 達最大吸收量，滴入廣用指示劑，再分別將 5mL 的反應液裝入兩支相同的試管中。
- 2.將 10 毫升的氫氧化鈣加入步驟 1 的試管進行替換，將一支試管封口，另外一支不要封。在試管壁畫上水位高度。
- 3.放置數天後觀察水位是否有下降，顏色是否有變化。
- 4.抽取沉澱後的還原液，並測量再次吸收量。

| | | | |
|--|--|---|--|
|  |  |  |  |
| 吸收液吸收二氧化碳 | 加入替換液，分裝到 2 支試管 | 標示水位高度 | 一支試管封口 一支不要封 |

圖二-4 實驗二-4 操作過程

(二)、實驗結果：

表二-4 替換液替換過程有無接觸空氣的差異

| | 水位高度 | 顏色變化 | 還原吸收量 |
|-----------|---|--|---|
| 有無接觸空氣的差異 |  |  |  |
| 有密封試管 | 較高 | 整支試管都是藍色 | 9mL |
| 沒有封試管 | 較低 | 上半部的紫色慢慢增加 | 11mL |

(三)、發現與討論：

1. 沒有封試管的水位會降低，變回紫色較快，還原吸收率較好，提升了 22.2%， $(11-9)/9=0.22$ 。

2. 沒有封試管會接到空氣中的二氧化碳，可能影響吸收量，可見含水量太多造成吸收量差的情況較明顯。
3. 將還原液在空氣中靜置蒸發水分後再回收利用，可以提高還原率。..

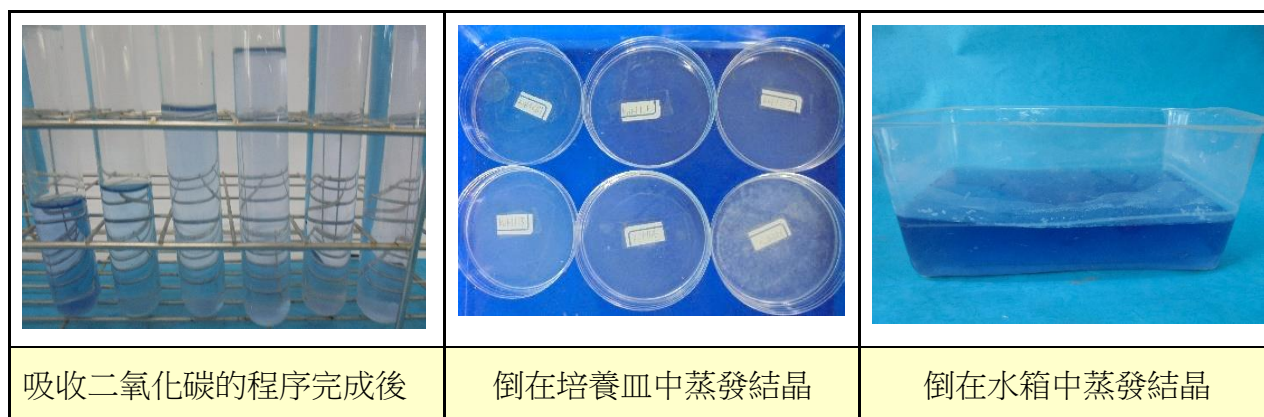
實驗二-5：提取碳酸鈣的方式

【提問】：捕捉到的二氧化碳經過氫氧化鈉吸收與氫氧化鈣替換後，可產生碳酸鈣，但如何將含水量較高的碳酸鈣取出利用？

【探究方法】：採用與曬鹽相同的蒸發結晶法，將還原液抽掉之後，再讓水分慢慢蒸發，留下結晶物。

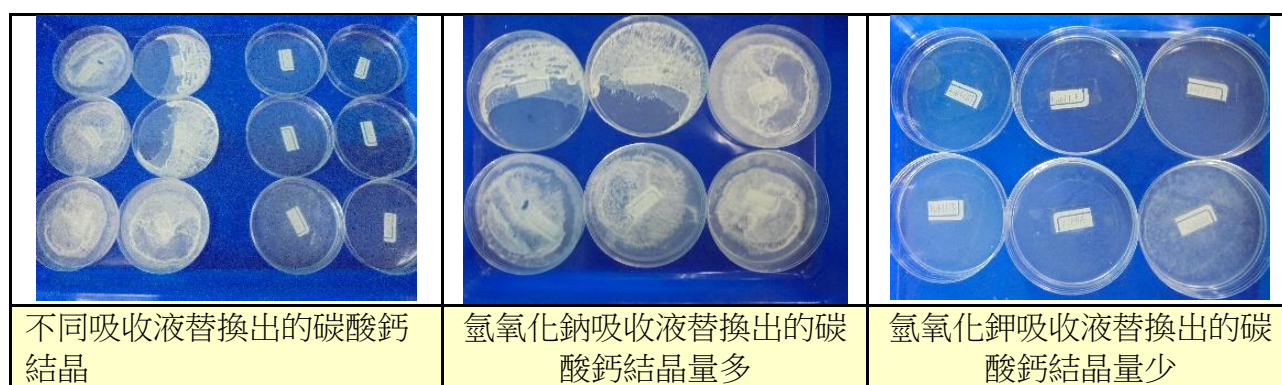
(一)、實驗步驟：

1. 待整個吸收二氧化碳的程序完成後，將還原液抽掉，再將含有水分的沉澱物倒入底部較大的容器中，如培養皿或水箱。
2. 將容器放在戶外靜置，讓水分慢慢蒸發，留下結晶物。
3. 比較氫氧化鈉和氫氧化鉀反應液蒸發後的碳酸鈣結晶。

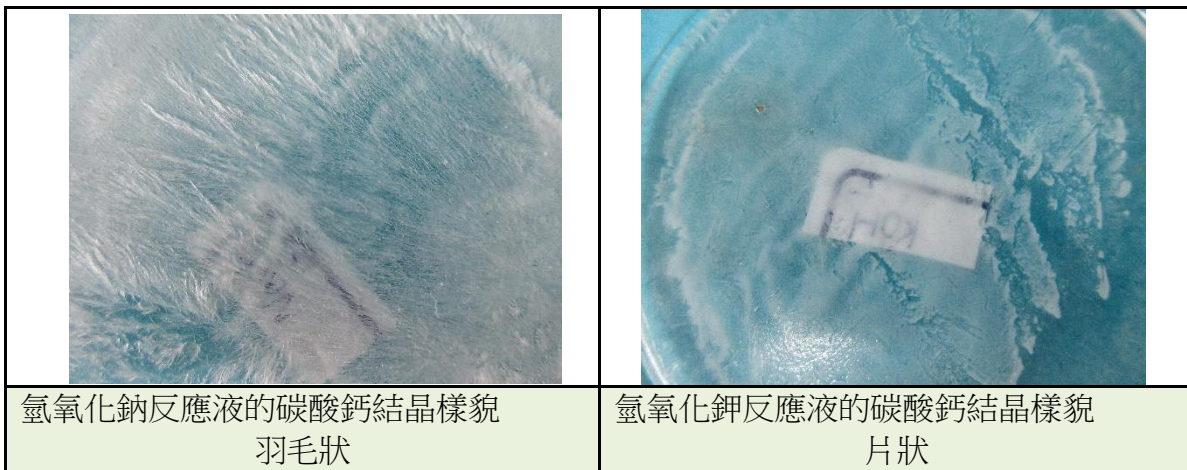


圖二-5-1 實驗二-5 操作過程

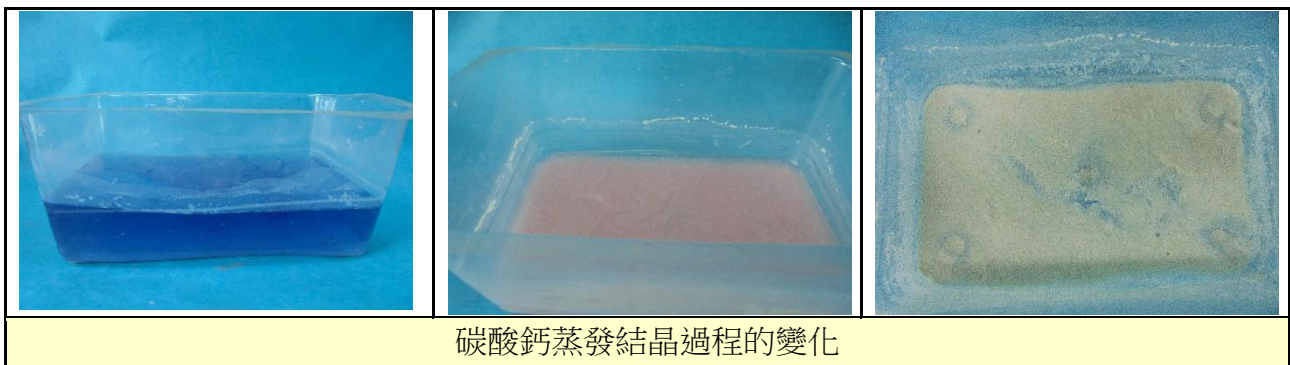
(二)、實驗結果：



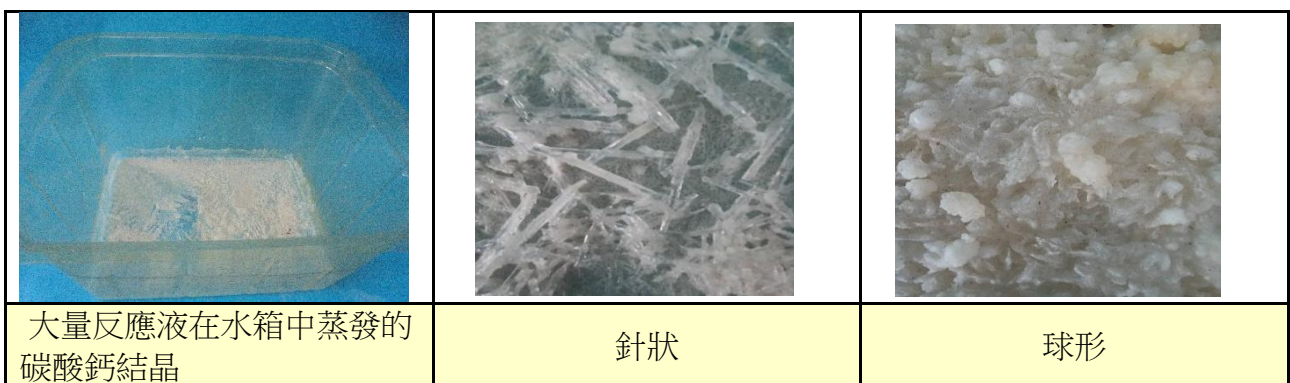
圖二-5-2 氫氧化鈉和氫氧化鉀反應液蒸發的碳酸鈣結晶量比較



圖二-5-3 氫氧化鈉和氫氧化鉀反應液的碳酸鈣蒸發結晶樣貌的比較



圖二-5-4 大量反應液在水箱中蒸發的碳酸鈣結晶過程



圖二-5-5 大量反應液在水箱中蒸發的碳酸鈣結晶樣貌

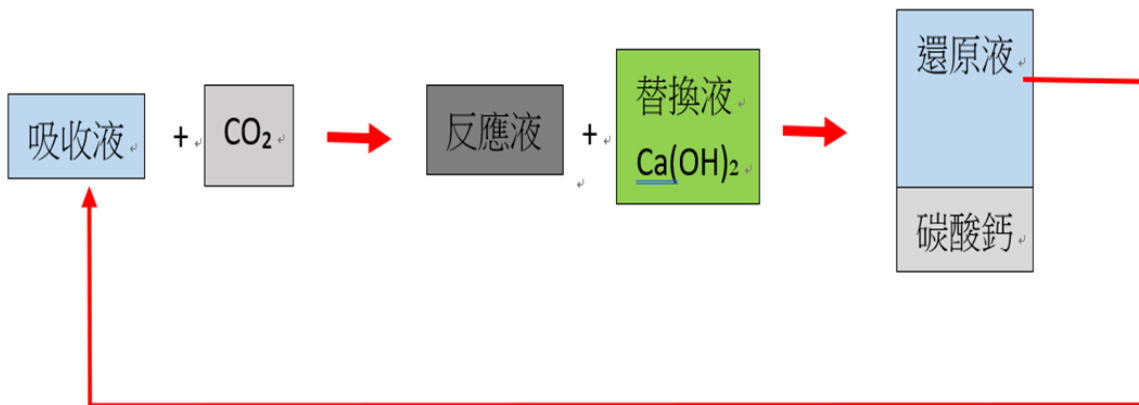
(三)、發現與討論：

1. 碳酸鈣可以經由沉澱、蒸發得到結晶物。
2. 氫氧化鈉吸收液替換出的碳酸鈣結晶量比氫氧化鉀吸收液替換出的多。
3. 替換出的是碳酸鈣，但是結晶樣貌卻不同，有針狀、羽毛狀、片狀、球形，造成不同結晶樣貌的原因可以做為後續的研究。

研究三、捕捉二氧化碳形成碳酸鈣的應用

(一) 建立捕碳成鈣的化學反應流程：

吸收液吸收二氧化碳，成為反應液，用替換液加入反應液中，替換出碳酸鈣，將還原出的還原吸收液再次利用。



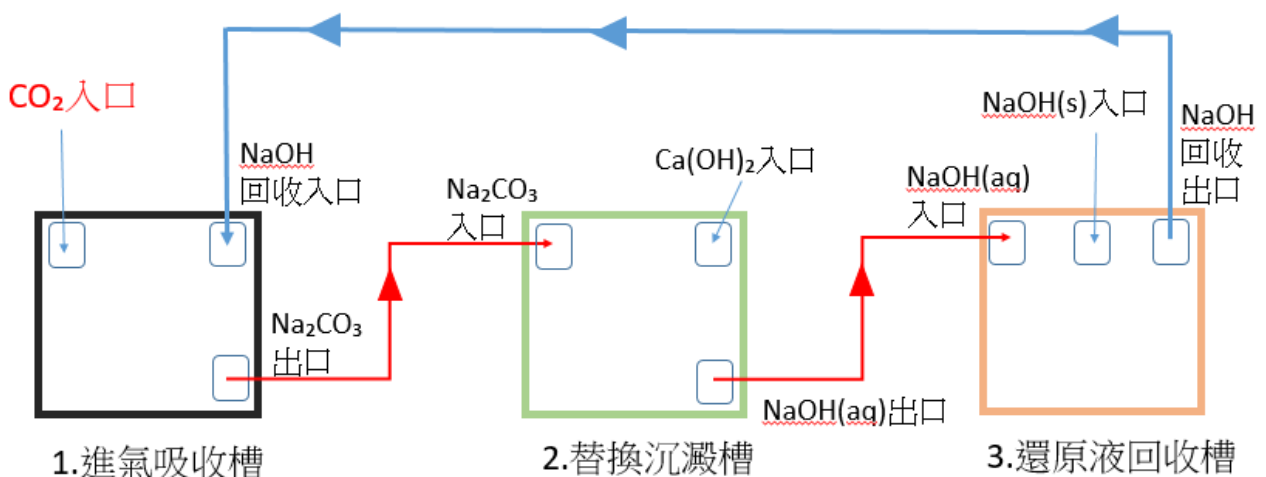
圖三-1 捕碳成鈣流程圖

(二) 研發捕碳成鈣裝置在生活應用：

1. 裝置名稱: 捕碳成鈣循環裝置
2. 功用: 可吸收工業上或生活中(烤肉、燒金紙)排放的二氧化碳，形成碳酸鈣。
3. 裝置的三個作用槽與運作流程:

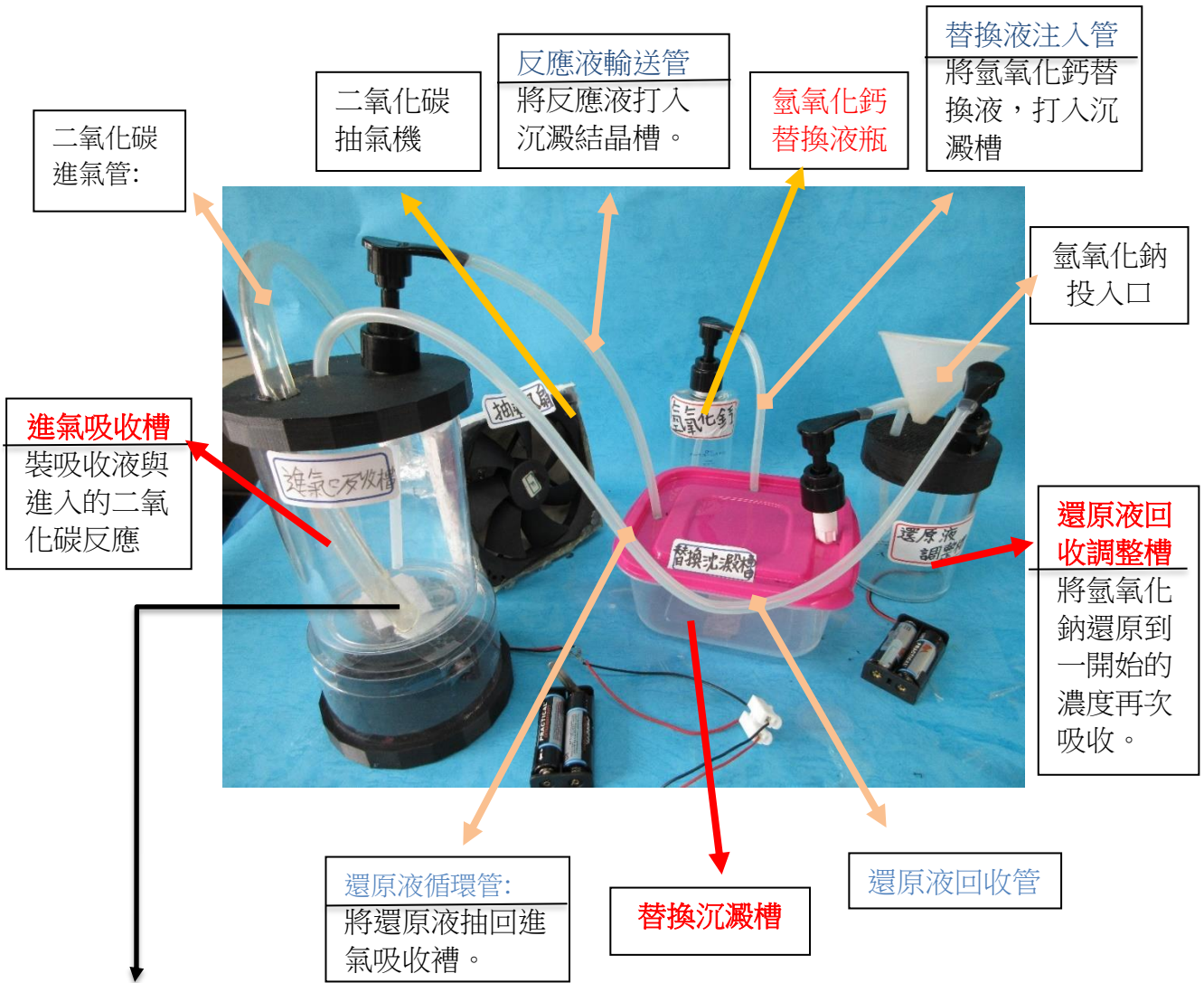
表三-1 捕碳成鈣循環裝置說明

| 作用槽名稱 | 運作流程: |
|--------|--|
| 進氣吸收槽 | 將氫氧化鈉溶液裝入吸收槽，並加入廣用指示劑，用抽氣機抽取二氧化碳，灌入吸收槽中。吸收槽架在磁石攪拌機上，使吸收槽底部的磁石攪動吸收液，加速吸收，待廣用指示劑呈綠色，成為飽和反應液時抽入替換沉澱槽。 |
| 替換沉澱槽 | 在沉澱槽內注入氫氧化鈣，替換出碳酸鈣，產生沉澱並還原出吸收液。等到反應液變回紫色，將上層紫色還原液抽至還原液回收槽 |
| 還原液回收槽 | 靜置還原液，待水分蒸發，提升還原液濃度，或再添加氫氧化鈉調整濃度再抽回進氣吸收槽，循環利用。 |

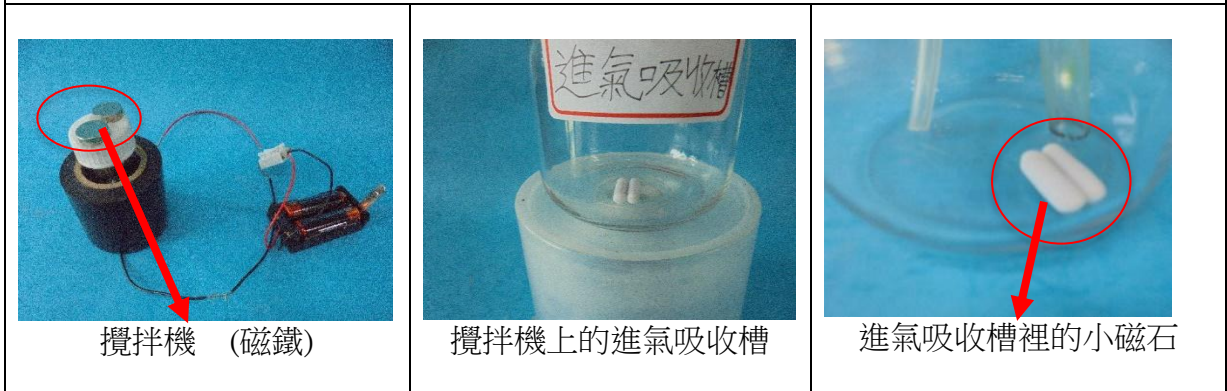


圖三-2: 捕碳成鈣循環裝置流程圖

4. 捕碳成鈣循環裝置模型



進氣吸收槽底部有磁石攪拌機。進氣吸收槽裡的磁石會因為攪拌機轉動，而攪拌吸收液，增加吸收速度。



柒、研究結論

一、二氧化碳吸收液的特性與吸收原理

(一)、二氧化碳吸收液的類別與特性

1. 氫氧化鈣會吸收二氧化碳是因為它是**氫氧化物**，不是因為它是含鈣化合物。
2. 氫氧化鈣吸收二氧化碳產生的沉澱物，是不易溶於水的**碳酸鈣**，所以會出現沉澱物。
3. 藉由空氣柱減少的實驗，證明**其他的氫氧化物**，例如氫氧化鈉、氫氧化鉀、氫氧化鎂**都具有吸收二氧化碳的能力**，只是不會產生沉澱物，那是因為它們產生的碳酸鹽(碳酸鈉、碳酸鉀、碳酸鎂)易溶於水，沒有沉澱物。
4. 藉由針筒**空氣柱下降速率**，得到氫氧化物吸收二氧化碳的速率快慢，依序是氫氧化鈉、氫氧化鉀、氫氧化鈣、氫氧化鎂，這與 **pH 值呈正相關**。
5. 在相同克數時氫氧化鈉的吸收速率優於氫氧化鉀。在相同分子數時，氫氧化鈉和氫氧化鉀吸收速率相近。

(二)、吸收原理與吸收量

1. 在**鹼性氫氧化物**吸收液中滴入廣用酸鹼指示劑，顏色變化情形會隨著吸收量增加，從鹼性變成中性，可以驗證化學吸收液吸收的原理是**酸鹼中和反應**，也可以利用這個方法，測出吸收液變中性時的總吸收量，就是**飽和吸收量**。
2. 在相同克數或相同分子數，氫氧化鈉的飽和吸收量都比氫氧化鉀多，在相同分子數中，兩者的飽和吸收量差異不大。
3. 吸收液的**吸收量與吸收液溶質的公克數成正比**。

二、氫氧化物捕捉二氧化碳形成碳酸鈣的方法

(一)從反應液替換出碳酸鈣的最佳含鈣液是氫氧化鈣

1. 未吸收 CO₂ 的氫氧化物吸收液加入氫氧化鈣，都不會產生白色沉澱物；要吸收 CO₂ 後加入，才會產生白色沉澱物，所以**氫氧化鈣適用當作替換液**，把碳酸鈉和碳酸鉀中的鈉和鉀替換出碳酸鈣，還原出原來的氫氧化物吸收液，可再循環利用。
2. 在反應液中加入的氫氧化鈣替換液越多，試管中沉澱物造成的遮光度愈大，光敏電阻值越大，表示替換出來的碳酸鈣越多。
3. **不論是在相同克數或分子數的情況下**，都是以**氫氧化鈉**為吸收液，替換出的碳酸鈣比氫氧化鉀**多**。

(二)、替換出碳酸鈣的還原液循環利用效果

1. 加入氫氧化鈣替換出碳酸鈣時，pH 值會增加，表示氫氧化鈉/氫氧化鉀確實被還原出來。
2. 以相同克數為基準，氫氧化鈉的還原吸收量比氫氧化鉀好。

3. 以相同分子數為基準，氫氧化鉀的還原吸收力、還原率較好，但差異不大。
4. 氫氧化鈣替換液比例小於 1:1 時，還原液的循環利用效果最佳，隨著替換液的量增加，還原液的循環利用效果卻越差，一直到 1:5 時開始變好，這與還原液的濃度有關，飽和的氫氧化鈣的濃度低，加越多，水越多，稀釋了還原液的濃度。。
5. 綜合考量碳酸鈣沉澱量與還原液的還原率，選定最佳的比例是 1:1。
6. 將還原液在空氣中靜置，讓水分蒸發後再回收利用，可以提高還原率。..

(三) 提取碳酸鈣的方式

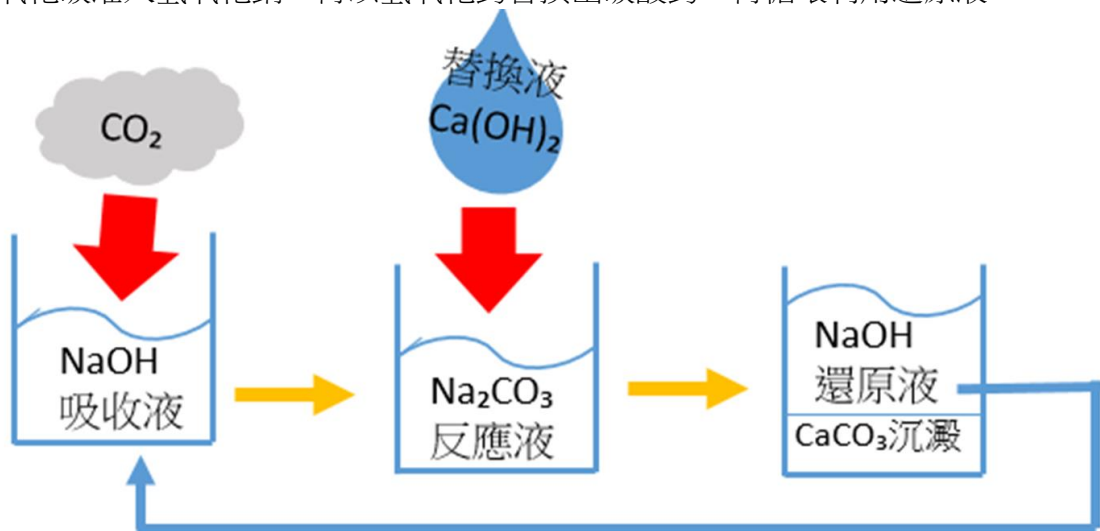
1. 碳酸鈣可以經由沉澱、蒸發得到結晶物。
2. 氫氧化鈉吸收液替換出的碳酸鈣結晶量比氫氧化鉀吸收液替換出的多。
3. 替換出的碳酸鈣結晶樣貌不同，造成不同結晶樣貌的原因可以做為後續的研究。

(四)、吸收二氧化碳的最佳吸收液是氫氧化鈉

最佳吸收液的判斷條件是吸收速度、吸收量、替換後的沉澱量、還原後的吸收量、還原率。在相同分子數時，雖然氫氧化鉀略佳，但在相同克數時，氫氧化鈉比氫氧化鉀效果好，以價錢考量，也是氫氧化鈉較便宜。

三、捕捉二氧化碳形成碳酸鈣的應用

建立二氧化碳捕捉成鈣的流程，並研發生活中可用的捕碳成鈣循環裝置。將二氧化碳灌入氫氧化鈉，再以氫氧化鈣替換出碳酸鈣，再循環利用還原液。



捌、參考資料

1. 中華民國第 51 屆中小學科展 國中 捕捉你的點點滴滴 — 二氧化碳溶解度的探討
2. 中華民國第 51 屆中小學科展 國中 太陽能二氧化碳捕捉器
3. 南一書局(民 111)自然與生活科技五下，教師手冊 p.210
4. 南一書局(民 111)自然與生活科技五上，課本 p.46-48
5. 維基百科--碳酸鈣
6. 維基百科--二氧化碳
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E4%BA%8C%E6%B0%A7%E5%8C%96%E7%A2%B3>
7. 天下雜誌---「碳捕捉」是什麼？發電減碳新技術 台電如何「捕」CO₂、要封存在哪？
<https://www.cw.com.tw/article/5126479>
8. 科技大觀園---二氧化碳減量排放：二氧化碳捕獲
<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=f1fe45c1-dc8c-468a-a03f-3bccf40d6a3>
9. 維基百科---氫氧化鈣
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B0%A2%E6%B0%A7%E5%8C%96%E9%92%99>

註:研究報告中所有照片、圖片、圖表皆由作者拍攝、繪製

【評語】 080213

本研究通過將二氧化碳轉化為碳酸鈣，不僅能夠有效減少大氣中的二氧化碳濃度，還能將捕獲的二氧化碳進行資源化利用，實現碳循環，符合可持續發展理念。實驗設計包括沉澱法和空氣柱法測試不同化學吸收液對二氧化碳的吸收效果，並比較氫氧化鈉和氫氧化鉀的吸收速率。學生通過變色法驗證吸收原理，並使用光阻法測量含鈣液的替換效果，找到最佳吸收液，富有創意。

建議事項：

1. 研究中以純 100% 二氧化碳，但現實環境的空氣不是純 100% 二氧化碳，建議可模擬空氣中的二氧化碳含量進行實驗，驗證技術的可行性。
2. 針對酸鹼指示劑顏色變化不明顯的問題，建議使用顏色變化更為明顯的指示劑，以便更準確地觀察和測量酸鹼變化。
3. 針對氫氧化鉀吸收液吸收 CO₂ 後，加入不同種類的鈣鹽溶液，有些會沈澱有些不會的現象，建議進行更深入的探討，分析不同鈣鹽溶液之間的化學反應機理。

作品簡報

捕 碳 成 鈔



「 鈔 」 麼 屬 害

摘要

本研究建立一個簡易的捕碳成鈣流程。以化學吸收液把二氧化碳吸收，再將反應液加入含鈣液，替換出碳酸鈣。以沉澱法、空氣柱法探討化學吸收液的特性，以變色法驗證吸收原理。以光阻法測量含鈣液的替換效果，並以吸收速率、吸收量、沉澱量、還原率，找出最佳吸收液。結果發現，以氫氧化鈉與二氧化碳產生酸鹼反應的方法固碳，再加入氫氧化鈣替換出碳酸鈣，並同時還原吸收液，循環使用吸收液，是二氧化碳捕捉再利用的好方法，不需要額外能量就能將二氧化碳轉換成碳酸鈣。最後，設計二氧化碳吸收槽、碳酸鈣結晶槽、還原液調整槽，展示了在生活中捕碳成鈣的應用潛力。

壹、研究動機

溫室氣體的碳排放，造成嚴重的氣候變遷，二氧化碳的捕獲、封存與再利用是國際能源總署認為最重要的減碳技術之一，能夠捕獲二氧化碳並以化學的方式轉化成其他產品的原料，那麼二氧化碳就不再是地球的累贅。五年級自然課學過，在氫氧化鈣溶液中吹氣，會產生混濁，那是碳酸鈣沉澱，碳酸鈣容易結晶析出，且在工業上有很多用途。本研究想探討是否有更適合吸收二氧化碳的水溶液，可以將二氧化碳回收再利用，成為有價值的碳酸鈣產物。

貳、研究目的

一、探究可以捕捉二氧化碳的化學吸收液特性

- 一-1、以沉澱法測試不同溶液對二氧化碳的吸收情形
- 一-2、以空氣柱法比較不同吸收液對二氧化碳的吸收情形
- 一-3、驗證二氧化碳吸收液的吸收原理並測量飽和吸收量
- 一-4、驗證二氧化碳吸收液的吸收原理並測量飽和吸收量

二、探究氫氧化物捕捉二氧化碳形成碳酸鈣的方法

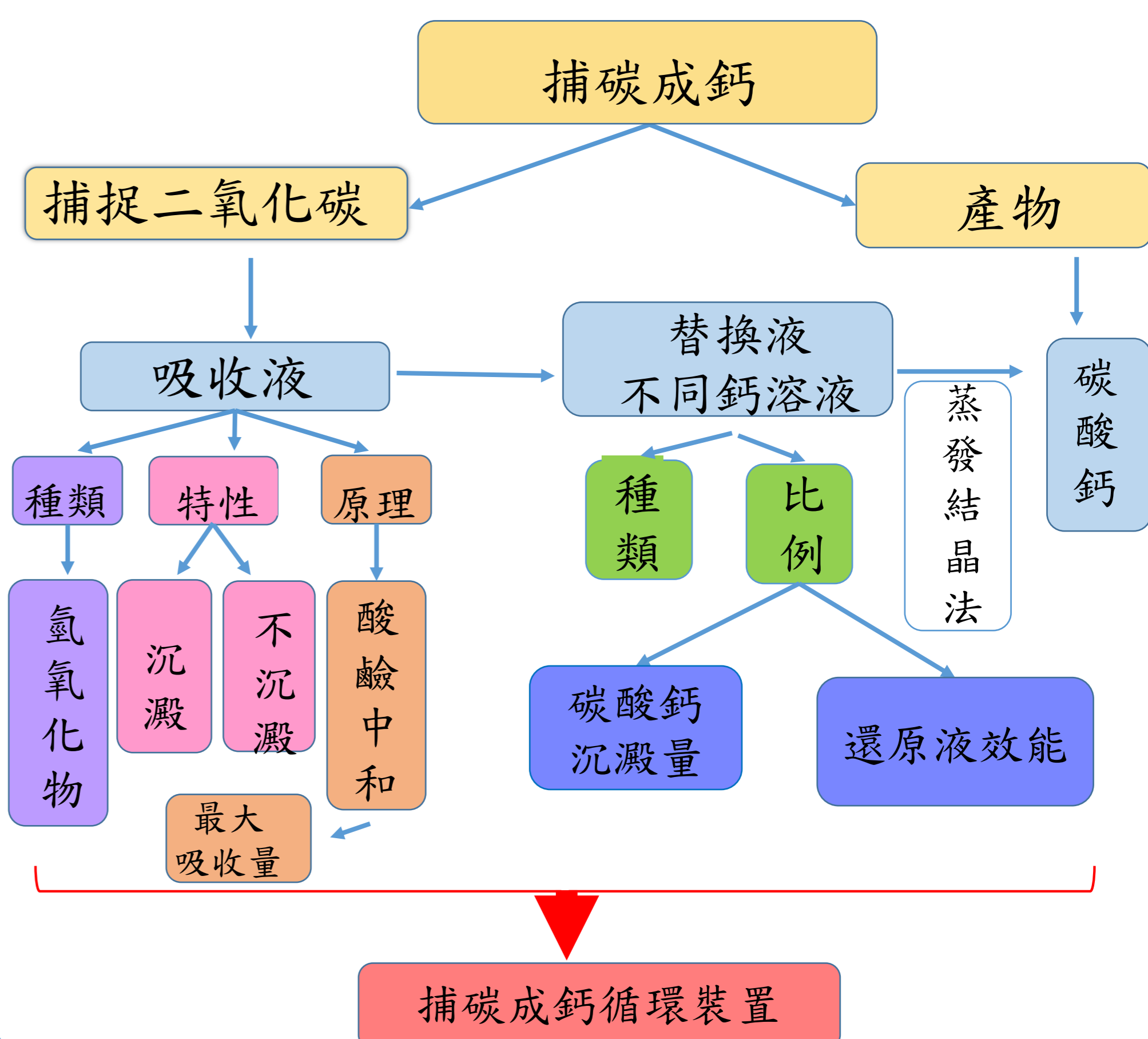
- 二-1、從反應液替換出碳酸鈣的最佳含鈣液
- 二-2、從反應液替換出碳酸鈣的氫氧化鈣比例
- 二-3、替換後的還原液循環利用的效果

三、捕捉二氧化碳形成碳酸鈣的應用

- 三-1、建立二氧化碳捕捉成鈣的流程
- 三-2、研發捕碳成鈣裝置

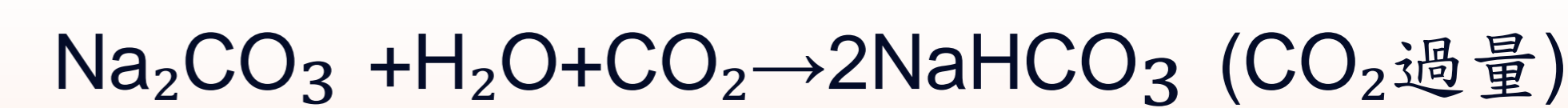
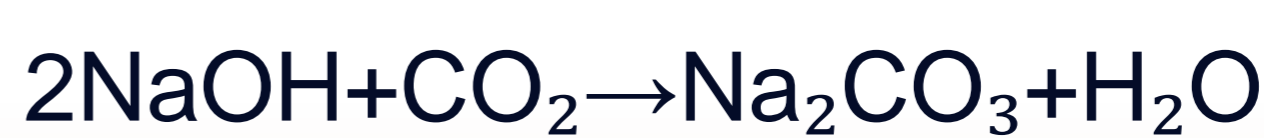
註：海報中所有圖片與照片皆為作者繪製與拍攝

參、研究架構圖

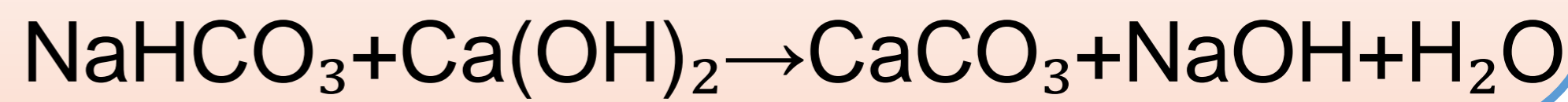
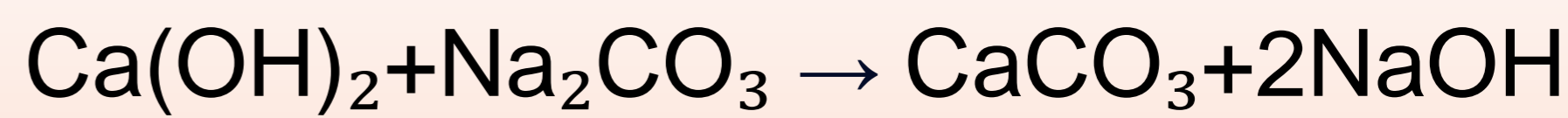


肆、研究原理

1. 氫氧化鈉吸收二氧化碳反應式：

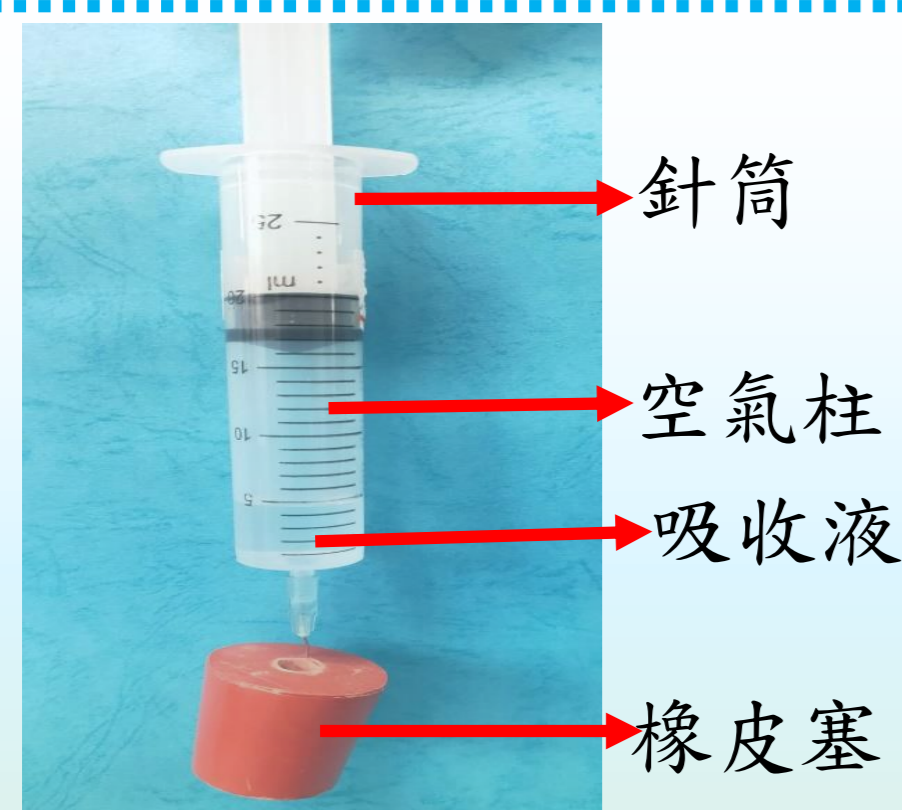


2. 氫氧化鈣替換碳酸鈉反應式：



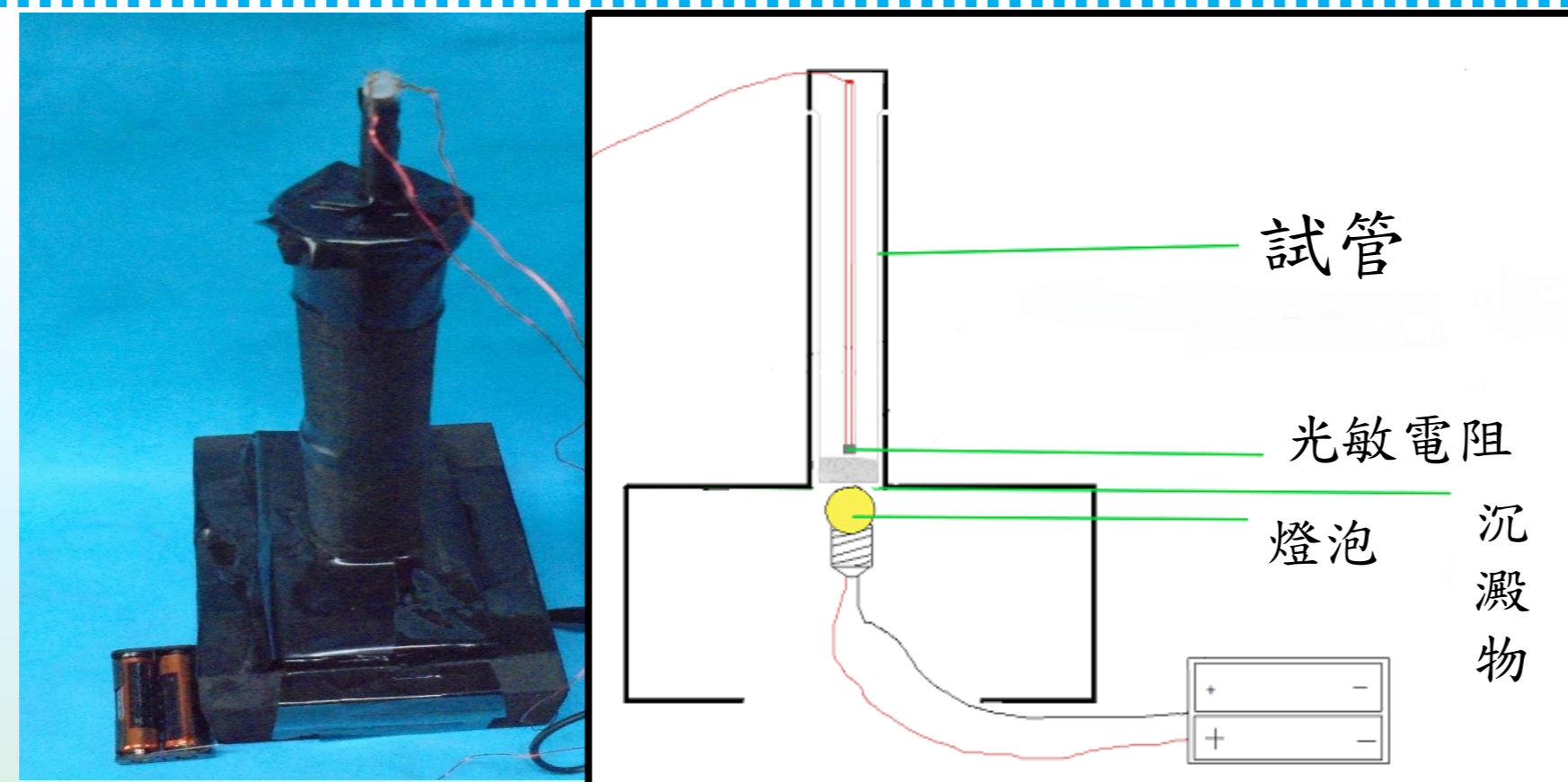
伍、自製研究器材

(一) CO₂ 吸收量測量裝置：



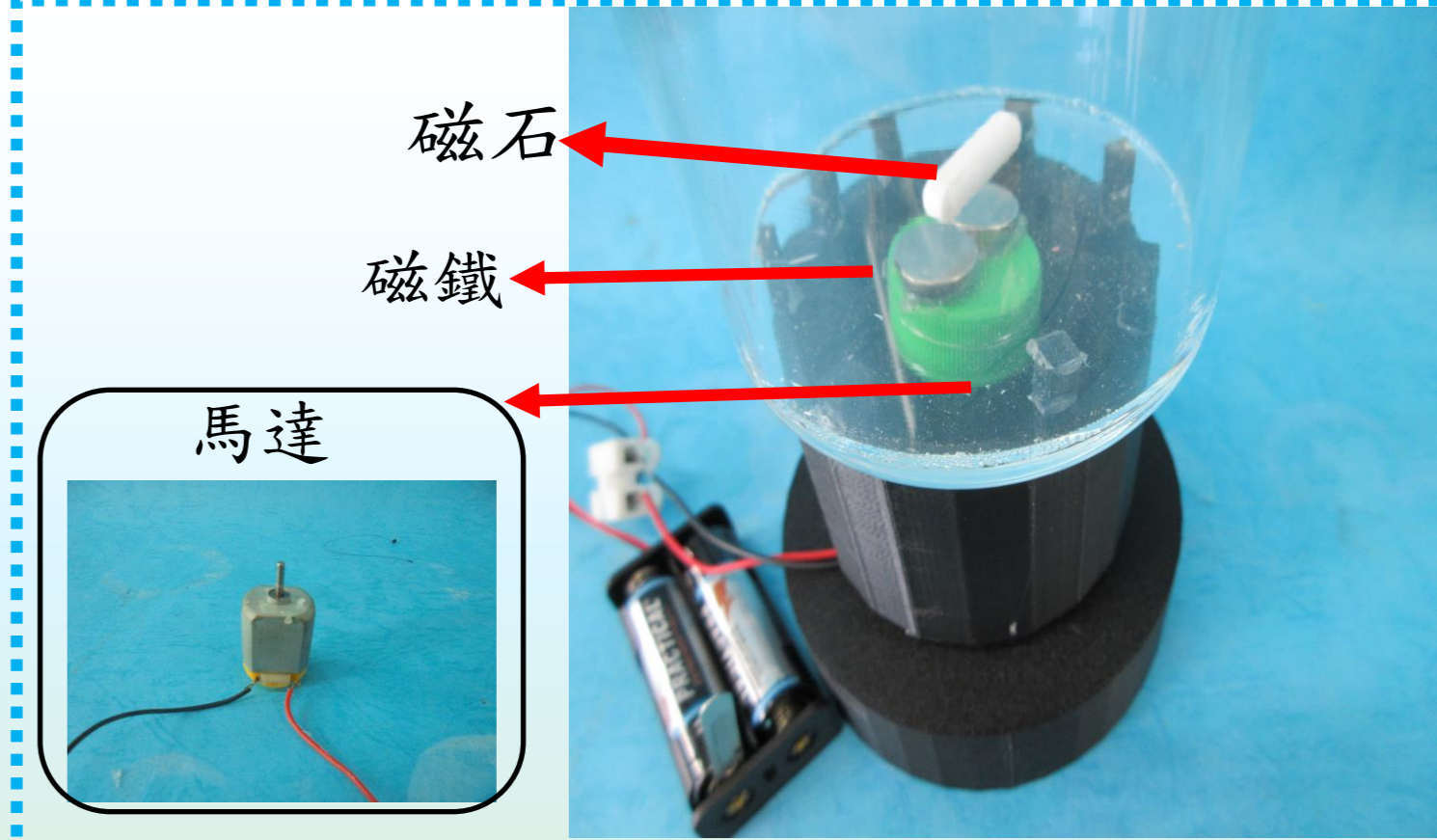
針筒的刻度變化即二氧化碳的吸收量

(二) 碳酸鈣沉澱量測量儀：



以試管底部沉澱物的透光度電阻值表示碳酸鈣的量

(三) 磁石攪拌機：



攪拌吸收液，加快吸收二氧化碳

陸、研究過程與結果

研究一、探究可以捕捉二氧化碳的化學吸收液特性與原理

實驗一-1 以沉澱法測試不同溶液對二氧化碳的吸收情形

(一)、實驗步驟：



(二)、實驗結果：



| 類別 | 氫氧化物 | | | | 含鈣化合物 | | | | 對照組 |
|-------|------|------|------|------|-------|-----|-----|-----|-----|
| 吸收液 | 氫氧化鈉 | 氫氧化鉀 | 氫氧化鎂 | 氫氧化鈣 | 硫酸鈣 | 氯化鈣 | 磷酸鈣 | 醋酸鈣 | 蒸餾水 |
| 酸鹼性 | 鹼性 | | | | 鹼性 | | | | 酸性 |
| pH值 | 13.6 | 13.1 | 9.8 | 12.4 | 7.5 | 7.9 | 7.4 | 5.3 | 7.1 |
| 有白色混濁 | × | × | × | ✓ | × | × | × | × | × |

(三)、發現與討論：

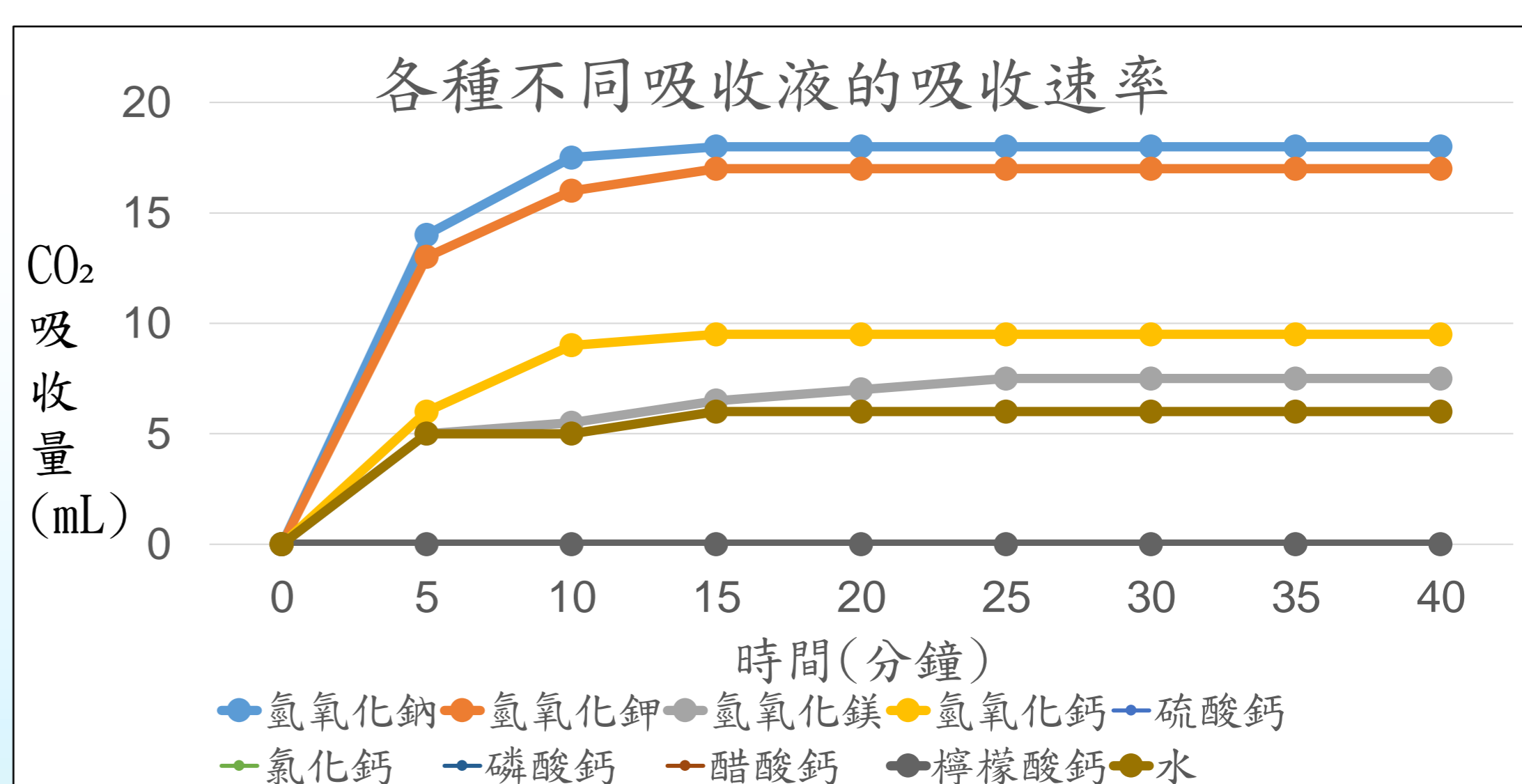
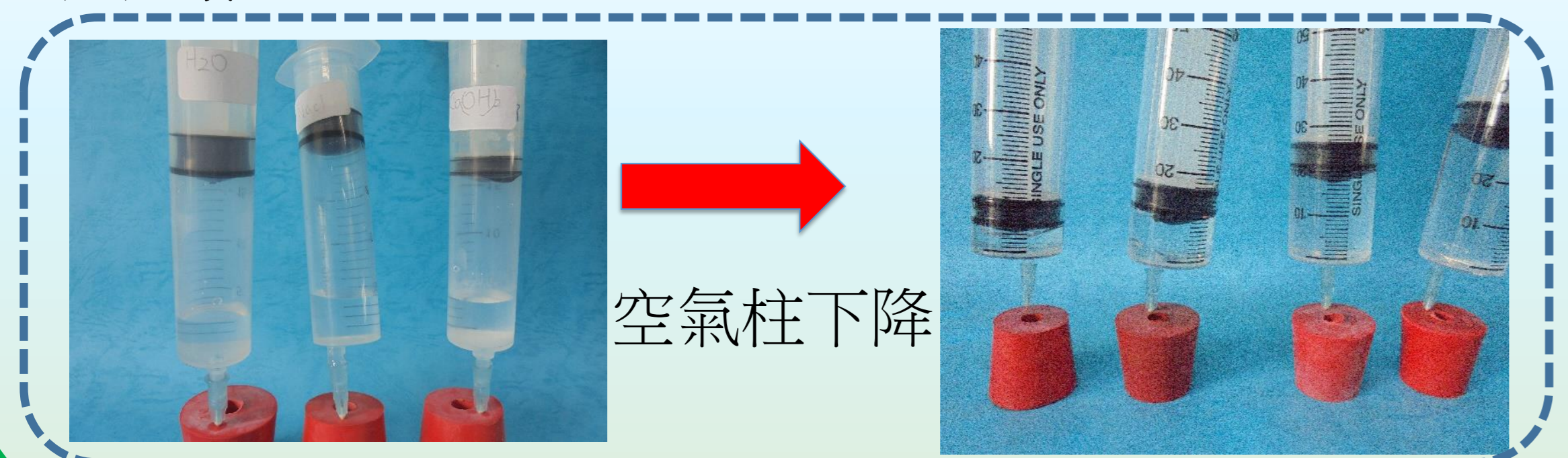
- 在氫氧化物和含鈣化合物中，只有氫氧化鈣有混濁。
- 將混濁液靜置後，瓶底會有白色沉澱物，那就是碳酸鈣。

實驗一-2：以空氣柱法比較不同化學吸附液對二氧化碳的吸收情形

(一)、實驗步驟：



(二)、實驗結果：

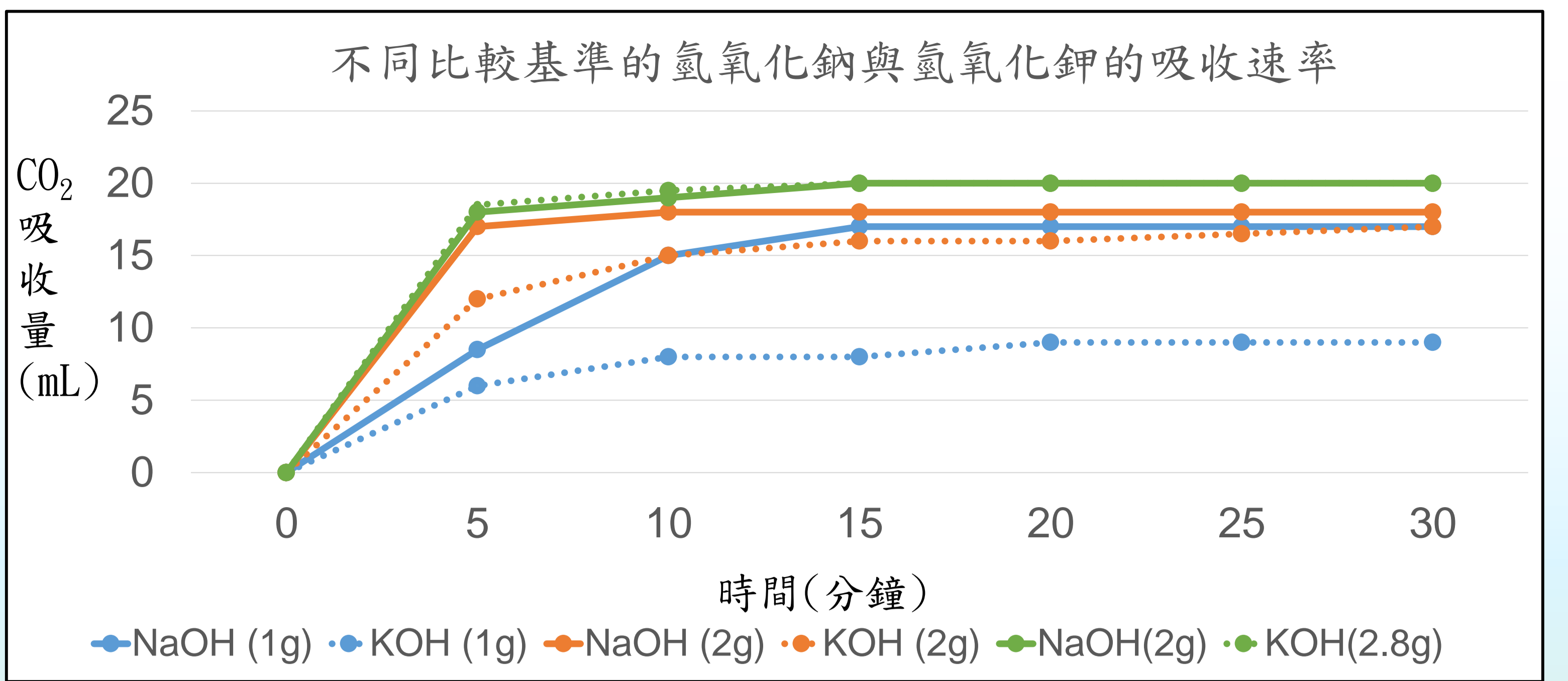


(三) 發現與討論：

- 氫氧化物的空氣柱都有下降，含鈣化合物幾乎沒有。氫氧化鈉吸收速率最快，其次是氫氧化鉀、氫氧化鈣、氫氧化鎂。這和酸鹼值有正相關。
- 吸收液吸收 CO₂ 後，沒有生成白色混濁物，不代表沒有吸收二氧化碳。

實驗一-3：以不同基準比較氫氧化鈉與氫氧化鉀的吸收速率

(一)、實驗步驟：

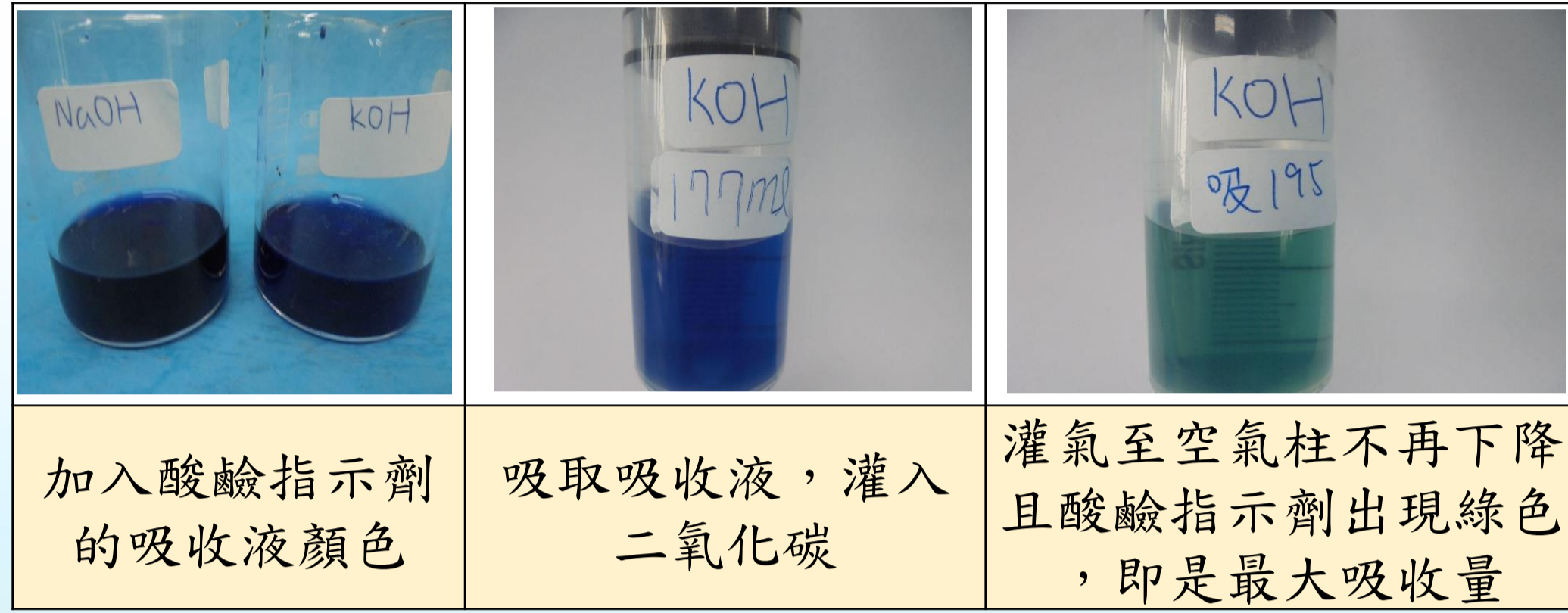


(三)、發現與討論：

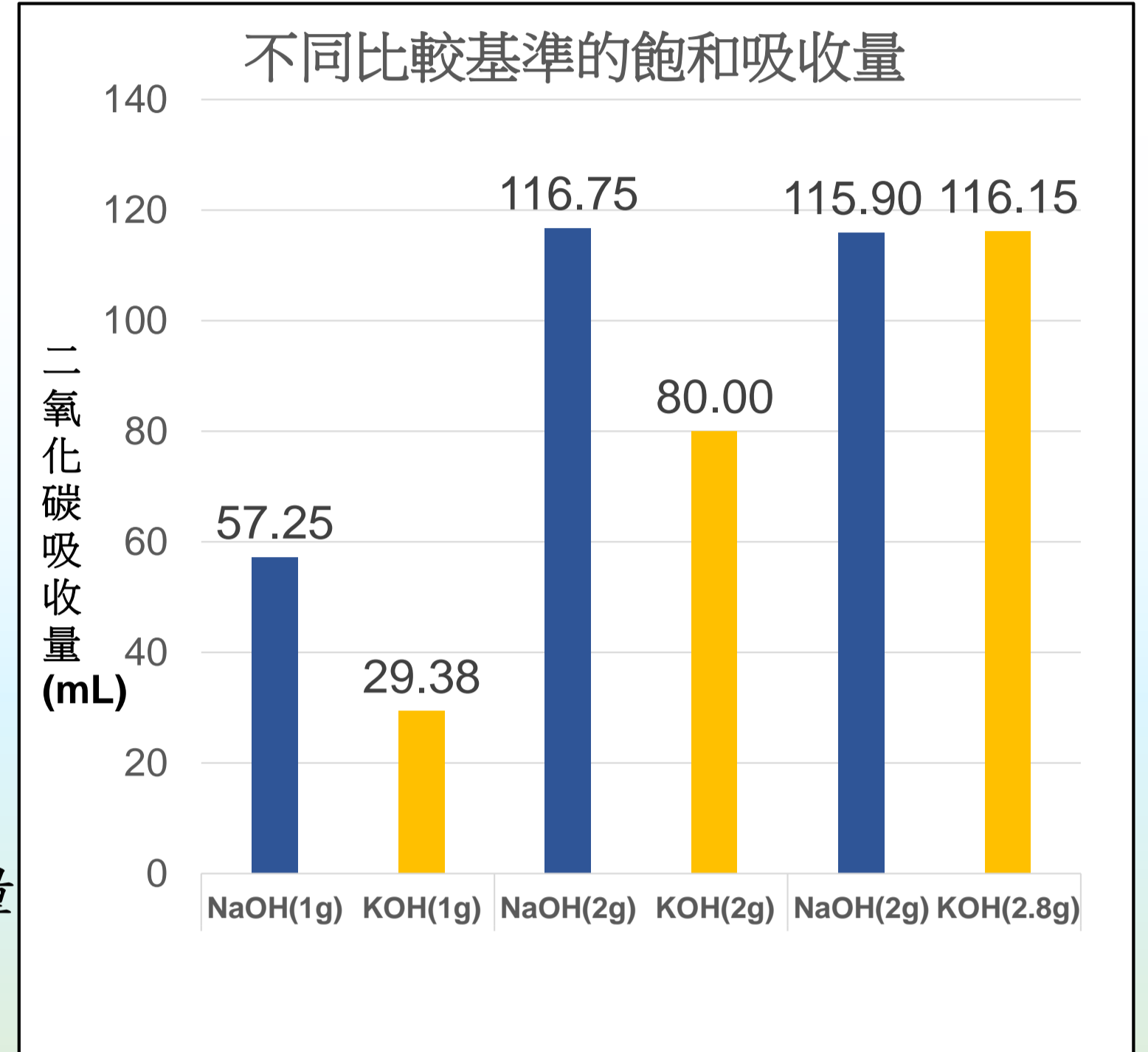
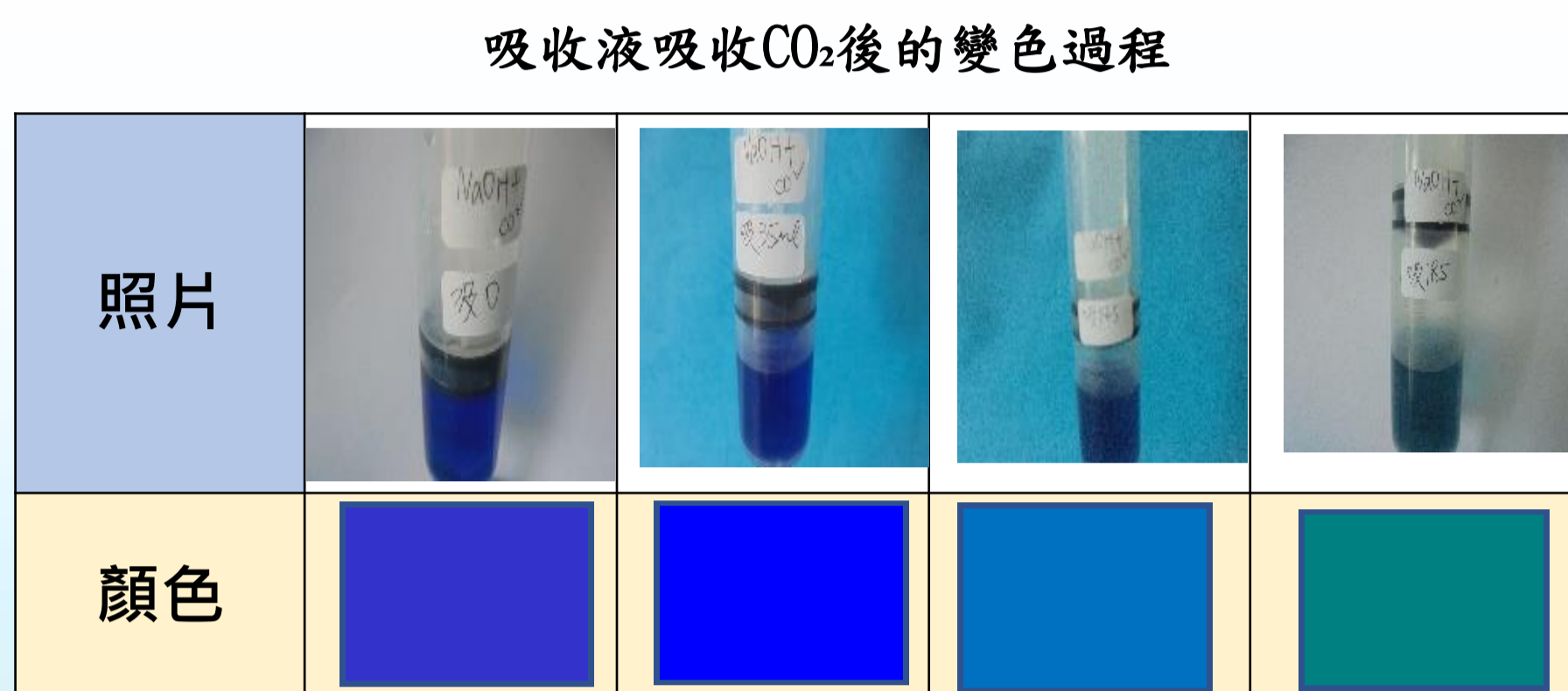
1. 吸收液的濃度越高，吸收速率越好。
2. 不論是相同克數或相同分子數，氫氧化鈉的吸收速率都比氫氧化鉀快。但在相同分子數時，兩者的差異縮小。

實驗一-4：驗證化學吸收液的吸收原理是酸鹼中和反應，並測量飽和吸收量

(一)、實驗步驟：



(二)實驗結果



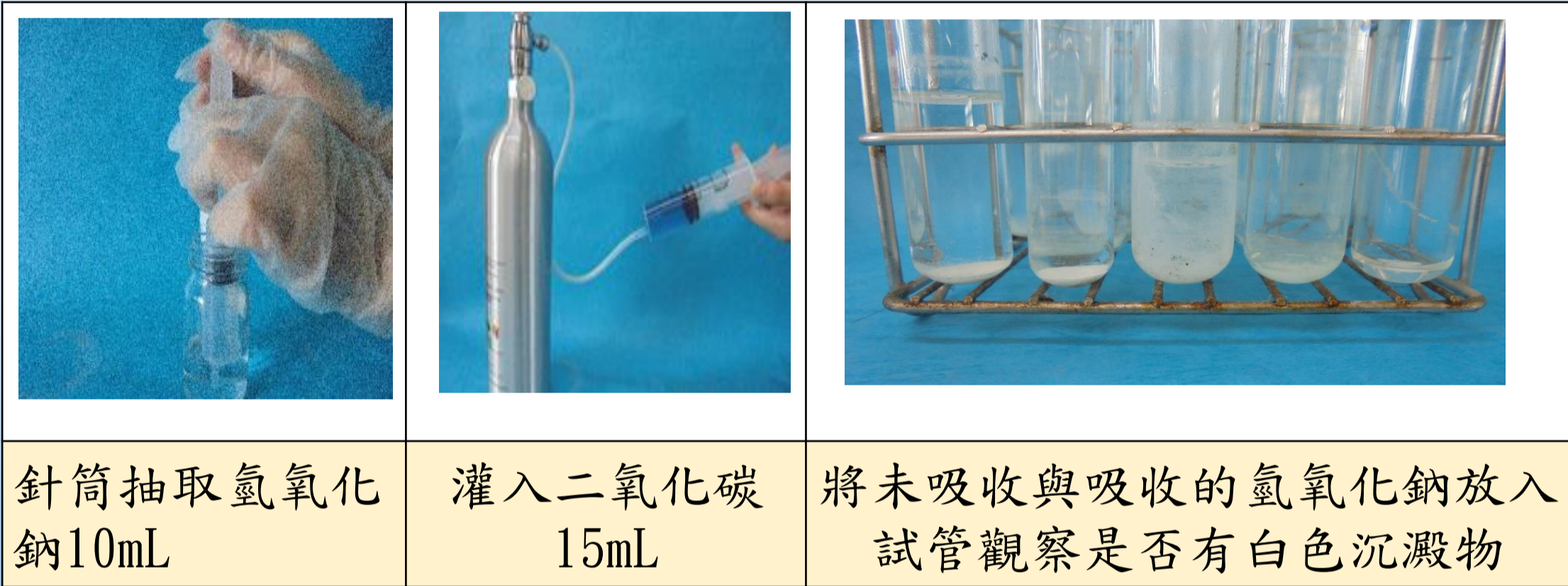
(三)、發現與討論：

1. 持續灌氣，指示劑顏色從紫到靛到綠，表示吸收液與CO₂進行酸鹼中和反應。當活塞停止移動時，就是吸收液的飽和吸收量。
2. 氫氧化鈉和氫氧化鉀，在相同分子數時兩者數值接近。但相同克數時都是氫氧化鈉的吸收量高於氫氧化鉀。
3. 吸收液的濃度會影響吸收量，克數與吸收量有正相關。

研究二、探究氫氧化物捕捉二氧化碳形成碳酸鈣的方法

實驗二-1 從反應液替換出碳酸鈣的最佳含鈣液

(一)、實驗步驟：



(二)、實驗結果：

| 含鈣溶液 | 氫氧化鈣 | 磷酸鈣 | 醋酸鈣 | 矽酸鈣 | 乳酸鈣 | 氯化鈣 |
|-------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 氫氧化鈉 | 前 | × | × | × | × | × |
| | 吸收CO ₂ 後 | ✓ | × | × | × | × |
| 氫氧化鉀 | 前 | × | × | × | × | × |
| | 吸收CO ₂ 後 | ✓ | × | × | × | × |
| 是否可應用 | ✓ | × | × | × | × | × |

(三)、發現與討論：

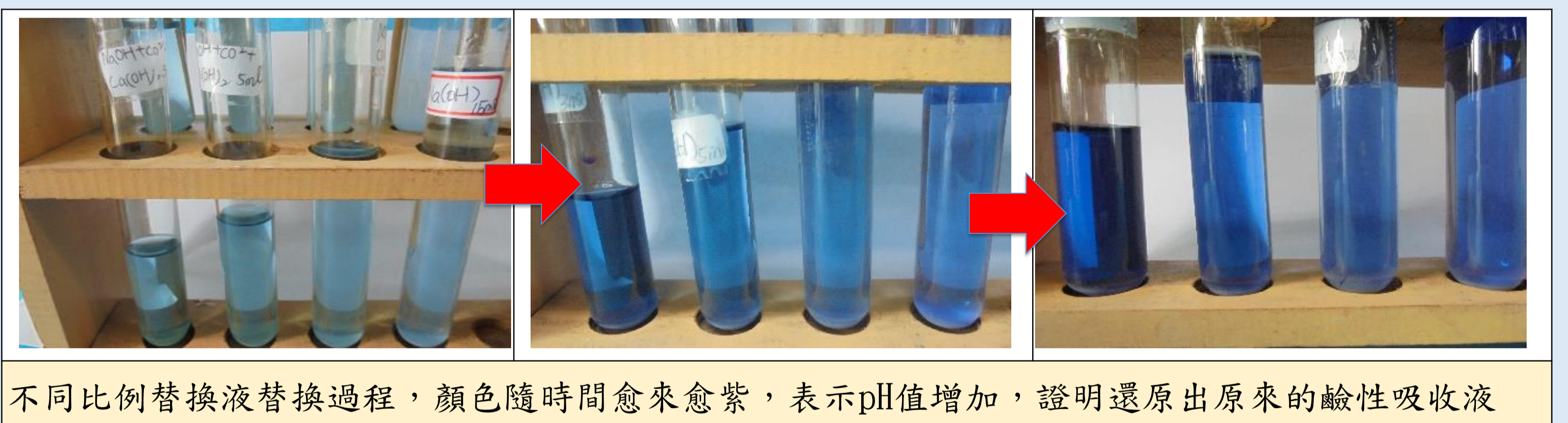
1. 吸收液吸收 CO₂ 前、後，再加入不同鈣溶液，會出現三種沉澱情形。
2. 未吸收CO₂的氫氧化鉀和氫氧化鈉與氫氧化鈣反應都不會產生白色沉澱物；吸收CO₂後才會產生白色沉澱物，所以氫氧化鈣適用當作替換液。

實驗二-2 從反應液替換出碳酸鈣的氫氧化鈣比例

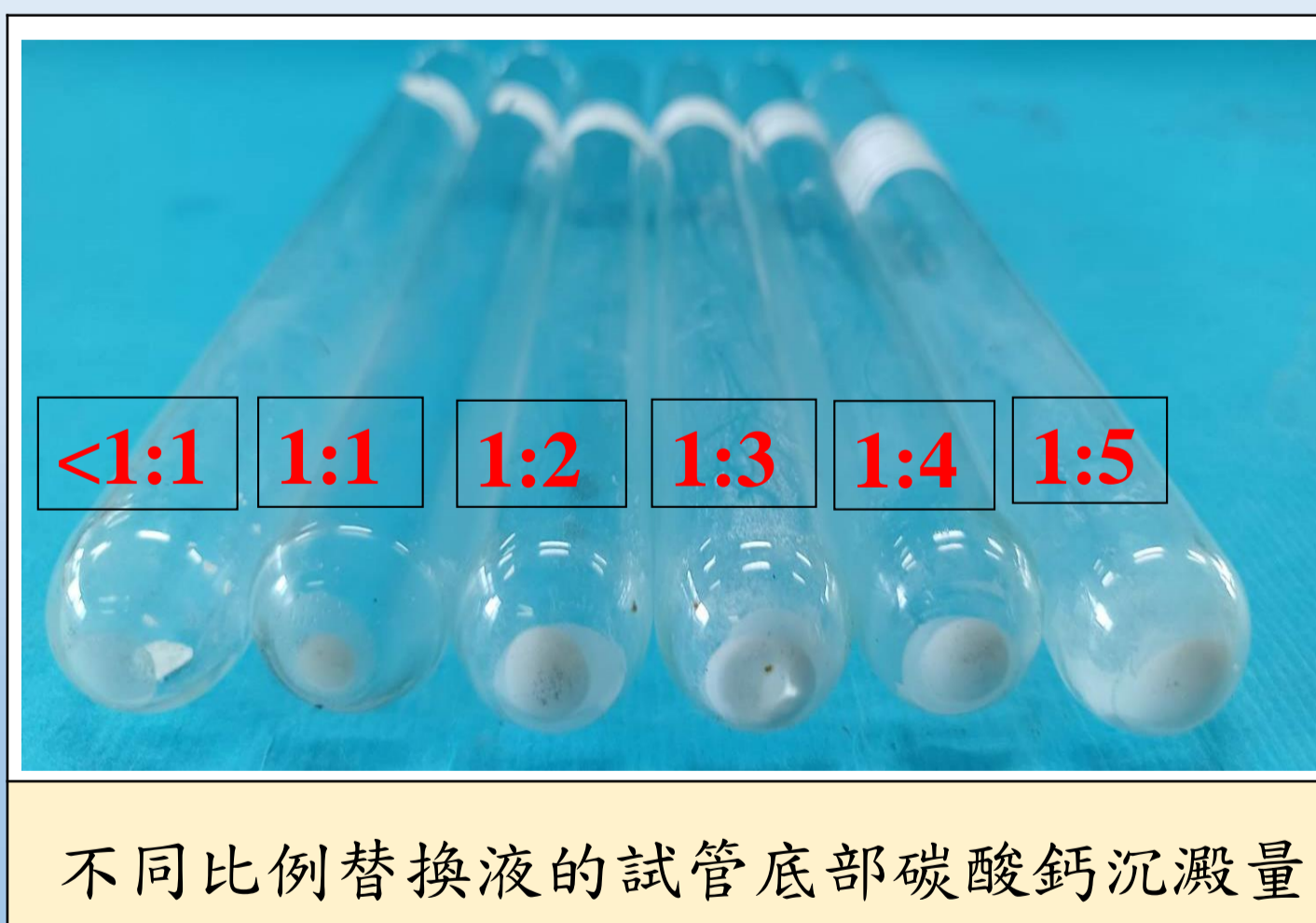
(一)、實驗步驟：



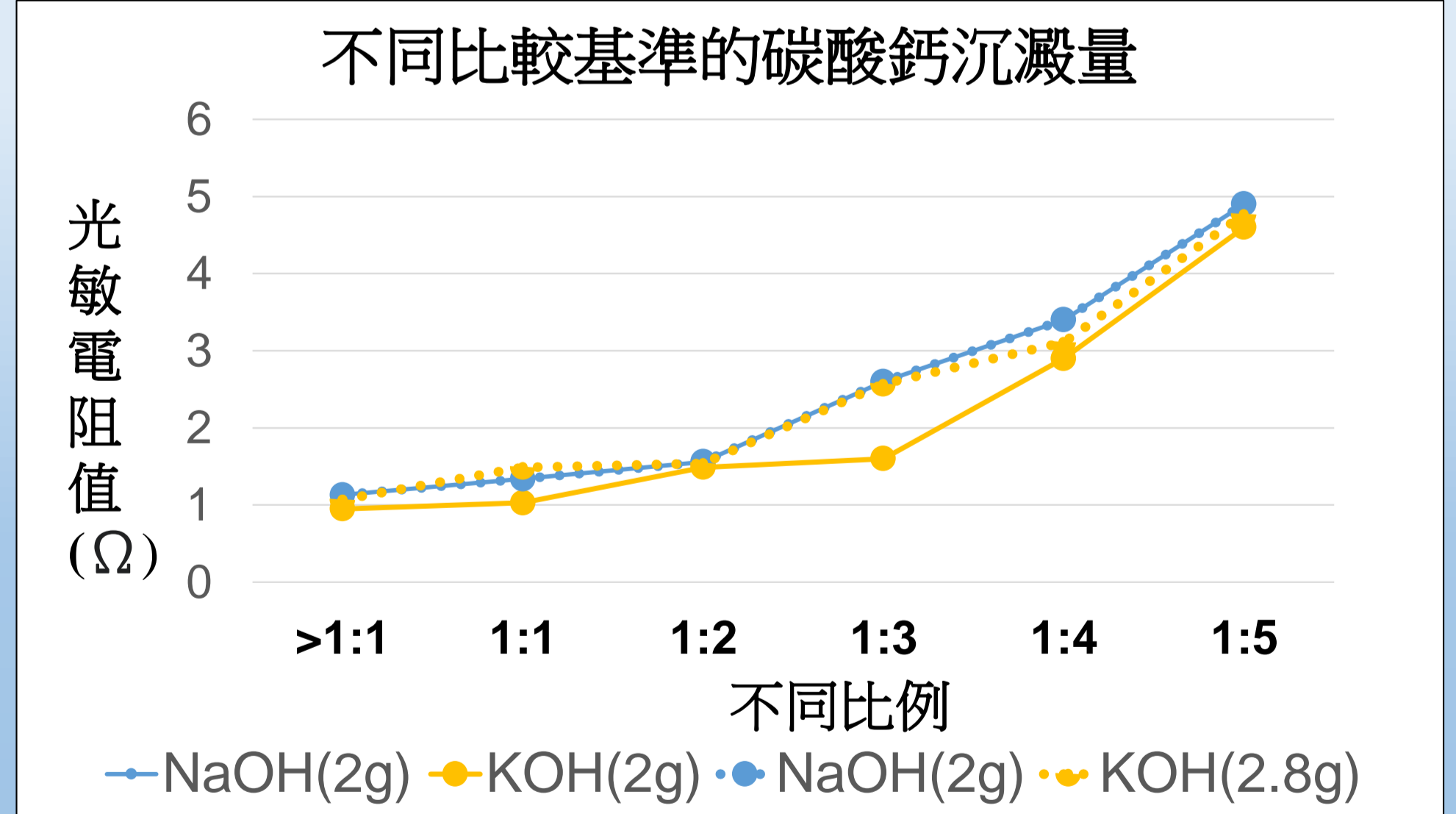
(二)、實驗結果：



不同比例替換液替換過程，顏色隨時間愈來愈紫，表示pH值增加，證明還原出原來的鹼性吸收液



不同比例替換液的試管底部碳酸鈣沉澱量

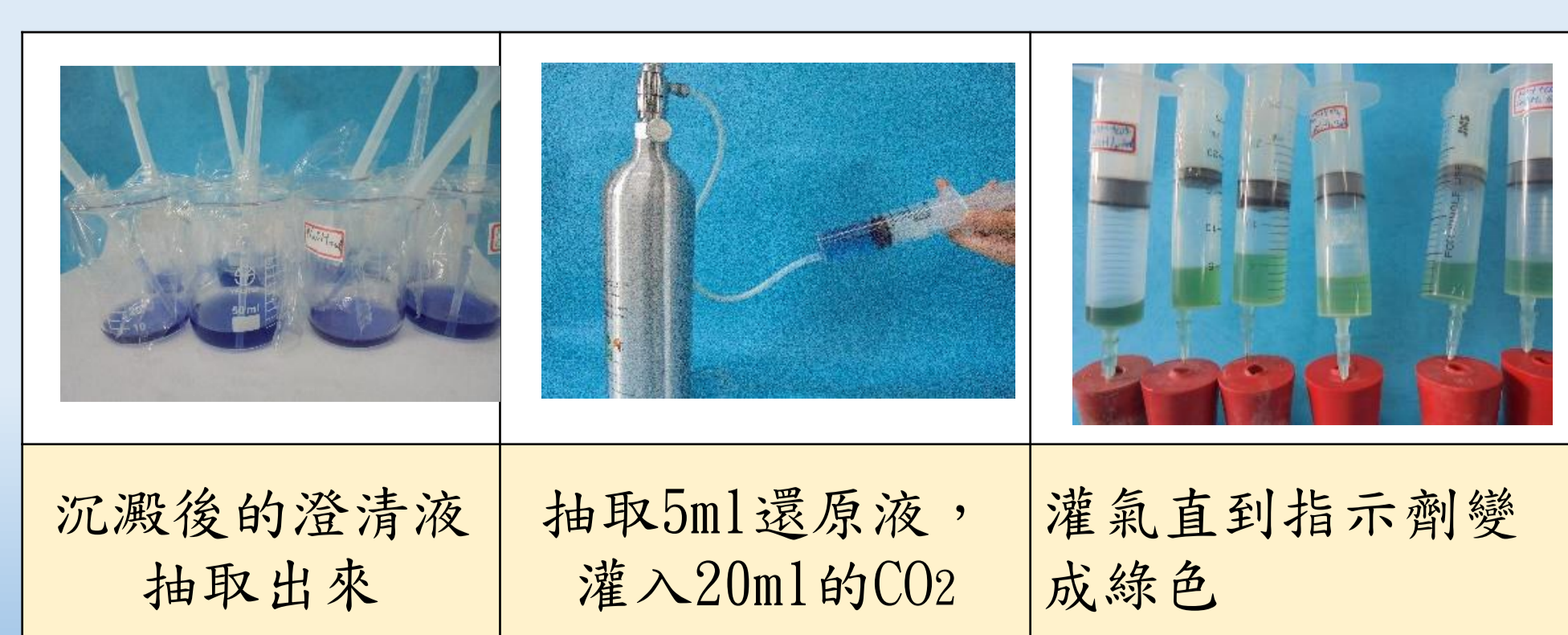


(三)、發現與討論：

1. 氫氧化鈣替換液加越多，試管中沉澱物的光敏電阻值越大，表示替換出來的碳酸鈣越多。
2. 以氫氧化鈉為吸收液吸收二氧化碳，被相同氫氧化鈣替換出的碳酸鈣比氫氧化鉀多。

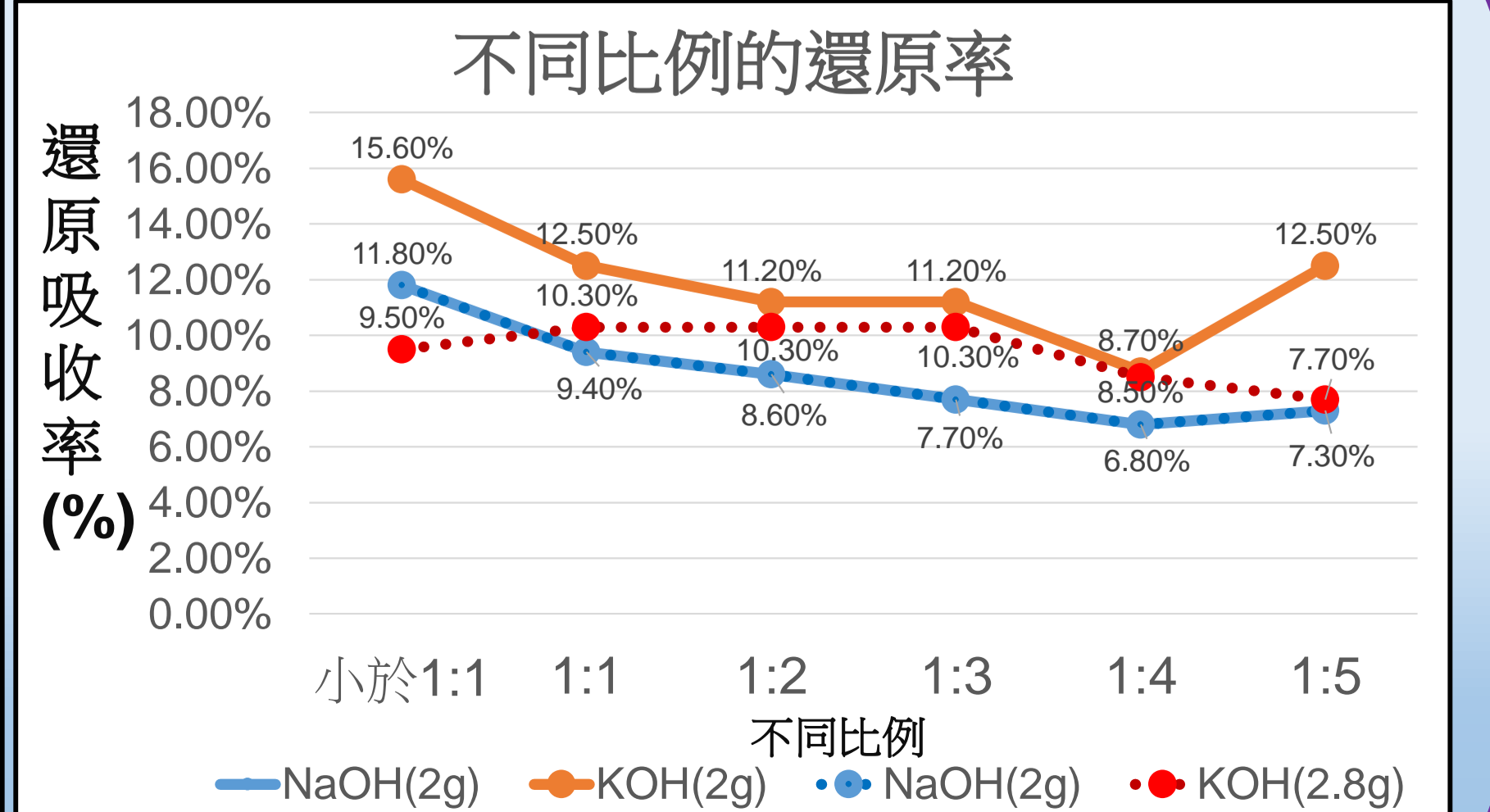
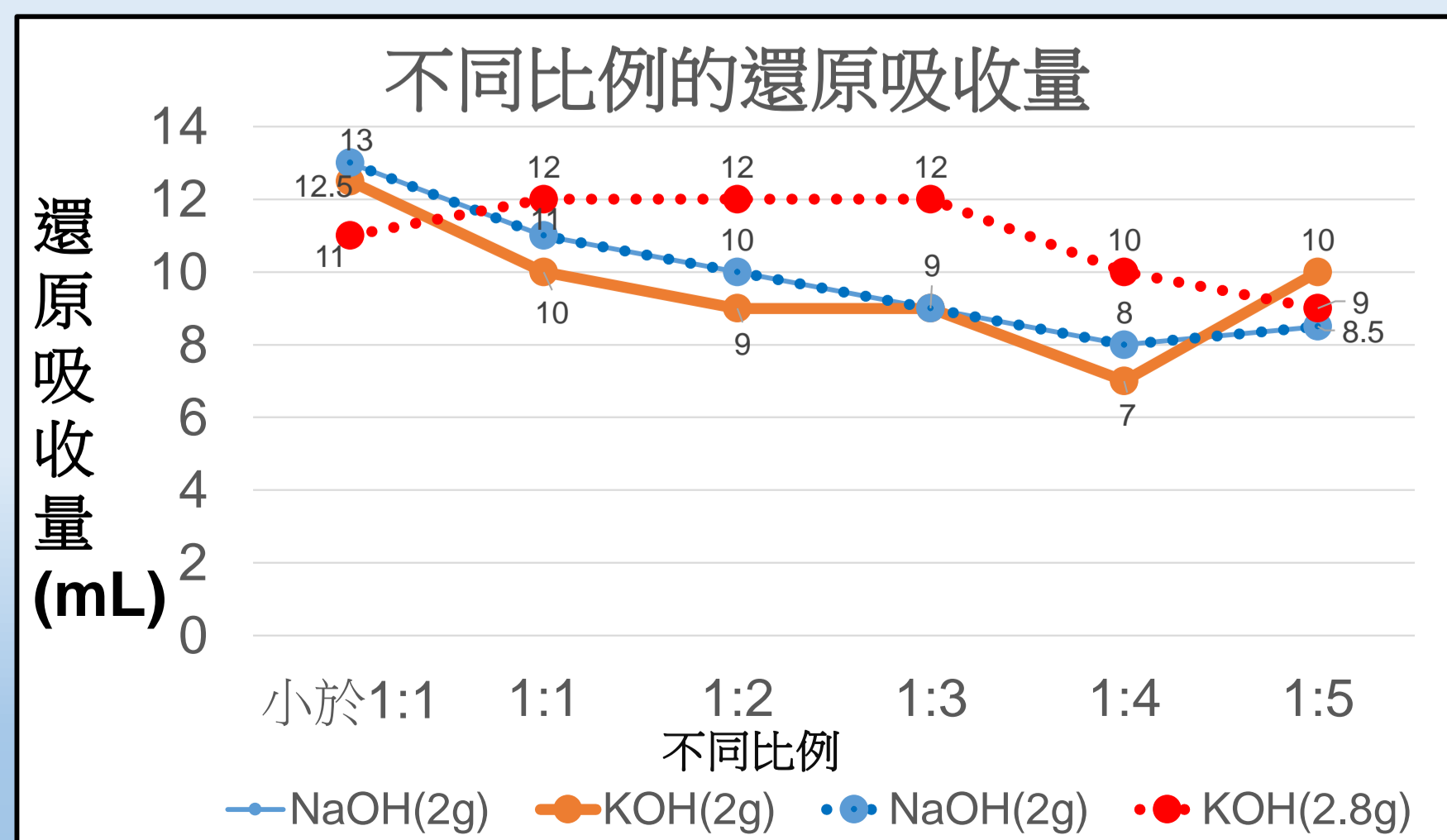
實驗二-3 還原液的循環利用效果

(一)、實驗步驟：



(二)、實驗結果：

還原吸收率: 還原液的還原吸收量 ÷ 原吸收液的飽和吸收量 × 100 = 還原率 (%)



(三)、發現與討論：

1. 以相同克數為基準，氫氧化鈉的還原吸收量比氫氧化鉀好。
2. 以相同分子數為基準，氫氧化鉀的還原吸收力、還原率較好。
3. 吸收液要循環利用，需要增加濃度。
4. 加入的氫氧化鈣越多，還原液的還原率愈差，是氫氧化鈣稀釋了還原液的濃度。

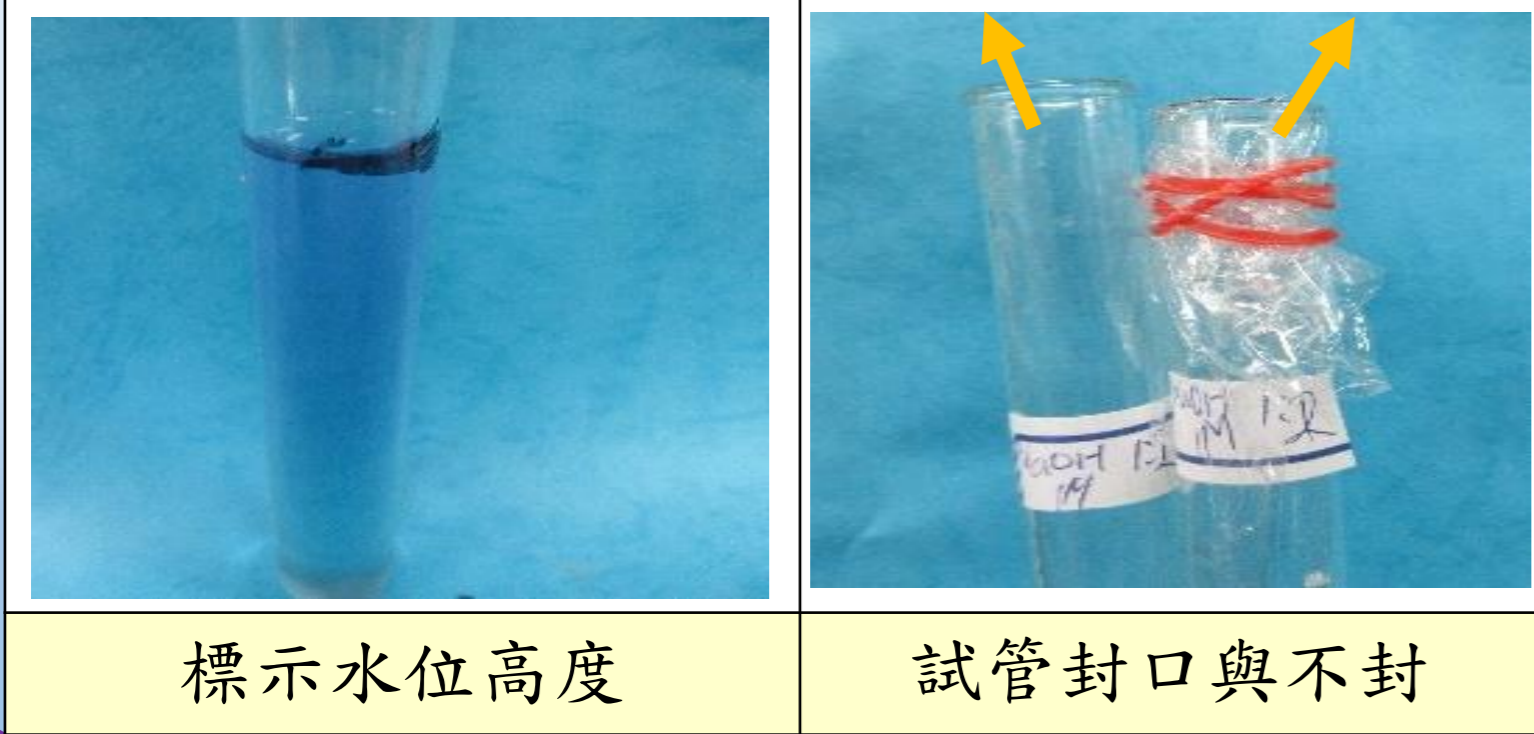
實驗二-4 提升還原液還原吸收率的方法

(二) 實驗結果：

(三)、發現與討論

(一)、實驗步驟：

不封 封口



標示水位高度

試管封口與不封

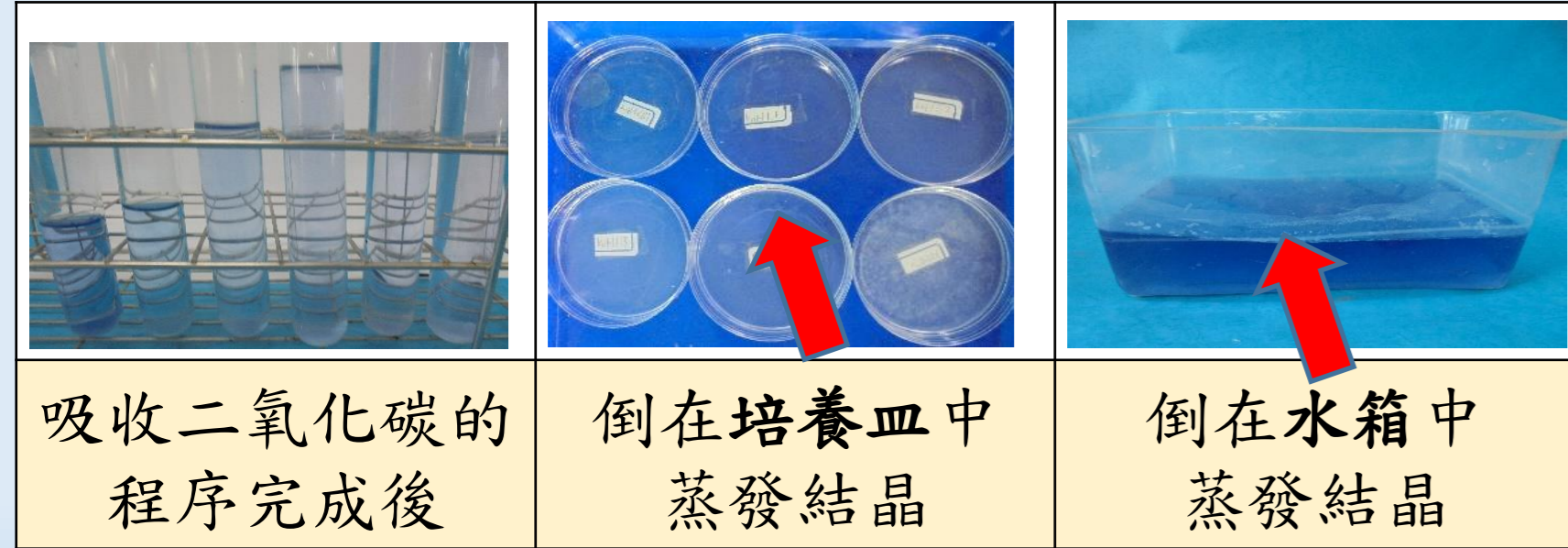
| 有無接觸空氣的差異 | 水位高度 | 顏色變化 | 還原吸收量 |
|-----------|------|------|-------|
| 有封口 | 較高 | 藍色 | 9mL |
| 沒有封口 | 較低 | 紫色 | 11mL |

1. 沒有封試管的水位會降低，變回紫色較快，還原吸收率較好，提升了22.2%， $(11-9)/9=0.22$ 。
2. 沒有封試管接觸到空氣中的二氧化碳，影響吸收量比含水量太多的影響較小。
3. 將還原液在空氣中靜置蒸發水分後再回收利用，可以提高還原率。

實驗二-5 提取碳酸鈣的方式

(二) 實驗結果：

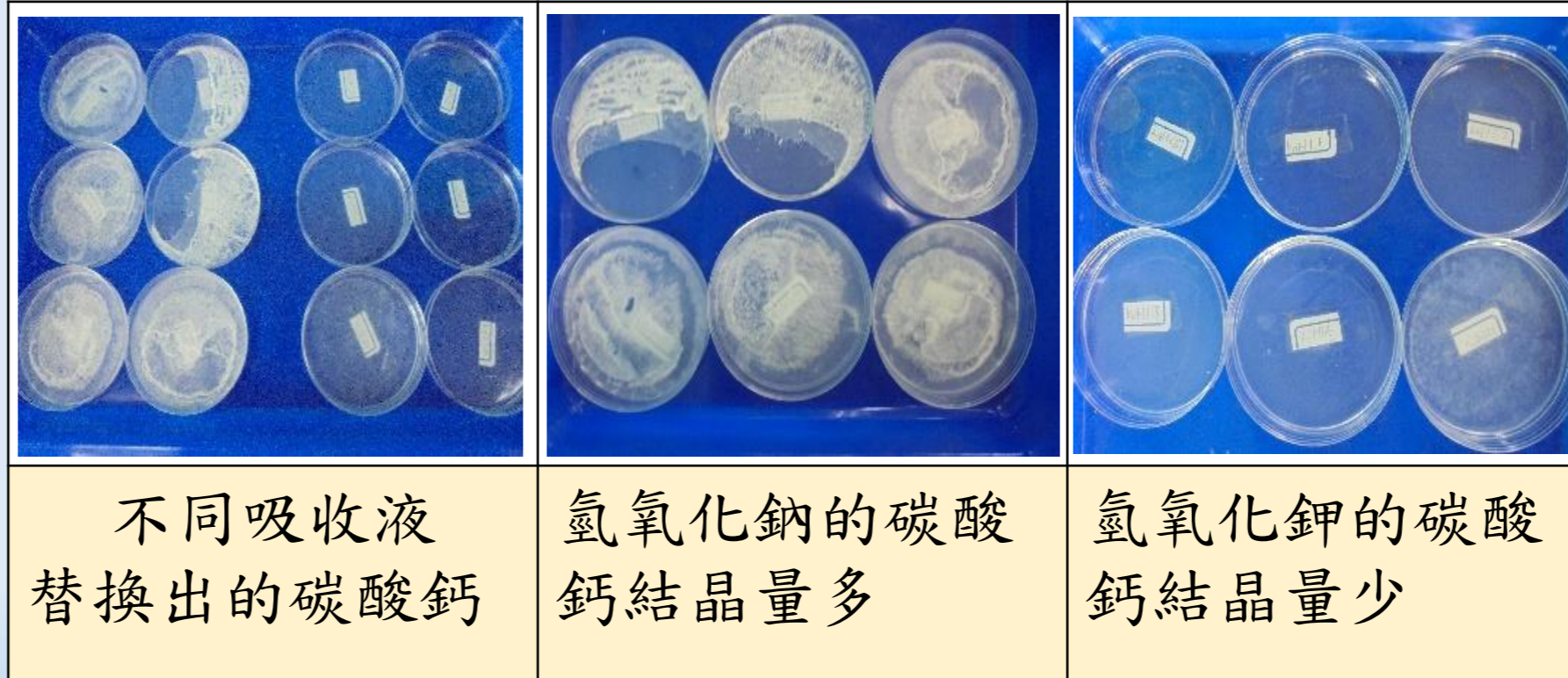
(一)、實驗步驟：



吸收二氧化碳的程序完成後

倒在培養皿中蒸發結晶

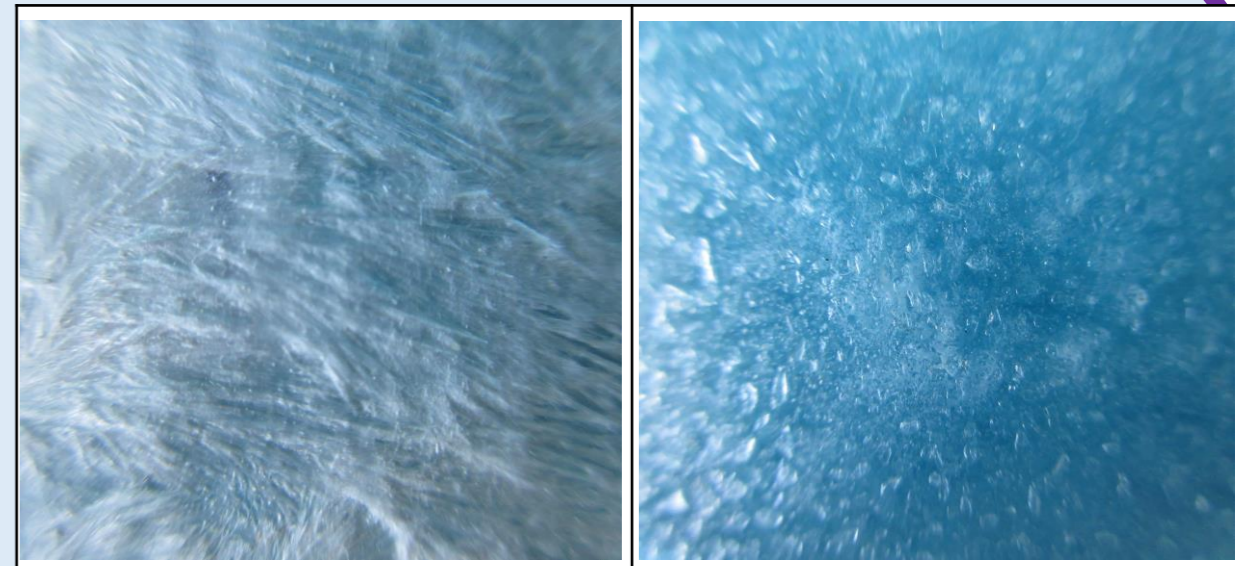
倒在水箱中蒸發結晶



不同吸收液替換出的碳酸鈣

氫氧化鈉的碳酸鈣結晶量多

氫氧化鉀的碳酸鈣結晶量少

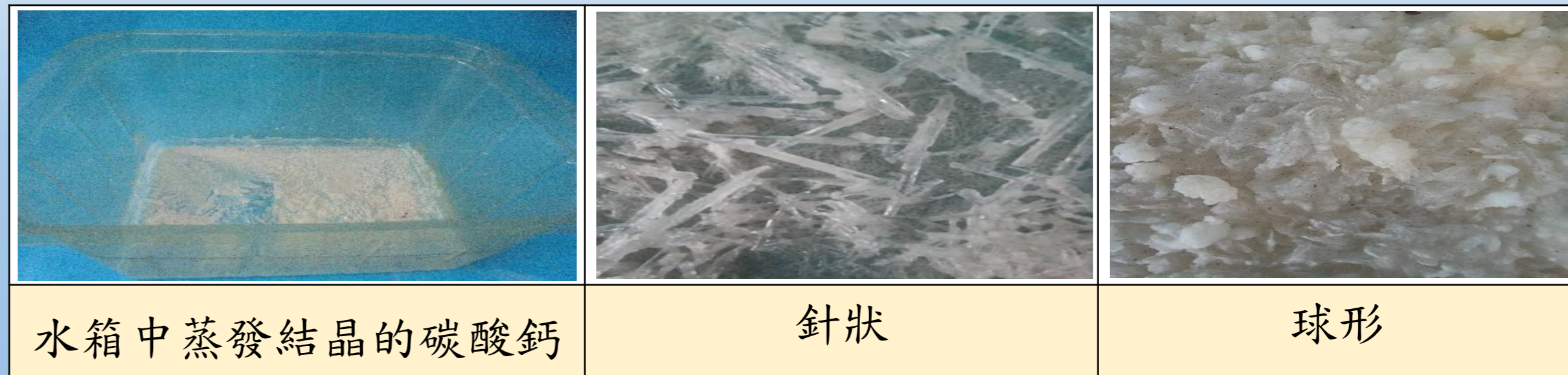


氫氧化鈉的結晶羽毛狀

氫氧化鉀的結晶球狀

(三)、發現與討論

1. 碳酸鈣可以經由沉澱、蒸發得到結晶物。
2. 氫氧化鈉吸收液替換出的碳酸鈣結晶量比氫氧化鉀吸收液替換出的多。
3. 替換出的是碳酸鈣，但是結晶樣貌卻不同，有針狀、羽毛狀、片狀、球形。



水箱中蒸發結晶的碳酸鈣

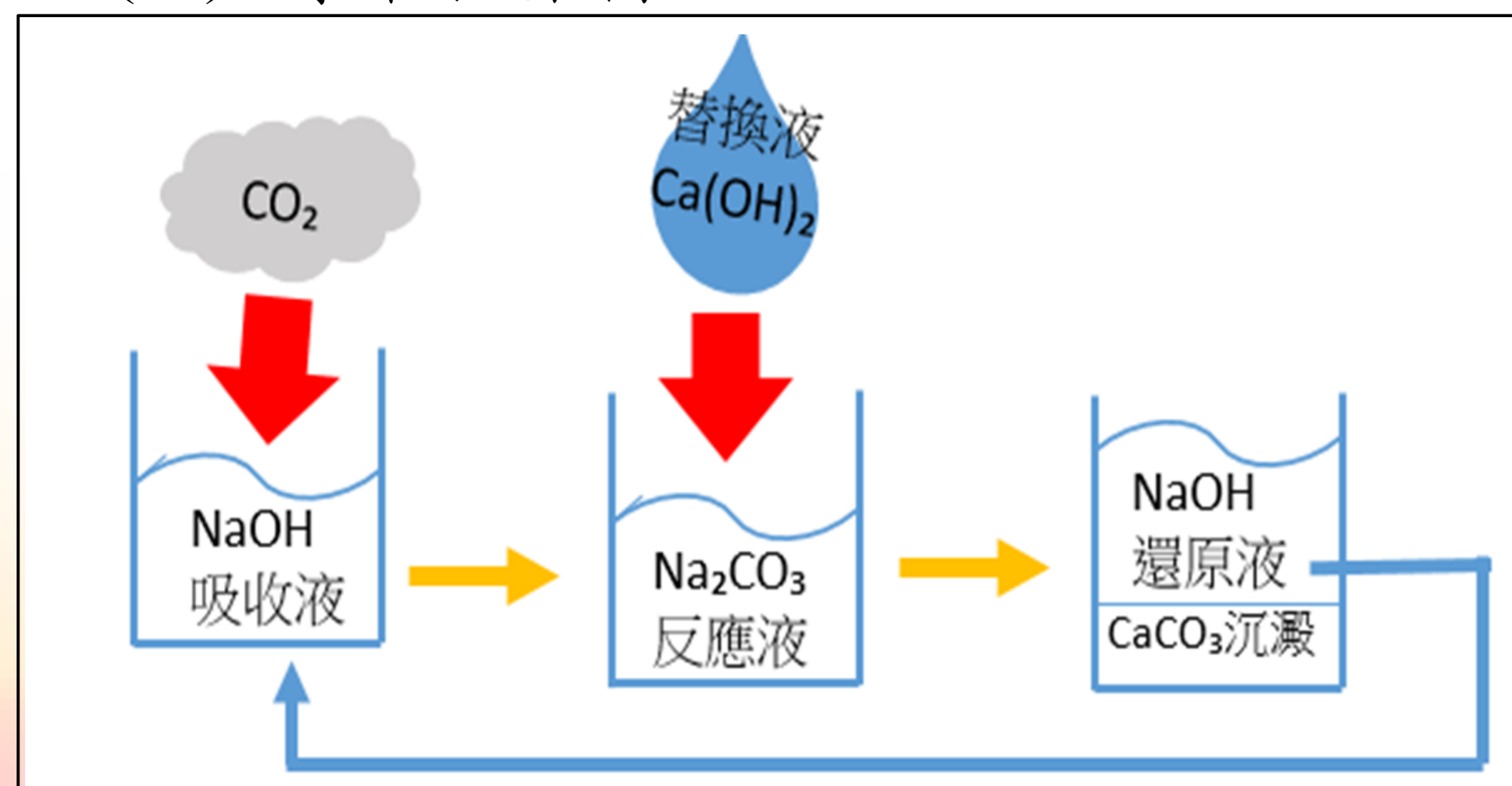
針狀

球形

研究三 捕捉二氧化碳形成碳酸鈣的應用

研究三-1 建立二氧化碳捕捉成鈣的化學作用流程

(一) 化學作用流程圖：

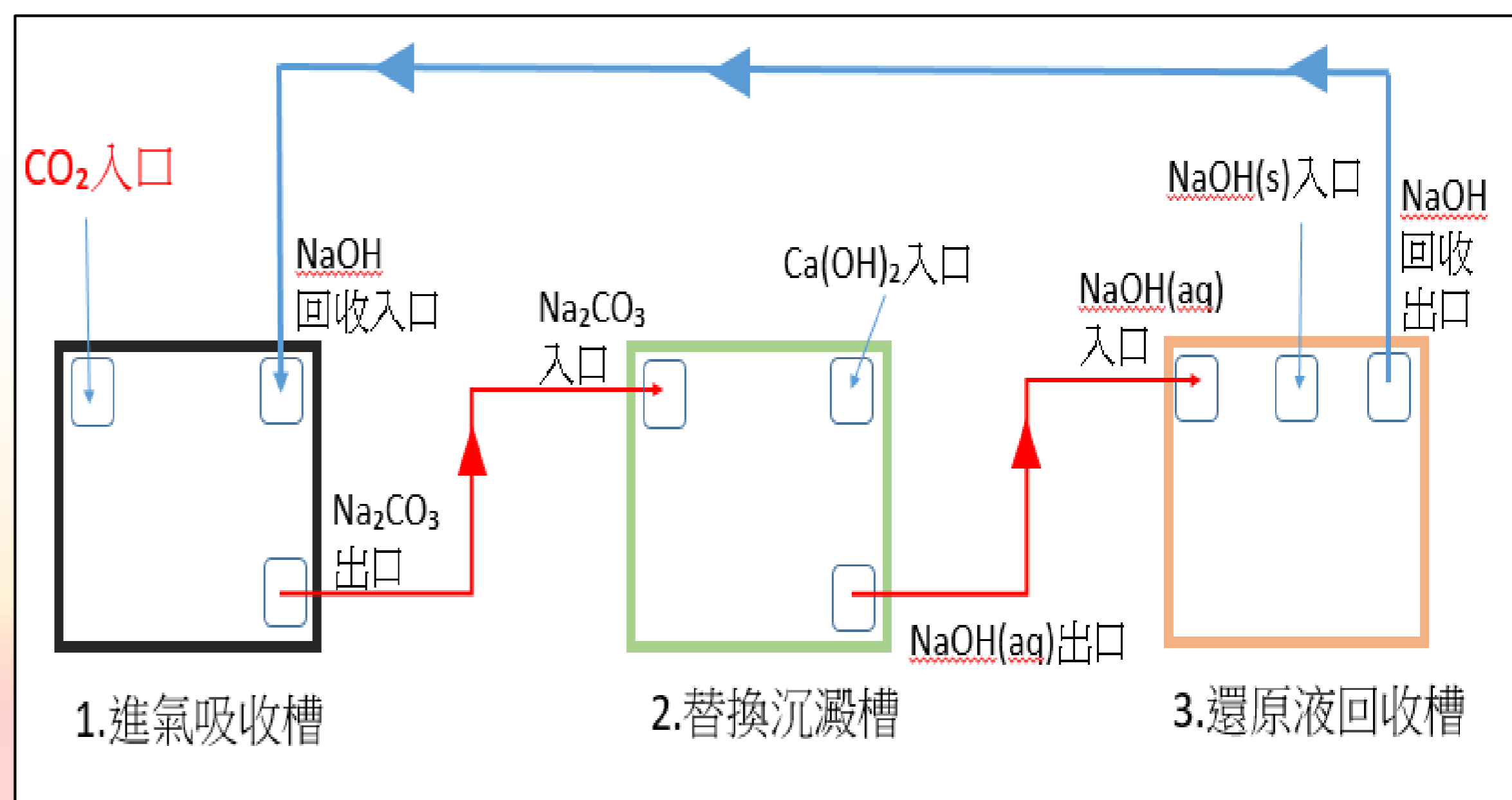


(二). 流程說明：

1. 吸收液吸收二氧化碳，成為反應液。
2. 把替換液加入反應液中，替換出碳酸鈣。
3. 將還原後的還原液再次利用。

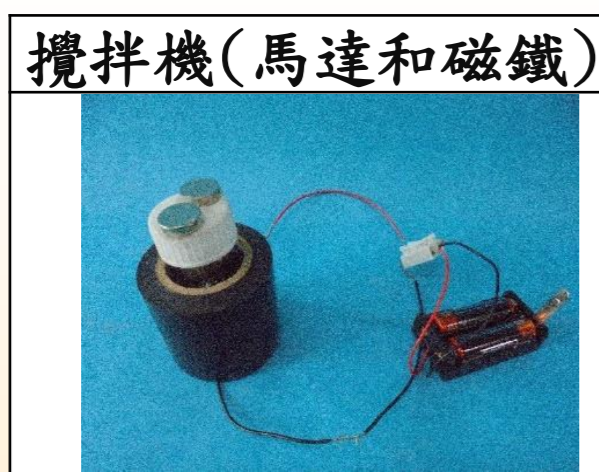
研究三-2 研發捕碳成鈣循環裝置

(一)、捕碳成鈣循環裝置構造與運作流程圖：



(二)、捕碳成鈣循環裝置模型

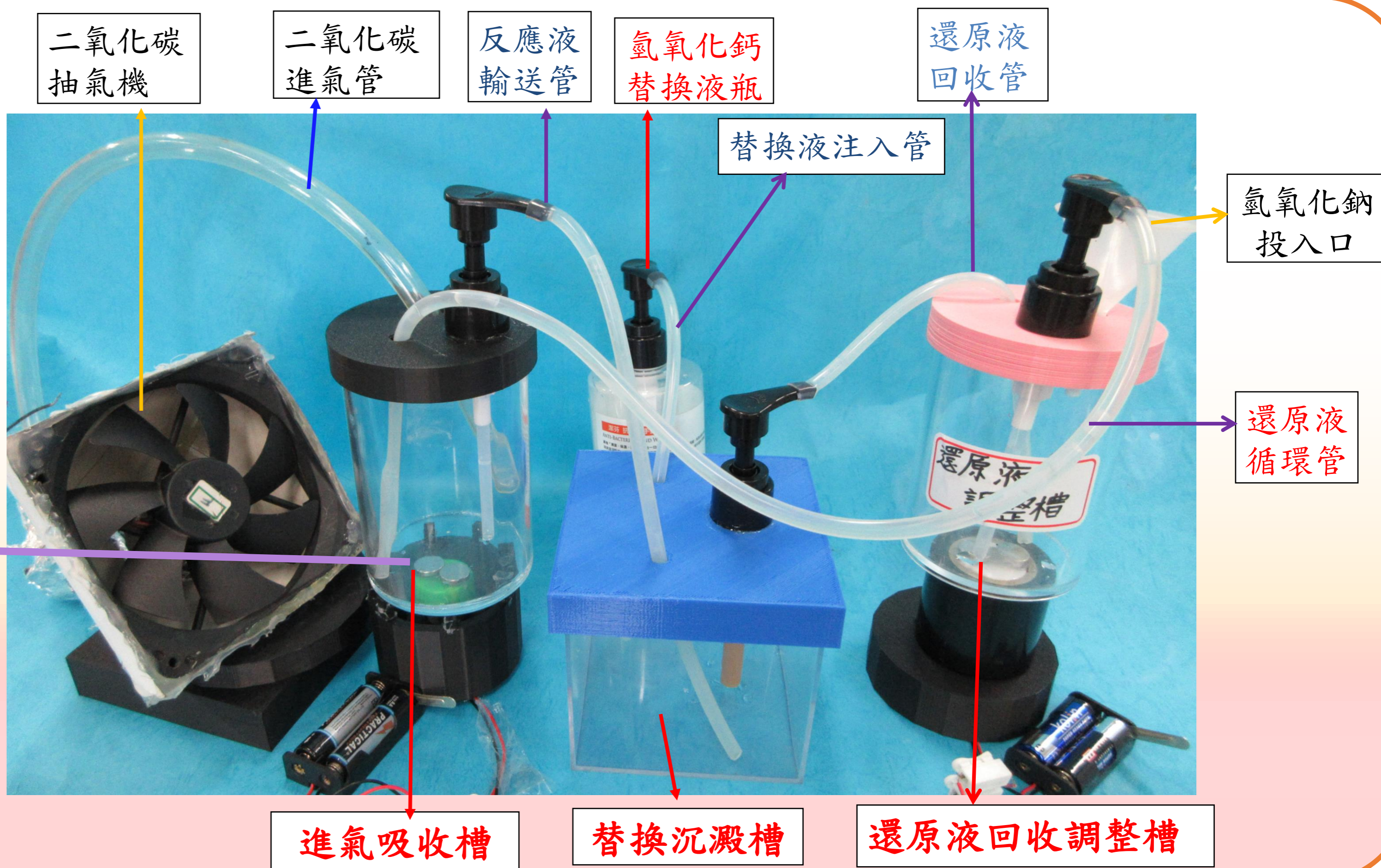
1. 功用：
可吸收工業上或生活中，例如：烤肉、燒金紙排放的二氧化碳，形成碳酸鈣。
2. 構造：
三個作用槽：進氣吸收槽、替換沉澱槽、還原液回收槽



攪拌機(馬達和磁鐵)

攪拌機上的進氣吸收槽

進氣吸收槽裡的小磁石



進氣吸收槽

替換沉澱槽

還原液回收調整槽

柒、結論

一、二氧化碳吸收液的特性與吸收原理

1. 氫氧化鈣會吸收二氧化碳是因為它是氫氧化物。氫氧化鈉、氫氧化鉀、氫氧化鎂也會吸收二氧化碳，而產生的碳酸鹽易溶於水。
2. 吸收速度與pH值呈正相關。
3. 相同克數時氫氧化鈉吸收速率較好。在相同分子數時，兩者吸收速率相近。
4. 在相同克數，氫氧化鈉飽和吸收量比較多，但在相同分子數中，兩者的差異不大。

二、氫氧化物捕捉二氧化碳形成碳酸鈣的方法

1. 氫氧化鈣可以把碳酸鈉和碳酸鉀，替換出碳酸鈣，還原出原來的氫氧化物吸收液，是最佳的替換液。氫氧化鈣加的越多，沉澱效果越好。
2. 在相同克數或分子數的情況下，都是以氫氧化鈉為吸收液，替換出的碳酸鈣比較多。
3. 還原後濃度降低，吸收量減少。綜合沉澱量與還原力，選定最佳的比例是 1:1。
4. 飽和氫氧化鈣濃度低，加越多，水越多，稀釋了還原液的濃度。
5. 將還原液的水分蒸發後再回收，可提高還原率。
6. 碳酸鈣可經由蒸發結晶得到。結晶有線型和球形。

三、捕捉二氧化碳形成碳酸鈣的應用

建立二氧化碳捕捉的流程，並研發生活中可用的捕碳成鈣裝置。將二氧化碳灌入氫氧化鈉，再以氫氧化鈣替換出碳酸鈣，最後再次利用還原液。

捌、參考資料

1. 中華民國第51屆中小學科展 國中 捕捉你的點點滴滴——二氧化碳溶解度的探討
2. 中華民國第51屆中小學科展 國中 太陽能二氧化碳捕捉器
3. 南一書局(民111)自然與生活科技五下，教師手冊 p. 210
4. 南一書局(民111)自然與生活科技五上，課本 p. 46-48
5. 南一書局(民111)自然與生活科技六上，
6. 天下雜誌——「碳捕捉」是什麼？發電減碳新技術 台電如何「捕」CO2、要封存在哪裡？<https://www.cw.com.tw/article/5126479>
7. 科技大觀園——二氧化碳減量排放：二氧化碳捕獲<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=f1fe45c1-dc8c-468a-a03f-53bccf40d6a3>