



## 芳香酒精帶著走--探討促凝劑對酒精凝膠之影響

### Study on the effect of coagulants on the formation of alcohol gels

作者：蔡孟儒 Tsai, Meng-Ju Melody



指導老師：周芳妃 Chou, Fang-Fei

#### 一、研究動機

近來市面上流行許多燃燒時會放出舒服香氣的芳香精油蠟燭，但此類蠟燭商品燃燒時容易產生黑煙，而讓使用者的舒適感覺大打折扣，也會擔心這些黑煙有害身體健康。由於酒精燃燒時不容易產生黑煙，且也有市售酒精凝膠以增加攜帶酒精的安全性。這使我們聯想到製作攜帶安全的芳香酒精凝膠，使它不僅兼具芳香燃料的優點，而且更具有環保不傷身的功能。截至目前為止，市面上都未曾出現過這種商品。為了使酒精凝膠長期儲存時仍能維持凝膠狀態，所以我們進一步尋找燃燒時也不會造成黑煙的物質，以作為酒精凝膠的促凝劑添加物。由於化學工業的許多製程常常面臨維持凝膠系統穩定之需求，所以本研究也希望能設計出一些方法探討促凝劑的原理。

#### 二、研究目的

- (一) 研發以簡易方法製造出燃燒不產生黑煙之酒精凝膠。
- (二) 研發燃燒時可釋放香味到空氣中之酒精凝膠配方。
- (三) 探討促凝劑對於芳香酒精凝膠維持時間之影響。



### 三、文獻探討

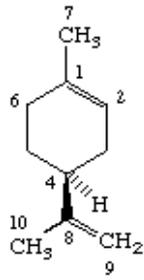
#### (一) 酒精凝膠的製作原理

溶液的種類依據溶質粒子大小可分為真溶液與膠體溶液<sup>[1]</sup>，膠體溶液又稱為分散系，依據分散系的流動性，又可分為溶膠(sol)和凝膠(gel)兩大類。由參考資料<sup>[2-4]</sup>中找到製造酒精凝膠多直接以醋酸鈣配製飽和醋酸鈣溶液，或以酸鹼中和法（冰醋酸+氫氧化鈣）配製。冰醋酸和氫氧化鈣反應產生醋酸鈣，而此物質在溶液中會因溶劑的溶合作用(solvation)解離出陰離子與陽離子，但陰陽離子也會互相吸引結合成微粒。醋酸鈣的酒精凝膠中，醋酸鈣的微粒也有酒精分子溶合，經由酒精分子間作用力互相牽引，可形成混合均勻之酒精凝膠。但此酒精凝膠在一定時間後會逐漸有老化作用；也就是醋酸鈣微粒彼此間碰撞而脫離酒精分子溶合，許多醋酸鈣微粒電荷相吸漸漸結合而使顆粒漸漸越來越大，同時酒精凝膠也開始有融化的跡象，最後產生醋酸鈣沉澱，酒精也恢復為流體。

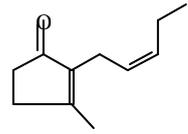
#### (二) 常見的芳香精油

精油可自植物不同的組織提煉<sup>[5-6]</sup>，有些是從植物種子，例如甜杏仁油；有些是從果實的果肉，例如香蕉油；有些是從果皮，例如橘子油；有些來自花瓣，例如茉莉花精油。常見各種芳香而不貴的精油成分：(1) 甜杏仁油(Sweet Almond)---由杏樹果實壓榨而來，富含礦物質，醣物(glucosides)和維生素 D、E 及蛋白質。(2) 醋酸戊酯(Amyl acetate)---又稱乙酸戊酯，俗稱香蕉油。醋酸戊酯是總名稱，嚴格說來有醋酸正戊酯、醋酸異戊酯等。市上的戊酯一般多為同分異構物的混合物。(3) 橘子油(Orange oil)---橘子皮中含有許多檸檬油精(limonene,  $C_{10}H_{16}$ )與果膠(pectin)，也包含一些直鏈烷類、直鏈醇類及一些酮類與酸類等。(4) 茉莉花精油(Jasmone oil)---茉莉鮮花含揮發油 0.2 ~ 0.3%，油中主要含茉莉酮 (Jasmone ,

C<sub>11</sub>H<sub>16</sub>O, 或稱為素馨酮)、卡醇(enzy alcohol ,C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>O)及其酯類、芳樟醇(Linalool,C<sub>10</sub>H<sub>18</sub>O)等。



Limonene , C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>



Jasmone , C<sub>11</sub>H<sub>16</sub>O

### (三) 黏度 (viscosity)

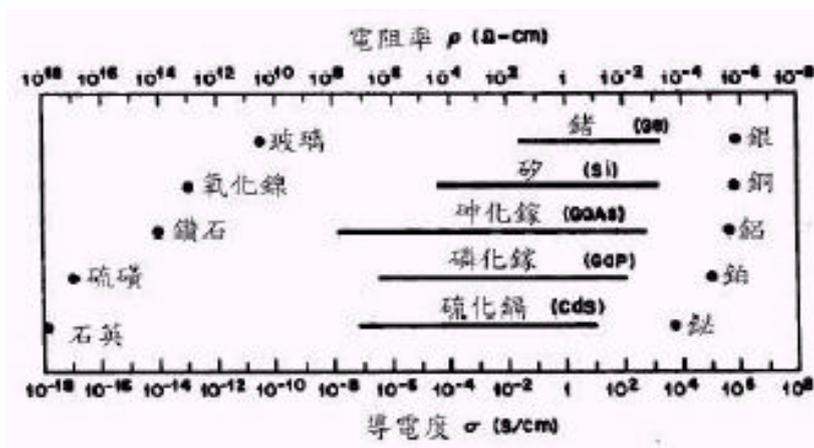
流體在流動時，內部液層間所產生的阻力。當流動流體內部的鄰接處所形成的兩液層間有速度差時，根據兩者所產生的摩擦力，發生黏性。溫度升高，黏度降低；壓力升高，黏度增加。毛細管黏度計（奧士華黏度計 Ostwald viscometer）測定黏度（ $\mu$ ）原理是測定定壓時一定體積的流體以在毛細管中通過的時間（ $t$ ）。

$$\text{計算黏度比： } (\mu / \mu') = (dt / dt')$$

【 $\mu$ ：樣品黏度     $\mu'$ ：標準液黏度     $t$ ：樣品流下的秒數     $t'$ ：標準液流下的秒數】

### (四) 導電度與電阻值 (Conductivity and Resistivity)

導電度與電阻值均用來表示物質的導電性，導電度與電阻值兩者二者互為倒數。電阻是材料兩端電位差除以電流大小，而導電度是電流大小除以材料兩端電位差。單位長度的導電度的單位是 microSiemens/cm 或 micronmhos/cm。常見物質與半導體材料的導電度如下圖：



## 四、研究設備及器材

### (一) 器材

1. 燒杯 ( 50 mL )( 100 mL )( 1000mL )
2. 量筒 ( 10 mL )( 25 mL )( 50mL )
3. 塑膠滴管 ( 3 mL )
4. 刮勺
5. 攪拌匙
6. 溫度計
7. 恆溫槽
8. 計時器 ( 碼表 )
9. 電子天秤
10. 導電度計 ( GOOD-301 型 )
11. 奧士華黏度計

### (二) 藥品

1. 乙醇  $C_2H_5OH$
2. 乙二醇  $C_2H_4(OH)_2$
3. 丙三醇  $C_3H_5(OH)_3$
4. 葡萄糖  $C_6H_{12}O_6$
5. 氫氧化鈣  $Ca(OH)_2$
6. 冰醋酸  $CH_3COOH$
7. 酚酞指示劑
8. 廣用指示劑
9. 食用級杏仁油
10. 食用級香蕉油
11. 食用級橘子油
12. 食用級茉莉花精油
13. 氯化鉀  $KCl$
14. 醋酸鉀  $CH_3COOK$

## 五、研究步驟

根據查詢的資料：酒精中必須同時含有醋酸離子和鈣離子才能形成凝膠狀態。為了更進一步的確認，我們又做了另一個實驗，利用酒石酸、草酸和檸檬酸取代醋酸離子，並用鈉離子、鉀離子取代鈣離子：

酒精凝膠內的陰離子	酒精凝膠內的陽離子	凝膠情況
醋酸	鈣離子	形成凝膠 (對照組)
酒石酸	鈣離子	未凝
草酸	鈣離子	未凝
檸檬酸	鈣離子	未凝
醋酸	鈉離子	未凝
醋酸	鉀離子	未凝

⇒ 利用醋酸和氫氧化鈣來進行這次的實驗

### (一) 探討水量與溫度對酒精凝膠性質的影響

#### 1. 固定酒精和氫氧化鈣的比例，改變水量

- (1) 在燒杯內加入 0.6 克的氫氧化鈣，再加入適量的水
- (2) 加入酚酞，使溶液呈粉紅色
- (3) 漸漸滴入冰醋酸直到酚酞褪色
- (4) 將定量的酒精沖入溶液中
- (5) 觀察並紀錄產生酒精凝膠狀態所需時間與其維持時間
- (6) 取一小部分的凝膠，觀察其燃燒狀況

#### 2. 縮小酒精和水的比例範圍，重複步驟 (一) 之 1

#### 3. 以 5 、 20 、 35 進行步驟 (一) 之 2 找出酒精與水量的最佳比例實驗

### (二) 探討醋酸與氫氧化鈣含量對酒精凝膠性質的影響

1. 利用步驟 (一) 最佳比例 (3.5mL 水、20mL 酒精、0.5mL 冰醋酸)，改變氫氧化鈣質量，測量酒精凝膠性質
2. 重複步驟 (二) 之 1，其中冰醋酸改為加入 1.0 mL

### (三) 探討添加芳香精油對酒精凝膠性質的影響

1. 以燃燒時能聞到香氣為標準，找出芳香精油適當添加量
2. 重複步驟 (二) 之 1，其酒精中依次先加入 2.0mL 杏仁油、2.0mL 香蕉油、1.0mL 橘子油、1.0mL 茉莉花精油，測量酒精凝膠性質

#### (四) 探討添加多元醇作為酒精凝膠之促凝劑功能

1. 重複最佳比例( 3.5mL 水、 20mL 酒精、 0.5mL 冰醋酸 ), 依次在酒精中先加入 0~1.0mL 乙二醇、丙三醇、葡萄糖

#### (五) 探討同時添加精油和多元醇對酒精凝膠的影響

1. 重複最佳比例 ( 3.5mL 水、 20mL 酒精、 0.5mL 冰醋酸 ), 其酒精中先加入 2.0mL 杏仁油和適量多元醇
2. 重複步驟 ( 五 ) 之 1 , 依次將芳香精油改為 2.0mL 香蕉油、 1.0mL 橘子油、 1.0mL 茉莉花精油

#### (六) 探討溶劑整體極性影響酒精形成凝膠之實驗設計

1. 以醋酸鉀為電解質，測量醋酸鉀酒精溶液導電度
  - (1) 用 0.1M 氯化鉀標準液校正導電度計
  - (2) 取適量芳香精油 ( 2.0mL 杏仁油、 2.0mL 香蕉油、 1.0mL 橘子油、 1.0mL 茉莉花精油 ), 加入酒精，使酒精溶液總體積為 20mL
  - (3) 取 0~0.5mL 促凝劑，加入酒精，使酒精溶液總體積為 20mL
  - (4) 取 3.5mL 的 0.010M 醋酸鉀水溶液 (  $\text{CH}_3\text{COOK}$  0.98g , 溶液體積 1000mL ), 與 20mL 添加物的酒精溶液混合，測量溶液導電度
2. 測量添加物酒精溶液的黏度
  - (1) 取酒精 20mL，在酒精內加入添加物。
  - (2) 將攪拌均勻的溶液吸入奧士華黏度計的毛細管內
  - (3) 定溫下，測量 2mL 的溶液流過奧士華黏度計毛細管需要的時間

## 六、研究結果

### (一) 探討水量與溫度對酒精凝膠性質的影響

#### 1. 固定酒精和氫氧化鈣的比例，改變水量

【氫氧化鈣 0.6g，恆溫槽水溫 20 °C】

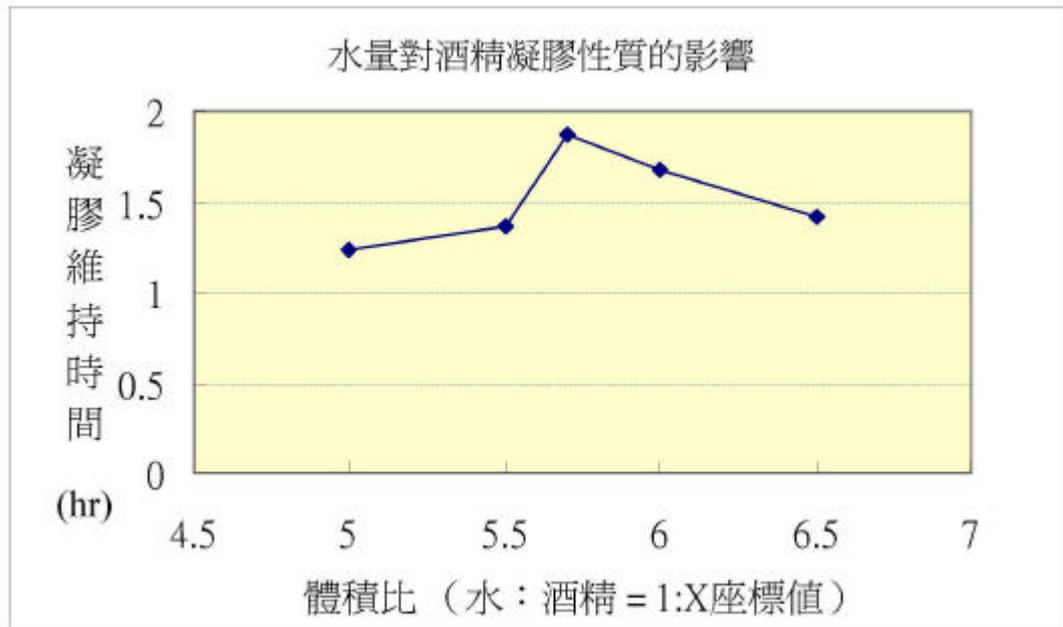
水：酒精 體積比	酒精 (mL)	水 (mL)	產生凝膠 所需時間	凝膠平均 維持時間	產物外觀
1:4.0	20	5.0	×	×	有如乳液狀態的溶膠
1:5.0	20	4.0	17s	1.51hr	表面濕潤光滑
1:5.7	20	3.5	6s	1.68hr	表面光滑
1:6.7	20	3.0	1s	1.07hr	表面不光滑
1:8.0	20	2.5	瞬間	0.90hr	表面不光滑
1:10	20	2.0	瞬間	0.51hr	表面不光滑
1:20	20	1.0	×	×	醋酸鈣固體沒有分散

#### 2. 縮小酒精和水的比例範圍，重複步驟 (一) 之 1

【氫氧化鈣 0.6g，恆溫槽水溫 20 °C】

水：酒精 體積比	酒精 (mL)	水 (mL)	產生凝膠 所需時間	凝膠平均 維持時間	產物外觀
1:5.0	20.0	4.0	17s	1.23hr	表面光滑
1:5.5	16.5	3.0	3s	1.36hr	表面光滑
1:5.7	20.0	3.5	5s	1.87hr	表面光滑
1:6.0	18.0	3.0	2s	1.68hr	表面光滑
1:6.5	19.5	3.0	3s	1.42hr	表面光滑

圖 1：水量對酒精凝膠性質的影響



⇒ 酒精和水的最佳體積比例為 20:3.5 (即為 5.7:1)

3. 以 5、20、35 進行步驟 (一) 之 2 找出酒精與水量的最佳比例實驗  
 【氫氧化鈣 0.6g，冰醋酸 0.5mL，水量 3.5mL，酒精 20mL】

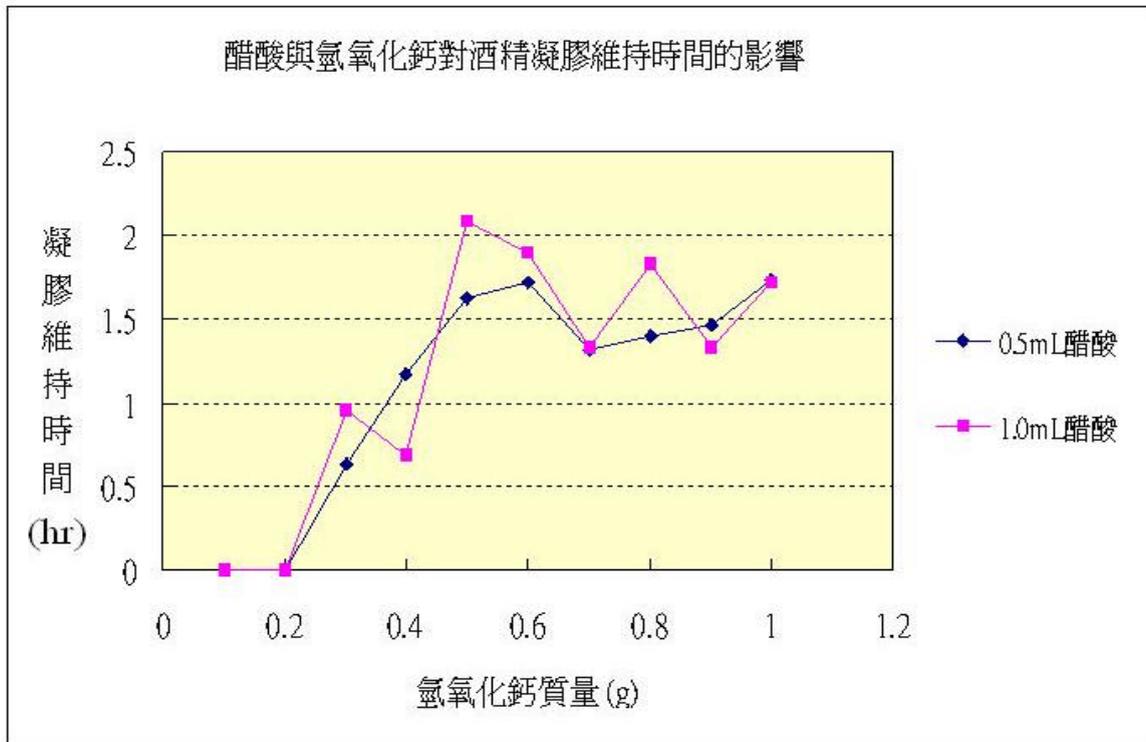
溫度( )	凝膠平均維持時間
5	半個月以上
20	1.87hr
35	馬上開始融化

⇒ 選取 20 溫度進行下列各項研究變因。

(二) 探討醋酸與氫氧化鈣含量對酒精凝膠性質的影響

【酒精 20mL，水 3.5mL，冰醋酸 0.5mL/1.0mL，恆溫槽水溫 20 °C】

圖 2：醋酸與氫氧化鈣對酒精凝膠維持時間的影響



註：改為加入 1.0 mL 冰醋酸的產物後來會變成軟軟的果凍狀物質，經過 24 小時之後，果凍狀物質不會溶化流出酒精。

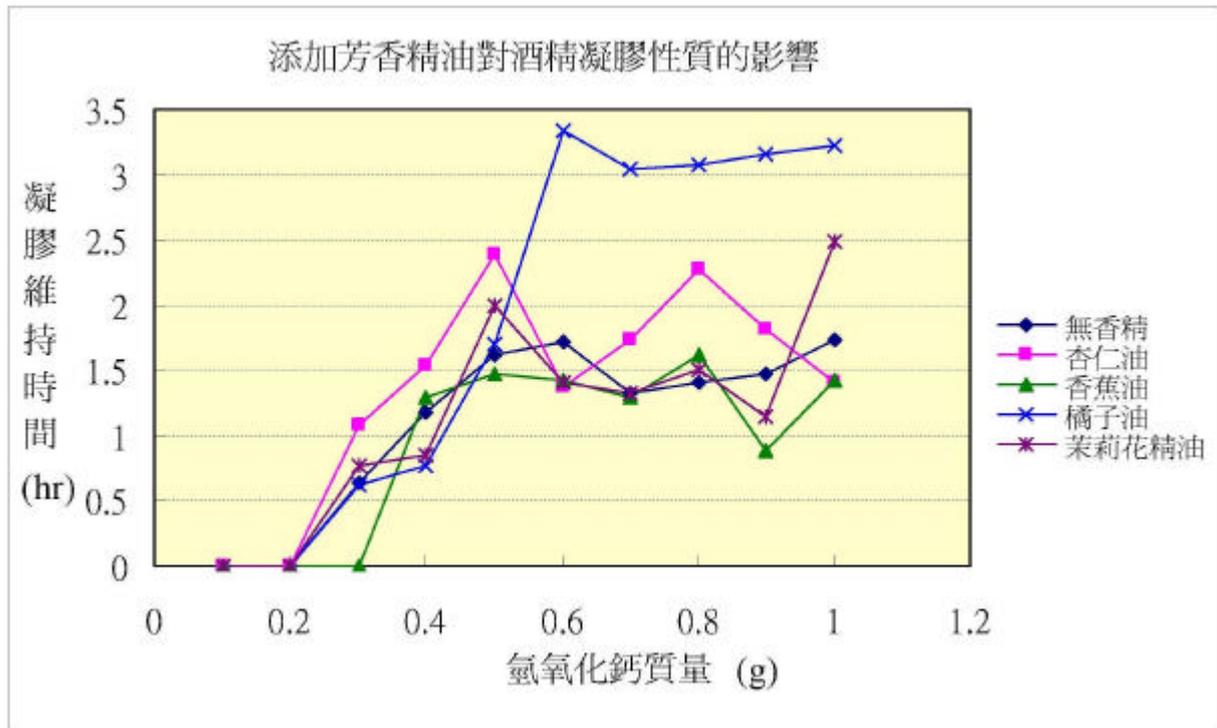
⇒ 選擇氫氧化鈣在 0.5- 0.6g 。

(三) 探討添加芳香精油對酒精凝膠性質的影響

【酒精 20mL，水 3.5mL，冰醋酸 0.5mL，恆溫槽水溫 20】

【2.0mL 杏仁油、2.0mL 香蕉油、1.0mL 橘子油、1.0mL 茉莉花精油】

圖 3：添加芳香精油對酒精凝膠性質的影響



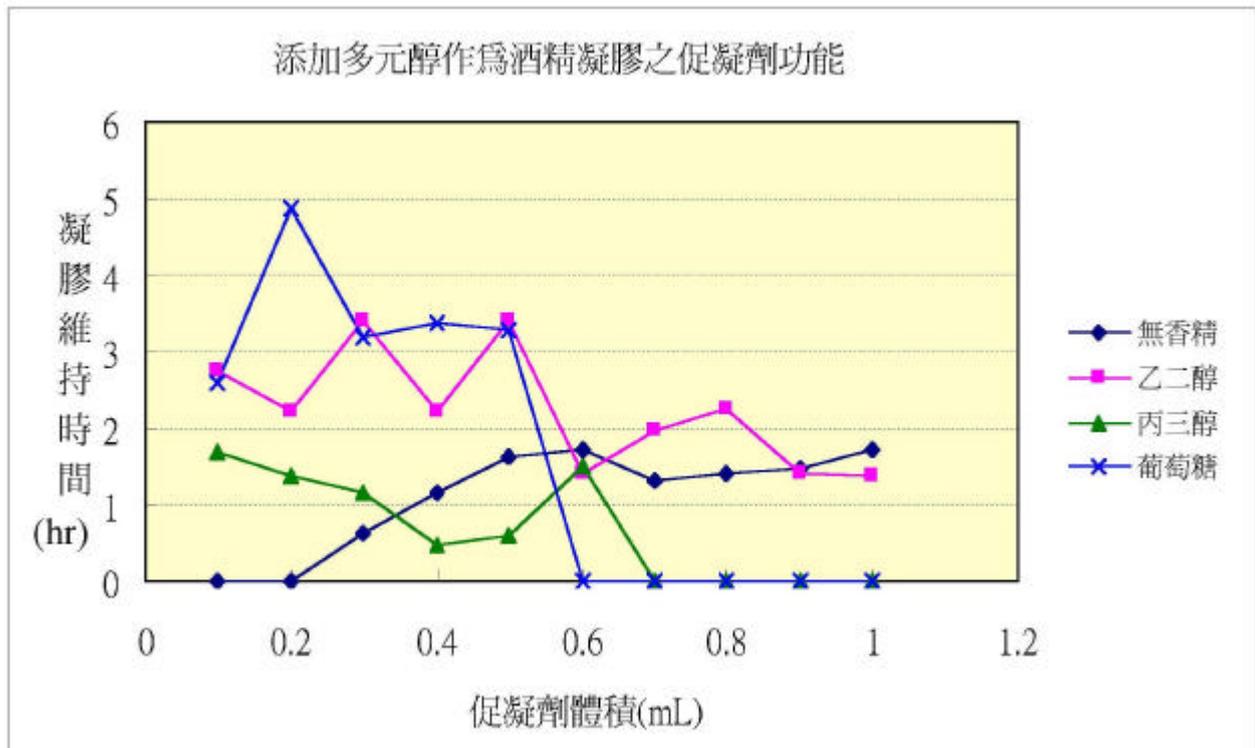
⇒ 氫氧化鈣 0.5g 以上時，除香蕉油之外，其他加入精油都有延長凝膠維持時間的促凝效果。

(四) 探討添加多元醇作為酒精凝膠之促凝劑功能

【酒精 20mL，水 3.5mL，冰醋酸 0.5mL，氫氧化鈣 0.6g，恆溫槽水溫 20℃】

【葡萄糖水溶液 :50mL 水+20g 葡萄糖】

圖 4：添加多元醇作為酒精凝膠之促凝劑功能



- ⇒(1)最佳效果是添加葡萄糖可以將凝膠維持時間延長從 1-2 小時達到 5 小時。  
(2)添加乙二醇或葡萄糖在 0.1-0.5mL 時對凝膠維持時間可達 2 倍以上的幫助。  
(3)添加丙三醇卻沒有這樣的功能。  
(4)添加三種多元醇均可達到增加硬度之功用。

(五) 探討同時添加多元醇以及芳香精油對酒精凝膠的影響

【氫氧化鈣 0.5g，酒精 20mL，水 3.5mL，冰醋酸 0.5mL，恆溫槽水溫 20 °C】

圖 5-1：同時添加 2.0mL 杏仁油和多元醇對酒精凝膠維持時間的影響

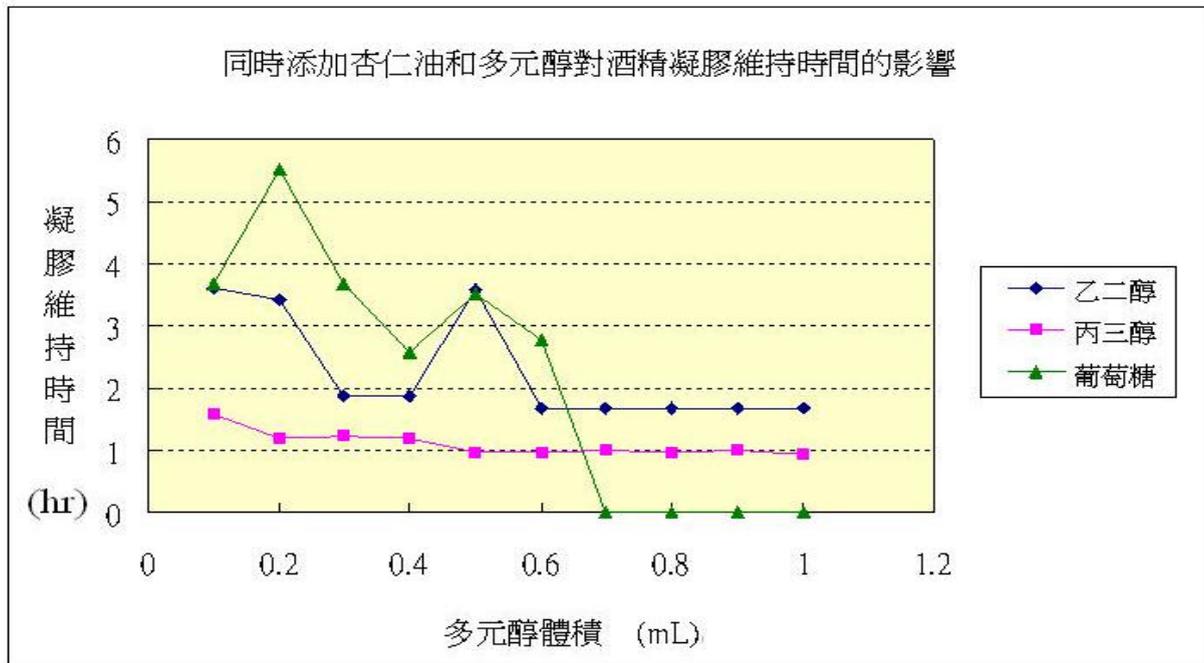


圖 5-2：同時添加 2.0mL 香蕉油和多元醇對酒精凝膠維持時間的影響

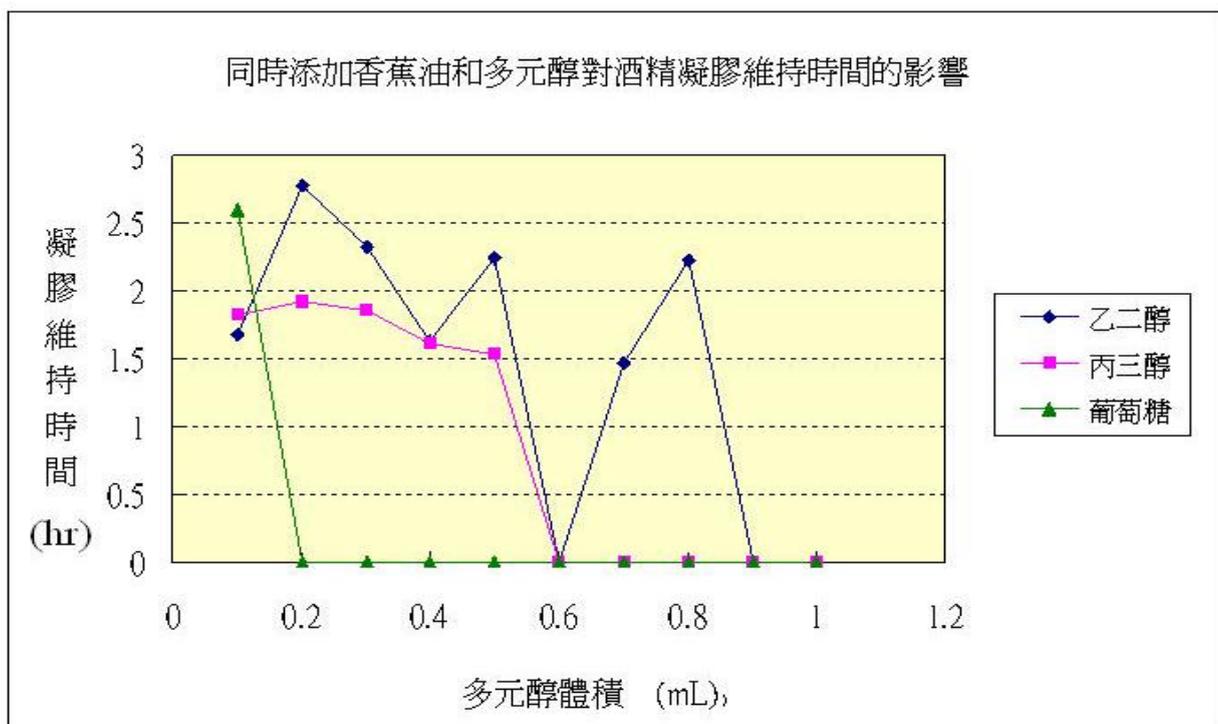


圖 5-3：同時添加 1.0mL 橘子油和多元醇對酒精凝膠維持時間的影響

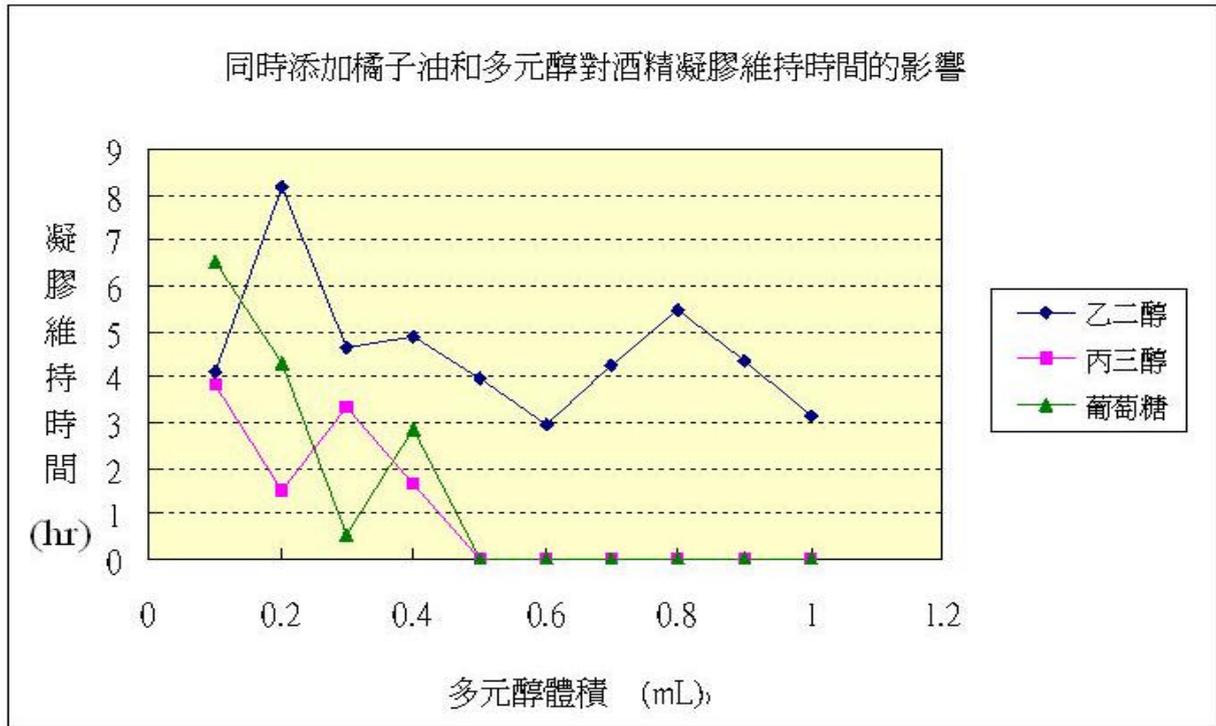
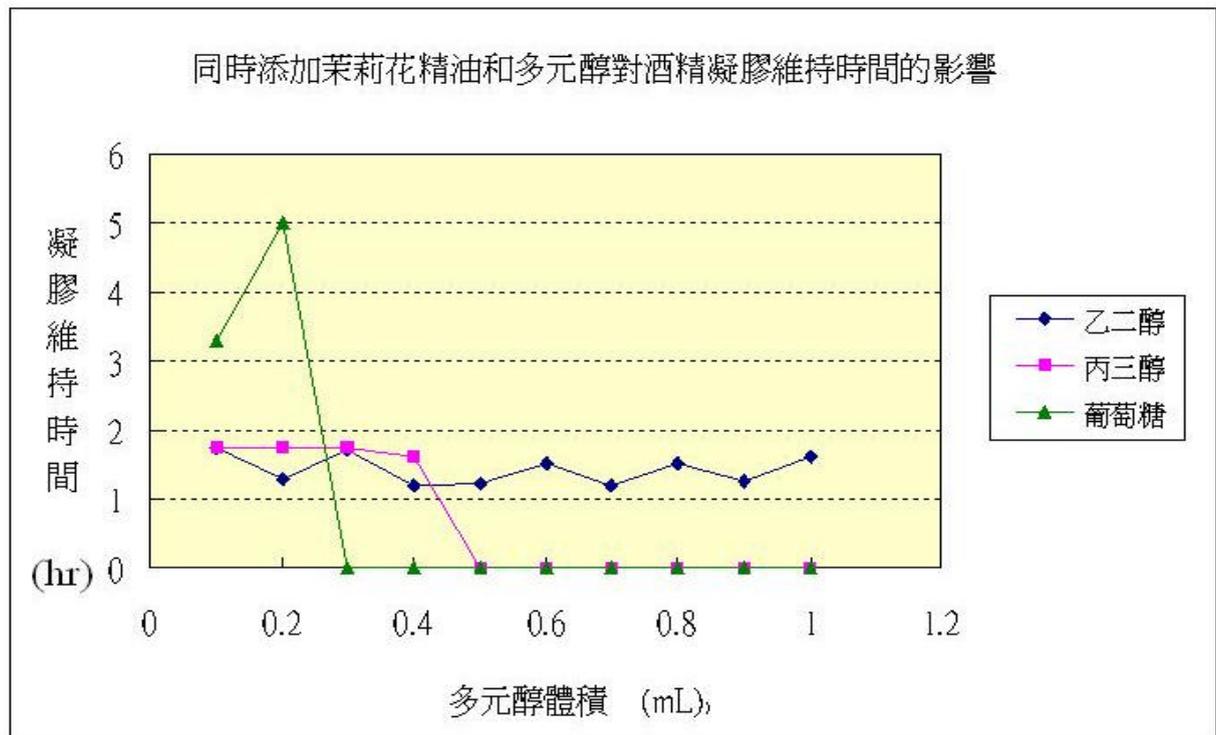


圖 5-4：同時添加 1.0mL 茉莉花精油和多元醇對酒精凝膠維持時間的影響



⇒ 酒精凝膠維持時間達五小時以上者：

- (1)杏仁油+葡萄糖 (2)橘子油+乙二醇 (3)橘子油+葡萄糖 (4)茉莉花精油+葡萄糖。

(六) 探討溶劑整體極性影響酒精形成凝膠之實驗設計

1. 以醋酸鉀為電解質，測量醋酸鉀酒精溶液導電度

(1) 測量添加芳香精油的醋酸鉀酒精溶液導電度

【3.5mL 的 0.010M 醋酸鉀水溶液 + 20mL 的芳香精油酒精溶液，室溫 20 °C】

添加物	導電度 ( $\mu s / cm$ )
無添加	490
杏仁油 2.0mL	716
香蕉油 2.0mL	372
橘子油 1.0mL	788
茉莉花精油 1.0mL	400

(2) 測量添加促凝劑的醋酸鉀酒精溶液導電度

【3.5mL 的 0.10M 醋酸鉀水溶液 + 20mL 的促凝劑酒精溶液，室溫 20 °C】

多元醇體積 (mL)	導電度 ( $\mu s / cm$ )		
	乙二醇	丙三醇	葡萄糖
0.1	266	255	238
0.2	252	264	361
0.3	239	251	415
0.4	223	248	292
0.5	227	262	251

(3) 計算導電度比： $(C / C')$

【C：樣品導電度 C'：醋酸鉀純酒精導電度 = 490  $\mu S / cm$ 】

添加 芳香精油	純酒精	酒精+杏仁油	酒精+香蕉油	酒精+橘子油	酒精+茉莉花精油
導電度比	1.00	1.46	0.76	1.61	0.82

添加促凝劑 體積(mL)	導電度比		
	乙二醇	丙三醇	葡萄糖
0.1	0.54	0.526	0.49
0.2	0.51	0.54	0.74
0.3	0.49	0.51	0.85
0.4	0.46	0.51	0.60
0.5	0.46	0.53	0.51

圖 6-1：測量添加芳香精油的醋酸鉀酒精溶液導電度比

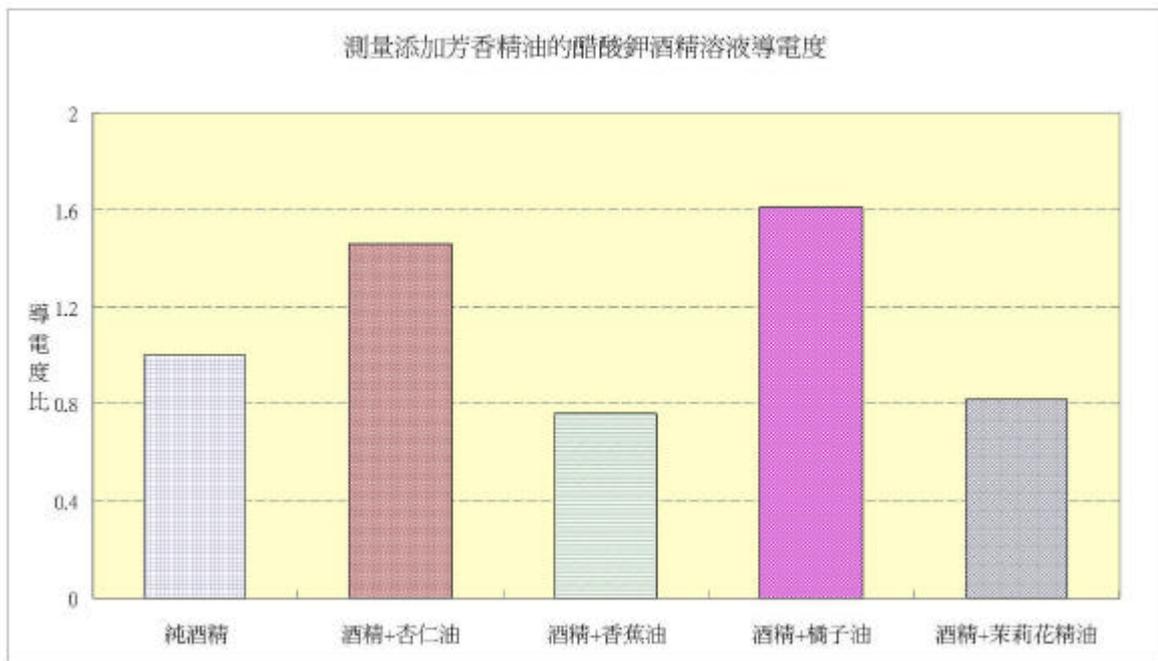
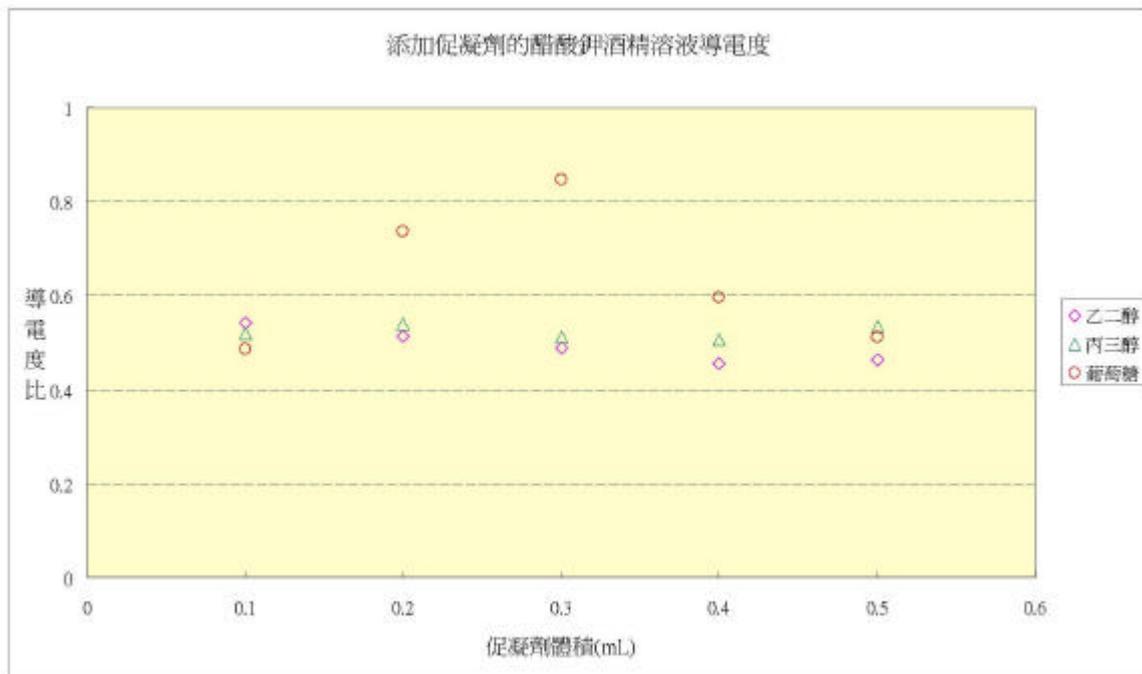


圖 6-2：添加促凝劑的醋酸鉀酒精溶液導電度比

【3.5mL 的 0.10M 醋酸鉀水溶液 + 20mL 的促凝劑酒精溶液，室溫 20℃】



- ⇒(1)杏仁油與橘子油提高醋酸鉀酒精溶液導電性 1.5~1.6 倍，但香蕉油與茉莉花精油卻下降。  
(2)三種促凝劑造成醋酸鉀酒精溶液的導電性全部下降，但 0.2~0.3mL 葡萄糖對導電度下降的影響最少。

## 2. 測量添加物酒精溶液的黏度

### (1) 測量添加芳香精油酒精溶液黏度

【酒精 20mL，杏仁油、香蕉油各 2mL，橘子油、茉莉精油各 1mL，室溫 20 °C】

酒精溶液 時間(s)	純酒精	杏仁油	香蕉油	橘子油	茉莉精油
第一次	30.38	29.74	31.73	29.29	31.31
第二次	29.88	29.74	31.35	29.13	31.13
第三次	30.18	29.79	31.83	29.21	31.87
平均	30.15	29.76	31.64	29.21	31.43

### (2) 測量添加促凝劑酒精溶液黏度

【酒精 20mL，各種促凝劑 3mL，室溫 20 °C】

酒精溶液 時間(s)	純酒精	酒精+乙二醇	酒精+丙三醇	酒精+葡萄糖
第一次	30.38	39.63	44.70	41.38
第二次	29.88	40.63	44.40	41.74
第三次	30.18	40.63	44.60	41.49
平均	30.15	40.30	44.57	41.54

### (3) 計算黏度比

$$(\mu / \mu') = (dt / dt')$$

【 $\mu$ ：樣品黏度     $\mu'$ ：純酒精黏度     $t$ ：樣品流下的秒數     $t'$ ：純酒精流下的秒數】

酒精溶液	純酒精	酒精+杏仁油	酒精+香蕉油	酒精+橘子油	酒精+茉莉精油
粘度比	1.00	0.99	1.05	0.97	1.04

酒精溶液	純酒精	酒精+乙二醇	酒精+丙三醇	酒精+葡萄糖
粘度比	1.00	1.34	1.48	1.38

圖 6-3：測量芳香精油酒精溶液的黏度比

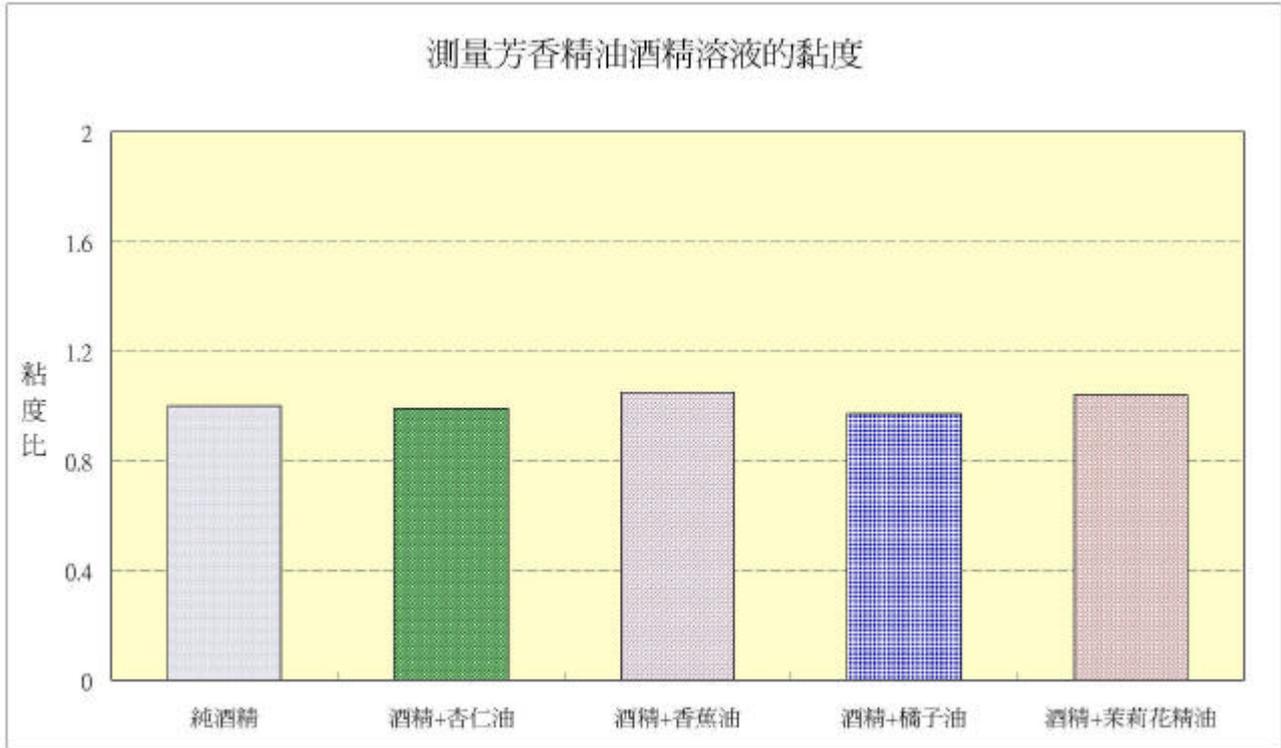
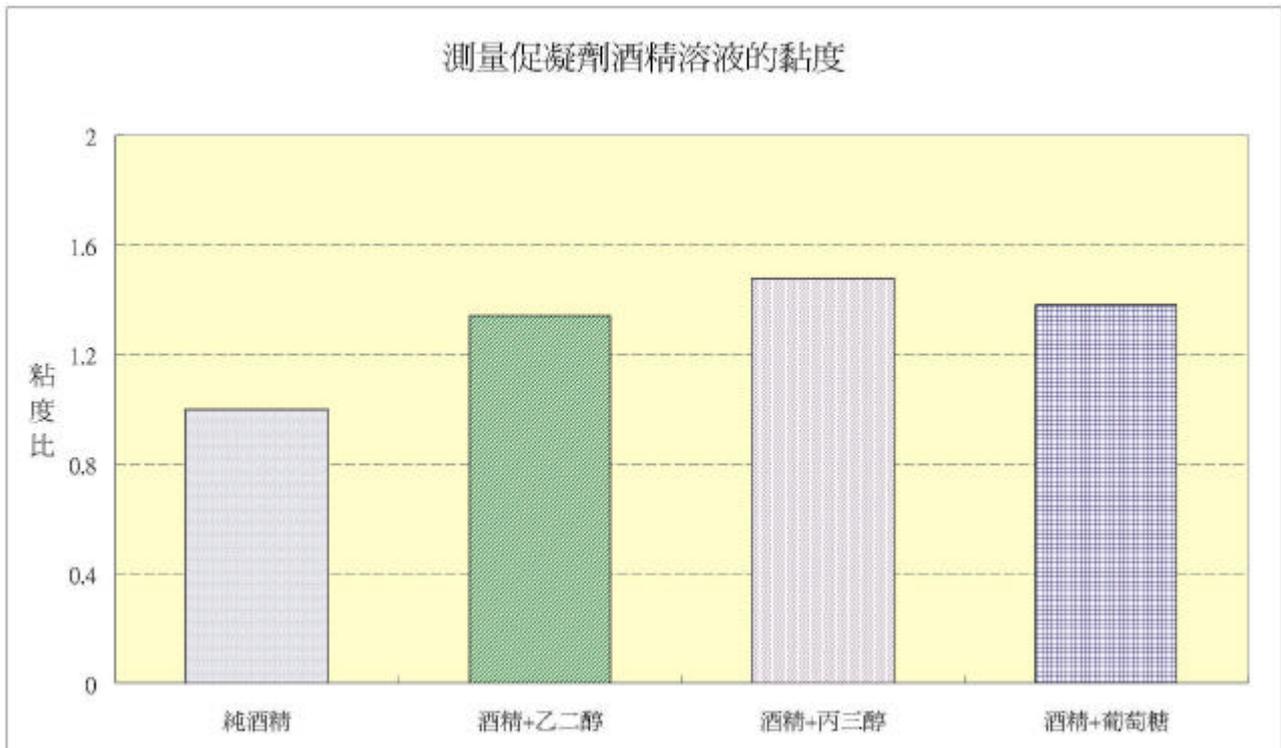


圖 6-4：測量促凝劑酒精溶液的黏度比



⇒ 四種芳香精油對酒精溶液的黏度沒有很明顯的影響。  
三種促凝劑均可使酒精溶液的黏度提高 1.3~1.5 倍。

## 七、討論

### (一) 探討水量與溫度對酒精凝膠性質的影響

在本研究中，一開始花了近兩個月的時間，嘗試調製配方順序、溫度、混合的方法等等，才找出酒精和水的最佳比例與製作流程，使結果有良好的再現性。水量不可太少或太多，否則會造成酒精凝膠維持時間變短，甚至無法凝固。而且酒精比例不夠，也造成凝膠不能燃燒的現象。最後由圖 1 結果，找出水與酒精的最佳體積比為 5.7:1。

酒精凝膠的製作與儲存溫度對凝膠的維持時間影響很大。將凝膠放在冰箱冷藏室中，可保存一個月以上。將凝膠放在 35℃ 恆溫水浴中，凝膠馬上就開始融化而流出酒精。將凝膠放在 20℃ 中，凝膠的維持時間可因配方不同而達十多分鐘到數小時等，因此本研究選取 20℃ 溫度進行各項變因的研究。

### (二) 探討醋酸與氫氧化鈣含量對酒精凝膠性質的影響

由圖 2 得知，氫氧化鈣在 0.5- 0.6g 與 0.8-1.0g 時，凝膠有較好的維持時間。這現象說明了凝膠分散系的穩定性與陰陽離子的濃度密切有關。但氫氧化鈣 0.8-1.0g 時的凝膠顏色較不透明，外觀不漂亮且燃燒效果比氫氧化鈣 0.5-0.6g 時為差。氫氧化鈣在 0.5- 0.6g 時，增加醋酸的含量也可以提高凝膠維持時間。因醋酸分子的極性比酒精分子高，這現象說明了凝膠分散系的穩定性也與溶劑的整體極性密切有關。

### (三) 探討添加芳香精油對酒精凝膠性質的影響

在研究各種精油來製造芳香酒精凝膠時，由於加入醋酸與各種精油到酒精凝膠時，會使溶劑整體極性發生改變，因此陰陽離子的濃度效應需重新研究，所以將實驗設計的定量條件為水量、酒精含量、醋酸含量與精油含量，改變的變因為氫氧化鈣質量。

由圖 3 得知，氫氧化鈣 0.5g 以上時，除了香蕉油之外，其他加入精油都有延長凝膠維持時間的促凝效果。另一方面，除橘子精油外，在加入精油後的固態酒精會變得比無香精酒精凝膠還軟。這說明溶劑整體極性不僅改變了凝膠維持時間，也對凝膠的軟硬程度有影響。

#### (四) 探討添加多元醇作為酒精凝膠之促凝劑功能

酒精分子間作用力主要為氫鍵，所以研究尋找適當促凝劑時，選用容易取得且便宜的多元醇作為添加物。由圖 4 得知，適量的多元醇對酒精凝膠的穩定性有很大的幫助，最佳的效果是添加葡萄糖可以將凝膠維持時間延長從 1-2 小時達到 5 小時。添加乙二醇或葡萄糖在 0.1-0.5mL 時對凝膠維持時間可達 2 倍以上的幫助，但是丙三醇卻沒有這樣的功能。這現象發現凝膠系統的穩定性並不只有分子結構中的 OH 數目，而應還有其他的因素，包括分子形狀或烷基部分的凡得瓦力等因素。但大體來說，這三種多元醇都增加酒精凝膠硬度的作用。

#### (五) 探討以多元醇為促凝劑對加入芳香精油的酒精凝膠的影響

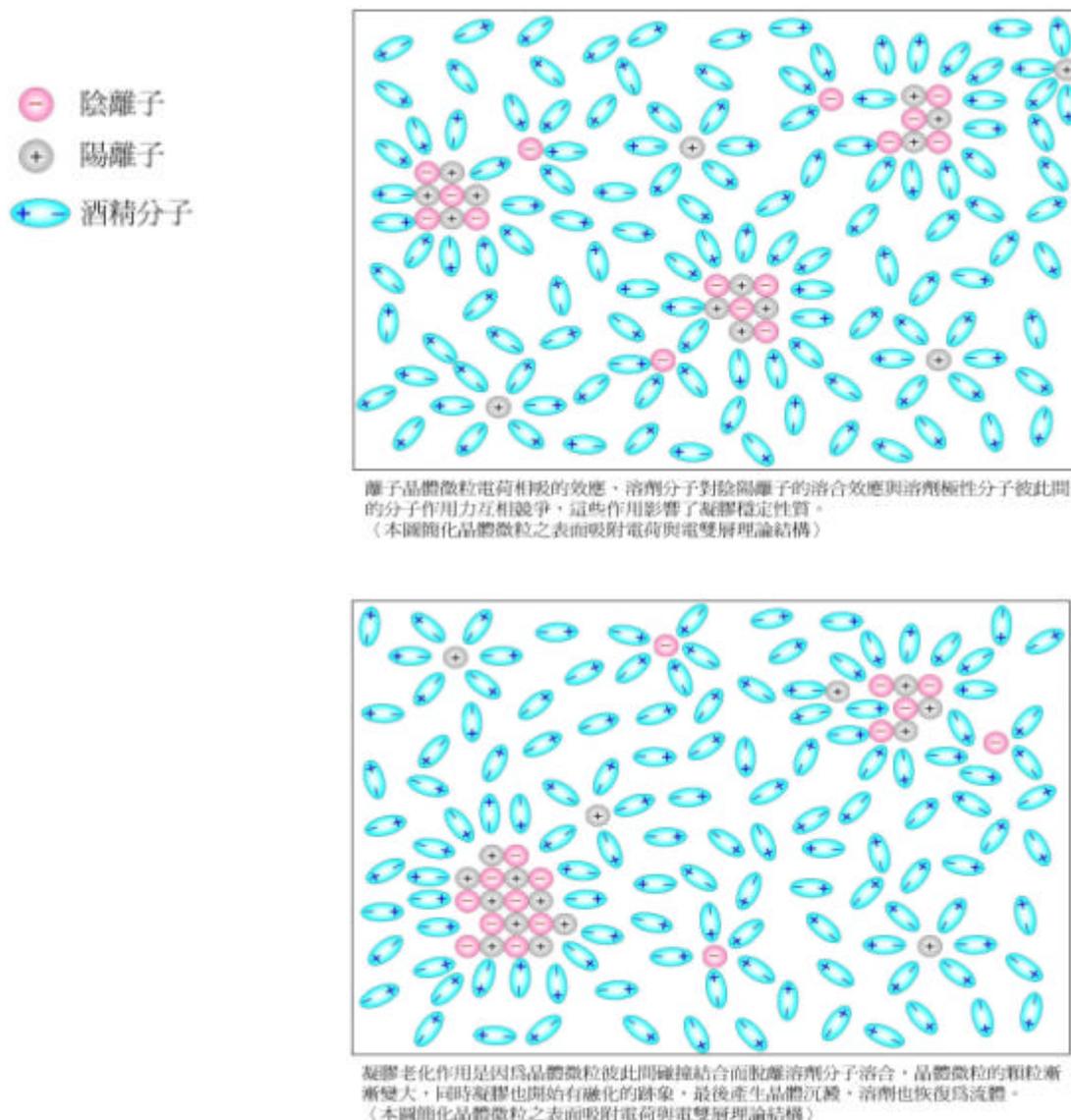
在添加精油的酒精凝膠內同時加入多元醇，從圖 5-1~5-4 中發現，同時加入芳香精油和丙三醇並沒有延長酒精凝膠維持時間，但能明顯增加酒精凝膠的硬度。添加乙二醇 0.1~0.2mL 可將含杏仁油的酒精凝膠延長 1~2 小時的維持時間，而加入 0.1~0.2mL 的葡萄糖水溶液則可比原來多 3~4 個小時的維持時間（且約為無添加物酒精凝膠的 3 倍）。香蕉油的酒精內添加 0.1~0.3mL 的乙二醇或是 0.1mL 的葡萄糖水溶液，能平均將酒精凝膠的時間延長 1 小時，雖然效果沒有添加杏仁油時的酒精凝膠顯著，但都達到了延長時間的效果。多元醇和橘子精油的酒精凝膠有最好的維持時間，添加 0.2mL 的乙二醇，可將本來維持的 3 小時延長到 8 小時多（且約為無添加物酒精凝膠的 5 倍）。加入 0.1~0.2mL 的葡萄糖水溶液也可將酒精凝膠維持時間延長約為無添加物酒精凝膠的 3.5 倍。乙二醇和丙三醇對添加茉莉花精油的酒精凝膠都

沒什麼作用，但是葡萄糖水溶液則能延長 2~3 小時的維持時間（且約為無添加物酒精凝膠的 3 倍）。酒精凝膠維持時間達五小時以上者有四組：(1)杏仁油+葡萄糖 (2)橘子油+乙二醇 (3) 橘子油+葡萄糖 (4)茉莉花精油+葡萄糖。

### (六) 探討溶劑整體極性影響酒精形成凝膠之實驗設計

醋酸鈣與醋酸鉀均為離子化合物，醋酸鈣的酒精凝膠的作用機制包括了離子晶體微粒電荷相吸的效應、溶劑分子對陰陽離子的溶合效應與溶劑極性分子彼此間的分子作用力互相競爭，簡化的分子模型如下圖 7 所示。

圖 7 簡化的離子晶體的酒精凝膠分子模型圖



溶劑的整體極性與溶劑極性分子彼此間的分子作用力有關，溶劑的整體極性也會對添加物之酒精溶液的黏度與鹽類導電度有影響。試過醋酸鈉、醋酸鉀、酒石酸鉀等一些電解質之後，找到醋酸鉀可以在酒精中有很好的溶解度。一開始測量醋酸鉀酒精溶液導電度時，因醋酸鉀濃度太高了，使電場效應下離子遷移作用(migration)效應遠高於溶劑極性對離子遷移作用，所以有添加物與無添加物的醋酸鈣酒精溶液導電度沒有很明顯的差別。後來一直降低醋酸鉀濃度之後，終於測量出導電度有明顯不同。由圖 6-1 到 6-4 看出，杏仁油與橘子油提高醋酸鉀酒精溶液導電性 1.5~1.6 倍，但香蕉油與茉莉花精油卻下降。而三種促凝劑造成醋酸鉀酒精溶液的導電性全部下降，但 0.2~0.3mL 葡萄糖對導電度下降的影響最少。四種芳香精油對酒精溶液的黏度沒有很明顯的影響，但三種促凝劑均可使酒精溶液的黏度提高 1.3~1.5 倍。

由圖 6-1 到 6-4，定義芳香精油因子與促凝劑因子如下：

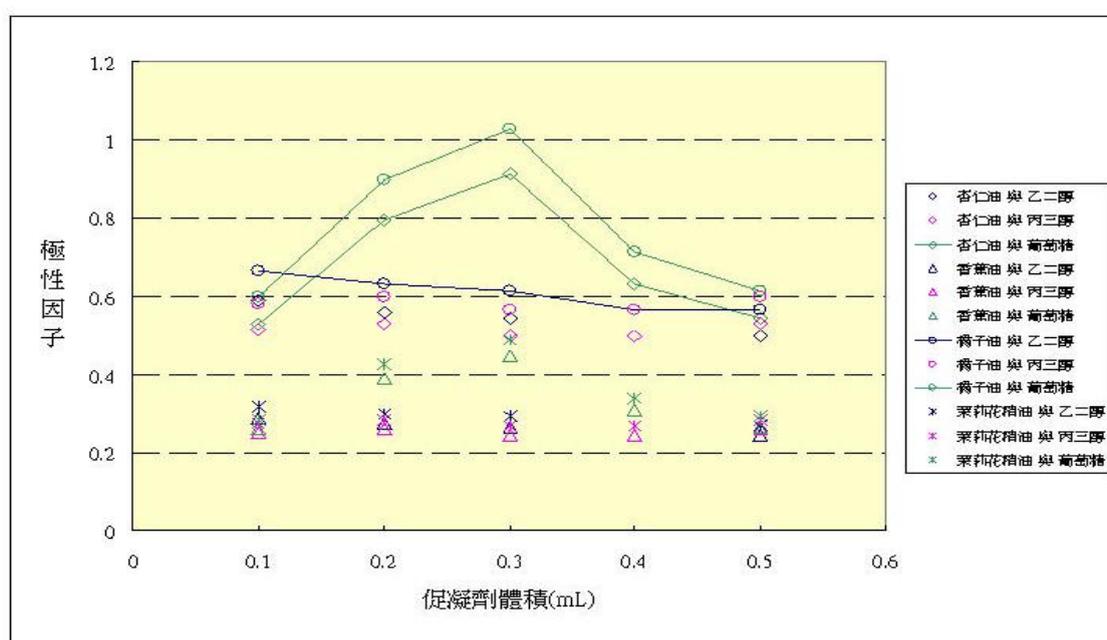
添加 芳香精油	芳香精油因子 = 添加芳香精油導電度比/添加芳香精油粘度比			
	酒精+杏仁油	酒精+香蕉油	酒精+橘子油	酒精+茉莉花精油
	1.47	0.72	1.66	0.79

添加促凝劑 體積(mL)	促凝劑因子=添加促凝劑導電度比/添加促凝劑粘度比		
	乙二醇	丙三醇	葡萄糖
0.1	0.4	0.35	0.36
0.2	0.38	0.36	0.54
0.3	0.37	0.34	0.62
0.4	0.34	0.34	0.43
0.5	0.34	0.36	0.37

再定義極性因子並繪圖： 極性因子 = 促凝劑因子 × 芳香精油因子

添加促凝劑 體積(mL)	杏仁油			香蕉油			橘子油			茉莉花精油		
	與乙二醇	與丙三醇	與葡萄糖									
0.1	0.588	0.5145	0.5292	0.288	0.252	0.2592	0.664	0.581	0.5976	0.316	0.2765	0.2844
0.2	0.5586	0.5292	0.7938	0.2736	0.2592	0.3888	0.6308	0.5976	0.8964	0.3002	0.2844	0.4266
0.3	0.5439	0.4998	0.9114	0.2664	0.2448	0.4464	0.6142	0.5644	1.0292	0.2923	0.2686	0.4898
0.4	0.4998	0.4998	0.6321	0.2448	0.2448	0.3096	0.5644	0.5644	0.7138	0.2686	0.2686	0.3397
0.5	0.4998	0.5292	0.5439	0.2448	0.2592	0.2664	0.5644	0.5976	0.6142	0.2686	0.2844	0.2923

圖 8：極性因子與添加物的關係



在圖 8 中，將添加促凝劑 0~0.5mL 時的極性因子接近 1 者以折線圖形連結，清楚看出符合者有兩組：(1)橘子油+葡萄糖 (2)杏仁油+葡萄糖。對照由實驗測出酒精凝膠維持時間達五小時以上的四組，可以確定（杏仁油+葡萄糖）與（橘子油+葡萄糖）的酒精凝膠維持時間和極性因子有關。除此之外，（橘子油+乙二醇）的極性因子也居於第三高。綜合結果，導電度越大，表示正負離子吸引力越小，可看出溶合作用幫助醋酸鈣微粒分散，使得凝膠不易老化；而促凝劑酒精溶液黏度越大，則溶劑分子間越容易自行聚集，反而加速了凝膠的老化作用。

## 八、結論

- (一) 探討水量與溫度對酒精凝膠性質的影響，發現酒精與水的最佳體積比為 5.7:1，且溫度愈低，凝膠的維持時間愈久。酒精凝膠燃燒時火焰呈藍色，而且不會產生黑煙或是任何聲音，最後殘留物則為灰白色固體。
- (二) 探討醋酸與氫氧化鈣含量對酒精凝膠性質的影響，發現氫氧化鈣在 0.5- 0.6g 與 0.8-1.0g 時，凝膠有較好的維持時間。另一方面，增加醋酸的含量也提高了凝膠維持時間。
- (三) 探討添加芳香精油對酒精凝膠性質的影響，選用四種精油：甜杏仁油、香蕉油、橘子油與茉莉花精油。當氫氧化鈣 0.5g 以上時，除了香蕉油之外，其他加入精油都有延長凝膠維持時間的促凝效果。另一方面，除橘子精油外，在加入精油後的固態酒精會變得比無香精酒精凝膠還軟。
- (四) 探討添加多元醇作為酒精凝膠之促凝劑功能，最佳的效果是添加葡萄糖可以將凝膠維持時間延長從 1-2 小時達到 5 小時。添加乙二醇或葡萄糖在 0.1-0.5mL 時對凝膠維持時間可達 2 倍以上的幫助，雖然丙三醇沒有這樣的功能，且三者增加芳香酒精凝膠硬度上有極大的幫助。
- (五) 探討以多元醇為促凝劑對加入芳香精油的酒精凝膠的影響，發現同時加入芳香精油和丙三醇的酒精凝膠並沒有延長維持時間的作用，但仍能明顯增加酒精凝膠的硬度。加入杏仁油、茉莉花精油或橘子油後，再加葡萄糖，皆可使最佳維持時間約為無添加物酒精凝膠的 3.0~3.5 倍。但添加乙二醇和橘子精油，最佳維持時間更高達 5 倍。
- (六) 探討溶劑整體極性影響酒精形成凝膠之實驗設計，以測量醋酸鉀酒精溶液的導電度與酒精溶液黏度作為整體極性的指標因素。利用低濃度醋酸鉀酒精溶液，可以測量出添

加物對導電度之影響。杏仁油與橘子油提高醋酸鉀酒精溶液導電性 1.5~1.6 倍，但香蕉油與茉莉花精油卻下降。而三種促凝劑造成醋酸鉀酒精溶液的導電性全部下降，但 0.2~0.3mL 葡萄糖對導電度下降的影響最少。四種芳香精油對酒精溶液的黏度沒有很明顯的影響，但三種促凝劑均可使酒精溶液的粘度提高 1.3~1.5 倍。（杏仁油+葡萄糖）與（橘子油+葡萄糖）的酒精凝膠維持時間可以確定和導電度與黏度有關。

## 九、未來展望

本次研究中，已經提升了酒精凝膠的延長時間，但希望在未來能找出更多影響凝膠穩定的因素，解決許多凝膠在科技應用時所面臨的問題。

## 十、參考資料

- （一）<高二物質科學化學篇>上冊：南一版第六章「溶液」，89 學年度；龍騰版第三章「溶液」，91 學年度。
- （二）<酒精固體燃料的製作與研究>，第三十九屆中小學科學展覽會優勝作品，高中組化學科。
- （三）曾國輝，<化學>，上冊，藝軒出版社。
- （四）熱納 巴竇著，郭兆林、周念縈譯，<固特異的軟物質>，天下文化。
- （五）林敬二、楊美惠、楊寶旺、廖德章、薛敬和主編，<英中日化學大字典>，高立圖書公司。
- （六）參考網頁：
  - (1) <http://www.aroma100.com.tw/pinfo/baseoil/sweet.htm>
  - (2) <http://www.dfmg.com.tw/dasp/dfaun-1/v29.htm>
  - (3) <http://www.hulu.com.tw/flo/茉莉花.htm>
  - (4) <http://web.cc.ntnu.edu.tw/~48942204/analysis-2.htm>

## 十一、誌謝

在這一段很長的研究期間，感謝周芳妃老師辛苦指導及黃天恆、鄭羽恬、朱怡慈三位同學的熱情參與和幫忙，最後謝謝一直鼓勵與協助我們的家長、學校師長、實驗室阿姨與朋友。