

# 中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

國中組 化學科

探究精神獎

030202

複合槲皮素奈米顆粒提升難溶性化合物之抗氧化能力

學校名稱： 國立屏科實驗高級中等學校

作者：	指導老師：
國一 林陳子翔	簡聿成
國一 黃宥萱	陳佳琪
國一 李宇晨	

關鍵詞： 槲皮素、奈米製劑、發泡顆粒

## 摘要

槲皮素(Quercetin)為天然黃酮類(多酚類)，具有抗氧化、抗發炎、增強免疫力等功效。但因其水溶性很低，不易讓人體有效吸收，常需吃過量試劑，有浪費情形。本研究利用聚乙烯吡咯烷酮(PVP)、羥丙基- $\beta$ -環糊精(HPBCD)與槲皮素進行複合，提供奈米製程化並增進其溶解度。在增加PVP K30比例下，複合試劑粒徑可從1200nm降至約30-40nm，形成奈米粒子。與原槲皮素抗氧力比較，複合試劑可提昇40-50倍以上。最後，複合試劑在發泡顆粒劑型可以在30秒內溶出90%以上的成份。以上實驗，說明本實驗能有效增加其溶解效能與奈米化，有效提升槲皮素從原先難溶、難吸收的情形，變為可讓人體快速吸收的粒形。

## 壹、前言

### 一、研究動機：

人體健康與飲食息息相關，透過補充天然蔬果，不僅能攝取營養成分，還能對健康帶來極大的益處。讓我們想起在校外參訪時，導覽員介紹了一種令人印象深刻的天然物質，名為槲皮素。這次經歷讓我們對它產生濃厚興趣，於是上網進一步搜尋後發現，槲皮素(Quercetin)是一種從真雙子葉植物中提取的天然物質，不僅可作為染料讓食物變成漂亮的黃色，還具有抗氧化和抗發炎作用，對健康益處多多。

然而，槲皮素也有個缺點，就是其在水中的溶解度非常低，影響人體對其吸收，限制了效果發揮。因此，我們很好奇是否能找到改善槲皮素水溶解度的方法，讓其更易被吸收，發揮健康效用。如果成功，未來或許能製作出含有槲皮素的健康飲品，在享受飲料的同時也促進健康。

我們希望通過這個研究主題，利用奈米化技術改善槲皮素的水溶解度，並將其加入即溶發泡顆粒產品中，結合即溶特性與氣泡趣味性，讓槲皮素的健康功效更容易發揮，進一步提高其市場應用價值。

## 二、研究目的：

- (一) 製備槲皮素奈米製劑。
- (二) 槲皮素生產效率計算。
- (三) 觀察槲皮素與槲皮素奈米製劑的外觀。
- (四) 觀察槲皮素奈米製劑水溶液的外觀及其膠體溶液的廷得耳效應。
- (五) 測定槲皮素奈米製劑水溶液的粒子大小。
- (六) 測定槲皮素奈米製劑的水溶解度，並與原槲皮素進行比較。
- (七) 比較槲皮素奈米製劑與原槲皮素的抗氧化能力差異。
- (八) 製備槲皮素奈米發泡顆粒。
- (九) 製備槲皮素奈米發泡顆粒發泡情況及速度測定。
- (十) 檢測槲皮素發泡顆粒之有效成分溶出速率。

## 三、名詞解釋：

### (一) 槲皮素 (Quercetin)

槲皮素是為天然儲存於蔬果中的化合物，其中洋蔥含量最高。槲皮素具有抗氧化、抗發炎、抗癌和保護心血管的作用。目前市面上有槲皮素膠囊作為保健食品，用來增強免疫力或改善季節性過敏問題。不過，槲皮素的水溶解度很低，只有約  $2.15 \text{ mg/L}$ ，使它在人體腸道中的溶解量非常少。這導致大部分槲皮素在人體中還沒被吸收就被排出，真正能被人體利用的槲皮素不到 10%。因此，市面上的產品需要用大量槲皮素製成體積較大的膠囊或錠劑，才足夠讓人體吸收到有效劑量，不僅成本高，還讓吞服變得不方便。

綜合以上，針對槲皮素有兩個可以改善的方向：

- (1) 提高它的水溶解度和吸收效率。
- (2) 降低用量並找到更方便的服用方式。

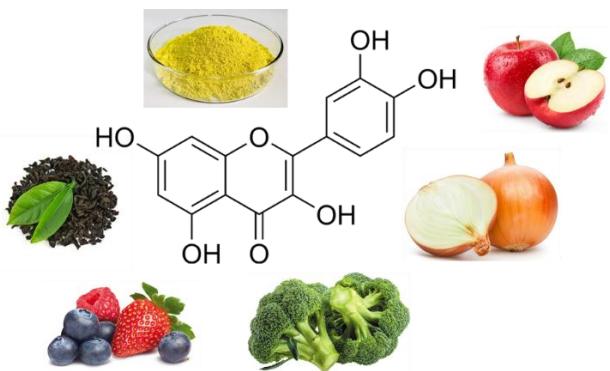


圖 1 槲皮素化學結構、外觀及其天然來源(圖片由作者所繪)

## (二) 水溶解度與吸收

水溶解度 (Water Solubility) 是指物質在特定溫度和壓力下，能完全溶於水中的最大量，通常用每公升水中溶解的克數 (g/L) 或毫克數 (mg/L) 來表示。水溶解度的高低與物質的特性有關，例如糖和鹽的水溶解度高，屬於親水性物質，而油和一些化學結構複雜的天然成分幾乎不溶於水，屬於親脂性物質。

根據「相似相容」原則，親水性物質傾向與親水性物質互溶，親脂性物質則互溶。因人體內大部分是水，像血液和細胞液，所以吃進的食物成分若能溶於水，就比較容易經過小腸吸收，透過血液送到需要的地方；反之，如果物質水溶解度低，在消化道中溶解少，吸收和利用率（生物利用率）自然偏低。以槲皮素為例，它水溶解度低，因此在腸道中溶解量有限，導致吸收率和生物利用率都偏低。

## (三) 奈米製劑

科學家一直在尋找方法解決物質的低吸收率和低生物利用率問題，其中將物質奈米化是一個好方法。奈米化能將物質分散成極小的顆粒，增加與水的接觸面積，從而提高溶解速度、水溶解度和吸收率。我們最初用研鉢和杵研磨槲皮素，但無法產生夠小的粒子，於是透過特殊製程將槲皮素奈米化，製成「槲皮素奈米製劑」。

而在眾多奈米化技術中，減壓濃縮法是簡單又環保的方法。只需在低壓環境下加熱，讓溶劑揮發即可製成奈米製劑。酒精在低壓環境中更容易揮發，能節省能源和時間。此外，這種方法不用有毒化學溶劑，避免了廢水、重金屬和空氣污染等問題，只要謹慎操作就能成功製作，非常適合用於大量生產。

#### (四) 聚乙烯吡咯烷酮 (polyvinylpyrrolidone, PVP)

奈米製劑的形成需要其他材料的幫助，為了增加槲皮素的水溶解度，需要選擇也能溶於水的材料。本研究使用了一種重要的原料—聚乙烯吡咯烷酮 (PVP)，它是一種水溶性高分子化合物，外觀為白色無臭的吸濕性粉末，在日常生活中很常見。例如，在製藥產業中，它是增稠劑或膠黏劑，幫助藥物分散與溶解；在食品產業中，作為乳化劑或穩定劑，提升產品的澄清度；在化妝品中，它用於髮膠或護膚產品中，能形成薄膜，提供保濕或固定效果。低分子量的 PVP K30 (分子量約 45,000) 因速溶、低黏度和高安全性等優點，成為奈米製劑常用材料之一。

#### (五) 羅丙基- $\beta$ -環糊精 (2-Hydroxypropyl- $\beta$ -cyclodextrin, HPBCD)

本研究主題另一項重要的原料是羅丙基- $\beta$ -環糊精，環糊精的結構就像一個指環，環的內部可以和親脂性物質結合，外部是親水性的可以和水分子互動，如此特殊結構可將槲皮素放置在環的內部形成複合物，透過環糊精外部親水性結構幫助槲皮素溶解在水中。

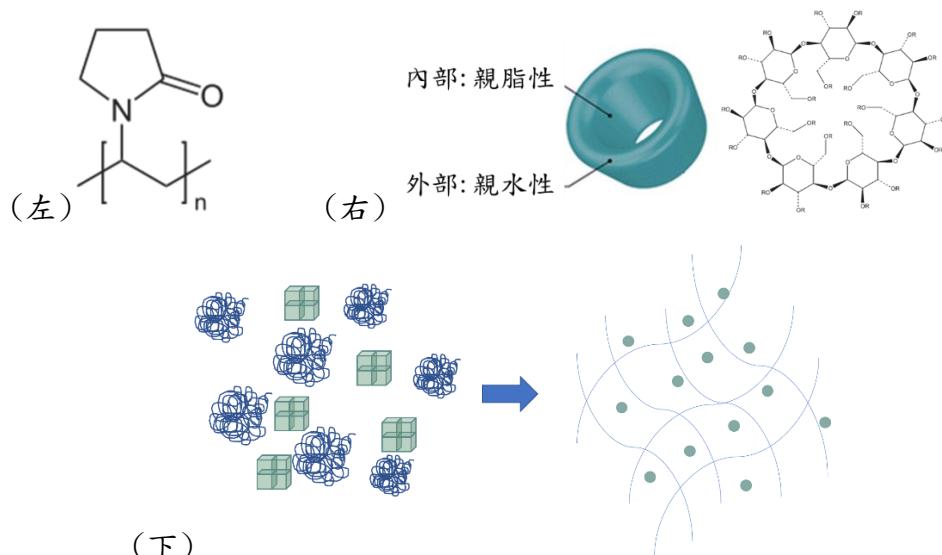


圖 2 (左) PVP 分子的化學結構 (右) HPBCD 的分子形狀示意圖  
(下)槲皮素奈米製劑的預想圖 (圖片由作者所繪)

## (六) 發泡顆粒

發泡顆粒是一種能在水中快速溶解並產生二氧化碳氣泡的顆粒狀產品，主要由功效主成分與發泡劑組成，通常為即溶的使用方式，日常生活中可見於健康食品、藥品或清潔用品中，如：維他命 C 發泡錠、阿斯匹靈發泡錠、假牙清潔錠等。發泡顆粒產生氣泡的原理主要是材料中的檸檬酸與碳酸氫鈉經酸鹼中和後形成二氧化碳氣體，氣泡的存在可以加速錠劑的崩散及溶解，也可以掩蓋其他成分的不良味道。除此之外，在進行發泡顆粒的材料選擇時必須確保材料為水溶性，才能在發泡顆粒溶解後呈濃度均勻，功效一致的狀態，而不至於出現沉澱的問題。

發泡顆粒的反應式為：

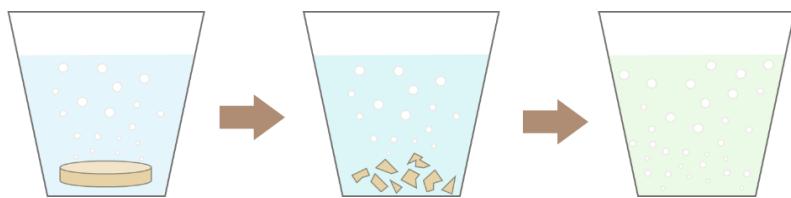
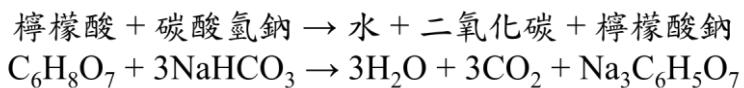


圖 3 發泡顆粒的作用機制(圖片由作者所繪)

## 貳、研究設備與器材

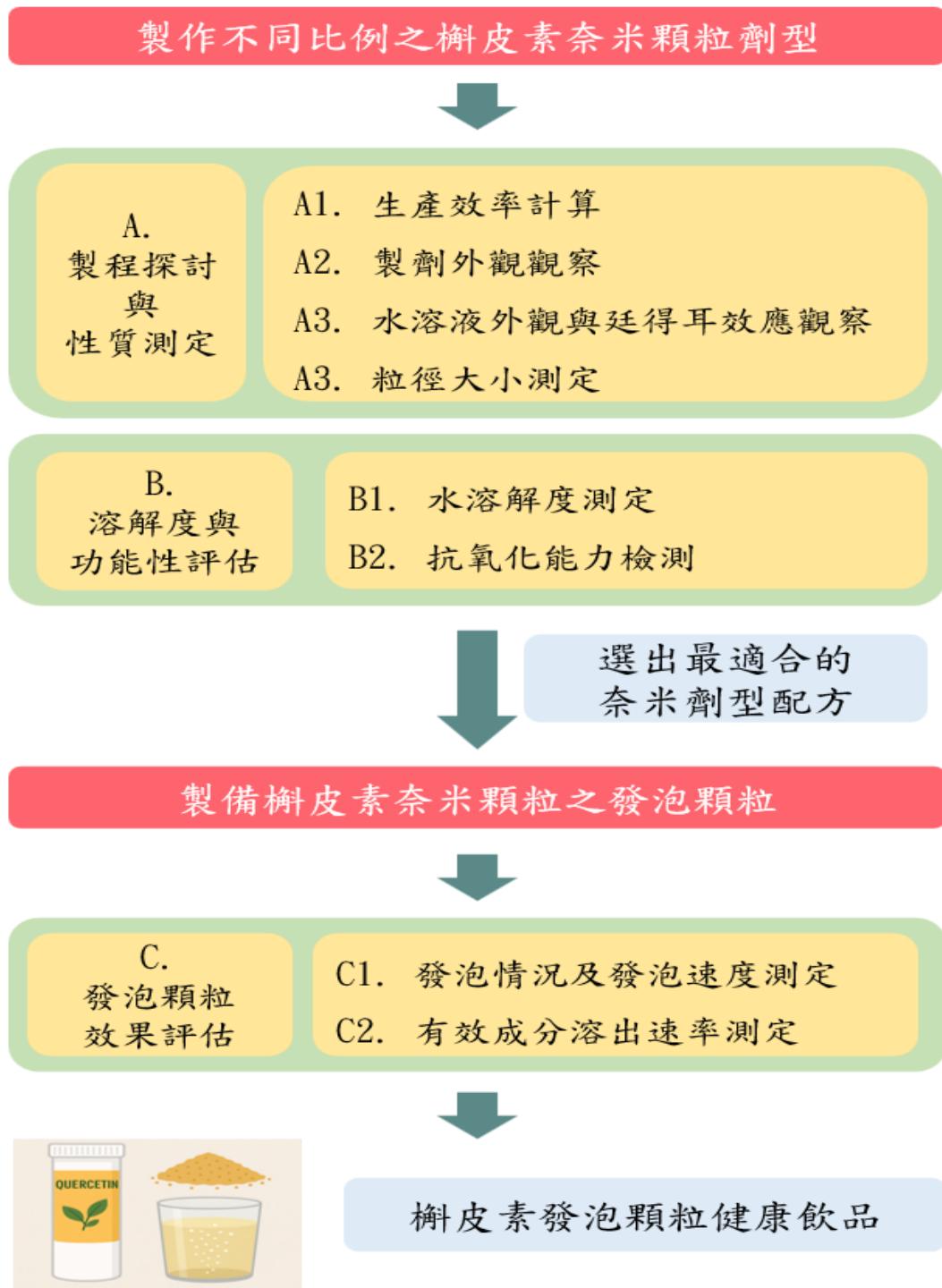
### 一、實驗材料(圖片由作者所拍攝)

槲皮素	PVP K30	HPBCD	酒精	DPPH 試劑
酒石酸	碳酸氫鈉	檸檬酸	玉米澱粉	蔗糖

### 二、實驗器材與儀器(圖片由作者所拍攝)

藥匙	量筒	玻璃樣品瓶	減壓濃縮瓶	磁石
微量移液管	樣品槽	篩網	分光光度計	
電子天秤	磁石加熱攪拌機	烘箱	減壓濃縮裝置	

## 參、研究流程



(流程圖由作者製作)

## 肆、研究方法與結果討論

### 【實驗一】製備不同比例的槲皮素奈米劑型

(一) 實驗目的：將槲皮素、HPBCD 及 PVP 依設計的四個比例製作成奈米劑型。

(二) 實驗方法：利用減壓濃縮法進行製備。

(三) 實驗過程：

1. 秤取 50mg 的槲皮素完全溶解於酒精中。
2. 依照配方秤取不同重量之 HPBCD 及 PVP，先加入 HPBCD 攪拌 30 分鐘溶解後再加入 PVP 攪拌 30 分鐘直到完全溶解。
3. 使用減壓濃縮法移除酒精後形成不同比例的槲皮素奈米製劑。

表一 槲皮素奈米製劑中，各調配成份的重量比例

編號	槲皮素 : PVP : HPBCD	槲皮素 (mg)	PVP (mg)	HPBCD (mg)
1	1:5:5		250	
2	1:10:5		500	
3	1:20:5	50	1000	250
4	1:40:5		2000	

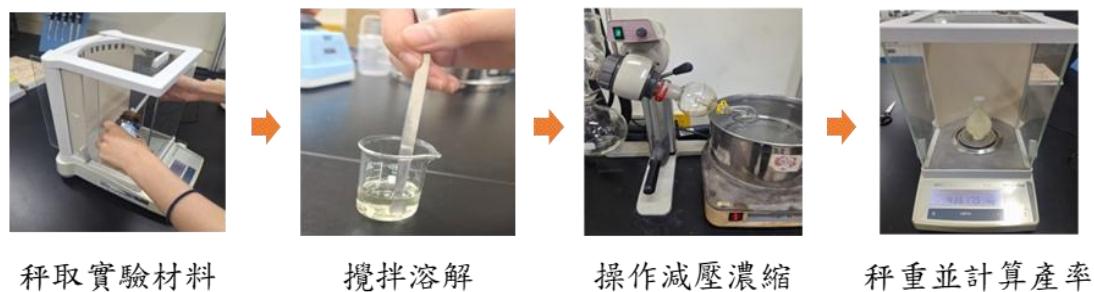


圖 4 製作槲皮素奈米製劑的步驟流程（圖片由作者所拍攝）

(四) 結果與討論：成功製備出具可行性比例的槲皮素奈米顆粒並進行後續實驗。

## 【實驗二】 檬皮素奈米劑型生產效率計算

(一) 實驗目的：計算製程將原料轉化為成品的比率，以評估未來放大量生產的可行性，預期投入的原料都可以完全變成奈米製劑，不要有太多損耗。

(二) 實驗方法：利用電子天平秤量各比例榭皮素奈米顆粒劑型之重量，並以下方公式計算生產效率。

$$\text{生產效率}(\%) = \frac{\text{獲得的奈米劑型總重量(g)}}{\text{投入的原料總重量(g)}}$$

(三) 結果與討論：

表二 檉皮素奈米製劑中，各調配成份的生產效率

編號	比例 (榭 : PVP : HPBCD)	總原料重量 (mg)	生成奈米製劑重量 (mg)	生產效率 (%)
1	1:5:5	554.8	513.7	92.6
2	1:10:5	806.2	761.5	94.5
3	1:20:5	1304.4	1244.1	95.4
4	1:40:5	2305.2	2154.9	93.5

- 處方優化動機：根據先前實驗結果，單獨使用榭皮素與 PVP K30 製備奈米製劑時，需添加較大量的 PVP K30 才能有效提升榭皮素的水溶解度。所以我們在這次實驗中進一步加入第二種親水性的材料 HPBCD，希望能使奈米劑型更加優化，如：降低對 PVP K30 的依賴、減小粒子大小或是提升應用性。
- 製程與評估：我們利用減壓濃縮法的製程順利地將原料都轉化為奈米製劑後，根據計算四個比例的處方生產效率皆有大於 90%，表示製備過程中原料不會有很大的損耗。
- 高 PVP 含量處方的觀察：在 PVP K30 比例較高的組別中(如 1:20:5 與 1:40:5)，其生產效率略低一點點，根據觀察因為含有比較多 PVP K30，導致濃縮到黏稠狀的時候就容易殘留在濃縮瓶上，不易刮取下來，進而影響最終樣品量。

### 【實驗三】奈米製劑外觀觀察

- (一) 實驗目的：觀察槲皮素原藥物及其奈米製劑在乾燥粉末狀態時的外觀型態變化。
- (二) 實驗方法：使用高解析度相機拍照記錄粉末外觀。
- (三) 結果與討論：

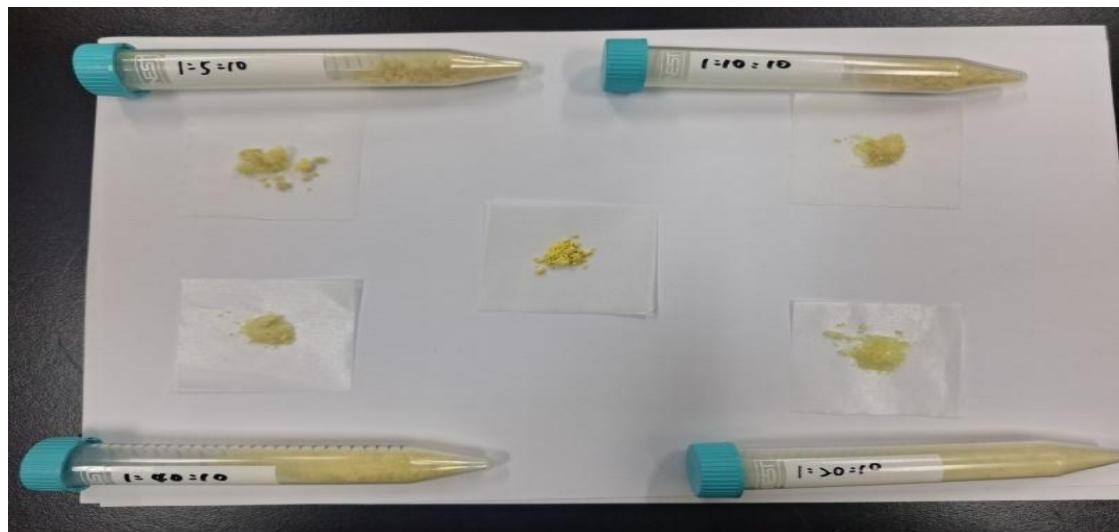


圖 5 槲皮素原藥物及各比例槲皮素奈米劑型之乾燥粉末外（圖片由作者所拍攝）

1. **顏色變化**：槲皮素原藥物本身為亮黃色粉末，經與 HPBCD 及 PVP K30 混合製成製劑後，觀察其顏色轉變為較淡的黃色。此變化可能與形成奈米包合物有關，顯示槲皮素可能與其他兩者形成較均勻的固態系統。
2. **外觀與質地變化**：製備完成後之產品呈現脆性塊狀，經簡單按壓就可得蓬鬆的粉末狀態，相較於原藥物更易分散。推測此結構與型態的轉變有助於提升其於水中的溶解性，並初步認為槲皮素已與 PVP K30 及 HPBCD 均勻混合形成穩定的固體分散態。

#### 【實驗四】水溶液外觀與廷得耳效應觀察

- (一) 實驗目的：觀察槲皮素原藥物與其奈米製劑溶於水後的外觀型態，並利用廷得耳效應觀察槲皮素奈米製劑在水中是否形成膠體溶液，當作粒徑與分散狀態之初步判斷依據。
- (二) 實驗方法：以高解析度攝影觀察溶液外觀，並透過紅光雷射筆照射樣品，觀察是否產生廷得耳效應。
- (三) 實驗步驟：
- 分別將等量的槲皮素原藥物與奈米製劑加入等體積 RO 水中，攪拌後在室溫下靜置分散。
  - 使用高解析度數位相機拍攝溶液外觀，觀察顏色、透明度與懸浮情形等。
  - 關閉室內光源後，利用紅外線雷射筆照射樣品水溶液，觀察是否出現光束路徑，以判定是否具廷得耳效應。
  - 將觀察結果與膠體特性比對，作為膠體形成與否之佐證。

(四) 結果與討論：

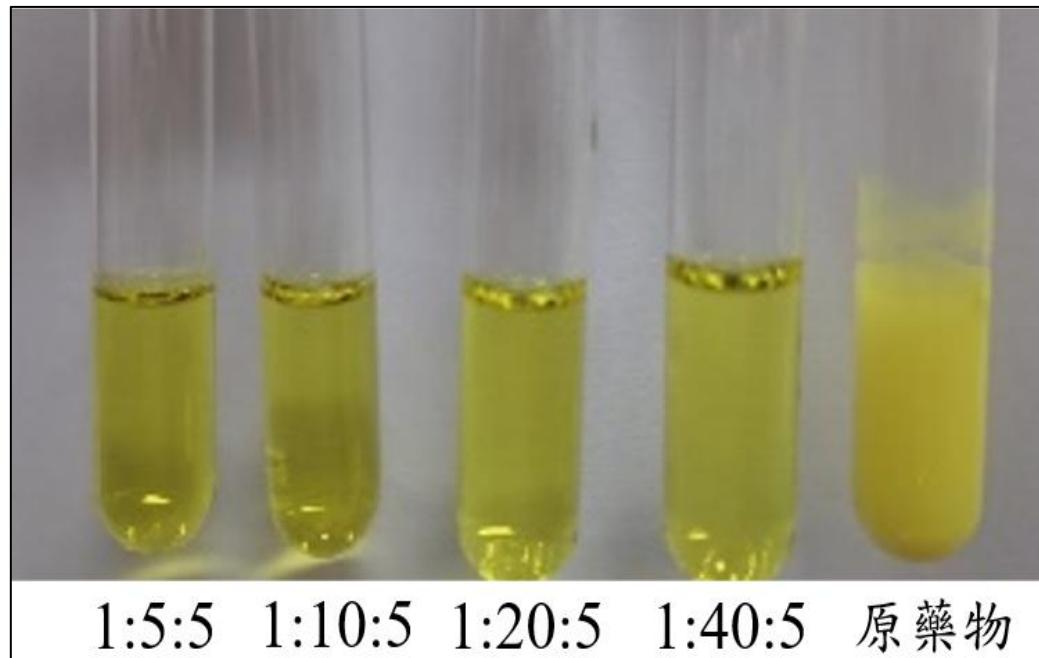


圖 6 槲皮素原藥物及各比例槲皮素奈米劑型之水溶液外觀

(圖片由作者所拍攝)



槲皮素原藥物



1:5:5



1:10:5



1:20:5



1:40:5

圖 7 槲皮素奈米製劑的廷得耳效應觀察（圖片由作者所拍攝）

1. 水溶液外觀部分，原藥物因為水溶解度不佳，所以呈現混濁狀；其餘比例均為澄清的黃色溶液，顯示製備成奈米劑型後水溶解度應有一定程度的改善。
2. 廷得耳效應：由懸浮液或膠體中的微粒散射光線所引發的光學現象，當雷射光穿過含有適當尺寸(1-1000 nm)微粒的溶液時，因光線遭受散射而形成可見光路的光學現象。此效應常用以判斷溶液中是否存在膠體級微粒。
3. 結果顯示，槲皮素原藥物溶液因為顆粒過大所以在雷射光照射下沒有產生廷得耳效應(無法有效散射光線)；相較之下，槲皮素奈米製劑在雷射光照射下展現出明顯的廷得耳效應，光散射路徑清晰且均勻，表明奈米化有效地將槲皮素的顆粒直徑減小至1-1000 nm的範圍，並顯著提升了其分散性與穩定性。
4. 此結果說明，藉由奈米化技術處理後，槲皮素成功轉化為奈米等級微粒，改

善其在水中之分散行為，並具有膠體特性。為進一步佐證該結果，可使用動態光散射儀（DLS）進行粒徑測試。

## 【實驗五】 粒徑大小測定

- (一) 實驗目的：檢測槲皮素原藥物與各比例奈米製劑於水中分散後的粒子大小，以評估奈米化處理對粒徑的影響。
- (二) 實驗方法：使用動態光散射儀 (Dynamic Laser Scattering, DLS) 檢測槲皮素與槲皮素奈米製劑的粒子大小。
- (三) 實驗步驟：
- 分別取適量的槲皮素原藥物與各奈米製劑樣品，溶於固定體積的去離子水。
  - 使用超音波震盪 5–10 分鐘以促進分散。
  - 經濾膜過濾後，將樣品注入樣品槽並放入儀器中進行測定，並記錄平均粒徑 (Z-average)。



圖 8 粒徑大小測定之實驗步驟圖（圖片由作者所拍攝）

- (四) 結果與討論：

表三 不同 PVP K30 的比例下，其槲皮素奈米製劑粒徑大小

編號	樣品	第一次粒徑	第二次粒徑	第三次粒徑	粒徑
		數據(nm)	數據(nm)	數據(nm)	平均值(nm)
0	槲皮素	1224	1104	1256	$1194.67 \pm 65.43$
1	1:5:5	297.1	284.6	276.3	$286.00 \pm 8.55$
2	1:10:5	137.6	103.1	131.9	$124.20 \pm 15.10$
3	1:20:5	36.21	35.15	30.61	$33.99 \pm 2.43$
4	1:40:5	34.81	33.46	31.65	$33.31 \pm 1.29$



圖 9 不同 PVP K30 的比例下，其槲皮素奈米製劑粒徑大小

根據表三之數據，我們測量了槲皮素原藥物及其不同配比奈米製劑於水溶液中之粒徑，結果如下：

1. 原始槲皮素粒徑顯著偏大，平均值為  $1194.67 \pm 65.43$  nm，顯示其於水中分散性不佳，無法形成穩定膠體結構。
2. 在不同比例下：
  - (1) 1:5:5 的粒徑平均值為  $286.00 \pm 8.55$  nm，已較原藥物降低。
  - (2) 1:10:5 的粒徑進一步縮小至  $124.20 \pm 15.10$  nm。
  - (3) 1:20:5 的粒徑為  $33.99 \pm 2.43$  nm，顯示高度奈米化。
  - (4) 1:40:5 的粒徑為  $33.31 \pm 1.29$  nm，與 1:20:5 接近，顯示粒徑趨於穩定。
3. 整體趨勢顯示，隨 PVP K30 比例提升，槲皮素奈米製劑粒徑顯著下降。當 PVP K30 增加至 1:20:5 以上時，粒徑趨於穩定，說明該比例已足以提供穩定的分散保護作用，進一步增加則無顯著改善。
4. 結論上，藉由奈米化處理與適當配方比例，能有效將槲皮素粒徑控制於 30 - 40 nm 範圍，顯著提升其比表面積，有助於與水分子接觸、提升水溶解度與應用潛力。

## 【實驗六】奈米製劑溶液的水溶解度測定

(一) 實驗目的：比較槲皮素原藥物與各配方奈米製劑於水中之溶解度表現，藉由分析其實際可溶於水的槲皮素濃度，評估奈米化處理對溶解度的影響，並根據結果篩選最適配方比例。

(二) 實驗方法：利用紫外光-可見光分光光度計 (UV-Vis spectrophotometer) 測量槲皮素原藥物及奈米製劑在水中的吸光值，並利用檢量線回推出水中的濃度。

(三) 實驗步驟：

1. 建立檢量線：配製不同濃度的槲皮素標準溶液，測量其在 370 nm 的吸光度，並建立標準曲線作為後續濃度換算依據。
2. 樣品準備：分別取含有理論含量 1 mg 的原槲皮素與各奈米製劑樣品，加入 1 mL 的去離子水中，超音波震盪 5 分鐘使其溶解。
3. 過濾與稀釋：以  $0.45 \mu\text{m}$  濾膜過濾去除未溶微粒，取濾液稀釋兩倍後作為分析樣本。
4. 濃度測定：利用紫外光-可見光分光光度計 (UV-Vis spectrophotometer)，測量各樣品在波長 370nm 之吸光值。
5. 計算水溶解度：透過預先建立之檢量線換算濾液中槲皮素之實際濃度，以此作為樣品水溶解度之代表值。

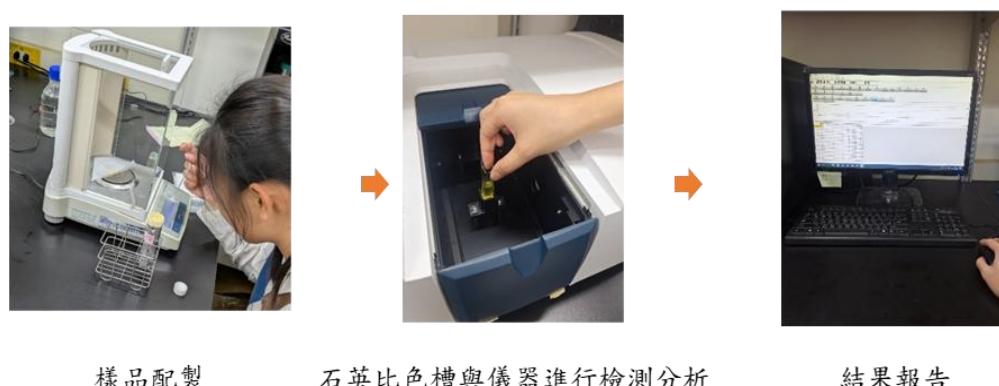


圖 10 水溶解度測定之實驗步驟圖（圖片由作者所拍攝）

#### (四) 結果與討論

- 利用已知濃度的槲皮素樣品溶液先建立濃度 (5-500  $\mu\text{g/mL}$ ) 與吸光度的標準曲線，表四為三次實驗數據以及三次實驗的吸光度平均值。
- 由標準曲線可以用來計算未知濃度的樣品中含有多少槲皮素，我們可以利用分光光度計讀取樣品溶液的吸光度，然後將吸光度結果帶入標準曲線的方程式的  $y$  值，就可以計算出  $x$  值 (濃度)。本次實驗所獲得的方程式為  $y = 0.0036x + 0.0058$ ，其相關係數為  $r^2 = 0.9999$ ，表示在此濃度區間中吸光度與濃度之間具有極高線性關係，顯示此方程式具備良好準確性與可靠性。

表四 建立槲皮素樣品溶液的標準曲線

濃度 ( $\mu\text{g/mL}$ )	第一次 吸光度數據	第二次 吸光度數據	第三次 吸光度數據	吸光度 平均值
5	0.0168	0.0181	0.0181	0.0176
10	0.0372	0.0378	0.0383	0.0378
50	0.1851	0.1844	0.1897	0.1864
100	0.3777	0.3814	0.3812	0.3801
500	1.824	1.794	1.811	1.8097

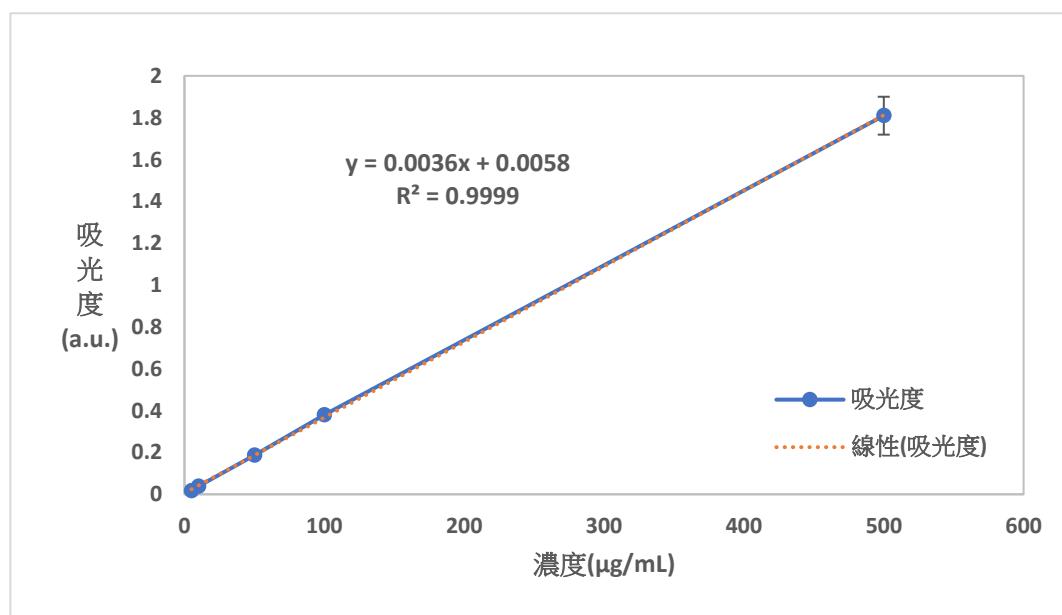


圖 11 槲皮素樣品溶液吸光度與濃度之間的線性關係 (標準曲線)

表五 不同配方槲皮素奈米製劑之水中溶解度比較與濃度計算結果

編號	樣品	第一次吸光度	第二次吸光度	第三次吸光度	濃度平均值 ( $\mu\text{g/mL}$ )	換算濃度 ( $\mu\text{g/mL}$ )	濃度標準差
1	1:5:5	1.692	1.711	1.740	474.6	949.19	10.97
2	1:10:5	1.732	1.674	1.700	471.17	942.33	13.18
3	1:20:5	1.703	1.650	1.730	469.04	938.07	18.46
4	1:40:5	1.604	1.597	1.575	440.61	881.22	6.86

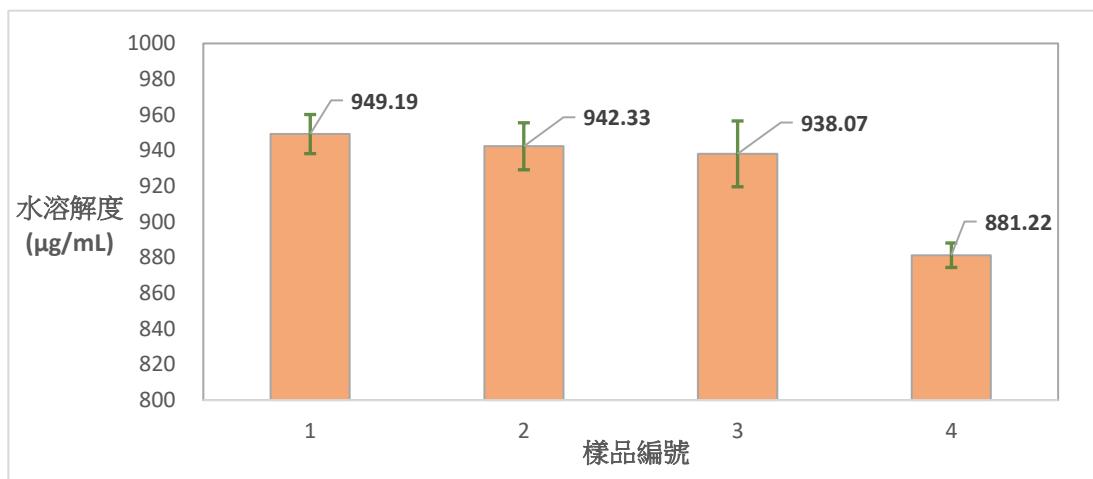


圖 12 同重量各配方槲皮素奈米製劑，其水溶解度關係及標準差

3. 表五是秤取含有相同槲皮素含量的奈米製劑溶於水，並稀釋 2 倍後所測得的吸光度數據，將數據帶入標準曲線方程式計算出各個樣品的槲皮素濃度。結果顯示不同比例的槲皮素奈米製劑皆能大幅改善槲皮素的水溶解度，1:40:5 的樣品水溶解度略少一點點，可能是因為我們觀察到含有比較多 PVP K30 可能會增加溶液的黏稠度，導致溶解過程受到影響。
4. 最後，由於所有配方比例皆能有很好的結果，因考量最節省原料以及溶劑揮發處理，(當溶液的黏稠度越低時，其製備過程較容易，溶劑(乙醇)揮發也比較快)。最後，我們評估在配方為 1:5:5 時，不僅能有效合成槲皮素奈米製劑顆粒，同時也有最高的濃度效益，因此將配方為 1:5:5 選為本研究主題中最理想的比例。

## 【實驗七】比較製備之槲皮素抗氧化能力檢測

(一) 實驗目的：比較槲皮素製備為奈米製劑前後的抗氧化能力差異，並確認奈米化製程並不會降低槲皮素的抗氧化能力。

(二) 實驗方法：採用 DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 自由基清除試驗，以作為抗氧化能力之評估指標。DPPH 是一種穩定的自由基，呈現紫色，如果遇到具有抗氧化能力的成分時，因為自由基被還原，所以會從原先的深紫色轉變為淡黃色，吸光值也就降低。

(三) 實驗步驟：

1. 配製 0.1 mM DPPH 溶液（通常使用甲醇或乙醇為溶劑），避光保存備用。
2. 將各樣品（原槲皮素與奈米製劑）溶解於二次水形成相同濃度後，取 3 mL 與 3 mL DPPH 溶液混合。
3. 將混合液避光靜置反應 30 分鐘，觀察顏色由紫轉黃的變化情形。
4. 使用 UV-Vis 分光光度計於波長 517 nm 測量吸光值 (Abs)。
5. 以下公式計算自由基清除率 (%)：

$$\text{自由基清除率(%)} = \frac{1 - (\text{樣品於517 nm的吸光值})}{\text{未添加樣品之控制組於517 nm的吸光值}} \times 100\%$$



配製 DPPH 試劑



在試管中進行混合產生顏色變化



使用儀器分析數值

圖 13 配製與分析實驗步驟圖(圖片由作者所拍攝)

#### (四) 結果與討論

表六 檸皮素與不同比例槲皮素奈米製劑水溶液的 DPPH 自由基清除百分比

濃度 ( $\mu\text{g/mL}$ )	DPPH 自由基清除百分比 (%)				
	槲皮素	1:5:5	1:10:5	1:20:5	1:40:5
10	2	84	84	86	80
5	1	52	57	53	50
2.5	0	33	32	34	35
1.25	0	18	15	19	21
0	0	0	0	0	0

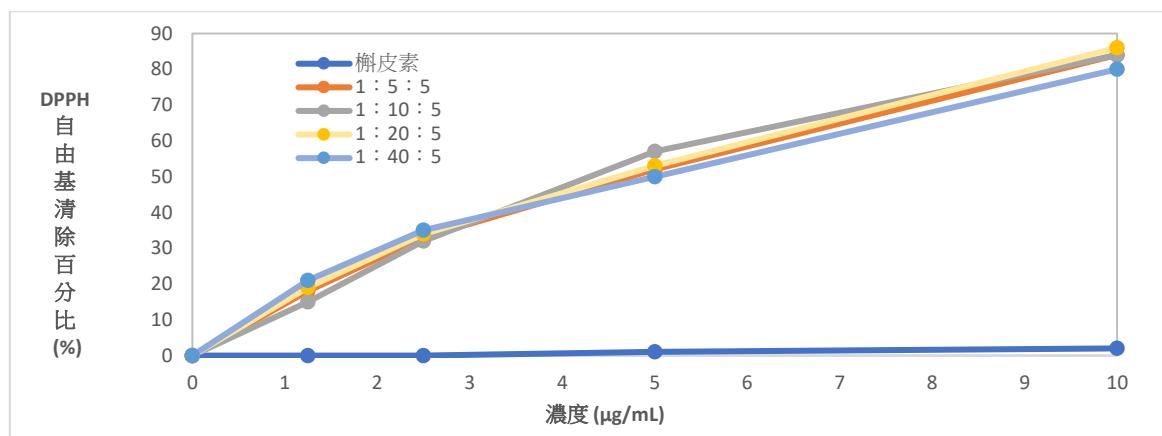


圖 14 槲皮素與不同比例槲皮素奈米製劑水溶液的抗氧化能力

- 在 DPPH 自由基清除試驗中，五個樣品都配製在水中進行比較，主要是在模擬現實生活中我們不可能將槲皮素溶解在其他溶劑（如酒精、甲醇或其他有毒有機溶劑）中服用。
- 在本實驗結果中，因為槲皮素在水裡無法溶解，所以幾乎沒有任何自由基清除效果，這也是本研究主題想要改善的一大重點；而在奈米製劑的組別中，都有很好的自由基清除效果，可以將原本紫色的 DPPH 試劑轉變成淡黃色。
- 在實驗過程中我們配製了不同濃度的樣品溶液，也觀察到 DPPH 試劑的顏色變化會隨著樣品濃度而有顏色漸層，表示自由基被清除的比率與樣品濃度有關，具有濃度相關性。
- 此外，奈米製劑的自由基清除效果並沒有隨著 PVP K30 的比例增加而有更好的表現，也更加確立選擇 1:5:5 即可達到預期的結果，不需要使用如此大量的 PVP。

## 【實驗八】製備槲皮素奈米發泡顆粒

(一) 實驗目的：利用既定的配方比例，將槲皮素奈米製劑(1:5:5)製作成發泡顆粒。

(二) 實驗方法：採用濕式造粒法將槲皮素奈米製劑與發泡劑組分(碳酸氫鈉與檸檬酸)均勻混合，並以適量無水酒精作為黏合劑促進顆粒形成。經過濕潤、造粒與乾燥步驟後，製得可溶於水並具有發泡性的顆粒劑型。

表七 槲皮素奈米顆粒之發泡顆粒處方

材料	重量 (g)	作用
檸檬酸	7	
酒石酸	14	發泡混合劑
碳酸氫鈉	25	
蔗糖	13	甜味劑
澱粉	13	崩散劑
黃色色素	0.1	呈色劑
槲皮素奈米製劑 (1:5:5)	1.1	
無水酒精	5 mL	主成分與黏合劑

(三) 實驗步驟：

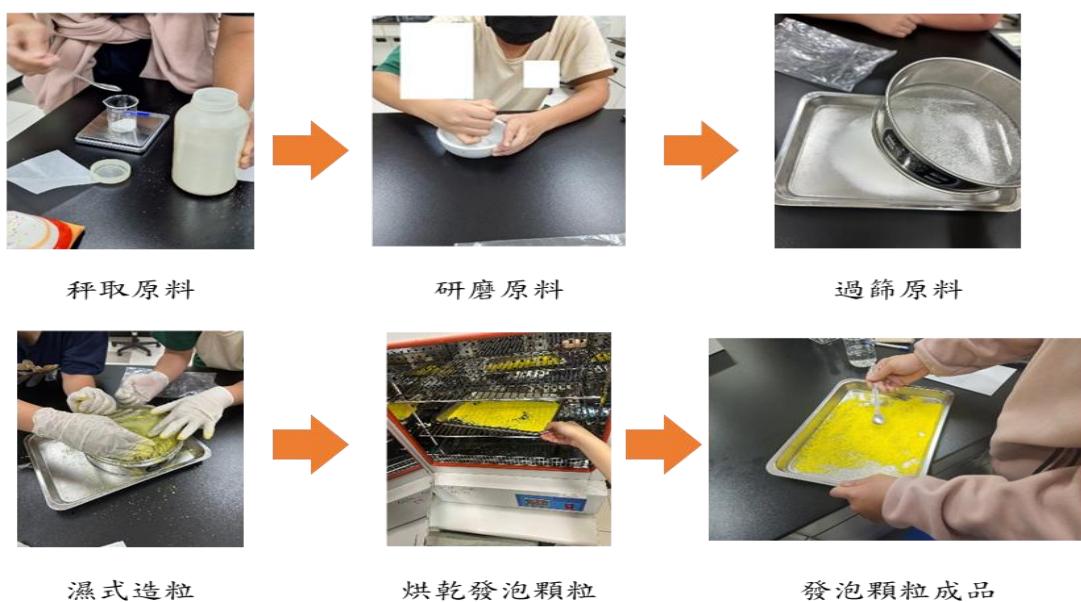


圖 15 槲皮素奈米顆粒之發泡顆粒製程圖（圖片由作者所拍攝）

## 【實驗九】發泡情況及發泡速度測定

(一) 實驗目的：觀察槲皮素發泡顆粒劑型在水中的發泡反應情形與崩解行為，並進行發泡速度與反應持續時間的初步測定。

(二) 實驗方法：秤取固定量槲皮素發泡顆粒劑型，加入定量 RO 水中，觀察並記錄自接觸水起至發泡完全結束所需時間，作為其發泡反應持續時間之依據。

(三) 實驗步驟：

1. 秤取 0.83g 的槲皮素發泡顆粒劑型(含有 10mg 槲皮素)並將樣品投入裝有 200 mL RO 水的燒杯當中，立即開始計時。
2. 待發泡反應完全結束（氣泡明顯停止產生）後停止計時並記錄發泡持續時間。

(四) 實驗結果：

表八 槲皮素奈米發泡顆粒之發泡持續時間與發泡狀態紀錄

試驗次數	發泡持續時間 (秒)	發泡狀態
第一次	13.12	
第二次	16.21	快速發泡
第三次	12.43	且反應後無固體殘留
平均	13.92	

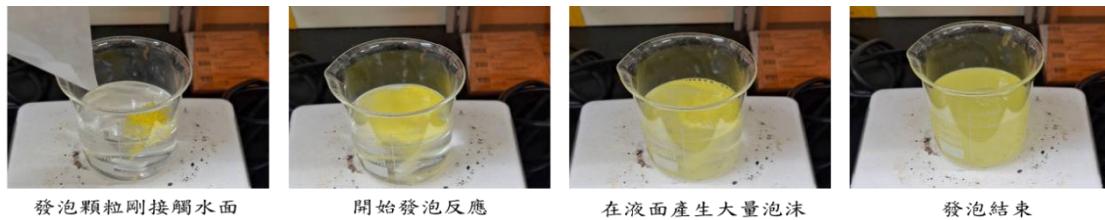


圖 16 槲皮素發泡顆粒之發泡過程(圖片由作者所拍攝)

1. 根據實驗結果，發泡反應皆能在 13~16 秒內完成，三次測試之平均發泡持續時間為 13.92 秒且均無固體殘留，顯示該配方具有良好且快速的發泡性能。
2. 此外，我們也發現透過發泡的過程不須攪拌就可以讓劑型均勻的分散在整杯水中，代表發泡劑型確實可以提供一定的擴散動力，進一步促進劑型的分散，而是否有可以促進溶出的速率，則可以透過後續的實驗來驗證。

## 【實驗十】有效成分溶出速率測定

(一) 實驗目的：比較槲皮素奈米劑型與槲皮素奈米發泡顆粒劑型於水中之有效成分槲皮素溶出速率，評估發泡機制是否能提升槲皮素在水中的溶解效率。

(二) 實驗方法：採用 UV-Vis 分光光度計法測定「槲皮素奈米劑型」與「槲皮素發泡顆粒劑型」於設定時間點中之槲皮素濃度，藉由濃度—時間變化曲線(溶出曲線)進行比較。所有測定皆以波長 370 nm 進行，並利用預先建立之標準曲線進行濃度換算。

(三) 實驗步驟：

1. 樣品準備：秤取 110mg 的槲皮素奈米劑型以及 0.83g 的槲皮素發泡顆粒劑型，兩者皆含 10mg 槲皮素。
2. 溶出條件設定：將樣品分別加入 200 mL RO 水中(室溫，以 300rpm 攪拌)，並立即開始計時。
3. 定時取樣：於設定時間點 (30, 60, 90, 120, 150, 180 分鐘) 各取 1 mL 溶液，經 0.45  $\mu$ m 濾膜過濾。
4. 吸光值測定與濃度換算：於 370 nm 波長測定吸光度，並根據標準曲線 ( $y = 0.0036x + 0.0058$ ) 換算對應濃度。
5. 資料整理與比較：繪製兩劑型的溶出曲線，並比較各時間點槲皮素釋放量之差異，評估發泡對溶出速率的影響。

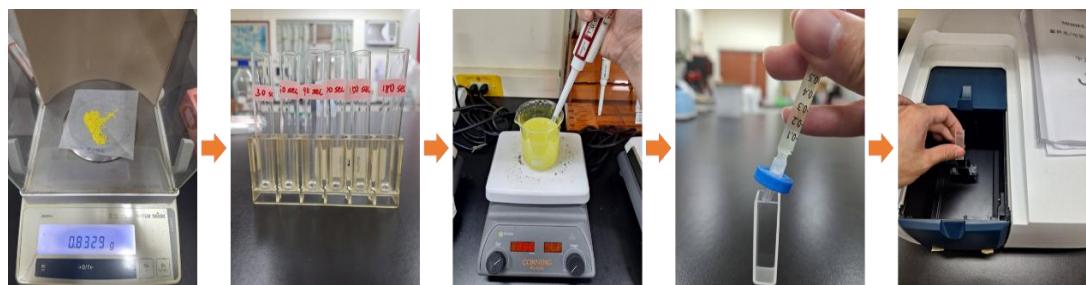


圖 17 槲皮素發泡顆粒之有效成分溶出速率測定步驟（圖片由作者所拍攝）

#### (四) 結果與討論：

表九 奈米劑型與發泡顆粒於不同溶出時間點之槲皮素濃度與溶出百分比比較

抽樣時間 (秒)	槲皮發泡顆粒		槲皮奈米劑型	
	濃度(μg/mL)	溶出百分比(%)	濃度(μg/mL)	溶出百分比(%)
30	43.24	90.48	21.34	42.68
60	46.51	93.02	25.67	51.34
90	48.44	92.88	32.76	65.52
120	48.34	92.68	37.82	75.64
150	48.21	92.42	40.24	80.48
180	48.28	92.56	44.79	89.58

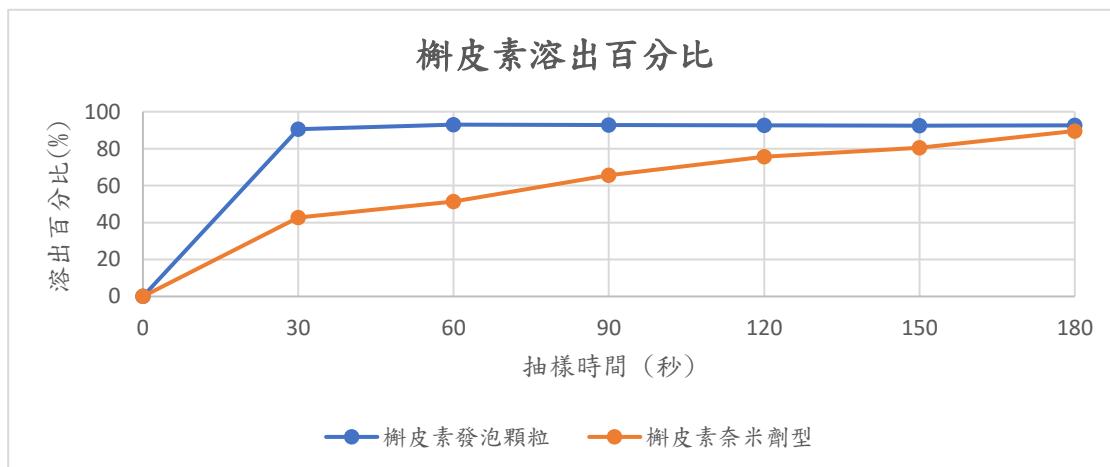


圖 18 槲皮素奈米劑型與發泡顆粒劑型之有效成分溶出百分比曲線圖

- 結果顯示，「發泡顆粒」在 30 秒內即釋出超過 90%槲皮素，顯示其在前 13-15 秒的強烈發泡反應確實有助於提升有效成分的溶出效率。此現象不僅反映於溶出曲線的急遽上升段，也與前一實驗中觀察到的發泡維持時間相互呼應，證實發泡機制對溶出行為的正面影響。
- 相對地，雖然奈米劑型在 180 秒時溶出率與發泡顆粒相差不多，但在初期 30 至 90 秒的釋放速度明顯較慢，溶出百分比分別僅為 42.68%、51.34% 與 65.52%，呈現平緩上升的曲線。

## 伍、結論與建議

在完成這次研究後，我們對於研究有以下幾個發現：

- 一、我們選擇在不同 PVP K30 的比例中加入第二種親水性材料 HPBCD，希望透過 HPBCD 的加入能再優化槲皮素奈米製劑製作槲皮素奈米製劑，結果發現在不同 PVP K30 比例下進行複合，利用減壓濃縮法的製程順利地將原料都轉化為奈米製劑，製備出四種可行比例之槲皮素奈米製劑。
- 二、我們利用減壓濃縮法的製程順利地將原料都轉化為奈米製劑後，根據計算四種比例的處方生產效率皆有大於 90%；在 PVP K30 比例較高的組別中（如 1:20:5 與 1:40:5），其生產效率略低一點點，根據觀察因為含有比較多 PVP K30，導致濃縮到黏稠狀的時候就容易殘留在濃縮瓶上，不易刮取下來。
- 三、我們發現還沒做成奈米劑型的原藥物槲皮素本身粉末顏色偏黃，而做成劑型之後顏色從亮黃色變成淡黃色。在外觀部分，做成劑型後變成脆脆的碎塊狀，若把碎塊絞碎就可以得到較原藥物更為蓬鬆的粉末，我們推測這樣的外觀改變對於水溶解度或許具有提升的效果。
- 四、原本的槲皮素溶液因為顆粒過大所以在雷射光照射下沒有產生廷得耳效應（無法有效散射光線）。而槲皮素奈米製劑在雷射光照射下展現出明顯的廷得耳效應，光散射路徑清晰且均勻，表明奈米化有效地將槲皮素的顆粒直徑減小至 1-1000 nm 的範圍，並顯著提升了其分散性與穩定性。
- 五、在調高 PVP K30 的比例，相較於原本的槲皮素有明顯的改善，而經奈米化後的樣品粒徑隨配方中 PVP K30 比例的增加而大幅減小。在 1:20:5，其粒徑在此比例以下均趨於穩定。我們發現，奈米製劑能有效降低粒徑，尤其在 1:20:5 和 1:40:5 配比下達到最佳效果，有利於增加水溶解度。
- 六、不同比例的槲皮素奈米製劑皆能大幅改善槲皮素的水溶解度，1:40:5 的樣品水溶解度略少一點點，可能是因為我們觀察到含有比較多 PVP K30 可能會增加溶液的黏稠度，

導致溶解過程受到影響。我們評估在配方為 1:5:5 時，不僅能有效合成槲皮素奈米製劑顆粒，同時也有最高的濃度效益。

七、我們配製了不同濃度的樣品溶液，也觀察到 DPPH 試劑的顏色變化會隨著樣品濃度而有顏色漸層，表示自由基被清除的比率與樣品濃度有關，具有濃度相關性。奈米製劑的自由基清除效果並沒有隨著 PVP K30 的比例增加而有更好的表現，也更加確立選擇 1:5:5 即可達到預期的結果，不需要使用如此大量的 PVP K30。

八、在我們的研究主題中，先將不溶於水的槲皮素做成水可溶的槲皮素奈米製劑，克服傳統槲皮素於水中溶解度低、吸收不良的限制。當我們取得具良好水溶性的槲皮素奈米製劑後，進一步嘗試將其應用於一種創新的服用形式—發泡顆粒劑型。

九、透過溶出實驗比較發泡顆粒與奈米劑型於不同時間點的槲皮素溶出量，證實發泡顆粒確實可藉由發泡反應產生的氣體動力與崩散行為，代表發泡劑型確實可以提供一定的擴散動力，進一步促進劑型的分散。

十、槲皮素奈米發泡顆粒劑型於水中之有效成分槲皮素溶出速率，經實驗發現：「發泡顆粒」在 30 秒內即釋出超過 90% 槲皮素，能在短時間內促進顆粒解離與有效成分溶出，達成「快速崩解 + 高效溶出」的雙重目標。

## 陸、參考文獻

一、維基百科。槲皮素(quercetin)。網址：

<https://zh.wikipedia.org/zhtw/%E6%A7%B2%E7%9A%AE%E7%B4%A0>

二、張隆仁(2001)。槲皮素(quercetin)，台中區農情月刊(23期)。農業部臺中區農業改良場。網址：

[https://www.tcdares.gov.tw/theme\\_data.php?theme=monthly&id=198&type=](https://www.tcdares.gov.tw/theme_data.php?theme=monthly&id=198&type=)

三、潘盈臻(2024)。槲皮素是什麼？功效、食物、攝取量、族群一次看懂！。網址：

<https://www.yohopower.tw/blogs/health-note/106016>

四、維基百科。聚乙烯吡咯烷酮 (polyvinylpyrrolidone)。網址：

<https://zh.wikipedia.org/zhtw/%E8%81%9A%E4%B9%99%E7%83%AF%E5%90%A1%E5%92%AF%E7%83%B7%E9%85%AE>

五、維基百科。環糊精。網址：

<https://zh.wikipedia.org/zhtw/%E7%8E%AF%E7%B3%8A%E7%B2%BE>

六、HOPAX(2021)。什麼是環糊精？網址：

<https://www.hopaxfc.com/zhtw/blog/%E4%BB%80%E9%BA%BC%E6%98%AF%E7%92%B0%E7%B3%8A%E7%B2%BE>

## 【評語】030202

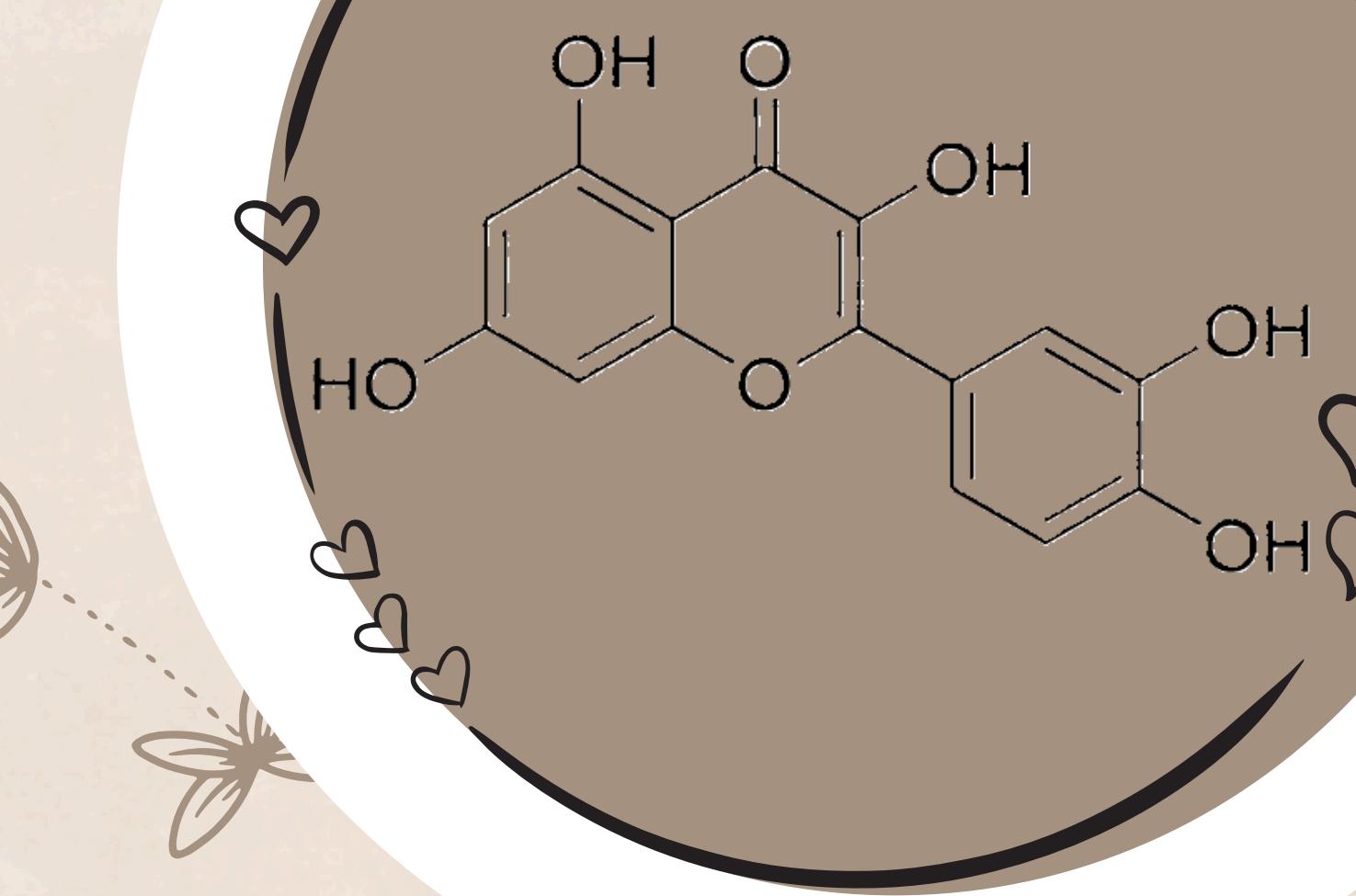
本研究以 PVP 與 HPBCD 及槲皮素形成奈米複合物，以提升其溶解度與生體可利用性。隨 PVP K30 比例增加，粒徑由 1200 nm 降至 30-40 nm，提升抗氧化力 40-50 倍。應用於發泡顆粒劑型時，90%以上成分可於 30 秒內溶出，顯著改善槲皮素的吸收效率。

1. 題目有趣，21 頁的作品說明書中研究成果也豐富而完整，但選擇聚乙烯吡咯烷酮（PVP）與羥丙基- $\beta$ -環糊精（HPBCD）來與槲皮素形成奈米複合物的化學原理可以更清楚的表達。
2. 人體腸道消化長達數個小時，奈米分散的必要性可以更深入討論。
3. 對於研究的熱情以及投入的態度，值得鼓勵。

作品海報

# 複合槲皮素奈米顆粒

提升難溶性化合物之抗氧化能力

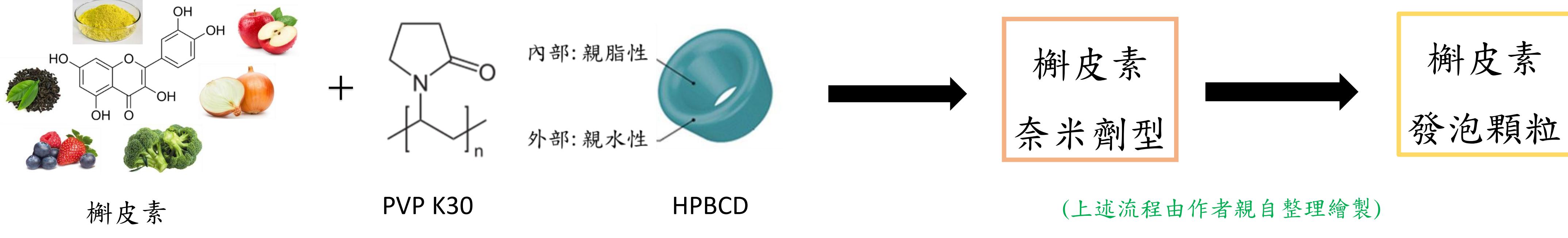


# 壹、前言

在校外參訪時，導覽員介紹了槲皮素這個天然物質。上網進一步搜尋後發現他是一種從真雙子葉植物中提取的天然物質，不僅可作為染料讓食物變成漂亮的黃色，還具有抗氧化和抗發炎作用，對健康益處多。

然而，槲皮素在水中的溶解度非常低，人體對其吸收量有限，影響其效果發揮。因此，我們著手探討改善槲皮素水溶解度的方法，讓其更易被吸收，發揮保健效用。如果成功，未來或許能製作出含有高濃度槲皮素的健康飲品，在享受飲料的同時也促進健康。

我們透過奈米化技術改善槲皮素的水溶解度，並將奈米化的槲皮素再融入發泡顆粒產品中，結合即溶特性與氣泡趣味性，讓槲皮素的健康功效更容易發揮，進一步提高其市場應用價值。



## 貳、研究目的

- (一) 製備槲皮素奈米製劑。
- (二) 槲皮素生產效率計算。
- (三) 觀察槲皮素與槲皮素奈米製劑的外觀。
- (四) 觀察槲皮素奈米製劑水溶液的外觀及其膠體溶液的廷得耳效應。
- (五) 測定槲皮素奈米製劑水溶液的粒子大小。
- (六) 測定槲皮素奈米製劑的水溶解度，並與原槲皮素進行比較。
- (七) 比較槲皮素奈米製劑與原槲皮素的抗氧化能力差異。
- (八) 製備槲皮素奈米發泡顆粒。
- (九) 製備槲皮素奈米發泡顆粒發泡情況及速度測定。
- (十) 檢測槲皮素發泡顆粒之有效成分溶出速率。

## 參、研究流程

### 製作不同比例之槲皮素奈米顆粒劑型

- A. 製程探討與性質測定
- A1. 生產效率計算
  - A2. 製劑外觀觀察
  - A3. 水溶液外觀與廷得耳效應觀察
  - A3. 粒徑大小測定

- B. 溶解度與功能性評估
- B1. 水溶解度測定
  - B2. 抗氧化能力檢測

選出最適合的奈米劑型配方

### 製備槲皮素奈米顆粒之發泡顆粒

- C. 發泡顆粒效果評估
- C1. 發泡情況及發泡速度測定
  - C2. 有效成分溶出速率測定

槲皮素發泡顆粒健康飲品

(本研究流程由作者親自繪製整理)

## 肆、研究方法與結果與討論

### 【實驗一】製備不同比例的槲皮素奈米劑型

- 目的：將槲皮素、PVP及HPBCD依四種比例製作成奈米劑型。
- 方法：利用減壓濃縮法進行製備。

表一 槲皮素奈米製劑中，各調配成份的重量比例

編號	槲皮素 : PVP : HPBCD	槲皮素 (mg)	PVP (mg)	HPBCD (mg)
1	1:5:5		250	
2	1:10:5		500	
3	1:20:5	50	1000	250
4	1:40:5		2000	

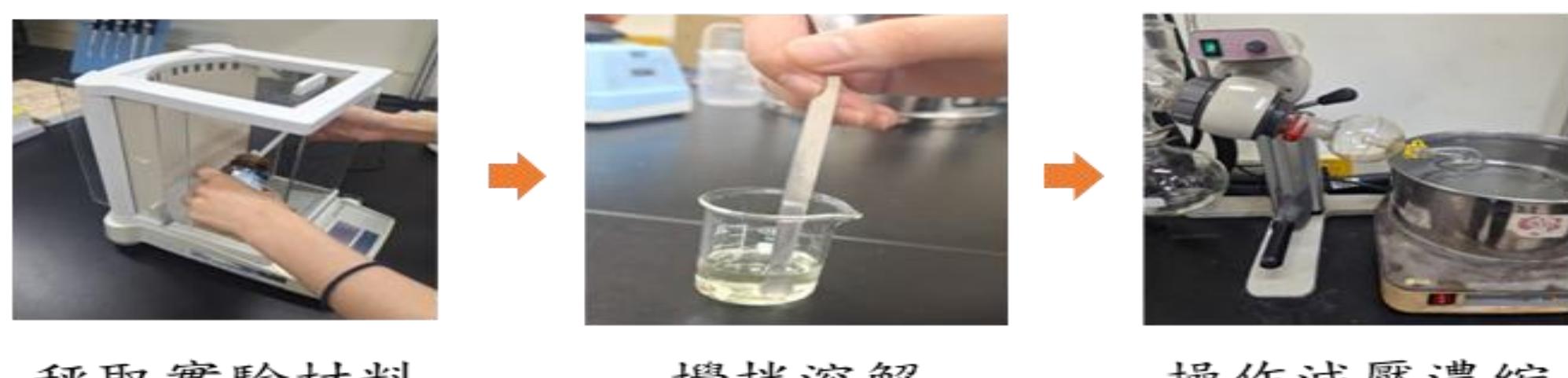


圖1 製作槲皮素奈米製劑的步驟流程 (作者親自拍攝)

### 【實驗二】生產效率計算 (A1)

- 目的：計算製程中將原料轉化為成品的比率。
- 方法：利用電子天平秤量各比例槲皮素奈米顆粒劑型之重量。  
$$\text{生產效率} (\%) = (\text{奈米劑型總重量} / \text{投入原料總重量}) * 100\%$$

表二 槲皮素奈米製劑中，各調配成份的生產效率

編號	比例 (槲 : PVP : HPBCD)	總原料重量 (mg)	生成奈米製劑重量 (mg)	生產效率 (%)
1	1:5:5	554.8	513.7	92.6
2	1:10:5	806.2	761.5	94.5
3	1:20:5	1304.4	1244.1	95.4
4	1:40:5	2305.2	2154.9	93.5

### 結果與討論

1. 添加定量HPBCD可優化奈米製劑生產效率。
2. 採用減壓濃縮法成功製備四種奈米劑型，處方生產效率皆超過90%，顯示製備穩定且原料損耗極低。
3. 在PVP比例較高組別中，因黏稠度上升造成樣品黏附瓶壁，略影響收率，顯示高PVP可能降低操作便利性。

### 【實驗三】奈米製劑外觀觀察 (A2)

- 目的：觀察槲皮素原藥物及其奈米製劑在乾燥粉末狀態時的外觀型態變化。
- 方法：使用高解析度相機拍照記錄粉末外觀。

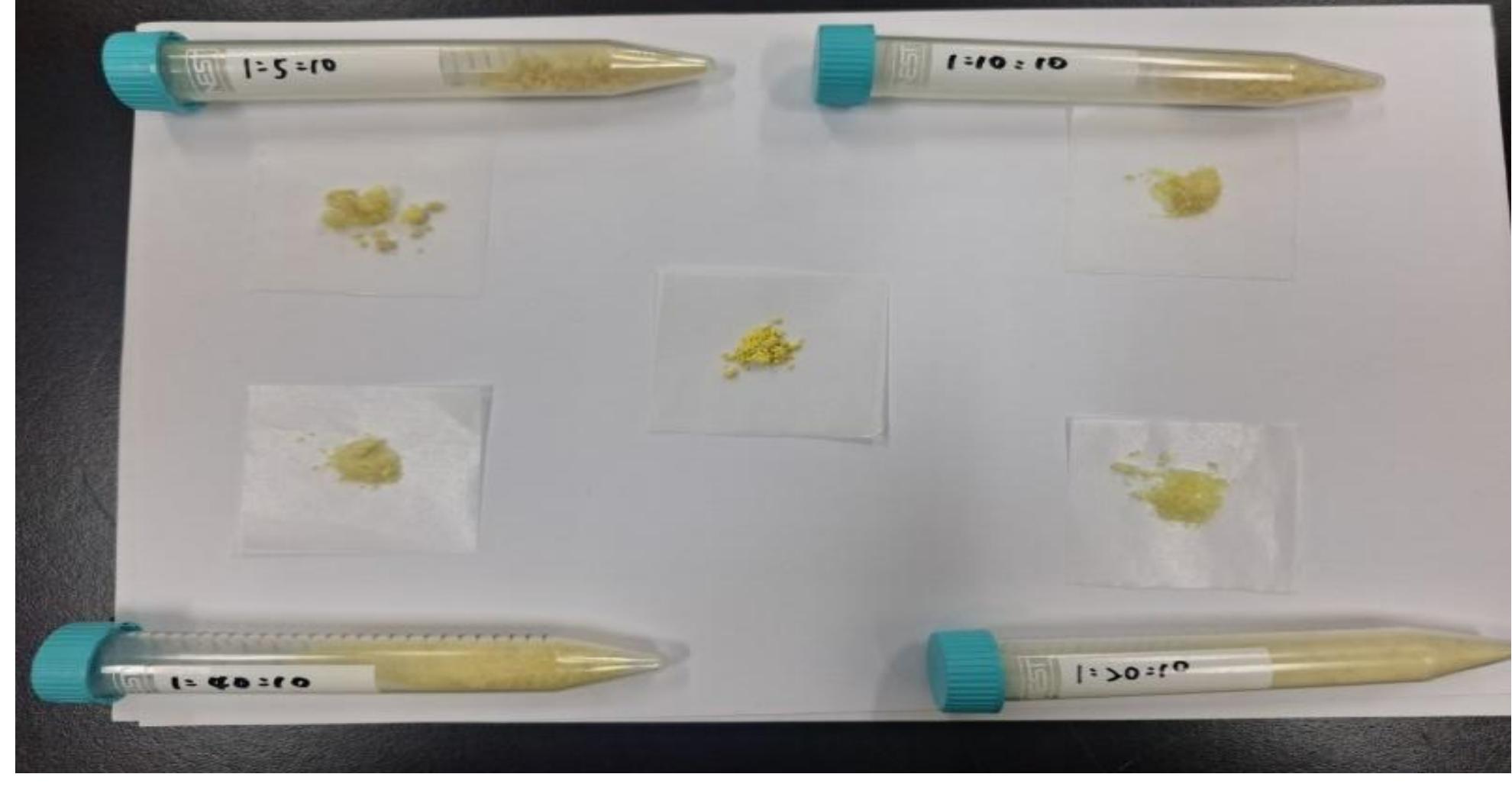


圖2 槲皮素原藥物及各比例槲皮素奈米劑型之乾燥粉末外觀  
(作者親自拍攝)

### 結果與討論

1. 顏色變化：槲皮素原為亮黃色粉末，與HPBCD及PVP K30混合後顏色轉為較淡黃色，推測三者形成均勻固態系統，成為奈米包合物有關。
2. 外觀與質地：製劑呈脆性塊狀，按壓後易碎成蓬鬆粉末，較原藥物更易分散，初步判斷此結構有助提升水中溶解性，並可能形成穩定的固體分散態。

### 【實驗四】水溶液外觀與廷得耳效應觀察 (A3)

- 目的：觀察槲皮素原藥物與其奈米製劑溶於水後的外觀型態，並利用廷得耳效應觀察槲皮素奈米製劑在水中是否形成膠體溶液，當作粒徑與分散狀態之初步判斷依據。
- 方法：以高解析度攝影觀察溶液外觀，並透過紅光雷射筆照射樣品，觀察是否產生廷得耳效應。

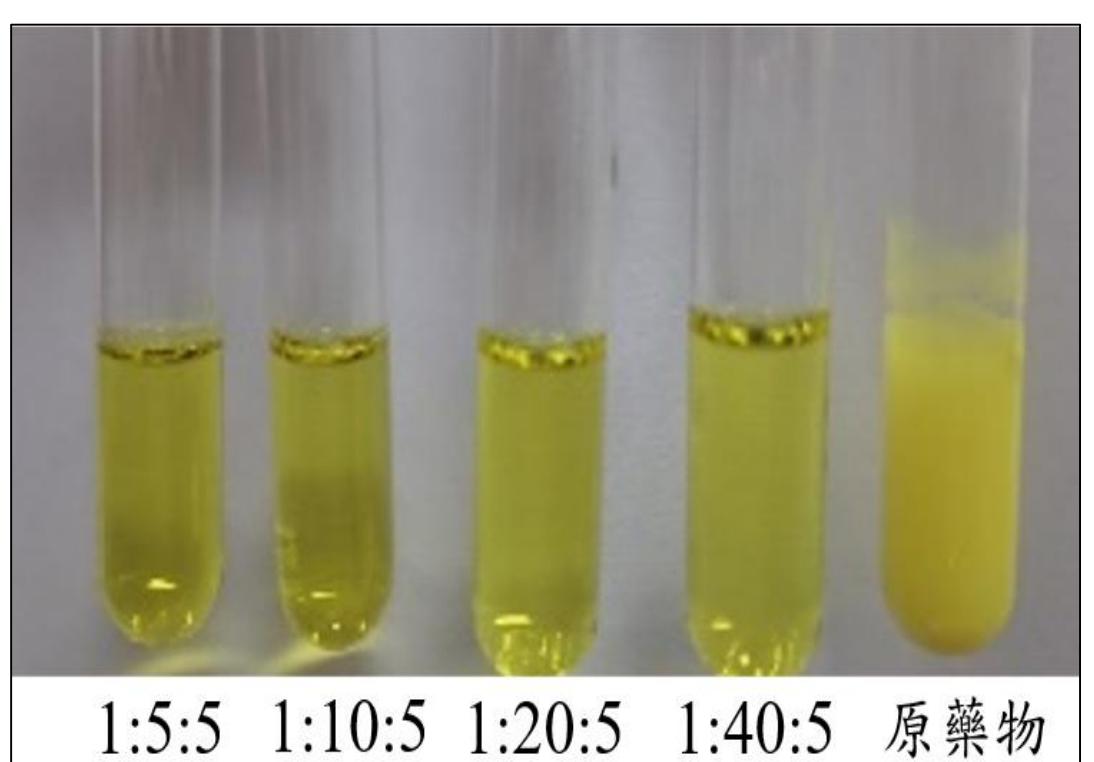


圖3 槲皮素奈米製劑的水溶液外觀觀察

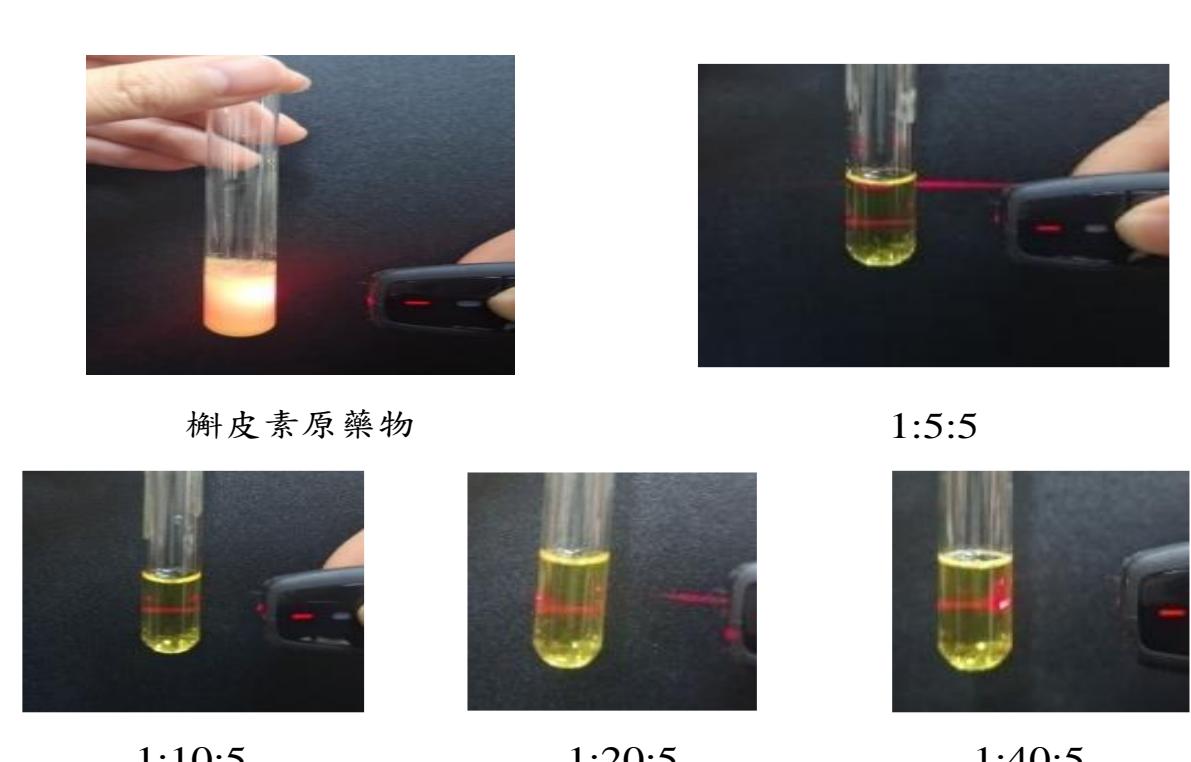


圖4 槲皮素奈米製劑的廷得耳效應觀察

(上圖由作者親自拍攝)

### 結果與討論

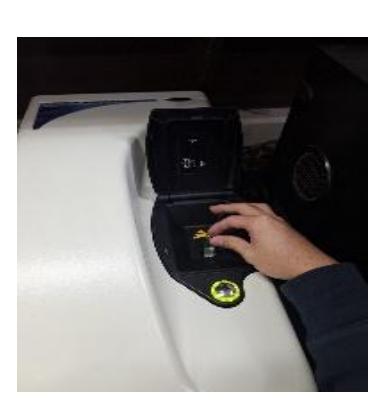
- 結果顯示，槲皮素原藥物溶液因顆粒過大，在雷射光照射下沒有產生廷得耳效應(無法有效散射光線)；相較之下，槲皮素奈米製劑溶液在雷射光照射下呈現明顯的廷得耳效應，光散射路徑清晰且均勻，表明奈米化有效地將槲皮素的顆粒直徑減小至1-1000 nm的範圍，並顯著提升了其分散性與穩定性。
- 此結果說明，藉由奈米化技術處理後，槲皮素成功轉化為奈米等級微粒，改善其在水中之分散行為，並具有膠體特性。為進一步佐證該結果，可使用動態光散射儀（DLS）進行粒徑測試。

### 【實驗五】粒徑大小測定 (A4)

- 目的：**檢測槲皮素原藥物與各比例奈米製劑於水中分散後的粒子大小，以評估奈米化處理對粒徑的影響。
- 方法：**使用動態光散射儀 (Dynamic Laser Scattering, DLS) 檢測槲皮素與槲皮素奈米製劑的粒子大小。



樣品配製



樣品槽與儀器



儀器分析

圖5 粒徑大小測定之實驗步驟圖 (作者親自拍攝)

表三 不同PVP K30的比例下，其槲皮素奈米製劑粒徑大小

編號	樣品	第一次粒徑 數據(nm)	第二次粒徑 數據(nm)	第三次粒徑 數據(nm)	粒徑 平均值(nm)
0	槲皮素	1224	1104	1256	1194.67 ± 65.43
1	1:5:5	297.1	284.6	276.3	286.00 ± 8.55
2	1:10:5	137.6	103.1	131.9	124.20 ± 15.10
3	1:20:5	36.21	35.15	30.61	33.99 ± 2.43
4	1:40:5	34.81	33.46	31.65	33.31 ± 1.29

槲皮素奈米製劑之粒徑分析

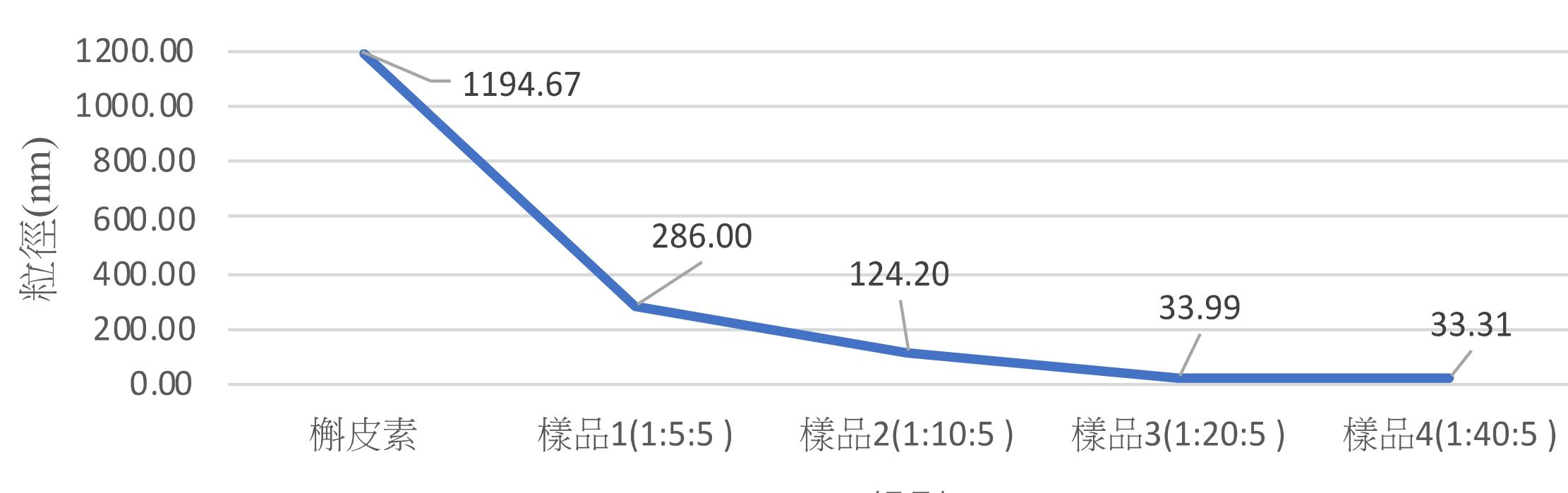


圖6 不同PVP K30的比例下，其槲皮素奈米製劑粒徑大小

### 結果與討論

根據表三之數據，我們測量了槲皮素原藥物及其不同配比奈米製劑於水溶液中之粒徑，結果如下：

- 原始槲皮素粒徑顯著偏大，平均值為  $1194.67 \pm 65.43$  nm，顯示其於水中分散性不佳，無法形成穩定膠體結構。
- 在不同比例測得粒徑如下：
  - 1:5:5 的粒徑平均值為  $286.00 \pm 8.55$  nm，已較原藥物降低。
  - 1:10:5 的粒徑進一步縮小至  $124.20 \pm 15.10$  nm。
  - 1:20:5 的粒徑為  $33.99 \pm 2.43$  nm，顯示高度奈米化。
  - 1:40:5 的粒徑為  $33.31 \pm 1.29$  nm，與1:20:5接近，顯示粒徑趨於穩定。
- 隨 PVP K30 比例提升，槲皮素奈米製劑粒徑顯著下降。當 PVP K30 增加至 1:20:5 以上時，粒徑趨於穩定，說明該比例已足以提供穩定的分散保護作用，進一步增加則無顯著改善。
- 總之，藉由適當配方比例與奈米化處理，能有效將槲皮素粒徑控制於30–40 nm範圍，顯著提升了其比表面積，有助於與水分子接觸、提升水溶解度。

### 【實驗六】奈米製劑溶液的水溶解度測定 (B1)

- 目的：**比較槲皮素原藥物與各配方奈米製劑於水中之溶解度表現，藉由測量分析溶於水中的槲皮素實際濃度，評估奈米化處理對溶解度的影響，並根據結果篩選最適配方比例。
- 方法：**用紫外光-可見光分光光度計 (UV-Vis spectrophotometer) 測量槲皮素原藥物及奈米製劑在水中的吸光值，並利用檢量線回推槲皮素在水中的濃度。



圖7 水溶解度測定之實驗步驟圖 (作者親自拍攝)

表四 建立槲皮素樣品溶液的標準曲線

濃度 ( $\mu\text{g/mL}$ )	第一次 吸光度數據	第二次 吸光度數據	第三次 吸光度數據	吸光度 平均值
5	0.0168	0.0181	0.0181	0.0176
10	0.0372	0.0378	0.0383	0.0378
50	0.1851	0.1844	0.1897	0.1864
100	0.3777	0.3814	0.3812	0.3801
500	1.824	1.794	1.811	1.8097

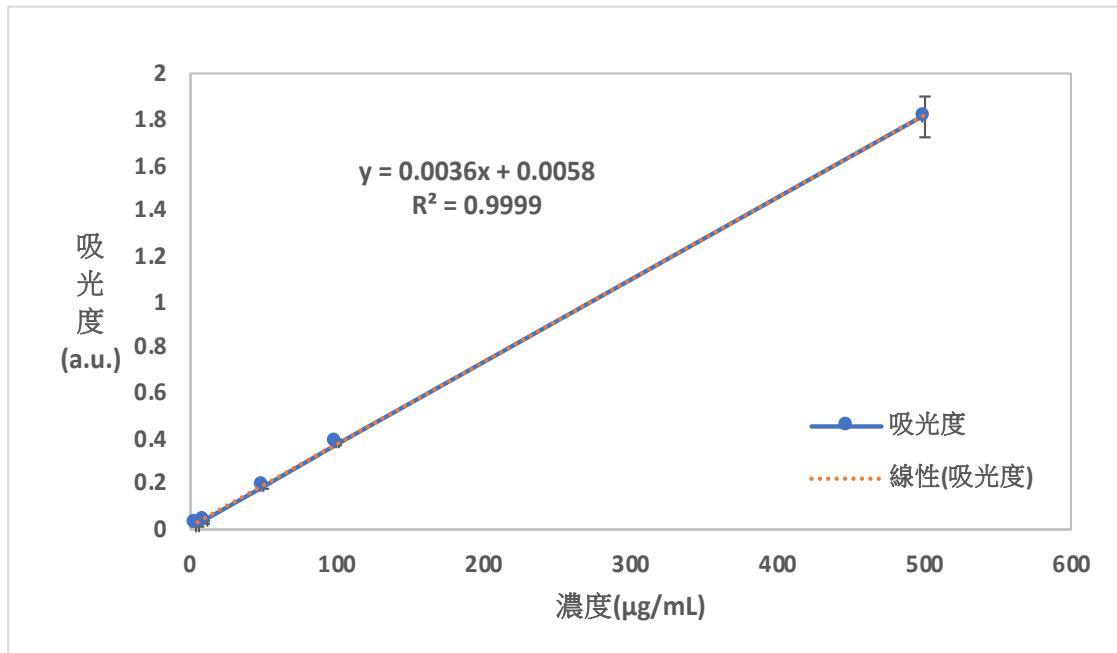


圖8 槲皮素樣品溶液吸光度與濃度之間的線性關係

表五 不同配方槲皮素奈米製劑之水中溶解度比較與濃度計算結果

編號	樣品	第一次 吸光度	第二次 吸光度	第三次 吸光度	濃度平均值 ( $\mu\text{g/mL}$ )	換算濃度 ( $\mu\text{g/mL}$ )
1	1:5:5	1.692	1.711	1.740	474.6	949.19
2	1:10:5	1.732	1.674	1.700	471.17	942.33
3	1:20:5	1.703	1.650	1.730	469.04	938.07
4	1:40:5	1.604	1.597	1.575	440.61	881.22

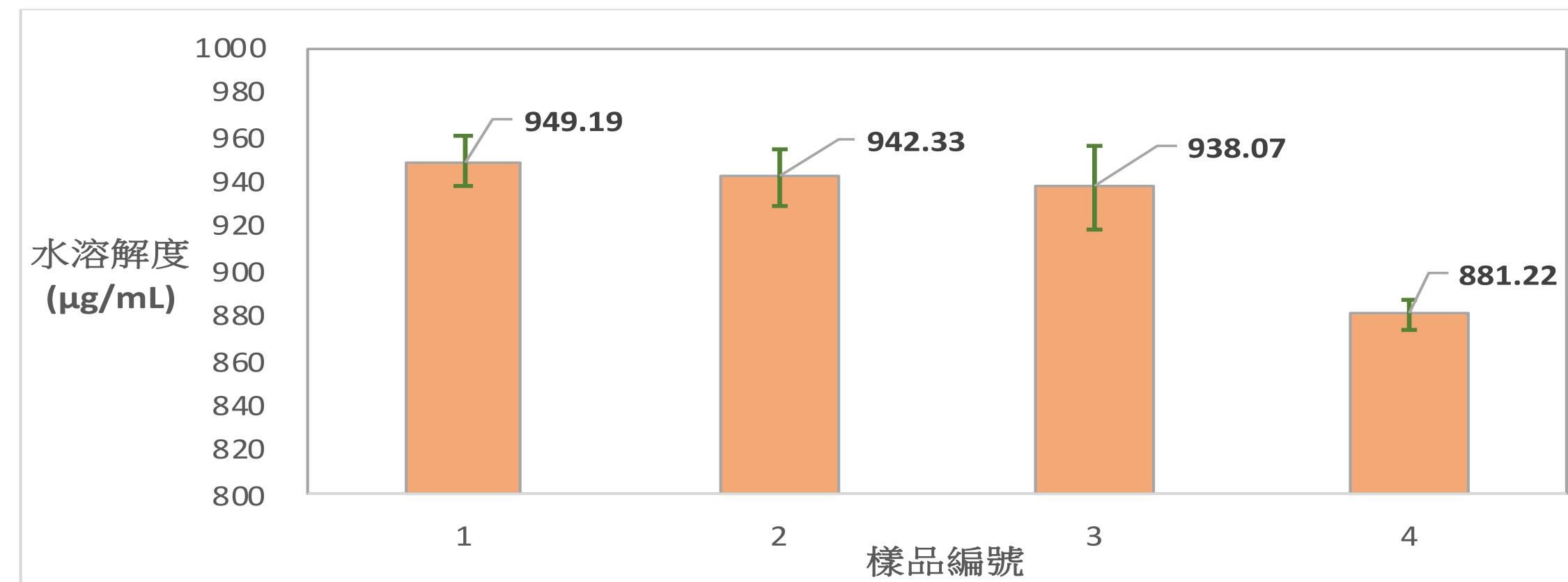


圖8 同重量各配方槲皮素奈米製劑，其水溶解度關係及標準差

### 結果與討論

- 本次實驗所獲得的迴歸方程式為  $y = 0.0036x + 0.0058$ ，其相關係數為  $r^2 = 0.9999$ ，表示吸光度與濃度之間具有極高線性關係。
- 結果顯示不同比例的槲皮素奈米製劑皆能大幅改善槲皮素的水溶解度，1:40:5的樣品水溶解度略少一點點，可能是因為較多PVP K30會增加溶液的黏稠度，導致溶解過程受到影響。
- 四組配方皆成功製備奈米製劑，經比較後，1:5:5組合在節省原料與溶劑處理上具優勢，且濃度效益最佳，因此選為本研究的最理想配方。

### 【實驗七】抗氧化能力測試 (B2)

- 目的：**比較槲皮素製備為奈米製劑前後的抗氧化能力差異，並確認奈米化製程並不會降低槲皮素的抗氧化能力。
- 方法：**採用DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 自由基清除試驗，以作為抗氧化能力之評估指標，計算公式如下。

$$\text{自由基清除率} (\%) = \frac{1 - (\text{樣品於 } 517 \text{ nm 的吸光值})}{(\text{未添加樣品之控制組於 } 517 \text{ nm 的吸光值})} \times 100\%$$



圖9 抗氧化能力測試之實驗步驟圖 (作者親自拍攝)

表六 檸皮素與不同比例檸皮素奈米製劑水溶液的DPPH自由基清除百分比

濃度 ( $\mu\text{g/mL}$ )	檸皮素	DPPH 自由基清除百分比 (%)			
		1:5:5	1:10:5	1:20:5	1:40:5
10	2	84	84	86	80
5	1	52	57	53	50
2.5	0	33	32	34	35
1.25	0	18	15	19	21
0	0	0	0	0	0

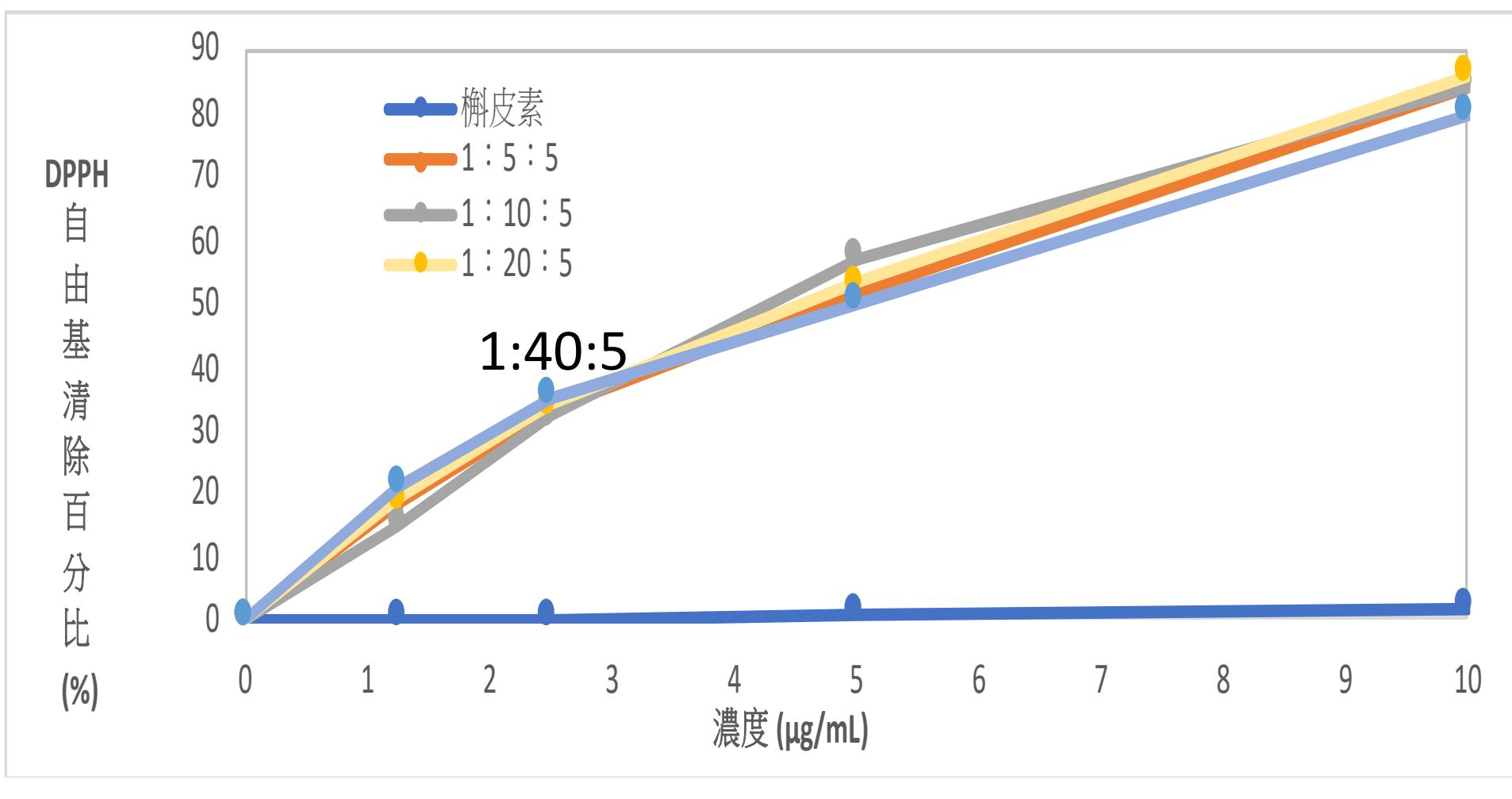


圖10 檸皮素與不同比例檸皮素奈米製劑水溶液的抗氧化能力

### 結果與討論

1. 檸皮素在室溫中難溶於水中，故幾乎沒有任何自由基清除效果；製成奈米製劑後，則有很好的自由基清除效果。
2. 奈米製劑的自由基清除效果並沒有隨著PVP K30的比例增加而有更好的表現，也更加確立選擇1:5:5即可達到預期的結果。

## 【實驗八】製備檸皮素奈米劑型之發泡顆粒

- **目的：**利用既定的配方比例，將檸皮素奈米製劑(1:5:5)製作成發泡顆粒。
- **方法：**採用濕式造粒法製備。

表七 檸皮素發泡顆粒處方

材料	重量 (g)	作用
檸檬酸	7	
酒石酸	14	發泡混合劑
碳酸氫鈉	25	
蔗糖	13	甜味劑
澱粉	13	崩散劑
黃色色素	0.1	呈色劑
檸皮素奈米製劑 (1:5:5)	1.1	
無水酒精	5 mL	主成分與黏合劑

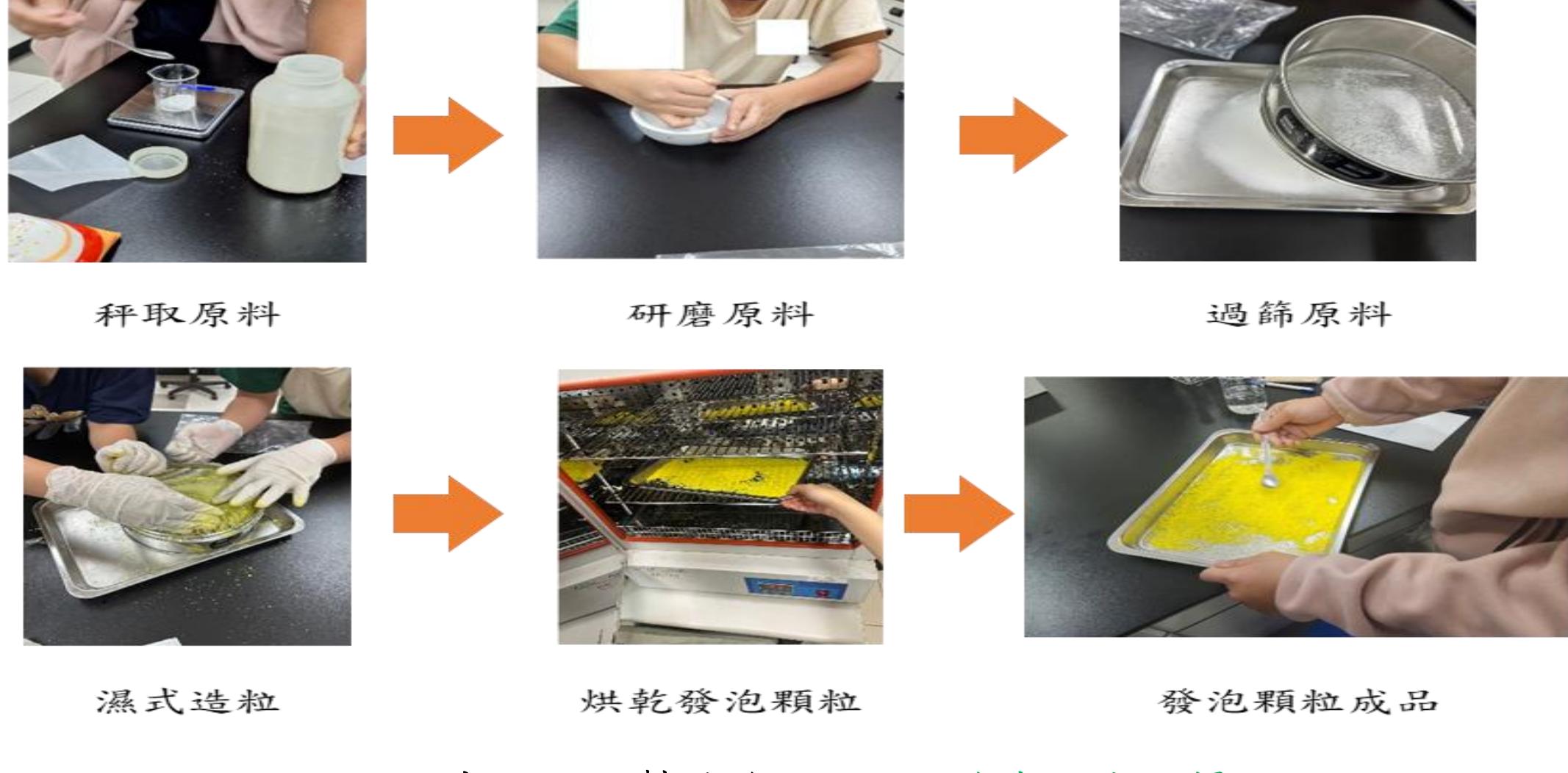


圖11 濕式造粒法製備發泡顆粒 (作者親自拍攝)

## 【實驗九】發泡情況及發泡速度測定 (C2)

- **目的：**觀察檸皮素發泡顆粒劑型在水中的發泡反應情形與崩解行為，並進行發泡速度與反應持續時間的初步測定。
- **方法：**秤取固定量檸皮素發泡顆粒劑型，加入定量RO水中，觀察並記錄自接觸水起至發泡完全結束所需時間。

表八 發泡持續時間與發泡狀態

試驗次數	發泡持續時間 (秒)	發泡狀態		
第一次	13.12			
第二次	16.21	快速發泡		
第三次	12.43	且反應後無固體殘留		
平均	13.92			

發泡顆粒剛接觸水面      開始發泡反應  
在液面產生大量泡沫      發泡結束

圖12 發泡過程紀錄(作者親自拍攝)

### 結果與討論

1. 發泡反應皆能在13~17秒內完成，三次測試之平均發泡持續時間為13.92秒且均無固體殘留，顯示該配方具有良好且快速的發泡性能。
2. 發現發泡劑型在無需攪拌的情況下即可均勻分散於水中，顯示具備良好的擴散動力，有助於劑型快速分散。其是否能進一步促進溶出速率，仍需後續實驗驗證。

## 【實驗十】有效成分溶出速率測定 (C2)

- **目的：**比較檸皮素奈米劑型與發泡顆粒劑型於水中之檸皮素溶出速率，評估發泡是否有助提升溶解效率。
- **方法：**以UV-Vis分光光度計測定各時間點之檸皮素濃度，繪製溶出曲線進行比較。



圖13 檸皮素發泡顆粒之有效成分溶出速率測定步驟 (作者親自拍攝)

表九 各溶出時間點之檸皮素濃度與溶出百分比比較

抽樣時間 (秒)	檸皮發泡顆粒		檸皮奈米劑型	
	濃度 ( $\mu\text{g/mL}$ )	溶出百分比 (%)	濃度 ( $\mu\text{g/mL}$ )	溶出百分比 (%)
30	43.24	90.48	21.34	42.68
60	46.51	93.02	25.67	51.34
90	48.44	92.88	32.76	65.52
120	48.34	92.68	37.82	75.64
150	48.21	92.42	40.24	80.48
180	48.28	92.56	44.79	89.58

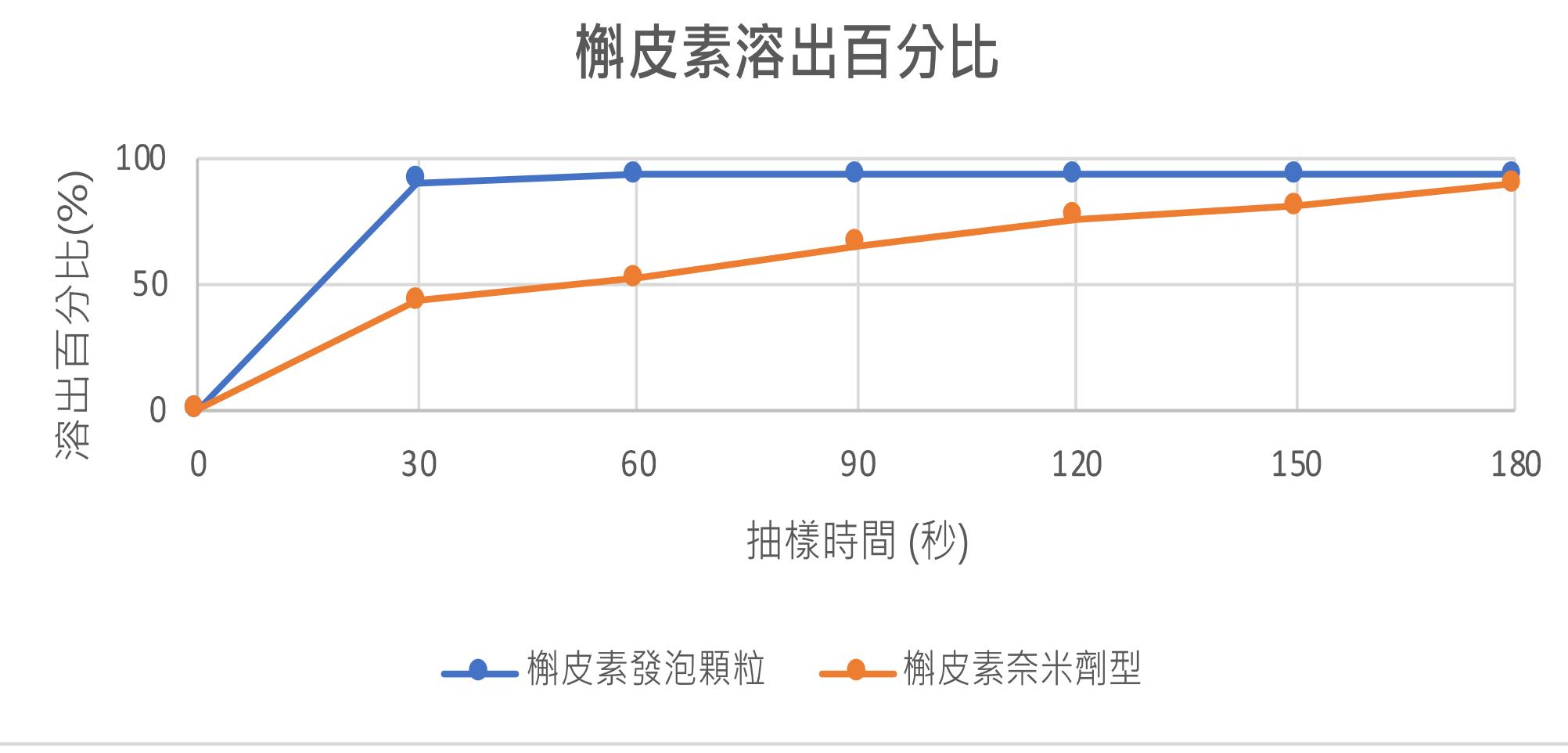


圖14 檸皮素發泡顆粒之有效成分溶出百分比曲線圖

### 結果與討論

1. 發泡顆粒於30秒內釋出超過90%檸皮素，顯示其13~17秒內的強烈發泡反應有效提升溶出效率，與發泡行為相符。
2. 相較下，奈米劑型於初期30至90秒溶出率僅為42.68%、51.34%與65.52%，曲線上升趨緩，顯示釋放速率較慢。

## 伍、結論與建議

1. **製劑成功性：**加入HPBCD後，各組配方均成功製備檸皮素奈米製劑，除高PVP組外，生產效率均達90%以上。
2. **外觀變化：**製劑顏色由亮黃轉淡黃，外觀轉為蓬鬆粉末，顯示結構更利於水中分散與溶解。
3. **確認奈米化：**雷射測試顯示奈米製劑產生明顯廷得耳效應，證實粒徑已有效縮小至奈米範圍。
4. **粒徑控制：**隨PVP比例提高，粒徑明顯下降，於1:20:5後趨於穩定，顯示PVP有助粒徑控制與溶解性提升。
5. **最適配方：**高PVP比例溶解度略降（黏稠度影響），因此1:5:5在製劑效率與濃度效益間表現最佳。
6. **抗氧化性：**DPPH實驗證實製備成奈米劑型後抗氧化效果較原藥物好，高PVP組無明顯提升，1:5:5已達預期效果。
7. **發泡應用：**將奈米製劑應用於發泡顆粒後，實驗證實其可藉發泡反應快速崩散並促進溶出，達到「快速崩解+高效溶出」。

## 陸、參考文獻

- 一. 張隆仁(2001)。檸皮素(quercetin)，台中區農情月刊(23期)。農業部臺中國區農業改良場。網址：[https://www.tcdares.gov.tw/theme\\_data.php?theme=monthly&id=198&type=](https://www.tcdares.gov.tw/theme_data.php?theme=monthly&id=198&type=)
- 二. 潘盈臻(2024)。檸皮素是什麼？功效、食物、攝取量、族群一次看懂！。網址：<https://www.yohopower.tw/blogs/health-note/106016>
- 三. 維基百科。聚乙烯吡咯烷酮 (polyvinylpyrrolidone)。網址：<https://zh.wikipedia.org/zhtw/%E8%81%9A%E4%B9%99%E7%83%AF%E5%90%A1%E5%92%AF%E7%83%AF>
- 四. 維基百科。環糊精。網址：<https://zh.wikipedia.org/zhtw/%E7%8E%AF%E7%83%AF>
- 五. HOPAX(2021)。什麼是環糊精？網址：<https://www.hopaxfc.com/zhtw/blog/%E4%BB%80%E9%BA%BC%E6%98%AF%E7%92%B0>