屏東縣第65屆國中小學科學展覽會

作品說明書

科　　別：化學科

組　　別：國中組

作品名稱：從難溶性到高效吸收：奈米技術提升槲皮素的溶解度

關 鍵 詞：槲皮素 、 奈米製劑 、 發泡顆粒

編號：B3013

目 錄

壹、前言……P1

一、研究動機……P1

二、研究目的……P1

三、名詞解釋……P2

貳、研究設備與器材……P5

參、研究流程……P6

肆、研究方法與結果討論……P7

伍、結論與建議……P21

陸、參考文獻……P22

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）製作槲皮素奈米製劑。

（二）觀察槲皮素與槲皮素奈米製劑的外觀。

（三）觀察槲皮素奈米製劑水溶液的外觀與膠體溶液的廷得耳效應。

（四）探討槲皮素奈米製劑水溶液的粒子大小。

（五）檢測槲皮素奈米製劑的水溶解度。

（六）比較槲皮素奈米製劑與原本槲皮素的抗氧化能力差異。

（七）開發槲皮素發泡顆粒健康飲品。

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 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。

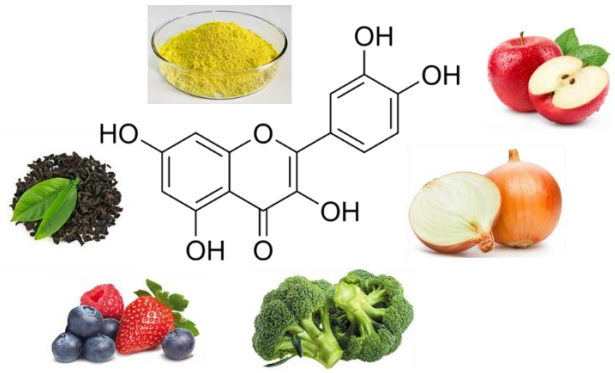


圖 1 槲皮素化學結構、外觀及其天然來源

（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。我們最初用研缽和杵研磨槲皮素，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） 羥丙基-β-環糊精（2-Hydroxypropyl-β-cyclodextrin, HPBCD）

本研究主題另一項重要的原料是羥丙基-β-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。

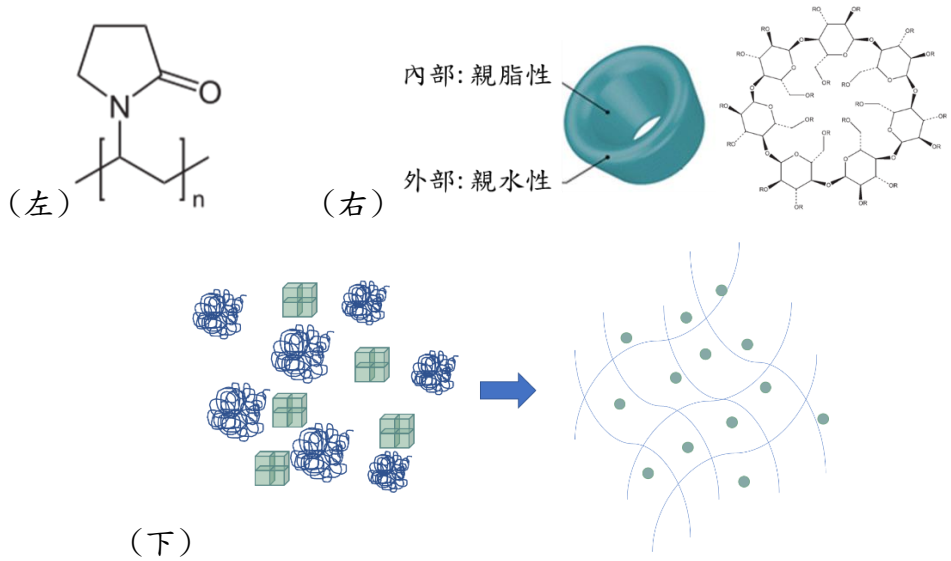


圖 2 （左）PVP 分子的化學結構（右）HPBCD 的分子形狀示意圖
（下)槲皮素奈米製劑的預想圖 （圖片由作者所繪）

（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:

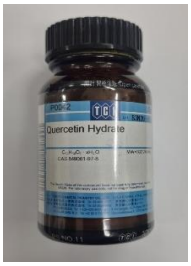
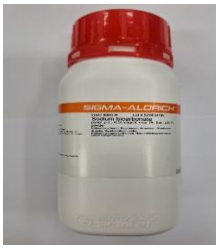
檸檬酸 + 碳酸氫鈉 → 水 + 二氧化碳 + 檸檬酸鈉

$$C_6H_8O_7 + 3NaHCO_3 \rightarrow 3H_2O + 3CO_2 + Na_3C_6H_5O_7$$

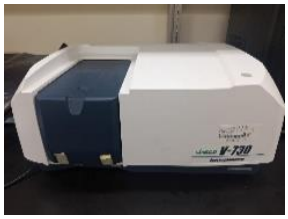
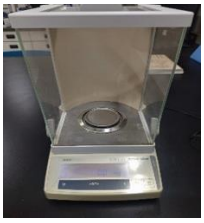
圖 3 發泡顆粒的作用機制(圖片由作者所繪)

貳、研究設備與器材

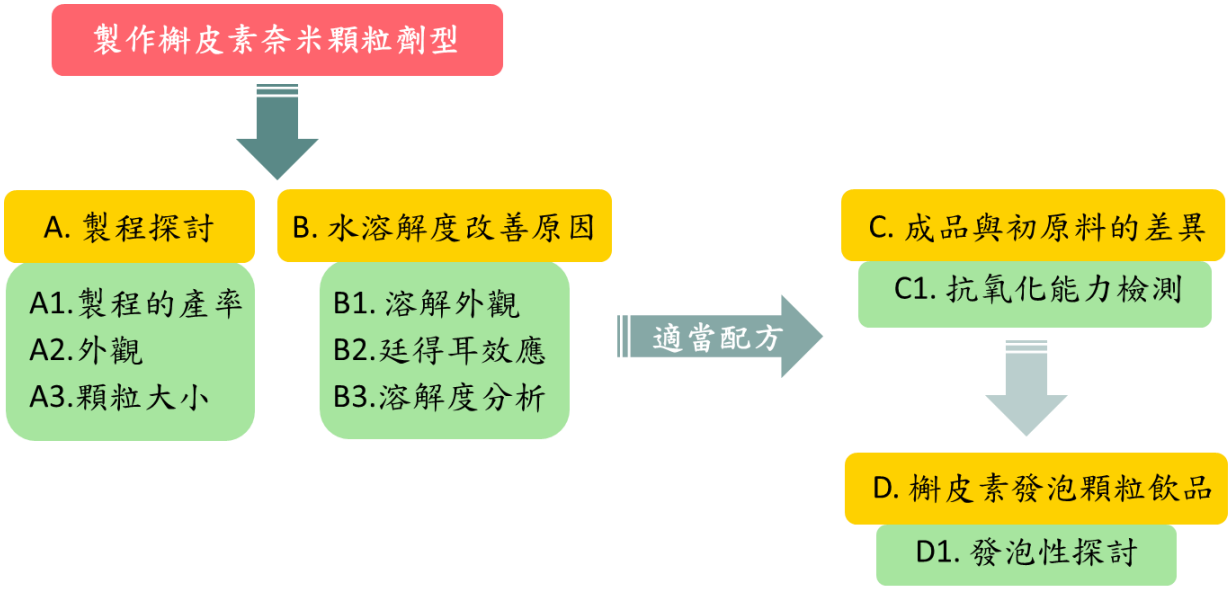
一、實驗材料(圖片由作者所拍攝)

				
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



圖四、實驗流程與探討要點

（流程圖由作者製作）

肆、研究方法與結果討論

【實驗一】製作不同比例槲皮素劑型與生產效率計算

（一） **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） **方法：**使用減壓濃縮法製備槲皮素劑型，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） **實驗過程：**

1.首先將槲皮素溶解於酒精中。

2.稱取不同槲皮素奈米製劑比例，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就是不同比例的槲皮素奈米製劑，並計算其生產效率。

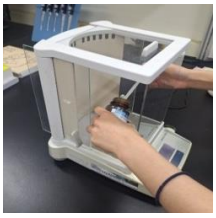
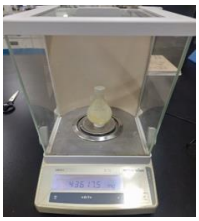
			
秤取實驗材料	攪拌溶解	操作減壓濃縮	秤重計算生產效率

圖 4 製作槲皮素奈米製劑的步驟流程(圖片由作者所拍攝)

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	F1 (1:5:5)	50	250	250
2	F2 (1:10:5)		500	
3	F3 (1:20:5)		1000	
4	F4 (1:40:5)		2000	

表二 槲皮素奈米製劑中，各調配成份的生產效率

編號	樣品 （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

（四） 結果與討論：

1.參考先前的實驗結果發現如果只使用槲皮素加上 PVP K30 製作成奈米製劑就需要添加越多 PVP K30 才能有越好的水溶解度改善結果，因此我們選擇在不同 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，如: 使用較少的 PVP、更小的粒子或是應用性更好。

2.我們想透過在不同 PVP K30 比例下進行複合，因此我們選定四個配方比例，利用減壓濃縮法的製程順利地將原料都轉化為奈米製劑，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。

3.其中在較高 PVP K30 比例，如 1:20:5 與 1:40:5 的情形下，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，導致樣品量較少。

【實驗二】探討並紀錄奈米製劑外觀

（一） 目的：觀察槲皮素與槲皮素奈米製劑其乾燥粉末狀態時的外觀型態變化。

（二） 方法：使用高解析度相機拍照記錄粉末外觀。

（三） 實驗過程：

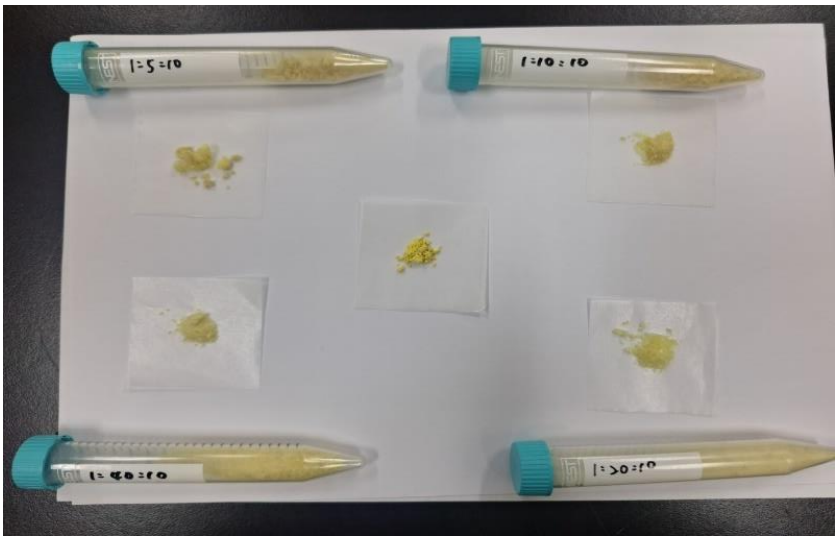


圖 5 槲皮素原藥物及各比例槲皮素奈米劑型之乾燥粉末外觀

（圖片由作者所拍攝）

（四） 結果與討論：

1.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，而做成劑型之後因為加入了 HPBCD 以及 PVP K30 的緣故，所以顏色從亮黃色變成淡黃色。

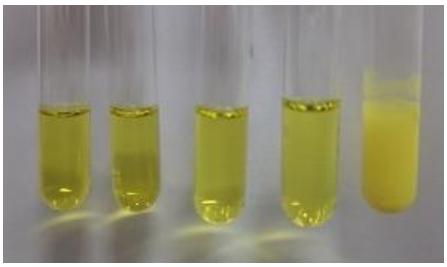
2.在外觀部分，做成劑型後變成脆脆的碎塊狀，若把碎塊絞碎就可以得到較原藥物更為蓬鬆的粉末，我們推測這樣的外觀改變對於水溶解度或許具有提升的效果，初步觀察認為槲皮素應該有和 PVP K30 及 HPBCD 混合形成均勻的固體。

【實驗三】探討奈米製劑水溶液外觀與廷得耳效應觀察

（一） 目的：觀察槲皮素與槲皮素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。

（二） 方法：使用高解析度相機拍照記錄溶液外觀，並使用紅外線雷射筆進行廷得耳效應的測試。

（三） 實驗過程：

<table>
<tr><td> </td><td colspan="2">  </td><td> </td></tr>
<tr><td>樣品配製</td><td colspan="2">比較不同樣品</td><td>槲皮素的廷得耳效應觀察</td></tr>
<tr><td>試樣 1
 </td><td>試樣 2
 </td><td>試樣 3
 </td><td>試樣 4
 </td></tr>
<tr><td colspan="4">槲皮素奈米製劑的廷得耳效應觀察</td></tr>
</table>

（圖片由作者所拍攝）

（四） 結果與討論：

1.廷得耳效應是一種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，可以觀察到明顯的光散射路徑情形。

2.在本研究中，我們利用雷射光測試槲皮素原藥物及其奈米製劑是否展現廷得耳效應以再次證明槲皮素奈米製劑溶於水後是否為奈米等級的粒子。

3.結果顯示：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)。

4.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。

5.此結果說明槲皮素原藥物在溶液中的顆粒過大不會產生廷得耳效應，而奈米化技術成功改善了粒徑分佈與光學性質，接下來可進一步使用粒徑分析技術來量化槲皮素奈米製劑在水中的顆粒直徑。

【實驗四】 探討粒子大小並進行粒徑測量

（一） 目的：檢測槲皮素原藥物以及各比例奈米劑型的粒子大小。

（二） 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） 實驗過程：

樣品配製	樣品槽與儀器	儀器分析

（圖片由作者所拍攝）

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
1	1:5:5	397.1	284.6	276.3	319.33
2	1:10:5	137.6	103.1	181.9	140.87
3	1:20:5	26.21	35.15	50.64	37.33
4	1:40:5	34.81	53.41	20.84	36.35

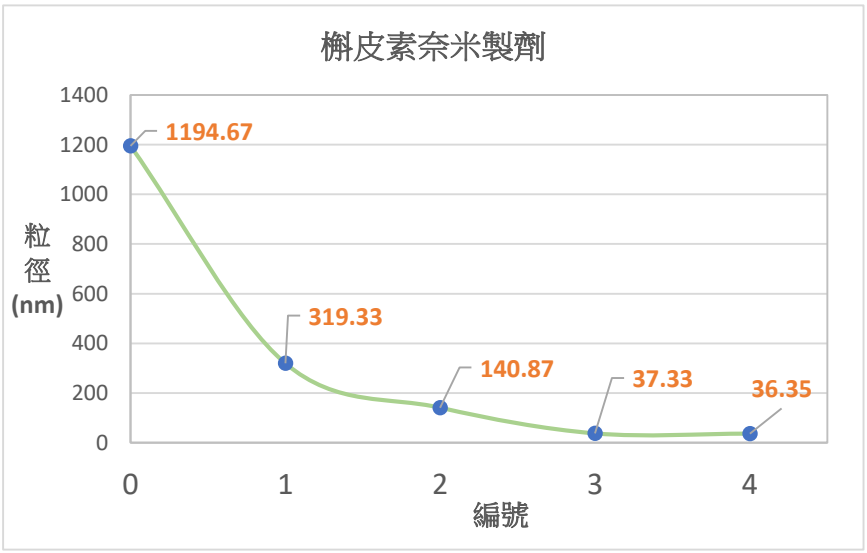


圖 6 不同 PVP K30 的比例下，其槲皮素奈米製劑粒徑大小

（四） 實驗結果與討論：

1.我們測量了槲皮素及其不同配比奈米製劑樣品的粒徑，結果顯示原槲皮素的粒徑較大，平均值為 1194.67 nm。

2.在不同比例下-

(1)在 1:5:5 配比的奈米製劑粒徑平均值為 319.33 nm。

(2)在 1:10:5 配比的粒徑進一步縮小至 140.87 nm。

(3)在 1:20:5 配比的粒徑為 37.33 nm 水溶液中的粒子大小顯著減小。

(4)在 1:40:5 配比的粒徑為 36.35 nm，與 1:20:5 配比結果接近。

3.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。且配方在 1:20:5，其粒徑在此比例以下均趨於穩定。

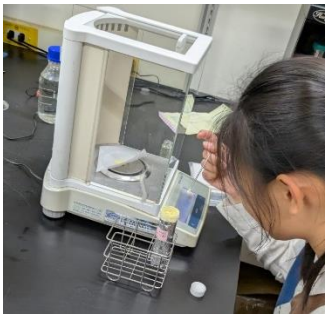
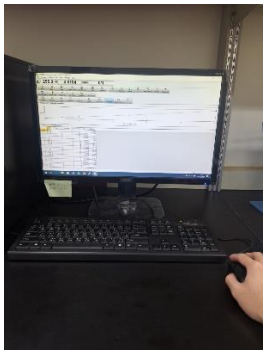
4.整體結果表明，奈米製劑能有效降低粒徑，尤其在 1:20:5 和 1:40:5 配比下達到最佳效果，粒徑的減少會大幅增加粒子的表面積，就可以有更多與水互動的機會，有利於增加水溶解度。

【實驗五】分析奈米製劑溶液的水溶解度

（一） **目的：**分析槲皮素與槲皮素奈米製劑溶於水後的溶解度差異，計算水可溶的含量多寡，並透過比較水溶解度多寡來篩選出最適當的配方比例。

（二） **方法：**利用分光光度計測量吸光值並透過標準曲線計算各水溶液中槲皮素濃度。

（三） **實驗過程：**

		
樣品配製	石英比色槽與儀器進行檢測分析	結果報告

（圖片由作者所拍攝）

表四 建立槲皮素樣品溶液的標準曲線

濃度 μg/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

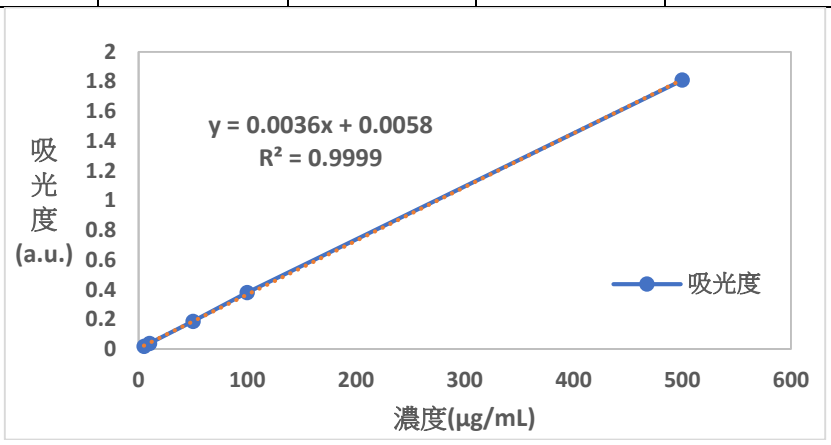


圖 7 槲皮素樣品溶液吸光度與濃度之間的線性關係 (標準曲線)

表五 同重量各配方槲皮素奈米製劑，其槲皮素濃度含量關係

編號	樣品	第一次 吸光度數據	第二次 吸光度數據	第三次 吸光度數據	濃度平均值 (μg/mL)	濃度 標準差
1	1:5:5	1.692	1.711	1.740	949.19	10.97
2	1:10:5	1.732	1.674	1.700	942.33	13.18
3	1:20:5	1.703	1.650	1.730	938.07	18.46
4	1:40:5	1.604	1.597	1.575	881.22	6.86

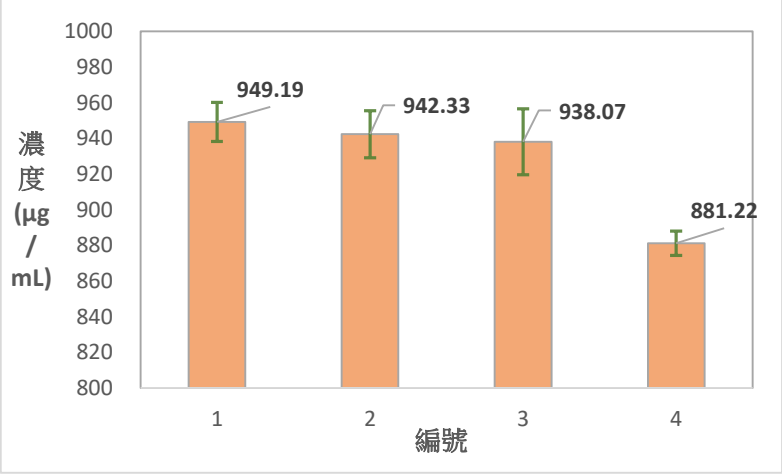


圖 8 同重量各配方槲皮素奈米製劑，其槲皮素濃度含量關係及標準差

（四） 實驗結果與討論：

1.利用已知濃度的槲皮素樣品溶液先建立濃度 (5-500 μg/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。

2.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 $y = 0.0036x + 0.0058$，r^2 指得是方程式與實驗數據間的相關係數，越接近 1 代表濃度與吸光度之間的關係越密切，使用方程式所計算出的數值也越準確。

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。

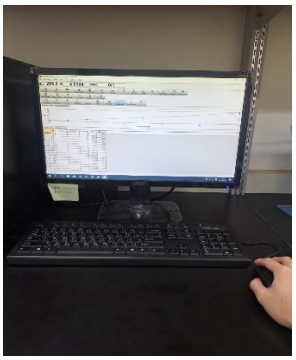
4.最後，由於所有配方比例皆能有很好的結果，因考量最節省原料以及溶劑揮發處理，(當溶液的黏稠度越低時，其製備過程較容易，溶劑(乙醇)揮發也比較快)。最後，我們評估在配方為 1:5:5 時，不僅能有效合成槲皮素奈米製劑顆粒，同時也有最高的濃度效益，因此將配方為 1:5:5 選為本研究主題中最理想的比例。

【實驗六】比較槲皮素製備前後之抗氧化能力差異

（一） 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） 方法：DPPH 自由基清除試驗實驗（遇到優良的抗氧化成分時會從原先的深紫色轉變為淡黃色）

（三） 實驗過程：

		
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

（圖片由作者所拍攝）

表六 同重量各配方槲皮素奈米製劑，其槲皮素濃度含量關係

濃度 (μg/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

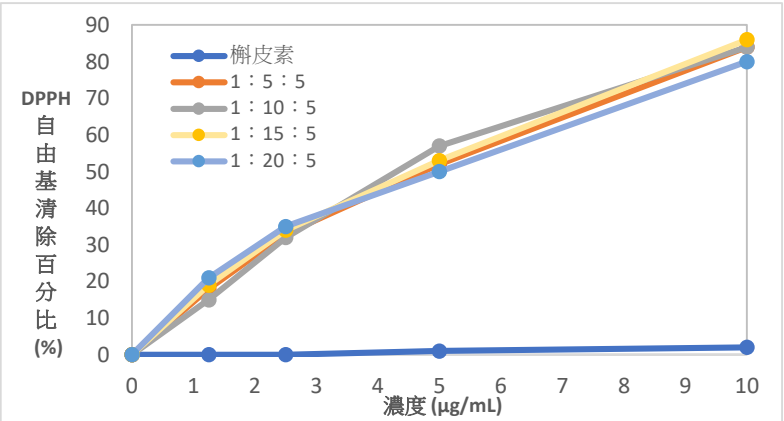


圖 9 槲皮素與不同比例槲皮素奈米製劑水溶液的抗氧化能力

（四） 實驗結果與討論：

1.在 DPPH 自由基清除試驗中，五個樣品都配製在水中進行比較，配製在水中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。

2.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。

3.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。

4.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 K30。

【實驗七】發泡顆粒配方設計

（一） 目的：發泡顆粒的配方比例影響其發泡性，而發泡性除了關係到飲用時的口感外，對於產品本身的崩解速度、溶解情形也會有不同程度的影響，並且可以掩蓋活性主成分的不良口感，在發泡顆粒產品中，劇烈的產出氣泡是一個理想的結果。

（二） 初步發泡顆粒配方設計如下表：

材料	重量 (g)	作用
檸檬酸	7	發泡混合劑
酒石酸	14	
碳酸氫鈉	25	
蔗糖	13	甜味劑
澱粉	13	崩散劑
槲皮素奈米製劑	1.05	主成分與黏合劑
無水酒精	5 mL	

（三） 實驗過程：

秤取原料	研磨原料	過篩原料
製造發泡顆粒	烘乾發泡顆粒	發泡顆粒成品

（圖片由作者所拍攝）

（四） 實驗結果：

1.若是原本的槲皮素就不適合做成發泡顆粒，僅能以膠囊或錠劑的方式服用製作，我們為了增加槲皮素溶解度，因此製備槲皮素發泡顆粒的原料必須要是水可溶解的成分。

2.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，有了水溶性的槲皮素後就可以進一步將槲皮素開發成有別於市售產品的服用方式－發泡顆粒。

3.本實驗針對特定比例的發泡顆粒進行測試，結果顯示在發泡顆粒接觸到水後能夠短時間產生劇烈的氣泡，氣泡生成速度快且量多，滿足預期的發泡效果。

4.當發泡顆粒崩解迅速時，能夠讓槲皮素奈米試劑形成均勻的水溶液，顯示該配方具有良好的溶解性。

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，除了 1:20:5 與 1:40:5 的情形下，其生產效率略低一點點之外，其生產效率皆有大於 90%。

二、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。

三、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。

四、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。

五、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。

六、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。

七、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，有了水溶性的槲皮素後就可以進一步將槲皮素開發成有別於市售產品的服用方式－發泡顆

粒。本實驗針對特定比例的發泡顆粒進行測試，結果顯示在發泡顆粒接觸到水後能夠短時間產生劇烈的氣泡，氣泡生成速度快且量多，滿足預期的發泡效果。

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=

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