

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 化學科

050211

專屬防護-友善防曬乳之研發與探討

學校名稱：新北市立三重高級中學

作者： 高二 盧品諭 高二 林昱丞 高二 詹孟瑀	指導老師： 張怡婷
---	------------------

關鍵詞：防曬乳、單寧酸、維生素 B₂

摘要

本實驗探討自製防曬乳中氧化鋅、二氧化鈦、單寧酸，上述材料以不同比例混合後的防曬能力。以分光光度計測量各成分且不同比例的吸收度，調配具有較佳防曬能力且對環境友善之防曬乳。維生素 B₂ 與 B₆ 分別在 UV-A 和 UV-B 波段具有特徵吸收峰，可作為防曬能力之感光試劑，取代高中少見的 SPF 檢測儀，且避光存放長時間仍具穩定性。實驗結果發現自製防曬乳中，二氧化鈦 10 % 與氧化鋅 10 % 混合，具有最大的防曬能力。希冀防曬乳對海洋環境友善且可調色，實驗結果發現氧化鋅 10 % 添加單寧酸 10 %，為防曬乳最佳比例。紡織企業將經前處理的咖啡渣作為防曬的紡織成分，希冀透過科學原理尋找最佳條件亦可成為友善防曬乳的主力成分。

壹、前言

一、研究動機

防曬乳為現代人出門的日常用品，可以防止曬傷、曬黑的甚至能避免皮膚老化或是降低罹患皮膚癌的風險。市面上販賣的防曬乳非常多元，防曬係數(Sun Protection Factor, SPF)以及曬黑指數(Protection Grade of UV-A, PA)數字越高，一般民眾認為較有成效也越受歡迎。但我們好奇，當我們在炎炎夏日使用防曬乳時，那些主打各式各樣防曬功能的廣告台詞的大力宣傳下，這些產品背後，又參雜了多少對皮膚有害的物質？而當我們在海邊從事海上活動，或是每日沖洗後流向海洋的防曬乳物質，又對海洋造成什麼影響？

從上述的好奇，心中延伸出幾個疑問，我們能不能找到同時較不傷害皮膚且對環境友善的成分用以製作防曬乳？自製防曬乳的效果會跟市面賣的效果會有很大的差別嗎？因此我們想針對能同時達到防曬、不傷害肌膚且對環境友善的物質，自製防曬乳並且探究其中的防曬能力，因此設計接下來的實驗。

二、文獻回顧

(一) 紫外線(Ultraviolet, UV)波段

UV 波段位於 100nm-400nm，可分為 UV-A 波段(320-400nm)、UV-B 波段(280-320nm)、UV-C 波段(100-280nm)，其中 UV-A 波段和 UV-B 波段的紫外線，波長長，會穿透大氣層照射到地表，對生物造成影響。而 UV-A 波段的紫外線會使皮膚的黑色素沉澱，導致肌膚變黑、產生皺紋；UV-B 波段則能量較強，會使肌膚曬傷、曬紅；UV-C 波段，因波長短，會被臭氧層阻擋，於是不在我們此次的探討範圍中。

(二) 維生素 B₂(Vitamin B₂)及維生素 B₆(Vitamin B₆)

前者又稱核黃素(Riboflavin)，後者又名抗皮炎維生素、吡哆素。根據關於文獻資料[8]，我們得知它們照光後分別在 UV-A 及 UV-B 波段容易產生不可逆的分解導致濃度下降，我們進而可以使用此物質當作我們的感光試劑，以及量化我們防曬乳的防曬效果。

(三) 二氧化鈦(TiO₂)&氧化鋅(ZnO)

添加在防曬乳中屬於物理性防曬，可將紫外線散射或是阻隔。在防曬乳市場中是它們常見的物質，但若加入過多的二氧化鈦及氧化鋅，會造成皮膚顯白，使多數人勸退。而常添加於防曬乳中的二氧化鈦和氧化鋅為奈米級，奈米級對於人體和環境都有一定的危害和影響，考量環境保護以及潛在的人體危害，會選用微米級的金屬微粒做為防曬成分添加於防曬乳中。於是我們想要選擇天然物質做防曬乳的同時，加入少許二氧化鈦及氧化鋅來增加防曬效果，也不會導致皮膚顯白。

(四) 單寧酸(Tannic acid, C₇₆H₅₂O₄₆)

在回顧文獻中，可得知單寧酸可保護植物免受紫外線的傷害。從其他文獻也證實了它在紫外線光區有強烈吸收的天然物質。而我們查詢時發現有被前人製作成水凝膠防曬霜[7]。

三、研究目的

- (一) 檢測自製防曬乳吸收光譜圖。
- (二) 探討維生素 B₂ 及 B₆ 作為用來檢測防曬能力之穩定性及適合檢測之濃度。
- (三) 探討檢測防曬能力裝置所用的避光材質對檢測樣品的影響。
- (四) 探討自製防曬乳在 UV-A(365 nm)與 UV-B(311 nm)紫外線燈管照射下的防曬情況。
- (五) 探討自製防曬乳在太陽光照射下的防曬能力的變化。

貳、研究設備及器材

表一、藥品一覽表

藥品名稱	化學式	廠牌	純度(%)
吡哆素	C ₈ H ₁₁ NO ₃	城乙化工原料 有限公司	N/A
核黃素	C ₁₇ H ₂₀ N ₄ O ₆	Koch-Light Laboratories Limited	N/A
單寧酸	C ₇₆ H ₅₂ O ₄₆	Alfa Aesar	N/A
丙三醇	C ₃ H ₈ O ₃	J.T.Baker	99.5%
微米級二氧化鈦 (化妝品)	TiO ₂	薇拉香草工訪	N/A
奈米級二氧化鈦	TiO ₂	Choneye Pure Chemicals	98%
微米級氧化鋅 (氧化鋅)	ZnO	Choneye Pure Chemicals	99.5%
大豆卵磷脂粉末	N/A	瑞光儀器有限公司	N/A
去離子水	H ₂ O	Merck	電阻率 >18MΩ*cm

表二、市售防曬乳一覽表

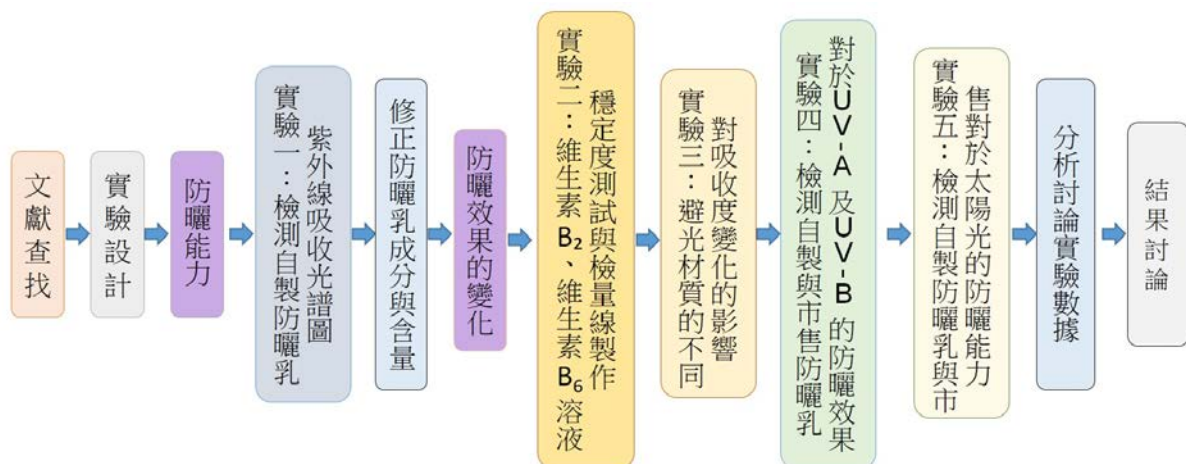
市售防曬乳名稱	批號
小牌防曬乳 SPF30	20200504
S 牌防曬乳 SPF50	01528001

表三、使用器材一覽表

項次	儀器名稱	說明
1	紫外光-可見光光譜儀 (UV-Vis Spectrophotometer/分光光度計)	測量維生素 B ₂ 溶液吸收光譜
2	比色管	盛裝維生素 B ₂ 溶液
3	滴管	吸自來水、一次水、去離子水沖洗比色管和微量吸量管管尖
4	0.1 mL – 5 mL 微量吸量管	轉移維生素 B ₂ 溶液、防曬乳
5	100 mL 燒杯	溶解維生素 B ₂ 粉末
6	洗滌瓶	裝丙酮清洗比色管
7	分析天平	秤維生素 B ₂ 質量
8	超音波震盪器	將溶液中沉澱的物質震開
9	烘箱	燒杯及樣品瓶烘乾於此
10	磁石、磁石攪拌器	將防曬乳混合均勻
11	秤量紙	盛裝待測固體物質
12	電子秤	秤量各物質的質量
13	紫外線燈管(UV-B 311 nm)	照射防曬乳及維生素 B ₆ 溶液觀察其變化
14	紫外線燈管(UV-A 365 nm)	照射防曬乳及維生素 B ₂ 溶液觀察其變化

參、研究過程或方法

一、實驗流程



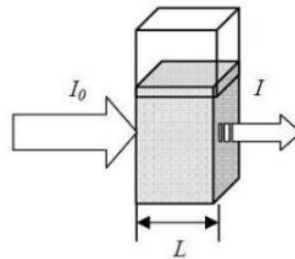
圖一、實驗流程圖

二、實驗原理

(一) 比爾定律(Beer's Law)

此定律為光吸收的基本定律，適用於所有的電磁輻射和所有的吸光物質。一束單色光照射於一吸收介質表面，在通過一定厚度的介質後，由於介質吸收了一部分的光能，透射光的強度就要減弱。吸收介質的濃度愈大、介質的厚度愈大，則光強度的減弱愈顯著。

$A = -\log(I/I_0) = \log(1/T) = Kbc$ ，(A:吸收度； I_0 :入射光的強度；I:透射光的強度；T:透射比；K:係數，莫爾吸收係數；b:吸收介質的厚度；c:吸光物質的濃度。)



圖二、比爾定律吸收度示意圖(圖片來源:百科知識)

(二) 維生素 B₂ 吸收度穩定性檢測

在高中化學實驗室，因為沒有防曬係數測定儀(SPF-290AS)，於是我們尋找會因為照射紫外線產生特徵吸收峰的位移及吸收度的消長，於是我們利用校內的紫外光-可見光光譜儀(UV-Vis Spectrophotometer)測定出維生素 B₂及 B₆ 在特徵吸收峰值(373 nm、291 nm)下的檢量線以及測定不同天數的吸收光譜圖，製作出各個特徵吸收峰值的檢量線，找出其線性方程式及決定係數(R^2)來觀察維生素 B₂及 B₆ 在配製後的穩定情形，以確保藥物作為檢測之有效性。

(三) 防曬乳防曬能力檢測

測定防曬乳的防曬程度可透過將感光試劑置於防曬乳下方，利用比爾定律將感光試劑照光前後的濃度差異來量化不同種防曬原料的防曬程度進而去比較。以及感光試劑置於水下方測量光照前後的吸收度變化作為空白值，與自製防曬乳進行比較，以此去除光使防曬乳的折射度差異對於感光試劑造成的影

響，以得出有防曬和無防曬的差異。透過上述之量化防曬效果的方法來檢測自製防曬乳的防曬能力。透過分析和比較找出在不同光照環境下，防曬效果最佳的防曬成分比例及考量環境保育和防曬能力後最符合其二條件之自製防曬乳。

(四) 自製防曬乳配製原料

根據文獻[6]，我們選擇氧化鋅、二氧化鈦作為防曬成分的基底，另外以單寧酸作為有機防曬成分的選擇，適度取代氧化鋅及二氧化鈦，增加防曬乳的環境友善及自然分解能力。自製防曬乳的過程，添加甘油增添黏稠度，並添加天然乳化劑使水相及油相互溶，使其均勻混合。

三、實驗步驟

(一) 實驗一、檢測自製防曬乳吸收光譜圖

1.配置氧化鋅、二氧化鈦、單寧酸各種比例的自製防曬乳以及對照組(基底油)：

(1)利用分析天平和秤量紙秤量所需的防曬成分、甘油、乳化劑以及水，成分含量與克數於表四所示。

(2)將所需的防曬成分、甘油、乳化劑以及水加入樣品瓶中利用磁力攪拌器進行攪使其均勻並避光保存，配置完成的自製防曬乳照片於表五所示。

2.將氧化鋅、二氧化鈦防曬乳以及對照組利用體積百分濃度稀釋至 1500 倍。

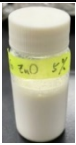







3.將單寧酸防曬乳利用體積百分比稀釋至 10000 倍。

4.將稀釋好的防曬乳放入比色管中，利用分光光度計測量出自製防曬乳對於各波長的吸收度與穿透率。

表四、自製防曬乳比例一覽表

自製防曬乳 防曬成分	自製防曬乳 防曬成分比例			自製防曬乳 添加物克數(g)							
	ZnO	TiO ₂	C ₇₆ H ₅₂ O ₄₆	ZnO	TiO ₂	C ₇₆ H ₅₂ O ₄₆	H ₂ O	C ₃ H ₈ O ₃	乳化劑		
對照組(基底)	N/A			N/A			4.0	4.0	0.2		
純 ZnO	2.5			0.21			4.0	4.0	0.2		
	5.0			0.43			4.0	4.0	0.2		
	10	N/A		0.91	N/A		4.0	4.0	0.2		
	15			1.4			4.0	4.0	0.2		
	20			2.1			4.0	4.0	0.2		
	25			2.7			4.0	4.0	0.2		
純 TiO ₂	2.5				0.21			4.0	4.0	0.2	
	5.0				0.43			4.0	4.0	0.2	
	N/A	10	N/A	N/A	0.91	N/A	4.0	4.0	0.2		
	15				1.4			4.0	4.0	0.2	
	20				2.1			4.0	4.0	0.2	
	25				2.7			4.0	4.0	0.2	
純 C ₇₆ H ₅₂ O ₄₆	5.0				0.43			4.0	4.0	0.2	
	N/A	10		N/A	0.91			4.0	4.0	0.2	
ZnO TiO ₂ 混合	10	10			1.0	1.0	3.9	3.9	0.2		
	10	2.5	N/A			1.0	0.25	N/A	4.3	4.3	0.21
	3.3	16.7			0.17	0.83	3.9	3.9	0.2		
ZnO TiO ₂ C ₇₆ H ₅₂ O ₄₆ 混合	10	10	10	1.0	1.0	1.0	3.4	3.4	0.17		
	3.3	16.7	10	0.33	1.7	1.0	3.4	3.4	0.17		
混合	10	N/A	10	1.0	N/A	1.0	3.9	3.9	0.2		

表五、以不同防曬成分自製防曬乳之狀態

ZnO 5.0 %	TiO ₂ 5.0 %	C ₇₆ H ₅₂ O ₄₆ 5.0 %	小牌防曬乳 SPF30
			
ZnO 10 % + TiO ₂ 10 % + C ₇₆ H ₅₂ O ₄₆ 10 %	ZnO 3.3 % + TiO ₂ 16.7 % + C ₇₆ H ₅₂ O ₄₆ 10 %	ZnO 10 % + C ₇₆ H ₅₂ O ₄₆ 10 %	S 牌防曬乳 SPF50
			

(二) 實驗二、維生素 B₂ 溶液及維生素 B₆ 溶液穩定度測試與檢量線製作

1. 配製不同濃度維生素 B₂、維生素 B₆ 溶液：

(1) 利用百萬分濃度公式求出 100 ppm 維生素 B₂(飽和濃度)、2000 ppm 維生素 B₆(飽和濃度)應加入的質量。







(2) 將藥品倒入燒杯再加入水，攪拌使固體完全溶解。藉由玻棒將溶液經漏斗轉置於容量瓶中，利用洗滌瓶以水潤洗燒杯，將潤洗液移轉入容量瓶中逐漸添加水到標線處。

(3) 將維生素 B₂、維生素 B₆ 溶液分裝至離心管當中保存並且避光。







(4) 將 100 ppm 維生素 B₂ 溶液，稀釋配製成 1 ppm、5 ppm、10 ppm、25 ppm、50 ppm 維生素 B₂ 溶液，如表六。

(5) 將 2000 ppm 維生素 B₆ 稀釋成 1 ppm、5 ppm、10 ppm、25 ppm、50 ppm、75 ppm 維生素 B₆ 溶液，如表七。

表六、不同濃度的維生素 B₂ 溶液

1 ppm	5 ppm	10 ppm	25 ppm	50 ppm	100 ppm
					

表七、不同濃度的維生素 B₆ 溶液

1 ppm	5 ppm	10 ppm	25 ppm	50 ppm	75 ppm
					

2.測量不同濃度的維生素 B₂、維生素 B₆ 溶液吸收光譜圖：

(1)器材清洗

(2)將維生素 B₂、B₆ 溶液裝進比色管，放入分光光度計中進行測量。

(3)將測量過的維生素 B₂、B₆ 溶液從比色管中吸出分開盛裝後避光保存。

(4)重複一到四步驟，分次測量不同濃度溶液，得到各式吸收光譜圖。

(5)為追蹤穩定度，分別在第一、二、三、十一、二十二、二十九天，持續測量追蹤維生素 B₂的吸收度，確認其穩定度，並以圖表做比較。

(三) 實驗三：避光材質的不同對吸收度的變化影響

1.製作不同裝置的空白值，將感光試劑置於水的下方，測量光照前後的吸收度。

2.將孔盤外層分別包裹鋁箔紙及布，並放入已裝置紫外線燈管的黑箱中。

3.將照射過紫外線燈管的維生素 B₂ 溶液放入分光光度計測量，每 10 分鐘測量一次數據，總共 120 分鐘，作圖相互比較其空白值吸收度變化。

(四) 實驗四：檢測自製與市售防曬乳對於 UV-A 及 UV-B 的防曬能力

1.檢測自製防曬乳，經由 UV-A(365 nm)照射後所得的之吸收光譜圖：

(1)製作空白值，將感光試劑置於水下方測量光照前後的吸收度變化。

(2)利用微量吸管吸取 0.2 mL 的自製防曬乳以及 0.2 mL 的水於孔盤中。

(3)利用微量吸管吸取 2 mL 的 25 ppm 維生素 B₂ 置於不同孔盤中。

(4)將放入防曬乳的孔盤上疊在裝入維生素 B₂ 的孔盤上方，外層包覆布，並放入已裝置紫外線燈管的黑箱中，裝置示意圖，如圖四所示。

(5)將照射過紫外線燈管的維生素 B₂ 放入分光光度計測量，與空白值作比較，每 10 分鐘測量一次數據，總共 120 分鐘。

2.檢測自製防曬乳，經由 UV-B(311 nm)照射後所得的之吸收光譜圖：

(1)製作空白值，將感光試劑置於水下方測量光照前後的吸收度變化。

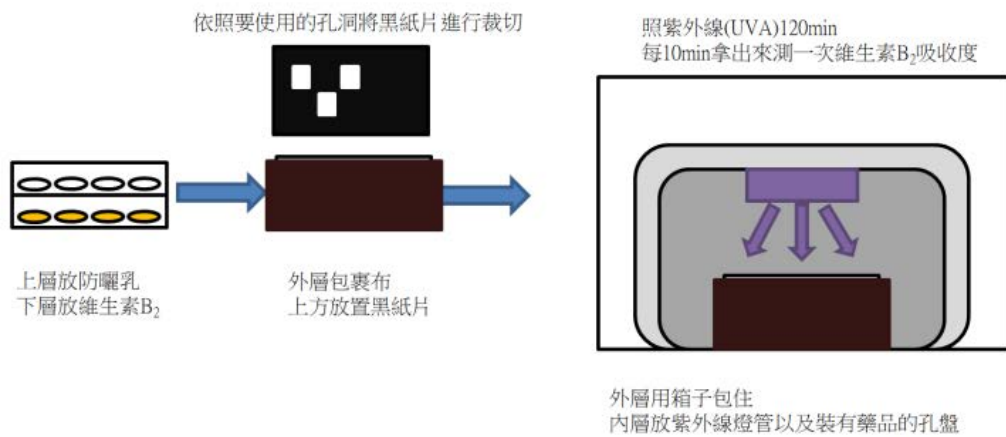
(2)利用微量吸管吸取 0.2 mL 的自製防曬乳以及 0.2 mL 的水於孔盤中。

(3)利用微量吸管吸取 2 mL 的 75 ppm 維生素 B₆ 置於不同孔盤中。

- (4)將放入防曬乳的孔盤上疊在裝入維生素 B₆的孔盤上方，外層包覆布，並放入已裝置紫外線燈管的黑箱中，裝置示意圖，如圖四所示。
- (5)將照射過紫外線燈管的維生素 B₆放入分光光度計測量，與空白值作比較，每 10 分鐘測量一次數據，總共 120 分鐘。



圖三、紫外線照射裝置圖

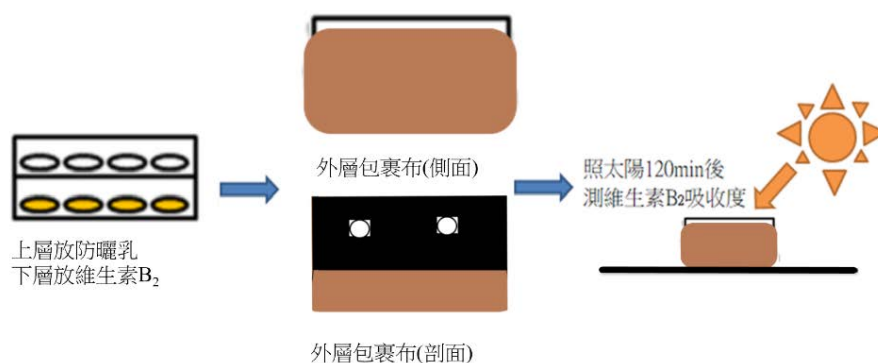


圖四、紫外線照射裝置示意圖

(五) 實驗五：檢測自製防曬乳對於太陽光的防曬能力

1. 檢測感光試劑在自製防曬乳下，經由太陽光照射後所得之吸收光譜圖：

- (1) 製作空白值，將感光試劑置於水下方測量光照前後的吸收度變化。
- (2) 吸取 0.2 mL 的自製防曬乳以及 0.2 mL 的水於孔盤中。
- (3) 吸取 2 mL 的 25 ppm 維生素 B₂ 及 75 ppm B₆ 置於不同孔盤中。
- (4) 將放入防曬乳的孔盤上疊在裝入維生素 B₂ 及 B₆ 的孔盤上方，外層包覆布，上方放置黑紙片遮蔽無進行實驗的孔洞，放置在有太陽光的位置，裝置示意圖，如圖五所示。
- (5) 再將照射過太陽光的維生素 B₂ 放入分光光度計測量，與空白值作比較，每 20 分鐘測量一次數據，總共 60 分鐘。



圖五、太陽光照射裝置示意圖



圖六、太陽光照射裝置圖

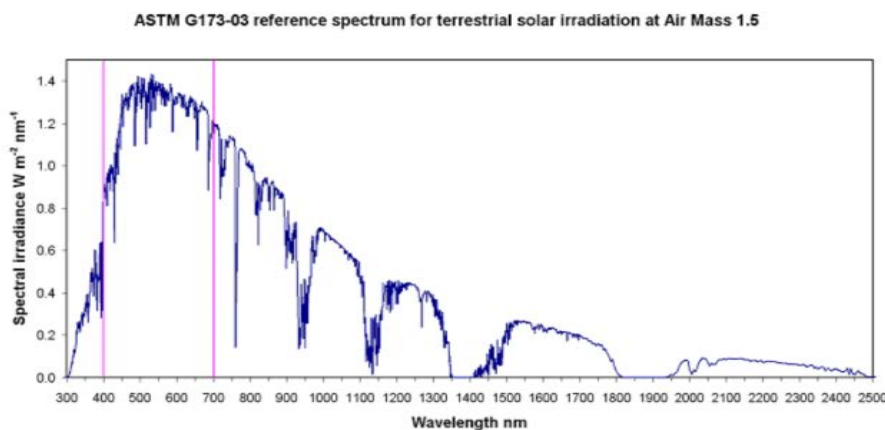
肆、研究結果

一、實驗一：檢測自製防曬乳吸收光譜圖

(一) 單一防曬物質的防曬能力測試

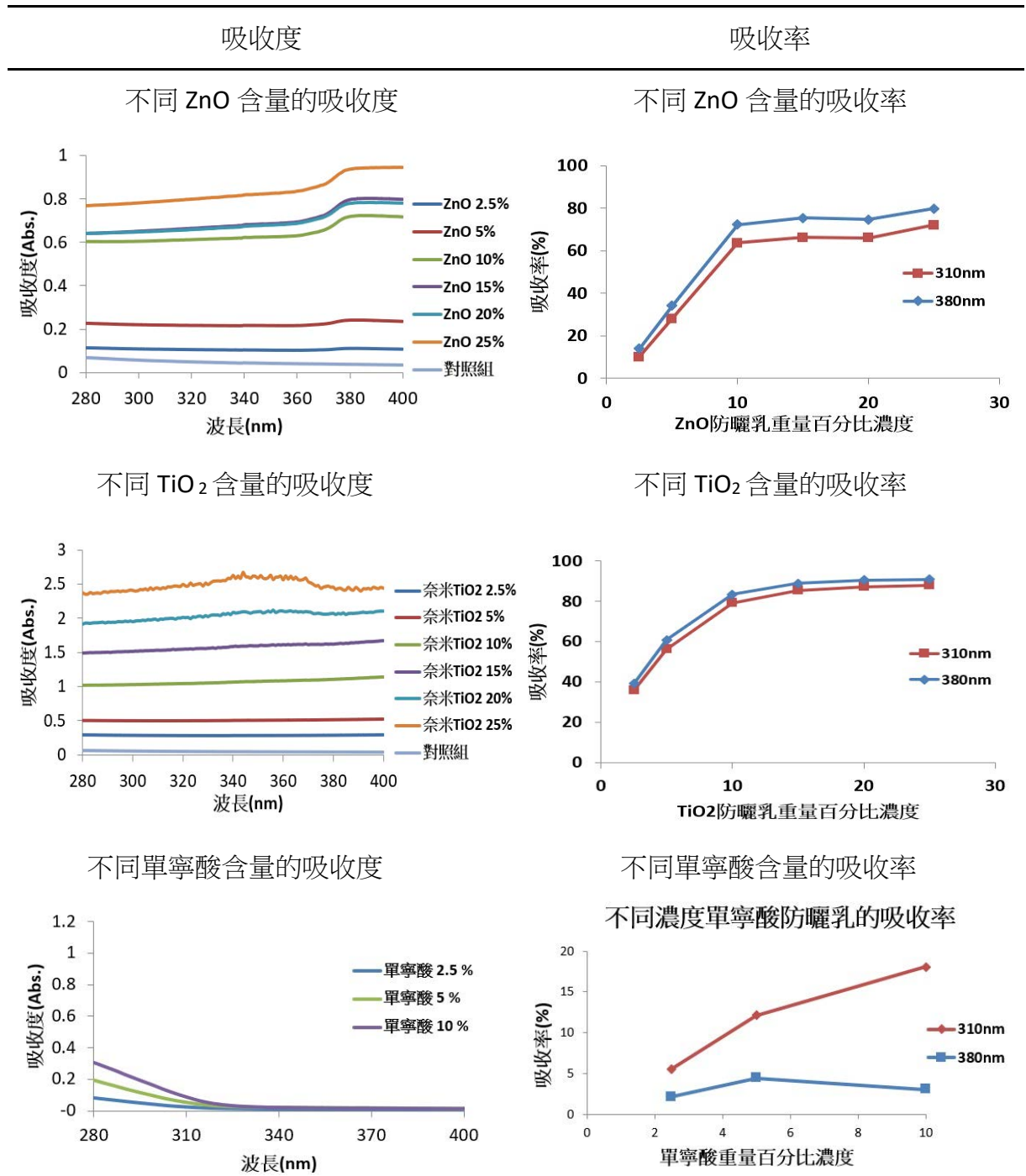
根據衛福部食藥署規範，氧化鋅及奈米級二氧化鈦添加於化妝品內各別含量，均不可超過重量百分濃度 25 %，因此我們在添加氧化鋅與二氧化鈦量的選擇上，最高只使用到重量百分濃度 25 %，且選用在安全性上符合化妝品規範的等級。單寧酸的溶解度為 250 g/L，且只溶於水，經計算過後，我們配方最高僅能使用重量百分濃度為 10 %。

用分光光度計測量出吸收光譜圖後，將各波長吸收度減去全光譜最低的吸收度以減少因散射和折射所產生誤差，由表八看出，自製防曬乳於 280 nm 至 400 nm 的吸收度，隨防曬物質所含的重量百分濃度增加而有所提高。透過圖七太陽光譜圖可知，波長 310 nm 與 380 nm 分別位於 UV-B 與 UV-A 波段中能量較集中的區域，因此參考其他文獻[9]的數據處理方法，用 100 % 減去穿透率後，可得吸收率，並取波長 310 nm 與 380 nm 的吸收率代表其自製防曬乳對於 UV-B 與 UV-A 的防曬能力。將防曬物質的重量百分濃度與吸收率作圖觀察出隨濃度和吸收率的變化關係，由表八看出，隨濃度固定的上升而吸收率的增加卻逐漸趨緩，再增加氧化鋅與奈米級二氧化鈦在重量百分濃度 10 % 含量其吸收率並無明顯上升，得到其二者作為防曬物質的邊界條件，因此選擇氧化鋅 10 % 和奈米級二氧化鈦 10 % 進行後續混合多種防曬物質的防曬能力測試。



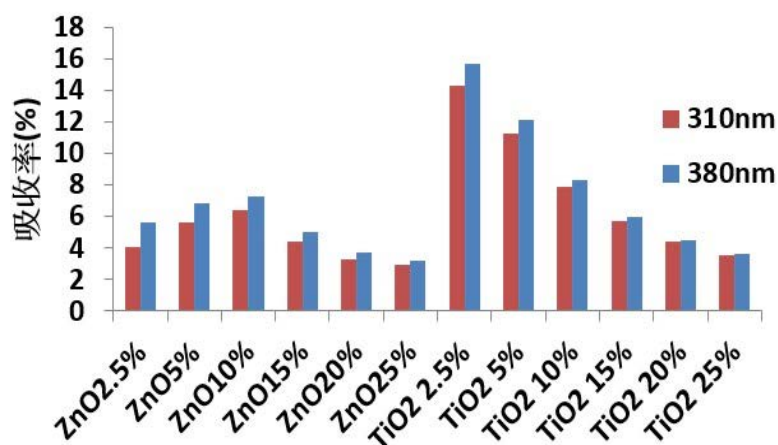
圖七、太陽光全光譜圖[4]

表八、不同防曬物質各比例作為防曬乳的吸收度及吸收率



另外，我們進一步去對氧化鋅與奈米級二氧化鈦在濃度 10 % 以後再增加含量其吸收率並無明顯上升此現象去做分析，將自製防曬乳的吸收率先減去對照組(基底:甘油、水、乳化劑)的吸收率，然後去除以防曬物質的重量百分濃度就可以求出，在此濃度下 1.0 % 的防曬物質能夠提供多少的吸收率，作為以物理量角度去思維防曬能力。由圖八中可以看出防曬效率最高的氧化鋅 10 % 與奈米級二氧化鈦 2.5 %，而我們將其二者混合進行後續混合多種防曬物質的防

曬能力測試，後續將在討論中進行探討兩種切入點去找最佳比例的差異性。



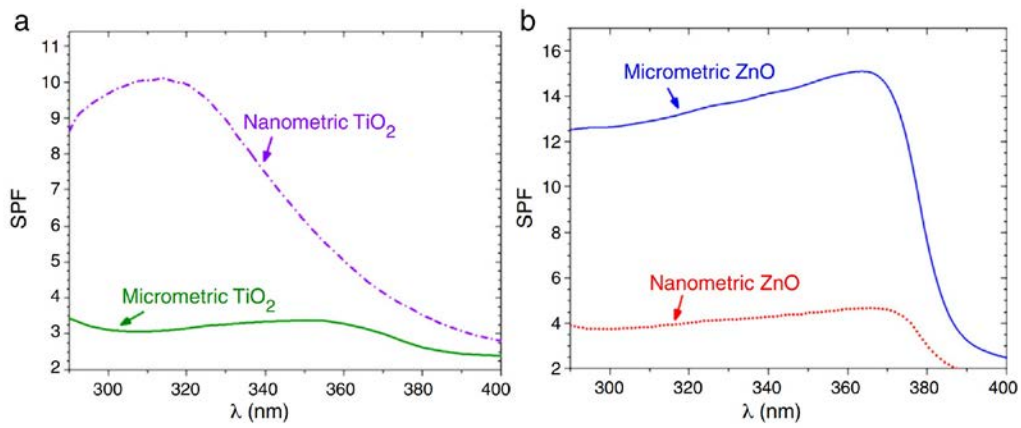
圖八、不同防曬物質重量百分 1.0 % 所提供的吸收率圖

(二) 混合防曬物質的防曬能力測試

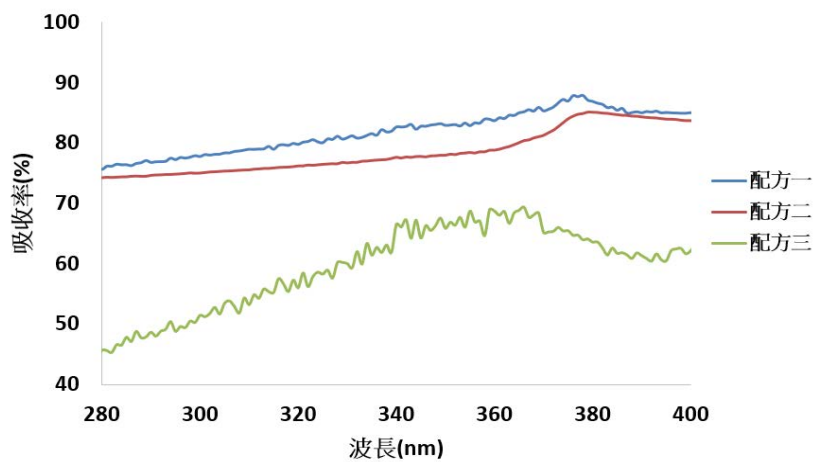
1. 混合氧化鋅與二氧化鈦

根據文獻[6]和圖九可得知，透過混合氧化鋅與二氧化鈦使防曬波段更廣、更具保護力。根據實驗與文獻[3]中所提及的數據，表九整理出了三種配方進行混合氧化鋅與奈米級二氧化鈦的防曬能力測試。配方三為文獻[3]所提及氧化鋅與奈米級二氧化鈦重量比為 1：5 防曬能力能夠達到最佳，而我們將二種防曬物質混合後的重量百分濃度定為 20 %，經計算後其防曬物質含量為氧化鋅 3.3 % 與二氧化鈦 16.7 %，與配方一進行比較。

由圖十可以看出，檢測出的吸收率最佳為配方一，其次為配方二，最終為配方三。將配方一和配方三進行後續的友善防曬物質添加與改良，期望透過添加友善防曬物質，使配方三的防曬能力提高，且在維持防曬能力的情況下，將配方一中的防曬物質替換成友善防曬物質。



圖九、不同等級氧化鋅及不同等級二氧化鈦吸收光譜圖[6]



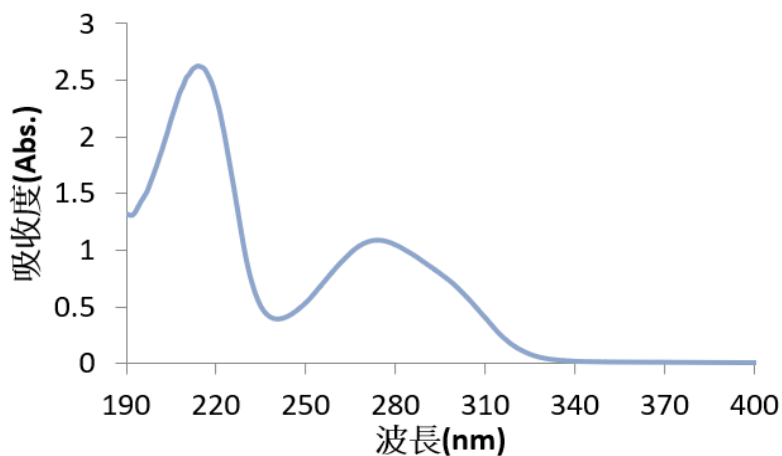
圖十、不同比例防曬物質防曬乳的吸收率光譜圖

2. 友善防曬物質添加與改良

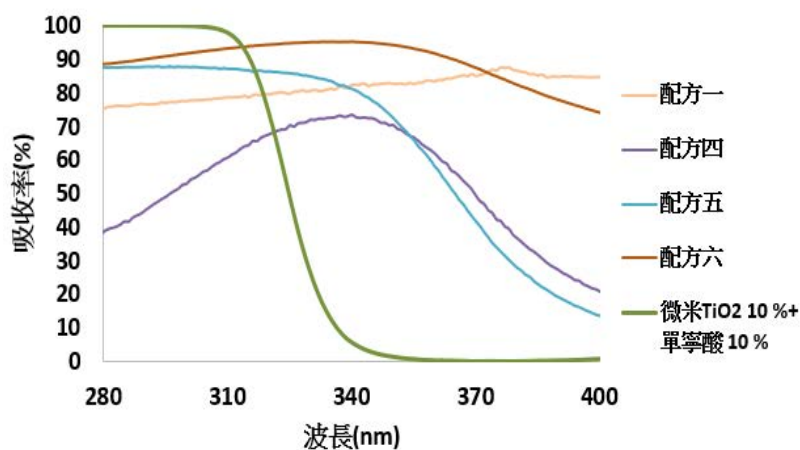
先前實驗中所用的二氧化鈦均為奈米級的，粒子較易分散，能夠提供十分良好的防曬能力，但缺點為較容易流入大海造成汙染及產生過氧化氫，對於珊瑚礁及海洋生物是有危害的。因此我們將奈米級二氧化鈦改成微米級，雖然防曬能力有所下降，但對於環境較沒有負擔。為了彌補替換後缺少的防曬能力，而我們發現單寧酸在 UV-B 具防曬效果，如圖十一，因此選用單寧酸來對於 UV-B 波段進行補強。

由圖十二可以看出，將配方一加入單寧酸改良為配方四，防曬能力明顯下降，而配方三加入單寧酸改良為配方五，對於 UV-B 波段的防曬能力明顯上升。比較氧化鋅 10% 加單寧酸與微米級二氧化鈦 10% 加單寧酸的吸收率可發現微米級二氧化鈦在 UV-B 波段的防曬能力仍然十分優秀，但

在 UV-A 波段幾乎沒有吸收率。因此我們選擇配方六的氧化鋅 10 %加單寧酸 10 %作為我們最佳的自製友善防曬乳。



圖十一、單寧酸紫外線波段吸收光譜圖



圖十二、不同比例防曬物質防曬乳的吸收率光譜圖

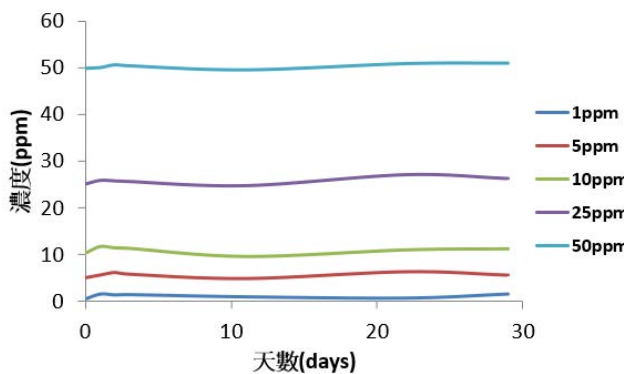
表九、配方表

編號	防曬物質含量		
	ZnO(%)	TiO ₂ (%)	單寧酸(%)
配方一	10	10(奈米)	N/A
配方二	10	2.5(奈米)	N/A
配方三	3.3	16.7(奈米)	N/A
配方四	10	10(微米)	10
配方五	3.3	16.7(微米)	10
配方六	10	N/A	10

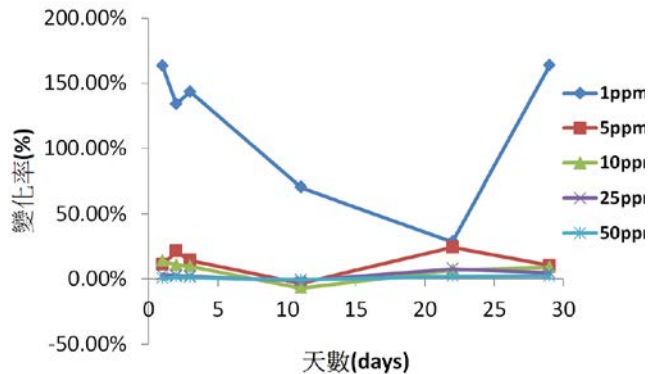
二、實驗二：維生素 B₂ 溶液及維生素 B₆ 溶液穩定度測試與檢量線製作

(一) 維生素 B₂ 溶液吸收度穩定測試

由圖十三可以看出，運用實驗所得的維生素 B₂ 溶液的特徵吸收峰(373 nm) 吸收度和時間的關係，透過觀察圖表來判斷其穩定性。可見其第零天到第三天期間變動幅度較大，而一個禮拜後的吸收度變化趨於平緩。透過將其吸收度藉由該波長檢量線換算可得濃度，用當日濃度減去初始濃度再除以初始濃度即可得出對於初始濃度的濃度變化率，經整理後繪製出，如圖十四，可見隨濃度上升，濃度變化率隨時間的變化越趨於平緩，越不易隨時間使其濃度失真，依其趨勢穩定程度，挑選 25 ppm 和 50 ppm 的維生素 B₂ 作為實驗感光試劑較佳。



圖十三、不同濃度的維生素 B₂ 溶液在 373 nm 特徵吸收峰的穩定度測試圖

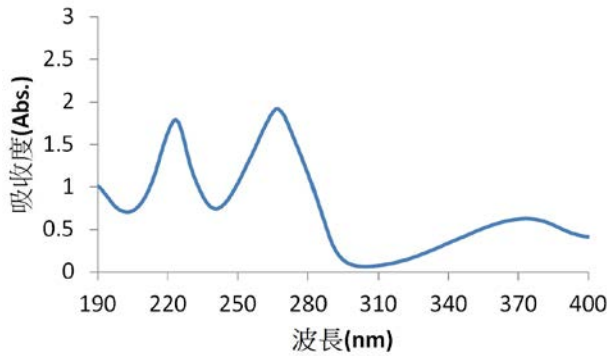


圖十四、各濃度維生素 B₂ 隨天數的濃度變化率圖

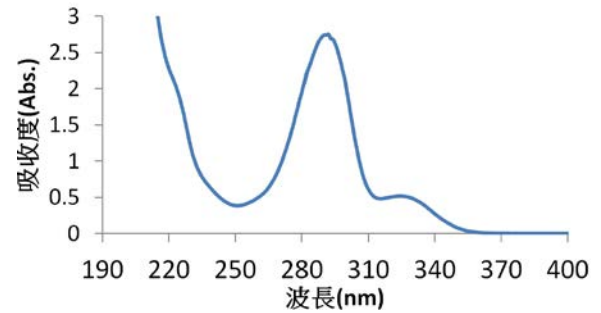
(二) 檢量線製作

運用實驗二所繪製的維生素 B₂ 溶液以及 B₆ 溶液的特徵吸收峰吸收光譜圖，如圖十五、十六所示，特徵吸收峰分別為 373 nm 及 291 nm 製作其兩者檢量線，運用決定係數(R²)的誤差觀察其吸收度的穩定性。在實驗量測過程中，發現 100 ppm 的維生素 B₂ 溶液常常有沉澱發生，於是我們將 100 ppm 的數據點拿掉，再將檢量線進行線性回歸後，所得的決定係數(R²)較趨近於 1，如圖十七，代表其回歸方程式更具可信度，適合作為後續實驗四、五所需的檢量線，於是決定使用範圍落在 0 - 50 ppm 濃度的維生素 B₂ 溶液，作為檢測 UV-A 的感光試劑，並回推其濃度。維生素 B₆ 依照前述作法，在 100 ppm 時發現吸收度超過儀器的檢測範圍，故我們使用 75 ppm 作為檢測 UV-B 的感光試劑所需要的濃度，檢量線如圖十八。

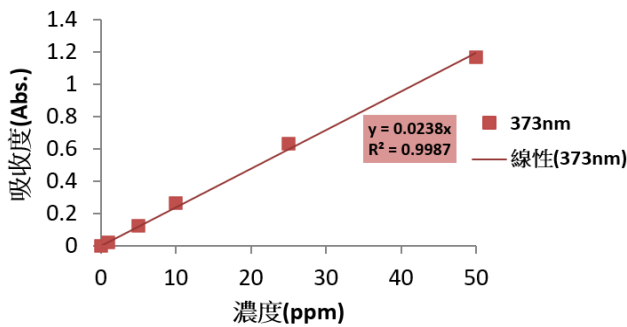
透過檢量線，可將經過光照射過後的維生素 B₂ 或 B₆ 透過分光光度計所測得的吸收度代回檢量線中可求得其濃度，利用此方法及感光試劑照光後分解的特性，使感光試劑照光前後的濃度變化量可以代表為此防曬乳的防曬能力，進而比較不同防曬乳所測得的濃度變化來看出防曬能力的差異。



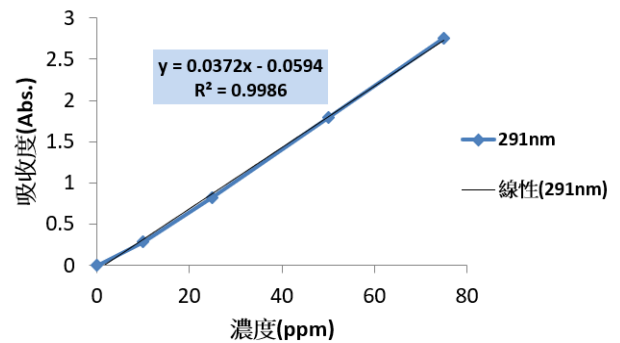
圖十五、25 ppm 維生素 B₂ 紫外線吸收光譜圖



圖十六、75 ppm 維生素 B₆ 紫外線吸收光譜圖



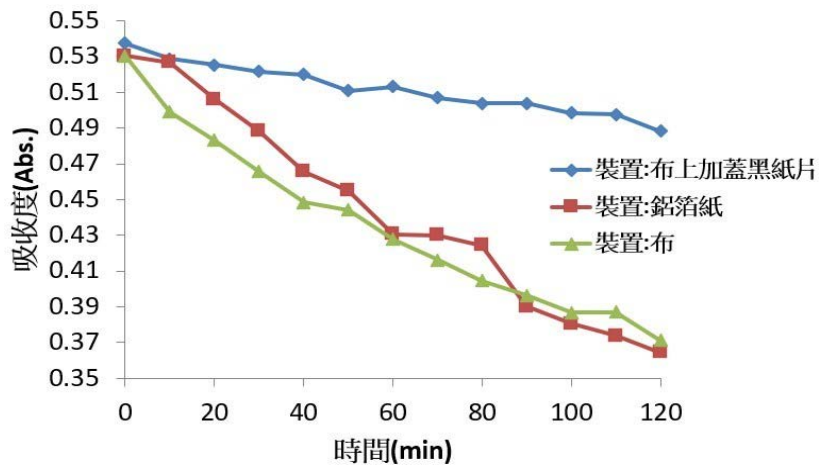
圖十七、0 - 50 ppm 維生素 B₂ 溶液檢量線圖



圖十八、0 - 75 ppm 維生素 B₆ 檢量線圖

三、實驗三：避光材質的不同對吸收度變化的影響

由圖十九可發現，原在 24 well 孔盤周圍使用鋁箔紙避光，後來一次實驗中，發現使用布避光的空白值吸收度，雖與鋁箔紙避光的吸收度變化差異不大，但是在使用防曬乳照光的時候，於特徵吸收峰(373 nm)的吸收度變化中發現，在使用鋁箔紙作為避光裝置時，所有防曬乳經照射 UV-A 時，如表十所示，防曬效果竟低於空白值，對數據產生疑惑，後續討論之；而在用布作為避光裝置時，所有防曬乳經照射 UV-A 時，防曬效果皆高於空白值。而後續裝置又在上方加蓋遮蔽，遮住未進行實驗的孔洞進行照射 UV-A，發現空白值的吸收度下降的更為趨緩。我們將在後續討論中討論是否是避光裝置造成的。

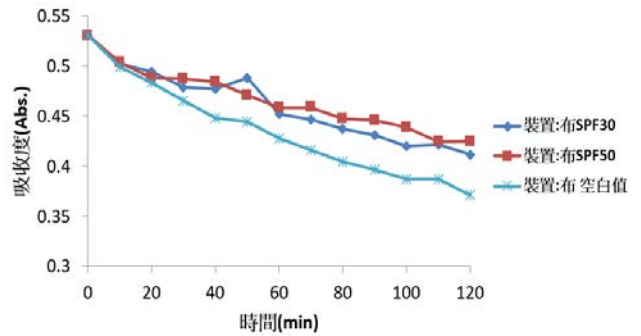
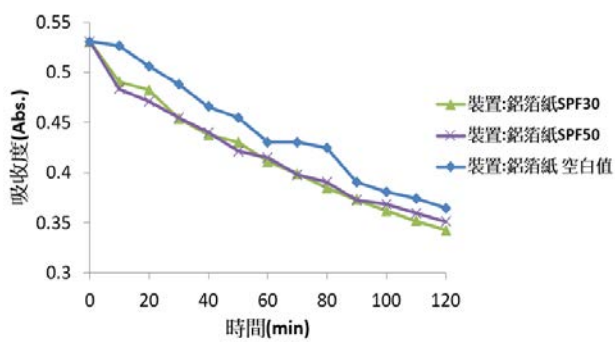


圖十九、空白值在不同裝置照射 UV-A 所得維生素 B₂ 在 373 nm 吸收度變化圖

表十、不同裝置照射 UV-A 所得維生素 B₂ 在 373 nm 特徵吸收峰吸收度變化對照表

用周遭受鋁箔紙避光的裝置進行測量

用周遭受布避光的裝置進行測量

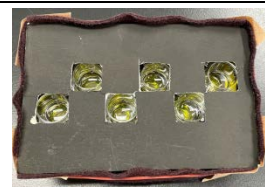
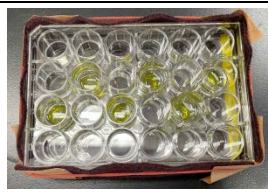


表十一、裝置版本一覽

第一版(裝置 1.0)

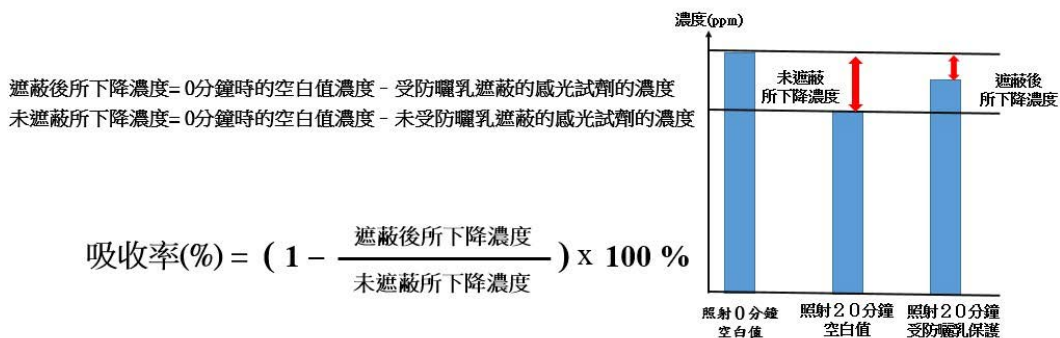
第二版(裝置 2.0)

第三版(裝置 3.0)



四、實驗四：檢測自製與市售防曬乳對於 UV-A 及 UV-B 的防曬能力

當維生素 B₂ 和 B₆ 分別受 UV-A 和 UV-B 照射時，其紫外線波段的吸收度整體均會受到影響。可藉此特性選擇 UV-A 和 UV-B 中的特徵吸收峰，來去觀測其感光試劑照光後的吸收度變化。實驗四中將利用 UV-A 燈管照射維生素 B₂ 和 UV-B 燈管照射維生素 B₆ 觀察其二者的吸收度變化，而取維生素 B₂ 的 373 nm 及 B₆ 的 291 nm 的特徵吸收峰來去觀察照光前後的吸收度差異，進而代回檢量線換算為濃度，再利用吸收率公式，如圖二十所示，觀察其吸收率的變化趨勢可知其防曬能力的變化情形。



圖二十、吸收率公式

(一) 自製與市售防曬乳對於 UV-A(373 nm)的防曬能力

由表十二可看出，配方五與自製友善防曬乳與小牌防曬乳 SPF30 的維生素 B₂ 濃度變化相近。而配方六與配方五的自製友善防曬乳的吸收率均介於和 S 牌防曬乳 SPF50 與小牌防曬乳 SPF30 之間。

觀察吸收率變化圖可知，這四種防曬乳對於 UV-A 防曬能力的維持是穩定的，在照射 UV-A 的 120 分鐘內，吸收率數值均維持穩定。

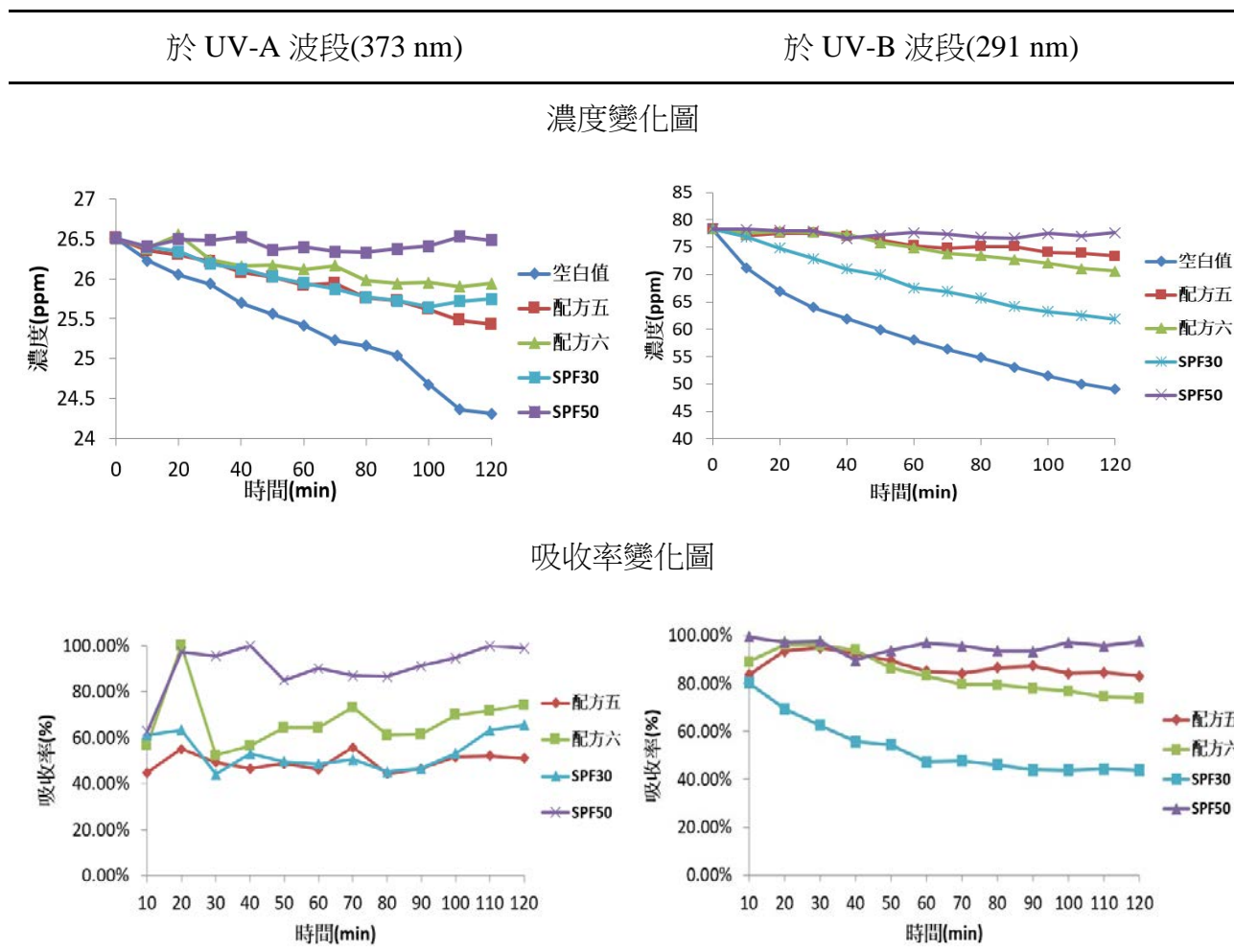
(二) 自製與市售防曬乳對於 UV-B 的防曬能力

由表十二可看出，配方五的自製友善防曬乳濃度變化大於配方六。而配方六與配方五的自製友善防曬乳的吸收率均介於和 S 牌防曬乳 SPF50 與小牌防曬乳 SPF30 之間。

觀察吸收率變化圖可知，除 S 牌防曬乳 SPF50 無明顯下降外，其餘種防曬乳對於 UV-B 防曬能力的維持隨光照時間而穩定下降，在照射 UV-B 的 120

分鐘後，配方五吸收率下降 13.9%，配方六吸收率下降 27.6%，SPF30 吸收率下降 36.5%。

表十二、不同防曬乳照射紫外線光後的濃度及吸收率變化圖

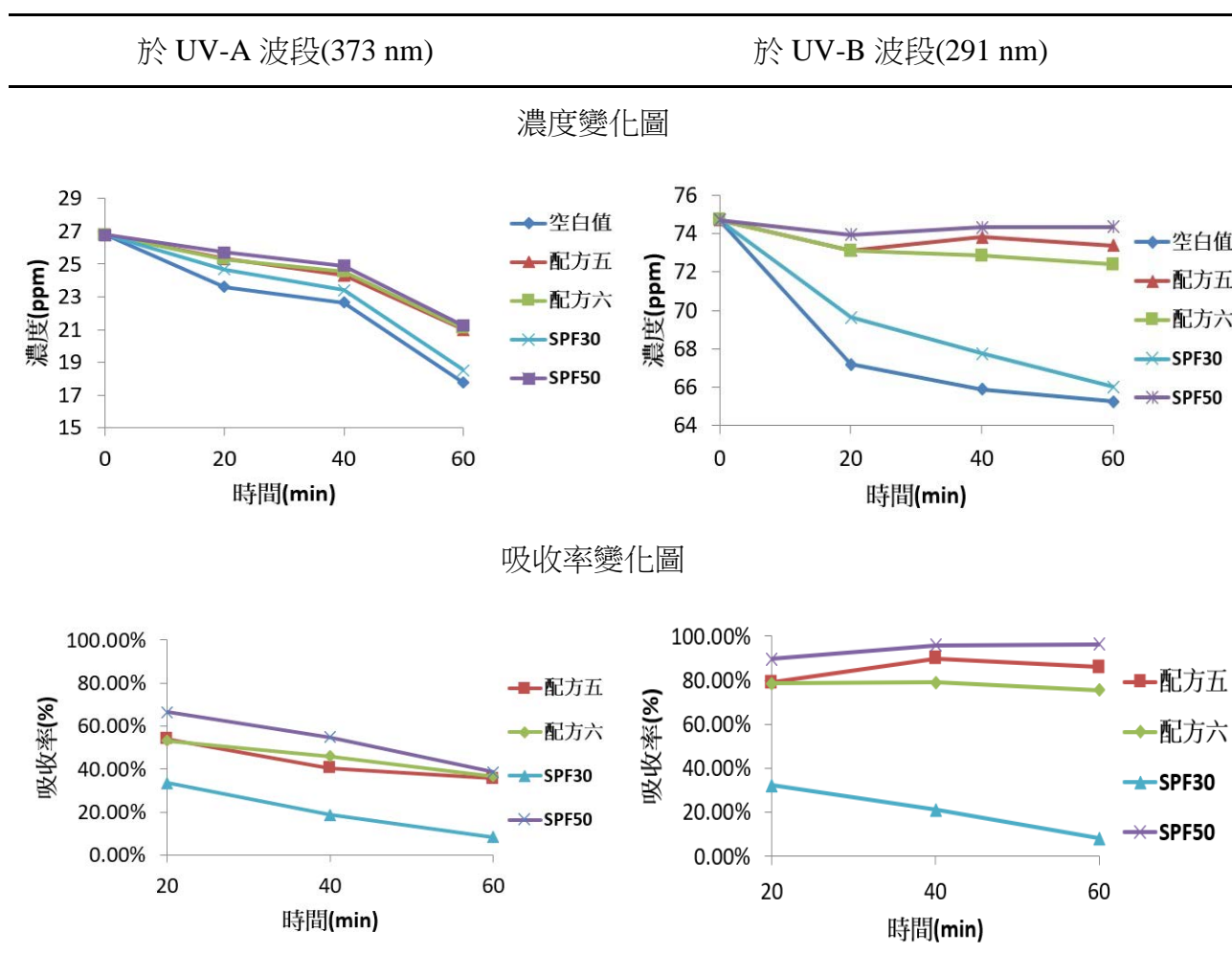


五、實驗五：自製與市售防曬乳對於太陽光的防曬能力檢測

挑選出配方五、而配方六、S 牌防曬乳 SPF50、小牌防曬乳 SPF30 這幾種防曬乳進行太陽光的測試，自製友善防曬加入天然的防曬成分進行防曬能力的加強，接著做更進一步的數據蒐集其受太陽照射下吸收率的變化。將其濃度轉換成吸收率，如圖二十，將其濃度轉換成吸收率變化推測其有效的防曬時長，如表十三。

表十三、不同成份防曬乳在太陽光下照射後各特徵吸收峰濃度與吸收率變化表

(2022/06/13 測量時間：12:00-13:00，紫外線指數：9 資料來源：中央氣象局紫外線歷史資料)



伍、討論

一、實驗一：檢測自製防曬乳吸收光譜圖

(一)防曬物質粒子的分布

由圖八中可以看出，二種防曬物質皆為重量百分濃度 25 % 時，1.0 % 的防曬物質提供的吸收率均為最低，會出現此現象是因為在單位面積中，粒子的濃度過高，使得這些粒子可能重疊而使防曬能力未如預期的和濃度一樣呈現倍數的增加。而我們將添加單一防曬物質，防曬效率最佳的氧化鋅 10 % 與奈米二氧化鈦 2.5 % 混合去比較是希望這些防曬物質的粒子在混合後能夠與其他防曬物質含量較高的防曬乳於表面的粒子分布情形相似，而達到接近的防曬能力，而又不使粒子過度重疊而造成混合後防曬能力的加成性並不明顯，使過多的防曬物質浪費。因此若氧化鋅 10 % 加奈米二氧化鈦 2.5 % 與氧化鋅 10 % 加奈米二氧化鈦 10 % 的吸收率相近，則在考量環境友善以及成本的情況下，前者的防曬物質含量是優於後者的。

而圖十二中配方六的自製友善防曬乳在 UV-A 和 UV-B 波段中的吸收率高於配方四，推測其原因為將奈米級二氧化鈦替換微米級的，主要會使其防曬能力下降的原因為粒子之間會聚集，而其聚集現象導致原本散狀分布的粒子也受其影響，因此吸收率才會比配方一和配方六低。由圖十二中的比較可知，微米的金屬氧化物含量並不是越高吸收率就會越好，因此需要去考慮粒子聚集問題和取得其防曬物質含量之間的平衡才能將防曬能力最大化。

(二)防曬物質吸收光譜

不同防曬物質在 UV-A 和 UV-B 波段中所吸收的波長不同，利用不同防曬物質混合，使吸收峰互補來達到完整吸收 UV-A 和 UV-B 的效果，例如：氧化鋅吸收波段大約位於 340 – 380nm 與二氧化鈦吸收波段大約位於 280 – 340 nm，混合後的防曬波段幾乎涵蓋了全部的 UV-A 和 UV-B。而後續也找到單寧酸於 UV-B 波段中具有吸收度，圖十二中，氧化鋅 10 % 加單寧酸 10 % (配方六) 的吸收率較氧化鋅 10 % 加奈米級二氧化鈦 (配方一) 高，顯示單寧酸在此

自製防曬乳的配方中具有不錯的防曬能力，能夠代替奈米級二氧化鈦。

二、實驗二：維生素 B₂ 溶液及維生素 B₆ 溶液穩定度測試與檢量線製作

(一) 維生素 B₂ 溶液穩定度測試：為確保感光試劑在不照光的情況下也可維持其化學性質，針對初始濃度和吸光能力穩定的而進行實驗，根據實驗結果可以在其在陰涼避光處保存下具有維持吸收度的穩定性，而於第 50 天及第 100 天檢測其吸收度，同樣與第 29 天檢測的吸收度相近，顯示維生素 B₂ 溶液穩定度符合本次實驗對於感光試劑之要求。

(二) 維生素 B₂ 於水中的溶解度為 125 ppm，在配置 1 ppm、5 ppm、10 ppm、25 ppm、50 ppm、100 ppm 製作之檢量線中發現，決定係數(R²)約在 0.9987，同時在實驗中觀察到維生素 B₂ 容易析出，沉澱至容量瓶底部，在檢測其吸收度前，需反覆使用超音波震盪機。我們實驗前曾經參考其他創意競賽的實驗操作，使用為 47.5 ppm 但是並沒有說明原因，於是我們進行此次實驗，確認當維生素 B₂ 濃度介於 0 - 50 ppm 時，決定係數(R²)接近於 1，如圖十七，同時觀察圖十四，在多種濃度中選擇吸收度變化最小的 25 ppm、50 ppm 作為檢測 UV-A 的感光試劑以測試自製防曬乳之防曬能力較為適合，又因 50 ppm 容易沉澱，故後續選擇 25 ppm 作為感光試劑。維生素 B₆ 於水中溶解度為 2000 ppm，配置 100 ppm、125 ppm、250 ppm、500 ppm、1000 ppm、2000 ppm 得分別的全光譜圖，發現維生素 B₆ 在紫外線光區具有吸收度，但超出儀器所能偵測範圍，故再配置 1 ppm、5 ppm、10 ppm、25 ppm、50 ppm、75 ppm 製作其檢量線，決定係數(R²)約在 0.9986，如圖十八所示，而我們選擇特徵吸收峰最為明顯的 75 ppm 作為檢測 UV-B 的感光試劑。

(三) 維生素 B₂ 溶液在 UV-B 波段(311 nm)、UV-A 波段(365 nm)照射下，發現吸收度在 UV-B 波段(290 nm)的情況下，發生不規則跳動，維生素 B₂ 在 373 nm 有特徵吸收峰，但是在 UV-B 波段其中 300 - 312 nm 區段，吸收度很低，於是本次實驗我們因為設備尚無法買到 290 nm 的紫外線燈管，因此往

後實驗，我們針對 UV-A 的紫外線燈管(365 nm)，進行實驗操作。後來也查找到說明維生素 B₂ 在照射 UV-B 後並無明顯變化的文獻[8]，還有提及維生素 B₆ 在 UV-B 具有特徵吸收峰且照射 UV-B 後吸收度會明顯下降。故我們防曬乳對於 UV-B 的防曬能力使用維生素 B₆ 來檢測。

三、實驗三：避光材質的不同對吸收度變化的影響

實驗前期測量防曬能力的裝置，運用鋁箔紙包住孔盤藉此阻擋無通過防曬乳的光對於感光試劑造成影響。在實驗過程中市售防曬乳和空白值的吸收度變化趨勢相近，因此重新審視實驗流程，發現裝置正上方照射防曬乳的紫外線，可能會從其他孔洞進入孔盤內部再被底下的鋁箔紙反射，而對維生素 B₂ 溶液造成影響，使得其二者的吸收度變化趨勢相近。經改良後，我們假設將鋁箔紙改為布，使光線可以經由布全部吸收，不會因反射而影響到維生素 B₂ 溶液。如表十，我們觀察到在特徵吸收峰 373 nm 下，周圍包裹鋁箔紙的裝置，防曬乳的吸收度會低於空白值，而周圍包裹布的裝置，防曬乳的吸收度則會高於空白值，符合我們一開始假設。但我們將兩者裝置的空白值作比較，如圖十九，我們發現兩者空白值吸收度變化差異不大，甚至包裹鋁箔紙的裝置吸收度較高，所以我們又對裝置再進行一次改良。我們猜測實驗裝置在紫外線燈管照射下仍有紫外線會由無進行實驗的孔洞中影響到其正在實驗的孔洞，若全部孔洞皆進行實驗仍然會有部份紫外線由孔盤邊緣與孔洞之間的縫隙影響感光試劑，因此將實驗的孔洞不與另一個實驗孔洞接觸，加上一個上蓋遮住無進行檢測的孔洞，作為第三版的實驗裝置，如表十一。加蓋後裝置所測得空白值吸收度明顯高於先前兩種版本的裝置，因此可推測紫外線是會從孔洞間縫隙與無實驗的孔洞中去影響到感光試劑，在後續實驗中均用裝置 3.0 進行檢測。

四、實驗四：檢測自製與市售防曬乳對於 UV-A 及 UV-B 的防曬能力

在討論防曬能力時，分成 UV-B 波段(280 - 320 nm)及 UV-A 波段(320 - 400 nm)兩種。而在維生素 B₂和維生素 B₆的吸收光譜圖當中出現了二個特徵吸收峰值，分別是 373 nm、291 nm，透過照光前後的吸收度變化對應到 373 nm 和 291

nm 的檢量線則可去代表防曬乳對於 UV-A 及 UV-B 的吸收能力。

(一) 自製與市售防曬乳對於 UV-A 的防曬能力

由表十二可看出，配方五的自製友善防曬乳與小牌防曬乳 SPF30 的維生素 B₂ 濃度變化相近，推論二者防曬能力相近。而配方六與配方五的自製友善防曬乳的吸收度介於和 S 牌防曬乳 SPF50 與小牌防曬乳 SPF30 之間，可推測其二者對於 UV-A 防曬能力高於 SPF30。自製友善防曬乳與市售防曬乳對於 UV-A 防曬能力的關係為 SPF50 最佳，其次配方六，再者配方五優於 SPF30。

觀察吸收率變化圖可知，這四種防曬乳對於 UV-A 防曬能力的維持是優秀的，在照射 UV-A 的 120 分鐘內，吸收率數值均維持穩定，推測自製友善防曬乳與市售防曬乳能夠維持較久防曬能力的原因為防 UV-A 波段的主要成分為氧化鋅，為物理性防曬，較不受光照所影響其防曬能力。

(二) 自製與市售防曬乳對於 UV-B 的防曬能力

由表十二可看出，配方六的自製友善防曬乳濃度變化大於配方五，進而推論其配方五對於 UV-B 防曬能力優於配方六。而兩種的自製友善防曬乳的吸收度均介於和 SPF50 與 SPF30 之間，可推測其二者對於 UV-B 防曬能力皆高於 SPF30。自製友善防曬乳與市售防曬乳對於 UV-B 防曬能力的關係為 SPF50 最佳，其次配方五，再者配方六優於 SPF30。

觀察吸收率變化圖可知，除 SPF50 無明顯下降外，其餘種防曬乳對於 UV-B 防曬能力的維持隨光照時間而穩定下降，在照射 UV-B 的 120 分鐘後，配方五吸收率下降 13.9%，配方六吸收率下降 27.6%，SPF30 吸收率下降 36.5%，推測自製友善防曬乳防曬能力穩定下降的原因為防 UV-B 波段的主要成分為二氧化鈦與單寧酸，二氧化鈦為物理性防曬，較不受光照所影響其防曬能力，而單寧酸為化學性防曬，會因為光的照射而使其分解，進而使防曬能力下降。

五、實驗五：自製防曬乳對於太陽光的防曬能力檢測

由表十三得出，將其各波長的濃度變化圖利用上述所提到的吸收率進行換算與作圖，觀察兩張各波長吸收率隨時間變化圖可知，在照射太陽光 60 分鐘後，其四種防曬乳的吸收率在 UV-A 皆呈現遞減，在 UV-B 除 SPF30 外其餘皆呈現穩定，而這個結果與我們在實驗室中用燈管照射所得到的吸收率變化結果不同，推測出現不同結果的原因：太陽光照射與燈管照射的光強度不同而導致，雖太陽光光源中，UV-B 的能量較高，但紫外線中因大多的 UV-B 會被臭氧層阻擋，UV-A 的輻射能量高於 UV-B 20 倍以上[5]，因此總體的能量 UV-A 大於 UV-B 許多，加上若是太陽光的 UV-A 總體能量高於燈管，而燈管的 UV-B 總體能量高於太陽光，就會出現此結果，將會以 UV-A、UV-B 偵測器確認。

由目前結果推論可知，配方五與配方六中的單寧酸與 SPF50 中 Octocrylene 皆為化學性防曬，從表十三看出受太陽照射下防曬乳可能會因 UV-A 使其防曬成分產生分解或變質，造成防曬能力下降，因此得出這四種自製防曬乳塗抹後需於一小時後補充塗抹較能有效保護皮膚。而觀察其市售防曬乳吸收率的下降趨勢與自製防曬乳作比較，發現用配方六作為防曬物質的防曬能力最佳，吸收率大於 SPF30 的市售防曬乳，趨近於 SPF50。

而氧化鋅 10 % 與單寧酸 10 % 作為防曬物質的自製友善防曬乳其二者分別測試均具有一定的防曬效果，而防曬物質相加後，其防曬能力完整包覆了 UV-B 及 UV-A，但容易受太陽光照射而影響防曬能力，在未來研究中會加入其他種類的友善防曬物質，期望能減緩防曬能力流失的速度，同時也期望提供一定的防曬效果。

另外發現在台灣的紡織企業中，將前處理後之咖啡渣加入織線之咖啡紗，製成衣料時也具有防曬效果，雖屬特殊專利，但發現是因其中成分物質，對於 UV 波段的光，有吸收度，期許未來將其加入自製的防曬乳中，增添競爭力。

六、自製友善防曬乳最佳的防曬成分比例

觀察圖十二可知，氧化鋅添加含量濃度多於重量百分濃度 10 % 則對於防曬效果增強無明顯效果，所以對於防曬乳單一防曬成分濃度可不必過於增加，而是去選擇更多種類的防曬成分來使得防曬乳具有更寬廣的防曬波段，在友善防曬乳的製作上可藉由減少過多的防曬物質而得到更高的環保效能。經過實驗一，自製防曬乳的篩選和調整，得出具有一定防曬效果也有不錯的環保效能的防曬成分為：氧化鋅 10 % + 單寧酸 10 %。

七、自製友善防曬乳最佳的防曬成本比較

在價格方面我們自製的配方六 1 mL 要價約 3.1 元，而 S 牌每 1 mL 要價約 6.6 元，雖配方六防曬能力不如 S 牌，但在製作過程中也可以確保無添加對身體有害的物質，以及不會造成太大的環境傷害，因此在考慮環境以及人體危害方面前者為最佳，且價格一般民眾也可以負擔。

陸、結論

- 一、實驗一氧化鋅、二氧化鈦在重量百分濃度 10 % 時，所提供的吸收率逐漸趨緩，故氧化鋅、二氧化鈦在重量百分濃度 10 % 為該物質的防曬能力的臨界點，作為我們找尋防曬物質添加的重量百分比之邊界條件。
- 二、在實驗一，氧化鋅 10 % 加單寧酸 10 % 的吸收率在所有自製友善防曬乳中效果最佳，且單寧酸的防曬效應可補足沒有使用二氧化鈦之防曬能力，可達到 SPF30 以上的防護能力，同時也因其化學性防曬特性具有海洋友善之條件。
- 三、維生素 B₂ 溶液在避光保存的情況下，配置後 0 - 30 天內光譜吸收度沒有明顯變化，依照實驗持續追蹤至一百天，吸收度仍然無明顯變化，顯示維生素 B₂ 溶液作為照光的檢測試劑，是非常穩定的。
- 四、維生素 B₂ 溶液作為檢測 UV-A 感光試劑的濃度選擇，依據檢量線，發現當維生素 B₂ 溶液落在 0 - 50 ppm 的範圍下，檢量線之決定係數(R²)趨近於 1，且因為在實驗過程中發現 50 ppm 濃度，仍會隨著時間增長，在孔盤有析出的現象，且 25 ppm 對於我們偵測的穩定度中最佳，故本實驗選擇 25 ppm 的維生

- B₂溶液作為感光試劑，則維生素 B₆作為檢測 UV-B 感光試劑的濃度選擇，是依據分光光度計偵測吸收度範圍僅能至 75 ppm，且 0 - 75ppm 的範圍下，檢量線之決定係屬(R²)最趨近於 1，因此選擇 75ppm 的維生 B₆ 溶液作為感光試劑。
- 五、實驗中的意外發現，裝置若以鋁箔紙作為孔盤周遭的避光裝置，可能仍會使感光試劑受到反射光影響，導致數據容易被干擾，將鋁箔紙改成布，則發現所有的防曬乳的吸收度數據，皆高於空白值，展現出不同的防曬能力。而後續又進行了對於上方加蓋的改良使其實驗中的感光試劑不受未檢測的孔洞中所照入之紫外線影響，後續實驗裝置皆會以改良的裝置進行實驗。裝置版本，如表九。
- 六、運用單寧酸作為防曬物質的自製防曬乳對於太陽光具有一定的的防曬能力效果，但容易因單寧酸裂解使防 UV-B 能力下降。而自製防曬乳與市售防曬乳皆會因為照射太陽光而使其防曬能力下降，觀察吸收率變化圖可得塗抹自製與市售防曬乳一小時後，應補充塗抹才能夠維持較完整的防曬效果。
- 七、目前實驗進度，雖自製的防曬乳能夠相近於市售防曬乳的防曬能力，但較無法維持環保的防曬物質的防曬能力。同時發現部分廠商在外包裝標明海洋友善標章時，仍有添加部分成分：Octocrylene，在海洋標章建議從 10 % 降至 9.0 %，此次市售的產品中為 8.0 %，但由文獻查找發現對海洋仍有微量傷害的影響，希冀未來我們可以持續進行實驗研究，將為尋找更多對海洋友善且在防曬能力尚可維持的成分而持續努力。
- 八、單位容量價格方面，自製的配方六要價約 3.1 元/mL，雖價格較小牌(SPF30)要價約 2.0 元/mL 來得高，但防曬能力較其來得優；然而，此自製防曬乳防曬能力雖然比 S 牌(SPF50)，表現略為遜色，但要價卻比 S 牌(SPF50)6.6 元/mL，來得便宜。自製友善防曬乳中，雖無法同時在價格及防曬能力皆位於第一位，但在製作過程中可以確保添加對身體傷害較小且對海洋環境友善的物質，因此考慮環境及人體的安全性，且價格一般民眾可以負擔的情況下，本實驗之自製友善防曬乳，若公告配方後，可以普及大眾化且未來若添加其他可回收利用處理之物質(例如咖啡渣)，此自製產品對環境友善具有前瞻性與競爭力。

柒、參考文獻資料

- 一、陳彥廷等（2020）。防曬乳與海洋。全國中小學小論文作品。
- 二、莊巖翔等（2020）。決剩 Food,這「咖」油夠厲害—咖啡渣油抗紫外線效果之 研究。全國中小學科展作品。
- 三、鄭如繪（2009）。應用奈米二氧化鈦及氧化鋅於美白防曬乳液之研究。國立屏東教育大學應用化學暨生命科學所碩士學位論文。
- 四、John, P., & Martin, B.(2010) A Review of Heat-reflective Paints. *Solar2010, the 48th AuSES Annual Conference 1-3 December 2010, Canberra, ACT, Australia.*
- 五、de Gruijl F. R. (2002). Photocarcinogenesis: UVA vs. UVB radiation. *Skin pharmacology and applied skin physiology, 15(5), 316–320.*
- 六、Reinosa, J. J. (2016) Enhancement of UV absorption behavior in ZnO–TiO₂ compositesMejora del comportamiento de absorción de UV en materiales compuestos ZnO–TiO₂. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 55(2), 55-62.*
- 七、Gwak, M. A., Hong, B. M., & Park, W. H. (2021). Hyaluronic acid/tannic acid hydrogel sunscreen with excellent anti-UV, antioxidant, and cooling effects. *International journal of biological macromolecules, 191, 918–924.*
- 八、Natera, J. (2012). The role of vitamin B6 as an antioxidant in the presence of vitamin B2-photogenerated reactive oxygen species. A kinetic and mechanistic study. *Photochemical & Photobiological Sciences, 11, 938–945.*
- 九、Knak, A., Regensburger, J., Maisch, T., & Bäumlner, W. (2014). Exposure of vitamins to UVB and UVA radiation generates singlet oxygen. *Photochemical & photobiological sciences : Official journal of the European Photochemistry Association and the European Society for Photobiology, 13(5), 820–829.*
- 十、Gasparro, F. P., Mitchnick, M., & Nash, J. F. (1998). A review of sunscreen safety and efficacy. *Photochemistry and photobiology, 68(3), 243–256.*

【評語】 050211

在本研究中，同學們透過研究不同成分的紫外光吸收以及混和不同成份來自製防曬乳，雖然只是一個生活化的課題，但同學們利用科學方法的研究來定性且定量的了解防曬乳的組成以及如何藉由系統化的研究，來提升效率。希冀透過科學原理尋找最佳條件亦可成為友善防曬乳(奈米級二氧化鈦改成微米級)的主力成分。有實際應用價值。然而，像這類的題目，需要結合一些原物料價錢的計算及題材新穎性的驗證，才能夠提升研究的實際價值。除了防曬乳，鼓勵同學可以去思考附加價值更高的日用產品。下面的一些建議供學生參考：

1. 採用的材料為已知防曬材料，且經由購買所得，非自行合成，只是調配比率，稍嫌簡單。
2. 由表十二可看出，配方五與自製友善防曬乳與小牌防曬乳 SPF30 的維生素 B2 濃度變化相近。而配方六與配方五的自製友善防曬乳的吸收率均介於和 S 牌防曬乳 SPF50 與小牌防曬乳 SPF30 之間。並無進步性。

作品簡報

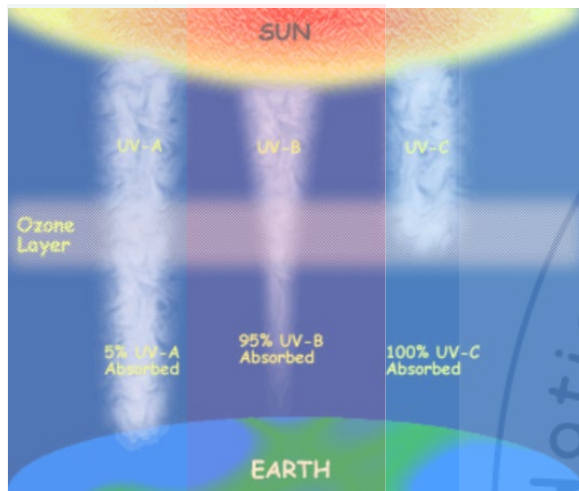
專屬防護-友善防曬乳之研發與探討

組別：高級中等學校組
科別：化學科



研究動機

UV波段：100nm-400nm



UV-A波段 (320-400nm) UV-B波段 (280-320nm) UV-C波段 (100-280nm)

(Credit : University of Alaska)

曬黑 曬傷

防曬係數
(Sun Protection Factor, SPF)

$$SPF = \frac{\text{使用防曬產品，皮膚被曬傷所需的時間}}{\text{未使用防曬產品時，皮膚被曬傷所需的時間}}$$

延後肌膚被曬傷的時間

Ex：使用防曬產品後30分鐘被曬傷，未使用1分鐘被曬傷， $SPF = 30/1 = 30$ ， \rightarrow 肌膚被曬傷的時間「延長30倍」

曬黑指數(Protection Grade of UV-A, PA)/
(Persistent Pigment Darkening, PPD)

$$PPD = \frac{\text{使用防曬產品，皮膚被曬黑所需的時間}}{\text{未使用防曬產品時，皮膚被曬黑所需的時間}}$$

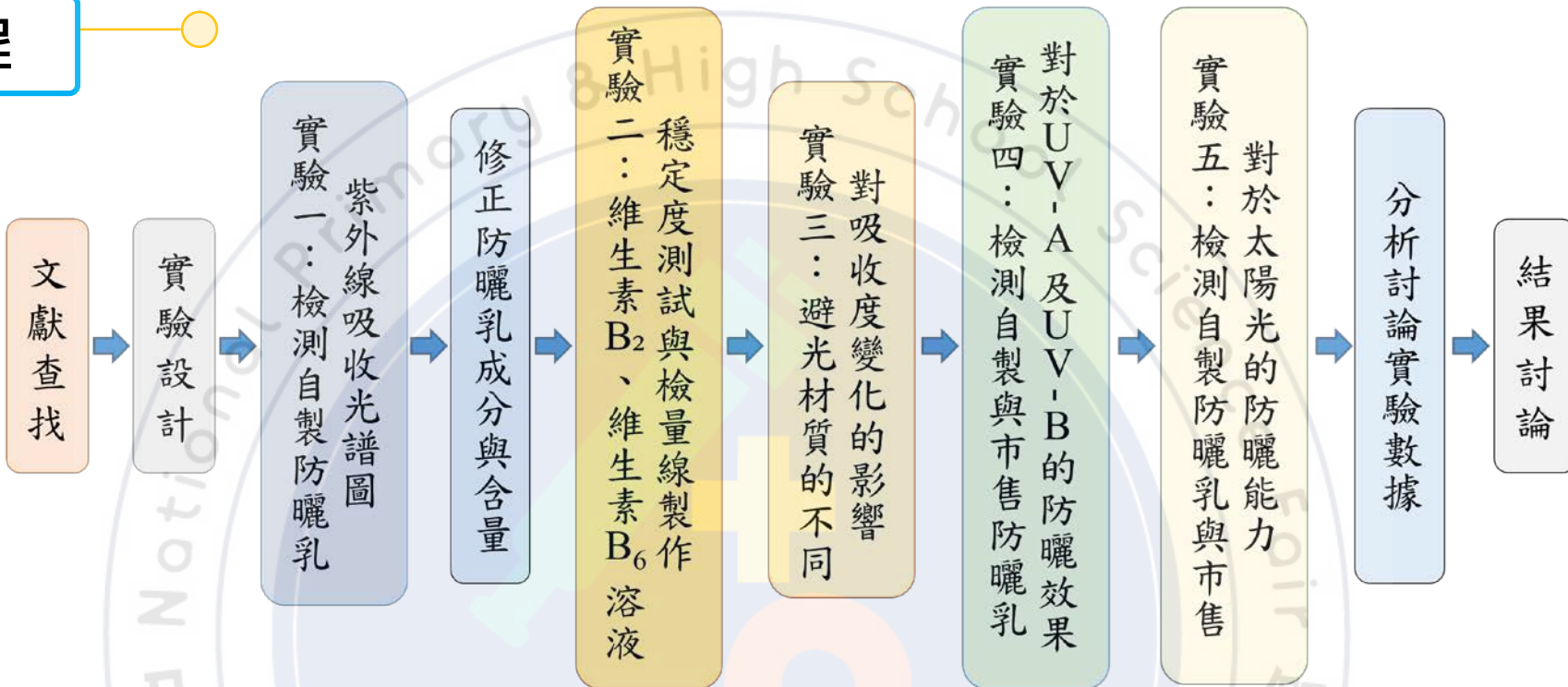
延後肌膚被曬黑的時間

PA+	PA++	PA+++	PA++++
PPD 2-4	PPD 4-8	PPD 8-16	PPD 16+

研究目的

- (一) 檢測自製防曬乳吸收光譜圖。
- (二) 探討維生素B₂及B₆作為用來檢測防曬能力之穩定性及適合檢測之濃度。
- (三) 探討檢測防曬能力裝置所用的避光材質對檢測樣品的影響。
- (四) 探討自製防曬乳在UV-A(365 nm)與UV-B(311 nm)紫外線燈管照射下的防曬情況
- (五) 探討自製防曬乳在太陽光照射下的防曬能力的變化。

實驗流程



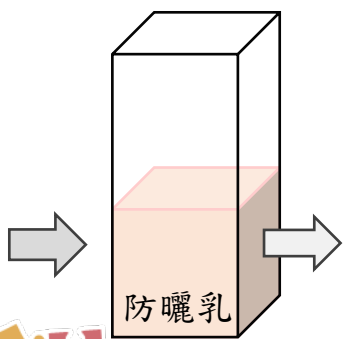
實驗一

實驗二

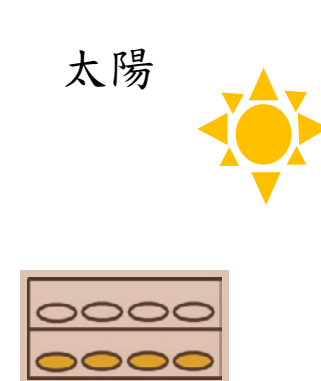
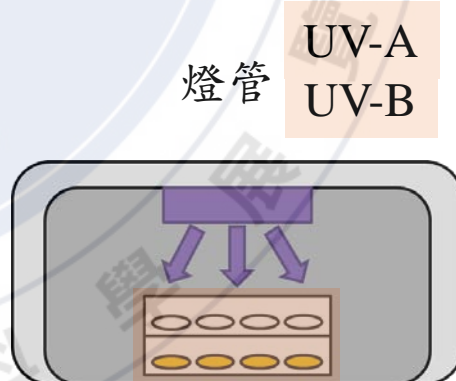
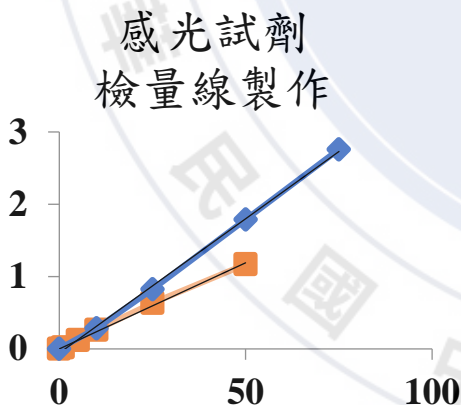
實驗三

實驗四

實驗五



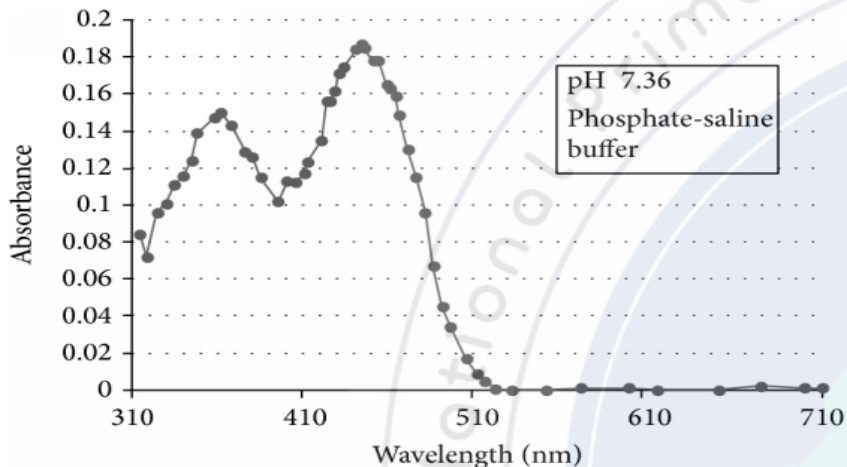
防曬能力



文獻回顧

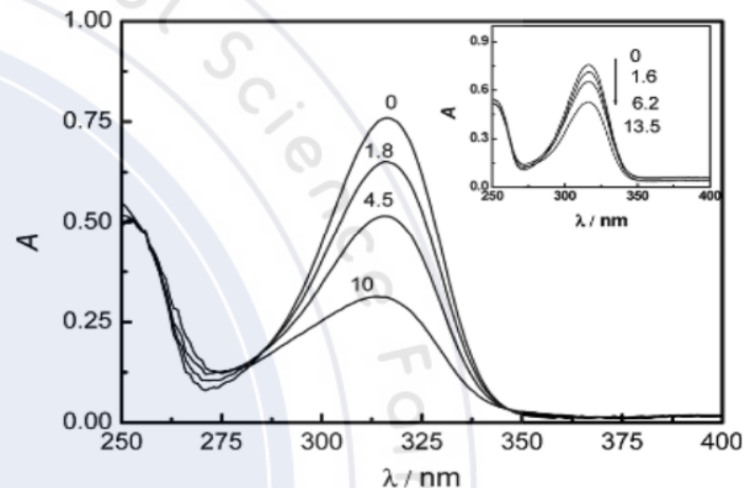
維生素B₂(Vitamin B₂)

Int Sch Res Notices (2014)



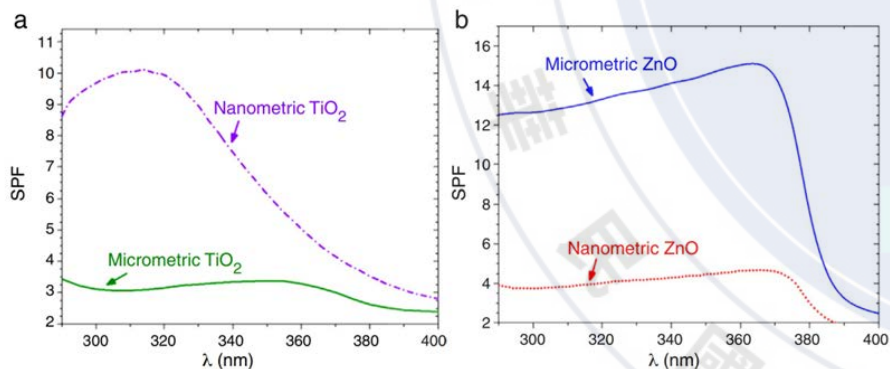
維生素B₆(Vitamin B₆)

Photochem Photobiol Sci (2012)



二氧化鈦(TiO₂)、氧化鋅(ZnO)

ACS ES T Eng (2014)

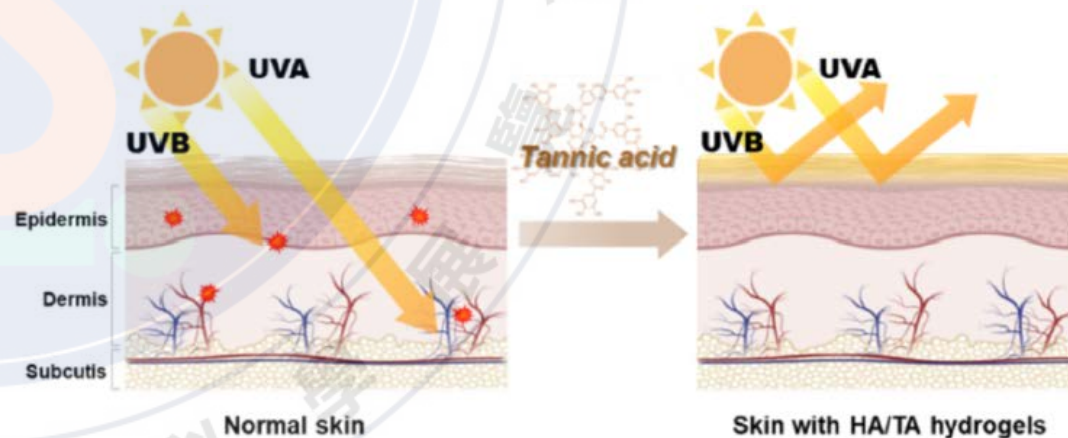


奈米等級的TiO₂、ZnO，在UV的照射下
 →產生大量的過氧化氫(H₂O₂)，強氧化劑
 →對海洋浮游植物產生危害



單寧酸(Tannic acid, C₇₆H₅₂O₄₆)

INT J BIOL MACROMOL (2021)



抗UV能力

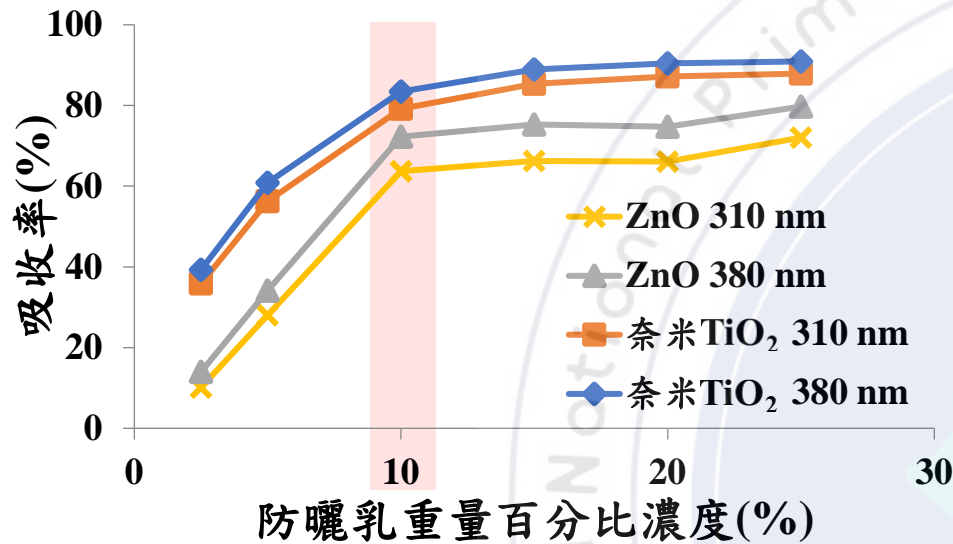
抗氧化能力

降溫效應

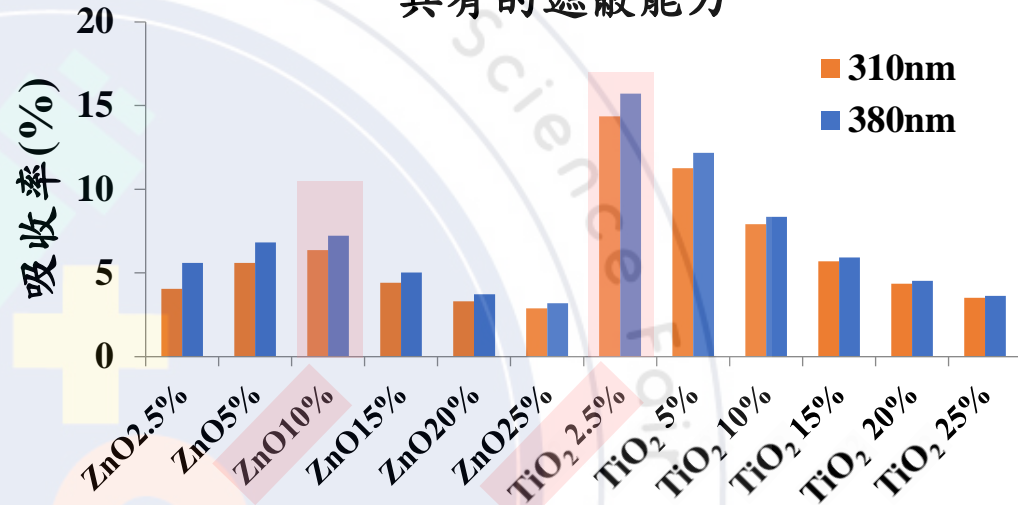
研究結果與討論(1)

實驗一：檢測自製防曬乳吸收光譜圖

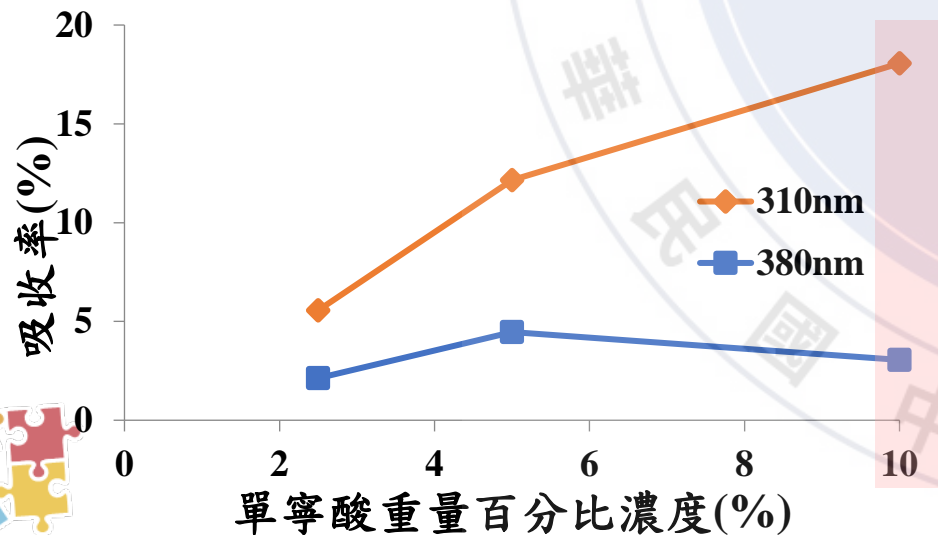
不同濃度防曬物質提供的吸收率



不同波長下不同防曬乳每1%防曬物質具有的遮蔽能力



不同濃度單寧酸防曬乳的吸收率

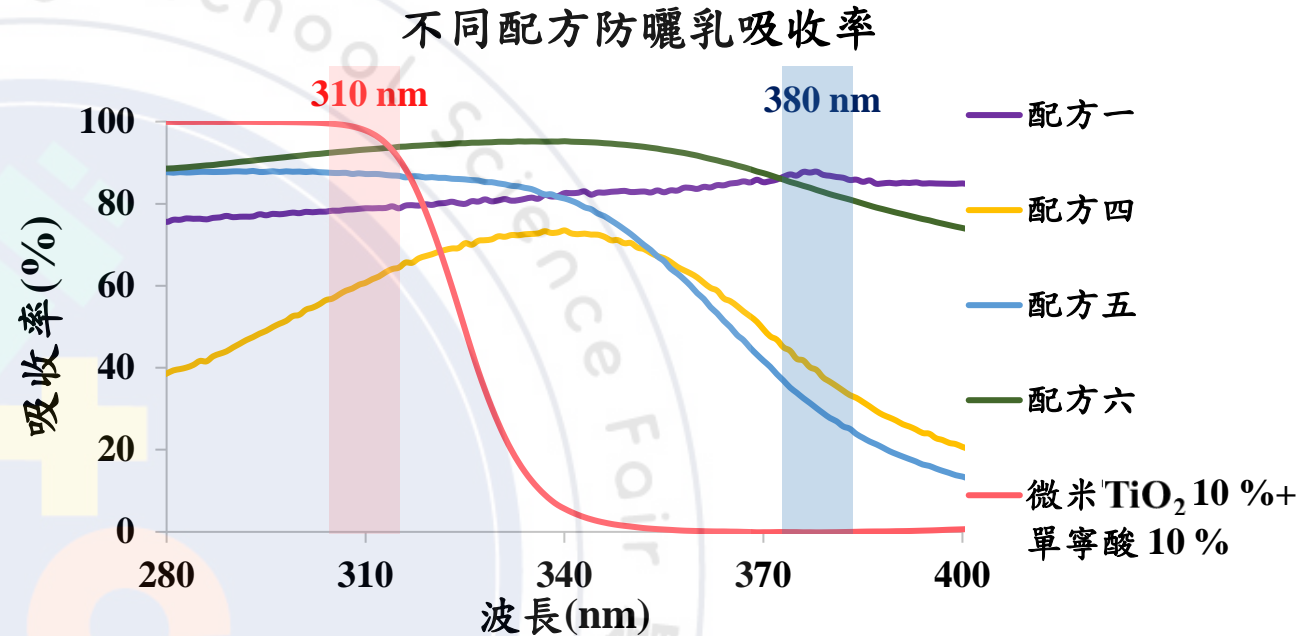
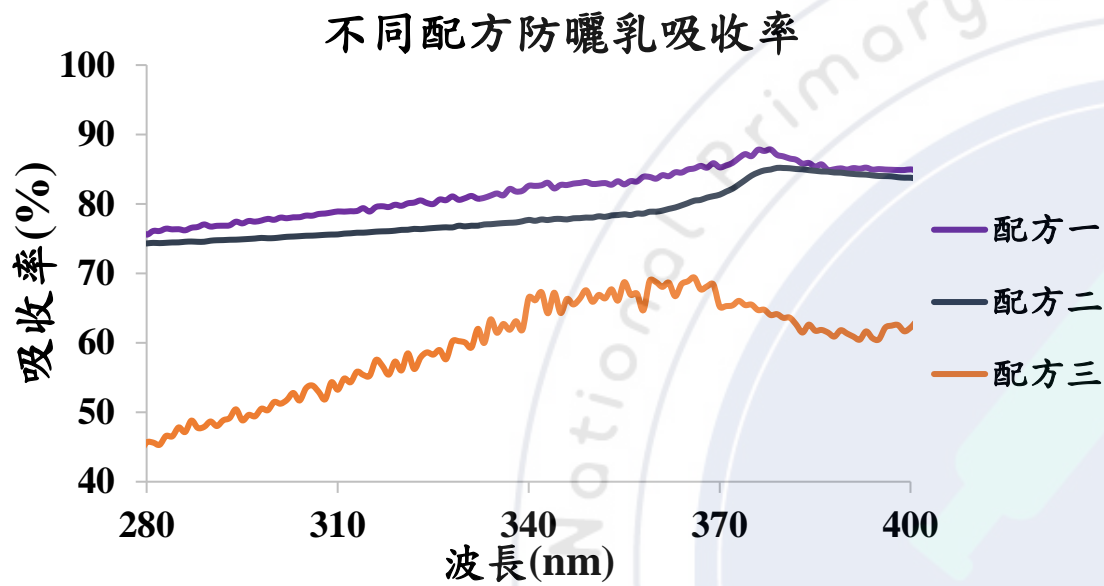


1. 取波長**310 nm** 與 **380 nm** 的吸收率
→ 對應 **UV-B** 與 **UV-A** 的防曬能力。
2. 再增加 ZnO、奈米級 TiO₂ 10% 之含量
→ 吸收率無明顯上升 → 邊界條件
3. 單寧酸在 UV-B (**310 nm**) 具有最佳防曬能力。

➤ 以物理量角度探討防曬能力
→ 1.0% 的防曬物質具有的遮蔽

研究結果與討論(2)

實驗一：檢測自製防曬乳吸收光譜圖



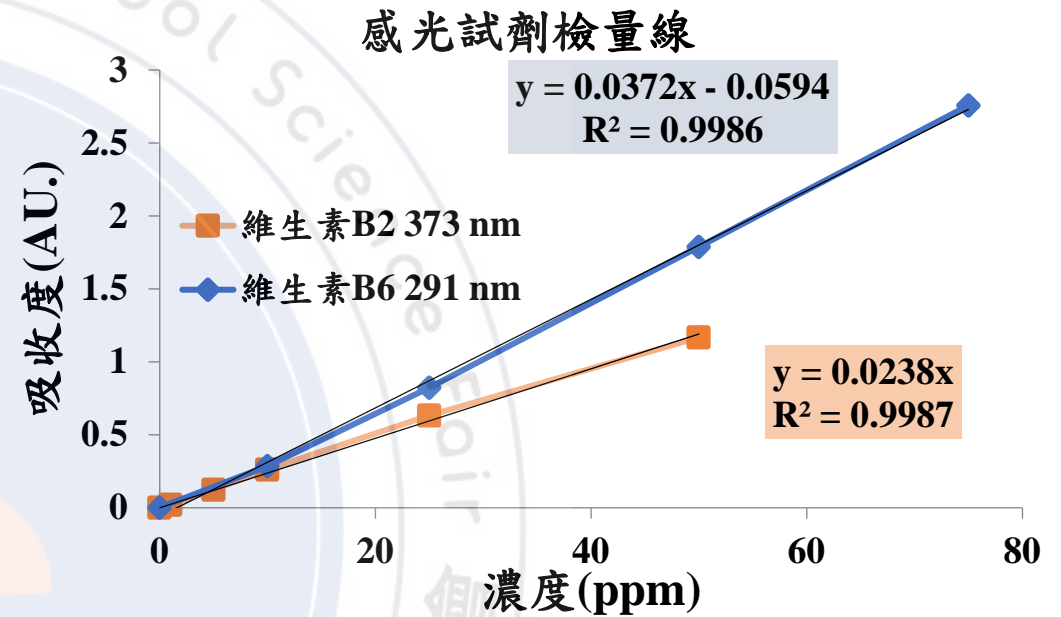
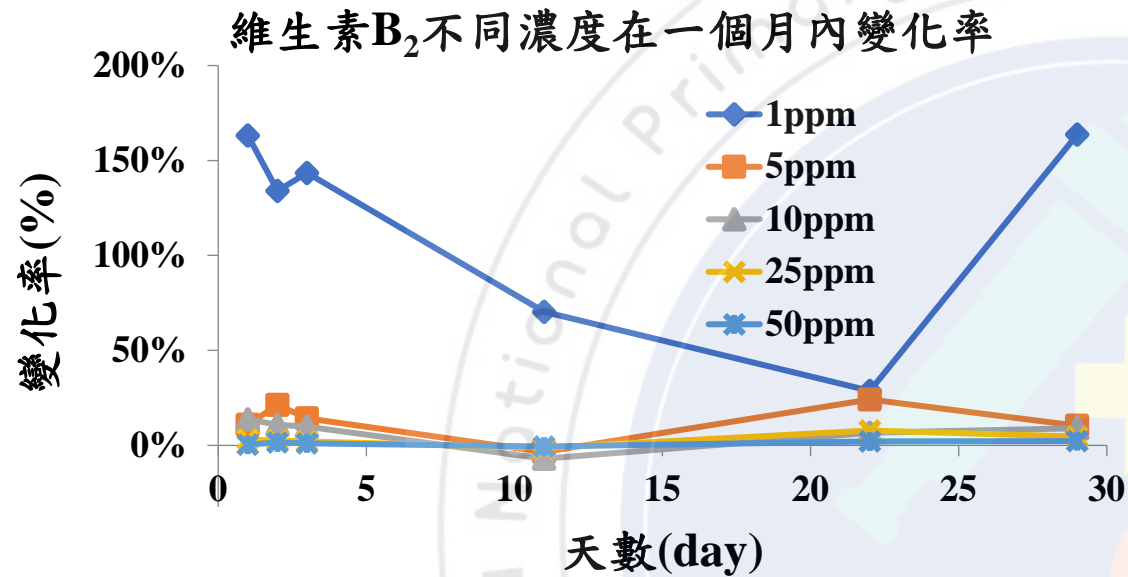
防曬乳配方

編號	防曬物質含量		
	ZnO(%)	TiO ₂ (%)	單寧酸(%)
配方一	10	10(奈米)	N/A
配方二	10	2.5(奈米)	N/A
配方三	3.3	16.7(奈米)	N/A
配方四	10	10(微米)	10
配方五	3.3	16.7(微米)	10
配方六	10	N/A	10

吸收率：配方六 > 配方一

配方五、六(單寧酸、微米TiO₂)防曬能力較佳

選擇配方五、六進行太陽光下防曬能力檢測。



感光試劑濃度上的選擇

維生素B₂：**25 ppm**

吸收度變化小且不易析出的作為感光試劑。

維生素B₆：**75 ppm**

吸收度最高的特徵吸收峰作為感光試劑。

以檢量線轉換成濃度
→ 濃度變化(防曬能力)

研究結果與討論(4)

實驗三：避光材質的不同對吸收度變化的影響

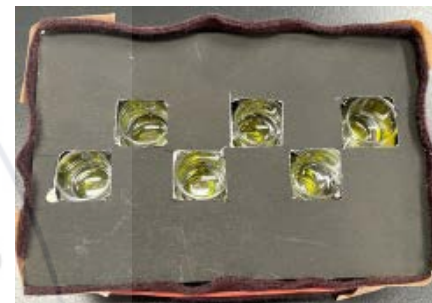
使用鋁箔紙避光



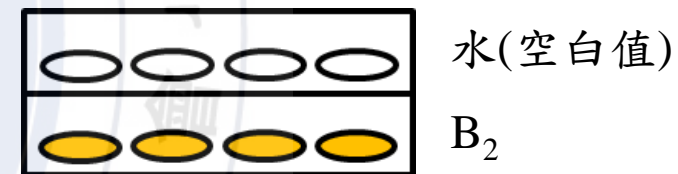
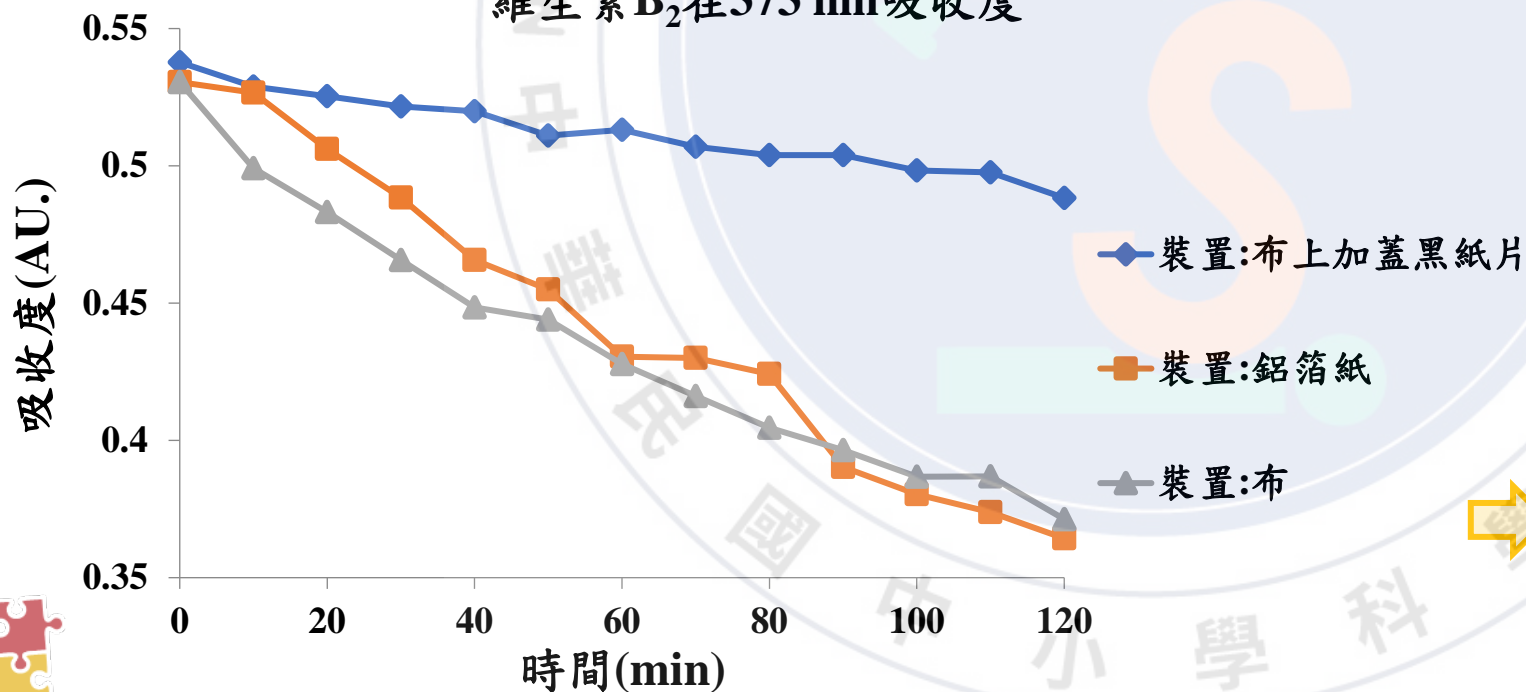
使用深色布避光



使用布避光且上方加蓋黑紙片



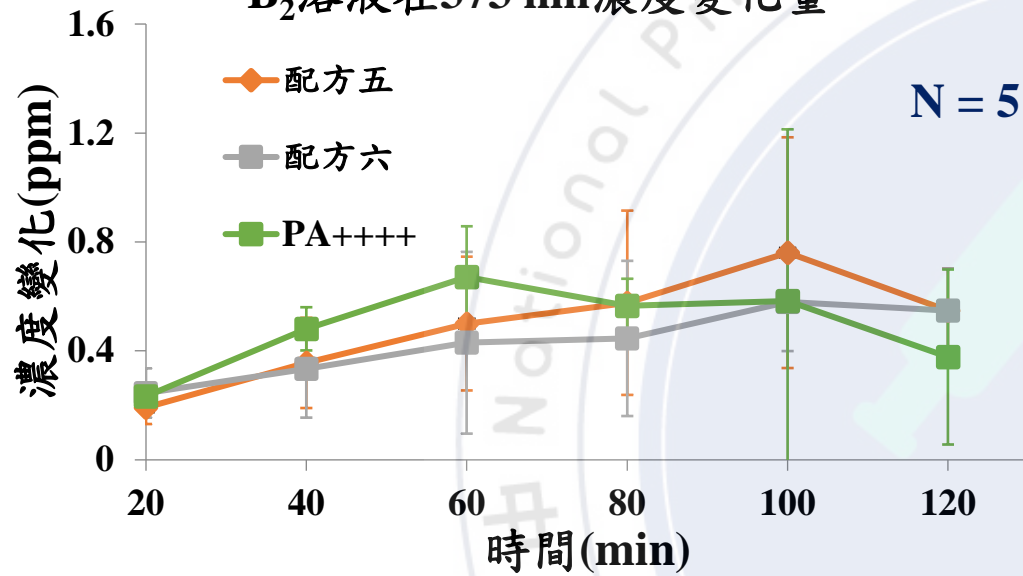
紫外線照射不同裝置空白值
維生素B₂在373 nm吸收度



優化裝置後

1. 吸收度高於先前兩種裝置。
2. 下降趨勢較為趨緩。

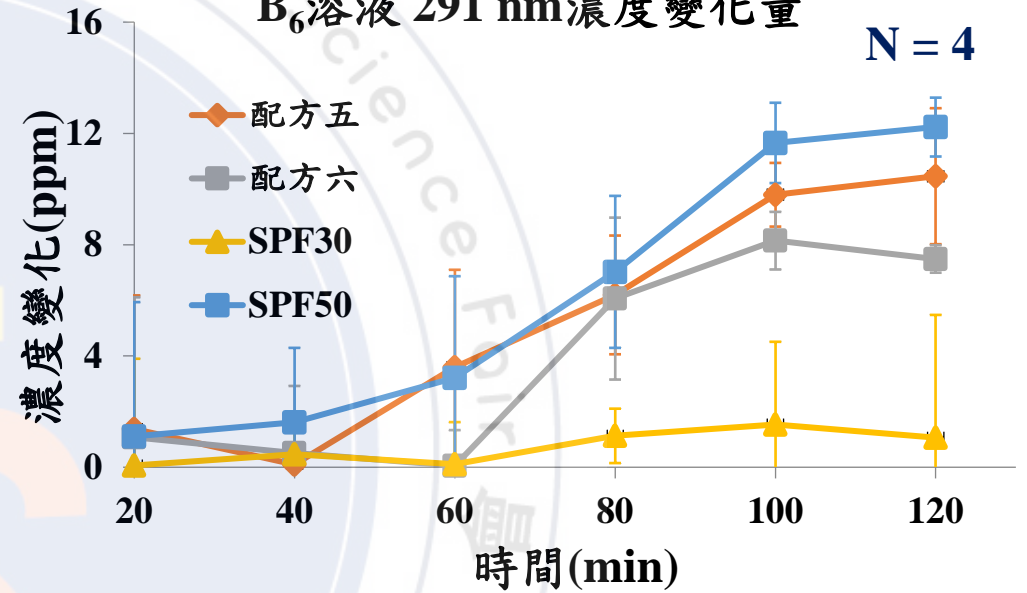
防曬乳遮蔽B₂溶液照射UVA 120 min
B₂溶液在373 nm濃度變化量



在UV-A防曬能力的關係為

60分鐘前：PA++++ > 配方五 > 配方六
100分鐘後：自製防曬乳 > PA++++

防曬乳遮蔽B₆溶液照射UVB 120 min
B₆溶液 291 nm濃度變化量



在UV-B防曬能力的關係為

SPF 50 > 配方五 > 配方六 > SPF 30

配方五	ZnO 3.3% + TiO ₂ 16.7% + 單10%
配方六	ZnO 10% + 單10%

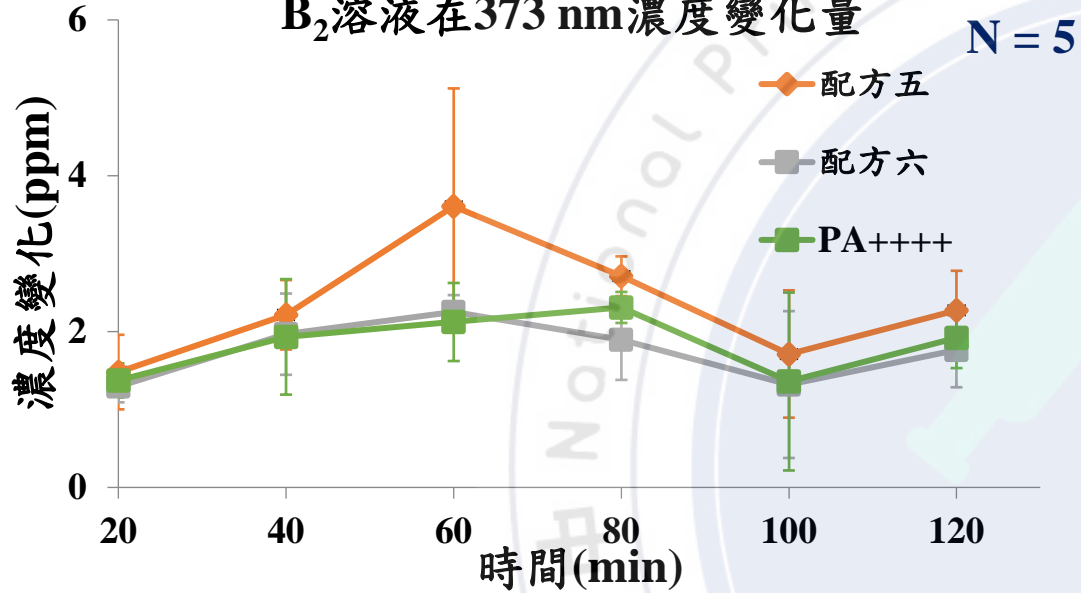
紫外光波段	UV-A	UV-B
燈管光平均強度 (mW/m ²)	3230.7 ± 76.5	1014.6 ± 9.3

研究結果與討論(6)

實驗五：自製與市售防曬乳對於太陽光的防曬能力檢測

防曬乳遮蔽B₂溶液日照120 min

B₂溶液在373 nm濃度變化量

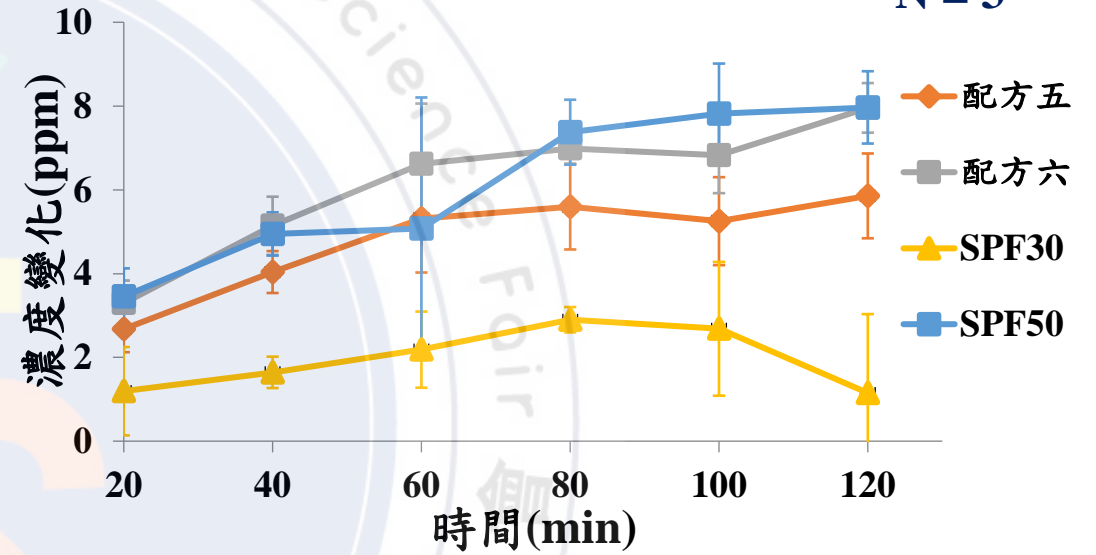


在UV-A防曬能力的關係為

配方五 > PA++++ ≅ 配方六

防曬乳遮蔽B₆溶液日照120 min

B₆溶液在291 nm濃度變化量



在UV-B防曬能力的關係為

SPF 50 ≅ 配方六 > 配方五 > SPF 30

配方五 ZnO 3.3% + TiO₂ 16.7% + 單10%

配方六 ZnO 10% + 單10%

紫外光波段

UV-A

UV-B

太陽光平均強度
(mW/m²)

5720.6 ± 2760.5

290.9 ± 140.6

結論

實驗一

- 一、透過UV-Vis光譜儀確認自製防曬乳成分的邊界條件：**10 %** 最適合。
- 二、綜合實驗結果：
 - 1.單寧酸可以替代TiO₂作為UV-B波段之防曬物質。
 - 2.防曬能力覆蓋UV-A、UV-B，最佳為**氧化鋅10 % + 單寧酸10 %**。

實驗二

- 三、以 **25 ppm B₂** 溶液(UV-A)、**75 ppm B₆** 溶液(UV-B)作為感光試劑之濃度及穩定度佳。

實驗三

- 四、優化實驗裝置，提升感光試劑作為檢測試劑再現性。

實驗四

- 五、以**UV-A**燈管照射120分鐘：
 - 1.發現市售防曬乳達60分鐘後，防曬能力(PA)開始下降。
 - 2.自製防曬乳防曬能力(PA)：配方五 > 配方六
- 六、以**UV-B**燈管照射120分鐘：
 - 1.發現市售防曬乳(SPF30)達100分鐘後，防曬能力開始下降。
 - 2.自製防曬乳防曬能力介於市售**SPF30~50**之間，且配方五 > 配方六。

實驗五

- 七、**太陽光**照射120分鐘：
 - 1.防曬能力 (PA)：配方五 > PA++++ ≅ 配方六，60分鐘開始有下降趨勢。
 - 2.防曬能力 (SPF)：SPF 50 ≅ 配方六 > 配方五 > SPF 30

防曬乳種類	配方六	市售 SPF 50
價錢 (元/ml)	3.1	6.6

綜合以上情境

- 1.本自製防曬乳(配方六)，在太陽照射下與市售(PA++++、SPF50)防曬能力相當。
- 2.配方五在防曬能力 (PA)雖較佳，配方六較具有**環境友善**的前瞻性。
- 3.在綜合防曬能力相當情況下，單位價格本自製防曬乳具有優勢。

未來展望

防曬乳
抗UV能力

吸收 反射

物理性/化學性
防曬

環境友善
防曬乳

可降解性

J. Photochem Photobiol (1998)



循環利用

單一通路
咖啡渣

1. 烘乾
2. 研磨

奈米級
咖啡渣

抗UV
1. 混入紗線
400 nm

咖啡紗

S.Café®, 興采實業

茶葉

成分

茶多酚
單寧酸

抗UV

吸收峰
UV-A、UV-B

J. Agric. Food Chem. (2009)

參考文獻(節錄)

1. John, P., & Martin, B. (2010) A Review of Heat-reflective Paints. *Solar2010, the 48th AuSES Annual Conference 1-3 December 2010, Canberra, ACT, Australia.*
2. Reinoso, J. J. (2016) Enhancement of UV absorption behavior in ZnO–TiO₂ composites. *Mejora del comportamiento de absorción de UV en materiales compuestos ZnO–TiO₂. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 55(2), 55-62.*
3. Gwak, M. A., Hong, B. M., & Park, W. H. (2021). Hyaluronic acid/tannic acid hydrogel sunscreen with excellent anti-UV, antioxidant, and cooling effects. *International journal of biological macromolecules, 191, 918–924.*
4. Knak, A., Regensburger, J., Maisch, T., & Bäumlner, W. (2014). Exposure of vitamins to UVB and UVA radiation generates singlet oxygen. *Photochemical & photobiological sciences : Official journal of the European Photochemistry Association and the European Society for Photobiology, 13(5), 820–829.*
5. J. Agric. (2009) Protective Effects of Tea Polysaccharides and Polyphenols on Skin. *Food Chem. 57, 7757–7762*
6. Bartzatt, R. (2014). Detection and Assay of Vitamin B-2 (Riboflavin) in Alkaline Borate Buffer with UV/Visible Spectrophotometry. *International Scholarly Research Notices.*
7. Natera, J. (2012). The role of vitamin B6 as an antioxidant in the presence of vitamin B2-photogenerated reactive oxygen species. A kinetic and mechanistic study. *Photochemical & Photobiological Sciences, 11, 938–945.*
8. 莊崑翔等 (2020)。決剩 Food, 這「咖」油夠厲害—咖啡渣油抗紫外線效果之研究。全國中小學科展作品。