

投稿類別：化學類

篇名：

以維他命 B₂ 溶液照光反應比較暢銷品牌防曬乳之防護效果

作者：

蔡威任。國立臺灣師範大學附屬高級中學。高一 1306 班
許敦洳。國立臺灣師範大學附屬高級中學。高一 1306 班
蔡秉諺。國立臺灣師範大學附屬高級中學。高一 1306 班

指導老師：

陳昭錦 老師

壹●前言

太陽光是地球上大多數生物的主要能量來源，但是在陽光下長時間的曝曬卻可能導致人類皮膚老化甚至引發黑色素瘤。各種防曬乳液或美妝品因應而生，防曬係數 SPF 是大家最常聽到的名詞，透過各種大眾媒體的傳播，消費者可能以防曬係數作為購買時的參考依據，防曬係數愈高的產品往往愈受青睞。然而對使用者而言，塗抹防曬係數 SPF30 或 SPF50 的防曬乳，實際上不易感受其防曬效果的差別。

維他命 B₂ 是人體能量新陳代謝的關鍵物質，也和皮膚修復有關，此物質對照光相當敏感，溶於水呈金黃色，在陽光照射下顏色會消褪。本研究嘗試利用維他命 B₂ 溶液的照光反應，結合化學實驗中的目視比色法，探討不同防護條件下，維他命 B₂ 溶液照光後濃度隨時間的變化情形，藉此將各種品牌的防曬乳阻隔陽光的效果進行量化的比較。

貳●正文

一、研究動機

寒冬中的陽光為人心注入暖流，沐浴在春陽下更是讓人身心舒暢，然而陽光中的紫外線猶如兩面刃，一方面「促使皮膚合成維生素 D，消滅皮膚表面的病原菌」，另一方面則會「抑制皮膚免疫系統、曬傷、皮膚癌、皮膚老化」(註一)。紫外線是指陽光中波長介於 100 至 400 奈米(nm)的輻射線，可按波長區分為 UVA、UVB、UVC，如圖 1 所示(註二)，對皮膚的穿透力如圖 2 所示。其中 UVA 能量最低，但穿透力最強，佔紫外線中的 95%，可達皮膚真皮層，雖然比較不會造成皮膚灼傷，但會持續促使皮膚變黑與老化。UVB 能量居次，但致癌性最強，曬紅及曬傷的作用為 UVA 的 1000 倍；UVC 能量最高，但可被臭氧層阻隔(註三)。

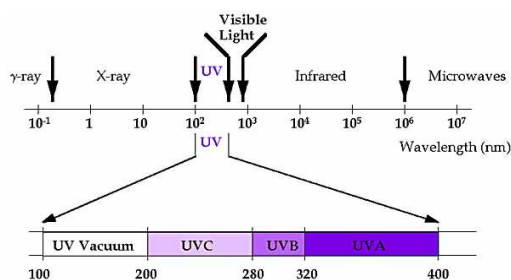


圖 1 紫外線波長光譜

資料來源：Soehnge, H., Ouhitit, A. and Ananthaswamy, H. N. (1997). Mechanisms of induction of skin cancer by UV radiation, *Frontiers in Bioscience 2*, November 1, d540.

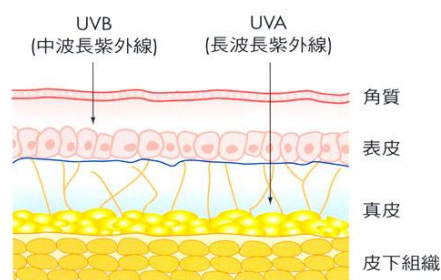


圖 2 紫外光對皮膚之穿透情形

資料來源：http://www.ftc.com.tw/prod_uvoutex.htm

以維他命 B₂ 溶液照光反應比較暢銷品牌防曬乳之防護效果

防曬劑(sunscreen)是能吸收或反射陽光中的紫外線，防止皮膚受到紫外線的傷害而變黑或老化的化學物質(註四)。防曬產品的有效程度最常見的評估指標是防曬係數(sun protection factor, SPF)，主要是針對陽光照射後引起紅斑現象所作的分級，用以表示其對於 UVB 的防護能力，其定義如下(註五)：

$$\text{SPF} = \frac{\text{皮膚受保護下之 MED}^*}{\text{皮膚未受保護下之 MED}^*}$$

*：MED(minimal erythema dose)：最小紅斑劑量，每平方公分的皮膚塗抹製品 2mg 後，使皮膚引起紅斑時所必需的紫外線最低能量。

前述的定義其實不易讓消費者了解防曬劑的防曬效果，因此皮膚科醫生會將其舉例說明如下：「正常人曬 5 分鐘皮膚會變紅，擦了防曬係數 15 倍(SPF15)的防曬霜，可以延長 15 倍時間才變紅，所以 75 分鐘才會變紅」(註六)。市面上各種防曬產品標示的 SPF 數值是藉由防曬係數(SPF)測定儀測得，如圖 3 及圖 4 所示，這種儀器售價至少百萬元以上，並且須依國際上官方制定的方法來測量。測定方式區分成體內(in vivo)及體外(in vitro)兩類，體內測定方式是將產品塗在皮膚上，體外測定方式則是塗在人工皮膚上，均以高能量之模擬陽光光源照射其上數小時後，再一次測量皮膚的改變狀況，藉以分析產品的保護能力(註七)。



圖 3 防曬品 SPF 測定儀 SPF-290S
資料來源：禾豐春實業同意提供



圖 4 防曬係數檢測儀 UV-2000
資料來源：禾豐春實業同意提供

對於消費者而言，當使用 SPF30 或是 SPF50 的防曬產品時，不可能實際觀察擦了防曬乳後 30 小時甚至 50 小時後的結果，因此很難感受到兩者對紫外線的防護能力有何顯著差別，因此引發我們探討防曬乳防護能力的動機，能否利用化學實驗的方法，嘗試將暢銷品牌防曬乳的防護能力進行量化的比較。

我們搜尋文獻後發現，維他命 B₂ 溶液在陽光照射下顏色會消褪(註八)，如果將維他命 B₂ 溶液在各種防曬係數防曬乳的阻隔下照光，藉由化學比色法測量照光後的濃度，或許能比較防曬乳的防護效果，因此我們設計了以下的實驗進行研究。

以維他命 B₂ 溶液照光反應比較暢銷品牌防曬乳之防護效果

二、研究目的與問題

我們的研究目的是以各種防曬乳來阻隔陽光，應用化學實驗中的比色法來測量照光後維他命 B₂ 溶液的濃度變化，藉此比較各種防曬乳的防護效果，依此擬訂的研究問題為，固定濃度的維他命 B₂ 溶液，在不同的防護條件下，隨照光時間的增長維他命 B₂ 溶液濃度有何變化？

三、研究過程與方法

(一) 實驗原理

1. 維他命 B₂ 溶液的照光變色反應

維他命 B₂ 又稱為核黃素，是一種橘黃色結晶性粉末，微溶於水，其水溶液為黃綠色螢光，其外觀、溶液顏色及結構式如圖 5、6、7 所示(註九)。對熱甚安定，但對光甚敏感，特別是紫外線，因此要儲存於褐色的罐中(註十)。

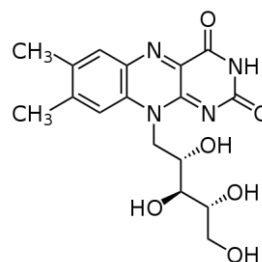


圖 5 維他命 B₂ 粉末 圖 6 維他命 B₂ 水溶液 圖 7 維他命 B₂ 結構式

核黃素(riboflavin)名稱來自「核糖」(ribose)與「黃素」(flavin)兩個字的組合，核糖還原後的物質是核糖醇(ribitol)，其結構如圖 8 所示(同註九)；黃素是一組雜環類黃色化合物的俗名，其結構如圖 9 所示(同註九)。

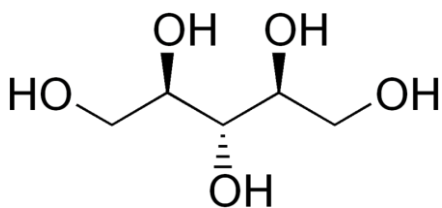


圖 8 核糖醇的分子結構式

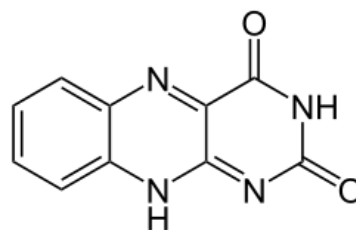
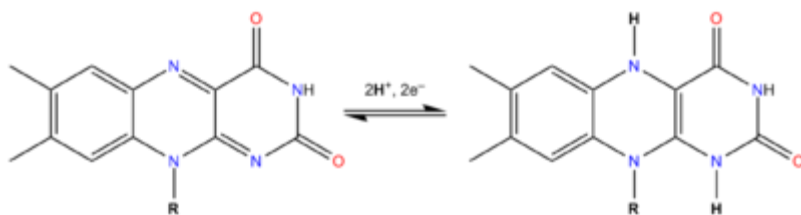


圖 9 黃素的分子結構式

比較圖 7 與 9 可推測，核黃素中與黃素分子結構相似的部分是其呈色的原因。文獻中指出，「芳香族化合物，尤其是具有共軛羰基的化合物，能吸收紫外線」(註十一)，核黃素的結構式中可以看出它具有羰基，且有共軛雙鍵，因此對紫外線相當敏感。此外，在水溶液中，黃素被氧化時呈現黃色，完全被還原時則為無色，其氧化還原平衡方程式如下所示(同註九)。當核黃素照光後被還原時，

以維他命 B₂ 溶液照光反應比較暢銷品牌防曬乳之防護效果

顏色會轉變為無色，隨著照光時間的增加，發生還原反應的核黃素增多，無色物質所佔比例愈來愈高，即核黃素濃度愈來愈小，因此溶液顏色會逐漸變淺。



將維他命 B₂ 溶液置於陽光下曝曬，在沒有任何防護下，溶液的顏色會逐漸消褪。我們的想法是，如果防曬乳能阻隔陽光，那麼在防曬乳的保護下，維他命 B₂ 溶液顏色消褪的程度應該會比未防護來得小，透過實驗觀察溶液濃度的變化情形，應能據此將防曬乳的防護效果量化。

2. 比色法

比色法的原理是應用比爾定律，當光線穿過溶液時，光的穿透度與溶液濃度，及光線在溶液中行經距離成反比關係。換句話說，有色溶液的濃度愈大，或光通過的路徑愈長，光線穿透度愈小，溶液顏色愈深。如果由同一角度觀察兩種不同溶液濃度的顏色，當兩溶液色度相同時，則濃度會與光的路徑長成反比(註十二)。如以 C 代表濃度，h 代表路徑長，則 $C_1h_1=C_2h_2$ 。

我們的想法是，將陽光下曝曬過的維他命 B₂ 溶液與未曝曬過的溶液進行比色，可推算出維他命 B₂ 溶液曝曬前後的濃度變化。

(二) 比較對象及實驗器材

市售防曬乳品牌眾多，為了界定比較的品牌，我們依據網路上能檢索到的防曬乳銷售排行榜(例如：博客來美妝保健館銷售排行 http://www.books.com.tw/exep/prod/newprod_file.php?item=N000020575#top5)，並考量中學生的消費能力，將比較的產品限定在銷售排行榜中前 10 名，且單瓶售價在 300 元以下，由此挑選出 6 款防曬乳，如表 1 所示(按商品名稱筆畫排序)。

表 1 本研究比較的六款防曬乳

實驗器材包括電子秤、投影片、燒杯、玻棒、滴管、比色管、比色燈、直尺、試管架、培養皿、雞精空瓶、膠帶、塑膠盆等。藥品包括維他命 B₂ 粉末，以及欲比較的各種防護物質，包括護唇膏、潤膚霜及不同品牌的防曬乳等，如圖 10、11 所示。

防曬乳商品名稱
可伶可俐防曬露 SPF35
妮維雅防晒淨白乳液 SPF30
曼秀雷敦 SUNPLAY 50+防曬乳液
雪芙蘭清透防曬凝露 SPF 27
蜜妮防曬潤色隔離乳液 SPF30
蜜妮高防曬乳液 SPF48

以維他命 B₂ 溶液照光反應比較暢銷品牌防曬乳之防護效果

(三) 實驗步驟

1. 秤取 75.0 毫克的維他命 B₂ 粉末(在水中溶解度不大)配成一公升的水溶液，此濃度相當於 75.0ppm。
2. 取八個培養皿，每個均加入 40mL 的 75.0ppm 維他命 B₂ 溶液。
3. 將八個培養皿置於陽光下曝曬，每隔 15 分鐘收回其中一個培養皿，其餘繼續照光，最後一個培養皿持續照光 120 分鐘。
4. 分別吸取八個培養皿中的溶液置於比色管中，使其高度約為 10 公分，依序與原始未曝曬的 75.0ppm 溶液進行比色。由於比色法倚賴肉眼判斷，人為誤差難以避免，本研究中三位研究者均獨立進行比色，以三人的實驗數據取平均值作為結果。
5. 把投影片裁成適當大小，其上分別塗抹凡士林護唇膏、護手霜及六種暢銷品牌防曬乳，盡量塗抹等量且均勻。塗抹的過程中我們發現，雪芙蘭清透防曬凝露 SPF 27 親水性極佳，很難均勻塗抹在投影片上，因此不列入比較。
6. 取八個培養皿，每個均加入 40mL 的 75.0ppm 維他命 B₂ 溶液，第一個培養皿其上覆蓋未塗任何物質的投影片，其餘分別覆蓋塗上不同物質的投影片置於陽光下曝曬 15 分鐘，如圖 12、13。
7. 將曝曬過的各培養皿溶液分別與原始未曝曬的 75.0ppm 溶液進行目視比色。
8. 重複步驟 5~7，曝曬時間分別延長為 30、45、60、75、90、105、及 120 分鐘。



圖 10 塗抹的防護物質



圖 11 塗抹的防護物質



圖 12 培養皿溶液曝曬

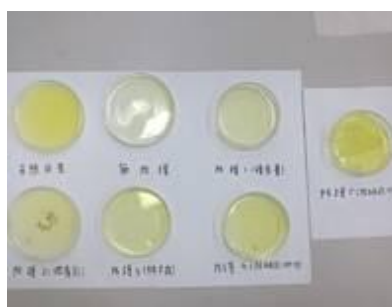


圖 13 培養皿溶液曝曬後顏色

(四) 實驗結果

1. 維他命 B₂ 溶液在陽光曝曬下的濃度變化

實驗紀錄是以 2012/03/08 日中午 12:00~2:00 在校園中的曝曬實驗為依據。曝曬及比色實驗結果如表 2 所示，濃度隨時間的變化圖如圖 14 所示。我們發現最初照光的 15 分鐘反應速率很快，主要是因為此時太陽很大，再者最初反應物濃度較高。之後反應速率逐漸變慢，大約 90 分鐘後，濃度已經降到很低。

表 2 維他命 B₂ 溶液未防護下曝曬實驗結果

照光時間	15 分	30 分	45 分	60 分	75 分	90 分	105 分	120 分
照光溶液高度(cm)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
未照光溶液高度(cm)	4.13	2.83	1.67	1.33	1.07	0.93	0.87	0.63
照光溶液濃度(ppm)	31.0	21.2	12.5	10.0	8.0	7.0	6.5	4.7

註 1：未照光溶液之濃度為 75.0ppm

註 2：表中未照光溶液高度為三位作者各自進行比色法測得未照光溶液高度之平均值。

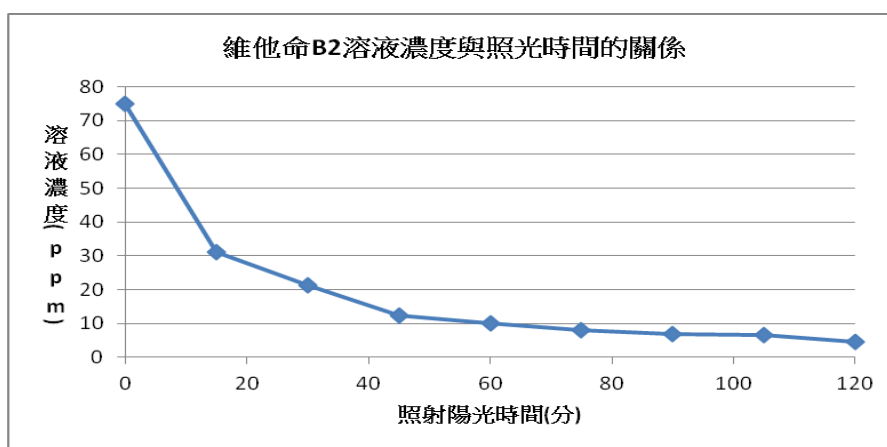


圖 14 維他命 B₂ 溶液濃度與照光時間的關係

2. 維他命 B₂ 溶液在不同防護條件下的曝曬實驗

(1) 由於實驗需在陽光下進行，然而作者的居住地在二月份開學以來陰天的日子較多，再者受限於上課時間，只能利用每周四中午及下午第一節的班會時間做實驗，因此需等待有陽光的周四。然而我們發現，晴天紫外線指數高時，若以培養皿來盛裝維他命 B₂ 溶液，由於受光面積大，溶液褪色很快，不論有無防護，大約一小時後幾乎褪色，難以比較差別。於是我們想到用雞精的空瓶，這種瓶子受光面積小，可以減緩溶液褪色速率，而且因為透影片覆蓋

以維他命 B₂ 溶液照光反應比較暢銷品牌防曬乳之防護效果

範圍小，較易將防護物質塗抹均勻。因此後來的實驗，如果陽光不強，就用培養皿；如果陽光很強，則把前述實驗步驟中的培養皿改成雞精的瓶子，但因雞精空瓶瓶身較高，為避免瓶身受光，用黑紙及黑色膠帶包裹瓶身，如圖 15~17 所示。



圖 15 以雞精空瓶做實驗



圖 16 各種防護下曝曬實驗

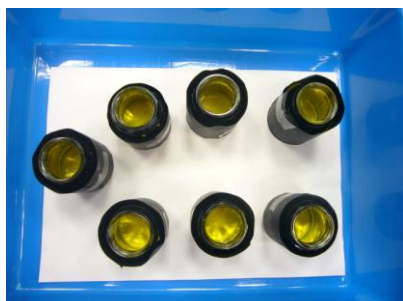


圖 17 曝曬後的溶液

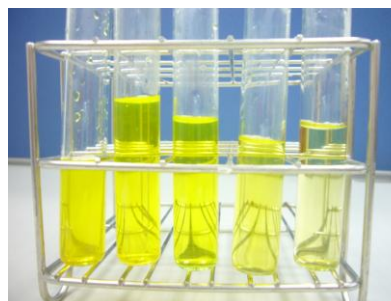


圖 18 曝曬後溶液置於比色管

(2) 我們的實驗記錄是以 2012/03/22 日中午 12:00~2:00 在校園中的曝曬實驗為依據。各種防護條件下的曝曬與比色實驗結果如表 3 及表 4。

表 3 不同防護條件下的曝曬實驗溶液比色結果

防護 高度 時間	無	護唇膏	潤膚霜	SPF30 (潤色)	SPF30	SPF35	SPF48	SPF50
照光 15 分	4.43	4.33	4.57	5.83	5.67	5.53	6.03	6.17
照光 30 分	3.13	3.20	3.47	4.33	4.27	4.33	5.63	5.73
照光 45 分	2.80	2.67	2.73	3.13	3.13	3.27	4.53	4.67
照光 60 分	2.13	2.00	2.17	2.50	2.47	3.13	3.37	3.50
照光 75 分	1.83	1.80	1.67	2.10	2.23	2.17	2.33	2.37
照光 90 分	1.37	1.13	1.27	1.40	1.47	1.37	1.83	2.03
照光 105 分	0.93	1.03	0.83	1.03	0.87	1.13	1.23	1.13
照光 120 分	0.53	0.47	0.43	0.53	0.63	0.73	0.77	0.83

註 1：高度單位為 cm

註 2：照光後之維他命 B₂ 溶液高度均為 10.00cm，表中高度為三位作者各自進行比色法測得未照光溶液高度之平均值。

以維他命 B₂ 溶液照光反應比較暢銷品牌防曬乳之防護效果

表 4 不同防護條件下的曝曬實驗溶液濃度隨時間的變化

時 間 防 護 濃 度	無	護唇膏	潤膚霜	SPF30 (潤色)	SPF30	SPF35	SPF48	SPF50
照光 15 分	33.2	32.5	34.3	43.7	42.5	41.5	45.2	46.3
照光 30 分	23.5	24.0	26.0	32.5	32.0	32.5	42.2	43.0
照光 45 分	21.0	20.0	20.5	23.5	23.5	24.5	34.0	35.0
照光 60 分	16.0	15.0	16.3	18.8	18.5	23.5	25.3	26.3
照光 75 分	13.7	13.5	12.5	15.8	16.7	16.3	17.5	17.8
照光 90 分	10.3	8.5	9.5	10.5	11.0	10.3	13.7	15.2
照光 105 分	7.0	7.7	6.2	7.7	6.5	8.5	9.2	8.5
照光 120 分	4.0	3.5	3.2	4.0	4.7	5.5	5.8	6.2

註 1：未照光溶液之濃度為 75.0ppm

註 2：濃度單位為 ppm

註 3：表中濃度為利用比色法之濃度與高度關係 $C_1h_1=C_2h_2$ 計算所得之照光後溶液濃度。

- (3) 為了方便比較各種防護條件下的差異，我們將表 4 的結果製作成兩張圖，圖 19 呈現的是每一種防護條件下，維他命 B₂ 溶液濃度隨時間變化的關係。圖 20 呈現的是每一段照光時間中，各種防護條件之維他命 B₂ 溶液濃度的變化。

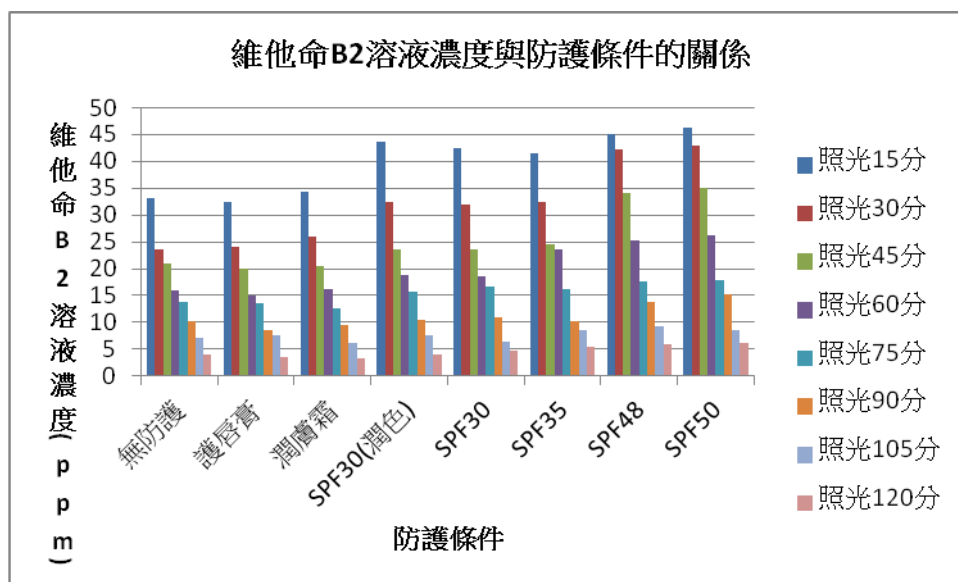


圖 19 維他命 B₂ 溶液濃度與防護條件的關係

(五) 討論

1. 從圖 19 可以發現，不管有無防護或是哪一種防護條件，維他命 B₂ 溶液在 120 分鐘的曝曬下，其濃度都衰減得很快。在防曬乳的保護下，剛開始濃

以維他命 B₂ 溶液照光反應比較暢銷品牌防曬乳之防護效果

度衰減的較慢，但時間拉長後，濃度衰減的趨勢並未減緩，可見得防曬乳優於未防護、護唇膏及護手霜的部分在於最初一小時的曝曬。

2. 從圖 20 可以更明顯看出不同防護條件的差異，最初曝曬的 15 分鐘，無防護、護唇膏及潤膚霜的表現幾乎沒有差異，其他五種防曬乳都能阻隔陽光對維他命 B₂ 溶液的作用，其阻隔效果相近，推測是因為最初的反應速率都是比較快的，因此無法看出防曬係數多寡造成的差異。當曝曬時間達 30 分鐘時，SPF48 與 SPF50 的防護下，維他命 B₂ 溶液的濃度明顯高於其他三種防曬乳，這種趨勢持續到曝曬時間一小時以內。當曝曬時間超過一小時以上，五種防曬乳的防護效果逐漸變得不明顯，尤其當照光 105 分鐘以上時，有無防護已無顯著差別，推測原因可能是防曬乳中能吸收紫外光化學成分已經分解了。
3. 針對三種防曬係數小於 40 的防曬乳來看，曝曬時間一小時以內，三者均優於未防護，但三者之間幾乎無差別。

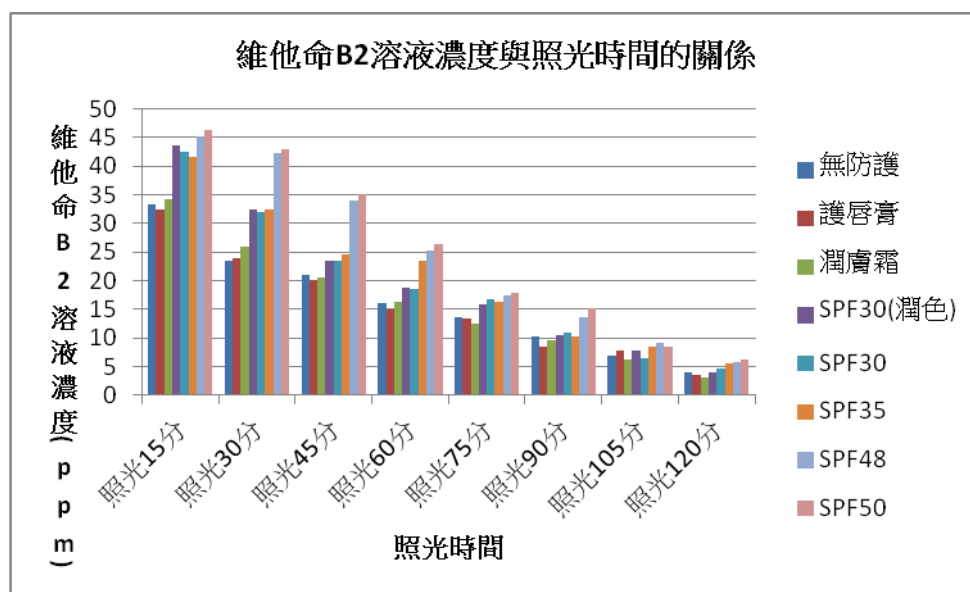


圖 20 維他命 B₂ 溶液濃度與照光時間的關係

參●結論

本研究藉由維他命 B₂ 溶液的照光反應，結合化學實驗目視比色法，比較無防護、護唇膏、護手霜及五種不同防曬係數防曬乳阻隔陽光的效果，研究結果發現，防曬乳的防護效果，主要在曝曬最初的 60 分鐘，在這段時間內，較高防曬係數可以明顯減緩維他命 B₂ 溶液濃度衰減的速率，但是防曬係數低於 40 的三種防曬乳之間則無明顯差異。當曝曬時間超過一小時以上，防曬乳的阻隔效果變得不明顯，可能是因為其中的防曬劑已經被紫外光分解，無法再發揮作用。

以維他命 B₂ 溶液照光反應比較暢銷品牌防曬乳之防護效果

本研究採用的方法可以方便簡易地提供防曬品防曬效果的量化比較，雖然目視比色法無法提供非常準確的結果，但是仍能作為初步比較的依據，未來我們希望進一步研究的方向如下：

1. 在改進實驗結果準確性方面，如果能以分光光度計來觀測曝曬後的維他命 B₂ 溶液濃度，應能獲得更精確的量化比較。
2. 防曬乳中的防曬劑成分有些是物理性防曬，有些則是化學性防曬；有些是可防護 UVB，有些是可同時防護 UVA 及 UVB。本研究在陽光下進行曝曬，難以區隔兩者的差別，若採用可設定 UVA 及 UVB 的紫外光燈來照射，功率太小的不易觀測到差異，但功率高的，又有操作安全上的顧慮。我們希望設計能兼顧操作安全的紫外光燈照射裝置，結合分光光度計的比色結果，應該能更清楚地比較化學性防曬與物理性防曬，以及針對 UVA、UVB 的防護效果。此外防曬乳的使用量、塗抹方式以及每隔一段時間補擦等，對於防護效果造成的差異也能藉此探討
3. 防曬乳中的各種防曬劑成分，其化學結構與防曬機制也是我們未來打算探討的議題。

肆●引註資料

- 註一：王正坤(2012)。醫學美容與皮膚保養。臺南市：藝群國際企業。
- 註二：Soehnge, H., Ouhtit, A. and Ananthaswamy, H. N. (1997). Mechanisms of induction of skin cancer by UV radiation, *Frontiers in Bioscience 2, November 1*, d538-551. 取自 <http://www.bioscience.org/1997/v2/d/soehnge/3.htm>
- 註三：蔡琦、蘇玉燕、張乃元、王月花、梁建成、官長慶編著(2008)。化妝品化學。新北市：新文京開發。
- 註四：孫昫妘、陳振興、李淑芬、古素貞、李佳晉、黃素卿編著(2007)。化妝品化學。臺中市：華格那企業。
- 註五：李維靈(2007)。建置化學性防曬產品成分的安全性評估及流程管理體系與品質規範之架構。台北醫學大學生物材料研究所碩士論文。
- 註六：同註一。
- 註七：禾豐春實業譯(2008)。UV-2000S 操作手冊。新北市：禾豐春實業。
- 註八：吳映澤等(2011)。叫太陽站下。中華民國第 51 屆中小學科學展覽會作品專輯。取自 <http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/elementary06.htm>。
- 註九：維基百科。2012/02/02 取自 <http://en.wikipedia.org/wiki/Riboflavin>
- 註十：陳建志(2009)。吃對食物，不怕缺維生素 B₂。人間福報(2009/10/15)，取自 <http://www.merit-times.com.tw/NewsPage.aspx?unid=149907>
- 註十一：官常慶(2008)。化妝品與化學，科學發展，No.432，p.54-59。
- 註十二：陳竹亭(2009)。選修化學上實驗手冊。台北市：泰宇。