

五顏六色一

利用旋光色散製造各種單色光

高中組應用科學科第一名

台北市立建國高級中學

作者：曾文杰、崔祐荃、林宜學
指導教師：劉國棟

一、研究動機

不同範圍波長的色光對某些植物之生長具增強或壓抑的作用 [1]。而在自然界中，生化的領域裡，許多光反應受某幾段範圍波長色光的影響。大家所熟知的產生色光方法，不外乎是稜鏡色散、光柵色散及濾光鏡等。其中稜鏡色散、光柵色散對不同色光有分布在不同光徑上的缺點，而濾光鏡則只能得到其中某一範圍的色光，無法產生多範圍波長色光之光束。因此我們想到是否可以利用光的其他性質，來產生特定範圍的混合色光？以滿足生化反應上的需要。

二、研究目的

利用光的偏振性質以及光活性物質對不同波長光之旋光角度會有不同的現象，製作儀器，期能產生特定範圍之單色光或混合色光。

三、研究設備

麥芽糖、氯仿、木板、燈泡、透明容器、壓克力、電腦、雷射。

四、研究過程

(一)原理探討

1. Biot 三大定律 [2]

(1)物質旋光之度數為光通過各光活性物質旋光角度之代數和。

(2)物質旋光之度數與光活性物質溶液的濃度成正比。

$$\alpha_D = \frac{10\text{cm 溶液之旋光度}}{\text{每 c.c. 溶劑之溶質克數}}$$

(α_D ：溶液對波長 589nm (D 線) 光線之比旋轉)

(3)物質旋光之度數與入射光之波長平方成反比。見(表一)

$$\theta \propto \frac{d}{\lambda^2}$$

θ : 旋光角度 λ : λ 射光波長
 d : 光通過光活性物質之光徑長

表一 1mm 石英對 Fraunhofer 線波長之旋轉角

	A	B	C	D	E	F	G
光色	EX. Red	Red	Red	Yellow	Green	Blue	Violet
波長 nm	759.4	686.7	656.3	589.6	527.0	486.1	430.8
旋光度	12.67	15.50	17.22	21.67	27.46	32.69	42.37

2. Malus 定律 [3]

入射光線電場振動方向與偏振片的透射方向夾 θ 度時，其透光之強度與入射光強度關係為：

$$I_{\theta} = I \cos^2 \theta$$

I : 入射光之光強度 I_{θ} : 透射光之光強度

3. 利用 Biot 三大定律及 Malus 定律。將燈泡發出之白光通過一偏振片，使之呈線偏振光，再通過光活性物質（如麥芽糖）使各波長光線之旋光角度不同，此時電場振動方向與偏振片透光方向相同的光可完全透過，其餘方向的光則遵守 Malus 定律。最後通過可旋轉角度之偏振片（檢偏器）則可改變各波長光線之比例。

(二) 研究方法

1. 計算旋光液之長度

根據想要的組合色光計算光通過麥芽糖溶液之路徑長，並以雷射光束（波長 680nm）檢驗是否合於所求。

例：欲得到紅、紫光之混合色光，根據原理(一)及表(一)計算，使 660nm（紅）及 420nm（紫）波長之旋光度差 180° ，具相同偏振方向，完全通過偏振片，濾除其餘之色光。此時裝盛重量百分濃度 55% 之麥芽糖溶液 7.8cm，並以雷射光(680nm) 檢驗之。此時雷射光經旋光液之旋光度為 110° 。

2. 製作組色光之產生器

(1) 製作透明容器

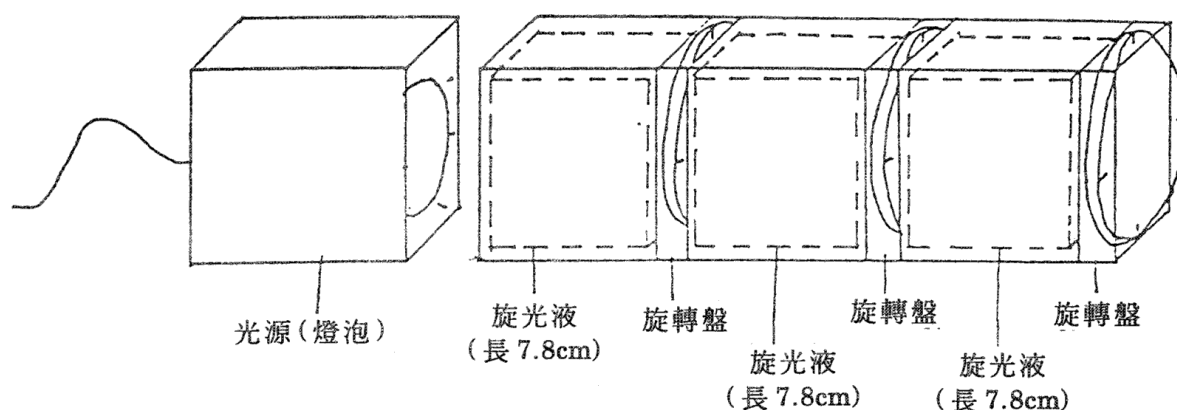
用透明壓克力板製作方形透明容器，以裝盛旋光溶液。

(2)製作旋轉盤（檢偏器）

以壓克力板和偏振片製作可旋轉偏振片且有角度標示之旋轉盤，並規定與前一偏振片（即起偏器）同向時為0度。

(3)組合色光之產生器 A → 針對葉綠素 a 之光吸收曲線設計

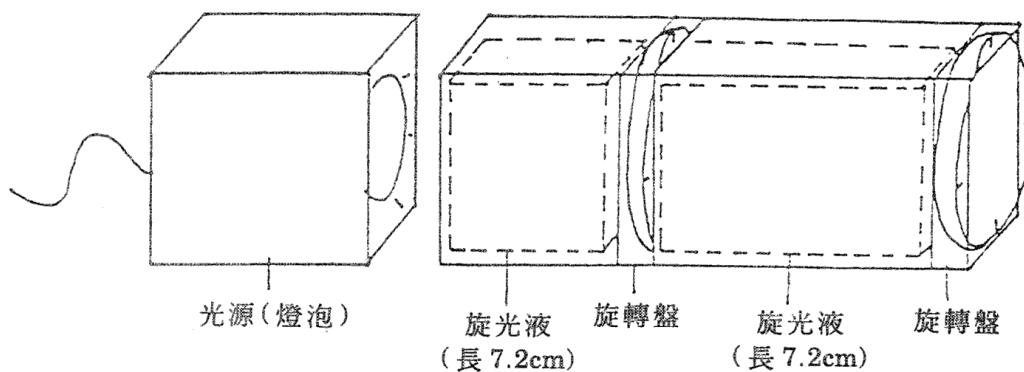
將三個長 7.8cm 之麥芽糖旋光裝置，放在一木板上。其中旋光裝置是由一個檢偏器和一個旋光液所構成，見（圖 A）。



(圖 A)

(4)組合色光之產生器 B → 針對 470 ~ 520nm 之單色光設計

將長 7.2cm、11.6cm 之麥芽糖旋光裝置，置於木板上見（圖 B）。



(圖 B)

3.設計電腦程式，計算如何組合分配旋光裝置來做出最理想、最具有實用價值的混合色光，並將結果作圖。

五、實驗結果

以電腦計算任選定兩波長範圍的旋光裝置最佳化設計，即選定部分波長之透光率達到最高，其餘光線盡可能低；並將結果作圖於下：

<結果>選取波長：530nm、580nm

裝置一：旋光光徑長：44.7cm

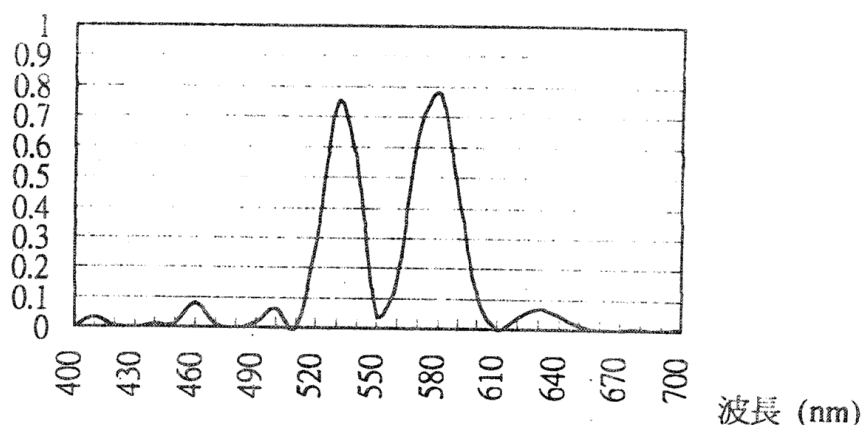
轉盤角度：20°

裝置二：旋光光徑長：13.0cm

轉盤角度：115°

裝置三：旋光光徑長：5.8cm

轉盤角度：125°



六、討論

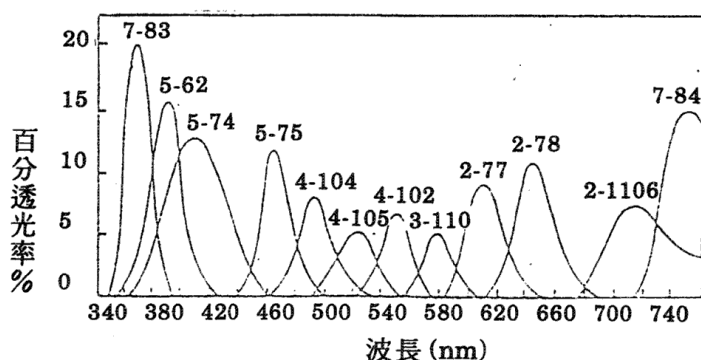
(一)有旋光能力的物質稱為光活性物質，一般常見的光活性物質為溶液而非晶體，以比旋轉來表達溶液之旋光本領，見(表二)。其中麥芽糖的比旋轉130°，且其具有容易取得，價錢合理的優點，因此我們選用麥芽糖作為我們的旋光物質。

表二 常見之光活性物質

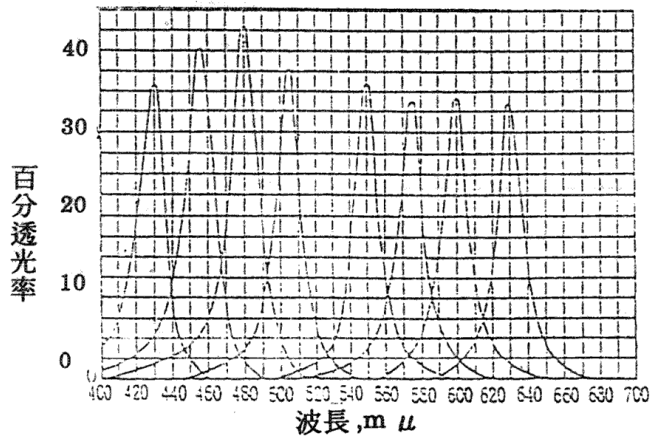
光活性物質	溶劑	α_D
β -麥芽糖	水	+ 130.4
β -右-果糖	水	- 92.4
蔗糖	水	+ 66.5
β -右-葡萄糖	水	+ 52.7
樟腦	乙醇	+ 43.8
酒石酸鉀鈉	水	+ 29.8

資料來源：[4]、[5]

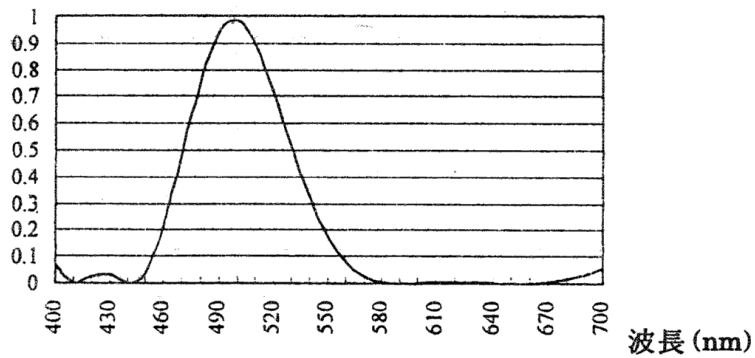
(二)在作吸收光譜定量分析或吸收測量分析時，通常需利用一非常窄狹的波長帶，一般均使用濾光片來達到這目的。濾光片之選擇一般需考慮到兩點，其一是濾光片高峰透過率 (peak transparency)，其次是透過濾光片輻射能譜帶之寬度 (頻寬)。前者透光曲線峰要達到最高百分數，而後者透光曲線的譜帶頻寬盡可能要狹小。一般來說，色玻璃濾光片之頻寬是 30 至 50nm，而透光曲線最高僅 20%，最低僅 5% (圖一)。若是干涉疊合型濾光片，則效果較好，高峰通過率可達到 43%，見 (圖二)。本研究所使用的分光原理，亦可應用於產生單一範圍波長之色光，進而能達到如濾光片一般的作用，如果將白色光依序通過 55% 的麥芽糖溶液 7.2cm 及 11.6cm，則可得到如 (圖三) 的透光譜帶分佈。其曲線峰可達 90% 以上，頻寬僅 60nm。



(圖一) 美國 corning glass works 公司所製各濾光片透光光譜圖 [4]



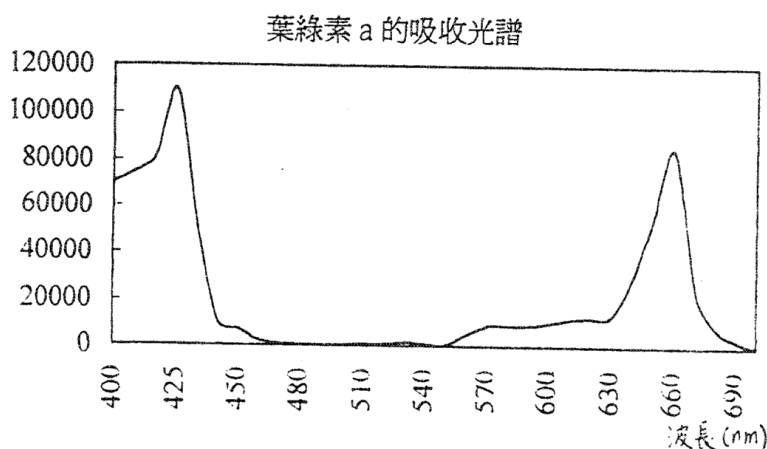
(圖二) 美國 Bausch & Lomb optical 公司所製的一
系列干涉疊合型濾光片的透光曲線 [4]



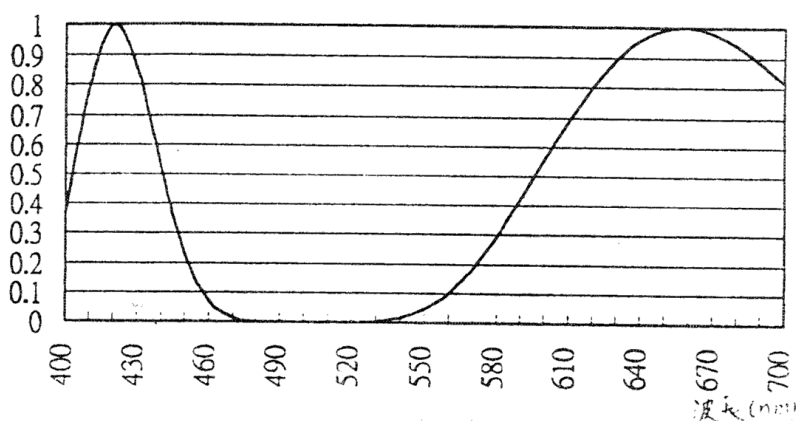
(圖三)

(三)稜鏡分光、光柵分光是將各色光之路徑區別開，而濾光片是將某一特定範圍波長之外的光濾掉。這些方法均無法讓同一光束內含有二個以上選定範圍波長的光。像(圖四)中葉綠素a的吸收光譜便無法使用以上的方法求得，而本研究所利用的旋光分光方法，則能使欲求得之色光仍在同一光徑上。例如，

欲求得各色光的分佈如（圖四）的光束，即葉綠素 a 光合作用時所吸收之波長範圍，則只須使白光通過 55%、7.8cm 的麥芽糖，旋轉盤轉動 14° ，且旋光三次即可得到如（圖五）之光波長分佈圖，與（圖四）相符合。



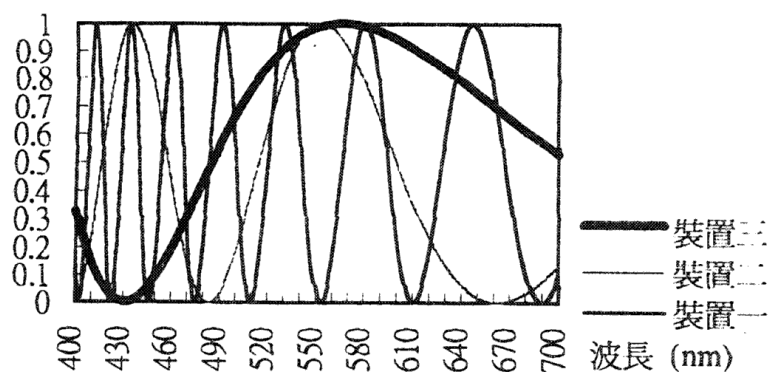
（圖四）



（圖五）

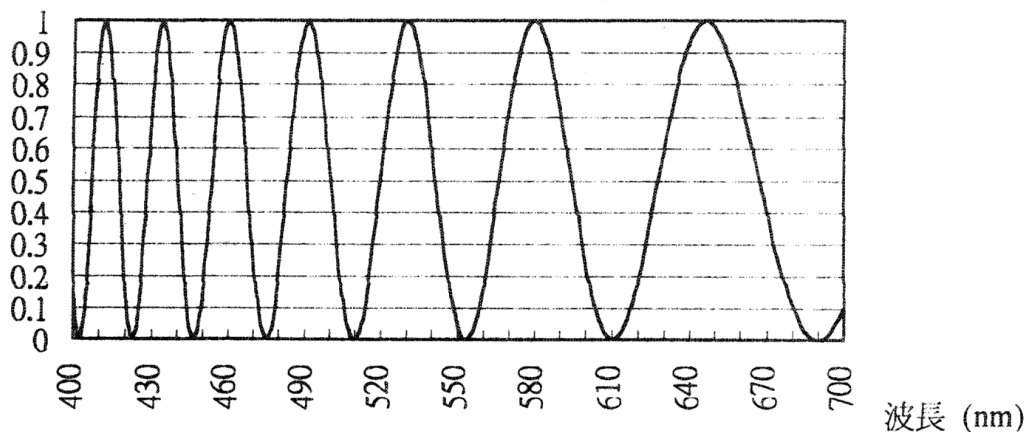
（四）將研究結果的三個旋光裝置之效果作（圖六）如下：

仔細分析（圖六）中的三個裝置，我們發現，電腦程式所跑出的最佳設計裝置，有著某種一定的模式，可將此模式分成三個步驟，茲分別敘述如下：



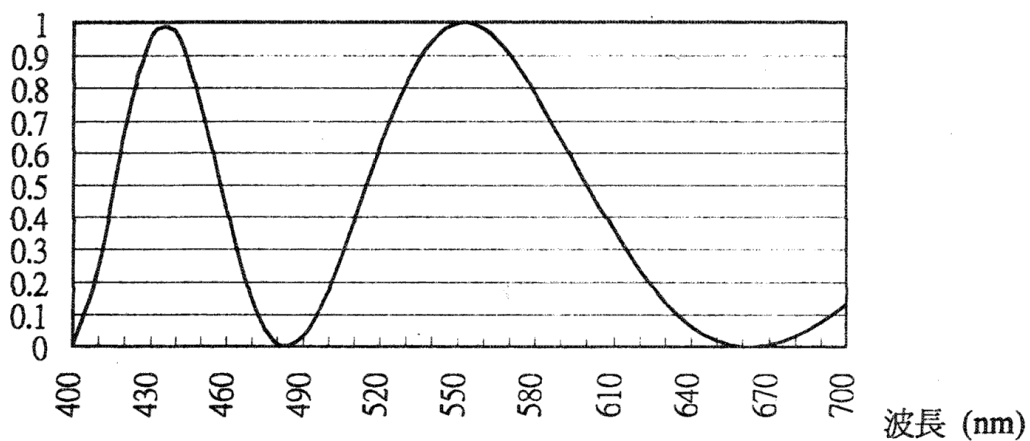
（圖六） 結果

1. 設計一個旋光裝置使 530nm、580nm 波長之色光可完全通過，即旋光角度相差 180° 。見（圖七）



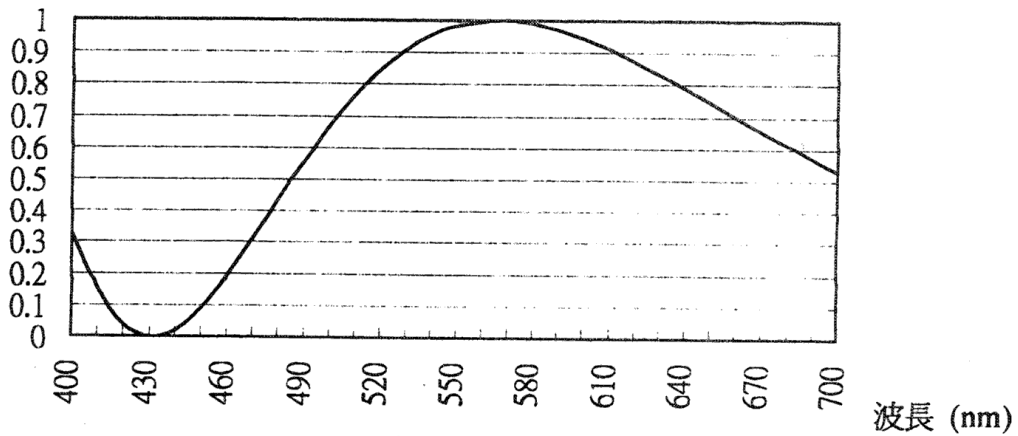
（圖七）

2. 設計一旋光裝置使旋光後 530nm、580nm 中間的波長 580nm 為透光頂。見（圖八）



（圖八）

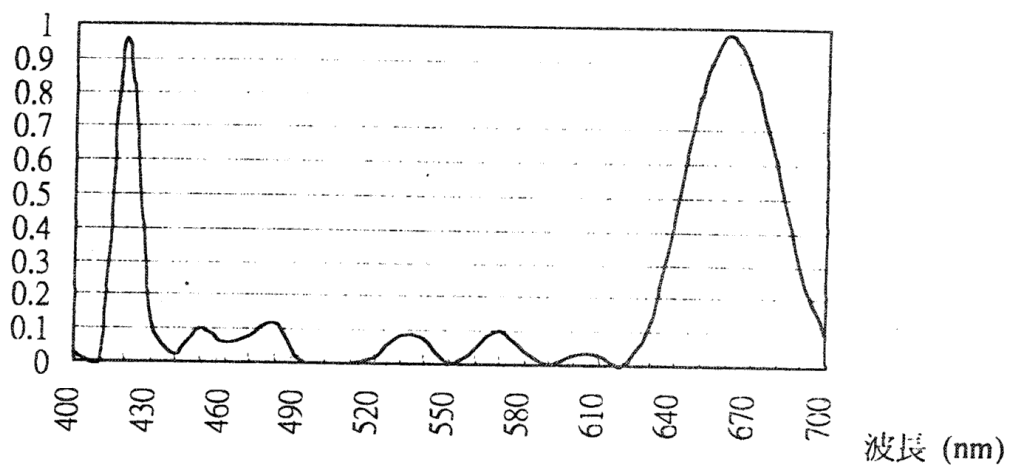
3. 設計一旋光裝置，使旋光後，555nm 為透光頂峰，但 2. 中之另一透光頂峰為波谷，即可達到良好的效果。見（圖九）



(圖九)

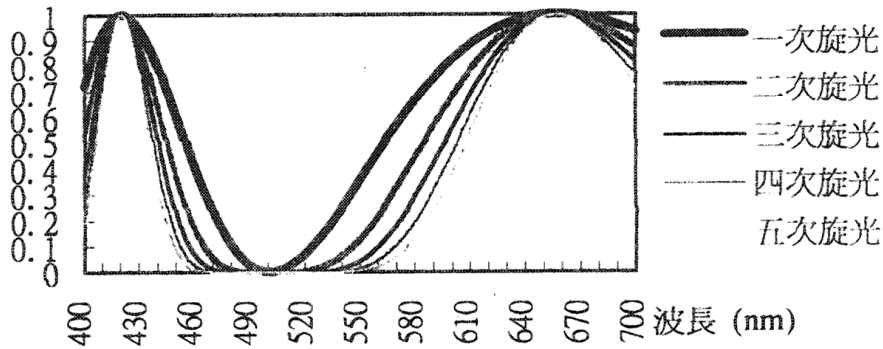
依照上述三個步驟，我們即可不用電腦作搜尋式的運算，而輕易地以人腦計算出最佳化的裝置設計，相當方便容易。

(五)有了電腦程式的搜尋運算，我們就利用電腦計算 415nm、655nm 為透光頂峰的最佳化裝置組合，並作(圖十)，再和(圖四)、(圖五)的圖形作比較，不難發現一樣旋光三次，(圖十)的效果顯然比(圖五)好的多。所以利用光的旋光性質，再輔以電腦的幫助，不難作出相當優異的裝置以求得所需的混合色光光束。



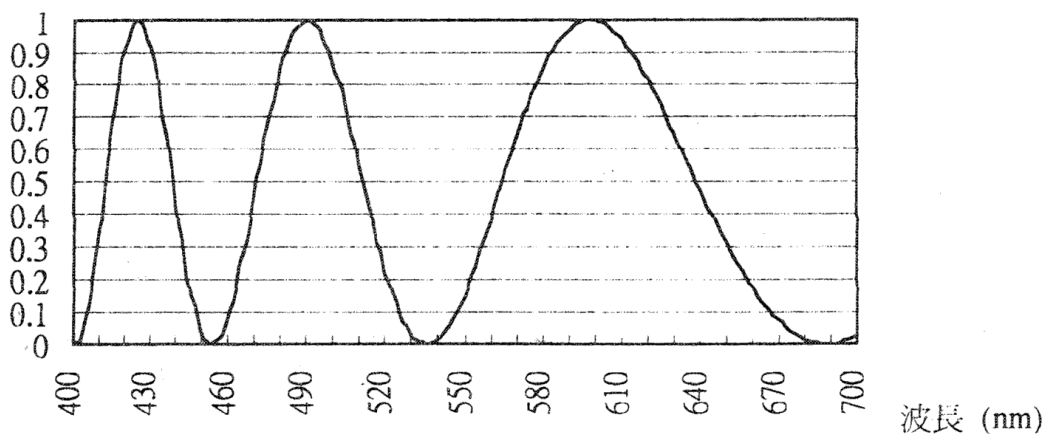
(圖十)

(六)本研究之理論亦可用於改變一幅射能之頻寬，依需要而可作有彈性的調整。一般來說，只要連續通過相同的旋光裝置，即可輕易地調整頻寬，見（圖十一）。其中各透光頂峰的頻寬逐次減小，這比濾光片只擁有單一頻寬有更多的優點。



(圖十一)

(七)以旋光方法如何產生單範圍波長及雙範圍波長光束都已一一克服了，但若能更進一步地達到三範圍波長、四範圍波長……的話，那就更完美了。從（圖十二）中可看出幅射能譜帶分佈在 415 至 440nm，470 至 510nm 及 570 至 630nm 之間，這是選定三範圍波長的情形，我們研究發現只需要調整旋光液長度，使所需的三範圍波長光的旋光度各差 180° 即可。同理，若我們欲得 n 個選定波長之組合色光，只要使所需的 n 個選定範圍波長光之旋光度各差 180° 即可。



(圖十二)

(八)麥芽糖雖然看似透明，但爲了使整個實驗更具完備性，我們又對麥芽糖做了吸收光譜的測量，結果發現麥芽糖的透光率良好，幾乎可以忽略，因此儀器的效果仍然比濾光片好的多，所以也更具實用價值。

七、結論

(一)利用我們的儀器：

- 1.能使各色光在單一光徑上，比稜鏡分光、光柵分光爲優。
- 2.一樣可產生單範圍波長之色光，且透光度高，比濾光片爲優。
- 3.可彈性調整輻射能譜帶之頻寬。
- 4.可產生選定 n 段範圍波長之光束。

(二)經由我們的歸納，可輕易的以人腦計算出所須的裝置設計。

八、參考資料

- (一)大學生物化學(上) 曾國輝 藝軒圖書出版社(1983) P.477 ~ P.478。
- (二)光學 張阜權、孫榮山、唐國偉 凡異出版社(1995) P.362 ~ P.368。
- (三)光學 W.H.A.Fincham 徐氏基金會(1977) P.287 ~ P.289、P.296 ~ P.299。
- (四)儀器分析 王應瓊 中央圖書出版社(1979) P.155。
- (五)儀器分析 陳陵援 三民書局(1981) P.157。

評語

- 1.利用偏極光與旋光物質(光活性物質)之光學性質，設計與研製高穿率的濾光器(光波濾波器)是具有極優的創意。
- 2.由理論計算及電腦模擬之數值分析法，在工程、科技之研發方面是正確的而且良好的工程科學研究法。
- 3.裝置的儀器系統小巧且功能正常地展示，說明十分清楚而表達生動，所涉略的光波知識背景，顯現頗優。
- 4.對光電科技應用於生化、生物方面的探討，確有獨特的見解。
- 5.本研究成果是具有實用性，特別是科學教育的價值。