

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

第一名

031628

解開「澱粉~碘」的藍色密碼

學校名稱：嘉義縣私立協同高級中學

作者： 國一 王暉偉 國一 邱耀慶 國一 郭主歆	指導老師： 郭建載
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：澱粉 吸光度

壹、摘要

「澱粉加碘液會呈現藍黑色」，真的是如此嗎？本研究以碘液去測定(1)生的澱粉類食物 (2)熟的澱粉類食物 (3)少量的澱粉粉末 (4)生的澱粉液 (5)水煮後澱粉液 (6)離心後澄清液 (7)生的澱粉類食物之搗碎物及汁液 (8)熟的澱粉類食物之水煮液。結果發現澱粉中會呈現藍色的關鍵成分(直鏈澱粉)，經水煮會溶於水中，所以碘液加在澱粉類食物的水煮液、水煮後澱粉液、離心後澄清液中，都會明顯出現藍黑色(或藍色)。我們也測出藍色的最大吸光度波長是 620nm，在這條件下測定樣品吸光度的大小，做為樣品顏色深淺的指標。此外，澱粉煮沸時間愈久，吸光度反而愈低，澱粉只要加 80°C 的熱水，就可得到最大的吸光度，此結果最後由顯微鏡觀察澱粉粒的狀態而得到證實。

貳、研究動機

在自然與生活科技課本中提到可用碘液檢驗澱粉的存在，若有澱粉存在則會出現藍黑色，我們以課本實驗用的碘液（碘 2 克 + 碘化鉀 4 克 + 水 100ml）檢驗各種澱粉，無論澱粉是來自於植物的根、莖、種子，或是生的、熟的，結果都近似黑色，如下圖所示，我們感到很好奇，到底要怎麼做才會出現藍黑色？



蕃薯(生澱粉)



玉米(生澱粉)



馬鈴薯(生澱粉)



芋頭(生澱粉)



米飯(熟澱粉)



玉米(熟澱粉)



麵條(熟澱粉)



麵包(熟澱粉)

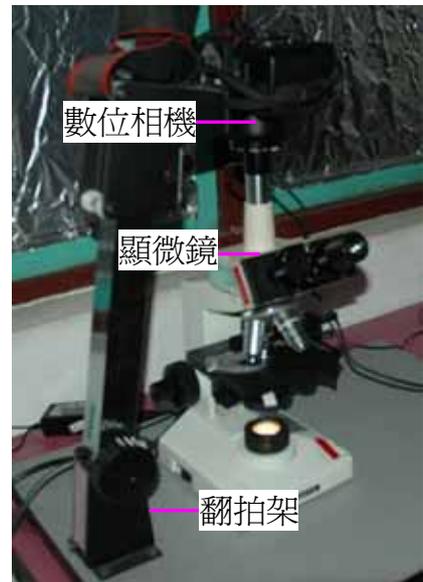
參、研究目的

1. 觀察少量生澱粉與碘液的呈色反應
2. 探討碘液濃度對澱粉粒呈色之影響
3. 探討水煮對澱粉液呈色之影響
4. 探討檢驗方法對澱粉類食物呈色之影響
5. 探討離心對澱粉液呈色之影響
6. 探討澄清液加碘液最大吸光度之波長
7. 探討澱粉液與碘液的比例對呈色之影響
8. 探討澱粉與碘液呈色之穩定性
9. 探討沸騰時間對澱粉液呈色之影響
10. 探討水溫對澱粉液呈色之影響
11. 探討水溫對澱粉粒狀態之影響

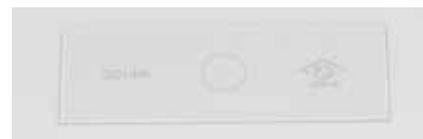
肆、研究設備與材料

一、研究設備

1. 自組的顯微照相裝置⁽³⁾，如圖A所示。
 - (1) 數位相機 (Canon 30D, Japan)。
 - (2) 顯微鏡 (Olympus CH-2, Japan)。
 - (3) 翻拍架 (LPL, Japan)。
2. 接物測微計(最小刻度0.01mm) (KS, Japan)，如圖B所示。
3. 微量注射器(最小刻度0.25 μ l) (HAMILTON, USA)，如圖C所示。
4. 電磁加熱器 (SHIN KWANG MH-1)。
5. 離心機 (HSIANGTAI C-10000, Taiwan)。
6. 自製的背光裝置，如圖D所示。
7. 照度計 (Lutron LX-101)。
8. 分光光度計 (UNICO UV-2100, USA)。
9. 恆溫水槽。
10. 電子式溫度計 (EXTECH TYPE K)。
11. 筆記型電腦 (ASUS, Taiwan)。
12. Canon EOS Utility 軟體 (相機附贈軟體)。
13. Excel 2000 軟體。
14. Photoshop CS2 軟體(30天試用版)。
15. SigmaPlot 10 軟體(30天試用版)。



圖A. 自組的顯微照相裝置



圖B. 接物測微計



圖C. 微量注射器



圖D. 自製的背光裝置

二、材料

1. 綠豆生澱粉的製備⁽¹⁾

綠豆→加水浸漬→瀝乾→加蒸餾水→果汁機打汁30秒→篩網過濾→濾液冷藏靜置→取下層沉澱物→30°C 乾燥24小時→研磨粉碎→綠豆生澱粉(以下簡稱：生澱粉)。

2. 碘液的配製⁽²⁾

- (1) 0.1N 碘液：稱取13克的碘，40克的碘化鉀，加水至1000ml，靜置隔夜。
- (2) 0.01N 碘液：量取0.1N 碘液25ml，加水至250ml。
- (3) 0.001N 碘液：量取 0.01N 碘液 25ml，加水至 250ml。

伍、研究過程與方法

一、文獻探討

(一) 澱粉⁽⁷⁾⁽⁹⁾

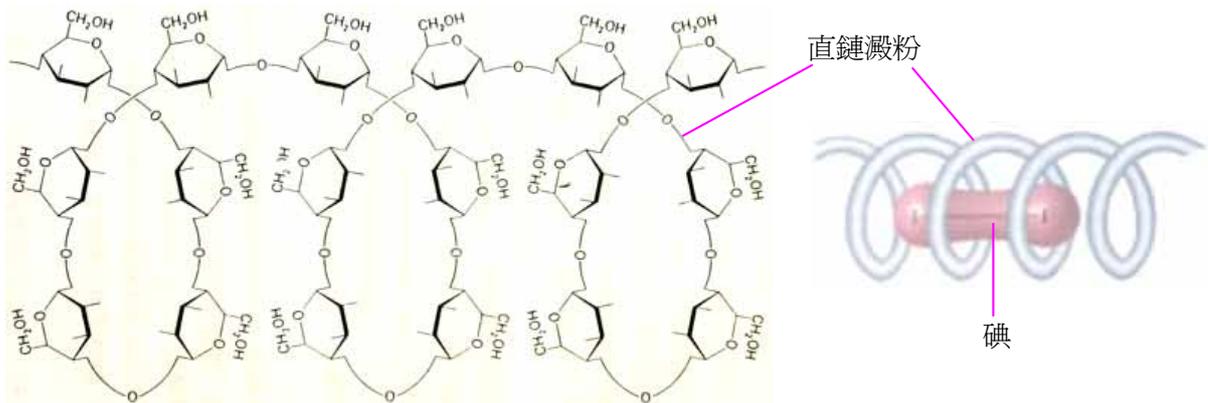
澱粉是一種儲存性多醣類，綠色植物皆以澱粉做為光合作用的最終產物，澱粉通常儲存在植物的根、莖、種子等處。澱粉在植物中是以獨立的澱粉粒存在，若置於水中加熱到一定溫度（約 65°C），澱粉粒會急速膨潤，此現象稱為「糊化」，此溫度稱為「糊化溫度」。

(二) 碘⁽²⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾

碘微溶於水，但易溶於含碘離子的溶液中，碘液並非十分穩定，會造成碘損失的原因很多，如：空氣氧化、光、高溫……等，所以碘液要裝入有塞子的褐色容器中，以防止碘的顯著損失。

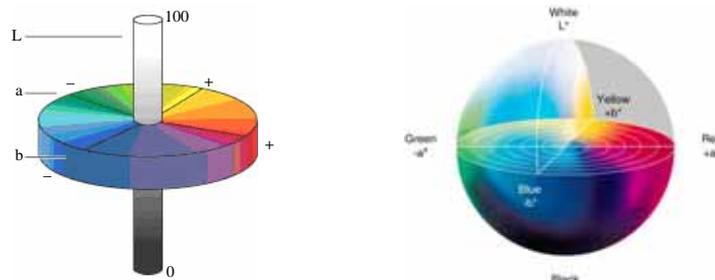
(三) 「澱粉-碘」錯合物⁽⁴⁾⁽⁷⁾⁽⁹⁾

澱粉包含直鏈澱粉與支鏈澱粉兩種成分，直鏈澱粉為螺旋結構，如下圖⁽⁴⁾⁽⁹⁾所示，而中央的空穴為碘留下足夠的空間，因而直鏈澱粉可與碘形成藍色錯合物。



(四) Lab色彩模型⁽⁸⁾

Lab色彩模型是「國際照明委員會」所制定的，Lab 是一種與裝置無關的色彩模型，如下圖⁽⁸⁾。L值：0(黑)←→100(白)；a值：-(綠)←→+(紅)；b值：-(藍)←→+(黃)。Adobe Photoshop軟體有支援Lab色彩模型。



(五) 分光光度計⁽²⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾

分光光度計可在選定的波長下，用來測定樣品的透光度(或吸光度)，是一種常用於定量分析的儀器，具有靈敏度高、準確度高、操作簡便、測定快速、應用廣泛等優點。

二、研究過程

問題：在自然與生活科技實驗課中，我們學到碘液遇到澱粉會呈現藍黑色，但我們都只看到黑色。
假說：當澱粉量很少時，其透光性較好，加入碘液應該會呈現藍黑色。

【實驗一】少量生澱粉與碘液反應呈色之觀察

問題：澱粉加入0.1N碘液後顏色變得很深，不容易看出正確的色澤變化。
假說：分別使用0.1N、0.01N、0.001N碘液，應該會出現不同的色澤變化。

【實驗二】碘液濃度對澱粉粒呈色反應初期之影響

問題：無論使用0.1N、0.01N、0.001N碘液，都沒有出現藍黑色。
假說：水煮後澱粉粒會破裂，可能較易與碘液反應。

【實驗三】水煮對澱粉液呈色反應之影響

問題：食物中澱粉的測定方法該如何改進，才會出現藍黑色？
假說：碘液加在澱粉的水煮液中，應該會出現藍黑色(或藍色)。

【實驗四】檢驗方法對澱粉類食物呈色之影響

問題：水煮後的澱粉液相當混濁，直鏈澱粉到底是分佈在何處呢？
假說：若將水煮後的澱粉液經離心處理，應該可找出直鏈澱粉是分佈在何處。

【實驗五】離心對澱粉液呈色反應之影響

問題：澱粉液加碘液後，如何客觀地測定藍色的深淺？
假說：在最大吸光度的波長下，可更客觀地測定藍色的深淺。

【實驗六】最大吸光度的波長之分析

問題：澱粉液與碘液的比例，是如何影響呈色反應呢？
假說：「澱粉-碘」錯合物的生成量愈多，藍色愈深。

【實驗七】澱粉液與碘液的比例對呈色之影響

問題：「澱粉-碘」錯合物，其色澤是否會隨著反應時間而改變呢？
假說：碘並非十分穩定，反應時間愈長，碘濃度逐漸變低，則呈色會變淺。

【實驗八】「澱粉-碘」錯合物的穩定性之探討

問題：澱粉液沸騰時間是否會影響呈色反應？
假說：加熱煮沸有利於直鏈澱粉溶於水中，煮沸某一段時間後，直鏈澱粉溶出量最多，吸光度會達到最大值。

【實驗九】沸騰時間對澱粉液呈色之影響

問題：澱粉液沸騰時間愈長，吸光度反而愈小。
假說：高溫導致直鏈澱粉被破壞，在100°C以下的某溫度，吸光度最大，水中的直鏈澱粉量最多。

【實驗十】水溫對澱粉液呈色之影響

問題：水溫到底對澱粉粒狀態造成何種影響呢？
假說：水溫高於糊化溫度時，澱粉粒的狀態，應該開始有明顯變化。

【實驗十一】水溫對澱粉粒狀態之影響

三、研究方法

- ※ 爲了確認實驗的精密度，實驗採三重複進行，數據以Excel軟體STDEV函數計算出標準差。
- ※ 爲了避免光害干擾顯微影像的「亮度」，顯微影像在自行佈置的「暗室」中進行。
- ※ 爲了「定時」拍攝與避免手震干擾顯微影像的「清晰度」，數位相機連接筆記型電腦，藉由Canon EOS Utility軟體來控制相機的拍攝，如下圖所示。
- ※ 爲了使相機的拍攝條件固定，皆採手動模式調整「光圈」、「快門」、「ISO」、「對焦」、「白平衡」—以白色影印紙爲白平衡測定標準。



【實驗一】少量生澱粉與碘液反應呈色之觀察

步驟：

1. 在載玻片上塗佈少量的生澱粉，滴加 10 μ l 的 0.1N 碘液在生澱粉上（開始計時），蓋上蓋玻片，在一分鐘時，拍下數位影像。
2. 在接物測微計上塗佈少量的生澱粉，滴加 10 μ l 的 0.1N 碘液在生澱粉上（開始計時），蓋上蓋玻片，在一分鐘時，拍下顯微影像。

結果：

1. 由圖 1 顯示，0.1N 碘液會與少量生澱粉反應，結果近似黑色。
2. 由圖 2 顯示，在顯微鏡中可觀察到，0.1N 碘液會與澱粉粒反應，結果也近似黑色，而澱粉粒的粒徑大約是 10~30 μ m。

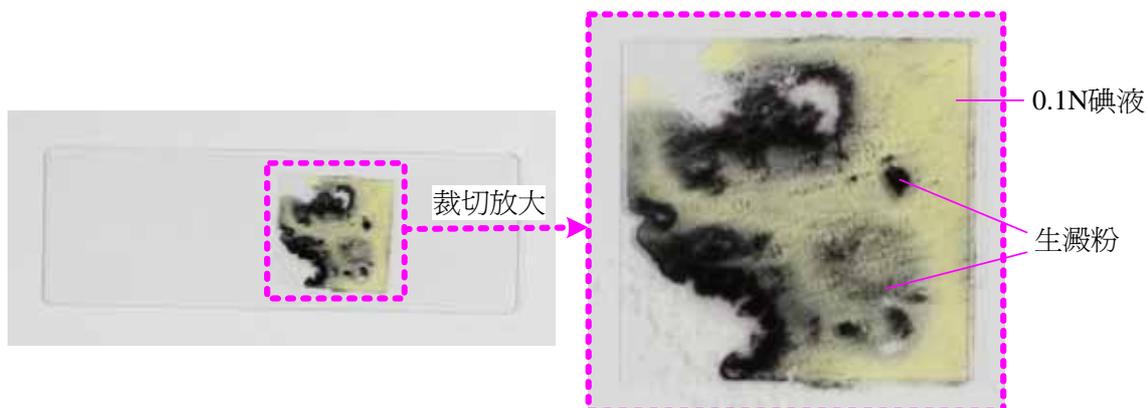


圖 1. 少量生澱粉與 0.1N 碘液反應近似黑色

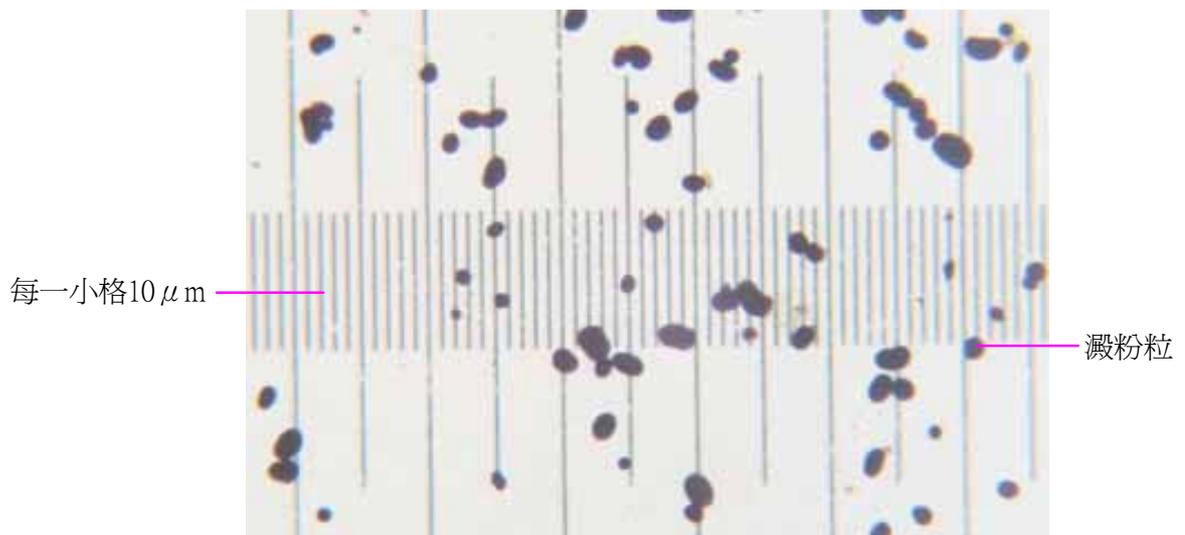


圖 2. 顯微鏡中的澱粉粒與 0.1N 碘液反應近似黑色

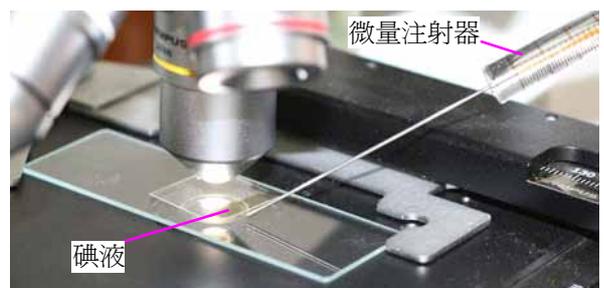
討論：

1. 在透光度良好的情況下，少量生澱粉與 0.1N 碘液反應，結果是近似黑色。
2. 加 0.1N 碘液與澱粉粒反應，其顏色很深且變化很快，因此，有必要改用濃度較稀的碘液，才能更清楚觀察到澱粉粒的顏色變化。
3. 當我們調好顯微鏡焦距及鎖定目標後，澱粉粒大約與碘液反應 1 分鐘了，所以我們有必要改良樣品的製備方法，才能捕捉到反應初期的影像。

【實驗二】碘液濃度對澱粉粒呈色反應初期之影響

步驟：

1. 取少許的生澱粉放在載玻片上，並蓋上蓋玻片，利用微量注射器由蓋玻片邊緣，分別注入 0.1N、0.01N、0.001N 碘液 10 μ l，碘液會藉由毛細現象逐漸滲入蓋玻片與載玻片間，如右圖所示。
2. 定時連續拍攝顯微影像 1 分鐘（每 5 秒一張）。



結果：

1. 如圖 3 所示，加入 0.1N 碘液，5 秒時澱粉粒呈淡紫褐色；10 秒時澱粉粒呈深紫褐色；15 秒後澱粉粒顏色都近似黑色。
2. 如圖 3 所示，加入 0.01N 及 0.001N 碘液，色澤沒有明顯變化。

討論：

1. 加入 0.1N 碘液 15 秒後，澱粉粒顏色都近似黑色，這可能是碘液濃度太高所造成。
2. 加入 0.01N 及 0.001N 碘液，色澤沒有明顯變化，這可能是碘的濃度較低所造成。

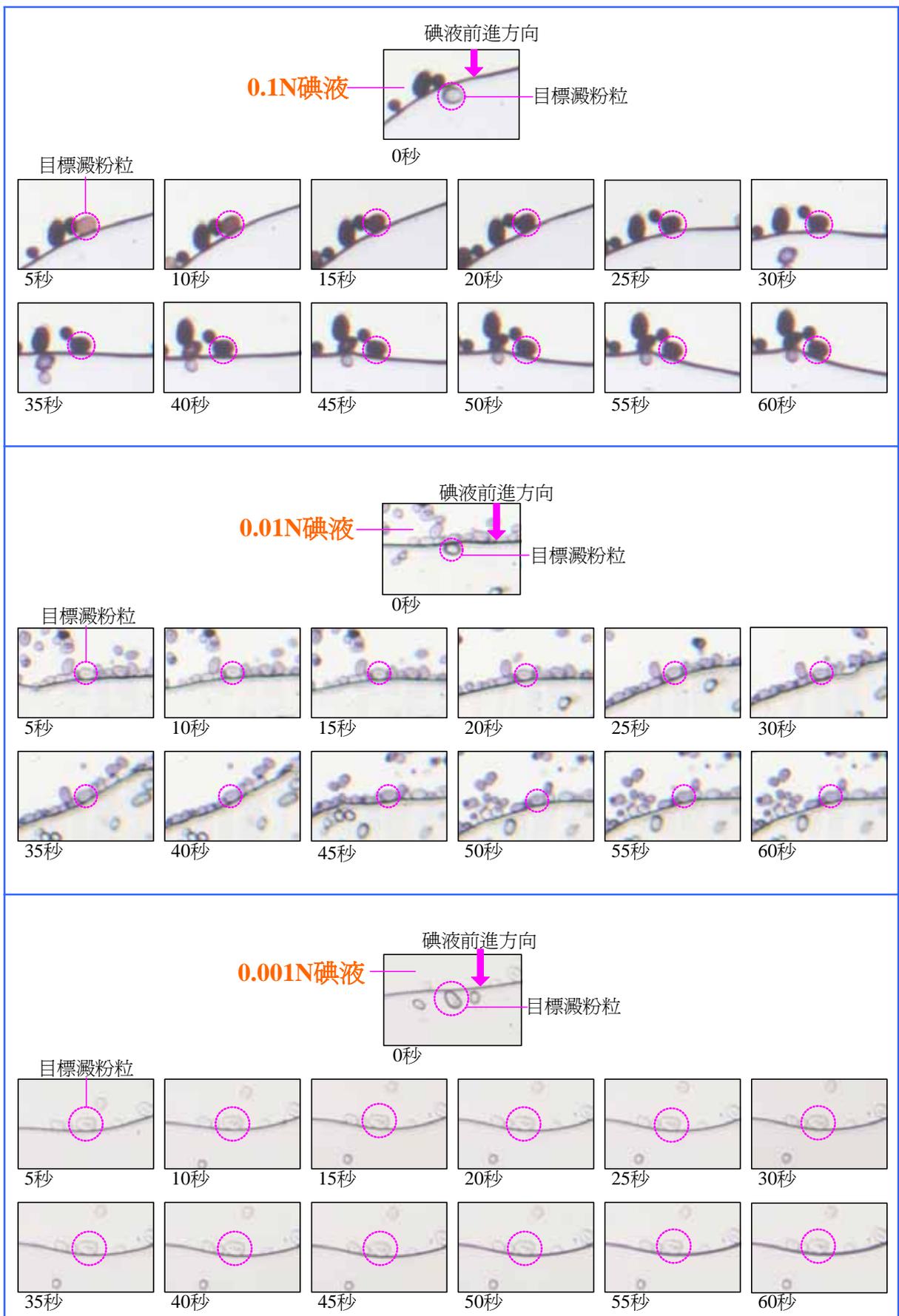


圖 3. 澱粉粒與 0.1N、0.01N、0.001N 碘液呈色反應初期之變化

【實驗三】水煮對澱粉液呈色反應之影響

步驟：

1. 「水煮前」：稱取 0.5 克的生澱粉，先以 10ml 蒸餾水拌勻，混入 90ml 蒸餾水中。
2. 「水煮後」：重覆步驟 1，但改用 90ml 沸水，並以電磁加熱器繼續煮沸 1 分鐘（如右圖），經過 30 秒後用冷水冷卻。
3. 分別取 0.1N、0.01N、0.001N 碘液 1ml，分別加入「水煮前」和「水煮後」澱粉液各 9ml，觀察其色澤變化。



結果：

1. 如圖 4 所示，「水煮前」的澱粉液較澄清；「水煮後」的澱粉液較混濁。
2. 如圖 4 所示，只有在「水煮後」澱粉液中，加入 0.001N 碘液才會明顯出現藍色。

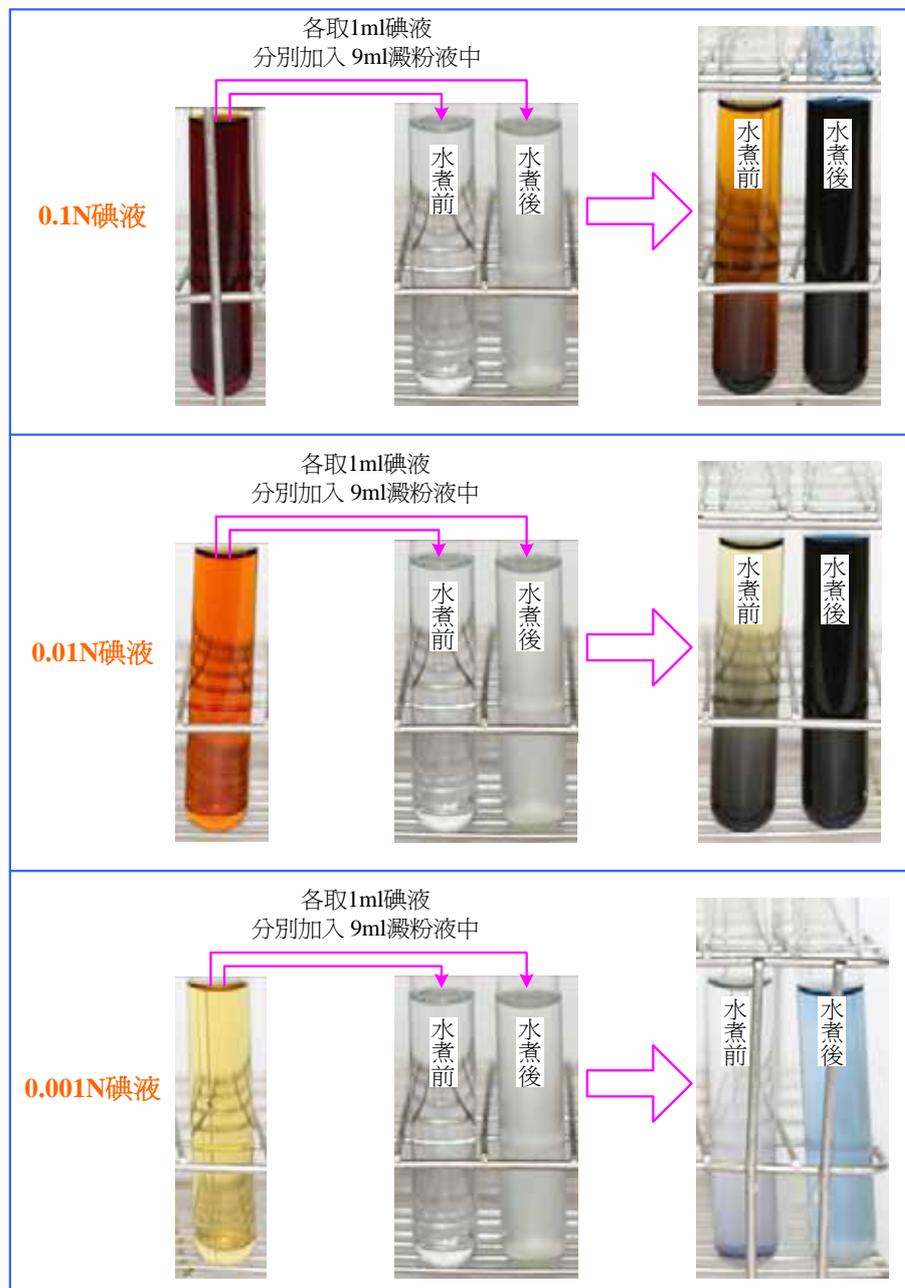


圖 4. 不同濃度的碘液對水煮前後的澱粉液呈色之影響

討論：

1. 由實驗結果可知，在「水煮後」的澱粉液中，加入 0.001N 的碘液，才能看到明顯的藍色。
2. 加 0.1N、0.01N 碘液，稍微可看到藍色，但可能是因濃度太高，使得顏色近似黑色。

【實驗四】檢驗方法對澱粉類食物呈色之影響

步驟：

1. 分別將 0.1N、0.01N、0.001N 碘液，加在生的澱粉類食物、搗碎物、汁液上，觀察是否會出現藍黑色。
2. 分別將 0.1N、0.01N、0.001N 碘液，加在熟的澱粉類食物、水煮液上，觀察是否會出現藍黑色。

結果：

1. 如圖 5 所示，各種濃度的碘液，都無法使生的澱粉類食物、搗碎物、汁液出現藍黑色。

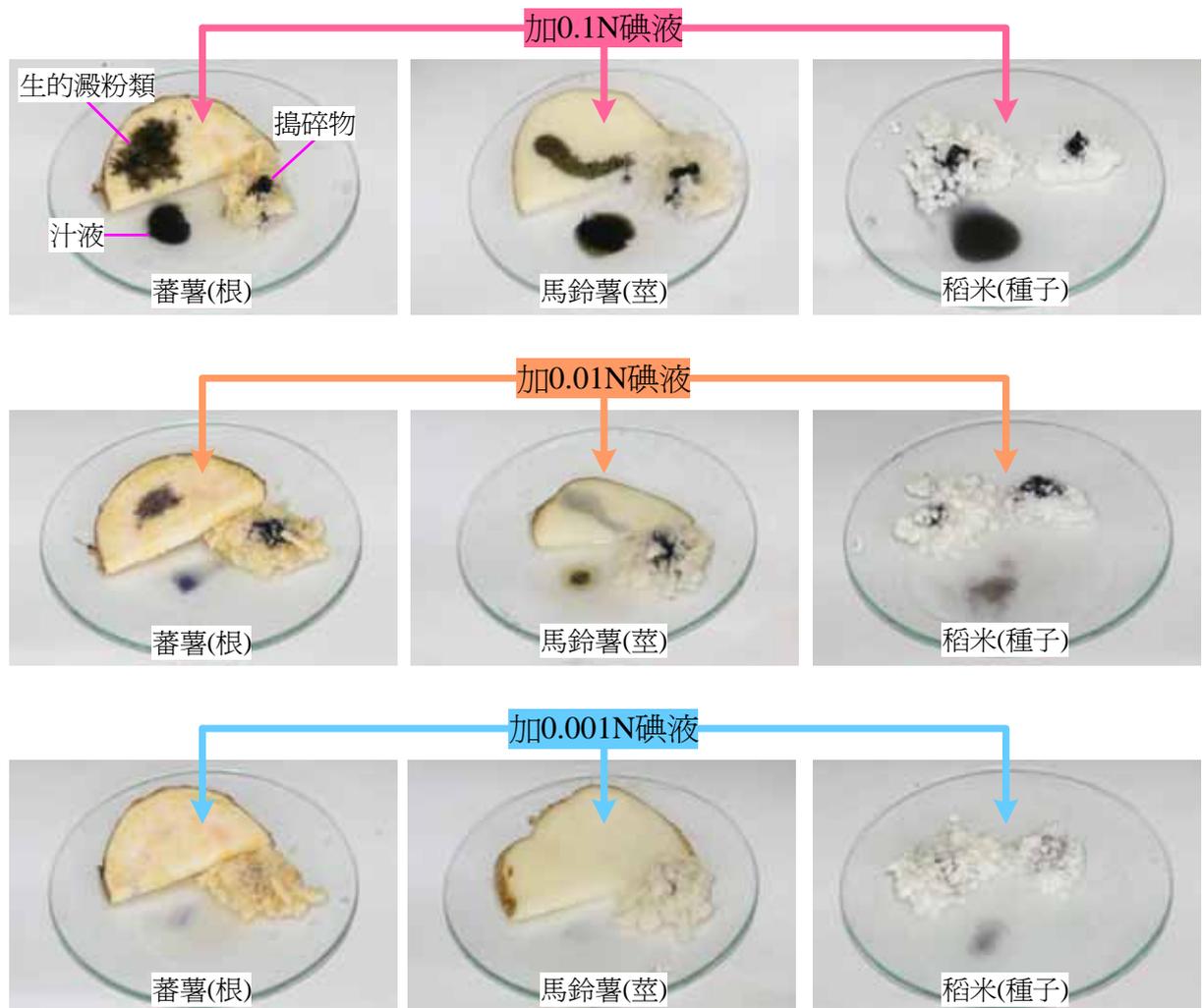


圖 5. 使用各種濃度的碘液測定「生」的澱粉類食物之呈色

2. 如圖 6 所示，各種濃度的碘液，無法使「熟」澱粉類食物出現藍黑色，但是會使「水煮液」出現藍黑色(或藍色)。

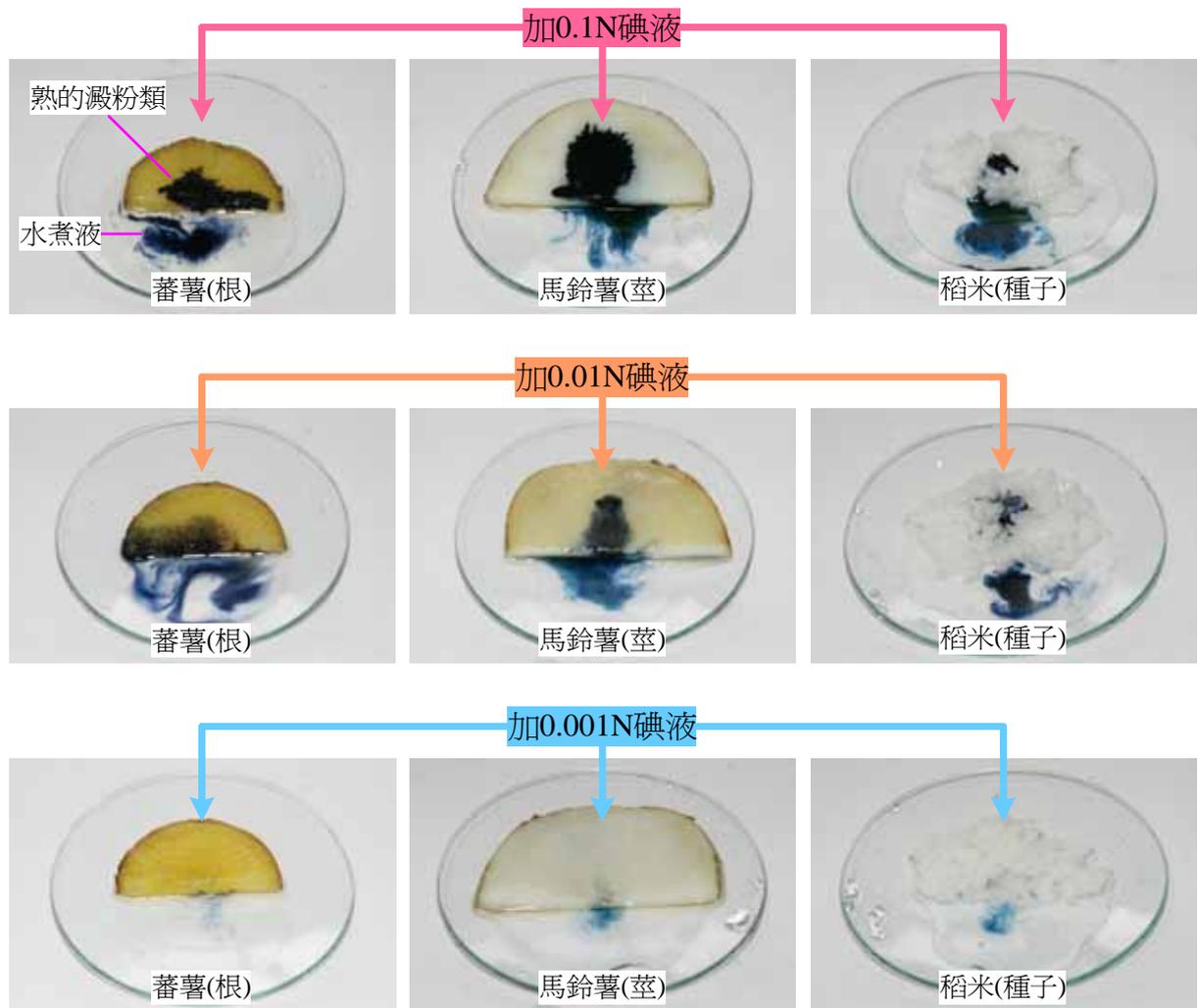


圖 6. 使用各種濃度的碘液測定「熟」的澱粉類食物之呈色

討論：

1. 若將碘液直接滴在生的澱粉類食物、搗碎物、汁液上，很確定都不會出現藍黑色(或藍色)。這表示在生的狀態，澱粉中會與碘液反應呈現藍色的物質，並沒有溶出。
2. 若將碘液直接滴在熟的澱粉類食物上，也不會出現藍黑色(或藍色)，只有將碘液加在澱粉的「水煮液」中，才會明顯出現藍黑色(或藍色)。這表示澱粉中會與碘液反應呈現藍色的物質，是溶於水煮液中。
3. 在澱粉水煮液中，加入濃度較高的碘液，會出現藍黑色；加入濃度較低的碘液，則會出現藍色，這表示碘液的濃度會影響藍色的深淺。
4. 經查閱相關文獻⁽⁷⁾⁽⁹⁾發現，會與碘液反應呈現藍色的物質是直鏈澱粉。

【實驗五】離心對澱粉液呈色反應之影響

步驟：

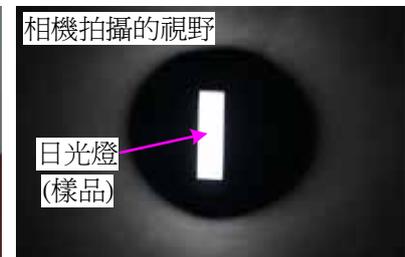
(一) 澱粉液離心前後之比較

1. 「離心前」：重覆【實驗三】步驟 2。
2. 「離心後」：重覆步驟 1，離心處理（6000rpm，10 分鐘），如右圖所示。
3. 取 0.001N 的碘液 1ml，加入「離心後澄清液」中，觀察離心管中各層的色澤變化，以確認直鏈澱粉的所在位置。



(二) 加碘液後 Lab 值之分析

1. 在暗室中使用照度計，先檢測自製背光裝置的光源穩定性，下圖所示。



2. 取「離心前」澱粉液、「離心後」澄清液各 9ml，分別加入 0.001N 碘液 1ml，將樣品放置在自製的背光裝置上拍攝。
3. 相機以三腳架固定在背光裝置前緣進行拍攝。
4. 利用 photoshop CS2 軟體，分析樣品中心點的 Lab 值。

(三) Lab 值之模擬

1. 將所測出的 Lab 值，輸入 photoshop CS2 的 color 視窗中，模擬樣品的顏色。
2. 將模擬出來的顏色，與樣品實測的顏色做比較。

結果：

(一) 澱粉液離心前後之比較

如圖 7 所示，「離心前」較混濁；「離心後」較澄清，並明顯分為三層，內層為澄清液、中層為半透明膠體、外層為殘渣。

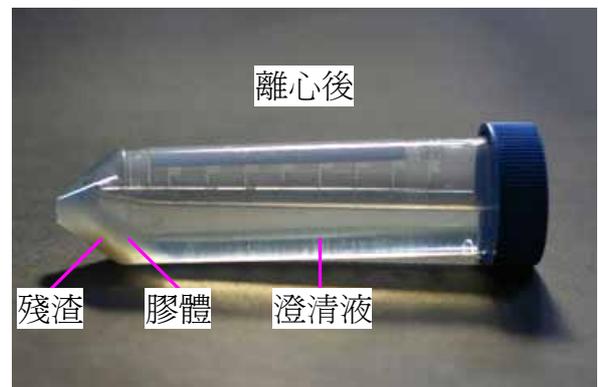
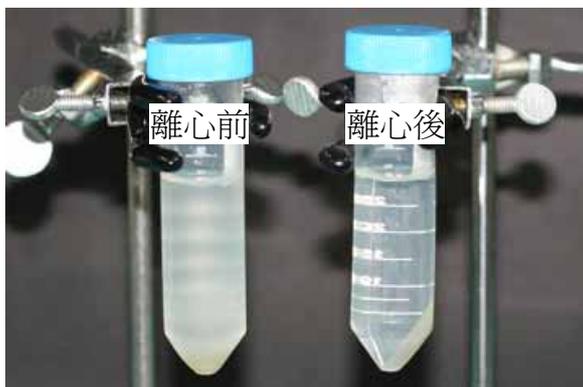


圖 7. 澱粉液離心前後之比較

如圖 8 所示，「離心後」加入碘液，內層澄清液很明顯呈現藍色反應，而中層膠體與外層殘渣並沒有出現藍色反應。

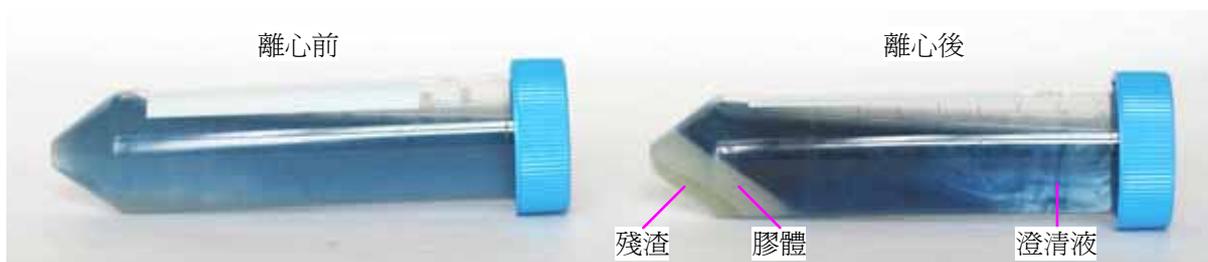


圖 8. 加碘液檢測會呈現藍色的部位

(二)加碘液後 Lab 值之分析

1. 如圖 9 所示，「離心前」呈現混濁的藍色；「離心後」呈現清澈的藍色。

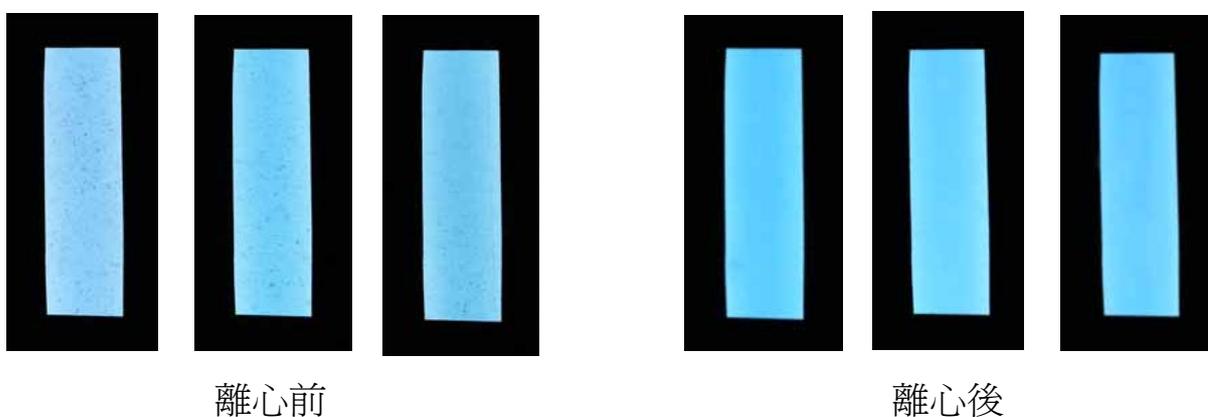


圖 9. 澱粉液離心前後呈色之比較

2. 由表 1 和圖 10 顯示：

- (1) L 值：離心前後差異不大。
- (2) a 值：離心前後差異不大。
- (3) b 值：「離心後」比「離心前」更偏向負值，這表示「離心後」顏色較藍。

表 1. 澱粉液離心前後 Lab 值之分析

	L 值		a 值		b 值	
	離心前	離心後	離心前	離心後	離心前	離心後
實驗一	77	75	-15	-20	-27	-38
實驗二	76	78	-20	-20	-29	-34
實驗三	75	78	-20	-19	-27	-34
平均值	76.0±1.0	77.0±1.7	-18.3±2.9	-19.7±0.6	-27.7±1.2	-35.3±2.3

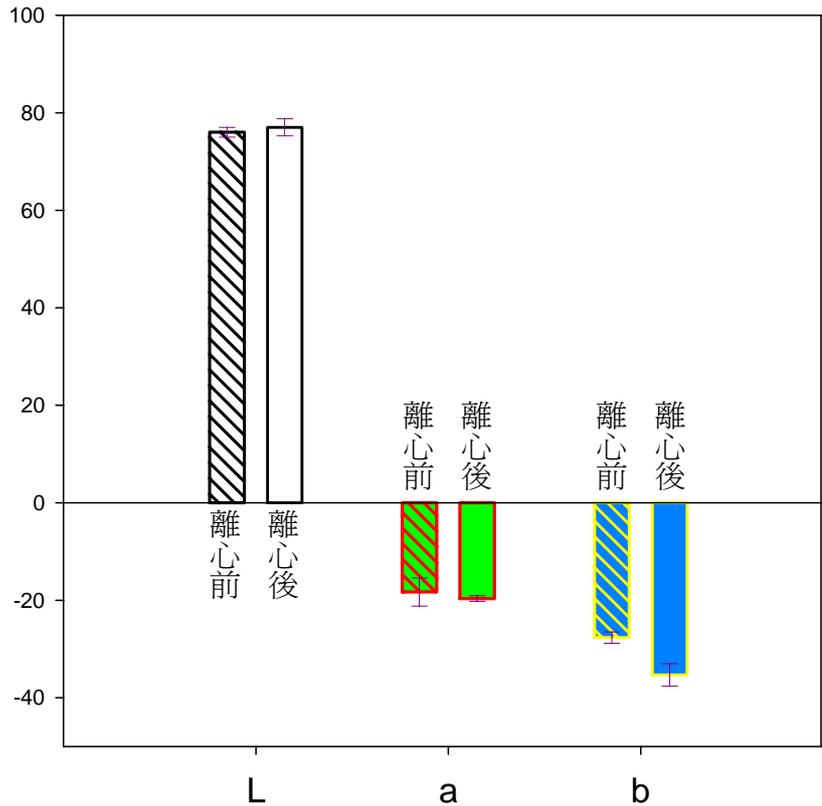


圖 10. 澱粉液離心前後 Lab 值之分析

(三)顏色之模擬

由圖 11 顯示，實測與模擬的顏色相同。

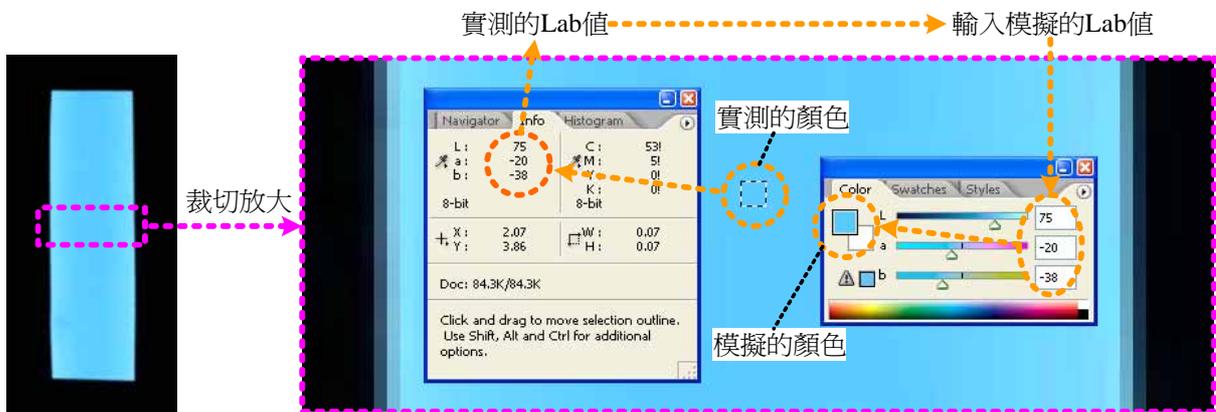


圖 11. 實測與模擬的顏色之比較

討論：

1. 澱粉液經過離心處理後，會依比重不同而明顯分為三層，因此，離心處理是一種效果很好的分離方法。
2. 「離心後」加入碘液，內層澄清液呈現藍色，這表示直鏈澱粉主要分佈在澄清液中。
3. 由於「離心後」膠體與殘渣對澄清液的干擾降低，所以 b 值明顯更偏向負值，這表示「離心後」會使藍色比較顯著。

【實驗六】最大吸光度的波長之分析

步驟：

1. 取離心後澄清液 9ml，加入 0.001N 碘液 1ml 混合均勻（開始計時），取適量的樣品注入試料槽中，以分光光度計檢測（如右圖），波長依序設定為 400、450、500、550、600、650、700、750 nm(可見光波長：390~780 nm)，一分鐘時讀取其吸光度。
2. 參考「步驟 1」中的實驗結果，選取最大吸光度的波長範圍(50nm)，再以 10nm 為一間隔，找出最大吸光度更精確的波長。



結果：

1. 由表 2 和圖 12 顯示，最大的波長範圍出現在 600~650 nm。

表 2. 吸光度與波長之關係（400~750 nm）

波長(nm)	吸光度			
	實驗一	實驗二	實驗三	平均值
400	0.270	0.270	0.275	0.272 ±0.003
450	0.380	0.375	0.366	0.374 ±0.007
500	0.470	0.473	0.480	0.474 ±0.005
550	0.715	0.712	0.710	0.712 ±0.003
600	0.926	0.904	0.940	0.923 ±0.018
650	0.921	0.990	0.928	0.946 ±0.038
700	0.836	0.887	0.880	0.868 ±0.028
750	0.662	0.626	0.609	0.632 ±0.027

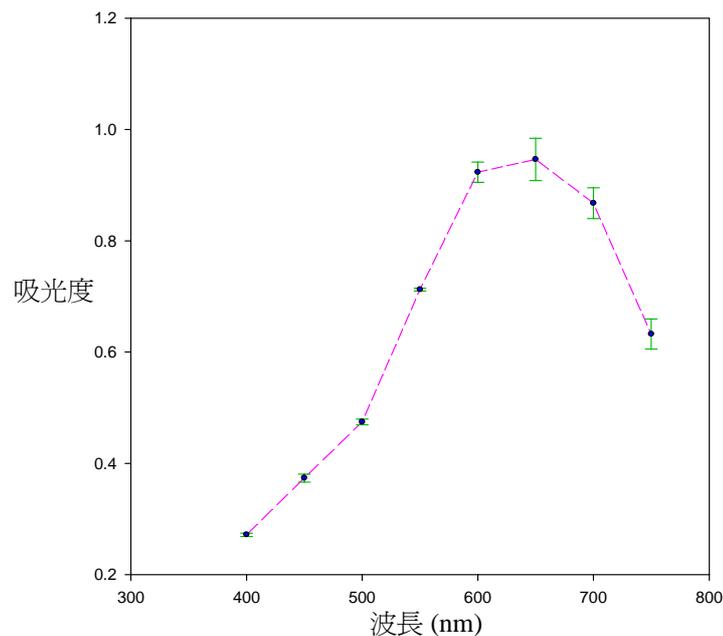


圖 12. 吸光度與波長之關係（400~750nm）

2. 由表 3 和圖 13 顯示，最大吸光度出現在波長 620nm。

表 3. 吸光度與波長之關係 (600~650nm)

波長(nm)	吸光度			
	實驗一	實驗二	實驗三	平均值
600	0.926	0.904	0.940	0.923 ±0.018
610	0.984	0.938	0.928	0.950 ±0.030
620	0.963	0.984	0.956	0.968 ±0.015
630	0.908	0.893	0.895	0.899 ±0.008
640	0.963	0.938	0.938	0.946 ±0.014
650	0.926	0.990	0.928	0.948 ±0.036

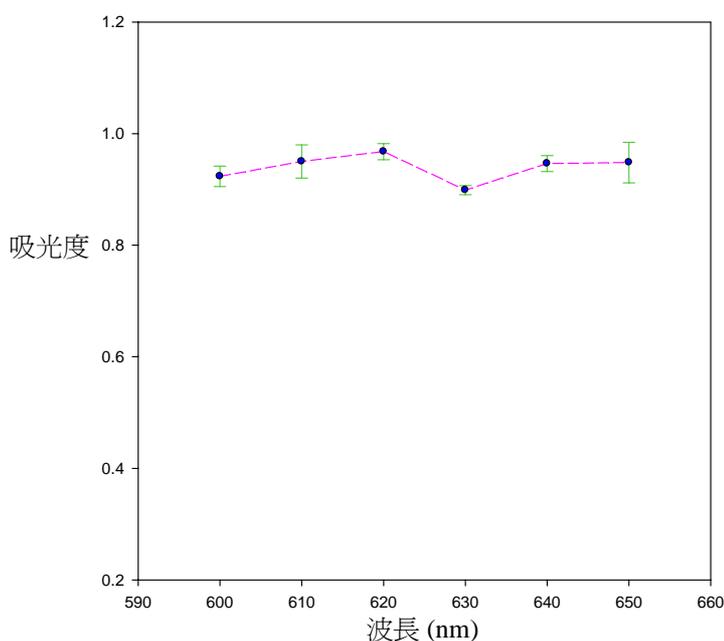


圖 13. 吸光度與波長之關係 (600~650nm)

討論：

1. 第一次測定結果，初步發現最大吸光度是出現在波長 600~650nm 之間，爲了更精確找出最大吸光度的波長，波長間隔由 50nm 縮小爲 10nm。
2. 由於波長 620nm 時吸光度最大，所以本研究測定吸光度時，波長都設定在 620nm。

【實驗七】澱粉液與碘液的比例對呈色之影響

步驟：

一、色澤之觀察

(一) 澱粉過量

1. 依照下表的比例配製樣品：

離心後澄清液(ml)	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	.....	9.6	9.8	10.0
0.001N 碘液(ml)	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0	.....	0.4	0.2	0

2. 混合均勻，拍下數位影像。

(二) 碘過量

1. 依照下表的比例配製樣品：

離心後澄清液(ml)	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	.....	0.10	0.05	0.00
0.001N 碘液(ml)	9.00	9.05	9.10	9.15	9.20	9.25	.....	9.90	9.95	10.00

2. 混合均勻，拍下數位影像。

二、吸光度之分析

(一) 澱粉過量

1. 依照下表的比例配製樣品：

離心後澄清液(ml)	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	.....	9.6	9.8	10.0
0.001N 碘液(ml)	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0	.....	0.4	0.2	0

2. 每一樣品混合均勻後，計時一分鐘測定吸光度（波長：620nm）。

(二) 碘過量

1. 依照下表的比例配製樣品：

離心後澄清液(ml)	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	.....	0.10	0.05	0.00
0.001N 碘液(ml)	9.00	9.05	9.10	9.15	9.20	9.25	.....	9.90	9.95	10.00

2. 每一樣品混合均勻後，計時一分鐘測定吸光度（波長：620nm）。

結果：

一、色澤之觀察

(一) 澱粉過量

由圖 14 顯示，碘液量多呈現黑色；碘液量少呈現透明無色。

碘液量多 ← (澱粉過量) → 碘液量少



圖 14. 碘液量與色澤之關係(澱粉過量)

(二) 碘過量

由圖 15 顯示，澱粉液量多呈現黑色；澱粉液量少呈現透明淡綠色；無澱粉液（只有碘液）呈現透明淡褐色。



圖 15. 澱粉液量與色澤之關係(碘過量)

二、吸光度之分析

(一) 澱粉過量

由表 4 和圖 16 顯示，碘液量在 0.4~2.0ml 的範圍內，碘液量與吸光度會出現線性關係。

表 4. 碘液量與吸光度之關係(澱粉過量)

澱粉液(ml)	碘液(ml)	吸光度 (波長：620nm)			
		實驗一	實驗二	實驗三	平均值
7.00	3.00	3.214	3.214	3.214	3.214 ±0.000
7.20	2.80	3.214	3.214	3.214	3.214 ±0.000
7.40	2.60	3.214	3.214	3.010	3.146 ±0.118
7.60	2.40	3.010	3.010	3.214	3.078 ±0.118
7.80	2.20	2.935	3.010	2.984	2.976 ±0.038
8.00	2.00	2.709	2.683	2.612	2.668 ±0.050
8.20	1.80	2.257	2.234	2.251	2.247 ±0.012
8.40	1.60	1.945	1.943	1.903	1.930 ±0.024
8.60	1.40	1.571	1.589	1.570	1.577 ±0.011
8.80	1.20	1.206	1.284	1.282	1.257 ±0.044
9.00	1.00	0.927	0.990	0.929	0.949 ±0.036
9.20	0.80	0.622	0.617	0.639	0.626 ±0.012
9.40	0.60	0.330	0.335	0.332	0.332 ±0.003
9.60	0.40	0.100	0.109	0.105	0.105 ±0.005
9.80	0.20	0.025	0.033	0.032	0.030 ±0.004
10.00	0.00	0.002	0.004	0.004	0.003 ±0.001

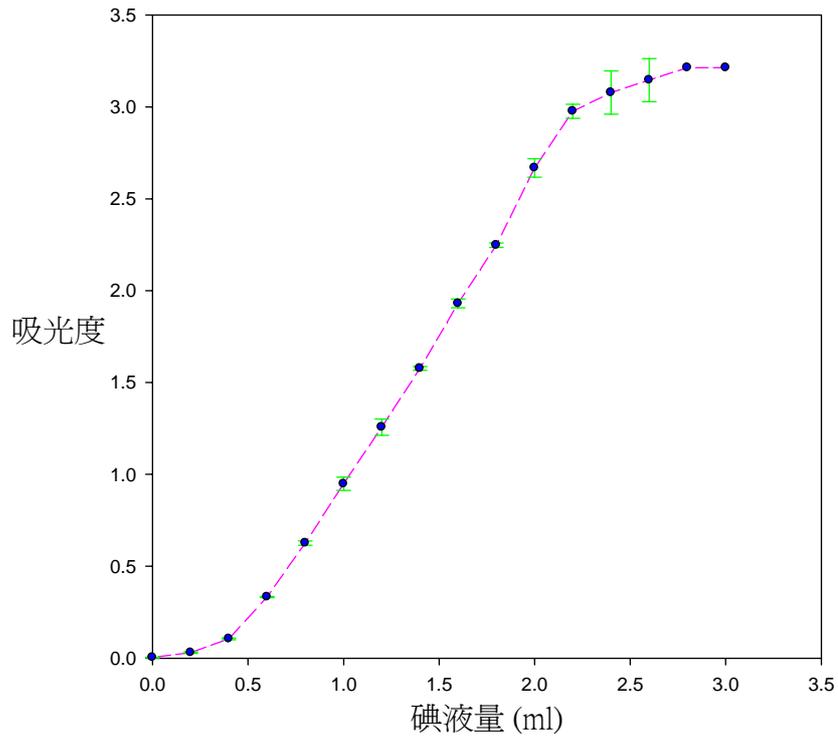


圖 16. 碘液量與吸光度之關係(澱粉過量)

(二) 碘過量

由表 5 和圖 17 顯示，澱粉液量在 0~0.5ml 的範圍內，澱粉液量與吸光度出現線性關係。

表 5. 澱粉液量與吸光度之關係(碘過量)

碘液(ml)	澱粉液(ml)	吸光度 (波長：620nm)			
		實驗一	實驗二	實驗三	平均值
9.00	1.00	3.024	3.024	3.024	3.024 ±0.000
9.10	0.90	3.024	3.024	3.010	3.019 ±0.008
9.20	0.80	3.024	3.010	3.010	3.015 ±0.008
9.30	0.70	3.010	3.024	3.010	3.015 ±0.008
9.40	0.60	3.010	3.010	3.010	3.010 ±0.000
9.50	0.50	2.561	2.451	2.552	2.521 ±0.061
9.60	0.40	1.945	1.974	2.094	2.004 ±0.079
9.70	0.30	1.490	1.508	1.494	1.497 ±0.009
9.80	0.20	1.060	1.023	1.050	1.044 ±0.019
9.90	0.10	0.526	0.521	0.511	0.519 ±0.008
10.00	0.00	0.040	0.034	0.040	0.038 ±0.003

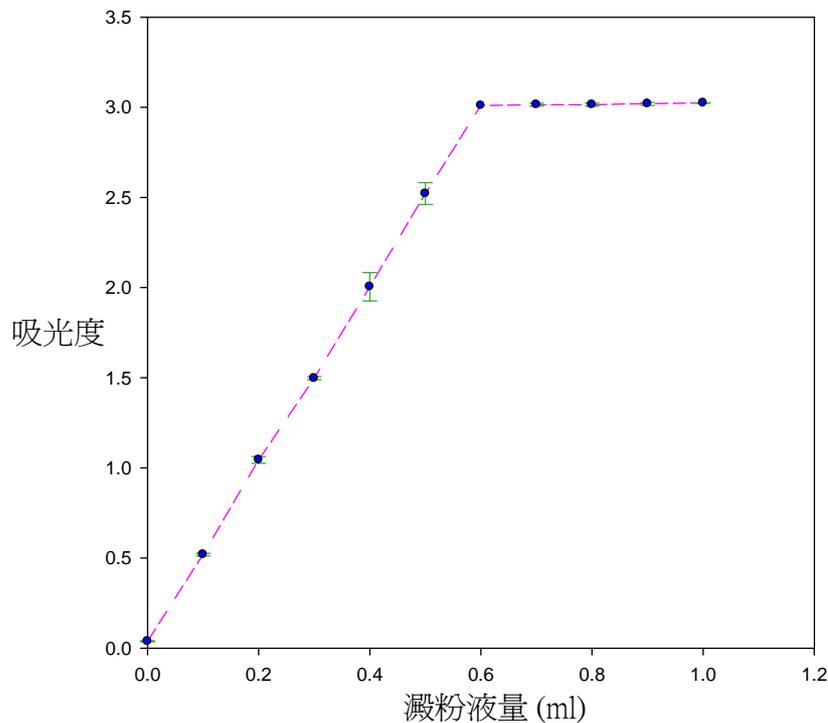


圖 17. 澱粉液量與吸光度之關係(碘過量)

討論：

1. 澱粉過量時，若碘液量是在 0.4~2.0ml 之間，則碘液量與吸光度呈現線性關係，這表示只要稀釋濃度及混合比例適當，就能應用這種線性關係來測定碘的量。
2. 碘過量時，若澱粉液量是在 0.5ml 以下，則澱粉液量與吸光度呈現線性關係，這表示只要稀釋濃度及混合比例適當，就能應用這種線性關係來測定澱粉的量。

【實驗八】「澱粉-碘」錯合物的穩定性之探討

步驟：

一、澱粉過量

1. 取離心後澄清液 9ml，加入 0.001N 碘液 1ml，混合均勻（開始計時）。
2. 計時 1 分鐘後，開始讀取吸光度（波長：620nm），每隔 20 秒讀取一次，連續讀取 5 分鐘。

二、碘過量

1. 取離心後澄清液 0.3ml，加入 0.001N 碘液 9.7ml，混合均勻（開始計時）。
2. 計時 1 分鐘後，開始讀取吸光度（波長：620nm），每隔 20 秒讀取一次，連續讀取 5 分鐘。

結果：

一、澱粉過量

由表 6 和圖 18 顯示，當澱粉過量時，吸光度會隨時間的增加而逐漸變小。

表 6. 時間與吸光度之關係(澱粉過量)

時間(秒)	吸光度 (波長：620nm)			
	實驗一	實驗二	實驗三	平均值
60	0.953	0.918	0.961	0.944 ±0.023
80	0.912	0.887	0.935	0.911 ±0.024
100	0.878	0.865	0.886	0.876 ±0.011
120	0.850	0.840	0.868	0.853 ±0.014
140	0.828	0.819	0.849	0.832 ±0.015
160	0.803	0.801	0.811	0.805 ±0.005
180	0.781	0.787	0.793	0.787 ±0.006
200	0.762	0.759	0.772	0.764 ±0.007
220	0.749	0.738	0.757	0.748 ±0.010
240	0.731	0.721	0.749	0.734 ±0.014
260	0.724	0.713	0.738	0.725 ±0.013
280	0.709	0.700	0.729	0.713 ±0.015
300	0.696	0.682	0.714	0.697 ±0.016
320	0.689	0.677	0.694	0.687 ±0.009
340	0.678	0.663	0.681	0.674 ±0.010
360	0.668	0.638	0.667	0.658 ±0.017
380	0.659	0.622	0.649	0.643 ±0.019
400	0.650	0.617	0.637	0.635 ±0.017
420	0.640	0.601	0.629	0.623 ±0.020

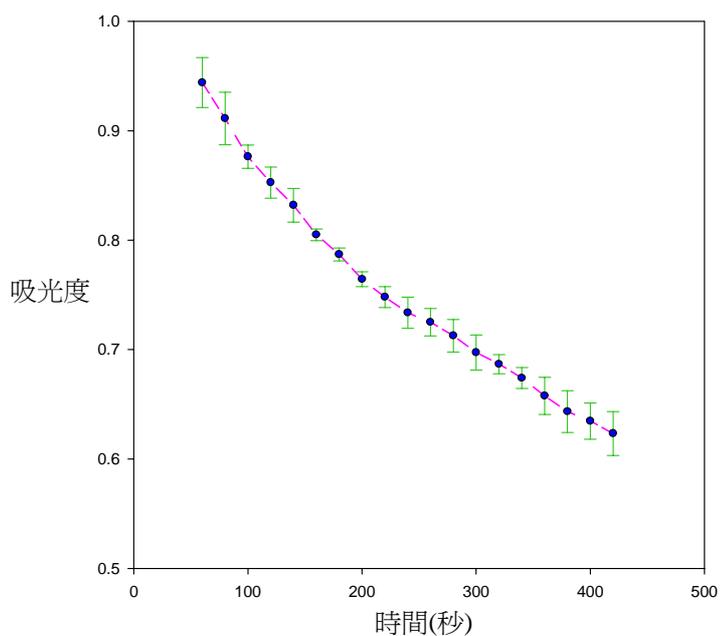


圖 18. 時間與吸光度之關係(澱粉過量)

二、碘過量

由表 7 和圖 19 顯示，當碘過量時，吸光度並不會隨時間的增加而有明顯的改變。

表 7. 時間與吸光度之關係(碘過量)

時間(秒)	吸光度 (波長：620nm)			
	實驗一	實驗二	實驗三	平均值
60	1.512	1.507	1.497	1.505 ±0.008
80	1.511	1.503	1.499	1.504 ±0.006
100	1.513	1.508	1.496	1.506 ±0.009
120	1.506	1.508	1.491	1.502 ±0.009
140	1.511	1.503	1.496	1.503 ±0.008
160	1.512	1.501	1.493	1.502 ±0.010
180	1.515	1.505	1.493	1.504 ±0.011
200	1.510	1.511	1.492	1.504 ±0.011
220	1.503	1.508	1.493	1.501 ±0.008
240	1.512	1.507	1.496	1.505 ±0.008
260	1.511	1.503	1.494	1.503 ±0.009
280	1.511	1.503	1.496	1.503 ±0.008
300	1.515	1.499	1.497	1.504 ±0.010
320	1.510	1.501	1.497	1.503 ±0.007
340	1.508	1.503	1.493	1.501 ±0.008
360	1.512	1.502	1.494	1.503 ±0.009
380	1.509	1.505	1.493	1.502 ±0.008
400	1.512	1.501	1.491	1.501 ±0.011
420	1.511	1.499	1.494	1.501 ±0.009

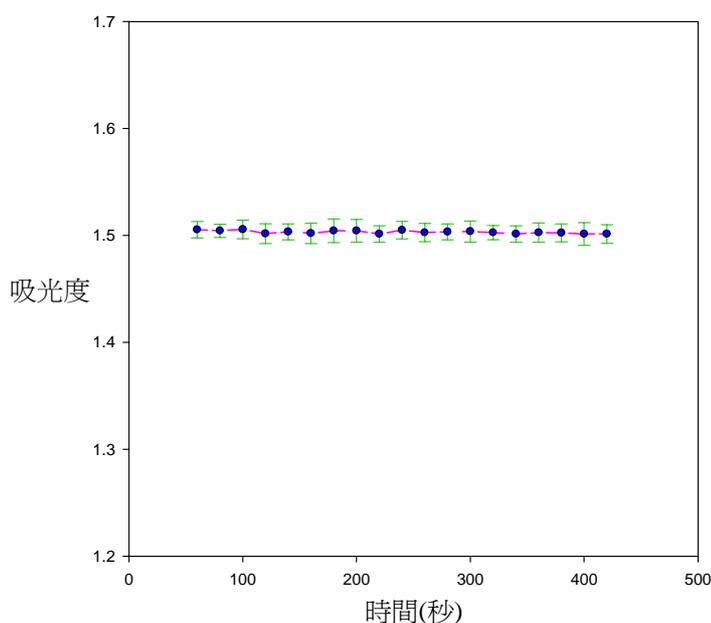


圖 19. 時間與吸光度之關係(碘過量)

討論：

1. 澱粉過量時，吸光度會逐漸變小。這可能是因為量少的「碘」不夠穩定，容易受到空氣氧化、光、高溫……等因素的影響，造成「澱粉-碘」錯合物的量逐漸減少，所以藍色逐漸變淡。
2. 碘過量時，吸光度並沒有明顯的改變。這可能是因為量少的「澱粉」較穩定，而量多的「碘」則有非常充足的量去與「澱粉」結合，造成「澱粉-碘」錯合物的量較穩定，所以藍色沒有逐漸褪色。

【實驗九】沸騰時間對澱粉液呈色之影響

步驟：

1. 稱取 0.5 克的生澱粉，先以 10ml 蒸餾水拌勻，混入 90ml 沸水，經過 30 秒後，使用冷水冷卻。
2. 重覆「步驟 1」，但依序改為繼續煮沸 1、1.5、2、2.5、3、3.5、4、4.5、5 分鐘。
3. 離心（6000rpm，10 分鐘）。
4. 取離心後澄清液 9ml，加入 0.001N 碘液 1ml。
5. 計時一分鐘，測定其吸光度（波長：620nm）。

結果：

由表 8 和圖 20 顯示，澱粉液的沸騰時間愈久，吸光度愈小。

表 8. 沸騰時間與吸光度的關係

時間(分)	吸光度 (波長：620nm)			
	實驗一	實驗二	實驗三	平均值
0.0	0.968	0.967	0.987	0.974 ±0.011
0.5	0.782	0.784	0.743	0.770 ±0.023
1.0	0.648	0.645	0.687	0.660 ±0.023
1.5	0.543	0.556	0.584	0.561 ±0.021
2.0	0.539	0.513	0.507	0.520 ±0.017
2.5	0.428	0.421	0.466	0.438 ±0.024
3.0	0.408	0.409	0.427	0.415 ±0.011
3.5	0.391	0.403	0.405	0.400 ±0.008
4.0	0.369	0.371	0.389	0.376 ±0.011
4.5	0.345	0.339	0.328	0.337 ±0.009
5.0	0.323	0.310	0.288	0.307 ±0.018

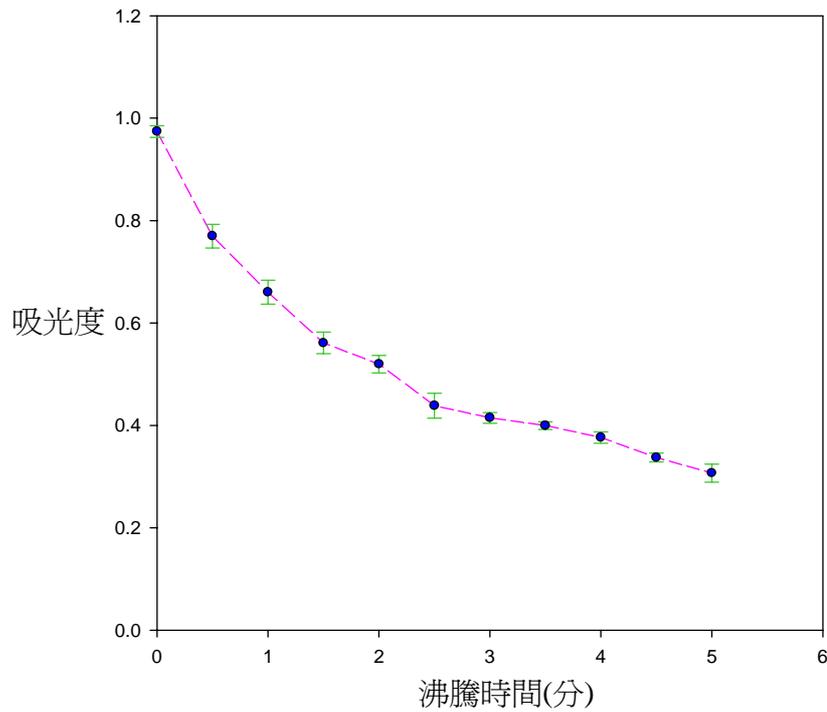


圖 20. 沸騰時間與吸光度的關係

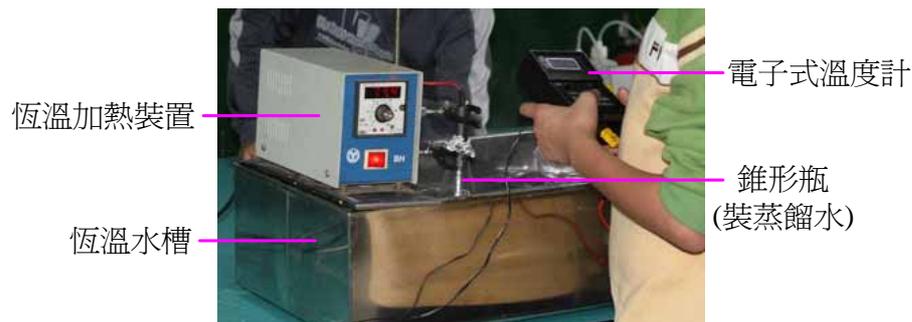
討論：

1. 由搜集到的資料顯示，配製澱粉液時，必須煮沸 1~2 分鐘⁽²⁾⁽⁵⁾，因而我們推測「煮沸」有利於溶出直鏈澱粉，煮沸某一段時間後，吸光度會達到最大值。
2. 但是實驗結果令我們感到十分意外，沸騰時間愈久，吸光度反而愈小，這表示「煮沸」可能會破壞水中的直鏈澱粉。
3. 由於沸騰時間 0 分鐘的吸光度最高，所以我們猜測吸光度最高的水溫，也許是在 100°C 以下的溫度。

【實驗十】水溫對澱粉液呈色之影響

步驟：

1. 同【實驗九】的步驟。
2. 但水溫依序改為 30、40、50、60、70、80、90、100°C。用恆溫水槽控制水溫（如下圖），以避免溫度急遽變化，但 100°C 仍用電磁加熱器，因為恆溫水槽無法達到 100°C。



結果：

由表 9 和圖 21 顯示，30~60°C 吸光度都很小；70°C 吸光度急遽變大，80°C 吸光度最大，90°C 與 100°C 時吸光度卻稍微變小。

表 9. 水溫與吸光度的關係

水溫(°C)	吸光度			
	實驗一	實驗二	實驗三	平均值
30	0.016	0.023	0.025	0.021 ±0.005
40	0.021	0.022	0.026	0.023 ±0.003
50	0.033	0.027	0.025	0.028 ±0.004
60	0.053	0.039	0.039	0.044 ±0.008
70	0.811	0.806	0.796	0.804 ±0.008
80	1.100	1.105	1.065	1.090 ±0.022
90	1.090	1.039	1.104	1.078 ±0.034
100	0.973	0.951	0.992	0.972 ±0.021

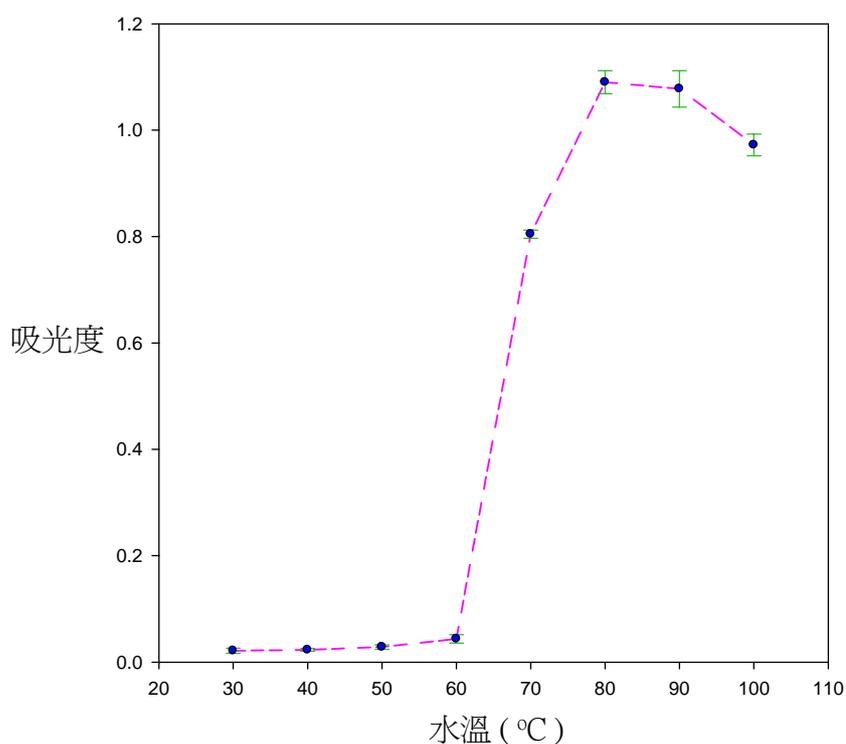


圖 21. 吸光度與水溫的關係

討論：

1. 水溫在 30~60°C 吸光度都很小，這表示水中直鏈澱粉的量很少。
2. 水溫在 70°C 時吸光度急遽變大，這表示水中直鏈澱粉的量急遽增加。
3. 水溫在 80°C 時吸光度最大，這表示水中直鏈澱粉的量達到最大。
4. 水溫在 90、100°C 時吸光度卻稍微變小，這表示熱水的高溫可能會破壞直鏈澱粉。

【實驗十一】水溫對澱粉粒狀態之影響

步驟：

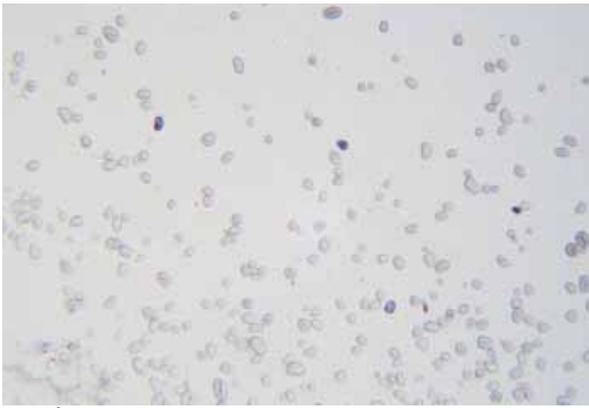
1. 同【實驗十】的步驟。
2. 取一小滴試管底部的澱粉液，置於載玻片上，分別滴加 0.001N 碘液，並蓋上蓋玻片，計時一分鐘，拍攝顯微影像（放大 100、400 倍）。

結果：

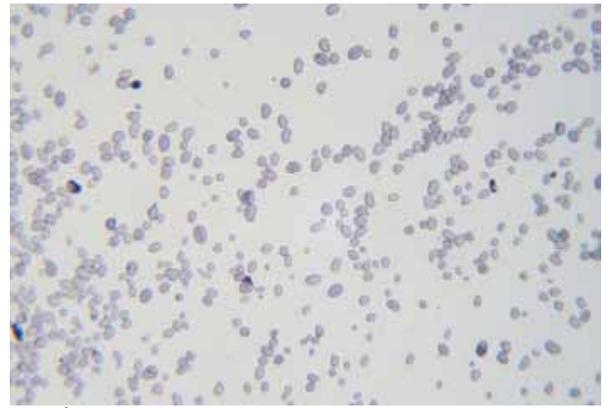
由圖 22、23 顯示，水溫在 30~60°C 時，澱粉粒的差異不明顯；70°C 時，澱粉粒絕大部份變藍色，其中有些澱粉粒明顯變大，甚至於破裂出現糊狀；80°C 時，澱粉粒大量破裂，但藍色反而變淡；90、100°C 時，澱粉粒破裂更嚴重，而且藍色變得更淡。

討論：

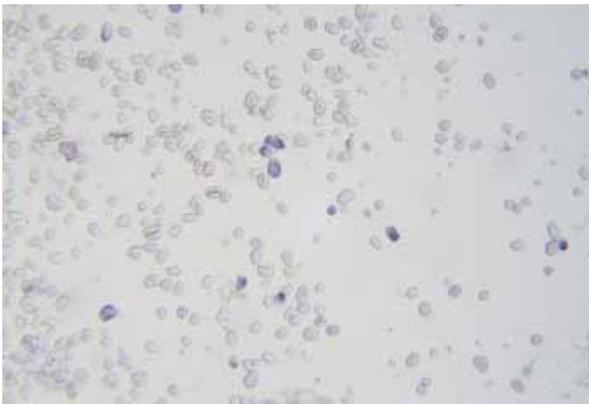
1. 在 30~60°C 時，澱粉粒只有少數會變藍色，這些澱粉粒可能是在製粉過程中，因外力造成澱粉粒損傷，導致直鏈澱粉較易與碘液反應。
2. 進一步查詢相關文獻⁽⁷⁾，我們發現澱粉的糊化溫度大約在 65°C，這可合理解釋為什麼在 70°C 時，澱粉粒開始有明顯變化。
3. 直鏈澱粉可能在 80°C 時，大量溶於水中，這反而導致澱粉粒本身的藍色變淡。
4. 在 80、90°C 時，相片的背景明顯變暗，這可能是糊狀的膠體大量形成，造成透光度變低。



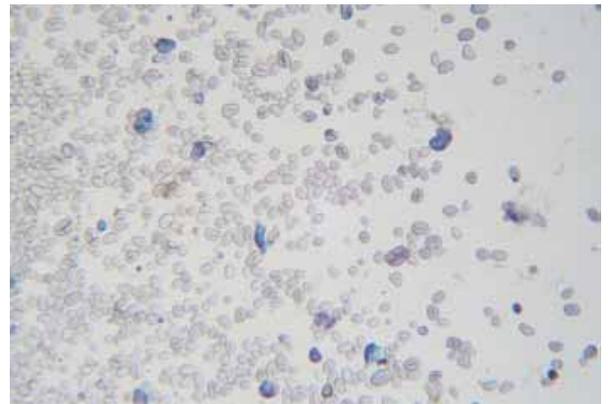
30°C



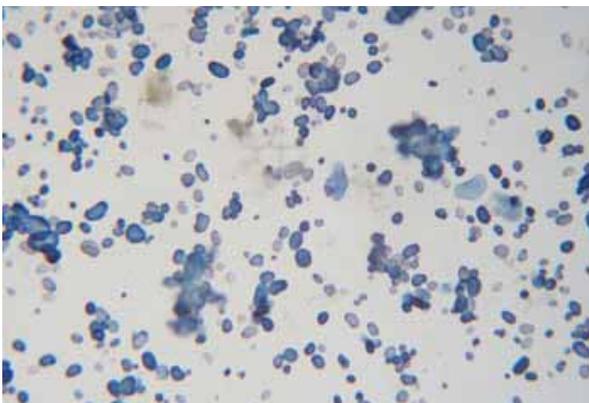
40°C



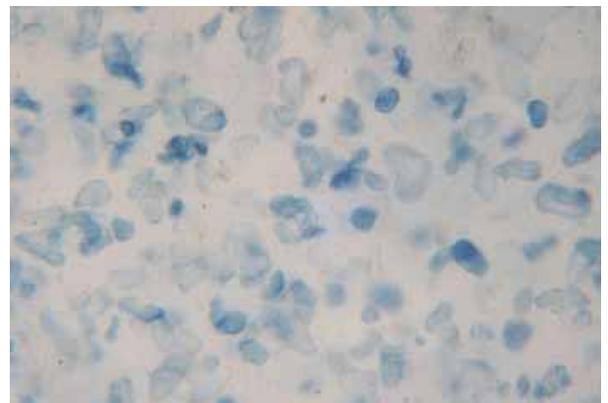
50°C



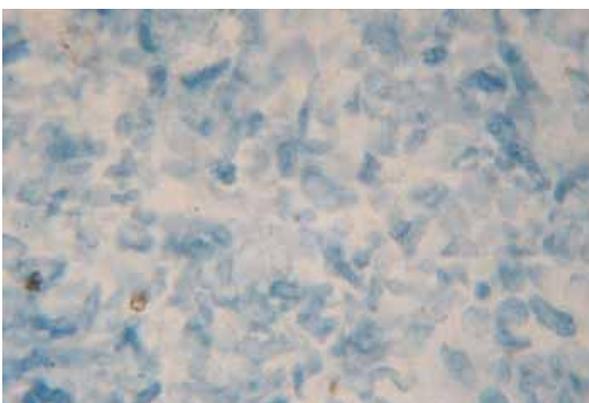
60°C



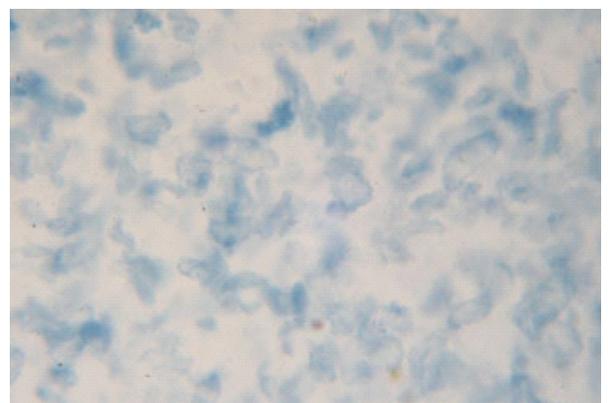
70°C



80°C



90°C

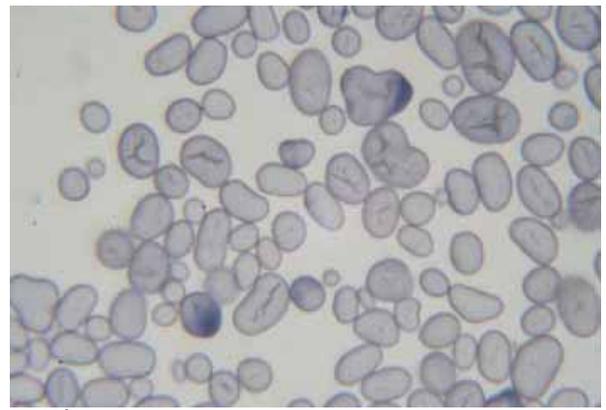


100°C

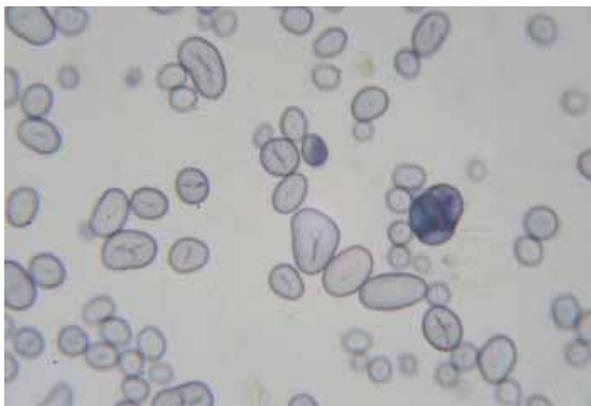
圖 22. 水溫對澱粉粒狀態之影響（放大 100 倍）



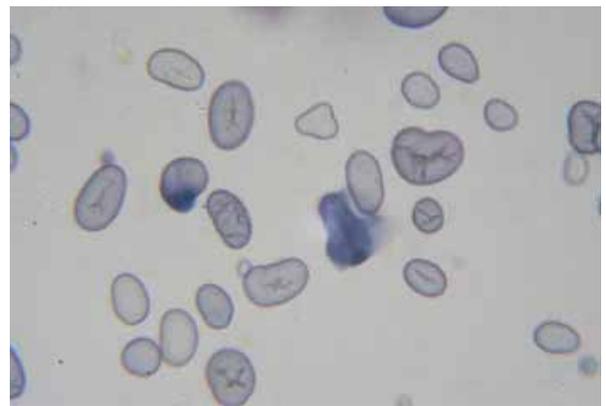
30°C



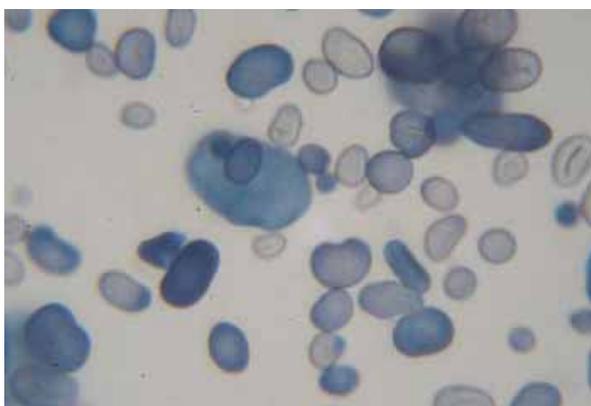
40°C



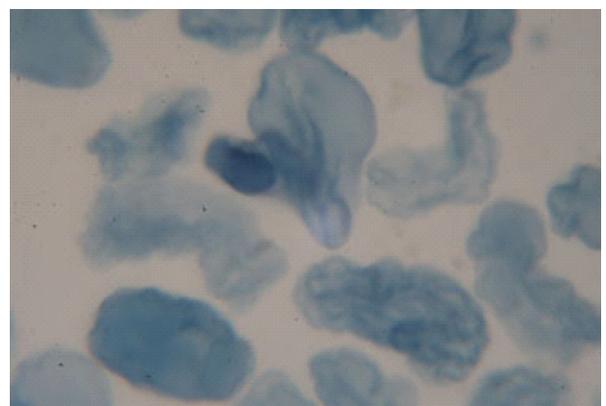
50°C



60°C



70°C



80°C



90°C



100°C

圖 23. 水溫對澱粉粒狀態之影響 (放大 400 倍)

陸、結論

一、實驗結論

1. 無論是由肉眼或顯微鏡觀察，0.1N 碘液與「少量」的澱粉反應，顏色都近似黑色。這表示在透光度好、澱粉量少的狀態下，澱粉與碘液反應，也沒有出現藍黑色。
2. 生的澱粉粒加 0.1N 碘液，在反應初期(10 秒內)可看見紫褐色，之後的顏色就近似黑色；加入 0.01N、0.001N 碘液後，色澤沒有明顯變化。這表示生的澱粉粒與各種濃度的碘液反應，都不會出現藍黑色。
3. 水煮後的澱粉液加入 0.001N 碘液，會出現明顯的藍色。這表示澱粉必須要水煮過，而且碘液濃度不可太高，才有可能出現藍色。
4. 我們應用實驗三的結果，使用各種濃度的碘液，回頭測試各種澱粉類食物，發現只有將碘液加在水煮液中，才會明顯出現藍黑色(或藍色)，若將碘液直接加在澱粉類食物上，並不會出現藍黑色。這表示澱粉中會與碘液反應呈現藍色的物質(直鏈澱粉)，是溶於水煮液中，而藍色的深淺與碘液的濃度有關。
5. 水煮過的澱粉液經離心後，澱粉液會分為三層，加入碘液測試，只有澄清液會出現藍色。這表示直鏈澱粉會溶於水中，而且是透明無色。
6. 使用分光光度計測定藍色的吸光度，當波長在 620 nm 時吸光度最大。所以本研究測定樣品吸光度時，波長都設定在 620 nm。
7. 只要澱粉液或碘液的濃度及比例適當，吸光度與澱粉(或碘)的含量，會呈現線性關係。這表示我們可進一步應用這種線性關係來測定澱粉(或碘)的量。
8. 當澱粉過量時，澱粉液加碘液的藍色會逐漸退色；當碘過量時，澱粉液加碘液的藍色則較穩定。這表示「碘」的量會影響「澱粉-碘」錯化合物的穩定性，「碘」的量少，「澱粉-碘」錯化合物的穩定性差；「碘」的量多，「澱粉-碘」錯化合物的穩定性好。
9. 沸騰時間愈久，吸光度愈小。這表示「煮沸」可能對直鏈澱粉的溶出沒有幫助，反而會造成直鏈澱粉的破壞。
10. 水溫在 80°C 時加入生澱粉，此時吸光度最大。這表示澱粉加 80°C 的熱水，水中的直鏈澱粉含量最多。
11. 在 30~60°C 時，澱粉粒的變化並不明顯；在 70°C 時，澱粉粒開始有顯著的變化，直鏈澱粉明顯溶出；在 80°C 時，澱粉粒大量破裂，直鏈澱粉大量溶出。

二、具體貢獻

1. 對國中課本及英文書⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾中「澱粉的測定方法」之改進：

對「澱粉的測定方法」之質疑	我們的研究發現
◎ 課本中的碘液是直接加在米飯上，呈現的顏色是近似黑色，並沒有看到藍黑色→實驗結果與預期不符合。	◎ 將碘液直接加在澱粉類食物上，碘液與澱粉會有明顯的顏色變化，但不是藍黑色，而是近似黑色。
◎ 英文書中的碘液是直接加在生的馬鈴薯上，相片呈現的顏色近似黑色，但是文字說明卻是「dark blue / deep-blue」(如下圖)→實驗結果與文字說明不符合。	◎ 將碘液加在澱粉類食物的「水煮液」中，會出現明顯的藍黑色(或藍色)，因為呈現藍色的關鍵成份(直鏈澱粉)是溶於水中。

※ 英文書中的相片資料，是我們完成實驗後，老師與我們到某國立大學圖書館，尋找實驗佐證資料時所發現的。(本研究的第一作者已通過全民英檢中級初試。)



2. 對參考文獻⁽²⁾⁽⁶⁾「澱粉液的配法」之改進：

對參考文獻「澱粉液的配法」之質疑	我們的研究發現
◎ 水煮後澱粉液的混濁度太高，是否有改善方法？	◎ 水煮後的澱粉液，經過「離心」得到的澄清液，加入 0.001N 碘液，顏色會更藍、更清澈。
◎ 配製澱粉液的方法，是否一定要在沸水中煮沸 1~2 分鐘？	◎ 澱粉+80°C的熱水，經離心處理，就是澱粉液最佳的配製方法。

※ 依照參考文獻，澱粉液的配製方法，都是將澱粉加入冷水中攪拌成糊液狀，再加入沸水中繼續煮沸 1~2 分鐘。我們研究發現，澱粉液根本不必煮沸，因為煮沸反而會破壞水中的直鏈澱粉，只要將澱粉直接加入 80°C 的熱水即可。。

柒、參考資料

1. 田福助 編著，有機化學(下冊)，初版，台北，高立圖書有限公司，p654~656，1993。
2. 朱紫雲 李淑芬 編著，定量分析及實驗，二版，台北，文京圖書股份有限公司，p253~257、p403~413、p449~457，1993。
3. 呂應鐘，顯微攝影，初版，台北，星光出版社，p44~46，1985。
4. 李志雄，教育部顧問室「基礎科學前瞻性人才培計劃」：微量級有機化學實驗之規化與設計—直鏈澱粉的定量分析實驗，高雄，國立中山大學化學系，p1~3，2003。
5. 李俊義 編著，分析化學，初版，台北，科技圖書股份有限公司，p414~416、p498~502、p513~518，1990。
6. 易賢仕 編著，定量分析，二版，台北，新學識文教出版中心，p132~135、p245~250、p449~457，1989。
7. 張為憲 編著，食品化學，六版，台北，華香園出版社，p33~35，1992。
8. 張真誠 黃國峰 陳同孝 編著，電子影像技術，初版，台北，旗標出版股份有限公司，p7~8，2003。
9. 趙世彬 鄒煦秋 蔡東璣 陳河吉 周大中 李文齡 編譯，生物化學，二版，台北，藝軒圖書出版社，p55~57，1993。
10. Steven, S. Z. Chemistry. Fourth Edition. Boston. Houghton Mifflin Company. p1101. 1997.
11. Whitten, K. W., Gailey, K. D. and Davis, R. E. General Chemistry with Qualitative Analysis. Fourth Edition. Orlando. Saunders College Publishing. p878. 1992.

【評語】 031628 解開「澱粉~碘」的藍色密碼

題目十分有趣，研究構思及執行皆相當的完整。所觀測之顏色是支鏈澱粉所造成還是過量碘和深藍色加成後之顏色值得作進一步之探討。