

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

高職組 化工、衛工及環工科

第二名

最佳(鄉土)教材獎

091101

碘液調色盤--直鏈澱粉定量方法之改良

學校名稱：國立民雄高級農工職業學校

| | |
|--------|-------|
| 作者： | 指導老師： |
| 職一 周芳瑜 | 郭坤鵬 |
| 職一 江庭瑩 | 王俊雄 |
| 職一 卜嘉榕 | |
| 職一 何毓倫 | |

關鍵詞：直鏈澱粉、碘、沈澱

壹、摘要

傳統的直鏈澱粉定量方法，是利用直鏈澱粉與碘形成藍色複合物之呈色來定量。在我們蒐集到的各種傳統方法中，其實驗條件並不完全相同，且操作程序較為繁瑣費時，我們針對其實驗操作條件，進行一系列實驗探討與改良，使操作程序更加簡易省時，並保有良好的精準性。

另一方面，我們也發現直鏈澱粉液與碘液混合時，在特定條件下會產生「沉澱」的現象。在不使用分光光度計的情況下，我們初步建立「沉澱量法」，以更簡易經濟的方式測出直鏈澱粉的含量，進而與參考文獻⁽¹¹⁾做比對，佐證「沉澱量法」測出的結果，可能是「實際直鏈澱粉含量」；而不是傳統方法測出的「視直鏈澱粉含量」。

貳、研究動機

我們在化學課本中學到，澱粉遇到碘液就會出現藍紫色，此特性可用來檢驗澱粉的存在⁽¹³⁾。剛開始我們抱持著好玩的心態，嘗試以碘液去測試各種澱粉樣品，結果十分神奇，竟如水彩般可調配出各式各樣的顏色，如下圖所示。接著蒐集相關文獻發現，澱粉有直鏈澱粉與支鏈澱粉兩種型式，這兩種澱粉皆會與碘液產生色澤的變化。



此外，在相關文獻⁽¹⁰⁾中提到，直鏈澱粉含量之高低對澱粉特性有很大影響。就台灣盛產的稻米而言，已知直鏈澱粉含量會影響其烹煮、食味及加工等性質，所以直鏈澱粉含量常被用來作為米粒特性分類之重要指標。

我們想應用澱粉與碘的呈色特性，進一步探討「直鏈澱粉定量方法」，但在相關文獻中⁽⁴⁾⁽¹⁰⁾的方法，其步驟繁瑣費時，我們希望能加以改良。

叁、研究目的

1. 希望針對傳統直鏈澱粉定量方法之缺點，進行一系列實驗探討與改良，使改良方法更加簡易省時。
2. 希望透過「沉澱量法」，在不使用分光光度計的情況下，以更簡易經濟的方式來測定直鏈澱粉的含量。

肆、研究設備與材料

一、研究設備

1. 粉碎機。
2. 分析篩（60 mesh, TALLYOUNG）。
3. 電動天平（A&D GR-120, Japan）。
4. 往復式振盪恆溫水槽（DENG YNG DKW-20）。
5. 分光光度計（UNICO UV-2100, USA）。
6. pH計（CORNING 430, UK）。
7. 自製背光照明裝置。
8. 單眼數位相機（Nikon D70, Japan）。
9. 烘箱（CHANNEL）。
10. 乾燥器。



分析篩



自製背光照明裝置

二、材料

1. 澱粉樣品：台中在來1號白米、台農67號白米、台中秈10號白米（感謝台中區農業改良場提供）。
2. 直鏈澱粉（From Potato, Sigma, USA）。
3. 支鏈澱粉（From Potato, Sigma, USA）。
4. I₂（島久藥品株式會社，日本）。
10% 碘液：1g I₂ + 10ml 95%酒精中⁽⁴⁾。
1N 碘液：13g I₂ + 40g KI，加水至100ml⁽³⁾。（其他濃度的碘液，皆由此溶液稀釋而成）
5. KI（島久藥品株式會社，日本）。
6. NaOH（試藥一級，和光純藥工業株式會社，日本）。
7. CH₃COOH（試藥一級，和光純藥工業株式會社，日本）。



三、樣品之製備

本研究所採用之澱粉樣品其處理程序如下⁽¹⁰⁾：

白米 → 粉碎機乾磨 → 白米粉末 → 過篩(60mesh) → 104℃乾燥 → 澱粉樣品 → 置於乾燥器中備用。

伍、研究過程與方法

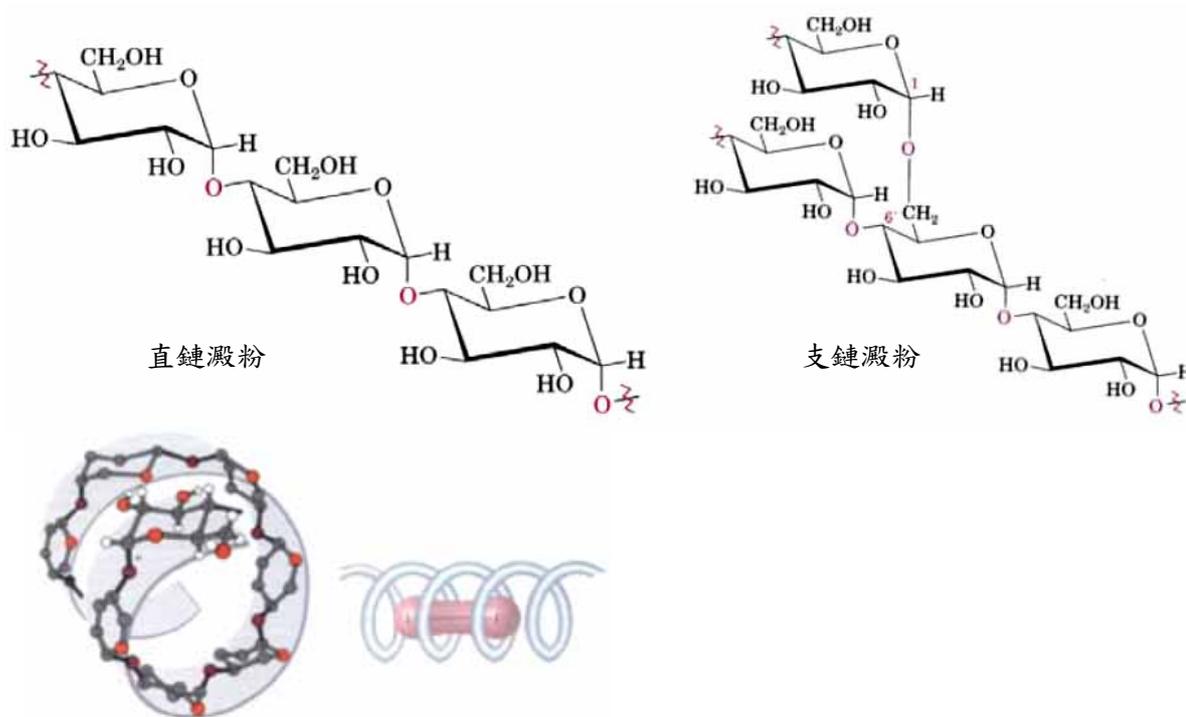
一、文獻探討

1. 澱粉⁽²⁾⁽¹⁰⁾

澱粉包含直鏈澱粉(amylose)與支鏈澱粉(amylopectin)兩種成分，直鏈澱粉遇到碘會產生深藍色；支鏈澱粉遇到碘會產生紫紅色，此二反應均極靈敏。其中直鏈澱粉含量之高低對澱粉特性有很大影響。

2. 直鏈澱粉⁽⁴⁾⁽⁶⁾⁽¹²⁾

直鏈澱粉為左旋的螺旋結構，如下圖⁽⁴⁾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複合物，此反應不但可以定性澱粉或碘的存在，且可用來定量直鏈澱粉。



3. 直鏈澱粉定量方法⁽⁴⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾

我們蒐集到五種直鏈澱粉定量方法，其中只有一種方法是應用近紅外光影像檢測直鏈澱粉含量，其他方法都是利用直鏈澱粉會與碘形成藍色錯化合物，藉由分光光度計測定其吸光值，並以直鏈澱粉標準品建立標準曲線，進而測定樣品中的直鏈澱粉含量。五種定量方法簡述如下：

1. 國立中山大學化學系之方法⁽⁴⁾：

使用 0.05N NaOH 60ml 溶解澱粉，80°C 恆溫 8 小時，以醋酸中和至中性，取澱粉液 15ml + 10% 的碘液 1 滴，波長設定 620nm 測定吸光值。

2. 行政院農業委員會農業試驗所之方法⁽¹⁰⁾：

依 Juliano(1981)之方法，澱粉 0.1g + 水 2.5ml + 2 N NaOH 2.5ml，40°C 作用 2 小時，間歇振盪充分混合定量至 50ml，取 0.5ml 澱粉液 + 水 4.5ml + 1N 醋酸 0.1ml + 碘液 0.2ml，室溫下作用 30 分鐘，波長設定 620nm 測定吸光值。(碘液濃度未標示)

3. 台中區農業改良場之方法⁽¹⁴⁾：

依 Juliano(1971)之方法處理樣品，再用直鏈澱粉自動分析儀測定。(未顯示詳細實驗條件)

4. 國立嘉義大學農學研究所之方法⁽⁹⁾：

依 Juliano(1971)之方法，澱粉 0.1g + 95% 酒精 1ml + 0.5N NaOH 9ml，沸水浴加熱 10 分鐘，再加水定量至 10ml 靜置過夜。取 5ml 樣品 + 1N 醋酸 1ml + 碘液 (1g I₂ + 10g KI + 水 500ml) 2ml，加水定量至 100ml，波長設定 620nm 測定吸光值。

5. 國立臺灣大學生物產業機電工程學研究所之方法⁽¹⁵⁾：

應用近紅外光影像檢測直鏈澱粉的含量，並與化學分析方法比對準確性。(化學分析方法：依 Juliano(1971)之方法，10mg 澱粉 + 0.5ml 的水 + 0.5N 的 NaOH 振盪 1 小時以上，再加水定量至 10ml 靜置過夜，再用直鏈澱粉自動分析儀測定，波長設定 600~620nm)。(碘液濃度未標示)

二、研究架構

【研究一】傳統方法之改良

1. 0.02%澱粉液 + 10%碘液最大吸光值波長之測定
2. 一滴10%碘液質量與吸光值之測定
3. 碘液濃度對呈色之影響
4. 0.02%澱粉液+0.001N碘液最大吸光值波長之測定
5. 加熱時間對直鏈澱粉溶解度之影響
6. 不同濃度的NaOH對直鏈澱粉溶解之影響
7. 加熱時間與直鏈澱粉溶解量之關係
8. 加熱時間與澱粉樣品中直鏈澱粉溶解量之關係
9. 澱粉液與碘液的比例對色澤之影響
10. 利用雙波長分析澱粉液與碘液的最適比例
11. 直鏈澱粉檢量線之建立
12. 改良方法準確性之驗證

【研究二】沉澱量法之探討

1. 碘液的濃度對沉澱之影響 (燒杯中)
2. 碘液的濃度對沉澱之影響 (試管中)
3. 澱粉液的濃度對沉澱之影響
4. 碘液的最適濃度之探討
5. 沉澱物來源之驗證
6. 沉澱量法之測定
7. 沉澱量法之改進

三、研究方法

【研究一】傳統方法之改良

實驗 1-1 0.02%澱粉液 + 10%碘液最大吸光值波長之測定

前言：

依中山大學化學系的直鏈澱粉定量法，採用 0.02% 澱粉液 + 10% 碘液一滴，如右圖所示，其色澤近似黑色。因此，我們懷疑其最大吸光值之波長，可能不是在 620nm 附近。



步驟：

1. 0.02% 澱粉液：0.0200g 澱粉(台中在來 1 號) + 100ml 蒸餾水，80°C 恆溫振盪 8 小時。
2. 取 0.02% 澱粉液 15ml + 10% 碘液 1 滴，於可見光波長範圍(400~750nm)，每隔 50nm 讀取吸光值。
3. 縮小波長測定範圍(400~650nm)，每隔 10nm 讀取吸光值。

結果：

1. 如圖 1-A 所示，粗略的最大吸光值波長是 450nm。
2. 如圖 1-B 所示，較精確的最大吸光值波長是 470nm。

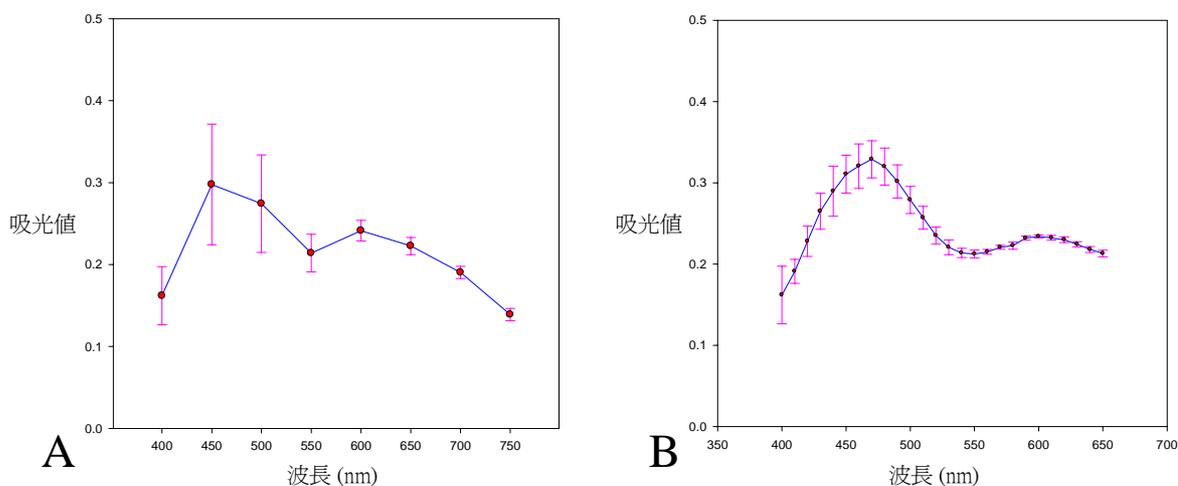


圖 1 0.02%澱粉液 + 10%碘液最大吸光值波長出現在 470nm

討論：

1. 由蒐集到的相關資料顯示⁽⁴⁾⁽⁸⁾，波長 470nm 的互補光是橙黃色，如圖 2 所示，這證明碘液量太多才會產生此結果。
2. 由於 10% 碘液的濃度很高，過量碘液的褐色與複合物的藍色混合，導致本實驗結果近似黑色。

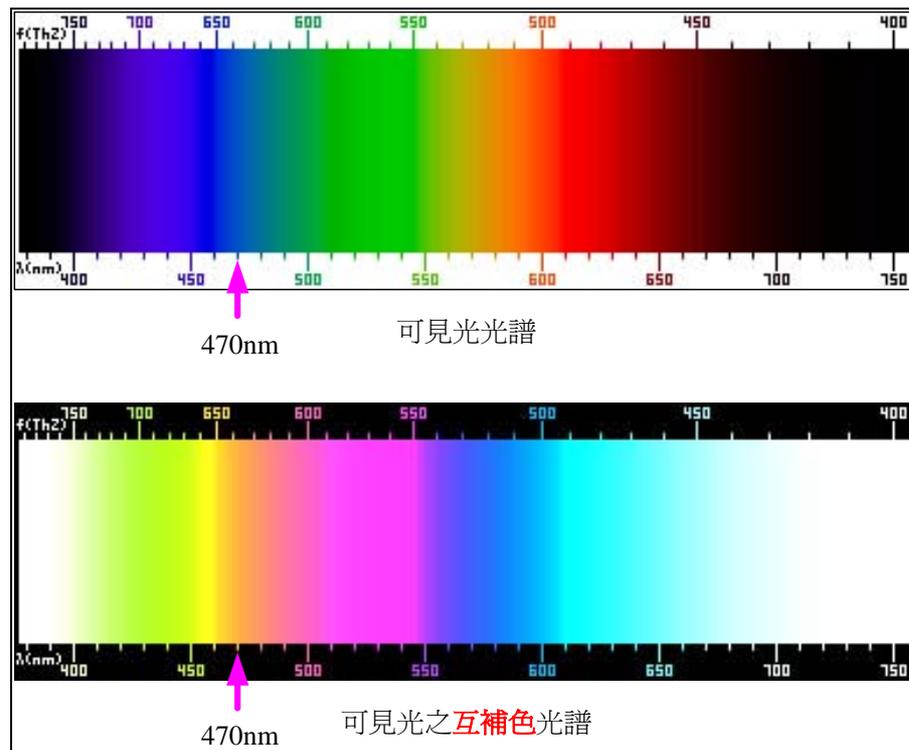


圖 2 波長 470nm 的互補光是橙黃色

實驗 1-2 一滴 10% 碘液質量與吸光值之測定

前言：

因為 10% 碘液的濃度太高，而且只加一滴就嚴重過量，如果每一滴碘液的質量不同，就可能對吸光值造成很大的影響。

步驟：

1. 將蒸餾水 15ml 裝入燒杯置入天平中歸零，由天平的上方加入一滴 10% 碘液，精稱一滴碘液的質量，並測其吸光值（波長 470nm）。
2. 實驗重複十次。

結果：

如表 1、圖 3 所示，證明每一滴碘液的質量都不相同；產生的吸光值也不相同。

表 1 每一滴碘液的質量與吸光值都不相同

| | | | | | | | | | | |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 實驗編號 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 碘液質量(g) | 0.0138 | 0.0134 | 0.0215 | 0.0155 | 0.0171 | 0.0159 | 0.0151 | 0.0151 | 0.0175 | 0.0163 |
| 吸光值 | 0.219 | 0.233 | 0.324 | 0.247 | 0.267 | 0.254 | 0.239 | 0.232 | 0.342 | 0.245 |

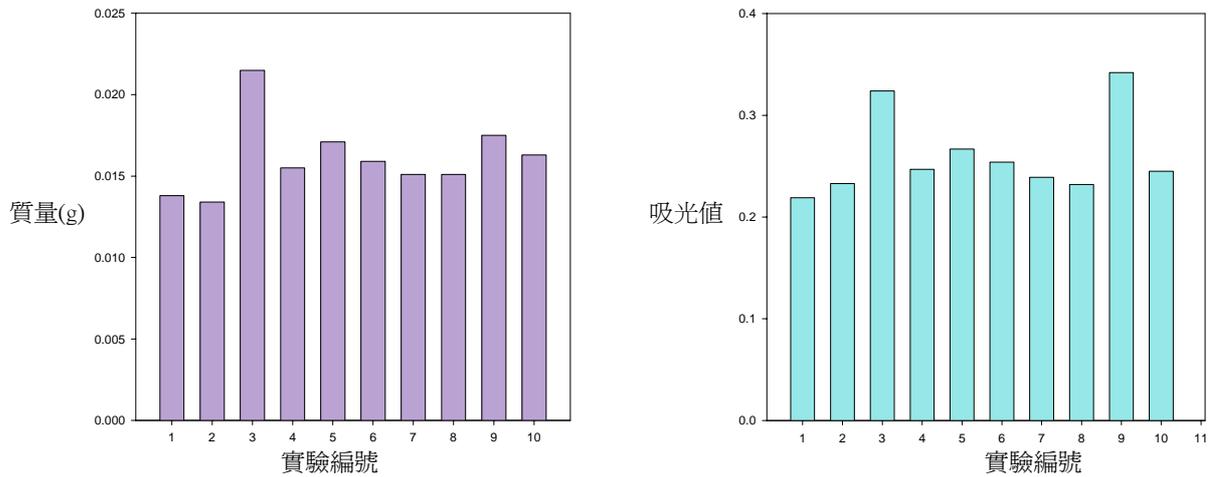


圖 3 每一滴碘液的質量與吸光值都不相同

討論：

每一滴碘液所造成的偏差必須要降低，我們覺得比較可行的辦法，就是碘液體積必須增加。

結論：

每一滴 10% 的碘液質量都有偏差，並會對吸光值會造成影響。

實驗 1-3 碘液濃度對呈色之影響

前言：

所使用的碘液體積若是增加，則會造成碘量太多，因此，必須降低碘液的濃度。

步驟：

1. 取 0.02% 澱粉液(台中在來 1 號)15ml + 10% 碘液 5ml。
2. 重複「步驟 1」，分別加入其他濃度的碘液(0.1N、0.01N、0.001N)。
3. 拍攝觀察觀其顏色變化。

結果：

如圖 4 所示，取 0.001N、0.01N、0.1N、10% 碘液，分別與澱粉液反應，依序呈現藍綠色、墨綠色、黑褐色、黑色。

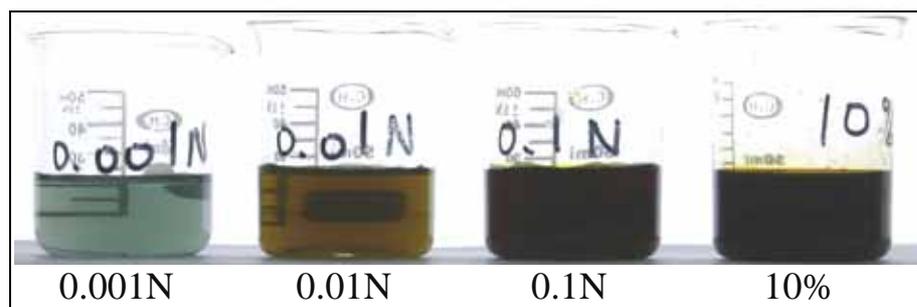


圖 4 0.02% 澱粉液在不同碘液濃度下之呈色情形

討論：

1. 採用 0.01N、0.1N、10% 的碘液，濃度都太高；採用 0.001N 的碘液，濃度較適當。
2. 碘液濃度適度即可，若是碘液濃度太高，過量的碘可能會干擾實驗結果。

結論：

將 10% 碘液 1 滴，改為 0.001N 碘液 5ml，此時混合液呈現藍綠色較適當。

實驗 1-4 0.02% 澱粉液 + 0.001N 碘液最大吸光值波長之測定

前言：

我們針對碘液的濃度與體積做修正之後，以 0.001N 碘液 5ml + 0.02% 澱粉液 15ml，測定其最大吸光波長是否接近 620nm（中山大學化學系的方法：波長 620nm）。

步驟：

1. 步驟同實驗 1-1
2. 將 10% 碘液 1 滴，改為 0.001N 碘液 5ml。



結果：

1. 如圖 5-A 所示，粗略的最大吸光值波長是 600nm。
2. 如圖 5-B 所示，較精確的最大吸光值波長是 610nm。

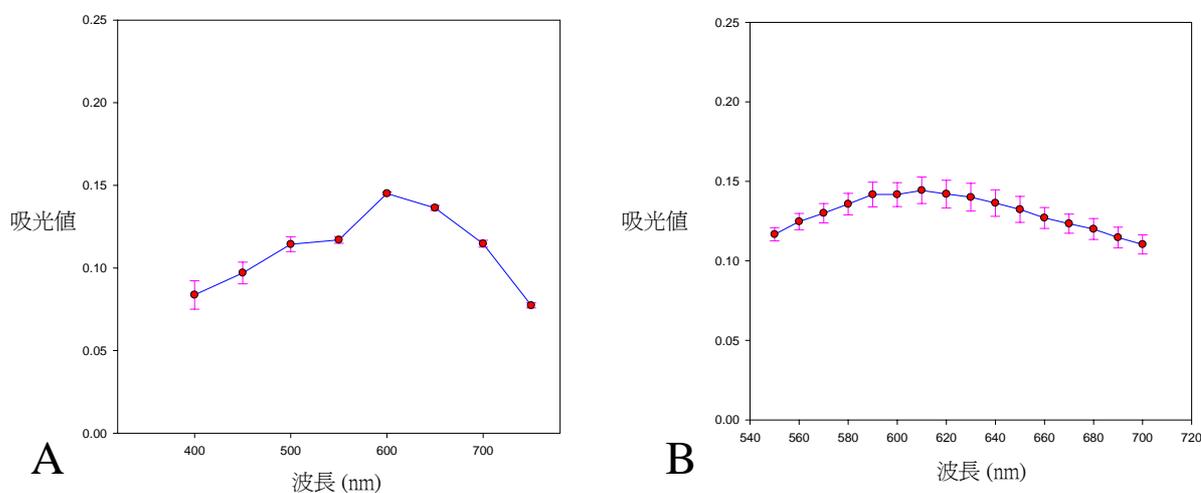


圖 5 0.02% 澱粉液 + 0.001N 碘液最大吸光值波長出現在 610nm

討論：

由蒐集到的相關資料顯示⁽⁴⁾⁽⁸⁾，波長 610nm 的互補光是藍色，如圖 6 所示，這證明本研究改用 0.001N 碘液 5ml 是適當的。

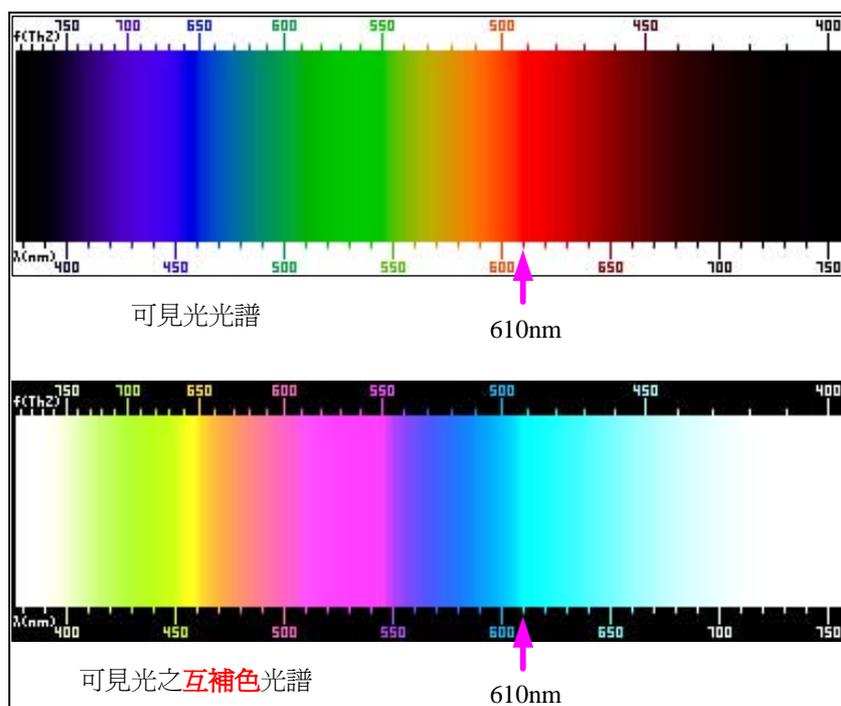


圖 6 波長 610nm 的互補光是藍色

結論：

我們修正後的實驗方法（0.02%澱粉液 15ml + 0.001N 碘液 5ml），其最大吸光值會出現在波長 610nm。

實驗 1-5 加熱時間對直鏈澱粉溶解度之影響

前言：

我們依中山大學化學系的方法，直鏈澱粉加入 0.05N NaOH 60ml 中，以 80℃ 水浴加熱 1 小時後，如下圖所示，直鏈澱粉無法完全溶解。我們推測可能加熱時間太短，或許延長加熱時間，直鏈澱粉就可以完全溶解。



步驟：

1. 精稱 0.0100g 直鏈澱粉，溶於 60ml 的 0.05N NaOH 水溶液中，分別 80℃ 水浴加熱 1 ~ 8 小時，取出冷卻。
2. 以醋酸中和至中性，再加水定量至 100ml。
3. 拍攝觀察直鏈澱粉的溶解情形。

結果：

如圖 7 所示，加熱 1~8 小時後，直鏈澱粉都無法完全溶解，仍有懸浮物。

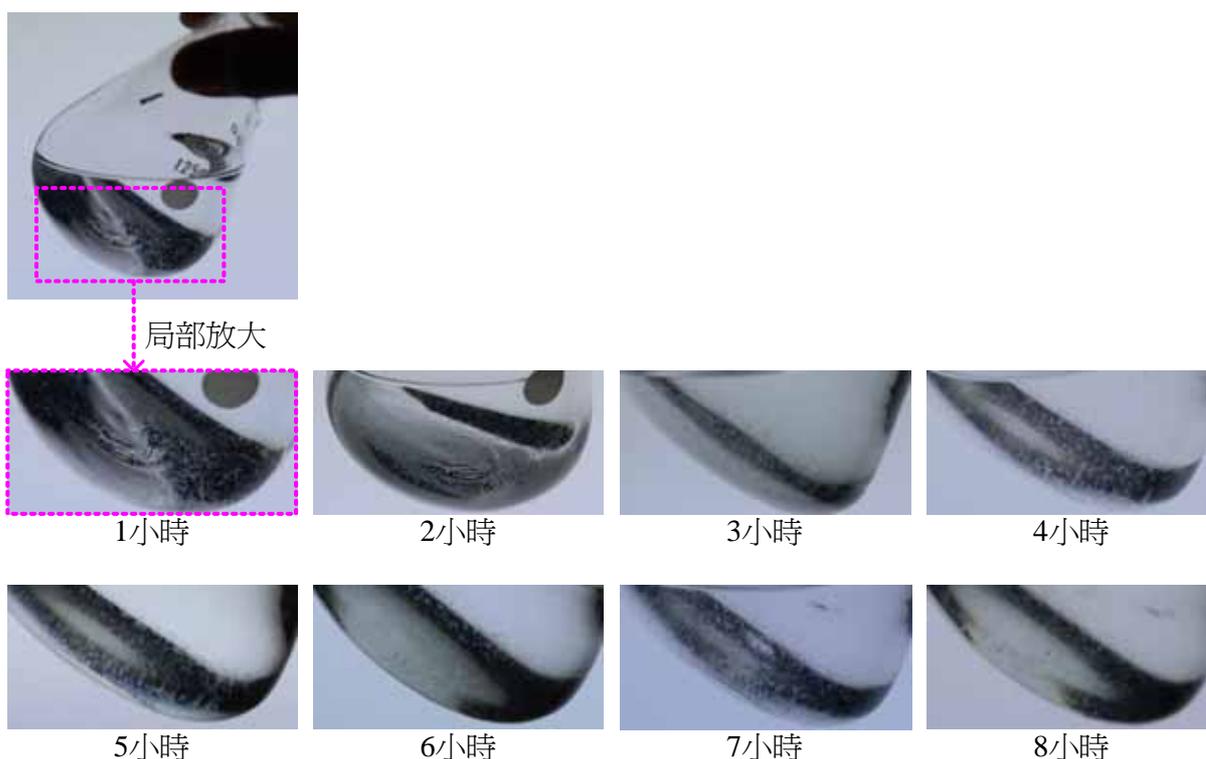


圖 7 加熱 1~8 小時後直鏈澱粉仍無法完全溶解

討論：

如果直鏈澱粉無法完全溶解，則直鏈澱粉標準品檢量線就無法正確的描繪出來。因此，必須找出可將直鏈澱粉完全溶解的方法。

結論：

依國立中山大學化學系之方法，使用 0.05N NaOH，80℃ 水浴加熱 1 小時後，無法完全溶解直鏈澱粉；加熱時間延長至 8 小時後，直鏈澱粉仍然無法完全溶解。

實驗 1-6 不同濃度的NaOH對直鏈澱粉溶解之影響

前言：

爲了找出溶解直鏈澱粉的方法，我們另外蒐集了四種直鏈澱粉定量方法^{(9) (10) (14) (15)}，結果發現所使用的NaOH濃度是 0.5N~2N，皆遠大於 0.05N。因此，我們預期提高 NaOH的濃度，可將直鏈澱粉完全溶解。

步驟：

1. 精稱 0.0100g 直鏈澱粉，分別加入 10ml 不同濃度的 NaOH 中(0.1、0.2、0.3.....1.0N)。
2. 計時 1 分鐘，拍攝觀察直鏈澱粉的溶解情形。

結果：

如圖 8 所示，加 0.1、0.2N NaOH 者，直鏈澱粉很明顯未完全溶解；加 0.3N NaOH 者，直鏈澱粉僅微量未溶解；NaOH 的濃度在 0.4N 以上者，肉眼就看不出未溶解的直鏈澱粉。

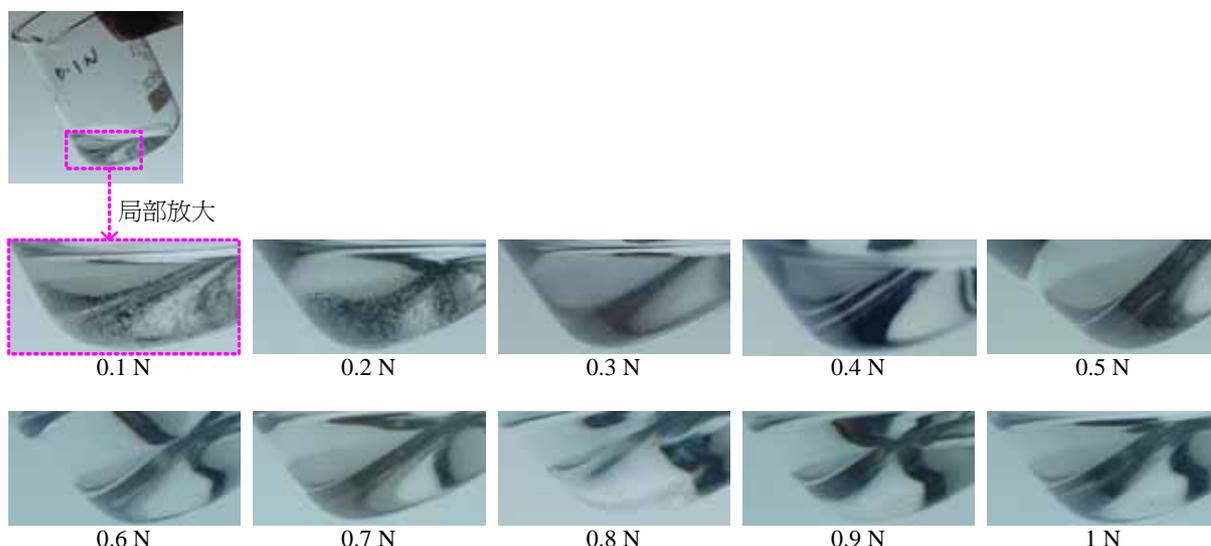


圖 8 NaOH 的濃度在 0.4N 以上者，肉眼就看不出未溶解的直鏈澱粉。

討論：

1. 實驗證明提高 NaOH 的濃度，可在短時間內溶解直鏈澱粉。
2. 有些參考文獻⁽⁹⁾⁽¹⁵⁾也使用 0.5N 的 NaOH。

結論：

將 NaOH 濃度提高到 0.4N 以上，只要 1 分鐘即可溶解直鏈澱粉，爲了確保溶解更完全，本研究採用 0.5N 的 NaOH 來溶解直鏈澱粉。

實驗 1-7 加熱時間與直鏈澱粉溶解量之關係

前言：

參考文獻⁽⁹⁾⁽¹⁵⁾的方法都要靜置過夜，相當費時。參考文獻⁽¹²⁾中提及，以略高於澱粉的糊化溫度來加熱，即可將直鏈澱粉溶出。在參考文獻⁽¹⁾中也證實，澱粉在 80℃ 熱水中，即可產生最大吸光值(波長 620nm)。因此，我們採用 80℃ 加熱，預期可縮短直鏈澱粉的溶出時間。

步驟：

1. 精稱 0.0100g 直鏈澱粉標準品，溶於 10ml 的 0.5N NaOH 水溶液中，80℃ 恆溫振盪，分別採不同加熱時間(0、10、20、30、40、50 分鐘)。
2. 加 1N 醋酸溶液中中和至中性，加水定量至 100ml。(0.01%直鏈澱粉標準液)
3. 取 0.01%直鏈澱粉標準液 3ml + 0.001N 碘液 5ml，於波長 610nm 測定吸光值。

結果：

1. 如表 2、圖 9 所示，加熱 10 分鐘後，其吸光值就趨近於最大值。

表 2 加熱時間與吸光值之關係

| 加熱時間 (min) | 吸光值 | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 實驗一 | 實驗二 | 實驗三 | 平均 | 標準差 |
| 0 | 0.675 | 0.645 | 0.681 | 0.667 | 0.019 |
| 10 | 0.812 | 0.778 | 0.761 | 0.784 | 0.026 |
| 20 | 0.790 | 0.791 | 0.776 | 0.786 | 0.008 |
| 30 | 0.795 | 0.794 | 0.783 | 0.791 | 0.007 |
| 40 | 0.755 | 0.802 | 0.779 | 0.779 | 0.024 |
| 50 | 0.767 | 0.771 | 0.772 | 0.770 | 0.003 |

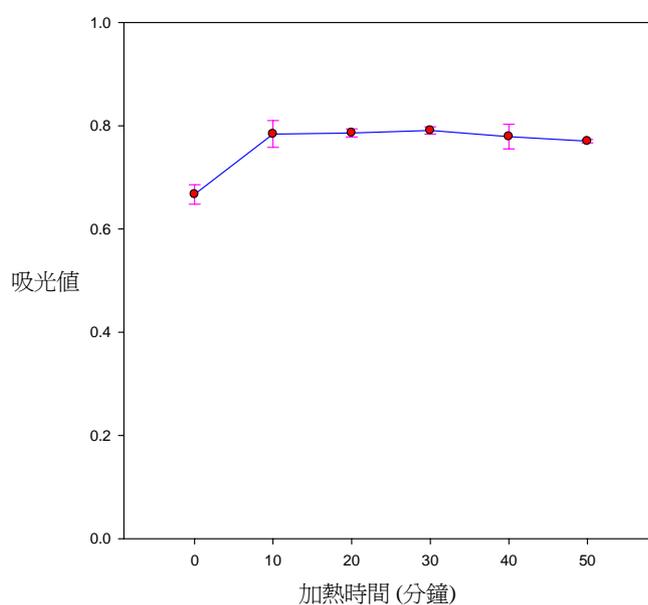


圖 9 加熱時間與吸光值之關係

討論：

加熱 10 分鐘後，其吸光值就趨近於最大值，再延長加熱時間，吸光值並無明顯升高之趨勢。這表示加熱 10 分鐘，直鏈澱粉幾乎都已溶出。

結論：

加入 0.5N NaOH 10ml，80 恆溫振盪 10 分鐘，即可快速有效溶解直鏈澱粉。

實驗 1-8 加熱時間與澱粉樣品中直鏈澱粉溶解量之關係

前言：

我們已發現 80 恆溫振盪 10 分鐘，即可快速有效溶解「直鏈澱粉標準品」，但是一

般的「澱粉樣品」，其直鏈澱粉的溶出條件是否類似呢？

步驟：

1. 步驟同實驗 1-7。
2. 將 0.01%直鏈澱粉標準液，改為 0.02%澱粉液(台中在來 1 號)。配製澱粉液時，澱粉樣品中先加入 95%乙醇 1ml⁽¹⁰⁾⁽¹²⁾。

結果：

1. 如表 3、圖 10 所示，加熱 10 分鐘後，其吸光值趨近最大。
2. 加熱時間繼續增加，吸光值並未明顯上升。

表 3 加熱時間與吸光值之關係

| 加熱時間(min) | 吸光值 | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 實驗一 | 實驗二 | 實驗三 | 平均 | 標準差 |
| 0 | 0.336 | 0.310 | 0.318 | 0.321 | 0.013 |
| 10 | 0.478 | 0.412 | 0.446 | 0.445 | 0.033 |
| 20 | 0.431 | 0.446 | 0.412 | 0.430 | 0.017 |
| 30 | 0.437 | 0.432 | 0.509 | 0.459 | 0.043 |
| 40 | 0.425 | 0.445 | 0.495 | 0.455 | 0.036 |
| 50 | 0.504 | 0.488 | 0.479 | 0.490 | 0.013 |

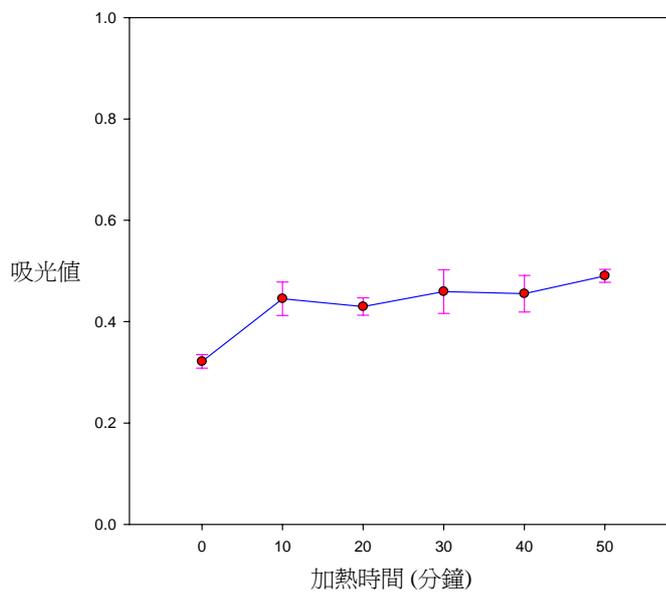


圖 10 加熱時間與吸光值之關係

討論：

1. 加熱10分鐘後，其吸光值趨近最大，若加熱時間繼續增加，吸光值並未明顯上升，因此，一般澱粉樣品也可採用加熱10分鐘。
2. 一般澱粉樣品中直接加入0.5N NaOH，容易造成澱粉結塊現象，如圖11所示，因此有必要找出解決方法。我們參考相關資料⁽⁹⁾⁽¹²⁾，在澱粉樣品中先加入95%乙醇，即可有效分散澱粉顆粒，解決澱粉結塊現象。



圖 11 澱粉樣品中加入乙醇可解決澱粉結塊現象

結論：

1. 一般澱粉樣品 80 恆溫振盪 10 分鐘，其吸光值也趨近於最大值。
2. 在澱粉樣品中先加入 95%乙醇 1ml，可避免澱粉結塊現象。

實驗 1-9 澱粉液與碘液的比例對色澤之影響

前言：

為了確保待測樣品中的直鏈澱粉完全與碘形成藍色複合物，則所使用的碘必須過量，但是碘量過多時，又怕造成實驗誤差。因此，有必要探討澱粉液與碘液的最適比例。

步驟：

1. 步驟同實驗 1-7，配製 0.01%直鏈澱粉標準液。
2. 依下表配製各種相對比例的樣品：

| 實驗編號 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 0.01%直鏈澱粉標準液(ml) | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 0.001N 碘液(ml) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 蒸餾水(ml) | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |

3. 拍攝觀察其色澤變化。

結果：

如圖 12 所示，隨著碘液量遞增，樣品色澤呈現：藍色→藍綠色→綠色。

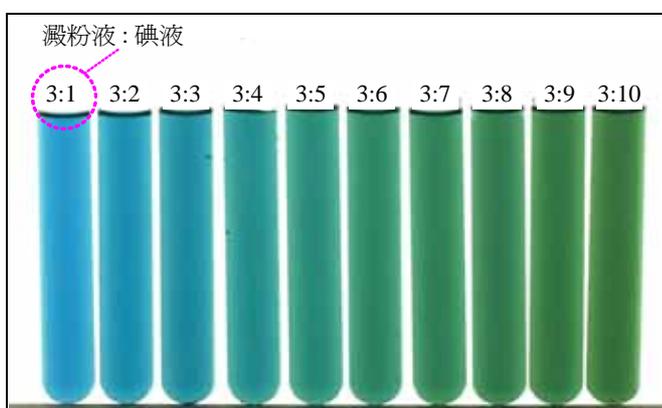


圖 12 直鏈澱粉液與碘液的比例不同，產生不同的色澤。

討論：

樣品呈現藍色，表示澱粉過量；呈現藍綠色，表示碘些微過量；呈現綠色，表示碘明顯過量。

結論：

當混合液呈現藍綠色時，表示碘些微過量，此時澱粉液與碘液之比例是適當的。

實驗 1-10 利用雙波長分析澱粉液與碘液的最適比例

前言：

雖然混合液呈現藍綠色是適當的，但仍有必要透過儀器之分析，藉由量化的數據加以佐證。我們擬利用 470nm 與 610nm 雙波長分析澱粉液與碘液的最適比例。

步驟：

1. 步驟同實驗 1-9。
2. 各樣品分別設定波長 470nm 與 610nm 測定吸光值。

結果：

如表 4、圖 13 所示，在波長 610nm 下，編號 2 之後的樣品其吸光值僅微幅上升；在波長 470nm 下，各樣品的吸光值呈線性遞增。

表 4 澱粉液與碘液的比例不同會造成其吸光值的不同

| 實驗編號 | 610nm 吸光值 | | | | | 470nm 吸光值 | | | | |
|------|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| | 實驗一 | 實驗二 | 實驗三 | 平均 | 標準差 | 實驗一 | 實驗二 | 實驗三 | 平均 | 標準差 |
| 1 | 0.415 | 0.416 | 0.393 | 0.408 | 0.013 | 0.145 | 0.146 | 0.137 | 0.143 | 0.005 |
| 2 | 0.450 | 0.453 | 0.453 | 0.452 | 0.002 | 0.171 | 0.174 | 0.176 | 0.174 | 0.003 |
| 3 | 0.455 | 0.465 | 0.466 | 0.462 | 0.006 | 0.190 | 0.199 | 0.197 | 0.195 | 0.005 |
| 4 | 0.468 | 0.470 | 0.461 | 0.466 | 0.005 | 0.217 | 0.223 | 0.219 | 0.220 | 0.003 |
| 5 | 0.472 | 0.473 | 0.457 | 0.467 | 0.009 | 0.239 | 0.240 | 0.248 | 0.242 | 0.005 |
| 6 | 0.465 | 0.471 | 0.474 | 0.470 | 0.005 | 0.263 | 0.260 | 0.263 | 0.262 | 0.002 |
| 7 | 0.470 | 0.474 | 0.467 | 0.470 | 0.004 | 0.289 | 0.286 | 0.290 | 0.288 | 0.002 |
| 8 | 0.472 | 0.475 | 0.478 | 0.475 | 0.003 | 0.308 | 0.307 | 0.315 | 0.310 | 0.004 |
| 9 | 0.472 | 0.474 | 0.473 | 0.473 | 0.001 | 0.325 | 0.324 | 0.329 | 0.326 | 0.003 |
| 10 | 0.468 | 0.477 | 0.478 | 0.474 | 0.006 | 0.349 | 0.340 | 0.349 | 0.346 | 0.005 |

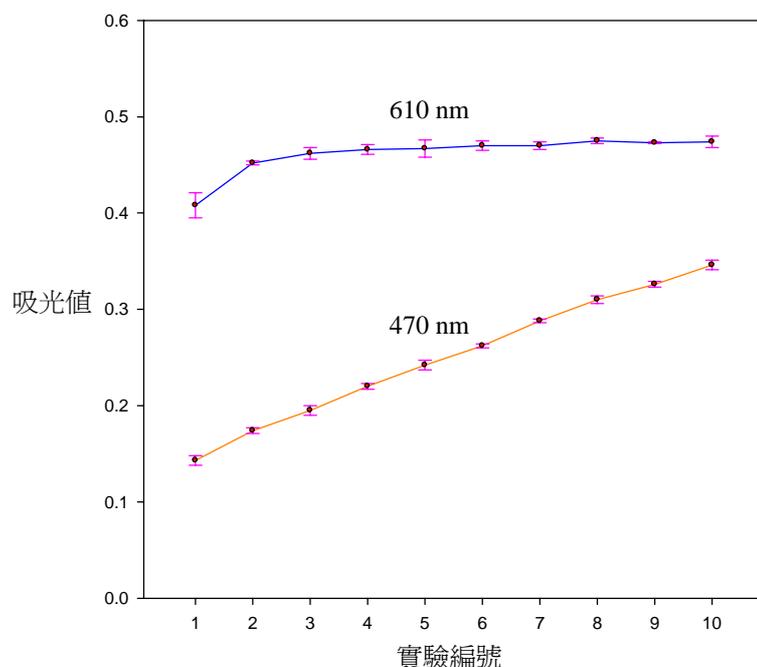


圖 13 澱粉液與碘液的比例不同會造成其吸光值的不同

討論：

1. 在波長 610nm 下，編號 2 之後的樣品其吸光值僅微幅上升，這表示碘液只要 2ml，其吸光值就趨近最大值，若碘液量繼續增加，會造成吸光值微幅上升。
2. 在波長 470nm 下，當碘液量遞增，吸光值隨著線性遞增。假若碘液量繼續增加，則造成波長 470nm 下的吸光值，會超越波長 610nm 下的吸光值。這也證明了「實驗 1-1」中國立中山大學化學系之定量方法，其最大吸光值波長為什麼會出現在 470nm。
3. 雖然碘液只要 2ml，其吸光值就趨近最大值，但是由「實驗 1-9」的結果顯示，在碘液 2ml 下，其色澤仍然偏藍色，為了確保碘液些微過量，並兼顧肉眼可明顯判別藍綠色，碘液量宜採用 5ml。

結論：

澱粉液與碘液的最適相對量，其簡易判別標準是：「混合液呈現藍綠色」。

實驗 1-11 直鏈澱粉檢量線之建立

前言：

根據前面的實驗證明，我們改良後的方法為：

1. 0.01%直鏈澱粉標準液：精稱 0.0100g 直鏈澱粉，溶於 10ml 的 0.5N NaOH 溶液中，80 恆溫振盪 10 分鐘，冷卻後加 1N 醋酸溶液中中和至中性，加水定量至 100ml。
2. 取 0.01%直鏈澱粉標準液 3ml + 0.001N 碘液 5ml，於波長 610nm 測定吸光值。
3. 建立直鏈澱粉的檢量線，進而測定樣品中直鏈澱粉的含量。

步驟：

1. 依改良後的方法，配製 0.01%直鏈澱粉液、0.01%支鏈澱粉液各 100ml。
2. 依下表配製不同濃度的直鏈澱粉標準液各 10ml：

| 直鏈澱粉標準液 | 0.000% | 0.002% | 0.004% | 0.006% | 0.008% | 0.010% |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.01%直鏈澱粉液(ml) | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| 0.01%支鏈澱粉液(ml) | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 |

2. 不同濃度的直鏈澱粉標準液各取 3ml + 0.001N 碘液 5ml，於波長 610nm 測定吸光值；另取 3ml 蒸餾水 + 0.001N 碘液 5ml 為空白試驗。
3. 以直鏈澱粉標準液建立檢量線，並利用 SigmaPlot 軟體計算出趨勢線方程式。

結果：

1. 不同濃度的直鏈澱粉標準液呈現不同色澤，如圖 14 所示。

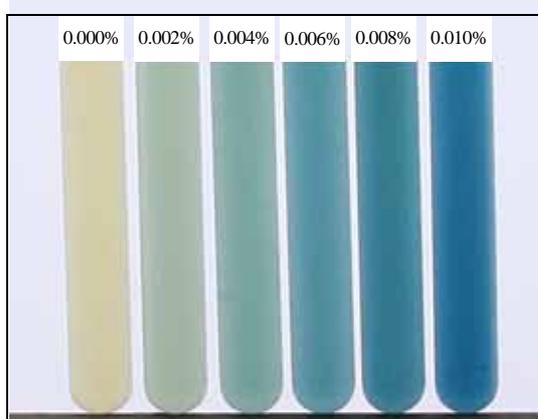


圖 14 不同濃度之直鏈澱粉標準液呈現不同色澤

2. 不同濃度的直鏈澱粉標準液產生不同吸光值，如表 5 所示。

表 5 不同濃度的直鏈澱粉標準液產生不同吸光值

| 直鏈澱粉標準液 | 吸光度 | | | | |
|---------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | 實驗一 | 實驗二 | 實驗三 | 平均 | 標準差 |
| 0.000% | 0.074 | 0.069 | 0.064 | 0.0690 | 0.0050 |
| 0.002% | 0.183 | 0.192 | 0.189 | 0.1880 | 0.0046 |
| 0.004% | 0.317 | 0.321 | 0.321 | 0.3197 | 0.0023 |
| 0.006% | 0.462 | 0.465 | 0.457 | 0.4613 | 0.0040 |
| 0.008% | 0.583 | 0.592 | 0.588 | 0.5877 | 0.0045 |
| 0.010% | 0.717 | 0.716 | 0.726 | 0.7197 | 0.0055 |

2. 直鏈澱粉標準液所建立的檢量線如圖 15 所示，利用 SigmaPlot 軟體計算出趨勢線方程式為： $y = 0.0627 + 0.6563x$ ，（ y ：吸光值， x ：直鏈澱粉標準液濃度）。

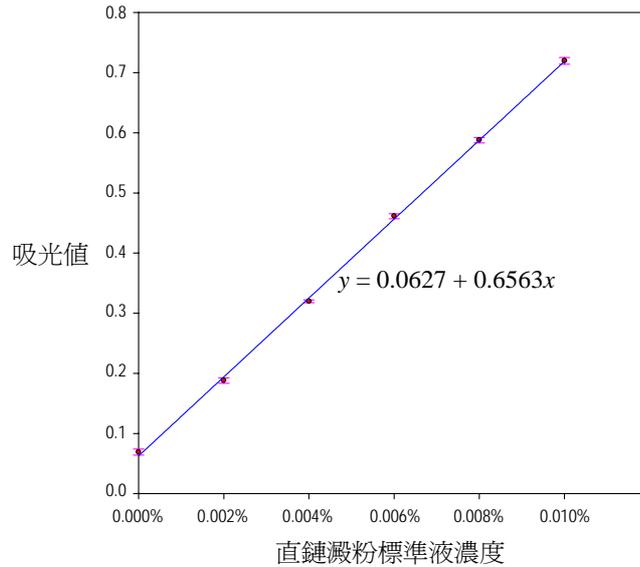


圖 15 利用直鏈澱粉標準液建立檢量線

討論：

1. 雖然取 3ml 蒸餾水 + 0.001N 碘液 5ml 為空白試驗，但是檢量線並未通過原點。
2. 檢量線並未通過原點，乃因 0.000% 直鏈澱粉標準液中只含支鏈澱粉，因支鏈澱粉在波長 610nm 下，仍然有微小的吸光值產生。

結論：

由直鏈澱粉標準液所建立之檢量線方程式為：

$$y = 0.0627 + 0.6563x \quad (y: \text{吸光值}, x: \text{直鏈澱粉標準液濃度})$$

實驗 1-12 改良方法準確性之驗證

前言：

我們實際測定三個澱粉樣品，藉由實驗 1-11 所建立之檢量線方程式，來驗證我們改良方法的精準性。

步驟：

1. 精稱 0.0200g 澱粉樣品（台中在來 1 號、台中秈 10 號、台農 67 號白米粉末），溶於 10ml 的 0.5N NaOH 溶液中，80°C 恆溫振盪 10 分鐘，冷卻後加 1N 醋酸溶液中中和至中性，加水定量至 100ml。
2. 取 0.02% 澱粉液 3ml + 0.001N 碘液 5ml，於波長 610nm 測定吸光值。
3. 將測得吸光值代入檢量線方程式 $y = 0.0627 + 0.6563x$ ，（y：吸光值，x：直鏈澱粉標準液濃度），利用 Excel 軟體計算出直鏈澱粉的含量。
4. 蒐集相關參考文獻做比較。

結果：

1. 改良方法測出三種澱粉樣品的直鏈澱粉含量如表 6 所示。

表 6 改良方法測出三種澱粉樣品的直鏈澱粉含量

| 澱粉樣品 | 改良方法測出的直鏈澱粉含量 (%) | | | | |
|----------|-------------------|-------|-------|-------|------|
| | 實驗一 | 實驗二 | 實驗三 | 平均 | 標準差 |
| 台中在來 1 號 | 28.84 | 29.30 | 28.23 | 28.79 | 0.54 |
| 台中秈 10 號 | 21.83 | 21.61 | 22.14 | 21.86 | 0.27 |
| 台農 67 號 | 18.79 | 19.09 | 19.17 | 19.02 | 0.20 |

2. 我們搜尋到三篇相關參考文獻⁽⁷⁾⁽⁹⁾⁽¹⁴⁾，其三種澱粉樣品的直鏈澱粉含量如表 7 所示。

表 7 參考文獻中三種澱粉樣品的直鏈澱粉含量

| 澱粉樣品 | 參考文獻測出的直鏈澱粉含量 (%) | | | | |
|----------|--------------------|--------------------|---------------------|-------|------|
| | 文獻一 ⁽⁷⁾ | 文獻二 ⁽⁹⁾ | 文獻三 ⁽¹⁴⁾ | 平均 | 標準差 |
| 台中在來 1 號 | 28.20 | 30.78 | 28.10 | 29.03 | 1.52 |
| 台中秈 10 號 | 17.80 | 22.10 | 21.48 | 20.46 | 2.32 |
| 台農 67 號 | 18.20 | 20.37 | 20.54 | 19.70 | 1.30 |

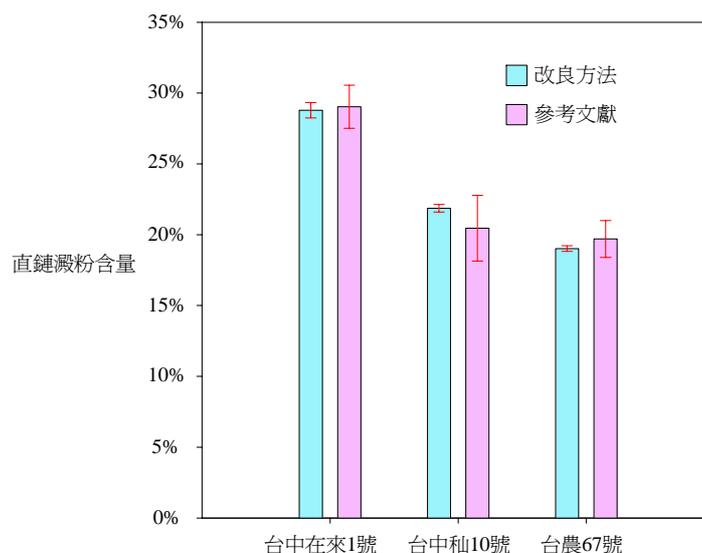


圖 16 改良方法與參考文獻所測出的直鏈澱粉含量之比較

討論：

爲了驗證改良方法確實可行，我們與相關參考文獻⁽⁷⁾⁽⁹⁾⁽¹⁴⁾做比較，結果我們所測出的直鏈澱粉含量與參考文獻中的數據非常相近，如圖 16 所示。

結論：

經過一系列的實驗證明，我們的改良方法確實可以達到簡化省時之目的，而且仍保有良好的精準性。

【研究二】「沉澱量法」之探討

實驗 2-1 碘液的濃度對沉澱之影響（燒杯中）

前言：

圖 14 中的直鏈澱粉標準液原本是澄清的，但放置一天後，如圖 17 所示，竟出現沉澱現象。我們換個角度思考，也許可以利用「沉澱」現象來測定直鏈澱粉的含量。但是，圖 17 中的沉澱速率相當緩慢，我們推測改變碘液的濃度，也許可改變沉澱速率。

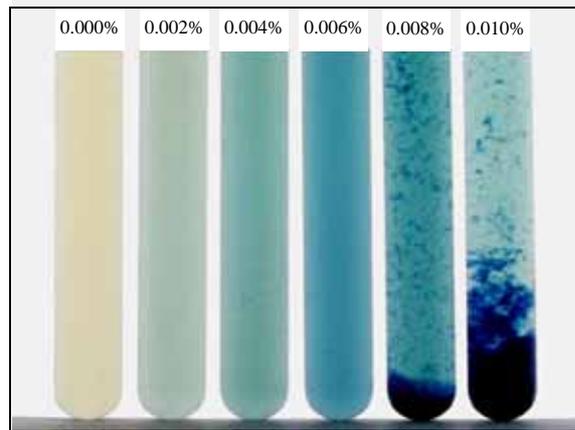


圖 17 直鏈澱粉標準液出現「沉澱」現象

步驟：

1. 重複「實驗 1-3」。
2. 碘液濃度改為 0.001N、0.01N、0.1N、1N。

結果：

1. 如圖 18 所示，加 0.001N 碘液後，混合液呈藍色，未發現「沉澱」現象。
2. 加 0.01N、0.1N、1N 碘液後，混合液皆近似黑色，不易觀察「沉澱」現象。



圖 18 加不同濃度的碘液之情形（燒杯中）

討論：

如圖 18 所示，以 50ml 燒杯裝混合液，可能因燒杯的內徑長達 42mm，導致混合液的透光性不佳，以肉眼不易看出「沉澱」現象。

結論：

欲觀察碘液濃度對沉澱之影響，不宜以燒杯裝混合液。

實驗 2-2 碘液的濃度對沉澱之影響（試管中）

前言：

若改用「試管」裝混合液，其內徑較短，是否較適合觀察「沉澱」現象呢？

步驟：

1. 重複「實驗 2-1」。
2. 澱粉液與碘液的量皆減半，並改用「試管」裝混合液。

結果：

1. 如圖 19 所示，加 0.1N 碘液的混合液底部有「沉澱」（混合 5 分鐘）。
2. 其餘的混合液以肉眼不易看出「沉澱」。

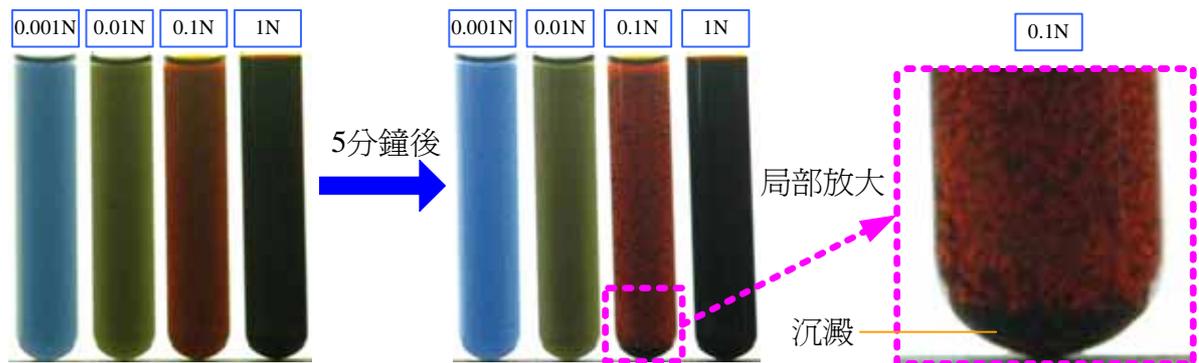


圖 19 加不同濃度的碘液之情形（試管中）

討論：

以「試管」裝混合液，因試管的內徑只有 16mm，其透光性較佳，較適合觀察「沉澱」。

結論：

以「試管」裝澱粉液，再加 0.1N 碘液較適當，碘液濃度太高或太低都不適合。

實驗 2-3 澱粉液的濃度對沉澱之影響

前言：

由圖 17 顯示，直鏈澱粉的濃度高低，似乎會影響沉澱量的多寡，我們若提高澱粉液的濃度，其沉澱量是否也隨著增加呢？

步驟：

1. 配製 0.10% 澱粉液：精稱 0.100g 台中在來 1 號，加入 95% 乙醇 1ml，再加入 0.5N NaOH 10ml，80 恆溫振盪 10 分鐘，冷卻後加 1N 醋酸溶液中中和至中性，加水定量至 100ml。
2. 依下表的比例配製不同濃度澱粉液：

| | | | | | |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 澱粉液濃度 | 0.02% | 0.04% | 0.06% | 0.08% | 0.10% |
| 0.10%澱粉液(ml) | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| 蒸餾水(ml) | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 |

3. 分別取不同濃度澱粉液 7.5ml + 0.1N 碘液 2.5ml。
4. 靜置 60 分鐘之後，拍攝觀察其沉澱變化。

結果：

如圖 20 所示，澱粉液濃度遞增，沉澱量隨之遞增。

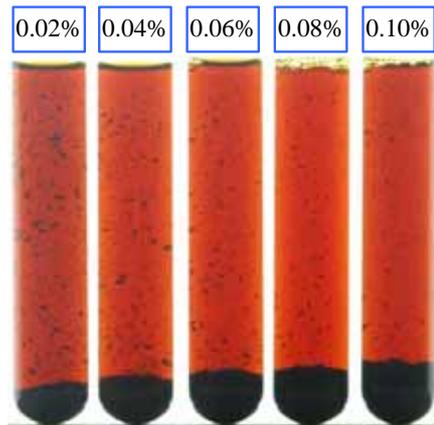


圖 20 澱粉液濃度愈高沉澱量愈多

討論：

如圖 20 所示，上層液呈黃褐色，表示碘液過量。此時，直鏈澱粉與碘快速形成複合物沉降下來。

結論：

澱粉液濃度愈高，則沉澱量愈多。爲了方便觀察比較「沉澱」，本研究改採用 0.10% 澱粉液。

實驗 2-4 碘液的最適濃度之探討

前言：

由實驗 2-2 初步顯示，加 0.1N 碘液較適當，但我們希望找出更合適的碘液濃度。

步驟：

1. 步驟同實驗 2-3，配製 2 瓶 100ml 的 0.10%澱粉液（台中在來 1 號）。
2. 依下列表 A、表 B、表 C 的比例配製不同濃度碘液各 10ml：

表 A 0.02N~0.1N 的碘液

| | | | | | |
|-------------|----|----|----|----|----|
| 樣品編號 | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 |
| 0.1N 碘液(ml) | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| 蒸餾水(ml) | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 |

表 B 0.004N~0.02N 的碘液

| 樣品編號 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 |
|--------------|----|----|----|----|----|
| 0.02N 碘液(ml) | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| 蒸餾水(ml) | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 |

表 C 0.1N~0.5N 的碘液

| 樣品編號 | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
|-------------|----|----|----|----|----|
| 0.5N 碘液(ml) | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| 蒸餾水(ml) | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 |

3. 分別取 0.10% 澱粉液 7.5ml + 不同濃度碘液 2.5ml。
4. 拍攝觀察不同時間下的沉澱變化。



結果：

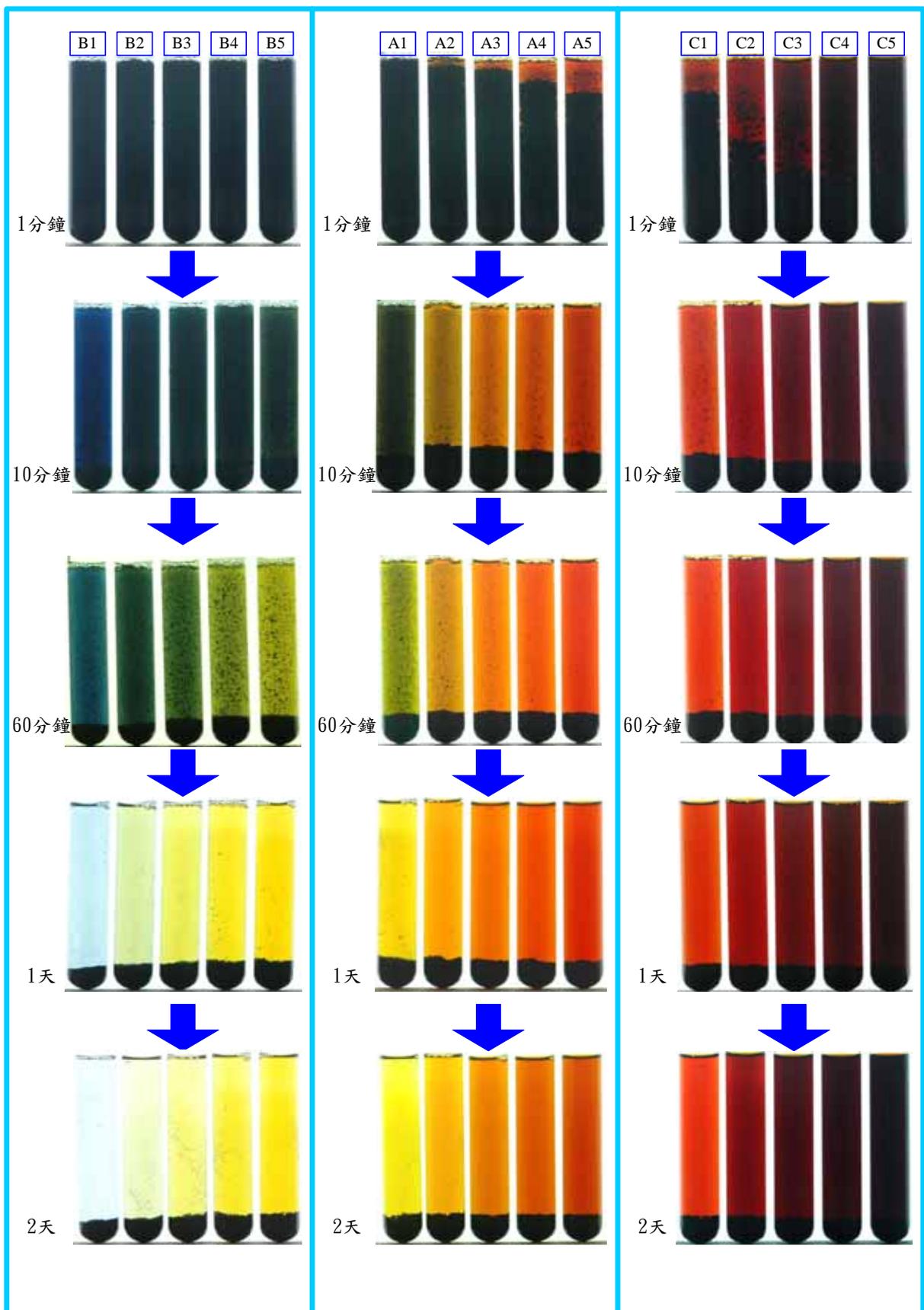
1. 如圖 21 所示，在 10 分鐘之內，碘液濃度愈高，沉澱物沉降速率愈快。
2. 在 60 分鐘之內，隨著時間遞增，沉澱物高度遞減。
3. 經過 1~2 天後，沉澱物的高度呈穩定狀態。

討論：

1. 碘液濃度愈高，沉澱物的沉降速率愈快。這可能是因為反應物(碘液)濃度愈高，反應速率愈快。
2. 在 60 分鐘之內，隨著時間遞增，沉澱物的堆積可能因重力而更加緊密，所以沉澱物的高度遞減。
3. 經過 1~2 天後，其中加 0.1N 碘液者，上層液色澤不會太深且無懸浮物，適合觀察比較。

結論：

由於加 0.1N 碘液，經過 1 天後，上層液色澤不會太深且無懸浮物，沉澱物的高度呈穩定狀態。因此，本研究碘液的濃度宜採用 0.1N。



B : 0.004N~0.02N 碘液

A : 0.02N~0.1N 碘液

C : 0.1N~0.5N 碘液

圖 21 不同碘液濃度產生沉澱之情形

實驗 2-5 沉澱物來源之驗證

前言：

澱粉有直鏈澱粉與支鏈澱粉兩種型態，而沉澱物來源是否真的是直鏈澱粉呢？

步驟：

1. 依下列表配製樣品：

| | |
|--------|------------------------------------|
| 樣品編號 1 | 蒸餾水 7.5ml + 0.1N 碘液 2.5ml |
| 樣品編號 2 | 0.02%支鏈澱粉標準液 7.5ml + 0.1N 碘液 2.5ml |
| 樣品編號 3 | 0.02%直鏈澱粉標準液 7.5ml + 0.1N 碘液 2.5ml |

2. 拍攝觀察其沉澱變化。

結果：

如圖 22 所示，樣品編號 1 呈現碘液色澤；樣品編號 2 呈現較深的碘液色澤；樣品編號 3 有沉澱情形。

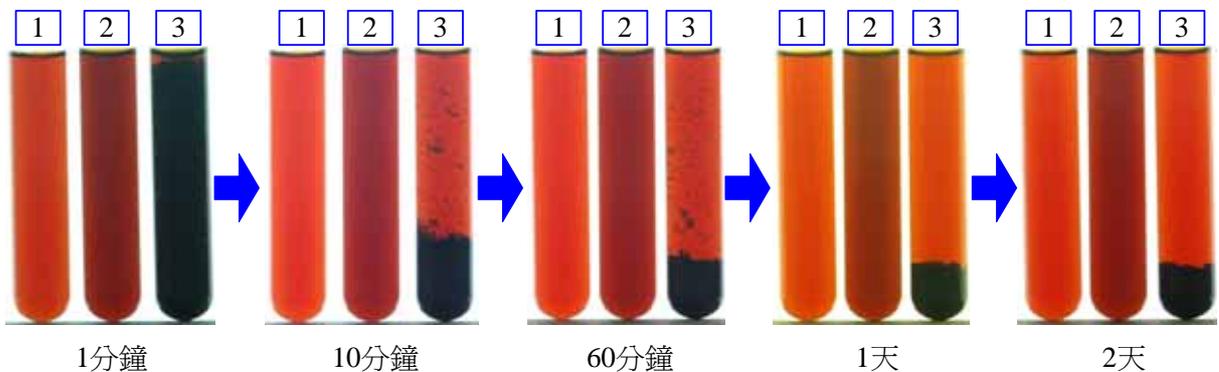


圖 22 沉澱是直鏈澱粉所造成

討論：

1. 如圖 22 所示，只有直鏈澱粉標準液加 0.1N 碘液才會有沉澱，且其沉澱情形與實驗 2-4 的結果類似。因此，更加確認沉澱物是直鏈澱粉所造成。
2. 直鏈澱粉標準液
3. 支鏈澱粉也會與碘結合，使混合液色澤變深，但不會形成沉澱。

結論：

本實驗證明，沉澱物的來源是直鏈澱粉與碘的複合物。

實驗 2-6 「沉澱量法」之測定

前言：

「沉澱」提供我們一個全新的思考方向，我們希望藉由「沉澱」發展出更簡易的直鏈澱粉定量方法。

步驟：

1. 依下表配製樣品：

| | |
|----------|---|
| 直鏈澱粉標準品 | 0.02%直鏈澱粉標準液 7.5ml + 0.1N 碘液 2.5ml |
| 台中在來 1 號 | 0.10%澱粉液(台中在來 1 號)7.5ml + 0.1N 碘液 2.5ml |

2. 拍攝觀察一天後的沉澱情形。

結果：

直鏈澱粉標準品其沉澱量大約 1.8ml；台中在來 1 號其沉澱量大約 1.4ml。

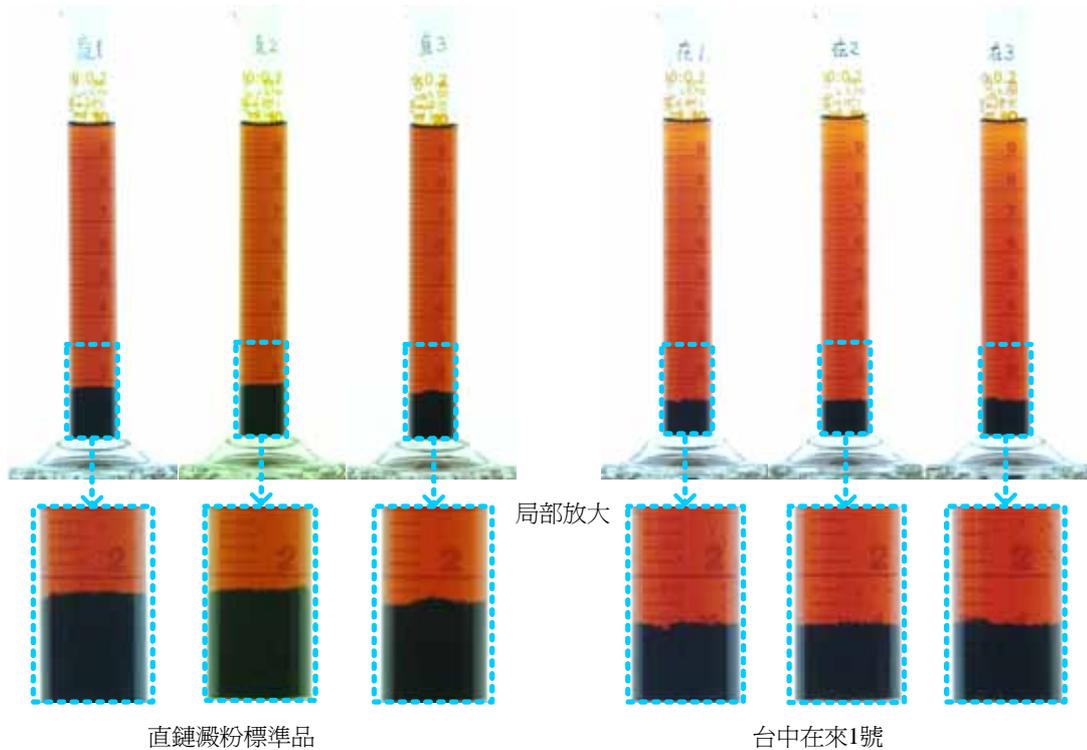


圖 23 利用「量筒」測定沉澱量

討論：

利用「量筒」測定沉澱量，只能粗略測量至 0.1ml，無法更精確定量。

結論：

本實驗的再現性良好，但美中不足的是只能粗略定量。

實驗 2-7 「沉澱量法」之改進

前言：

我們藉由影像軟體的協助，希望能更精確測定直鏈澱粉含量。

步驟：

1. 採用 Photoshop Elements 影像軟體，更精確計算出量筒中的「沉澱量」。
2. 再利用「沉澱量」計算出「直鏈澱粉含量」。

結果：

1. 利用沉澱量法測定直鏈澱粉含量結果如表 8 所示。

表 8 利用沉澱量法測定直鏈澱粉含量

| | 實驗一 | 實驗二 | 實驗三 | 平均 | 標準差 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|------|
| 直鏈澱粉標準品沉澱量 (ml) | 1.78 | 1.80 | 1.65 | 1.74 | 0.08 |
| 台中在來 1 號沉澱量 (ml) | 1.33 | 1.30 | 1.34 | 1.32 | 0.02 |
| 台中在來 1 號直鏈澱粉含量(%) | 14.92 | 14.51 | 16.21 | 15.21 | 0.88 |

2. 計算「沉澱量」方法如圖 24 所示。(範例：表 8 實驗一直鏈澱粉標準品)

1. 選取1ml範圍

2. 移動1ml範圍至沉澱交界處

3. 計算1ml全部的面積

4. 計算1ml中沉澱部份的面積

$$\begin{aligned}
 \text{沉澱量} &= \frac{\text{1ml中沉澱部份的面積(像素)}}{\text{1ml全部的面積(像素)}} \times 1(\text{ml}) + \text{1(ml)} \\
 &= \frac{5180(\text{像素})}{6666(\text{像素})} \times 1(\text{ml}) + 1(\text{ml}) \quad \text{非選取範圍之沉澱量} \\
 &\doteq 0.78 \times 1(\text{ml}) + 1(\text{ml}) \\
 &= 1.78(\text{ml})
 \end{aligned}$$

圖 24 使用影像軟體計算「沉澱量」

3. 利用「沉澱量」計算出「直鏈澱粉含量」。(範例：表 8 實驗一)

$$\begin{aligned}
 \text{台中在來 1 號直鏈澱粉含量}(\%) &= \frac{0.10\% \text{台中在來 1 號沉澱量}(\text{ml})}{0.02\% \text{直鏈澱粉標準品沉澱量}(\text{ml}) \times 5} \times 100\% \\
 &= \frac{1.33}{1.78 \times 5} \times 100\% \\
 &= 14.92\%
 \end{aligned}$$

討論：

1. 藉由影像軟體的協助，我們可以更精確測出直鏈澱粉含量為 15.21%，但是與實驗 1-12 之測定值（28.79%）有明顯差異。
2. 我們進一步蒐集相關文獻⁽¹¹⁾，發現支鏈澱粉仍具有若干與碘結合的能力，使得傳統方法會有某種程度的呈色誤差，其測量值稱為「視直鏈澱粉含量(apparent amylose content)」；此文獻排除支鏈澱粉造成之誤差，所得之測量值稱為「實際直鏈澱粉含量(actual amylose content)」。
3. 在本實驗中，我們測出的直鏈澱粉含量是 15.21%；參考文獻中⁽¹¹⁾的「實際直鏈澱粉含量」是 15.32%，二者十分接近。
4. 我們將實驗 1-12、實驗 2-7 及參考文獻中⁽¹¹⁾的直鏈澱粉含量做比較，如表 9、圖 25 所示。

表 9 各種方法所測出的直鏈澱粉含量之比較

| 測定方法 | 直鏈澱粉含量(%) | |
|----------------|-----------|------|
| | 平均 | 標準差 |
| 視直鏈澱粉含量(改良方法) | 28.79 | 0.54 |
| 視直鏈澱粉含量(參考文獻) | 28.36 | 0.14 |
| 實際直鏈澱粉含量(沉澱量法) | 15.21 | 0.88 |
| 實際直鏈澱粉含量(參考文獻) | 15.32 | 0.11 |

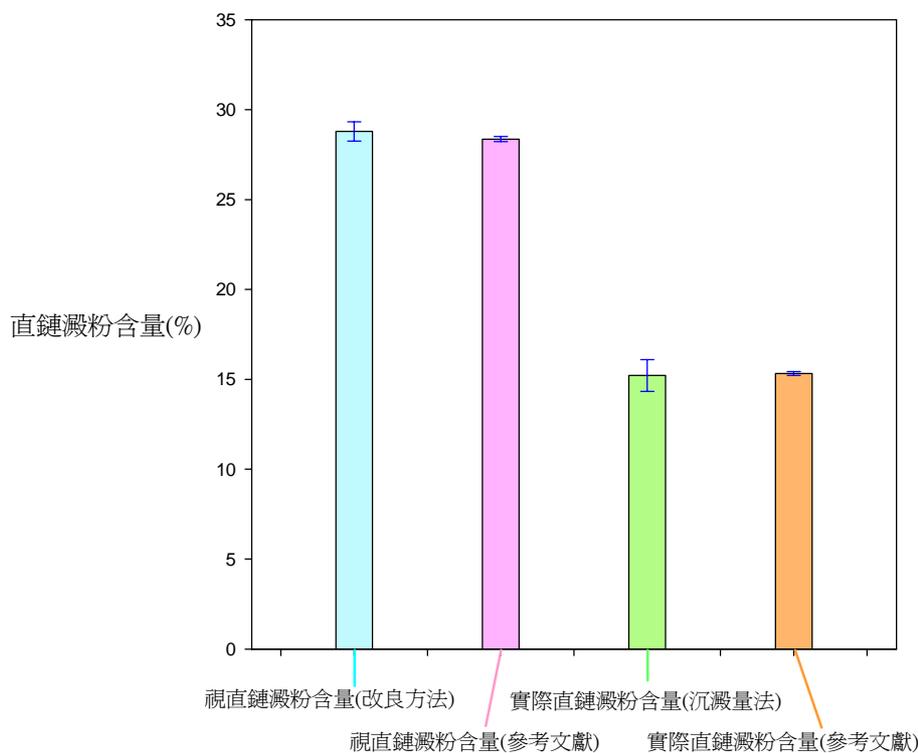


圖 25 各種方法所測出的直鏈澱粉含量之比較

結論：

我們以「沉澱量法」測出直鏈澱粉含量是 15.21%，這可能是「實際直鏈澱粉含量」。

陸、研究結論

一、具體貢獻

1. 以實驗數據佐證「改良方法」之實驗條件

在相關參考文獻中發現⁽⁴⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾，傳統方法多半直接引用 Juliano 的方法來測定直鏈澱粉的含量，對實驗條件並未探討說明。本研究將文獻中的實驗條件做一系列探討與改良，並以實驗數據佐證我們的「改良方法」之精準性。

2. 初步建立「沉澱量法」來測定直鏈澱粉的含量

我們針對研究過程中所發現的「沉澱」現象進行初步探討，並驗證「沉澱物」的來源是直鏈澱粉，進而應用「沉澱量」來測定直鏈澱粉的含量。

二、未來展望

在本研究中，直鏈澱粉與碘產生的沉澱現象，提供我們一個全新的思考方向，但因時間所限，我們僅能對沉澱進行粗淺的探討，希望未來能對「沉澱」做更深入的研究。

柒、參考資料

1. 王暉崧、郭主歆、邱耀慶（2007）。解開澱粉-碘的藍色密碼。中華民國第47屆中小學科學展覽優勝作品。
2. 田福助（1993）。有機化學（下冊），初版，p654-656。台北：高立圖書有限公司。
3. 朱紫雲 李淑芬（1993）。定量分析及實驗，二版， p449。台北：文京圖書股份有限公司。
4. 李志雄（2003）。微量級有機化學實驗之規化與設計：實驗一 直鏈澱粉的定量分析實驗。教育部顧問室「基礎科學前瞻性人才培計劃」。國立中山大學化學系。
5. 李俊義（1990）。分析化學，初版，p414-416、p498-502、p513-518。台北：科技圖書股份有限公司。
6. 張為憲（1992）。食品化學，六版，p33。台北，華香園出版社。
7. 許愛娜、吳永培（1991）。水稻品種白米粉末黏度之研究。台中區農業改良場研究彙報，58：43-58。
8. 維基百科網站。Visible spectrum。http://en.wikipedia.org/wiki/Visible_spectrum。
9. 蔡美鳳（2004）。稻米品種結構與米食加工之關係。國立嘉義大學農學研究所碩士論文。
10. 鄭統隆、林素月、曾東海、王強生（2008）。水稻台農67號疊氮鈉突變庫突變體之篩選：米粒外觀及直鏈性澱粉突變體。台灣農學會報，9(1)：1-11。
11. 盧訓（1996）。稻米品種結構與米食加工之關係。台灣省農業試驗所專刊第59號。
12. 盧訓。穀類科學與加工。國立中興大學教材。
13. 蕭志堅、程一華（2006）。基礎化學(A)，初版，113。台北：泰宇出版股份有限公司。
14. 謝順景（1991）。稻米食味的理化性及稻米分級之研究。台中區農業改良場研究彙報，31：1-11。
15. 蘇正翔（2002）。近紅外光影像應用於白米內部品質檢測。國立臺灣大學生物產業機電工程學研究所碩士論文。

【評語】 091101

本作品探討食米中直鏈澱粉含量測定方法，包括改良現有吸光度分析法及提出自創「沉澱量法」。實驗規劃脈絡層次分明，成果豐富，報告呈現清晰。然所提沉澱量法雖具創意，惟沉澱物係自由沉降堆積，宜思考堆積密度之影響，以提高測量精確度，並規範出適用濃度範圍。