

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 化學科

第三名

040213

奈米分子篩與本土植物染, 讓藍染復活

學校名稱： 國立臺南第一高級中學

作者： 高二 鄧允中 高二 周鈺翔	指導老師： 鄧明聖
-------------------------	--------------

關鍵詞：建藍、靛白隱色鹽、分子篩

## 作品名稱：奈米分子篩與本土植物染—讓藍染復活

### 作品摘要：

本實驗提供一個使傳統藍染工藝復活的契機，希望從減少時間成本、珍惜染料資源、減少操作複雜度、根絕水污染及減少臭味等方面提供改善方案。從結果可看出得知鉑黑分子篩可無窮重複使用，在反應過程中無其他副產物出現，並且可在常溫中進行，相對於化學還原法尚會生成硼酸鹽類，雖然硼酸鹽污染性低，但硼氫化鈉反應性高，在水中除還原染料外，尚會自行分解，故從環保、安全及經濟方向思考，鉑黑分子篩確實是讓藍染工藝復活的不二選擇。

本實驗發現分子篩催化還原法，其反應以速率定律式來看為零級，如此可使控制及管理更為方便，可在反應之初，就可正確預估何時必須加入反應物劑。未來希望尋找更多具同樣性質的還原劑，及不同植物染料，使其不僅符合經濟效益，更可結合傳統與現代，使傳統具有新的生命。

### 壹、研究動機：

台灣傳統的製藍採用發酵水解法生成靛藍，靛藍為非溶性的建染性染料，必須經過建化過程使之還原成為隱色性染液，才能染色，此種過程稱為「建藍」。傳統發酵建藍法是利用生物繁殖發酵原理進行，通常製藍及建藍由於採用天然微生物發酵法，非常耗費時間，其中發酵用的場地「青譽」，臭氣沖天，空氣及水污染嚴重；又由於染布過程靛白隱色鹽純度不高，含大量非水溶性的靛藍，故染布時染料吸附性差需加熱或重複數次洗染，造成染料浪費及水污染嚴重，故效率及污染問題為藍染工藝是否能復活的關鍵。為了減少藍染的複雜步驟、減少工作時間及符合現今環境的要求，本實驗希望提供有效率的還原、吸附的方法，並探討其化學理論基礎，以新的奈米科技達到省時、無污染及重複催化的方法，以賦予傳統工藝技術新的面貌及傳承的可能。

### 貳、研究目的：

- 1、傳統還原成吡啶酚及化學還原法的速率之比較。
- 2、分子篩燒結鉑黑及單純鉑黑催化還原法的速率之比較。
- 3、靛藍及靛白隱色鹽吸附效果及褪色之比較。

### 參、研究原理：

- 1、早期「製藍」是採用發酵水解法（沉澱法）：

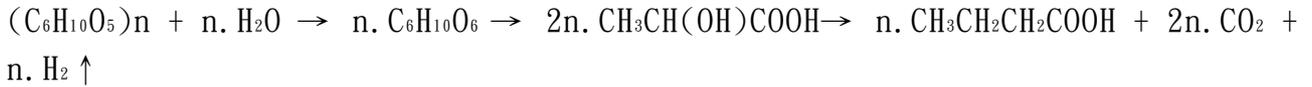
大菁生葉 → 浸泡 → 藍苷 → 水解 → 吡啶酚 → 吡啶酮 → 縮合 → 靛藍 → 酒糟 → 氫化酶 → 還原 → 吡啶酚 → 石灰(提供鹼性) → 靛白隱色鹽 → 靛藍(經靜置後讓靛藍沉澱與水分離，再倒除上層液體，即得沉澱之藍泥)

- 2、「建藍」：傳統發酵建藍法是利用生物繁殖發酵原理進行，由於傳統建藍是隨染色

量逐漸消耗鹼性與營養劑，為保持穩定的建化品質需適時補充上述助劑

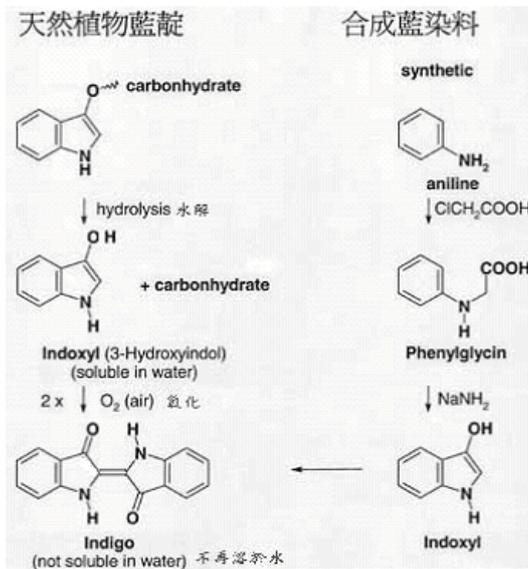
靛藍 → 靛白隱色酸 → 靛白隱色鹽 → 靛藍

其分解過程的生物化學是相當的複雜，主要反應步驟可用下列方程式綜合表示：



### 3、 染布與氧化：

浸泡→晾曬（讓空氣進到布裡面，這個動作叫做『氧化』，和空氣充分結合氧化之後就變成藍色了）→漂洗（把在布上多餘的染料洗掉）→曬乾。



4、 分子篩：多孔性的矽鋁酸鹽，分為低、中、高及全矽，具特定規則的晶體結構、分布均勻的孔洞，因此具多孔性具催化及吸附效能。

### 肆、 研究器材：

可見紫外光譜儀(日立 U-2001)、高溫爐

### 伍、 研究步驟：

[實驗一] 靛藍及靛白隱色鹽的光譜分析及校正曲線製作

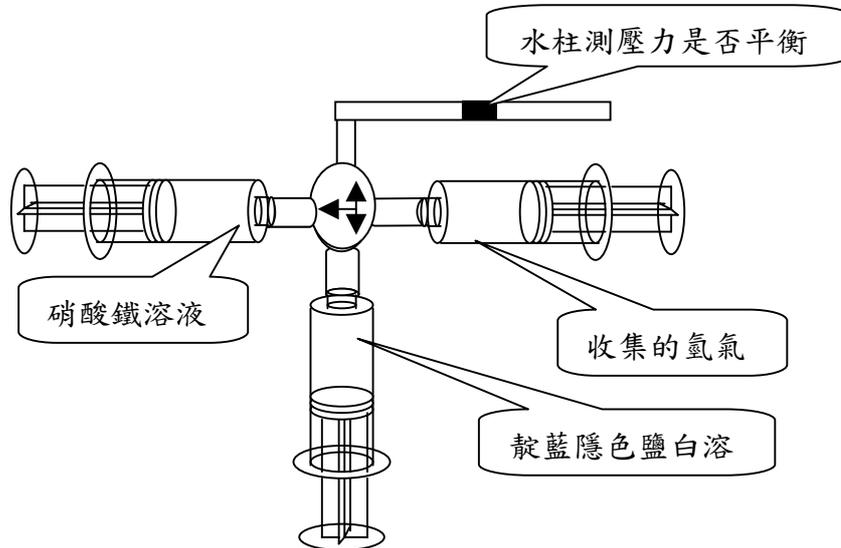
- 1、 以 100 克靛藍加 1 克葡萄糖、2 克麥芽糖、12 克酒（18%）、500 克水，並用飽和石灰水調整 pH 值為 12 至 13 之間，維持溫度在 20 至 30°C 之間，每天攪拌，至顏色暗綠色。紀錄下總體積。(共 2544mL)
- 2、 以 100 克靛藍加水至和步驟 1 相同為止。
- 3、 以 100 克靛藍加水 400 克，滴入 1M NaBH<sub>4</sub> 持續攪拌至顏色黃綠色，並顏色不變為止，加水至和步驟 1 相同為止。(NaBH<sub>4</sub> 對雙鍵烯類沒有影響) 紀錄滴入 1M NaBH<sub>4</sub> 下總體積。
- 4、 下裝置圖把硝酸鐵溶液打入靛藍隱色鹽中使未反應的 NaBH<sub>4</sub> 完全作用成氫氣，紀錄

氫氣體積、溫度及氣壓，利用理想氣體方程式，計算氫氣莫耳數，

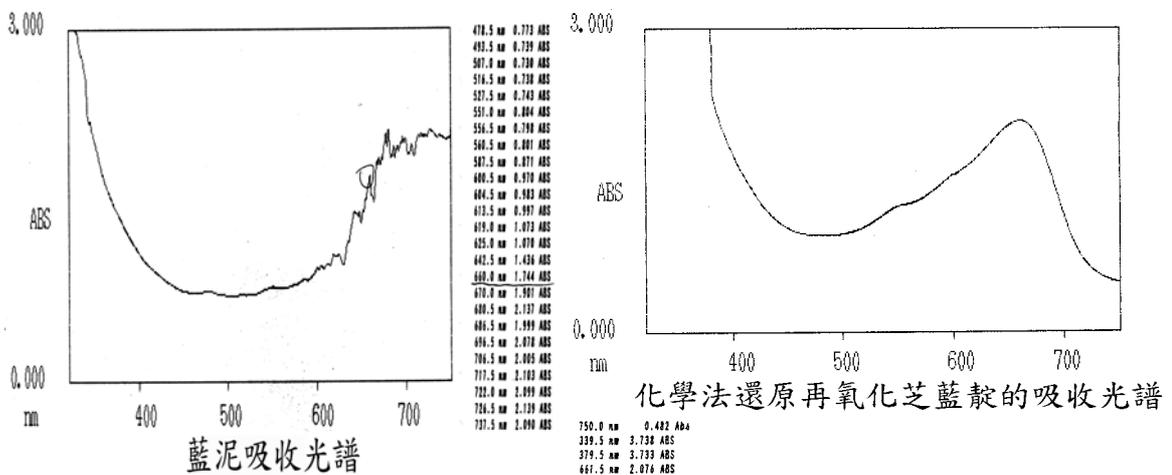
$$n = \frac{759.1}{760} \times \frac{73}{1000} \times \frac{1}{0.0821 \times 301.4} = 0.00295$$

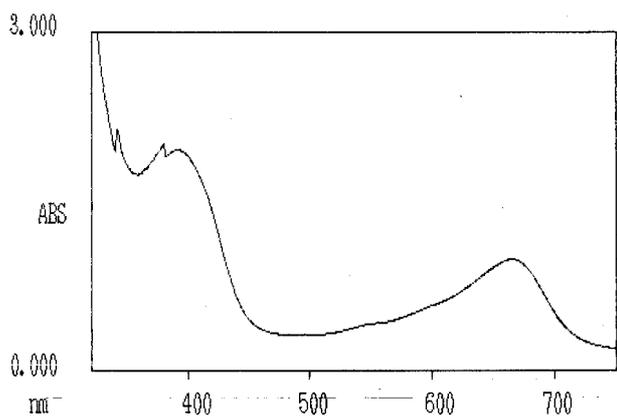
藍靛的莫耳數=加入的 NaBH<sub>4</sub> 的莫耳數 - (1/4) × 氫氣莫耳數

$$= \frac{0.2 \times 10}{2544} - \frac{1}{4} \times 0.00295 = 0.000048 \text{ 則藍靛的濃度} = 0.000048 / 0.01 = 0.0048 \text{ (M)}$$



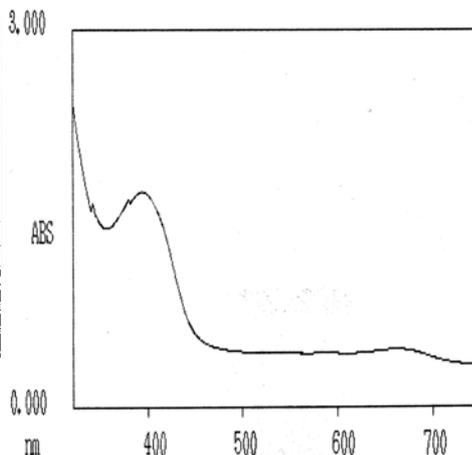
- 5、取步驟 1 至 3 之溶液，稀釋 10 倍，進行波長分析。找出特徵波長且 ABS 最高者，設定該波長，以進行校正曲線的分析製作。(空白校正管需取步驟 1 至 3 之溶液，但不加靛藍者) 由步驟 1 至 3 之溶液光譜可證實化學法及發酵法所得產物是否相同。
- 6、取步驟 4 之溶液 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0mL 加 2M NaBH<sub>4</sub> (NaOH 濃度 2M) 稀釋成 10mL 製作藍白絕對濃度校正曲線。
- 7、取[實驗一]步驟 3 之溶液，打入空氣，氧化藍白為藍靛。
- 8、取上述溶液 0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0mL 加水至 10mL，製作藍靛絕對濃度校正曲線。
- 9、結果：





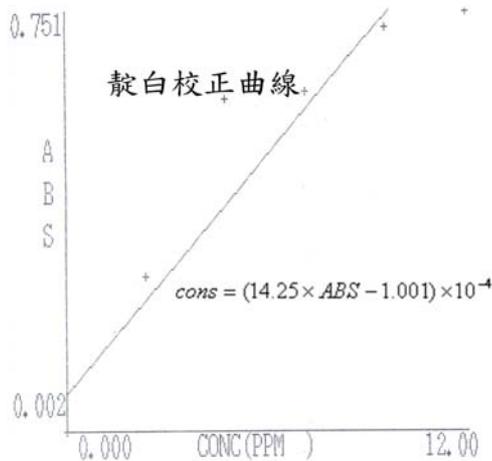
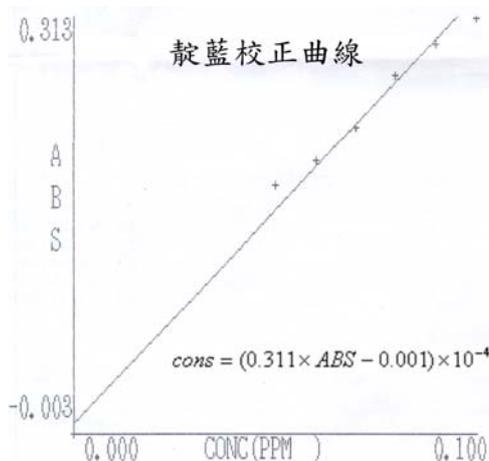
開放系統下的藍白隱色鹽

341.0 nm 2.135 ABS  
379.5 nm 2.015 ABS  
391.5 nm 1.951 ABS  
665.5 nm 0.343 ABS



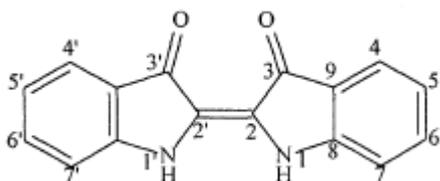
密閉系統下的隱色鹽

393.5 nm 1.710 ABS  
379.5 nm 1.653 ABS  
341.0 nm 1.624 ABS  
543.0 nm 0.430 ABS  
669.0 nm 0.434 ABS



(1) 靛藍在可見光區 660nm 有一明顯吸收峰，其他的吸收峰全在紫外光區(400 奈米以下)，故檢量線以 660nm 為準，相對於筆者所調製的濃度所得檢量線公式為  $cons = (0.311 \times ABS - 0.001) \times 10^{-4}$ ，此時所得為絕對濃度。

(2) 靛藍結構從文獻所得如下圖



(3) 靛白隱色鹽的吸收光譜在可見光 411nm 達高吸收峰，其他的吸收峰全在紫外光區(390 奈米以下)，且有細微結構，故檢量線以 411nm 為準，相對於筆者所調製的濃度所得檢量線公式為  $cons = (14.25 \times ABS - 1.001) \times 10^{-4}$ ，此時所得為絕對濃度。

(4) 苯環接上羰基發色團且為烯酮，並在  $\beta$  碳上接有胺基，計算其吸收光譜 682nm ( $2 \times 246 + 2 \times 95$ )，因為靛白隱色鹽酮基被還原，故失去共軛雙鍵吸收光譜紅移的效果，此點可用來分別兩者。

[實驗二] 傳統還原成吡啶酚及化學還原法的速率之比較。

- 1、取[實驗一]步驟3之溶液，打入空氣，氧化藍白為靛藍。
- 2、取上述溶液3mL加水至10mL(濃度 $14.4 \times 10^{-4} \text{ M}$ )，取其中1.5mL，一次滴入1.5mL 2M  $\text{NaBH}_4$  ( $\text{NaOH}$ 濃度2M)總體積3mL，每1分鐘測一次藍白濃度。
- 3、取[實驗一]步驟1之溶液，每1小時測一次藍白濃度。
- 4、結果：



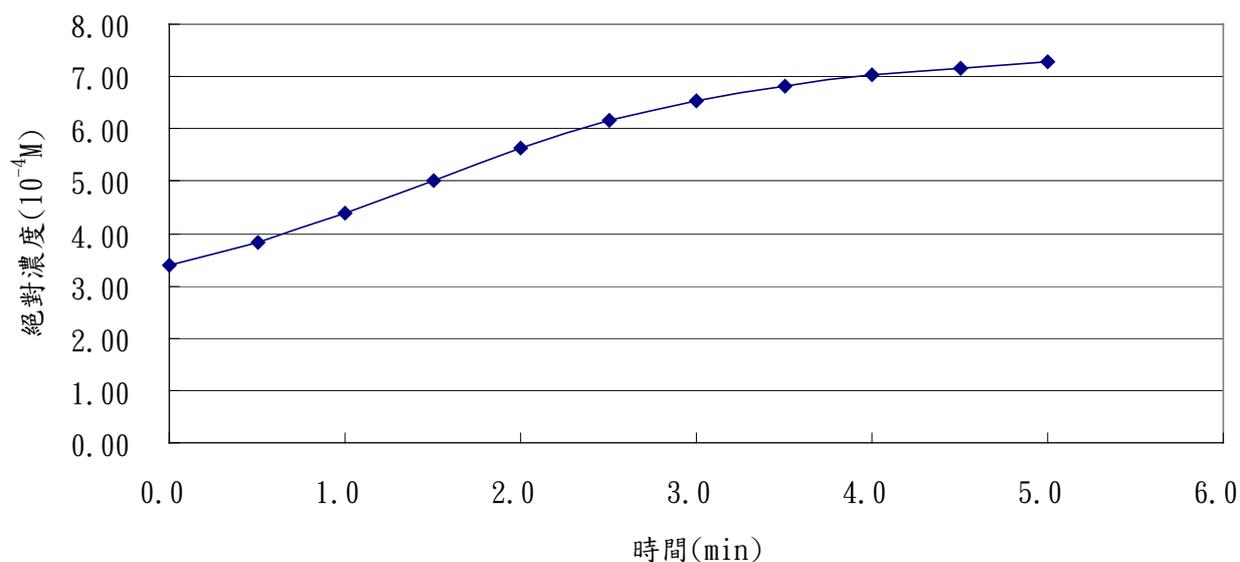
左側為化學還原所得靛白隱色鹽；右側為靛藍

- (1) 傳統方法，在實驗進行3天後仍未能有效的轉變出靛白隱色鹽(數值沒有變化)可能因靛藍在濃度較高下其吸收覆蓋了靛白隱色鹽的吸收，可以確認的靛白隱色鹽的濃度一定很低。根據文獻資料，需早晚攪拌，隔七天才變為暗綠色的靛白隱色鹽，但由筆者實地採訪所得照片，其上層仍具有相當量為還原的靛藍(見附錄圖)，猜測可能因在開放系統無法避免空氣氧化。
- (2) 化學還原法的速率

表一：化學還原法的速率

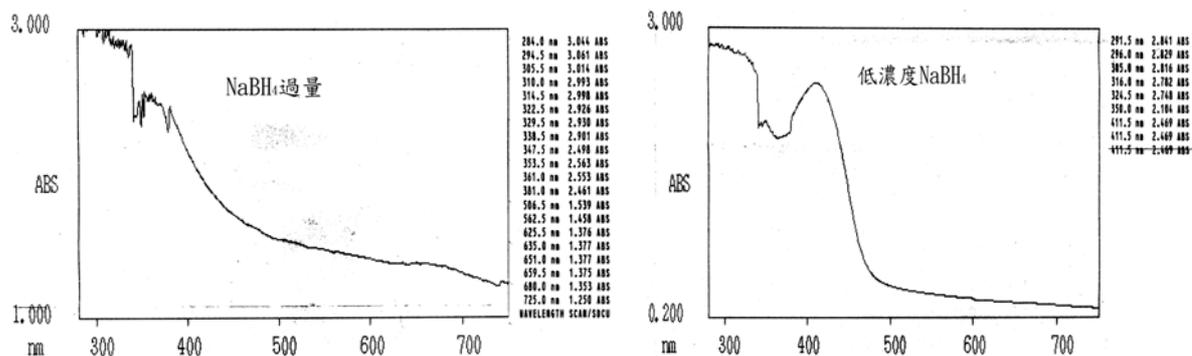
時間(min)	ABS	絕對濃度 $\times 10^{-4} \text{ M}$
0.0	0.308	3.381
0.5	0.340	3.833
1.0	0.379	4.396
1.5	0.423	5.015
2.0	0.466	5.635
2.5	0.502	6.148
3.0	0.531	6.548
3.5	0.550	6.826
4.0	0.564	7.027
4.5	0.574	7.163
5.0	0.582	7.281

圖(一)化學還原法—靛白生成速率



#### 4、討論：

- (1) 從上圖看出，在反應開始趨勢曲線為一直線，可見反應對藍白在一開始非常靠近零級反應，換句話說和濃度無關。
- (2) 在五分鐘後，反應即完成（達到濃度  $7.2 \times 10^{-4} \text{ M}$ ）。
- (3) 從附件圖可見化學法所得顏色非常均勻，為黃綠色，相對於傳統方法所得的藍綠色有明顯差異。
- (4) 但化學還原法所得靛白隱色鹽溶液，在接觸空氣處為藍色。
- (5) 可見化學還原反應法，遠比傳統方法迅速簡便很多，但  $\text{NaBH}_4$  在水中反應非常快速，且生成氫氣，生成的氫氣並無法再反應，此點非常浪費；又由資料顯示，反應中又生成硼酸鹽類，雖然硼酸毒性不大，但畢竟會造成二次污染，故筆者認為若從新的奈米材料去開發可永續催化的物質、無污染及省資源，那一定非常完美，故決定嘗試鉑黑及分子篩，所以進行實驗三及實驗四。
- (6) 在藍靛濃度較低 ( $2.4 \times 10^{-4} \text{ M}$ ) 高濃度  $\text{NaBH}_4$  下 (2M 以上含)，藍白會被還原成無法再氧化的淡黃色溶液。可見化學還原法需謹慎控制濃度如下光譜圖



[實驗三]水熱合成分子篩：

- 1、240mL 水 + 2.169g 氫氧化鈉，混合直到氫氧化鈉完全溶解，分成六等份，再將此溶液分裝於六個聚丙烯(PP)瓶子。
- 2、秤重 27.00 克矽酸鈉，分成三份，每份 9.00 克
- 3、第 A 瓶(1) + 9.00 克矽酸鈉 + 1 份上述氫氧化鈉溶液，混合至澄清。
- 4、第 B 瓶(2) + 9.615g 鋁酸鈉 + 1 份上述氫氧化鈉溶液，混合至澄清。(低矽配方)；加入 1.923 g 鋁酸鈉為中矽配方；加入 0.385g 鋁酸鈉為高矽配方。
- 5、(1) + (2) <<2 倒入 1>> 倒入時要快一點，會形成膠狀，混合至均勻。
- 6、以上步驟完成後可進行結晶步驟。
- 7、所使用的瓶子為 100~150ml 之聚丙烯瓶子，並將瓶蓋蓋住。
- 8、隔水加熱至 90~100°C，維持 2~4 小時，可用攪拌或靜置。
- 9、約 20 分鐘觀察瓶內是否開始分層，分層的多寡，上層應為水層，下層為晶體層。
- 10、約 4 小時後，將瓶子移開，讓其瓶回室溫。
- 11、將此水溶液抽濾，並用蒸餾水洗至 pH 為 9 左右。
- 12、將其濾餅放到約 100~120°C 的烘箱烘乾。
- 13、取雲母片及四種分子篩各 0.5 克，各加入 22 滴 5mM PtCl<sub>4</sub> 異丙醇溶液。
- 14、至於高溫爐，以 125°C 燒結 15 分鐘。秤重。
- 15、結果：

表二：分子篩產量比較圖

	低矽	中矽	高矽
分子篩重(克)	10.88	4.94	0.50

16、結論：

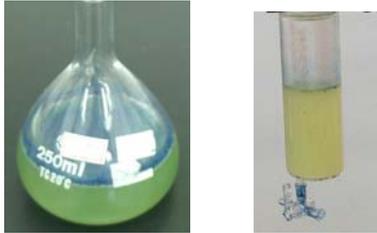
- (1) 相同鹼度下，以低矽產量較大，從外觀上，發現低矽在同重量下體積較大，當加入 PtCl<sub>4</sub> 異丙醇溶液體積卻突然縮小很多。
- (2) 鉑黑燒結體同重量下，低矽體積最小。
- (3) 四種燒結體皆成灰色，並且皆比水密度大(在水中迅速下沉)。

[實驗四] 雲母片及四種分子篩鉑黑催化還原靛藍生成靛白隱色鹽效率比較

1、 利用玻璃注射筒、鹽酸及鎂帶製備氫氣。

2、 製備靛白飽和溶液：

- (1) 先在玻璃注射筒中裝 0.5 克低矽鉑黑分子篩及 0.5 克靛藍，先裝 20mL 水，排出筒中空氣。
- (2) 注入氫氣 10mL，上下搖動 14 分鐘後完全變黃。
- (3) 慢慢吸入水至沒有黃色沉澱為止，紀錄總體積為 50mL，計算濃度，靛藍濃度為  $14.4 \times 10^{-4}$  M
- (4) 結果：所製得的靛白和化學法所得顏色完全一樣，完全不含藍色及綠色的成分。請比較如下照片。



左側為化學法所得；右側為鉑黑分子篩所得

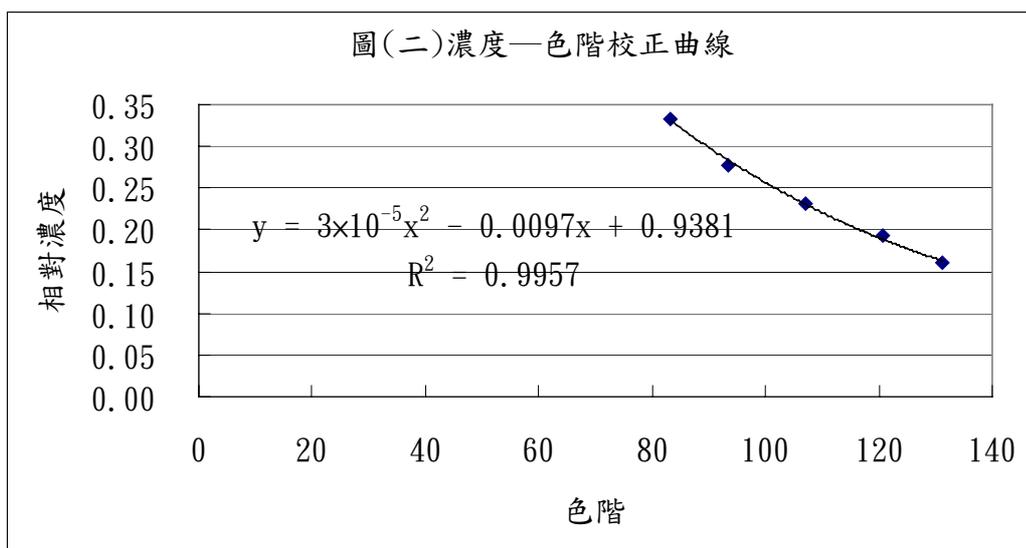
- (5) 討論：從照片可看出分子篩所得靛白較純，因為只要有氫氣存在，即可保持還原態，但化學法卻仍會受量瓶中的氧氣氧化。

3、 製作數位相機所得影像在 PhotoImpact7 軟體中明度色階和濃度的校正曲線。

- (1) 第 1 管，取相對濃度 1/3 的靛白溶液，暴露空氣中，氧化成靛藍。
- (2) 第 2 管，取上述溶液稀釋 25/30，以後每一管都以前一管稀釋 25/30。
- (3) 將所有管注入 10 毫升氫氣。
- (4) 定點拍照，利用 PhotoImpact7 軟體分析濃度和明度色階的關係。
- (5) 結果：

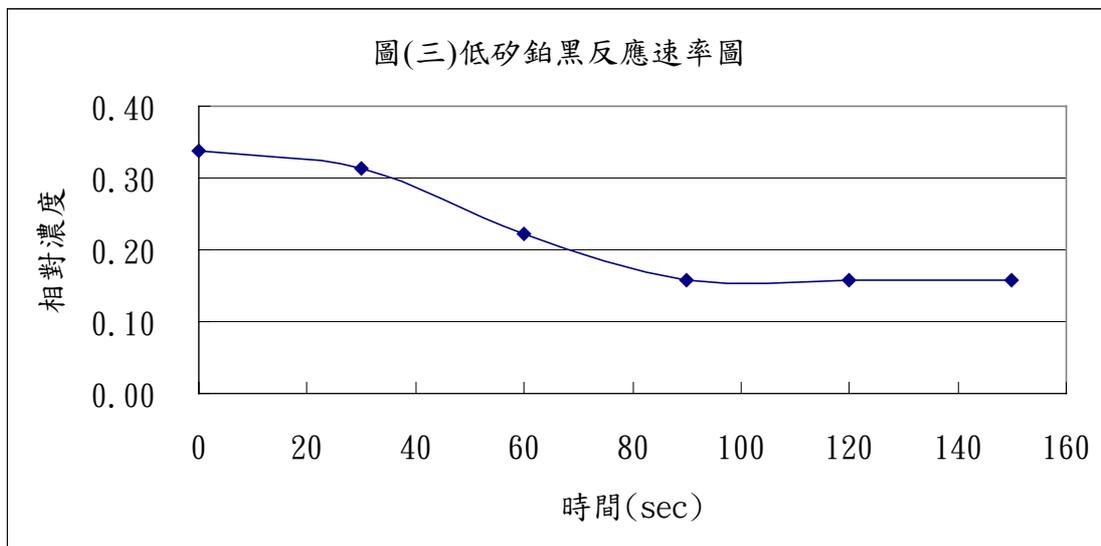
圖三：色階—濃度校正數據表

相對濃度	0.333	0.278	0.231	0.193	0.161
色階	83.3	93.3	107.1	120.7	131.1

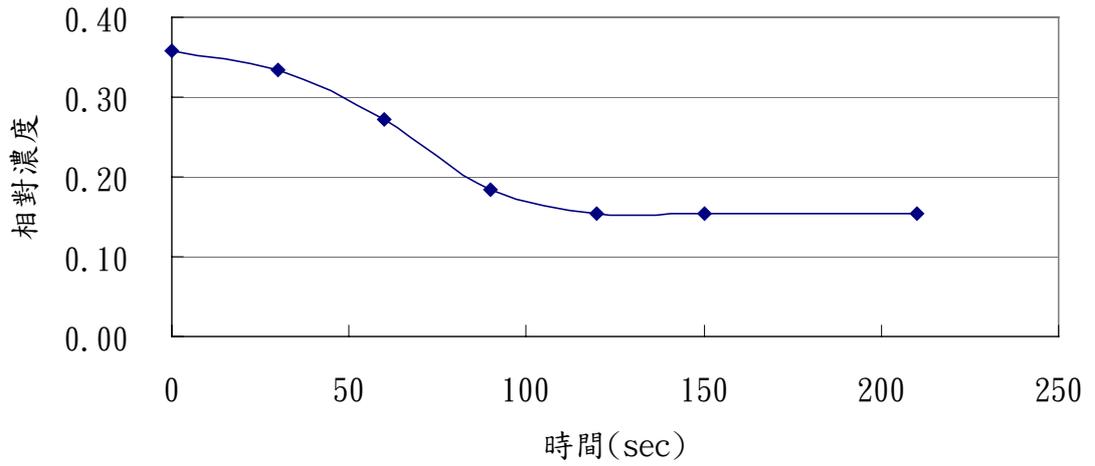


4、測量各種催化劑反應速率。

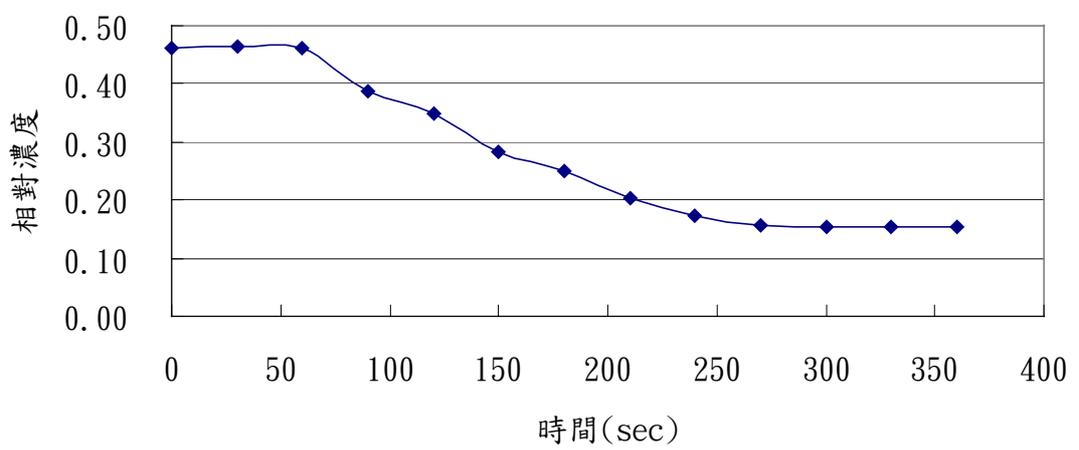
- (1) 取相對濃度 1/3 的靛白溶液，暴露空氣中，氧化成靛藍。
- (2) 在玻璃注射筒中加入各種鉑黑分子篩 0.5 克。(以鉑黑雲母片及純的低矽分子篩當作空白比較)
- (3) 抽入 10mL 氫氣，上下搖動一次，間格 30 秒定點拍照一次。
- (4) 分析明度，求出濃度對時間的關係圖，由斜率求反應速率。
- (5) 結果：



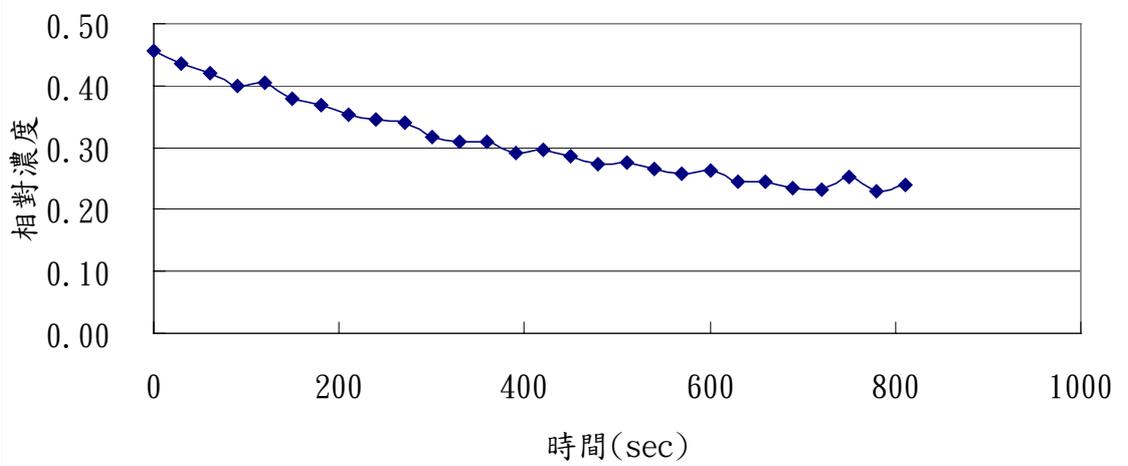
圖(四)中矽鉑黑反應速率圖

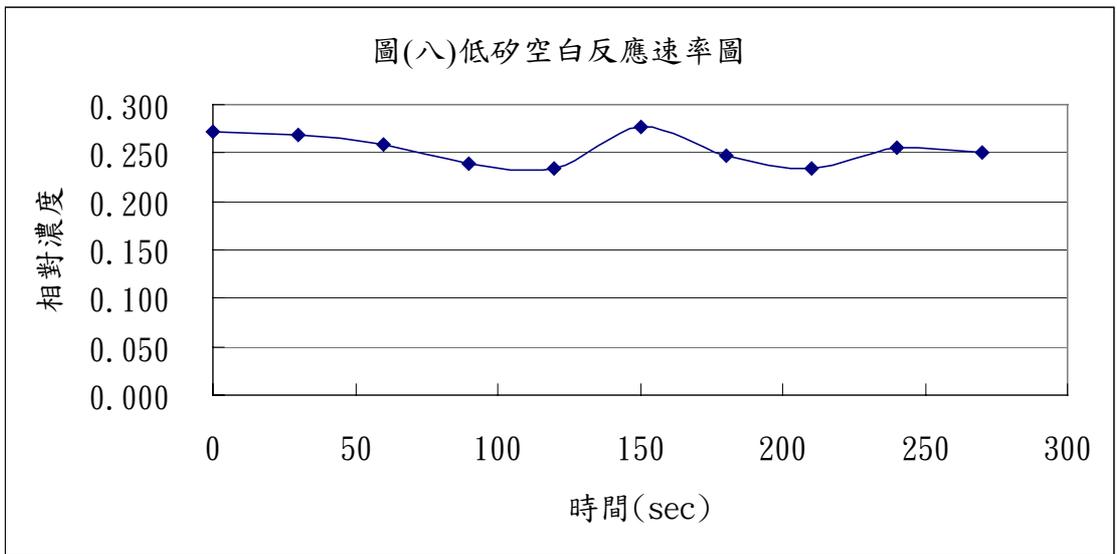
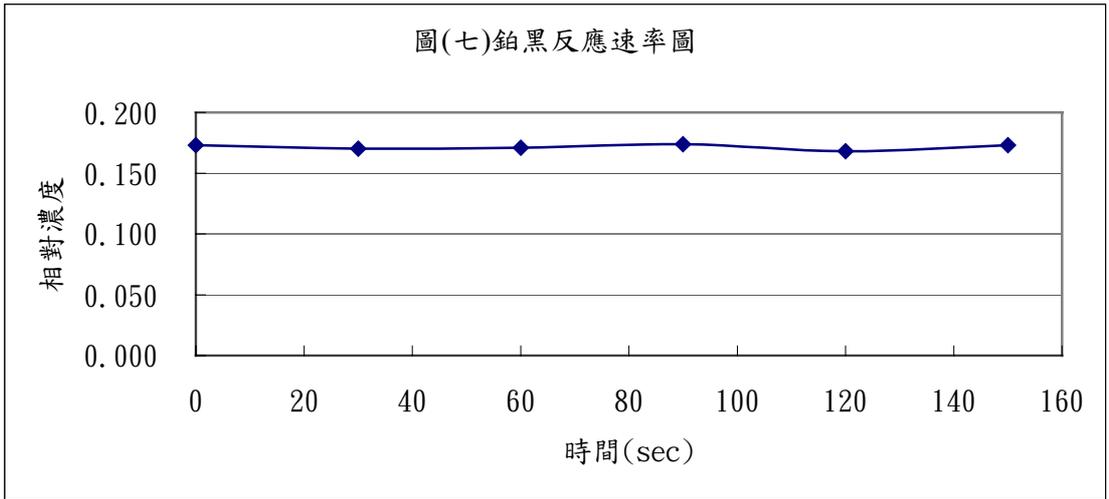


圖(五)高矽鉑黑反應速率圖



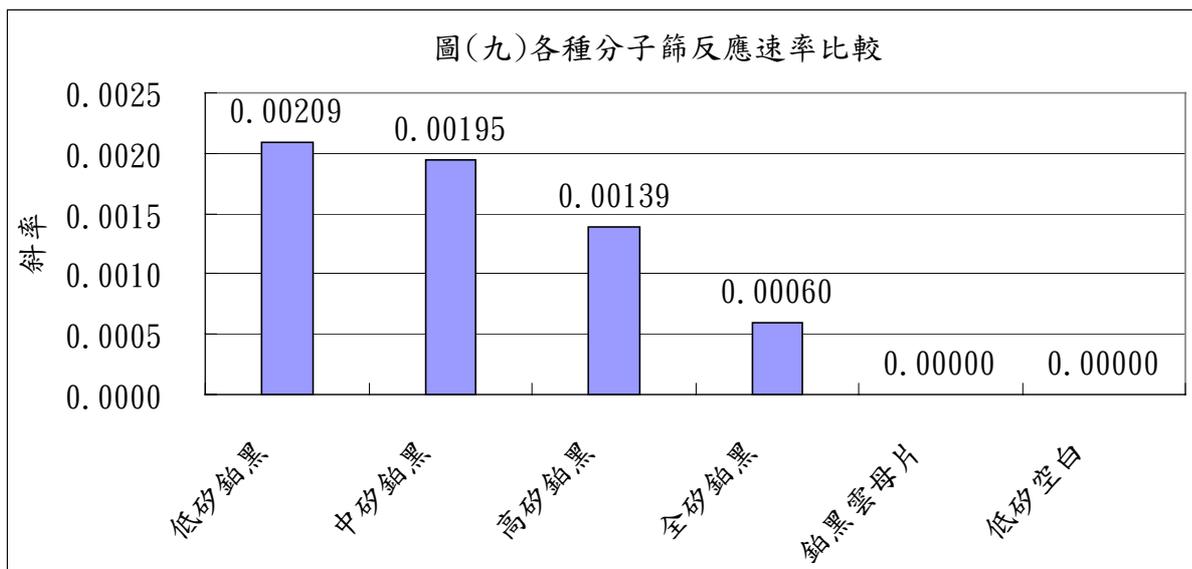
圖(六)全矽鉑黑反應速率圖





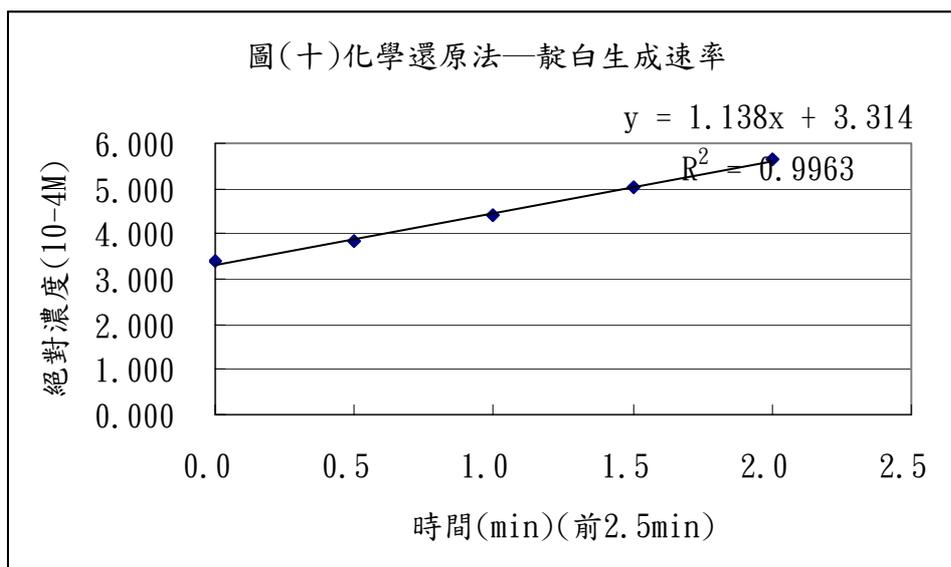
表四：反應速率比較表

分子篩	斜率
低矽鉑黑	0.00209
中矽鉑黑	0.00195
高矽鉑黑	0.00139
全矽鉑黑	0.00060
鉑黑雲母片	0.00000
低矽空白	0.00000



#### 5、討論：

- (1) 本實驗和之前的化學還原法採用不同的方法，在於需加入氫氣，但光度計的結構並不允許，故採用數位相機及軟體分析。
- (2) 數位相機及軟體分析所得校正曲線的結果，在筆者使用相對濃度較高時，較為準確，當低濃度時，其色階即呈一極限值，當筆者進行反應速率實驗時，當反應完全變為靛白時，利用校正曲線公式卻無法得到靛藍濃度為零，偵測的極限從圖二至圖七應該在相對濃度 0.15 左右，故基於此考慮，筆者計算反應速率，即採用前 90 秒的斜率來計算。
- (3) 本實驗採用靛白在濃度較稀下，氧化成靛藍的膠體溶液，是因為膠體溶液不易沉澱，而干擾測光結果，實驗結果發現在相對濃度 0.4 以下所生靛藍即不亦在水中迅速沉澱（但放置至隔天仍會沉澱），如果直接使用靛藍配製溶液，因靛藍不溶於水，故就無法準確控制溶液的濃度及均勻度。
- (4) 本實驗需要上下震動，因為氫氣及催化劑為不同狀態，為非勻相催化反應；之前化學還原法為勻相反應，且測光槽相當小，故不需特別攪拌。
- (5) 雖然採用不同方法，但仍可看出分子篩反應普遍較化學法快。（斜率  $0.0021 \times 1/3 \times 60 \times 4.8 \times 10^{-4} \text{ M/min} = 2.016 \times 10^{-4} \text{ M/min}$  比化學法的  $1.138 \times 10^{-4} \text{ M/min}$ ）

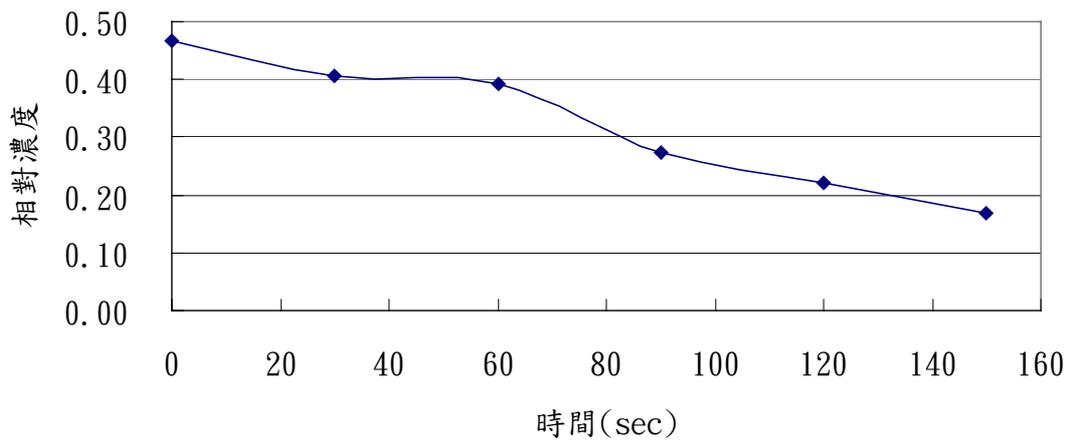


- (6) 分子篩還原法較化學還原法更方便管理，因為不會因為氫氣過量而有過度還原甚至筆者把藍白及氫氣密封在注射管中一個月仍可在氧化成藍靛。
- (7) 明顯低矽鉑黑分子篩反應最快，高矽較差，而全矽反應很差，並且無法使靛藍完全變黃（即無法完全變靛白）。
- (8) 在效果較明顯的低矽、中矽及高矽鉑黑分子篩，其反應曲線似乎有自催化現象，因為斜率越來越高，隨反應時間速率加快，且在 90 秒後幾乎接近零級反應。
- (9) 為了釐清是鉑黑分子篩在作用，還是鉑黑在作用，或是分子篩本身具催化作用，筆者把鉑黑燒結在雲母片上，結果完全沒有作用，從圖七看出數值雖有上下變動，但可能是雲母片漂浮反射吸收光所造成，因為從實際觀察其顏色並無變化；另外，純的分子篩也完全無反應，請參考圖八及附錄照片。
- (10) 筆者在實驗中，當靛白用完，只要補充靛藍，過十多分鐘低矽鉑黑分子篩即可重複再讓靛藍變靛白，此點顯示分子篩的可重複使用性，此點使筆者決定進行低矽鉑黑分子篩重複使用效率的探討。

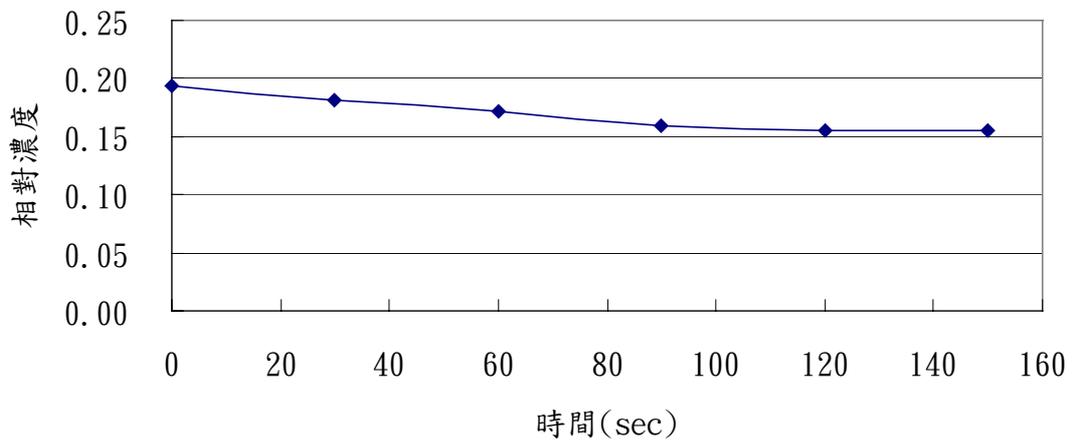
#### [實驗五] 最佳催化劑重複使用速率比較

- 1、低矽鉑黑分子篩因為反應速率最快，故筆者採用其來探討此催化劑的重複使用性。
- 2、使用完的分子篩，抽乾溶液，並反覆以二次蒸餾水沖洗，直至沒有顯現藍色為止。
- 3、進行實驗四的催化反應
- 4、結果：

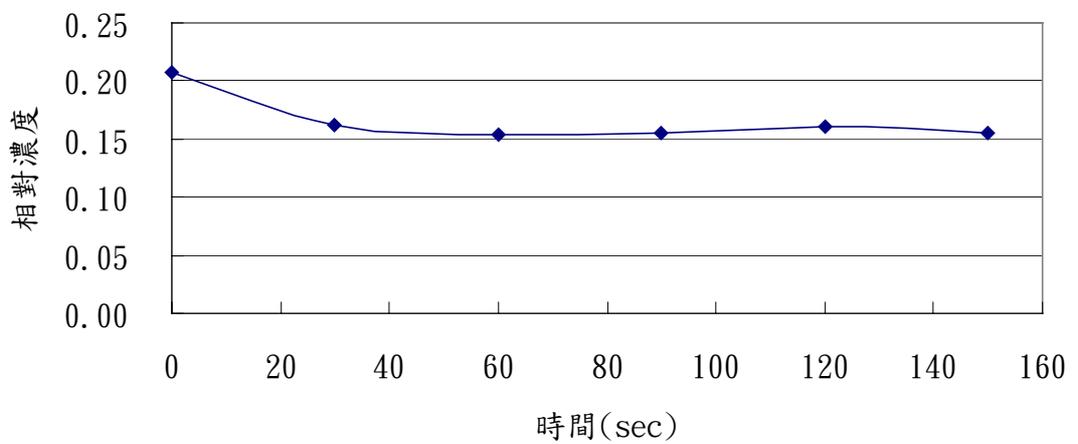
圖(十)低矽鉑黑反應速率第二次圖

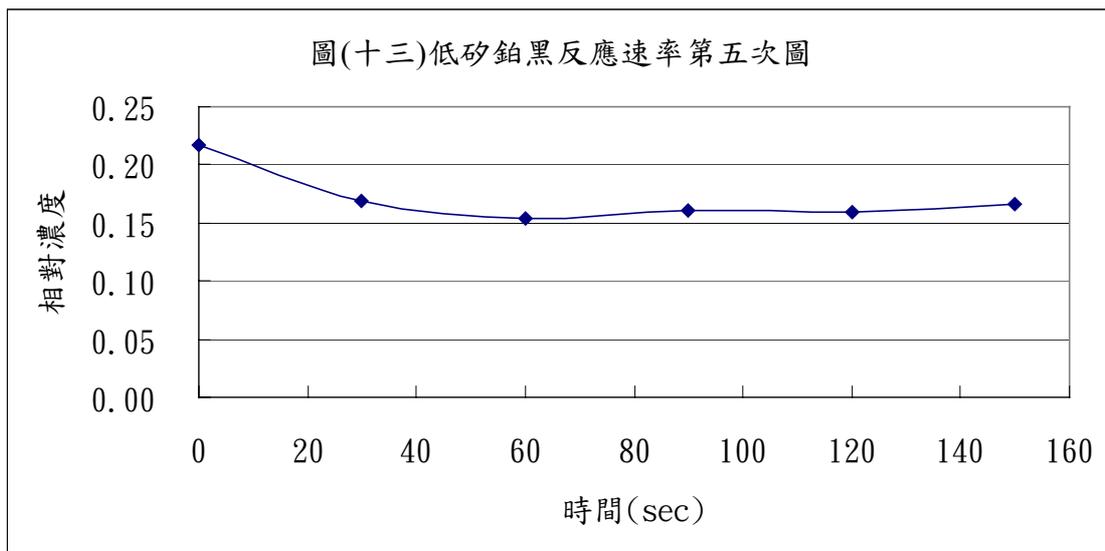


圖(十一)低矽鉑黑反應速率第三次圖



圖(十二)低矽鉑黑反應速率第四次圖





表五：低矽鉑黑分子篩重複使用反應速率

低矽分子篩	斜率
第一次使用	0.00209
第二次使用	0.00204
第三次使用	0.00039
第四次使用	0.00150
第五次使用	0.00162

#### 5、討論：

- (1) 因為使用過的分子篩，筆者用水重複清洗，很難掌握分子篩中的染料是否被完全去除，故使一開始的顏色偏綠（因為有靛白溶出），此點可由其反應開始相對濃度非 0.4，而在 0.2 左右，已經接近色階分析濃度的下限（相對濃度 0.15），尤其在第三次其開始相對濃度為 0.193，導致其速率較慢。
- (2) 另外從第四及第五此反應，發現只要清洗較完全，其反應速率確實可完全恢復。
- (3) 若各次反應開始濃度皆為 0.3 則斜率皆接近 0.002，但因為電腦分析軟體以三顏色色階去模擬顏色，故無法排除靛白顏色的影響，無法做到每次開始的色階濃度一樣，但從表五筆者仍可肯定低矽鉑黑分子篩可於常溫下 100% 的重複使用。

#### [實驗六]靛藍及靛白隱色鹽吸附效果及褪色之比較

- 1、預先把染布浸泡在清水之中，是為了密合染布之間纖維的空隙，這樣在浸泡染液的時候會讓染布比較好吸收染液，但為了準確需懸掛使水滴稍微滴乾。
- 2、取[實驗一]步驟 1 至 3 之溶液，測其溶液濃度。取 16cm<sup>2</sup> 棉或麻布上放入 50mL 染

液中浸泡 60 分鐘，待布料顏色不再變化後，取溶液測靛藍之濃度。

3、步驟 1 及 2 之溶液直接測藍靛濃度。

4、步驟 3 之溶液用打氣機使氧化成藍靛再測濃度。

5、將染後的布料以玻棒支撐起晾乾，曬乾布料後，把布料重新浸泡在二次蒸餾水中，測溶出液之濃度。(需測至濃度不變為止)

6、結果：



左側為化學還原所得棉布靛白隱色鹽浸泡結果

右側為棉布靛藍浸泡結果



左側為化學還原所得棉布靛白隱色鹽浸泡晾乾結果

右側為棉布靛藍浸泡晾乾結果

表六：靛藍及靛白隱色鹽吸附效果及褪色之比較

	浸泡前濃度( $\times 10^{-4}$ M)	浸泡後濃度( $\times 10^{-4}$ M)	溶出濃度( $\times 10^{-4}$ M)	染上比率%	溶出比率%
藍靛染液	48	42.7	0.062	11.04	1.17
化學法藍白染液	48	3.9	0.144	91.98	0.33

(1) 棉布在 60 分鐘內可吸附  $5.3 \times 10^{-4}$  M 的靛藍，約佔原濃度的 11.04%

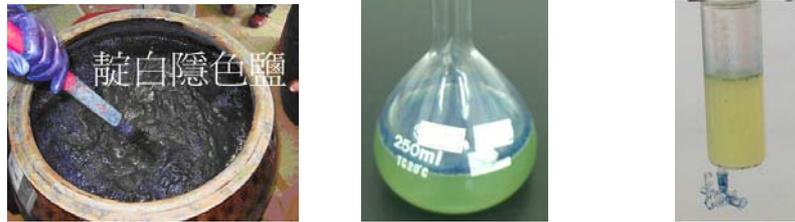
(2) 棉布在 60 分鐘內可吸附  $44.1 \times 10^{-4}$  M 的靛白，約佔原濃度的 91.98%

(3) 棉布在 60 分鐘內可褪色  $0.062 \times 10^{-4}$  M 的靛藍，約佔原吸附的 1.17%

(4) 棉布在 60 分鐘內可褪色  $0.144 \times 10^{-4}$  M 的靛白，約佔原吸附的 0.33%

7、討論：布料晾乾後的漂洗，以天然靛藍染色對布的吸附力非常小，因為按吸附理論脫附和濃度有關，在較低的吸附量下，仍有較大溶出比例；而其濃度幾乎已是光譜儀的偵測極限，從肉眼看，在水中幾乎完全褪色，而化學製靛白染色的布在漂洗時只損耗了約 0.33% 的染劑，顯示以化學方法製得的染料附著力也大於傳統方法。以往用傳統方法染布時，往往因為漂洗時褪色比例太高，需要重複染上四、五次才能達到想

要的效果，浪費掉的染料也不可以數計。而用化學方法染布約一次就能達到相同的效果，也比較不容易褪色，無論在時間上或染料，都可以有較高效率的使用。筆者把三者所得靛白照片呈列如下：



左側為傳統法所得；中間為化學法所得；右側為鉑黑分子篩所得  
傳統法在攪拌附近即有藍色的靛藍出現，且本體呈現墨綠色，故三者所生靛白以分子篩最好。

#### 陸、實驗討論：

- 1、傳統方法製成的染料因含不溶性靛藍的比例仍高，顏色不易染至布料上，原本  $4.8 \times 10^{-3} \text{M}$  的溶液染後濃度仍高達  $4.2 \times 10^{-3} \text{M}$ ，染料附著比例甚低。化學法所製造的靛白原本的濃度為  $4.8 \times 10^{-3} \text{M}$ ，但染後濃度為  $0.39 \times 10^{-3} \text{M}$ ，顯示大部分的染液均能附著在布料上，染色效果遠好於傳統製法。
- 2、無論分子篩催化或化學試劑還原法，所生靛白皆完全不含靛藍，此點可由光譜一在 660nm 沒有吸收得到證明，因為靛白對水的可溶性，故在染色上就如實驗六，可有非常好的效果（完全不浪費，且無污染）。其中分子篩催化，因為只要不斷充氫氣，或保持系統中有氫氣，即不怕靛白在浸泡布料時受氧化，可達到完全不浪費的結果。
- 3、本實驗，發現在飽和靛白溶液下， $1 \text{M NaBH}_4$  可使靛白反覆氧化還原，若為  $2 \text{M}$  則可發生不可逆轉的還原，溶液無法在氧化成藍靛，從見光譜圖看出和靛白完全不同。但詳細濃度關係尚需進一步探討。
- 4、從實驗五得知鉑黑分子篩可無窮重複使用，在反應過程中無其他副產物出現，並且可在常溫中進行，且沒有化學法過度還原的問題；相對於化學還原法尚會生成硼酸鹽類，雖然硼酸鹽污染性低，但硼氫化鈉反應性高，在水中除還原染料外，尚會自行分解，故從環保、安全及經濟方向思考，鉑黑分子篩確實是讓藍染工藝復活的不二選擇。
- 5、從資料顯示，低矽分子篩對水分子、極性分子及可極化分子有優越的選擇性；高矽分子篩對非極性物質有較佳吸附力，此點或許決定了它們的反應速率。
- 6、本實驗發現，在注水進入靛白飽和溶液時，可看到如下的顏色變化，紅色→藍色→黃色，其中藍色變黃色當然是分子篩催化劑將靛藍還原成靛白，但紅色究竟是何種物質？因為其只瞬間存在，無法用光譜分析得知，可見本反應應有更複雜的反應機構，這也是本實驗將來要設法解決的問題。
- 7、本實驗的電子掃描顯微照片(SEM)，顯示分子篩的表面積非常大，吸附相當多的鉑奈米顆粒，是否因為如此而使反應效率提升？此點可能需進一步證實。
- 8、因為筆者使用棉布來實驗，對於其他布料中靛藍及靛白其相對的吸附力是否如此需要更進一步加以探討。

柒、結論：

1、傳統做法、化學法與奈米分子篩法比較表

項目 方式	傳統方法	化學法	奈米分子篩
靛白濃度	低	高	極高
需時	久(約 5~7 天)	短(約 15 分鐘)	極短(約 2~5 分鐘)
資源耗費	多 (因為靛白純度低,因此漂染時會洗掉大量的靛藍;另外,因為是開放系統,且須供應為生物氧氣,需時時攪拌,造成隱色鹽又被氧化,所以需大量資源維持隱色鹽)	中 (1. NaBH <sub>4</sub> 製造時耗費大量資源 2. NaBH <sub>4</sub> 無法重覆利用,耗損多 3. NaBH <sub>4</sub> 會與水作用,效率低) 4. 過度還原而使藍白受破壞。	低 (因為奈米分子篩可重複利用)
污染	大 (漂洗掉的靛藍會污染河川)	中 (NaBH <sub>4</sub> 會產生硼酸鹽類,造成二次污染)	低 (並無污染性的產物)
附著效果	需加熱反覆漂染	不需加熱,一次完成	不需加熱,一次完成
成本	高	高	不高
系統	開放式 (造成空氣污染)	開放式	閉合式
總結	差	良	極佳

2、傳統方法在染色時需加熱、加上石灰水為助劑,採用為生物發酵法,其結果為製備慢,反應不完全,浪費必且青馨臭氣熏天,分子篩及化學還原法則完全沒有此缺點。

3、無論分子篩催化或化學試劑還原法,其反應以速率定律式來看為接近零級,更可使控制及管理更為方便,可在反應之初,就可正確預估何時必須加入反應物劑。但化學法應防止 NaBH<sub>4</sub> 過量。

4、植物染和人工合成染料的比較：

	天然染料	人工化學染料
1. 萃取時間	長、費時費工	短、省時省工
2. 染色方法	繁複	簡易
3. 著色程度	較差	較佳
4. 鮮艷程度	色彩較不鮮艷但較自然	色彩鮮麗
5. 耐久性	易褪色	不易褪色
6. 成本	高	低
7. 毒性	有些植物染料不具毒性,可染食物	必須為食用色素才可添加於食物中
8. 污染程度	植物染料易於分解較少污染,較環保	人工化學染料不易分解易造成工業污染
9. 其他	有些植物染料具有藥用成分,例如:黃蘗具有防蟲效果色彩獨特	

- 5、以天然植物為染劑的製品，越穿色澤越佳，染後兩年色澤即達到顛峰。此點實驗的結果似可提供一個方向，即利用化學氧化法迅速使發色基濃度達到最高，不過是否會布料產生質變或劣化，仍需後需實驗加以評估。
- 6、本實驗提供一個使傳統藍染工藝復活的契機，希望從減少時間成本、珍惜染料資源、減少操作複雜度、根絕水污染及減少臭味等方面提供改善方案。從結果可看出本實驗可有效解決這些問題。
- 7、青鬱臭氣熏天，因為其採用為生物發酵法；但分子篩卻在密閉系統中使用，故也沒有任何味道，此點對此染布工藝的復活非常重要。
- 8、未來希望尋找更多具同樣性質的還原劑，及不同植物染料，使其不僅符合經濟效益，更可結合傳統與現代，使傳統具有新的生命。

#### 捌、參考資料：

- 1、台灣植物染 作者:陳千惠
- 2、藍染植物染 作者:陳姍姍
- 3、黃色系植物染料的蠶絲染色研究 作者:馬芬妹
- 4、台灣植物名彙 作者:楊再義
- 5、Silverstein; Spectrometric Identification of Organic Compounds, second edition, John Wiley&Sons, Inc, August 1977

#### 玖、附錄：



臺灣馬藍( 詹慧康 攝 )



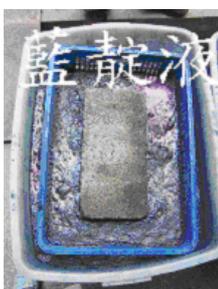
臺灣馬藍的花( 吳世霖 攝 )



臺灣馬藍



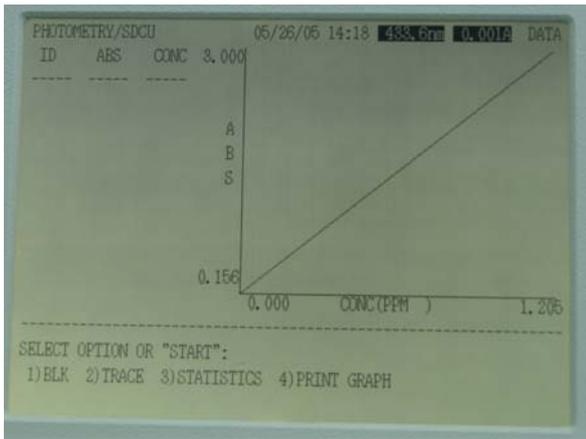
馬藍葉



藍靛液



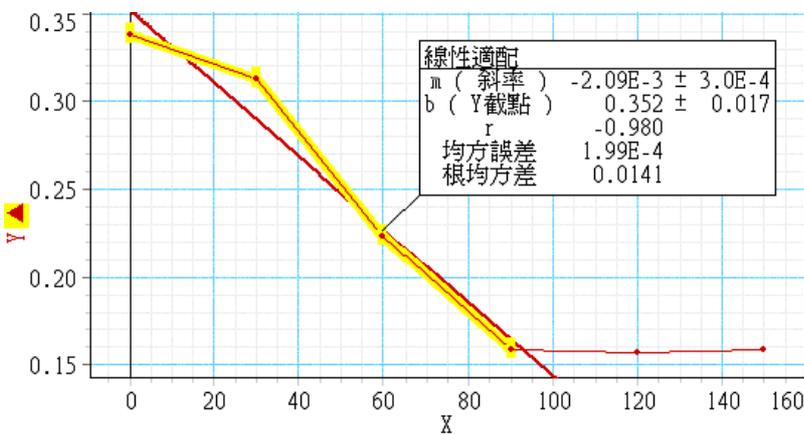
靛白隱色鹽



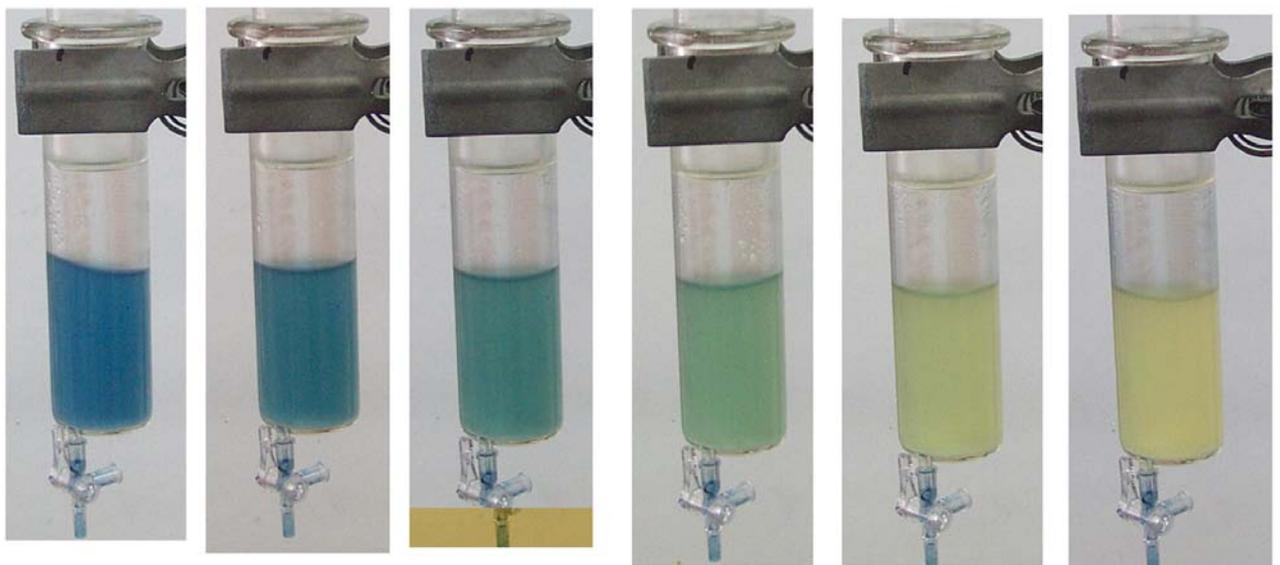
可見紫外光譜儀(日立 U-2001)檢量線畫面



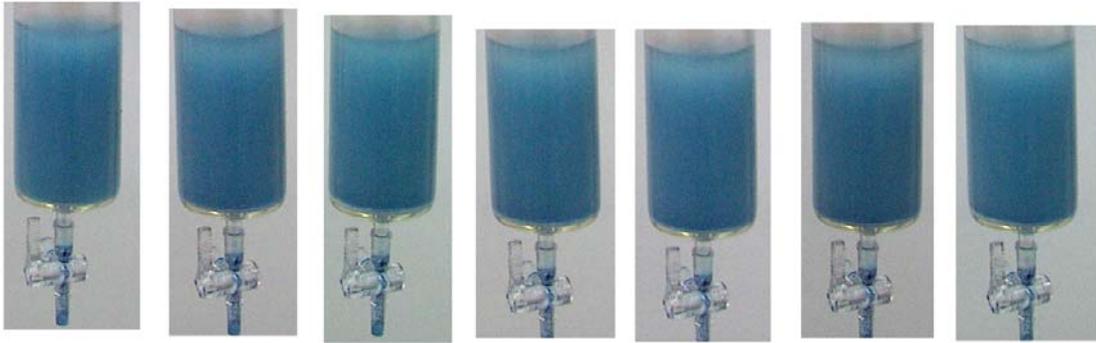
可見紫外光譜儀(日立 U-2001)操作畫面



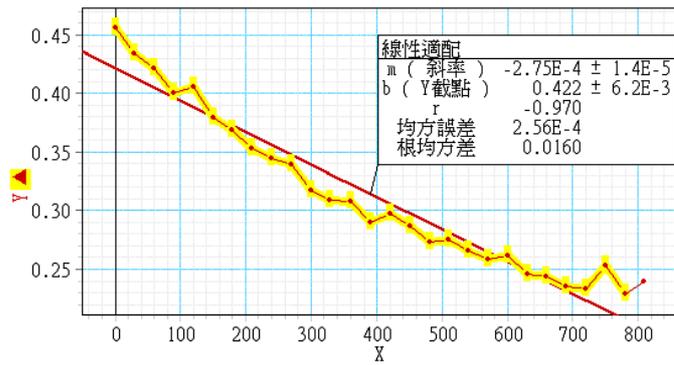
低矽鉑黑分子篩反應速率圖



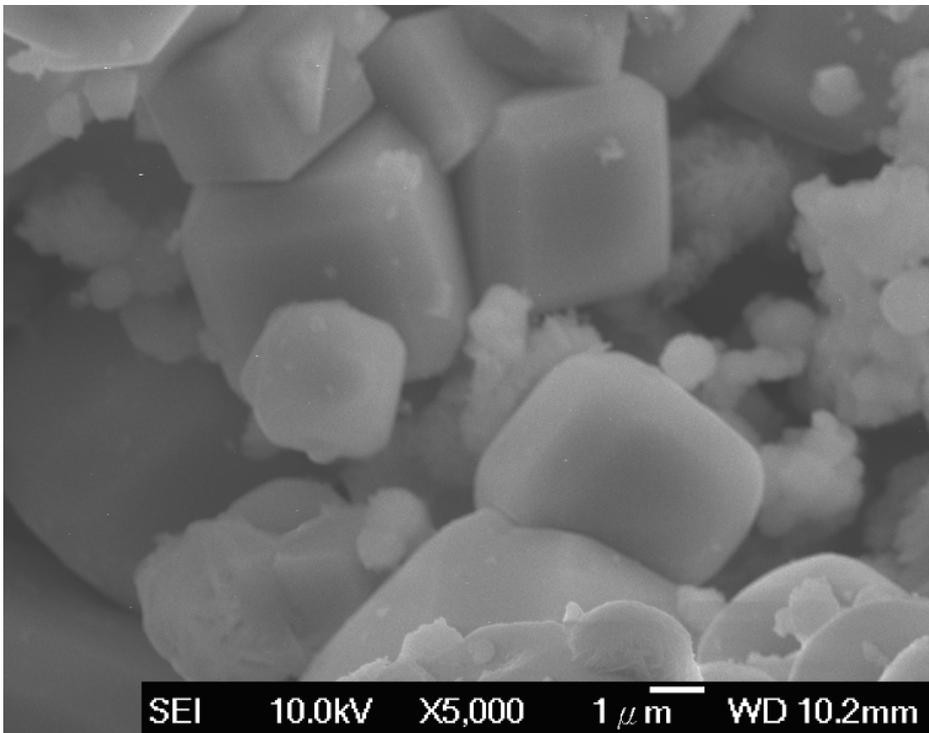
低矽鉑黑分子篩反應速率實際顏色變化圖 (從左至右每張圖間格 30 秒)



低矽空白分子篩反應速率實際顏色變化圖（從左至右每張圖間格 30 秒）



全矽鉑黑分子篩反應速率圖



低矽鉑黑分子篩 SEM 圖

## 評 語

040213 奈米分子篩與本土植物染，讓藍染復活

以分子篩催化還原法，提供傳統藍染工藝的改善方案，產生  
結合傳統與現代的面貌。