

作品名稱：利用奈米級二氧化鈦與紫外光對甲殼素的快速降解法

編號：SA2-006

一、研究動機

幾丁質(chitin)，俗稱甲殼素，是一種具有無毒性，生物分解性與生物相容性的天然聚合物，在食品加工、醫藥、化妝品與生物科技上具有很大的應用空間。以往人們在對幾丁質進行降解時，通常需要使用 CF_3COOH 或 CCl_3COOH 等強酸，且需要在高溫下才能進行反應，在操作的條件與廢液的處理上都十分不方便。較新的方法是利用已經商業化且大量生產的酵素，如纖維素酶 (cellulase)、蛋白質分解酶 (protease)、脂解酶 (lipase) 等進行處理，但酵素的成本過高，需較長的反應時間才能獲得較高的產率，且在酵素反應下產物的濃度十分的低，在萃取時相對提高了許多生產成本。

筆者在偶然的機會將處理過的蟹殼幾丁質固體置於石棉心網上，意外發現這些固體在數分鐘內像塑膠般熔化了，探討原因竟然是石棉心網上的某些金屬鹽所造成。因此筆者希望透過這個發現，用簡單的方法在較低的溫度及不需大量金屬離子作用的條件下，以較高的反應速率對幾丁質進行溶化，再利用奈米級二氧化鈦(TiO_2)在紫外光的不同時間照射下將其降解，藉以控制產物的分子量以適用在各種不同的應用領域中。

二、研究目的

透過實驗，筆者想了解特定金屬離子與 pH 值對不同生物來源（蟹殼與金針菇）的幾丁質溶解反應，以及在奈米級 TiO_2 存在下照射紫外光對降解與分子量的影響。同時再從實驗結果，探討不同波長紫外光與溶液厚度對降解效果的影響，並找尋以照光時間長短來控制分子量大小的方法，以適合各種不同的應用領域。

三、測分子量的原理

1. 溶液的滲透壓公式： $\pi = CRT = m/MV \times RT$

表滲透壓，m 為質量，M 為分子量，V 為體積，R 為常數=0.082，T 為絕對溫度

四、研究器材

1. 塑膠杯、燒杯、量筒、滴管、電子天平、玻璃管、玻棒、瓦斯爐、不鏽鋼鍋、磁攪拌器、紫外光燈(8W, 312nm 與 375nm)、pH 儀、離心機、石英玻璃皿、醋酸纖維膜
2. 螃蟹殼、金針菇、氫氧化鈉、氫氧化鉀、鹽酸、雙氧水、草酸、醋酸、硝酸鎂、

奈米級與試藥級的二氧化鈦(TiO_2)、二次純水

五、研究過程與方式

(一) 檢驗二氧化鈦是否為奈米級

取 0.3M 的奈米級二氧化鈦溶於 0.1M 的 KOH 中，高速離心三分鐘後，取上層液以雷射筆照射並觀察其光散射現象。根據廷德耳效應，若溶液能使光線發生散射現象即可證明二氧化鈦粒徑大小屬於奈米級。

(二) 蟹殼幾丁質的製備

取螃蟹殼約 100 個，用稀鹼煮沸去除表面雜質與蛋白質，置於 HCl 中以去除 CaCO_3 後取出蟹殼加以脫色、還原，最後用濃 NaOH 浸泡一個月(常溫)。

(三) 金針菇幾丁質的製備

取新鮮之金針菇，用稀 NaOH 煮沸去除蛋白質與表面雜質；最後用濃 NaOH 浸泡一個月(常溫)。

(四) Mg^{2+} 離子對蟹殼幾丁質溶解的影響

在醋酸溶液定量的條件下，分別將醋酸溶液及不同滴數的 Mg^{2+} 離子滴入蟹殼幾丁質中，加熱後觀察並記錄使其溶解的溫度。

(五) Mg^{2+} 離子對金針菇幾丁質溶解的影響

在醋酸溶液定量的條件下，分別將醋酸溶液及不同滴數的 Mg^{2+} 離子滴入金針菇幾丁質中，加熱後觀察並記錄至其溶解的溫度。

(六) 蟹殼幾丁質在不同量的醋酸溶液下的溶解效果

在相同滴數的 Mg^{2+} 離子的條件下，調整溶液中醋酸溶液的量並加熱蟹殼幾丁質至能使其溶解的溫度，觀察在不同量的醋酸溶液下的溶解狀況，再記錄其結果。

(七) 金針菇幾丁質在不同量的醋酸溶液下的溶解效果

在相同滴數的 Mg^{2+} 離子的條件下，調整溶液中醋酸溶液的量並加熱金針菇幾丁質至能使其溶解的溫度，觀察在不同量醋酸溶液下的溶解狀況，再記錄其結果。

(八) 利用奈米級二氧化鈦在紫外光的照射下降解蟹殼幾丁質，並觀察在不同照射時間下對其分子量的影響

取溶於醋酸中之蟹殼幾丁質 50ml，加入奈米級二氧化鈦 1g，用紫外線(312nm, 8W)分別照射 1~4 小時，用二氧化鈦能經紫外線催化分解有機物的特性，攻擊幾丁質中碳與氧鍵結的部分使其降解。取出溶液後用高速離心機離心 5 分鐘後裝入玻璃管內，觀察並記錄在不同照射時間下所得的分子量。

(九) 利用奈米級二氧化鈦在紫外光的照射下降解金針菇幾丁質，並觀察在不同照射時間下對其分子量的影響

取溶於醋酸中之金針菇幾丁質 50ml，加入奈米級二氧化鈦 1g，用紫外光(312nm, 8W)分別照射 1~4 小時，用二氧化鈦能經紫外光催化後分解有機物的特性，攻擊幾丁質中碳與氧的鍵結部分使其降解。取出溶液後用高速離心機離心 5 分鐘後裝入玻璃管內。觀察並記錄在不同照射時間下所得的分子量。

(十) 在紫外光的照射下，以分別燒結奈米級及試藥級二氧化鈦的石英玻璃皿裝幾丁

質以進行降解

由於以燒杯裝盛幾丁質溶液以進行降解時，會因為溶液本身的厚度造成紫外光無法穿透至燒杯較底部，而使溶液的降解效果受到限制，因此改以能使溶液與二氧化鈦在紫外光下充分有效反應的方法重新進行降解的實驗。

筆者取一長型石英玻璃皿，以二氧化鈦與比例分別為 1:2:5 的矽酸乙酯、水及乙醇混合，並加入少量鹽酸使其成酸性溶液，塗抹其上（奈米級與試藥級分開製作）。在每次滴入 5ml，約 0.2cm 厚的條件下，將玻璃皿置於高溫爐內，以 100 /hr 的速率加熱至 1200 ，使二氧化鈦嵌合在玻璃皿表面。再取溶於醋酸中之蟹殼幾丁質覆蓋於皿上約 0.5cm 厚，放在 375nm 的紫外光下分別照 1~4 小時。最後將溶液倒出並以自製測分子量計測量其滲透壓，再以公式換算出幾丁質的分子量。

(十一) 驗證紫外光對幾丁質是否具有降解效果

取未加入二氧化鈦之蟹殼幾丁質溶液，在 8W，312nm 的紫外光下放置 1~4 小時，取出溶液後裝入玻璃管內進行分子量的測量，並比較其與加入奈米級二氧化鈦的降解結果之差異。

(十二) 將照過紫外光的幾丁質溶液滴入 NaOH，觀察在何種 pH 值下幾丁質會再次沉澱

將照過紫外光的幾丁質溶液加水稀釋 100 倍滴入 0.01M 之 NaOH，觀察並記錄在何種 pH 值下會再度產生沉澱

(十三) 計算分子量的方法

$$=CRT=m/MV*RT$$

將照過 UV 的幾丁質溶液裝入玻璃管內，在玻璃管的底部用約 3cm 的中空塑膠管套上一層醋酸纖維膜，再放入等濃度的醋酸溶液中。每天添加定量的水至醋酸溶液中，觀察當時氣壓、溫度、液面上高，再帶入以下式子即可得分子量。

$$\frac{\text{液面上高度} \times \text{溶液密度}}{1033.6} = \left[\frac{\text{chitin 所佔質量}}{\text{分子量}} \right] \times \left[\frac{1000}{\text{chitin 溶液體積} \times \text{修正值}} \right] \times 0.082 \times \text{絕對溫度}$$

<註>：修正值為(液面上高+0.5cm)/原始總長

當管內管外壓力達平衡，液面不再上升時，即可得管內幾丁質之分子量。

(十四) 儀器精準度的計算

在儀器精準度方面，我們在公式運算中有乘除者取所能測量之最小單位除以測量後的數值相加，有加減者則直接取最小單位值相加，兩相加總合再乘以所測分子量中的最大值後取正負，即可得測量結果的最大正負誤差值。

五、研究結果：

1. 奈米級二氧化鈦的測定結果

筆者分別取奈米級二氧化鈦與試藥級二氧化鈦之白色混濁溶液，在高速離心後，

取兩者上層液以雷射筆照射之。發現奈米級二氧化鈦溶液在照射時其廷得爾效應十分明顯，與試藥級二氧化鈦溶液的完全無光散射情形有很大的差異。由此可證實筆者所使用的二氧化鈦屬於奈米級。

2. 找出蟹殼幾丁質溶解之最佳條件

下表為尋找蟹殼幾丁質溶解之最佳條件，分別在改變鎂離子滴數及醋酸量下所測得的溫度與 pH 值

組別	pH 值	醋酸(ml)	Mg ²⁺ (滴數)	水量(ml)	開始溶解的溫度()
1	3.35	2	1	48	58
2	3.30	2	3	48	55
3	3.15	2	5	48	46
4	2.90	2	7	48	48
5	2.79	2	9	48	50
6	3.75	1	1	49	88
7	3.14	3	1	47	75
8	2.75	160	15	400	85

圖表一

<註一>：1~7 組全部溶解的溫度大約是在 60 ~62 之間。

如果 pH 上升或溫度下降，幾丁質會再度沉澱。

<註二>：第 8 組數據為開始大量製備時實際可溶的數值，且在冷卻至常溫後幾丁質溶液不會出現沉澱。如果不加熱，只將幾丁質以相同濃度的醋酸與鎂離子置於常溫下，3 小時後幾丁質可自然溶解，證明我們加熱只是加速溶解反應的過程。

3. 大量製備蟹殼幾丁質溶液：

配置 1M 的醋酸 160ml，2.5M 的硝酸鎂 15 滴，加水至 400ml，再加入體積為 85ml 的蟹殼。即體積為 485ml，醋酸濃度 0.33M 的溶液，在加熱至約 85 時幾乎蟹殼皆溶解。

4. 測每 25ml 中蟹殼幾丁質所佔有的質量

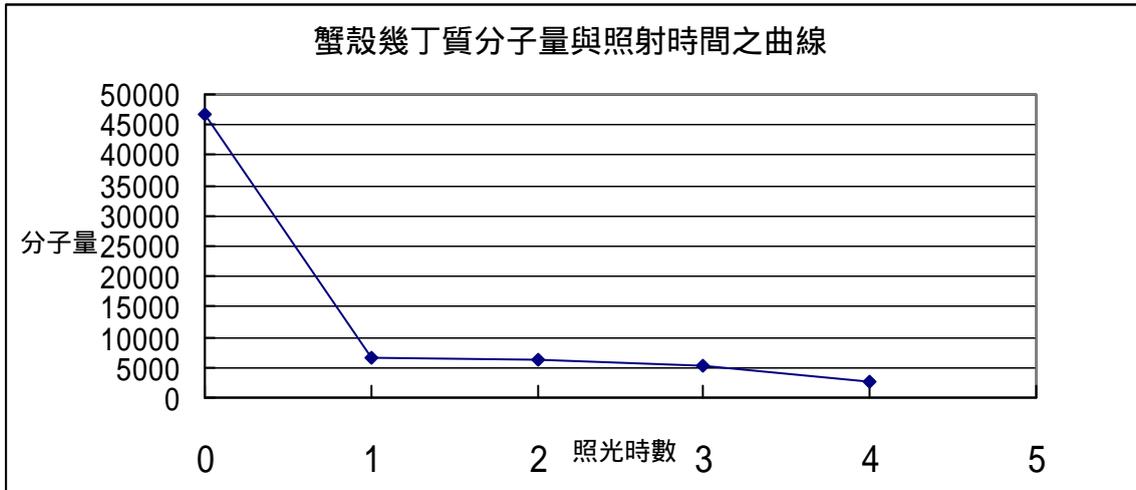
取出配好蟹殼幾丁質溶液 25ml，滴入氫氧化鉀使其產生白色沉澱，放到高速離心機離心 5 分鐘後取出含水之白色沉澱，裝入重 51.64g 的燒杯中置入烘箱。烘乾後稱得乾燥之蟹殼幾丁質重 1.16g。

5. 測照射紫外光之蟹殼幾丁質混合溶液分子量

照光時數(hr)	氣壓(hpa)	溫度(K)	液面上高(cm)	溶液密度(g/cm ³)	原始總長(cm)	原液面上高(cm)	質量(g)	溶液體積(ml)	修正值	分子量
0	1033.6	305.0	10.6	1.0	5.1	3.4	1.16	25	60.29	46918.42
1	1033.6	304.1	27.4	1.0	4.3	3.6	1.16	25	163.37	6679.01
2	1033.6	304.1	35.1	1.0	6.8	4.2	1.16	25	138.60	6145.55
3	1033.6	304.1	35.3	1.0	5.8	4.2	1.16	25	159.05	5325.09

4	1033.6	304.1	50.7	1.0	5.8	5.1	1.16	25	221.55	2661.69
---	--------	-------	------	-----	-----	-----	------	----	--------	---------

圖表二



圖表三

<註>：紫外光波長:312nm,功率:8W

6. 將照過紫外線的幾丁質溶液滴入 NaOH，觀察在何種 pH 值下幾丁質會再次沉澱

(1)測照光 1~4hr 之幾丁質溶液未加入 NaOH 之前的 pH 值

照光時數	PH 值
1hr	5.0
2hr	5.0
3hr	5.0
4hr	4.9

圖表四

(2)測使照光 1~4hr 之幾丁質溶液產生沉澱的 NaOH 數量與 pH 值

照光時數	NaOH(0.01M)	pH 值
1hr	14.5ml	8.1
2hr	14.5ml	9.0
3hr	15.0ml	8.5
4hr	16.0ml	8.1

圖表五

7. 找出金針菇幾丁質溶解之最佳條件

- (1)將泡在 NaOH 中的金針菇取出並洗至中性，放入 0.25M 之醋酸與約 2ml 的硝酸鎂內，加熱至 85℃，發現金針菇幾乎無法溶解(溶液保持澄清且無混濁或黏稠狀)
- (2)將泡在 NaOH 中的金針菇取出並洗至中性，放入 0.5M 之醋酸與約 2ml 的硝酸鎂內，加熱至 85℃。取出部分溶液滴入飽和 NaOH，產生微量白色沉澱，數量約為同量蟹殼幾丁質的一半。
- (3)將泡在 NaOH 中的金針菇取出並洗至中性後加水至 1000ml，再加入醋酸 500ml 與硝酸鎂 10ml 並加熱至 85℃。金針菇幾丁質幾乎完全溶解，且溶液呈淡黃色之

混濁狀液體。取少量溶液放入 KOH 則立即產生塊狀沉澱，證明金針菇幾丁質已成功溶解。

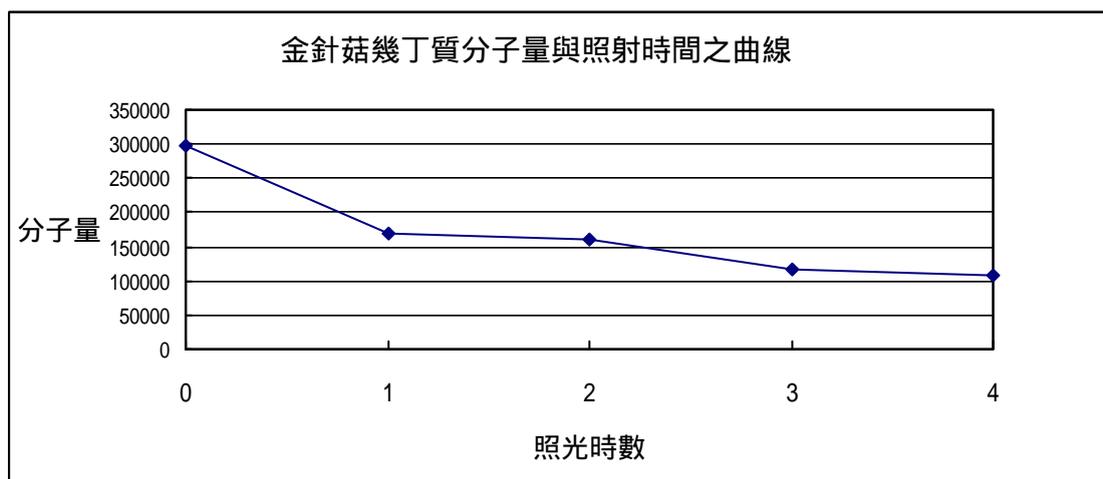
8. 測每 50ml 中金針菇幾丁質所佔有的質量

取 50ml 過濾後幾丁質溶液，放入重 34.58g 燒杯中，置入烘箱內乾早後總重 36.53g，即每 50ml 中金針菇幾丁質有 1.95g。

9. 測照射紫外線之金針菇幾丁質混合溶液分子量

照光時數(hr)	氣壓 (hpa)	溫度 (K)	液面上高(cm)	溶液密度 (g/cm ³)	原始總長(cm)	原液面上高 (cm)	質量 (g)	溶液體積(ml)	修正值	分子量
0	1033.6	303.3	10.2	0.66	12.2	10.2	1.95	50	25.00	297844.3
1	1033.6	303.3	11.9	0.75	9.5	8.8	1.95	50	33.16	169386.3
2	1033.6	303.3	11.8	0.76	8.9	8.3	1.95	50	34.83	160474.5
3	1033.6	303.3	16.3	0.76	12.3	11.4	1.95	50	34.96	115746.8
4	1033.6	303.3	15.6	0.87	12.1	11.3	1.95	50	33.88	109001.1

圖表六



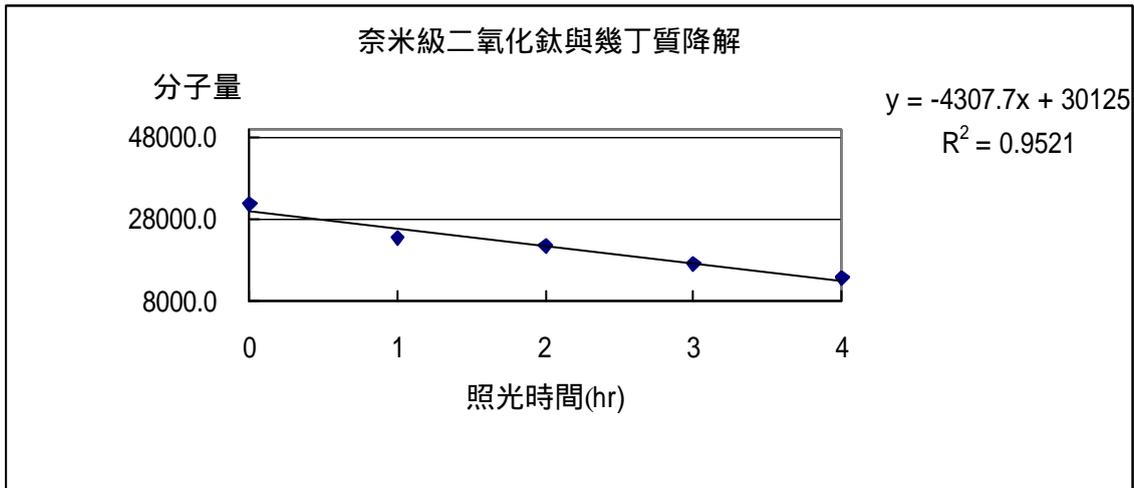
圖表七

<註>：紫外光波長:312nm,功率:8W

10. 測以表面燒結奈米級二氧化鈦的石英玻璃皿為基底所降解出的幾丁質混合溶液分子量

照光時數(hr)	氣壓 (hpa)	溫度 (K)	液面上高(cm)	溶液密度 (g/cm ³)	原始總長(cm)	原液面上高 (cm)	質量 (g)	溶液體積(ml)	修正值	分子量
0	1033.6	304	5.75	1	2.1	1.6	0.53	25	74.40	31918.8
1	1033.6	304	6.75	1	2.1	1.6	0.53	25	86.31	23439.8
2	1033.6	304	7.05	1	2.1	1.6	0.53	25	89.88	21550.6
3	1033.6	304	7.95	1	2.1	1.6	0.53	25	100.60	17075.4
4	1033.6	304	8.95	1	2.1	1.6	0.53	25	112.50	13562.5

圖表八



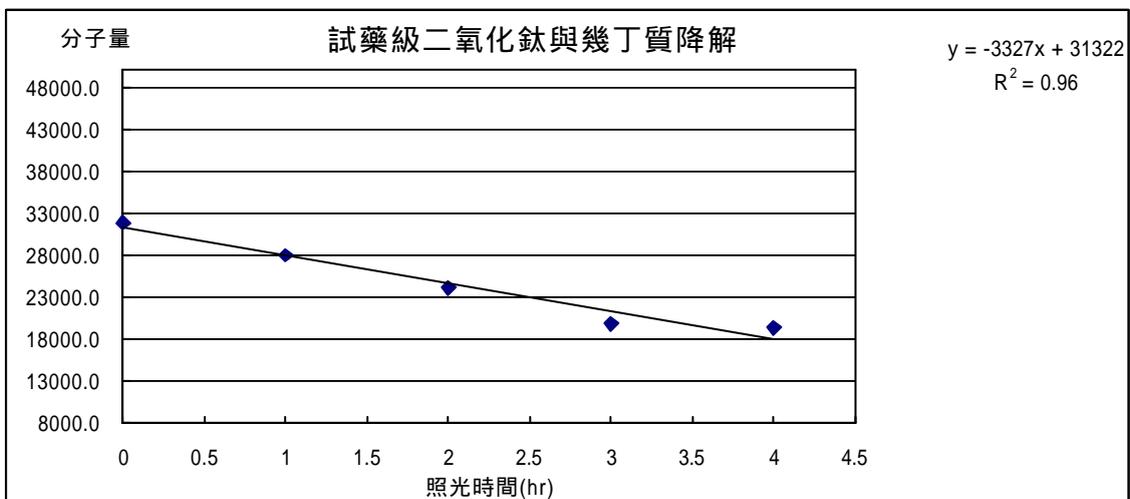
圖表九

<註>：紫外光波長:375nm,功率:8W

11. 測以表面燒結試藥級二氧化鈦的石英玻璃皿為基底所降解出的幾丁質混合溶液
分子量

照光時數(hr)	氣壓(hpa)	溫度(K)	液面上高(cm)	溶液密度(g/cm ³)	原始總長(cm)	原液面上高(cm)	質量(g)	溶液體積(ml)	修正值	分子量
0	1033.6	304	5.75	1	2.1	1.6	0.53	25	74.40	31918.8
1	1033.6	304	6.15	1	2.1	1.6	0.53	25	79.17	28047.8
2	1033.6	304	6.65	1	2.1	1.6	0.53	25	85.12	24125.0
3	1033.6	304	7.35	1	2.1	1.6	0.53	25	93.45	19881.0
4	1033.6	304	7.45	1	2.1	1.6	0.53	25	94.64	19367.4

圖表十



圖表十一

<註>：紫外光波長:375nm,功率:8W

12. 儀器精準度的測量結果

蟹殼幾丁質分子量的測量誤差

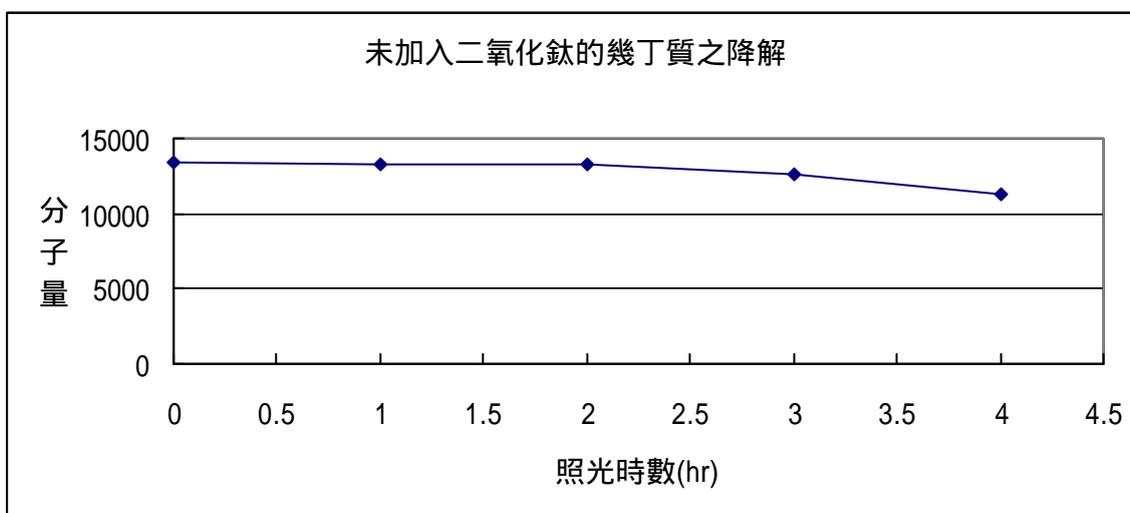
液面上高(cm)	溫度(K)	質量(g)	溶液體積(L)	誤差總值	分子量誤差
0.009	0.000	0.002	0.004	0.015	475.954

圖表十二

13. 證明紫外光對未加入二氧化鈦的幾丁質是否具有降解效果

照光時數(hr)	氣壓(hpa)	溫度(K)	液面上高(cm)	溶液密度(g/cm ³)	原始總長(cm)	原液面上高(cm)	質量(g)	溶液體積(ml)	修正值	分子量
0	1031.10	301.0	21.5	1	9.8	9.1	1.28	50	113.27	13376.91
1	1029.98	297.0	18.6	1	7.5	6.5	1.28	50	130.67	13210.87
2	1028.77	299.5	19.2	1	7.9	7.0	1.28	50	127.22	13240.33
3	1828.77	299.5	26.0	1	7.6	7.0	1.28	50	175.00	12634.80
4	1029.98	297.0	21.0	1	8.1	7.2	1.28	50	135.19	11309.95

圖表十三



圖表十四

未加入奈米級二氧化鈦的幾丁質溶液在紫外光照射下，分子量並無大幅度的降解情形，與加入奈米級二氧化鈦的降解情形相比，可證明整個降解的反應機制是由奈米級二氧化鈦提供。

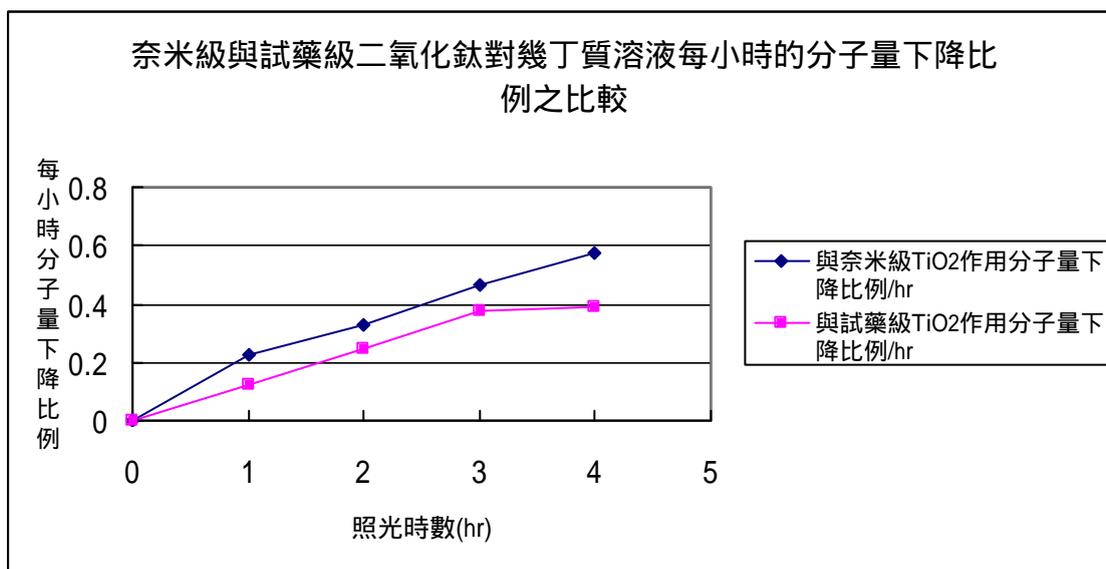
六、研究討論：

1. 奈米級與試藥級二氧化鈦對幾丁質降解效果的比較：

奈米級與試藥級二氧化鈦對幾丁質溶液每小時的分子量下降比例

照光時數 (hr)	與奈米級 TiO ₂ 作用		與試藥級 TiO ₂ 作用	
	分子量	分子量下降比例/hr	分子量	分子量下降比例/hr
0	31918.8	0	31918.8	0
1	23439.08	0.226	28047.8	0.121
2	21550.6	0.325	24125.0	0.244
3	17075.4	0.465	19881.0	0.377
4	13562.5	0.575	19367.4	0.393

圖表十五



圖表十六

由奈米級與試藥級二氧化鈦兩者降解比例上可以發現，奈米級二氧化鈦的確有較佳的降解效果，然而在分子量的數值上則相差有限。這是因為試藥級的二氧化鈦中亦含有奈米級的二氧化鈦顆粒，且試藥級二氧化鈦本身也具有分解有機物的能力，兩者間只是有比例上的差異。

另外由實驗中的降解情形也可發現，利用石英玻璃皿燒結二氧化鈦作為幾丁質降解的工具，紫外光得以穿透至溶液底部並與玻璃皿其上的二氧化鈦反應，使得整個降解的過程中效率皆無降低的現象。此現象可由分子量與時間對照圖中線性的數據中得到證明，也同時證明此法可有效利用照射紫外光時間的長短，降解出各種不同分子量的幾丁質溶液。

2. 紫外光波長與溶液厚度對幾丁質分子量降解程度的探討：

由第一小時的降解效果筆者發現，在兩次不同波長對幾丁質的降解曲線中，312nm 的紫外光下所降解的幾丁質分子量明顯有較大的斜率，即降解效果較好；而在

375nm 紫外光下降解的效果相對較差。由此可發現，較短波長的紫外光對幾丁質有較好的降解效果。

在溶液厚度對降解效果的影響方面，筆者發現若以燒杯填裝幾丁質溶液進行降解，在第一小時後降解的曲線明顯趨近於平緩，即降解的效果達到一個極限；而平鋪在石英玻璃皿上的幾丁質則沒有降解效果達到極限的問題，此現象亦可由圖表中分子量與照光時間呈現線性的情形可以證明。筆者推測這是因為紫外光在溶液中的穿透力僅約 1cm，因此在燒杯中紫外光無法穿透至底部與幾丁質進行反應。因此往後若需用此法對幾丁質進行大量降解，則必須使幾丁質在較大的接觸面積下進行反應。

3. 關於實驗中的降解與以往其他降解法的比較：

(1) 與強酸強鹼法的比較

以往人們在對幾丁質進行溶解與降解時，通常需要使用高溫與強鹼使幾丁質去乙酰化，或使用 CF_3COOH 或 CCl_3COOH 等強酸在高溫下進行反應，在操作的條件與廢液的處理上都十分不方便；而去乙酰化後的幾丁質在酸性溶液當中無法穩定存在，加上強酸強鹼法在降解的過程中無法控制最後產物的分子量，使得降解後的幾丁質在應用上受到很大的限制。

在筆者的實驗過程中，只分別用了 0.33M 的醋酸及少量的鎂離子就可使幾丁質在約 85 時溶成液態，且冷卻至常溫仍不會產生沉澱。另外利用二氧化鈦與紫外光使幾丁質的分子量成功的降解至 15000 以下，並利用照射時間的長短，降解出不同分子量的幾丁質。由於二氧化鈦不會溶解，不但可以重複利用，在回收上也不會有對環境造成危害的影響，因此大大排除在廢液處理上的問題。而整個實驗過程，筆者並沒有使用強鹼與高溫對幾丁質進行處理，因此可製造出高機械強度與在酸性溶液中高穩定性的產物，如球珠或是生物感測器的基質等。

(2) 與酵素降解法的比較

用大量生產的酵素，如纖維素？(cellulase)、蛋白質分解？(protease)、脂解？(lipase)等進行降解處理，需較長的反應時間才能獲得較高的產率，且在酵素反應下產物的濃度十分的低，在萃取時也相對提高了許多生產成本。

筆者利用二氧化鈦在常溫下可經紫外線催化分解有機物的特性，用來攻擊幾丁質中碳與氧鍵結的部分，因此只要控制二氧化鈦照射紫外光的時間，在約 4 個小時內就可以將幾丁質降解至分子量 15000 以下，且產物也有一定的濃度。此法不但節省了反應所需的時間，也降低了許多萃取時縮需的成本。

(3) 以石英玻璃皿燒結二氧化鈦方式降解幾丁質與其他降解法處理程序的比較：

若以石英玻璃皿燒結二氧化鈦作為幾丁質降解的工具，則由於降解後的幾丁質溶液不需再經過高速離心處理，亦沒有二氧化鈦顆粒殘留於溶液中的問題，對於筆者在後來以滲透壓法測量高分子分子量的處理過程而言十分方便。而由於平鋪於石英玻璃皿上的幾丁質溶液可使紫外光完全穿透與二氧化鈦反應，因此在降解上也排除了隨時間增加而效率受到限制的問題。

4. 關於幾丁質溶解的探討：

(1)以蟹殼為原料：

實驗中發現隨著溫度增加，皆有少量蟹殼不斷在溶解，但最後多少還會有蟹殼邊緣的白色部分殘留，筆者推測這是因為蟹殼邊緣中含有較多比例的幾丁質，而使其堅固不易溶解。文獻上記載：原始蟹殼中幾丁質與幾丁聚醣的比例是 6：1，加入飽和 NaOH 並加熱後，其比例可達 1:1 左右。當幾丁聚糖佔蟹殼比例 40 % 以上，且鏈長在加熱過程中不斷變短，即可使蟹殼在常溫，約 28 °C 下溶解。由於溶液認知的不同，使紀錄時只能得到大約的值。

(2)以金針菇為原料：

金針菇在溶解的過程中條件要比蟹殼來得嚴苛，且在冷卻後溶液底部也會產生白色膠狀物質。推測是因為其分子量要比蟹殼來得大，因此不易溶解，冷卻後也較容易回到固態。

(3)關於幾丁質溶解的最佳條件：

在溶解的過程中，發現隨著鎂離子滴數的增加，開始溶解的溫度也會稍微的下降；但是影響幾丁質溶解最主要的條件還是醋酸的量。醋酸濃度越高，幾丁質越容易溶解，溶解時的溫度也越低。

(4)加熱與幾丁質溶解的關係：

實驗中發現，如果不加熱而只將幾丁質以相同濃度的醋酸與鎂離子置於常溫下，在約 3 小時後幾丁質可自然溶解。代表我們加熱只是加速溶解反應的過程，也說明了我們做出的幾丁質可以在常溫下保持溶解的狀態。

5. 蟹殼與金針菇幾丁質在溶解與降解上的比較

實驗中發現，金針菇幾丁質不論是在溶解或是降解的過程中，所需條件都要比蟹殼幾丁質來得嚴苛，且在相同狀況下降解後的分子量也比蟹殼大得多。由原始分子量也可以發現，在未降解前，金針菇幾丁質的分子量是蟹殼幾丁質的三倍之多，推測可能是蟹殼中幾丁質與幾丁聚醣的比例是 6:1，而金針菇中幾丁質與幾丁聚醣的比例比蟹殼來得高，導致金針菇幾丁質不容易溶解與降解。

6. 關於幾丁質分子量的測量與誤差

在幾丁質分子量的測量方面，我們利用 $\rho = CRT = m/MV \cdot RT$ 的原理，每天觀察溫度、氣壓及液面上高以計算出分子量。但由於螃蟹的品種，甚至是不同的螃蟹都會造成分子量的不同；而在測量溫度、氣壓與液面上高時，也會因目測產生誤差；因此在提供數據時，筆者只能提供一個範圍而不是精準的分子量。

七、研究的展望：

幾丁質的價格在今日仍屬偏高，透過本實驗提供便宜及快速的製備過程，可使幾丁質大量應用在環保（廢水及重金屬吸附）及食品上。更重要的是，利用照紫外光時數的長短，可提供不同分子量的幾丁質應用在不同的需求上，且因產物的高機械強度與耐酸性，讓其應用領域大大的提高。

筆者限於設備上的不足，只能利用兩種不同波長，單一功率的紫外光燈進行降解的研究。在未來相關的實驗，若能針對不同波長的紫外光對幾丁質分子量降解效率作進一步的探討，相信在分子量大小的控制上能夠更成功，也能提供更精準的數值以便做更廣泛的應用。

八、參考文獻

1. 陳國誠，生物固定化技術與產業應用，一版一印，台灣，茂昌圖書有限公司，167、285 頁，2000 年 11 月。
2. 黃郁文、黃芊豪、楊順、吳政勳，科學作品彙編，一版，台灣，國立台南第一高級中學，21 頁，1999 年 8 月。
3. 陳信成，科學作品彙編，一版，台灣，國立台南第一高級中學，2000 年 8 月

九、附錄



照片一：利用紫外光與奈米級降解幾丁質溶液



照片二：利用高速離心機分離奈米級 TiO₂ 與幾丁質溶液



照片三：將已降解後的幾丁質溶液裝管以進行分子量之測定



照片四：在紫外光的照射下，以分別燒結奈米級及試藥級二氧化鈦的石英玻璃皿裝幾丁質以進行降解



照片五：試藥級二氧化鈦溶液照雷射光的廷德爾效應



照片六：奈米級二氧化鈦溶液照雷射光的廷德爾效應