

# 2022 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 180009

參展科別 地球與環境科學

作品名稱 海洋汙染物聚苯乙烯與其降解物對鈣板藻的影響

得獎獎項

就讀學校 國立臺灣師範大學附屬高級中學

指導教師 顧銓、蘇雨菁

作者姓名 陳諺增

關鍵詞 海洋汙染、苯乙烯、塑膠汙染

## 作者簡介



我是陳諺增，是個樂觀向上、積極進取的人，自幼父母對於我的關懷與教育雖民主開放但又不失嚴厲，他們支持我一切所想要，尊重我，也因此在学习的道路上，養成我獨立自主且具有自我意識的個性。

## 摘要

Marine pollution is one of the biggest issues of this century. Among them, polystyrene consist most of the plastic pollution, which harms many marine life and affects the primary productivity of marine planktonic algae. In order to understand the impact of plastic microbeads and their degradation products on planktonic algae, this experiment selects the algae that produce most sedimentary calcium carbonate in the ocean which is coccolithophores. The bead degradation product (styrene monomer) has multiple influences on the number, cell complexity, cell size, chlorophyll content, etc. of coccolithophores, and the mass spectrometer method is used to analyze the increased or decreased content of styrene in and outside the cell.

海洋污染是本世紀最大議題之一，其中聚苯乙烯為最大量的塑膠微珠汙染，危害許多的海洋生物，影響海洋浮游藻類的基礎生產力，為了瞭解塑膠微珠以及其降解物對浮游藻類的影響性，本實驗選擇海洋中碳酸鈣沉降最多的鈣板藻進行研究，並探討塑膠微珠與其降解物對海洋生態的影響，利用流式細胞儀研究塑膠微珠(聚苯乙烯)和塑膠微珠降解物(苯乙烯單體)對鈣板藻數量、細胞複雜度、細胞大小、葉綠素含量等多重影響性，並利用質譜儀方法分析苯乙烯在細胞中和細胞外增加或減少的含量。

## 壹、研究動機

近年來，塑膠製品充斥著人們的生活，因而造成海洋的塑膠汙染日益嚴重，全球產聚苯乙烯量達到驚人的 1540 萬噸 (Feng et al.2011)，這些塑膠垃圾丟棄進入海洋並且流到世界各地，影響了生態，造成各物種隨之消逝，光是塑膠的降解物苯乙烯在海洋濃度達到 861  $\mu\text{g/L}$ ，沙灘更達到了 9630  $\mu\text{g/L}$  (BG Kwon et al.2014)。根據統計，海洋中約有 10% 的塑膠垃圾為塑膠微珠，這些塑膠微珠可能經包覆後進入生物膜內，或是部分細菌與病毒隨著塑膠微珠漂流，被攜帶至世界各地，進而感染當地藻類(JakeBowley et al. 2021)。

塑膠垃圾經過複雜的降解過程後，這些塑膠便會釋出大量的酚甲烷、聚苯乙烯等中間產物，或是進一步被分解成如苯乙烯等有毒物質的塑膠單體，並被藻類吸收後卡在細胞膜中，進而影響藻類的生存(Giulia Rossi et al. 2014)。

海洋中的碳循環活動，約莫提供地球上一半的氧氣量，而這些浮游藻類對碳循環有著極大的影響力。其中鈣板藻占了海洋中五分之一的生產力，並且包圍在鈣板藻細胞外的鈣板在藻類生命週期死亡後，所產生的碳酸鈣沉澱物，占了海洋中約有二分之一的碳酸鈣沉降量。這些海洋中的塑膠微珠對於鈣板藻有何影響性?是否會影響他們的生命週期?或是長期處於塑膠微珠越來越多的環境中，是否會影響鈣板藻的生存方式?這些問題在過往的研究中極少描述，而我目前得研究，想要知道海洋中塑膠微珠—聚苯乙烯與其降解物—苯乙烯是否會影響其生長狀況，以及如何影響其生長。

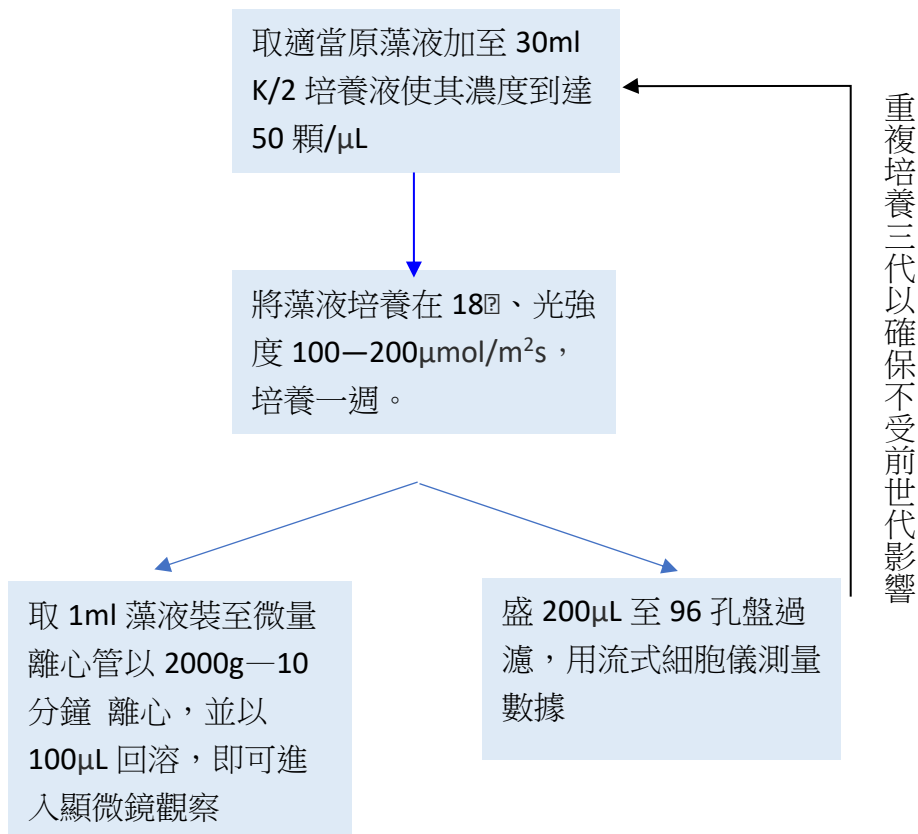
## 貳、研究方法與過程

### 一、實驗方法

#### (一)、藻類培養(refresh)

配製鈣板藻培養液(K/2)須將配置的人工海水以孔徑大小為 0.2 $\mu$ m 的濾膜過濾後加入 NaNO<sub>3</sub>、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>、Fe•EDTA、Trace element solution 後，再加入人工海水加至 1L，並調整期 pH 值到 8.15~8.2、經過高溫高壓滅菌釜後冷卻，再加入 NH<sub>4</sub>Cl 和 Vitamin Mix，並保存至 4 $\text{C}$ 冰箱中。

實驗以 50 顆/ $\mu$ L 設定為初始培養濃度，再將實驗藻類從原藻液分離後，以溫度 18 $\text{C}$ 、光強度 100—200  $\mu$ mol/m<sup>2</sup>s 的光照下，光週期 16hr 光照/8hr 黑暗全日處理，並取指數生長期快至停滯期為標準(約第四天)，在培養箱中穩定培養兩代，並以流式細胞儀測定實驗當天的細胞數(圖二)。



圖二、藻類培養流程圖

## (二)、流式細胞儀測定細胞

進行細胞測量時，將藻類搖至均勻無沉澱，並以 30um 濾網過濾待上機樣品，最後以流式細胞儀進行量測個數數據，如果藻液過濃，採十倍稀釋。以微量離心管盛裝樣品或以 96 孔盤盛裝樣品，放入儀器中並選取所需要螢光進行測量。

## (三)、顯微鏡觀測

進行鈣板藻型態觀察，取 1 ml 藻類原液裝至微量離心管，以 2000g 離心 10 分鐘將細胞離心至下層，取出上清液，並以 100 μL 藻類培養液回溶，使細胞濃度在至少 10000 顆/μL 以上，並確保其數量足以在顯微鏡下觀察到樣本，即可進入顯微鏡觀察。

## (四)、塑膠微珠選擇

以藻類 1/5 直徑大小的塑膠微珠，並選擇有螢光染色者，方便於流式細胞儀以及螢光顯微鏡下進行觀察，並要求螢光在光照下不容易退色者，並且強度變動不太大者，故選擇 spHerotech 的直徑 800nm 的 525nm 吸收光的螢光塑膠微珠。

## 二、實驗設計

### (一) 聚苯乙烯塑膠微珠對鈣板藻的影響性

將 RCC1216 和 RCC1217 培養於 25T 細胞培養瓶中，一組為 K/2、另一組為 K/2—P(K/2 不加  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )，去磷的目的為增加環境壓力，以期達到增攝食的可能性(表三)。本實驗濃度採 10mg/L(Xianliang Yi, et al. 2019)，藻液以初始濃度 50 顆/  $\mu\text{L}$  培養四天後(細胞生長到指數生長期時)，加入塑膠微珠至 10mg/L，並混和均勻，之後每日以流式細胞儀觀測其生長數據，分別為細胞數量、細胞大小、細胞複雜度、葉綠素螢光(以 690nm 螢光訊號為主)、塑膠微珠的螢光 (以 525nm 螢光訊號為主)，之後用同一批樣本進行顯微鏡觀察其生長狀況，本實驗進行三次重複(圖三)。

表三、實驗組別

組別	K/2—P_B (K/2 去磷培養 加塑膠微珠)	K/2—P (K/2 去磷培養)	K/2 (K/2 培養)	K/2—B (K/2 培養加塑 膠微珠)
磷(0.5mg/L)	x	x	o	o
塑膠微珠 (10mg/L)	o	x	x	o

取適當原藻液加 30ml 至 25T 細胞培養瓶中使其濃度到達 50 顆/ $\mu\text{l}$ ，分別以不加磷為對照組以增加環境壓力



在第四天時加入塑膠微珠



以螢光顯微鏡觀察型態改變應和流式細胞儀進行對照



測量(1)細胞數量、(2)細胞大小、(3)細胞複雜度、  
(4)690nm 螢光訊號(偵測葉綠素螢光)、(5)525nm 螢光訊號(塑膠微珠的螢光)

圖三、探討聚苯乙烯塑膠微珠對鈣板藻影響性的實驗流程

## (二) 塑膠微珠降解物(苯乙烯)對鈣板藻的影響性

### 1. 實驗方法

將 RCC1216 、RCC1216 MF、RCC1216 B4、RCC1217、LC5 10A 和 LC5 11A 培養於 25T 細胞培養瓶中，以 50 顆/ $\mu\text{L}$  開始培養並加入抗生素以確保不受細菌影響。本實驗在第四天後於對照組無添加苯乙烯，但是其他實驗組別分別添加 150 $\mu\text{L/L}$ (海洋平均濃度)、800 $\mu\text{L/L}$ (海洋最高濃度)、4000 $\mu\text{L/L}$ (沙灘平均濃度)( Bum GunK et al.2014)、6000 $\mu\text{L/L}$  的苯乙烯液體，同時從第四天開始以流式細胞儀檢測期生長狀況(圖四)。

### 2. SYTOX green 染色

在量測前，加入最終濃度採 50nM SYTOX green 染色 15 分鐘，以測量細胞的死亡速率，因為細胞死亡時，細胞膜的通透性會增強，SYTOX green 便能染至細胞內，而細胞又尚未破裂，此時 SYTOX green 可成功染至核酸，可測得 525nm 螢光訊號。



圖四、探討塑膠微珠降解物(苯乙烯)對鈣板藻影響性的實驗流程

## (三) 鈣板藻對塑膠的攝取情況

### 1. 測量細胞外液

將培養後藻類取 30ml 並以 2000g 離心 20 分鐘，並取出上清液 25ml 混和 1.5ml 二氯甲烷進行萃取搖晃 20 分鐘後靜置 10 分鐘，取出下方二氯甲烷液體，以

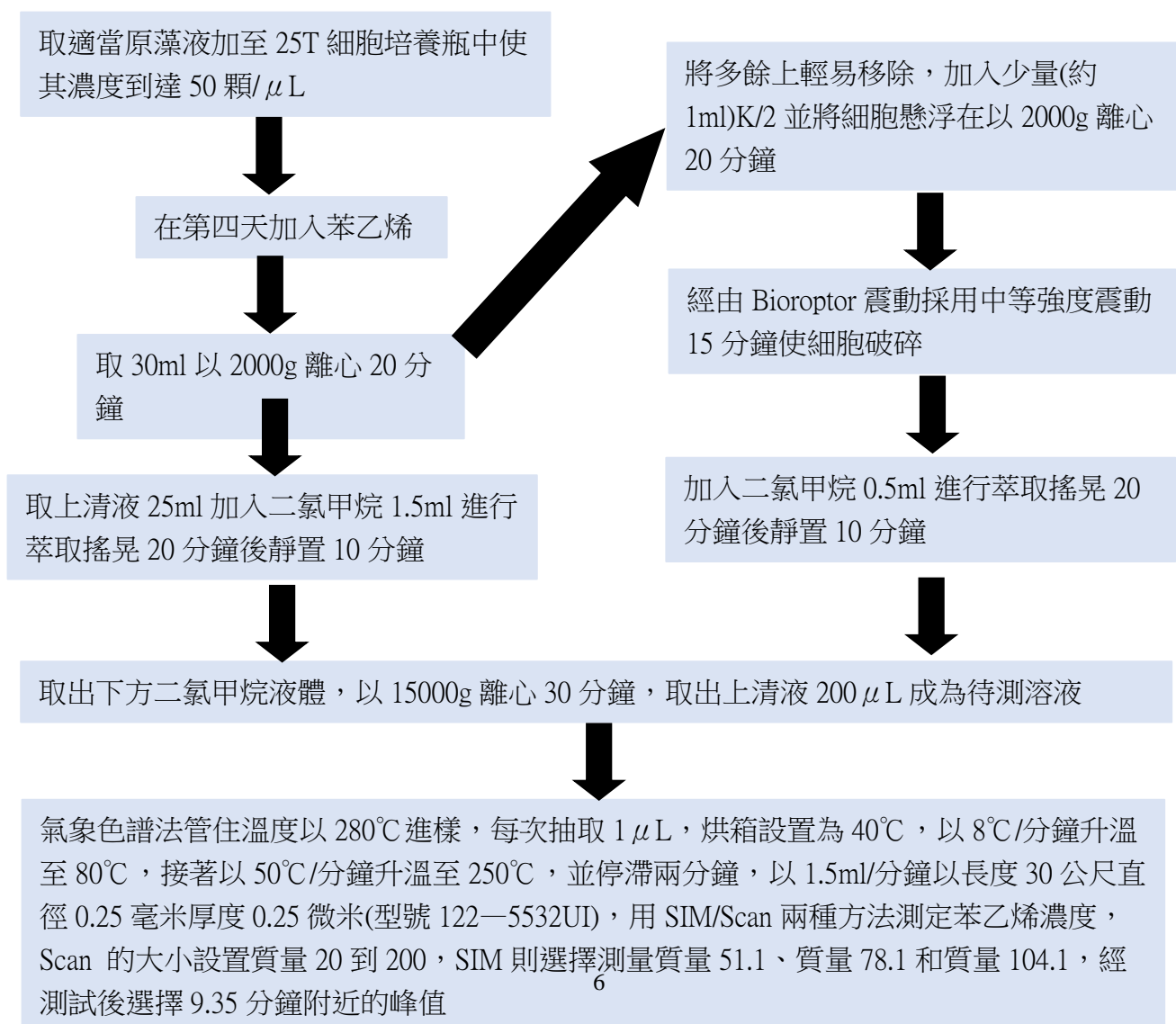
15000g 離心 30 分鐘，取出上清液 200  $\mu$ L，即可成為待測溶液(圖五)。

## 2. 測量細胞內液

將培養後藻液離心後上清液完全取出，加入 1ml K/2 並將細胞懸浮，以 2000g 離心 10 分鐘，並重複三次以將細胞外液清洗乾淨，經由超音波震盪儀 Bioraptor 震動採用中等強度震動 15 分鐘使細胞破碎並隨時讓 Bioraptor 內水槽溫度維持在 18 $^{\circ}$ C 以下，並以二氯甲烷進行萃取。

## 3. 利用質譜法測定苯乙烯在細胞內外的濃度

氣象色譜法管柱溫度以 280 $^{\circ}$ C 進樣，每次抽取 1 $\mu$ L，烘箱設置為 40 $^{\circ}$ C，以 8 $^{\circ}$ C/分鐘升溫至 80 $^{\circ}$ C，接著以 50 $^{\circ}$ C/分鐘升溫至 250 $^{\circ}$ C，並停滯兩分鐘，以 1.5ml/分鐘以長度 30m 直徑 0.25mm 厚度 0.25 $\mu$ m(型號 122—5532UI)，用 SIM/Scan 兩種方法測定苯乙烯濃度，Scan 的大小設置質量 20 到 200，SIM 則選擇測量質量 51.1、質量 78.1 和質量 104.1，經測試後選擇 9.35 分鐘附近的峰值。





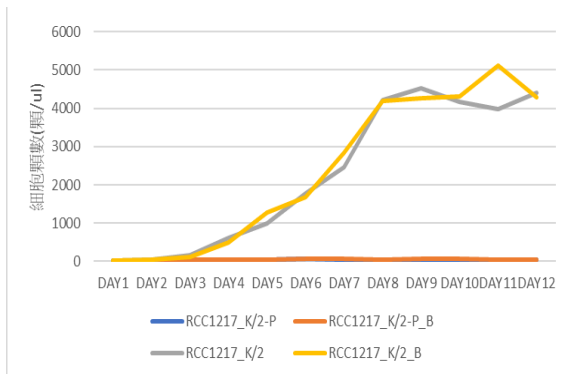
圖五、探討鈣板藻對塑膠攝取情況的實驗流程

## 參、研究結果與討論

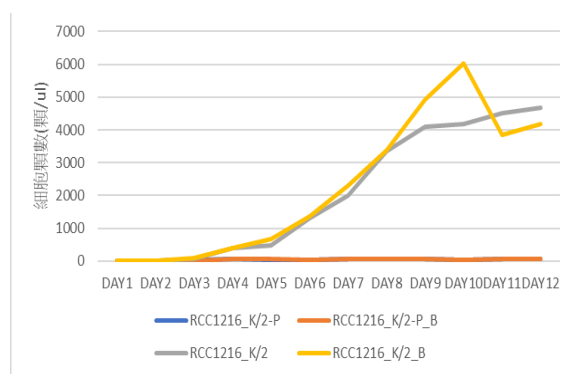
### 一、塑膠微珠—聚苯乙烯對鈣板藻的影響

本實驗添加直徑 800nm 塑膠微珠，分別以是否加磷作為處理，並以流式細胞儀監測其生長趨勢 (n=3)後，再以顯微鏡觀察其形態。

關於聚苯乙烯對鈣板藻細胞數量的研究實驗，可由結果中發現，加入塑膠微珠後，藻類細胞的數量有明顯增加，並更快速進入穩定期和衰亡期，且在沒有加磷的組別中藻類生長狀況極差，細胞數量最高也僅只有 172 顆/ $\mu\text{L}$ (圖三、圖四)。

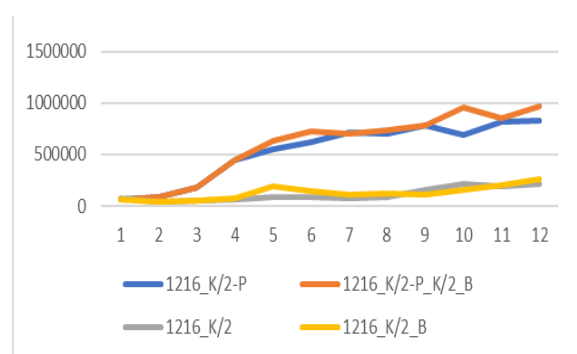
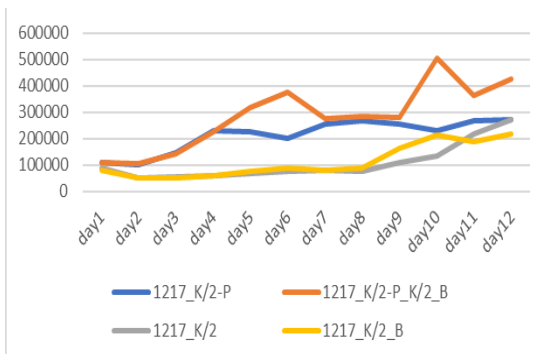


圖六、加入聚苯乙烯塑膠微珠對 RCC1217 的細胞數量影響



圖七、加入聚苯乙烯塑膠微珠對 RCC1216 的細胞數量影響

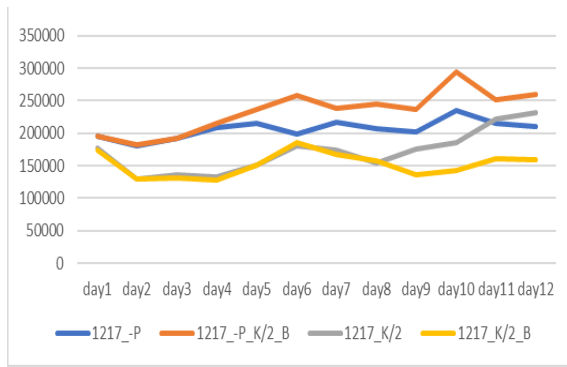
關於聚苯乙烯塑膠微珠對鈣板藻細胞複雜度的影響性實驗，由研究結果顯示，可看出 RCC1217 在沒有加磷的組別，其平均大小皆比有加磷的大，其結果也同樣顯現在 RCC1216 的組別中(圖五、圖六)。且由此兩個結果中可看出，有加塑膠微珠的組別其細胞大小通常較無添加者大，其原因可能為遇到逆境而選擇將單一細胞生長完善，以度過惡劣環境。



圖八、加入聚苯乙烯塑膠微珠對

**RCC1217 的細胞複雜度影響**

關於聚苯乙烯塑膠微珠對鈣板藻細胞大小的影響性實驗，由研究結果顯示，可看出有添加塑膠微珠者在同樣的條件下，細胞複雜度通常都較無添加塑膠微珠者大，可能為塑膠微珠沾黏在細胞外造成，然而這有待顯微鏡查證其推測(圖七、圖八)。

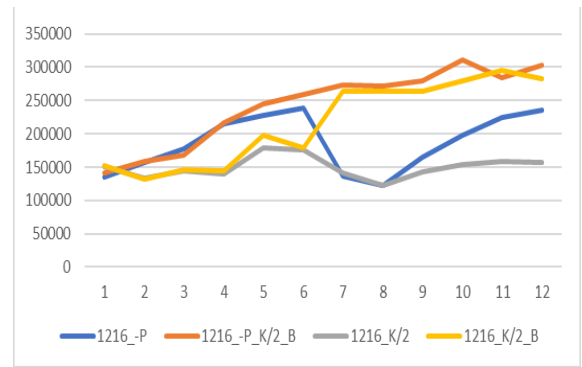


圖十、加入聚苯乙烯塑膠微珠對

乙烯塑膠微珠對

圖九、加入聚苯乙烯塑膠微珠對

**RCC1216 的細胞複雜度影響**

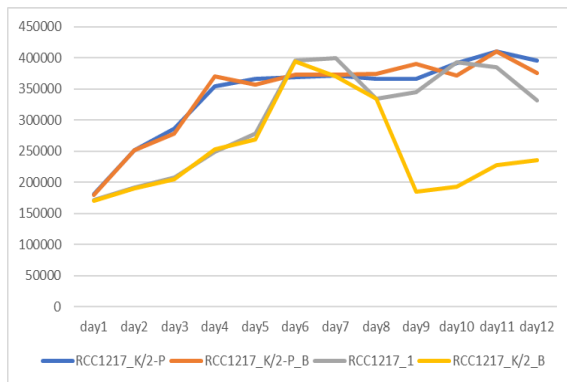


圖十一、加入聚苯

**RCC1217 的細胞大小的影響**

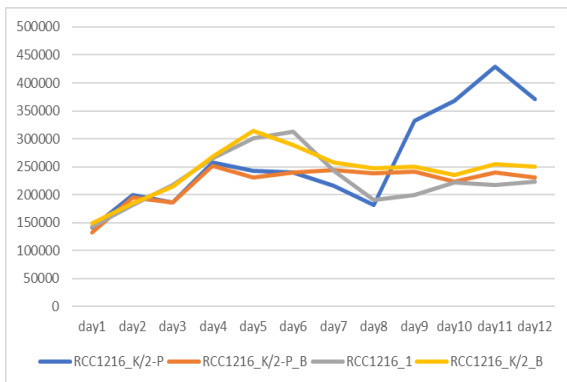
**RCC1216 的細胞複大小的影響**

關於聚苯乙烯塑膠微珠對鈣板藻的葉綠素含量影響性實驗，由研究結果顯示可看出細胞在沒有加入磷的條件下，葉綠素量震盪較大，而有添加塑膠微珠者葉綠素螢光有略小於未添加者，然影響並不顯著由(圖九、圖十)。



圖十二、加入聚苯乙烯塑膠微珠對

乙烯塑膠微珠對




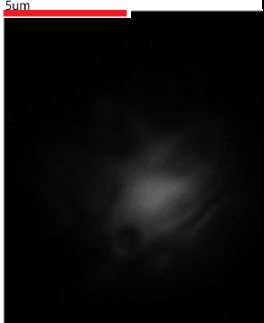

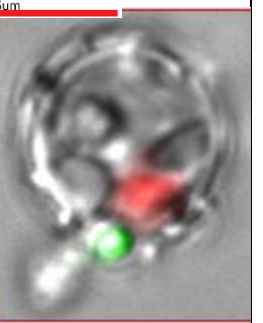

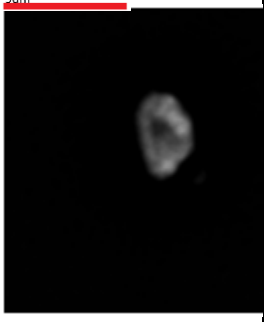
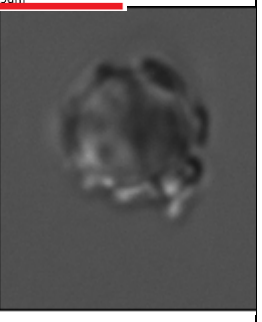
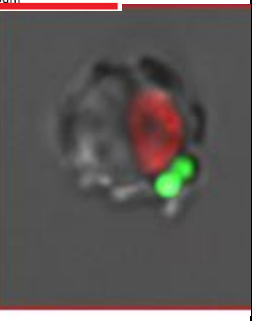
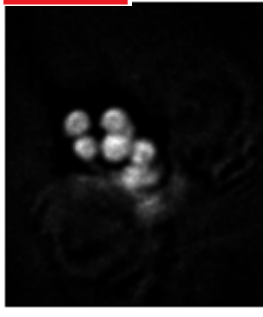

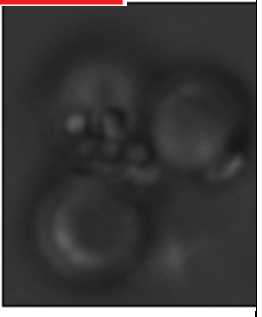
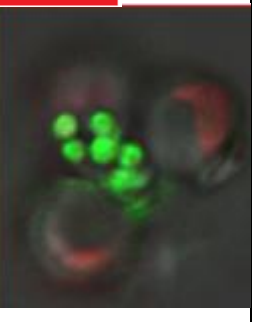
圖十三、加入聚苯

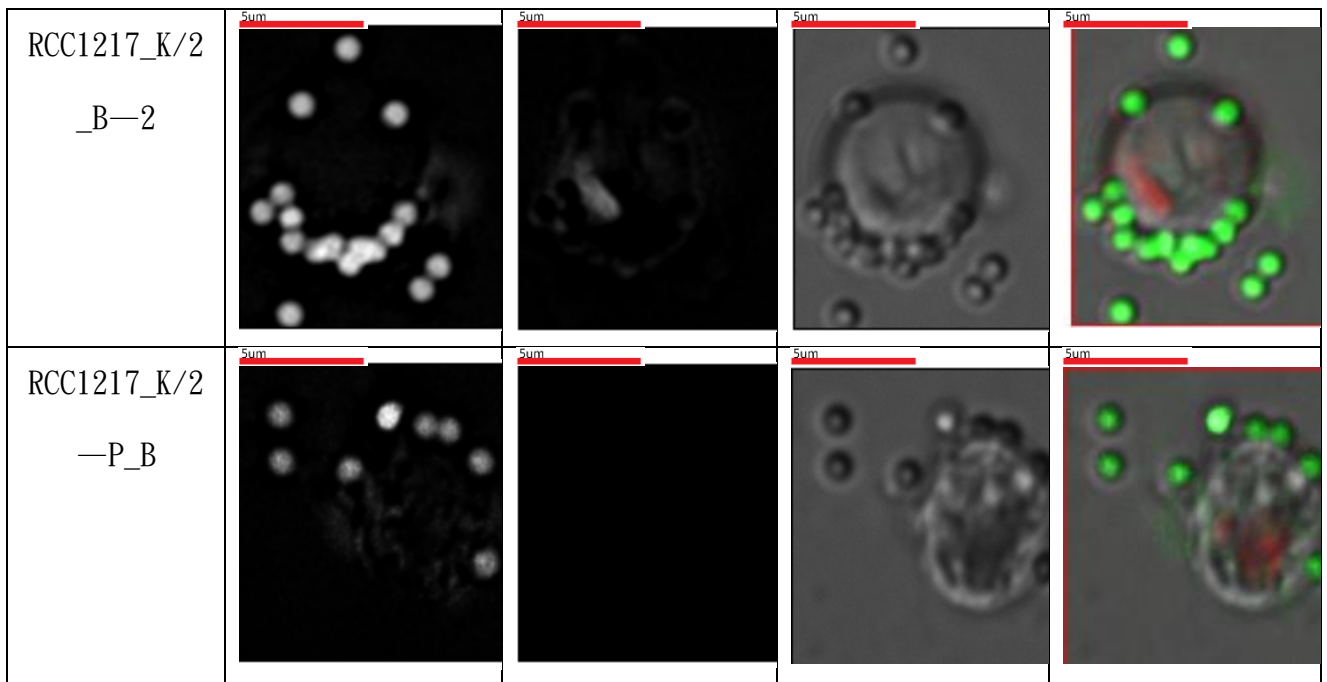
**RCC1217 的葉綠素量的影響**

**RCC1216 的葉綠素量的影響**

關於塑膠微粒是否會進入細胞內部，實驗中以螢光顯微鏡觀察細胞內部，其實驗結果發現 RCC1216\_K/2—P\_B 和 RCC1216\_K/2\_B 塑膠微珠被包覆在鈣板與細胞膜之間，並未進入細胞內部，故推測細胞無吞噬塑膠微粒的現象，但有可能為細胞沾粘塑膠微珠後才將鈣板吐出，以致塑膠微珠被鈣板包覆於細胞膜外；RCC1217\_K/2\_B—1 與 RCC1217\_K/2\_B—2 均可見其細胞膜外有螢光聚集現象，並未在細胞內部發現螢光，但是 RCC1217\_K/2\_B—2 會有與其他細胞黏附的現象發生；RCC1217\_K/2—P\_B 可見其生長狀態並非非常良好，其葉綠素螢光極為黯淡，推測其細胞即將死亡，且沾黏的塑膠微珠有脫離之現象(表五)。

表五、以塑膠微粒處理後藻類的顯微螢光測試結果

品系	525nm 螢光	690nm 螢光	DIC	合成
RCC1216_K/2 —P_B				
RCC1216_K/2 _B				
RCC1217_K/2 _B—1				



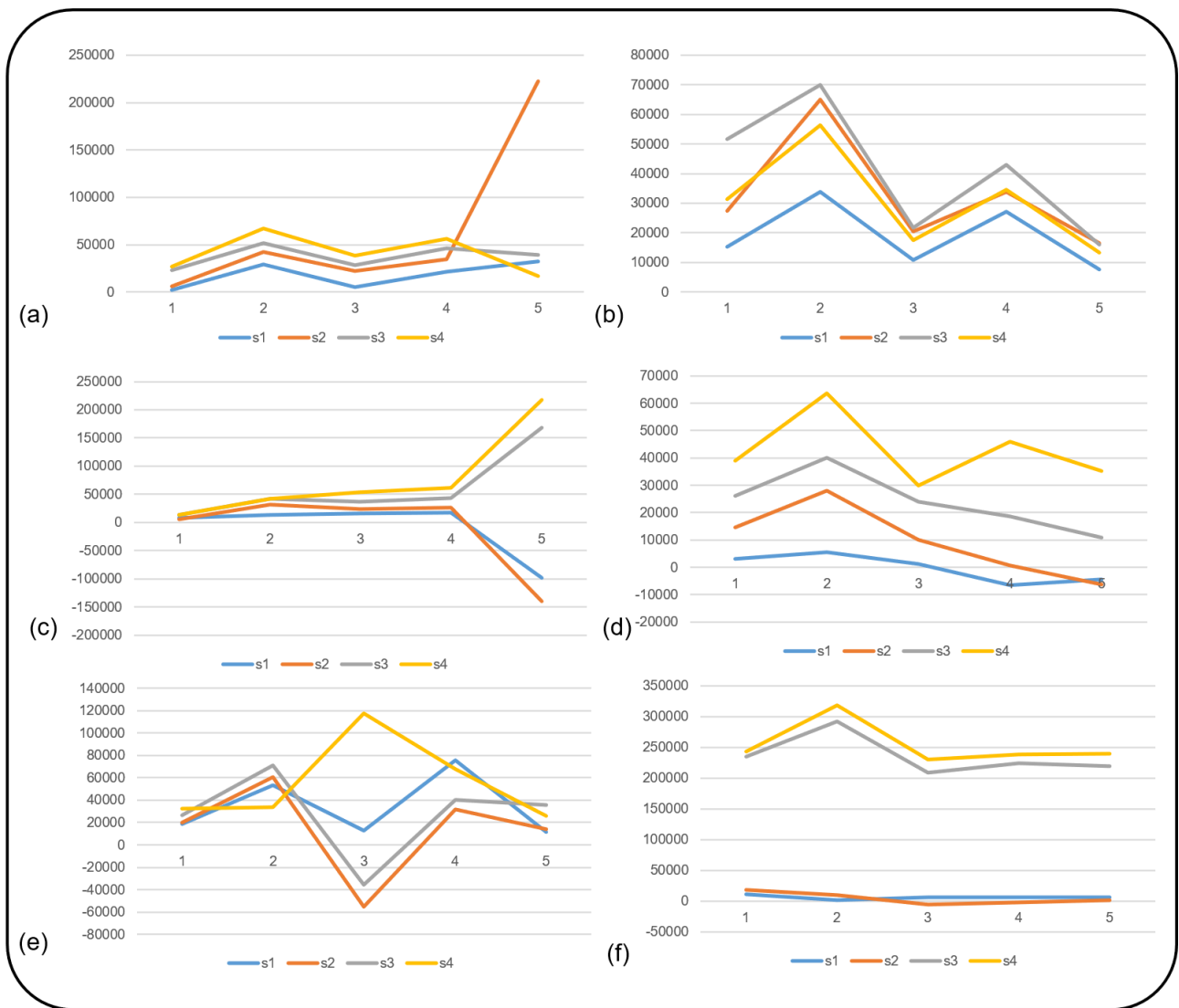
註明:圖中紅色(690nm 螢光)為葉綠素螢光，綠色(525nm 螢光)為塑膠微珠。

## 二、塑膠微珠降解物(苯乙烯)對鈣板藻的影響性

### (一)、加入聚苯乙烯塑膠微珠對葉綠素量的影響

本實驗選擇了六種品系，在養殖第四天進入指數生長期後添加苯乙烯，並以流式細胞儀開始觀察其生長與死亡狀況。

對於苯乙烯對鈣板藻的葉綠素影響實驗，由研究結果顯示可看出苯乙烯在水中濃度提高，有明顯提高葉綠素含量，雖然部分品系再添加苯乙烯後第五天時有較大的起伏現象，圖三十二得知細胞已進入停滯期或死亡期，表示其海水中營養濃度已不足以提供足夠的養分給群體，故暫不納入考量。而苯乙烯提升細胞內葉綠素含量可見一斑，其可能已進入細胞，造成細胞狀態產生改變(圖三十一)。



圖十四、加入聚苯乙烯塑膠微珠對葉綠素量的影響

(a).RCC1216 (b).RCC1216 MF (c).LC5 10A (d).LC5 11A (e).RCC1216 B4 (f).RCC1217

## (二)、加入聚苯乙烯塑膠微珠對細胞數的影響

對於苯乙烯對鈣板藻的細胞數量影響實驗，由研究結果顯示可看出，細胞在少量的濃度中的確有增加其細胞數，增生速率也加快，而在更高的濃度下便開始影響其生長。

(a)(c)(d)可看出 **RCC1216**、**LC5 10A**、**LC5 11A** 生長從指數生長期進入停滯期，**RCC1217** 穩定生長，**RCC1216 MF** 有激烈震盪，表現出少量苯乙烯有加速細胞生長的功效，之後則會使細胞死亡(圖十五)。

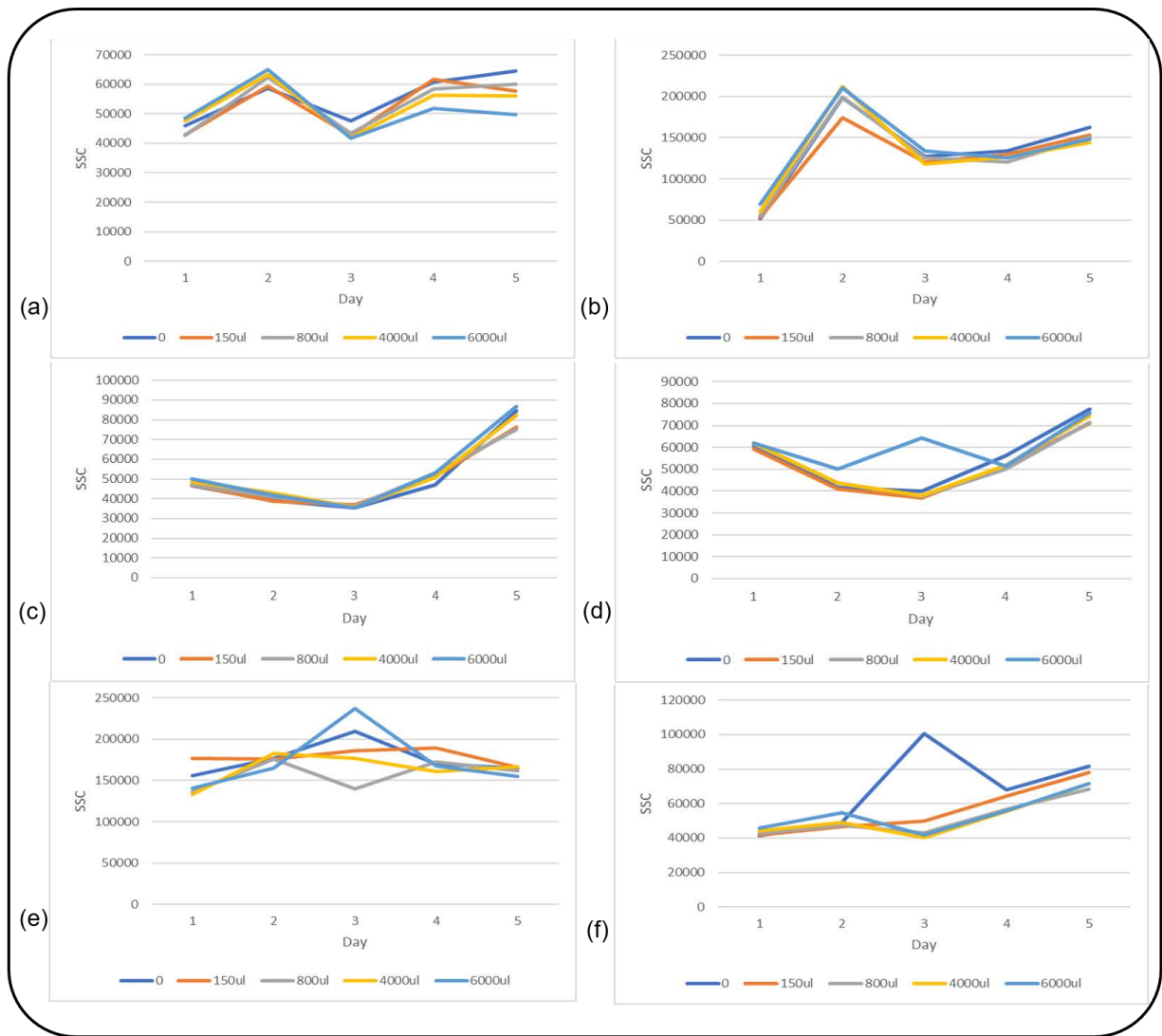


圖十五、加入聚苯乙烯塑膠微珠對細胞數的影響

(a).RCC1216 (b).RCC1216 MF (c).LC5 10A (d).LC5 11A (e).RCC1216 B4 (f).RCC1217

### (三)、加入聚苯乙烯塑膠微珠對細胞複雜度的影響

對於苯乙烯對鈣板藻的細胞複雜度影響實驗，由研究結果顯示可看出添加苯乙烯者細胞複雜度略大無添加苯乙烯者，雖然較不明顯，但也顯示其苯乙烯已影響細胞內行為特徵，而本實驗採取濃度選自各地海洋和沙灘濃度，顯示出苯乙烯已經明顯影響鈣板藻的生長(圖十六)。

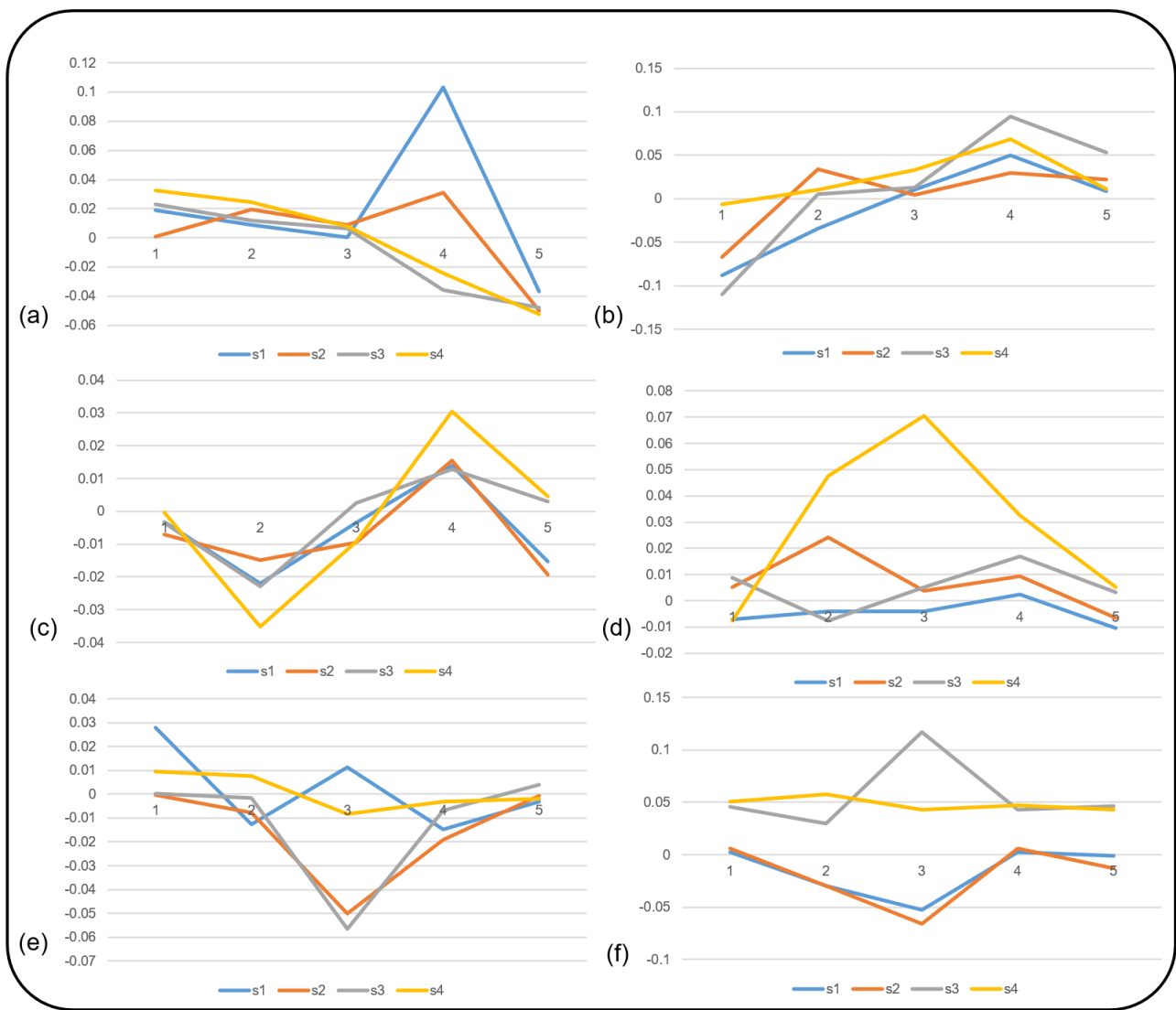


圖十六、加入聚苯乙烯塑膠微珠對細胞複雜度的影響

(a).RCC1216 (b).RCC1216 MF (c).LC5 10A (d).LC5 11A (e).RCC1216 B4 (f).RCC1217

#### (四)、加入聚苯乙烯塑膠微珠對死亡速率的影響

由於細胞死亡時，細胞型態與細胞複雜度會與正常細胞相異，故我將異常細胞在所有細胞中的百分比視為細胞死亡速率。對於苯乙烯對鈣板藻的細胞死亡速率影響實驗，由研究結果可發現在第三天或第四天死亡速率急速上升，至第五天時死亡速率回歸正常，然苯乙烯對細胞死亡率沒有顯著影響，只有 **LC5 11A** 在高濃度下死亡速率較為顯著(圖十七)。



圖十七、加入聚苯乙烯塑膠微珠對死亡速率的影響

(a).RCC1216 (b).RCC1216 MF (c).LC5 10A (d).LC5 11A (e).RCC1216 B4 (f).RCC1217

(五)、加入聚苯乙烯塑膠微珠對細胞 525nm 螢光訊號的影響

此螢光為 SYTOX 染至核酸的螢光，細胞快死亡其細胞膜的通透性會增加，故以此螢光強度視為細胞死亡速率標準，故螢光強度越強細胞死亡速率越高。由實驗顯示各品系在各個濃度下，其結果與之前算法相似，但 LC5 11A 第四天的結果與前者相差較大(圖十八)。



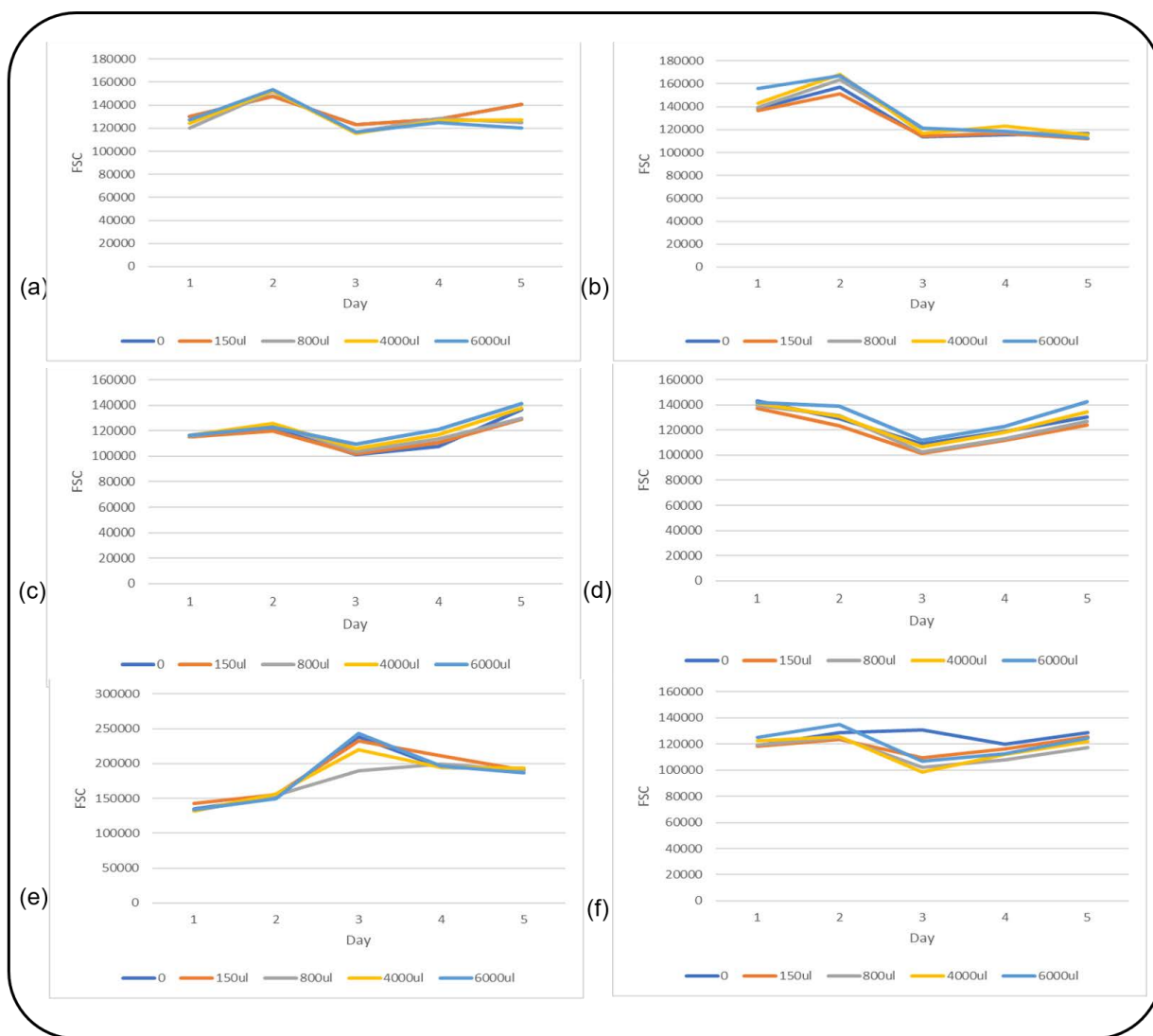


圖十八、加入聚苯乙烯塑膠微珠對細胞 525nm 螢光訊號的影響

(a).RCC1216 (b).RCC1216 MF (c).LC5 10A (d).LC5 11A (e).RCC1216 B4 (f).RCC1217

#### (六)、加入聚苯乙烯塑膠微珠對細胞大小的影響

對於苯乙烯對鈣板藻的細胞大小影響實驗，由研究結果可看出加入少量苯乙烯細胞大小會略小於對照組，在更高濃度下細胞大小就會大於對照組(圖十九)。



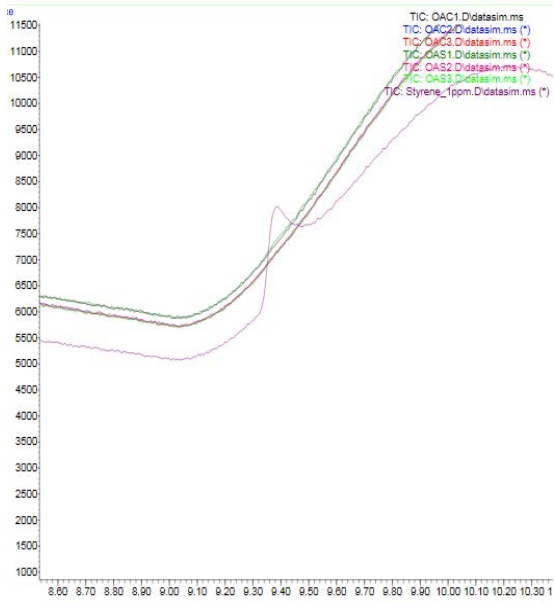
圖十九、加入聚苯乙烯塑膠微珠對細胞大小的影響

(a).RCC1216 (b).RCC1216 MF (c).LC5 10A (d).LC5 11A (e).RCC1216 B4 (f).RCC1217

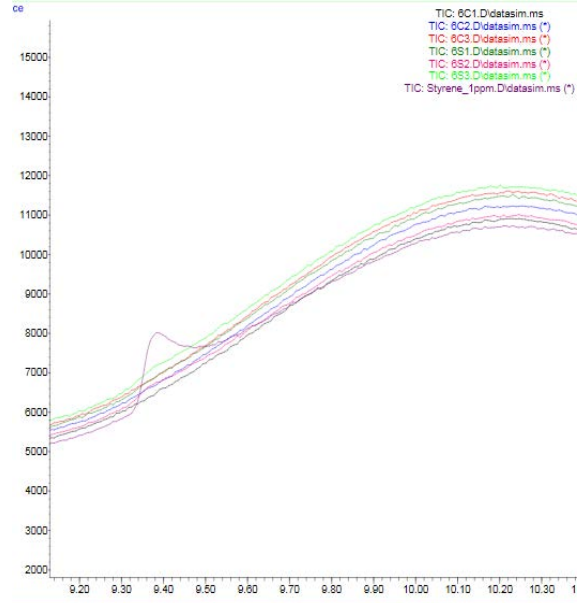
### 三、鈣板藻對塑膠降解物—苯乙烯的攝取

本實驗選擇三種品系作為測量，將細胞養殖八天，在第四天時加入苯乙烯至 30ppm，第八天時進行萃取，並以質譜儀之 Scan 之峰值測定其濃度。

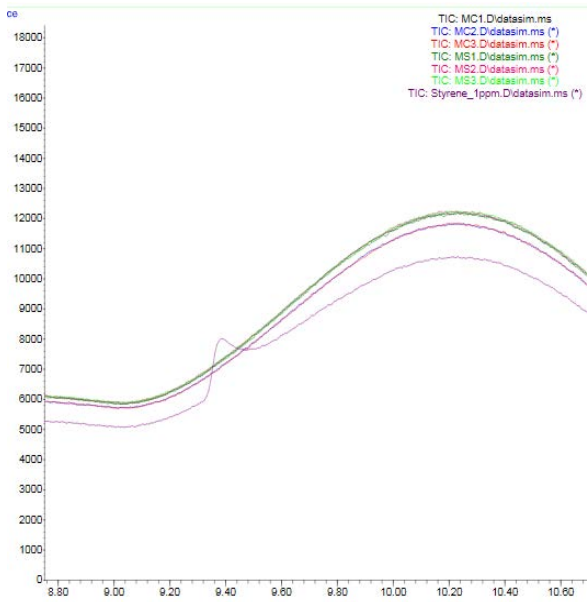
由圖二十、圖二十一、圖二十二可以看出細胞內沒有(LC5 10A)或是極少量(RCC1216、RCC1216MF)苯乙烯的存在，其共有特徵為為雙倍體，而由圖二十三、圖二十四、圖二十五可以看出細胞外的苯乙烯濃度有明顯減少，從原訂 30ppm 減少至約 0.02ppm，而由圖二十可以看出 RCC1216 MF 得細胞外液濃度在 9.35 分鐘時幾乎檢測不到峰值。



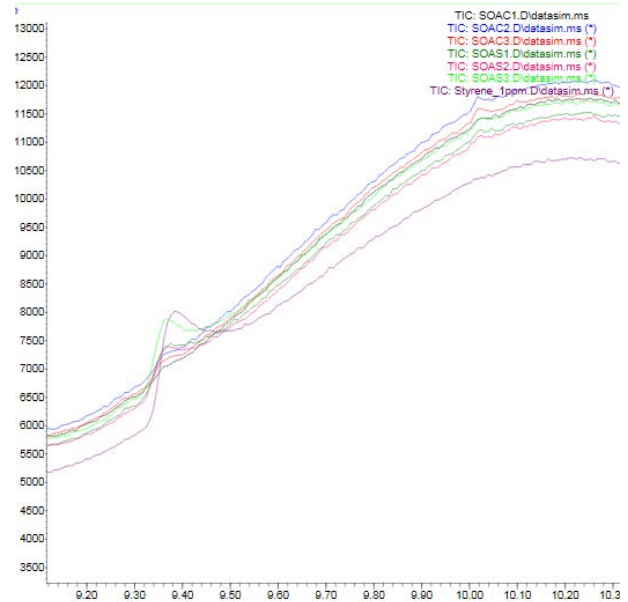
圖二十、LC5 10A 細胞內苯乙炔測定



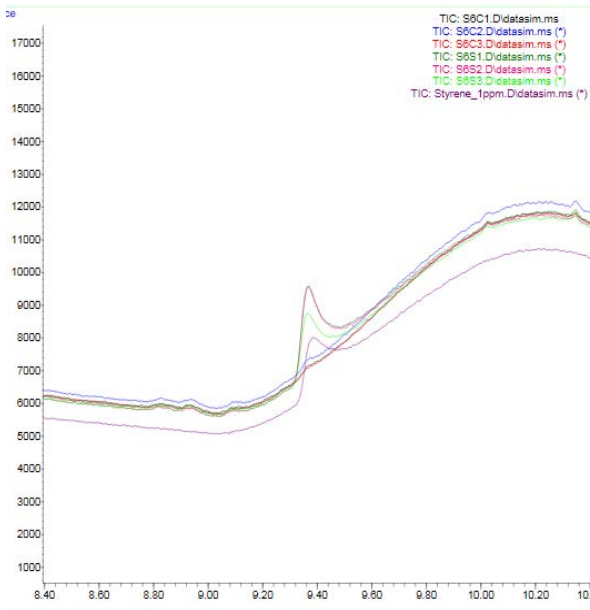
圖二十一、RCC1216 細胞內苯乙炔測定



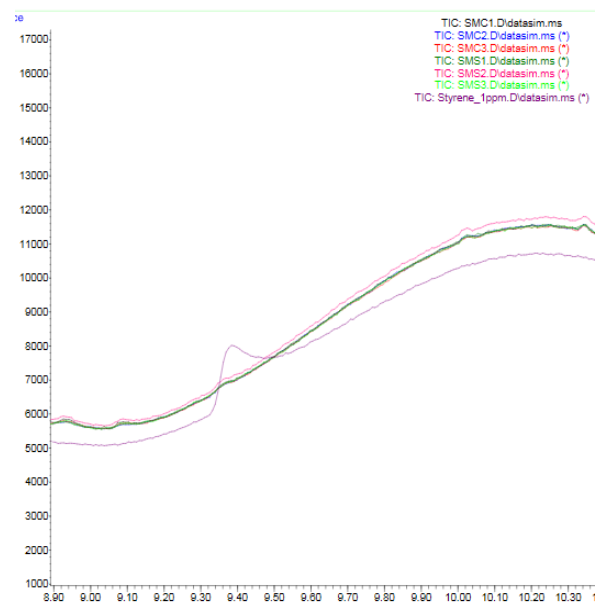
圖二十二、RCC1216 MF 細胞內苯乙炔測定



圖二十三、LC5 10A 細胞外苯乙炔測定



圖二十四、RCC1216 細胞外苯乙烯測定



圖二十五、RCC1216 MF 細胞外苯乙烯測定

## 肆、結論與應用

在添加塑膠微珠對鈣板藻影響的實驗中，因為觀察到對於這些藻類的細胞複雜度、細胞大小有明顯改變和細胞死亡時沾黏現象就愈加不明顯，推測其可能是因其鈣板形態改變，或是塑膠微珠附著在細胞上所造成。已知雙倍體會產生鈣板，單倍體則無法產生鈣板。本實驗發現塑膠微粒較不易沾黏於雙倍體上，故推測應為多醣容易導致塑膠微粒的沾黏，而此沾黏現象會造成細胞複雜度的提升。本實驗觀察到雙倍體仍有塑膠微珠沾黏在鈣板和細胞中間，因為鈣板藻是依靠多醣黏住鈣板，故推測塑膠微珠可能是在細胞產生鈣板前就已附著到細胞上面。

根據先前研究(BG Kwon, 2014)的研究，塑膠降解物—苯乙烯在海洋中的濃度，已經超越海洋中正常苯乙烯的濃度。故本實驗欲驗證過量苯乙烯濃度，是否會影響鈣板藻的生理作用。故設計塑膠微珠降解物(苯乙烯)對鈣板藻的影響性的相關實驗來驗證，首先模擬美國東岸部分區域的海洋中塑膠微珠的濃度，結果發現已經會對鈣板藻造成細胞複雜度增加、影響細胞大小和葉綠素含量增加，故推測海洋中苯乙烯濃度已對鈣板藻造成顯著的影響。

過去的實驗中有提及 PP 和 PVC 在水中會截斷光反應中光系統 II 的電子傳遞鏈而使得小球藻的葉綠素 a 受影響，進而抑制光合作用效率(YanmeiWu, 2019)。而有些實驗卻發現某些海洋塑膠微珠不會對海洋中藻類造成致命性影響，反而更有助於其生長(Canniff's, 2018)。在本實驗發現，在加入苯乙烯單體的單顆細胞內葉綠素含量卻明顯高於未添加苯乙烯的組別，

而有添加塑膠微珠組其葉綠素螢光有略小於未添加組，不過葉綠素螢光較不顯著，推測其原因應是塑膠微珠的遮蔽效應所致。

先前研究顯示苯乙烯對綠藻為劇毒，其半致死率為  $0.72 \text{ mg / L(96hr)}$ ，濃度約也僅只有沙灘濃度的約兩倍(J.R.Cushman, 1997)。依據圖十五的結果顯示，所有組別細胞死亡率呈現震盪的情形但變化不大，然而在有加苯乙烯的細胞死亡率較高。在本實驗並沒有發現其現象，但仍需後續實驗驗證。

在測定細胞內苯乙烯濃度時，發現細胞內濃度卻略高於細胞外濃度。已知苯乙烯為脂溶性而且先前研究證實苯乙烯會嵌於細胞的細胞膜上，也曾有研究表明，因聚苯乙烯或是苯乙烯的特性，它們極容易進入細胞膜中，這會使得細胞膜軟化，並改變細胞膜的結構，影響膜蛋白的活性，使的細胞通透性降低(Giulia Rossi, 2014)，故推測有可能是因為此性質和鈣板有吸附物質能力的因素，導致細胞內濃度有較高的現象。

而隨著近年來塑膠的生產不減反增的趨勢，海洋中塑膠濃度勢必也會跟著攀高，而更多有毒物質如苯乙烯勢必也將隨之釋放出來，進而影響海洋生產者的初級生產率。故目前著手於測定苯乙烯是否會影響鈣板藻的光合作用效率，未來會著重於測量葉綠素產量( $F_m/F_v$ )、電子傳遞鏈效率( $rETR$ )和快速光反應速率的相關實驗。未來海洋塑膠污染勢必會日益嚴重，期望能夠透過本研究發現維持或提高鈣板藻初級生產率的方法，來維持海洋生態系統的穩定。

## 五、參考文獻

Yi, X., Chi, T., Li, Z. *et al.* Combined effect of polystyrene plastics and triphenyltin chloride on the green algae *Chlorella pyrenoidosa*. *Environ Sci Pollut Res* **26**, 15011 – 15018 (2019).

<https://doi.org/10.1007/s11356-019-04865-0>

Yi, X., Chi, T., Li, Z. *et al.* Combined effect of polystyrene plastics and triphenyltin chloride on the green algae *Chlorella pyrenoidosa*. *Environ Sci Pollut Res* **26**, 15011 – 15018 (2019).

<https://doi.org/10.1007/s11356-019-04865-0>

J.R. Cushman, G.A. Rausina, G. Cruzan, J. Gilbert, E. Williams, M.C. Harrass, J.V. Sousa, A.E. Putt,

N.A. Garvey, J.P. St. Laurent, J.R. Hoberg, M.W. Machado et al. Ecotoxicity Hazard Assessment of Styrene, (1997), Pages 173—180,

Giulia Rossi, Jonathan Barnoud, and Luca Monticelli et al. Polystyrene Nanoparticles Perturb Lipid Membranes , [The Journal of Physical Chemistry Letters](#)(2013)

Yanmei Wu, Peiyong Guo, Xiaoyan Zhang, Yuxuan Zhang, Shuting Xie, Jun Deng et al. Effect of microplastics exposure on the photosynthesis system of freshwater algae, Journal of Hazardous Materials, (2019)

Patrick M. Canniff, Tham C. Hoang et al. Microplastic ingestion by *Daphnia magna* and its enhancement on algal growth, Science of The Total Environment, (2018)

## 【評語】 180009

塑膠微粒(聚苯乙烯)和苯乙烯對鈣板藻數量、細胞複雜度、細胞大小、葉綠素含量等影響，塑膠微粒在海洋中的影響與日俱增，本研究與時事貼合，值得鼓勵。本研究進行聚苯乙烯對細胞的影響，然無法由本實驗發現聚苯乙烯降解為苯乙烯的途徑，其中苯乙烯為再另外添加，在聚苯乙烯的降解過程中，是否有其他中間產物的形成？環境中的苯乙烯是否均為聚苯乙烯的降解？另文中的X軸與Y軸的圖標應明確且包含單位。