

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 生物（生命科學）科

040710

小兵立大功－利用微藻淨化養殖廢水

學校名稱：國立嘉義高級中學

作者： 高二 李岳儒 高二 黃庭威 高二 林鉅量	指導老師： 翁惠珍
---	------------------

關鍵詞：周氏扁藻、水質淨化、永續發展

摘要

由於人類對海洋資源過度的利用，天然海洋資源日益匱乏，今後唯有發展水產養殖才能彌補天然海洋資源的不足，因此水產養殖為明日之星。為了友善環境和永續的經營水產養殖，水資源的再利用是一項重要的課題。本研究探討和比較三種大型藻（龍鬚菜、絲藻和孔石蓴）和三種海洋微藻（周氏扁藻、等鞭金藻和擬球藻）對水中氨和磷酸鹽的攝取效率。在三種大型藻中以孔石蓴對氨和磷酸鹽的攝取效率為最高，而在三種海洋微藻中，則以周氏扁藻為最高。進一步比較孔石蓴和周氏扁藻對氨和磷酸鹽的攝取效率，則發現周氏扁藻攝取的效率遠高於孔石蓴。若以周氏扁藻處理海水吳郭魚養殖廢水，可以有效地去除水中的氨和磷酸鹽，而文蛤也可以有效地將水中的周氏扁藻濾食，因此利用海洋微藻去除水中的氨和磷酸鹽，再以貝類清除水中的微藻，可以有效地進行水資源的再利用。

壹、研究動機

一度造成「綠色革命」的「奇蹟麥」曾在印度締造傳奇，然而近年的研究數據卻不留情地戳破了這個神話，乃因目前已處於陸上糧食供應的巔峰期，前景已然不樂觀。海洋占了地球面積的十分之七，海洋水生生物是提供人類動物性蛋白需求的重要來源之一。由於全球人口已超過七十億，人類對海洋資源的過度利用，使得天然的海洋資源日益匱乏，於是「養殖漁業」便成為未來供應人類動物性蛋白的新希望，而「水產養殖」的生物將排出大量的代謝廢物，如此龐大的代謝廢物，除了對養殖生物產生毒害的作用，排入環境也將對環境造成種種負面的影響。

為了友善環境和永續的經營水產養殖，探討水資源的再利用是一項重要的課題，因此「水資源再利用」便成了「水產養殖」永續發展的必要條件。近日已有許多文蛤養殖業者引進孔石蓴，作為文蛤養殖魚塭設施的一部份，以利水質的淨化。雖然普遍認為孔石蓴可快速地吸收池水中的氨，然而其對磷酸鹽的吸收能力仍不清楚。

龍鬚菜為臺灣西南沿海魚塭常見的大型海藻，漁民常將龍鬚菜和蟳混養，龍鬚菜具有淨化水質的能力，而養殖的龍鬚菜可作為九孔的餌料。自從九孔減產後，漁民成功地將龍鬚菜推廣為餐桌上的佳餚。絲藻也為魚塭常見的大型藻，有絲藻存在的地方，普遍認為水質較好，因此絲藻也具有淨化水質的能力。然而有關龍鬚菜、絲藻和孔石蓴吸收氨和磷酸鹽的資料有限。

雖然龍鬚菜、絲藻和孔石蓴具有淨化水質的能力，然而龍鬚菜和孔石蓴除了可作為九孔的餌料外，其再利用的價值有限。前幾年，水產試驗所曾將絲藻開發作為茶包，然而由於其味道的關係，市面上的接受度並不高，因此其利用性也有限。相對於這些大型海藻，目前養殖業者常用的海洋微藻，如周氏扁藻、等鞭金藻和擬球藻也具有水質淨化的能力，同時因淨

化水質而增殖的微藻，也有多種的用途，譬如可作為魚蝦類幼苗和貝類的餌料，可萃取生物活性物質，也可作為生質能源的材料。雖然三種微藻吸收氨的效率已被探討和比較，然而三種微藻對磷酸鹽吸收效率的資料闕如，有必要作進一步的探討。

貳、研究目的

魚蝦類養殖產生大量的含氮廢物和少量的磷酸鹽，而貝類養殖除產生大量的含氮廢物外，也會產生大量的磷酸鹽，因此去除這些營養鹽便成為養殖廢水淨化的指標。本研究擬探討和比較三種大型藻（龍鬚菜、絲藻和孔石蓴）和三種海洋微藻（周氏扁藻、等鞭金藻和擬球藻）對氨和磷酸鹽吸收的效率，篩選適合的藻種作為淨化水質的對象，並以此藻種探討對養殖廢水的淨化能力。

參、研究設備及器材

一、實驗器材

分光光度計（Spectrophotometer U-3000, Hitachi）、離心機、離心管、血球計數盤、顯微鏡、振盪器、微量吸管、天秤、水浴槽、抽風櫃。

二、實驗用生物

(一)龍鬚菜（*Gracilaria sp.*，圖 1）由雲林縣口湖鄉李先生提供。

(二)絲藻（*Chaetomorpha crassa*，圖 2）和海水吳郭魚（*Oreochromis mossambicus*）由水產試驗所海水繁養殖中心台西試驗場提供。

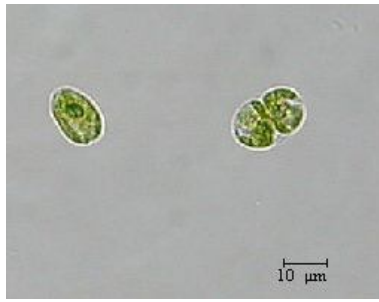


▲圖 1、龍鬚菜（*Gracilaria sp.*）。 ▲圖 2、絲藻（*Chaetomorpha crassa*）。 ▲圖 3、孔石蓴（*Ulva pertusa*）。

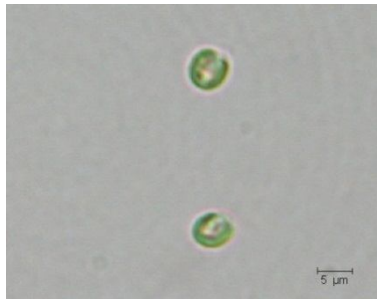
(三)文蛤（*Meretrix lusoria*）購自雲林縣台西鄉文蛤養殖戶。

(四)孔石蓴（*Ulva pertusa*，圖 3）由雲林縣麥寮鄉呂主席提供。

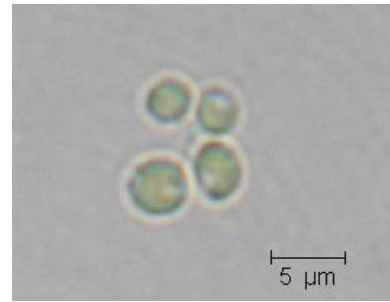
(五)三種微藻周氏扁藻（*Tetraselmis chui*，圖 4）、等鞭金藻（*Isochrysis aff. galbana*，圖 5）和擬球藻（*Nannochloropsis oculata*，圖 6）由水產試驗所海洋生物技術中心提供。



▲圖 4、周氏扁藻
(*Tetraselmis chui*)。



▲圖 5、等鞭金藻
(*Isochrysis aff. galbana*)。



▲圖 6、擬球藻
(*Nannochloropsis oculata*)。

三、藥品

(一)人工海水

配製 25‰的人工海水（如附表 1）時，將 25 公克的海水素溶解於一公升曝氣的自來水中。

※海水素購自德國的 Meersaltz 品牌。

(二)韋因培養液

韋因培養液的配製如（如附表 2），原始的韋因培養液含有硝酸鈉和磷酸鈉，為了探討這些藻類對氨的吸收效率，因此將原來的硝酸鈉和磷酸鈉的成分刪除，以額外補充的方式為之。

(三)水中磷酸鹽測定所需的藥品

1. Ammonium molybdate 溶液：取 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 15 g 溶於 500 ml 蒸餾水貯存於塑膠瓶，避免陽光照射可永久安定。
2. Ascorbic acid 溶液：取 27 g ascorbic acid 溶解於 500 ml 蒸餾水（最好使用 Merck 出品者，ascorbic acid 容易受氧化變質而失去還原能力）。
3. 硫酸溶液：取 140 ml 濃硫酸加 900 ml 蒸餾水稀釋。
4. Potassium antimonyl tartrate 溶液：取 0.34 g potassium antimonyl tartrate(酒石酸銻鉀 $\text{C}_8\text{H}_6\text{K}_2\text{O}_{13}\text{Sb}_2$ ，有毒)溶解於 250 ml 蒸餾水，保存於玻璃瓶或塑膠瓶可長久安定。
5. 還原混合試液：取 120 ml ammonium molybdate 溶液，300 ml 硫酸溶液，120 ml ascorbic acid 溶液及 60 ml potassium antimonyl tartrate 溶液，混合均勻，不要放置超過 6 小時（使用時再配置）。

(四)水中氨氮測定所需的藥品

1. Phenol-Alcohol：取 11.1 ml 液態酚，以 95% (v/v) 乙醇混合至最終體積 100 ml。
※每週製備。
※Phenol 取用時，先進行隔水加熱待其溶解後再取用。
2. 0.5% Sodium nitroprusside solution：取 1.5 g 的 sodium nitroprusside ($\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}$ Mr=261.95)，溶解成 300 ml 的 0.5% sodium nitroprusside solution。

※此溶液需儲存於暗色瓶中，可保存 1 個月。

3. Alkaline solution：取 100 g trisodium citrate ($C_6H_5Na_3O_7$ Mr=294.1) 及 5 g 的 NaOH，用二次蒸餾水溶解成 500 ml 的 alkaline solution。

4. Sodium Hypochlorite solution：有效氯須為 5% 以上。

5. 氧化還原試劑：將 NO.4 (sodium hypochlorite solution) 與 NO.3 (alkaline solution) 以 1：4 的比例混合。

※使用前才配此溶液。

6. NH_4Cl 儲備液：取 NH_4Cl 3.82 g (在 $105^\circ C$ 中烘乾 2 小時)，用二次蒸餾水溶解成 1000 ml 的 1000 ppm NH_4Cl-N solution。

肆、研究過程或方法

一、比較大型藻和海洋微藻對氨和磷酸鹽吸收的效率

(一) 大型藻 (龍鬚菜、絲藻和孔石蓴) 對氨和磷酸鹽吸收的實驗

1. 採回的大型藻，先在 25‰ 的人工海水中馴養一週 (圖 7-1)。

※大型藻培養液的配製，在每公升 25‰ 的人工海水中添加 0.1 ml 貯備液 A 作為補充微量元素用和添加最終濃度為 3 mM Tris, pH 7.5 作為穩定水質用。另外分別添加最終濃度為 16 ppm 和 4 ppm 的 NH_4^+-N 和 $PO_4^{3-}-P$ ，將配好的培養液置入三角錐瓶中，然後滅菌。

2. 將 10 克龍鬚菜置入滅菌過含有培養液 1 公升的三角錐瓶中，再添加 0.1 ml 的貯備液 C，三重複 (圖 7-2)。

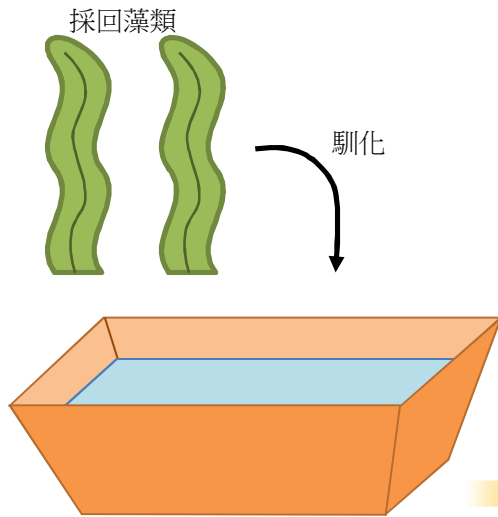
3. 將 2 克絲藻置入滅菌過含有培養液 1 公升的三角錐瓶中，再添加 0.1 ml 的貯備液 C，三重複 (圖 7-3)。

4. 將 2 克孔石蓴置入滅菌過含有培養液的三角錐瓶中，再添加 0.1 ml 的貯備液 C，三重複 (圖 7-4)。

5. 培育溫度控制為 $25 \pm 2^\circ C$ ，光照度為 9000 lux，打氣量為 3 L/min。

※藻類乾重的測定則以 $105^\circ C$ 烘乾至恆重為止。

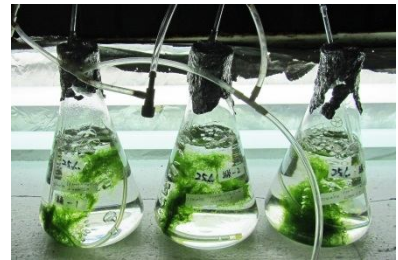
※培養 24 小時後，測定培養液中殘留的氨和磷酸鹽 (圖 7-5)。



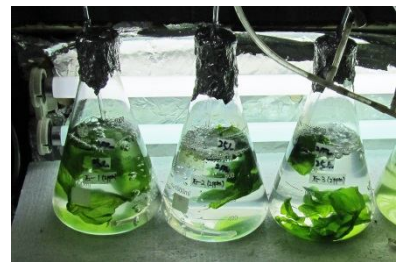
▲圖 7-1、將採回之大型藻置於人工海水中馴化一週。



▲圖 7-2、10 克龍鬚菜置於 1 公升三角錐瓶中，三重複。

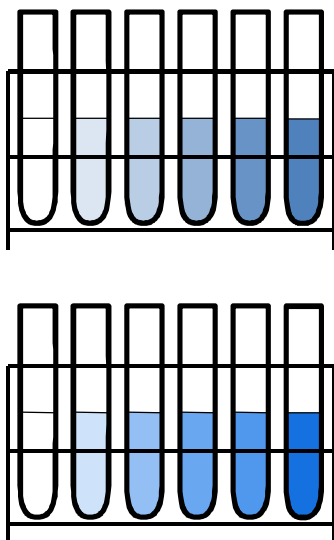


▲圖 7-3、2 克絲藻置於 1 公升三角錐瓶中，三重複。



▲圖 7-3、2 克孔石蓴置於 1 公升三角錐瓶中，三重複。

▼圖 7-5、培養 24 小時後，測定培養液中殘留的氨和磷酸鹽。



▲圖 7、大型藻（龍鬚菜、絲藻和孔石蓴）對氨和磷酸鹽吸收實驗流程示意圖。

(二)海洋微藻（周氏扁藻、等鞭金藻和擬球藻）對氨和磷酸鹽吸收的實驗

1.取回的藻種各以 2 ml 分別接種於 18 ml 的韋因培養液中保種，鹽度為 25‰、溫度為 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、側面光照度為 500 lux (以 Digital Lux Meter, DX-100)，連續照光(圖 8-1)。

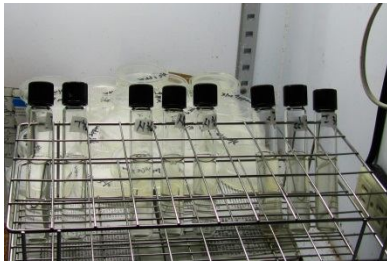
※實驗用培養液的配製如大型藻所用的培養液，培養條件亦與大型藻同。

2.取 20 ml 的藻種接種於含有 180 ml 韋因培養液的 250 ml 三角錐瓶中搖晃培養，當三角錐瓶中的藻類生長至 $\text{OD}_{750\text{nm}} 0.2 \sim 0.3$ 時，再以 1:10 比例接至 1000 ml 三角錐

瓶中打氣培養（打氣強度為 3 L/min），光照度為 9000 lux，連續照光，培養至對數生長中期（ OD_{750nm} 0.5~0.6），此即為實驗用藻種。

※實驗開始時，周氏扁藻（圖 8-2）、等鞭金藻（圖 8-3）和擬球藻（圖 8-4）的起始濃度分別為 1×10^5 、 1×10^6 和 2×10^6 cells/ml。

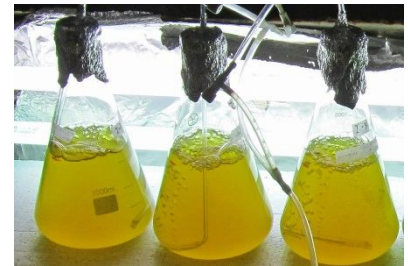
3.每隔 24 小時，採樣測微藻藻數、氨和磷酸鹽的含量（圖 8-5）。



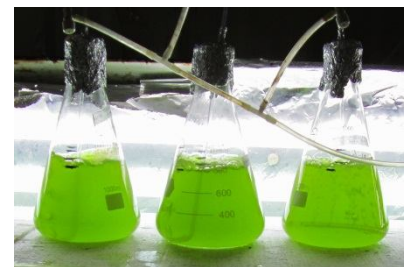
▲圖 8-1、藻種準備。



▲圖 8-2、周氏扁藻在 1 公升三角錐瓶中培養，三重複。

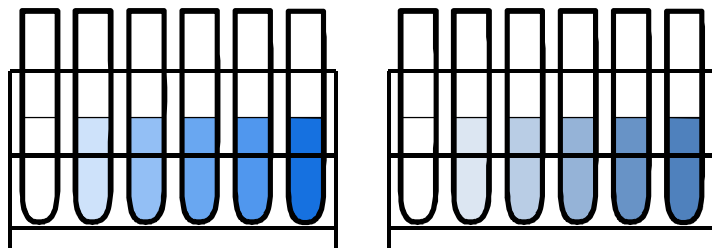


▲圖 8-3、等鞭金藻在 1 公升三角錐瓶中培養，三重複。



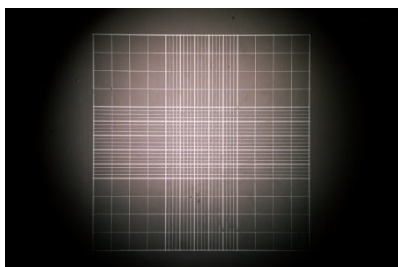
▲圖 8-4、擬球藻在 1 公升三角錐瓶中培養，三重複。

▼圖 8-5、每隔 24 小時，採樣測微藻藻數、氨和磷酸鹽的含量。



氨

磷酸鹽



血球計數盤

計算藻數

▲圖 8、海洋微藻（周氏扁藻、等鞭金藻和擬球藻）對氨和磷酸鹽吸收實驗流程示意圖。

二、以周氏扁藻淨化海水吳郭魚養殖用水

(一)試驗用海水吳郭魚的平均體重為 10 ± 0.2 g，將 30 尾吳郭魚蓄養在 500 公升的 FRP 桶中，每日投餵魚體重 3% 的通寶牌鰻魚浮性飼料，在蓄養期間給予充分的打氣，飼養溫度為 25°C ，鹽度為 25‰，每日採水測氨和磷酸鹽的含量。

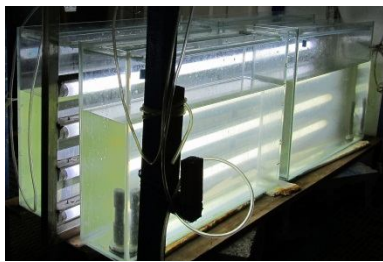
※飼料的成分為粗蛋白質 45%、粗脂肪 3%、粗灰分 16.5%、粗纖維 1.2% 和水分 11%。

(二)當水中氨-氮的含量達 7 ppm 時，取 50 公升經 $1\ \mu\text{m}$ 濾心過濾水質後，置入兩個藻類培養缸（ $15 \times 60 \times 40$ cm）（圖 9-1），每個培養缸加入 3.5 公升的周氏扁藻（圖 9-2），起始濃度為 1×10^5 cells/ml。每隔適當時間採水，測量微藻藻數、氨和磷酸鹽的含量。

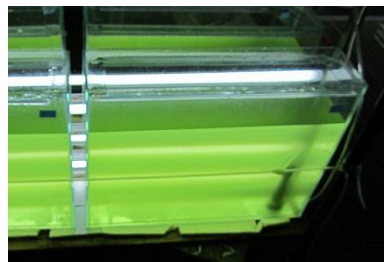
※光照度為 9000 lux，24 小時照光，打氣強度為 5 L/min，溫度為 25°C 。

(三)當藻類培養缸水中氨-氮的濃度為 0 時，將 120 粒文蛤（ 14 ± 1.2 g）置入其中一缸濾食藻類，兩小時後撈出，再置入另一批 120 粒文蛤，繼續濾食藻類三小時（圖 9-3、9-4、9-5）。

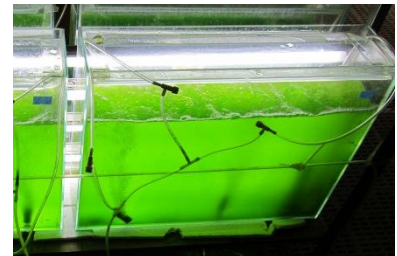
(四)每隔適當時間採水，測量微藻藻數、氨和磷酸鹽的含量。



▲圖 9-1、經初步過濾的吳郭魚養殖廢水。



▲圖 9-2、加入 3.5 公升起始濃度為 1×10^5 cells/ml 之周氏扁藻。



▲圖 9-3、已去除氨但未經濾食的藻水。

▼圖 9-5、左缸水已經過文蛤濾食，右缸水則無。

▼圖 9-4、濾食中的文蛤。



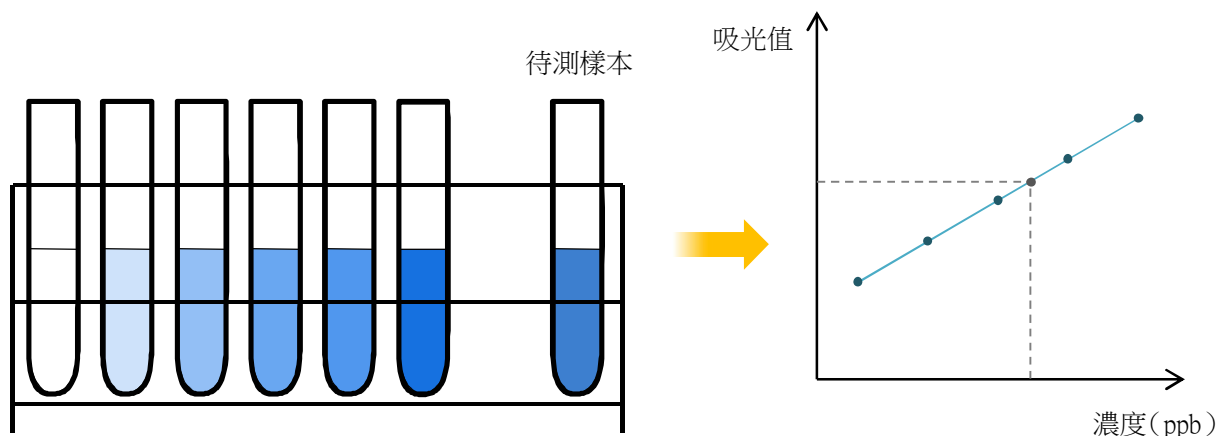
▲圖 9、以周氏扁藻淨化海水吳郭魚養殖用水流程圖。

三、水質檢測方法

(一)氨-氮 (ammonia-N) 的測定

水中氨-氮濃度的分析參考陳 (1981) 的 phenol hypochlorite 法，其原理為氨在鹼性環境

中會與 phenol 反應生成 indophenol blue，此呈色效果在 sodium nitroprusside 存在下更顯著。取離心(12000 rpm 10 min, 4°C)之試水 2 ml 與 0.08 ml 的 phenol-alcohol 均勻混合，再加入 0.08 ml 的 0.5% sodium nitroprusside 及 0.2 ml 的氧化還原試劑，充分混合後，在室溫 22-27°C 下靜置 1 小時後，以分光光度計測量波長 640 nm 的吸光值，並以 NH₄Cl 配製成不同氨-氮濃度(圖 10-1)並製作檢量線(圖 10-2)，推算試水中氨-氮的濃度。

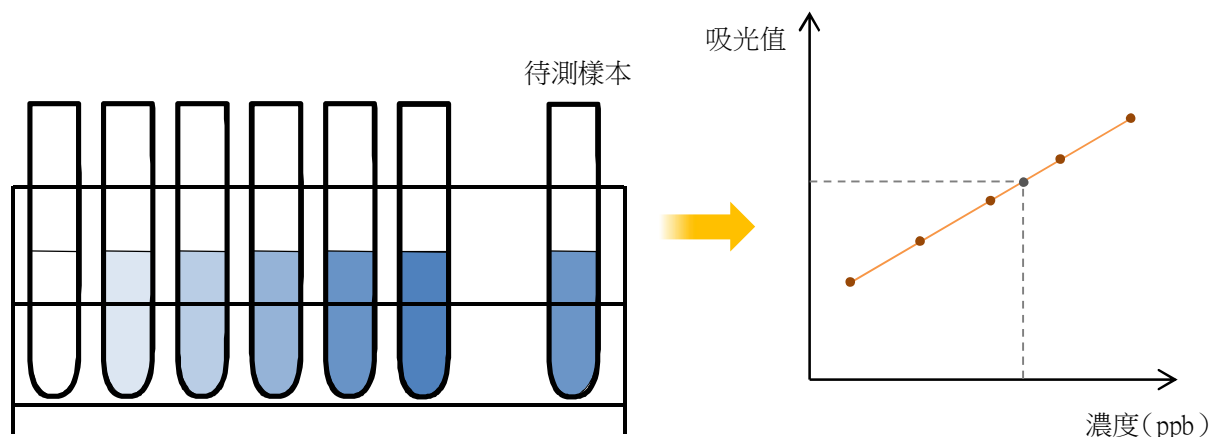


▲圖 10-1、以 NH₄Cl 配製成不同氨-氮濃度。

▲圖 10-2、由檢量線推測出待測樣本之氨-氮濃度。

(二)磷酸鹽-磷的測定

水中磷酸鹽-磷濃度的分析參考陳(1981)的 Molybdenum blue-Ascorbic acid 法，其原理為過濾試水中的磷酸鹽在酸性溶液中與 ammonium molybdate 反應形成 ammonium phosphomolybdate complex (磷鉬酸銨)，其在 ascorbic acid 之存在下，被還原成 molybdenum blue，用分光光度計以波長 885 nm 測定之(圖 11-1、圖 11-2)。



▲圖 11-1、以 KH₂PO₄ 配製成不同磷酸鹽-磷濃度。

▲圖 11-2、由檢量線推測出待測樣本之磷酸鹽-磷濃度。

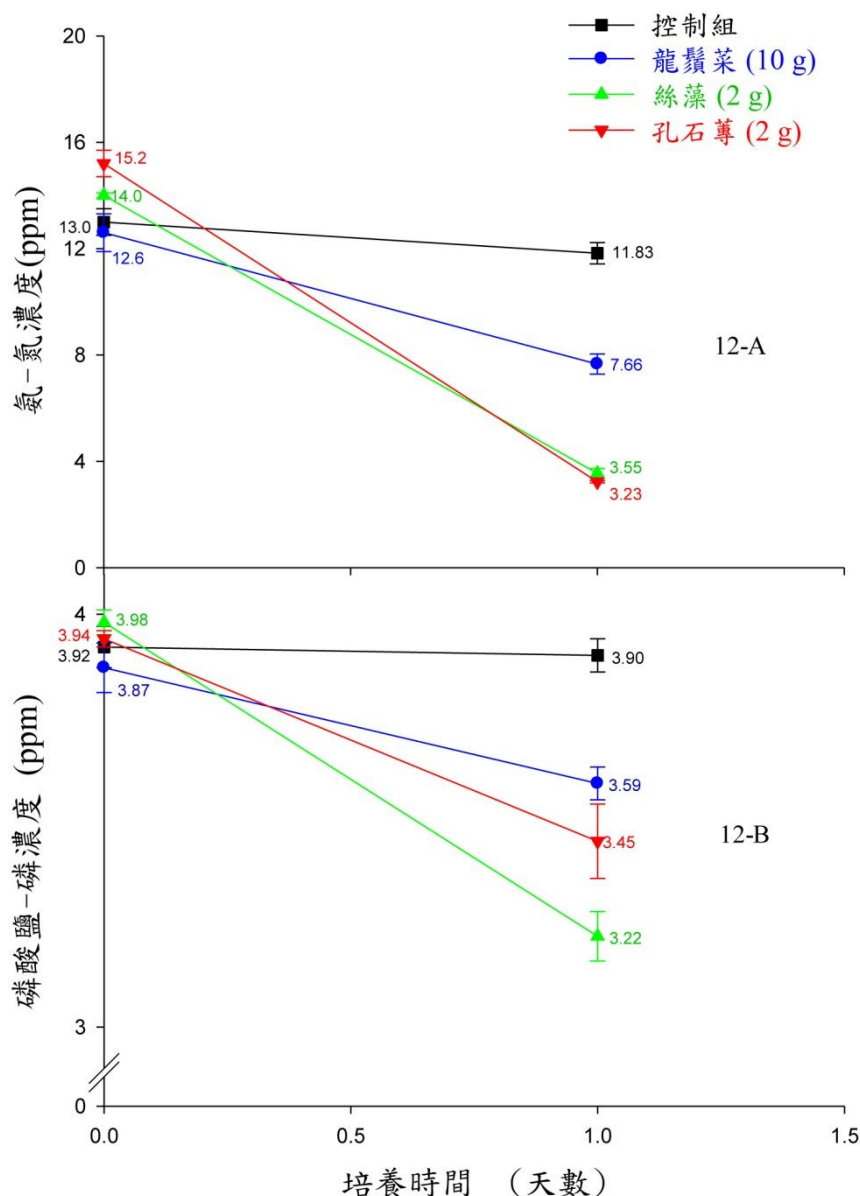
(三)微藻藻數的計算

以血球計數盤 (Neubauer chamber) 計數，計算方法如陳(2006)所述。

伍、研究結果與分析

一、比較大型藻和海洋微藻對氨和磷酸鹽吸收的效率

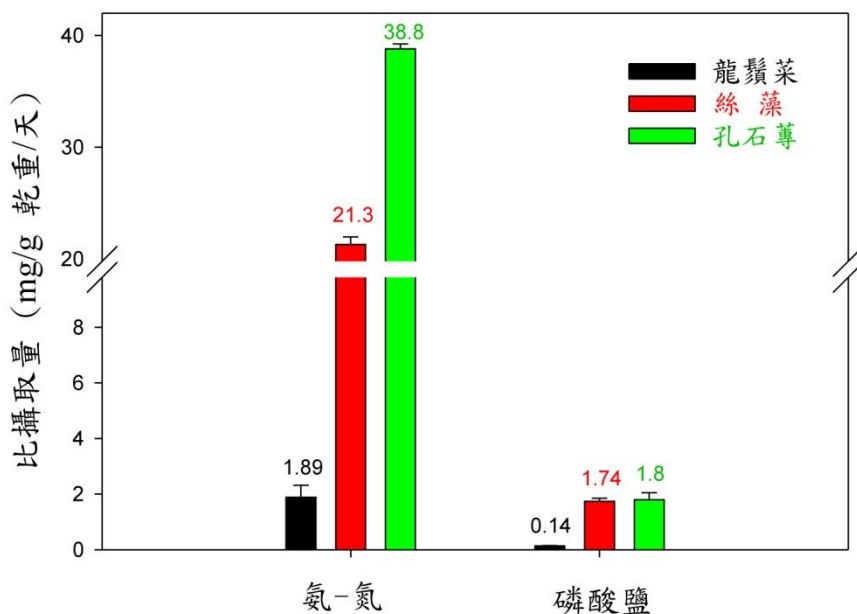
(一)大型藻（龍鬚菜、絲藻和孔石蓴）對氨和磷酸鹽吸收的實驗



▲圖 12A 與 B、大型藻（龍鬚菜、絲藻和孔石蓴）攝取氨(A)和磷酸鹽(B)的情形。

圖 12A 顯示龍鬚菜、絲藻和孔石蓴攝取水中氨的情形。控制組的實驗條件和實驗組相同，有打氣和照光，但沒有實驗生物，控制組的氨-氮濃度由第 0 天的 13 ppm 下降至第 1 天的 11.83 ppm，一天下降的幅度約為最初濃度的 9%，因此氨-氮消失量扣除最初濃度的 9% 即為實驗組生物氨-氮的攝取量。絲藻和孔石蓴可快速地攝取氨，經過一天的培養，水中的氨-氮濃度快速地分別由 14 和 15.2 ppm 降至 3.55 和 3.23 ppm，由此推知絲藻和孔石蓴氨-氮的攝取量分別為 9.19 和 10.6 mg；然而龍鬚菜攝取氨的能力顯著地較絲藻和孔石蓴為差，經過一天的培養，龍鬚菜僅能攝取 3.81 mg 的氨-氮。

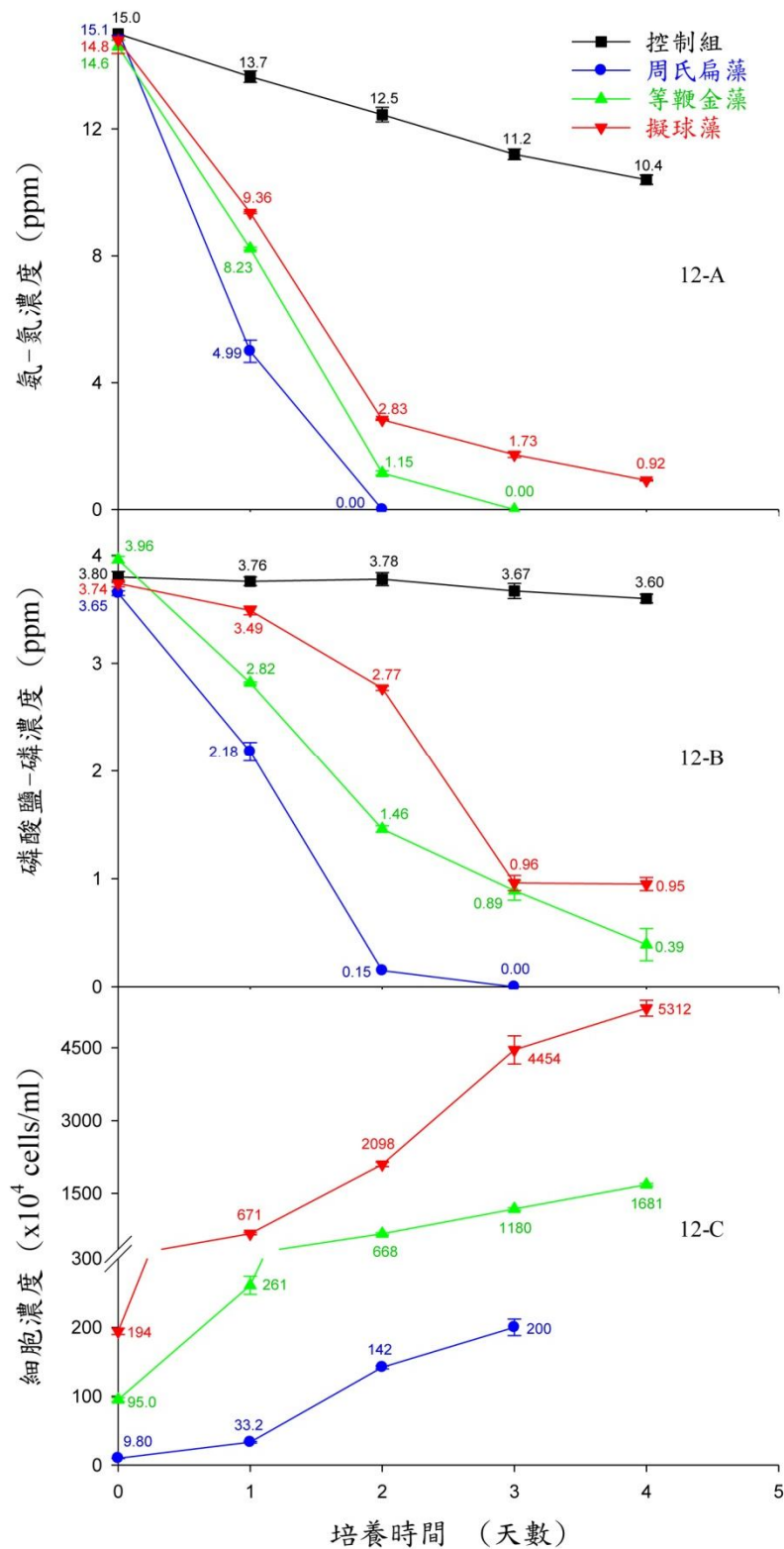
圖 12B 顯示龍鬚菜、絲藻和孔石蓴攝取水中磷酸鹽-磷的情形。控制組磷酸鹽-磷的濃度由第 0 天的 3.92 ppm 下降至第 1 天的 3.90 ppm，下降的幅度低於 1%，所以因非生物性因素而損耗的量，可以忽略不計。此三種大型藻類對磷酸鹽的攝取量並不大，經過一天的培養，龍鬚菜、絲藻和孔石蓴分別攝取 0.28 mg、0.76 mg、0.49 mg 的磷酸鹽-磷，其中絲藻的攝取率最為快速，甚至比龍鬚菜高出 2 倍多。



▲圖 13、大型藻（龍鬚菜、絲藻和孔石蓴）對水中氨和磷酸鹽每日的比攝取量。

圖 13 顯示龍鬚菜、絲藻和孔石蓴對水中氨和磷酸鹽每日的比攝取量（specific uptake，攝取量 (mg)/乾重 (g)）。由於絲藻和孔石蓴作為實驗的量為 2 克濕重，然而龍鬚菜卻為 10 克濕重，因此將攝取量轉換為比攝取量，龍鬚菜的攝取效率就遠小於絲藻和孔石蓴。其中孔石蓴氨-氮的比攝取量高達 38.8 mg/g 乾重/天，顯著地高於絲藻的 21.3 mg/g 乾重/天和龍鬚菜的 1.89 mg/g 乾重/天；而三種大型藻對磷酸鹽-磷的比攝取量，則以孔石蓴的 1.8 mg/g 乾重/天和絲藻的 1.74 mg/g 乾重/天為最大，而以龍鬚菜的 0.14 mg/g 乾重/天為最低。

(二)海洋微藻（周氏扁藻、等鞭金藻和擬球藻）對氨和磷酸鹽吸收的實驗

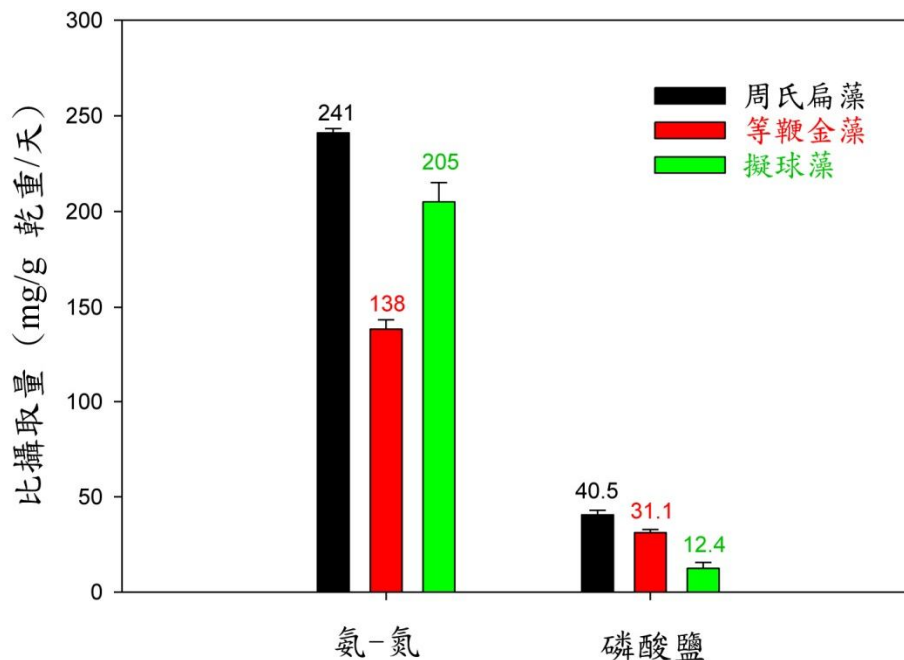


▲圖 14A、B 與 C、微藻（周氏扁藻、等鞭金藻和擬球藻）攝取氨(A)和磷酸鹽(B)以及微藻增殖(C)的情形。

圖 14A 顯示周氏扁藻、等鞭金藻和擬球藻攝取水中氨的情形。三種微藻中以周氏扁藻對氨的攝取效率最佳。經過培養一天，可吸收 58% 的氨，經過兩天的培養即可吸收水中全部的氨。而擬球藻氨的攝取效率是三種微藻中最低，經過兩天的培養，水中尚殘留 20% 的氨。

圖 14B 顯示周氏扁藻、等鞭金藻和擬球藻攝取水中磷酸鹽的情形。三種微藻中以周氏扁藻對磷酸鹽的攝取效率最佳。經過二天的培養，可吸收 96% 的磷酸鹽，然而等鞭金藻僅可攝取 64%，而擬球藻僅可攝取 26%。雖然擬球藻在第三天培養的攝取率高於周氏扁藻和等鞭金藻，然而擬球藻在培養結束後，水中仍殘留 25% 的磷酸鹽，因此擬球藻對磷酸鹽攝取的效率為三種微藻中最低。

圖 14C 顯示周氏扁藻、等鞭金藻和擬球藻增殖的情形。三種微藻大小的順序為周氏扁藻>等鞭金藻>擬球藻，其每個細胞的乾重分別為 370 pg, 40 pg 和 10 pg (Chen et al., 2012)，由於周氏扁藻的細胞最大，因此其初始細胞濃度 9.8×10^4 cells/ml 為最低，而擬球藻初始細胞濃度 194×10^4 cells/ml 為最高。經過三天的培養，周氏扁藻、等鞭金藻和擬球藻的細胞濃度分別為 200×10^4 cells/ml、 1180×10^4 cells/ml 和 4454×10^4 cells/ml。由圖 14A 發現經過二天的培養，水中氨已被攝取完，然而由圖 14C 發現周氏扁藻細胞濃度由培養二天的 142×10^4 cells/ml 增加至培養三天的 200×10^4 cells/ml。

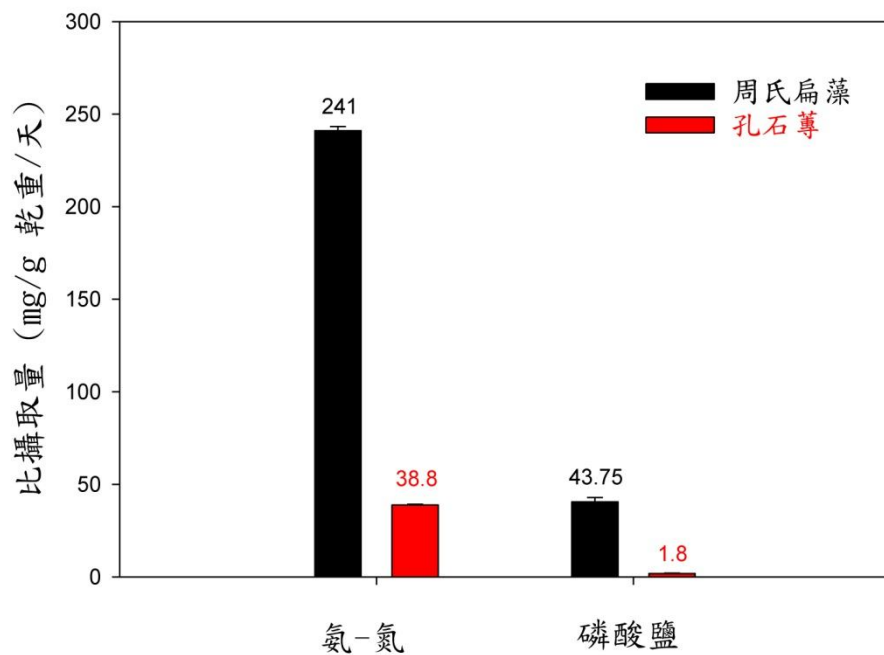


▲圖 15、微藻（周氏扁藻、等鞭金藻和擬球藻）對水中氨和磷酸鹽首日的比攝取量。

圖 15 顯示周氏扁藻、等鞭金藻和擬球藻對水中氨和磷酸鹽首日的比攝取量。周氏扁藻、擬球藻和等鞭金藻氨-氮的比攝取量分別為 241、205 和 138 mg/g 乾重/天，以周氏扁藻氨-氮的比攝取量為最大。而周氏扁藻、等鞭金藻和擬球藻對磷酸鹽-磷的比攝取量分別為 40.5、31.1 和 12.4 mg/g 乾重/天，其大小順序為周氏扁藻>等鞭金藻>擬球藻。因此三種微藻中，以周氏扁

藻對水中氨和磷酸鹽的比攝取量為最佳。

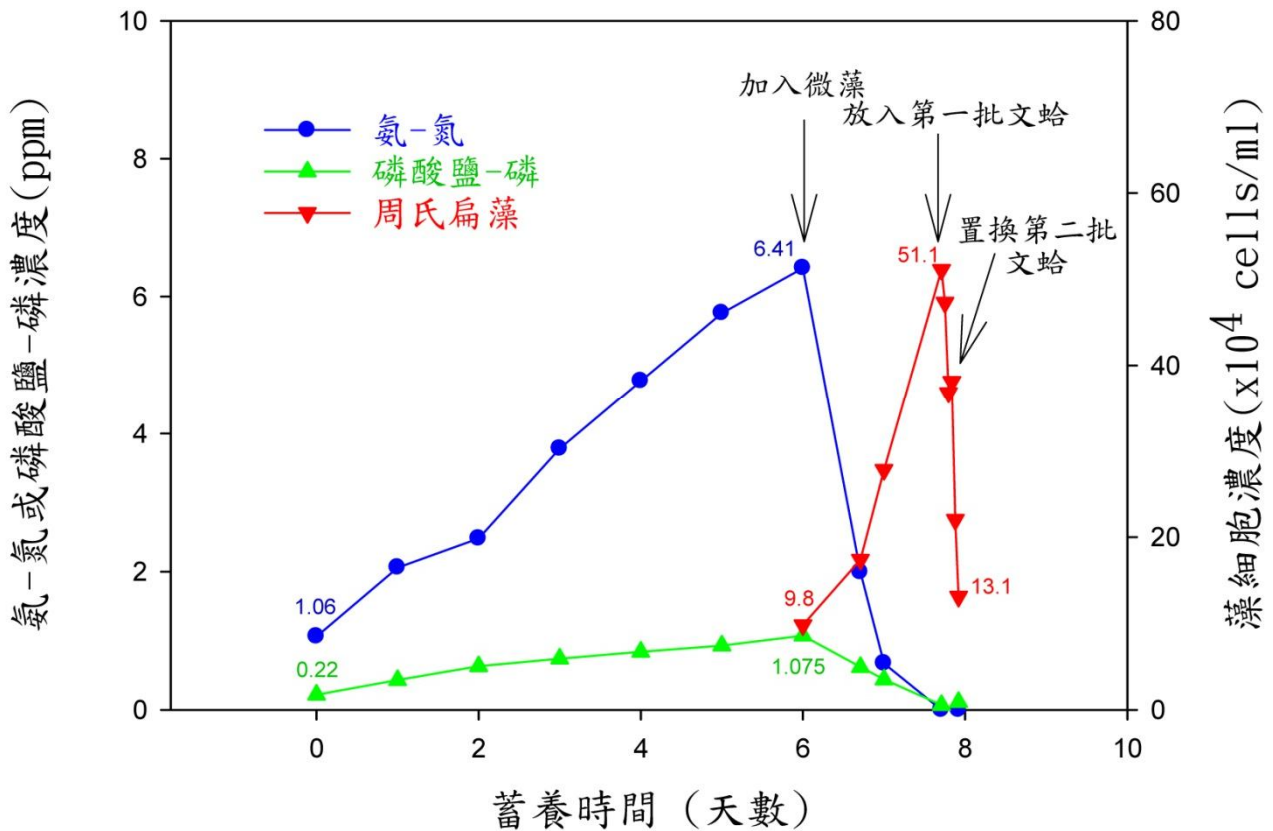
(三)比較大型藻和海洋微藻對氨和磷酸鹽吸收的效率



▲圖 16、周氏扁藻和孔石蓴對水中氨和磷酸鹽的首日比攝取量。

圖 16 比較周氏扁藻和孔石蓴對水中氨和磷酸鹽的首日比攝取量，周氏扁藻對水中氨的首日比攝取量約為孔石蓴的 6.2 倍，而對磷酸鹽的首日比攝取量約為孔石蓴的 22.5 倍。本研究繼續以周氏扁藻處理海水吳郭魚所產生的養殖廢水，探討周氏扁藻去除廢水中氨和磷酸鹽的效率。

二、以周氏扁藻淨化海水吳郭魚養殖用水



▲圖 17、周氏扁藻去除海水吳郭魚所產生廢水的氨和磷酸鹽以及文蛤濾食微藻的效率。

圖 17 顯示周氏扁藻去除海水吳郭魚所產生養殖廢水的氨和磷酸鹽以及文蛤濾食微藻的效率。將吳郭魚養在半噸桶的海水中，水中的氨-氮和磷酸鹽-磷分別由剛開始的 1.06 ppm 和 0.22 ppm 上升至飼養 6 天的 6.41 ppm 和 1.08 ppm。此時加入周氏扁藻，經過 0.71 天的培養，水中的氨-氮和磷酸鹽-磷分別降至 1.99 ppm 和 0.62 ppm，再經 1 天的培養，氨-氮和磷酸鹽-磷分別降至 0 ppm 和 0.07 ppm。然而周氏扁藻濃度則由 9.8×10^4 cells/ml 增加至 51.1×10^4 cells/ml。此時置入文蛤濾清水中的藻類，經過 5 個小時，藻類濃度由 51.1×10^4 cells/ml 降至 13.1×10^4 cells/ml，此時水中氨-氮和磷酸鹽-磷的濃度分別為 0 ppm 和 0.11 ppm，顯示本處理系統可達淨化水質的目的。

陸、討論

一、水產養殖的重要性：

- (一)目前世界人口正以一分鐘 140 人、一日 20 萬人、一年 7 千 3 百萬人的速率成長，總人口數已超過 70 億，但其中至少還有 17%的人口仍面臨飢餓與營養不良等問題。
- (二)隨著人類無節制的耕種、放牧、濫砍濫伐森林與工業的發展，氣候益趨惡劣，荒漠化的面積逐漸擴大，土地肥沃轉趨貧瘠，生產力一日不復一日。
- (三)在地球面積中，陸地只占少部分，可耕地更受到環境與地形的限制。相對地，佔地表面積 71%的海洋，蘊藏 200 萬種以上生物的廣袤海洋，儼然一座耀眼的金山。
- (四)然而過度開發海洋資源，已造成漁源枯竭，所以為了分散漁業發展對海洋造成的環境壓力，水產養殖無疑是最佳辦法。

二、水產養殖的困境：

- (一)儘管水產養殖有諸多優點，其缺點亦不容忽視。目前，最嚴重的莫過於水資源的過度利用。在年雨量變率大的台灣，每逢秋冬時有缺水的狀況。而水產養殖業需耗費大量的水資源，為節省成本，不少漁民以抽取地下水來維持魚塭乾淨的水質，然而過度地超抽地下水資源已造成地層下陷等問題，也造成環境的破壞與污染，為求永續發展，勢必發展水資源循環再利用的系統，而顯然地，生物性的方法會是解決生物性汙染的最佳辦法。

三、生物性淨化方法：

- (一)在探討三種大型藻類對水中氨和磷酸鹽攝取的情形時，為了和後續海洋微藻作比較，因此採用 4 ppm 的磷酸鹽-磷為起始濃度，然而因大型藻對磷酸鹽的吸收效率低，因此在實驗的第三天以後，培養液都會呈現混濁狀，而磷酸鹽的濃度也會大幅度地下降，顯然地微生物已大量繁殖，在進行龍鬚菜的實驗時，甚至部分的實驗在第二天即混濁，因此在無奈的情形下，本實驗僅比較培養第一天對水中氨和磷酸鹽的攝取量。
- (二)由比較三種微藻吸收氨的實驗發現周氏扁藻在初期即吸收大部分的氨，使培養液中的氨濃度大幅地降低，而往後在此低氨濃度的環境中卻依然能夠以穩定的速率持續增殖。由此可推論周氏扁藻在培養初期所攝取的氨儲存在細胞內，因此當環境中已缺氨，細胞仍能增殖，等鞭金藻也有類似的現象。

四、展望

- (一)依本實驗的結果，可設計出一套「魚蝦類—周氏扁藻—文蛤」循環養殖的系統。將魚蝦類養殖池中的池水以適當的流量輸入藻類池中，然後添加周氏扁藻，適當的打氣和照光一段時間，使周氏扁藻充分吸收水中營養鹽，當水體藻色逐漸變濃，水中營養鹽濃度顯著地下降時，便可將藻水以適當的流速引至文蛤養殖池，讓文蛤充分地攝食水

中的藻類，當池水水色逐漸澄清後，再將文蛤池池水引至魚蝦類的養殖池。充分地循環利用水資源，而在此過程中所生產的文蛤亦可銷至市場，增加經濟效益。

(二)本實驗僅探討以生物性方法解決生物性的水污染，期待未來能夠將生物性方法應用於工業廢水等非生物性水污染的淨化，期望如此能達到與自然和平共處、永續發展等目的，共同維護唯一的地球。

柒、結論

- 一、三種大型藻對氨比攝取量大小的順序為孔石蓴>絲藻>龍鬚菜；而對磷酸鹽的比攝取量大小的順序為孔石蓴=絲藻>龍鬚菜。
- 二、三種微藻對氨比攝取量大小的順序為周氏扁藻>擬球藻>等鞭金藻；而對磷酸鹽比攝取量大小的順序為周氏扁藻>等鞭金藻>擬球藻。
- 三、在本實驗所探討的大型藻和微藻中，對水中氨和磷酸鹽去除效率最佳的為周氏扁藻。
- 四、周氏扁藻能夠有效地去除吳郭魚養殖用水中的氨和磷酸鹽，而且文蛤也能有效地濾清水中的藻類，使水資源能夠循環再利用。

捌、參考資料及其他

- 一、陳建初，1981。水質分析，九大圖書公司，102-103。基隆市。
- 二、陳明耀，1997。生物餌料培養，第 316-318 頁。水產出版社，基隆市。
- 三、蘇惠美，1999。餌料生物之培養與利用，台灣省水產試驗所東港分所，屏東。
- 四、李安進、陳淑美合譯（2000）。第八章海洋生物技術。生物科技概論（翁秉霖、鄭信男、邱華賢編譯）。學富文化事業有限公司。
- 五、陳士元、黃獻龍、李安進（2005）。培養液、藻種生長階段和接種體積對周氏扁藻成長的影響。中華生質能源學會會誌 24, 19-26。
- 六、陳士元（2006）。周氏扁藻吸收氨-氮效率及其應用於循環系統的探討。國立嘉義大學水產生物學系碩士論文。
- 七、李安進(2007)第十一章水產養殖—貝類之繁養殖。農業概論。農林漁牧專書，pp.384-393。
- 八、李安進、吳美錚合譯（2007）亞洲漁業科學在二十一世紀的角色與貢獻。教師之友，48，2-16。
- 九、李安進、吳美錚合譯（2009）水產養殖在糧食危機中扮演的角色。嘉義大學通識學報，7，1-20。
- 十、李安進、吳美錚合譯（2010）水產養殖與糧食危機：機會與限制。嘉義大學通識學報，8，1-14。

- 十一、徐振豐、張睿昇、周立進(2011)。澎湖的海藻與生活應用。澎湖縣政府文化局。pp. 43-79。
- 十二、Chen, S.Y., Pan, L.Y., Hong, M.J., Lee, A.C., 2012. The effects of temperature on the growth of and ammonia uptake by marine microalgae. Botanical Studies. 53, 125-133.

玖、附錄

一、附表 1、人工海水成分表

Electrolyte	Concentration (g·L ⁻¹)
NaCl	24.53
Na ₂ SO ₄	4.09
KCl	0.70
NaHCO ₃	0.20
KBr	0.10
H ₃ BO ₃	0.03
NaF	0.003
MgCl ₂	5.20
CaCl ₂	1.16
SrCl ₂	0.03

二、附表 2、韋因培養儲備液配製

培養藻類時，在每 1000 ml 的人工海水中加入 0.1 ml 貯備液 A 和最終濃度為 3 mM Tris, pH7.5 以及加入最終濃度分別為 16 ppm 和 4 ppm 的 NH₄⁺-N 和 PO₄⁺-P。滅菌冷卻後，當開始培養藻類時，再添加 0.1 ml 貯備液 C。

貯備液 A	Na ₂ EDTA	45 g	貯備液 B	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	4.4 g
	H ₃ BO ₃	33.6 g		CoCl ₂ · 6H ₂ O	2.0 g
	FeCl ₃ · 6H ₂ O	1.3 g		CuSO ₄ · 5H ₂ O	2.0 g
	MnCl ₂ · 4H ₂ O	0.36 g		(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	0.9 g
	貯備液 B	1 ml		加蒸餾水至	100 ml
	加蒸餾水至	1000 ml	貯備液 C	維生素 B ₁	200 mg
				維生素 B ₁₂	10 mg
				加蒸餾水至	100 ml

【評語】 040710

利用微藻淨化養殖廢水，並且發現周式扁藻的效果很好，而且可以提供廢水循環的模式。是很好的想法，具環保意義。而且有後續性。