

第十五屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA15-351

作品名稱：瘋流蘊試

—水蘊草的細胞質流機制初探

姓名：游昕頤

關鍵字：水蘊草、細胞質流、淨光合作用

Abstract

The mechanism of cytoplasmic streaming is currently thought to make the actin molecules connect with organelle and move along the cytoskeleton, a process which is generated from energy provided by ATP. It thereby facilitates the exchange of substances between the two adjacent cells through plasmodesmata. In this study, we developed methods for observing and measuring cytoplasmic streaming velocity of *Egeria densa*, and explored its mechanism from the energy perspective. It is suggested from our findings that when the luminosity is less than 19 PPFD, the cytoplasmic streaming velocity and net photosynthetic rate showed a high positive correlation. Nickel nitrate significantly promotes the cytoplasmic streaming velocity and net photosynthesis rate. Under the conditions of 40°C, pH1, pH13, mercuric nitrate, and 4°C for one day, the flow of cytoplasmic streaming stops.

摘要

細胞質流（cytoplasmic streaming）的機制，目前通常被認為是藉由 ATP 提供能量，使肌動蛋白分子連接胞器而沿著細胞骨架移動，並以此促進相鄰的兩個細胞透過原生質絲（plasmodesmata）交換物質。本研究建立水蘊草（*Egeria densa*）之細胞質流流速的觀察及測量方法，並以能量的角度去探討其機制層面。我們發現當光度小於 19 PPFD 時，細胞質流流速及淨光合作用速率具有高度正相關。硝酸鎳能明顯促進細胞質流流速及淨光合作用速率，而 40°C、pH1、pH13、硝酸汞、4°C 一天能使細胞質流停止。

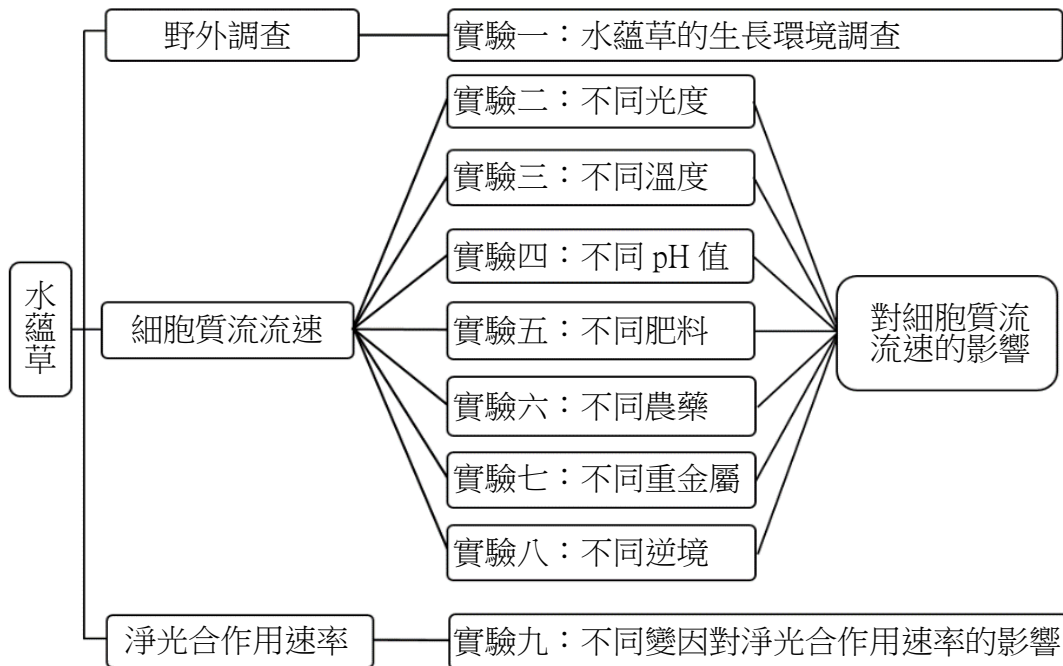
壹、研究動機（Research Motivation）

The reason why we chose this research topic is that we have been highly interested in cytoplasmic streaming of *Egeria densa* since the first biology class, when we were asked to see how chloroplast flow with cytoplasmic streaming. As we leaned towards the microscope, the scene that particles of chloroplast stream with cytoplasmic streaming in an orderly fashion truly stunned us. It was as if they were vessels lining up for a wonderful journey out on the sea. After a thorough search, we found that while cytoplasmic streaming is related to ATP and cytoskeleton constituted by protein, there is few theory or experiment which provides further investigation. Therefore, in this study, we attempt to come up with some interesting as well as insightful findings.

高中選修生物的第一個實驗，便是觀察水蘊草的細胞質流。當我們透過顯微鏡觀察到一顆顆葉綠體隨著細胞質流整齊的流動時，這股細胞質流就猶如偉大的航道般壯闊，因此我們便對細胞質流這個現象十分好奇。經一番收集資料後，了解細胞質流與蛋白質構成的細胞骨架及 ATP 有關，但卻未有進一步探討的文獻，勾起我們想一探究竟的初衷。

貳、研究目的

我們先觀察並記錄水蘊草的原生長環境，以了解何種溫度、光度，以及水質為其最適當的生存因子。又細胞間物質的流動主要倚靠細胞質流，因此我們可以藉此得知細胞質流的流速與生物體內的代謝速率息息相關。而我們也欲探討植物行光合作用所產生的 ATP 多寡與其細胞質流流速快慢的關聯，因此本研究便以不同光度作為第一個實驗變因。接著，再以不同溫度及不同 pH 值等水域環境中常見的變因作為第三及第四個實驗。又我們考慮到現代人們經常施加肥料及農藥於土壤中，當流經土壤的水進入水循環時，水蘊草的生長環境必然也會受到影響，因此我們也以不同肥料以及農藥作為其中兩個實驗變因。此外，植物於生長過程中亦可能會遭遇無法避免之環境變動，例如重金屬汙染，抑或是過高溫及低溫寒害等逆境，我們也將此納入考量，作為實驗變因。最後，我們進行植物淨光合作用的實驗，以上述所有因子作為變因，探討其對淨光合作用速率之影響，再結合前面所做在不同變因下細胞質流流速的結果，進一步討論兩者間的關聯。



圖一、實驗架構

參、研究方法

一、水蘊草簡介：

域：真核域 Eukarya

界：植物界 Plantae

門：被子植物門 Magnoliophyta

綱：單子葉植物綱 Liliopsida

目：澤瀉目 Alismatales

科：水蘊科 Hydrocharitaceae

屬：水蘊草屬 *Egeria*

種：*Egeria densa*

水蘊草，別名蜈蚣草。主要分布在湖邊或池塘中，為沉水性水生植物，因容易生長而且非常常見。適合生長在營養及光線充足的環境中，葉輪生，葉片上有一主脈。老葉枯硬而幼葉嫩綠且極薄，老葉比幼葉大許多。頂端葉片十分密集，越靠近根部其節間愈長。極少開花，若將一段莖扦插即可生長至極長。



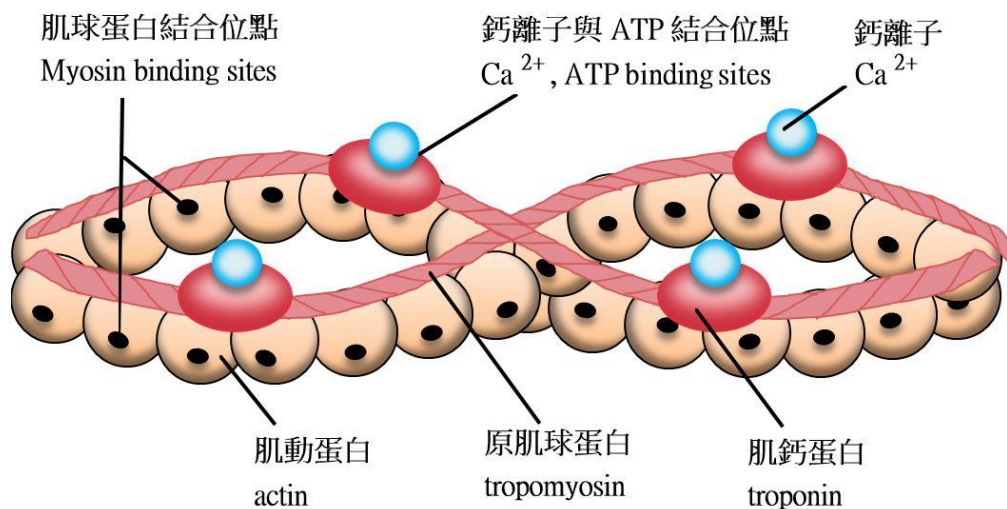
圖二、水蘊草植株頂端示意圖



圖三、水蘊草葉片前段示意圖

二、細胞質流簡介：

細胞質流 (cytoplasmic streaming)，是植物細胞之間短距離溝通的方式，而關於其機制，目前已知與微絲有關。微絲的主要組成是肌動蛋白 (actin) 和肌球蛋白 (myosin)，為一直徑約 7nm 的纖維結構。單體肌動蛋白分子上有三個結合位點：一個是鈣離子與 ATP 結合位點，另兩個都是與結合蛋白結合的位點 (如圖四)，因此我們推測細胞質流的機制應與蛋白質的活性及 ATP 的供給有關。植物細胞可藉由光合作用將光能轉變為葡萄糖的化學能，再經由有氧呼吸將葡萄糖氧化，轉變為 ATP 的化學能。我們欲從測試蛋白質活性的角度及測量 ATP 供給的角度，來探討細胞質流的機制層面。然而測量細胞內 ATP 的淨產量不易，因此我們藉由測量水蘊草的淨光合作用速率 (單位時間內光合作用釋出的氧氣 - 單位時間內呼吸作用消耗的氧氣 = 單位時間內水蘊草釋出的氧氣量)，來推測水蘊草細胞內 ATP 的變化率。試圖利用高中生可以量測的簡單方式，探究細胞質流的機制。



圖四、肌動蛋白結合位點示意圖 (原出處：參考資料〔四〕)

三、實驗器材：

要利用顯微鏡計算出細胞質流的流速實屬不易，要連續追蹤兩小時更甚困難。而本實驗裝置是以一可攝影的數位生物顯微鏡 (D341b) 裝上 Canon600D 單眼相機，再連結電腦，運用 EOS Utility 攝影軟體 (2.10.2.0 版) 錄製出水蘊草葉肉細胞的細胞質流。並利用 Tracker 追蹤葉綠體的移動，計算出細胞質流的流速，分析其流速隨變因的改變。此觀察系統經過多次測試後，我們認為能很精準的量測出細胞質流流速，對量化實驗的分析相當重要。

表一、實驗材料（硬體）

實 驗 材 料	數 量	實 驗 材 料	數 量
1. 電腦 (UX303-LB)	一臺	12. LED 燈泡 (7W)	數個
2. 可攝影的數位生物顯微鏡 (D341b)	一臺	13. 燒杯	數個
3. Canon600D 單眼相機	一臺	14. 攪拌棒	數支
4. PASCO sparklink Air	一臺	15. 鑷子	數支
5. Optical Dissolved Oxygen Sensor (PS-2196)	一組	16. 玻璃滴管	數支
6. Advanced Water Quality Sensor	一組	17. 光度計	數支
7. 熱風循環烘箱 (H150)	一臺	18. 溫度計	數支
8. 冰箱	一臺	19. pH meter (PH-208)	數支
9. 家用機械式定時器	一臺	20. 載玻片	數個
10. 半網機械工作燈	一臺	21. 蓋玻片	數個
11. 四聯燈座	一個		

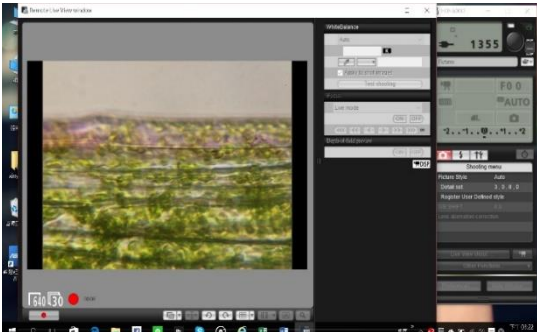
表二、實驗材料（軟體）

實 驗 材 料	數 量	實 驗 材 料	數 量
1. EOS Utility 攝影軟體 2.10.2.0 版	一個	4. SigmaPlot 10.0 統計繪圖軟體	一個
2. Tracker 電腦軟體 4.90 版	一個	5. SigmaStat3.5 統計軟體	一個
3. SPARKvue 電腦軟體	一個		

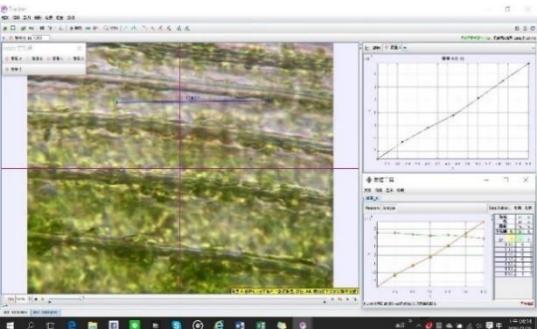
表三、實驗材料（實驗溶液）

實 驗 材 料	數 量	實 驗 材 料	數 量
1. 池水 (500 lux, 20°C, pH=8)	適量	9. 稀釋 3000 及 6000 倍的芬化利	適量
2. pH1、pH3 及 pH5 的氯化氫水溶液	適量	10. 稀釋 96000 倍的因滅丁	適量
3. pH9、pH11 及 pH13 的氫氧化鈉水溶液	適量	12. 100ppm 硫酸銅水溶液	適量
4. 0.1%鈣肥 (硝酸鈣)	適量	13. 100ppm 硝酸鎳水溶液	適量
5. 0.1%氮肥 (硫酸銨)	適量	14. 100ppm 硝酸鉛水溶液	適量
6. 0.1%鉀肥 (氯化鉀)	適量	15. 100ppm 硝酸汞水溶液	適量
7. 0.1%磷肥 (過磷酸鈣)	適量	16. 1.5%氯化鈉水溶液	適量
8. 0.1%鎂肥 (氯化鎂)	適量	17. pH7 的逆滲透水	適量

四、實驗器材圖：



圖五、EOS Utility 攝影軟體介面



圖六、Tracker 電腦軟體介面

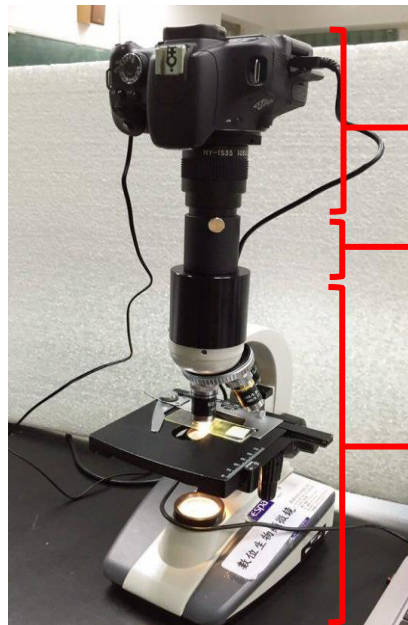


圖七、SPARKvue 電腦軟體介面



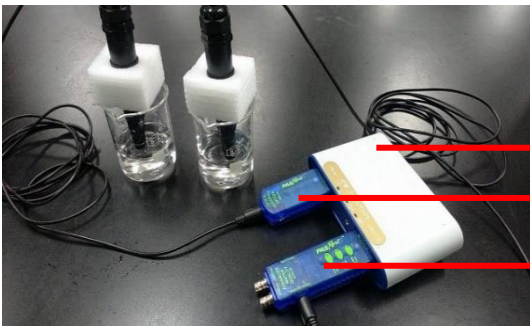
圖九、實驗裝置

- 溫度計
- 大燒杯
- 小燒杯
- 實驗溶液
- 調節實驗
溶液水溫
的水



圖十、顯微鏡攝影裝置

- Canon600
單眼相機
- 顯微鏡與單
眼之轉接頭
- 可攝影的數
生物顯微鏡
(D341b)



圖八、PASCO 溶氧量裝置

- PASCO 轉接器
- Optical Dissolved Oxygen Sensor
- Advanced Water

肆、研究過程與方法

一、野外調查：

(一) 實驗一：水蘊草的生長環境調查：

1. 利用光度計、溫度計、pH meter 及 PASCO sparklink Air 測量水蘊草原生環境之光度、溫度、pH 值及溶氧量。
2. 測量多次後取平均值，以此數據做為水蘊草原生環境之光度 (lux)、溫度 (°C)、pH 值及溶氧量 (mg/L)。

二、細胞質流流速：

(一) 實驗二：不同光度對細胞質流流速的影響：

1. 取水蘊草頂端的葉片 (如圖二) 置入池水中，並以水浴法 (如圖九) 將水溫控制在 20°C。
2. 待小燒杯內的水溫與大燒杯內的水溫達平衡後，放入光度為 500 lux (9.5 PPF) 的環境中，並以計時器開始計時。
3. 以 10 分鐘為間隔取出一片水蘊草葉片，製成水埋玻片，並於顯微鏡下攝影 1 分鐘 (如圖五及圖十)。
4. 重複步驟 3，連續 12 次，實驗共持續 2 小時。
5. 每段影片擷取 5 顆葉綠體，利用 Tracker 追蹤葉綠體在不同時間的位置 (如圖六)，並計算葉綠體的移動速率，以此數值表示為細胞質流流速。
6. 重複步驟 1~5，分別將光度調整為 0 lux (0.0 PPF)、100 lux (1.9 PPF)、1000 lux (19 PPF)、5000 lux (95 PPF) 及 10000 lux (190 PPF)。
7. 重複實驗多次，取穩定狀態的平均值後利用 SigmaPlot 畫成折線圖及長條圖，用 SigmaStat 做 ANOVA 分析，再用 Tukey 做事後檢定。
8. 將 ANOVA 統計分析後有顯著差異 ($p < 0.05$) 的數據以小寫英文字母標記於長條圖之上。

(二) 實驗三：不同溫度對細胞質流流速的影響：

1. 重複實驗二之步驟，將實驗變因改為溫度，並分別將水溫調整為 10°C、20°C、30°C 及 40°C。

(三) 實驗四：不同 pH 值對細胞質流流速的影響：

1. 重複實驗二之步驟，將實驗變因改為水溶液的 pH 值，並分別將水蘊草葉片置入 pH1、pH3 及 pH5 的氯化氫水溶液、pH7 的逆滲透水及 pH9、pH11 及 pH13 的氫氧化鈉水溶液。

(四) 實驗五：不同肥料對細胞質流流速的影響：

1. 重複實驗二之步驟，將實驗變因改為肥料，並分別將水蘊草葉片置入重量百分濃度 0.1%的氮肥（硫酸銨水溶液）、重量百分濃度 0.1%的鉀肥（氯化鉀水溶液）、重量百分濃度 0.1%的磷肥（過磷酸鈣水溶液）、重量百分濃度 0.1%的鎂肥（氯化鎂水溶液）及重量百分濃度 0.1%鈣肥（硝酸鈣水溶液）。

(五) 實驗六：不同農藥對細胞質流流速的影響：

1. 重複實驗二之步驟，將實驗變因改為農藥，並分別將水蘊草葉片置入稀釋 3000 倍的芬化利、稀釋 6000 倍的芬化利及稀釋 96000 倍的因滅丁。

(六) 實驗七：不同重金屬對細胞質流流速的影響：

1. 重複實驗二之步驟，將實驗變因改為重金屬，並分別將水蘊草葉片置入 100ppm 的硫酸銅水溶液、100ppm 的硝酸鉛水溶液、100ppm 的硝酸鎳水溶液及 100ppm 的硝酸汞水溶液。

(七) 實驗八：不同逆境對細胞質流流速的影響：

1. 重複實驗二之步驟，將實驗變因改為高鹽逆境，並將水蘊草葉片置入重量百分濃度 1.5%的氯化鈉水溶液。
2. 重複實驗二之步驟，將實驗變因改為低溫逆境，以水浴法將水溫控制在 4°C，並將水蘊草葉片置入，再放置到冰箱裡以維持溫度，持續 24 小時。
3. 重複實驗二之步驟，將實驗變因改為高溫逆境，以水浴法將水溫控制在 30°C，並將水蘊草葉片置入，再放置到烘箱裡以維持溫度，持續 24 小時。

三、淨光合作用速率：

(一) 實驗九：不同變因對水蘊草淨光合作用速率的影響：

1. 將 125mL 的池水置於 250mL 燒杯中，並架設 PASCO 溶氧量裝置之感應器（如圖八），感應器的探針正好浸於液面之下。
2. 利用 PASCO 裝置及 SPARKvue 軟體，以每 10 秒為間隔，測量池水之溶氧量（mg/L），共測 30 次，持續 5 分鐘，將此狀態當作基準值。
3. 將水蘊草頂端的葉片置入裝置的池水中，利用 PASCO 裝置及 SPARKvue 軟體，以每 10 秒為間隔，測量池水之溶氧量。待溶氧量值維持穩定狀態持續至少 20 分鐘，此穩態之值扣除基準值即是水蘊草的淨光合作用速率。
4. 重複實驗多次，取平均值後利用 SigmaPlot 畫成長條圖，用 SigmaStat 做 ANOVA 分析，再用 Tukey 做事後檢定。
5. 將 ANOVA 統計分析後有顯著差異（ $p < 0.05$ ）的數據以小寫英文字母標記於長條圖之上。

6. 當進行實驗九（一）時，重覆步驟 1~ 5，將實驗變因改為：光度 0 lux（0.0 PPFd）、100 lux（1.9 PPFd）、500 lux（9.5 PPFd）、1000 lux（19 PPFd）、5000 lux（95 PPFd）及 10000 lux（190 PPFd），測量不同光度下水蘊草的淨光合作用速率。
7. 當進行實驗九（二）時，重覆步驟 1~ 5，將實驗變因改為：溫度 10°C、20°C、30°C 及 40°C 之池水，測量不同溫度下水蘊草的淨光合作用速率。
8. 當進行實驗九（三）時，重覆步驟 1~ 5，將實驗變因改為：pH1、pH3 及 pH5 的氯化氫水溶液、pH7 的逆滲透水及 pH9、pH11 及 pH13 的氫氧化鈉水溶液，測量不同 pH 值下水蘊草的淨光合作用速率。
9. 當進行實驗九（四）時，重覆步驟 1~ 5，將實驗變因改為：重量百分濃度 0.1% 的氮肥溶液（硫酸銨水溶液）、重量百分濃度 0.1% 的鉀肥溶液（氯化鉀水溶液）、重量百分濃度 0.1% 的磷肥溶液（過磷酸鈣水溶液）、重量百分濃度 0.1% 的鎂肥溶液（氯化鎂水溶液）及重量百分濃度 0.1% 的鈣肥溶液（硝酸鈣水溶液），測量不同肥料下水蘊草的淨光合作用速率。
10. 當進行實驗九（五）時，重覆步驟 1~ 5，將實驗變因改為：稀釋 3000 倍的芬化利、稀釋 6000 倍的芬化利及稀釋 96000 倍的因滅丁，測量不同農藥下水蘊草的淨光合作用速率。
11. 當進行實驗九（六）時，重覆步驟 1~ 5，將實驗變因改為：100ppm 的硫酸銅水溶液、100ppm 的硝酸鉛水溶液、100ppm 的硝酸鎳水溶液及 100ppm 的硝酸汞水溶液，測量不同重金屬下水蘊草的淨光合作用速率。
12. 當進行實驗九（七）時，重覆步驟 1~ 5，將實驗變因改為：重量百分濃度 1.5% 的氯化鈉水溶液，製作成高鹽水溶液；取水蘊草頂端葉片以水浴法將水溫控制在 4°C，並放置到冰箱裡以維持溫度，持續一天，以此低溫逆境前處理 24 小時；取水蘊草頂端葉片以水浴法將水溫控制在 30°C，並放置到烘箱裡以維持溫度，持續一天，以此高溫逆境前處理 24 小時。

伍、研究結果

一、實驗一：水蘊草生長環境的調查：

我們測得水蘊草原生環境資料（如表四），以此值當作後續實驗的對照組（在長條圖中以紅色表示）。

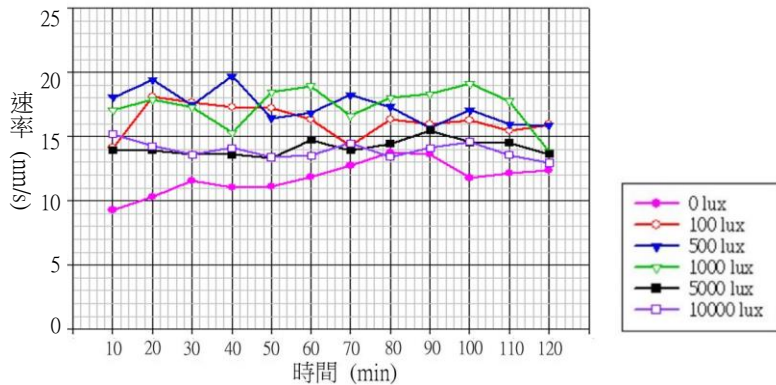
表四、水蘊草原生環境資料

平均光度 (lux)	平均溫度 (°C)	平均 pH 值	平均溶氧量 (mg/L)
453	19	8	27

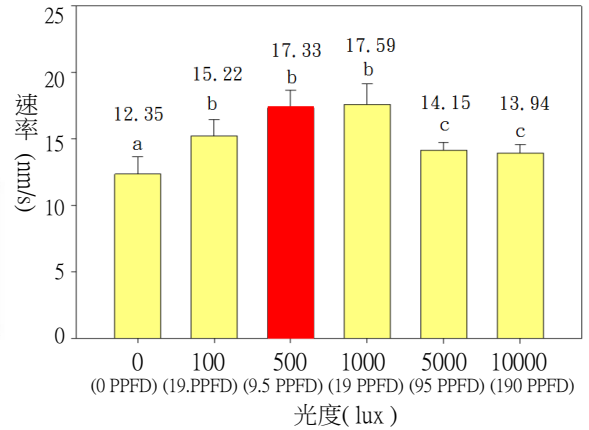
二、實驗二：不同光度對細胞質流流速的影響：

在不同光度下，我們連續觀察水蘊草細胞質流流速並畫成折線圖（如圖十一），求其平均流速及標準差（如表五）並繪製成長條圖（如圖十二）。我們發現：

- (一) 當光度介於 0~19 PPFD 之間時，光度愈高，細胞質流流速有升高的趨勢。
- (二) 當光度大於 19 PPFD 時，光度上升，細胞質流則無差異。



圖十一、不同光度對細胞質流流速的影響



圖十二、細胞質流於不同光度下的平均流速

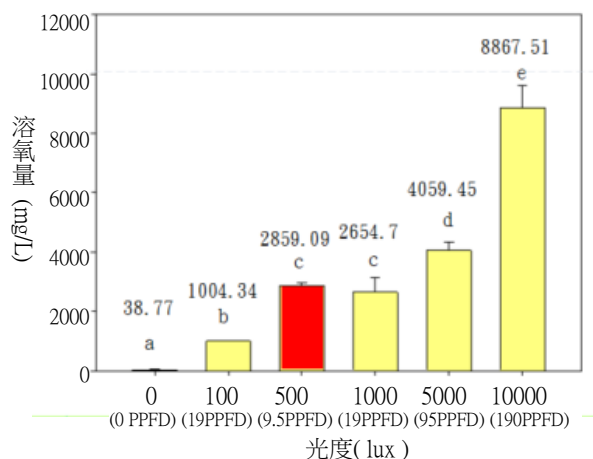
表五、細胞質流於不同光度下的平均流速

光度 (lux)	0	100	500	1000	5000	10000
平均流速 (nm/s)	12.35	15.22	17.33	17.59	14.15	13.94
標準差	1.29	1.23	1.32	1.54	0.62	0.63

三、實驗九（一）：不同光度對淨光合作用速率的影響：

我們將不同光度測得的溶氧量當作淨光合作用速率，求其平均值及標準差（如表六）並繪製成長條圖（如圖十三）。我們發現：

- (一) 當光度介於 0~190 PPFD 之間時，光度愈高，淨光合作用速率顯著上升。



圖十三、不同光度下平均溶氧量

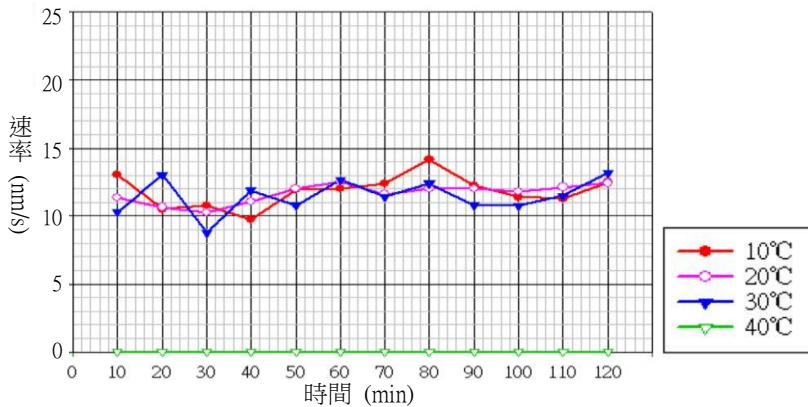
表六、不同光度下平均溶氧量

光度 (lux)	0	100	500	1000	5000	10000
平均溶氧量 (mg/L)	38.77	1004.34	2859.09	2654.76	4059.45	8867.51
標準差	12.58	21.27	96.44	485.84	291.19	750.47

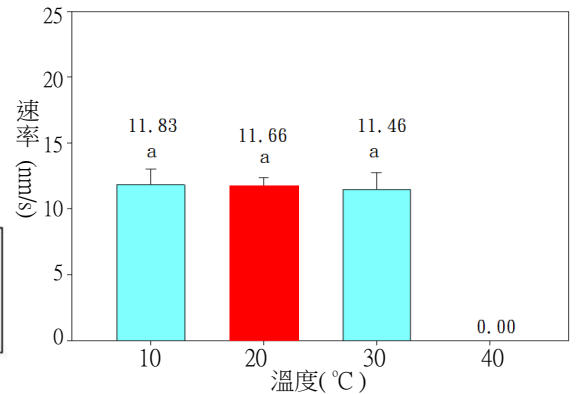
四、實驗三：不同溫度對細胞質流流速的影響：

在不同溫度下，我們連續觀察水蘊草細胞質流流速並畫成折線圖（如圖十四），求其平均流速及標準差（如表七）並繪製成長條圖（如圖十五）。我們發現：

- (一) 當溫度介於 10°C~30°C 之間時，溫度對水蘊草細胞質流流速無顯著影響 ($p > 0.05$)。
- (二) 當水蘊草處於 40°C 的環境下，細胞壁會軟化，且細胞質不流動。在顯微鏡下其葉綠體聚集成團，甚至融合成一團綠色（如圖十六及圖十七）。



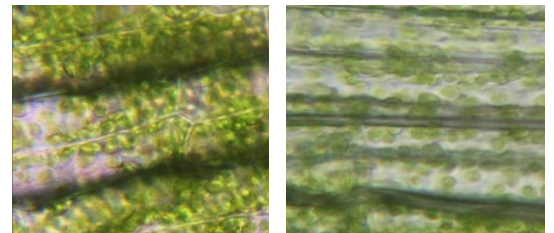
圖十四、不同溫度對細胞質流流速的影響



圖十五、細胞質流於不同溫度下的平均流速

表七、細胞質流於不同溫度下的平均流速

溫度 (°C)	10	20	30	40
平均流速 (nm/s)	11.83	11.66	11.46	0.00
標準差	1.18	0.70	1.28	0.00



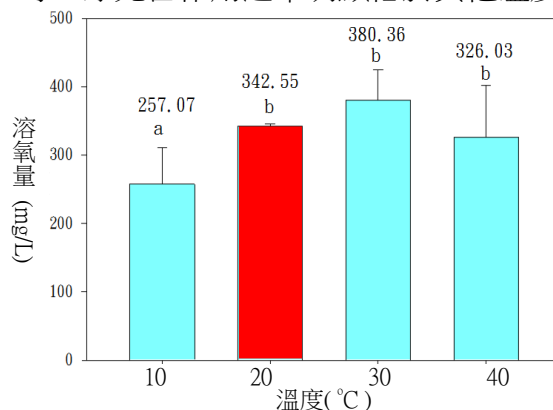
圖十六、40°C 葉綠體的形態 (15×60) (左)

圖十七、對照組 (15×60) (右)

五、實驗九 (二)：不同溫度下平均溶氧量：

我們將不同溫度測得的溶氧量當作淨光合作用速率，求其平均值及標準差（如表八）並繪製成長條圖（如圖十八）。我們發現：

- (一) 當溫度 10°C 時，淨光合作用速率明顯低於其他溫度組別。



圖十八、不同溫度下平均溶氧量

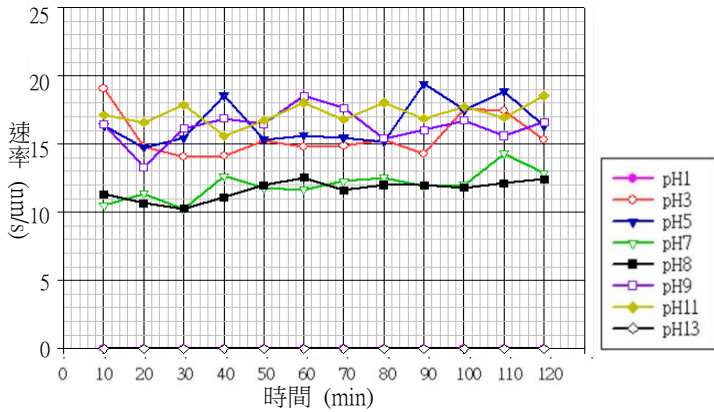
表八、不同溫度下平均溶氧量

溫度 (°C)	10	20	30	40
平均溶氧量 (mg/L)	257.07	342.55	380.36	326.03
標準差	54.23	3.02	44.68	75.21

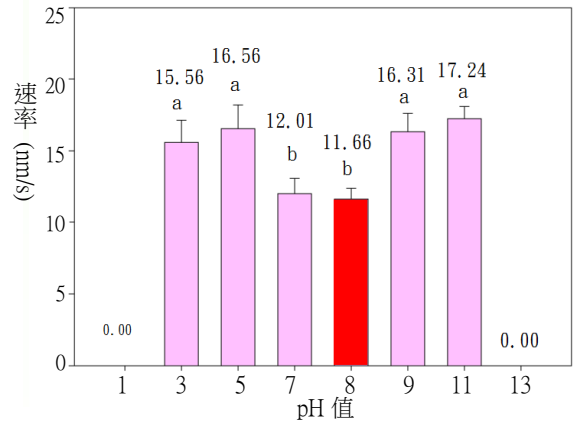
六、實驗四：不同 pH 值對細胞質流流速的影響：

在不同 pH 值下，我們連續觀察水蘊草細胞質流流速並畫成折線圖（如圖十九），求其平均流速及標準差（如表九）並繪製成長條圖（如圖二十）。我們發現：

- （一） 當於 pH3、pH5、pH9 及 pH11 時，細胞質流流速明顯高於 pH7 及 pH8。
- （二） pH1 及 13 的水溶液使水蘊草變黃變軟，葉綠素溶出，且細胞質不流動。



圖十九、不同 pH 值對細胞質流流速的影響



圖二十、細胞質流於不同 pH 值下的平均流速

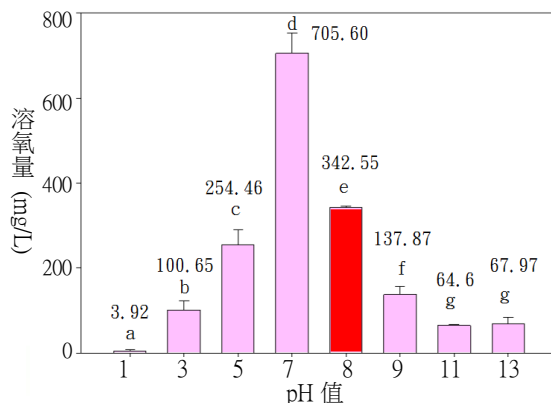
表九、細胞質流於不同 pH 值下的平均流速

pH值	1	3	5	7	8	9	11	13
平均流速 (nm/s)	0.00	15.56	16.56	12.01	11.66	16.31	17.24	0.00
標準差	0.00	1.59	1.62	1.08	0.70	1.27	0.82	0.00

七、實驗九（三）：不同 pH 值對水蘊草淨光合作用速率的影響：

我們將不同 pH 值測得的溶氧量當作淨光合作用速率，求其平均值及標準差（如表十）並繪製成長條圖（如圖二十一）。我們發現：

- （一） 當於 pH7 時，淨光合作用速率明顯高於其他組別。
- （二） 當 pH 值介於 1~7 之間時，pH 值愈大，淨光合作用速率顯著上升。
- （三） 當 pH 值介於 7~13 之間時，pH 值愈大，淨光合作用速率顯著下降。



圖二十一、不同 pH 值下平均溶氧量

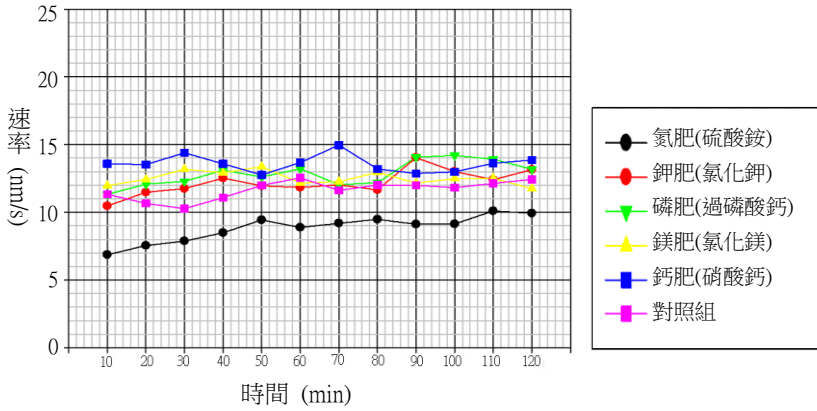
表十、不同 pH 值下平均溶氧量

pH 值	1	3	5	7	8	9	11	13
平均溶氧量 (mg/L)	3.92	100.65	254.46	705.60	342.55	137.87	64.65	67.97
標準差	4.53	22.07	34.97	47.69	3.02	19.31	2.10	15.13

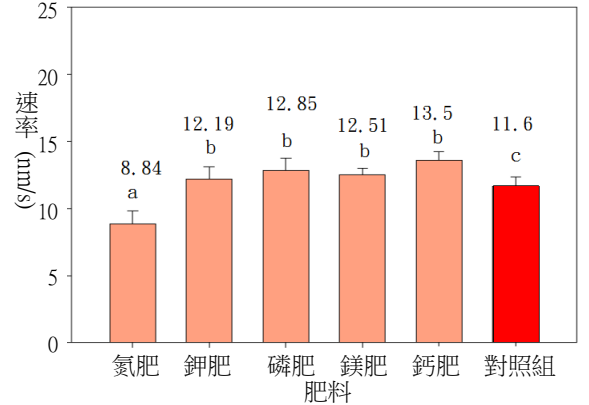
八、實驗五：不同肥料對細胞質流流速的影響：

在不同肥料下，我們連續觀察水蘊草細胞質流流速並畫成折線圖（如圖二十二），求其平均流速及標準差（如表十一）並繪製成長條圖（如圖二十三）。我們發現：

- (一) 當施用鉀肥、磷肥、鎂肥及鈣肥時，水蘊草細胞質流流速明顯高於對照組。
- (二) 當施用氮肥時，水蘊草細胞質流流速明顯低於對照組。



圖二十二、不同肥料對細胞質流流速的影響



圖二十三、細胞質流於不同肥料下的平均流速

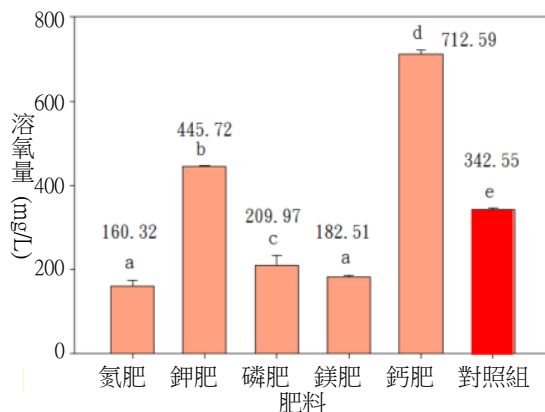
表十一、細胞質流於不同肥料下的平均流速

肥料	氮肥	鉀肥	磷肥	鎂肥	鈣肥	對照組
平均流速 (nm/s)	8.84	12.19	12.85	12.51	13.59	11.66
標準差	0.97	0.92	0.91	0.50	0.63	0.70

九、實驗九（四）：不同肥料對水蘊草淨光合作用速率的影響：

我們將不同肥料測得的溶氧量當作淨光合作用速率，求其平均值及標準差（如表十二）並繪製成長條圖（如圖二十四）。我們發現：

- (一) 當施用鉀肥及鈣肥時，淨光合作用速率明顯高於對照組。
- (二) 當施用氮肥、磷肥及鎂肥時，淨光合作用速率明顯低於對照組。



圖二十四、不同肥料下平均溶氧量

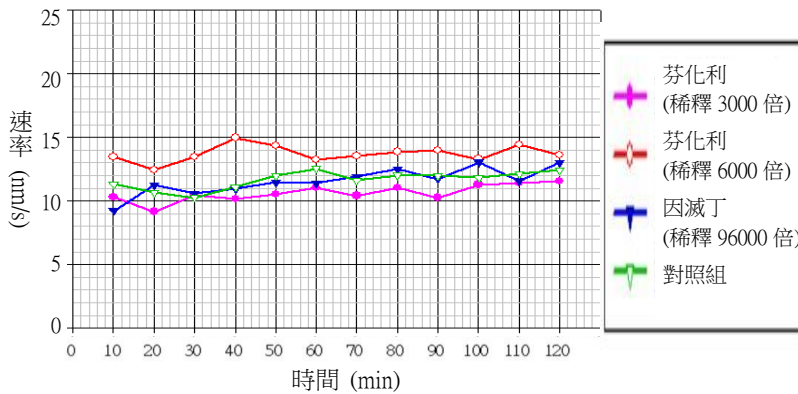
表十二、不同肥料下平均溶氧量

肥料	氮肥	鉀肥	磷肥	鎂肥	鈣肥	對照組
平均溶氧量 (mg/L)	160.32	445.72	209.97	182.51	712.58	342.55
標準差	14.19	1.57	22.97	2.88	8.49	3.02

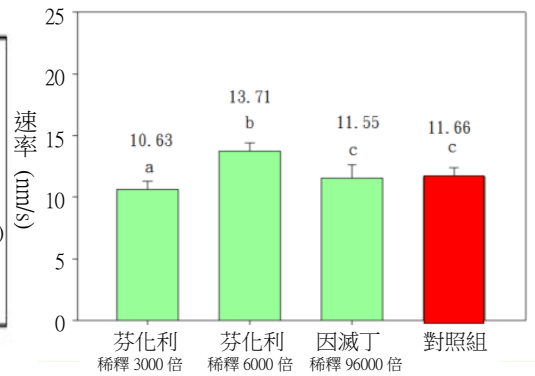
十、實驗六：不同農藥對細胞質流流速的影響：

在不同農藥下，我們連續觀察水蘊草細胞質流流速並畫成折線圖（如圖二十五），求其平均流速及標準差（如表十三）並繪製成長條圖（如圖二十六）。我們發現：

- （一） 施用因滅丁時，須稀釋至 96000 倍才不會使水蘊草細胞質流停止，所以我們做了不同稀釋倍率的芬化利兩組，但僅做一組因滅丁。
- （二） 當施用稀釋 6000 倍的芬化利時，水蘊草細胞質流流速明顯高於對照組。
- （三） 當施用稀釋 96000 倍的因滅丁時，與對照組無顯著差異。



圖二十五、不同農藥對細胞質流流速的影響



圖二十六、細胞質流於不同農藥下的平均流速

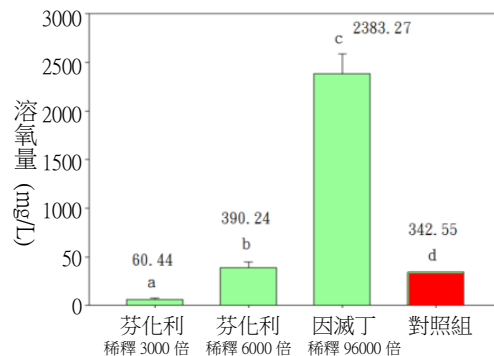
表十三、細胞質流於不同農藥下的平均流速

農藥	芬化利(3000)	芬化利(6000)	因滅丁(96000)	對照組
平均流速 (nm/s)	10.63	13.71	11.55	11.66
標準差	0.67	0.66	1.05	0.70

十一、 實驗九（五）：不同農藥對水蘊草淨光合作用速率的影響：

我們將不同農藥測得的溶氧量當作淨光合作用速率，求其平均值及標準差（如表十四）並繪製成長條圖（如圖二十七）。我們發現：

- （一） 當施用稀釋 96000 倍的因滅丁時，淨光合作用速率明顯高於對照組。
- （二） 當施用稀釋 3000 倍的芬化利時，淨光合作用速率明顯低於對照組。
- （三） 芬化利稀釋倍率愈高，淨光合作用速率愈不被抑制，甚至高於對照組。



圖二十七、不同農藥下平均溶氧量

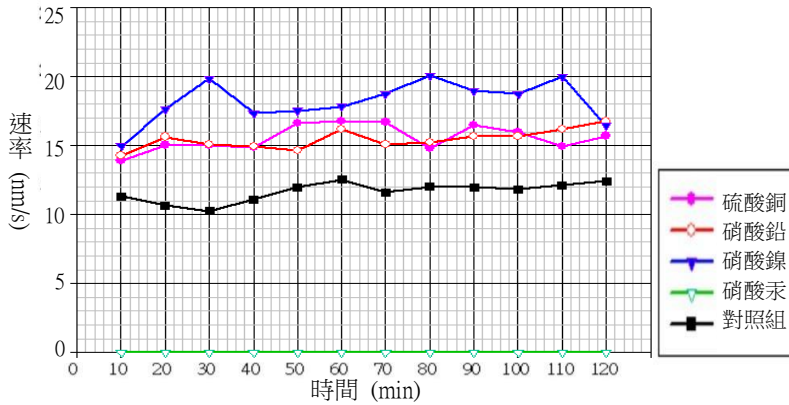
表十四、不同農藥下平均溶氧量

農藥	芬化利(3000)	芬化利(6000)	因滅丁(96000)	對照組
平均溶氧量 (mg/L)	60.44	390.24	2383.27	342.55
標準差	17.09	58.53	207.49	3.02

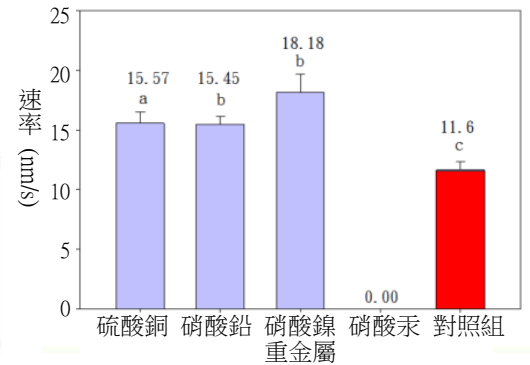
十二、 實驗七：不同重金屬對細胞質流流速的影響：

在不同重金屬下，我們連續觀察水蘊草細胞質流流速並畫成折線圖（如圖二十八），求平均流速及標準差（表十五）並繪製成長條圖（如圖二十九）。我們發現：

- (一) 當施用硫酸銅及硝酸鉛時，水蘊草細胞質流流速明顯高於對照組。
- (二) 當施用硝酸鎳時，水蘊草細胞質流流速甚至比硫酸銅及硝酸鉛高。
- (三) 硝酸汞使水蘊草軟化且溶出葉綠素，葉綠體聚集成團，細胞質流停止。



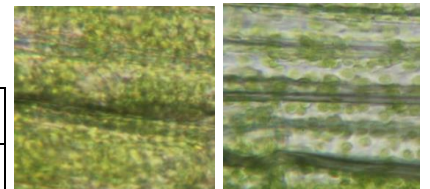
圖二十八、不同重金屬對細胞質流流速的影響



圖二十九、細胞質流於不同重金屬下的平均流速

表十五、細胞質流於不同重金屬下的平均流速

重金屬	硫酸銅	硝酸鉛	硝酸鎳	硝酸汞	對照組
平均流速 (nm/s)	15.57	15.45	18.18	0.00	11.66
標準差	0.94	0.71	1.53	0.00	0.70

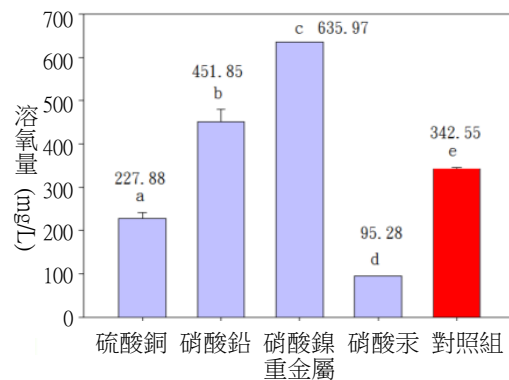


圖三十、硝酸汞下葉綠體 (15x60) (左)
圖三十一、對照組 (15x60) (右)

十三、 實驗九 (六)：不同重金屬對水蘊草淨光合作用速率的影響：

我們將不同重金屬測得的溶氧量當作淨光合作用速率，求其平均值及標準差（如表十六）並繪製成長條圖（如圖三十二）。我們發現：

- (一) 當施用硝酸鉛及硝酸鎳時，淨光合作用速率明顯高於對照組。
- (二) 當施用硫酸銅及硝酸汞時，淨光合作用速率明顯低於對照組。



圖三十二、不同重金屬下平均溶氧量

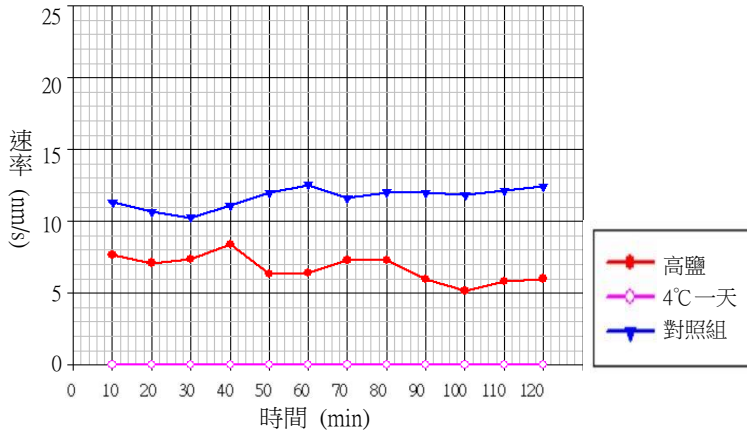
表十六、不同重金屬下平均溶氧量

重金屬	硫酸銅	硝酸鉛	硝酸鎳	硝酸汞	對照組
平均溶氧量 (mg/L)	227.88	451.85	635.97	95.28	342.55
標準差	13.01	27.8	0.12	0.14	3.02

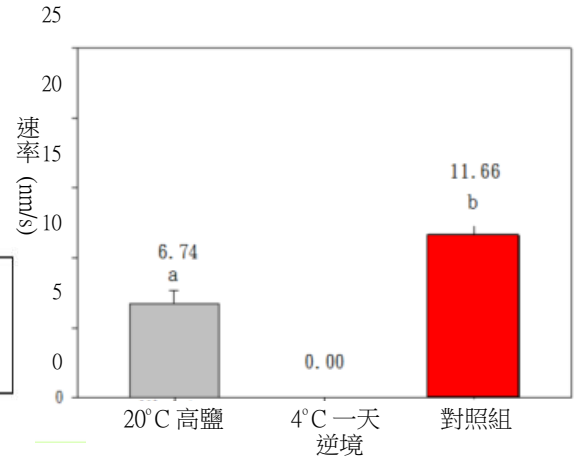
十四、 實驗八：不同逆境對細胞質流流速的影響（1）：

在不同逆境下，連續觀察水蘊草細胞質流流速並畫成折線圖（如圖三十三），求其平均流速及標準差（如表十七）並繪製成長條圖（如圖三十四）。我們發現：

- （一） 當水蘊草置於高鹽溶液中時，水蘊草細胞質流流速明顯低於對照組。
- （二） 4°C 一天會使細胞質流停止。



圖三十三、不同逆境對細胞質流流速的影響(1)



圖三十四、細胞質流於不同逆境下的平均流速(1)

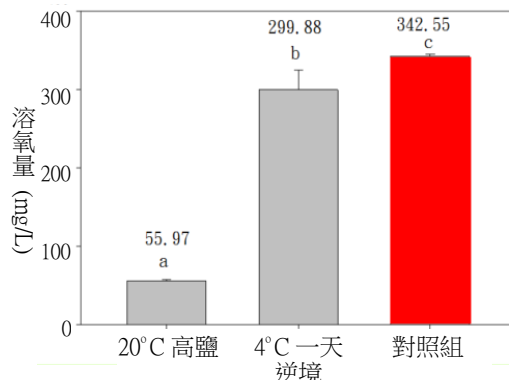
表十七、細胞質流於不同逆境下的平均流速(1)

逆境	高鹽	4°C 一天	對照組
平均流速 (nm/s)	6.74	0.00	11.66
標準差	0.93	0.00	0.70

十五、 實驗九（七）：不同逆境對水蘊草淨光合作用速率的影響（1）：

我們將不同逆境測得的溶氧量當作淨光合作用速率，求其平均值及標準差（如表十八）並繪製成長條圖（如圖三十五）。我們發現：

- （一） 當將水蘊草置於高鹽及 4°C 一天時，淨光合作用速率明顯低於對照組。
- （二） 當將水蘊草置於高鹽處理時，淨光合作用速率明顯低於對照組，甚至比 4°C 一天（低溫逆境）的淨光合作用速率更低。



圖三十五、不同逆境下平均溶氧量(1)

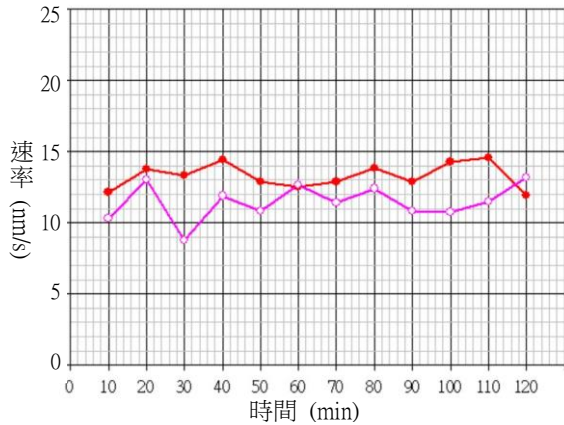
表十八、不同逆境下平均溶氧量(1)

逆境	高鹽	4°C 一天	對照組
平均溶氧量 (mg/L)	55.97	299.88	342.55
標準差	2.10	24.90	3.02

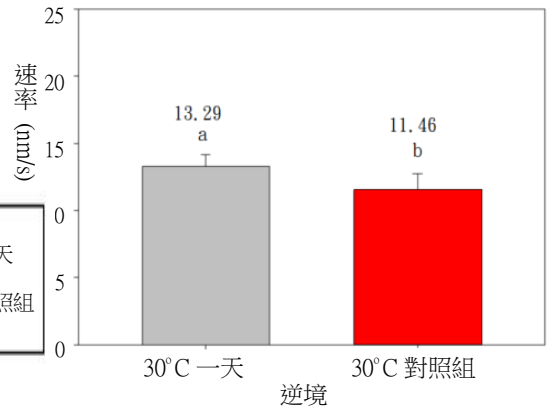
十六、 實驗八：不同逆境對細胞質流流速的影響（2）：

在不同逆境下，連續觀察水蘊草細胞質流流速並畫成折線圖（如圖三十六），求其平均流速及標準差（如表十九）並繪製成長條圖（如圖三十七）。我們發現：

（一） 當水蘊草置於 30°C 一天時，水蘊草細胞質流流速明顯高於 30°C 對照組。



圖三十六、不同逆境對細胞質流流速的影響(2)



圖三十七、細胞質流於不同逆境下的平均流速(2)

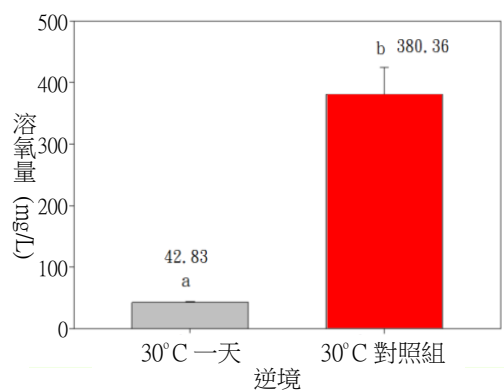
表十九、細胞質流於不同逆境下的平均流速(2)

逆境	30°C 一天	30°C 對照組
平均流速 (nm/s)	13.29	11.46
標準差	0.89	1.28

十七、 實驗九（七）：不同逆境對水蘊草淨光合作用速率的影響（2）：

我們將不同逆境測得的溶氧量當作淨光合作用速率，求其平均值及標準差（如表二十）並繪製成長條圖（如圖三十八）。我們發現：

（一） 當將水蘊草置於 30°C 一天時，淨光合作用速率明顯低於 30°C 對照組。



圖三十八、不同逆境下平均溶氧量(2)

表二十、不同逆境下平均溶氧量(2)

逆境	30°C 一天	30°C 對照組
平均溶氧量 (mg/L)	42.83	380.36
標準差	1.21	44.68

陸、討論

一、淨光合作用與溶氧量之關係：

由 Campbell biology 得知，細胞質流需要 ATP 供給，而水蘊草產生能量的機制主要為經由光合作用將光能轉變為化學能，再經由呼吸作用將化學能轉變為 ATP。目前高中程度無法精準測得細胞內 ATP 的變化。而

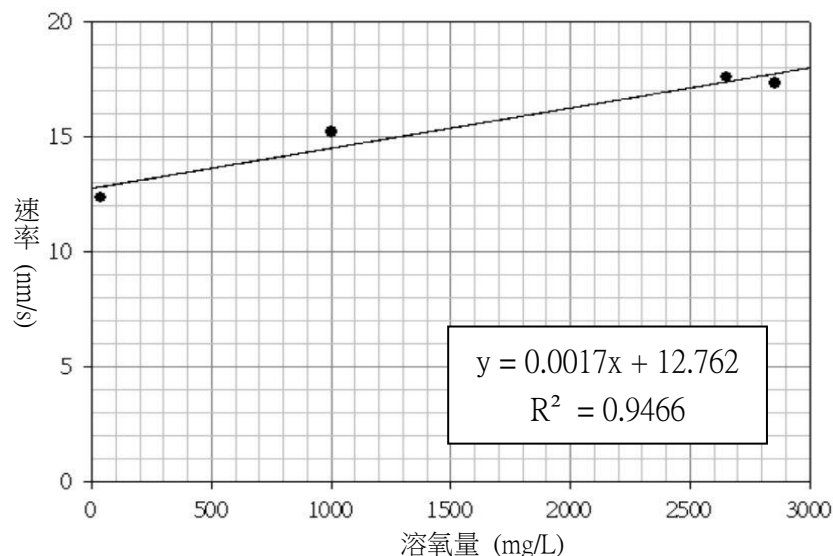
$$\begin{array}{ccc} \text{單位時間內} & & \text{單位時間內} \\ \text{光合作用釋出的氧氣} & - & \text{呼吸作用消耗的氧氣} \\ & & = \text{淨光合作用速率} \end{array}$$

故我們在實驗中利用 PASCO 裝置檢測水蘊草的溶氧量，表示為淨光合作用速率。若溶氧量愈高，則淨光合作用速率愈高，也合理推測細胞內的 ATP 含量愈多，藉此以能量的角度探討水蘊草細胞質流流速的機制層面。

二、光度對細胞質流流速及淨光合作用速率的影響：

由實驗二及實驗九（一）綜合討論：

（一）我們將光度介於 0~19 PPFd 間的細胞質流流速及溶氧量進行迴歸分析（如圖三十九），顯示出其之間具高度正相關（ $R^2=0.9466$ ），證實我們提出利用淨光合作用速率（溶氧量）來解釋細胞質流流速的假設是合理的，對本研究後續的討論非常重要。



圖三十九、細胞質流流速及溶氧量之間的迴歸分析

（二）由圖十二及圖十三可知，當光度介於 0~19 PPFd 間時，細胞質流流速及淨光合作用速率均隨光度提高而上升。當淨光合作用之溶氧量在 2859 mg/L 以內時，細胞內的 ATP 可讓細胞質流流速達到此狀態的最高峰（約 17.59 nmm/s）。

(三) 由圖十二及圖十三可知，當光度大於 19 PPFd 時，即使水蘊草淨光合作用速率上升，細胞質流流速卻下降。我們推測 ATP 的量對於細胞質流流速的影響具有一上限的臨界值，當能量供應超過此臨界值時，細胞質流流速便不再上升。我們推測造成此結果的可能原因有二：一是強光本身所造成的影響，二是當細胞內 ATP 過多時，生物體內會為了維持生理機制恆定，而產生抑制的效果。此現象與生長素影響根的生長方式類似，當根接受較高劑量的生長素時，反而會抑制其生長。

三、溫度對細胞質流流速及淨光合作用速率的影響：

由實驗三及實驗九（二）綜合討論：

(一) 由圖十五及圖十八可知，當溫度為 10°C~30°C 時，淨光合作用速率隨溫度升高而上升。我們將 10°C~30°C 之淨光合作用速率值代入圖三十九之公式： $y=0.0017x+12.762$ 之 x ，得到的 y 值無顯著差異，因此推測此狀態下淨光合作用所提供的 ATP 已足夠讓細胞質流流速達到飽和的狀態（10~11 nm/s）。

(二) 由圖十五及圖十八可知，當溫度為 40°C 時，水蘊草淨光合作用速率與 20°C 及 30°C 沒有顯著差異，但細胞質流流速卻為 0 nm/s。我們推測是因為溫度太高而影響肌動蛋白分子活性，使其無法利用淨光合作用提供的 ATP，導致細胞質流流速為 0 nm/s。或者可能是因為細胞膜內的脂質液化，導致細胞膜脂質層破裂，對離子的選擇性消失。

四、pH 值對細胞質流流速及淨光合作用速率的影響：

由實驗四及實驗九（三）綜合討論：

(一) 由圖二十一可知，當 pH 值為 7~8 時，水蘊草淨光合作用速率較高，我們推測是因為葉綠體酵素系統在接近水蘊草原生環境的 pH 值中活性較高。

(二) 由圖二十可知，在酸（pH3~pH5）及鹼（pH9~pH11）的環境下，細胞質流流速顯著較高。我們推測影響細胞質流流速的蛋白質機制可能很複雜，而 pH 值會導致其在弱酸及弱鹼的環境下能有較高的流速。但此結果與水蘊草原生環境的 pH 值不相符，這點很有趣，未來我們會進一步探討其原因，期許能用水蘊草當作指標生物，利用生物檢測的方式初步檢測水域環境的 pH 值。

五、肥料對細胞質流流速及淨光合作用速率的影響：

由實驗五及實驗九（四）綜合討論：

- （一）由圖二十三及圖二十四可知，水蘊草淨光合作用速率在含有鉀肥的溶液中較快，符合參考資料〔六〕中所敘述之鉀離子有助於光合作用的進行，也符合 ATP 增加，細胞質流流速也增加的假設。
- （二）由圖二十三可知，在含有氮肥的溶液中，細胞質流流速比對照組低 24%。而從參考資料〔七〕可知雖然氮肥助於植物生長，但若施加過多時，則會對其產生抑制的效果。
- （三）由二十三及圖二十四可知，在含有磷肥及鎂肥的溶液中，細胞質流流速僅微量增加（約 7%），但其淨光合作用速率卻沒有增加，故可排除 ATP 因子，推測是磷肥及鎂肥影響蛋白質因子導致流速變快。
- （四）由圖二十三及圖二十四可知，在含有鈣肥的溶液中，細胞質流流速及淨光合作用速率皆顯著上升，我們推測可能是因為鈣離子有助於肌鈣蛋白的運作，而鈣離子與 ATP 結合位點的存在，也說明了細胞質流與 ATP 的關聯，證實了我們的實驗方法是可行的。

六、農藥對細胞質流流速及淨光合作用速率的影響：

由實驗六及實驗九（五）綜合討論：

- （一）由圖二十六及圖二十七可知，當水蘊草行淨光合作用所釋出之溶氧量小於 1500 mg/L 時，細胞質流流速隨淨光合作用速率提高而上升，與先前假設相符。
- （二）由圖二十六及圖二十七可知，稀釋倍數低的芬化利對水蘊草淨光合作用與細胞質流的抑制性皆較稀釋倍數高的芬化利還高，且使其細胞質流流速與淨光合作用速率明顯降低。而從參考資料〔九〕中得知，芬化利會影響鈉離子通道的開關，因此我們推測膜蛋白也與細胞質流和光合作用有相當的關聯性。
- （三）雖然因滅丁屬於低毒性農藥，但其對水生物卻具有較高的毒性。在農藥實驗中，我們曾使用稀釋倍數較低的因滅丁溶液做為實驗變因，但發現細胞質流流速為 0nm/s，直到稀釋至 96000 倍時，細胞質流才有顯著移動的趨勢。由圖二十六及圖二十七可知，稀釋 96000 倍的因滅丁不會影響細胞質流，卻能夠促進淨光合作用速率。稀釋後流入水域仍可能促使水生植物淨光合作用速率大幅提升，是否會造成水生植物過度繁殖而影響水域生態，此數據可提供後續的參考數值。

七、重金屬對細胞質流流速及淨光合作用速率的影響：

由實驗七及實驗九（六）綜合討論：

- （一）由圖二十九可知，在硝酸鉛及硝酸鎳的溶液中，水蘊草細胞質流流速皆比對照組還快。而從參考資料〔二〕中得知，重金屬會使植物啟動熱休克蛋白保護機制。因此我們推測可能是因為植物的熱休克蛋白保護機制使其細胞質流流速維持，甚至變快。
- （二）由圖二十九及圖三十二可知，在硝酸鉛、硝酸鎳及對照組的實驗中，細胞質流流速與淨光合作用呈線性關係，與圖三十八的假設相符。
- （三）由圖二十九及圖三十二可知，在硫酸銅的溶液中，細胞質流流速增加，但其淨光合作用速率卻沒有增加，故可排除 ATP 因子，推測是硫酸銅影響蛋白質因子導致流速變快。此現象可能與有些蛋白質需金屬離子協助作用有關，如鐵離子、銅離子有助於血紅素及血清素攜帶氧氣，因此我們推測相關重金屬可能會影響細胞質流的蛋白質。
- （四）由圖二十九可知，在硝酸汞的溶液中細胞質流流速為 0 nm/s，我們推測可能是因為汞離子會影響蛋白質的活性。未來會深入探討原因，期許能用水蘊草當作指標生物，利用生物檢測的方式初步檢測水質是否有汞污染。

八、光度、溫度、pH 值、肥料、農藥及重金屬對細胞質流流速的影響：

- （一）綜合以上結果討論，未來我們可以藉由研究蛋白質體學，推測出何種蛋白質是影響細胞質流的主因。

九、逆境對細胞質流流速及淨光合作用速率的影響：

由實驗八及實驗九（七）綜合討論：

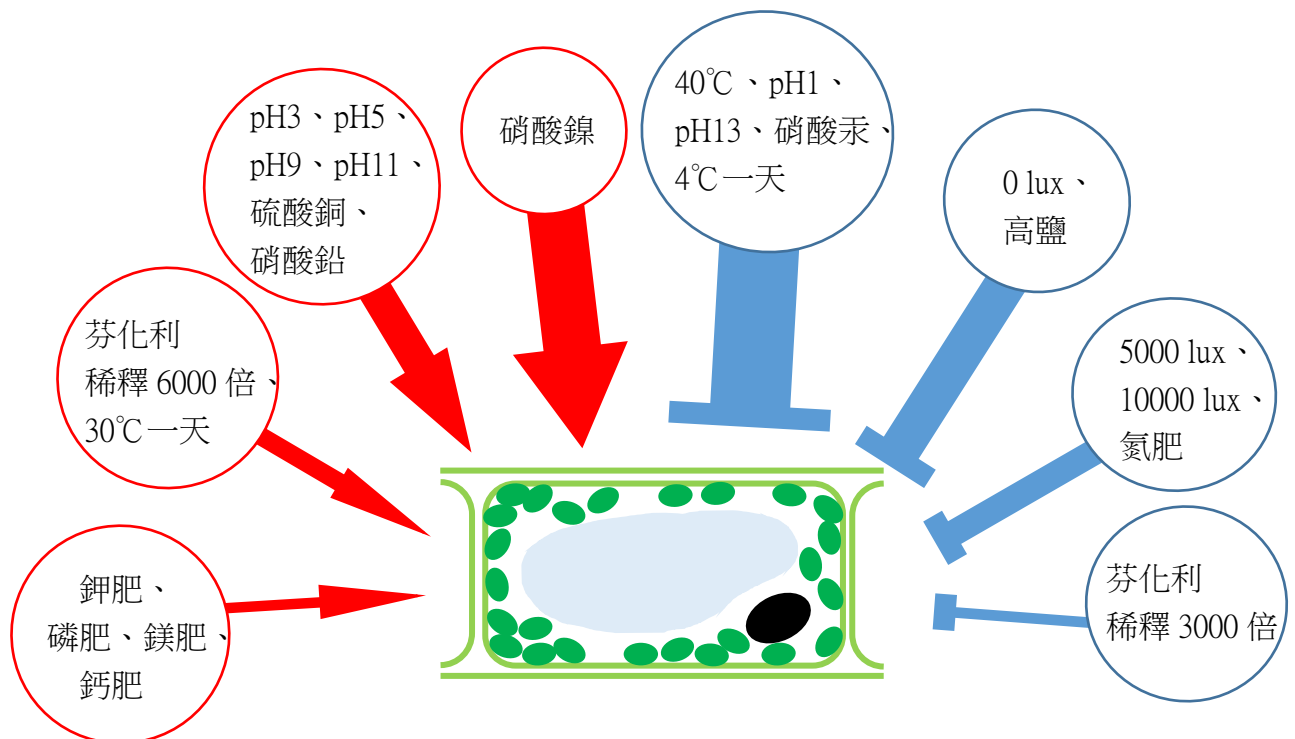
- （一）由圖三十四及圖三十五可知，在高鹽溶液中水蘊草細胞質流流速顯著下降，我們推測是因為高滲透壓導致水蘊草葉肉細胞脫水。細胞脫水可能會使細胞質的黏稠度提升，造成細胞質流流速變慢。而淨光合作用速率亦可能是因為如此，導致化學反應變慢。
- （二）在高溫逆境的實驗中，我們曾以 40°C 及 35°C 作為實驗變因，但發現細胞質流流速為 0 nm/s，因此便以高於其原生環境溫度的 30°C 作為此實驗之變因。由圖三十七及圖三十八可知，當水蘊草經 30°C 的高溫逆境處理一天之後，細胞質流流速比實驗二中的 30°C 還要快，兩實驗的相異處為經高溫處理下的時間

長短不同。因此我們推測經過 24 小時高溫處理後的水蘊草會啟動熱休克蛋白保護機制，使細胞質流流速維持。而其淨光合作用速率較 30°C 對照組有顯著下降的情形，推測是因為長期高溫使細胞內蛋白質變性甚至凝集，影響葉綠體酵素系統，進而使淨光合作用速率降低。由圖三十四及圖三十五可知，在高鹽溶液中水蘊草細胞質流流速顯著下降，我們推測是因為高滲透壓導致水蘊草葉肉細胞脫水。細胞脫水可能會使細胞質的黏稠度提升，造成細胞質流流速變慢。而淨光合作用速率亦可能是因為如此，導致化學反應變慢。

- (三) 由圖三十四及圖三十五可知，經低溫逆境處理一天之淨光合作用速率與對照組的差異甚小。而本實驗是以植物於單位時間內行光合作用所產生的氧氣，扣掉於單位時間內行呼吸作用消耗掉的氧氣，作為其淨光合作用之速率。因此我們推測在低溫環境下，不僅植物的光合作用的速率下降，呼吸作用的速率亦下降，所以兩者間的差值能維持，導致測量出的淨光合作用速率與對照組差異小。而其細胞質流流速為 0 nm/s，我們推測是因為低溫導致植物新陳代謝速率降低，造成細胞質流流速降低。由參考資料〔八〕可知，當溫度低於 10°C 時，可能造成植物啟動寒害休眠的機制。
- (四) 由圖三十四及圖三十七可知，4°C 處理一天之水蘊草細胞質流流速與對照組的差異，比 30°C 處理一天者還大。我們推測是因為 4°C 與水蘊草原生環境 20°C 的溫度差異較大，而 30°C 與水蘊草原生環境的 20°C 的溫度差異較小，造成此結果。且植物有熱休克蛋白保護機制，可以耐熱，因此其細胞質流流速與對照組的差異較不明顯，水生植物的耐熱機制較耐寒機制穩定。

柒、結論

- 一、當光度小於 19 PPFd 時，細胞質流流速及淨光合作用速率呈高度正相關，但當光度大於 19 PPFd 時，雖然水蘊草淨光合作用速率上升，細胞質流流速卻下降。
- 二、當溫度大於 30°C 時，細胞質流流速為 0 nm/s，推測與蛋白質活性有關。
- 三、在酸 (pH3~ pH5) 及鹼 (pH9~ pH11) 的環境下，細胞質流有顯著較高的流速，推測與蛋白質活性有關。
- 四、水蘊草在氮肥中的細胞質流流速顯著下降；在鉀肥中的淨光合作用速率顯著上升；在鈣肥中的細胞質流流速及淨光合作用速率皆顯著上升。
- 五、水蘊草細胞質流流速及淨光合作用速率隨著芬化利稀釋倍數的增加而上升；因滅丁促使淨光合作用速率顯著上升。
- 六、於硝酸鉛及硝酸鎳水溶液中的水蘊草，其細胞質流流速顯著變快。而於硝酸汞水溶液中者，其細胞質流流速為 0 nm/s。
- 七、高溫逆境對細胞質流流速的影響低於低溫逆境；但對淨光合作用速率的影響高於低溫逆境。高溫逆境使細胞質流流速及淨光合作用速率顯著變慢。



圖四十、各種變因對細胞質流的影響 (↓促進；⊥抑制)

捌、參考資料及其他

- 一、Reece, Jane B./ Urry, Lisa A./ Cain, Michael L./ Wasserman, Steven A./ Minorsky, Peter V. (2010) . *Unit two: The Cell, Chapter 6: A Tour of the Cell. Campbell Biology.* (pp. 117-118). London: Pearson College Div.
- 二、William G. Hopkins; Norman P.A. Huner (2013) . *Introduction to plant physiology, 4th ed.*
- 三、Motoki Tominaga, Atsushi Kimura, Etsuo Yokota, Takeshi Haraguchi, Teruo Shimmen, Keiichi Yamamoto, Akihiko Nakano, Kohji Ito (2013, November 11) . *Volume 27, Issue 3. Cytoplasmic Streaming Velocity as a Plant Size Determinant.* (pp. 345-352). Amsterdam: Elsevier Inc.
- 四、Dr. Adam Ross. *Muscle Physiology* . Napa Valley College. from http://napavalley.edu/people/ross/Documents/Lec16_Muscle1_219.pdf
- 五、鄭湧涇、林金盾、曾哲明 (2014) . 選修生物(上) . 新北市：康熙文化
- 六、陳玟瑾 (2014) . 元素鉀與植物營養及植物病害之關係 . 取自 http://r.search.yahoo.com/_ylt=A8tUwYYQfelWXFEAicpr1gt.;_ylu=X3oDMTBybHBsNjc1BGNvbG8DdHcxBHBvcwM5BHZ0aWQDBHNIYwNzcg--/RV=2/RE=1458171280/RO=10/RU=http%3a%2f%2fwww.tdais.gov.tw%2fhtmlarea_file%2fweb_articles%2ftdares%2f7387%2fTC0211618.pdf/RK=0/RS=4sxEkC.et7WEYwUW_rjtf9dkeyF0-
- 七、賴鴻裕、劉程煒、陳柏青 (2011) . 農業上的氮 . 科學發展 . 取自 http://r.search.yahoo.com/_ylt=A8tUwYEPulpXSkA2RBr1gt.;_ylu=X3oDMTByYzhha3F2BGNvbG8DdHcxBHBvcwMxBHZ0aWQDBHNIYwNzcg--/RV=2/RE=1465592463/RO=10/RU=http%3a%2f%2fejournal.stpi.narl.org.tw%2fNSC_INDEX%2fJournal%2fEJ0001%2f10011%2f10011-06.pdf/RK=0/RS=aWowyqR6csWWcgKpQ.5e7GsYPmU-
- 八、行政院農業委員會農業試驗所 (2005) . 低溫害 . 取自 <http://amis.tari.gov.tw/MapManager/PageContent.aspx?type=C&id=21>
- 九、柯志翰、柯清水 (2005) . 脫氮作用及脫氮細菌 . 翠湖水草網站 . 取自 <http://www.tbs-aqua.com/encyclopaedia/paper?paperID=82>
- 十、黃德昌、黃秀珠 . 農藥種類與特性簡介 . 行政院農業委員會動植物防疫檢疫局臺中分局、行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所 . 取自 <http://kmsafe.kinmen.gov.tw/upload/cht/attachment/5180ecc00db40a8685c2f7f39f76a41a.pdf>

玖、附錄

一、附錄一：不同光度對細胞質流流速的影響（原始數據）

V (nm/s) t (min)	光 (lux)					
	0 (0.0 PPFD)	100 (1.9 PPFD)	500 (9.5 PPFD)	1000 (19 PPFD)	5000 (95 PPFD)	10000 (190 PPFD)
0~10	9.25	14.14	18.07	17.06	13.94	15.18
10~20	10.33	18.11	19.43	17.87	13.93	14.25
20~30	11.55	17.63	17.47	17.26	13.60	13.61
30~40	11.07	17.32	19.70	15.30	13.61	14.13
40~50	11.13	17.20	16.42	18.48	13.33	13.40
50~60	11.86	16.33	16.83	18.93	14.76	13.52
60~70	12.76	14.27	18.22	16.62	13.95	14.49
70~80	13.79	16.33	17.31	18.02	14.46	13.41
80~90	13.62	15.97	15.67	18.32	15.48	14.12
90~100	11.75	16.29	17.08	19.13	14.55	14.61
100~110	12.13	15.46	15.98	17.75	14.51	13.58
110~120	12.38	15.93	15.86	13.83	13.65	12.96
平均	12.35	15.22	17.33	17.59	14.15	13.94
標準差	1.29	1.23	1.32	1.54	0.62	0.63

二、附錄二：不同溫度對細胞質流流速的影響（原始數據）

V (nm/s) t (min)	T (°C)				
	0	10	20	30	40
0~10	8.23	13.02	11.33	10.29	0.00
10~20	9.58	10.52	10.66	13.05	0.00
20~30	11.16	10.78	10.27	8.78	0.00
30~40	11.98	9.72	11.09	11.89	0.00
40~50	11.39	11.92	11.99	10.79	0.00
50~60	12.22	12.02	12.54	12.66	0.00
60~70	10.93	12.37	11.62	11.42	0.00
70~80	10.29	14.14	12.01	12.40	0.00
80~90	10.11	12.24	11.99	10.79	0.00
90~100	10.98	11.40	11.82	10.74	0.00
100~110	11.13	11.30	12.13	11.49	0.00
110~120	9.90	12.50	12.43	13.18	0.00
平均	10.66	11.83	11.66	11.46	0.00
標準差	1.11	1.18	0.70	1.28	0.00

三、附錄三：不同 pH 值對細胞質流流速的影響（原始數據）

V (nm/s) t (min)	pH 值							
	1	3	5	7	8	9	11	13
0~10	0.00	19.04	16.31	10.49	11.33	16.42	17.12	0.00
10~20	0.00	14.79	14.67	11.38	10.66	13.31	16.59	0.00
20~30	0.00	14.04	15.43	10.20	10.27	16.15	17.85	0.00
30~40	0.00	14.13	18.55	12.65	11.09	16.88	15.57	0.00
40~50	0.00	15.22	15.32	11.78	11.99	16.47	16.74	0.00
50~60	0.00	14.76	15.64	11.67	12.54	18.54	18.04	0.00
60~70	0.00	14.84	15.47	12.30	11.62	17.64	16.81	0.00
70~80	0.00	15.29	15.17	12.53	12.01	15.4	18.04	0.00
80~90	0.00	14.28	19.42	11.90	11.99	16.03	16.88	0.00
90~100	0.00	17.59	17.51	12.01	11.82	16.72	17.71	0.00
100~110	0.00	17.45	18.86	14.29	12.13	15.6	16.96	0.00
110~120	0.00	15.32	16.33	12.88	12.43	16.62	18.56	0.00
平均	0.00	15.56	16.56	12.01	11.66	16.31	17.24	0.00
標準差	0.00	1.59	1.62	1.08	0.70	1.27	0.82	0.00

四、附錄四：不同肥料對細胞質流流速的影響（原始數據）

V (nm/s) t (min)	肥料					對照組
	氮肥 (硫酸銨)	鉀肥 (氯化鉀)	磷肥 (過磷酸鈣)	鎂肥 (氯化鎂)	鈣肥 (硝酸鈣)	
0~10	6.87	10.47	11.33	11.97	13.60	11.33
10~20	7.55	11.48	12.08	12.42	13.52	10.66
20~30	7.88	11.75	12.29	13.18	14.39	10.27
30~40	8.49	12.52	13.11	12.92	13.58	11.09
40~50	9.44	11.96	12.61	13.37	12.76	11.99
50~60	8.88	11.84	13.21	12.16	13.69	12.54
60~70	9.19	12.03	12.04	12.25	14.96	11.62
70~80	9.48	11.66	12.19	12.95	13.20	12.01
80~90	9.12	14.04	14.07	12.16	12.88	11.99
90~100	9.14	13.01	14.20	12.48	12.99	11.82
100~110	10.10	12.41	13.92	12.51	13.62	12.13
110~120	9.93	13.15	13.18	11.75	13.86	12.43
平均	8.84	12.19	12.85	12.51	13.59	11.66
標準差	0.97	0.92	0.91	0.50	0.63	0.70

五、附錄五：不同農藥對細胞質流流速的影響（原始數據）

V (nm/s) t (min)	農藥			對照組
	芬化利 稀釋 3000 倍	芬化利 稀釋 6000 倍	因滅丁 稀釋 96000 倍	
0~10	10.29	13.44	9.24	11.33
10~20	9.16	12.42	11.26	10.66
20~30	10.46	13.44	10.58	10.27
30~40	10.14	14.98	10.94	11.09
40~50	10.53	14.33	11.45	11.99
50~60	11.02	13.27	11.40	12.54
60~70	10.42	13.55	11.92	11.62
70~80	11.06	13.87	12.49	12.01
80~90	10.27	13.98	11.74	11.99
90~100	11.29	13.28	13.04	11.82
100~110	11.38	14.42	11.57	12.13
110~120	11.55	13.60	13.02	12.43
平均	10.63	13.71	11.55	11.66
標準差	0.67	0.66	1.05	0.70

六、附錄六：不同重金屬對細胞質流流速的影響（原始數據）

V (nm/s) t (min)	重金屬				
	硫酸銅	硝酸鉛	硝酸鎳	硝酸汞	對照組
0~10	13.88	14.30	14.97	0.00	11.33
10~20	15.05	15.64	17.66	0.00	10.66
20~30	15.05	15.08	19.85	0.00	10.27
30~40	14.89	14.92	17.34	0.00	11.09
40~50	16.61	14.65	17.54	0.00	11.99
50~60	16.78	16.21	17.84	0.00	12.54
60~70	16.69	15.09	18.74	0.00	11.62
70~80	14.81	15.23	20.06	0.00	12.01
80~90	16.48	15.65	18.99	0.00	11.99
90~100	15.98	15.70	18.77	0.00	11.82
100~110	14.93	16.18	20.02	0.00	12.13
110~120	15.71	16.75	16.44	0.00	12.43
平均	15.57	15.45	18.18	0.00	11.66
標準差	0.94	0.71	1.53	0.00	0.70

七、附錄七：不同逆境對細胞質流流速的影響（原始數據）

V (nm/s) t (min)	逆境				
	高鹽	4°C 一天	20°C 對照組	30°C 一天	30°C 對照組
0~10	7.65	0.00	11.33	12.17	10.29
10~20	7.10	0.00	10.66	13.79	13.05
20~30	7.38	0.00	10.27	13.35	8.78
30~40	8.42	0.00	11.09	14.42	11.89
40~50	6.34	0.00	11.99	12.90	10.79
50~60	6.41	0.00	12.54	12.50	12.66
60~70	7.28	0.00	11.62	12.88	11.42
70~80	7.32	0.00	12.01	13.86	12.40
80~90	5.99	0.00	11.99	12.91	10.79
90~100	5.16	0.00	11.82	14.30	10.74
100~110	5.80	0.00	12.13	14.56	11.49
110~120	6.01	0.00	12.43	11.90	13.18
平均	6.74	0.00	11.66	13.29	11.46
標準差	0.93	0.00	0.70	0.89	1.28

八、附錄八：不同光度對淨光合作用速率的影響（原始數據）

0 lux (0.0 PPFD)		100 lux (1.9 PPFD)		500 lux (9.5 PPFD)		1000 lux (19 PPFD)		5000 lux (95 PPFD)		10000 lux (190 PPFD)	
49	32	2120	1057	3106	2452	2071	2992	3504	4142	7218	9383
37	43	916	1268	3096	3772	3115	2414	3818	3999	7973	9366
17	71	1010	969	3511	3271	1847	3473	4416	4428	7131	9242
32	34	1287	1144	2758	2452	2530	3040	3397	3962	8317	8814
32	76	668	855	2950	3894	2453	2808	3843	3744	5807	9399
19	47	1028	793	2980	2863	1761	3408	3985	3966	9147	9333
50	52	1304	991	2797	2449	3158	2548	3115	4510	9198	9518
26	55	689	698	2736	4450	1775	3092	4861	4244	6750	9225
35	46	1037	1094	2741	2849	1817	3263	2869	3790	9515	9330
51	72	1175	819	2732	3553	3103	3026	4229	4120	7237	9438
27	66	879	743	2626	3448	1650	3024	4382	4433	7255	9412
22	35	1290	1036	3155	2693	3012	2715	3654	3789	8069	9302
34	78	922	819	3778	3513	2354	3211	3620	4121	7184	9396
32	31	1402	1003	3089	3168	1833	2901	3272	3812	8279	9530
37	66	1200	1123	2685	2768	3603	2383	3980	3619	7929	9515
20	76	1081	677	3293	4022	1698	3074	3527	3785	8024	9382
23	45	1179	1334	2612	2602	2748	2757	3536	4746	9443	9282
40	79	848	698	3519	3095	2523	3454	4891	3590	6676	9427
30	39	681	1238	2949	4029	1867	3244	3339	4005	9733	9392
30	51	1485	1306	2530	2637	3247	2592	4434	3834	7525	9136
33	56	697	728	2861	4237	1839	3175	3886	4145	6978	9716
31	39	1245	1074	2882	2845	2116	2766	3029	4478	8132	9444
27	60	873	1199	2730	3126	2744	3566	5028	3527	6940	9404
48	36	1077	704	2762	3701	1719	3833	2689	3805	8653	9292
52	76	1563	1465	2628	2309	2815	2433	3627	4424	8111	9377
39	52	867	784	3297	3336	2180	3068	4119	3816	6957	9568
37	31	1533	790	2819	3653	1972	2877	2930	4104	9404	9637
27	94	726	1194	2647	2356	3394	3117	4463	4088	8200	9749
29	32	1025	890	3593	3468	1722	3139	3582	3509	7600	9617
18	36	1962	1058	2752	2998	2306	2559	4104	3928	7409	9598
26	56	663	1061	2777	2730	2686	2982	3938	4117	7310	9690
24	36	1179	825	3347	3685	1648	3115	3109	4462	8595	9551
27	63	1337	1372	2521	2391	2757	3487	4008	3804	6416	9799
40	51	753	906	2824	3345	1779	3304	3448	4539	9632	9612

29	34	1366	1053	2703	3924	2231	2528	3893	3917	9492	9625
40	57	983	1417	2680	2406	3374	2975	4647	3752	7629	9623
21	33	807	869	2603	4198	1785	2775	3397	3856	8241	9602
28	71	949	1230	2471	3087	3219	3247	4178	3814	7346	9585
21	46	597	847	2678	2775	2376	2869	3064	3764	7842	9686
11	48	1197	887	2947	3599	1780	2839	3844	4234	10326	9614
21	99	919	1105	2902	2471	3122	3484	3663	3639	7338	9582
33	20	727	832	3222	3297	1688	2846	3224	3394	8469	9651
42	60	1412	835	2755	3408	2259	2937	4307	4219	7113	9533
29	37	792	1037	2595	2232	2477	4207	3850	4672	9247	9620
34	38	1073	756	2931	4304	1744	3587	3083	4252	8019	9633
30	66	870	1220	2823	2647	2979	2948	5242	4395	7480	9659
23	34	864	828	2480	2653	1957	3048	3384	4705	7981	9798
45	49	922	986	3063	4004	2303	2504	3239	4154	6833	9656
20	59	673	1251	2272	2330	3104	3336	4281	4308	8910	9725
17	25	959	852	2645	3076	1619	2927	3680	4601	8476	10078
27	84	928	1079	2763	3252	2635	3255	5074	4706	7977	9680
29	31	689	1150	2719	2201	2335	3193	3622	4237	9644	9718
15	56	1151	850	3225	4011	1778	2983	3161	4276	7230	9593
37	50	914	1379	3145	2469	3016	3176	4507	4463	8499	9614
30	32	1045	927	3013	2640	1780	3104	3303	4130	8962	9855
38	78	1196	911	3142	3788	2458	3249	4732	4299	8306	9611
36	33	973	1232	2300	2272	2435	2863	3504	4688	9908	9829
20	32	1021	809	2426	4007	1536	2506	3277	3844	7829	9811
34	84	747	1163	3341	3530	2783	3341	5336	4786	7737	9802
32	19	527	890	2159	2009	1902	2884	3197	4678	8949	9559
19	75	1156	866	3538	3550	2232	2908	4007	4263	7485	9570
20	50	1478	1269	2628	2674	3300	3455	3398	4594	8591	9347
43	27	775	751	2737	2837	1689	2948	3883	5462	7758	9329
35	67	1102	1325	2977	3068	2850	3126	4511	4833	8395	9495
32	31	544	1092	2685	2150	2634	3101	3045	4341	9394	9643
22	61	990	749	2633	2508	1902	3113	4202	4725	7271	9732
37	58	1012	1097	2487	2995	3120	3360	3337	4108	8460	9446
47	26	800	755	2555	2266	1659	2777	3836	4195	8683	9277
22	63	930	950	2576	3214	2202	2610	4135	4411	8256	9769
14	33	1092	1721	2703	2516	2144	2628	2970	4523	9830	9840
22	44	901	955	2353	2574	1697	2860	3448	4519	7744	9577

23	43	1264	927	2749	3214	2830	3116	4188	4316	8738	9500
43	18	926	1057	2665	2156	1961	2782	3038	4551	7403	9486
17	59	1383	1067	2603	2666	2053	2981	4142	4806	8791	9261
22	35	645	1447	2665	3514	2604	3004	3742	3994	9854	9557
45	34	1047	1093	2938	2218	1638	2959	4162	4450	8054	9238
22	97	1199	929	2746	3455	2654	2802	4870	4490	8787	9154
24	33	681	1059	2432	2373	2064	2816	3436	4428	7566	9415
14	49	1080	789	2642	2561	1821	3488	4457	4566	7059	9399
32	50	1079	1321	2838	3681	2969	3210	3667	4155	8466	9369
42	33	573	1103	2398	2069	1675	3124	3130	4826	7532	9156
28	86	1070	734	2963	2910	2302	3094	4243	4491	8699	9339
28	26	718	1429	3332	3427	2498	2827	3512	4180	10186	9263
31	32	923	878	2254	2102	1761	3062	4138	4174	7263	9060
38	51	1504	793	2587	3604	2864	2660	3621	4665	8592	9275
21	24	624	1384	2203	2514	1755	2836	3292	4617	7831	9406
32	65	1636	761	2819	2692	2142	2929	3923	4250	8614	9027
19	36	683	1456	2714	3036	2877	2873	3527	4105	8601	9207
18	49	1302	1295	2578	2238	1595	2889	4661	4404	6722	9169
29	65	1034	866	2467	3067	2840	2894	3973	4300	9274	9038
30	25	835	1342	2742	2898	2097	3238	3653	4291	7647	9105
36	54	1005	644	2595	2050	1710	2933	4339	4401	7013	9150
27	53	964	1285	3305	3215	3423	2787	3331	4537	9850	9080
15	29	777	996	2589	2140	1633	2956	3398	4614	7139	8919
26	67	1097	786	2717	2664	2345	3180	3715	4045	9043	9121
18	26	1193	1155	2844	3266	2657	3247	3826	4574	9401	9194
28	32	833	937	2413	2051	1622	3145	5058	3999	8364	9014
38	54	1015	984	3264	2847	2942	2833	3887	4786	9989	9074
28	25	858	1041	2777	2724	1927	2954	3307	3958	7012	9032
25	75	1226	758	2878	1841	1938	2918	3943	4734	8671	9105
44	25	736	1259	3401	3234	3429	2836	3723	5057	10297	9321
26	43	501	988	2571	2168	1447	2780	4244	4745	7228	9533
49	59	1257	791	2819	2264	2793	2779	3385	4314	10765	9067
26	19	695	1128	2642	3230	2373	3521	4114	4474	7919	9507
26	42	675	1020	2597	2102	1846	3180	4497	4074	8925	8907
39	23	948	839	2473	2992	2996	2645	3340	4642	8407	9323
33	28	991	1181	2622	2700	1740	3296	4725	4411	7914	9289
33	65	1458	761	2252	2069	2423	2874	3658	4324	8544	9167

20	26	958	947	2573	3291	2443	3098	3914	3789	9497	9128
42	44	553	866	2453	2359	1773	2726	4332	4124	8716	8913
15	41	1056	840	2783	2168	3322	2897	2894	4128	7918	9241
42	29	457	1463	3301	3611	1905	3104	5120	4597	9435	8810
31	50	768	941	2377	1843	2157	2684	4188	4567	9704	9214
23	33	961	921	2457	2617	2317	2421	3096	4625	8282	9035
28	40	669	1098	3135	2836	1765	3209	4956	3809	7700	9479
27	64	1078	717	2426	1774	2799	2854	3548	4117	9738	8763
41	21	681	1218	2906	3170	2184	2712	5223	4340	7722	8949
35	58	688	952	2572	2366	2241	2639	2935	4122	9527	9082
17	26	777	893	2949	2511	2829	2814	3631	4240	8147	9112
31	37	856	1547	2923	3675	1422	2855	4628	4493	7319	8961

九、附錄九：不同溫度對淨光合作用速率的影響（原始數據）

10°C		20°C		30°C		40°C	
287	408	358	335	351	367	355	145
203	287	292	334	280	399	398	225
231	320	472	377	374	608	379	232
331	279	348	389	276	303	331	213
186	255	341	342	343	450	511	430
362	440	383	359	472	408	310	157
171	253	291	354	247	314	444	373
230	320	391	380	356	531	392	182
287	291	301	406	330	323	342	226
223	272	363	381	315	333	413	393
278	414	363	302	403	580	325	156
191	358	327	379	255	265	422	391
247	291	289	340	375	475	337	187
267	310	327	359	469	332	365	273
198	216	315	324	326	283	500	272
289	361	407	342	449	506	321	136
146	234	324	396	324	295	429	472
295	401	302	328	300	369	370	171
261	328	422	374	361	580	385	294

197	226	320	409	260	249	403	257
285	310	393	439	415	417	319	193
144	271	332	351	365	407	432	427
236	384	367	313	311	378	371	156
200	279	376	362	420	541	457	382
211	272	292	342	341	286	365	220
239	374	346	346	327	426	359	198
178	246	371	360	464	516	426	462
288	332	267	350	271	314	297	162
197	254	487	339	496	588	429	339
193	312	301	279	422	332	395	204
249	349	323	315	354	347	358	235
156	237	352	323	488	672	415	355
270	359	258	383	321	283	298	174
191	230	387	280	351	421	442	520
265	342	304	365	411	534	352	237
273	320	340	373	252	251	335	188
190	247	503	405	464	551	445	370
275	361	320	303	326	346	345	156
156	255	297	345	393	319	378	356
216	369	328	342	424	507	429	246
295	281	332	340	283	238	316	204
152	319	392	359	466	519	446	344
346	307	378	332	333	448	342	188
183	212	316	338	290	310	430	371
239	333	360	331	422	520	438	264
201	245	270	295	375	340	335	185
180	242	352	304	326	412	480	418
286	273	356	319	438	566	342	162
177	261	318	310	294	290	394	281
199	329	365	345	407	484	411	319
216	317	325	348	392	406	329	199
167	294	363	340	263	268	433	441
274	296	372	420	515	652	365	218
155	233	309	345	299	263	376	287
250	341	341	380	343	385	443	330
252	240	285	341	496	495	340	174

171	354	303	345	282	270	390	382
245	272	391	405	451	436	355	250
178	336	312	354	358	377	326	178
249	307	357	331	304	396	423	575
201	229	419	306	492	568	339	173
180	398	286	314	307	280	393	236
268	211	432	309	419	438	492	264
151	278	392	310	385	393	362	153
277	325	340	373	299	272	391	390
186	231	339	390	357	532	340	191
176	310	281	306	393	317	313	200
303	231	361	322	324	342	418	323
140	327	353	357	514	480	280	193
319	287	327	325	331	285	451	229
169	287	294	316	369	438	377	256
155	372	300	359	414	423	319	158
250	225	313	314	257	299	389	383
142	313	365	416	444	604	403	226
275	234	265	312	445	295	305	180
206	301	365	347	347	414	441	392
187	295	315	350	473	589	301	180
288	202	250	293	276	265	335	200
144	381	380	285	397	585	483	485
268	235	230	308	412	301	341	177
199	349	358	365	310	354	352	245
159	259	322	307	428	542	411	290
279	225	328	330	333	253	316	161
134	354	411	350	385	434	360	263
256	258	278	362	480	477	441	501
218	334	282	383	169	318	319	166
195	236	330	339	235	534	394	348
234	308	280	290	211	352	419	387
138	297	311	350	140	378	321	160
266	242	331	322	164	558	426	309
177	357	279	349	137	265	376	292
226	244	439	293	149	419	291	152
223	284	277	375	198	483	422	316

175	279	264	322	117	279	404	359
277	244	350	331	172	505	349	151
169	427	255	369	132	305	351	354
221	202	256	301	122	345	410	388
212	313	264	317	206	520	324	175
149	222	287	266	114	264	383	247
311	294	281	370	158	506	468	383
172	300	245	333	145	437	327	159
208	249	322	314	120	333	410	258
183	364	293	268	171	744	440	360
162	221	227	337	140	337	323	225
281	327	275	396	138	383	407	237
170	289	238	306	151	456	387	424
197	255	283	357	128	313	332	169
215	317	286	266	148	568	362	339
173	267	217	323	148	370	424	449
268	399	301	334	127	322	319	183
157	241	232	334	186	580	413	257
226	269	256	363	117	285	412	427
206	287	274	335	126	376	352	219
196	253	224	288	168	546	340	225
203	320	317	297	124	310	434	521
156	253	307	297	170	636	327	195
285	358	235	433	160	416	361	210
158	229	314	305	124	325	393	334
187	341	207	286	184	688	351	223
235	355	269	360	133	317	290	162

十、附錄十：不同 pH 值對淨光合作用速率的影響（原始數據）

pH1		pH3		pH5		pH7		pH8		pH9		pH11		pH13	
3	17	113	66	285	358	963	861	358	335	123	142	62	72	116	81
0	6	150	83	255	293	678	548	292	334	149	94	56	64	87	56
2	8	116	67	249	232	679	666	472	377	177	158	85	37	94	80
1	13	150	84	262	292	775	617	348	389	103	125	83	93	109	68

2	1	129	96	282	284	645	591	341	342	184	91	75	52	86	54
2	8	109	79	271	271	864	922	383	359	161	192	54	67	98	45
0	2	146	89	229	279	740	500	291	354	155	70	48	81	110	85
1	-1	106	79	281	263	817	672	391	380	194	174	68	51	96	58
0	14	108	78	365	328	752	684	301	406	128	144	58	81	79	47
-1	0	129	102	269	250	721	596	363	381	175	89	57	56	88	51
1	12	96	76	318	246	721	870	363	302	139	168	78	58	79	55
0	14	133	80	283	410	634	477	327	379	126	71	69	70	105	81
2	8	126	72	268	200	711	716	289	340	193	138	51	45	92	54
1	10	95	74	258	275	797	647	327	359	125	110	72	63	105	96
1	1	145	89	288	265	612	567	315	324	153	94	63	48	103	71
-1	5	115	80	254	301	852	798	407	342	169	175	53	50	76	54
0	7	118	75	274	310	690	564	324	396	140	72	77	69	89	66
0	1	136	88	306	233	863	729	302	328	219	154	68	52	80	71
0	8	99	72	263	272	743	592	422	374	142	114	71	77	74	54
1	2	143	86	264	234	587	464	320	409	189	74	57	72	108	57
1	-1	103	69	277	246	938	700	393	439	146	217	63	60	69	61
0	5	119	87	241	302	613	539	332	351	126	82	61	77	91	47
2	5	136	80	267	205	788	829	367	313	182	110	70	47	76	60
0	10	100	79	330	286	725	548	376	362	122	169	75	67	83	55
1	5	137	75	241	260	597	604	292	342	186	79	72	72	96	58
1	5	120	100	230	239	964	787	346	346	136	163	64	53	59	55
1	5	102	81	272	305	710	592	371	360	120	77	58	76	80	64
-1	4	125	77	305	218	664	820	267	350	173	133	74	61	85	64
-1	30	107	79	284	269	655	630	487	339	142	147	69	74	87	74
1	9	131	88	249	271	685	622	301	279	170	79	53	79	90	65
1	8	142	92	328	252	736	776	323	315	166	148	43	55	70	51
1	9	108	83	285	330	801	593	352	323	119	122	62	77	76	96
1	1	137	93	234	231	622	765	258	383	160	102	79	46	68	76
0	6	123	84	285	234	738	707	387	280	108	119	64	56	77	53
0	7	119	79	290	266	677	566	304	365	124	83	53	84	71	67
2	4	166	114	276	212	876	835	340	373	165	175	62	56	59	66
0	15	95	79	249	257	646	480	503	405	111	96	67	82	87	52
1	4	126	87	296	228	859	816	320	303	177	98	66	69	71	43
-1	11	130	84	265	240	648	548	297	345	129	156	43	63	82	60
-1	12	95	83	248	252	625	631	328	342	145	82	74	70	72	70
1	-1	121	95	316	181	835	802	332	340	232	167	55	52	70	50

0	6	109	86	297	249	799	591	392	359	115	103	69	80	77	55
1	3	105	87	276	247	624	1015	378	332	172	89	65	56	85	52
1	5	129	79	279	236	772	566	316	338	138	166	64	51	100	58
0	7	86	74	249	268	593	655	360	331	135	85	61	72	86	65
0	4	129	87	274	181	817	691	270	295	150	145	59	52	66	43
0	7	92	92	261	253	831	535	352	304	105	117	73	77	70	55
0	-1	97	93	262	197	751	765	356	319	178	90	75	59	68	54
1	11	127	88	307	210	703	568	318	310	181	258	61	57	76	52
1	13	82	82	318	289	632	610	365	345	129	95	78	77	73	60
1	-2	134	74	262	202	945	911	325	348	185	155	61	58	93	65
1	12	108	86	245	299	636	443	363	340	114	107	57	73	77	60
-1	9	94	79	305	196	750	778	372	420	142	107	52	73	101	54
2	5	134	80	324	186	678	609	309	345	144	198	56	58	76	49
0	9	91	82	282	281	690	664	341	380	138	78	55	61	83	76
-1	2	130	86	285	161	680	830	285	341	180	130	59	73	67	71
1	12	124	89	308	239	768	522	303	345	132	139	58	69	70	71
2	3	106	73	336	204	679	760	391	405	157	78	46	68	69	46
1	8	148	77	315	217	778	650	312	354	152	197	73	54	69	41
0	4	130	109	377	227	589	754	357	331	126	73	76	87	99	54
3	4	105	82	264	206	793	708	419	306	209	119	55	56	76	53
1	15	138	78	305	215	684	515	286	314	125	132	69	74	77	58
0	6	98	105	294	237	738	825	432	309	147	72	67	83	84	72
2	12	116	89	256	204	672	537	392	310	154	169	62	56	59	61
2	19	125	84	266	244	640	688	340	373	136	97	62	75	69	93
0	5	95	70	275	185	751	835	339	390	152	110	68	63	72	58
0	8	174	102	287	204	713	490	281	306	144	119	66	66	50	57
1	3	98	92	195	277	915	791	361	322	144	95	50	87	94	43
2	0	109	80	367	189	759	522	353	357	154	148	74	52	71	63
1	14	108	89	285	203	753	666	327	325	135	100	56	86	71	40
1	6	95	79	239	205	765	698	294	316	217	131	69	55	82	64
2	12	153	79	238	239	652	547	300	359	112	163	72	50	80	50
0	16	109	89	286	207	788	927	313	314	164	68	57	61	68	64
3	6	105	85	273	168	691	547	365	416	151	190	54	53	70	73
0	8	146	85	247	215	677	642	265	312	116	99	61	85	99	42
0	4	87	79	273	224	943	743	365	347	209	104	50	63	69	43
2	11	122	73	223	171	671	636	315	350	128	144	50	53	75	60
-1	16	119	86	291	241	823	941	250	293	149	80	55	87	81	48

1	7	97	77	307	143	785	614	380	285	217	165	74	59	68	57
0	10	145	84	260	219	722	763	230	308	123	90	77	80	71	58
0	0	105	82	259	205	833	722	358	365	210	97	70	65	70	55
-1	9	90	80	248	188	672	527	322	307	132	168	62	66	54	44
1	9	141	103	287	262	685	790	328	330	156	77	56	89	79	56
0	2	83	88	278	150	657	729	411	350	165	143	66	55	74	48
-1	18	132	83	332	196	710	580	278	362	123	108	74	64	73	44
1	6	105	91	298	240	683	692	282	383	174	96	63	71	61	46
1	10	100	88	294	177	593	536	330	339	147	197	63	57	64	43
2	5	156	77	328	276	861	824	280	290	146	77	57	118	78	55
3	9	89	101	279	193	705	532	311	350	167	163	66	47	73	52
0	22	120	79	250	213	762	622	331	322	117	94	62	77	77	60
0	2	115	82	258	169	761	707	279	349	165	84	43	66	79	58
2	0	109	82	280	169	578	585	439	293	134	167	62	65	57	55
0	5	175	93	295	272	826	988	277	375	128	67	59	83	69	52
0	4	95	87	283	205	761	568	264	322	206	145	65	67	92	59
0	11	101	73	298	182	590	553	350	331	133	132	62	70	58	44
2	7	122	95	279	229	917	721	255	369	190	81	84	78	91	62
0	3	82	81	300	164	647	534	256	301	146	189	64	55	61	51
0	10	114	73	201	237	799	709	264	317	134	77	60	74	91	38
0	4	111	107	252	189	641	542	287	266	180	118	56	50	69	60
1	12	96	77	248	159	610	643	281	370	134	145	60	67	73	58
1	3	125	88	296	272	819	648	245	333	161	89	57	68	63	40
2	2	81	102	297	161	719	470	322	314	183	222	62	53	80	51
2	12	136	80	304	251	870	959	293	268	121	82	71	79	74	47
3	1	110	94	276	168	904	598	227	337	171	145	57	51	78	42
0	10	96	87	288	162	688	691	275	396	114	112	62	69	93	53
1	11	150	78	304	202	994	665	238	306	162	79	63	104	78	47
1	4	95	90	248	199	596	589	283	357	134	184	70	49	70	61
0	9	98	94	259	265	775	923	286	266	119	115	57	60	72	58
2	6	138	80	251	220	639	523	217	323	161	117	52	47	80	43
0	3	80	98	271	162	751	672	301	334	117	183	71	60	94	45
-1	6	126	77	327	262	921	633	232	334	165	97	49	86	82	43
1	1	109	111	244	175	686	640	256	363	243	190	62	48	78	57
1	14	107	89	289	190	806	974	274	335	108	99	69	72	78	62
0	1	136	92	310	207	764	490	224	288	173	91	74	53	56	48
0	6	78	91	280	182	720	779	317	297	138	151	56	58	61	49

0	11	108	84	298	195	803	691	307	297	138	71	63	101	81	61
1	3	92	96	299	221	739	637	235	433	155	192	64	43	69	38
2	7	92	96	312	179	800	834	314	305	112	101	53	82	80	46
0	1	132	79	269	236	798	576	207	286	151	111	61	70	75	70
0	10	113	85	252	166	745	711	269	360	125	190	74	66	76	59

十一、 附錄十一：不同肥料對淨光合作用速率的影響（原始數據）

磷肥 (過磷酸鈣)		氮肥 (硫酸銨)		鉀肥 (氯化鉀)		鎂肥 (氯化鎂)		鈣肥 (硝酸鈣)		對照組	
208	251	213	174	435	428	118	153	528	846	358	335
194	217	115	184	487	422	344	308	693	637	292	334
190	243	179	170	319	424	148	99	660	666	472	377
272	197	189	212	681	309	180	250	681	775	348	389
161	265	116	176	368	512	293	146	880	645	341	342
274	219	253	215	546	493	123	159	673	650	383	359
194	239	114	151	423	439	240	113	631	663	291	354
179	245	195	177	382	482	144	259	670	816	391	380
197	217	131	197	429	394	170	117	773	715	301	406
148	209	135	145	353	480	254	135	763	747	363	381
211	270	246	184	453	358	139	334	757	644	363	302
195	244	98	161	461	490	236	97	767	895	327	379
157	250	200	163	386	452	146	234	697	625	289	340
241	220	185	188	602	365	172	164	761	652	327	359
190	239	118	169	278	566	216	186	572	749	315	324
234	279	236	178	628	319	121	265	747	770	407	342
204	212	110	173	393	497	215	108	751	918	324	396
212	225	174	157	337	485	182	400	511	905	302	328
226	217	178	187	546	367	132	135	641	570	422	374
137	231	101	153	317	493	323	131	647	610	320	409
262	226	195	171	456	344	111	257	547	678	393	439
170	246	110	169	412	386	202	106	746	692	332	351
210	305	178	172	315	511	222	303	724	637	367	313
295	192	185	197	493	346	154	149	711	703	376	362
146	240	109	164	279	644	285	160	906	684	292	342

225	243	178	169	477	417	130	230	827	857	346	346
206	244	117	213	448	522	196	93	801	651	371	360
180	246	172	147	322	447	207	245	794	671	267	350
256	235	189	193	681	339	148	168	792	722	487	339
156	232	96	176	304	542	283	143	742	681	301	279
229	201	187	189	600	359	152	257	562	797	323	315
195	218	105	167	410	516	187	86	650	658	352	323
158	235	148	136	364	517	198	263	804	636	258	383
192	246	159	173	593	354	140	192	614	628	387	280
137	227	96	161	339	651	218	126	895	690	304	365
224	234	219	153	454	413	140	239	811	594	340	373
197	207	117	202	398	443	162	100	708	685	503	405
173	253	145	158	340	446	238	226	768	709	320	303
250	200	170	191	631	432	120	156	574	691	297	345
129	215	92	160	348	585	239	141	811	927	328	342
188	246	232	159	382	420	173	324	630	708	332	340
165	184	119	205	473	445	154	89	719	647	392	359
151	219	159	147	332	407	196	266	821	736	378	332
225	210	200	181	721	413	129	146	825	596	316	338
151	229	100	172	300	519	237	114	790	659	360	331
242	227	167	153	510	362	148	295	746	629	270	295
140	209	118	182	376	575	166	96	818	583	352	304
183	242	143	159	308	520	256	169	710	820	356	319
198	209	190	177	583	395	124	135	709	853	318	310
143	220	98	166	343	506	184	93	681	636	365	345
258	215	216	183	482	415	229	304	676	660	325	348
191	224	135	184	534	419	121	112	679	578	363	340
210	249	127	178	315	452	238	202	879	563	372	420
202	213	143	157	549	329	136	217	843	788	309	345
159	215	109	177	378	571	201	109	643	650	341	380
253	223	218	157	502	409	193	290	865	773	285	341
143	220	108	190	552	408	127	113	661	684	303	345
203	208	150	168	387	496	236	230	784	819	391	405
220	218	219	174	507	364	120	266	784	714	312	354
198	225	81	180	396	515	204	101	883	708	357	331
273	266	222	138	529	430	203	234	848	761	419	306
158	226	115	189	421	432	138	116	781	666	286	314

210	201	126	184	342	421	271	171	845	786	432	309
208	210	194	156	450	334	126	232	842	762	392	310
154	254	93	180	324	695	188	98	703	790	340	373
221	203	229	134	551	429	205	300	827	648	339	390
178	219	134	213	448	484	116	136	745	776	281	306
207	273	126	185	321	403	183	166	632	842	361	322
218	216	207	177	502	396	147	222	656	798	353	357
125	218	88	182	376	428	196	123	792	896	327	325
233	232	152	145	473	396	161	276	627	742	294	316
141	252	143	160	419	492	109	129	562	772	300	359
172	202	114	191	336	488	202	180	845	763	313	314
217	191	181	150	771	347	168	207	747	747	365	416
161	207	78	205	347	456	143	102	670	685	265	312
238	242	225	155	566	413	226	359	867	814	365	347
147	242	114	168	501	426	123	123	653	719	315	350
219	217	134	196	333	572	350	174	746	754	250	293
205	222	223	151	828	368	131	202	684	833	380	285
182	211	99	196	366	505	150	92	773	666	230	308
189	220	171	146	487	383	264	274	590	767	358	365
147	224	113	158	418	479	115	172	701	759	322	307
227	271	114	196	332	494	159	149	668	755	328	330
201	173	239	170	609	400	117	259	841	681	411	350
153	256	96	197	329	412	124	109	686	823	278	362
265	210	184	149	442	372	198	263	885	790	282	383
172	246	145	173	461	415	140	126	657	615	330	339
170	234	104	195	305	447	186	159	795	709	280	290
160	227	168	155	572	393	155	204	722	812	311	350
176	205	95	179	272	482	140	87	561	739	331	322
241	230	187	163	489	413	235	268	734	621	279	349
146	245	128	154	417	476	116	199	721	684	439	293
231	251	100	182	377	405	209	131	849	520	277	375
169	190	229	164	651	317	190	288	795	723	264	322
155	240	88	174	319	577	114	107	733	711	350	331
222	252	194	182	455	340	243	240	659	806	255	369
147	215	121	162	383	550	120	162	789	735	256	301
233	212	142	164	328	481	178	157	739	816	264	317
204	204	194	163	728	390	177	219	658	690	287	266

161	227	93	177	291	438	133	86	687	787	281	370
206	212	176	151	485	405	240	253	641	662	245	333
161	232	113	172	542	460	143	127	657	627	322	314
151	231	101	206	330	557	204	126	585	687	293	268
203	207	213	175	542	378	196	333	774	733	227	337
206	210	96	151	341	477	111	81	790	704	275	396
224	225	189	166	434	378	232	239	640	646	238	306
138	240	132	161	549	462	129	148	709	591	283	357
209	223	103	153	348	563	176	125	871	661	286	266
175	199	240	172	607	381	282	307	727	674	217	323
195	222	101	161	338	536	123	115	766	543	301	334
228	188	194	167	444	405	266	185	646	629	232	334
134	209	148	154	476	515	124	185	617	713	256	363
270	214	101	175	292	570	145	140	821	701	274	335
155	250	184	200	608	360	222	265	573	653	224	288
168	219	85	150	320	459	143	105	720	592	317	297
255	209	180	184	522	402	204	205	718	581	307	297
139	240	129	169	459	399	194	226	848	656	235	433
210	206	103	168	330	519	140	110	745	562	314	305
184	245	240	151	822	403	233	366	871	643	207	286
163	190	87	181	277	485	102	105	708	776	269	360

十二、 附錄十二：不同農藥對淨光合作用速率的影響（原始數據）

芬化利稀釋 3000		芬化利稀釋 6000		因滅丁稀釋 96000		對照組	
44	85	432	514	2646	2636	358	335
45	55	343	356	2380	2322	292	334
43	71	304	624	2456	2200	472	377
74	88	415	400	3176	1878	348	389
36	62	294	473	2514	1993	341	342
36	88	406	563	2372	2310	383	359
55	66	385	365	2523	2334	291	354
25	87	301	507	2658	1854	391	380
92	70	460	358	2412	2047	301	406
34	58	270	446	2567	2293	363	381

61	65	423	447	2937	2156	363	302
62	60	315	322	2446	2266	327	379
27	78	295	609	2306	2064	289	340
79	77	347	329	2420	2283	327	359
35	75	267	458	2454	2090	315	324
37	72	342	492	2654	2176	407	342
68	75	423	347	2531	2255	324	396
24	76	323	546	2323	1941	302	328
102	66	409	369	2383	2314	422	374
28	57	301	446	2832	2135	320	409
60	86	453	477	2495	2505	393	439
60	64	307	354	2481	2121	332	351
34	73	269	579	2239	2227	367	313
66	85	375	400	2644	2147	376	362
34	49	316	408	2603	2151	292	342
63	88	406	481	2693	2007	346	346
43	63	414	375	2211	2426	371	360
24	68	313	531	2566	1945	267	350
79	85	410	342	2713	2026	487	339
26	61	256	395	2468	2465	301	279
34	89	394	485	2747	2106	323	315
49	64	345	350	2407	2269	352	323
22	64	285	450	2599	2208	258	383
70	80	408	397	2981	2595	387	280
38	50	281	457	2705	2379	304	365
53	98	420	532	2373	2214	340	373
94	72	354	374	2382	2220	503	405
28	76	285	480	2354	2266	320	303
69	75	361	384	2552	2198	297	345
41	59	299	393	2429	1887	328	342
23	77	330	396	2527	2203	332	340
88	55	310	406	2222	2062	392	359
24	73	277	486	2721	1904	378	332
78	84	454	350	2479	2124	316	338
36	61	292	523	2639	2329	360	331
33	86	350	424	2394	2324	270	295
76	78	343	380	2419	2038	352	304

16	63	304	533	2395	2281	356	319
49	78	445	375	2408	2210	318	310
30	60	309	419	2461	2217	365	345
41	91	378	545	2294	2230	325	348
87	93	341	311	2206	2159	363	340
17	62	287	445	2419	2026	372	420
66	76	494	459	2647	2434	309	345
34	50	293	525	2545	1952	341	380
30	74	354	424	2450	2126	285	341
110	72	355	381	2245	2265	303	345
27	61	276	465	2274	2053	391	405
44	86	369	403	2398	2190	312	354
38	47	356	408	2163	2377	357	331
28	90	395	512	2500	2528	419	306
57	76	349	345	2437	2100	286	314
27	64	282	506	2207	2218	432	309
80	71	376	465	2360	2222	392	310
36	48	336	355	2403	2167	340	373
37	85	336	506	2401	2573	339	390
67	75	380	284	2353	2109	281	306
20	58	285	535	2508	2472	361	322
49	81	396	410	2387	2032	353	357
54	74	294	345	2633	2457	327	325
35	69	318	554	2614	2177	294	316
91	80	381	329	2918	2120	300	359
24	48	280	481	2810	1922	313	314
57	85	390	399	2715	1993	365	416
60	77	391	425	2372	1920	265	312
33	79	319	423	3006	2275	365	347
103	65	341	335	2193	2727	315	350
22	62	290	447	2950	2434	250	293
50	99	423	405	2239	2315	380	285
52	63	312	405	2370	2402	230	308
27	66	309	538	2460	2177	358	365
83	79	429	336	2504	2006	322	307
24	63	276	402	2262	2152	328	330
49	82	454	561	2227	2281	411	350

61	73	319	354	2395	2972	278	362
32	82	307	505	2644	2505	282	383
86	78	362	419	2891	2336	330	339
23	60	342	391	2499	2139	280	290
51	95	401	471	2167	2264	311	350
59	71	311	318	2401	2380	331	322
21	73	357	518	2922	2092	279	349
79	74	431	354	2698	2417	439	293
25	58	285	419	2398	2349	277	375
42	74	399	528	2613	2372	264	322
47	68	278	374	2617	2109	350	331
31	69	326	572	2841	2423	255	369
73	86	440	379	2375	2201	256	301
37	60	288	435	2621	2242	264	317
44	78	449	487	2553	2274	287	266
77	67	344	341	2959	2341	281	370
23	64	312	480	2315	2667	245	333
83	69	387	425	2676	2058	322	314
34	61	286	470	2528	2080	293	268
46	107	431	454	2434	2299	227	337
48	69	297	321	2385	2422	275	396
24	60	334	468	2479	2534	238	306
66	101	394	333	2972	2211	283	357
23	56	283	426	2458	2310	286	266
38	89	445	419	2779	2096	217	323
60	78	336	343	2612	2231	301	334
30	64	321	572	2541	2368	232	334
71	85	388	429	2717	2211	256	363
36	66	308	394	2586	2447	274	335
31	65	401	467	2876	2138	224	288
44	78	322	395	2594	2264	317	297
17	65	331	461	2605	2255	307	297
82	93	368	409	2886	2143	235	433
48	58	326	368	2465	2258	314	305
34	83	346	387	2572	2874	207	286
75	74	341	333	2754	1909	269	360

十三、 附錄十三：不同重金屬對淨光合作用速率的影響（原始數據）

硝酸汞		硝酸鎳		硫酸銅		硝酸鉛		對照組	
142	88	771	613	249	195	435	484	358	335
89	116	515	645	290	257	505	424	292	334
144	94	598	541	207	222	509	443	472	377
106	82	520	639	301	236	396	463	348	389
95	103	697	600	268	200	484	437	341	342
149	85	569	690	237	227	524	500	383	359
76	128	698	594	280	218	500	422	291	354
143	105	720	727	208	172	502	440	391	380
107	83	619	688	341	271	454	392	301	406
71	105	591	702	228	218	454	390	363	381
155	70	646	804	217	240	465	439	363	302
76	89	600	543	261	188	502	373	327	379
83	113	797	754	221	232	572	384	289	340
143	94	555	673	282	210	391	402	327	359
71	110	594	617	239	193	433	437	315	324
111	92	649	630	195	261	403	451	407	342
122	86	709	628	243	207	451	431	324	396
66	110	671	725	187	211	430	383	302	328
129	81	571	684	265	216	527	429	422	374
112	131	742	658	233	197	427	466	320	409
62	104	658	718	198	203	435	397	393	439
131	84	641	652	280	201	575	448	332	351
117	130	683	718	221	198	565	439	367	313
74	73	565	608	240	206	437	415	376	362
116	91	586	623	237	210	424	478	292	342
105	107	707	759	237	233	439	524	346	346
57	90	568	577	285	189	494	441	371	360
153	114	537	700	215	231	390	456	267	350
91	78	646	589	274	190	458	441	487	339
67	83	634	684	263	244	445	408	301	279
107	104	702	600	190	226	505	461	323	315
74	71	600	644	240	264	489	417	352	323
80	122	635	849	203	167	451	430	258	383
150	114	488	636	223	163	446	386	387	280

80	81	691	646	285	267	477	396	304	365
86	109	617	590	189	242	515	439	340	373
134	72	498	602	294	197	458	413	503	405
57	106	600	628	197	242	444	434	320	303
115	106	681	538	210	199	479	380	297	345
132	85	767	573	366	189	465	392	328	342
74	109	616	808	175	227	469	384	332	340
148	91	653	616	248	164	357	462	392	359
68	97	676	697	212	241	443	460	378	332
97	97	645	610	207	196	466	401	316	338
107	81	828	603	235	219	486	445	360	331
70	111	643	717	159	195	555	379	270	295
121	89	617	649	269	228	447	459	352	304
107	101	703	649	216	221	489	454	356	319
56	114	588	638	202	220	425	385	318	310
128	77	746	604	260	257	465	463	365	345
74	97	675	673	192	255	448	430	325	348
86	84	574	596	356	187	504	391	363	340
128	91	602	760	215	221	457	386	372	420
58	99	526	575	231	213	425	394	309	345
108	93	580	613	232	205	497	411	341	380
94	128	614	845	210	226	570	401	285	341
68	84	530	582	222	187	426	530	303	345
132	96	608	593	235	237	418	423	391	405
72	103	726	551	203	303	483	387	312	354
92	75	600	560	306	247	504	451	357	331
171	120	776	761	231	229	468	454	419	306
56	86	573	641	248	260	475	426	286	314
105	105	700	553	268	207	517	465	432	309
126	106	526	608	219	259	513	472	392	310
58	76	769	573	256	197	514	430	340	373
94	113	642	583	198	218	474	393	339	390
81	88	690	532	219	229	457	415	281	306
65	105	727	624	244	217	495	400	361	322
132	119	519	651	191	252	493	393	353	357
47	71	684	644	241	194	505	419	327	325
110	95	587	717	183	197	429	464	294	316

96	96	538	593	200	182	440	369	300	359
66	87	617	679	241	289	549	454	313	314
133	115	652	713	177	233	452	537	365	416
44	87	657	615	268	232	401	473	265	312
79	96	676	754	194	188	449	456	365	347
109	93	548	608	221	227	472	476	315	350
62	83	637	642	309	208	503	387	250	293
120	105	677	553	201	216	421	437	380	285
81	75	651	577	268	261	541	451	230	308
71	98	735	632	216	235	467	405	358	365
104	81	567	607	208	223	625	406	322	307
56	84	687	722	279	202	502	440	328	330
92	111	618	641	204	203	530	471	411	350
105	70	570	593	275	262	462	457	278	362
44	102	820	691	207	241	515	468	282	383
146	93	783	523	221	186	450	391	330	339
62	90	559	614	269	197	474	432	280	290
94	113	621	695	168	233	397	412	311	350
92	73	694	579	255	219	533	476	331	322
49	133	585	712	204	198	474	440	279	349
124	94	772	563	205	181	488	472	439	293
66	79	514	642	287	214	469	409	277	375
77	119	627	604	175	233	455	374	264	322
157	67	604	563	271	230	402	435	350	331
56	97	492	740	230	212	429	420	255	369
117	122	595	671	204	235	499	443	256	301
69	77	751	615	275	195	501	397	264	317
60	87	523	554	198	214	518	491	287	266
136	78	647	604	281	247	401	444	281	370
50	85	661	713	223	196	480	435	245	333
130	110	642	665	224	196	451	500	322	314
75	68	490	559	304	238	365	402	293	268
50	105	616	651	180	230	479	474	227	337
152	89	602	547	319	216	450	511	275	396
64	80	518	638	245	221	483	495	238	306
103	107	693	511	200	218	545	396	283	357
73	79	492	600	371	171	478	415	286	266

50	115	583	567	191	242	422	439	217	323
142	83	703	539	276	216	513	424	301	334
43	78	754	652	263	218	539	412	232	334
109	113	628	525	203	235	453	367	256	363
77	96	559	666	266	238	403	476	274	335
65	105	517	661	207	181	476	451	224	288
99	93	927	613	295	193	472	399	317	297
60	86	659	698	218	232	471	401	307	297
89	113	647	491	182	240	542	439	235	433
111	75	715	607	279	244	411	438	314	305
43	92	541	611	188	170	461	451	207	286
156	78	664	597	225	203	446	400	269	360

十四、 附錄十四：不同逆境對淨光合作用速率的影響（原始數據）

高鹽 1.5%		4°C 一天		對照組		30°C 一天		30°C 對照組	
135	79	269	287	358	335	45	44	351	367
38	52	284	312	292	334	46	45	280	399
88	43	279	274	472	377	43	40	374	608
45	78	273	304	348	389	48	51	276	303
47	31	331	279	341	342	45	45	343	450
99	69	288	229	383	359	41	40	472	408
31	39	245	284	291	354	41	42	247	314
93	39	292	229	391	380	36	33	356	531
69	88	234	330	301	406	46	52	330	323
37	33	288	294	363	381	46	42	315	333
106	86	326	275	363	302	36	31	403	580
31	35	240	262	327	379	45	42	255	265
90	48	336	242	289	340	42	37	375	475
61	62	269	312	327	359	40	45	469	332
35	37	285	261	315	324	41	44	326	283
90	76	247	279	407	342	44	42	449	506
31	50	307	294	324	396	48	48	324	295
79	47	287	278	302	328	44	46	300	369

57	80	289	344	422	374	53	36	361	580
44	28	297	269	320	409	47	51	260	249
190	76	299	278	393	439	42	39	415	417
34	48	320	343	332	351	39	45	365	407
82	47	294	340	367	313	52	40	311	378
56	85	247	341	376	362	40	34	420	541
45	37	274	343	292	342	50	50	341	286
111	77	280	288	346	346	44	36	327	426
35	44	251	357	371	360	46	42	464	516
111	50	293	273	267	350	42	50	271	314
47	103	330	328	487	339	40	36	496	588
43	36	284	353	301	279	42	46	422	332
136	78	301	250	323	315	44	39	354	347
40	50	289	356	352	323	46	34	488	672
76	44	241	285	258	383	54	50	321	283
65	79	263	383	387	280	38	41	351	421
52	39	299	335	304	365	41	41	411	534
114	91	259	328	340	373	41	41	252	251
44	51	249	354	503	405	39	35	464	551
77	42	259	312	320	303	48	45	326	346
66	75	280	326	297	345	41	44	393	319
43	31	294	324	328	342	49	34	424	507
81	73	290	258	332	340	34	43	283	238
29	47	270	413	392	359	40	43	466	519
70	46	291	322	378	332	41	47	333	448
46	79	289	348	316	338	42	44	290	310
43	40	277	306	360	331	46	35	422	520
96	74	289	257	270	295	42	51	375	340
42	52	270	305	352	304	38	49	326	412
80	54	292	303	356	319	49	37	438	566
68	94	312	315	318	310	50	49	294	290
47	28	308	339	365	345	37	34	407	484
144	66	313	307	325	348	53	43	392	406
31	41	265	436	363	340	37	48	263	268
82	41	269	310	372	420	50	44	515	652
54	81	299	296	309	345	45	42	299	263
42	34	254	341	341	380	39	42	343	385

124	79	284	277	285	341	44	45	496	495
32	51	257	399	303	345	47	45	282	270
89	45	262	324	391	405	44	41	451	436
69	80	274	344	312	354	41	46	358	377
46	32	261	354	357	331	42	42	304	396
132	77	373	301	419	306	53	37	492	568
31	51	227	376	286	314	43	45	307	280
91	44	302	346	432	309	35	35	419	438
54	75	292	337	392	310	45	36	385	393
47	42	280	451	340	373	44	35	299	272
103	62	299	267	339	390	52	47	357	532
39	55	258	310	281	306	43	45	393	317
69	44	288	261	361	322	42	42	324	342
82	90	321	305	353	357	46	43	514	480
43	38	247	352	327	325	46	46	331	285
123	71	330	245	294	316	43	43	369	438
37	46	237	318	300	359	49	44	414	423
84	44	282	333	313	314	42	39	257	299
87	75	291	338	365	416	41	37	444	604
34	30	240	362	265	312	44	41	445	295
115	82	291	295	365	347	42	39	347	414
39	54	289	408	315	350	60	39	473	589
50	40	265	302	250	293	40	43	276	265
65	65	281	273	380	285	43	38	397	585
37	44	259	328	230	308	41	48	412	301
91	82	307	314	358	365	36	39	310	354
32	45	279	312	322	307	49	33	428	542
83	53	299	278	328	330	41	47	333	253
54	97	279	282	411	350	39	39	385	434
42	37	278	340	278	362	46	58	480	477
107	64	318	265	282	383	40	43	169	318
51	56	285	344	330	339	41	39	235	534
69	52	295	306	280	290	40	43	211	352
99	86	262	313	311	350	37	46	140	378
35	44	275	348	331	322	51	30	164	558
114	75	276	259	279	349	40	46	137	265
41	57	329	397	439	293	48	41	149	419

71	45	267	315	277	375	49	48	198	483
82	91	289	292	264	322	43	37	117	279
38	29	301	377	350	331	44	42	172	505
84	64	268	300	255	369	41	40	132	305
31	54	311	354	256	301	41	38	122	345
64	47	276	334	264	317	45	48	206	520
86	76	285	336	287	266	41	43	114	264
46	34	236	356	281	370	47	38	158	506
83	76	288	279	245	333	39	38	145	437
29	66	287	339	322	314	34	43	120	333
55	36	230	328	293	268	51	39	171	744
76	75	282	249	227	337	53	38	140	337
35	33	310	383	275	396	39	40	138	383
68	61	269	295	238	306	49	40	151	456
58	63	282	346	283	357	39	40	128	313
58	39	271	427	286	266	41	39	148	568
97	69	284	277	217	323	42	40	148	370
39	34	317	350	301	334	43	47	127	322
89	78	286	296	232	334	58	36	186	580
40	64	317	341	256	363	42	43	117	285
45	50	258	352	274	335	62	38	126	376
72	90	303	247	224	288	42	41	168	546
31	35	283	344	317	297	33	48	124	310
100	71	245	293	307	297	44	50	170	636
38	57	317	354	235	433	42	42	160	416
50	38	241	365	314	305	42	43	124	325
99	84	296	286	207	286	43	40	184	688
34	41	297	333	269	360	38	42	133	317