

武陵地區溪流藻類生產力之限制營養鹽 研究（二）

內政部營建署雪霸國家公園管理處
委託研究報告

武陵地區溪流藻類生產力之限制營養鹽研究（二）

093-301020500G-022

武陵地區溪流藻類生產力之限制營養鹽 研究（二）

受委託者：國立中興大學生命科學系

研究主持人：簡麗鳳

共同主持人：林幸助

研究人員：溫珮珍

內政部營建署雪霸國家公園管理處
委託研究報告

中華民國九十三年十二月

目 次

表次	II
圖次	III
摘要	1
第一章、緒論	2
第二章、研究設計	5
第三章、實驗結果	11
第四章、討論	35
第五章、建議事項	38
第六章、參考文獻	39

表 次

表 1. 各測站氮磷比	15
表 2. 夏季不同水溫添加營養鹽結果分析	27
表 3. 冬季不同水溫添加營養鹽結果分析	28

圖次

圖 1. 本計畫研究範圍	6
圖 2. 測站相關位置	6
圖 3. 生產力培養野外裝置	8
圖 4. 附生藻生產力培養裝置	8
圖 5. 水溫季節變化	11
圖 6. 各測站總無機氮濃度	13
圖 7. 各測站硝酸鹽濃度	13
圖 8. 各測站磷酸鹽濃度	14
圖 9. DIN 濃度季節變化	14
圖 10. DIP 濃度季節變化	14
圖 11. 各測站生物量比較	16
圖 12. 七家灣溪各測站年生產量	17
圖 13. 2003 年 2 月添加營養鹽實驗生產力結果	18
圖 14. 2003 年 7 月添加營養鹽實驗生產力結果	19
圖 15. 2003 年 8 月添加營養鹽實驗生產力結果	19
圖 16. 2004 年 1 月添加營養鹽實驗生產力結果	20
圖 17. 2004 年 3 月添加營養鹽實驗生產力結果	20
圖 18. 2004 年 8 月添加營養鹽實驗生產力結果	21
圖 19. 2004 年 11 月添加營養鹽實驗生產力結果	21
圖 20. 桃山西溪不同溫度營養鹽實驗結果	22
圖 21. 一號壩不同溫度營養鹽實驗結果	23
圖 22. 新繁殖場不同溫度營養鹽實驗結果	24
圖 23. 高山溪不同溫度營養鹽實驗結果	25
圖 24. 有勝溪不同溫度營養鹽實驗結果	26
圖 25. 水災前後 DIN 濃度變化	29
圖 26. 水災前後 DIP 濃度變化	30
圖 27. 水災前後生物量變化	30
圖 28. DIN 濃度與附生藻生物量迴歸分析	31
圖 29. 水溫與附生藻生物量迴歸分析	32
圖 30. 水溫與附生藻生產力迴歸分析	32
圖 31. 附生藻生產量與魚類數量相關分析	33
圖 32. 附生藻生產量與水生昆蟲數量相關分析	33

圖 33. 魚類與水生昆蟲數量迴歸分析 34

摘要

藻類為溪流生物之主要食物來源之一。本計畫對雪霸國家公園武陵地區之溪流，進行藻類生物量與生產力及其受溫度與營養鹽控制之研究。依水質及地點共選定有勝溪下游靠近遊憩區收費站，高山溪一號壩，桃山西溪，七家灣溪一號壩上游及七家灣溪與高山溪匯流後新繁殖場等五個測站，分別於夏季及秋季分別進行環境因子監測及生產力實驗。環境因子監測項目包括水溫、pH值、濁度、日照時數等氣候因子和水層中溶解態無機氮 (DIN: $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) 及溶解態無機磷 (DIP: PO_4^{3-}) 等主要營養鹽濃度。結果顯示冬夏季水溫皆以有勝溪最高，高山溪較低。一號壩上游、新繁殖場兩測站及有勝溪DIN濃度明顯高於其他測站，推測應是七家灣溪及有勝溪沿岸果菜園之輸入所導致。五個測站之DIP濃度皆偏低。

由葉綠素 a 及生產力結果可知桃山西溪與高山溪單位面積葉綠素 a 較少，而新繁殖場單位面積葉綠素 a 可能因高山溪匯流後稀釋營養鹽緣故，葉綠素 a 亦少，但有勝溪之單位面積葉綠素 a 量遠高於其餘測站。單位面積生產量與葉綠素 a 量趨勢相似。單位葉綠素 a 之生產力則以匯流口最高，高山溪與有勝溪偏低。不同水溫添加營養鹽實驗得知高山溪因遮蔽性較高，水溫較低，藻類較適應低溫環境，因此在夏季時水溫降低生產力反而較高。其餘測站在夏季時給予較低溫度，生產力有下降的趨勢。反之秋季時桃山西溪與新繁殖場在昇溫處理時會受到抑制，生產力下降。由此推測水溫為武陵地區溪流影響藻類生產力之主要因子。

關鍵字：附生藻、葉綠素 a、水溫、人為污染、優養化

第一章、緒論

雪霸國家公園位於台灣本島之中北部，自然資源豐富，在民國二十六年之日據時代即將此區及太魯閣地區合併納入「次高太魯閣國家公園」之芻議。內政部自民國七十六年進行本區自然資源之調查、分析與研究後，認為本區具成立國家公園之價值與必要，乃由行政院核定實施「雪霸國家公園範圍」，研擬「雪霸國家公園計畫」，之後於八十一年七月成立雪霸國家公園管理處。雪霸國家公園(圖1)範圍以雪山山脈的河谷稜線為界，東起羅葉尾山，西迄東洗水山，南至宇羅尾山，北抵境界山，總面積達 76,850 公頃，包括了新竹縣五峰鄉和尖石鄉、苗栗縣泰安鄉、台中縣和平鄉，屬於高山型的國家公園。

成立雪霸國家公園最重要的功能之一便是自然資源的保育。因此雪霸國家公園內劃設許多生態保護區與特別景觀區，佔園區總面積達三分之二以上，以便能發揮自然資源保護與生物物種保育之功能。保育工作的基礎建立在園區內各項資源的瞭解與掌握。然而生態系中因子複雜，環境的變化固然可由評估水質或底質等物理化學因子著手，但所得資料並無法藉以判知環境變化是否會影響生物存榮，更無法知道所測得的變化對生物的影響，包括長期累積效應與衝擊程度，也無法推測生物群體的互動與發展動態。因此有必要以生物為基點，直接探討環境的變化對生物的影響，期望能進一步建立生態監測系統。

雪霸國家公園中最为知名的為發現於大甲溪上游武陵地區的陸封型櫻花鉤吻鮭。牠是冰河時期的子遺生物，屬於陸封型的寒帶鮭鱒魚類，但居然能存活於地處熱帶與亞熱帶之季風氣候區之台灣島嶼，是演化學中生物地理學的重大發現(汪，1994)。由於具有重要的學術價值，但魚群數量卻早已稀少到瀕臨絕種的程度，且分布範圍現今只侷限於七家灣溪、高山溪與桃山北溪(曾，2001)，因此政府於民國七十三年七月依「文化資產保存法」第 49 條及施行細則第 72 條之規定，指定並公告櫻花鉤吻鮭為珍貴稀有動物，將其列為重要文化資產之一，又稱為「國寶魚」。其現存棲息地的七家灣流域，在民國八十八年由行政院農委會依據「野生動物保護法」，公告為野生動物保護區，是全球鮭魚分布的南限之一。

台灣櫻花鉤吻鮭棲息地即在雪霸國家公園境內之七家灣溪及高山溪，七家灣溪即位於武陵遊憩區，上游為桃山溪，下游則與高山溪會流成為大甲溪，沿途流

經武陵山莊、武陵農場、武陵行政中心及武陵遊憩區，因此與整個武陵地區各種人為活動皆影響著七家灣溪。其中最主要的就是水域優養化的威脅，水域優養化指的是水域生態系營養狀態的升高(林，2001)。近二十年來優養化不管在海水(Harlin, 1995)或淡水(Lampert and Sommer, 1997)已被認為是全球最普遍且最嚴重之人為污染。主要的原因被公認是人類活動導致氮或磷等營養鹽在單位時間與面積輸入的速率加快所致。優養化對水域的立即影響是植物性浮游生物的大量生長(Lin et al, 1996)。在生態的影響層面上，植物性浮游生物的大量增生會導致水中光度的降低，使濁度升高，水中光度降低，再加上水中營養鹽增加會導致附生於沉水性植物葉片上之附生藻類大量生長，使得沉水性水生植物得不到足夠光度進行光合作用而消失。這些沉水性水生植物的消失也將導致以這些植物為食物以及為棲所之其他水生動植物的消失(Taylor et al., 1995)，進一步可能影響櫻花鉤吻鮭的食物來源。且在非常高優養化的水域可能會造成水域中水層分層現象(stratification)，導致底層水缺氧。另一個可能則是水中藻類因優養化而光合作用速率快速增加，導致水中pH值升高，使得水中高濃度銨(NH₄⁺)轉變為對魚類有毒之硝酸氮及亞硝酸氮，水中溶氧降低及毒性物質增加，皆可能造成櫻花鉤吻鮭的大量死亡。因此水域優養化的預防是維護水資源與生態環境保育的當務之急。

在武陵地區內觀察(林，2003)可以發現，與七家灣溪匯流之有勝溪因其下游有高冷蔬菜農場，承接了農場大量施用肥料而流進的營養鹽，因此優養化的現象十分嚴重，整個水域佈滿了絲狀附生藻。相反的七家灣溪因污染狀況並不嚴重，水質及水色均十分清澈，與之形成強烈的對比。雖然七家灣溪長期以來一直進行水質水源的監測，但是溪流內藻類的研究皆著重在種類調查、分類及地理分布上，對於藻類生物量及生產力幾乎沒有研究，因此若能量化藻類生物量，並進一步了解武陵境內溪流中附生藻類的生產力及其生產力是否受限於營養鹽或水溫，除了對溪流中生產力的控制因子的了解極有幫助外，對於武陵地區溪流生態細模式的架構，以及對武陵遊憩區內污水處理與經營管理均有極大的助益。

本計畫為第二年之延續性計畫研究內容除了持續監測武陵地區溪流藻類生物量及生產力變化外，並擬解決問題：

1. 比較武陵地區不同溪流藻類生物量與生產量是否有差異。

武陵地區溪流藻類生產力之限制營養鹽研究（二）

2. 檢測武陵地區溪流藻類生產力是否受限於營養鹽。
3. 若受限於營養鹽，是受限於何種營養鹽。
4. 營養鹽限制情形是否有季節性轉變。
5. 水溫是否會影響藻類之生產力，進而影響營養鹽限制情形。

第二章、研究設計

1. 研究地區

本計畫研究地區為雪霸國家公園東邊之武陵地區，面積約四十六公頃。行政區上隸屬於台中縣和平鄉，是一個由雪山山脈所圍繞成的山谷（圖 1）。南北走向成葫蘆形的狹長谷地，終年平均氣溫為 15°C 左右。區內包含五個水域：七家灣溪、桃山溪、高山溪、有勝溪及司界蘭溪，匯集後即成為大甲溪上游。

武陵地區內共有有勝溪、桃山溪、高山溪及七家灣溪，桃山溪為七家灣溪上游，高山溪及七家灣溪皆有櫻花鉤吻鮭棲息地，而有勝溪為優養化最為嚴重之溪流，因此依水質及地點於 2003 年 2 月選定四個測站，分別為有勝溪下游靠近遊憩區收費站，高山溪一號壩，七家灣溪一號壩上游及桃山西溪，之後於 2004 年 1 月增加七家灣溪及高山溪匯流口附近新繁殖場之測站，共五個測站（圖 2）。

五個測站中有勝溪因上游果菜園大量農業肥料輸入，導致營養鹽濃度最高，溪流中附生藻類繁生。桃山西溪及高山溪兩測站上游無人為影響之營養鹽輸入，水體中營養鹽濃度最低。七家灣溪一號壩則可能承接七家灣溪沿岸果菜園農業肥料之輸入，雖然水質清澈，但水體中營養鹽濃度偏高。新繁殖場則在一號壩更下游，由於高山溪溪水由此注入，水體營養鹽被稀釋，所以營養鹽濃度略低於一號壩。本實驗將高山溪視為未受人為影響之測站，有勝溪則為嚴重受人為干擾之環境，藉以對照觀察七家灣溪沿岸受不同程度人為影響三測站，所呈現生物量及生產力改變。

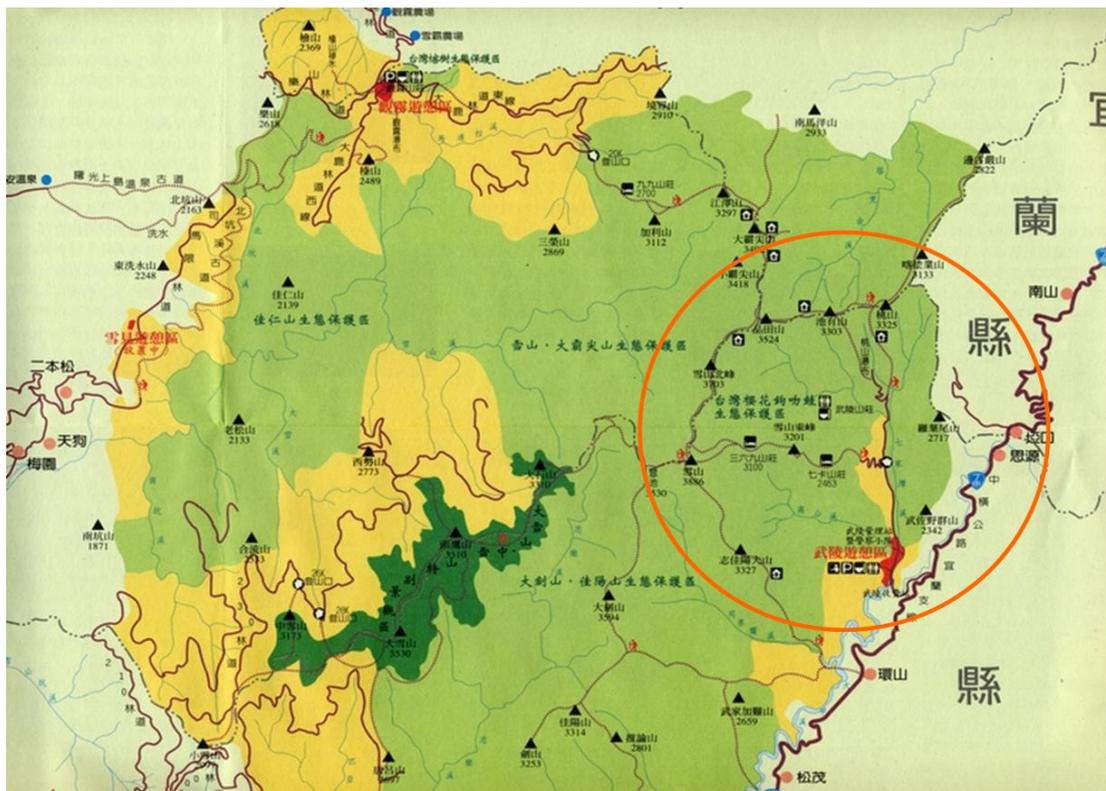


圖 1. 本計畫之研究範圍為雪霸國家公園東邊之武陵地區

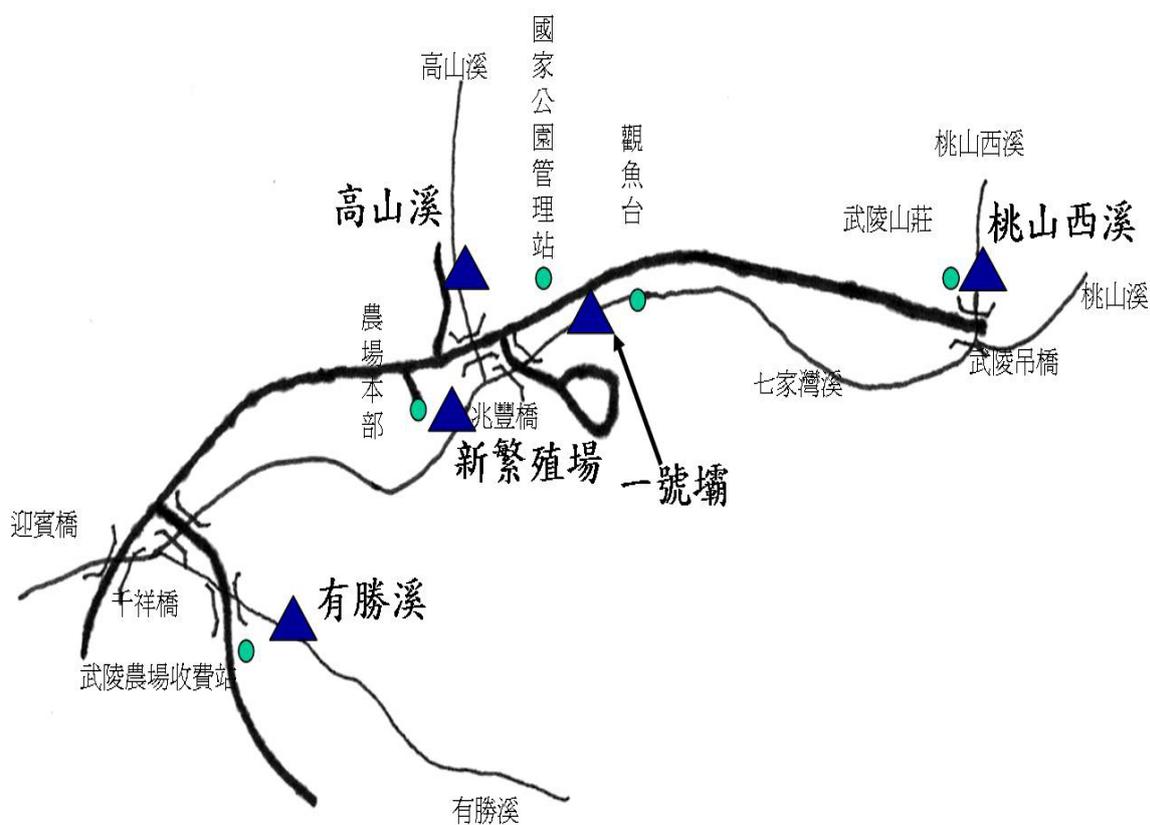


圖 2. 各測站相關位置圖

2. 實驗時間

於 2004 年 1、3、8、11 月，分別為冬、春、夏、秋四季各進行一次實驗，冬季及春季為營養鹽添加實驗，夏季及秋季則為探討水溫之影響，為不同水溫下之營養鹽添加實驗。

3. 附生藻類生物量

武陵地區溪流中附生藻大多附生於溪流中石塊上，生物量以單位面積葉綠素 a 含量 ($\text{mg Chla}/\text{m}^2$) 表示之。生物量估計方法為將石頭上藻類全數刮下置於樣品瓶中，將之冷藏帶回實驗室後，取固定體積樣品測得葉綠素 a 濃度，再推算回樣品瓶中總葉綠素 a 濃度，即可知此石頭上總葉綠素 a 含量。石頭面積則是將已知鋁箔面積之鋁箔秤重，求出面積與鋁箔重量之關係公式，再以鋁箔紙包附石頭長藻之表面後，將鋁箔剪下秤重，將此重量帶入之前公式，可得石頭之表面積。以石頭上總葉綠素 a 含量除以石頭面積，即為單位面積葉綠素 a 含量。

4. 附生藻類生產力測量

(1) 附生藻類生產力溶氧變化測定

附生藻類的初級生產量使用改良式的光暗瓶法(light-dark bottle method)，溶氧測定法則是以預先在實驗室經過 Winkler method 校正過之溶氧電極(YSI Model 52, YSI 5905 BOD probe)測定。附生藻生產力測定的原理是利用培養箱內溶氧在培養前後差異而獲知。首先將各測站長有附生藻石頭取上岸，置於封閉的方形壓克力培養箱中(25cm ×10cm ×15cm)，於正午時間進行培養。培養箱為透明壓克力材質，可使光線直接穿透。上有密封蓋，水與外界空氣可以隔開。密封蓋上鑽一採樣孔供溶氧電極測量培養箱中溶氧。培養箱置於流水培養槽中防止培養箱內水溫過高於外界水溫(圖 4)。所測得之溶氧變化紀錄後，除以培養時間與石頭上總葉綠素 a 含量，可得單位時間內單位葉綠素 a 之溶氧變化 ($\text{mmole} [\text{O}_2]/\text{hr mg Chla}$)，此為藻類之生產力 P^B 。

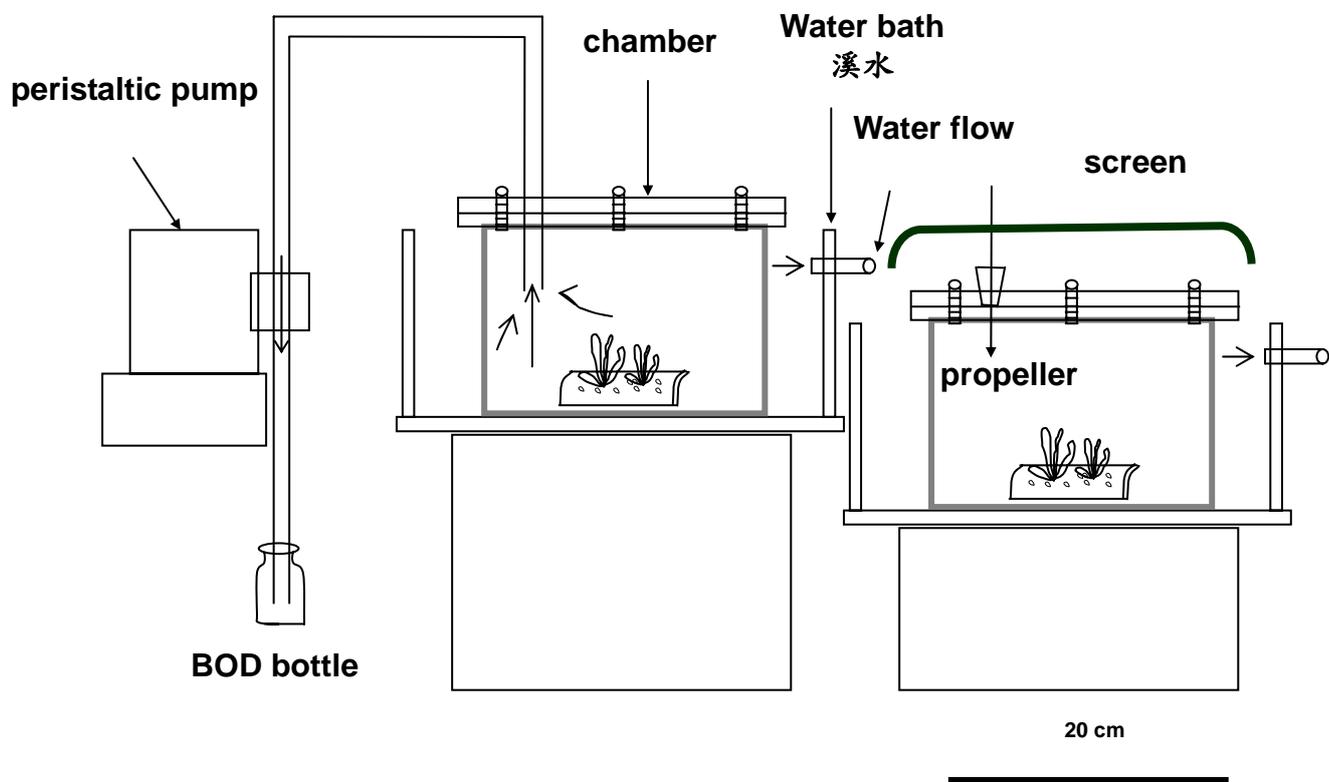


圖 3 生產力培養野外裝置

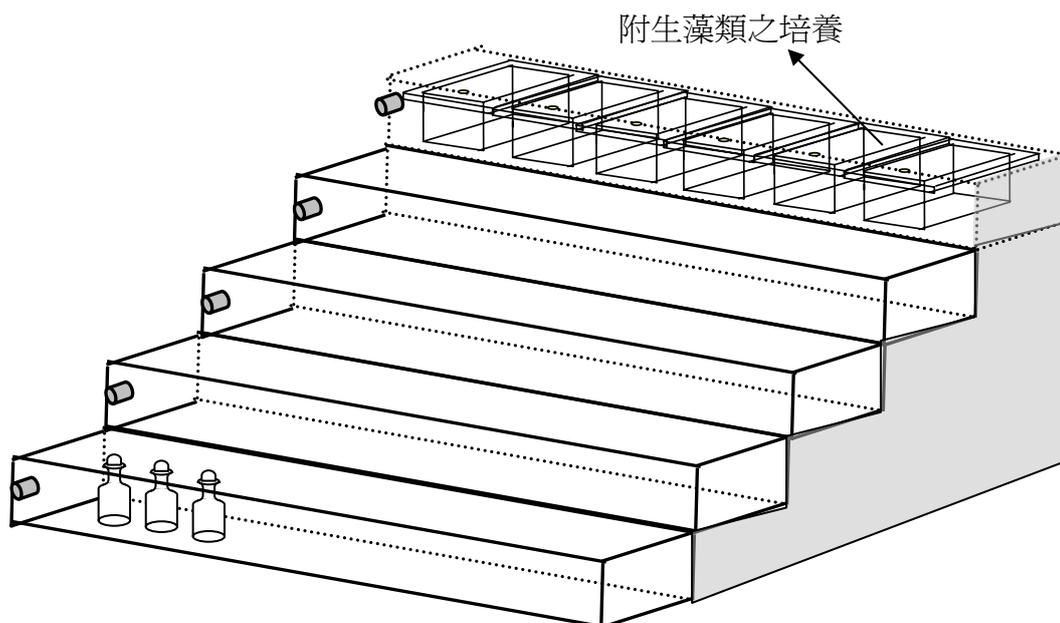


圖 4 附生藻生產力培養裝置

(2) 附生藻類樣品處理

測完溶氧變化值後取出藻板及石頭，將上面的附生藻類全數刮下，置於 4°C 冰箱中冷藏帶回實驗室，取定量附生藻秤取濕重，置於 60°C 烘箱中烘乾後秤乾重(dry weight)，最後置入 400°C 灰化爐灰化後秤有機重(ash-free dry weight)。另一部分附生藻則以 90% 丙酮萃取葉綠素，24 小時後以分光光度計測波長 630、647、664、750 nm 之吸光值後，套用下列公式計算葉綠素 a 的濃度：

$$[\text{Chl. a}] (\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}) = 11.85 \times E_{664} - 1.54 \times E_{647} - 0.08 \times E_{630}$$

其中[Chl. a]: 浮游藻葉綠素 a 濃度

E_{664} = 波長 664 nm 吸光值 - 波長 750 nm 吸光值

E_{647} = 波長 647 nm 吸光值 - 波長 750 nm 吸光值

E_{630} = 波長 630 nm 吸光值 - 波長 750 nm 吸光值

5. 環境因子資料

環境因子包括水溫、pH值、濁度、氣溫、日照時數等氣候因子和水層中溶解態有機氮 (DIN: $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) 及溶解態有機磷 (DIP: PO_4^{3-}) 等主要營養鹽濃度。水溫及pH值變化的資料則是使用HTC-201U pH meter測得。濁度則使用Li-cor LI-189 光照計測定水下光合作用有效光照(photosynthetic active radiation, PAR)，由水下表面之光照及水下每 10cm深之光照，以Lambert-Beer equation推算水層中光遞減係數(attenuation coefficient)。水層中營養鹽濃度樣水取樣後先以 0.45 μm 之薄膜濾紙 (MFS cellulose nitrate membrane filter) 過濾，置於 4°C 冰箱冷藏後以冰箱帶回實驗室進行分析。磷酸鹽依照Murphy 與 Riley (1962) 之抗壞血酸磷鉬比色法測定之。DIN的部分分成兩個部分進行測定，一為 NH_4^+ 的測定，一為 NO_2^- 及 NO_3^- 的測定，再將兩次所測得的營養鹽濃度相加，即為水體中DIN濃度。 NH_4^+ 的測定採Pai (2001) 所建立的indophenol blue spectrophotometric method，以分光光度計測定。 NO_2^- 及 NO_3^- 亦採Pai (1994) 改良Parsons等人 (1984) 所建立之方法，利用鎳銅還原管連接流動注入分析儀之方式，將 NO_3^- 還原為 NO_2^- ，再對水體中 NO_2^- 含量測定。所得 NO_2^- 及 NO_3^- 含量加上 NH_4^+ 含量，即為總DIN濃度。

6. 營養鹽添加實驗

本營養鹽添加實驗是利用Lin等人(2004)所設計的藻類生產力培養箱系統(可視同一種微觀生態池microcosm)進行實驗。以較高濃度之 NH_4^+ + NO_3^- 、 PO_4^{3-} 以及 $(\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+) + \text{PO}_4^{3-}$ 添加於附生藻類之培養箱中，實驗預計於添加1-2小時後，約上午10:00-14:00間，即陽光最充足時進行培養。之後以溶氧變化來監測附生藻生產力的變化。本實驗目的在檢測溪流中附生藻生產力受何種營養鹽限制，是氮限制，或磷限制，或者是氮與磷共同限制。

7. 不同水溫營養鹽添加實驗

由環境因子結果可知冬季平均溫度約 7°C ，夏季約為 14°C ，本實驗與營養鹽添加實驗裝置類似，將裝置分為兩組，分別置於 7°C 與 14°C 水槽中進行培養，每組也以較高濃度之 NH_4^+ + NO_3^- 與 PO_4^{3-} 添加在附生藻類培養箱中，於陽光最充足時進行培養。同樣以溶氧變化來監測附生藻再步同溫度下添加營養鹽後生產力的變化。本實驗欲藉由水溫及營養鹽兩個不同因子，來探討水溫是否會影響藻類生產力，進而影響營養鹽限制之情形。

8. 颱風後對藻類影響

2004年七月及八月分別有敏督利及艾莉兩颱風侵台，兩次降雨量皆高達300-400毫米，如此大的水量對溪流中所有生物皆是極大的衝擊，主要造成環境中物理因子的改變，例如河道、地形、水流速等，因此在2004年9月初，即水災過後約一星期大水退去後，於各測站採取石頭與水樣，藉以觀察石頭上附生藻生物量和水體中營養鹽的變化。並與水災前後約一個月之生物量和營養鹽狀況做比較。

第三章、實驗結果

1. 水質環境因子

(1) 水溫

各測站水溫夏季高於冬季，夏季溫度在 12-21°C 之間，冬季則在 7-12°C。2004 年夏季實驗進行時間為七二水災過後，推測可能因為水量比往年大許多，因此測得水溫較 2003 年夏季來的低。在四個測站中以有勝溪河道較寬且兩旁為峭壁，易受陽光直射，所以水溫偏高，在夏季最高可達 20 °C 上下。七家灣溪則下游河段高於上游，高山溪較鬱蔽，相較之下水溫也偏低 (圖 5)。

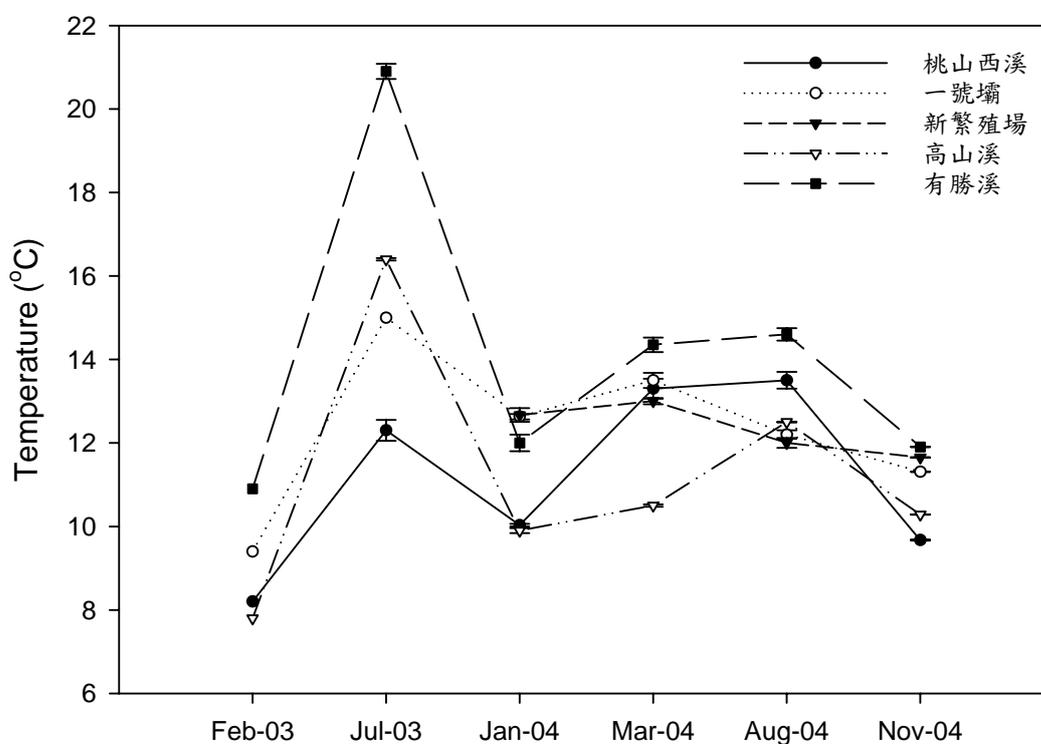


圖 5 各測站水體溫度季節變化

(2) 營養鹽濃度

在營養鹽濃度方面，有勝溪總溶解態無機氮 ($\text{DIN} : \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$) 含量偏高，最高可達將近 250 μM (圖 6)，可能是上游沿岸高麗菜園施肥所致。桃山西溪營養鹽含量則與高山溪相近，冬季 DIN 濃度介於 8.0-12.0 μM (圖 6)。一號壩 DIN 濃度在 100 μM 以上，明顯高於桃山西溪。而新繁殖場附近河段，因

為是高山溪與七家灣溪匯流後之河段，高山溪DIN濃度較低，推測可能是匯流後稀釋，因此測得DIN濃度略低於一號壩所測得之濃度，為 60-70 μM 。若將硝酸鹽加亞硝酸鹽 ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) 及氨鹽 (NH_4^+) 濃度分開來看可以發現五個測站所測得DIN幾乎皆為 $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ 組成 (圖 7)。由此可見一號壩及有勝溪應有大量農業肥料的輸入。五個測站溶解態無機磷 (DIP: PO_4^{3-}) 濃度皆在 0.15 μM 以下 (圖 8)，且各測站間並無明顯差異。五測站水體中氮磷比可由圖 9 及 10 中各季節總磷及總氮含量相除得知，一號壩及有勝溪明顯高於其餘測站，氮磷比皆大於 16:1 (表 1)，且夏季時氮磷比升高。顯示在七家灣溪流域DIN含量相對於DIP是過多的情形。

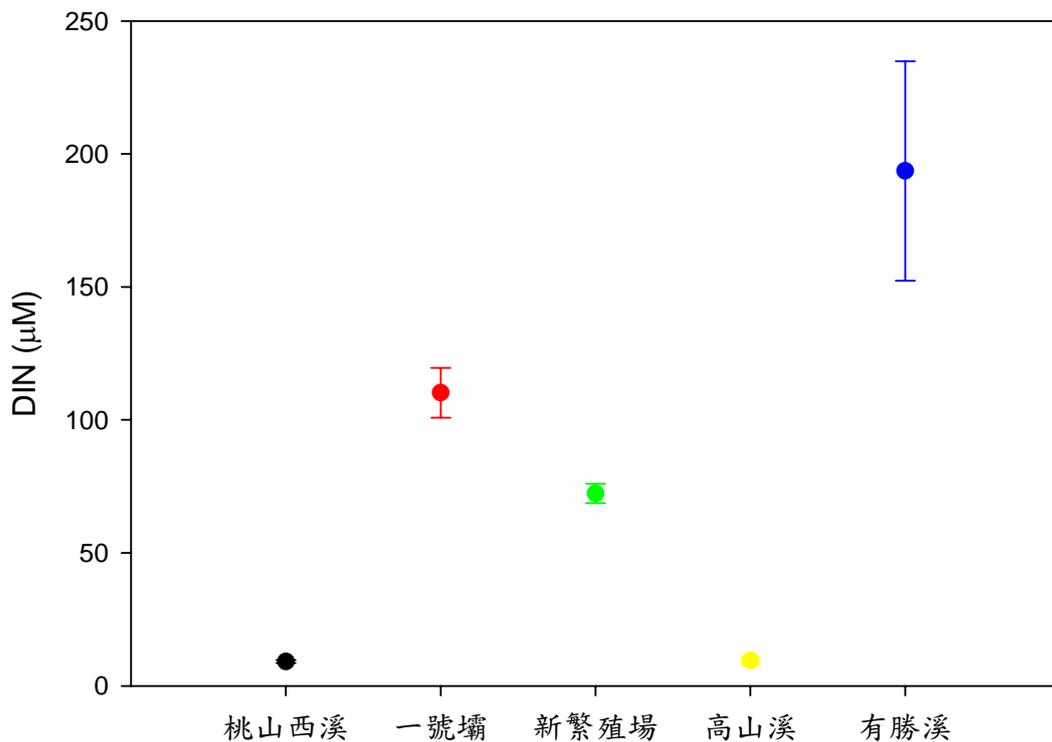


圖 6 各測站溶解態無機氮濃度差異 (n=4)

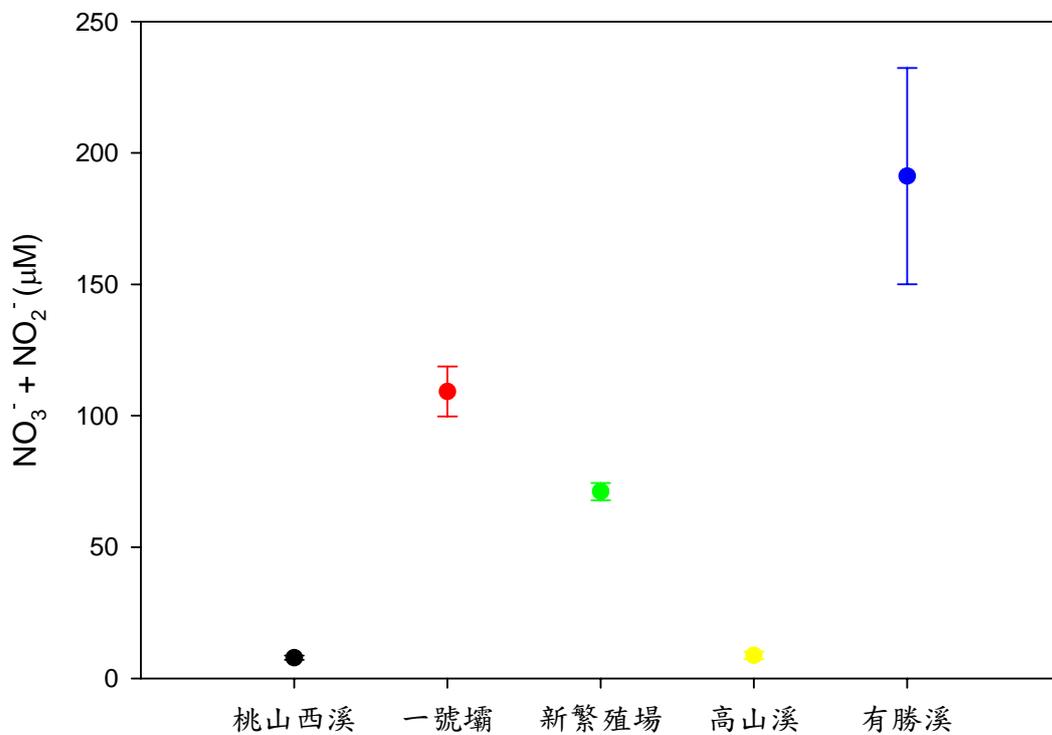


圖 7 各測站NO₃⁻+NO₂⁻ 濃度差異 (n=4)

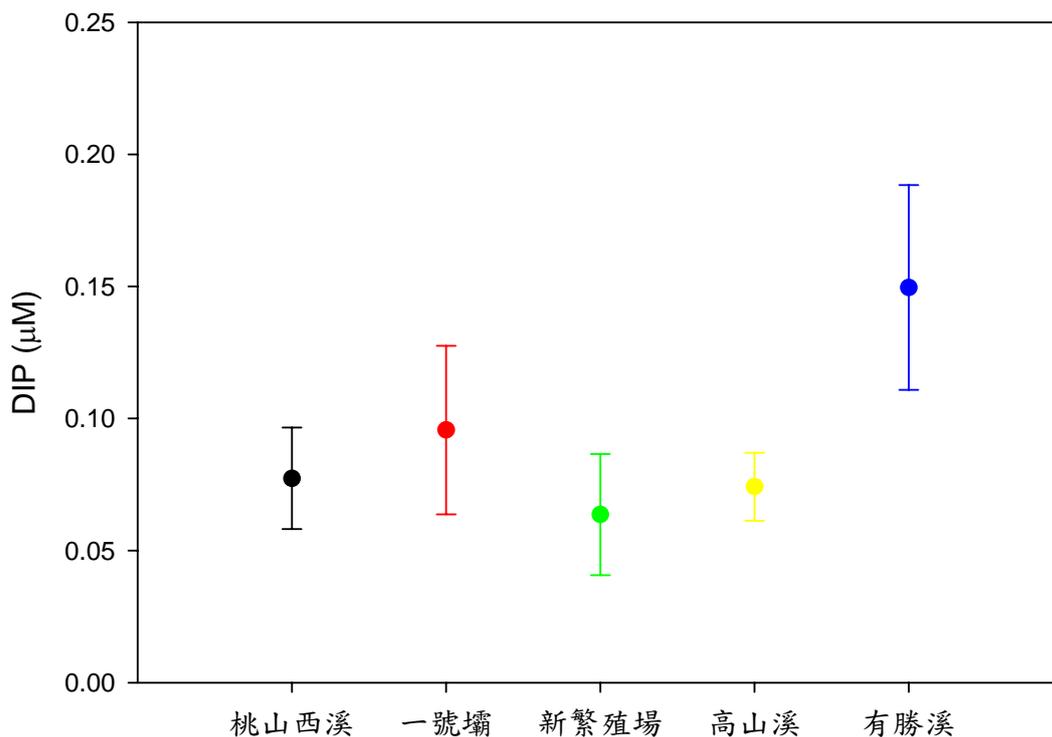


圖 8 各測站 DIP 濃度差異 (n=4)

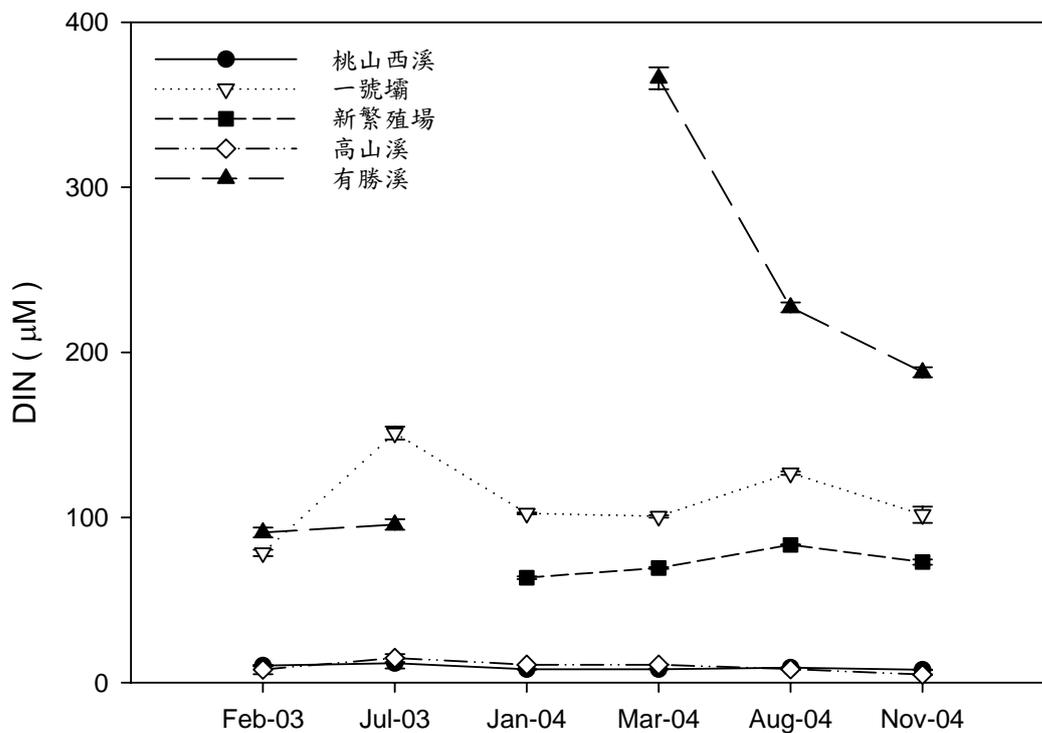


圖 9 各測站 DIN 濃度季節變化

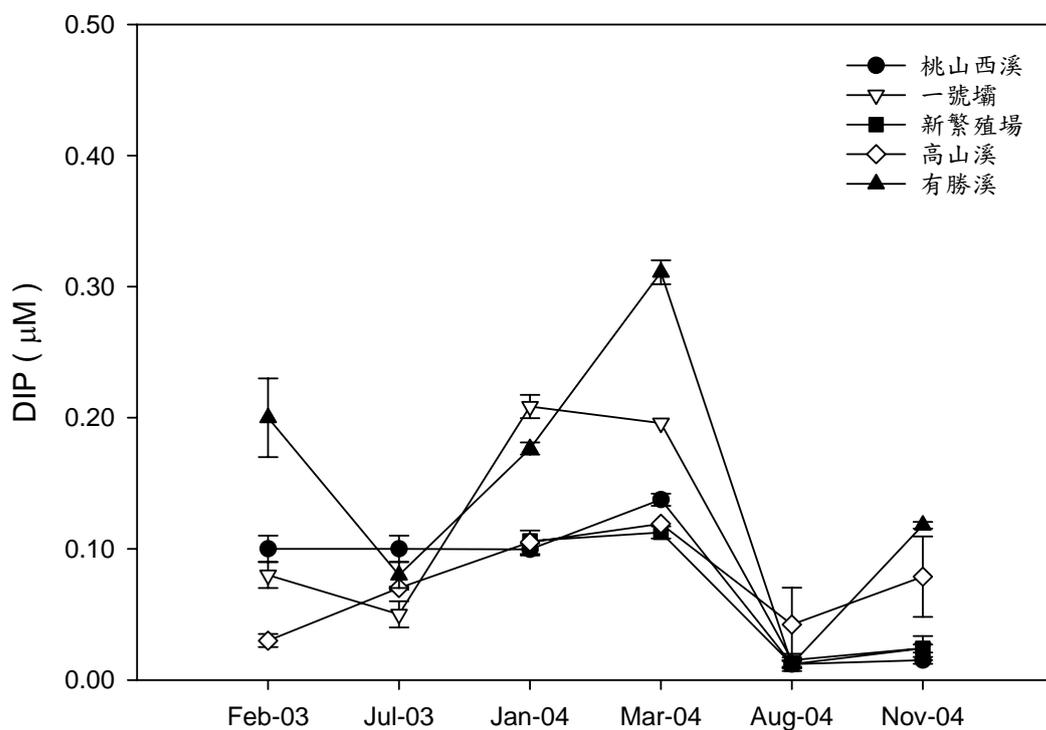


圖 10 各測站 DIP 濃度季節變化

表 1 各測站不同季節氮磷比

	2003/2	2003/8	2004/1	2004/3	2004/8	2004/11
七家灣溪上游	107	164	81	59	749	515
七家灣溪一號壩	1047	7104	491	513	8458	4190
新繁殖場*			599	617	6951	3042
高山溪	312	301	102	90	190	61
有勝溪	454	1344		1177	1894	1593

* 2004 年 1 月後新增測站

2. 高山溪及七家灣溪藻類生物量估計

(1) 附生藻生物量

生物量的估計以各測站四季單位面積葉綠素 a 含量平均做比較，分別估出不同河段生物量。以七家灣溪不同河段所測得葉綠素 a 值，可看出一號壩生物量高於桃山西溪 (圖 11)，七家灣溪與高山溪匯流口附近新繁殖場生物量可能因營養鹽濃度降低，生物量也較低。高山溪生物量與桃山西溪類似。位於武陵收費站下方有勝溪河段生物量明顯較七家灣溪各測站和高山溪高出許多，可達 3-10 倍。

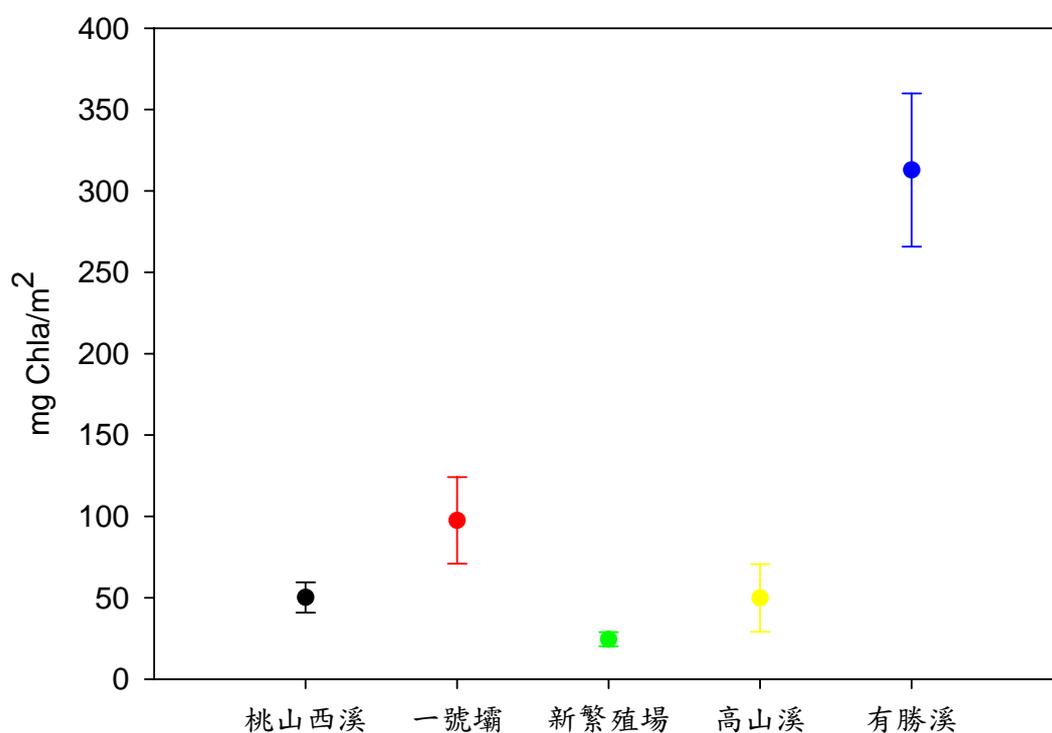


圖 11 七家灣溪各測站單位面積葉綠素 a 含量 (n=4~6)

3. 附生藻類生產量

將測得各測站之附生藻單位面積年生產力利用光合作用差商值 1.2 (photosynthetic quotient、Meyercordt and Meyer-Reil, 1999) 將氧的生產力轉換為每年碳固定之生產量。與單位面積葉綠素 a 趨勢相近，一號壩與新繁殖場兩測站略高於桃山西溪 (圖 12)，有勝溪生物量最高，年生產量也明顯高於七家灣溪及高山溪，各個測站又以高山溪年生產量最低。

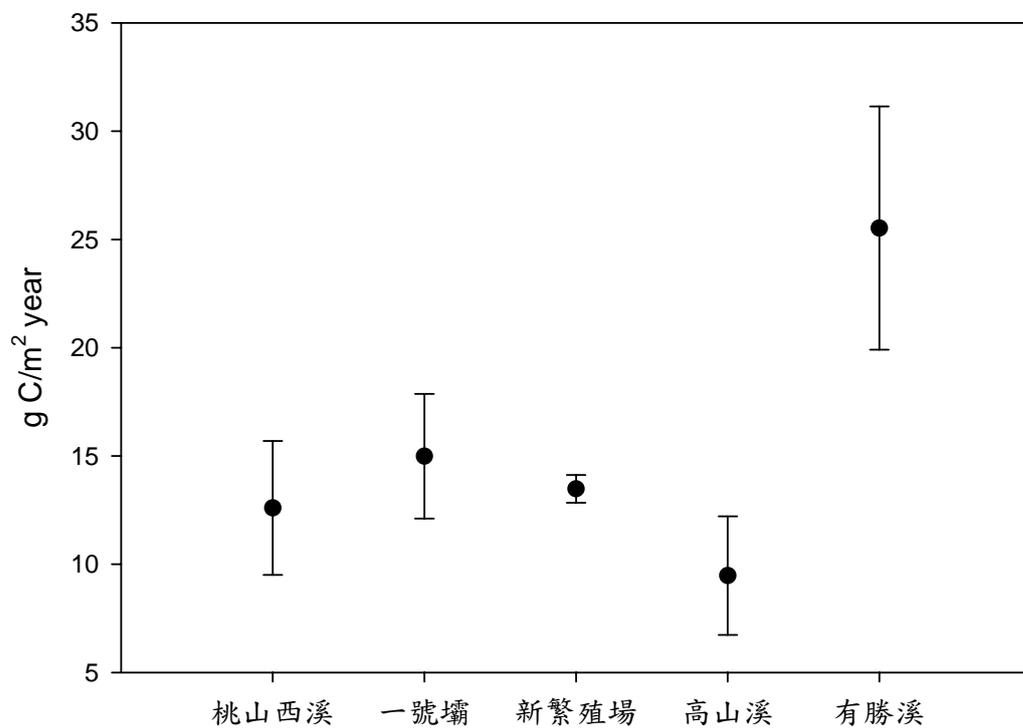


圖 12 七家灣溪各測站單位面積年生產量 (n=4~6)

4. 營養鹽添加實驗

附生藻營養鹽添加實驗方面，2003年2月七家灣溪上游 P^B 在添加了硝酸鹽及氮鹽後增加 ($p < 0.05$) (圖 13)。七家灣溪下游 P^B 添加磷酸鹽後，相對於控制組生產力有提高的現象 ($p < 0.05$) (圖 13)。高山溪添加硝酸鹽及氮鹽後 P^B 上升 ($p < 0.05$) (圖 13)，與七家灣溪上游類似。2003年7月之後五個測站分別在夏季及冬季進行兩次實驗(圖 14、15)，2004年則在1、3、8、11月進行(圖 16-19)，總計7次實驗。同樣2004年1月七家灣溪下游一號壩之 P^B ，添加磷酸鹽後有顯著增加的現象 ($p < 0.05$) (圖 16)。2004年1、3月高山溪(圖 16、17)及新繁殖場(圖 16、17)河段雖然在添加磷酸鹽後 P^B 升高，但進行統計分析後未達顯著水準。而有勝溪在這幾次營養鹽添加實驗中不論是添加磷酸鹽或硝酸鹽及氮鹽， P^B 都無明顯變化(圖 13-19)。夏季各測站無論添加何種營養鹽皆無生產力顯著提高之現象，顯示冬季有營養鹽限制情形發生，夏季則無。因此在2004年8月及11月進行不同水溫下添加營養鹽實驗，進一步釐清水溫對藻類的影響。

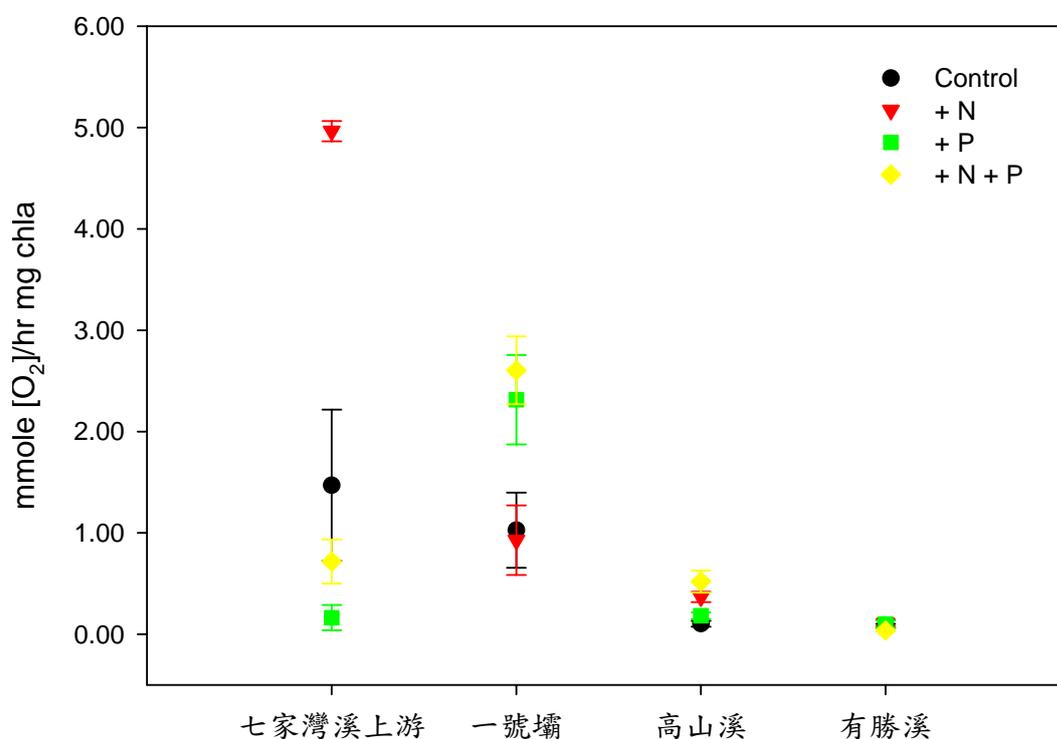


圖 13 2003年2月各測站附生藻添加營養鹽後生產力變化。(n=1~8)

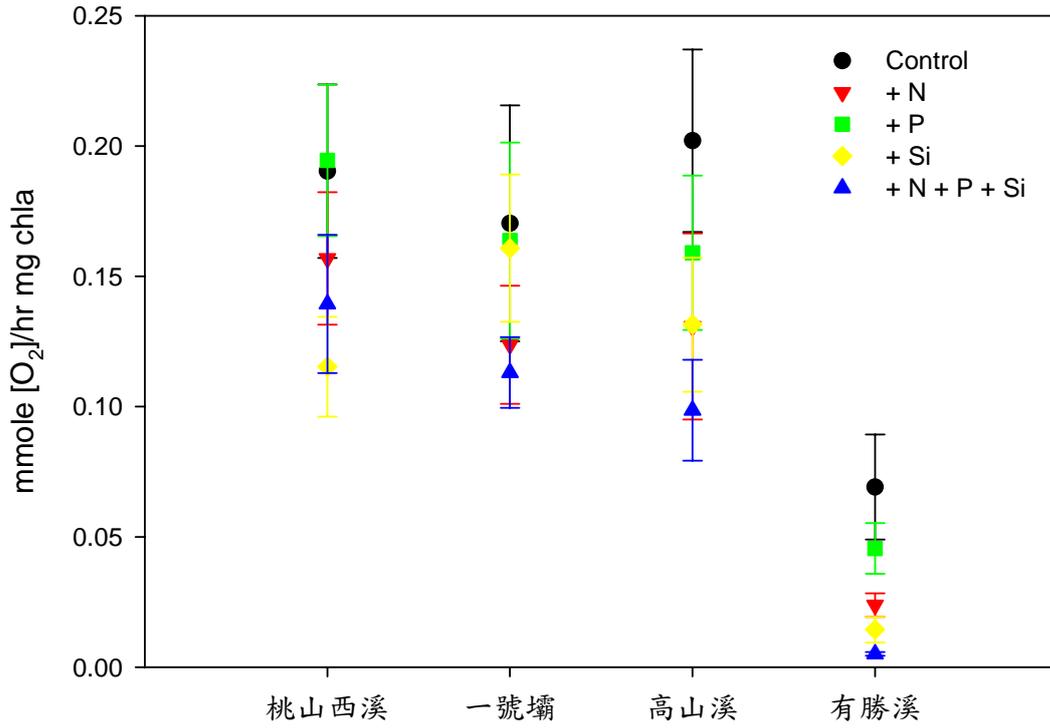


圖 14 2003 年 7 月各測站附生藻添加營養鹽後生產力變化。(n=1~8)

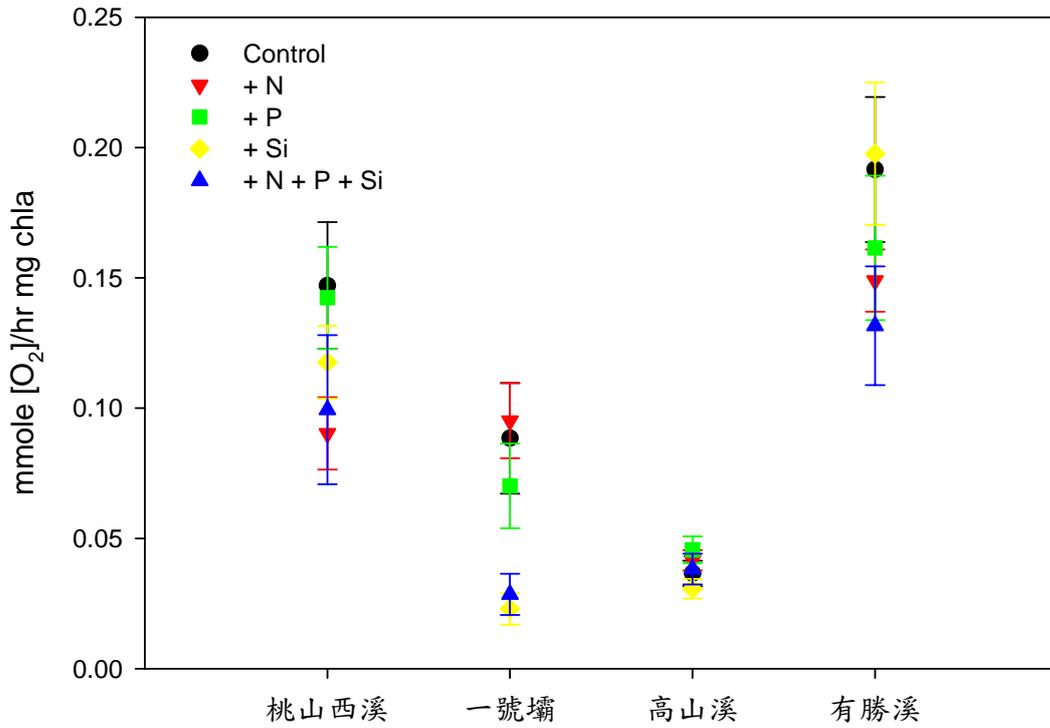


圖 15 2003 年 8 月各測站附生藻添加營養鹽後生產力變化。(n=1~8)

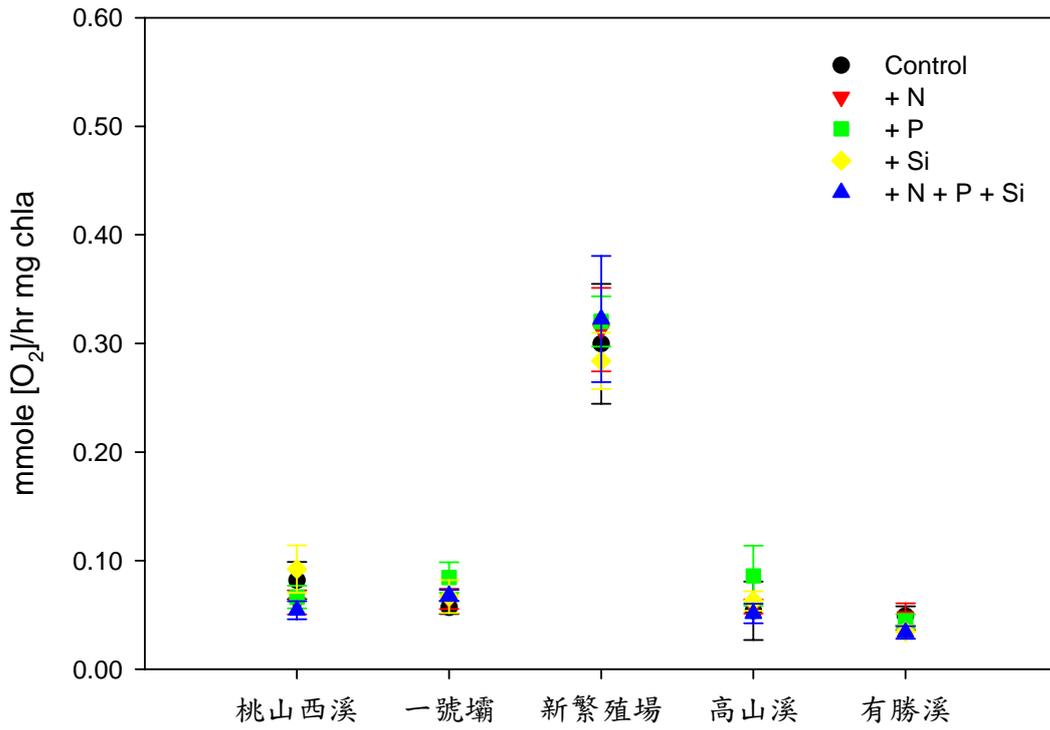


圖 16 2004 年 1 月各測站附生藻添加營養鹽後生產力變化。(n=1~8)

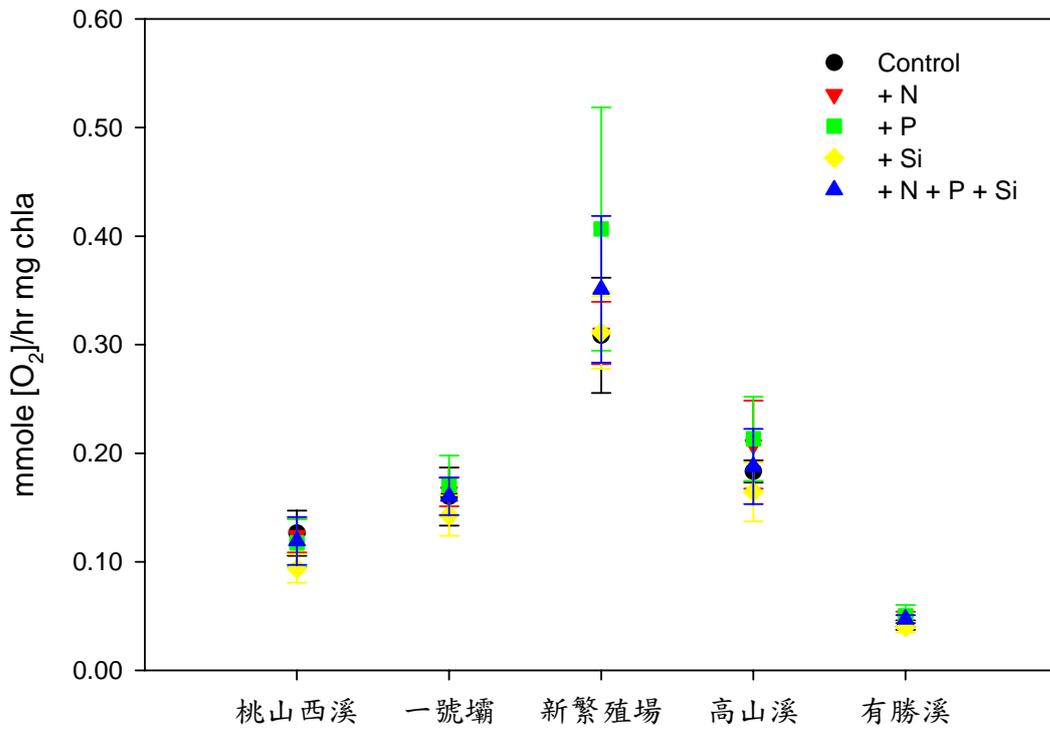


圖 17 2004 年 3 月各測站附生藻添加營養鹽後生產力變化。(n=1~8)

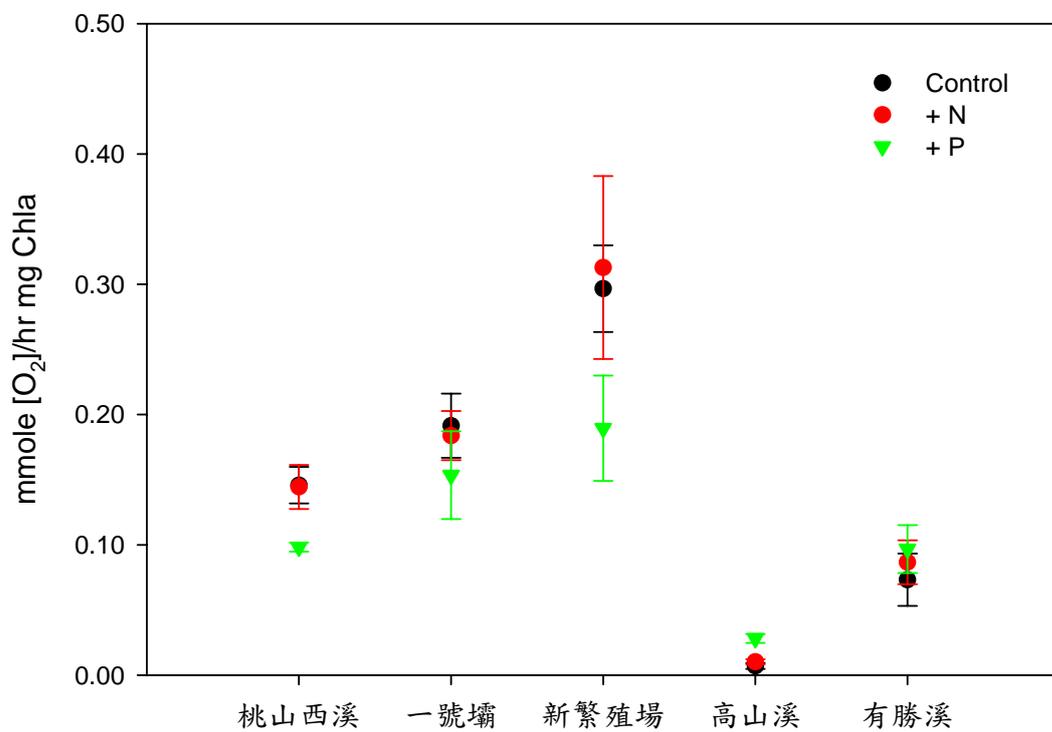


圖 18 2004 年 8 月各測站附生藻添加營養鹽後生產力變化。(n=1~8)

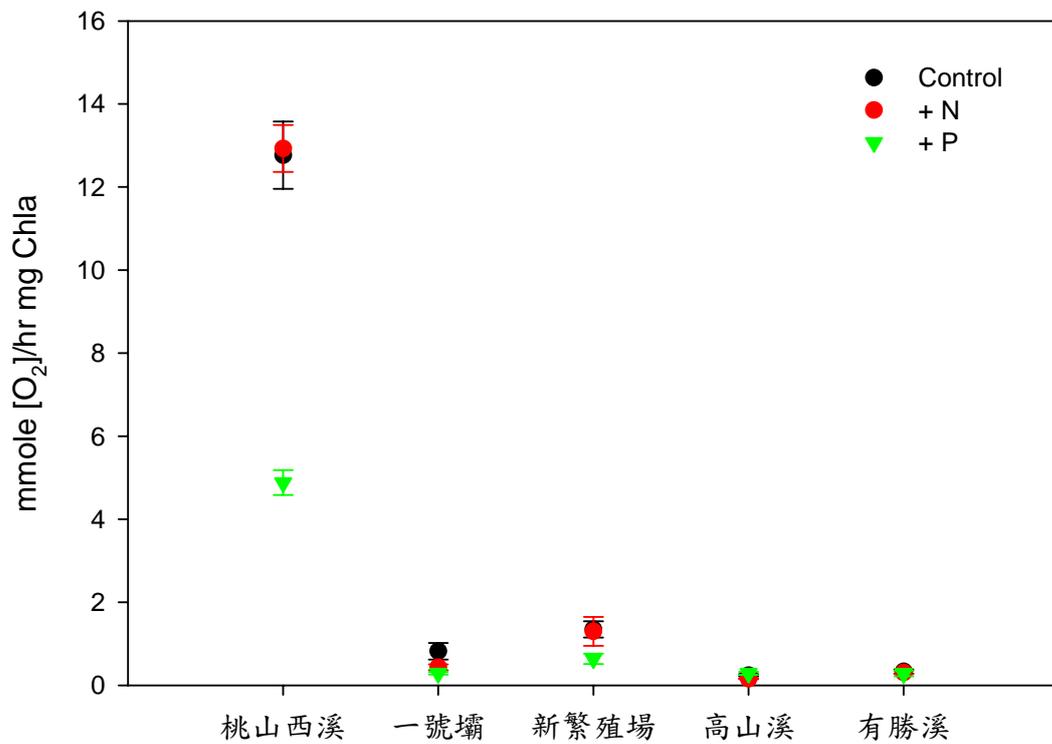
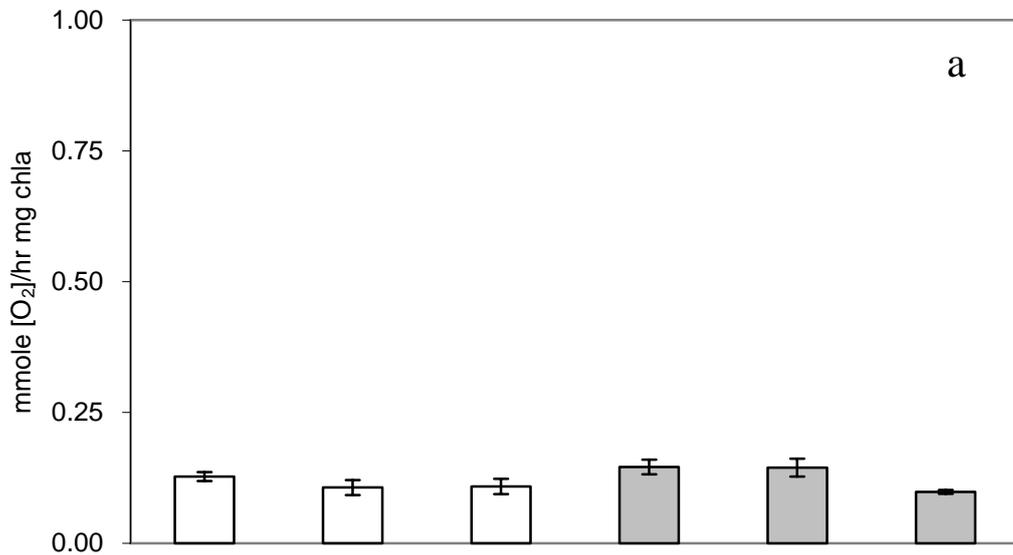


圖 19 2004 年 11 月各測站附生藻添加營養鹽後生產力變化。(n=1~8)

5. 不同水溫營養鹽添加實驗

分析夏季及秋季實驗結果 (表 2、3) 可知，在不同季節時不同測站影響生產力的主要因子有些許不同。再由觀察冬夏季生產力變化可發現，高山溪因遮蔽性較高，水溫相對較低，藻類較適應低溫環境，因此在夏季實驗中降溫處理時，生產力反而升高。其餘測站在夏季時給予較低溫度，生產力有下降的趨勢。反之秋季時桃山西溪與新繁殖場藻類生產力在升溫處理時會受到抑制，生產力下降 (圖 20-24)。



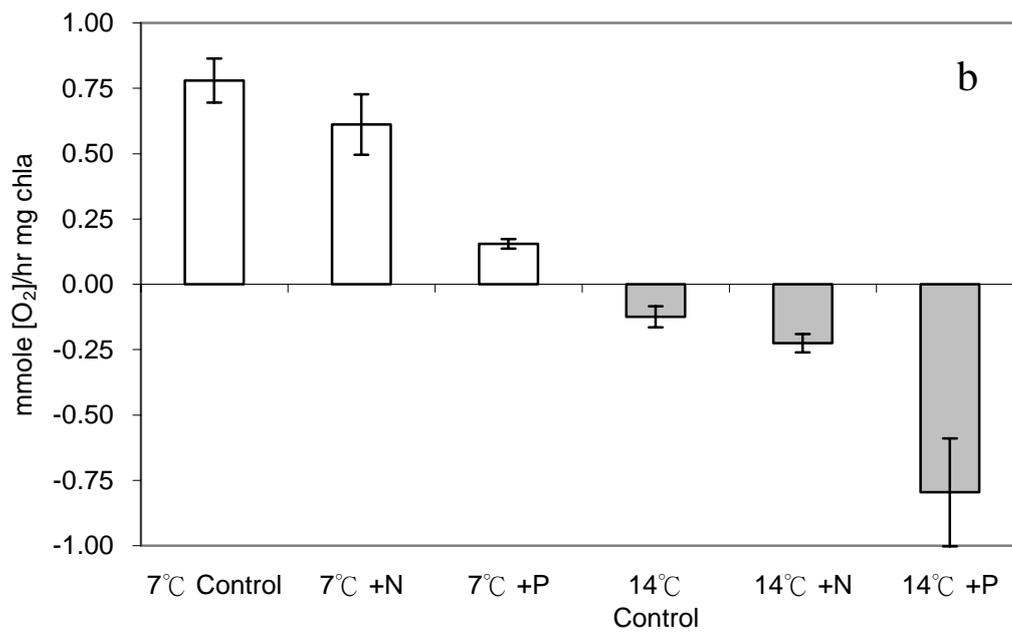


圖 20 桃山西溪不同溫度下添加營養鹽生產力變化。a 夏季 b 秋季。(n=5~7)

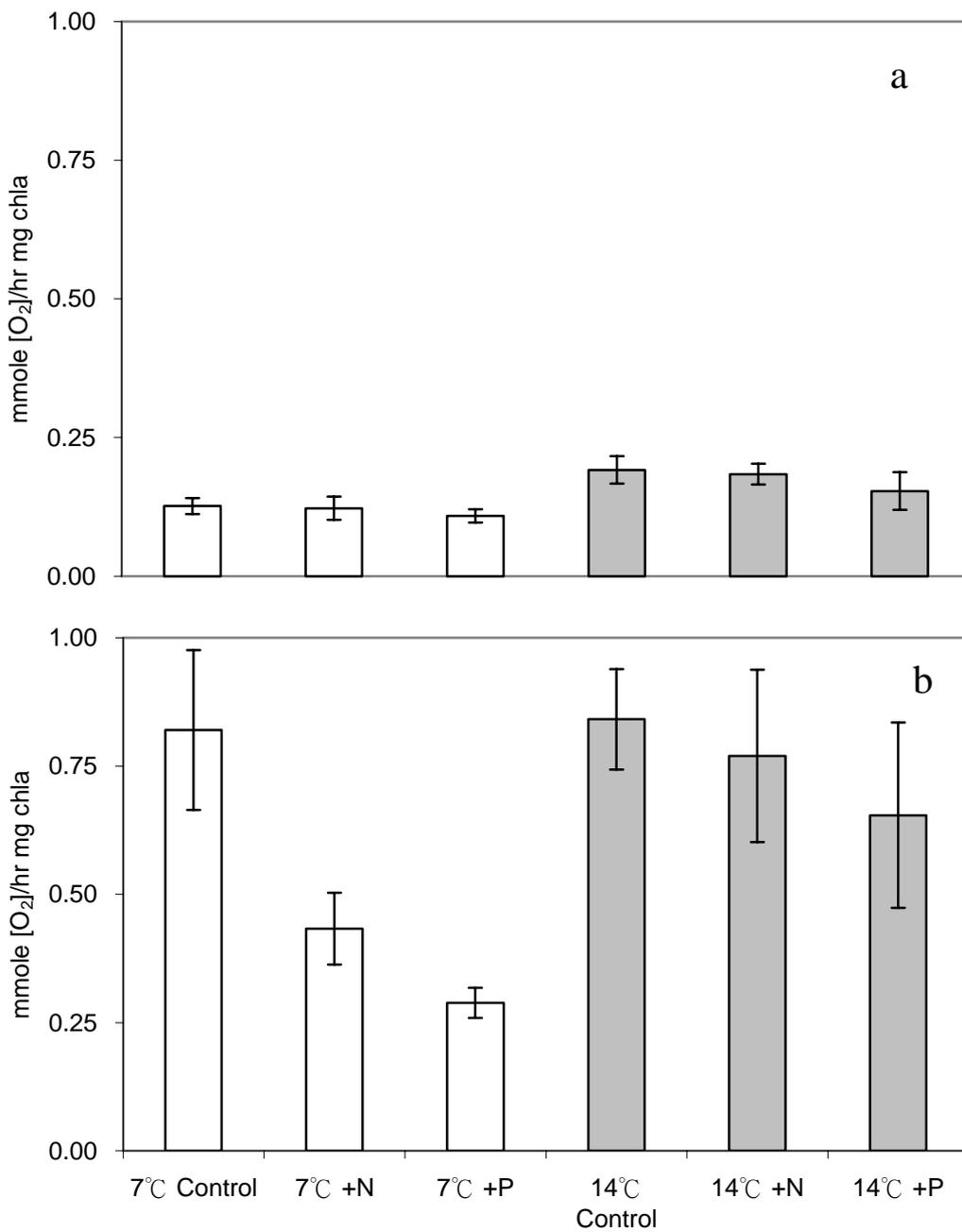


圖 21 一號壩不同溫度下添加營養鹽生產力變化。a 夏季 b 秋季。(n=5~7)

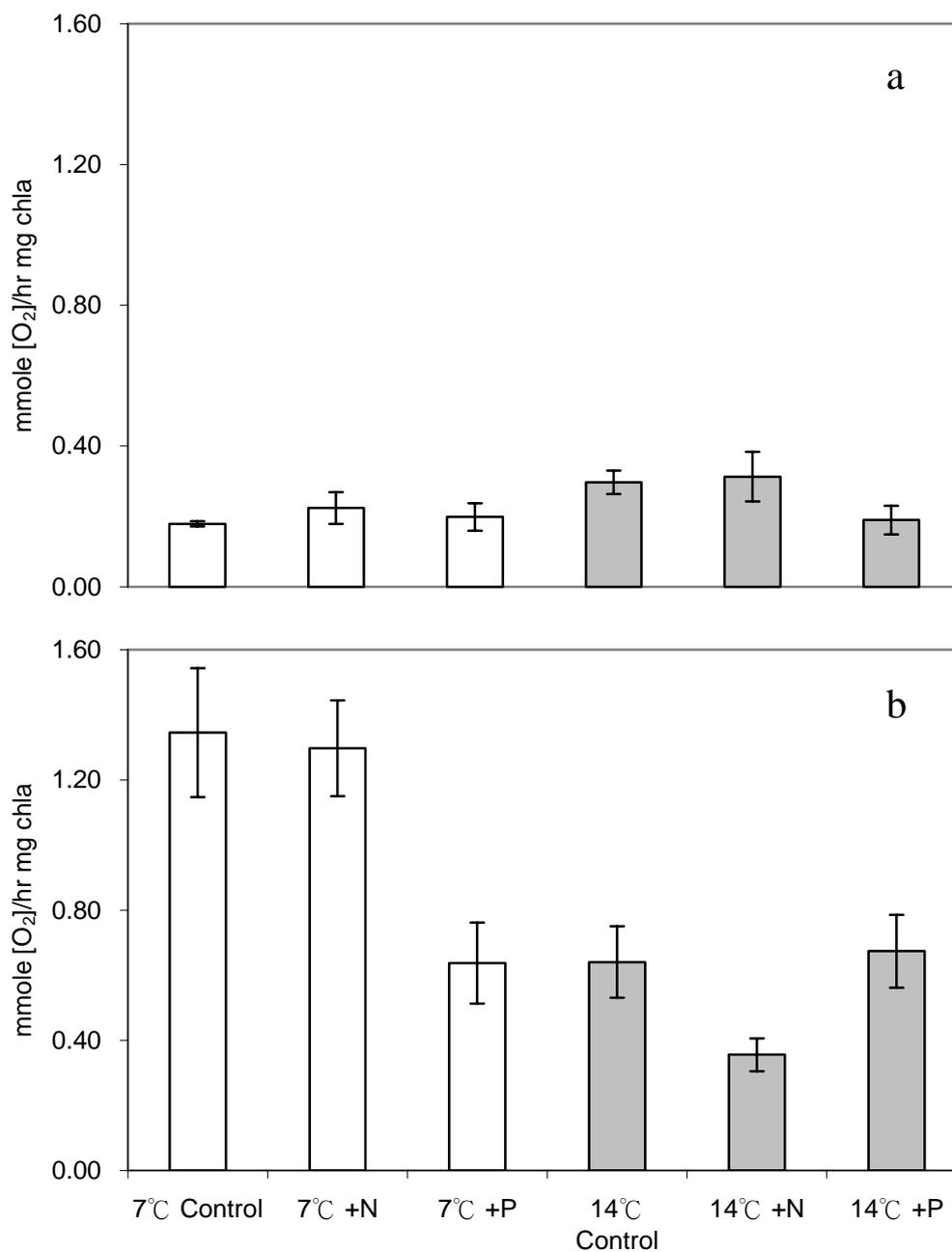


圖 22 新繁殖場不同溫度下添加營養鹽生產力變化。a 夏季 b 秋季。(n=5~7)

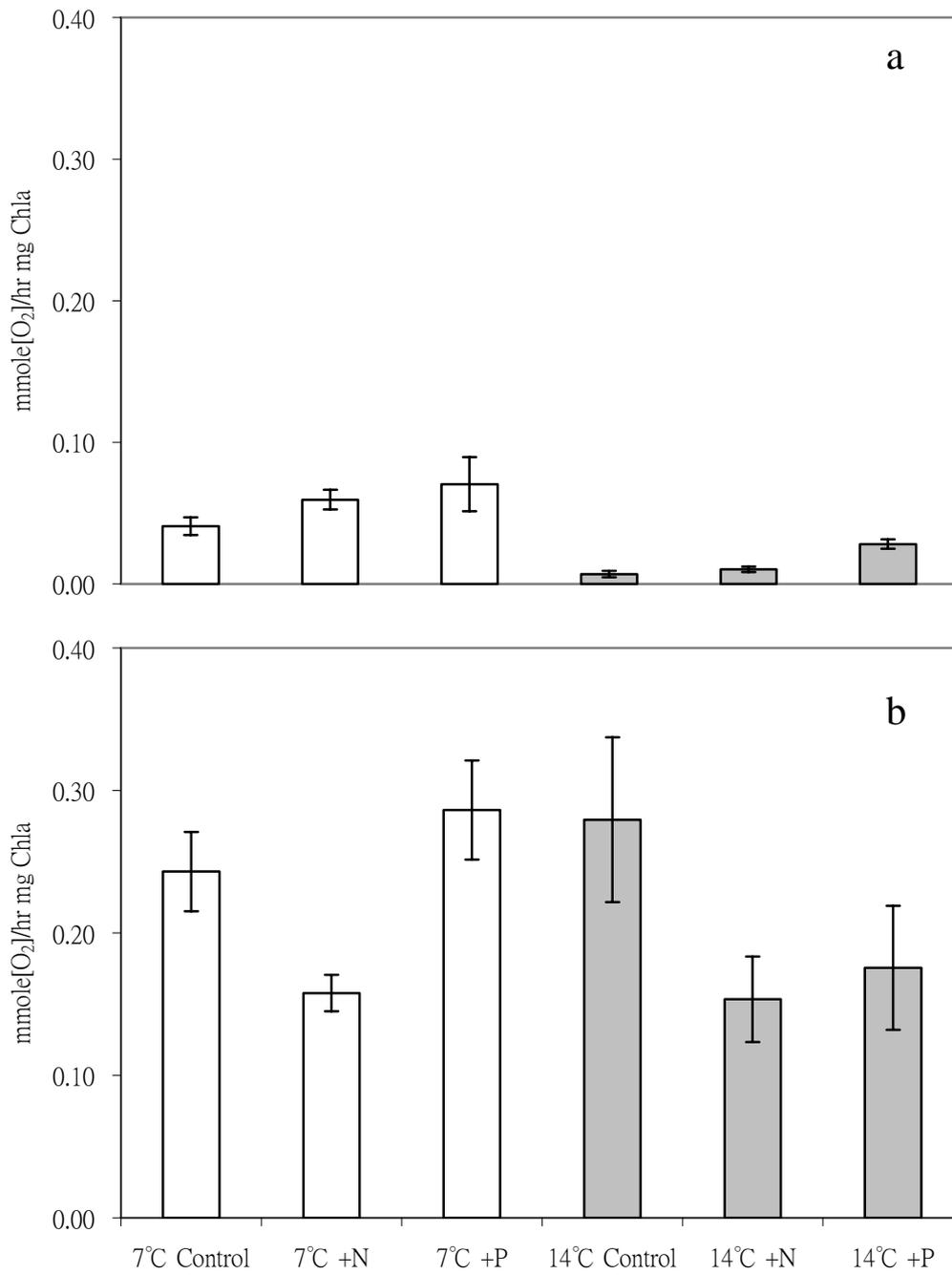


圖 23 高山溪不同溫度下添加營養鹽生產力變化。a 夏季 b 秋季。(n=5~7)

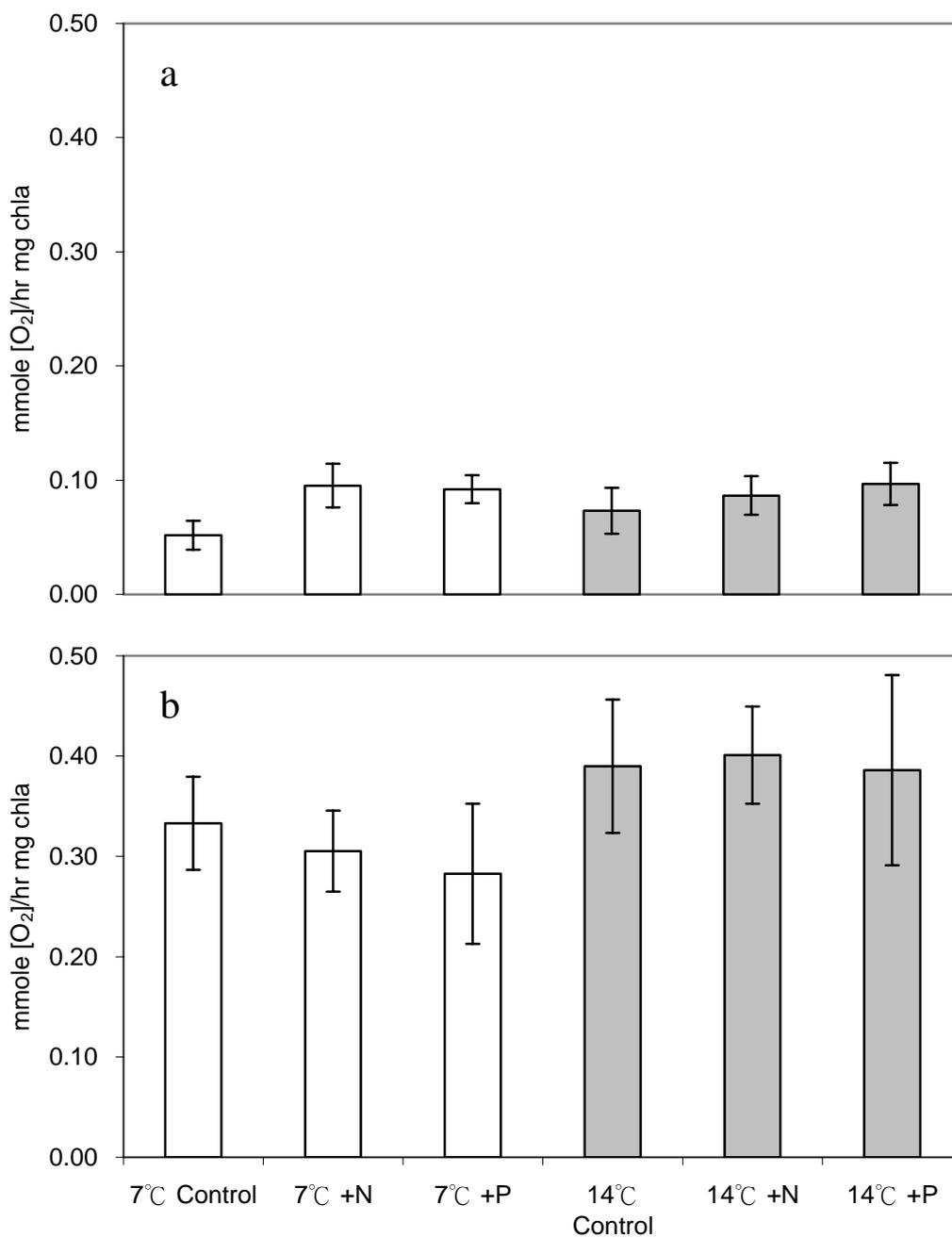


圖 24 有勝溪不同溫度下添加營養鹽生產力變化。a 夏季 b 秋季。(n=5~7)

表 2 夏季不同水溫下添加營養鹽結果分析

桃山西溪	d.f.	F	P
溫度	1	2.14	0.1534
營養鹽	2	2.67	0.0854
溫度 X 營養鹽	2	1.23	0.3057
一號壩			
溫度	1	9.05	0.0051**
營養鹽	2	1.45	0.2506
溫度 X 營養鹽	2	0.56	0.5751
新繁殖場			
溫度	1	1.71	0.2015
營養鹽	2	1.18	0.3226
溫度 X 營養鹽	2	0.78	0.4682
高山溪			
溫度	1	17.39	0.0003***
營養鹽	2	2.58	0.0936
溫度 X 營養鹽	2	0.10	0.9019
有勝溪			
溫度	1	0.15	0.7044
營養鹽	2	1.73	0.1934
溫度 X 營養鹽	2	0.30	0.7448

表 3 秋季不同水溫下添加營養鹽結果分析

桃山西溪	d.f.	F	P
溫度	1	83.44	< 0.0001***
營養鹽	2	17.85	< 0.0001***
溫度 X 營養鹽	2	0.00	1.0000
一號壩			
溫度	1	1.15	0.2913
營養鹽	2	4.32	0.0220*
溫度 X 營養鹽	2	1.76	0.1886
新繁殖場			
溫度	1	10.24	0.0030**
營養鹽	2	1.35	0.2719
溫度 X 營養鹽	2	3.31	0.0485*
高山溪			
溫度	1	0.45	0.5051
營養鹽	2	4.40	0.0202*
溫度 X 營養鹽	2	1.24	0.3035
有勝溪			
溫度	1	2.43	0.1288
營養鹽	2	0.09	0.9112
溫度 X 營養鹽	2	0.05	0.9469

6. 水災過後水體營養鹽及生物量變化

水體 DIN 含量與前後一個月所測得濃度並無明顯不同，僅新繁殖場在水災過後濃度明顯降低 (圖 25)，DIP 濃度則顯著提高約 10 倍，顯示可能大雨將沿岸土層中所含之無機磷沖刷淋洗至溪流中，使得水體中 DIP 濃度大量增加 (圖 26)。附生藻生物量則在大水過後顯著下降，實地觀察也發現由於水量極大，溪中附生藻賴以附生之石塊皆被沖刷至下游，僅有勝溪少許極大的石塊上仍附生一些藻的基部。一個月後再進行採樣可知除有勝溪外，其餘測站生物量已恢復至水災前狀況，推測武陵地區溪流藻類受干擾後約需一個月的時間恢復至原來生物量。

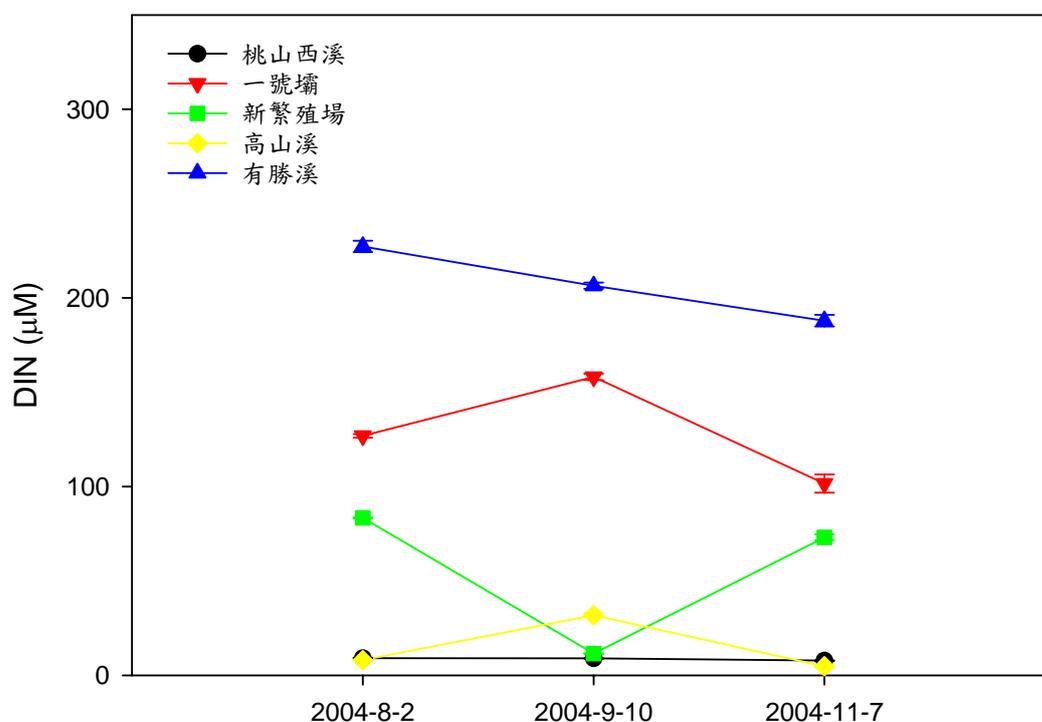


圖 25 水災前後 DIN 濃度變化。(n=3)

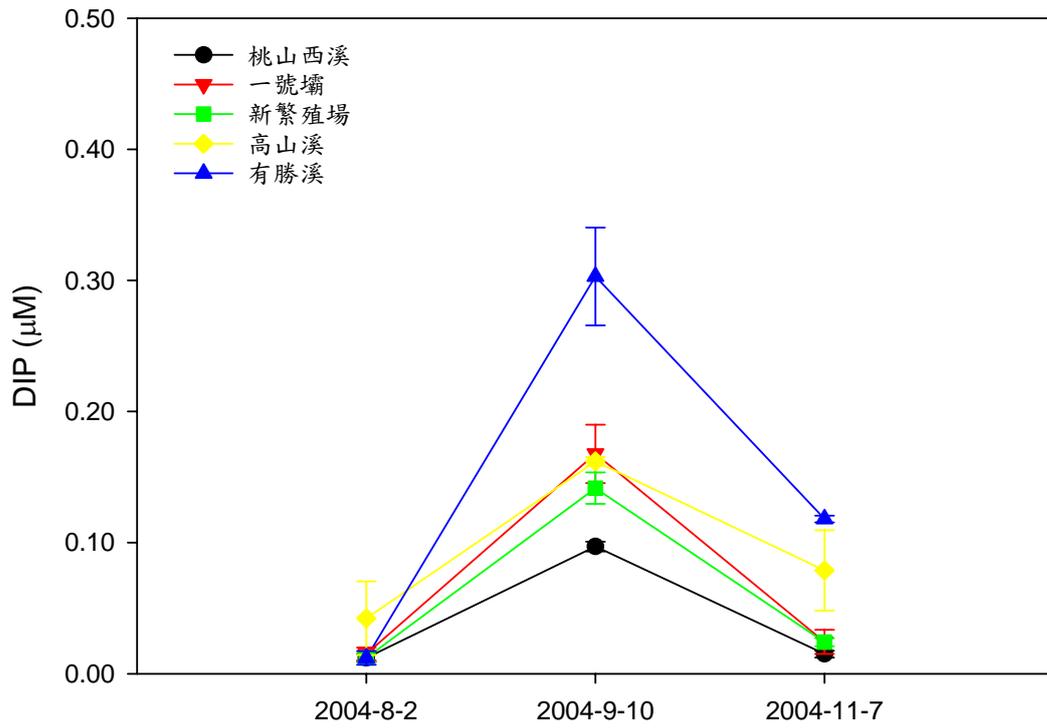


圖 26 水災前後 DIP 濃度變化。(n=3)

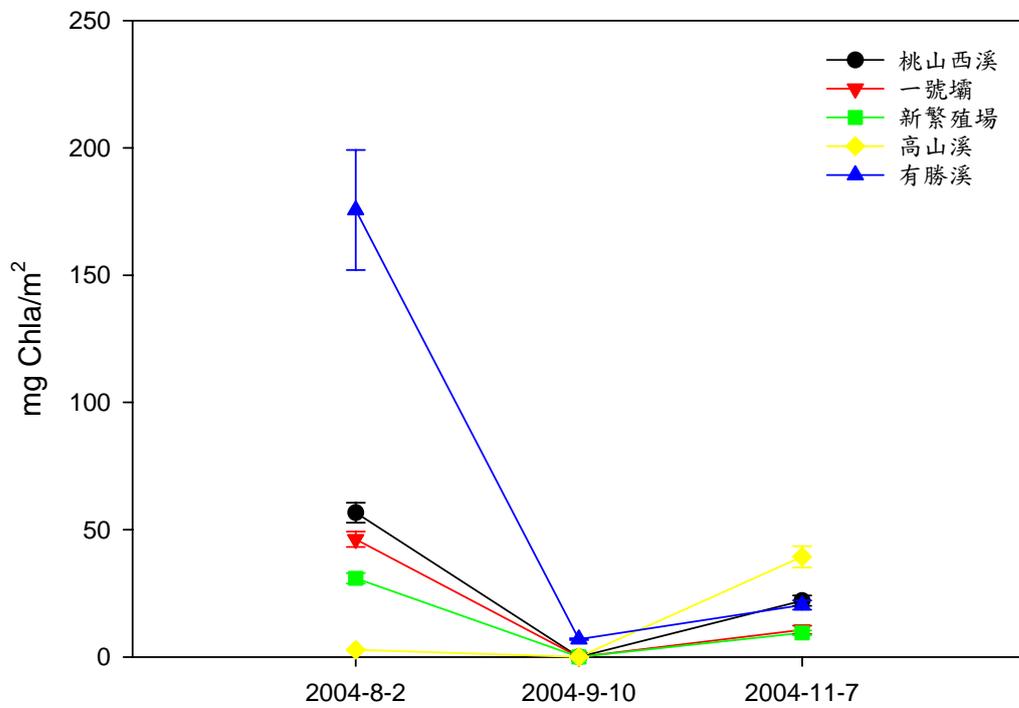


圖 27 水災前後附生藻生物量變化。(n=5-8)

7. 迴歸及相關分析

將水溫，水體營養鹽濃度 DIN 及 DIP 等環境因子與附生藻生物量及生產力進行迴歸分析，其中水體 DIN 濃度與附生藻生物量有顯著正向迴歸關係（圖 28），顯示附生藻大量增生應是 DIN 大量輸入所造成。水溫對附生藻生物量及生產力皆有影響，但決定係數值偏低（圖 29、30）。另以藻類生物量與昆蟲和魚類進行相關分析（圖 31、32），皆未達顯著水準，但魚類與水生昆蟲數量成顯著相關（圖 33），因此魚與水生昆蟲兩者間應有緊密的食性關係存在。

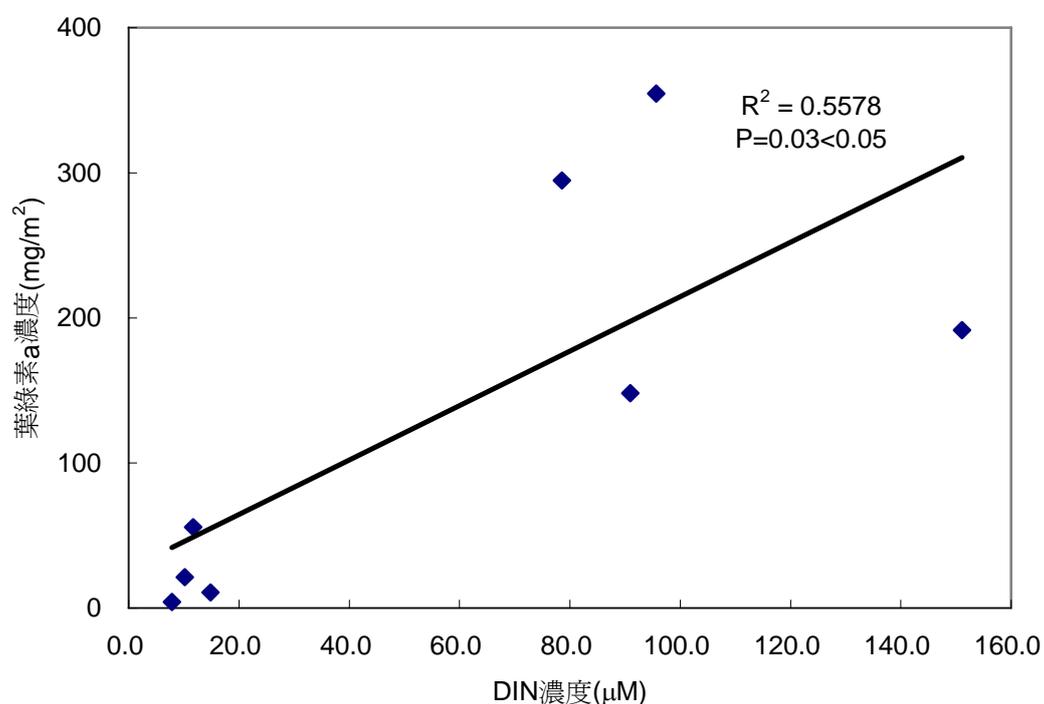


圖 28 DIN 濃度與附生藻葉綠素 a 含量迴歸分析。

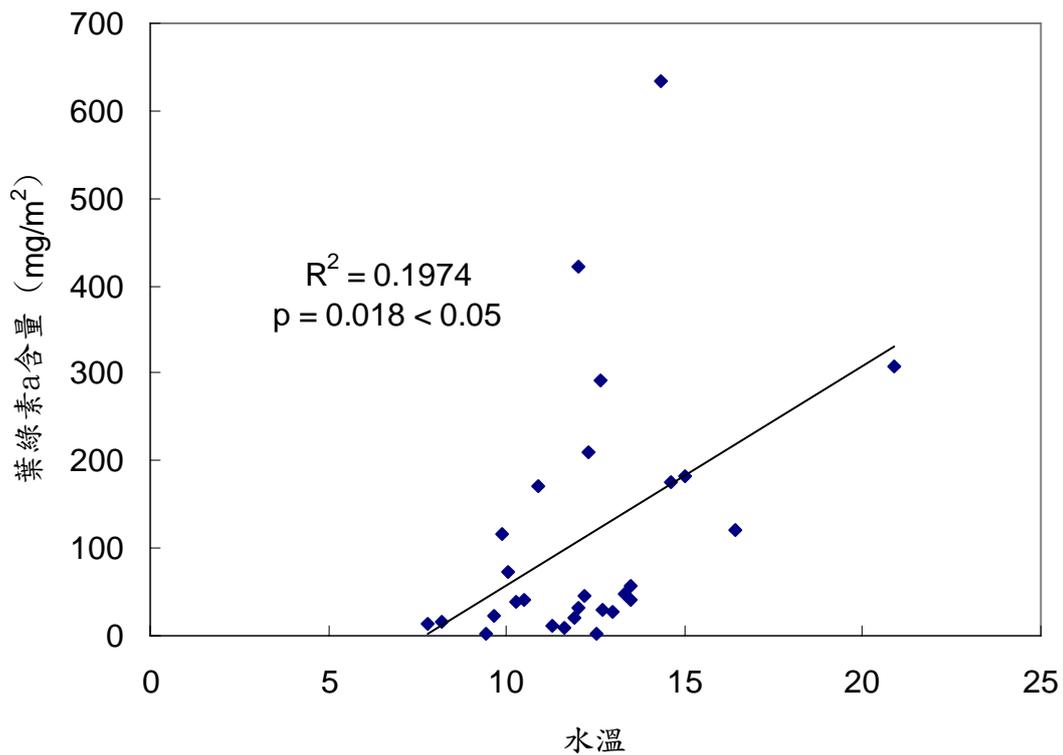


圖 29 水溫與單位面積葉綠素 a 含量迴歸分析。

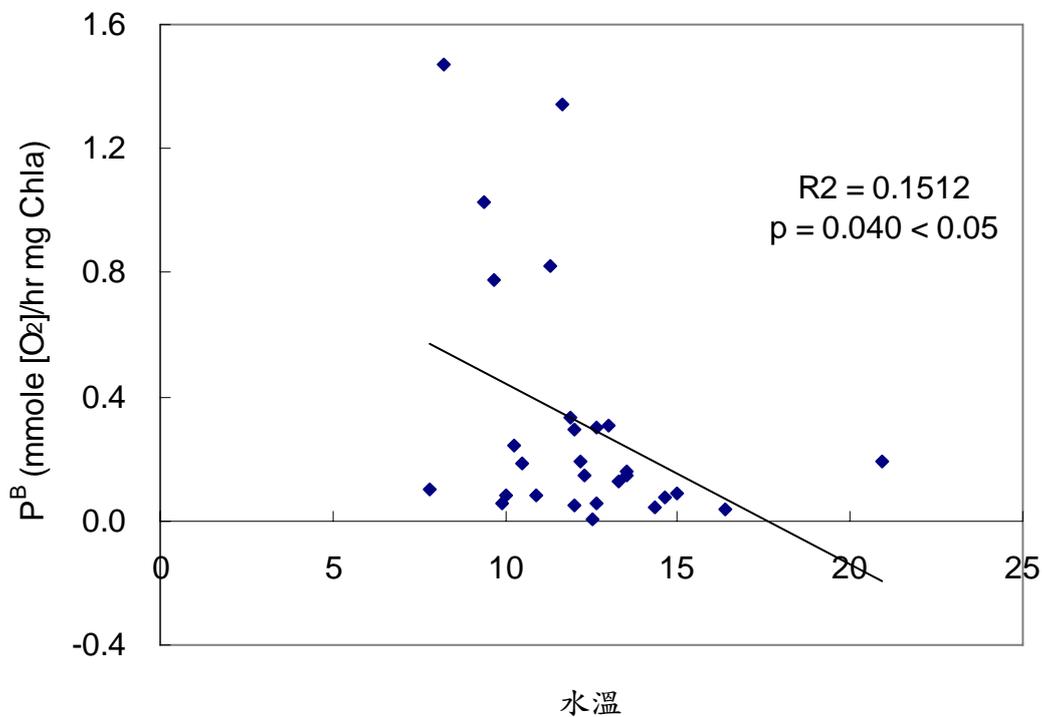


圖 30 水溫與附生藻生產力迴歸分析。

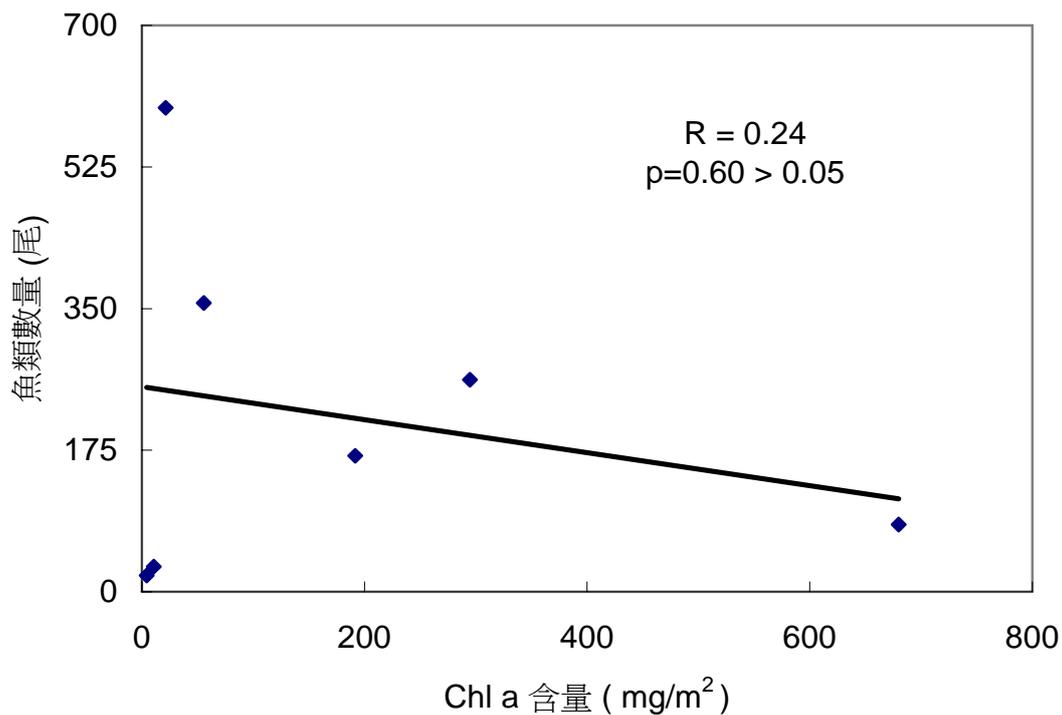


圖 31 附生藻生物量與魚類數量相關分析。

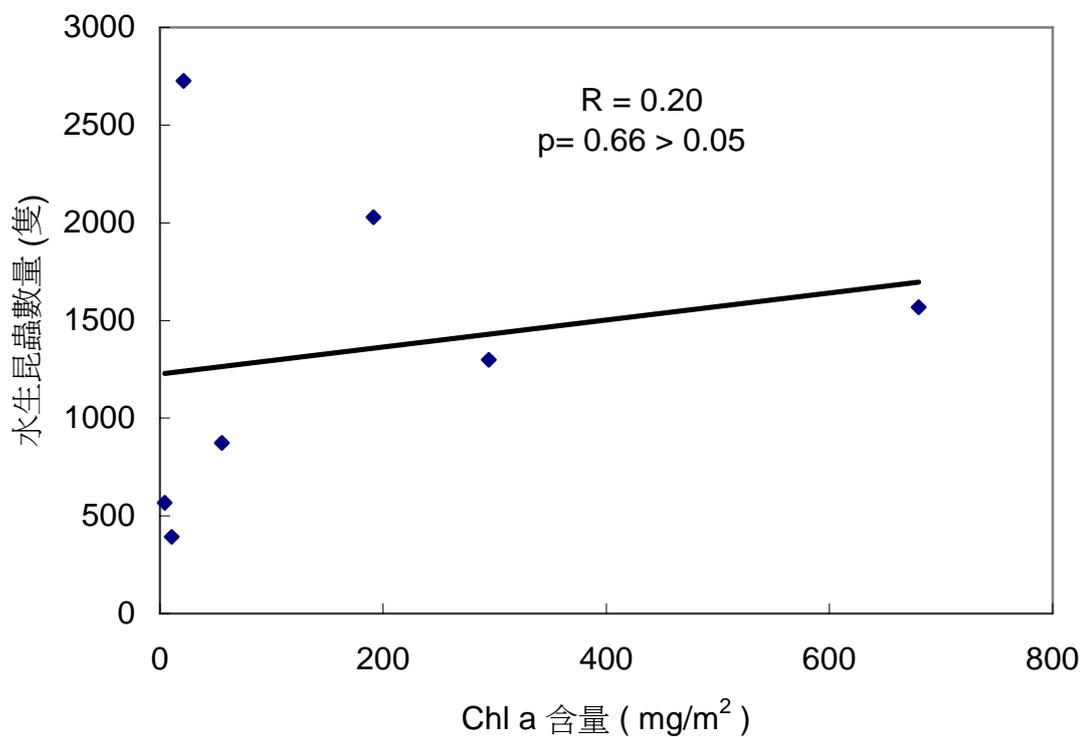


圖 32 附生藻生物量與水生昆蟲數量相關分析。

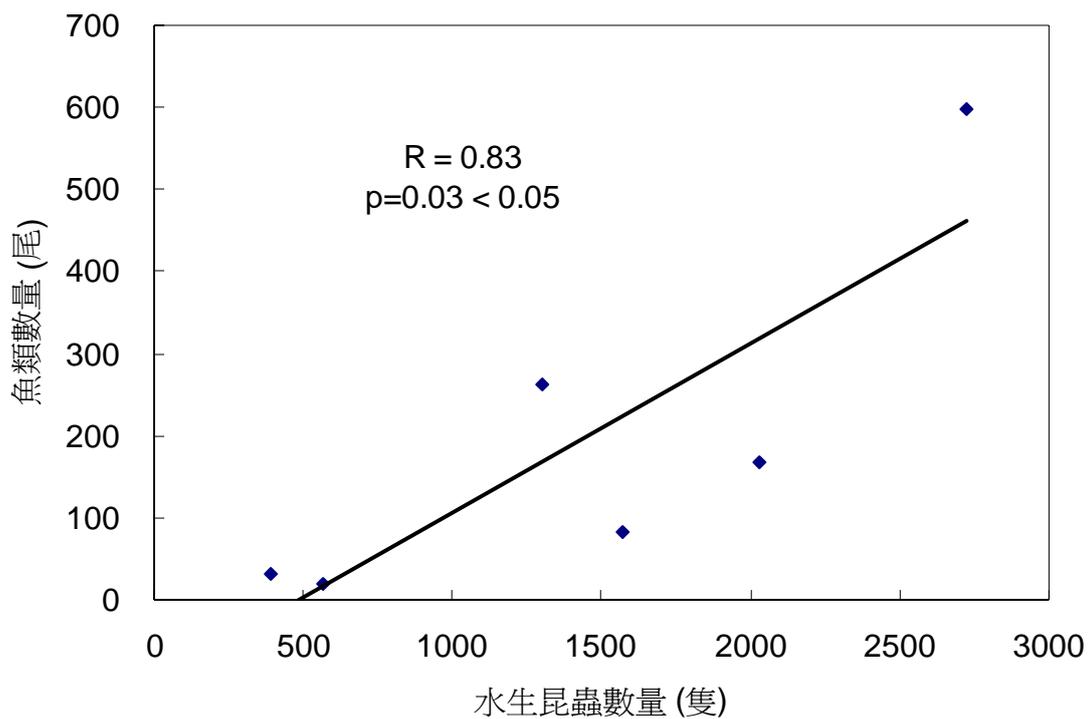


圖 33 水生昆蟲與魚類數量相關分析。

第四章、討論

由DIP濃度來看，雖然有勝溪略高於其餘測站，但五個測站間差異不大。七家灣溪上游及高山溪DIN濃度皆低於 $10 \mu\text{M}$ ，有勝溪DIN濃度偏高且明顯高於其他測站。而七家灣溪下游一號壩及新繁殖場兩河段之DIN濃度比起上游明顯升高約 10 倍左右。比較過去研究測得營養鹽值 (陳, 1998-2000) 可發現在地上建物接管至污水處理場後，水體中 NH_4^+ 濃度明顯下降，但是 NO_3^- 濃度則無太大改變。夏威夷Oahu的溪流DIN濃度介於 $2.0\sim 7.8 \mu\text{M}$ ，DIP則介於 $0.04\sim 0.74 \mu\text{M}$ (Larned & Scott, 2000)。黃石公園中高山溪流DIN濃度介於 $1.14\sim 2.36 \mu\text{M}$ ，DIP介於 $1.94\sim 2.32 \mu\text{M}$ (Marcus, 1980)。本次實驗所測得DIN與DIP除七家灣溪下游與有勝溪之外，皆與其他未受污染水域營養鹽量相當，顯示七家灣溪下游應有較大量外來營養物質即 NO_3^- 的輸入。

溶解態無機氮包含硝酸鹽 (NO_3^-)、亞硝酸鹽 (NO_2^-) 及氨鹽 (NH_4^+)，此三種含氮物質在不同氧化還原電位及溶氧下可互相轉變，在溶氧飽和狀態下 NO_2^- 含量會最低，而 NO_3^- 含量會最高，本次實驗測得溶氧值在 $8 \text{ mg/L}\sim 10 \text{ mg/L}$ ，屬高溶氧的狀態，所測得三種含氮物質含量亦符合此結論 (圖 6、7)。另外各測站測得 NH_4^+ 值相差不大，主要以七家灣溪下游兩測站與有勝溪之 NO_3^- 含量明顯高於七家灣溪上游與高山溪，後二測站上游並無農業活動排放水的直接輸入，因此推測應是七家灣溪下游及有勝溪沿岸所進行之農業活動施用肥料，造成 NO_3^- 的大量輸入所致。

水體中營養鹽為溪流中附生藻類及浮游藻主要利用來源，因此營養鹽濃度也直接影響溪流中藻類生物量，本次調查分別對七家灣溪、高山溪及有勝溪不同河段進行生物量的估計，結果顯示三條溪流浮游藻及附生藻生物量明顯依其營養鹽含量變化而有所不同，有勝溪於武陵收費站下方河段營養鹽含量高，其生物量即單位葉綠素a含量較七家灣溪和高山溪各河段來的高，尤以夏季可見附生藻增生為冬季時兩倍以上。七家灣溪單位面積葉綠素a含量可知生物量下游較上游來的多，與本實驗測得營養鹽含量並對照陳 (1998~2000) 所測各河段營養鹽含量趨勢類似。於是進行生物量與水體營養鹽迴歸分析，顯示葉綠素a生物量與水體DIN有顯著正向迴歸關係 ($R^2=0.55$, $P=0.03<0.05$)。由此可見營養鹽是影響武陵地

區三條主要溪流藻類生物量最大因素。

另外由水生昆蟲調查資料 (郭, 2003) 可知七家灣溪中水生昆蟲主要以植食性水生昆蟲居多, 而櫻花鉤吻鮭又主要以水生昆蟲為食, 所以進一步以藻類生產量分別與 2003 年五個測站所觀察到櫻花鉤吻鮭 (曾, 2003) 及植食性水生昆蟲 (郭, 2003) 數量進行相關分析, 所得到相關係數分別為 0.24 及 0.20, 但皆未達顯著水準 (p 值分別為 0.60 及 0.66), 再以水生昆蟲數量與魚類數量進行相關分析, 發現呈顯著相關 ($p < 0.05$)。根據曾 (2002) 於高山溪所進行微棲地分析之結果, 鮭魚大多棲息於深潭河段, 因此推測鮭魚分佈情況主要應該是受微棲地形態影響, 而非由藻類分布影響。水生昆蟲和魚類相關性高, 顯示之間應有緊密的食性關係存在, 與藻類相關性低, 可能是七家灣溪藻類生產量遠大於水生昆蟲所消耗的量, 因此水生昆蟲數量及分布並未受藻類限制。

2004 年七、八月大水造成溪中附生藻類大量消失, 附生藻是水生昆蟲主要食物來源, 藻類大量的減少及棲地受到破壞, 可知水生昆蟲必然會大量減少, 而水生昆蟲即櫻花鉤吻鮭主要食物來源, 由此食性關係可以推測大水過後仍留在溪流中櫻花鉤吻鮭, 必定會面臨食物短缺問題, 進而影響整個族群的生長及繁殖。

McCormick et al. (1996) 在 Florida Everglades 所作實驗指出, 藻類生產力與總磷濃度 (total dissolved phosphorus, $r^2=0.65$, $p<0.001$) 及氮鹽 (NH_4^+ , $r^2=0.39$, $p<0.001$) 顯著相關。Yin et al. (2001) 於中國廣東地區珠江河口所做浮游藻營養鹽限制實驗也發現靠近上游之水體中浮游藻生產力主要為磷所影響, 而到了出海口之後, 水體中浮游藻營養鹽限制情形也隨水體氮磷比的改變, 呈現氮限制的情況。由此可知水體中初級生產者生產力與水體營養鹽情況有極大關係。根據每次實驗測得各測站營養鹽濃度, 計算水體中氮磷比皆大於 16:1, 且冬季時七家灣溪上游與高山溪 DIN 及 DIP 濃度均偏低, 推測應有營養鹽限制之情形。2003 年冬季營養鹽添加之結果顯示七家灣溪上游附生藻在添加 NH_4^+ 及 NO_3^- 後葉綠素 a 生產力 (P^B) 明顯升高, 可能為氮限制, 但是 2004 年冬季實驗並未有任何營養鹽限制。相對於七家灣溪上游, 2003 及 2004 年冬季七家灣溪一號壩河段 P^B 則是添加 PO_4^{3-} 後有上升的趨勢, 氮和磷均是溪流藻類生長所需營養鹽, 由下游氮含量遠高於上游, 磷含量則無差異的情形來看, 七家灣溪下游河段藻類氮源充足, 相對而言磷則為缺乏的狀態, 因此磷成為七家灣溪下游藻類的

限制營養鹽；2004 年冬季增加之測站，即新繁殖場河段在添加磷酸鹽後生產力雖未達顯著差異，但也有類似的趨勢。

高山溪附生藻^{P^B} 2003 年冬季時添加氮鹽後提高，在 2004 年冬季時則是添加磷酸鹽後有升高的趨勢，分別呈現氮及磷限制之情形。前面曾提及生產力受何種營養鹽限制，與水體中營養鹽濃度有極大關係，Hashimoto (2003) 針對瀨戶內海中浮游藻類進行營養鹽限制實驗，雖為同一片海域，其營養鹽限制之情形也隨著不同時期水體營養鹽濃度的變化而有所不同，因此高山溪應於冬季時再進行一次實驗以釐清究竟受何種營養鹽限制。有勝溪附生藻不論冬夏季添加何種營養鹽，單位葉綠素a生產力皆無明顯變化。而夏季進行之營養鹽添加實驗則無論添加何種營養鹽，五測站之單位葉綠素a生產力皆無明顯增加之趨勢。表示冬季時各測站有營養鹽限制之情形，反之夏季營養鹽限制情形便不顯著。

由於夏季時藻類營養鹽限制情形並不顯著，因此進行不同溫度下添加營養鹽之生產力實驗，分析結果顯示營養鹽與溫度對藻類生產力在冬季新繁殖場測站有交互作用之影響。且在不同測站、不同季節，溫度或營養鹽成為不同之主要影響因子，顯示藻類生產力變化絕不是只受單一環境因子影響而改變。Necchi(2004) 於巴西東南方針對數種大型藻類及矽藻，利用葉綠素螢光法測光合作用過程中之電子傳遞鏈速率 (Electron Transport Rate)，可知數種不同藻類之最適水溫各有些微差異，且發現在溫度升高時，藻類之呼吸作用明顯提高。2004 年 11 月桃山西溪結果也顯示，原本適應較低溫環境之藻類在昇溫處理時總生產力反而為下降的趨勢，可能是溫度升高後呼吸作用旺盛，在添加營養鹽後更促進了這樣的趨勢。由此推測水溫及營養鹽皆會影響武陵地區溪流藻類生產力。

第五章、建議事項

1. 持續進行生產力監測，確定武陵地區溪流藻類生物量與生產力之影響因子。
2. 進一步鑑定藻種組成，確定是否有季節性變化
3. 冬季時進行實驗不同水溫添加營養鹽實驗釐清水溫對藻類生產力之影響
4. 進一步進行藻體中穩定性同位素追蹤研究，確定營養鹽來源為何。
5. 進行藻體中氮及磷含量元素分析。
6. 武陵地區溪流營養鹽輸入量測定與估算。
7. 建築物接管至污水處理廠後，桃山西溪之營養鹽濃度確實較以往低；但七家灣溪下游週遭果菜園營養鹽輸入仍頗高，應進一步持續勸導農民農藥、肥料施用減量。

第六章、參考文獻

- 汪靜明，1994，子遺的國寶--台灣櫻花鉤吻鮭專集，內政部營建署雪壩國家公園管理處，185 頁。
- 林幸助，2001，水域優養化及生態監測，中國生物學會 44(1): 34-42。
- 林幸助，2003，武陵地區溪流藻類之限制營養鹽，內政部營建署雪壩國家公園管理處，33 頁。
- 陳弘成，1998，武陵地區-溪流之水源水質監測系統之規劃與調查 -- 八十七年度研究報告，內政部營建署雪壩國家公園管理處，85 頁。
- 陳弘成，1999，武陵地區溪流水源水質監測系統之規劃與調查 (五) -- 八十八年度研究報告，內政部營建署雪壩國家公園管理處，78 頁。
- 陳弘成，2000，武陵地區溪流水源水質監測系統之規劃與調查 (六) -- 八十九年期末報告，內政部營建署雪壩國家公園管理處，106 頁。
- 郭美華，2003，武陵地區水生昆蟲研究 (二)，內政部營建署雪壩國家公園管理處，48 頁。
- 曾晴賢，2001，櫻花鉤吻鮭族群監測與調查 (四)，內政部營建署雪壩國家公園管理處，34 頁。
- 曾晴賢，2003，櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查 (六)，內政部營建署雪壩國家公園管理處，48 頁。
- Harlin MM (1995) Changes in major plant groups following nutrient enrichment. In: McComb AJ (ed.) Eutrophic shallow estuaries and lagoons. CRC press, Boca Raton, p173-187.
- Hashimoto T, Nakanol SI (2003) Effect of limitation on abundance and growth of phytoplankton in a Japanese pearl farm. Mar Ecol Prog Ser 258:43-50.
- Lampert W, Sommer U (1997) Limnoecology: the ecology of lakes and streams. Oxford University Press, New York, p313-316.
- Larned ST, Santos SR (2000) Light- and nutrient-limited periphyton in low order streams of Oahu, Hawaii. Hydrobiologia 432:101-111.
- Lin HJ, Nixon SW, Taylor DI, Granger SL, Buckley BA (1996) Responses of epiphytes on eelgrass, *Zostera marina* L, to separate and combined nitrogen and phosphorus enrichment. Aquat Bot 52:243-258.

- Marcus MD (1980) Periphytic community response to chronic nutrient enrichment by a reservoir discharge. *Ecology* 61(2) 387-399.
- Mccormick PV, Rawlik PS, Lurding K, Smith EP, Sklar FH (1996) Periphyton-water quality relationships along a nutrient gradient in the northern Florida Everglades. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 15:433-449.
- Necchi O (2004) Photosynthetic responses to temperature in tropical lotic macrialgae. *Phycol. Res.* 52:140-148.
- Taylor DI, Noxon SW, Granger SL, Buckley BA (1995) Nutrient limitation and the eutrophication of coastal lagoons. *Mar Ecol Prog Ser* 127:235-244.
- YIN KD, Qian PI, Wu MCS, Chen JC, Huang LM, Song XY, Jian WJ (2001) Shift from P to N limitation of phytoplankton growth across the Pearl River estuarine plume during summer. *Mar Ecol Prog Ser* 221:17-28.



於水中採集長有附生藻類石頭



採取水樣以便進行培養



石頭置於培養箱中進行光照下培養，測量光合作用溶氧變化情形



將培養箱以黑布遮光，測量呼吸作用溶氧變化情形



將石頭上藻類全數刮下，以帶回實驗室分析生物量及測量石頭面積

武陵地區溪流藻類生產力之限制營養鹽研究（二）

9
3
2
2

武陵地區溪流藻類生產力之限制營養鹽

研究主持人：簡麗鳳
林幸助

雪霸國家公園管理處