

武陵地區溪流藻類生產力之限制營養鹽

武陵地區溪流藻類生產力之限制營養鹽

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

9
2
1
1
武陵地區溪流藻類生產力之限制營養鹽
研究主持人：林幸助

092-301020500G-011

武陵地區溪流藻類生產力之限制營養鹽

受委託者：國立中興大學生命科學系

研究主持人：林幸助

研究人員：溫珮珍

雪霸國家公園管理處

內政部營建署雪霸國家公園管理處委託研究報告

中華民國九十二年十二月

目 次

表次	II
圖次	III
摘要	IV
第一章、緒論	1
第二章、研究設計	4
第三章、實驗結果	9
第四章、討論	28
第五章、建議事項	30
第六章、參考文獻	31

表次

表 1. 冬季水質環境因子	10
表 2. 夏季水質環境因子	10
表 3. 夏季附生藻營養鹽實驗變方分析表	17
表 4. 夏季浮游藻營養鹽實驗變方分析表	17

圖次

圖 1. 本計畫研究範圍	5
圖 2. 測站相關位置	5
圖 3. 生產力培養野外裝置	7
圖 4. 附生藻生產力培養裝置	7
圖 5. 附生藻生物量季節變化	12
圖 6. 浮游藻生物量	12
圖 7. 附生藻單位面積生產力	14
圖 8. 浮游藻單位面積生產力	14
圖 9. 浮游藻單位葉綠素 a 生產力	15
圖 10. 七家灣溪上游附生藻添加營養鹽生產力變化	18
圖 11. 七家灣溪上游浮游藻添加營養鹽生產力變化	19
圖 12. 七家灣溪下游附生藻添加營養鹽生產力變化	20
圖 13. 七家灣溪下游浮游藻添加營養鹽生產力變化	21
圖 14. 有勝溪附生藻添加營養鹽生產力變化	22
圖 15. 有勝溪浮游藻添加營養鹽生產力變化	23
圖 16. 高山溪附生藻添加營養鹽生產力變化	24
圖 17. 高山溪浮游藻添加營養鹽生產力變化	25
圖 18. 水溫與附生藻葉綠素 a 含量迴歸分析	26
圖 19. DIN 濃度與附生藻葉綠素 a 含量迴歸分析	26
圖 20. DIP 濃度與附生藻葉綠素 a 含量迴歸分析	27
圖 21. 浮游藻與附生藻葉綠素 a 含量迴歸分析	27

摘要

本計畫研究地區為雪霸國家公園武陵地區之溪流，包含有勝溪、桃山溪、高山溪及七家灣溪，依水質及地點共選定四個測站，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七家灣溪二號壩上游，進行藻類生物量、生產力及其限制營養鹽之研究。本實驗選定冬季及夏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、導電度、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。兩個季節水溫皆以有勝溪最高。四個測站之夏季 pH 值偏高，應與夏季旺盛光合作用有關。七家灣溪下游及有勝溪 DIN 濃度明顯高於其他測站，其中又以七家灣溪下游夏季 DIN 濃度較冬季多了一倍，推測應是七家灣溪沿岸果菜園之輸入所導致。四個測站之 DIP 濃度皆偏低，且兩季之間無明顯差別。

冬夏兩季於七家灣溪之附生藻生物量皆有自上游至下游逐漸遞增的趨勢，高山溪在四測站中最低，而有勝溪明顯較七家灣溪和高山溪高出許多。浮游藻單位體積生產力冬季亦以七家灣溪下游最高，夏季亦以有勝溪最高。附生藻單位面積生產力兩季皆以有勝溪最高，尤其夏季是冬季的 9 倍。綜合分析後發現全年四個測站之附生藻類生物量變化與 DIN 濃度有顯著正向迴歸關係。進一步進行營養鹽添加實驗，結果發現冬季七家灣溪上游與高山溪附生藻單位葉綠素 a 生產力在添加了氮鹽後明顯增加，因此推測為氮限制。而七家灣溪下游單位葉綠素 a 生產力於添加磷酸鹽後顯著提高，因此推測為磷限制。有勝溪則不論是添加磷酸鹽或氮鹽，生產力都無明顯變化。夏季時四個測站之附生藻單位葉綠素 a 生產力因水體中營養鹽濃度已提高，因此添加氮鹽及磷酸鹽後皆無昇高的現象，即沒有營養鹽限制之情形發生。因此武陵地區七家灣溪沿岸果菜園於夏天所大量流入之溶解態無機氮是導致溪流附生藻類大量繁生的主要原因。

關鍵字：附生藻、浮游藻、營養鹽、氮限制

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，含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，直接探討環境子的變化對生物的影響，期望能進一步建立生態監測系統。

雪霸國家公園中最為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溪流域，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(NH_4^+)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。

在武陵地區內觀察可以發現，與七家灣溪會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，但是溪流內浮游藻及附生藻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，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。

因此本計畫研究內容及擬解決問題：

1. 估計武陵地區溪流浮游藻類與附生藻類生物量。
2. 量測武陵地區溪流浮游藻類與附生藻類基礎生產量。
3. 決定武陵地區溪流藻類生物量與生產力是否有季節差異。

武陵地區溪流藻類之限制營養鹽

4. 檢測武陵地區溪流藻類生產力是否受限於營養鹽。
5. 若受限於營養鹽，是受限於何種營養鹽。

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(下頁圖 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，因此依水質及地點共選定四個測站(下頁圖 2)，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七家灣溪二號壩上游，如此可涵蓋武陵地區內不同溪流，並可做生態環境間之地域性比較。



圖 1. 本計畫之研究範圍為雪霸國家公園東邊之武陵地區

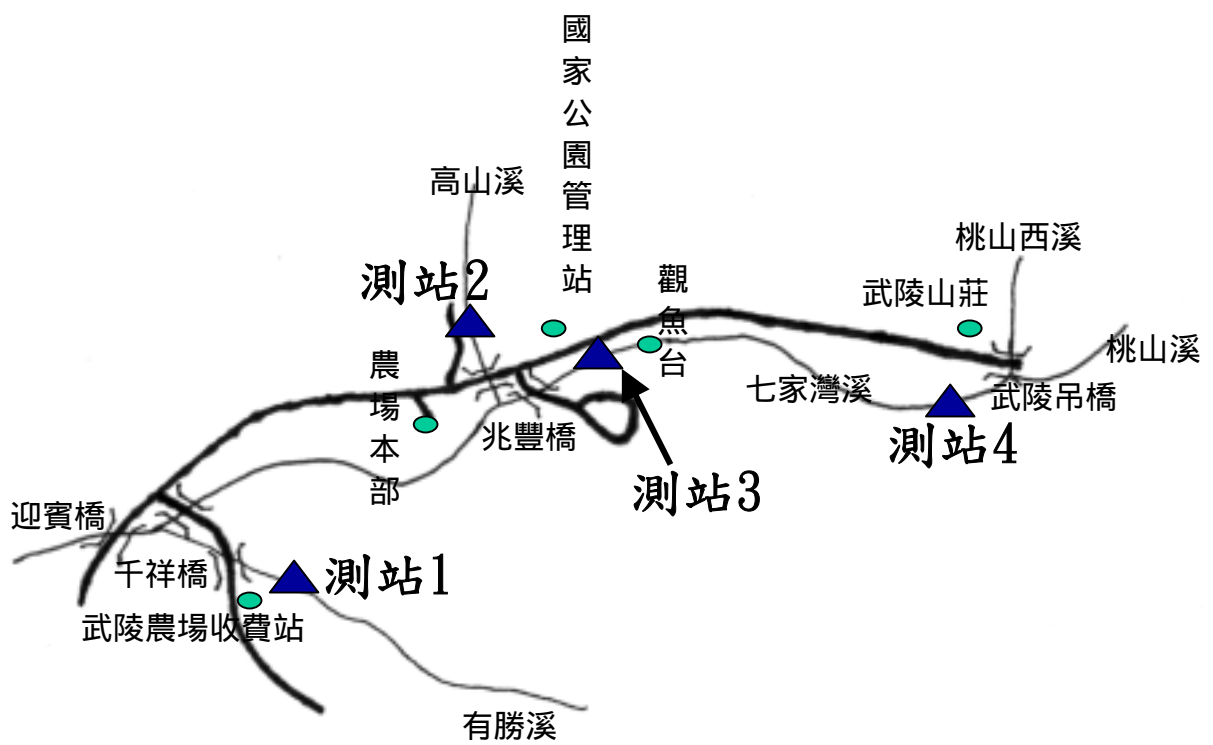


圖 2. 各測站相關位置圖

2. 實驗時間

由過去研究結果(陳, 2000)得知武陵地區溪流水溫最低時期在 1-2 月的冬季, 約 4-12°C, 最高時期則在夏季的 6-8 月, 約 14-21°C, 其他月份無明顯季節變化, 因此選定冬季及夏季進行實驗。

3. 浮游藻類與附生藻類生物量

武陵地區溪流中附生藻大多附生於溪流中石塊上, 因此生物量估計直接刮取以統計方法直接估算即可。浮游藻以測量固定體積水體中葉綠素 a 含量來估算。

4. 浮游藻及附生藻類生產力測量

(1) 浮游藻類生產力

浮游藻部分直接接取溪水, 以 BOD 瓶進行實驗。先以蠕動馬達將表層水注入 0.3 L 的培養瓶中並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) 測量水中之起始溶氧, 再於正午光度最強時間(10:00-14:00)進行培養。直接將 BOD 瓶置於七家灣溪較淺河段, 讓溪水由瓶外流過, 使 BOD 瓶內溫度與溪水達到平衡 (圖 3), 數小時後, 測定培養瓶內水中的溶氧濃度變化。

(2) 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。首先將事先已於各測站培養的固定面積附生藻板取上岸, 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。培養箱同樣置於較淺溪流中防止培養箱內水溫過高於外界水溫 (圖 4)。

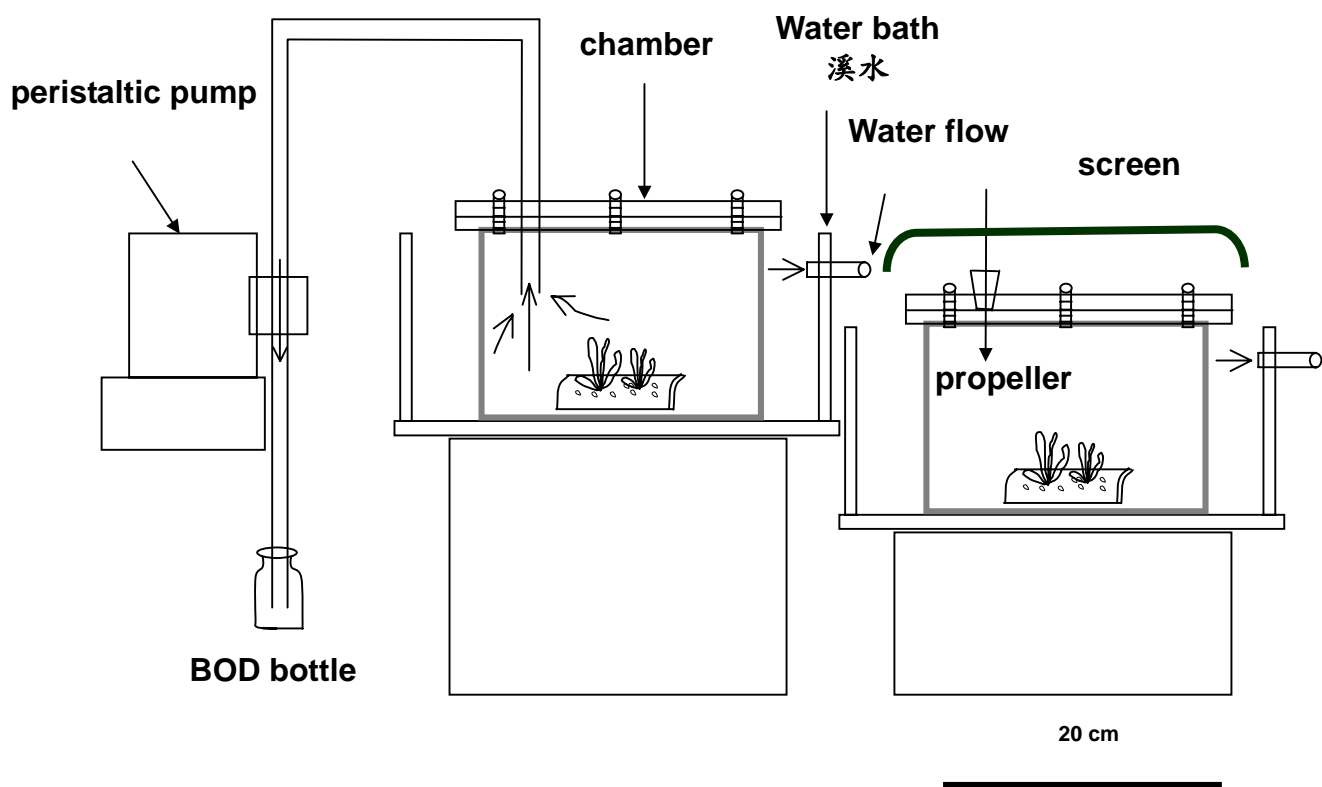


圖 3 生產力培養野外裝置

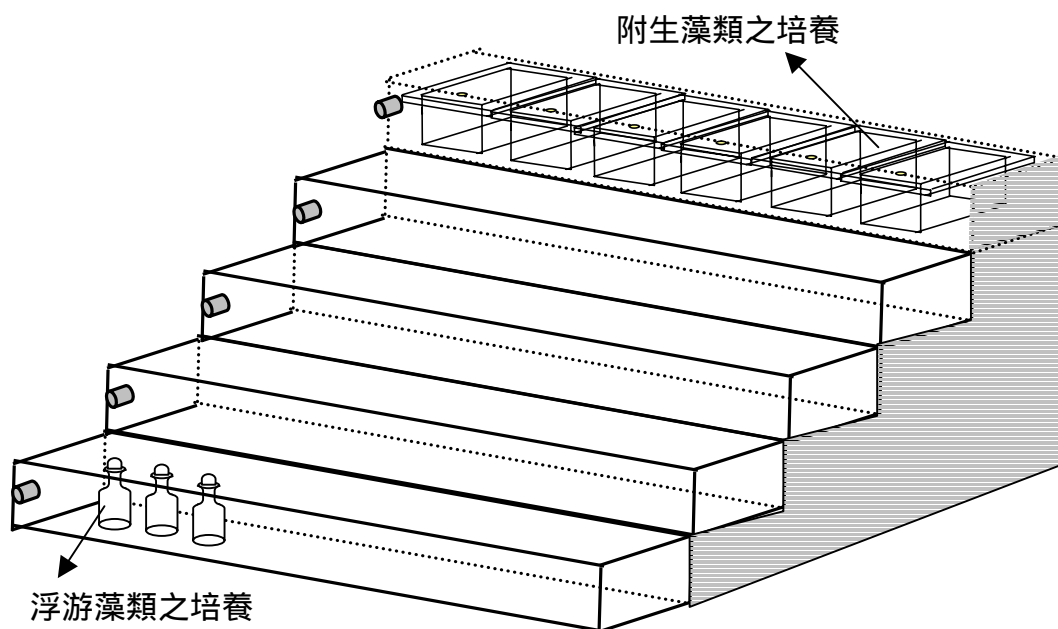


圖 4 附生藻生產力培養裝置

(3) 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 500°C 灰化爐後秤有機重(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。

6. 營養鹽添加實驗

本實驗附生藻是利用王(2001)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 $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ 、 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，浮游藻部分則是直接將營養鹽添加於 BOD 瓶中，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及浮游藻生產力的變化。本實驗目的在檢測溪流中附生藻及浮游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。

第三章、實驗結果

1. 水質環境因子

(1) 水溫

夏季水溫明顯高於冬季約 4-10 °C，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，因此溫度偏高，在夏季可達 20 °C 上下。七家灣溪則下游河段高於上游，冬季為 8-9 °C，夏季為 12-15 °C。高山溪冬季溫度最低可達 7.8 °C；夏季約 16 °C 左右。

(2) 光遞減係數

冬季時以七家灣溪上游光遞減係數最低為 0.49 m⁻¹，夏季則為有勝溪之 0.59 m⁻¹。光遞減係數越高表示濁度越高，水體濁度情形與浮游藻濃度有關，這和之後測得浮游藻濃度相符。惟高山溪濁度應很低但光遞減係數偏高，應是水流過快造成遮蔽效應，測量時須注意以擋板將水流擋起再作測量以避免實驗誤差。

(3) pH 值

pH 值冬季皆在 7 上下，夏季 pH 值範圍為 7.8-8.4 之間，相較於冬季升高 1 左右。應與夏季旺盛光合作用有關。

(4) 營養鹽濃度

在營養鹽濃度方面，有勝溪總溶解態無機氮(DIN: NO₃⁻+NO₂⁻+NH₄⁺)冬夏季含量為 90-95 μM。無明顯差別。七家灣溪下游(七家灣溪 1 號及 2 號壩間，觀魚台下游) 總溶解態無機氮值冬季時僅略低於有勝溪，夏季則為冬季 2 倍且遠高於有勝溪達 151 μM。七家灣溪上游(七家灣溪 2 號及 3 號壩間，武陵山莊下游)及高山溪營養鹽含量則明顯低於此兩測站，冬夏兩季溶解態無機氮濃度分別為 10.2-11.7 μM 和 7.8-14.8 μM。四測站溶解態無機磷(DIP: PO₄³⁻)濃度則無論冬季或夏季皆在 0.05-0.20 μM。若將硝酸鹽(NO₃⁻)及氨鹽(NH₄⁺)濃度分開來看可以發現四個測站氨鹽濃度冬夏季所測得值都在 0-1.84 μM 之間。反觀硝酸鹽濃度，有勝溪硝酸鹽濃度為 81-93 μM，七家灣溪下游由冬季之 77 μM 增加至夏季之 151 μM。由此可見此七家灣溪下游及有勝溪應有大量農業肥料的輸入。而四測站氮磷比夏季平均高於冬季，尤其七家灣溪下游更明顯升高。由水體中氮磷比來看，氮磷比皆大於 16:1，顯示在七家灣溪流域溶解態無機磷含量相對於溶解態無機氮是較缺乏的情形。(見表 1 及表 2)

表 1 四測站冬季水質環境因子 (2003 年 2 月)

	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻ (μM)	總 DIN 含量 (μM)	PO ₄ ³⁻ (μM)	氮磷比	水溫 ()	光遞減係數** (m ⁻¹)	pH
七家灣溪上游	1.21±0.04	9.0±0.3	10.2±0.4	0.10±0.01	107	8.2	0.49±0.06	6.7
七家灣溪下游	1.52±0.25	77.0±1.0	78.5±1.9	0.08±0.01	1047	9.4	0.85±0.21	7.0
有勝溪	1.49±0.10	81.4±2.1	90.9±3.0	0.20±0.03	454	10.9	1.68±0.23	7.2
高山溪	1.67±0.16	6.2±2.2	7.8±2.8	0.03±0.01	312	7.8	1.99±0.24	7.8

* 所有營養鹽濃度單位皆為μM (n=4)

** n=4

表 2 四測站夏季水質環境因子 (2003 年 8 月)

	NH ₄ ⁺ (μM)	NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻ (μM)	總 DIN 含量 (μM)	PO ₄ ³⁻ (μM)	氮磷比	水溫 () (n=2)	光遞減係數** (m ⁻¹)	pH (n=2)
七家灣溪上游	0.19	11.5±3.1	11.7±3.2	0.10±0.01	164	12.3±2.5	0.90±0.13	8.3±0.1
七家灣溪下游	ND	151.1±3.9	151.1±3.9	0.05±0.01	7104	15.0±0.0	0.75±0.09	7.8±0.4
有勝溪	1.84±0.32	93.8±2.5	95.7±3.2	0.08±0.01	1344	20.9±1.8	0.59±0.01	8.4±0.2
高山溪	0.05±0.03	14.8±2.4	14.8±2.4	0.07±0.00	301	16.4±0.3	1.10±0.34	8.0±0.3

* 所有營養鹽濃度單位皆為μM (n=3)

** n=4

2. 高山溪及七家灣溪藻類生物量估計

(1) 附生藻生物量

生物量的估計分別以葉綠素 a、乾重做比較，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，可看出兩季生物量由下游至上游遞減（下頁圖 5a, b），其中以七家灣溪與高山溪匯流口附近復育場生物量最高，三號壩上游以上生物量最低。若以乾重來看，七家灣溪則以一號壩下游的生物量最高。高山溪無論冬夏季生物量都是四個測站中最低。有勝溪位於武陵收費站下方河段生物量明顯較七家灣溪和高山溪高出許多，尤其夏季增加為冬季 2 倍。

(2) 浮游藻生物量

浮游藻生物量以單位體積葉綠素 a 含量估計，冬季時有勝溪明顯遠高於七家灣溪及高山溪，夏季則偏低。此與光遞減係數呈現結果相同。其餘測站浮游早生物量皆為夏季高於冬季之趨勢（下頁圖 6）。

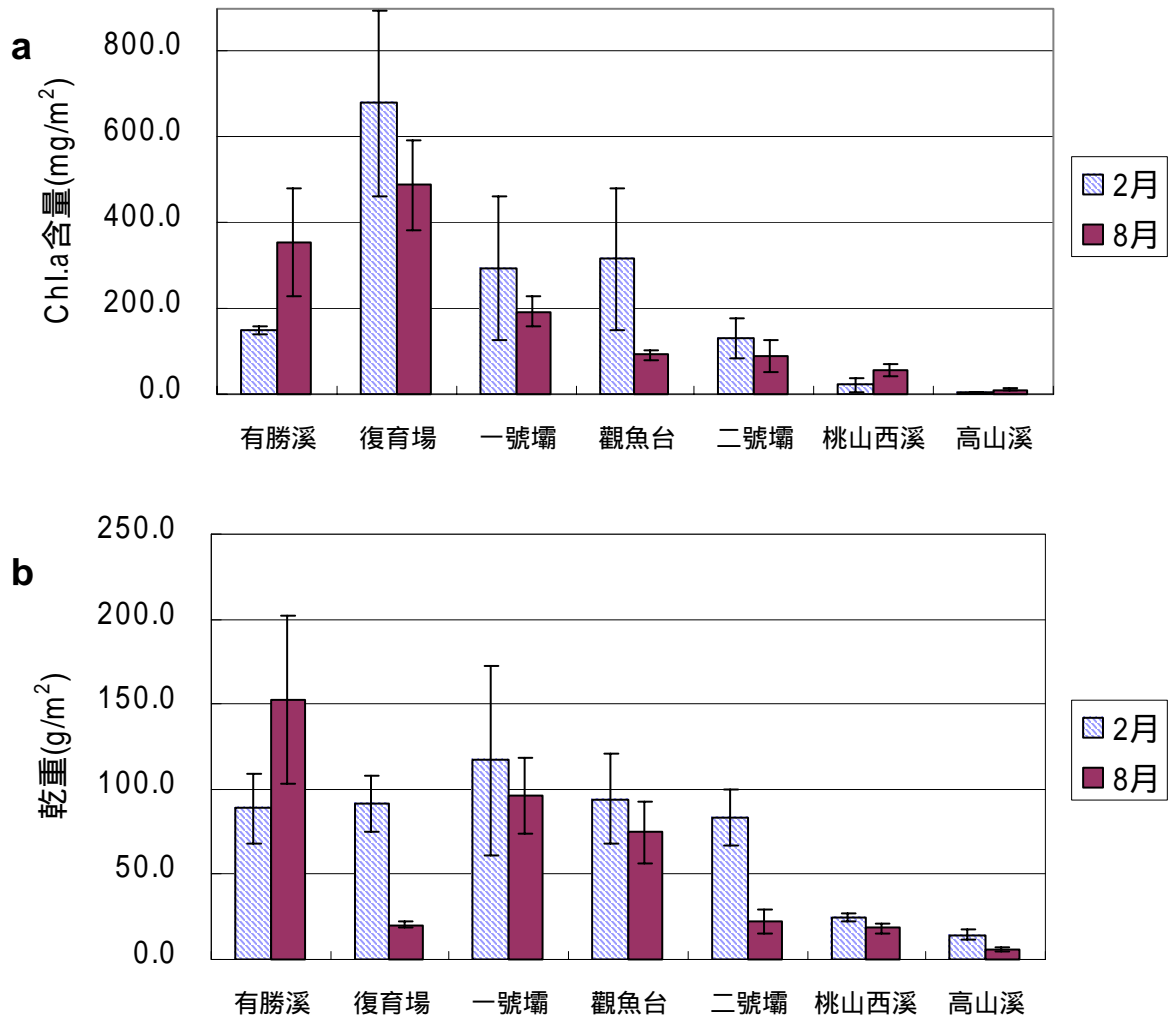


圖 5 各河段附生藻生物量比較及季節變化。a.葉綠素 a b.乾重。(n=5~7)

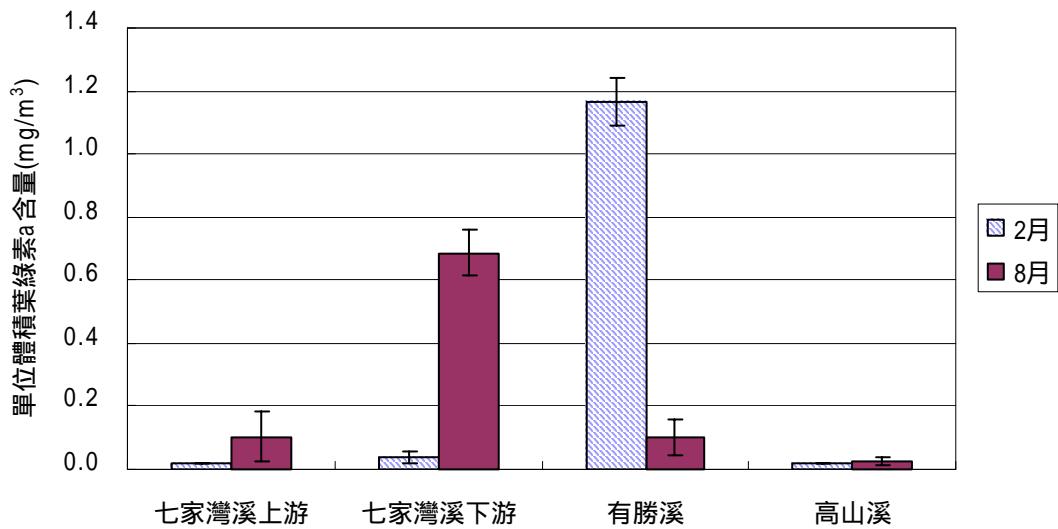


圖 6 浮游藻生物量 (n=6)

3. 浮游藻與附生藻類生產力

(1) 附生藻生產力

以附生藻單位面積生產力 (GP) 而言，有勝溪及七家灣溪下游(七家灣溪 1 號及 2 號壩間) 明顯高於七家灣溪上游(七家灣溪 2 號及 3 號壩間)及高山溪，又夏季生產力明顯高於冬季 (圖 7)。

(2) 浮游藻類生產力

單位體積浮游藻類生產力 (GP) 冬季以七家灣溪下游為最高，且明顯高於其他三測站，夏季以有勝溪較高，七家灣溪下游及高山溪生產力則偏低 (圖 8)。單位葉綠素 a 生產力 (PB) 除七家灣溪下游其餘三測站夏季皆高於冬季 (圖 9)。

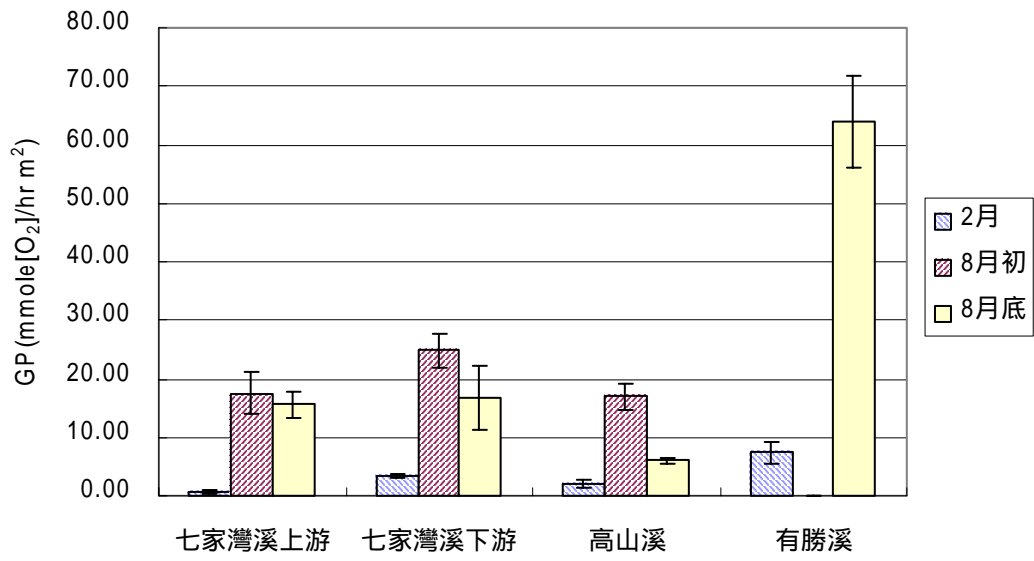


圖 7 四測站附生藻單位面積生產力 (n=1~8)

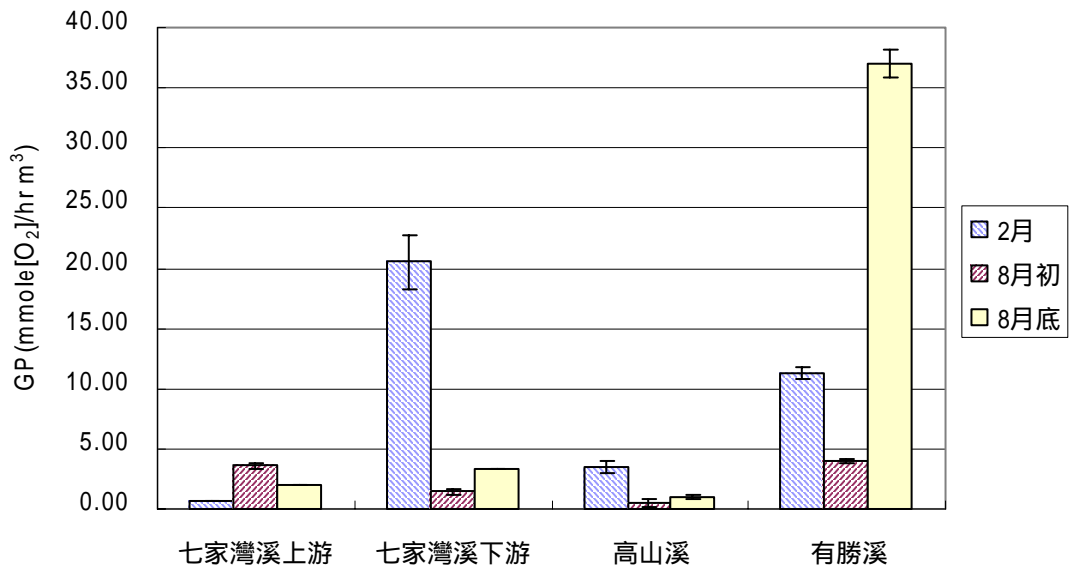


圖 8 四測站浮游藻單位體積生產力 (n=1~6)

武陵地區溪流藻類之限制營養鹽

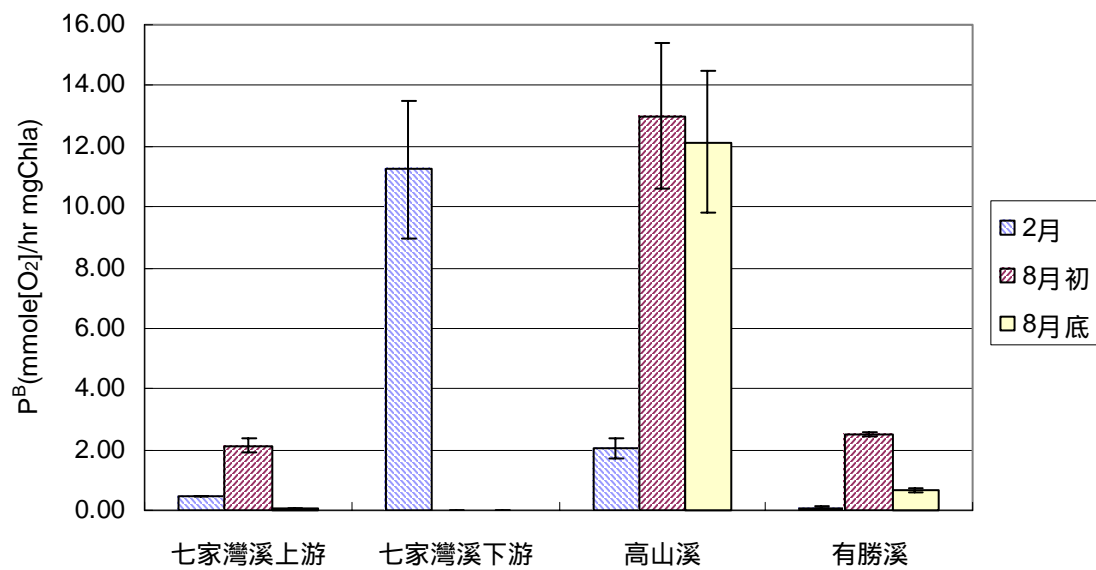


圖 9 四測站浮游藻單位葉綠素 a 生產力 (n=1~6)

(3) 營養鹽添加實驗

在附生藻營養鹽添加實驗方面，冬季七家灣溪上游單位葉綠素 a 生產力在添加了硝酸鹽及氮鹽後增加 ($p < 0.05$) (表 3, 圖 10a)。七家灣溪下游單位葉綠素 a 生產力添加磷酸鹽後，相對於控制組生產力有提高的現象 ($p < 0.05$) (表 3, 圖 12 a)。高山溪添加硝酸鹽及氮鹽後生產力上升 ($p < 0.05$) (表 3, 圖 16 a)，與七家灣溪上游類似。而有勝溪不論是添加磷酸鹽或硝酸鹽及氮鹽，生產力都無明顯變化 (圖 14 a)。七家灣溪上游浮游藻單位葉綠素 a 生產力添加硝酸鹽及氮鹽後明顯提高 ($p < 0.001$) (表 4, 圖 11a)。夏季時因水體中營養鹽濃度已提高，無論添加何種營養鹽皆無生產力顯著提高之現象 ($P > 0.05$)。顯示冬季有營養鹽限制情形發生，夏季則無。

表 3 夏季四測站附生藻類添加營養鹽實驗 ANOVA 變方分析表，Separation 值由左而右依大小排列。

	df	F value	P	Separation
七家灣溪上游	3	15.93	0.01	<u>N C N P P</u>
七家灣溪下游	3	4.91	0.03	<u>N P P C N</u>
有勝溪	3	2.44	0.11	
高山溪	3	4.58	0.03	<u>N P N P C</u>

表 4 夏季四測站浮游藻類添加營養鹽實驗 ANOVA 變方分析表，Separation 值由左而右依大小排列。

	df	F value	P	Separation
七家灣溪上游	3	15.17	0.0003	<u>N N P P C</u>
七家灣溪下游	3	1.15	0.356	
有勝溪	3	1.85	0.171	
高山溪	3	4.55	0.015	<u>C P N P N</u>

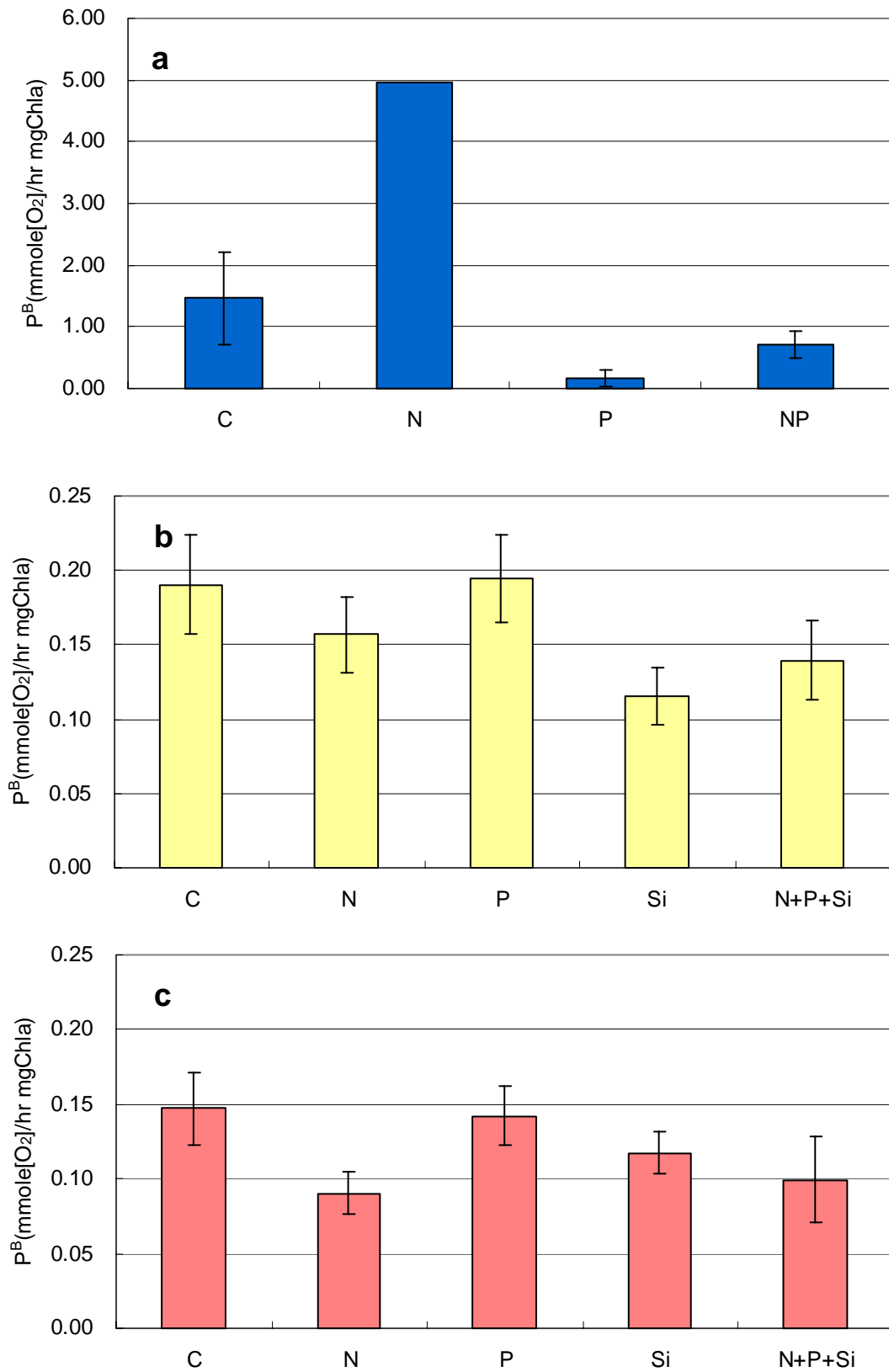


圖 10 七家灣溪上游附生藻添加營養鹽後生產力變化。a.92年2月 b.92年8月初 c.92年8月底。(n=1~8)

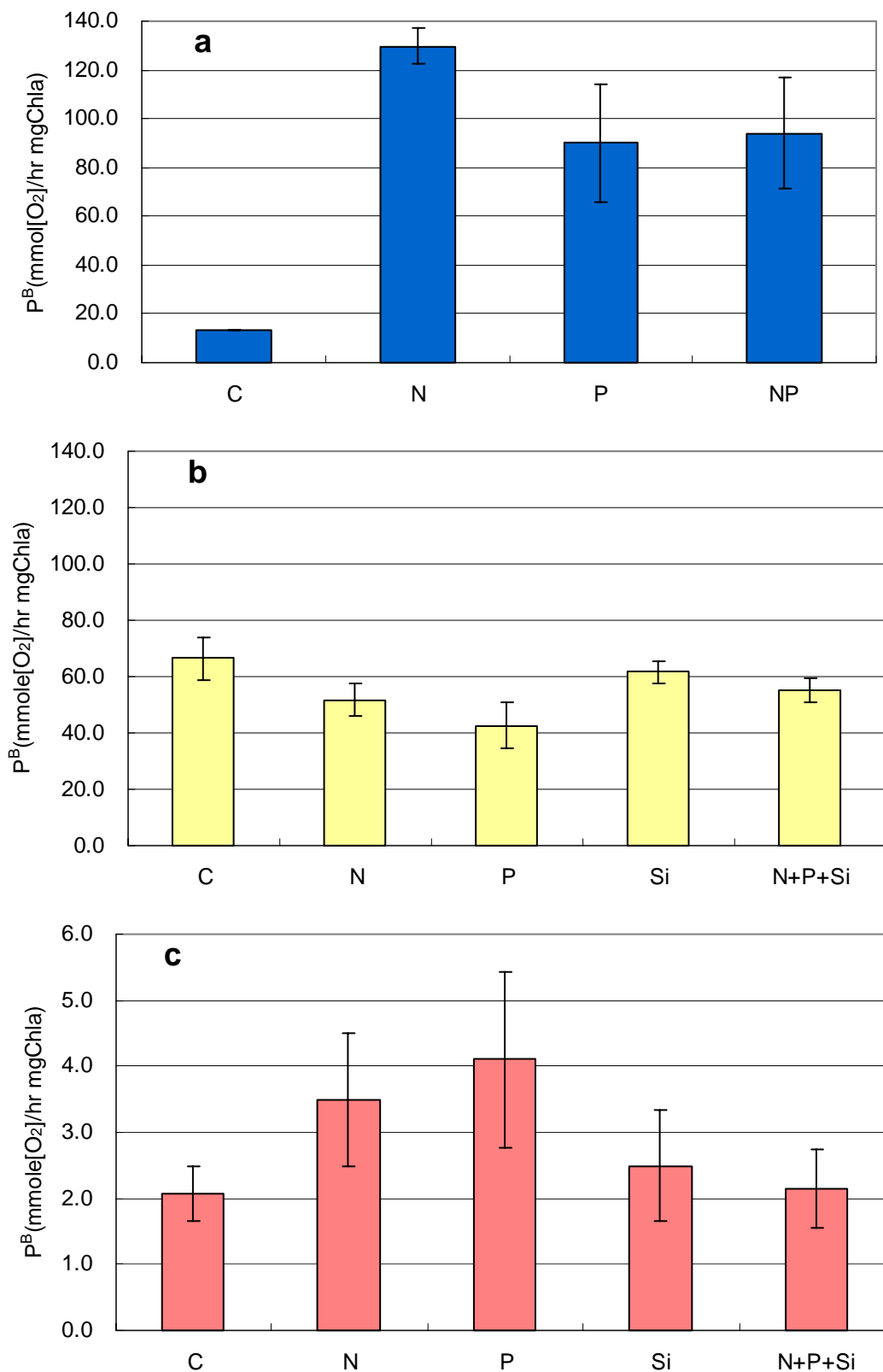


圖 11 七家灣溪上游浮游藻添加營養鹽後生產力變化。a.92 年 2 月 b.92 年 8 月初 c.92 年 8 月底。(n=1~8)

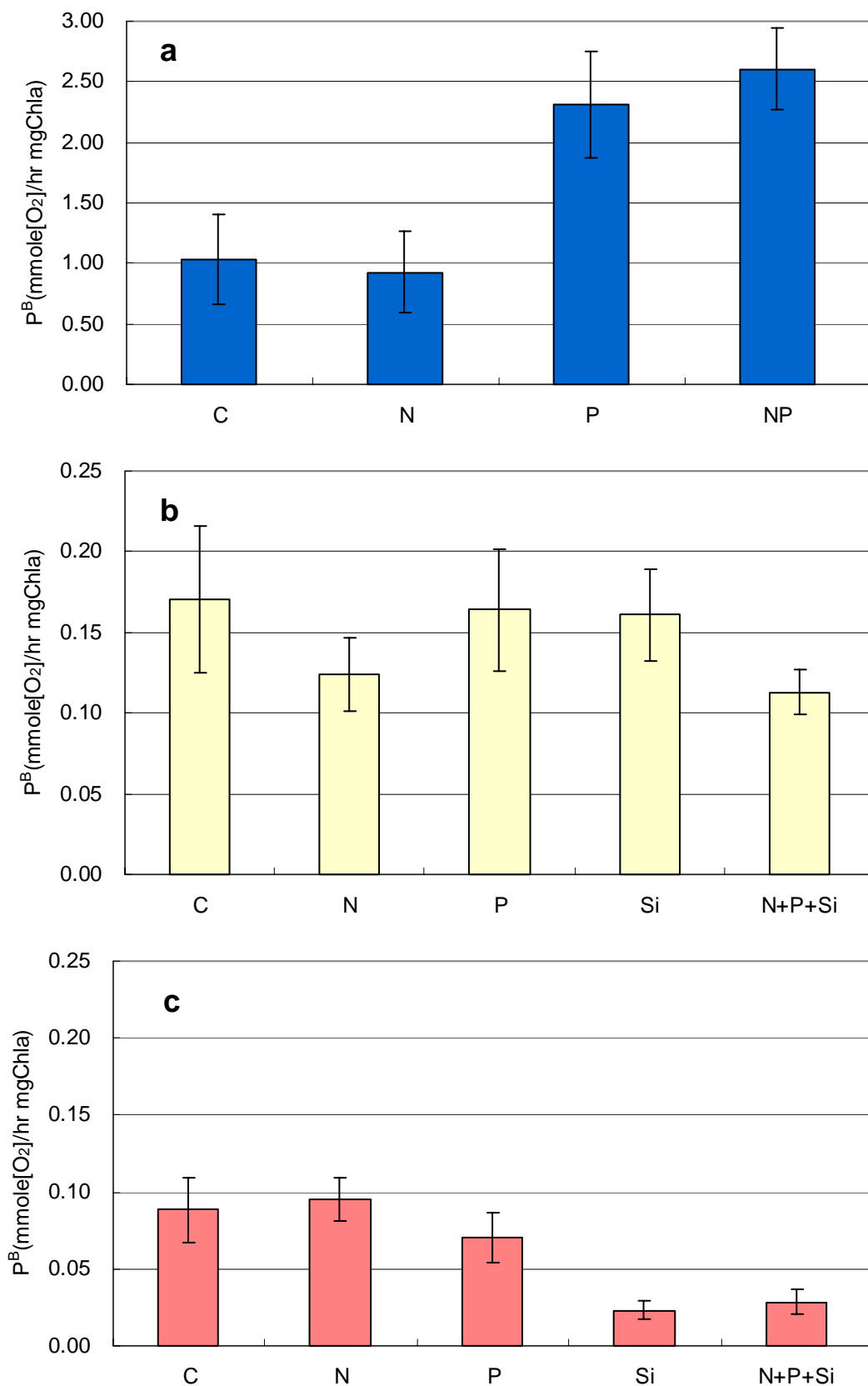


圖 12 七家灣溪下游附生藻添加營養鹽後生產力變化。a.92 年 2 月 b.92 年 8 月初 c.92 年 8 月底。(n=1~8)

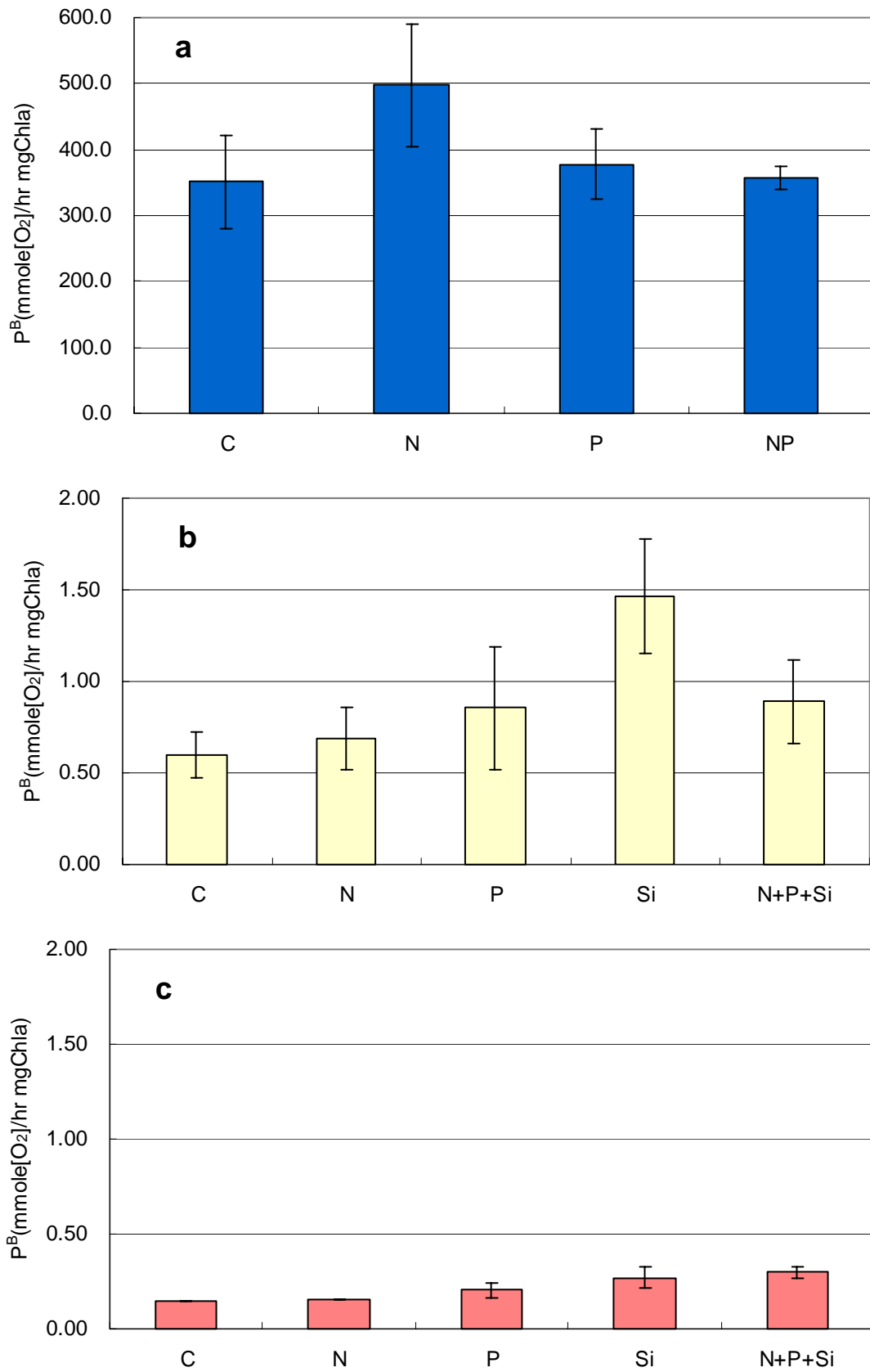


圖 13 七家灣溪下游浮游藻添加營養鹽後生產力變化。a.92 年 2 月 b.92 年 8 月初 c.92 年 8 月底。(n=1~8)

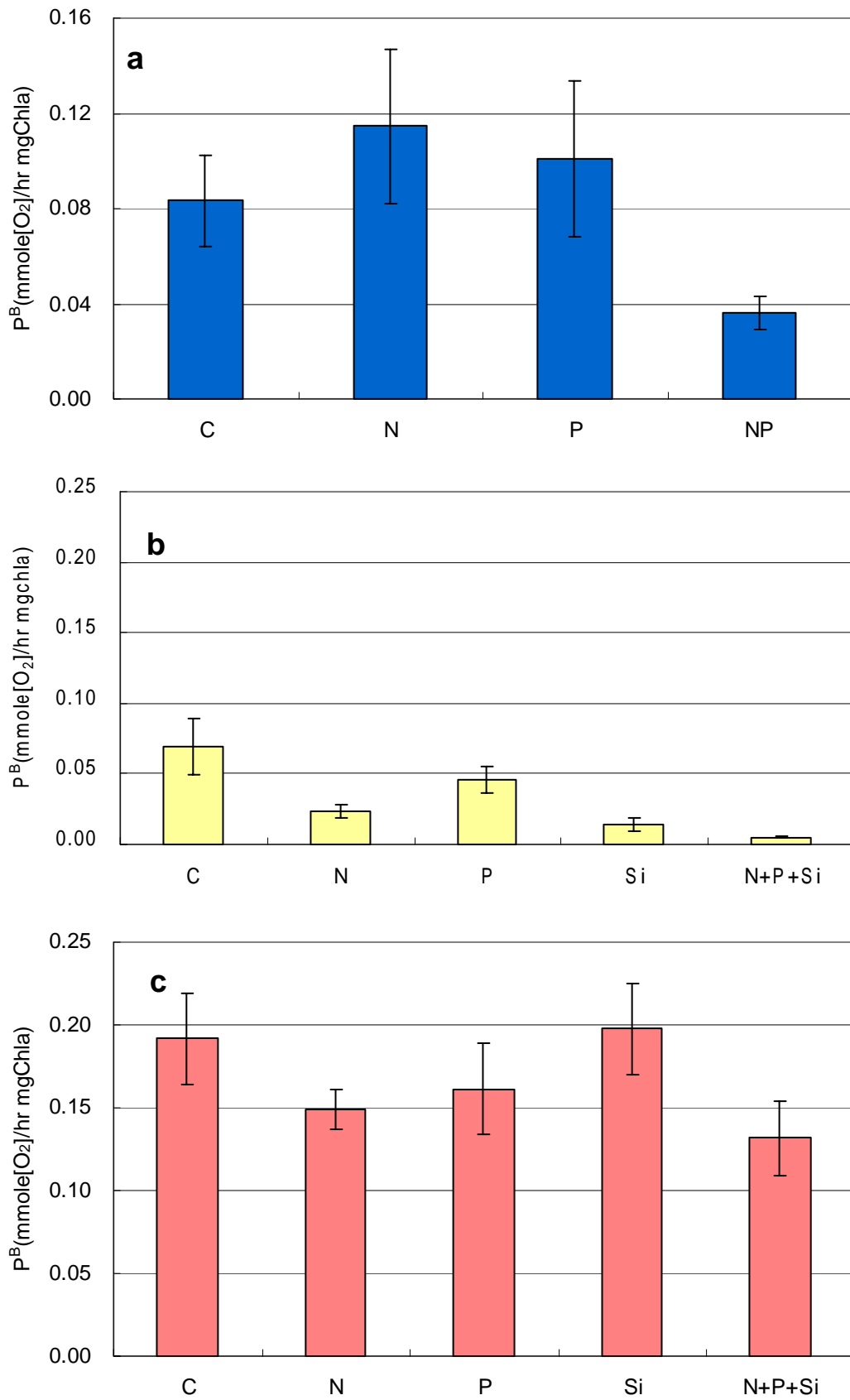


圖 14 有勝溪附生藻添加營養鹽後生產力變化。a.92 年 2 月 b.92 年 8 月初 c.92 年 8 月底。(n=1~8)

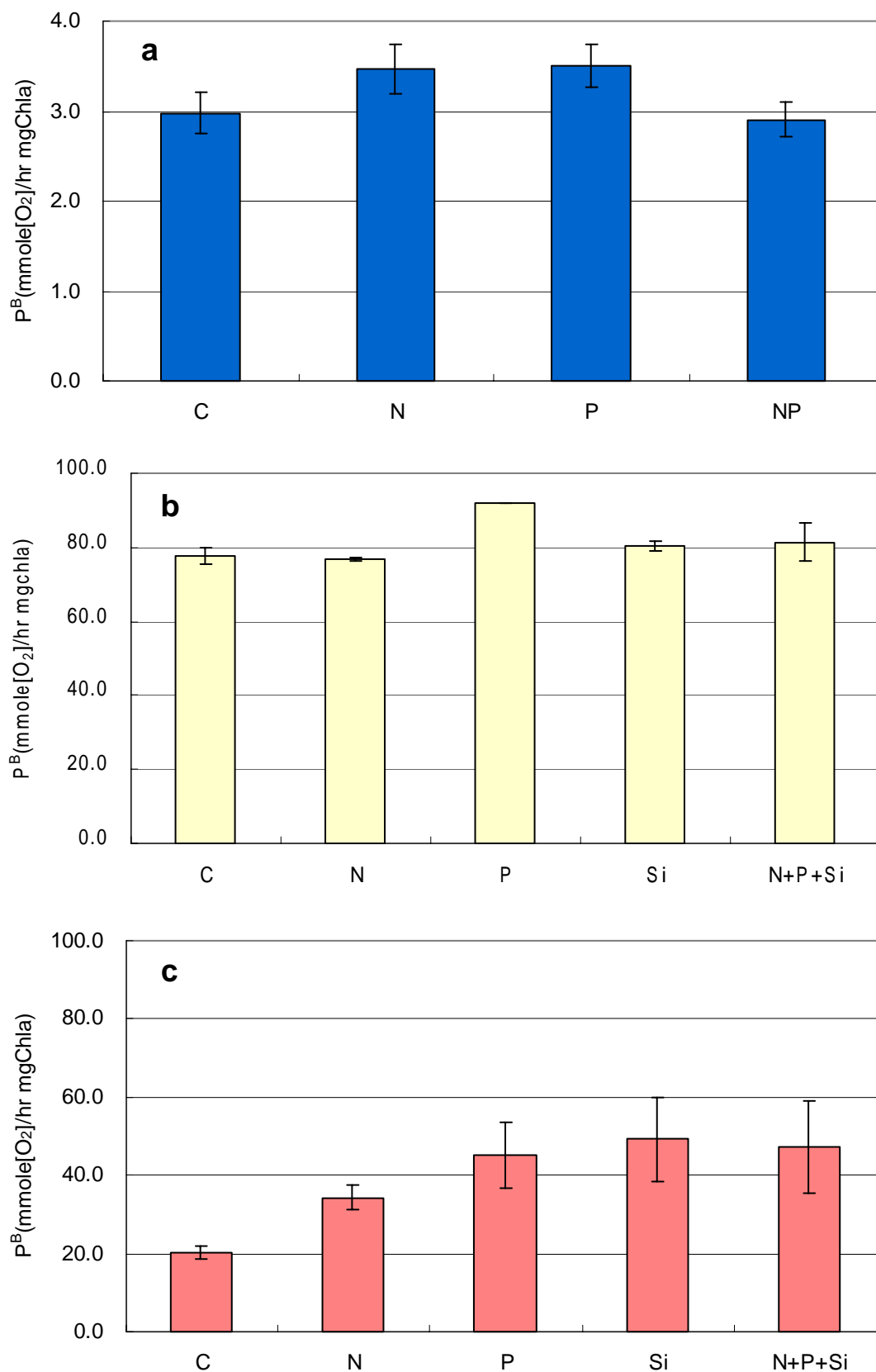


圖 15 有勝溪浮游藻添加營養鹽後生產力變化。a.92 年 2 月 b.92 年 8 月初 c.92 年 8 月底。(n=1~8)

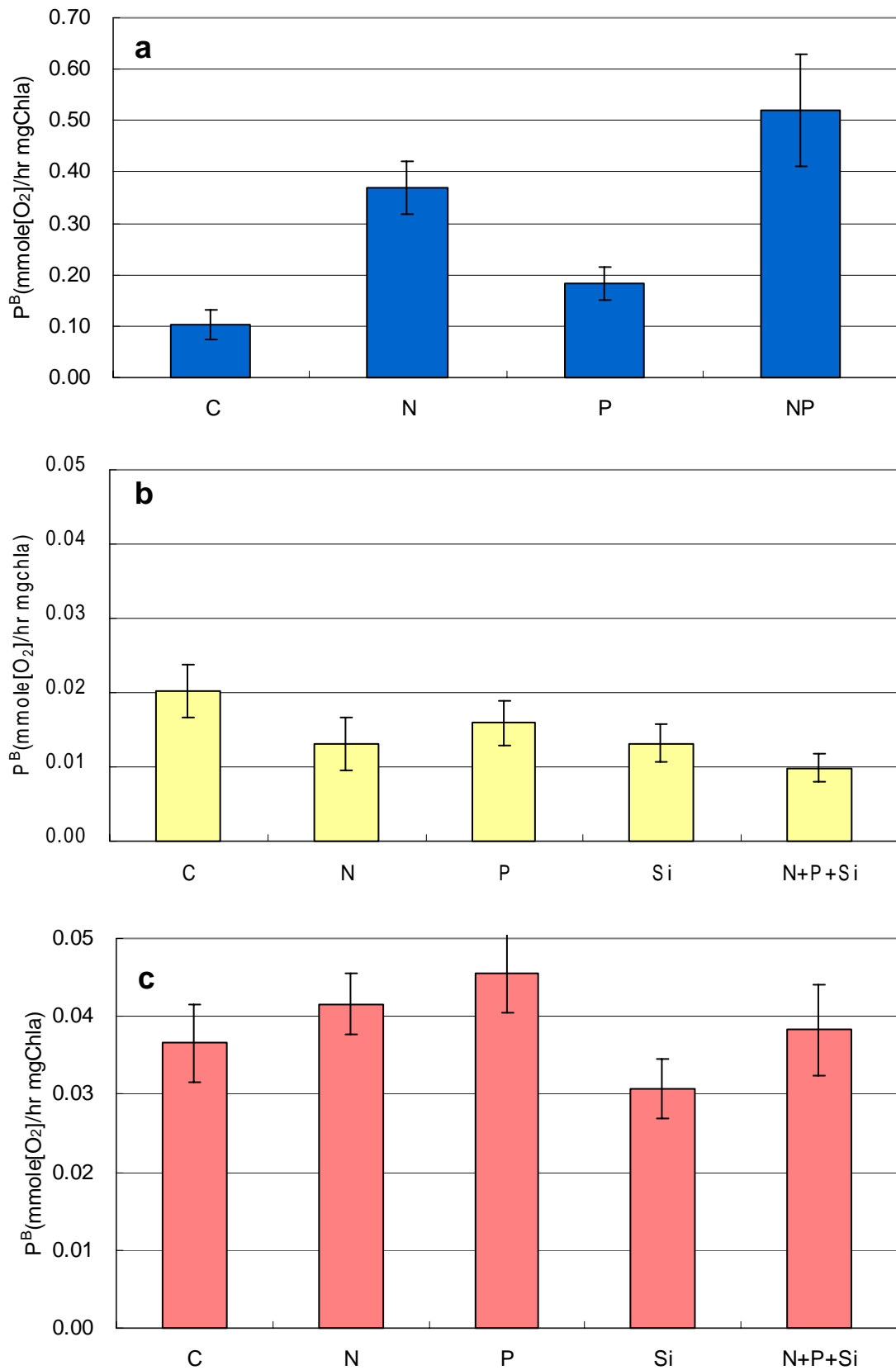


圖 16 高山溪附生藻添加營養鹽後生產力變化。a.92 年 2 月 b.92 年 8 月初 c.92 年 8 月底。(n=1~8)

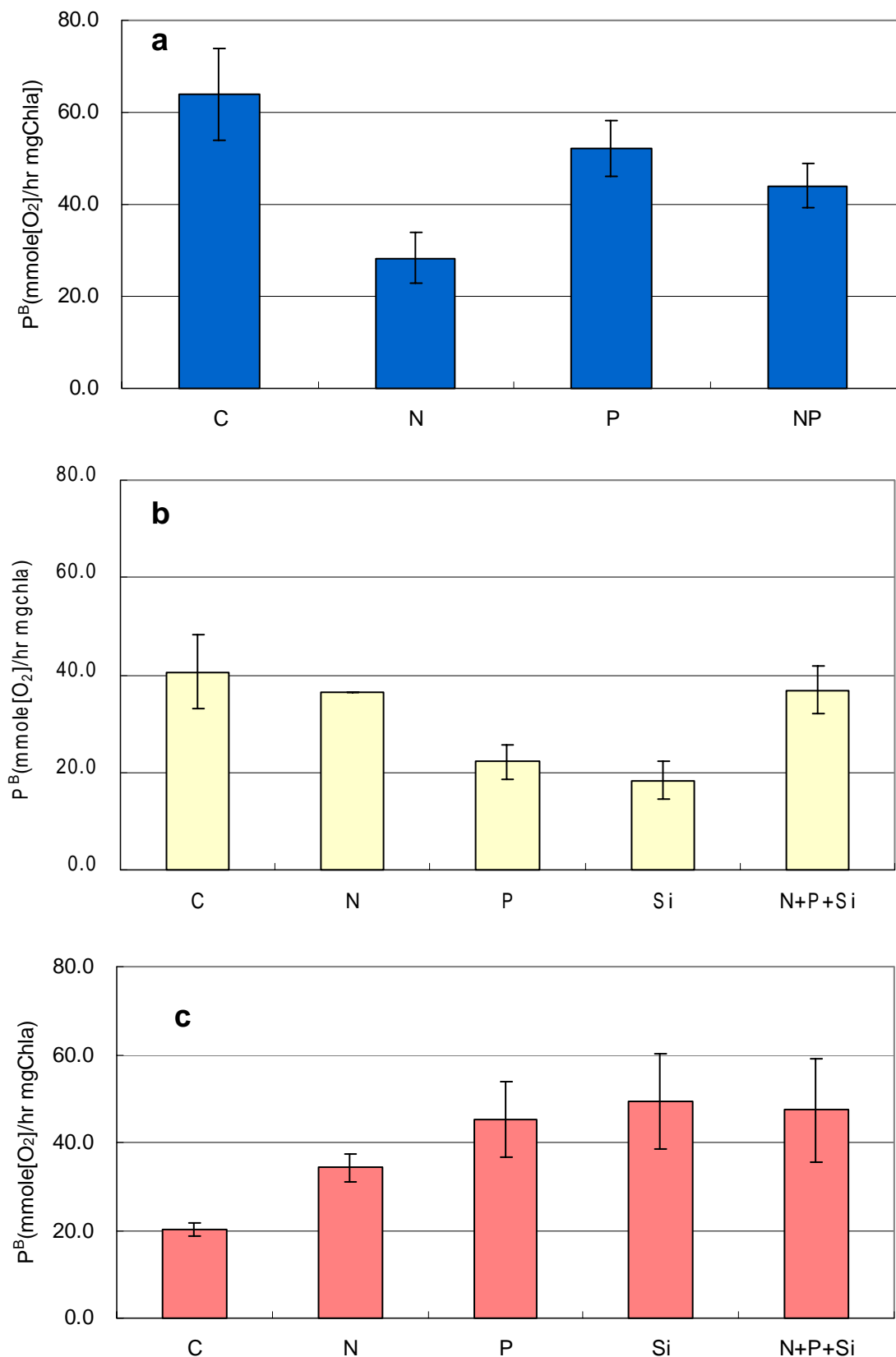


圖 17 高山溪浮游藻添加營養鹽後生產力變化。a.92年2月 b.92年8月初 c.92年8月底。(n=1~8)

(4) 迴歸分析

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進行迴歸分析（圖 18-21），其中水體 DIN 濃度與附生藻生物量有顯著正向迴歸關係（圖 19），顯示附生藻大量增生應是 DIN 大量輸入所造成。

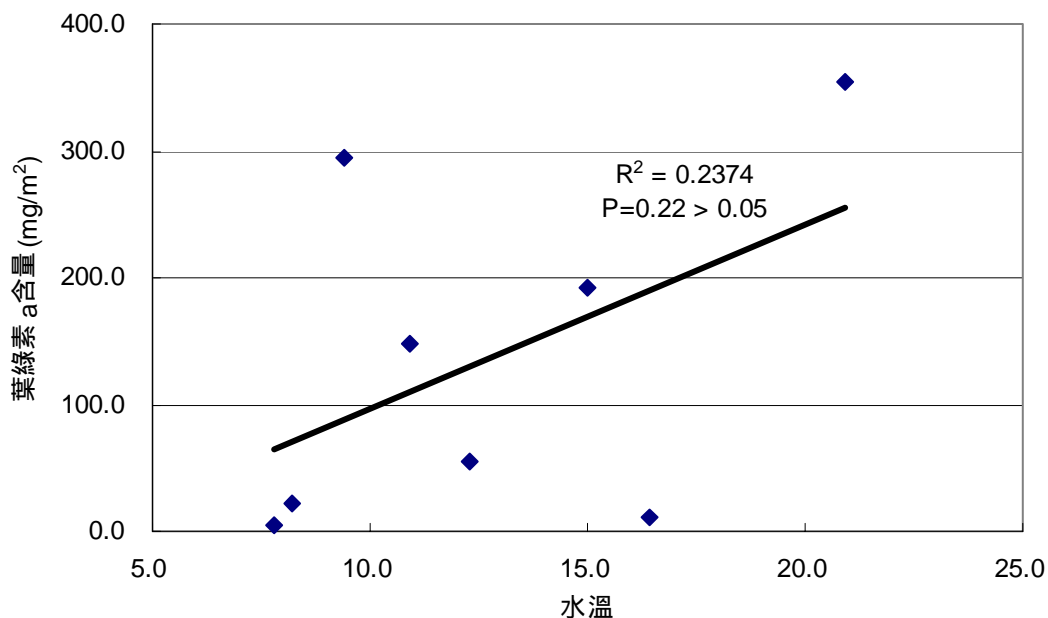


圖 18 水溫與附生藻葉綠素 a 含量迴歸分析。

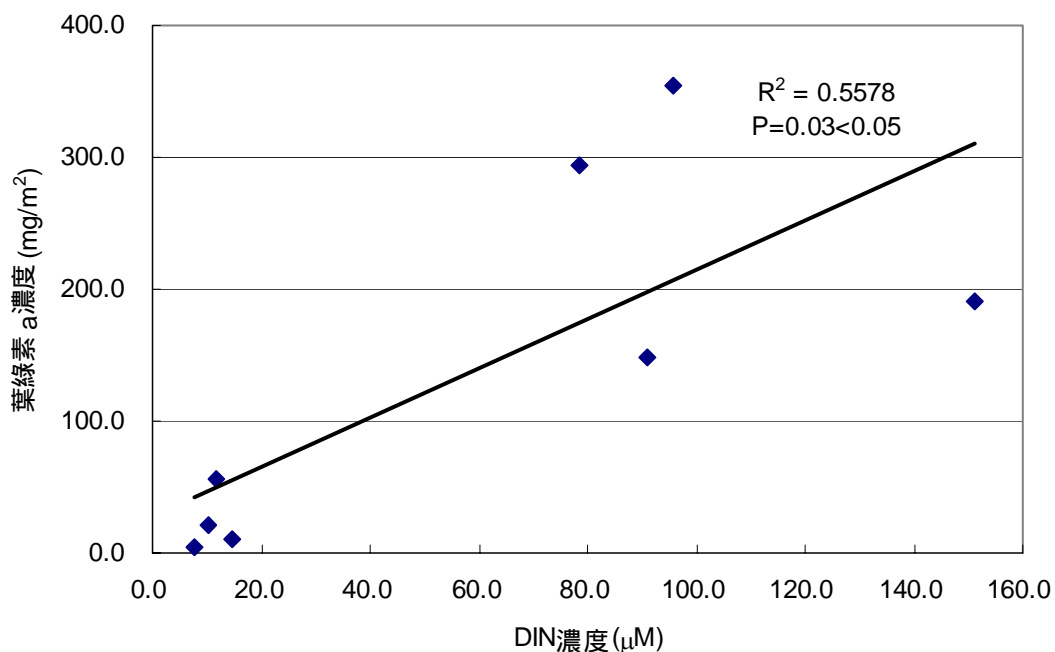


圖 19 DIN 濃度與附生藻葉綠素 a 含量迴歸分析。

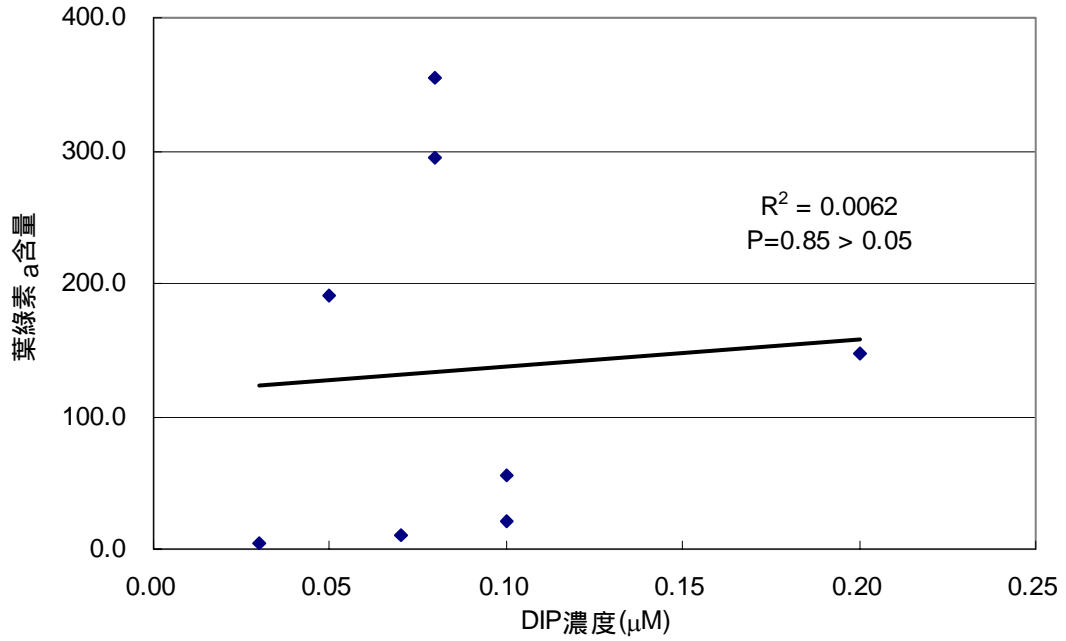


圖 20 DIP 濃度與附生藻葉綠素 a 含量迴歸分析。

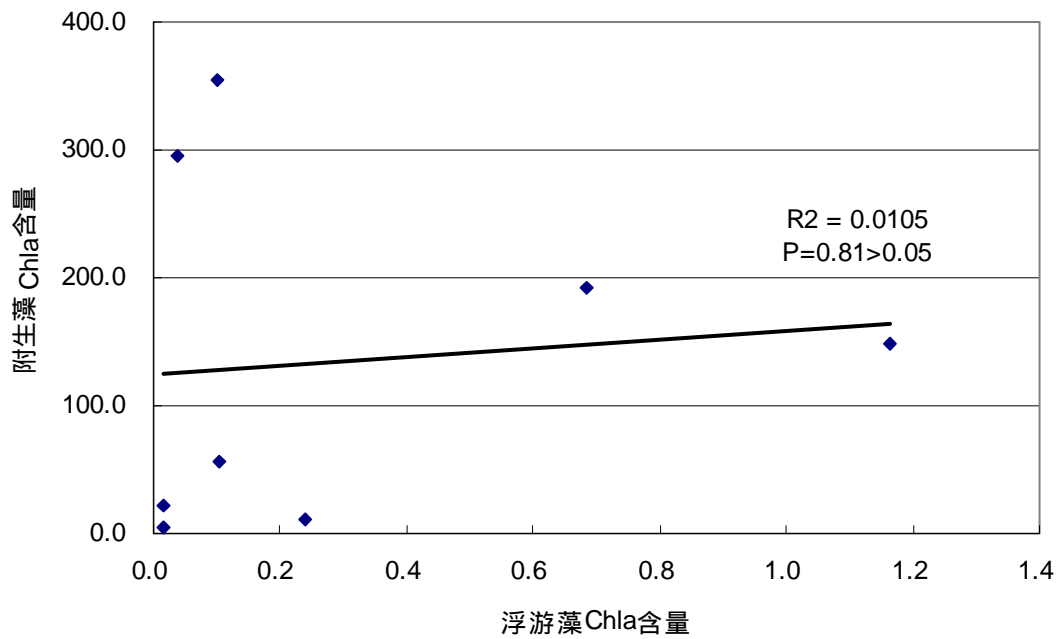


圖 21 附生藻葉綠素 a 含量與浮游藻葉綠素 a 含量迴歸分析。

第四章、討論

冬夏兩季七家灣溪上游及高山溪總溶解態無機氮濃度分別為 10.2-11.7 及 7.8-14.8 μM ，溶解態無機磷濃度則為 0.10 及 0.03-0.07 μM ，有勝溪總溶解態無機氮濃度為 91-96 μM ，溶解態無機磷濃度則為 0.08-0.20 μM ，三測站冬夏兩季營養鹽濃度變化並不顯著。惟七家灣溪下游溶解態有機氮冬季為 79 μM ，夏季時明顯增高至 151 μM 。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，水體中氨鹽（ NH_4^+ ）濃度明顯下降，而硝酸鹽濃度仍有夏季高於冬季之情形。夏威夷 Oahu 的溪流溶解態無機氮濃度介於 2.0~7.8 μM ，溶解態無機磷介於 0.04~0.74 μM （Larned & Scott, 2000）。黃石公園中高山溪流溶解態無機氮濃度介於 1.14~2.36 μM ，溶解態無機磷介於 1.94~2.32 μM （Marcus, 1980）。本次實驗所測得溶解態無機氮與溶解態無機磷量除七家灣溪下游與有勝溪之外，皆與其他水域營養鹽量相當，顯示此兩河段應有較大量外來營養物質即硝酸鹽的輸入。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，在溶氧飽和狀態下亞硝酸態氮含量會最低，而硝酸態氮含量會最高，本次實驗測得溶氧值在 8 mg/L~10 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（表 1、表 2）。而由表 1 及表 2 可發現四測站測得氨鹽值相差不大，主要以七家灣溪下游（七家灣溪 1 號及 2 號壩間）與有勝溪之硝酸鹽含量明顯高於七家灣溪上游（七家灣溪 2 號及 3 號壩間）與高山溪，後二測站上游並無農業活動排放水的直接輸入，因此推測應是前二測站上游所進行之農業活動施用肥料，造成硝酸鹽的大量輸入所致。

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，其生物量不論是葉綠素 a 含量或乾重皆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 含量和由此推估之河段葉綠素 a 含量皆可看出生物量由上游往下游遞增，由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也是由上游往下游遞增。高山溪並無

明顯營養鹽輸入情形，其河段葉綠素 a 含量及乾重更是遠小於七家灣溪及有勝溪，進一步進行生物量與水體營養鹽迴歸分析，顯示葉綠素 a 生物量與水體溶解態無機氮確實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生物量最大因素。

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。冬季時七家灣溪上游與高山溪溶解態無機氮及溶解態無機磷濃度均偏低，應有營養鹽限制之情形。營養鹽添加之結果亦顯示七家灣溪上游附生藻及浮游藻在添加氮鹽及硝酸鹽後單位葉綠素 a 生產力明顯升高，可知冬季時氮應為七家灣溪上游河段限制營養鹽。相對於七家灣溪上游，七家灣溪下游單位葉綠素 a 生產力則是添加磷酸鹽後有上升的趨勢，氮和磷均是溪流藻類生長所需營養鹽，由兩河段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。高山溪附生藻單位葉綠素 a 生產力添加氮鹽後提高，因此氮應為高山溪限制營養鹽。有勝溪附生藻不論是添加何種營養鹽，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，四測站之單位葉綠素 a 生產力皆無明顯增加之趨勢。表示冬季營養鹽缺乏時各測站有營養鹽限制之情形，反之夏季營養鹽大量輸入時，營養鹽限制情形便不顯著。可知夏季大量升高之硝酸鹽含量是武陵地區溪流藻類大量繁生主要原因。

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. 進一步進行藻體中穩定性同位素追蹤研究，確定營養鹽來源為何。
3. 進行藻體中氮及磷含量元素分析。
4. 武陵地區溪流營養鹽輸入量測定與估算。
5. 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。
6. 實驗結果可作為雪霸國家公園在武陵地區經營管理策略之參考。

第六章、參考文獻

- 王騰崇，2001，大鵬灣竹片上附生藻類生產力之時空變化，國立中興大學植物學研究所碩士論文。
- 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。
- 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，內政部營建署雪霸國家公園管理處，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，內政部營建署雪霸國家公園管理處，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，內政部營建署雪霸國家公園管理處，106 頁。
- 曾晴賢，2001，櫻花鉤吻鮭族群監測與調查（四），內政部營建署雪霸國家公園管理處，34 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.
- 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
- Taylor DI, Noxon SW, Granger SL, Buckley BA (1995) Nutrient limitation and the eutrophication of coastal lagoons. Mar Ecol Prog Ser 127:235-244.



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

武陵地區溪流藻類之限制營養鹽

9
2
1
1

武陵地區溪流藻類生產力之限制營養鹽
研究主持人：林幸助

雪霸國家公園管理處