

計畫名稱：湖山水庫水域生態食物網模式之建構

英文名稱：A Trophic model for Hushan Reservoir

計畫編號：250

全程計畫期間：2007 年 5 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日

本年計畫期間：2010 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日

計畫主持人：李麗華

一、摘要

本研究在此次報告中繼續調整先前所建構之 Ecopath 食物網模式，以期建構出更符合野外實際狀況的溪流食物網絡。梅林河流域北勢坑溪、土地公坑溪及匯流口三測站可概分成兩個食性階層。清水流域樣區與梅林流域樣區域相較之下有較多的生物種類，因此食物網絡也較為複雜，桶頭橋及瑞草橋測站皆有三個食性階層。報告中以綜合營養衝擊評估各生物類群生物量的消長對其他生物類群生物量的影響，其中兩溪各測站之雜食性魚類生物量的增加對多數生物類群皆有負面效應。另外報告中亦加入由 Ecopath with Ecosim 進行五測站之生態系特質相互比較。分析結果顯示兩溪流流域皆處於成熟度較低的初期發展系統。藉由 Ecosim 模擬清水溪興建桶頭攔河堰後物種可能的變化，結果顯示各生物類群的生物量皆會隨藻類生物量減少而遞減，其中清水溪植食性魚類生物量降到 10% 以下。藻類生物量下降到 60% 時，可能會對植食性魚類造成較大的衝擊影響，因此建議在桶頭攔河堰興建後，應考慮維持足夠水流量，以維持下游藻類生物量。

Abstract

The research continues adjusting Ecopath model and hope to constructing stream food web accurately which closed to the real state of field. At tributaries of Meilin Creek drainage area, Beishihkeng stream、Tudigong stream and Hueiliou stream node study area have 2 trophic levels. Chingshui Creek drainage area has more species and complex food webs than Meilin Creek drainage area, Tongtou Bridge and Rueicao Bridge study area has 3 trophic levels

In the report, we using mixing trophic impact to assessing biomass of everyone living group increasing how to influencing all living groups. The result exhibits all study area increasing omnivorous fish biomass will negative influence to most of living groups.

We also compare the characteristics of ecosystem in ecopath in this report. The result shows two creek drainage area are primary stages system of low maturity. We using Ecosim to simulated the possibly change of species after the dam is built in Chingshui Creek drainage, the result shows that biomass of all living group will decreasing follow with algae reducing and herbivorous fish in Chingshui Creek drainage will down bellow 10 %, particularly. When biomass of algae down bellow 60 %,may be causing to impact great effect on herbivorous fish. We suggest keeping sufficient for water flow that can maintain biomass of algae in downstream after the dam will be built.

關鍵詞：營養模式、能量收支平衡、食物網

二、計畫目的

將清水溪及梅林溪等兩溪流生態系利用生物間的食性關係、攝食量與個體能量收支平衡原理，建構溪流生態系食物網模式。並以生態系宏觀的觀點，來瞭解位於水庫預定地內兩溪流生態系的食物網結構與功能。建立此背景資料後，未來可做為比較水庫工程前後溪流生態系構造與功能改變的比較。

三、重要工作項目及實施方法

1. 兩溪流生態系食物網能流圖之建構與微調。
2. 以綜合營養衝擊（Mixing trophic impact）評估各分類群生物量消長對其他生物類群生物量的影響。
3. 經由 Ecopath with Ecosim 進行各溪流生態系特質之比較。
4. 以 Ecosim 模式模擬清水溪興建桶頭攔河堰後對溪流生物類群生物量可能的影響。

四、結果與討論

1.食物網模式建構

本研究之食物網模式是利用Ecopath with Ecosim軟體，建構生物間能量傳輸模式，並分析模式能量流架構（Christensen et al. 2004）。模式基礎公式如下：

(1) 生產量 = 漁獲量 + 被攝食致死量 + 生物累積量 + 淨遷移 + 自然死亡量

以及

(2) 攝食量 = 生產量 + 呼吸量 + 未同化食物

建構 Ecopath 模式所需之基本參數包括：各生物類群的生物量 (Biomass, B)、單位生產量 (Production/Biomass ratio, P/B)、單位攝食量 (Consumption/Biomass ratio, Q/B)、生態效率值 (Ecological efficiency, EE) 以及生物間的食性組成 (Diet compositions)。其中 B、P/B、Q/B 及 EE 等四項基本參數可容許有一參數未知，一般設定 EE 值為未知數，由模式自行估計，並可藉此驗證模式之合理性。

各生物類群的生物量皆為實地調查所得。藻類的生產量也是實地調查所得。其餘生物類群的單位生產量、單位攝食量以及生物間的食性組成則參考相關文獻研究以及 Fishbase 資料庫所得。

為避免所建構生態系食物網模式過於複雜，影響分析模擬結果，本研究以食性及生態區位 (Niche) 將物種分為附生藻 (Periphyton)、非掠食性水棲昆蟲 (Omnivorous insects)、掠食性水棲昆蟲 (Carnivorous insects)、蝦類 (Shrimps)、蟹類 (Crabs)、植食性魚類 (Herbivorous fish) 以及雜食性魚類 (Omnivorous fish) 等七個生物類群，並加入去年度調查所得有機碎屑量 (Detritus) 以利模式的正確建構。各生物類群所包含物種如表 1 所述。而各樣區的食物網能流分別如下：

(一) 梅林溪-北勢坑溪樣區

本樣區溪流食物網分成二個營養階層 (Trophic Level)，最高階生物階層只有 2.1 (圖 1)。第一層主要為基礎生產者的附生藻以及有機碎屑；第二階層則為非掠食性水棲昆蟲、蝦類、蟹類、植食性魚類以及雜食性魚類。

(二) 梅林溪-匯流口樣區

本樣區物種數少，能流圖更顯簡略，最高階生物階層亦只有 2.1 (圖 2)。第一層主要為基礎生產者的附生藻以及有機碎屑；第二階層則為食藻性及有機碎屑之蝦類、植食性以及雜食性魚類

(三) 梅林溪-土地公坑溪樣區

本樣區缺少植食性的魚類類群，而從能流圖大致可分成三個營養階層，但

最高階生物階層只有 2.2(圖 3)。第一層主要為基礎生產者的附生藻及有機碎屑；第二階層則為食藻性及有機碎屑之蝦、蟹類以及非掠食性水棲昆蟲；第三階層為掠食性水棲昆蟲以及雜食性魚類。

(四) 清水溪-桶頭橋樣區

清水河流域樣區與梅林河流域樣區域相較之下有較多的生物種類，因此食物網絡也較為複雜。桶頭橋樣區缺少蟹類類群，大約可分成三個營養階層，最高階生物階層為 2.8(圖 4)。第一層主要為基礎生產者的附生藻以及有機碎屑；第二階層則為蝦類、非掠食性水棲昆蟲以及植食性魚類；第三層則為掠食性水棲昆蟲以及雜食性魚類。

(五) 清水溪-瑞草橋樣區

瑞草橋樣區與桶頭橋樣區相似，大約分成三個階層，最高階生物階層亦有 2.8(圖 5)。第一層主要為基礎生產者的附生藻以及有機碎屑；第二階層則為蝦類、非掠食性水棲昆蟲以及植食性魚類；第三層則為掠食性水棲昆蟲以及雜食性魚類。

2. 綜合營養衝擊

綜合營養衝擊(Mixing trophic impact, MTI)為評估各生物類群之生物量消長對於生態系統中其他生物類群生物量之影響，可視為一種對生物量之敏感度分析方式。MTI 值越高表示受衝擊之生物類群生物量增加之幅度越高，反之則減少幅度越高，此值範圍為正負 1。匯流口由於資料不足，故無法呈現綜合營養衝擊圖。

圖 6 顯示當北勢坑溪雜食性魚類的增加對於其他生物類群有負面的衝擊，並經由食性關係可顯示其為雜食性魚類直接掠食其他生物類群所導致之結果。土地公坑溪(圖 7)除顯示雜食性魚類的增加對於數個生物類群有負面的衝擊外，非掠食性水棲昆蟲的增加也會造成所有生物類群生物量的減少。原因可能是非掠食性水棲昆蟲的增加，會導致附生藻及碎屑量的遞減，導致其他消費者食物來源的減少。

清水溪的桶頭橋(圖 8)及瑞草橋(圖 9)兩測站之衝擊圖較類似。除顯示雜食性魚類的增加對於數個生物類群有負面的衝擊外，非掠食性水棲昆蟲的增加也會造成所有類群生物量的減少；碎屑的增加對於大部分生物類群有正面的效

應，但對於植食性魚類有負面的影響。此乃肇因於植食性魚類的食性比較傾向於取食藻類而非碎屑，而碎屑的增加則會降低附生藻的生物量。

3. 溪流生態系特性比較分析

為瞭解兩流域溪流生態系之特性，除了以一般評估生態系成熟度的 P/R (Total primary production/total respiration) 值及 B/T 值評估五測站的成熟度外，研究中另外以六種參數來呈現五項生態指標，分別是系統活力、系統最大承載能力、組織性、抗逆性、流量歧異度，如表 2。P/R 值用以描述系統代謝量（成熟度），系統早期發展的階段，P/R 值通常大於 1；當系統遭受有機污染時，P/R 值通常小於 1，而在成熟的生態系統中，P/R 值通常趨近於 1。B/T 值 (Total biomass/Total throughput) 代表單位能量流所支持的生物量，成熟之生態系會有較高之 B/T。系統活力以總系統通量 (Total system throughput, TST) 表示，即總攝食量 (total consumption)、總呼吸量 (total respiration)、總輸出量 (total export) 以及總碎屑流量 (total flows to detritus) 之總和，代表總系統能量流的大小。系統最大承載能力以發展量 (Development capacity, C) 表示，代表生態系所能發展之最大量與系統的承載能力。組織性以平均交互訊息 (Average mutual information, AMI) 以及 Ascendency/Capacity (A/C) 表示，用以表示系統的組織程度或者是成熟度，值越高反映相對較高的組織程度與成熟度。抗逆性以 Overhead/Capacity (O/C) 表示，用來表示系統遭受外力影響之恢復程度，可作為系統 resilience 之指標。流量歧異度 (Flow diversity, H) 即系統內能量流之數目與複雜度，用來表示總能量流之不確定性。

由系統輸出之參數可知，梅林溪的三個測站皆呈現生態系發展初期之系統 (P/R>>1, B/T 介於 0.02-0.07)，觀察推測可能與週遭人為活動較多有關。清水溪二測站亦呈發展初期之系統 (P/R>>1, B/T=0.01)，其水域情勢類似蘭陽溪流域；鄭 (2007) 推測這可能由於溪水短促湍急，及颱風季節帶來大雨使棲地改變與河水變化、不斷干擾有關。另比較五測站之生態指標，可發現匯流口測站的組織性高，但抗逆性低，應與物種結構較為簡單有關；此也顯示該系統食物網較易受外來干擾而劣化。

4. 時間動態變化模擬

所建構各測站之 Ecopath 模式進一步可藉由 Ecosim 模擬生態系統在設定的場景下各生物類群生物量的時間動態變化。本研究以桶頭橋、瑞草橋兩測站為對象，藉由輸入時間強制序列 (Forcing Function)，模擬清水溪興建桶頭攔河

堰後對各生物類群可能之影響。模式中假設桶頭攔河堰興建後造成的水流量減少所導致水域棲地縮減，藻類生物量因而減少，進而影響其他生物類群的生物量；藻類遞減的生物量以現有生物量的 40% 為上限，模擬時間長度為 50 年，劇本 (Scenario) 如下：

Scenario 1---第 1 年藻類生物量直接遞減 40%。

Scenario 2---前 8 年每年遞減藻類生物量 5%，第 9 年後維持在 60% 藻類生物量。

Scenario 3---前 20 年每年遞減藻類生物量 2%，第 21 年後維持在 60% 藻類生物量。

Scenario 4---每年遞減藻類生物量 0.8%。

其結果如圖 10、圖 11 所示，兩測站的非掠食性水棲昆蟲、掠食性昆蟲以及蝦類的生物量，在不同模擬的劇本中隨附生藻生物量減少而有相似的變化趨勢，模擬期間的最後相對生物量都可維持在 50%-56% 之間。其中掠食性水棲昆蟲有明顯的時滯現象 (Time Lag)。當不同劇本中藻類生物量降到最低後，掠食性水棲昆蟲的生物量會先降到最低點，而後數年逐漸回復至穩定狀態；以桶頭測站為例，如果藻類第 1 年遞減 40% 的生物量，則掠食性水棲昆蟲的生物量第三年會降到最低點 (26% 生物量)，而到第 12 年相對生物量才恢復到 56% 左右然後逐漸穩定。

魚類方面，除了桶頭橋測站的雜食性魚類生物量降到最低點後有稍微回升外 (回升到 30% 生物量)，瑞草橋測站的掠食以及非掠食性魚類以及桶頭的植食性魚類隨時間逐年遞減而略呈倒 S 型的曲線變化；桶頭橋測站的植食性魚類在模擬期間的最後生物量甚至遞減到 10% 以下。

五、結論

梅林河流域北勢坑溪、土地公坑溪及匯流口三測站可概分成兩個食性階層。清水河流域樣區與梅林河流域樣區域相較之下有較多的生物種類，因此食物網絡也較為複雜，桶頭橋及瑞草橋測站皆有三個食性階層。以綜合營養衝擊評估各生物類群生物量的消長對其他生物類群生物量的影響，其中兩溪各測站之雜食性魚類生物量的增加對多數生物類群皆有負面效應。生態系特質相互比較結果，顯示兩溪流流域皆處於成熟度較低的初期發展系統。藉由 Ecosim 模擬清水溪與

建桶頭攔河堰後物種可能的變化，結果顯示各生物類群的生物量皆會隨藻類生物量減少而遞減，其中清水溪植食性魚類生物量降到 10% 以下。藻類生物量下降到 60% 時，可能會對植食性魚類造成較大的衝擊影響，因此建議在桶頭攔河堰興建後，應考慮維持足夠水流量，以維持下游藻類生物量。

六、參考文獻

- 李麗華 2003 野柳灣生態系模式建構與時空動態模擬。國立中興大學碩士論文。58 頁。
- 林幸助、邵廣昭、吳聲海、馬堪津、高文媛、陳義雄、黃將修、劉莉蓮 2005 蘭陽河流域與河口生態系食物網的動態鏈結-94 年期末報告。中央研究院生物多樣性研究中心。325 頁。
- 林幸助、吳聲海、官文惠、邵廣昭、施習德、孫元勳、郭美華、彭宗仁、曾晴賢、楊正澤、葉文斌、葉昭憲、蔡尚憲 2006 武陵地區長期生態監測暨生態模式建立-95 年期中報告。內政部營建署雪霸國家公園管理處。
- 鄭侑展 2007 蘭陽溪與七家灣河流域生態系模式之比較分析。國立中興大學碩士論文。147 頁。
- 戴孝勳 2005 大鵬灣生態系食物網模式之建構分析與蚵架移除效應模擬。國立中興大學碩士論文。67 頁。
- Belgrano A, Scharler UM, Dunne J, Ulanowicz RE (2005) Aquatic food webs : An ecosystem approach. Oxford University Press Inc.
- Christensen V, Walters CJ, Pauly D (2005) Ecopath with ecosim : A user's guide UBC Fisheries center & ICLARM.
- Fulton EA, Smith AD, Johnson CR (2003) Effect of complexity on marine ecosystem models. *Mar Ecol Prog Ser* 253:1-16.
- Lin HJ, Dai XX , Shao KT, Su HM , Lo WT, Hsieh HL, Fang LS, Hung JJ (2006) Trophic structure and functioning in a eutrophic and poorly flushed lagoon in southwestern Taiwan. *Marine Environmental Research* 62:61-68.
- Lin HJ, Shao KT, Kuo SR, Hsien HL, Wong SL, Chen IM, Lo WT, Hung JJ (1999) A trophic model of sandy barrier lagoon at Chiku in southwestern Taiwan. *Estuar Coast Shelf Sci* 48:575-588.
- Wolff M (1994) A trophic model for Tongoy Bay—a system exposed to suspended scallop culture (northern Chile). *J Exp Mar Boil Ecol* 182: 149-168.

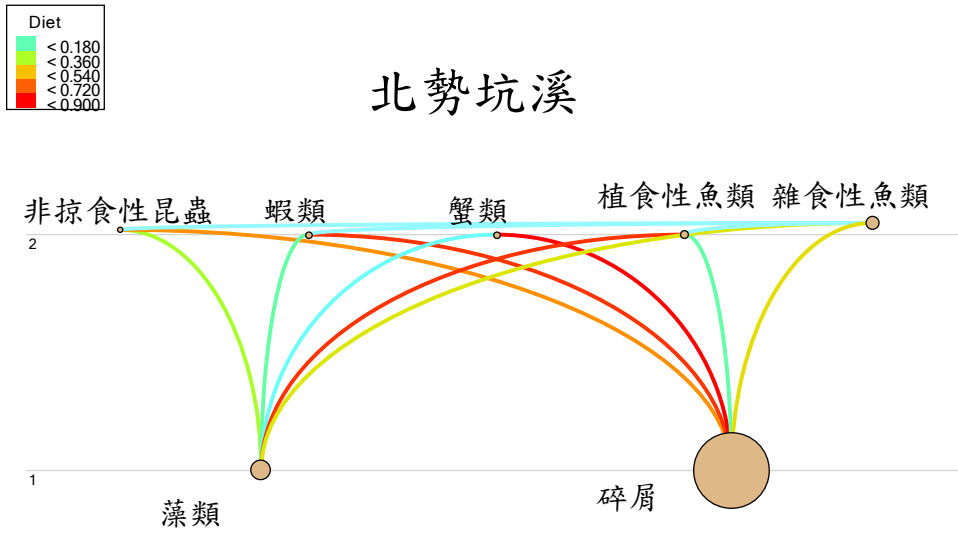


圖 1. 北勢坑溪食物網能流圖。

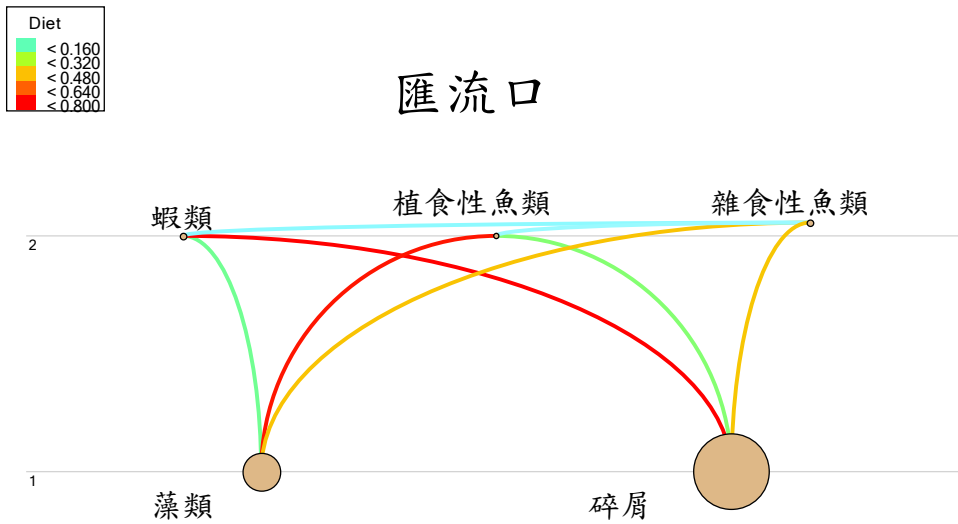


圖 2. 北勢坑溪食物網能流圖。

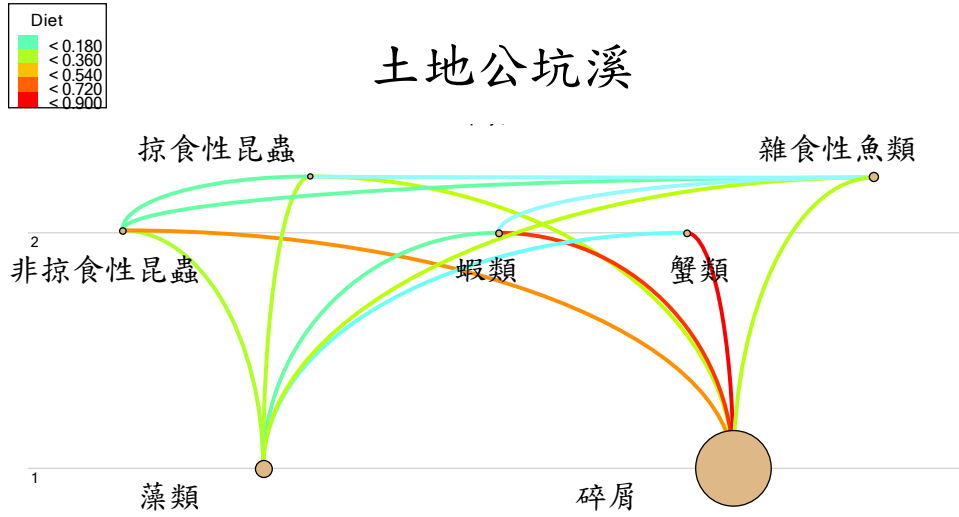


圖 3. 土地公坑溪食物網能流圖。

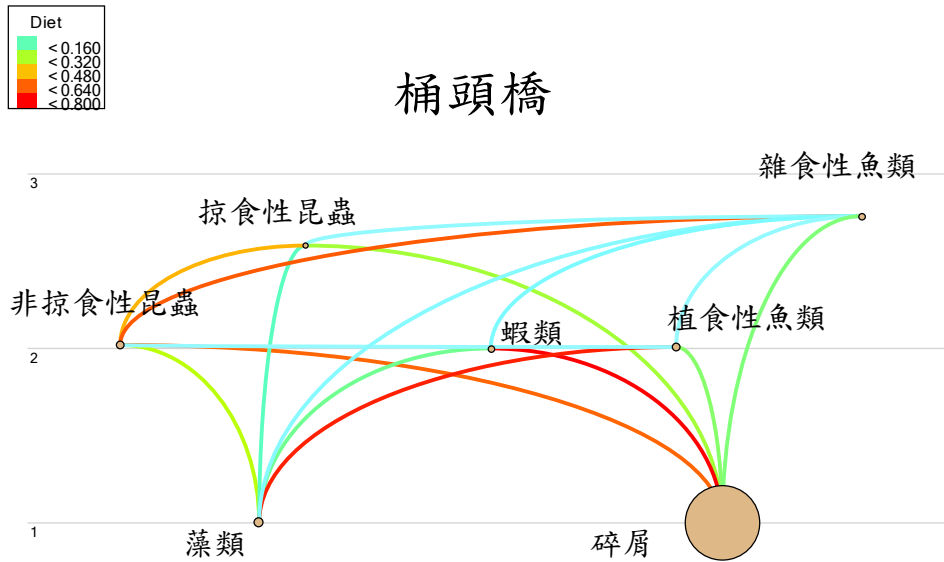


圖 4. 桶頭橋測站食物網能流圖。

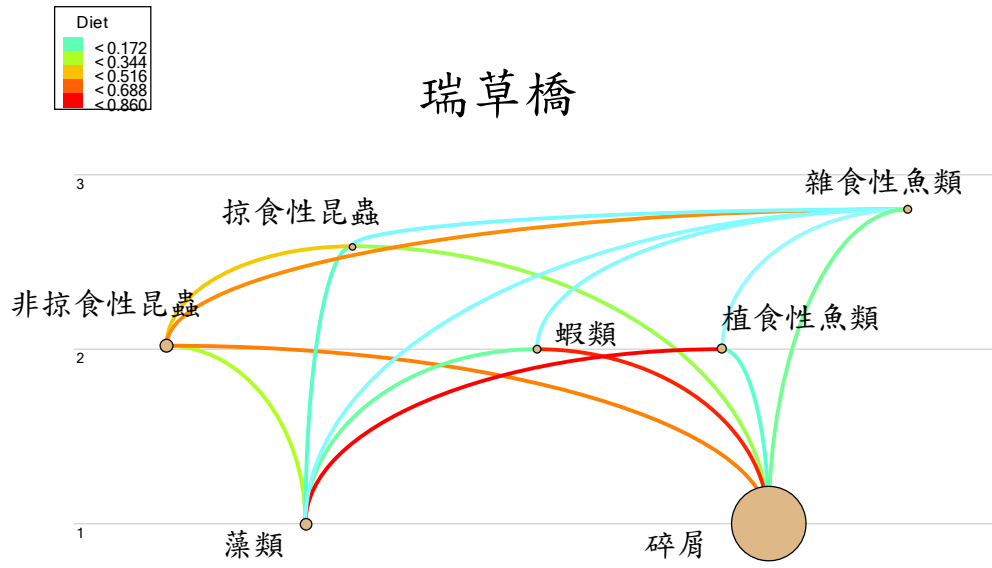


圖 5. 瑞草橋測站食物網能流圖。

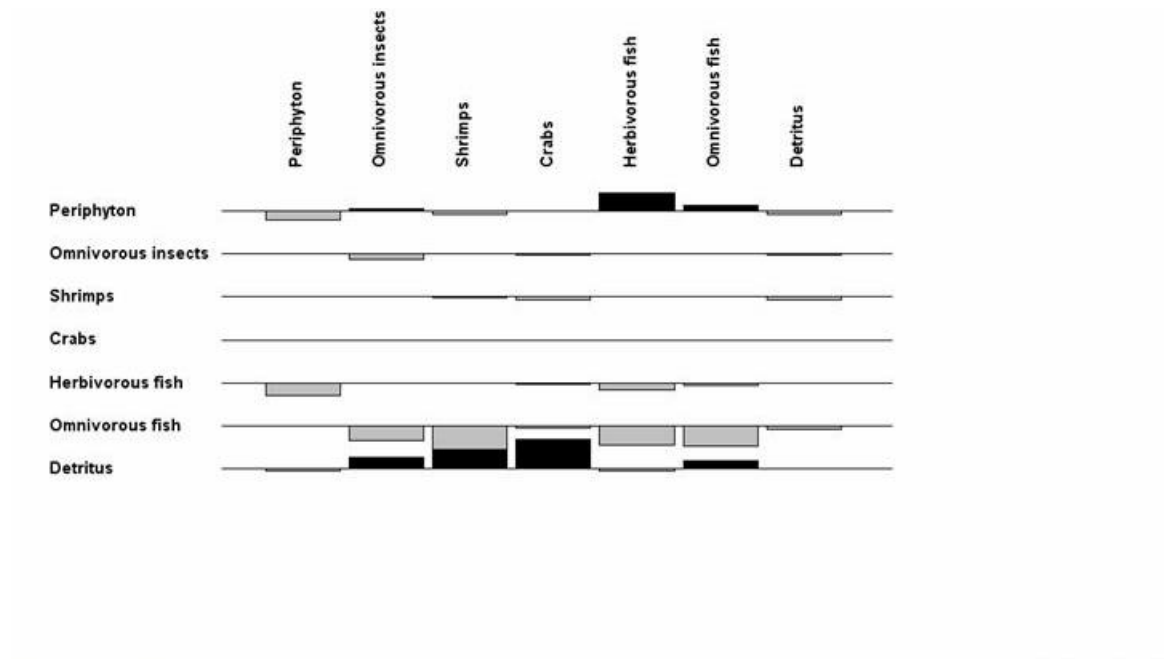


圖 6. 北勢坑溪綜合營養衝擊圖。

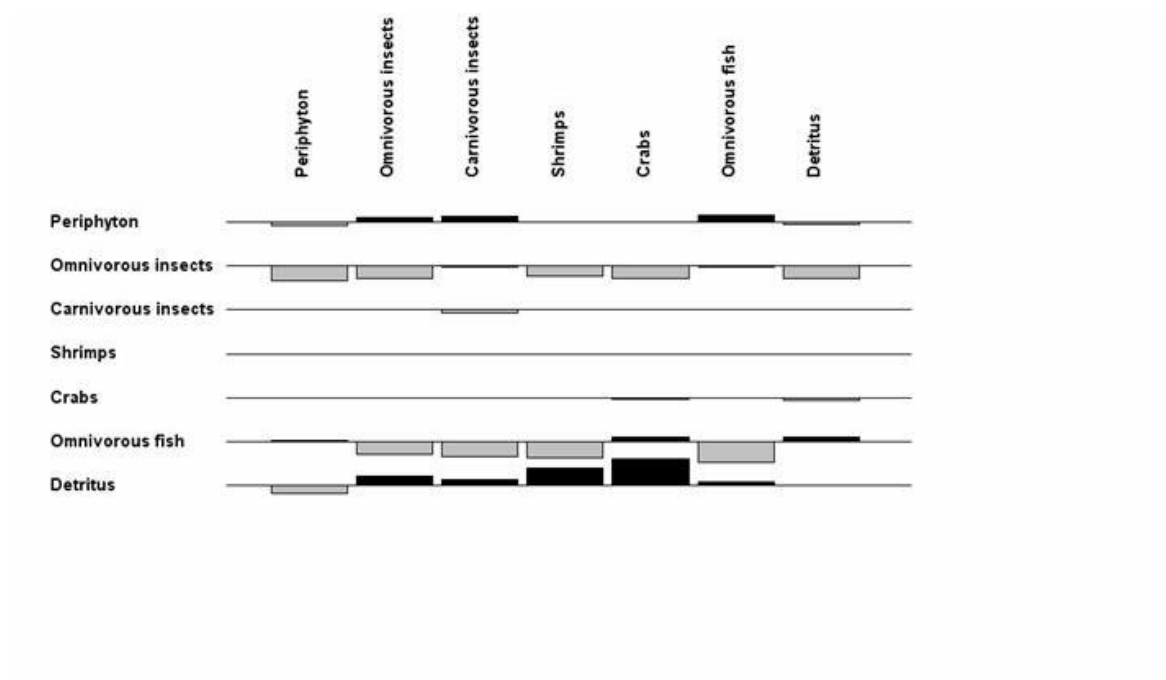


圖 7. 土地公坑溪綜合營養衝擊圖。

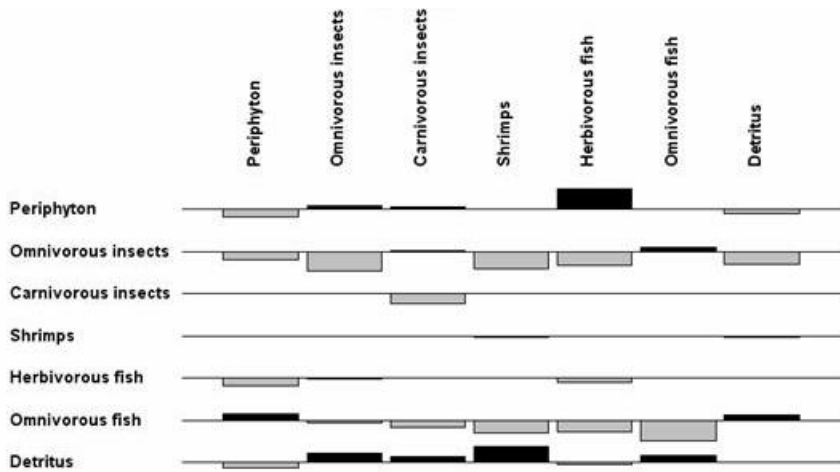


圖 8. 桶頭橋測站綜合營養衝擊圖。

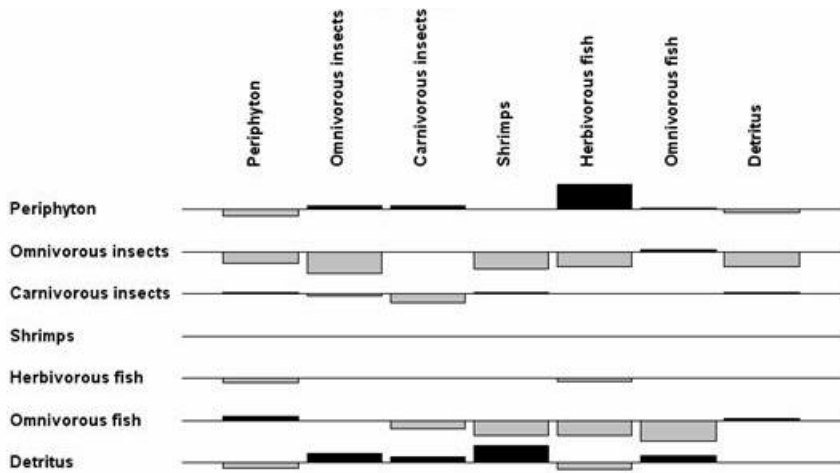


圖 9. 瑞草橋測站綜合營養衝擊圖。

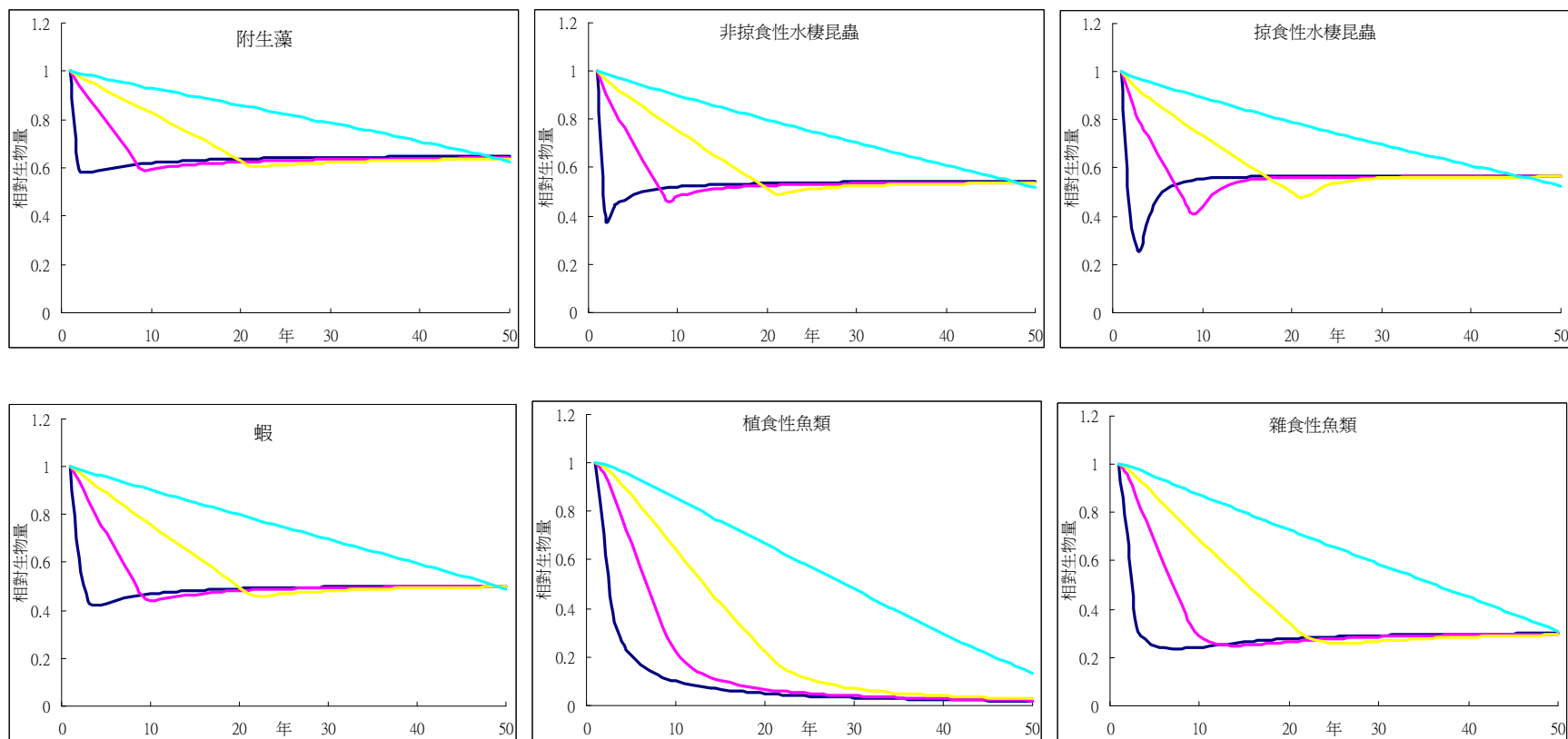


圖 10. 模擬桶頭橋測站藻類生物量遞減時，各類群相對生物量 50 年內之變化。

- 第 1 年藻類生物量直接遞減 40%
- 前 8 年每年遞減藻類生物量 5%
- 前 20 年每年遞減藻類生物量 2%
- 每年遞減藻類生物量 0.8%

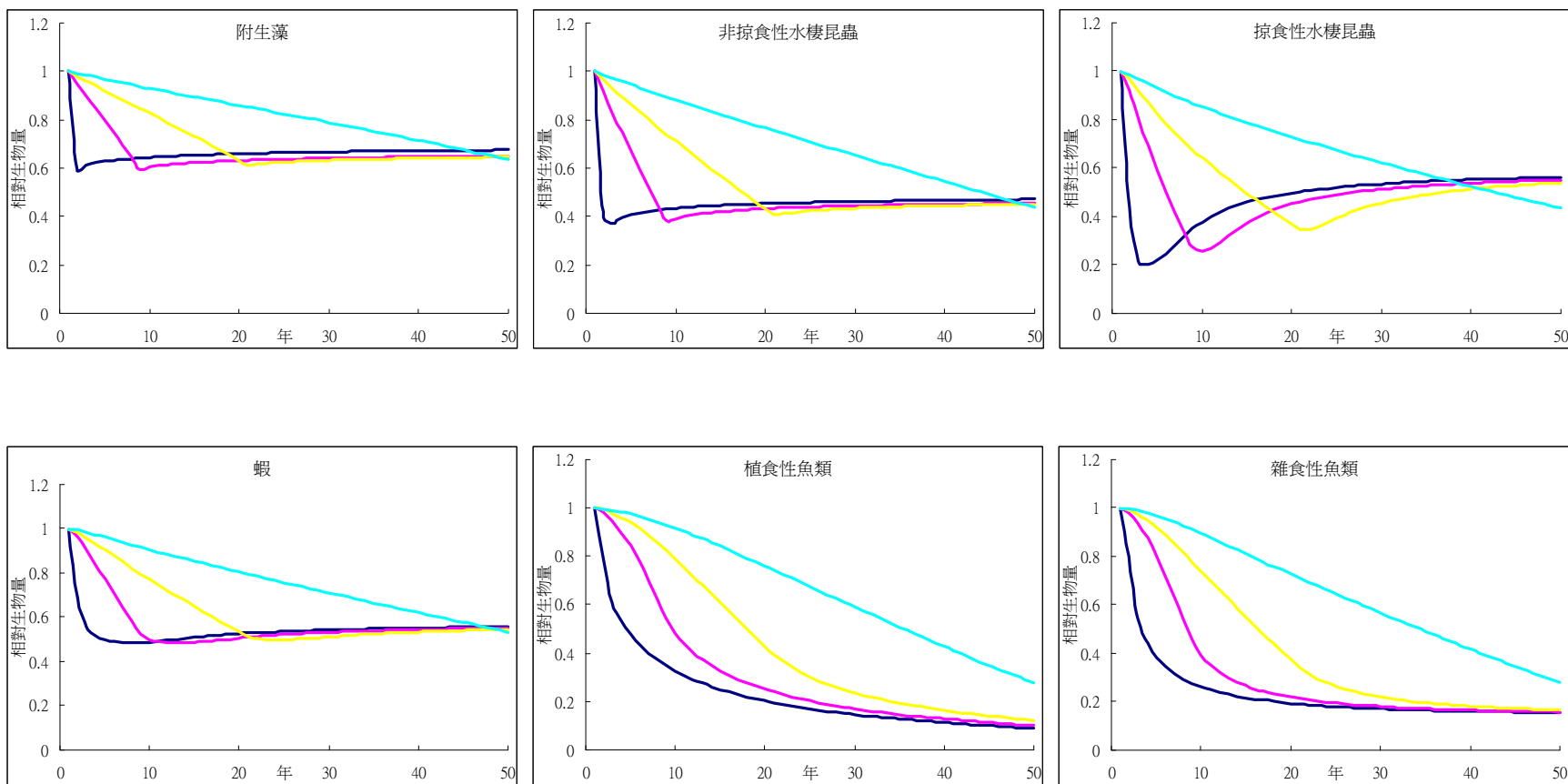


圖 11. 模擬瑞草橋測站藻類生物量遞減時，各類群相對生物量 50 年內之變化。

- 第 1 年藻類生物量直接遞減 40%
- 前 8 年每年遞減藻類生物量 5%
- 前 20 年每年遞減藻類生物量 2%
- 每年遞減藻類生物量 0.8%

表 1. 各物種所歸屬之類群

分類群	類群中所包含之物種
蝦類	長臂蝦科的粗糙沼蝦、大和沼蝦、臺灣沼蝦；匙指蝦科的多齒新米蝦以及擬多齒米蝦。
蟹類	溪蟹科的拉氏清溪蟹以及黃綠澤蟹
非掠食性 水棲空蟲	毛翅目的指石蠹科及網石蠹科；蜉蝣目的蜉蝣科、小蜉蝣科、四節蜉蝣科、花鰓蜉蝣科、扁蜉蝣科以及姬蜉蝣科；鞘翅目的長腳泥蟲科、扁泥蟲科及圓花蚤科；雙翅目的蚋科和搖蚊科；鱗翅目的螟蛾科。
掠食性水 棲空蟲	廣翅目的石蛉科；積翅目的石蠅科；雙翅目的大蚊科、流虻科及鷓虻科。
植食性魚 類	平鰭鰍科的臺灣間爬岩鰍、臺灣纓口鰍以及埔里中華爬岩鰍；鯉科的鮎魚、高身小鰮魷以及臺灣石鰮。
雜食性魚 類	鯉科的臺灣馬口魚以及粗首鱻；鰕虎科的明潭吻鰕虎、南臺吻鰕虎、短吻紅斑吻鰕虎；鮚科的短臀鮚。

表 2. Ecopath 輸出摘要及網絡分析

系統指標	系統活力	系統最大承載能力	組織性		抗逆性	流量歧異度
地點\參數	TST	C	AMI	A/C	O/C	H
土地公坑溪	454.64	1673.00	0.91	0.25	0.75	3.68
北勢坑溪	564.66	1585.00	1.14	0.41	0.59	2.81
匯流口	354.92	574.20	1.11	0.68	0.32	1.62
桶頭橋	493.31	1711.00	0.91	0.26	0.74	3.47
瑞草橋	896.64	2885.00	0.90	0.28	0.72	3.22