

# 溪流環境評估常使用的量化生態指標簡介

文、圖 ■ 朱達仁 ■ 中華大學休閒遊憩規劃與管理學系助理教授（通訊作者）

施君翰 ■ 國立臺灣大學漁業科學研究所博士生

汪淑慧 ■ 育達商業技術學院休閒系助理教授

張睿昇 ■ 育達商業技術學院通識中心助理教授

## 一、前言

台灣溪流河川上游叢林密佈，加上陡峭的特殊地形影響，形成水流湍急、水溫低，溶氧量高的自然現象。同時，屬於海島型氣候，當雨季來臨溪水豐沛，造就台灣溪流多元化的地景、地貌，更孕育了豐富多樣的生態與生物相。一般而言，生態系統是由三種生命角色，即生產者、消費者和分解者所構成。生產者的主體是綠色植物（例如水生植物、藻類等）。而消費者以動物為主，按其取食的對象可以分為草食動物、肉食動物及雜食動物。而在溪流內，最主要的消費者是浮游動物、魚類、水生昆蟲、蝦、蟹、螺、貝類等。另外，分解者則以細菌為主。

雖然台灣的溪流生態豐富繽紛，但部份溪流其周遭環境在人為的濫伐、濫墾、濫建之下，環境的破碎化及污染化十分的嚴重。汪靜明（2004）所撰寫之「台灣溪流生態保育」一書提及：溪流環境的經營管理，應有「尊重生命」的環境倫理，以及整體的生態平衡理念。並揭示四大溪流生態議題：溪流的生態危機、生態管理、生態多樣性保育、生

態系統的永續經營。其中說到近三十年來台灣的溪流生態危機，以農林工礦業開發、水利工程、都市化和遊憩行為最具代表性。

近年來生態工法的研究與推廣教育已經逐漸受政府及各界的重視，隨著各界致力於生態工法的研究、應用以及推廣，生態工法亦不斷被賦予不同的內涵意義與分析結果的呈現，並進一步瞭解生態工法的內容。在國內外如火如荼的進行生態工法研究時，除考量工程之施作對生態所造成的衝擊，並藉由工程手段使該衝擊降至最低，以恢復溪流的動態生命力。但從過去無論是生態工法或傳統工法之整治，過程中仍面臨缺乏一套完善且可適用於各種評估機制應用層面的模式，這其中除考量工程之施作對生態所造成的衝擊外，更需藉評估結果證明工程施作後之生態效益，否則無法彰顯生態工法的效益。因此本文簡介目前可用常用的評估指標。

## 二、生物型及環境型指標

郭一羽（2001）指出生物若受其環境因子的長短期影響，而造成生物族群結構上的



消長，這樣的變化結果若能代表當時的時空情境，這一類的生物便可作為這個環境或生態系的指標生物 (bioindicators)。朱達仁等 (2005) 亦述及若生物被選為作為環境監控、污染監控評估、生態情勢評估之指標生物，這些生物可稱做焦點生物或焦點物種 (target species)。藉由對該物種的檢測，可了解此生態環境之變遷情形。指標生物的監控可預警生態環境是否受污染或遭破壞，防止生態平衡遭破壞。

目前國內溪流的整治工程是水利治理相當重要的一部分，但在溪流整治影響及環境生態評估方面仍在起步的階段。在美國對於溪流健康狀態 (River Health) 有相當的發展，如俄亥俄州環保署 (Ohio EPA, 1987) 曾訂出一些指標用來作為生態狀況評估之用，可分為生物型及環境型兩大類，其中在生物型通常以魚類、底棲動物、水生昆蟲、附著藻類為主。例如考量魚類為指標生物有生物整合指標模式 (Index of Biotic Integrity, IBI) (Karr, 1981; 1991)，以水

生昆蟲污染耐受程度所發展之科級生物指標 (Family-Level Biotic Index, FBI) (Hilsenhoff, 1987)，及以大型無脊椎生物所發展之快速生物評估法 III (Rapid Bioassessment Protocol III, RBP III) (Plafkin *et al.*, 1989) 等。

而在環境型可區分為水質、底質及棲地部分，在水質部分目前常用的有環保署公告的河川污染指標 (RPI) (行政院環境保護署, 1998)。而在棲地部分較經常被採用的指標如考量到溪流棲地狀態的定性棲地評價指數 (Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI) (Rankin, 1989) 等。以下分別介紹各種指標：

#### (一) 生物整合性指標法 (Index of Biotic Integrity, 以下簡稱 IBI)

生物整合性指標法 (IBI) 最初由Karr博士所提出，分析法中發展12個表現種類的豐富與組成、種類的忍受度、食性組成、生殖行為、數量的豐度及魚類的健康狀態等之分析矩陣，藉此來進行魚類綜合矩陣的建構，

(圖片 / 高遠文化)

表1 溪流魚類特性表

魚種名	攝食屬性	移動屬性	耐污屬性	棲地屬性	耐污係數
魚密 <i>Hemibarbus labeo</i>	蟲	F	M	3,B	2
台灣纓口鰍 <i>Crossostoma lacustre</i>	雜	M	I	3,B	2
台灣石鱚 <i>Acrossocheilus formosanus</i>	雜	F	M	1,C	2
台灣馬口魚 <i>Candidia barbata</i>	雜	F	I	1,C	3
鮪魚 <i>Varicorhinus barbatulus</i>	雜	F	I	1,C	1
粗首鱖 <i>Zacco pachycephalus</i>	雜	F	M	1,C	2
平領鱖 <i>Zacco platypus</i>	雜	F	M	1,C	2
吉利吳郭魚 <i>Tilapia zillii</i>	雜	F	H	2,C	5
雜交吳郭魚 <i>Tilapia zillii</i>	雜	F	H	2,C	5
日本鯽 <i>Carassius auratus</i>	雜	M	H	2,C	4
台灣間爬岩鰍 <i>Hemimyzon formosanus</i>	雜	M	I	1,B	4
中華花鰍 <i>Cobitis taenia</i>	雜	M	M	2,B	2
台灣脆 <i>Pseudobagrus brevianalis taiwanensis</i>	肉	S	I	3,B	3
班鱧 <i>Channa maculata</i>	雜	M	H	2,C	5
短吻褐斑吻鰕虎 <i>Rhinogobius rubromaculatus</i>	蟲	S	I	3,B	3
明潭吻鰕虎 <i>Rhinogobius candidianus</i>	雜	S	M	3,B	3
極樂吻鰕虎 <i>Rhinogobius giurinus</i>	雜	S	M	3,B	3
褐吻鰕虎 <i>Rhinogobius brunneus</i>	雜	S	M	3,B	3
白鱗 <i>Hemiculter leucisculus</i>	雜	M	H	3,C	4

註：攝食屬性：雜食性、食蟲性、肉食性及食藻性。移動屬性：F：fast-moving species；M：moderate-moving species；S：slow-moving species。污染耐受性：I：Intolerant species；M：Moderate tolerant species；H：High tolerant species。棲地屬性：B：底棲性；C：水體性；1：嗜流性；2：嗜潭性；3：嗜瀨性。

並以此進行生態評估。由於分析矩陣中部分矩陣因不同環境有不同的需要選擇或發展，因此二十年來有相當多的選用模式（Simon and Lyons, 1995；Lyons *et al.*, 1996；Yoder and Rankin, 1998；Angermeier *et al.*, 2000；Mebane *et al.*, 2003）。由於本法引進國內，受到國內魚種與國外魚種屬性不同，及研究上需求不同等因條件，因此也有

一些選用模式之應用案例（李明儒等，2001；林信輝等，2002；朱達仁，2004；2005；朱達仁等，2004；2005）。其評估矩陣所需之生物特性如表1。本法中以九項指標矩陣調查的現況來綜合給分，其評分標準如表2所示。最後將各項積分累加，將求得之IBI值與生物狀態劃分為四個狀態等級，等級劃分如表3，藉此評估目前溪流生態等級。得



表2 IBI選用矩陣及其評分標準

Metrics	Metric score		
	5	3	1
物種豐富性			
1. Total number of fish species	≥10	4-9	0-3
2. Number of water column species	≥2	1	0
3. Number of benthic species	≥2	1	0
生物移動性			
4. Number of fast-moving species	≥3	1-2	0
污染耐受性			
5. Number of intolerant species	≥3	1-2	0
營養攝食特性			
6. % of individuals as omnivores	<60%	60-80%	>80%
7. % of individuals as insectivorous	>45%	20-45%	<20%
生物數量豐度			
8. Number of individuals in sample	≥101	51-100	0-50
生物多樣性			
9. Shannon diversity, H'	>1.52	1.17~1.52	<1.17

分數值愈高，生態愈佳。

## (二) 魚類污染耐受指標 (Fish Tolerant Index, 以下簡稱FTI)

為能直接應用魚類作為污染之生物指標，朱達仁(2005)曾利用環保署環境檢驗所於91年公告訂定適合本土之「台灣河川水質魚類指標」(王漢泉, 2002)，調查分析台灣淡水魚種所建立之污染指標系統，將國內的淡水魚種分為五個水質等級指標，分別為未受污染指標魚種、輕度污染指標魚種、普通污染指標魚種、中度污染指標魚種及嚴重污染指標魚種。參考應用水生昆蟲科級指標法(FBI)評估水質有機污染之原理

表3 IBI生態等級及評分範圍表

Biological condition Category	Score Range
Non-impaired	30-39
Slightly impaired	21-29
Moderately impaired	11-20
Severely impaired	0-10

表4 FTI 指標積分等級表

級序	評價積分	等級
第一級	≤2.20	Excellent
第二級	2.21-2.50	Medium
第三級	≥2.51	Poor



▲魚類可作為評估水質等級良好的指標。

(Hilsenhoff, 1987)。將五種等級的魚種，以每種魚種之忍受係數劃分為0至5，如表1，計算魚類污染耐受指標(FTI)，計算式如下：

$$FTI \text{ value} = \sum (a_i \times n_i) / N$$

其中  $a_i$  : 第  $i$  種魚類之污染忍受值

$n_i$  : 第  $i$  種魚類之個體數

$N$  : 各採樣站魚類之總個體數

由上述公式求得之FTI值，將水質與指標值劃分為三個水質等級，等級如表4。得分

表5 科級生物指標法 (FBI)

Water Quality	FBI Score Range
Excellent	0.00 – 3.75
Very Good	3.76 – 4.25
Good	4.26 – 5.00
Fair	5.01 – 5.75
Fairly Poor	5.76 – 6.50
Poor	6.50 – 7.25
Very Poor	7.26 – 10.00

數值愈高，生態愈差。

### (三) 科級生物指標 (Family-level Biotic Index, 以下簡稱FBI)

另介紹Hilsenhoff 之科級生物指標 (FBI) (Hilsenhoff, 1987)，其評估水質之有機污染。計算式如下：

$$FBI = \sum \frac{(a_i \times n_i)}{N}$$

其中  $a_i$ ：第*i*科水棲昆蟲之污染忍受值，參考 Lenat (1993)、楊平世 (1992)。

$n_i$ ：第*i*科水棲昆蟲之個體數

$N$ ：各採樣站水棲昆蟲之總個體數

由上述公式求得之FBI值，將水質與指標值劃分為七個水質等級，等級如表5。得分數值愈高，生態愈差。

### (四) 快速生物評估法 III (Rapid Bioassessment Protocol III)

另外由大型無脊椎生物所發展之快速生物評估法 III (RBP III) (Plafkin *et al.*, 1989)，使用七項生物指標評估河川之水質環境程度。各項指標如下：

#### (1) Taxa Richness



▲ 水生昆蟲是水質評估的指標生物。

分類群豐度，在採樣站所採獲之生物的種類數。

#### (2) Hilsenhoff Biotic Index

Hilsenhoff生物指標 (BI)，與科級生物指標 (FBI) 相同，唯在分類鑑定上，必須至屬或種之層級。

#### (3) Ratio of Scrapers/Fil. Collectors

樣本中刮食者 (Scraper) 與濾食性採食者 (Filtering Collector) 個體數佔總個體數之比例。其中刮食者與濾食性採食者係依據水生昆蟲之功能攝食群之分類。係依據 Cummins (1973)、Cummins & Klug (1979)、Vannote *et al.* (1980) 及楊平世 (1992) 區分水棲昆蟲功能攝食群 (FFG) 為五大類，即碎食者 (Shredder)、濾食性採食者 (Filtering Collector)、集食性採食者 (Gathering Collector)、刮食者 (Scraper) 及捕食者 (Predator)

#### (4) Ratio of EPT and Chironomid Abundances

蜉蝣目 (Ephemeroptera, E)、積翅目



表6 快速生物評估法III中各項指標矩陣之評分標準

Metrics	Biological Condition Scoring Criteria			
	6	4	2	0
1. Taxa richness	>80%	60–80%	40–60%	<40%
2. Hilsenhoff biotic index	>85%	70–85%	50–70%	<50%
3. Ratio of scrapers/fil. collectors	>50%	35–50%	20–35%	<20%
4. Ratio of EPT and Chironomid abundances	>75%	50–75%	25–50%	<25%
5. % contribution of dominant taxon	<20%	20–30%	30–40%	>40%
6. EPT index	>90%	80–90%	70–80%	<70%
7. Community loss index	<0.3	0.3–0.5	0.5–0.7	>0.7

表7 快速生物評估法III之指標數值範圍與所相對之水質等級

Biological condition Category	Score Range
Non-impaired	4.6–6.0
Slightly impaired	3.1–4.5
Moderately impaired	1.6–3.0
Severely impaired	0.0–1.5

(Plecoptera, P) 及毛翅目 (Trichoptera, T) 三目與搖蚊科 (Chironomidae) 之相對豐度。

#### (5) % Contribution of Dominant Taxon

優勢種所佔的百分比。

#### (6) EPT Index

蜉蝣目 (E)、積翅目 (P) 及毛翅目 (T) 三目水棲昆蟲的種類數之和。

#### (7) Community Loss Index

群聚失落指數，其計算公式如下：

$$\text{Community Loss} = \frac{(d \times a)}{d}$$

其中d：在參考站所採獲之全部種類數；a：在採樣站採獲之種類數其給分方式與

水質等級、相對指標值，如表6及表7。得分數值愈高，生態愈佳。

#### (五) 河川附著藻類腐水度指數 (Saprobity Index, 以下簡稱SI)

腐水度指數 (SI) 係以藻種出現的頻率以作為判斷水質的指標，計算方式從樣品中出現的指標藻類 (si)、出現之頻率 (hi) 及指標權重 (wi)，利用腐水度指數公式 (Zelinka and Marvan, 1962)，以求得該樣品之腐水度指數。依Sladeczek (1973) 之區分：SI < 0.5 為無污染水質，0.5 < SI < 1.5 為貧腐水水質，1.5 < SI < 2.5 為β-中腐水水質，2.5 < SI < 3.5 為α-中腐水水質，SI > 3.5 為強腐水水質。

#### (六) 河川附著藻類藻屬指數 (Generic Index, 以下簡稱GI)

藻屬指數 (GI) 之計算：以矽藻中之 Achnanthes、Cocconeis、Cyclotella、Cymbella、Melosira 和 Nitzschia 等屬之出現頻度比值，作為水質指標。

藻屬指數公式如下：

表8 河川污染等級表

污染等級	A:未(稍)受污染	B:輕度污染	C:中度污染	D:嚴重污染
溶氧量(DO)	大於 6.5	4.6~6.5	2.0~4.5	小於 2.0
生化需氧量(BOD5)	小於 3.0	3.0~4.9	5.0~15.0	大於 15.0
懸浮固體(SS)	小於 20	20~49	50~100	大於 100
氨氮(NH3-N)	小於 0.50	0.50~0.99	1.0~3.0	大於 3.0
點數	1	3	6	10
積分	不及 2.0	2.0~3.0	3.1~6.0	大於 6.0

資料來源：行政院環保署。



▲新月橋彎藻 *Cymbella cymbiformis* C. Agardh 常見於溪流或河川等流水域之岩石、植物或其他藻類上。

$GI = (Achnanthes + Cocconeis + Cymbella) / (Cyclotella + Melosira + Nitzschia)$

GI 值與水質之間的關係：GI > 30 為極輕微污染水質，11 < GI < 30 為微污染水質，1.5 < GI < 11 為輕度污染水質，0.5 < GI < 1.5 為中度污染水質，GI < 0.5 為嚴重污染水質。

### (七) 河川污染指標 (River Pollution Index, 以下簡稱RPI)

為了解溪河水質的整體品質，環保署訂

定了河川污染指標 (RPI)，其計算項目包括溶氧量 (DO)、生化需氧量 (BOD5)、懸浮固體 (SS)、氨氮 (NH3-H) 等四項，依據所檢測之數據，換算得到各項目的點數，並將其累加求取平均值，依等級標準判斷水質污染等級，如表8。RPI 指標之計算方式如下式：

$$RPI = (1/n) \sum_{i=1}^n Ni$$

Ni：為檢測項目值。

n：為檢測項目，RPI的檢測項目為4項。

### (八) 定性棲地評估指標 (Qualitative Habitat Evaluation Index, 以下簡稱QHEI)

棲地評估係依據美國環保署所公佈之定性棲地評估指標 (Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI) (Rankin, 1989)，評價進行項目包含「基質 (底質) 類型」、「魚類遮蔽度」、「河川形狀和人為影響」、「水深及流速」、「淺灘 / 流速」等六大項目，如表9，QHEI的評分由所觀察之特徵依據各項目判斷標準及是否存在予以給分。六



表9 QHEI屬性類別及評分表

評估屬性類別	評估內容	評分(總分：114)
基質(底質類型)	底質大小、掩蓋	24
魚類遮蔽度	植被型態、覆蓋程度	20
河川形狀和人為影響	曲度、渠道化、穩定性	20
河川林地及溼地和沖蝕	濱溪植被、河岸侵蝕	20
水深及流速	深度、流速	15
淺灘、急流/底質	淺灘、急流之深度、流速、底質	15

表10 棲地評價指標積點等級表

級序	評價積點	等級
第一級	>100分	Extra
第二級	81-100分	Excellent
第三級	61-80分	Medium
第四級	41-60分	Poor
第五級	0-40分	Very Poor

大項評估後，最後將六項評估分數加總，得到評價總分，如表10棲地評估指標積點等級表所示。

### 三、綜合型指標

前述評估模式或技術都屬於個別型，接著介紹綜合型的指標。1999年澳洲自然資源與環境部發展了之溪流狀態指數(ISC)，及國內學者朱達仁(2006)亦提出溪流複合式評估模式(Stream Integrity Assessment Model, SIAM)，並曾應用於大漢溪石門水庫集水區、台北縣后番仔坑溪、牡丹溪、桃園縣湳仔溝溪及苗栗縣西湖溪等之評估。以下分別針對兩指標介紹如下：

#### (一) 溪流狀態指數 (Index of Stream Condition, 以下簡稱ISC)

澳洲的河川生態管理為改善河川整體的環境狀況，發展出河川狀況指數(Index of Stream Condition, ISC)，藉以協助所有的河川管理工作(陳振華，1999；梁世雄及張明雄，2003)。ISC由五大類河川狀況次指數所組成，分別是水文次指數(hydrology subindex)、物理形態次指數(physical form subindex)、濱河地區次指數(streamside zone subindex)、水質次指數(water quality subindex)及水生生物次指數(aquatic life subindex)，各次指數有所屬評估的指標(周正明，2002)。其中水生生物副指數較為特殊，使用河川無脊椎等級評分平均標準(Stream Invertebrate Grade Number Average Level, SIGNAL)，或由澳洲河川評估系統(Australian Rivers Assessment System, AusRivAS)加以計算，亦可合併參考IBI(梁世雄及張明雄，2003)。每一副指數總分為十分，由所屬指標值經過加總、比例縮放等運算而得，形成滿分為五十分的

表11 SIAM評估等級及得分範圍

Category	Scores range	Rank
Grade 1	4.1~5.0	Excellent
Grade 2	3.1~4.0	Very Good
Grade 3	2.1~3.0	Good
Grade 4	1.1~2.0	Poor
Grade 5	0~1.0	Very Poor

ISC。但由於其所需調查的次指數項目調查分析較複雜，致使無法普遍地應用發展。

### (二) 溪流複合式評估模式 (Stream Integrity Assessment Model, 以下簡稱SIAM)

朱達仁(2006)所提出之SIAM模式，模式包括：一、生物評估模組；二、水質水文評估模組；三、環境棲地評估模組；四、生態評價演算模組。SIAM模式以3個模組中指標或評估法之複合指標 (multimetric index) 型態，構成一整合矩陣模式，綜合從生物的角度、水質水文之變化及棲地環境特性變化來評估環境狀態。

模式計算方式：

$$SIAM = \sum (Y_i \times W_i \times X_i)$$

其中：Y<sub>i</sub>：0或1；0表示該X<sub>i</sub>變數（矩陣或指數）不使用，1表示使用。

W<sub>i</sub>：為各項評估模式或指數之權重值，其值為0 ≤ W<sub>i</sub> ≤ 1，且 ∑ W<sub>i</sub> = 1；W<sub>i</sub>為綜合評估時各指數之間相對重要性估測一權數。一般初始權重以W<sub>i</sub> = 1/N表示，N表示項目數，其意義為各項評估模式或指數同等重要，故權重相等。

表12 整合性矩陣評估模式各模組及常用指數

模組	測量種類或項目	應用模式	模式型態	變數
	魚類	IBI	矩陣	A1
	ISC次指數			
	魚類		指數	A2
	指數			
	水生昆蟲	FBI	指數	A3
一、生物模組	水生昆蟲	RBPIII	矩陣	A4
	底棲生物	RBPIII	矩陣	A5
	底棲生物	B-IBI	矩陣	A6
	附著藻	SI	指數	A7
	附著藻	GI	指數	A8
	矽藻	RDI	矩陣	A9
	河川污染指標	RPI	指數	B1
二、水質水文模組	河川水質指標	WQI	指數	B2
	水質	ISC	指數	B3
	水文	ISC	指數	B4
三、環境棲地模組	棲地評價指數	QHEI	矩陣	C1
	溪流狀態指數	ISC	矩陣	C2

X<sub>i</sub>：表示各項評估模式或指數的評估數值（或等級），即使用在本模式之變數。由於各指數的評估等級數及順序方向不同，因此當應用於本模式時，須將數值（或等級）做適當之調整，以使各指數的評估等級數及順序方向與本模式有良好之一致性。

經由上式之計算所得到之SIAM值，評估其綜合環境品質狀態或生態效益狀態之等級評價及得分範圍，標準如表11。

SIAM模式之優點包含（1）綜合性：以複合指標 (multimetric index) 型態來進行模式之建構與應用。複合指標係以上述三個



模組中之指標或評估法，加以組合搭配所構成一整合矩陣模式 (Combined model)。綜合從生物的角度、水質水文之變化及棲地環境特性變化來評估環境狀態。各模組及常用指數如表12。(2) 便利性：由於綜合矩陣之評估涉及多項專業評估技術、時間及經費，因此可由評估者選擇所需之組合項目，在生物指標部份，如魚類有IBI，水生昆蟲有FBI、RBPIII，及底棲無脊椎生物有RBPIII、B-IBI，及藻類有SI、GI等。水質分析指數有RPI、AOD等，及棲地環境的評價有定性棲地評價指數 (QHEI) 等。(3) 簡易性：演算方式以各指標等級值或數值進行線性累加，再由總計分加以評判環境等級。(4) 廣用性：可做為一般自然環境評估，亦可綜合評估溪流整治時對環境與生物所產生之影響來評估工程時影響性。

#### 四、未來指標發展方向

自從環保署公佈環境影響評估作業細則以來，環境影響評估便越來越受國內工程單位重視。而生態環境亦是相當複雜的，隨著指標發展的演進，很顯然單一性的指標已經不足以用來評價生態環境。雖然目前國內外河川溪流生態工法常用的評估指標皆為單一之生物型或環境型指標，但未來將朝向綜合型指標發展。由於河川生態品質的評價常常涉及多個因素或多個指標範疇，因此，如何將多個指標整合起來，未來也是研究學者有興趣的工作。



▲近年國內溪流工程整治相當頻繁。

綜合評判是未來的發展外，指標切分的平滑化，或結果之模糊化處理探討也是未來指標發展的方向。蓋墟 (1991) 指出模糊綜合評判就是針對多種因素所影響的事物或現象做出綜合評價。近年來也有許多學者提出相關的研究，如陳莉等 (2002；2003) 即運用模糊綜合評價的觀念，以環境因子與生物因子來綜合評判農水路生態品質等級。而朱達仁與李宗儒 (2005) 亦運用模糊綜合評價的觀念，以SIAM為基礎，亦曾研訂一套簡要的整合性準則，藉由隨意組合的便利與優點，俾以應用於一般性的溪流狀態評估，或應用於評估溪流整治工程對環境生態之影響，或其整治後之生態效益。⚠

\*備註：本研究經費受國科會贊助 (專題研究計畫編號 (NSC 94-2211-E-216-008) 得以順利完成，謹此致謝。

參考文獻 (請逕洽作者)