

十六、浮游藻與水產用水水質關係

吳俊宗 陳麗珠

中央研究院植物所

摘 要

水中浮游藻的數量、種類和羣落結構特徵與水質之優劣有直接關係。良好之水質，可孕育較多浮游藻種類，且各種類出現之數量較為平均。反之，則藻種少，且有明顯的優勢種出現。以藻種豐富度指數 (Margalef Index)，種歧異度指數 (Shannon Index)，藻種出現之均勻度 (Pielou Index) 及優勢指數 (McIntosh Index)，可作為浮游藻羣落結構之衡量，並進而評定水質之優劣。若以上述四種指數之理論最大值為分母，求取綜合平均值，並定義最佳水質為指標值 100，用此方法來評定國內一般養殖池用水之水質時發現，一般淡水養殖池之藻種豐富度值介於 2.0~4.5，種歧異值介於 2.5~4.5，種均勻度在 1.5~2.5 間，優勢指數則在 0.4~0.6 之間。平均水質指標值大多介於 40~70 之間。顯示水質中等，少部份較差。沿海之半鹹水蝦類養殖池，其浮游藻羣落之各項指標值均明顯低於淡水養殖池。其平均水質指標值大多低於 50，有的甚至低於 30，顯示水質極為惡劣。用綜合指標值可便於評定水質之優劣。

1. 前 言

國內養殖業向來甚為發達，不論淡水或海水養殖，均曾創下輝煌的記錄。但近年來一些困擾養殖業的問題，尤其是草蝦養殖，已使業界面臨空前的困境。探究這些問題，發現養殖環境，尤其是水質，是其問題的最主要根源。對於養殖池的水質調查研究，國內已作了一些，但對於各種養殖型態下之水質優劣，其物理化學因子的界定尚在研究擬定中，對於如何以生物指標來界定水質的方法，尚付之闕如，因此，此工作之推行，乃有其必要性。

淡水水資源之污染研究，國內外歷年來之研究已相當多，其評估和界定水質之模式大抵以水中之營養源如磷^(2,6)，或水體之其他物理化學因子如葉綠素和透明度⁽²⁾等為主要依憑。在半鹹水或海水養殖環境下，其環境條件和淡水迥異，磷也不再是限制因子。因此，這些評估模式不再適用於含海水的環境。本人曾以藻類作為各種水域之水質指標方法，發現結果甚合理想，因此，擬將之推廣於此特殊水環境之品質評估。以過去四年調查各種養殖池所得之數據，嘗試釐定適合國內之指標模式。

國內之養殖池藻類相研究尚不多，所出現的藻種記錄及藻種之特性仍知之有限。從現有之資料，尚難以歸納出水質指標種。根據前人之研究結果顯示，水環境之研究，宜以水生物之族羣及羣落⁽⁸⁾為研究單位，蓋一種適應某一環境而存活下來之種類，其所顯現的是一個族羣的特性而非個體。隨著污染的增加，羣落中的組成種及其出現的數量會隨之改變，因此只要能適當界定這些變化的程度和水質優劣之關係，即可以其作為水質之指標。

藻類羣落因應不同程度之水污染，主要表現於種歧異度上，種歧異度的理念可分為二方面來看：一是種豐富度，即出現之種數目；一是均勻度，即各種優勢之程度。利用這些概念，來作為水質之判定，已被延用甚久^(9~11)，本文將以幾個常用的指數，試用於所調查的養殖池，期冀從結果中，歸納出簡易模式，並適合非生物學者之應用。

2. 材料與方法

自 1986 年 7 月至 1989 年 12 月，分別在新竹、雲林、臺南及高雄等地區擇定魚牧經營池 2 個，魚鴨經營池 2 個，鰻魚池 4 個，蝦池 10 個（詳列於表一），分別由竹北及臺南水試分所協助採集浮游藻樣本。樣本經固定、染色、脫水等程序，製成半永久片，備顯微觀察⁽¹¹⁾，藻種經歸類、計數，以統計其出現之百分率頻度，頻率之計算以至少計數一千個藻細胞為主。再分別依下列公式，統計種豐富度及歧異度。

種豐富度以 Margalef⁽³⁾ 指數 (MI) 計算： $MI = (S-1)/\ln N$ ，式中 S 為種的數目， N 為藻細胞總數。

歧異度的表示，分別以 Shannon⁽⁷⁾ 指數 (H)，Pielou⁽⁵⁾ 指數 (PI) 及 McIntosh⁽⁴⁾ 指數 (McI) 計算：

$$H = -\sum P_i \log_2 P_i$$

$$PI = \frac{H}{\log S}$$

$$McI = 1 - (\sum P_i^2)^{1/2}$$

式中 P_i 為藻種出現的頻度， S 為種數。

以各指數之理論最大值為分母，各除其指數值，再依下式求其平均，以作為品質分數 (QS) 之評定：

$$QS = \frac{1}{4} \left(\frac{MI}{6} + \frac{H}{6} + \frac{PI}{3.5} + McI \right) \times 100\%$$

表一 養殖池代號、地點及其養殖型態

Table 1. List of sampling ponds, their location and kind of culture

養 殖 池 代 號	地 點	養 殖 型 態
KA	新 竹 新 豐	魚 牧 經 營
KD	"	"
TG-A	臺 南 麻 豆	魚 鴨 經 營
TG-B	"	"
TL-A	高 雄 湖 內	鰻 魚
TL-B	"	"
TE-A	高 雄 茄 苳	"
TE-C	"	"
TM-A	雲 林 口 湖	蝦 池
TM-B	"	"
TN-A	雲 林 臺 西	"
TN-B	"	"
TA-C	臺 南 援 中 港	"
TH-C	臺 南 西 港	"
TO-A	臺 南	"
TO-B	"	"
TR-A	"	"
TR-B	"	"

所得之 QS 值最高為 100，最低為 0，分別代表水環境之最優和最劣品質。

3. 結 果

在 1989 年所調查之 7 個蝦池中，McI 和 H 及 PI 之相關性近於直線（圖一、二），相關係數值均為 0.975。MI 除與 H 之相關性略高外（圖三），其與其他之指數值相關係數值甚低（圖四、五）。此種現象在稍早之其他蝦池調查中，也同樣地出現。表二為在 1986 至 1988 年所調查之另 5 個不同蝦池所得之結果，其相關係數在 McI 和 H 及 PI 間介於 0.86~0.94 之間，而三者與 MI 之相關性很低（ r 值低於 0.39），PI 和 MI 之相關係數甚至只有 0.12。

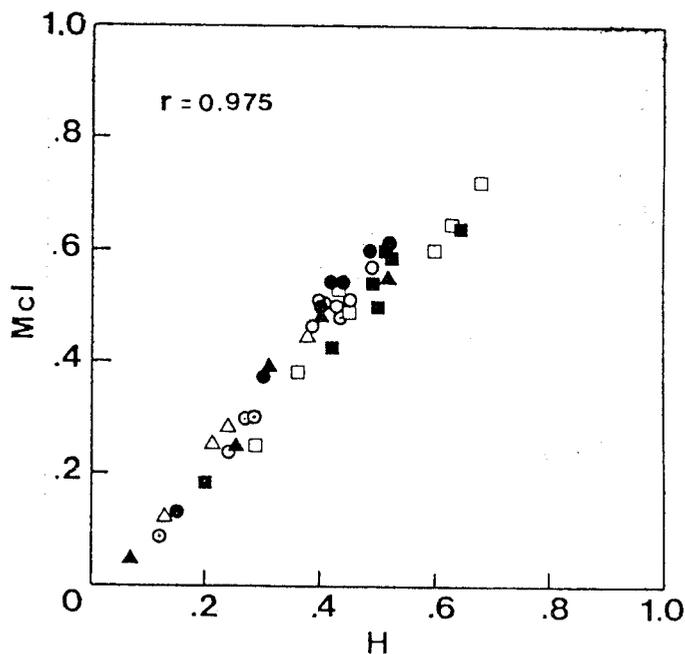
止水式鰻魚池雖屬淡水養殖，但其藻類羣落的組成特性，却有部份類似蝦池，同樣是 McI 和 H 及 PI 之相關性高，而與 MI 相關係數很低（表三）。

在魚鴨經營的養殖池中，藻種豐富度與其他指標值之相關係數比前兩類養殖池為高，介於 0.63~0.74 之間（表四）。而且 McI 和 H 及 PI 間之相關係數也高達 0.99。

MI 值和其他指數值間相關性最好的是魚牧綜合經營養殖池，圖六顯示，MI 和 H 之相關係數可達 0.90，MI 和 PI 及 McI 間的相關係數也分別高達 0.75 和 0.83。

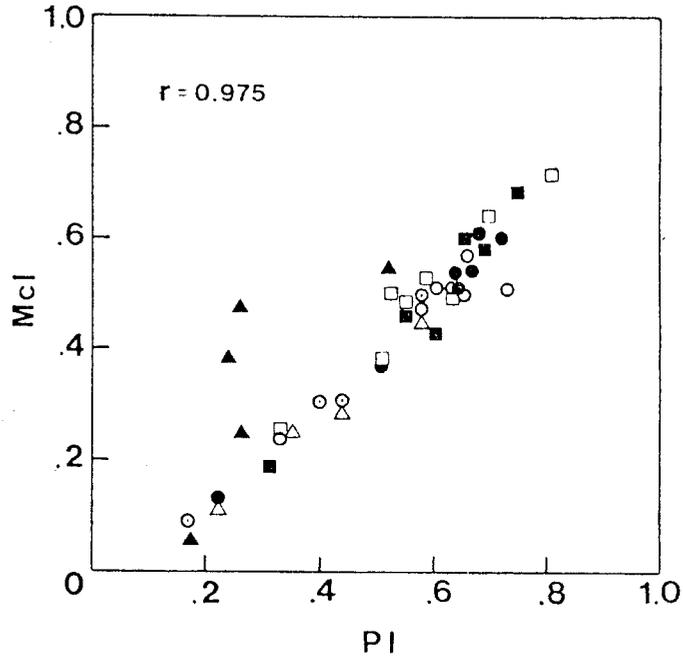
若以各項指標值之平均，作為衡量養殖池之環境，從每月的品質分數之變化看（圖七），在所調查之 6 個蝦池中，三個之 QS 值雖在 6、7 月間略有起伏，但之後即趨於平穩，其值高於 40 以上，此三池之草蝦養殖成功。另三個養殖池是養殖失敗的例子，其 QS 值明顯的比成功的三個養殖池低。其中之二個池子（TM-B, TN-B）更於放養後，QS 值每月下降，終至養蝦須提前結束。

淡水養殖甚少因水質問題而造或魚體大量死亡的例子，從浮游藻之 QS 值看，其值不論在何種型態養殖池，均明顯的比蝦池高很多（圖八）。晒池後的水質改善，很明顯的可從 QS 值的上升上看出。

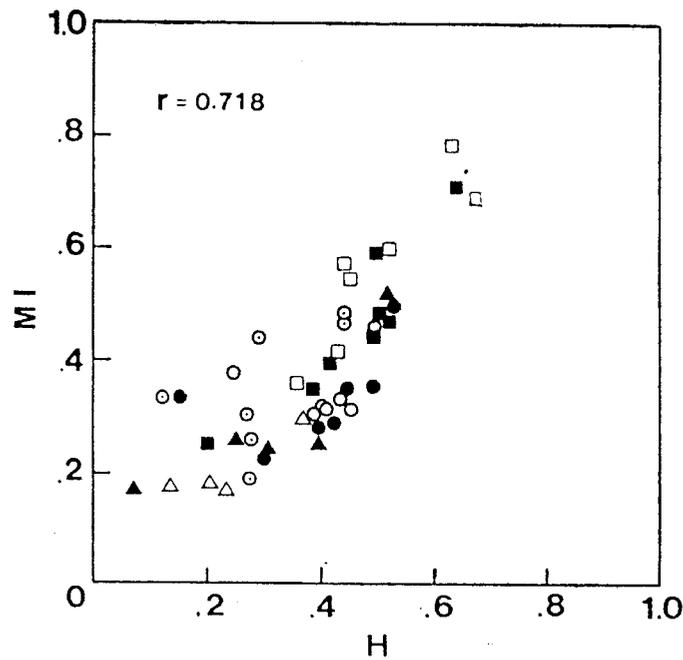


圖一 七個草蝦池浮游羣落種歧異度 (H) 和優勢度指數 (McI) 之商數值關係圖

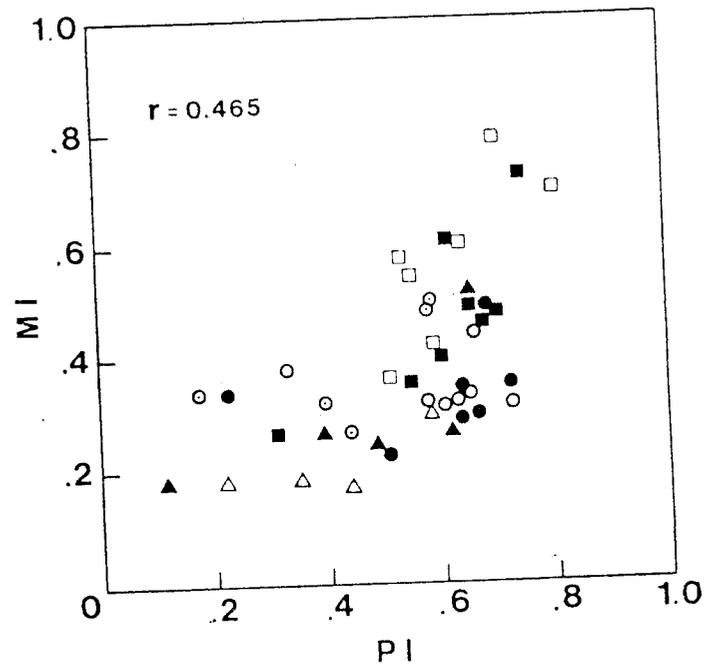
Fig. 1. Plot of the quotients of Shannon index (H) versus that of McIntosh index (McI) of phytoplankton in seven tiger prawn ponds: TO-A (●), TO-B (○), TM-A (▲), TM-B (△), TN-A (□), TN-B (■), and TR-A (⊙).



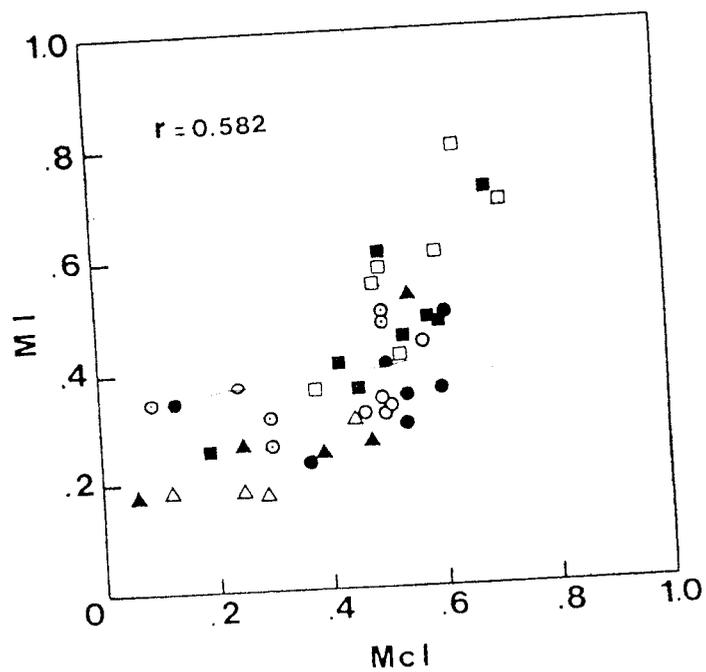
圖二 草蝦池浮游藻羣落優勢度指數 (McI) 和均勻度指數 (PI) 之商數值關係圖。圖中符號同圖一
 Fig. 2. Plot of the quotients of Pielou index (PI) versus that of McIntosh index (McI) of phytoplankton communities in seven tiger prawn ponds as noted in the legend of Fig. 1.



圖三 草蝦池浮游藻羣落種豐富度 (MI) 和種歧異度指數 (H) 之商數值關係圖。圖中符號同圖一
 Fig. 3. Plot of the quotients of Margalef index (MI) versus that of Shannon index (H) of phytoplankton communities in seven tiger prawn ponds as noted in the legend of Fig. 1.



圖四 草蝦池浮游藻羣落種豐富度 (MI) 和均勻度指數 (PI) 之商數值關係圖。圖中符號同圖一
 Fig. 4. Plot of the quotients of Margalef index (MI) versus that of Pielou index (PI) of phytoplankton communities in seven tiger prawn ponds as noted in the legend of Fig. 1.



圖五 草蝦池浮游藻羣落種豐富度 (MI) 和優勢指數 (MCI) 之商數值關係圖。圖中符號同圖一
 Fig. 5. Plot of the quotients of Margalef index (MI) versus that of McIntosh index (MCI) of phytoplankton communities in seven tiger prawn ponds as noted in the legend of Fig. 1.

表二 草蝦池 TM-A, TM-B, TN-A, TA-C 和 TH-A 浮游藻羣落之 Shannon 指數 (H), Margalef 指數 (MI), Pielou 指數 (PI) 及 McIntosh 指數 (McI) 間之平均相關係數值 ($n=43$)

Table 2. Average correlation coefficients between Shannon index (H), Margalef index (MI), Pielou index (PI) and McIntosh index (McI) of phytoplankton communities in tiger prawn ponds: TM-A, TM-B, TN-A, TA-C and TH-A

	H	MI	PI	McI
H	—	0.39	0.86	0.94
MI		—	0.12	0.31
PI			—	0.89

表三 鰻魚池 TL-A, TL-B, TE-A 和 TE-C 浮游藻羣落之 Shannon 指數 (H), Margalef 指數 (MI), Pielou 指數 (PI) 及 McIntosh 指數 (McI) 間之平均相關係數值 ($n=42$)

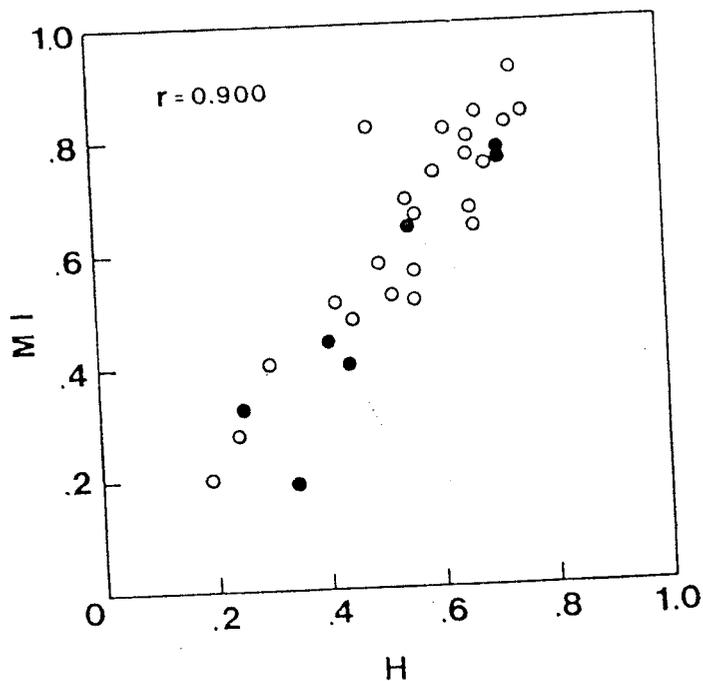
Table 3. Average correlation coefficients between Shannon index (H), Margalef index (MI), Pielou index (PI) and McIntosh index (McI) of phytoplankton communities in eel ponds: TL-A, TL-B, TE-A and TE-C

	H	MI	PI	McI
H	—	0.31	0.97	0.98
MI		—	0.15	0.18
PI			—	0.96

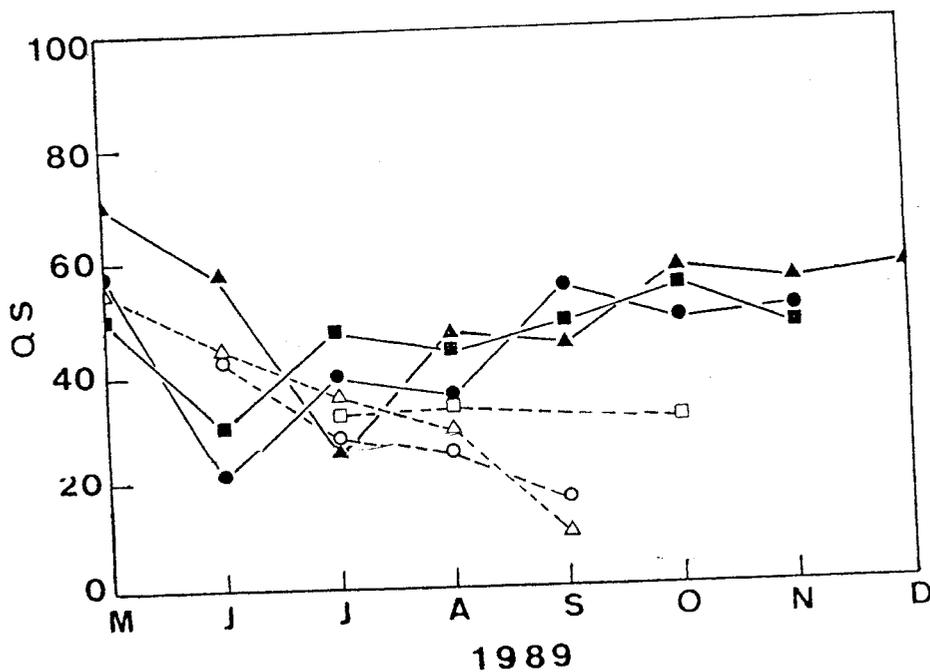
表四 魚鴨經營池 TG-A 和 TG-B 浮游藻羣落之 Shannon 指數 (H), Margalef 指數 (MI), Pielou 指數 (PI) 及 McIntosh 指數 (McI) 間之平均相關係數值 ($n=39$)

Table 4. Average correlation coefficients between Shannon index (H), Margalef index (MI), Pielou index (PI) and McIntosh index (McI) of phytoplankton communities in fish ponds: TG-A and TG-B

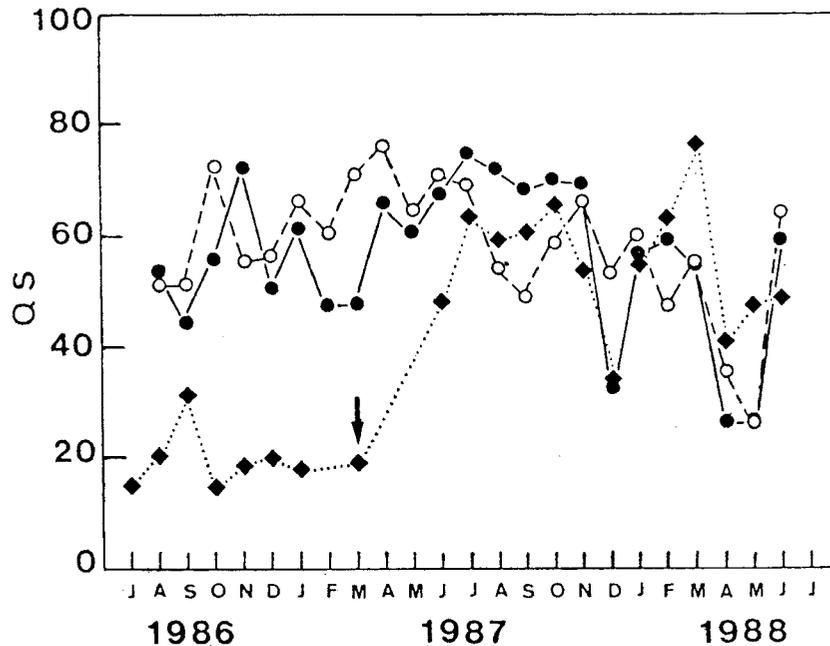
	H	MI	PI	McI
H	—	0.74	0.99	0.99
MI		—	0.63	0.66
PI			—	0.99



圖六 KA (●) 和 KD (○) 魚牧經營養殖池浮游藻羣落之種歧異度 (H) 和種豐富度 (MI) 的商數值關係圖
 Fig. 6. Plot of the quotients of Margalef index (MI) versus that of Shannon index (H) of phytoplankton communities in fish ponds: KA (●), KD (○).



圖七 六個草蝦池 (TO-A (●), TO-B (■), TM-A (▲), TM-B (○), TN-B (▲), TR-B (□)) 浮游藻所指示之水質分數 (QS) 在 1989 年 5 至 12 月間之變化情形
 Fig. 7. Fluctuation of quality scores (QS) calculated on the basis of indices of phytoplankton communities in six tiger prawn ponds: TO-A (●), TO-B (■), TM-A (▲), TM-B (○), TN-B (▲) and TR-B (□) during May-December 1989.



圖八 KA (○), KD (●) 和 TG-A (◆) 養殖池浮游藻羣落所指示之水質分數 (QS) 在 1986 年 7 月至 1988 年 6 月間之變化情形。↓ 為晒池時間

Fig. 8. Fluctuation of quality scores (QS) calculated on the basis of indices of phytoplankton communities in fish ponds of KA (○), KD (●) and TG-A (◆) from July 1986 to June 1988. ↓ indicates the restoration of pond.

表五 利用浮游藻指標算得之各種養殖池平均水質分數 (QS)

Table 5. Average quality scores (QS) calculated on the basis of indices of phytoplankton communities in various kind of ponds investigated

	蝦池	魚鴨經營	魚牧經營	鰻魚
QS	42±14	46±18	56±14	58±17

如果將各型養殖池之平均品質分數作比較，表五清楚地顯示，蝦池之品質分數最低，魚鴨養殖池略佳，而鰻魚及魚牧綜合經營最好，二者數值相當。

4. 討 論

浮游藻羣落之種歧異度 (H)，均勻度 (PI) 及優勢度 (McI) 指數，雖依公式計算所得之值，其大小範圍迥然不同，但當以其指數值之理論最大值除之，所得之商數却顯示極高的相關性。在評定水環境品質上，這三種指數所標示的品質相當一致，因此，以其平均值作為代表或以單一指數所代表之意義，實際上相似。因此，在實用上，也可予以簡化成只計算其中的一個指數值。三個指數值之計算以 H 較為煩複，因式中須用以 2 為底的對數。PI 之計算係用 H 值除以藻種，因此其計算也比 McI 較不實用。綜而言之，以 McI 值即可相當程度的代表歧異度。所以上文中之品質分數計算，其實可簡化成： $QS = 1/2(McI + MI/6) \times 100\%$ 。

McI 和 MI 之求得，並不需要藻種之精確鑑定，這對於非藻類學家而想應用此方法，大有助益。基本上，上述之指數方法和 Cairns 等人⁽¹⁾之系列比對指數法有異曲同工之處，也同樣適合於非

生物學家之應用。唯本文所述之方法，將種豐富度列入計算之考慮，而不單只考慮種類出現之頻度。

從品質分數上，蝦池的平均值是所有各型養殖池中最低者（總平均為 42），此數值比淡水河口漲潮時之 52 低（未發表，漲潮時屬於中等污染），更遠比污染較低的花蓮沿岸所測得之 75 為低。從養殖成功不成功之蝦池所作之比較，清楚地顯示，所算得之品質分數與養殖之成敗也頗相符合。因此我們如此結論：品質分數是代表水域內之綜合環境狀況，是水質的綜合評定，雖然其數值有時不易從水質物理化學之單項分析值顯示出來。

參 考 文 獻

1. Cairns, J. Jr., Albaugh, D. W., Busey, F. and Chanay, M. D. (1968). The sequential comparison index—A simplified method for non-biologists to estimate relative differences in biological diversity in stream pollution studies. *JWPCF* 40: 1607-1613.
2. Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22: 361-369.
3. Margalef, R. (1958). Information theory in ecology. *Gen. Syst.* 3: 36-71.
4. McIntosh, R. P. (1967). An index of diversity and the relation of certain concepts to diversity. *Ecology* 48: 392-404.
5. Pielou, E. C. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theoret. Biol.* 13: 131-144.
6. Rast, W., Jones, R. A. and Lee, G. F. (1983). Predictive capability of U.S. OECD phosphorus loading—eutrophication response models. *JWPCF* 55: 990-1003.
7. Shannon, C. E. and Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. Univ. Illinois Press, Urbana, Chicago, London.
8. Warren, C. E. (1971). *Biology and Water Pollution Control*. W. B. Saunders Co., Philadelphia, London, Toronto. p. 227-288.
9. Wilhm, J. L.; and Dorris, T. C. (1968). Biological parameters for water quality criteria. *Bioscience* 18: 477-481.
10. Wu, J. T. and Suen, W. C. (1985). Change in algal associations in relation to water pollution. *Bot. Bull. Academia Sinica* 26: 203-212.
11. Wu, J. T. and Zhan, S. M. (1989). Phytoplankton in fishponds and its relation to earthy odor of fish in Taiwan. *COA Fisheries Series* 16: 23-83.

Use of Phytoplankton as Indicator for Water Quality of Aquaculture

Jiunn-Tzong Wu and Li-Tzu Chen

Institute of Botany, Academia Sinica

ABSTRACT

The species composition and community structure of phytoplankton correlated well with the water quality of ponds they inhabited. An evaluation of water quality by means of the richness and diversity of species of phytoplankton communities was performed by employing Margalef index (MI), Shannon index (H), Pielou index (PI) and McIntosh index (MCI) respectively. The quotients obtained by dividing these indices by their theoretical maximum value showed that H, PI and MCI correlated well with each other in various culture ponds. Among four types of ponds investigated during past three years, tiger prawn ponds had the lowest quality score, whereas eel ponds had the highest. The quality score correlated well with the environmental change in ponds such as restoration. All of results indicated that this method can be applied for the evaluation of water quality in aquaculture.