

草蝦養殖環境中直鏈式烷基苯磺酸鹽之研究 Studies on Linear alkylbenzene Sulfonate in Aquaculture Environment of Grass Prawn

黃登福^{*1}、陳美媛^{*1}、吉田多摩夫^{*2}、鄭森雄^{*1}

Deng-Fwu Hwang^{*1}、Mei-Yuan Chen^{*1}、Tamao Yoshida^{*2} and Sen-Shyong Jeng

^{*1}國立台灣海洋大學水產食品科學研究所

^{*2}國立台灣海洋大學水產養殖系

^{*1}Graduate School of Marine Food Science, National Taiwan Ocean University, Keelung, Taiwan, R.O.C.

^{*2}Department of Aquaculture, National Taiwan Ocean University, Keelung, Taiwan, R.O.C.

摘 要

為了解草蝦養殖環境之水質現況，自 1989 年 6 月至 1990 年 2 月，每兩個月調查宜蘭頭城地區四個養殖戶養殖池之水質，得知水溫為 18.0-33.0°C，pH 值為 7.43-9.07，溶氧量為 6.54-13.98 ppm，氨態氮為 <0.01-0.15mg/l，亞硝酸氮為 <0.01-0.44mg/l 等，其中水溫、pH 值和氨態氮均有部份超過其安全濃度或最適值範圍，溶氧則均超過飽和溶氧量。另檢測其全日水質變化得知，草蝦養殖池之水質如水溫、pH 值、溶氧量、氨態氮和亞硝酸氮等均呈現日夜差異甚大之現象。其中尤以溶氧量，下午 2 點時達到飽和度 175%，但凌晨 5 點時則僅達 42% 飽和度，顯示溶氧量在全日水質變化中，其差異甚大。其次，經檢測草蝦養殖環境中之直鏈式烷基苯磺酸鹽 (LAS) 含量，得知宜蘭地區草蝦養殖水之 LAS 含量為 0.003-0.032ppm，底泥為 0.203-3.447 ppm，蝦體為 0.240-1.033 ppm；台南地區底泥之 LAS 含量為 0.117-4.311 ppm，蝦體為 1.203-4.437 ppm；屏東地區底泥之 LAS 含量為 0.044-1.969 ppm，蝦體為 0.235-4.610 ppm。LAS 對草蝦幼蟲期第 2 期、糠蝦期幼蟲期第 2 期和後期幼蟲期第 12 期之 24 hr LC₅₀ 值分別為 0.06、0.10 和 3.11 ppm，LAS 對糠蝦期幼蟲期第 2 期、後期幼蟲期第 12 期和後期幼蟲期第 15 期之 48hr LC₅₀ 值分別為 0.07、1.03 和 4.36 ppm。

前 言

草蝦養殖是台灣近年來興盛的養殖業之一，草蝦的蝦體大、味道美，頗受大眾喜愛，屬於高經濟價值的水產物。但由於科學發達、工業進步，化學物質的使用量和種類亦愈來愈多，環境日益受到污染，這些化學物質是否已污染了養殖水源及對草蝦生長率及收成率造成影響，是值得探討的問題。其中清潔劑是最普遍的污染物，一般家庭每天都使用，即使是不受工業污染的地區，也可能受到清潔劑的污染。台灣目前最常使用的清潔劑為界面活性劑直鏈式烷基苯磺酸鹽 (linear alkylbenzene sulfonate, 簡稱 LAS)。已有報告指出 LAS 對魚類的眼睛⁽¹⁾，鯉^(2,3)會造成傷害，並對酵素系統的活性產生影響^(4,5)，另外 LAS 對水中生物亦會造成生長遲緩、蛻化率降低的影響⁽⁶⁾，對甲殼類則會干擾鈣的運送速率，使殼的形成速率降低⁽⁷⁾。

因此，為了解草蝦養殖池之環境現況，本研究乃調查草蝦養殖池水質季節及全日之變化、蝦體及底泥的毒性物質檢測，並對養殖池的水域、底泥及蝦體的清潔劑 LAS 含量做全省性的調查，進而探討 LAS 對草蝦幼苗各成長階段的急性毒性。以了解草蝦養殖環境水質之季節和全日的變化，以及清潔劑之污染程度，以評估養蝦池清潔劑含量對草蝦之危害程度，並比較全省草蝦養殖環境之潛在危險度。

材料與方法

一、採樣地點及方法

試水採自宜蘭縣頭城地區四個不同養殖戶之養殖池，自 1989 年 6 月至 1990 年 2 月，每兩個月採樣一次，除現場測定水溫、氣溫、pH 值和導電度外，每個水池分入水及池水各採取 5 公升試水，其中 4 公升加入 1% 馬福林，帶回實驗室儲存於 4°C 做為分析 LAS 含量用，另外 1 公升做為水質項目測定用，帶回實驗室當天立即分析。DO 值則以 DO 瓶盛水後加入反應試劑安定化，帶回研究室分析。底泥和蝦體分別則採自東部、西部和南部地區，自 1989 年 6 月至 1990 年 12 月，由每個地區採 10 個以上的代表點，採取後凍藏於 -20°C，做為檢測毒性物質及 LAS 含量用。草蝦幼苗採自宜蘭縣壯圍鄉中原水產繁殖場。

二、藥品

LAS 標準品由日本花王公司提供，其組成分為 C₁₀:15.9%，C₁₁:38.0%，C₁₂:30.3%，C₁₃:15.9%，純度 99% 以上。其它試劑皆屬於分析級。

三、測定項目及分析方法

(1)、水質分析^(8,9)

在現場直接分析的水質項目有：氣溫、水溫、pH 值和導電度，氣溫和水溫以水銀溫度計測量，pH 值以 Digital pH meter 測量，導電度以 Myron DS meter 測量；帶回實驗室測定項目有：溶解氧 (dissolved oxygen, DO)，以 Winkler 滴定法測定；化學需氧量 (chemical oxygen demand, COD)，以 Na₂C₂O₄-KMnO₄ 滴定法，在 100°C 加熱 15 分鐘，氨態氮 (ammonia-nitrogen, NH₄⁺-N) 採用 direct Nesslerization method 測定；亞硝酸氮 (nitrite-nitrogen, NO₂⁻-N)，採用 Wood-Armstrong-Richard 法，以 U-2000 分光光度計測吸光值；硝酸氮 (nitrate-nitrogen, NO₃⁻-N)，採用 Bower-Thomas 法，以 U-2000 分光光度計測吸光值；氯離子 (chloride, Cl⁻)，以 Mohr 法測定；硫酸根離子 (sulfate, SO₄²⁻)，加 BaCl₂ 以 Turbidimetric method 測定之；鹼度 (alkalinity) 及酸度 (acidity) 皆以 Indicator method 測定；矽土 (silica, SiO₂)，以 colorimetric molybdosilicate method 測定之；總正磷量 (total-orthophosphates, T-OP)，以 Ascorbic acid method 測定；全殘渣 total residue, T-Re) 及過濾殘渣 (filterable residue, Fil-Re)，為將原試水及 5C 濾紙過濾試水以加熱板乾燥後測定。最大吸光值以 5C 濾紙過濾試水在 440nm 下測吸光值；葉綠素 a (chlorophyll a)，以 Trichromatic method 測定。

(2)、毒性物質之檢測

於 1989-1990 年間，採自全省各地之草蝦養殖池底泥及蝦體，經解凍後，測知水分含量，取乾重 5g 之濕樣品以 5 倍 CH₂Cl₂ 萃取，離心過濾重覆 3 次，取上澄液，濃縮並以 N₂ 氣吹乾，加 10% DMSO 定容至 1ml，分別取 100 μl 做 Umu test⁽¹⁰⁾ 及 Ames test^(11,12)，以檢知底泥及蝦體是否有變異物質存在。

(3)、清潔劑 LAS 在養殖水域、底泥及蝦體的含量測定。

1. 樣品之前處理

試水經 Bond Elut C₁₈ minicolumns 吸附，流速控制在 10 ml/min 以下，吸附後再以甲醇溶出，經濃縮再以 0.45 μ m 過濾膜過濾後，以 HPLC 配合螢光系統測定 LAS 的含量⁽¹³⁾。另取 100-200 ml 試水以甲烯藍法⁽⁸⁾測定界面活性劑含量。底泥解凍後，均質，取通過 2mm 篩網過濾部份乾重 20g，以 3 倍體積甲醇均質抽取 3 次，離心，取上澄液濃縮至 1-2ml，蝦體解凍後，去殼、剝碎取 20-30g，以 3 倍體積甲醇均質抽取 3 次，離心，取上澄液濃縮至 1-2ml，底泥及蝦體的抽出濃縮液以 0.45 μ m 過濾膜過濾後以 HPLC 配合螢光系統測定 LAS 的含量⁽¹³⁾。另取部份濃縮液加入蒸餾水中以甲烯藍法測定。試水、底泥和蝦體之 LAS 含量測定，經以標準液添加做五次回收率檢定得知，試水之 LAS 回收率為 85 \pm 3%，底泥者為 93 \pm 2%，蝦體者為 92 \pm 1%。

2. HPLC 操作條件

測試的樣品獲得後以 Hitachi Model 655A-11 Liquid Chromatography (Hitachi Ltd., Japan) 配合 Hitachi Model F-1000 Fluorescence Spectrophotometer (Hitachi Ltd., Japan) 分析，積分面積及滯留時間以 Hitachi D-2000 Chromato-integrator (Hitachi Ltd., Japan) 計算。操作條件參考 Kikuchi 等⁽¹³⁾於 1986 年發表的文獻。使用以 Lichrospher 100 RP-18 充填，內徑及長度為 0.4 \times 25 cm 的管柱分析。以 CH₃CN/H₂O (60/40) 為溶劑配 0.1 M NaClO₄ 溶液當做移動相，溫度控制在 40 $^{\circ}$ C，流速 1 ml/min，激發波長及放出波長分別為 231nm 及 288nm。

(4)、清潔劑 LAS 對草蝦幼苗不同成長階段之急性毒性

自繁殖場取得各成長階段的草蝦幼苗，分為無節幼蟲期 (Naupliu)、眼幼蟲期 (Zoea)、糠蝦期幼蟲期 (Mysis)、後期幼蟲期 (Post larva) 等。暴露於不同濃度的 LAS 溶液 1 公升中，每一種濃度分為 3 缸，每缸 20 尾，並做控制組。每 12 小時換一次水，實驗期間維持充分打氣並控制溫度 28 \pm 2 $^{\circ}$ C，於 24 小時及 48 小時觀察死亡率，求出 24hr LC₅₀ 及 48hr LC₅₀ 值。

結果與討論

1. 水質調查分析

有關養殖池水質變化的調查以宜蘭縣頭城地區四個養殖戶之養殖池為對象，自 1989 年 6 月至 1990 年 2 月間，每兩個月採樣一次。水質測定結果如表 1-4 所示。另外，由於採樣時間大部份在上午 10 點至下午 2 點之間，因此，所測得的值恐怕無法真正代表整個水池全日的水質狀態。於是，又於 1990 年 6 月 12-14 日以時潮村林氏所有之養殖池為對象，進行水質的日變化測定，此養殖戶所採用的是循環水系統，採樣的地點及水車、水池的位置如圖 1 所示。

草蝦屬廣溫水性水生生物，其最適成長水溫為 25-32 $^{\circ}$ C，18 $^{\circ}$ C 以下則幾乎停止攝食⁽¹⁴⁾，由調查的結果可知水溫分佈在 18.0-33.0 $^{\circ}$ C 之間 (18 $^{\circ}$ C 為 A 池在 12 月份測得，當時草蝦已收成)，大部份養殖期間都屬於最適成長的水溫範圍內。水溫日變化方面如圖 2 所示，由於是 6 月採樣，因此，水溫偏高，但可看出以凌晨及清晨水溫較低，約為 29 $^{\circ}$ C，下午 2 點至 3 點之間水溫最高，約為 32 $^{\circ}$ C。

pH 值是水質分析很重要的一個指標，一般對魚蝦類的最適 pH 值範圍在 7.0-9.5 之間⁽¹⁵⁾，據陳⁽¹⁶⁾指出，草蝦養殖用水的最適 pH 為 8.0-8.5；本次調查的養殖池池水 pH 分佈在 7.43-9.07 之間，而且池水的 pH 值皆比入口水的 pH 值高出一點。圖 3 所示為養殖池池水 pH 的日變化情形，可以看出日間之 pH 值較高，可達 pH 8.7，但凌晨時 pH 值稍為偏低，可達 pH 7.9，可見日夜間之 pH 值變化仍甚為顯著。

溶氧也是水質測定中重要的一個項目，溶氧不足，輕則影響飼料效率，重則會因缺氧而死亡，理想溶氧量應在 5 ppm 以上⁽¹⁴⁾。此次調查的四個養殖池溶氧測定值在 6.54 ppm 至 13.98 ppm 之間，皆在理想溶氧之上，唯超過飽和溶氧值太多，對蝦體造成之可能不良影響，仍有待進一步

之評估。有關溶氧量的日變化方面如圖 4 所示，和圖 2 做比較可以看出，溫度高時溶氧也高，溫度低時溶氧也低；其中第 7 池下午 2 點之溶氧值高達 10.8 ppm，其溶氧飽和高達 175%，如圖 5 所示。另外各池測定時間在凌晨 1 點至 6 之間溶氧量低於理想的溶氧量，尤其第 7 池清晨 5 點之溶氧量為 3.4 ppm，溶氧飽和度僅及 42%。可見該池日夜間溶氧量相差 7.4 ppm，溶氧飽和度相差 133%，此種水質變化對養殖蝦類之影響仍有待日後之探討，養殖業者亦應做適當之改善。

水中的氨是魚蝦的排泄物和殘餘餌料等被分解所產生的有害含氮化合物，據秦和陳⁽¹⁷⁾的實驗結果顯示，0.1 mg/l 為氨對草蝦幼苗的安全濃度。本調查中四個養殖池池水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 分佈在 < 0.01 至 0.15 ppm 之間，其中較高值 0.15 及 0.14 ppm 出現在 1989 年 10 月及 12 月，此時草蝦已接近收成；因此，此濃度應對草蝦的成長不造成影響。有關氨日變化方面，如圖 6 所示，可以看出凌晨時 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的濃度比白天高出甚多，其中第 1 池之 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 量由日間之 0.10 ppm 以下，高至夜間之 0.24 ppm，可見對蝦體影響甚大。

亞硝酸也對魚蝦類有害，據陳和秦⁽¹⁸⁾的實驗結果顯示，1.36 mg/l 為亞硝酸對草蝦幼苗之安全濃度。在本次調查中， $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 分佈在 < 0.01 至 0.44 mg/l 之間，除了其中 B 池在 8 月份測得的 1.99 mg/l 值外，其它皆遠低於 1.36 mg/l $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 的安全濃度。有關亞硝酸的日變化方面，如圖 7 所示，白天的 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 值高於夜間者，此種現象與 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 值恰好相反，但是皆在安全範圍之內。

其它水質項目，因為還沒有報告指出會對草蝦造成嚴重的傷害，因此，只提供做為水質參考，在這並不一一討論。

2. 變異性物質檢測

採自全省各地的底泥和蝦體，底泥樣品數：宜蘭 19 個，屏東 9 個，台南 18 個；蝦體樣品數：宜蘭 11 個，屏東 17 個，台南 12 個，分別做 Umu test 及 Ames test，結果均為負反應，顯示底泥及蝦體並未含有可檢出量變異性物質存在。

3. 清潔劑 LAS 在養殖水域、底泥及蝦體的含量測定

(1)、水域、底泥及蝦體的 LAS 含量測定

自 1989 年 6 月至 1990 年 12 月，分別自宜蘭、台南、屏東等地的主要養殖區收集養殖用水、底泥及蝦體，樣品數分別為：試水，宜蘭 19 個；底泥，宜蘭 25 個，台南 18 個，屏東 9 個；蝦體，宜蘭 11 個，台南 12 個，屏東 17 個。經 HPLC 分析 LAS 的含量，結果如表 5 所示。宜蘭地區部份：試水 LAS 含量自 0.003 至 0.032 ppm 之間，平均值為 0.011 ± 0.009 ppm，底泥 LAS 含量自 0.203 至 3.447 ppm 之間，平均值為 1.307 ± 0.009 ppm，蝦體之 LAS 含量自 0.240 至 1.003 ppm 之間，平均值為 0.670 ± 0.261 ppm，台南地區部份：底泥 LAS 含量自 0.117 至 4.311 ppm 之間，平均值為 0.998 ± 1.292 ppm，蝦體 LAS 含量自 1.203 至 4.447 ppm 之間，平均值為 2.816 ± 1.194 ppm，屏東地區部份：底泥 LAS 含量自 0.044 至 1.969 ppm 之間，平均值為 0.628 ± 0.571 ppm，蝦體 LAS 含量自 0.235 至 4.610 ppm 之間，平均值為 2.051 ± 1.168 ppm。

就宜蘭地區來看，底泥 LAS 含量約為水中 LAS 含量的 86 倍，蝦體 LAS 含量約為水中 LAS 含量的 56 倍。1986 年 Kikuchi 等⁽¹⁹⁾，以 HPLC 檢測日本東京灣海水、底泥及魚類 LAS 含量，分別為 0.0008-0.030 ppm、0.2-69 ppm 及 0.3 ppm。可知東京灣之海水及底泥的 LAS 濃度和台灣草蝦養殖場之數值相似，但東京灣魚類之 LAS 含量比台灣草蝦低，可能是因為蝦類為底棲性生物，所以較容易蓄積 LAS。另外，屏東及台南地區底泥 LAS 含量比宜蘭地區底泥低，但蝦體 LAS 含量卻比宜蘭地區高出甚多，其可能原因有二：第一為屏東及台南地區因溫度高

，底泥 LAS 經微生物作用，分解容易，所以環境中測得的值較低，但蝦類暴露時間久，造成高濃度蓄積；另一個原因為：屏東及台南的底泥屬砂土，而宜蘭地區底泥屬粘土性質，可能因蝦類喜愛在砂土中游動，所以蓄積較高之 LAS 量。

(2)、以 HPLC 及 MBAS 法測定 LAS 含量的比較

以往測定清潔劑含量是利用甲烯藍法 (methylene blue active substances method)，但是會受到陰離子性物質的干擾，而使測定值偏高。例如，Sullivan 及 Swisher (1969)⁽¹⁹⁾測定河水的結果指出，只有 10-20% MBAS 測定值為真正的 LAS 含量；另外，Waters 及 Garrigan (1983)⁽²⁰⁾測定的結果亦指出，LAS 含量只有 MBAS 測定值之 26%。我們分別以 HPLC 及 MBAS 法測定養殖用水、底泥及蝦體的 LAS 及界面活性劑含量，結果如表 6 所示。池水、底泥及蝦體以 MBAS 法測定的結果分別為 HPLC 測定結果的 9.08、8.99 及 12.84 倍；即池水、底泥及蝦體 LAS 含量分別為 MBAS 測定值之 11.0%、11.1% 及 7.8%。由以上的結果可以看出，若以 MBAS 法測定清潔劑含量，蝦體比水、底泥的干擾值更大，此可能因為蝦體含有色素的關係所致。

(3)、環境中 LAS 各組成分的含量關係

為知草蝦養殖環境生態系之 LAS 組成分變化，乃以宜蘭縣頭城地區之四個草蝦養殖池，每兩個月採試水、底泥和蝦體測定 LAS 組成分，其結果如圖 8-10 所示。得知試水、底泥和蝦體中之 LAS 組成分，均含有 C₁₀、C₁₁、C₁₂ 和 C₁₃-LAS。試水之 LAS 總含量於 6 月和 10 月較高，8 月和 12 月較低，其 LAS 組成分含量順序為 C₁₃-LAS > C₁₂-LAS > C₁₁-LAS > C₁₀-LAS。底泥之 LAS 總含量則與試水者相反，於 8 月和 12 月含量較高，6 月和 10 月含量較低，同時底泥中 LAS 組成分之含量亦與試水者不同，為 C₁₂-LAS > C₁₁-LAS > C₁₃-LAS > C₁₀-LAS。顯示清潔劑 LAS 在 8 月和 12 月時，易由試水沉澱至底泥。蝦體之 LAS 總含量則仍以 6 月和 10 月較高，8 月時較低，顯示蝦體 LAS 含量受試水 LAS 含量之影響，較受底泥 LAS 含量之影響為大。蝦體之 LAS 組成分含量則為 C₁₂-LAS > C₁₁-LAS > C₁₃-LAS > C₁₀-LAS，此現象類似底泥者。其次，為知台灣市售洗衣粉和洗潔精之組成分，乃於 1990 年 10、12 月採不同廠牌之洗衣粉 9 種和洗潔精 9 種，經分析其 LAS 含量及組成，結果如表 7 所示。顯示不管洗衣粉或洗潔精，其 LAS 含量差異甚大，為 5.65-37.63%，平均為 21.22%；LAS 各組成分含量之平均則以 C₁₂-LAS > C₁₁-LAS > C₁₀-LAS > C₁₃-LAS > C₁₄-LAS。綜合上述，市售洗衣粉和洗潔精之組成分與草蝦養殖池之試水、底泥和蝦體者分佈不同，此意謂 LAS 組成分在環境生態系之消長似乎受物理化學作用不同所致，此方面乃有待日後之探討。

4. LAS 對草蝦幼苗各成長階段的急性毒性

實驗結果如表 8 所示。24hr LC₅₀ 值對眼幼蟲期 (Zoea) 第 2 期、糠蝦期幼蟲期 (Mysis) 第 2 期及後期幼蟲期 (Post larva) 第 12 期，分別為 0.06、0.10 及 3.11 ppm；48hr LC₅₀ 值對糠蝦期幼蟲期 (Mysis) 第 2 期、後期幼蟲期 (Post larva) 第 12 期及後期幼蟲期 (Post larva) 第 15 期，分別為 0.07、1.03 及 4.36 ppm。由以上的結果和環境中測得 LAS 的含量做一比較，可知目前養殖池之 LAS 含量尚不至於對草蝦造成死亡的威脅，但是否對蝦類會造成慢性的毒性影響，則須再進一步探討。至於繁殖場的用水則須要特別小心，以免造成蝦苗的死亡。

謝 辭

本研究承蒙農業委員會經費補助 (計劃編號：79 - 農建 - 3.1 - 漁 - 17(二)和 80 - 農建 - 3.1 - 漁 - 31(2))，並承研究室同仁國立台灣海洋大學林麗娟、蔡明容、趙曉芬、蔡松鎮、鄭朝安等同學協助水質分析，國立台灣海洋大學鄭弘命教授提供寶貴意見，國立台灣大學陳弘成教授和國立台灣海洋大學陳瑤湖教授協助宜蘭地區之採樣，省水產試驗所台南分所郭世榮先生協助西部地區之採樣，國立屏東農專董明澄教授、陳金源老師和李勝長先生協助南部地區之採樣，日本花王公

司提供 LAS 標準品，使本研究得以順利完成，謹此致謝。

Abstract

Attempts were made to examine the water quality of four aquaculture ponds of grass prawn bi-monthly at Taucheng, Ilan Prefecture from June, 1989 to February, 1990. It was found that water temperature was between 18.0 and 33.0°C, pH value was between 7.43 and 9.07, dissolved oxygen was between 6.54 and 13.98 ppm, ammonia-nitrogen was between 0.01 and 0.15 ppm, nitrite-nitrogen was between 0.01 and 0.44 mg/l etc. Daily variation of water quality was found to be large, such as water temperature, pH value, dissolved oxygen, ammonia-nitrogen and nitrite-nitrogen etc. The saturation value of the dissolved oxygen was 175% at P.M. 2, but it was only 42% at A.M. 5. The content of linear alkylbenzene sulfonate (LAS) in the environmental ecosystem of grass prawn ponds was also determined. The content of LAS was found to be 0.003-0.032 ppm in water, 0.203-3.447 ppm in sediment and 0.240-1.033 ppm in grass prawn in Ilan County. It was found to be 0.117-4.311 ppm in sediment and 1.203-4.437 ppm in grass prawn in Tainan County. And it was found to be 0.044-1.969 ppm in sediment and 0.235-4.610 ppm in grass prawn in Pingtung County. The 24hr LC50 value of LAS was 0.06 ppm for Z-2 of grass prawn, 0.10 ppm for M-2 of grass prawn and 3.11 ppm for P-12 of grass prawn. The 48hr LC50 value of LAS was 0.07 ppm for M-2 of grass prawn, 1.03 ppm for P-12 of grass prawn and 4.36 ppm for P-15 of grass prawn.

參考文獻

1. Kohbara, J., S. Murachi, and K. Nanbe, (1987). Ocular abnormalities in carp chronically exposed to various surfactants. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 53:979- 983.
2. Fukuda, Y. (1983). Specific reaction of gold fish gills exposed to linear alkylbenzene sulfonate. *Jap. Ichthyol.*, 30:268- 274.
3. Misra, V., H. Lal, G. Chawla, and P. N. Viswanathan, (1984). Pathomorphological changes in gills of fish fingerlings (*Cirrhina mrigala*) by linear alkylbenzene sulfonate. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 10:302- 308.
4. Zacccone, G., S. Fasulo, P. Locascio, and A. Licata, (1985). Patterns of enzyme activities in the gills of the catfish *Heteropneustes fossilis* (Bolch) exposed to the anionactive detergent Na-alkyl-benzenesulfonate (LAS). *Histochem. J.*, 82:341-343.
5. Zacccone, G., P. Locascio, S. Fasulo, and A. Licata, (1985). The effect of an anionic detergent on complex carbohydrates and enzyme activities in the epidermis of the catfish *Heteropneustes fossilis* (Bolch). *Histochem. J.*, 17:453- 466.
6. Lal, H., V. Misra, and P.N. Viswanathan, (1984). The water flea (*Daphnia magna*) as a sensitive indicator for the assessment of toxicity of synthetic detergents. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 8:447- 450.
7. Misra, V., H. Lal. and P.N. Viswanathan, (1984). ⁴⁵Ca uptake from water by snails (*Lymnaea vulgaris*) in control and detergent-polluted samples. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 8:97- 99.
8. Greenberg, A. E., R. R. Trussell, and L. S. Clesceri, (1985). In: Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, APHA, Washington, 16th, 581- 585.
9. 陳建初 (1981)。水質分析。九大圖書公司，台北，pp.62- 107.

10. Oda, Y., S. I. Nakamura, I. Oki, T. Kato, and H. Shinagawa, (1985). Evaluation of the new system (umu-test) for the detection of environmental mutagens and carcinogens. *Mut. Res.*, 147:219- 229.
11. Ames. B., J. Mccann, and E. Yamasaki, (1975). Methods for detecting carcinogens and mutagens with the salmonella/mammalian-microsome mutagenicity test. *Mut. Res.*, 31:347-364.
12. Kfir, R., W. O. K. Grabow, and C. A. Hilner, (1982). Ames salmonella mutagenicity assays on water: dichloromethane extracts versus preparation of growth media with test samples. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 28:641- 646.
13. Kikuchi, M., A. Tokai, and T. Yoshida, (1986). Determination of trace levels of linear alkylbenzene sulfonates in the marine environment by high-performance liquid chromatography. *Wat. Res.*, 20:643-650.
14. 丁明儒 (1987) 。水質分析與管理。養蝦總覽，養魚世界雜誌社，台北，p.125.
15. 養蝦總覽編輯室譯 (1987) 。水質調查自己做。養蝦總覽，養魚世界雜誌社，台北，p.129.
16. 陳弘成 (1987) 。草蝦養殖池的水質基準。養蝦總覽，養魚世界雜誌社，台北，p.116.
17. Chin, T. S. and J. C. Chen, (1987). Acute toxicity of ammonia to larvae of the tiger prawn, *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 66:247- 253.
18. Chen, J. C. and T. S. Chin, (1988). Acute toxicity of nitrite to tiger prawn, *Penaeus monodon* larvae. *Aquaculture*, 69:253- 262.
19. Sullivan, W. T. and R. D. Swisher, (1969). MBAS and LAS surfactants in the Illinois river. *Environ. Sci. Technol.*, 3:481- 483.
20. Waters, J. and J. T. Garrigan, (1983). An improved microdesulphonation/gas liquid chromatography procedure for the determination of linear alkylbenzene sulfonates in U. K. rivers. *Wat. Res.*, 17:1549- 1562.

92 Table 1. The water qualities of aquaculture environment of grass prawn pond in Ilan County — A pond

Date of sampling	Jun. 7, 1989		Aug. 7, 1989		Oct. 10, 1989		Dec. 10, 1989	
Station	inlet	pond	inlet	pond	inlet	pond	inlet	pond
Time of sampling	10*50'	10*50'	10*15'	10*15'	9*25'	9*25'	8*55'	8*55'
Air temp. (°C)	— ¹	31.0	—	32.0	—	29.0	—	17.0
Water temp. (°C)	—	29.5	—	31.5	—	23.0	—	18.0
pH	7.87	7.93	7.83	8.30	7.36	7.50	7.32	7.71
DO (mg/l)	—	8.04	—	7.17	—	8.36	—	9.52
COD (mg/l)	6.60	5.10	4.60	12.30	10.75	12.15	4.67	21.68
NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	0.13	0.04	0.04	0.01	0.05	0.15	0.07	0.14
NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	0.02	<0.01	0.01	<0.01	0.20	0.01	<0.01	0.21
NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	0.24	0.26	0.40	0.27	0.32	0.66	0.35	1.04
Conductivity	—	—	—	2.6x10 ⁴	—	6.8x10 ⁴	—	2.1x10 ⁴
Cl ⁻ (o/oo)	8.64	12.23	15.82	13.21	13.95	18.04	16.58	15.52
SO ₄ ²⁻ (o/oo)	1.13	1.85	2.17	2.35	2.50	2.93	1.93	2.08
Alkalinity (mg/l)	109.3	133.0	165.5	91.3	132.0	119.7	172.9	45.0
Acidity (mg/l)	18.07	5.42	ND ²	ND	2.01	8.03	ND	ND
SiO ₂ (mg/l)	7.20	5.70	13.80	3.45	10.70	1.37	8.69	0.88
T-OP (mg/l)	0.18	0.08	0.01	<0.01	<0.01	0.168	<0.01	0.05
T-Re (mg/l)	17600	21900	31700	29500	31320	29500	31000	25800
Fil-Re (mg/l)	16700	20900	30900	28200	30560	25700	30400	24500
Max. absorption	0.043	0.010	0.017	0.062	0.030	0.028	0.021	0.040
Chlorophyll a (mg/l)	—	—	0.01	0.08	<0.01	0.17	0.02	0.48

1 : no sample.
2 : not detected.

Table 2. The water qualities of aquaculture environment of grass prawn pond in Ilan County — B pond

Date of sampling	Jun. 7, 1989		Aug. 7, 1989		Oct. 10, 1989		Dec. 10, 1989		Feb. 14, 1990	
Station	inlet	pond	inlet	pond	inlet	pond	inlet	pond	inlet	pond
Time of sampling	12*00'	12*00'	11*10'	11*10'	10*10'	10*10'	—	10*00'	—	10*05
Air temp. (°C)	— ¹	33.0	—	34.5	—	28.8	—	21.5	—	25.0
Water temp. (°C)	—	30.5	—	31.5	—	26.0	—	18.5	—	24.0
pH	7.51	8.61	7.91	8.39	8.17	8.28	—	8.49	—	8.70
DO (mg/l)	—	10.34	—	9.46	—	8.09	—	7.58	—	7.50
COD (mg/l)	7.30	6.80	5.70	4.40	5.30	8.05	—	11.33	—	6.41
NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	0.12	0.07	0.23	0.12	0.10	0.12	—	<0.01	—	0.01
NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	<0.01	0.44	<0.01	1.99	<0.01	0.14	—	0.04	—	<0.01
NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	0.81	1.32	0.96	0.80	0.08	0.62	—	0.37	—	0.10
Conductivity	—	—	—	1.5x10 ⁴	—	0.7x10 ⁴	—	0.4x10 ⁴	—	0.4x10 ⁴
Cl ⁻ (o/oo)	10.27	9.62	9.95	7.83	0.68	6.13	—	2.47	—	0.68
SO ₄ ²⁻ (o/oo)	0.10	1.05	0.65	0.95	0.11	0.25	—	0.30	—	0.05
Alkalinity (mg/l)	222.3	193.8	207.3	109.4	162.7	159.7	—	45.7	—	99.8
Acidity (mg/l)	ND ²	ND	ND	ND	ND	ND	—	ND	—	ND
SiO ₂ (mg/l)	11.00	5.20	12.68	3.40	16.32	2.50	—	0.88	—	3.50
T-OP (mg/l)	0.05	0.10	0.06	0.09	0.57	<0.01	—	0.07	—	0.07
T-Re (mg/l)	19400	28500	18500	14800	1300	3700	—	2700	—	1100
Fil-Re (mg/l)	19100	18900	16700	12800	590	3200	—	2600	—	800
Max. absorption	0.022	0.053	0.053	0.051	0.004	0.018	—	0.017	—	0.040
Chlorophyll a (mg/l)	—	—	0.04	0.11	0.02	0.07	—	0.11	—	0.09

1,2 : See footnotes of table 1.

Table 3. The water qualities of aquaculture environment of grass prawn pond in Ilan County — C pond

Date of sampling	Jun. 7, 1989		Aug. 7, 1989		Oct. 10, 1989		Dec. 10, 1989		Feb. 14, 1990	
Station	inlet	pond	inlet	pond	inlet	pond	inlet	pond	inlet	pond
Time of sampling	12*40'	12*40'	12*20'	12*20'	11*10'	11*10'	10*35'	10*35'	10*30'	10*30'
Air temp. (°C)	—	32.0	—	32.5	—	32.5	—	22.0	—	25.0
Water temp. (°C)	—	31.0	—	33.0	—	28.5	—	19.0	—	23.5
pH	7.02	7.89	8.07	9.07	7.89	7.83	7.95	8.81	7.77	8.52
DO (mg/l)	—	13.12	—	13.98	—	6.54	—	7.80	—	11.33
COD (mg/l)	7.10	12.20	3.30	7.30	22.70	18.55	11.33	12.19	8.10	8.52
NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	0.12	0.15	0.06	<0.01	0.07	0.02	<0.01	<0.01	0.11	0.06
NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	<0.01	0.20	0.07	0.01	0.10	0.05	0.04	0.33	0.04	0.03
NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	1.18	1.11	0.33	0.45	0.42	0.33	0.46	0.44	0.54	0.42
Conductivity	—	—	—	1.0x10 ⁴	—	1.2x10 ⁴	—	0.5x10 ⁴	—	0.4x10 ⁴
Cl ⁻ (o/oo)	17.94	7.99	4.90	5.22	9.53	6.13	3.53	4.23	2.38	1.70
SO ₄ ²⁻ (o/oo)	1.40	0.60	0.95	0.90	1.16	0.98	0.24	0.33	0.28	0.18
Alkalinity (mg/l)	134.9	110.2	135.0	126.5	128.9	116.7	70.5	55.5	177.3	175.8
Acidity (mg/l)	9.04	ND ^a	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SiO ₂ (mg/l)	10.95	13.75	24.25	18.30	7.01	9.67	9.90	8.69	16.63	10.65
T-OP (mg/l)	0.04	0.04	0.12	<0.01	2.21	1.87	0.06	0.04	0.15	0.20
T-Re (mg/l)	34800	15200	23400	10400	14200	10700	3700	4800	3100	3100
Fil-Re (mg/l)	33900	15100	20100	9700	13300	10300	2900	4700	2900	3000
Max. absorption	0.037	0.047	0.065	0.106	0.028	0.043	0.019	0.017	0.029	0.028
Chlorophyll a (mg/l)	—	—	0.10	0.11	0.10	0.14	0.13	0.10	0.11	0.11

1,2 : see footnotes of table 1.

Table 4. The water qualities of aquaculture environment of grass prawn pond in Ilan County — D pond

Date of sampling	Jun. 7, 1989		Aug. 7, 1989		Oct. 10, 1989		Dec. 10, 1989		Feb. 14, 1990	
Station	inlet	pond	inlet	pond	inlet	pond	inlet	pond	inlet	pond
Time of sampling	13*45'	13*45'	12*55'	12*55'	11*50'	11*50'	—	11 20'	11*00'	11*00'
Air temp. (°C)	—	31.5	—	34.0	—	29.1	—	23.5	—	24.8
Water temp. (°C)	—	32.0	—	34.0	—	27.0	—	18.0	—	23.0
pH	8.65	7.43	7.96	8.67	8.15	8.19	—	8.39	7.63	8.09
DO (mg/l)	—	11.53	—	11.91	—	8.49	—	8.16	—	11.40
COD (mg/l)	7.80	10.80	7.40	10.60	9.55	10.70	—	18.53	7.58	13.46
NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	0.02	0.02	<0.01	<0.01	0.02	0.02	—	0.06	0.08	<0.01
NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	<0.01	0.05	0.01	0.01	0.02	0.02	—	0.24	0.02	<0.01
NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	0.20	0.36	0.22	<0.20	0.26	0.27	—	0.54	0.50	0.08
Conductivity	—	—	—	1.7x10 ⁴	—	1.1x10 ⁴	—	1.5x10 ⁴	—	0.8x10 ⁴
Cl ⁻ (o/oo)	6.03	7.18	9.62	8.32	5.79	5.45	—	9.17	8.17	6.98
SO ₄ ²⁻ (o/oo)	0.40	0.70	1.20	1.10	0.93	1.25	—	0.70	1.50	1.10
Alkalinity (mg/l)	46.6	13.3	89.4	78.0	62.9	61.4	—	39.2	110.5	68.3
Acidity (mg/l)	ND ^a	1.81	ND	ND	ND	ND	—	ND	3.61	ND
SiO ₂ (mg/l)	8.15	4.10	15.23	14.10	10.30	9.65	—	4.85	8.90	6.30
T-OP (mg/l)	0.05	0.09	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	—	0.03	0.05	0.09
T-Re (mg/l)	11600	19200	16000	16700	8800	9100	—	11900	11900	7700
Fil-Re (mg/l)	10500	12500	15700	15600	8200	8200	—	11500	11400	7600
Max. absorption	0.025	0.076	0.100	0.119	0.038	0.049	—	0.024	0.014	0.017
Chlorophyll a (mg/l)	—	—	0.05	0.08	0.06	0.04	—	0.15	0.08	0.14

1,2 : see footnotes of table 1.

Table 5. Comparison of LAS content in brackish water, sediment and prawn collected from grass prawn pond in Ilan, Tainan Pingtung Counties

Station	Sample	Sampling Range of LAS		LAS content (ppm) (mean±S.D.)
		No.	conc. (ppm)	
Ilan	water	19	0.003-0.032	0.012±0.009
	clayey sediment	25	0.203-3.447	1.037±0.897
	grass prawn	11	0.240-1.003	0.670±0.261
Tainan	sandy sediment	18	0.117-4.311	0.998±1.292
	grass prawn	12	1.203-4.437	2.816±1.194
Pingtung	sandy sediment	9	0.044-1.969	0.628±0.571
	grass prawn	17	0.235-4.610	2.051±1.168

Table 6. Comparison of HPLC and MBAS methods to detect the LAS content in brackish water, sediment and prawn collected from grass prawn pond in Ilan County

Sample	Sampling No.	Detecting methods		B/A ratio
		HPLC (ppm)—A	MBAS (ppm)—B	
Water	17	0.011±0.009	0.075±0.037	9.08±4.74
Sediment	12	1.469±1.108	7.359±1.757	8.99±7.02
Grass prawn	11	0.670±0.261	6.675±3.094	12.84±10.10

Table 7. The content and composition of linear alkylbenzene sulfonate (LAS) in the commercial synthetic detergent

Sample No.	LAS content (%)	LAS composition (%) [*]				
		C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄
Commercial solid synthetic detergent :						
1	37.63	15.45	34.12	28.49	20.94	ND
2	19.91	13.47	38.97	38.17	9.07	0.32
3	18.83	12.59	38.67	37.74	11.00	ND
4	24.21	15.75	32.41	36.84	15.00	ND
5	20.71	13.92	36.23	34.22	15.63	ND
6	27.36	19.55	17.46	59.80	3.19	ND
7	25.71	12.45	26.86	57.01	3.68	ND
8	24.10	8.42	34.88	47.82	8.08	0.80
9	22.73	14.80	13.00	70.95	1.25	ND
Mean	24.58	14.16	30.29	45.67	9.76	0.12
± S.D.	± 5.62	± 3.08	± 9.33	± 14.12	± 3.56	± 0.27
Commercial liquid synthetic detergent:						
1	15.32	21.41	34.40	27.83	12.66	3.70
2	26.90	24.86	35.58	26.43	10.82	2.31
3	17.80	12.33	43.21	37.52	6.94	ND
4	17.58	25.25	36.21	26.18	9.50	2.77
5	23.68	27.54	34.73	22.78	10.94	4.01
6	27.40	12.35	35.11	34.08	14.13	4.34
7	5.65	12.67	40.86	36.72	9.75	ND
8	10.48	15.16	11.85	72.33	0.66	ND
9	16.03	12.73	26.06	52.25	7.18	1.78
Mean	17.87	18.26	33.11	37.35	9.18	2.10
± S.D.	± 7.25	± 6.42	± 9.27	± 15.83	± 3.94	± 1.77

* Content of LAS composition was calculated based on standard curve of each LAS composition, but content of C₁₄-LAS composition was calculated based on standard curve of mixed LAS compositions (C₁₀-C₁₃).

Table 8. The acute toxicity of LAS to larva of the grass prawn, *Penaeus monodon*

Stage	24hr LC ₅₀ (ppm)	48hr LC ₅₀ (ppm)
Zoea second substage (Z2)	0.06	—
Hysis second substage (M2)	0.10	0.07
Postlarva twelfth substage (PL12)	3.11	1.03
Postlarva fifth substage (PL15)	—	4.36

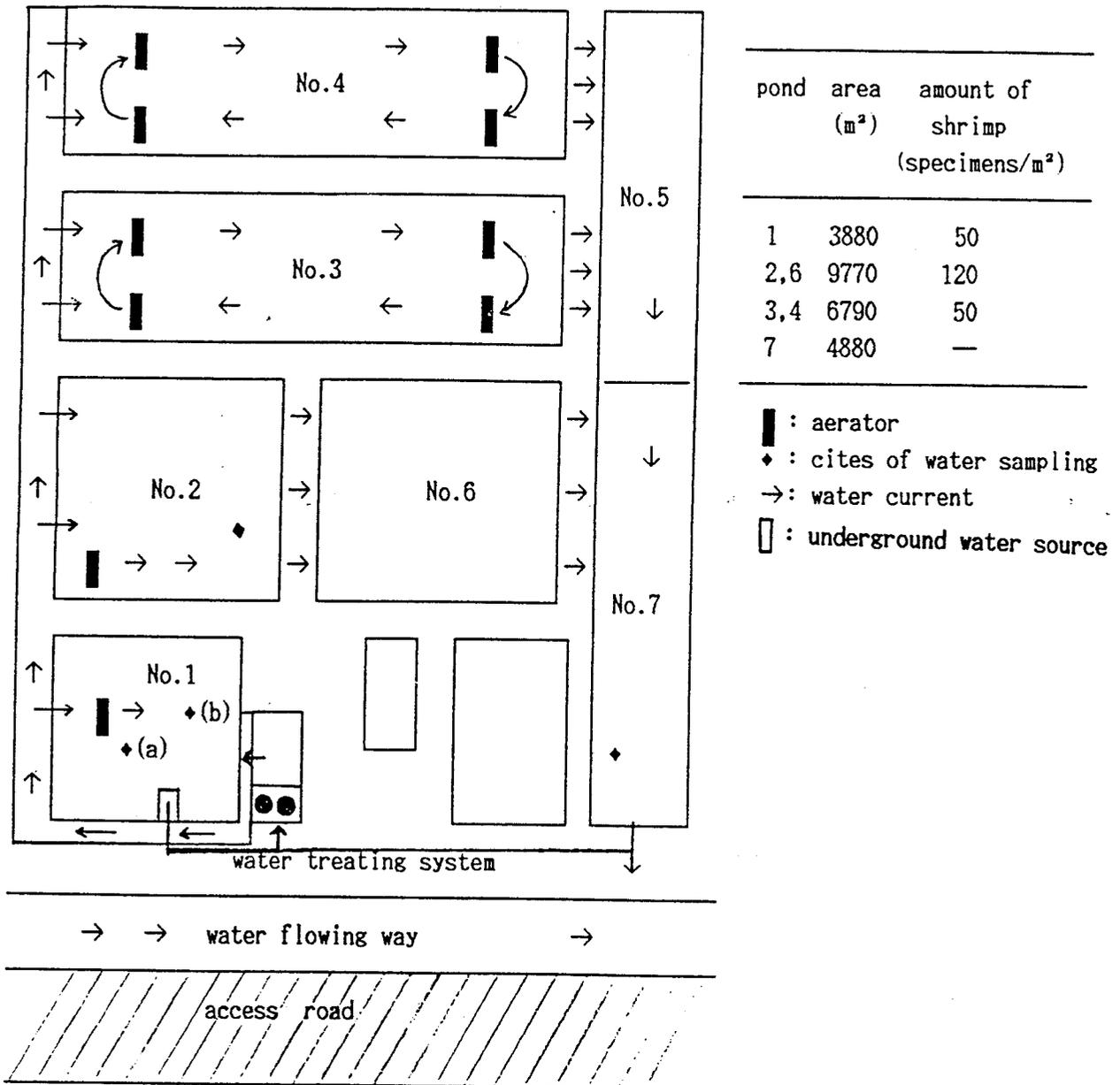


Fig.1. Scheme of grass prawn ponds and aerators.

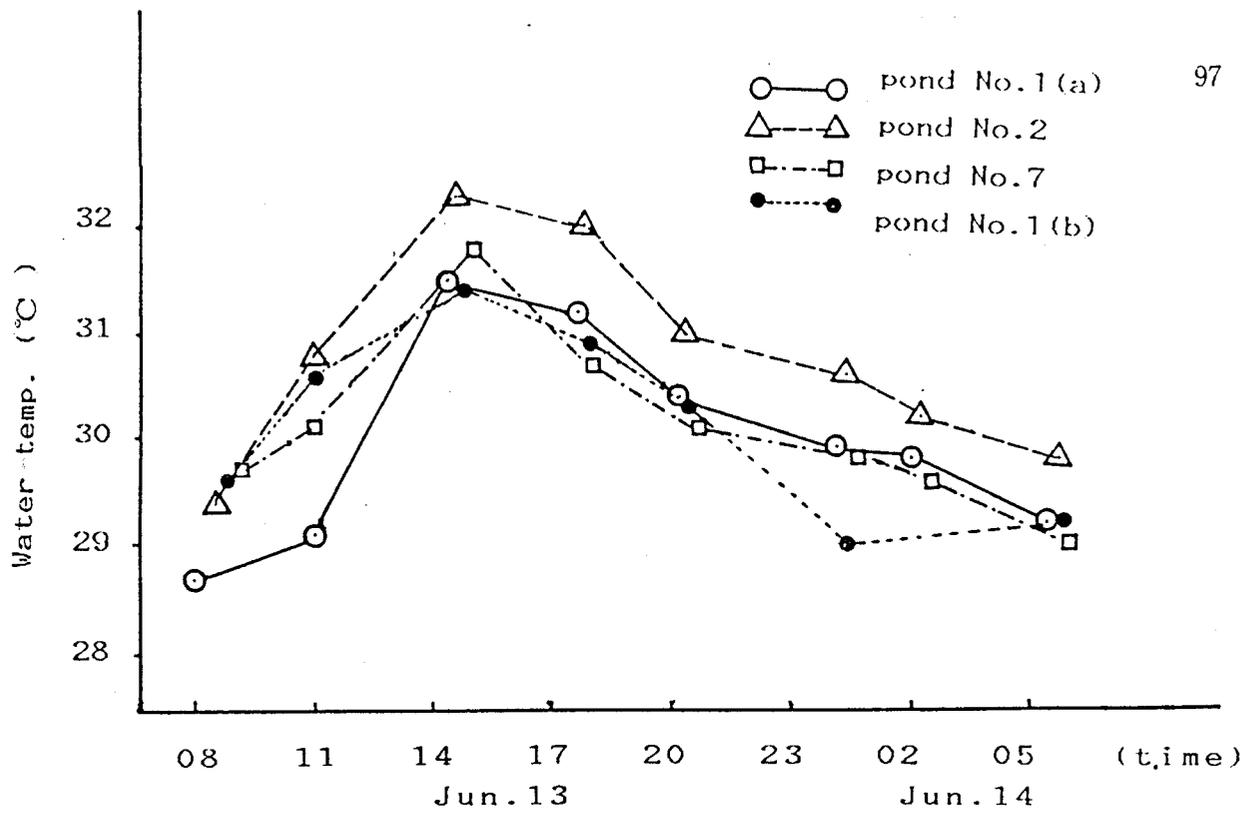


Fig.2. Daily variation of water temperature in the grass prawn pond (June 1990).

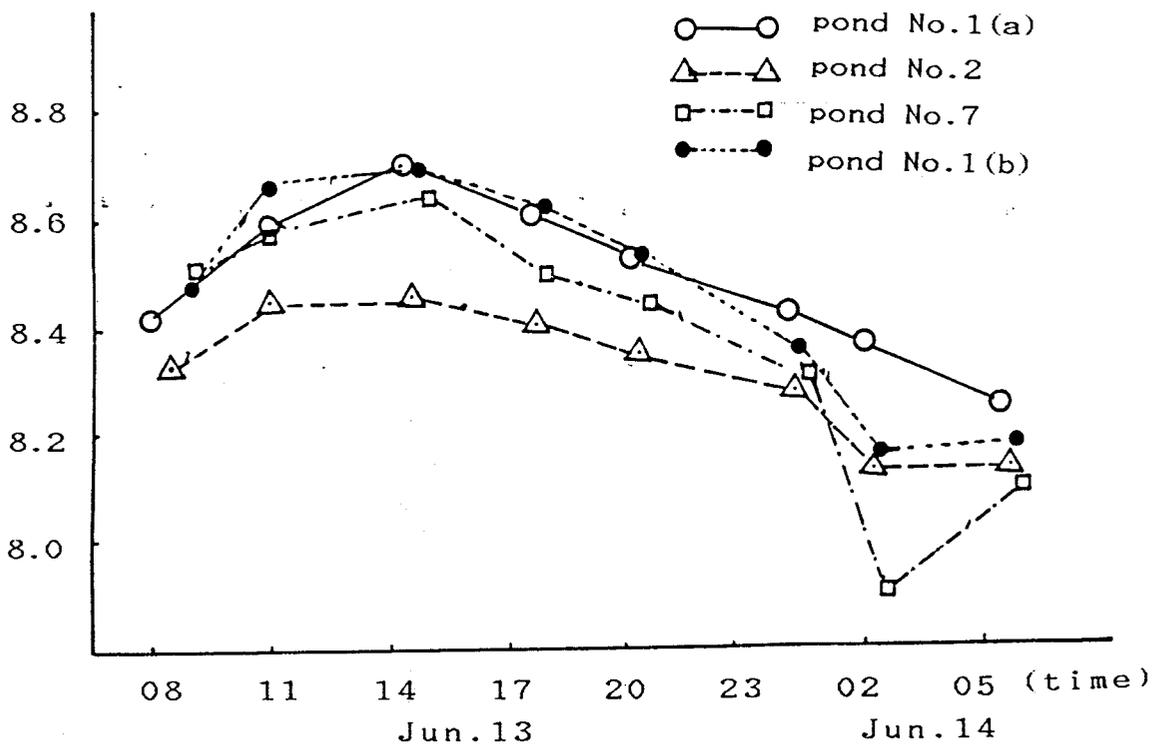


Fig.3. Daily variation of pH in the grass prawn pond (June 1990).

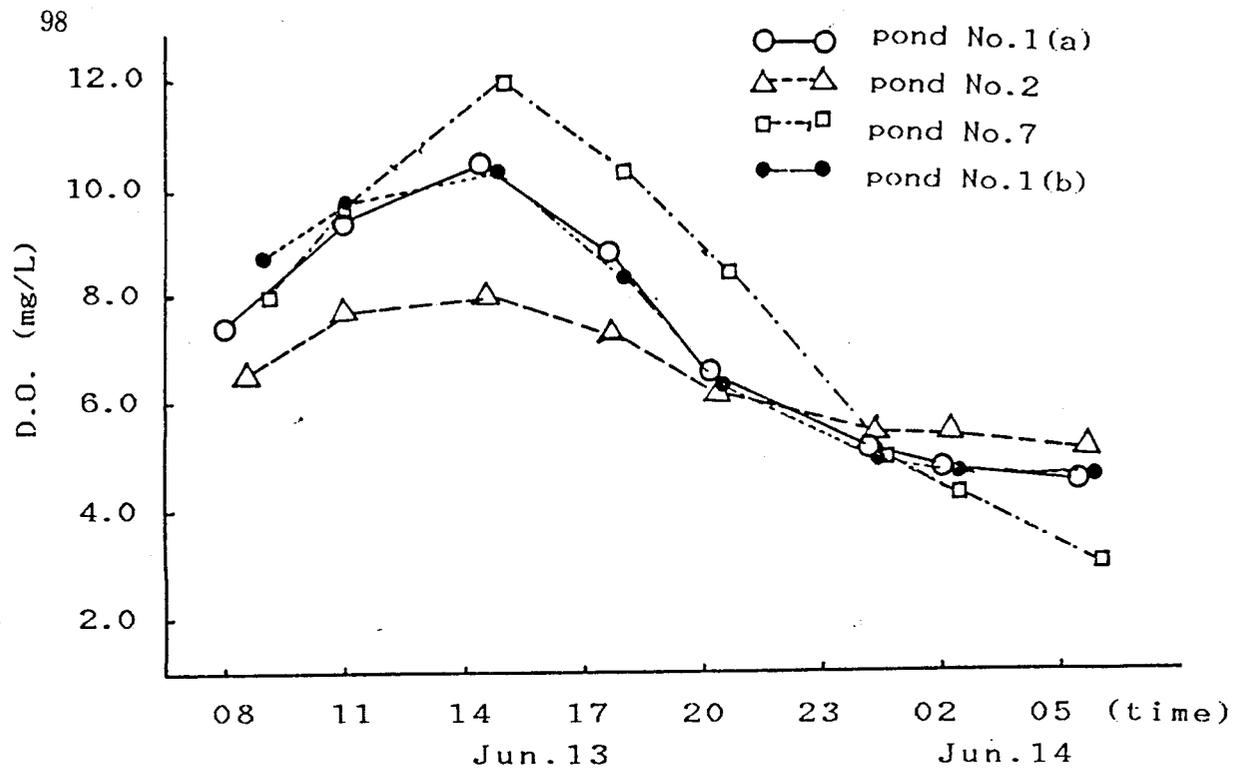


Fig.4. Daily variation of dissolved oxygen in the grass prawn pond (June 1990).

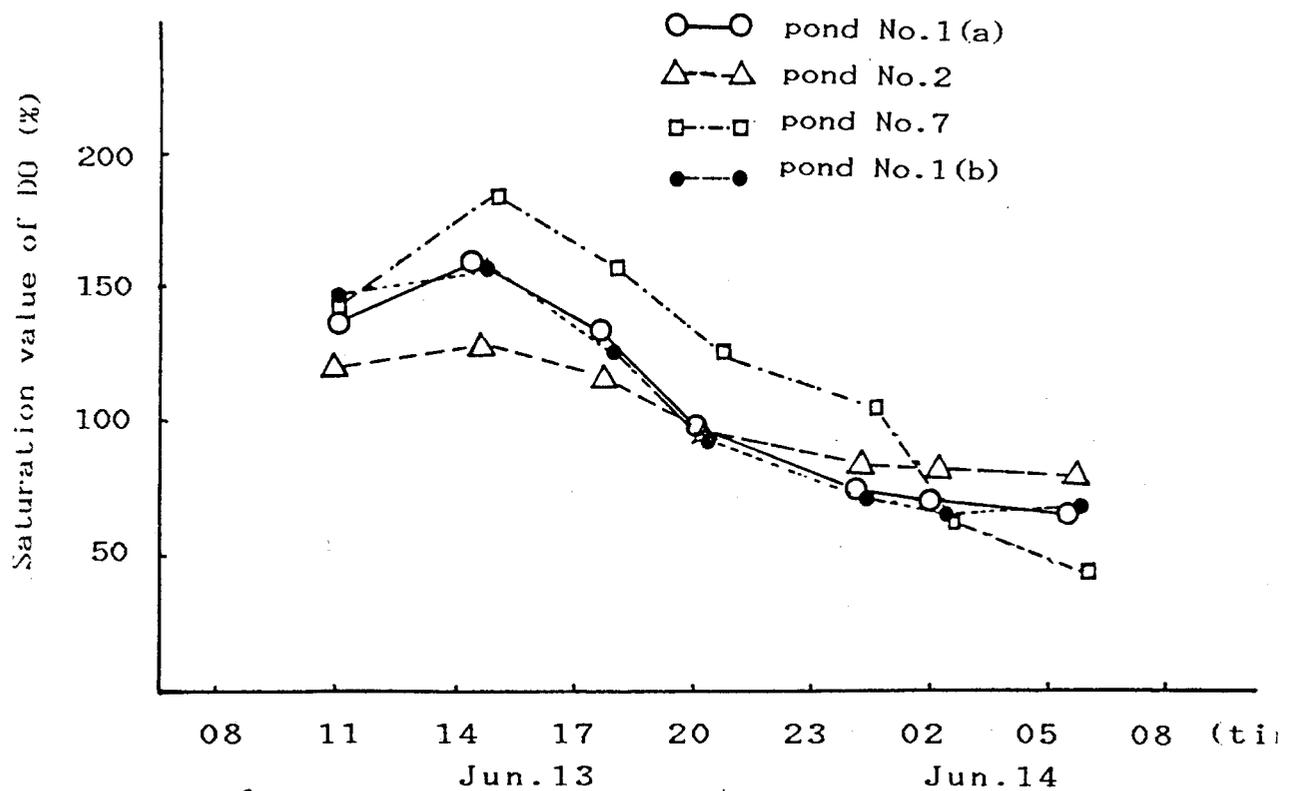


Fig.5. Daily variation of saturation value of dissolved oxygen in the grass prawn pond (June 1990).

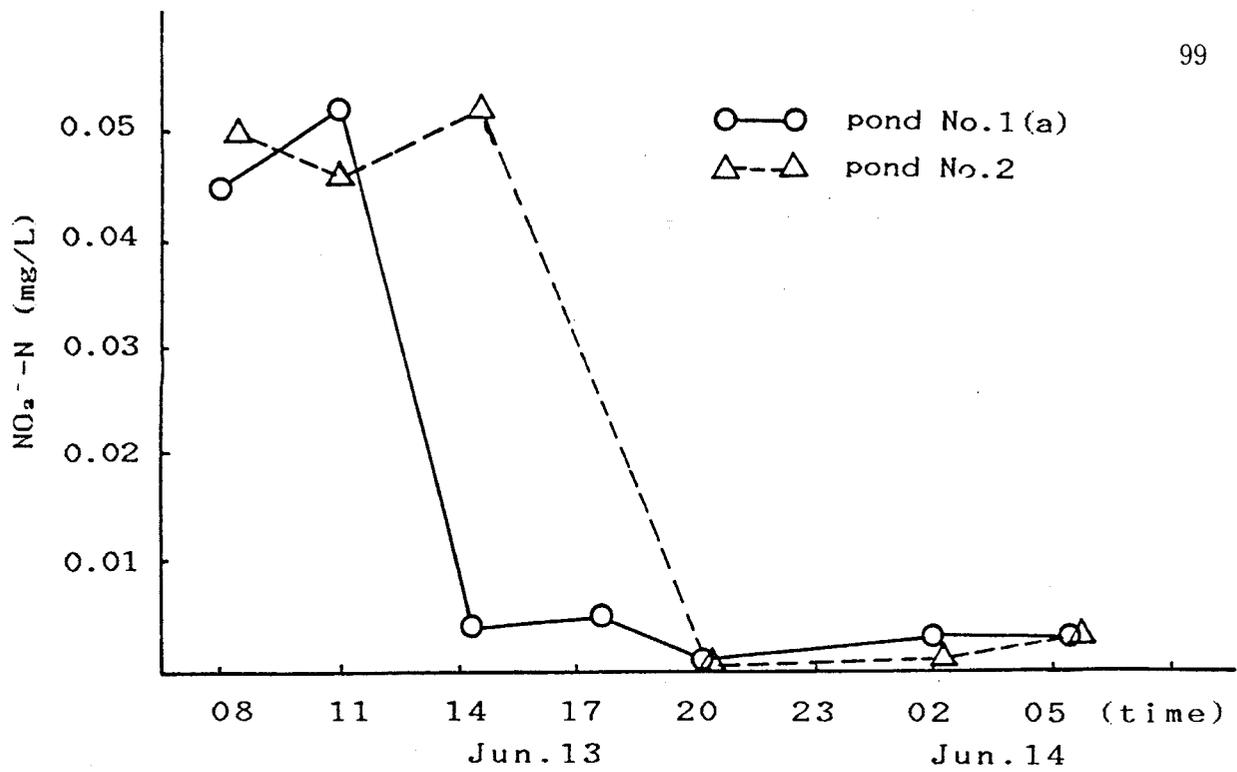


Fig.6. Daily variation of ammonia-nitrogen in the grass prawn pond (June 1990).

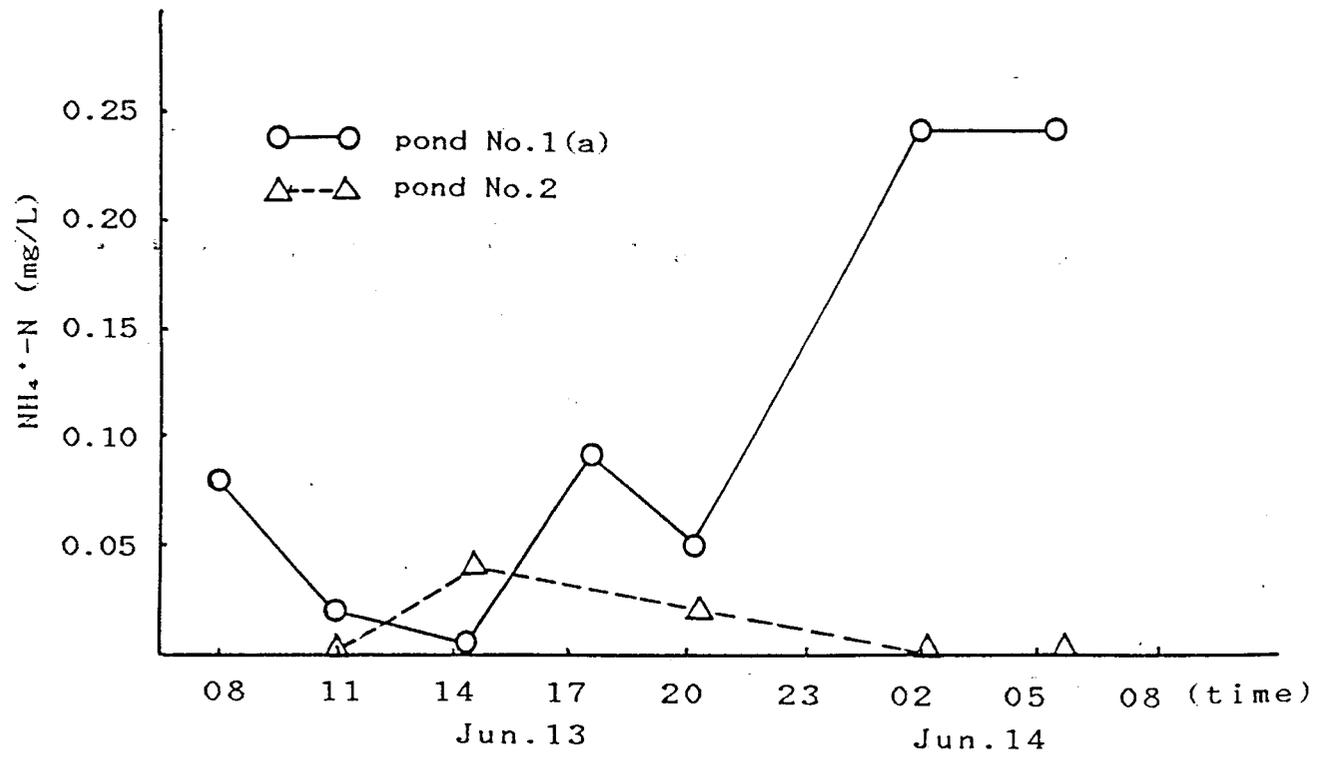


Fig.7. Daily variation of nitrite-nitrogen in the grass prawn pond (June 1990).

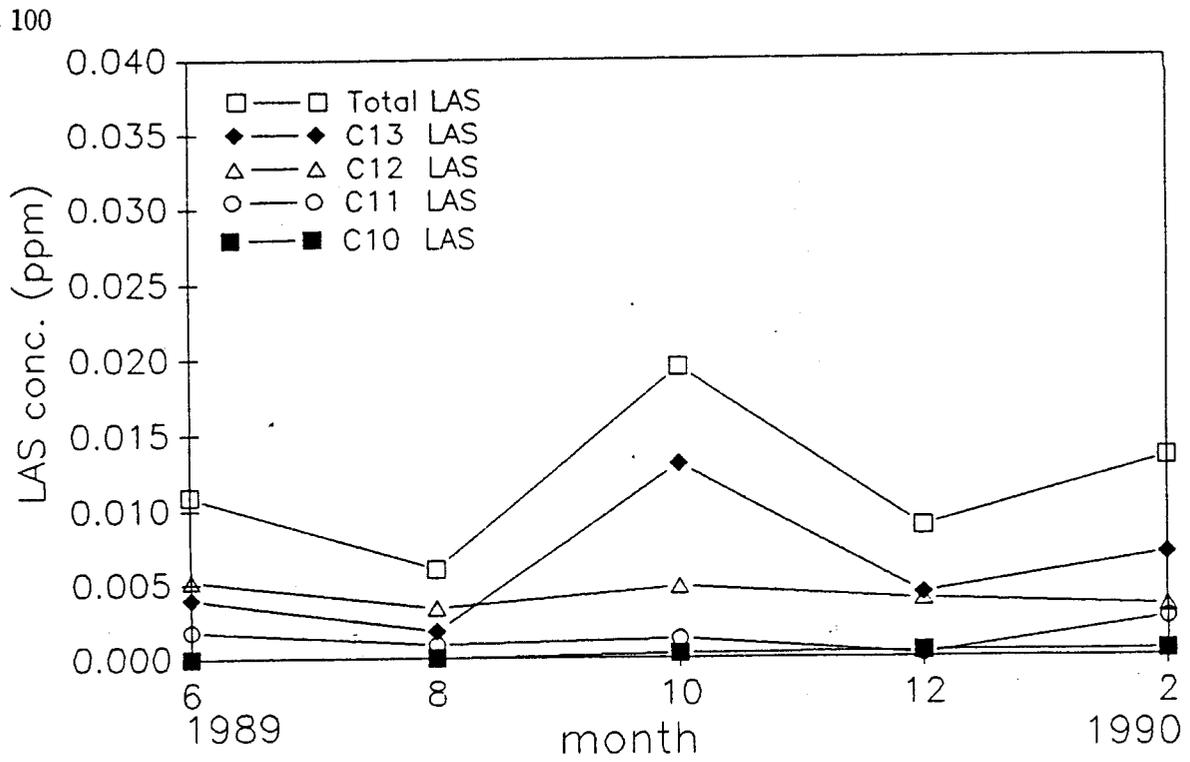


Fig.8. Seasonal variation of LAS components in brackish water sampled from grass prawn pond in Ilan County.

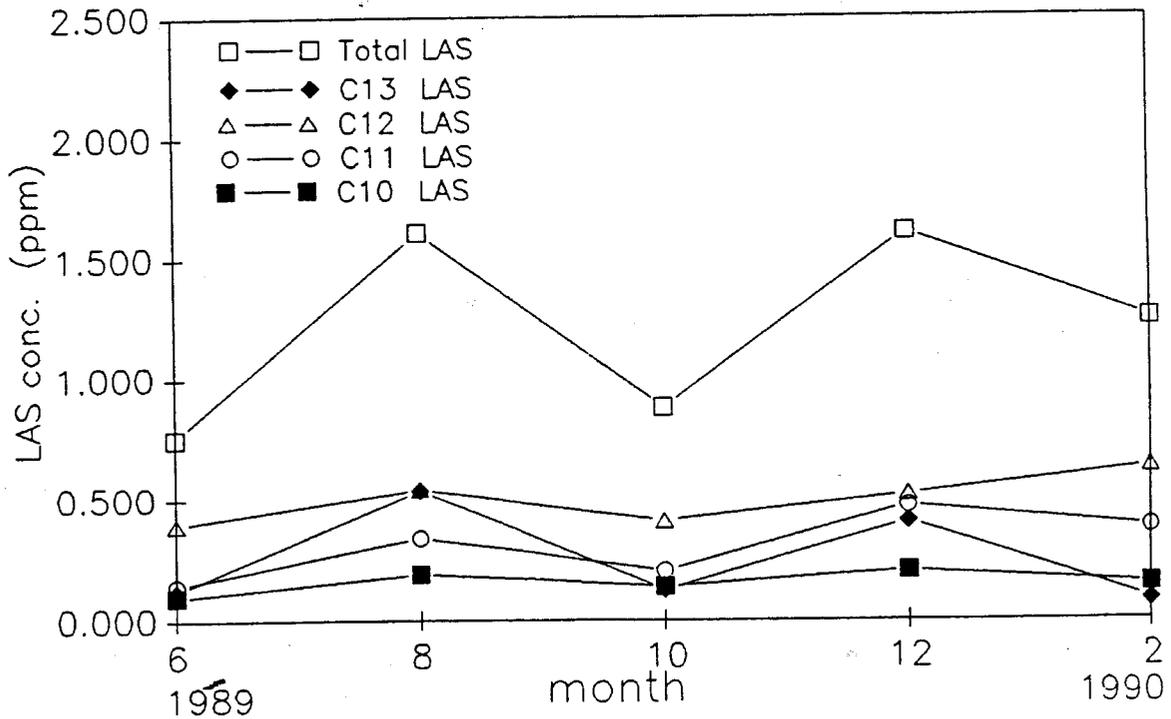


Fig.9. Seasonal variation of LAS components in sediment sampled from grass prawn pond in Ilan County.

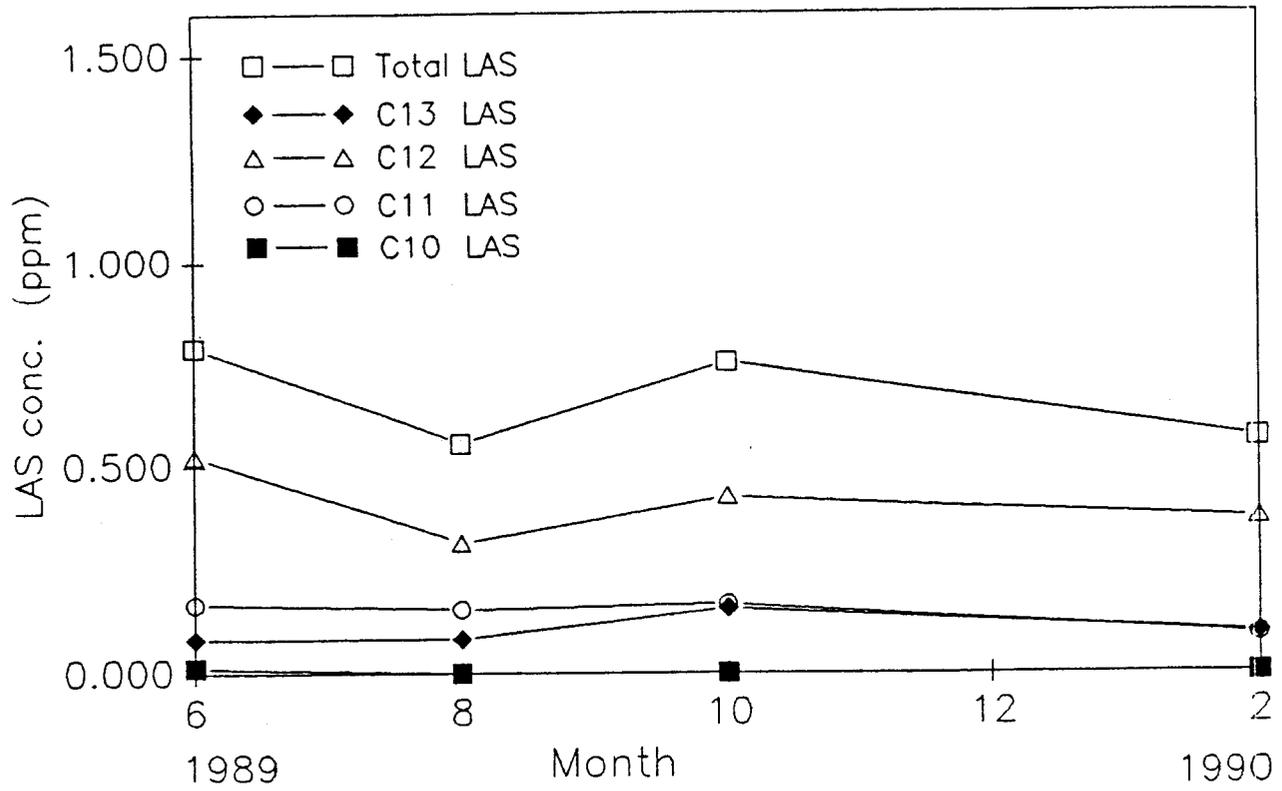


Fig.10. Seasonal variation of LAS components in prawn sampled from grass prawn pond in Ilan County.

