

# 宜蘭地區草蝦、斑節蝦、紅尾蝦池底質化學之研究

陳瑤湖\*

Study on the Sediment Chemistry of  
Tiger Prawn, Kuruma Prawn, and Red Tail Prawn Ponds  
in I-Lan Hsien  
Yew-Hu Chien\*

## ABSTRACT

To understand the chemistry of sediment in prawn ponds, pond sediment was routinely sampled from I-Lan Hsien from January to December in 1988. Redox potentials at 5, 10, and 15 mm depth ( Eh1, Eh2, and Eh3 ), salinity, and temperature were measured, total volatile solid, chemical oxygen demand, moisture, total nitrogen ( TN ), total phosphorus, phosphate ( PO4 ), nitrite, nitrate, water soluble ammonia ( HNH4 ), KC1-extractable ammonia ( KNH4 ), and sulfide were analyzed. Correlations among those parameters were conducted and those parameters from tiger prawn ( *Penaeus monodon* ), kuruma prawn ( *P. japonicus* ), and red tail prawn ( *P. penicillatus* ) ponds were statistically compared.

Except PO4 and Eh1, no significant differences in the other parameters were found among three types of prawn ponds. The average PO4 ( mg/100g dry sediment ) in red tail prawn ponds ( 0.88 ) and kuruma prawn ponds ( 0.82 ) were significantly higher than that in tiger prawn ponds ( 0.58 ). The average Eh1 ( mV ) in kuruma prawn ponds ( -85 ) was significantly higher than that in tiger prawn ponds ( -142 ). Sandy bottom, the burrowing activity of kuruma prawn, and lower water temperature during the growing season might be attributed to the higher redox potential. High correlation of Eh1 and Eh2 and distinct difference in redox potential frequency distribution between 15 mm depth and the above depths suggested a layer separation at 10 to 15 mm depth. Eh3 had the highest number of correlations with the other chemical parameters. Significant negative correlations of Eh3 vs TN, nitrite, HNH4, KNH4, and sulfide were found. These findings indicated Eh3 could be used as an indicator of the overall chemical nature of the prawn pond sediment.

---

\*國立臺灣海洋學院水產養殖學系

( Department of Aquaculture, National Taiwan College of Marine Science and Technology ).

## 前 言

在天然水域中，生物的排泄物、屍體及有機碎片會沈積於底土，經由水中微生物的作用氧化分解為無機鹽，重返於水域中，而再為綠色植物所利用。此種能力稱為自淨作用<sup>(1)</sup>。因此底土對於營養鹽的再循環佔有重要的地位，但當底土堆積的有機物過多時，微生物的分解作用旺盛，會造成底質的溶氧不足，而逐漸成為還原態。在此狀態下，氧化細菌不作用，而代之以還原態細菌作用，將有機物分解為NO<sub>2</sub>，H<sub>2</sub>S，Ammonia及methane<sup>(2,3)</sup>，而這些產物對於水生動物是有毒害的。尤以蝦以池底為生活之基底或潛伏於基底之中，直接受到底質環境的影響，因此底質的研究的重要性實不容忽視。

了解養殖池底的動態，的確存在著相當的困難。由於土壤本身即為一非均勻之混合物，土壤在浸水後的反應機制甚為複雜<sup>(4)</sup>，而養殖系統中因生物代謝物與大量有機物的加入，更使池底土壤在化學性質上產生複雜的變化<sup>(5)</sup>。臺灣養殖池底泥的研究除了Chiang等<sup>(6)</sup>在1972年曾做過淡水魚池底泥的初步調查，幾乎沒有更進一步的資料。海蝦養殖底泥的研究更是付諸闕如。因此本研究的目的是先針對宜蘭地區的蝦養殖池底質化學作一初步瞭解，也可提供養蝦池生態研究的參考。

## 材 料 與 方 法

為了瞭解宜蘭地區草蝦、斑節蝦，及紅尾蝦養殖池的底質化學，於77年1月至12月間分別至五結、礁溪等地，現場量取底質的氧化還原電位（Eh），溫度、鹽度，並採得泥柱攜回實驗室加以分析。最後將底質各化學成分間作相關分析，並比較各種養殖蝦池間的差異。

### 1. 底質取樣成法：

底質取樣方法有兩種。若在岸邊則直接以自製的採泥器（Fig.1），插入池底，然後在岸上將採泥器不銹鋼管內的泥柱轉放入同口徑的PVC管，兩端用塑膠紙封口，而後放入手攜式冰箱帶回實驗室。若池底過深則用艾克曼（Ekman）採泥器先採得15×15×15cm<sup>3</sup>的泥塊，再用PVC管插入取得泥柱。在實驗室將樣品作化學分析前先將泥柱略微解凍，讓泥柱與PVC管分開滑出管外約1.5公分，然後以電鋸鋸出表面的1.5公分泥片作化學分析。

### 2. 氧化還原電位的測定：

氧化還原電位的測定係將白金電極插入土中，另一端與Eh/PH meter（BASIC digital PM/MV meter model：LLD-II）之正極連接，負極則接甘汞飽合參考電極（INGOLD Calomel Standard Reference Probe, model：LR51101, 標準電位為244mV, 25°C, PH7），並同時將甘汞飽合參考電極（Calomel reference electrode）插入水中以構成電流通路（Fig.2）

白金電極（Fig.3）的製作係取總直徑3.6mm，銅蕊直徑2mm，長390mm之銅線，銅蕊前端5mm用鐵鎚敲平，另取長10mm，直徑0.5mm，24K之白金線，利用銅線展平部分將白金線約3mm部分包埋密接，空隙部分再用鐵鎚鎚實。為了避免銅與白金間有雜質，在包埋前銅蕊前端與白金線均事先以肥皂水，1NHCl、蒸餾水清洗後，再用濾紙吸乾。為了使銅蕊前端與外界絕緣，只露出白金部分，因此將銅蕊外包之塑膠往前推，覆蓋銅蕊與白金銜接之部分，前端再以EPOXY膠封口。為了防止EPOXY膠與硫化物產生化學反應而脆化，在最外層又裹以一層矽膠，為了方便現場操作，將三根電極

固定在一壓克力板上 (Fig.4)，白金裸出深度分別為5, 10, 及15mm, 以測定不同深度底質的氧化還原電位。壓克力板上垂直地粘上一空心而可調整長度的空心釣魚桿。白金電極所連接的絕緣電線則自釣魚桿中空處穿出, 以接連到PH/Eh meter上。

### 3.底質化學的測定：

所測底質化學包括強熱減量, 化學需氧量 (COD), 溫度總氮 (TN), 總磷 (TP), 磷酸鹽 (PO<sub>4</sub>), 亞硝酸 (NO<sub>2</sub>), 硝酸 (NO<sub>3</sub>), 水可溶氨一氮 (H-NH<sub>4</sub>), 氯化鉀粹取氨一氮 (KCL-NH<sub>4</sub>), 及硫化氫。其測定方法如下：

(1) 總氨一氮、亞硝酸一氮、及硝酸一氮、總氮、總磷、可溶性無機磷：取30g濕土溶於300ml蒸餾水中再以shaker (Firstec scientific orbitol shaker Model-103)<sup>(6)(7)</sup>在200rpm, 振盪1小時後以水質分析方法測之, 最後以水分含量校正成每100g乾土含有幾mg之測定物。

(2) 化學需氧量 (Chemical Oxygen Demand)

依據日本水產資源保護協會<sup>(6)</sup>的方法測定之。稱取0.1g sample, 加10ml蒸餾水, 然後加10% NaOH 1.5ml及N/10KMnO<sub>4</sub> 10mlKI 5ml 及 NaNO<sub>3</sub> 一滴。放置冷卻後再加0.7ml濃H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>將碘游離, 最後以0.05N之Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>並以1%澱粉溶液做為指示劑, 滴定至藍色消失為止。

(3) 硫化物 (Sulfide)

精確量取1%醋酸鋅10ml加入乾淨的試管中, 做為收集硫化物之用, 此為收集管。另取乾淨的試管充滿N<sub>2</sub>之後, 用橡皮塞蓋緊, 加入1g底質, 再以無氧的蒸餾水沖洗殘留於管壁的底質, 此為樣品管, 樣品管加入6N HCl 1ml, 使硫化物變成H<sub>2</sub>S而釋出, 並同時充氮氣一小時, 將釋出之H<sub>2</sub>S打至收集管而與醋酸鋅產生硫化鋅沈澱而達分離之效果。此過程在自行設計之密閉裝置下進行之<sup>(7)(8)(9)</sup>。分離後之硫化物的測定, 同水質的方式測定之。另以碘滴定法求証之。以此方法之硫化物回收率 (recovery rate) 約88% - 95%左右。

(4) 強熱減量 (Total Volatile Solid)

根據日本水產資源保護協會之方法。取已烘乾之土壤5g 置於烘乾的坩鍋中, 再置於105°C烤箱8 - 12 小時, 使sample毫無水分。取出精稱 (A), 然後置於900 C的灰化爐中二小時。Sample取出在乾燥箱中冷卻, 稱其重 (B)。有機含量 = (A - B) / A \* 100%。

(5) 結合氨一氮 (Bound Ammonia-N)

土壤顆粒吸附的氨, 經KCl萃取出來以後, 即可依水質分析的方法, 測定bound ammonia-N。

## 結果與討論

### 1.三種蝦池底質化學的比較

宜蘭地區草蝦、斑節蝦及紅尾蝦養殖池底質化學及氧化還原電位列於Table 1。變方分析的結果顯示底質除了總磷及表層5mm氧化還原電位在三種蝦池間有顯著的差別外, 其他底質的化學性質都沒有差異 (Table 2,3)。Duncan 多變域測驗顯示底質的平均總磷 (mg/100g) 在紅尾蝦池 (0.88) 與斑節蝦池 (0.82) 間沒有差異, 但二者與草蝦池的平均總磷 (0.58) 卻有顯著差異。Duncan多變域測驗顯示表層5mm平均氧化還原電位 (mV) 在斑節蝦 (-85) 及紅尾蝦池 (-111) 間或紅尾蝦與草蝦池

(-142)間沒有差異，但斑節蝦池與草蝦池間卻有顯著差別。斑節蝦在放養前，池邊通常鋪上一層砂，而水與表層沙質底的交換較與泥質底的交換性為好，使水中溶氧易於滲透到表層底質。另外斑節蝦有晝伏夜出的習性，在潛入出表層底質的過程中，也可將水中溶氧帶入底質。以上兩個原因可能是造成斑節蝦池表層底質氧化還原電位較高的原因。草蝦養殖季節在夏天，高水溫會加速底質耗氧，可能因此而使得其表層底質的氧化還原電位最低。

## 2. 底質化學間的關係

### 2.1 底質各層間氧化還原電位的比較

底質表層(5mm)，次表層(10mm)，及底層(15mm)的平均氧化還原電位分別為-133，-158，-178mV。底質各層間氧化還原電位之頻率(Fig.5)顯示表層的氧化還原電位有4%集中在-50至-100mV間，次表層的氧化還原電位大都(50%)集中在-150至-200mV間，底層的氧化還原電位在-100至-150，-150至-200及-200至-250mV的頻率分別為28.6，38.1及33.3%。底層的底質依Patrick and Delaune的分類，全都落在極端還原(小於-100mV)的範圍內。表層的底質大都還屬於還原(+100至-100mV)層。次表層的底質氧化還原電位的分佈則較廣。從各層間氧化還原電位的相關性(Table 4)看來，表層與次表層間有極顯著的正相關，底層與表層，次表層間都無相關。由氧化還原電位來看，似可將表層，次表層底質合併為一層。

### 2.2 底質各化學性質的相關性 (Table 4)

#### 2.2.1 強熱減量

強熱減量係總碳的指標，而化學需氧量又與有機碳有密切的關係，因此強熱減量與化學需氧量的顯著的正相關是可預期的。有機物像殘餌及蝦的排泄物的量最易在總氮表現出來，而與總碳的指標強熱減量有密切的正相關。表層底質若越呈氧化態，即氧化還原電位越高，則好氧微生物的活動越旺盛，而所須的能源碳也越高，因此與強熱減量有顯著相關。強熱減量為底質分析中不可缺的一項。

#### 2.2.2 化學需氧量

化學需氧量除了氧化還原電位外，與四項化學物質，即總氮、總磷、磷鹽、硝酸根有正相關。

#### 2.2.3 氮族—總氮、硝酸、亞硝酸、氨

總氮除了與氮族的化學物質、硝酸、亞硝酸、水溶性氨、KCl可萃取氨有顯著正相關是可預期的之外還與總磷、硫化氫有正相關。

#### 2.2.4 總磷與磷酸

總磷與磷酸與其他化學物質的相關性不多，顯示出在鹹水環境中，磷非主要的限制因子。

#### 2.2.5 硫化氫

與硫化氫有關的物質有不少，像水溶性氨，硝酸，總氮及強熱減量。還原狀態有利於硫化氫的產生，因此與水溶性的氨有正相關而與硝酸呈負相關。

#### 2.2.6 氧化還原電位

底層底質的氧化還原電位比表層及次表層的底質的氧化還原電位與其化學物質有較多的相關性；主要可能是底層底質已成穩定的極度還原狀態，而其化學物質與次表層的交換係經緩慢的滲透過程，由於已呈極度還原，底層的氧化還原電位與硫化氫有極顯著的負相關，亦即氧化還原電位越低，硫化氫濃度越高，且其相關程度很高( $r = -0.71$ )(Fig.6)。氨是還原態的產物，因此與氧化還原電位也呈負相關(Fig.7.8)。亞硝酸為氨與硝酸根間變化的過渡產物。氧化還原電位越低，對氨的穩定性越有利

，對硝酸根則反之。從亞硝酸與氧化還原電位呈負相關 ( Fig.9 ) 來看，亞硝酸在趨於還原態時的穩定性似較高。一般來說，亞硝酸對水生動物的毒性，尤其是草蝦，較氮高出甚多<sup>10</sup>，因此在養殖應用上，應盡量提高底質的氧化還原狀態，避免亞硝酸的產生而毒害到養殖生物。在氧化環境下微生物種類較多，分解的活動較旺盛，在還原環境下則反之<sup>11,12</sup>。這現象主要歸諸於氧化態下微生物的種類及族羣都較還原態下為多的關係。在底層的底質因為缺氧，有機氮的分解緩慢，而殘留下來，因此總氮與氧化還原電位呈顯著的負相關 ( Fig.10 )，亦即氧化還原電位越低，總氮量越高。從以上看來，底層的氧化還原電位不失為一底層老化的良好指標。底質化學分析往往耗時耗工，就猶如以pH可對水質整體有大概的瞭解，底層的氧化還原電位也可對底質的狀況有迅速而整體性的瞭解。

## 摘 要

爲了要瞭解蝦養殖池底化學，自民國77年1月至12月在宜蘭縣定期採樣底泥。現場量取底泥5，10，15毫米深 ( Eh1, Eh2, Eh3 ) 的氧化還原電位，鹽度及溫度，並分析底泥之強熱減量，化學需氧量，濕度，總氮，總磷，磷酸，亞硝酸，硝酸，水溶性氮 (  $\text{HNH}_4$  )，氯化鉀可粹取氮 (  $\text{KNH}_4$  )，及亞硫。除了取得以上化學因子的相關性外，也比較草蝦池，斑節蝦池，紅尾蝦池間底質化學因子的差異。

除了磷酸及Eh1外，三種蝦池間底泥的化學因子無顯著差異，平均磷酸 ( 毫克 / 100克 乾泥 ) 在紅尾蝦池 ( 0.88 ) 及斑節蝦池 ( 0.82 ) 顯著地高於草蝦池 ( 0.58 )。平均Eh1 (  $\text{mV}$  ) 在斑節蝦池 ( -85 ) 顯著地高於草蝦池 ( -142 )。沙質池底，斑節蝦的潛沙活動，及養殖期間的較低水溫可能是較高氧化還原電位的原因。Eh1及Eh2的相關性，15毫米深及以上2深度間氧化還原電位頻度分佈的明顯差異，顯示10及15毫米間有一分層。Eh3和其他化學因子間有最多個相關性，同時發現Eh3和總氮，亞硝酸、 $\text{HNH}_4$ 、 $\text{KNH}_4$ 、及亞硫間有負相關。這些發現顯示Eh3可被用來作為蝦池底質化學的整體指標。

## 參 考 文 獻

1. Boyd, C.E. ( 1982 ). Water Quality Management for Pond Fish Culture. Developments in Aquaculture and Fisheries Science 9. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam—Oxford—New York. 318 pp.
2. Patrick, W.H.Jr., R.D. Delaune. R.M. Engler and S. Gotoh ( 1976 ). Nitrate removal from water at the water—mud interface in wetland. W.S.Environmental Protection Agency Project Report EPA—600/3—76—042.
3. Ram, N., S. Ullitzur and Y. Avnimelech ( 1981 ). Microbial and chemical changes occurring at the mud—water interface in experimental fish aquarium. / Bamidgeh 33 ( 3 ) : 71—87.
4. Ponnampetana. F.N. ( 1972 ). The chemistry of submerged soils. Advan. Agron. 24 : 29-88.. Academic Press Inc., New York and London.
5. Chiang, W., C.Y. Jaw, A.L. Hsieh and H.S. Shyu ( 1972 ). A survey of the **chemical** properties of bottom soils of freshwater fish ponds in Taiwan. JCRF Fisheries Series No. 12 : 15—34.
6. Rhoades, J.D. ( 1982 ). Soluble salts. P.167—178. In : Page, A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeney ( eds ) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Academic Press. 1159 pp.

7. Delaune, R.D., C.N. Reddy and W.H. Patrick, Jr. ( 1981 ). Effect of pH and redox potential on concentration of dissolved nutrients in an estuarine sediment. *J. Environ. Qual.* 10 : 276— 279.
8. 日本土壤養分測定委員會 ( 1976 ). 土壤養分分析法. 東京株式會社. 義賢堂發行430頁.
9. Tabatabai, M.A. ( 1982 ). Sulfur. In : Page, A.L., R.H. Miller. and D.R. Keeney ( eds ) *Methods of Soil Anagnosis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* Academic Press. 1159 pp.
10. Chen, J.-C. and T.-S. Chin ( 1988 ). Acute toxicity of nitrite to tiger prawn, *Penaeus monodon*, larvae. *Aquaculture*, 69 : 253— 262.
11. Acharya, C. ( 1935 ). Studies on the anaerobic decomposition of plant materials. I. Anaerobic decomposition of rice straw. *Biochem. J.* 29 : 528—541.
12. Acharya, C. ( 1935 ). Studies on the anaerobic decomposition of plant materials. II. Some factors influencing the anaerobic decomposition of rice straw. *Biochem. J.* 29 : 953—960.
13. Acharya, C. ( 1935 ). Studies on the anaerobic decomposition of plant materials. III. Comparison of the course of decomposition under anaerobic, aerobic and partially aerobic conditions. *Biochem. J.* 29 : 1116—1120.

Table 1. The comparison of chemical parameters of sediment among black tiger prawn (*Penaeus monodon*), kuruma prawn (*P. japonicus*), and red tail prawn (*P. penicillatus*) in I-Lan Hsien.

Chemical parameter	Species								
	<i>P. monodon</i>			<i>P. japonicus</i>			<i>P. penicillatus</i>		
	N	Mean	Std	N	Mean	Std	N	Mean	Std
TV ( % )	12	4.91	0.98	9	5.08	0.99	4	5.05	1.15
COD ( mg/g )	12	23.55	6.15	9	25.17	5.87	4	24.84	5.78
MOS ( % )	12	28.50	7.41	9	31.28	0.89	4	30.76	0.70
TN ( mg/g )	12	13.23	5.23	9	9.81	2.81	4	14.94	5.29
TP ( mg/g )	12	0.64	0.20	9	0.82	0.17	4	0.88	0.22
PO <sub>4</sub> ( mg/100 g )	12	0.06	0.06	9	0.04	0.01	4	0.04	0.01
NO <sub>2</sub> ( mg/100g )	12	0.01	0.01	9	0.00	0.00	4	0.00	0.00
NO <sub>3</sub> ( mg/100g )	12	0.01	0.00	9	0.01	0.00	4	0.01	0.00
HNH <sub>4</sub> ( mg/100g )	12	0.67	0.16	9	0.45	0.12	4	0.61	0.20
KNH <sub>4</sub> ( mg/100g )	12	1.43	0.43	9	1.28	0.19	4	1.40	0.13
S <sub>2</sub> ( mg/100g )	12	0.93	0.46	9	0.81	0.43	4	1.25	0.58
Eh-5 mm ( mV )	9	-142	44	9	-85	32	4	-111	37
Eh-10 mm ( mV )	9	-175	37	9	-138	23	4	-174	84
Eh-15 mm ( mV )	9	-191	36	8	-155	52	4	-195	42

Table 2. The analysis of variance ( a ) and Duncan's multiple range test ( b ) of total phosphate concentration ( mg/100 g ) in sediment sampled from three kinds of prawn ponds ; *Penaeus monodon* ( M ), *P. japonicus* ( J ), and *P. penicillatus* ( P ) in I-Lan Hsien during 1988.

Source	(a)				(b)			
	DF	SS	MS	F	Duncan grouping	Adjust Mean	N	TRT
TREATMENT	2	0.3579	0.1789	5.36*	A A	0.881	4	P
ERROR	19	0.6638	0.0334		A	0.817	9	J
TOTAL	21	0.9917			B	0.582	9	M

Table 3. The analysis of variance ( a ) and Duncan's multiple range test ( b ) of redox potential ( mV ) at 5 mm depth of sediment in three kinds of prawn ponds ; *Penaeus monodon* ( M ), *P. japonicus* ( J ), and *P. penicillatus* ( P ) in I-Lan Hsien during 1988.

Source	(a)				(b)			
	DF	SS	MS	F	Duncan grouping	Adjust Mean	N	TRT
TREATMENT	2	14250	7125	4.86*	A A	-85	9	J
ERROR	19	27869	1467		AB	-111	4	P
TOTAL	21	42119			B	-142	9	M

Table 4. The correlation matrix of chemicals and redox potential of shrimp pond sediment sampled from I-Lan Hsien, Taiwan during 1988.

	COD	TN	TP	PO4	NO2	NO3	HNH4	KNH4	H2S	EH1	EH2	EH3	
TV	52	49	39	-03	38	55	20	08	40	42	43	-02	TV
	**	*	NS	NS	NS	**	NS	NS	*	*	NS	NS	
COD		23	42	49	08	55	10	22	29	56	52	17	COD
		NS	*	**	NS	**	NS	NS	NS	**	*	NS	
TN			-12	13	53	50	67	40	59	16	-29	-50	TN
			NS	NS	**	**	**	*	**	NS	NS	*	
TP				-04	-13	06	-13	-20	17	41	51	13	TP
				NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	
PO4					17	38	15	28	02	01	17	14	PO4
					NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
NO2						51	37	33	34	-41	-32	-46	NO2
						**	NS	NS	NS	NS	NS	*	
NO3							31	56	-43	21	27	-20	NO3
							NS	**	*	NS	NS	NS	
HNH4								27	44	-24	-30	-62	HNH4
								NS	*	NS	NS	**	
KNH4									20	-01	14	-42	KNH4
									NS	NS	NS	*	
H2S										-03	-10	-71	H2S
										NS	NS	**	
EH1											66	39	EH1
											**	NS	
EH2												31	EH2
												NS	
	COD	TN	TP	PO4	NO2	NO3	HNH4	KNH4	H2S	EH1	EH2	EH3	

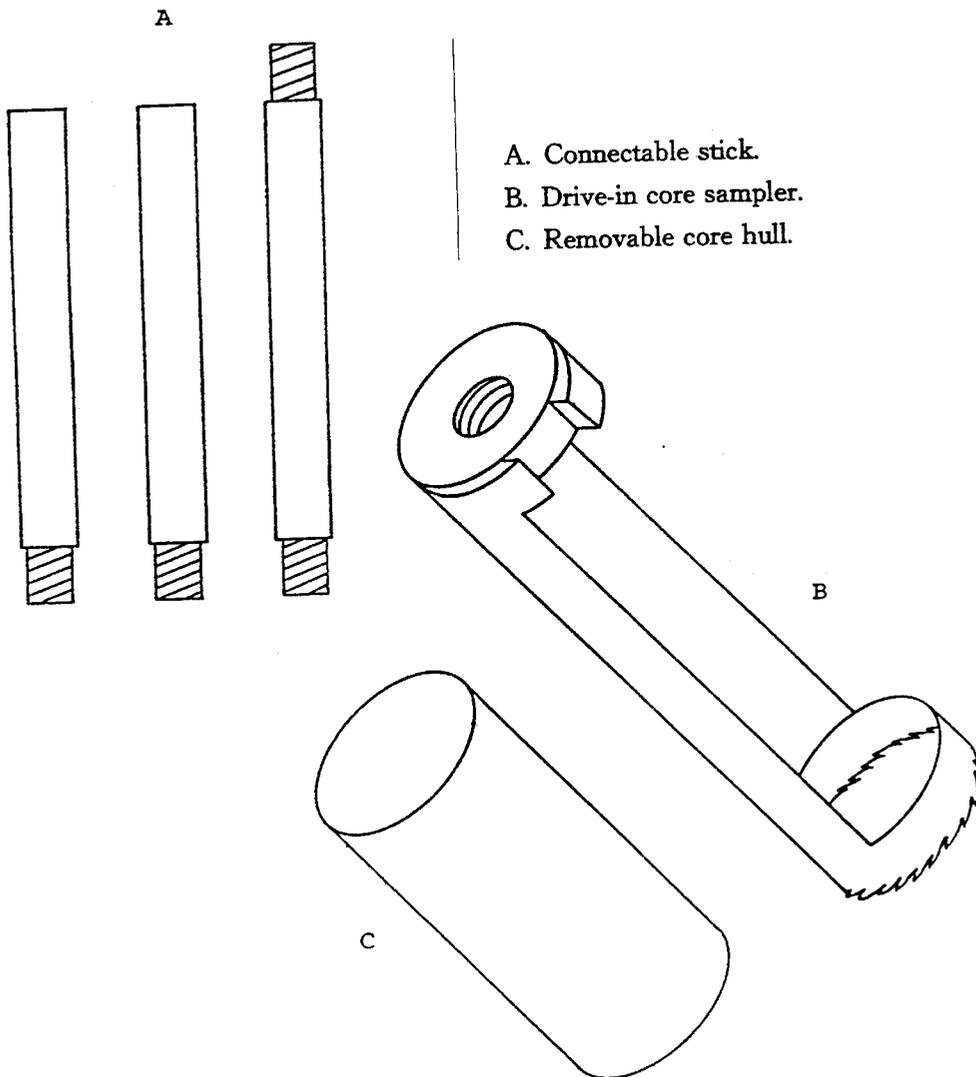
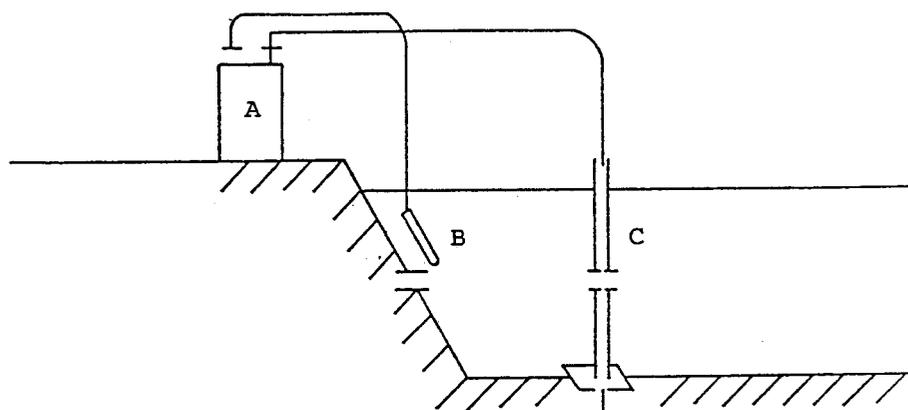


Fig. 1. A core sampler.



- A. Voltage meter.
- B. Reference cell.
- C. Extendable redox-potential measuring stick.

Fig.2. A reduction-oxidation potential measuring system with platinum probe to the positive and reference probe to the negative of the voltage meter.

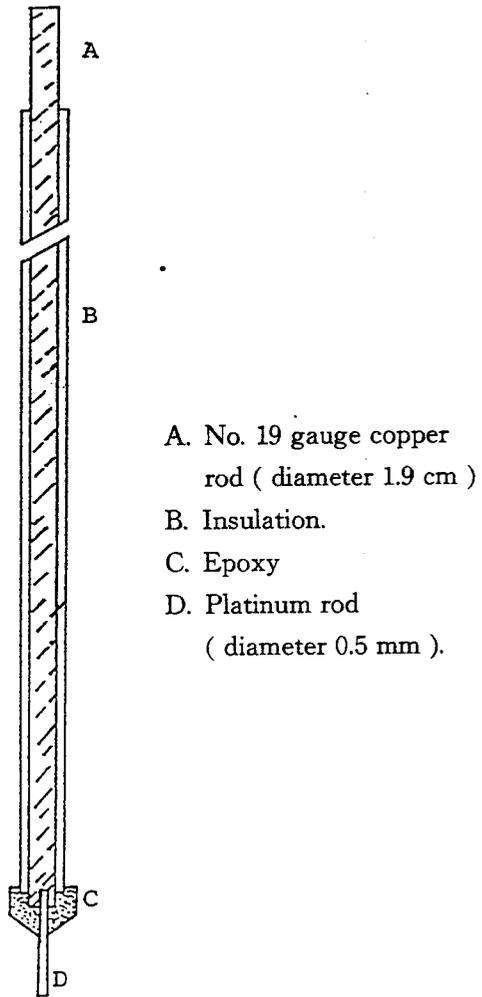


Fig. 3. A platinum reduction-oxidation potential measuring probe.

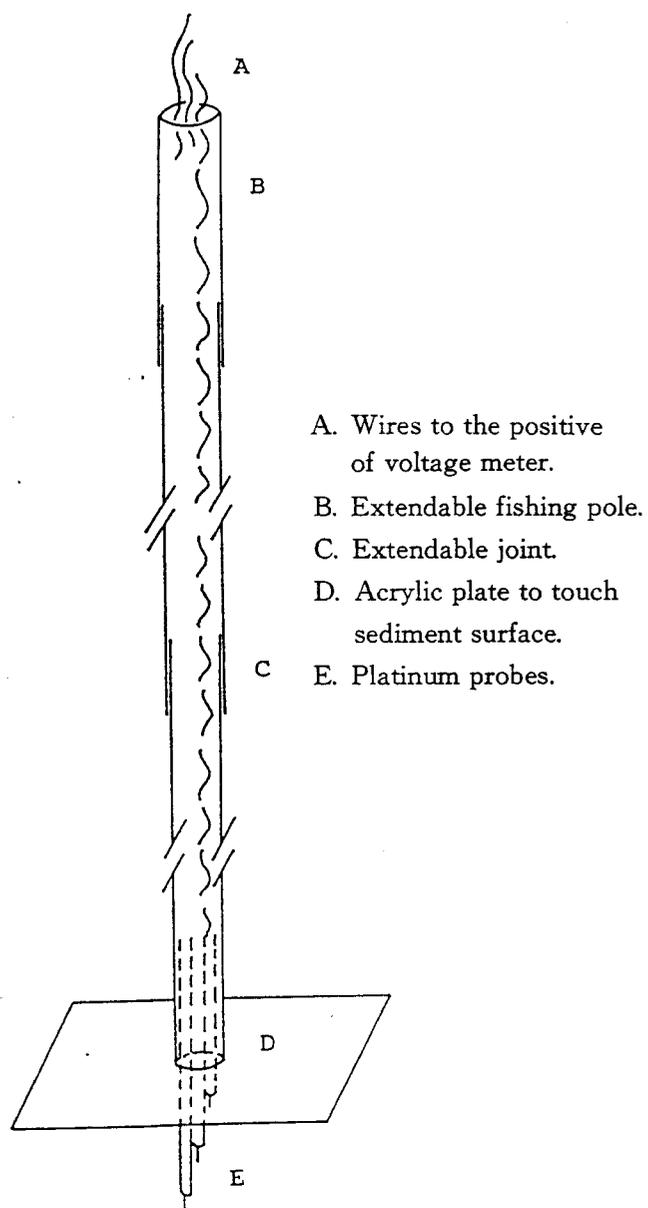


Fig. 4. An extendable reduction-oxidation potential measuring stick with probes at three sediment depths; 5, 10 and 15mm.

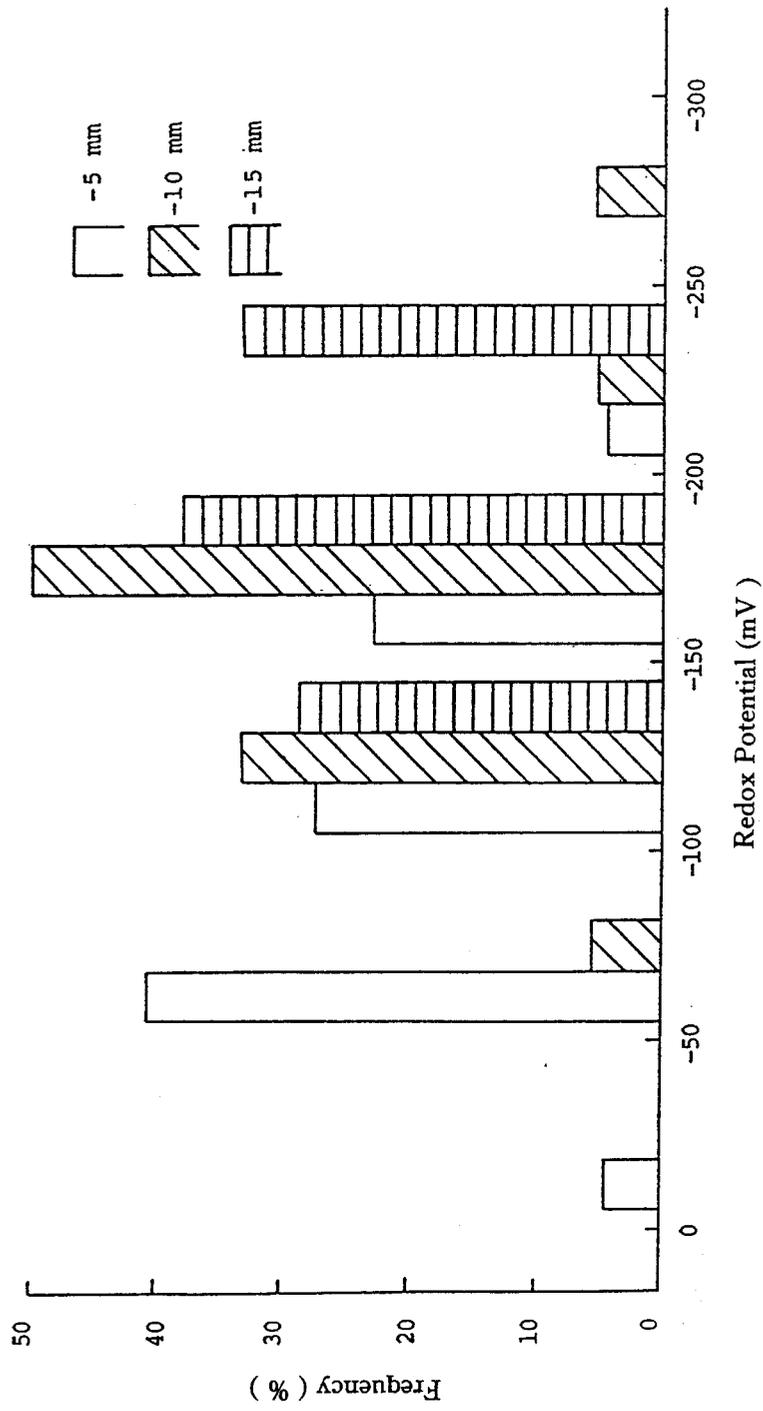


Fig. 5. The frequency distribution of redox potential ( Eh ) ( mV ) at 5, 10, and 15 mm depth of shrimp pond sediment in I-Lan Hsien.

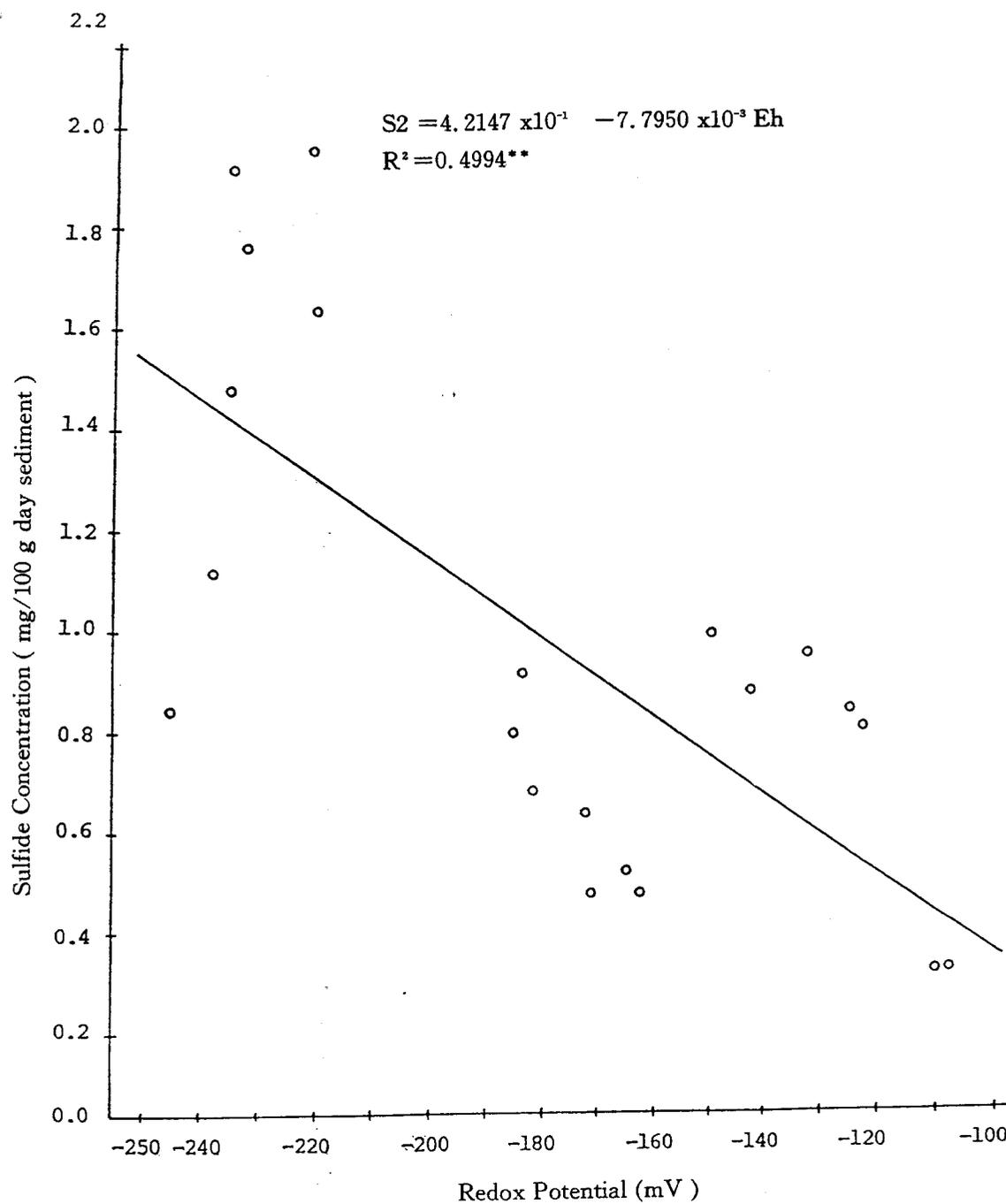


Fig. 6. The correlation between sulfide ( S<sub>2</sub> ) concentration ( mg/100 dry sediment ) and redox potential ( Eh ) ( mV ) at 15 mm

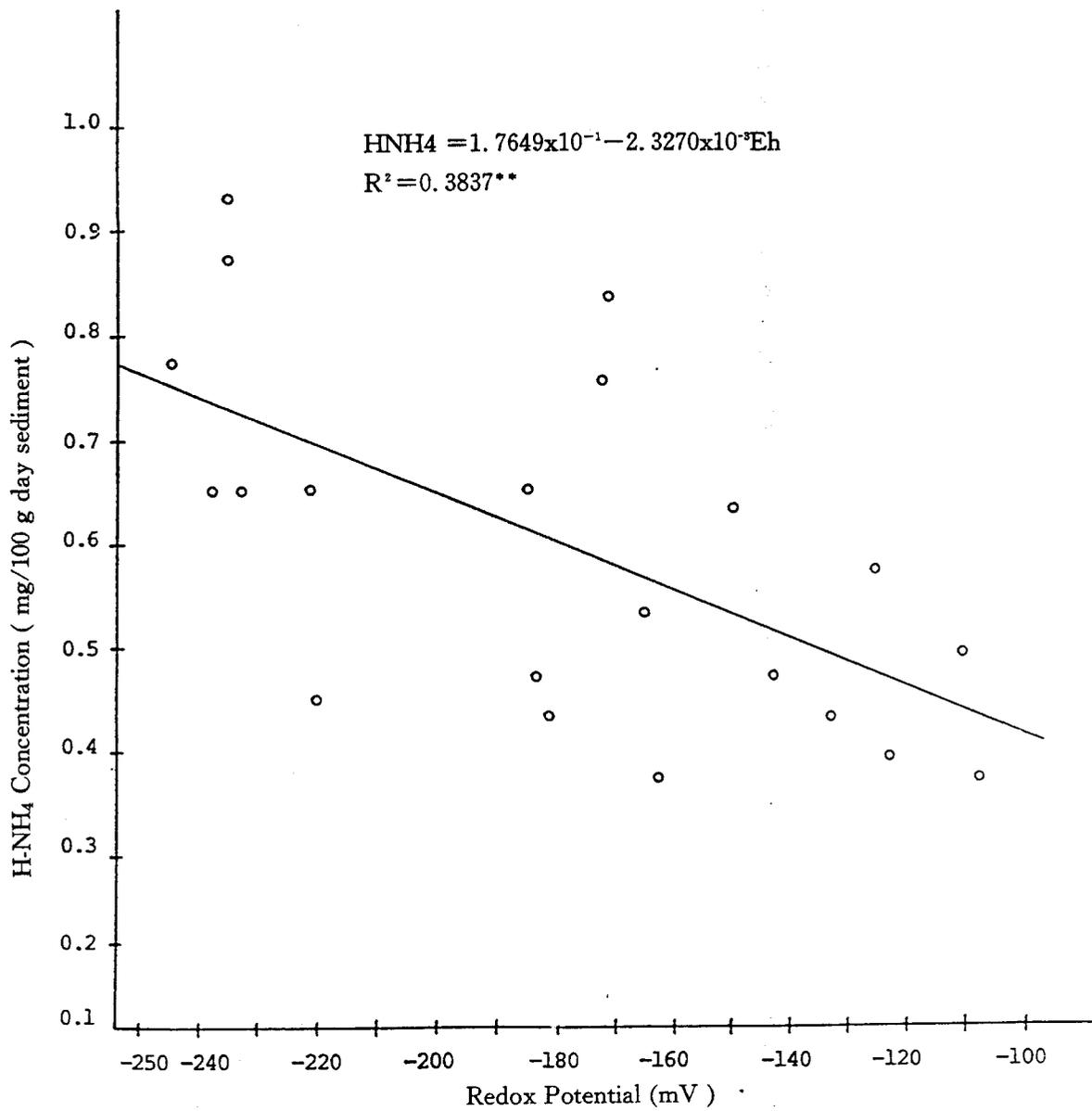


Fig. 7. The correlation between water soluble ammonia ( HNH<sub>4</sub> ) concentration ( mg/100 dry sediment ) and redox potential ( Eh ) ( mV ) at 15 mm depth of shrimp pond sediment in I-Lan Hsien.

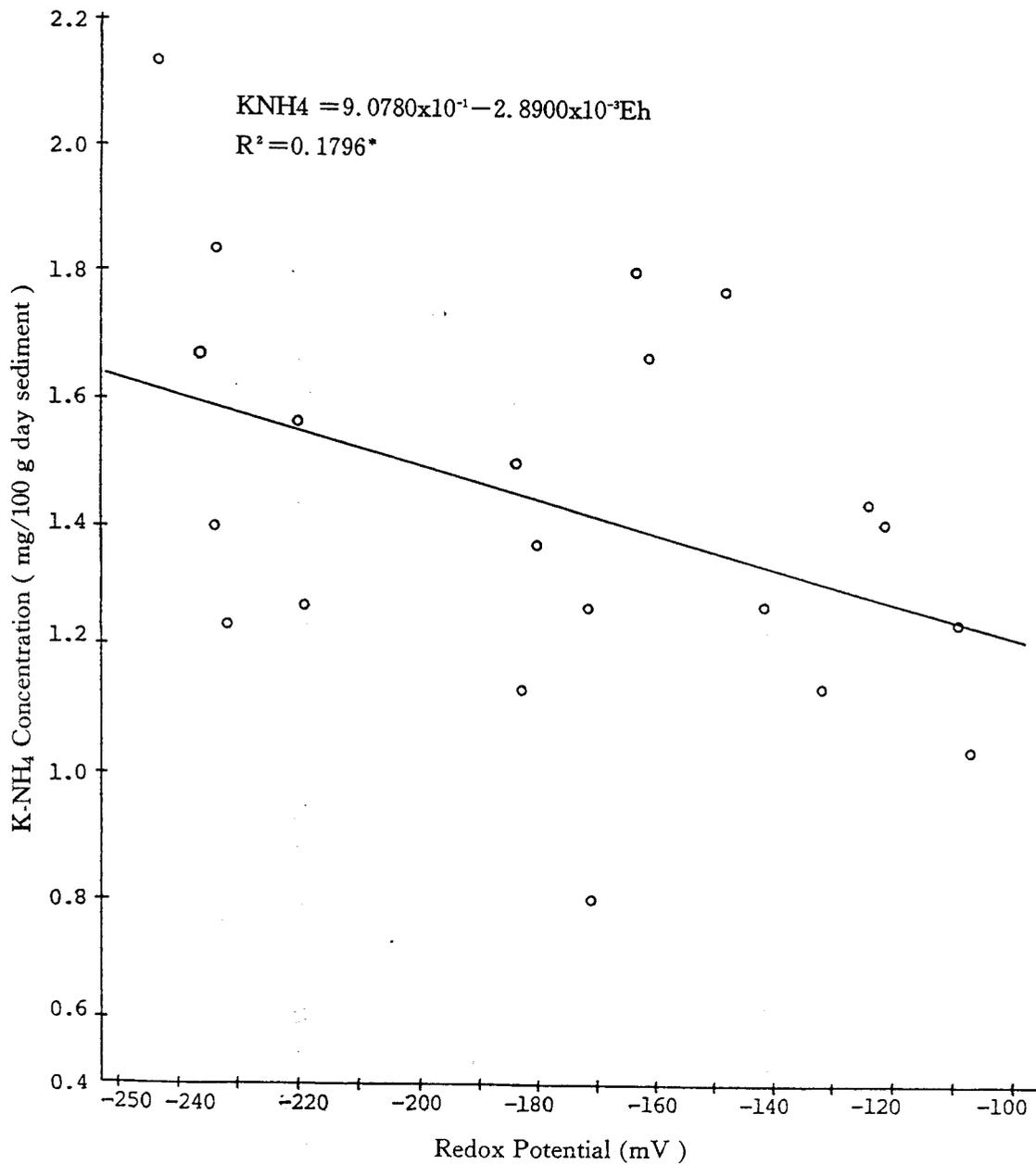


Fig. 8. The correlation between KCl-extractable ammonia ( KNH<sub>4</sub> ) concentration ( mg/100 g dry sediment ) and redox potential ( Eh ) ( mV ) at 15 mm depth of shrimp pond sediment in I-Lan Hsien.

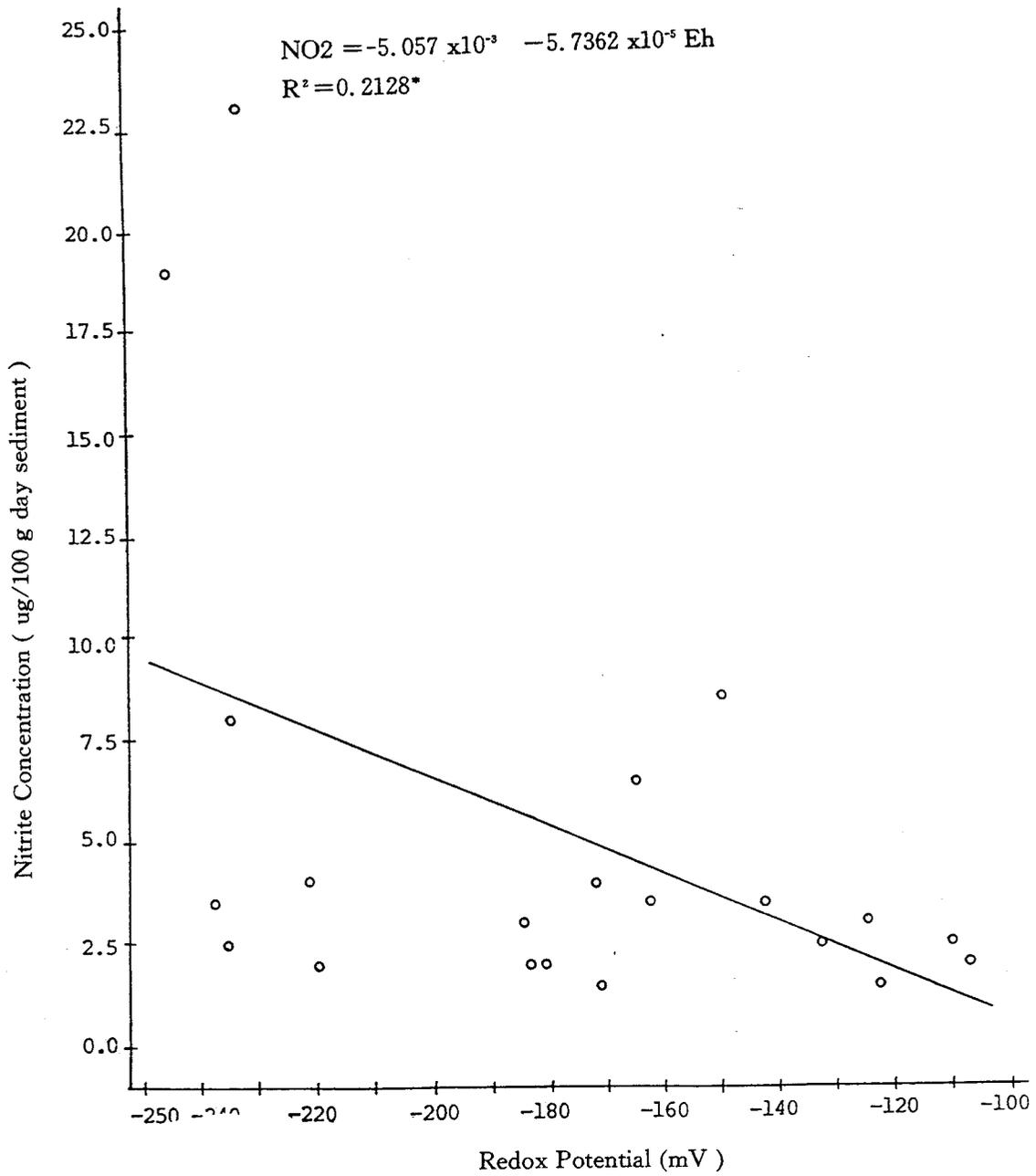


Fig. 9. The correlation between nitrite (  $NO_2$  ) concentration ( mg/100 dry sediment ) and redox potential ( Eh ) ( mV ) at 15 mm depth of shrimp pond sediment in I-Lan Hsien.

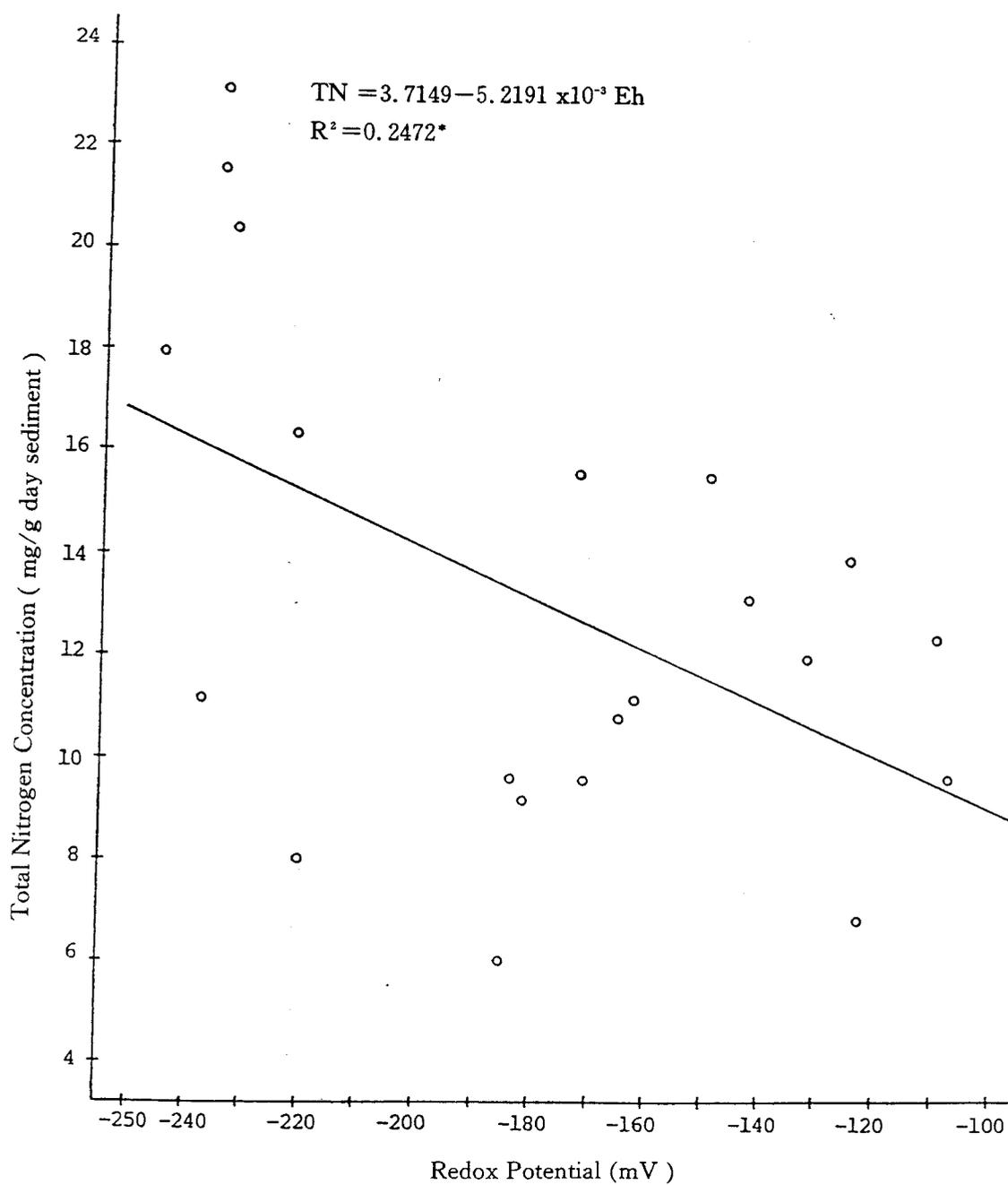


Fig. 10. The correlation between total nitrogen ( TN ) content ( mg/g dry sediment ) and redox potential ( Eh ) ( mV ) at 15 mm depth of shrimp pond sediment in I-Lan Hsien.