

台南關廟及苗栗白沙屯、貝類化石分類及碳 氧同位素研究

高中組地球科學科第二名

台北市立成功高中

作者：藍孝晉、何旻璟、劉又誠、蔡炎庭

指導教師：謝莉芬、孫虓天

一、研究動機

高一上地球科學課時，有一章是有關化石的介紹，老師告訴我們台灣大多屬於新生代的地層，可找到許多貝類化石，甚玉連至山都可見到，但因此處年代久遠，在地質作用之下，化石的保存情況並不佳。不過在台灣各地仍有不少地方（如台南關廟、苗栗白沙屯及恆春四溝等），有保存情況不錯的貝類化石，而且種類、數目都不少，於是我們產生了對研究化石及其與環境間關係的興趣，而展開了這次貝類化石的研究。

二、研究目的

1. 採集現生貝類與貝類化石，進行分類鑑定，並收集貝類生態、採集地點等相關資料，瞭解當時的生態、氣候及環境。
2. 從碳氧同位素的分析，瞭解該貝類化石生存時之氣候及生態環境的特徵環境，從而獲得台南關廟及苗栗白沙屯地區古生態、古氣候及古環境之資訊。

三、研究地點之地理、地質

(一)台南關廟

出關廟鄉市區往東在仰龍橋的南側100公尺以內，可見厚層泥岩，其底部未露出，露出的部份至少有30公尺。地面上有含密集*Turritella (Kuro-sioia) filioia* 化石標本的泥岩，其中並包含二枚貝、單體珊瑚、小型之扇貝，和蟹守螺等。該地出露的岩層屬於六雙層。

(二)苗栗白沙屯

白沙屯過港貝化石層位於苗栗縣的後龍溪與大安溪之間，露頭出現的位置約在通霄鎮白沙屯北方2公里左右，縱貫鐵路沿線的區域。

在地形上本區屬於台灣西部丘陵帶之西苗栗台地，在野外仍可看到一些

海階存在，說明本區是經過海底隆起的臺地。在地質上本區是屬於第四紀頭料山層之南窩段，主要由未固結的頁岩，砂質頁岩，砂岩及礫岩構成。

(三) 台南鯤鯓

在台南市安平新港附近鯤鯓的海灘上，常可見到大量出現*Turritella* (*Turritella*) *terebra* 的螺殼及其他現生貝類之分佈。

(四) 三芝淺水灣

搭乘新店客運之汽車到淡水，再轉淡水客運至三芝淺水灣。當地屬於岩礁環境，有許多現生貝類的存在，適合標本的採集，種類與數目均相當豐富。

四、軟體動物化石之研究

(一) 台南關廟

從所搜集有限的資料中，只有南二中(1991)從關廟至龍崎的地質考察介紹中，曾報導有許多*Turritella* (*Kurosioia*) *filiola* 及其他貝類化石之產生。

(二) 苗栗白沙屯

苗栗通霄地區富產貝類化石，日據時代曾有多位學者調查本區之貝類化石。之後亦有陳信茂(1977)、胡忠恆(1991)等本地學者研究通霄地區貝類化石之分類，其中陳信茂(1977)根據貝類之棲息深度推測南窩段之沈積環境為較深的淺海，依化石群生存的緯度判斷上新世一更新世頭料山層當時之氣候可能較現在寒冷，或有一古冷流通過本區。

另外彭宗仁(1989)、彭宗仁人等(1990)根據貝類化石的穩定碳氧同位素之研究，指出這些貝類化石過去是生活在開放性海洋的環境，而貝類化石中顯示著較重的氧同位素和較輕的碳同位素組成，這表示他們過去可能是生活在較冷的冰河期氣候環境；而經 ^{14}C 定年結果顯示過港貝化石層當時正處於更新世最後一次冰期。

五、碳、氧同位素之研究

在自然界中，氧有三種同位素： $^{16}\text{O}=99.763\%$ ， $^{17}\text{O}=0.037\%$ ， $^{18}\text{O}=0.1995\%$ ；而碳有二種穩定同位素： $^{12}\text{C}=98.89\%$ ， $^{13}\text{C}=1.11\%$ 。

貝類在生長的過程中，利用水中的離子來分泌碳酸鈣殼體。碳及氧原子在水體及貝類間的同位素分佈，隨水體的物理、化學狀況及分泌出的礦物相之平衡反應而不同。此外，某些生物的生理過程亦會造成影響。

影響貝類殼體氧同位素的主要原因為水體的溫度：水溫高，氧的同位素值相對較低；另一原因是所生存環境之水的氧同位素組成：所以貝類生物若生活陸上淡水環境，就會形成含較輕氧同位素組成的殼體。而影響碳同位素組成之因素，主要是生理因素，並與殼體與大氣、海洋中二氧化碳的交換作用，以及海水中有機碳含量的變化有關，溫度則對碳同位素組成的效應很小。在陸地上淡水環境中貝殼或水中的碳同位素值較低，即含較輕之碳同位素。

六、研究材料與方法

(一)標本之採集：

(二)標本之處理：

(三)標本之分類與鑑定：

(四)碳、氧同位素之處理與方法：

1.前處理：

(1)將標本置於超音波震盪器震動貝殼。目的是把貝殼表面及內部未能洗淨的砂石清除。

(2)再以烤箱烘乾，乾燥的貝殼標本泡於鹽酸中進行過酸，以去除貝殼上的角質和珧瑯質，但要注意貝殼是碳酸鹽類，置於酸中會被分解，故浸泡時若鹽酸濃度過高，或浸泡太久，都可能會使貝殼變成一堆氣泡。

(3)自鹽酸取出後用去離子水沖洗，接著浸入漂白水，漂白水含次氯酸鈉(NaClO)，可以去除貝殼上的有機質。取出以後仍要以去離子水沖洗。

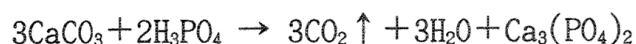
2.純化及收集CO₂

(1)將清洗乾淨的標本烘乾，加以搗碎，以球磨機磨成更細的粉末。

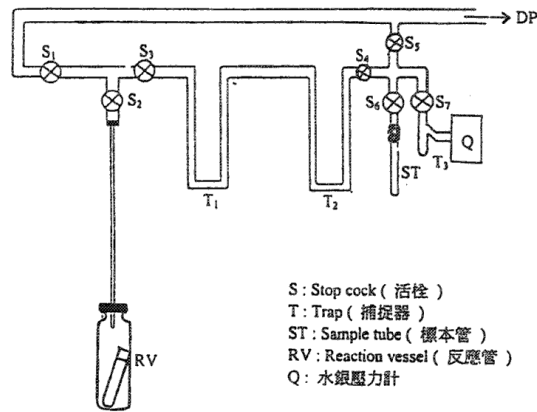
(2)將磨成的粉末以微量天平各量取近10毫克的量，分別放入反應管中。

(3)另取標準樣HN、Merk(藥廠提煉的碳酸鈣)、MBS(海洋性軟體動物的碳酸鈣)及NTU96 HC-1(實驗室的珊瑚碳酸鈣)各約10毫克，放入反應管中。

(4)將約1~2毫升，100%的磷酸盛於小試管中，放入放有標本粉末的反應管中(粉末切不可接觸到磷酸)，把管口用矽膠完全封閉，再將管瓶內抽成真空(在抽氣的同時用熱水加熱反應管可幫助磷酸中的氣體抽出)，將真空的反應管放入50°C的水域，待其至50°C時，將管倒置於水域中使其反應，反應式如下：



(5)抽氣體(圖一)：



圖一 真空系統管路

3. 質譜儀分析：

本研究實驗使用中央研究院地球科學所之V.G.SIRA-10型比值質譜儀來測定已收集好之CO₂氣體。質譜儀所測得的同位素比值，通常是以樣品與標準間的差質來表示，並以δ來代表這個差質，其定義用數學式表示為：

$$\delta^{18}\text{O} = \left[\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{樣品}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{標準}}} - 1 \right] \times 1000$$

$$\delta^{13}\text{C} = \left[\frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{樣品}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{標準}}} - 1 \right] \times 1000 \quad \text{其單位為}\text{‰} \text{ (per mille)}$$

若δ值為正，表示標本之同位素比值較標準樣品重，也就是標本中重的同位素（如¹³C、¹⁸O）較多。

4. 數據處理：

由質譜儀分別測得每個CO₂標本之⁴⁵δ(CO₂)及⁴⁶δ(CO₂)，經由連結質譜儀之電腦，換算成相對於PDB (Pee Dee Belemnite 國際標準碳酸鹽) 的δ¹³C和δ¹⁸O值。

七、結果與討論

(一) 貝類的分類鑑定

(二) 碳、氧同位素之分析

1. 選擇作為碳氧同位素分析之殼體條件：(1)在台南關廟及苗栗白沙屯中均有同種標本的產出，(2)標本數目較多、個體較大，可獲得足夠之粉末。
2. 全殼分析的研究，代表這些貝類在生命史中，氣候、環境對其影響的平均結果。
3. 標本CO₂的產率數據中，加入乾冰後氣體微莫耳數較加入乾冰前為大。但理論上，加入乾冰抽取其中水汽，則測得的微莫耳應變少，可能因水銀氣

壓計老舊造成的誤差，及加入乾冰前後相對標準之不同所致。

4. 關於碳、氧同位素分析的精確度：

本研究之碳氧同位素分析實驗，每次取出重量約十毫克的標本，每個標本重覆分析二次，質譜儀之系統誤差在0.05 ‰以內，所得結果偏差都0.1 ‰以內。

爲了校正系統上所產生的誤差，每次實驗均使用四種已知碳、氧同位素值的標準樣本，分別爲HN、Merk、MBS、NTU96 HC-1隨同貝類粉末標本一起分析。質譜儀所分析之結果是使用上述四個標準樣本進行校正。

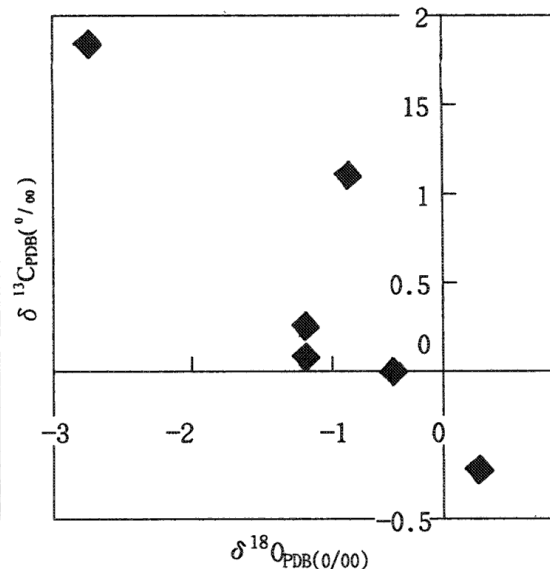
5. 碳、氧同位素分析之結果：

台南關廟、苗栗白沙屯及恆春四溝貝類化石之碳、氧同位素分析結果列於表一， $\delta^{13}\text{C}$ 對 $\delta^{18}\text{O}$ 之作圖繪於圖二。台南關廟斧足類(*Trisides tortuosa*)之 $\delta^{13}\text{C}$ 爲1.9 ‰， $\delta^{18}\text{O}$ 爲-2.7 ‰；腹足類(*Niotha gemmulatus*)之 $\delta^{13}\text{C}$ 分別爲0 ‰、0.1 ‰， $\delta^{18}\text{O}$ 均爲-1.2 ‰。苗栗白沙屯斧足類(*Triside tortuosa*)之 $\delta^{13}\text{C}$ 爲1.1 ‰， $\delta^{18}\text{O}$ 爲-1.1 ‰；腹足類(*Niotha gemmulatus*)之 $\delta^{13}\text{C}$ 爲0 ‰， $\delta^{18}\text{O}$ 爲-0.5 ‰。另外恆春四溝腹足類(*Niotha gemmulatus*)之 $\delta^{13}\text{C}$ 爲-0.3 ‰， $\delta^{18}\text{O}$ 爲0.4 ‰。

表一 貝類化石的碳氧同位素結果

		$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}(\text{‰})$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}(\text{‰})$
	MBS	2.05	-1.20
A	Trisides關廟	1.9	-2.7
B	Niotha苗栗♀	0	-0.5
C	Niotha四溝♀	-0.3	0.4
D	Niotha關廟♀	0	-1.2
E	Niotha關廟♂	0.1	-1.2
F	Trisides苗栗	1.1	-1.1

圖二 貝類化石的碳氧同位素結果

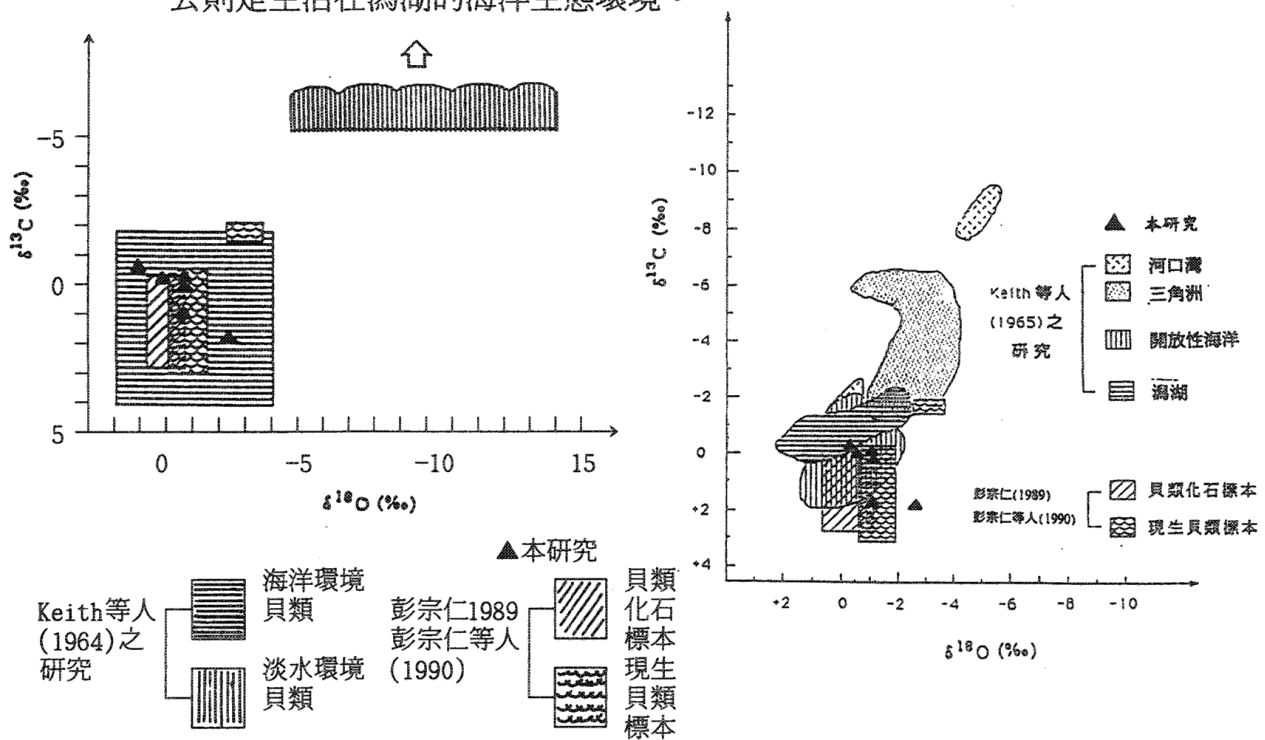


6. 生長環境之推測：

由圖三與Keith等人(1964)之研究作比較，說明了台南關廟、苗栗白沙屯、恆春四溝內之貝類化石，過去是生活在海洋環境中；其中也與彭宗仁(1989)、彭宗仁等人(1990)對過港貝化石層之研究相符。

將本研究所分析之化石結果與Keith等人(1965)及彭宗仁(1989)、彭

宗仁等人(1990)比較(圖四)，也顯示出台南關廟、苗栗白沙屯之貝類化石，過去是生活在屬於開放性的海洋生態環境。恆春四溝內之貝類化石，過去則是生活在瀉湖的海洋生態環境。

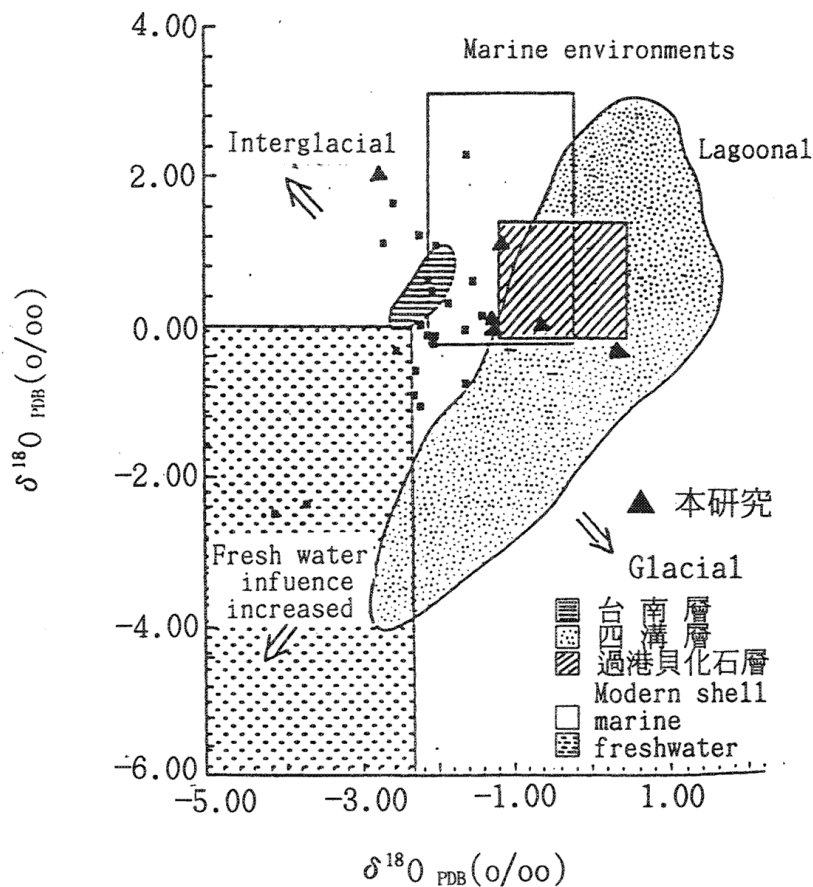


圖三 本研究之化石碳、氧同位素分布和Keith等人(1964)及彭宗仁(1989)、彭宗仁等人(1990)的研究比較圖

圖四 本研究之化石碳、氧同位素分布和Keith等人(1965)彭宗仁(1989)、彭宗仁等人(1990)的研究比較圖

另外，比較本研究與台南層、四溝層及過港貝化石層中貝類化石之碳氧同位素(圖五)，亦可顯示台南關廟、苗栗白沙屯、恆春四溝內之貝類化石，過去是生活在海洋性的環境。其中，苗栗白沙屯的二個標本之碳、氧同位素，皆落在彭宗仁(1989)、彭宗仁等人(1990)研究苗栗白沙屯過港貝化石層內軟體動物化石之碳、氧同位素的分布範圍內(圖三、四、五)，我們的結果與它們的研究結果一致。恆春四溝標本碳、氧同位素是落在Keith等人(1965)研究結果之瀉湖環境中(圖四)，台灣亦有學者從事四溝層軟體動物化石之碳、氧同位素的分析，其分布範圍如圖五，本研究之貝類化石亦在該區域內，與其研究結果無誤，均屬於瀉湖之環境。此外，台南關廟腹足類的二個標本，其碳、氧同位素值皆非常靠近，落在Keith等人(1965)研究之開放性海洋環境中，並且也都非常靠近彭宗仁(1989)、彭宗仁等人(1990)研究苗栗白沙屯過港貝化石層的範圍，另外也接近四溝層瀉湖的範圍，另外也接近四溝層瀉湖的範圍。台南關廟這

兩個 *Niotha gemmulatus* 比其他苗栗白沙屯、恆春四溝內之貝類化石具較輕的氧同位素，顯示其較受到淡水的影響，或因生存期間溫度較高。上述這些結果與我們查得的地層資料：六雙層為瀉湖—河灣相的沿岸環境吻合。較為特別的是斧足類的標本，雖仍位於海洋的環境中，但可能因氣候的條件，而未落在Keith等人(1965)的研究範圍中；另外，一般斧足類是行居住生活，或許此標本因活動的因素，而受到淡水的影響。而從此標本在圖五的碳、氧同位素的位置，代表它在生長期間可能經歷溫度較高的古氣候環境，並受到淡水較多的影響。



圖五 本研究之化石與台南層、四溝層及過港貝化石層的碳、氧同位素比較圖

7. 古氣候之推測：

本研究之化石標本，除了台南關廟之 *Trisides tortuosa* 之外，其他有較重的氧同位素值及較輕的碳同位素值。

由所搜集的資料得知：較重的氧同位素組成記錄，表示這些化石標本過去是生活在較低的溫度，或是較重氧同位素的水域環境。海水中碳同位素的形成，主要受到大氣與海洋中 CO_2 的交換作用，和海水中有機碳含量的變化所影響。較重的氧同位素值及較輕的碳同位素組成，亦可說明他們

過去是生活在較冷的冰河期古氣候環境。

所以由碳、氧同位素的分析，可以說明台南關廟、苗栗白沙屯、恆春四溝的*Niotha gemmulatus*及苗栗白沙屯*Trisides tortuosa*，過去是生活於較冷的冰河期古氣候中；而恆春四溝的*Niotha gemmulatus*生活的溫度較其他更低，台南關廟*Niotha gemmulatus*生活的溫度較其他稍高。另外台南關廟*Trisides tortuosa*有較輕的氧同位素值及較重的碳同位素值除了先前提到可能受淡水的影響之外，也顯示其處於溫度較高的古氣候環境中。我們認為受到溫度的影響可能較大在圖四中此數據是落在右下方，若受到較多淡水的影響，其應該接近圖之上方，而在圖五中此數據是落在左上方，若受到較多淡水的影響，其應該接近圖之下方。

8. *Niotha gemmulatus* ♂、♀產自於台南關廟相同的地點所以可以比較性別的碳、氧同位素值之差異。分析的結果顯示*Niotha gemmulatus* ♂的 $\delta^{13}\text{C}$ 為0.1 ‰、 $\delta^{18}\text{O}$ 為-1.2 ‰，而*Niotha gemmulatus* ♀的 $\delta^{13}\text{C}$ 為0 ‰、 $\delta^{18}\text{O}$ 亦為-1.2 ‰，顯示性別對碳氧同位素並無影響。
9. 雖未到恆春四溝採集標本，但利用地科老師大學時採集的*Niotha gemmulatus*標本，與台南關廟、苗栗白沙屯的*Niotha gemmulatus*，一起來探討同種的化石在三個地區之碳、氧同位素值。共四個標本，其 $\delta^{13}\text{C}$ 的範圍-1.3~0.1 ‰、 $\delta^{18}\text{O}$ 介於-1.2 ‰~0.4 ‰之間，差異皆小，代表*Niotha gemmulatus*在三個地區生活的環境皆非常類似，不因地點不同而有影響。此外，也可看出每一種生物皆有其固定的生活習性。其中恆春四溝層的標本 $\delta^{18}\text{O}$ =0.4 ‰較大，可能與其過去生活在潟湖，而且溫度較低的環境中有關。

八、結 論

1. 台南關廟貝類化石腹足綱有12科23屬24種、斧足綱有6科10屬10種，共計18科33屬34種，其中有二種未能查出其科名；苗栗白沙屯貝類化石腹足綱有7科10屬10種、斧足綱有8科11屬14種，共計15科21屬24種。台南鯤鯓現生貝類腹足綱有2科2屬2種、斧足綱有8科16屬19種，共計10科18屬21種；三芝淺水灣現生貝類腹足綱有20科37屬59種、斧足綱有15科23屬28種，共計35科60屬87種。
2. 台南關廟腹足類之鑽孔率為7.00%，斧足類之鑽孔率為9.38%，所有標本之鑽孔率為7.13%；苗栗白沙屯腹足類之鑽孔率為16.67%，斧足類之鑽孔率為0.00%，所有標本之鑽孔率為14.71%；台南鯤鯓腹足類之鑽孔率為52.00%，斧

足類之鑽孔率為22.31%，所有標本之鑽孔率為27.40%；三芝淺水灣腹足類之鑽孔率為11.79%，斧足類之鑽孔率為20.71%，所有標本之鑽孔率為14.76%。台南關廟和三芝淺水灣採集的標本數較多，可以看出斧足類的鑽孔率大於腹足類之鑽孔率，其原因可能為斧足類大多棲習於海底，活動力較弱，易被其他生物攻擊。

3. 根據化石的穩定同位素資料，台南關廟的貝類化石，過去是生活在潟湖-河灣的沿岸環境、苗栗白沙屯的貝類化石，過去是生活在開放性的海洋環境；但恆春四溝標本的結果，則顯示過去是生活在潟湖的環境中。
4. 台南關廟、苗栗白沙屯，以及恆春四溝的*Niotha gemmulatus*皆是較重的氧同位素和較輕的碳同位素的組成，這表示它們過去可能是生活在較冷的冰河期古氣候環境，其中恆春四溝的化石過去生活溫度為最低，台南關廟的化石生活的溫度稍高。而台南關Trisides *tortuosa*則有著較輕的氧同位素及較重的碳同位素組成，再加上*Niotha gemmulatus*的碳氧同位素值的資料，是否可代表其過去生活屬於較溫暖的間冰期古氣候環境而非冰河期中溫度稍高的情形，則須更多的數據予以確定。
5. 由台南關廟*Niotha gemmulatus* ♂、♀的資料顯示，性別對碳、氧同位素並無影響。
6. 台南關廟、苗栗白沙屯，以及恆春四溝的*Niotha gemmulatus*，它們的碳、氧同位素值差異皆小，代表它們在三個地區生活的環境皆非常類似，不因地點不同而有影響，也可看出每一種生物皆有其固定的生活習性。

九、參考文獻

1. 南二中：1991，關廟，龍崎，旗山，岡林，大坑尾，虎頭碑，菜寮，玉井，曾文水庫地資簡介：台灣省立台南第二高級中學，158頁。
2. 胡忠恆：1991，苗栗縣通霄鎮頭窩及白沙屯通霄層(更新世)軟體動物化石：台灣貝類化石誌，第一卷、第三冊，175-314頁，國立自然科學博物館。
3. 胡忠恆、陶錫珍：1991，恆春半島恆春西台地四溝層(更新世)軟體動物化石：台灣貝類化石誌，第一卷、第四冊，175-314頁，國立自然科學博物館。
4. 澎湖群島動物化石專集：137頁，澎湖縣立文化中心。
5. 澎湖群島彩色貝類圖鑑：157頁。
6. 台灣現生貝類彩色圖鑑：483頁。
7. 陳信茂：1977，苗栗通霄地區貝類化石之研究：中國貝誌，4，63-78頁。

8. 陳華玟：1987，台灣南部恆春半島晚更新世四溝層軟體動物化石古生態學研究：國立台灣大學地質學研究所碩士論文，1-85頁。
9. 彭宗仁：1989，苗栗白沙屯過港貝化石層內軟體動物化石之碳氧同位素研究：國立中山大學海洋地質研究所碩士論文，75頁。
10. 彭宗仁、汪中和、陳鎮東：1990，苗栗白沙屯過港貝化石層內軟體動物化石之碳氧同位素研究；經濟部中央地質調查所特刊第四號，307-322頁。
11. 蔡佩珊：1993，台南地區全新世貝類化石之碳氧同位素研究：國立台灣大學地質學研究所碩士論文，83頁。
12. 地球科學系：1987，台灣北部十條地質實習路線沿線地質簡介。
13. 地球科學系：1989，台灣中部十條地質實習路線沿線地質簡介。
14. 地球科學系：1990，台灣南部十條地質實習路線沿線地質簡介。

評 語

本作品探討台南關廟及苗栗白沙屯貝類化石之分類及碳氧同位素，作者親自赴野外採樣使用號鑑查明化石科屬並抽取化石中之CO₂送請中研院地球所代為分析 $\delta^{18}\text{O}$ 及 $\delta^{13}\text{C}$ 。然後作者探討不同貝類之生活環境，本作品富有創意，作者共四人富有團隊精神，本作品研究過程正確收集之豐富，作者表達能力甚佳。