

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 地球科學科

佳作

080503

真「象」原來如「齒」－澎湖水道動物群古菱
齒象牙齒化石探索

學校名稱：臺南市東區勝利國民小學

作者： 小五 陳敬安 小五 楊孟哲	指導老師： 鄭茜文 陳聰智
-------------------------	---------------------

關鍵詞：古菱齒象、牙齒化石、澎湖水道

摘要

化石在地球上是非常珍貴的寶藏，特別是大型脊椎動物的化石。我們以澎湖水道動物群的古菱齒象為科展主題，通過比較觀察古菱齒象的牙齒化石形態特徵，特別是齒面、齒板，發展出了可以簡單量測齒板厚度、間隔距離、齒板密度，結合觀察並判斷其是古菱齒象的方法。我們希望了解化石是怎麼形成的，通過進行埋藏實驗，探索化石埋藏的環境（熱帶淺土、深土、淺水、深水）及埋藏的深度對樣品保存的影響，並培養和觀察起主要分解作用的生物。我們實驗發現在熱帶環境要形成化石極其困難，深水的環境比較有利生物樣品的保存。我們非常好奇巨大的古象 1 萬多年前還有，為什麼隨後它們會滅絕？我們最後討論古象的滅絕和全球環境氣候變遷可能存在的關係。

壹、研究動機

在台中科博館的穿堂，有一個巨大的大象化石模型，解說員說它是來自澎湖水道的古菱齒象，現在已經滅絕。神奇的是 1 萬多年前古菱齒象還存在，可惜在化石模型上我們看不到它的牙齒。因為科普活動，我們在梁子儀、王良傑二位化石達人的收藏品中看到巨大、精美的古象牙齒化石，讓我們驚嘆！原來不同種類的古象的牙齒是不同的，特別是齒面、齒板各有特色，我們可以通過觀察古象牙齒的形態特徵，去判斷出所看到的牙齒化石是來自哪一類古象。我們特別有興趣通過觀察古菱齒象的牙齒化石，並與台灣另外一大類較常見的古象—猛獁象的牙齒化石比較，發展出可以簡單量測、結合觀察，就能判斷是哪一大類古象的方法。我們對於化石是怎麼形成的，為什麼化石是很珍貴的也非常好奇。我們非常想了解這大類巨大的古象在 1 萬多年前還存在，為什麼隨後它們會滅絕？它們的滅絕和全球環境氣候變遷有什麼關係？帶著這些問題，我們決定以澎湖水道動物群的古菱齒象為科展主題，展開我們的研究。

貳、研究目的













- 一、瞭解澎湖水道的古環境和氣候變遷。
- 二、認識猛獁象和古菱齒象的形態和區別。
- 三、透過觀察古菱齒象的牙齒化石形態特徵，並比較猛獁象牙齒化石，建立鑑別古象牙齒及種類的數字量化的科學方法。

四、化石保存的環境及埋藏實驗研究（探討分解生物、埋藏深度、和埋藏環境）。

五、冰地球和全球暖化：探討二氧化碳濃度對大氣溫度的影響實驗研究。

參、研究設備及器材

表 1 研究實驗器材

器材名稱	功能	工具圖片	器材名稱	功能	工具圖片
尺	量測化石長度		鐵盤	盛放樣品	
磅秤	量測樣品重量		鏟子	挖掘埋藏樣品與移除土壤雜草	
標籤紙	標示樣品		手套	實驗操作保護	
夾鏈袋	盛放樣品、製造密閉環境		牙刷	清洗樣品	
魚線	連接樣品網袋，方便追蹤挖掘		網袋	放置樣品用於埋藏、風乾實驗樣品	
培養皿	盛放 LB 培養基用於培養分解微生物和蛆		挖匙	土壤取樣	





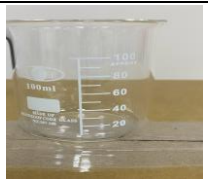

器材名稱	功能	工具圖片	器材名稱	功能	工具圖片
定量移液管	量取逆滲透滅菌水		滅菌微量吸管尖	採裝樣本	
試管架	安放試管		酒精燈	高溫消毒、製造樣本與試管周邊無菌環境	
溫度計	量測溫度變化		燒杯	盛裝實驗溶液	
手機	拍照、紀錄實驗過程與結果				

表 2 研究使用材料

使用材料	用途	照片	使用材料	用途	照片
鴛鳥頸骨	帶肉骨頭樣品用作埋藏實驗		豬枝骨	去肉骨頭樣品用作埋藏實驗	
檸檬酸	製作二氧化碳氣體		小蘇打	製作二氧化碳氣體	
滅菌逆滲透水	溶解土壤用來培養分解微生物和蛆				

肆、研究過程或方法

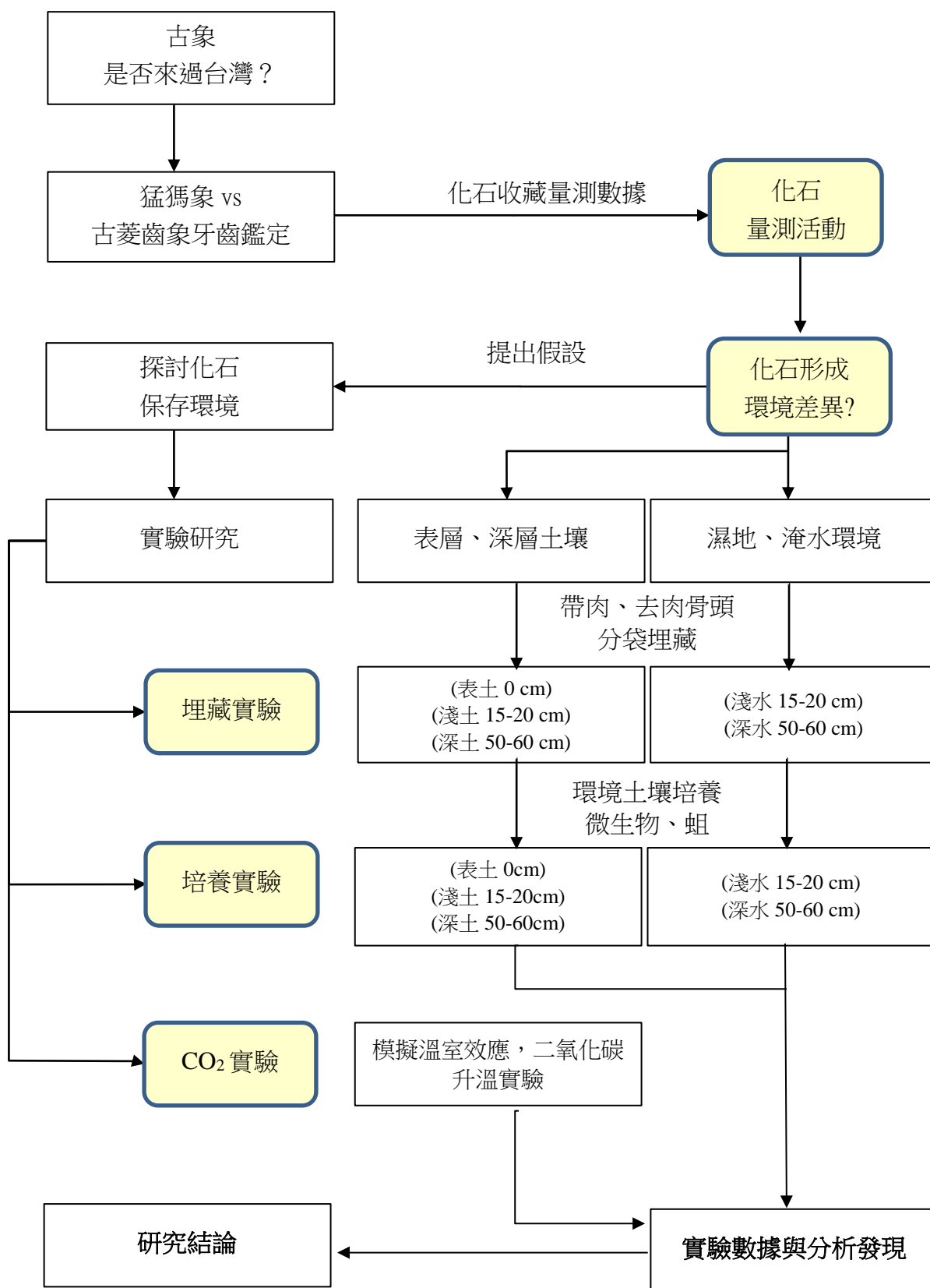


圖 1 研究流程圖

伍、研究結果

【研究一】認識澎湖水道的古環境和氣候變遷

一、什麼是澎湖水道？

澎湖水道是位於澎湖群島和台灣西南沿岸間的海谷。因為南中國海水的移動沖刷，具有強烈的侵蝕和堆積作用，形成南深北淺，總長約 200 公里，谷深約 40-200 公尺的水道。

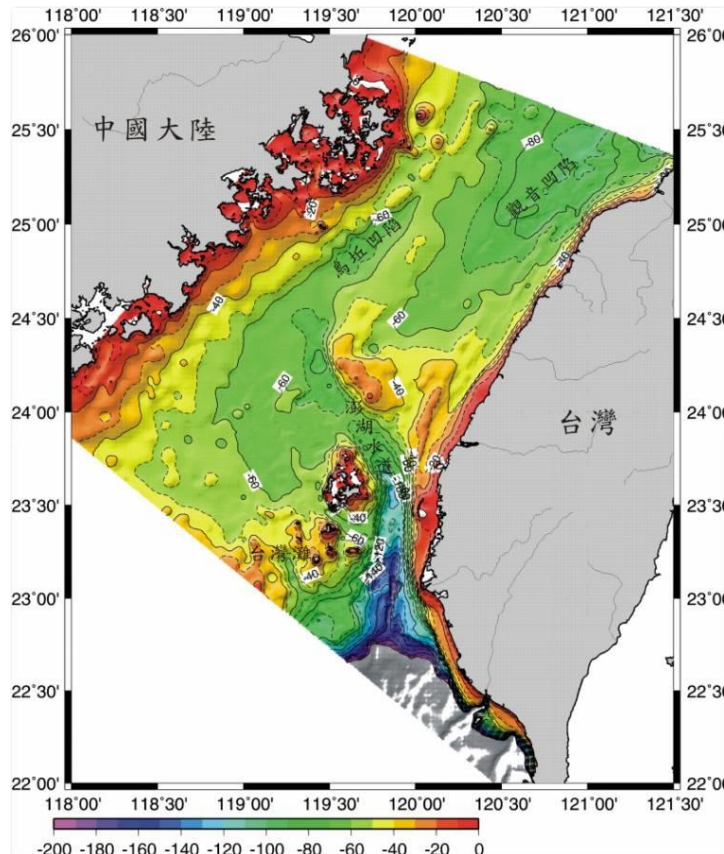


圖 2 澎湖水道位置地形圖

二、澎湖水道的古環境和氣候變遷

地球上有一段時間，大約是 258 萬年到 11700 年前，地質學家把它命名為更新世。那時候，地球處於冰期，多次海水結冰，導致海平面下降，台灣海峽隨之變成了陸橋，成為中國大陸北部的動物南遷到台灣的通路。

冰河期，冰消融前：在更新世 11 萬年前到 11700 年前，地球處於末次冰河時期，因為海水結冰，海平面下降。台灣海峽變成陸橋，出現了草原和沼澤地。天氣嚴寒，取得食物很困難，許多巨型哺乳動物群由中國大陸北部向南部遷移，尋找比較溫暖有食物的地方，來到了成為陸橋的台灣海峽生活。**冰河期結束，冰消融：**11700 年前，冰河逐漸

結束，海平面上升。陸橋消失，草原和沼澤地的生存環境消失。氣候與環境的劇烈改變，可能是大量的巨型哺乳動物死亡滅絕的重要原因之一。許多動物遺體被快速的埋進沼澤、土壤和氧氣稀少的水道裡面，經過超過一萬年的時間，形成了珍貴的化石。



冰河期，冰消融前



冰河期結束，冰消融

圖 3 氣候變遷過程澎湖水道變化圖

【研究二】大象的演化與變遷

一、大象的演化

查看大象的演化資料，我們了解到大象屬於長鼻目的哺乳動物，先由嵌齒象（*Gomphotherium*）開始，距今大約 550 萬左右演化出原今象（*primelephas*），隨後演化出非洲象（*Loxodonta africana*），在 200 萬到 10 萬年間演化出猛獁象（*Mammuthus*）、古菱齒象（*Palaeoloxodon*）和亞洲象（*Elephas maximus*）。

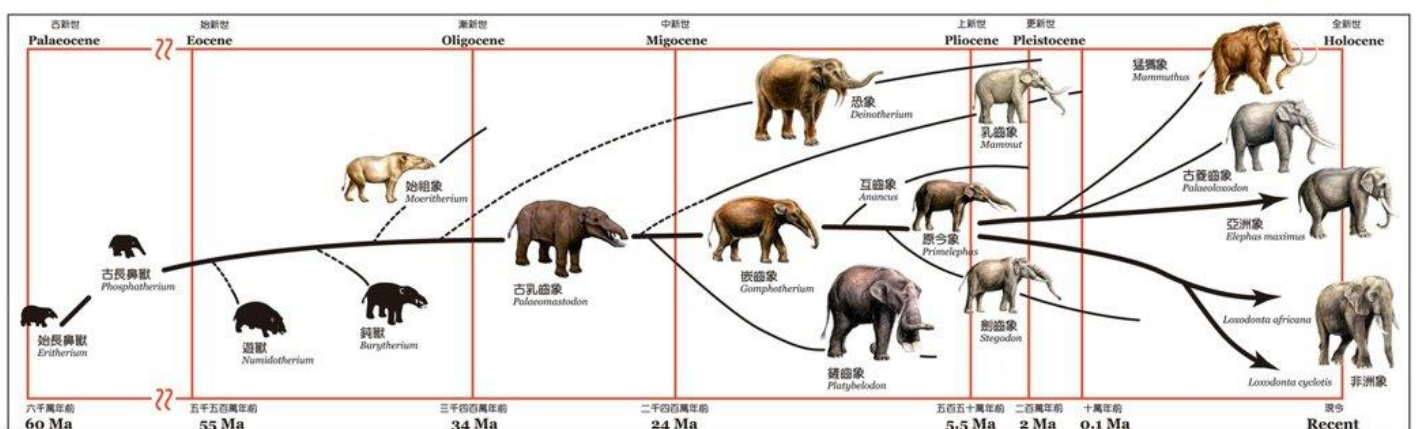


圖 4 大象演化圖


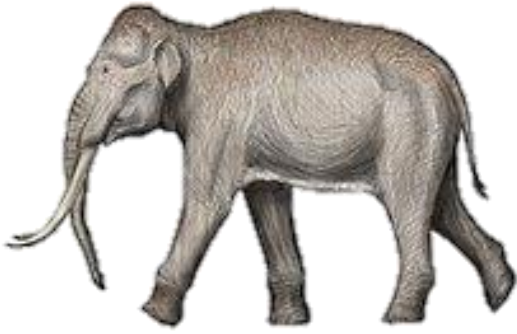
二、台灣古象的種類

因為台灣發現的古象牙齒化石中，以澎湖水道古菱齒象和左鎮動物群的草原猛獁象最為有名，並且聽說這兩大類的古象牙齒化石數量是比較多的，所以我們在尋找古象化石標本和參觀化石達人收藏品的時候，特別關注猛獁象和古菱齒象，果然發現被收藏的牙齒化石真的是這兩大類居多。

猛獁象：又稱長毛象，是長鼻目象科特化出的一員，主要生存於上新世到全新世間，跟現代的大象的體型相似，全身覆蓋著棕色長毛，象牙向上彎曲，滅絕於公元前大約 1700 年前。我們在電影冰原歷險記(Ice Age 4)裡面有看到猛獁象的形象，也在國立成功大學綠色魔法學校綠建築大廳看到猛獁象化石模型。在左鎮的化石博物館，我們很驚訝的發現，在炎熱的台灣也曾經有猛獁象來過，而且有一個特別的名字，叫做台灣草原猛獁象。

古菱齒象：是菱齒象屬的一員，主要生存在中新世的中期到晚期，科學家推斷可能是由生存在非洲的嵌齒象演化而來，身長約 4~5 公尺，具有長而略微上翹的象牙，牙齒齒板厚，中間呈現明顯的菱形。其牙齒化石是我們主要關注的研究對象。

表 3 台灣古象種類

名稱	猛獁象	古菱齒象
圖片		
差異	大小近似現代的象，周身覆蓋有棕色長毛，門齒向上彎曲。牙齒高齒冠，齒板較多且密集，瑯瑯質層較薄。	身高可達 4 公尺，體重達 15 噸，具有長而略微上翹的象牙，腿部也比現代的象更長，牙齒齒板厚，中間呈現明顯的菱形。

三、猛獁象和古菱齒象牙齒化石的差別和相似點

猛獁象與古菱齒象牙齒化石齒板形態、齒板厚度、齒板密度不同。

表 4 台灣古象牙齒化石形態

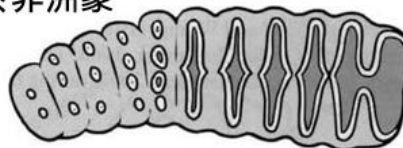
名稱	猛獁象牙齒	古菱齒象牙齒
照片		
特徵	高齒冠，齒板較多且密集，珐瑯質層較薄	齒板厚，中間呈現明顯的菱形

四、非洲象、亞洲象、猛獁象的齒板特徵

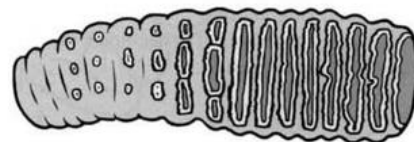
下方圖 5 簡單地展示了三大類古象牙齒的特徵，牙齒的齒面，我們又把它叫做咀嚼面。它們的形態特徵是不同的，齒板的厚度不同，間隔不同，相同的距離內齒板數目不同，就是齒板密度也不同。簡單一點來說，古菱齒象來源非洲象，齒板中央有明顯的菱形，亞洲象齒板中央比較沒有菱形，齒板間隔比較小，猛獁象的齒板更薄，齒板更密。

古菱齒象起源於非洲象

齒板中央
菱形明顯

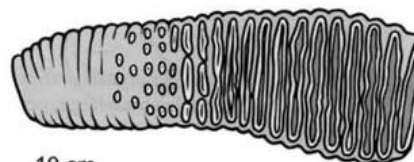


非洲象屬
Loxodonta



亞洲象屬
Elephas

齒板薄，
密集



猛獁象屬
Mammuthus

10 cm

圖 5 古象牙齒特徵

【研究三】古菱齒象牙齒外觀量測

一、實驗方法

我們學習到不同種類的古象具有不同的牙齒特徵、大小、形態，特別是牙齒表面的特徵不一樣。我們試圖通過觀察和量測牙齒的長、寬、齒板的厚度和間隔距離，加上齒板的形態特徵，來判斷牙齒化石來自哪一種大象、可能的年齡，建立鑑別古象牙齒及種類的數字量化的科學方法。

古菱齒象，齒板就具有中間寬、兩邊窄，明顯的菱形特徵，這也是古菱齒象被叫做菱齒象的原因。我們測量牙齒齒板中間最寬的距離，還有不同齒板間的距離。密度是齒板數量除以測量的完整齒板距離計算出來。我們還會去量齒板中間的間隔有多寬。表格 5 中記錄了我們的觀察數據，我們特別針對齒板密度採用了兩個算法，表格齒板密度下欄中的總長度，上面黑色字的是量測長度數據，下面紅色字的是把齒板厚度和齒板間隔逐個加起來的長度數據。我們發現第一批樣品，加總數據比量測數據大，但是在第二批數據中，加總數據比量測數據小，有些還小很多。由於兩人團隊採用輪流量測和記錄，看起來，即使我們遵守同樣的量測方法，每個人量測都會產生不小的誤差。而且數據記錄還會產生錯誤。

在我們看到牙齒化石的時候，一開始根本不知道怎麼判斷古象的年齡，但是在化石達人的協助下，透過和不同的化石達人的反覆討論，我們把每顆牙齒化石對應的古象年齡先大約估計、記下來。把大象的年齡分為幼年>6 歲；幼青年 6-25 歲；青年至成年>25 歲；壯年至老年>30 歲去分析判斷。

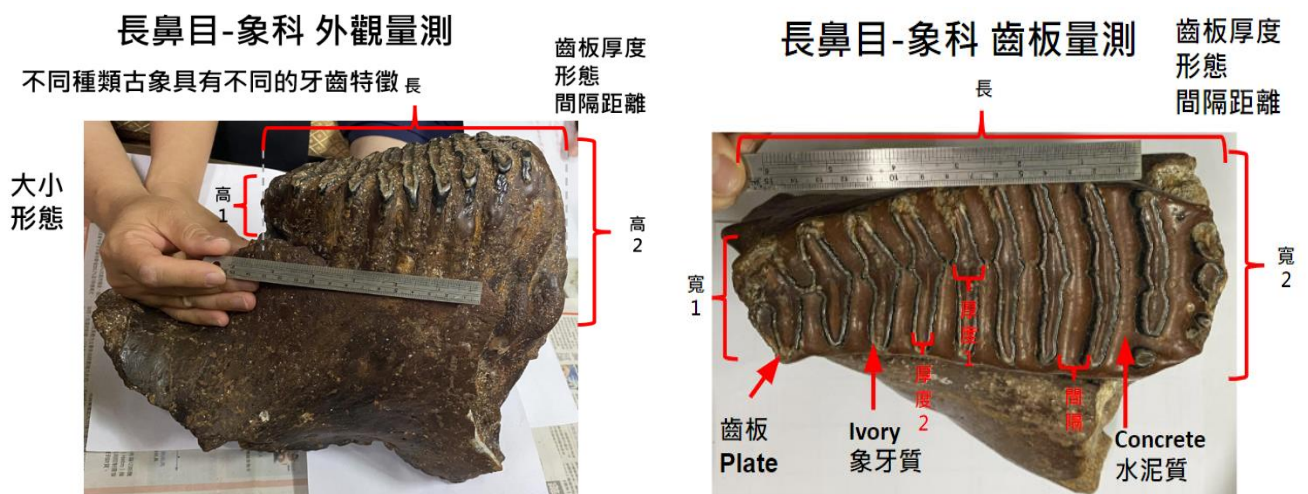


圖 6 古象牙齒化石量測方法

二、實驗結果

表 5 古菱齒象牙齒化石外觀量測紀錄 (第一批)








標本編號	外觀尺寸 (cm)			牙齒特徵 描述	年齡(yr)	齒板量測 (cm)											
	長	寬	高			齒板厚度					齒板間隔				齒板密度		
						1	2	3	4	總數	1	2	3	4	總數	總長度	齒板數
5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8		
1	12.1	4.5	4	左側 9.5 排齒板，完整牙齒，齒根完整。 幼年-青年，6-25 歲可能更小	>6	0.5	0.7	0.9	0.9	8	0.6	0.6	0.6	0.6	7	9.4	8
						0.8	0.9	1	1		0.6	0.6	0.5			10.8	
2	12.7	4.3	3.5	右側有破損 9.5 排齒板，完整牙齒，齒根完整。 幼年-青年，6-25 歲可能更小	>6	0.5	0.6	0.7	0.8	8	0.7	0.7	0.6	0.6	7	9.2	8
						0.9	0.9	0.8	0.8		0.6	0.5	0.5			10.2	
3	22	7	3	12 排齒板，其中發育 8 排曝露菱齒齒溝特徵。 成年。	>25	1	1.2	1.4	1.3	8	1.4	1.3	1	0.9	7	14.5	8
						1.8	1.5	1.7	2		0.7	0.9	0.9			19.0	
4	18	7.5	7	8.5 排齒板，其中 5 顆有完整菱齒齒溝特徵。 青年約 25 歲左右	6-25	1	1.5	1.7	1.9	5	0.5	0.5	0.8	0.5	4	9.1	5
						2.2										10.6	
5	34	8	3	14 排齒板 成年	>30	1.2	1.3	2	1.5	7	1.5	1.5	1	1	6	15	7
						1.9	2	1.9			0.5	0.6				17.9	
編號	1			2			3			4			5				
標本照片																	

表 6 古菱齒象牙齒化石外觀量測紀錄 (第二批)

標本編號	外觀尺寸 (cm)			牙齒特徵	年齡 (yr)	齒板量測 (cm)											
	長	寬	高			齒板厚度					齒板間隔				齒板密度		
				描述		1	2	3	4	總數	1	2	3	4	總數	總長度	齒板數
1R	19.7	4.8	3.5	完整牙齒，齒面平整，齒根無曝露 8/10 齒面量測，約 25 歲	~25	1.5	1.5	1.5	1.3	8	0.5	0.3	0.3	0.4	7	14.4	8
						1.2	1.2	1	0.9		1	1.2	1.4	15.2			
2R	17	4	-	相對完整，齒面平整，2/7 齒板曝露， 共 7 顆，6 顆有菱齒結構，小於 25 歲	<25	1.5	1.4	1.4	1.3	6	0.2	0.2	0.4	0.4	5	11.6	6
						1	0.8				0.5			9.1			
3R	16.5	4	4.9	完整牙齒，齒面平整，齒板一面有曝露 (12 個)。8/10 齒面量測，大於 25 歲以上	>30	1.1	1.2	1.1	1.1	8	0	0	0	0	7	11.2	8
						1	0.9	0.8	0.7		0.1	0.4	0.3	8.7			
4R	19.5	2	2	完整牙齒，齒面平整，齒根無曝露， 5/6.5 齒面測量，小於 25 歲	<25	1	1.4	1.2	1.4	5	0.1	0	0.1	0.1	4	10	5
						1								6.3			
5R	5.5	2	-	部分出露，咀嚼面不完整，齒板曝露(10 個)，3/4.5 齒面測量，約 25-45 歲，菱齒 特徵不明	>25	0.3	0.3	0.5		3	0.4	0.3			2	2.5	3
														1.8			
6R	10	5	8.5	完整牙齒，咀嚼面部分出露，齒板曝露 (約 14 個)，5/6 齒面測量，45-60 歲	>45	1	1	1	1	5	1	1	1	1.1	4	-	5
						0.7								8.8			
編號	1R			2R			3R			4R							
標本照片																	

編號	5R	6R
標本照片		

三、觀察發現

(一) 古菱齒象牙齒化石齒板數目與年齡的關係

通過量測，發現在第一批牙齒的化石，幼年至青年象 6-25 歲齒板數平均約 9-10，青年至成年象大約 25 歲齒板數約為 12，壯年象大約 30 歲的齒板數約為 14。第二批牙齒化石觀察數據發現，小於 25 歲的幼年至青年象的齒板數是 7，大約 25 歲的青年至成年象的齒板數是 10，大於 25 歲的成壯年象齒板數是 10-12，大約 45 歲的壯年至老年象的齒板數是 14。總結兩批樣品，6-25 歲幼年至青年象的齒板數變化範圍比較大，落在 7-10，大約 25 歲的青年至成年象約為 10-12，大於 30 歲的壯年至老年象齒板大約 14 或者更多。我們得出觀察結論，如果把大象的年齡分幼年至青年，青年至成年，壯年至老年的話，牙齒齒板數隨著古菱齒象的年齡增加而增加。
幼年到青年象可能是快速生長期。

我們也驚喜的發現，我們在化石達人的收藏中，看到多是罕見的幼年、青年的古菱齒象，越是年輕的象，牙齒化石越不容易被保存或者發現。我們在王良傑老師的珍貴收藏中，看到未被使用過的古象超級迷你牙齒化石，據說一顆需要 30 萬新台幣，我們看著摸著，簡直是目瞪口呆。我們很幸運找到、看到這個珍貴的古菱齒象化石，雖然數量不多，但是難得可貴。通過科展學習，我們以後可以跟別人分享，並幫助其他的同學和朋友判斷古象牙齒化石的類型和年齡。我們在討論和判斷年齡的時候，發現不同的收藏家意見和看法基本是一致的，大家根據牙齒大小，齒板數目判斷年齡，是需經驗的。我們總結的範圍結合了不同專家的意見，可以提供有用的數據判斷參考。

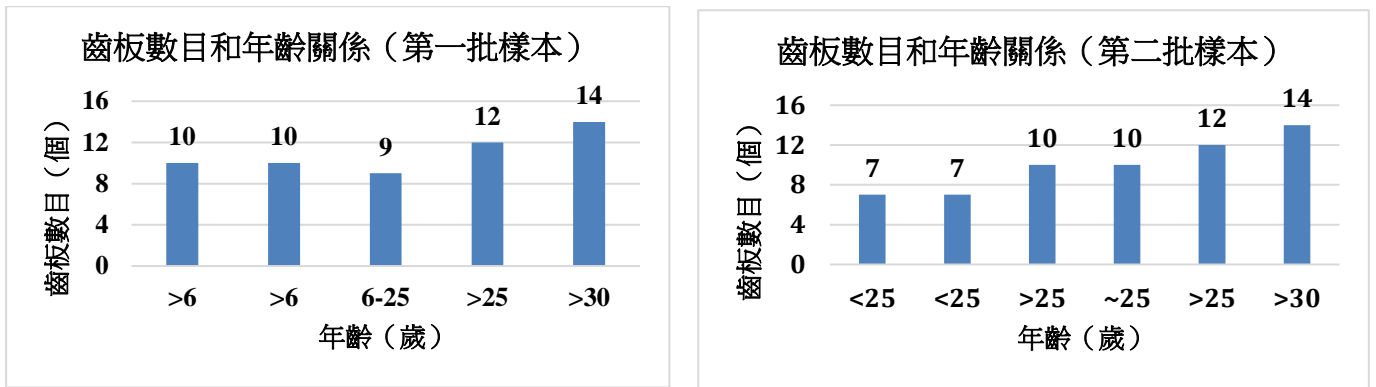


圖 7 古菱齒象齒板數目和年齡的關係統計圖

(二) 古菱齒象齒板厚度與年齡的關係

我們在很仔細地觀察和量測每一顆牙齒的齒板厚度和齒板距離後，發現第一批牙齒，大於 6 歲幼年象齒板厚度為 0.75-0.84 公分，幼青年象齒板厚度約為 1.46-1.66 公分，青年到成年象齒板厚度約為 1.66 公分，壯年象大約 30 歲的齒板厚度約為 1.69 公分。第二批牙齒化石觀察數據發現，小於 25 歲的幼年至青年象的齒板厚度約為 1.20-1.23 公分，大約 25 歲的青年象的齒板厚度約為 1.26 公分。這個結果告訴我們齒板厚度大體上是隨著古菱齒象的年齡增加而增加。幼年象的齒板厚度明顯比較小，幼青年象齒板厚度大約是 1.20-1.66 公分，範圍比較大，接近成壯年象的齒板厚度。

在第二批牙齒，我們看到一些特別的結果，其中一顆青壯年象標號是 3R 的牙齒，齒板厚度是 0.99 公分，一顆標號是 6R 的壯老年象牙齒齒板厚度約為 0.94 公分，數值都比較低，我們重複檢查圖片和我們量測的記錄發現，這兩顆象齒比較不具有菱形特徵！我們進而懷疑它們可能根本就不是古菱齒象化石。3R 和 6R 樣品更接近是猛獁象的特徵，就是齒板的厚度是比較薄的，兩個樣品的齒板厚度數值也比較相近。經過反覆推敲，通過這個簡單的量測，結合齒板數和齒板厚度，我們做出了一個判斷，如果是齒板數超過 10，年齡在大約 25 歲，齒板的厚度平均值在 1.2 公分以下，我們就判斷它很有可能不是古菱齒象。另外我們發現在量測的時候，很考驗我們應該記下什麼數據，應該怎麼確定樣品是否有效，怎麼用科學數字說明觀察結果。譬如說標號 5R 的牙齒化石因為剛推出並沒有完全長出來，只有幾個齒板曝露，這樣的觀察數據比較不準確，因為齒板厚度只有 0.37 公分，我們學習到不採用 5R 齒板數據。

觀測總結：幼年象齒板厚度為 0.75-0.84 公分，青成年象齒板厚度約為 1.20-1.66 公分，壯老年象齒板厚度約為 1.69 公分。我們得出結論，齒板厚度隨著古菱齒象的年齡增加而增加。

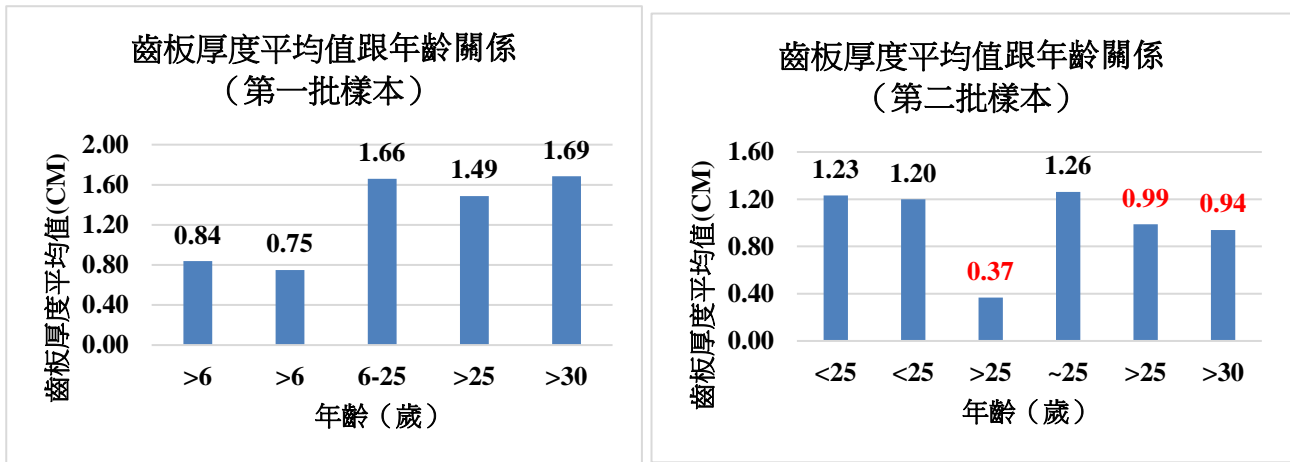


圖 8 古菱象齒板厚度和年齡的關係統計圖

(三) 古菱齒象齒板密度與年齡的關係

我們觀察第一批牙齒知道，幼年象齒板密度為每公分 0.85-0.87 片，青成年象齒板密度約為每公分 0.55 片，壯老年象齒板密度約為每公分 0.47 片，數字告訴我們，齒板密度（每厘米齒板數，片/CM）隨著古菱齒象的年齡增加而減少，對應的是隨年齡的增長，齒板厚度增加。在每一厘米的距離內，幼年古象的齒板數是比較多的。

第二批牙齒從量測數據觀察看到，青年象齒板密度約為每公分 0.5-0.52 片，壯老年象齒板密度為每公分 0.56 片。其中兩個較大的數字 1.2 和 0.71 涉及編號是 3R 和 5R 的牙齒化石。我們又從數字的較大差異了解到，標號 3R 的牙齒化石比較沒有古菱齒象牙齒的特徵，比較像是猛獁象，猛獁象的齒板是比較密集的。5R 牙齒剛推出，數據比較不可信。6R 牙齒的量測長度數據沒有記錄，使用加總長度數據除以齒板數是每公分 0.57 片。我們學習到幼年的象和中青年的象齒板密度有較大的差異。從齒板密度判斷古象類型，應該採用比較完整牙齒，有比較完整的咀嚼面曝露的牙齒，而且齒板分佈比較有規律的牙齒化石用來估計齒板密度比較準確。

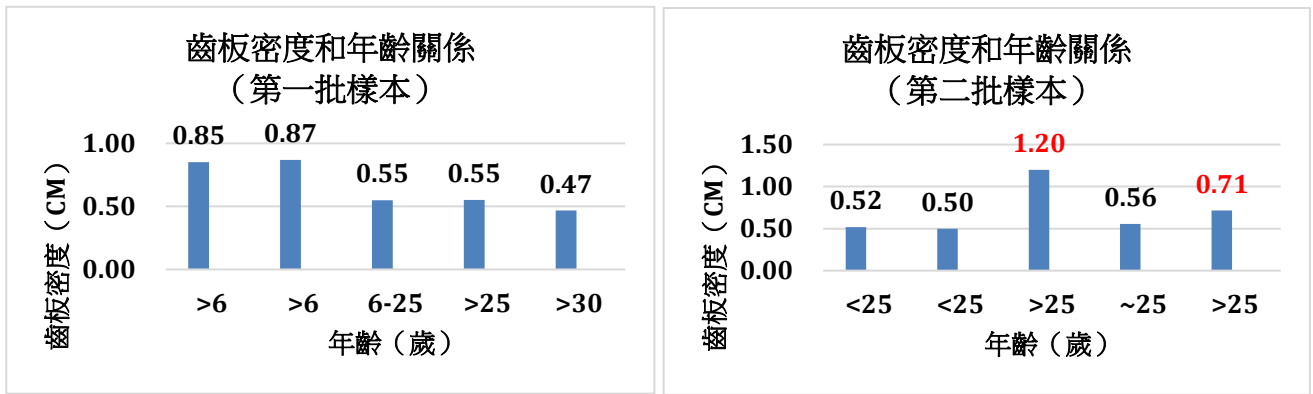


圖 9 古菱象齒板密度和年齡的關係-使用量測長度統計圖

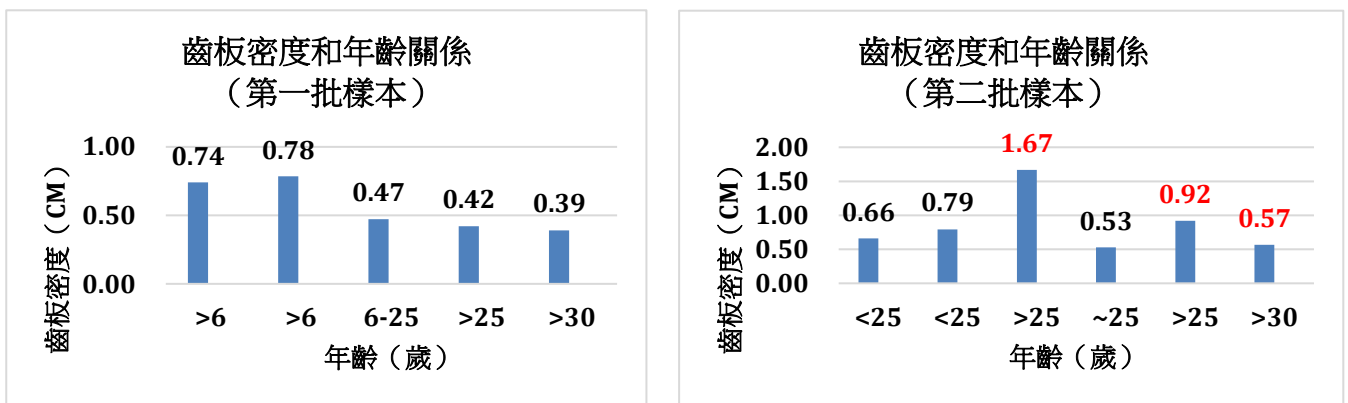


圖 10 古菱象齒板密度和年齡的關係-使用加總長度統計圖

但是如果用加總長度數據計算齒板密度，我們發現第二批牙齒青年象齒板密度約為每公分 0.66-0.79 片，壯年象齒板密度為每公分 0.53 片。總結兩批數據，幼年到青年象的牙齒齒板密度落在每公分 0.66-0.79 片，青成年象的齒板密度是每公分 0.47-0.53 片，壯老年象的齒板密度是每公分 0.39-0.42 片或者以下。

四、結論

如果把大象的年齡分幼年至青年、青年至成年、壯年至老年的話，牙齒齒板數隨著古菱齒象的年齡增加而增加。6-25 歲幼年至青年象的齒板數變化範圍比較大，落在 7-10；大約 25 歲的青年至成年象約為 10-12；大於 30 歲的壯年至老年象齒板大約 14 或者更多。齒板厚度大體上是隨著古菱齒象的年齡增加而增加。幼年象齒板厚度為 0.75-0.84 公分，青成年象齒板厚度約為 1.20-1.66 公分，壯老年象齒板厚度約為 1.69 公分。經過反覆推敲，通過量測、結合齒板數和齒板厚度，我們總結出一個數據判斷，如果是齒板數超過 10，年齡在大約 25 歲，齒板的厚度平均值在 1.2 公分以下，該牙齒很可能不是古菱齒象

的。化石樣品中形態比較像是猛獁象的兩個樣品，齒板平均值都非常接近但是小於 1。所以我們縮小範圍建議齒板 10 以上，青成年象齒板的厚度平均值小於 1 公分的比較確定不是古菱齒象牙齒。齒板密度隨著古菱齒象的年齡增加而減小，齒板分佈在幼年古象牙齒中比較密集。幼年到青年象的牙齒齒板密度是每公分 0.66-0.79 片，青成年象的齒板密度是每公分 0.47-0.53 片，壯老年象的齒板密度是每公分 0.39-0.42 片或者以下。我們通過比較觀察古菱齒象的牙齒化石形態特徵，特別是齒面、齒板，發展出可以簡單量測齒板厚度、間隔距離、計算齒板密度，總結出判斷古菱齒象牙齒的鑑定方法。

【研究四】什麼環境有利於形成化石保存下來？澎湖水道的化石告訴我們什麼？

一、實驗動機

經過了前面的化石觀察和測量，讓我們不禁好奇，這些化石為什麼會被保存下來呢？經過查找資料後，看到科學觀點總結認為不易腐敗分解的生物樣品(譬如骨頭含量高、礦物含量高的樣品)，被埋藏在河、湖泊、海相這樣少氧氣或者無氧的環境，比較有機會被保存下來成為化石，還有超過一萬年但是比較近期的生物可能被保存成化石的機會比很久以前的古生物高，很久以前的化石也可能發生變質作用變成岩石或者很難辨識了。我們於是決定採用一個埋藏實驗實際探討這些因素對於化石保存的影響。以下是我們自己畫的一張化石形成的過程示意圖。

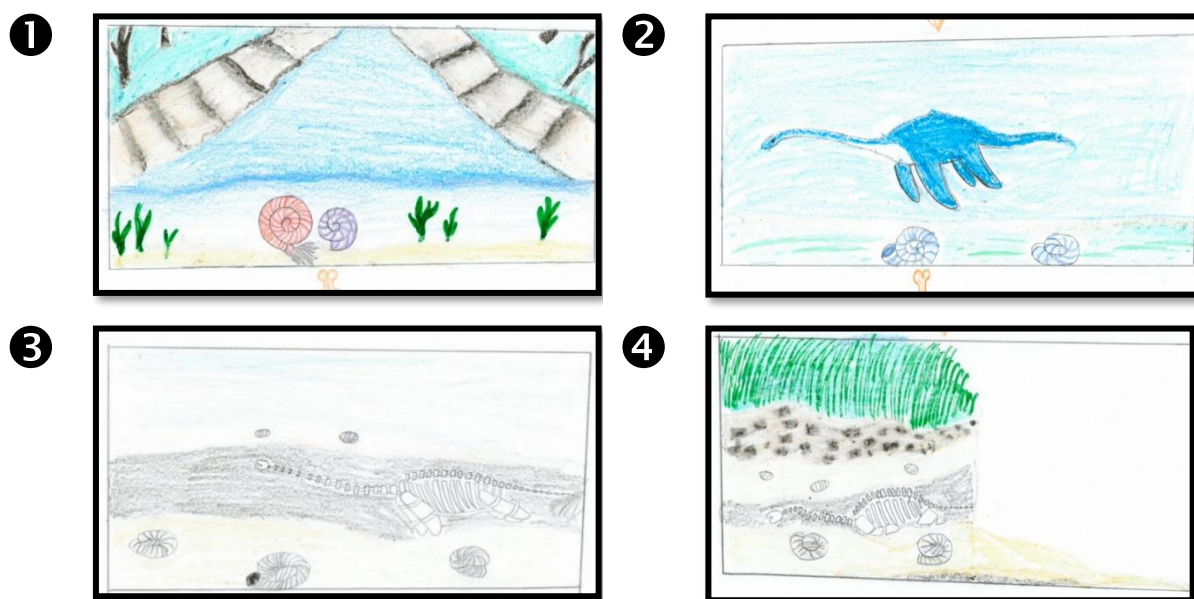


圖 11 化石形成過程示意圖

二、實驗方法

我們分別將各三支去肉的豬枝骨及帶肉的駝鳥頸骨分別埋藏在淺土 15 公分、深土 50 公分、水下 40-50 公分，和對照無掩埋直接放置在地表。埋藏實驗從 2021 年 9 月 5 日開始，經過 5 個月 8 天後，於 2022 年 2 月 12 日將埋藏的樣品挖出，分析保存狀況。



圖 12 埋藏實驗樣品與地點（台南官田）

三、實驗結果

（一）入土前後樣品重量比較

1. 入土前，利用電子磅秤秤量樣品重量，並且記錄下來。

我們用來的埋藏的帶肉駝鳥頸骨重量大小不一，只有在埋入深土的樣品重量比較相似。沒有辦法量測肉部分多少，也沒有辦法估計骨頭部分重量。最後重量變化以風乾骨頭為基準做比較。去肉豬枝骨的重量比較相近。

2. 入土後，經過埋藏實驗五個月後，將樣品挖出，並且用電子秤稱量，並記錄下來。

挖掘出來的樣品上的肉幾乎都不見了，淺土樣品尤其明顯，深土也只剩下一點點肉附著在骨頭表面，顯示除骨頭以外的生物組織幾乎都被分解了。埋在土壤中的樣品都帶有很多細根，顯示植物根部及根部微生物也可能參與樣品的分解。埋在水下樣品保留了一些骨髓未被分解，顯示在氧氣比較少的狀況下，脂肪類的物質分解比較慢。但是有趣的是，埋在水下的樣品兩節明顯分開，所以生物組織的分解程度即使在水下還是非常高的。最讓我們煩惱的是，放在表土的樣品都不見了，我們猜測應該是被別的動物叼走、搬走了。這部分沒有數據，但是讓我們明白，在陸地上，死亡的生物遺體沒有被掩埋的話，很容易成為食物鏈中的一環，屍骨不存或者零零落落，是很難以形成化石。我們的實驗在台南的官田舉行，台南位於熱帶，即

使我們是秋天埋下樣品冬天結束的時候挖出來，短短的五個月，樣品上的肉組織幾乎已經分解完，骨頭與骨頭之間在淺土、水下都已經分開，由此可見，超強的分解在溫暖濕熱的地方是很不利於化石的形成的。我們不由推想，在台灣要形成化石，陸地上是非常困難的，在水下也不容易。

			
1.埋藏前重量秤量		2.挖掘出土，經過 8 日風乾後重量秤量	
除肉的豬枝骨，使用電子秤稱量	帶肉的駝鳥頸骨，使用電子秤稱量	將挖掘出來的駝鳥頸部骨進行測量，肉都被分解，骨頭出現中空和孔隙，這樣樣品重量明顯減少 81g	將挖掘出來的豬支骨進行測量，這個樣品重量明顯減少 36g

圖 13 埋藏入土前後實驗樣品重量記錄

表 7 埋藏實驗樣品挖掘出土樣品清洗後風乾重量量測記錄

埋藏地點	處理編號	埋藏時				挖掘出土清洗風乾後					樣品重量減少比例		
		帶肉駝鳥頸骨濕重 g				無肉豬枝骨	帶肉駝鳥頸骨乾重 g				無肉豬枝骨	相對減重 (乾-濕)/乾	
		1	2	3	平均重量	濕重 g	A	B	C	平均重量	乾重 g	帶肉駝鳥頸骨	無肉豬枝骨
淺土	一	83	91	116	97	59	18	17	23	19	23	-400%	-157%
深土	二	111	118	112	114	50	26	30	24	27	消失	-326%	無數據
淺水	三	65	78	100	81	59	19	25	消失	22	消失	-268%	無數據
表土	四	98	114	128	113	51	消失	消失	消失	無數據	消失	無數據	無數據

我們比較樣品埋藏之前的重量和埋藏後挖掘出來洗淨風乾的重量，計算出樣品重量減少的相對比例，發現淺土無肉豬枝骨減少約 157%。帶肉的駝鳥樣品淺土埋藏減重比例最大，達到 400%，而深土埋藏和水下埋藏分別減重比例為 326% 和 268%，可見帶肉駝鳥樣品淺土被分解程度最高，其次是深土，最低是水下。這個減重數據符合我們的實驗猜想，我們原來就是假設淺土微生物比較多，分解活動也比較高，而深土氧氣含量較少，微生物可能也相對比較少，分解活動比淺土低，而在水下氧氣含量更低，微生物分解活動相對更低。

讓我們感到有趣的是，我們冰凍在冷凍庫的豬枝骨頭，無論是無肉還是帶肉的樣品，幾乎都沒有什麼變化，沒有任何可以觀察的分解發生。雖然我們開始的時候野外埋藏實驗沒有辦法把溫度當成一個重要因素來做實驗，我們沒有先把樣品放進去土壤，然後再裝袋子放進去冰箱凍起來，然後再解凍從土裡面分離出來樣品再進行觀察，我們只是把樣品凍在冰箱裡。我們就非常明顯的看到，溫度是保存樣品的一個重要因素，因為-20度下，微生物幾乎沒有活動，這也是我們為什麼能用冰箱冷凍保存食物不腐壞的原因。我們因此展開想法，認為澎湖水道動物群極其有可能是生得其所（在低窪的草原和沼澤地），死的其時（在冰期末期），在比較低溫時被快速掩埋入氧氣稀少的水下，因此這些巨型哺乳動物的化石得以被保存。

表 7 帶肉駝鳥頸骨埋藏外觀變化觀測記錄

埋藏地點	處理編號	2021/9/5 埋藏前	2022/2/13 挖掘出土清洗前的骨頭		
			2022/2/20 經過清洗風乾後骨頭		
淺土	一	 <p>駝鳥頸骨外層包覆暗紅色肌肉，骨頭與肌肉間有脂肪，頸骨中間填充著黃白色骨髓物質。這一組樣品有二段骨頭偏小一點，重量比其他駝鳥頸骨輕約 20g。</p>			
			<p>外型完整，褐色，沒有肉，表面附大量的細根</p>		
					
			<p>風乾後的骨頭清楚發現原有一截駝鳥頸骨外層的肉已被分解消失。失去肌肉的包覆，骨頭失去連結分開成二段，骨頭內骨髓等物質已消失，骨頭間隙清楚可見。骨頭呈黃褐色，部份灰白色，有一些部份是呈現紅褐色。</p>		
深土	二	 <p>駝鳥頸骨包覆暗紅色肌肉，骨頭與肌肉間有脂肪，頸骨中間填充著黃白色骨髓物質。</p>			
			<ul style="list-style-type: none"> ◆ 外型完整，褐色，有一些肉還留在表面 ◆ 外型完整，褐色，沒有肉，但有大量的根 ◆ 外型完整，褐色，有極少數的肉依然還在 		

埋藏地點	處理編號	2021/9/5 埋藏前	2022/2/13 挖掘出土清洗前的骨頭		
			2022/2/20 經過清洗風乾後骨頭		
			1 	2 	3 
			<p>風乾後的骨頭清楚發現原有一截駝鳥頸骨外層的肉已被分解消失。失去肌肉的包覆，骨頭失去連結分開成二段，骨頭內骨髓等物質已消失，骨頭間隙清楚可見。骨頭呈黃褐色，部份灰褐色，顏色較淺土出土的骨頭淺一些。上圖 2、3 極小部份呈紅褐色，局部留有深棕色的短線。</p>		
淺水	三	 <p>駝鳥頸骨包覆暗紅色肌肉，骨頭與肌肉間有脂肪，頸骨中間填充著黃白色骨髓物質。 一組樣品有二段骨頭偏小一點，照片中左邊頸骨僅 65g 重量比其他駝鳥頸骨輕約 50g，照片中中間頸骨重量為 78g，比其他樣品頸骨輕約 40g.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> ◆ 分二段，脛骨完整，褐色，沒有根附著，骨髓殘留，骨頭被破壞的較大，分解作用持續進行 ◆ 外型完整，褐色，沒有根，有大量骨髓，有肉質，分解作用較慢 ◆ 有一個樣品未挖到 		
					<p>有一袋帶肉駝鳥頸骨樣品消失 風乾後的骨頭清楚發現原有一截駝鳥頸骨外層的肉被分解。失去肌肉的包覆，骨頭失去連結分開成二段。 上圖 4 的骨頭空隙殘留較多灰色物質。 骨頭顏色大致呈黃褐、灰白，部份殘留灰色淤泥。小部份黃褐顏色的部位顏色甚至比淺土出土的骨頭還要深一些。</p>
地表	四	 <p>駝鳥頸骨包覆暗紅色肌肉，骨頭與肌肉間有脂肪，頸骨中間填充著黃白色骨髓物質。</p>	<p>樣品都消失不見了！</p>		

表 8 無肉豬枝骨埋藏外觀變化觀測記錄

埋藏地點	處理編號	2021/9/5 埋藏前	2022/2/13 挖掘後清洗前	2022/2/20 風乾後
淺土	一	 <p>剔除骨頭上大部份的肉，殘存些微骨膜、脂肪組織與肌肉，骨頭呈灰白色，局部淡紅色，切面殘留深紅色血液</p>	 <p>未清洗前的骨頭上有一些的植物細根，看不到其他骨頭相關骨膜、骨髓與肌肉組織。</p>	 <p>風乾後的骨頭上呈黃褐色、棕色。部份遺留乾涸紅棕色，骨頭切面空隙清晰，呈深棕色。骨頭部份有類似植物細根的痕跡。</p>
深土	二		挖掘時未發現，推測應該是已經被其他動物或者生物移除。	
水下	三		挖掘時未發現，推測應該是已經被其他動物或者生物移除。	
表土	四		挖掘時未發現，推測應該是已經被其他動物或者生物移除。	
冷凍櫃	五	 <p>此批冷藏的豬枝骨剔除骨頭上大部份的肉，殘存一些骨膜、脂肪組織與肌肉，骨頭呈灰白色，局部淡紅色，切面殘存深紅色血液痕跡。</p>		<p>經過零下 20°C 保存 3 個月，豬枝骨初步觀察大部份骨頭呈乳白色或是灰白色。殘存的肌肉、骨膜仍然以冷凍型式留存著，骨頭上仍清晰可見淡紅色及部份深紅色血液顏色。骨頭切面空隙部份填充著冰霜。</p>

(二) 環境土壤的微生物和蛆對埋藏的樣品的分解影響



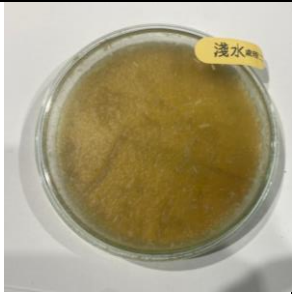
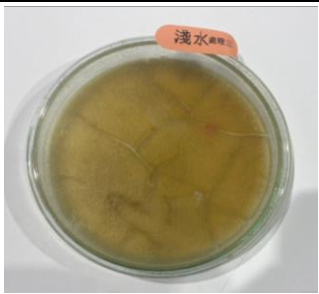
我們採集不同深度的土壤來進行培養實驗，希望了解參與分解的主要生物。

埋藏樣品挖掘在 2022 年 2 月 12 日進行，同時採集樣品附著的土壤，經過滅菌逆滲透水稀釋，在 LB 培養基上培養，歷時 8 日，於 2 月 20 日觀測培養狀況。特別註記水下取樣有 2 個土壤樣品，編號 A 土壤取樣地點是水下 25 公分積水，土壤蟲多，位於堆積的落葉下面。水下取樣編號 B 土壤取樣地點水下較深約 40 公分，是比較厭氧環境。



圖 14 採集樣品附著的土壤培養觀測

表 9 土壤培養實驗觀測記錄

埋藏地點	取樣編號	蛆觀測數據/隻				照片	
		1	2	3	平均數註		
淺土	/	63	61	47	62		
深土		53	51	55	54	淺土	深土
水下 A 淺水	A	75	69	73	74		
水下 B 深水	B	6	6	6	6	水下 A/淺水	水下 B/深水

註：排除誤差較大的數據計算平均數

培養實驗得出的結果，再對照挖掘埋藏的樣品時，觀察到有許多蛆是肉眼可以見得超級分解者。還有許多微小的螞蟻、雞母蟲、蚯蚓、椿象、蜘蛛等在淺層土壤層裡竄動活躍。我們發現土壤裡面的分解者，除了大量我們肉眼看不見的細菌，還有很多其他昆蟲參加。



淺層土壤發現蚯蚓。昆蟲太微小無法清楚拍攝下來，右圖以圖畫表示淺層土壤所見。

圖 15 挖掘時淺層土壤出現的昆蟲和微小動物

培養皿裡面觀察到一層厚厚的微生物，推測是長出來的細菌，但是難以比較不同土壤的微生物總量，即使進行顯微鏡觀察也數不出來。但是這個培養實驗，結果最出乎我們意料的是培養皿出現大量的蛆！一開始看，我們嚇了一大跳，然後我們突然發現我們原來的假設，是按照舊的思考方式，我們可能想錯重點了！我們原來以為帶肉駝鳥樣品主要是被微生物分解掉，所以本意是培養細菌，看能不能肉眼比較數量的多少（比如老師說的菌落數），結果培養皿都長滿了微生物，難以比較也看不清種類或者數目，可能是 8 天太長了，我們沒有辦法每天觀察。但是其實最明顯可以數出差別是蛆！無論是在淺層還是深層土壤，原來可能有很多蛆是雙翅目的幼蟲，我們埋藏帶肉的駝鳥頸骨就是提供大量動物組織給它們當食物，於是蛆大量的繁殖生長，它們是生物組織的主要分解者。實驗結果發現淺層土壤的蛆數目是 62，比深層土壤 54 多。蛆的數目有差，解釋了我們看到淺土埋藏的樣品上面的肉全部被分解消失掉，但是深土樣品帶肉的駝鳥頸骨在五個月以後還帶有少量的肉沒有被分解掉。在淺水中，我們看到骨髓仍然保存，但是在淺土和深土中，骨髓都被分解。推測可能是埋藏環境氧氣含量比較少，細菌分解活動對脂肪也比較弱。土壤很多落葉和蟲的淺水培養出大量的蛆，74 條。但是在比較缺氧的 40 公分水下，蛆的數

量明顯少，只有 6 條。這個生物培養實驗觀察結果解釋了我們埋藏樣品的分解情況的差別，微生物比如細菌還有超強的分解者蛆在氧氣比較少的環境較少。

我們的埋藏實驗只做了短短五個月，也沒有大規模的颱風土石流那種可能導致被風或水移走或者破碎事件的狀況發生，即使這樣，我們掩埋的樣品仍然遭受極大程度的生物分解，我們發現，形成化石太難了！放在土表的樣品統統不見了，它們可能都成為其他動物或者分解者的食物，因此沒有被掩埋或者掩埋的很淺的生物遺體都極大可能消失不見。我們總結如果生物在食物鏈裡面，沒有什麼機會成為化石，即使是有，可能只有骨頭留下來。

四、結論

掩埋的樣品被分解的程度從高到低分別是淺土> 深土>水下。比較樣品埋藏之前的重量和埋藏後挖掘出來洗淨風乾的重量，計算出樣品重量減少的相對比例，帶肉鴛鴦頸骨由高到低分別是淺土>深土>水下。樣品減重數據和土壤生物培養實驗結果符合我們的實驗猜想：超級分解生物蛆在淺土比較多，分解活動比較高，同時微生物分解活動也較高，而深土氧氣含量較少，分解生物蛆相對比較少，同時可能微生物分解活動可能也比淺土低，而在水下氧氣含量更低，微生物細菌和蛆可能更少，分解活動相對更低。土表樣品消失，在陸地上，死亡的生物遺體沒有被掩埋的話，很容易成為食物鏈中的一環，難以形成化石。超強的分解在溫暖濕熱的地方是很不利於化石的形成的。在台灣要形成化石，陸地上是非常困難的，在生物活動豐富的淺水也不容易。溫度是保存樣品使其可能成為化石的一個重要因素，我們因此展開想法，認為澎湖水道動物群極其有可能是生得其所（在低窪的草原和沼澤地），死的其時（在冰期末期），在比較低溫時被快速掩埋入氧氣稀少的水下，因此這些巨型哺乳動物的化石得以被保存。

【研究五】溫室氣體對氣溫會產生什麼樣的影響？

一、實驗動機

在談論全球變遷時，大家都主要討論如果空氣二氧化碳濃度升高的話，會吸收比較多的太能光 能量，以致於氣溫增高。我們希望實際體驗一下二氧化碳如何影響氣溫的，於是做了一個小實驗。

二、實驗方法

			
1.用電子天平測量實驗所需粉末劑量	2.溶解檸檬酸	3.用水壓排除袋內空氣	
			
4.排除袋內空氣後。 實驗組：將小蘇打粉倒入檸檬酸溶液	5.小蘇打在檸檬酸裡溶解，產生二氧化碳氣體	6.實驗組與對照組（不加二氧化碳氣體）各 3 組	7.放置於陽光下觀察袋內溫度的變化
實驗組：將盛放檸檬酸溶液（20g+200ml 水）、小蘇打粉（10g）燒杯、溫度計放入夾鏈袋中 對照組：將空燒杯、溫度計放入夾鏈袋中			

圖 16 溫室氣體實驗過程

三、實驗結果

裝有檸檬酸溶液、小蘇打粉、溫度計的夾鏈帶在水裡排氣後，將小蘇打粉倒入檸檬酸，產生二氧化碳氣體，被排氣過後的袋子重新膨脹。對照的三個袋子為了測試空氣的量對升溫的影響，分別有設置部分排氣和完全沒有排氣的處理。將樣品在 11 點 46 分放在無遮蔽的陽光下，開始觀察。從 12 點 16 分到 13 點 06 分，每十分鐘讀取袋內溫度計的溫度並記錄。因為實驗當天不是晴天，太陽光照下的能量隨時間有變化。光照半個小時後，未排氣的對照組袋內溫度（51°C）比部分排氣(47.5°C) 和高度排氣的袋內溫度(38.5°C)的都高。在光照 80 分鐘後，溫度在對照組不同袋子不同排氣之間的差異變小，但是未排氣(46°C)或者部分排氣(47°C)的袋內溫度還是比高度排氣(41°C)的高，說明空氣具有吸收熱能的能力。我們看到明顯二氧化碳的溫室效應。裝有二氧化碳氣體的實驗組的袋內溫度(48-56°C)比對照組(38.5-51°C)高。光照半小時後，溫度保持在 50 度以上，變化比較緩。開始實驗時氣溫只有 26 度，光照 30-80 分鐘後，即使太陽光強度可能發生改變，中間有變弱的情形，但是添加二氧化碳氣體的袋內溫度仍然保持在較高的溫度。

表 10 二氧化碳對氣溫影響觀測記錄

實驗組別	對照組 ^{註 1}			實驗組			
編號	前	中	後	前	中	後	平均溫度
實驗內容 測量時間 ^{註 2}	高度排除密封袋內空氣	部份排除密封袋內空氣	未排除密封袋內空氣	檸檬酸 20g，水 200ml， 小蘇打 10g			
12:16	38.5°C	47.5°C	51°C	52°C	52°C	52°C	52°C
12:26	43°C	40.5°C	49°C	53°C	56°C	52°C	54°C
12:36	43°C	50°C	48°C	53°C	53°C	50°C	52°C
12:46	41°C	51°C	44.5°C	54°C	56°C	48°C	53°C
12:56	43.5°C	50°C	50.5°C	55°C	50°C	54°C	53°C
13:06	41°C	47°C	46°C	56°C	55.5°C	52.5°C	52°C

註：1 對照組：不加任何粉末溶液。

2 自 11:46 開始放在無遮蔽的陽光下觀察。

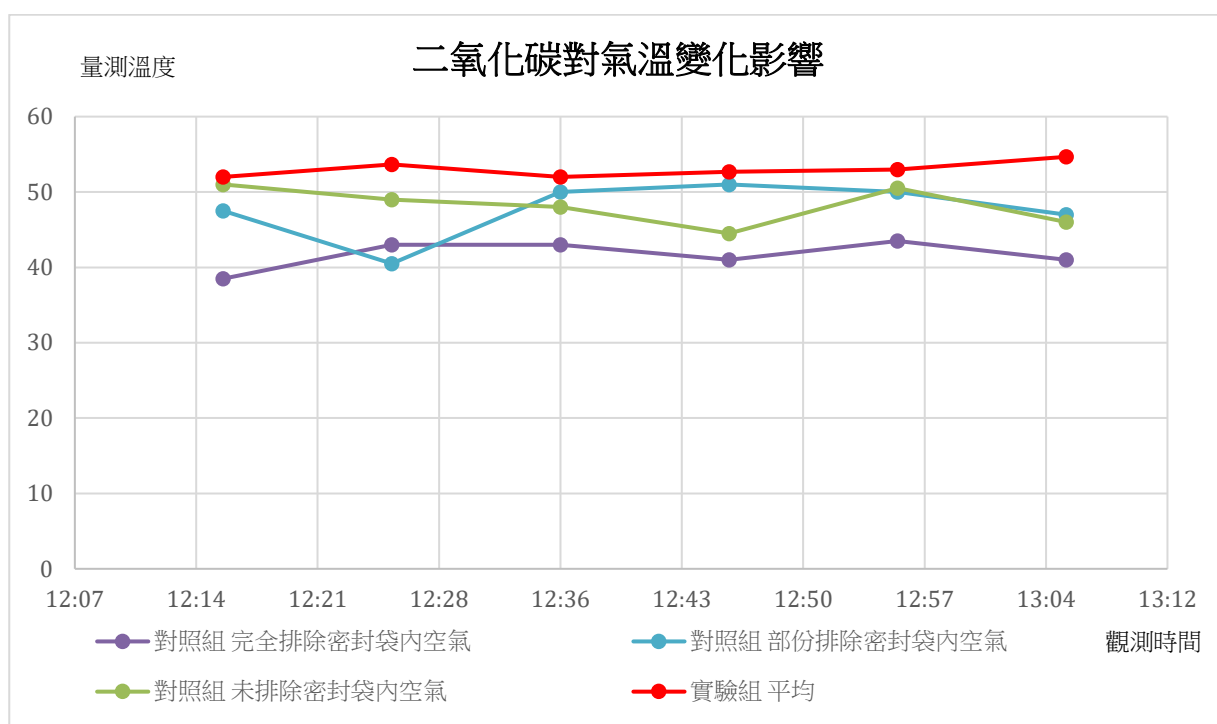


圖 17 二氧化碳對氣溫變化產生的影響

四、結論

本實驗顯示二氧化碳具有明顯的溫室效應，而且能夠不斷吸收太陽能，使袋內如溫室一般持續維持較高的溫度。

陸、討論

我們非常非常好奇巨大的古象 1 萬多年前還有，為什麼隨後它們會滅絕？我們最後討論古象的滅絕和全球環境氣候變遷可能存在的關係。末次冰期發生在約 11 萬年前至 1.2 萬年前，其間發生過多次冷暖交替的氣候變化。比如說在氣候變暖階段，北半球高緯度地區氣溫在短短幾十年裡急劇上升了 15 攝氏度。英國科學家在《自然·地球科學》發表指出，在距今最近的一次冰期里，地球氣溫多次急劇上升的事件，可能是大氣二氧化碳含量達到臨界值導致的。加的夫大學研究人員，他們的研究工作比較複雜，其實我們也不太理解，總而言之就是他們用氣候模型分析冰川期各種物理因素的作用後發現，二氧化碳濃度上升會使部分海域海水升溫，但不是全球氣溫升高。但是這部分海域海水升溫會促使中美洲一帶季風增強。而季風從大西洋會帶走大量水蒸氣，結果表層海水含鹽量上升、密度增加，會導致洋流急劇增強，結果是氣溫陡升。這是參考網路資訊的，在 <https://kknews.cc/science/y6o3gga.html> 上。我們思考古菱齒象和其他大型的哺乳動物很有可能就是在這短時間急劇的暖化滅絕的。當然我們在 google 和維基百科裡面查到還有其他不可忽視的原因。現在全球由於過度採用石油並燃燒排放出大量的二氧化碳和其他廢氣到空氣裡面，從工業革命開始到現在短短 200 多年，空氣二氧化碳濃度已經從 280ppm 到超過 420ppm，增長到令人類感到害怕。地球情形已經大不相同，氣溫陡升的事件未必重演，但是我們應該十分警惕，恐怕某些情況下地球氣候系統變得很不穩定，極端氣候越來越多，就容易發生劇烈變化或者升溫，人類恐怕面臨像古菱齒象那樣滅絕的悲劇。

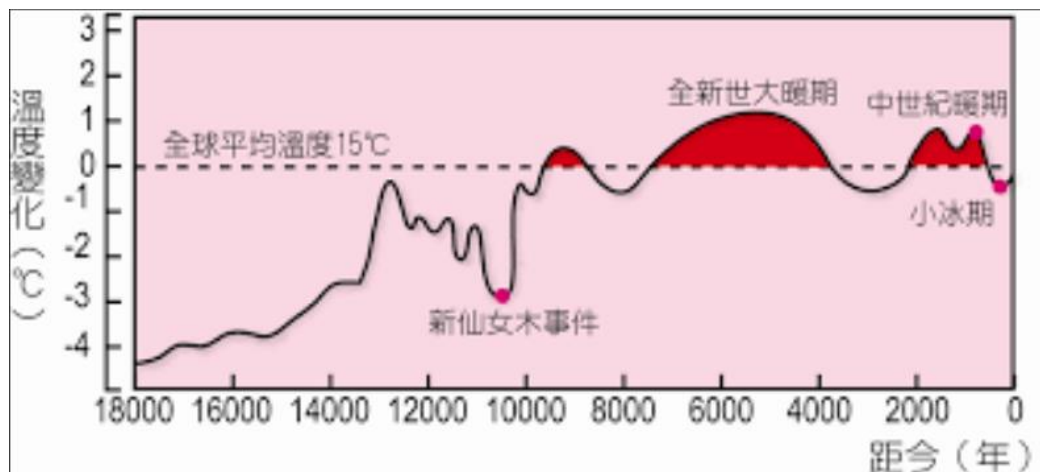


圖 18 地球近 2 萬年來的溫度變化

柒、結論

我們以澎湖水道動物群的古菱齒象為科展主題，通過比較觀察古菱齒象的牙齒化石形態特徵，特別是齒面和齒板，發展出了可以簡單量測齒板厚度、間隔距離、計算齒板密度，總結出判斷古菱齒象牙齒的鑑定方法。如果把大象的年齡分幼年至青年，青年至成年，壯年至老年的話，牙齒齒板數隨著古菱齒象的年齡增加而增加。6-25 歲幼年至青年象的齒板數變化範圍比較大，落在 7-10，大約 25 歲的青年至成年象約為 10-12，大於 30 歲的壯年至老年象齒板大約 14 或者更多。齒板厚度大體上是隨著古菱齒象的年齡增加而增加。結合齒板數和齒板厚度，我們總結出一個判斷，如果是齒板數超過 10，年齡在大約 25 歲，齒板的厚度平均值在 1.2 公分以下，該牙齒可能不是古菱齒象的。經過考慮猛獁象的形態，**我們縮小範圍建議齒板 10 以上，青成年象齒板的厚度平均值小於 1 厘米的比較確定不是古菱齒象牙齒。**齒板密度隨著古菱齒象的年齡增加而減小，齒板在幼年古象牙齒中是比較密集。幼年到青年象的牙齒齒板密度是每公分 0.66-0.79 片，青成年象的齒板密度是每公分 0.47-0.53 片，壯老年象的齒板密度是每厘米 0.39-0.42 片或者以下。

我們希望了解化石是怎麼形成的，通過野外埋藏實驗，探索化石埋藏的環境和埋藏的深度對樣品保存的影響，並培養和觀察起主要分解作用的生物。掩埋的樣品被分解的程度從高到低分別是淺土>深土>水下。比較樣品埋藏之前的重量和埋藏後挖掘出來洗淨風乾的重量，計算出樣品重量減少的相對比例，帶肉駝鳥頸骨由高到低分別是淺土>深土>水下。樣品減重數據和土壤生物培養實驗結果符合我們的實驗猜想：淺土分解生物蛆比較多，分解活動比較高，同時微生物分解活動也較高，而深土氧氣含量較少，分解生物蛆相對比較少，同時微生物分解活動可能也比淺土低，而在水下氧氣含量更低，微生物細菌和蛆可能更少，分解活動相對更低。土表樣品消失，在陸地上，死亡的生物遺體沒有被掩埋的話，很容易成為食物鏈中的一環，難以形成化石。超強的分解在溫暖濕熱的地方是很不利於化石的形成的。在台灣要形成化石，陸地上是非常困難的，在生物活動豐富的淺水也不容易。溫度是保存樣品是其可能成為化石的一個重要因素，我們認為澎湖水道動物群極其有可能是生得其所（在低窪的草原和沼澤地），死的其時（在冰期末期），在比較低溫時被快速掩埋入氧氣稀少的水下，因此這些巨型哺乳動物的化石得以被保存。

我們在實驗看到二氧化碳具有明顯的溫室效應，而且能夠不斷吸收太陽能，使溫室內持續維持較高的溫度。我們非常非常好奇巨大的古象 1 萬多年前還有，為什麼隨後它們會滅絕？我們最後討論古象的滅絕和全球環境氣候變遷可能存在的關係。在距今最近的一次冰期裡

，發生地球氣溫多次急劇上升的事件，我們思考古菱齒象和其他大型的哺乳動物很有可能就是在這短時間急劇的暖化滅絕的。而氣溫陡升可能是大氣二氧化碳含量達到臨界值導致的。

捌、參考文獻資料

1. 宋國士. *澎湖水道Penghu Channel*. 臺灣地質知識服務網.
<https://twgeoref.moeacgs.gov.tw/GipOpenWeb/wSite/ct?xItem=140868&ctNode=1233&mp=6>
2. 猛獁象. 維基百科.
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%8C%9B%E7%8A%B8%E8%B1%A1>
3. 科學發現：二氧化碳曾導致末次冰期地球氣溫陡升. (2017, June 24). 每日頭條.
<https://kknews.cc/science/y6o3gga.html>
4. Kang J-C, Lin C-H, Chang C-H. 2021. Age and growth of *Palaeoloxodon huaihoensis* from Penghu Channel, Taiwan: significance of their age distribution based on fossils. *PeerJ* 9: e11236. <http://doi.org/10.7717/peerj.11236>
5. 張鈞翔. (2017). *數字告訴你真相* (初版). 國立自然科學博物館.

【評語】 080503

研究將構想具體化，詳整現有資料，從象齒的量測、化石的生成、生存環境變遷的發想、到以土壤培養找出分解者，都想方設法實作。惟化石形成、保存過程、石化機制皆須納入考量，另文末執行的溫室效應與本研究主題連結稍弱。

作品簡報

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

組別：國小組

科別：地球科學科

真「象」原來如「齒」

—澎湖水道動物群古菱齒象牙齒化石探索

動機

- 台中科博館穿堂的巨大的大象化石模型，勾起我們對化石的強烈好奇，**古象是否來過台灣？**
- 古象 1 萬多年前還有，為什麼隨後它們會滅絕？
- 古象的滅絕和全球環境氣候變遷可能的關係？

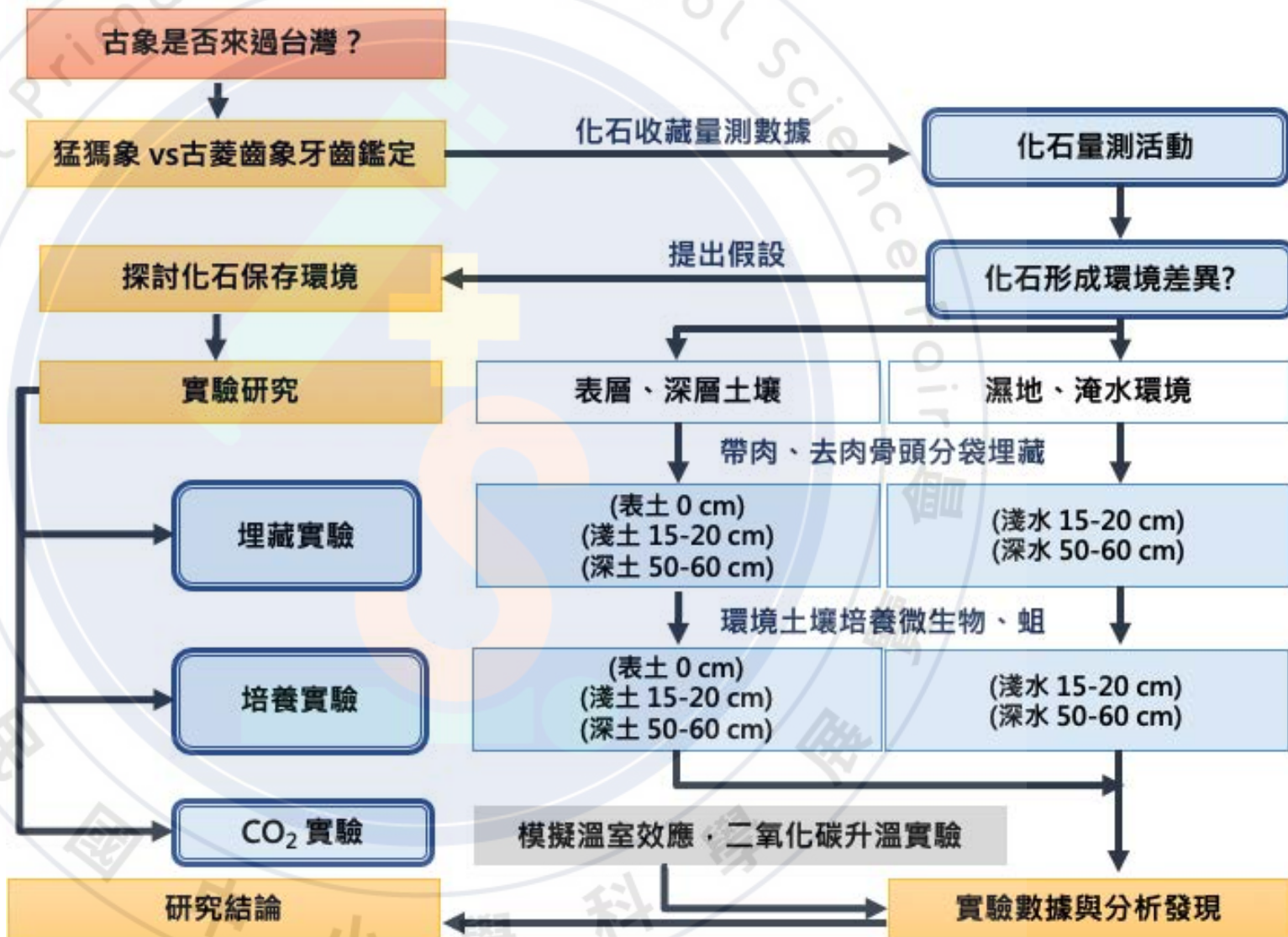
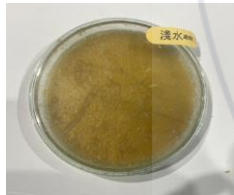
目的

- 古菱齒象與猛瑪象的特徵與區別
- 建立鑑別古象牙齒與大類的量化科學方法

方法

- 測量實驗：齒板數目、厚度、密度
- 埋藏實驗：分解生物、埋藏深度、埋藏環境
- 溫室效應實驗：二氧化碳濃度對大氣溫度的影響

研究過程與方法



澎湖水道古象牙齒化石告訴我們什麼？

【研究一】

認識澎湖水道的古環境和氣候變遷

【研究二】

大象的演化與變遷

【研究三】

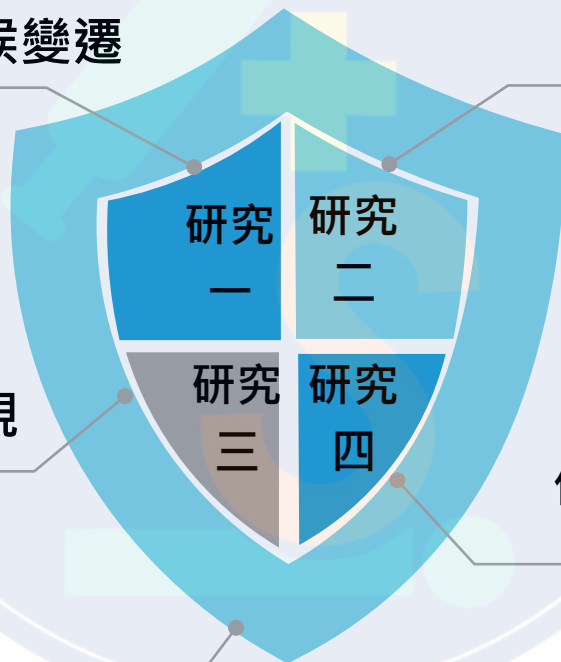
量測古菱齒象牙齒外觀與發現

【研究四】

什麼環境有利於形成化石保存下來？

【研究五】

溫室氣體對氣溫會產生什麼樣的影響？



【研究一】認識澎湖水道的古環境和氣候變遷

1. 什麼是澎湖水道？
2. 澎湖水道的古環境與氣候變遷



冰河期，冰消融前

冰河期，台灣海峽變成了**陸橋**，許多更新世巨型哺乳動物，從中國大陸北部向南部**遷移**，尋找比較溫暖有食物地方**生存**。

冰河期結束，**陸橋消失**，草原和沼澤地的**生存環境**消失。氣候與環境的**劇烈改變**，可能是大量的巨型哺乳動物死亡滅絕的重要原因之一。



冰河期結束，冰消融

【研究二】大象的演化與變遷

1. 台灣古象的種類？

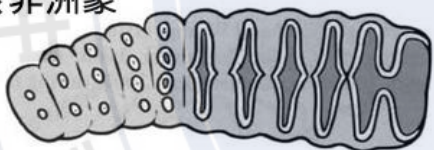
猛瑪象：長鼻目象科，猛獁象屬，曾存在台灣草原猛獁象。

古菱齒象：長鼻目象科，古菱齒象屬，可能由非洲的嵌齒象演化而來。

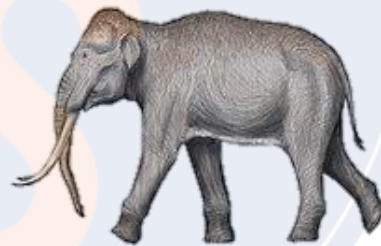
2. 非洲象、亞洲象與猛瑪象的齒板特徵

古菱齒象起源於非洲象

齒板中央
菱形明顯



古菱齒象屬

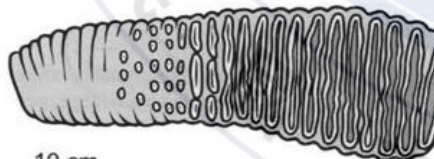


略微上翹的象牙，牙齒齒板厚，中間呈現明顯的菱形



亞洲象屬

齒板薄，
密集



猛瑪象屬

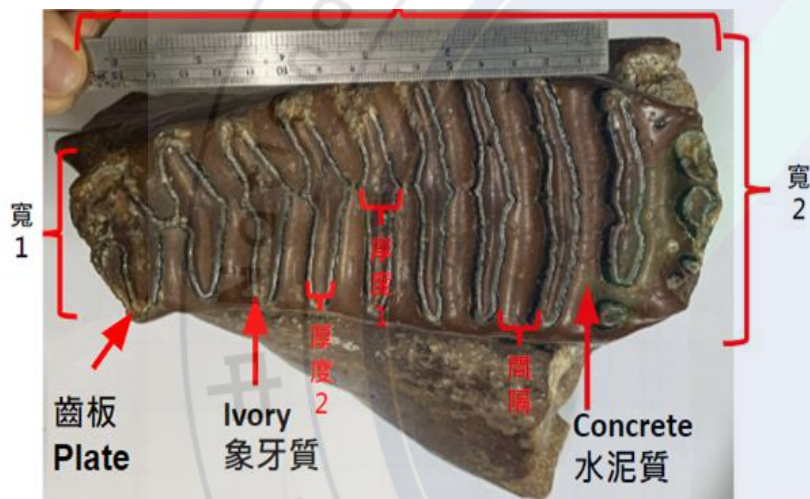


門齒向上彎曲。牙齒高齒冠，齒板較多且密集，瑯瑯質層較薄。

10 cm

【研究三】量測古菱齒象牙齒外觀與發現

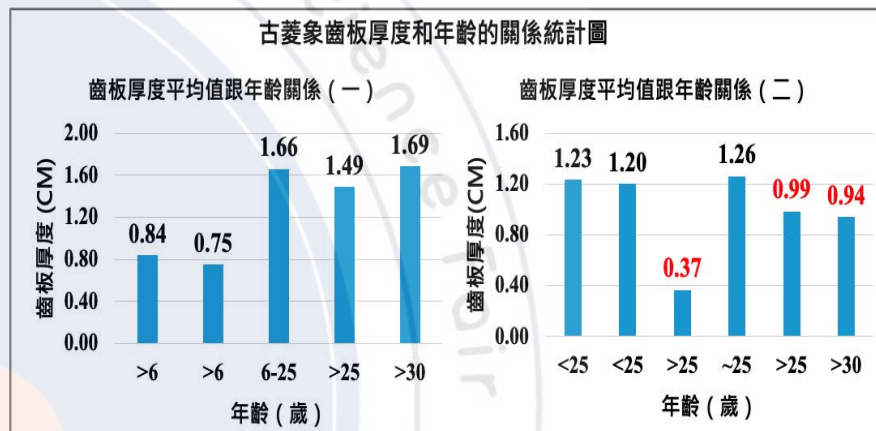
測量方法：



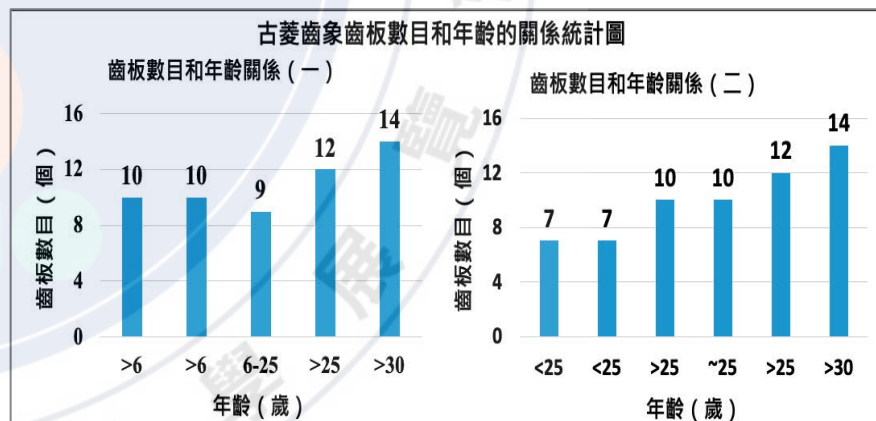
測量發現：

1. 齒板**數目**與年齡：齒板的數量隨年齡增加而增加
2. 齒板**厚度**與年齡：齒板厚度隨年齡增加而增加
3. 齒板**密度**與年齡：齒板密度隨年齡增加而減少

古菱齒象牙齒厚度和年齡的關係統計圖



古菱齒象牙齒數目和年齡的關係統計圖



【研究四】什麼環境有利於形成化石保存下來？



階段埋藏地點	埋藏前	挖掘出土清洗前	清洗風乾後的骨頭	樣品重量減少比例
淺土帶肉駝鳥頸骨				-400%
深土帶肉駝鳥頸骨				-326%
水下帶肉駝鳥頸骨				-268%
淺土無肉豬枝骨				-157%
冷凍庫豬枝骨				無分解

實驗發現：

1. 環境**含氧量**：淺土 > 深土 > 水下
2. 生物**分解**活動：淺土 > 深土 > 水下

【研究四】什麼環境有利於形成化石保存下來？



實驗發現：

分解生物**蛆**數量：淺土 > 深土 > 水下

	淺土	深土	淺水	深水
LB培養				
蛆數目	62隻	54隻	74隻	6隻

- 表土樣品消失，在陸地上，死亡的生物遺體沒有被掩埋，難以形成化石。
- 超強的分解作用、溫暖濕熱的在台灣要形成化石是非常困難的。
- **溫度**是保存樣品使其可能成為化石的一個重要因素。
- 我們認為澎湖水道動物群極有可能是生得其所（在低窪的草原和沼澤地），死得其時（在冰期末期），在低溫時掩埋入氧氣稀少的水下，因此得以被保存。

【研究五】溫室氣體對氣溫會產生什麼樣的影響？



以電子秤測量實驗所需粉末劑量

溶解檸檬酸

用水壓排除袋內空氣

用檸檬酸溶解小蘇打粉



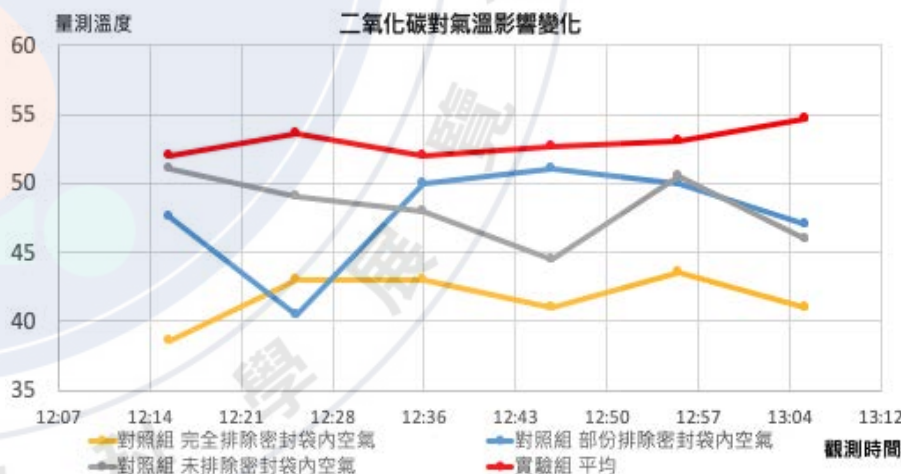
產生二氧化碳氣體

各3組

陽光下觀察袋內溫度變化

二氧化碳對氣溫影響觀測記錄

實驗組別	對照組			實驗組			平均溫度
	前	中	後	前	中	後	
實驗內容	高度排除密封袋內空氣	部份排除密封袋內空氣	未排除密封袋內空氣	檸檬酸20g · 水200ml · 小蘇打10g			
測量時間							
12:16	38.5°C	47.5°C	51°C	52°C	52°C	52°C	52°C
12:26	43°C	40.5°C	49°C	53°C	56°C	52°C	54°C
12:36	43°C	50°C	48°C	53°C	53°C	50°C	52°C
12:46	41°C	51°C	44.5°C	54°C	56°C	48°C	53°C
12:56	43.5°C	50°C	50.5°C	55°C	50°C	54°C	53°C
13:06	41°C	47°C	46°C	56°C	55.5°C	52.5°C	52°C



實驗發現：

二氧化碳具有明顯的溫室效應，能夠不斷吸收太陽能，使溫室內持續維持較高的溫度。

研究結論

1. 通過比較觀察古菱齒象的牙齒化石形態特徵，發展判斷古菱齒象牙齒的鑑定方法。
 1. 齒板**數目**與年齡：齒板的數量隨年齡增加而增加。
 2. 齒板**厚度**與年齡：齒板厚度隨年齡增加而增加。對比猛獁象牙齒，我們建議齒板 10 以上，青成年象齒板的厚度平均值小於 1cm 的比較確定不是古菱齒象牙齒。
 3. 齒板**密度**與年齡：齒板密度隨年齡增加而減少，每 cm 齒板數隨著年齡增加減少
2. 藉由埋藏實驗，探討化石成因。
 1. 掩埋樣品被分解的程度不同。掩埋前後重量減少的相對比例，符合實驗假設。
 2. 表土樣品消失，在陸地上，死亡的生物遺體沒有被掩埋的話，難以形成化石。
 3. 濕熱環境不利於化石的形成。
 4. 溫度是保存樣品可能成為化石的一個重要因素，我們認為澎湖水道動物群在比較低溫時被快速掩埋入氧氣稀少的水下，因此這些化石得以被保存。
3. 實驗顯示二氧化碳具有明顯的溫室效應

• 未來研究規劃：

1. 增加埋藏實驗的變因設計
2. 陸地差異性：土壤、礫石、沙地...等
3. 時間差異性：同環境下不同埋藏時間的差異
4. 溫度變化：於實驗室中，實驗不同溫度下菌相、分解速度的差異

謝謝各位委員指教

