

金門海域生態調查研究 文昌魚之資源調查研究與應用

金門國家公園管理處委託研究報告

中華民國 99 年 12 月

(本研究內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

PG9902-0357

金門海域生態調查研究 文昌魚之資源調查研究與應用

受委託者：中華民國溪流環境協會

研究主持人：張崑雄

協同主持人：邵廣昭

研 究 員：邵廣昭

研究助理：張家豪、張榮樺

金門國家公園管理處委託研究報告

中華民國 99 年 12 月

(本研究內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次

表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	IX
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起及預期目標	1
第二節 文獻回顧	3
第二章 材料與方法和結果	13
第一節 研究材料與方法	13
第二節 研究結果	16
第三章 結論與建議	29
第一節 結果	29
第二節 建議	39
附錄一 期中會議紀錄及回應	49
附錄二 期末會議紀錄及回應	55
附錄三 文昌魚細胞色素乙 (Cytochrome b) 基因和 12S rRNA 基因 序列	57
參考書目	63

表次

表 2-1 採集地點列表 17

表 2-2 粒度分類表 18

表 2-3 篩選度分級表 18

表 2-4 各測站之底質特性與文昌魚密度和平均體長..... 19

表 2-5 文昌魚細胞色素乙 (Cytochrome b) 基因和 12S rRNA 基
因引子序列 20

圖次

圖 1-1 基於細胞色素乙基因片段重建的文昌魚親緣關係樹。A. UPGMA 親緣關係樹	9
圖 1-2 基於細胞色素乙基因片段重建的文昌魚親緣關係樹。B. NJ 親緣關係樹	10
圖 1-3 白氏文昌魚及日本文昌魚染色體數目的不同。白氏文昌魚 ($2n = 40$)	10
圖 1-4 白氏文昌魚及日本文昌魚染色體數目的不同。日本文昌魚 ($2n = 36$)	11
圖 1-5 白氏文昌魚及日本文昌魚吻鰭型態的不同。日本文昌魚 (上圖)，白氏文昌魚 (下圖)	11
圖 1-6 白氏文昌魚及日本文昌魚尾鰭型態的不同。日本文昌魚 (上圖)，白氏文昌魚 (下圖)	12
圖 1-7 白氏文昌魚及日本文昌魚前臀鰭腔室型態的不同。日本文昌魚 (上圖)，白氏文昌魚 (下圖)	12
圖 2-1 原計劃採樣測站分布圖	21
圖 2-2 採樣測站 L1-L34 分布圖，紅星記號表示有捕獲文昌魚的地點	21

圖 2-3 金門水試所研究船	22
圖 2-4 金豐 68 號漁船	22
圖 2-5 文昌魚採集用之底拖挖泥器	23
圖 2-6 以篩網濤洗出的文昌魚	23
圖 2-7 文昌魚之解剖形態圖	24
圖 2-8 底質組成越不均勻，篩選度越不佳	24
圖 2-9 白氏文昌魚吻鰭較為圓鈍	25
圖 2-10 日本文昌魚吻鰭則較為尖長	25
圖 2-11 白氏文昌魚臀鰭腔室較小且密	26
圖 2-12 日本文昌魚臀鰭前腔室則較大且疏	26
圖 2-13 白氏文昌魚尾鰭較平緩	27
圖 2-14 日本文昌魚尾鰭則較陡峭	27
圖 2-15 以細胞色素乙基因所建構的 ML 演化樹	28
圖 2-16 以 12S rRNA 基因所建構的 ML 演化樹	28
圖 3-1 古寧頭北方海域可見的養蚶活動	41
圖 3-2 小金門東方海域可見的養蚶活動	41
圖 3-3 金門大橋建設案所預定的金門大橋位置	42
圖 3-4 研議中的金門廈門跨海大橋建設	42
圖 3-5 利用 33800 結構對比分析的胺基酸位置，以最大似然法所建構	

的演化樹	43
圖 3-6 太平洋西側三種鰓口文昌魚屬物種的分布情況.....	44
圖 3-7 廈金文昌魚專題研討會召開情形	45
圖 3-8 中國大陸歐厝村所見的文昌魚保護區石碑.....	45
圖 3-9 中國大陸歐厝村所見捕抓文昌魚的船隻.....	46
圖 3-10 中國大陸歐厝村所見捕抓文昌魚的工具.....	46
圖 3-11 中國大陸歐厝村港口中停靠的抽砂船	48

摘要

關鍵詞：頭索動物亞門、活化石、廈門

一、 研究計畫緣起

文昌魚是一種珍貴的海洋無脊椎動物，屬於脊索動物門中的頭索動物亞門。文昌魚在演化上具有獨特的地位，素有“活化石”之稱。在發育生物學、比較與功能基因體學等研究領域中都有重要的科學價值。文昌魚主要分布在溫帶到熱帶的砂質底淺海域，中國廈門一帶水域的文昌魚族群數量最為豐富，曾經成為當地特殊的一項重要漁業資源。然而近年由於大陸沿海地區的經濟開發與環境的變遷，導致文昌魚棲地的破壞，已使得當地文昌魚族群大量減少，因此中國大陸於1991年已將文昌魚列為國家二級保護動物。與廈門一水之隔的金門地區，受過去的戰地政務的關係，相對的保持了許多野生動物棲地的完整性。但近年來屢次發生大陸漁民非法入侵大、小金門之海域採捕文昌魚及抽取海砂之事件，以致造成金門海域文昌魚資源及棲地之破壞甚鉅，亟需予以調查了解，並制定保育及復育之措施。本研究計畫預計將以兩年時間蒐集及調查金門國家公園及鄰近水域文昌魚分佈的基礎資料，同時展開與對岸的漁業管理單位與文昌魚的學者專家進行交流協商，以便未來擬訂文昌魚之保育及復育方針。

二、研究方法及過程

本研究之第一年度之工作，係利用金門水產試驗所提供的研究船或是租用的民間漁船於99年6月至9月間進行野外調查工作。於金門西方與南方水域，設置了的34個樣點進行調查。明年再進行北方與東方水域之調查。野外調查除了利用底拖網具捕抓文昌魚外，也收集採樣點的底質，並將底質帶回實驗室後進行粒徑分析。此外也利用99年3月19日及11月5-6日於廈門舉辦「廈金文昌魚專題研討會」與「海峽兩岸海岸生物多樣性之研討會」之機會，與中國大陸從事文昌魚研究保育及管理的學者專家、政府官員進行交流，同時也實地走訪廈門當

地採捕文昌魚之業者，蒐集相關資料。

三、重要發現

金門海域中所棲息的鰓口文昌魚屬物種有二種，分別是白氏文昌魚 (*Branchiostoma belcheri*) 和日本文昌魚 (*B. japonicus*)。兩種文昌魚可藉由外部形態在吻鰭、尾鰭、和前臀鰭腔室的不同作區分。研究中發現，金門西方與南方海域中大多數調查地區的底質其實已經不適合文昌魚的棲息。此一現象可以解釋為何在調查中所捕獲的文昌魚非常稀少。

四、主要建議事項

根據本研究結果，提出下列具體建議。以下分別從立即可行、及中長期性建議加以列舉。

立即可行建議：

主辦機關：金門國家公園管理處

協辦機關：中華民國溪流環境協會

(一) 調查結果可納入更新解說資料。

金門國家公園關於文昌魚的解說資料，可就目前研究成果，更正如棲息於金門水域文昌魚物種數目等資料。

(二) 規劃金門東側與北側海域文昌魚族群的進一步調查。

未來將繼續規劃調查金門東側與北側海域文昌魚的調查計畫，以期完整建立金門週遭海域文昌魚資源資料。

中長期性建議：

主辦機關：金門國家公園管理處

協辦機關：中華民國溪流環境協會、中央研究院、金門縣水產試驗所

(一) 金門海域文昌魚的復育。

進行人工培育的文昌魚種源保存有助於未來的解說教育與對文昌魚生理生態的相關研究進行。

(二) 金門海域文昌魚棲地的保護。

已知文昌魚與棲息地底質環境間有十分重要的關係，文昌魚保育的成功與否有賴於能否維持適合文昌魚的棲息地環境。應及早制定文昌魚棲地保護相關計畫。

(三) 金門廈門文昌魚保育的合作。

金廈水域相連，文昌魚的保護計畫需要雙方面的合作。再者，中國大陸目前對文昌魚的相關研究技術都已有所成果，值得台灣方面學習。

Abstract

Keywords: Cephalochordata, living fossil, Xiamen

Lancelet is a very precious ocean invertebrate which belongs to subphylum cephalochordate, Chordata. It is called a living fossil for its unique place in evolutionary history and has important scientific value in development biology, comparative genomics, and functional genomics. Lancelet mainly distributes in the shallow waters in tropic and subtropic where floor is sandy bottom. In Xiamen of China waters, the population size of lancelet is very abundant and once became one of local essential fishery resources. However, recent environmental changes and economical development in China especially reclaim the wetland made the lancelet's habitat degradation and reduced the lancelet population size dramatically. For this reason, lancelet has been listed in a second class protected animal in China. Kinmen where is very close to Xiamen conserved more natural habitats for marine life than Xiamen due to the War-zone Civil Administration. Illegal invasions of Chinese fishermen into Kinmen and Leiyu waters for harvesting lancelet and extracting sea sand in recent years has destroyed the lancelet's habitat and lancelet resource. The lancelet survey for Kinmen waters is necessary for designing the conservation and restoration projects. The goal of this research is planning to collect the baseline data of lancelet in Kinmen National Park and its surrounding waters within two years. In the meantime, we will exchange information and collaboration with China Fisheries Management units and lancelet researchers to design the lancelet conservation and restoration projects.

During June to September 2010, the fieldwork was done by using the experimental ship of Kinmen County Fisheries Research Institute or hiring a fishery boat. A total of 34 sampling sites located in Kinmen west and south waters. Besides

collecting lancelets by dredge, the sediments were also collected and analyzed.

In this research, two *Branchiostoma* species were indentified in Kinmen waters, one was *Branchiostoma belcheri* and the other was *B. japonicus*. These two species could be distinguished from the morphological difference on the rostral fin, the pre-anal fin chamber, and the caudal fin. In most sampling sites, the sediments were no longer suitable for lancelet habitat. This is probably the reason why the lancelet is becoming rare in Kinmen waters.

Based on this research, we suggest the following immediate action and long-term strategies.

For immediate action:

1. The result study can be incorporated into Kinmen National Park leaflet
2. Designing the further lancelet survey project on Kinmen East and North waters

long-term strategies:

1. Conservation and recovery of lancelet in Kinmen waters
2. Protection of lancelet habitat in Kinmen waters
3. Lancelet conservation and recovery collaboration between Kinmen and Xiamen government

第一章 緒論

第一節 研究緣起及預期目標

一、金門文昌魚研究計畫緣起與目標

文昌魚主要分布在熱帶與亞熱帶的砂質底淺海域，中國廈門一帶水域擁有較大量的文昌魚族群數量最為豐富，曾經成為當地特殊的一項重要漁業資源。然而近年由於大陸沿海地區的經濟開發與環境的變遷，導致文昌魚棲地的破壞，已使得當地文昌魚族群大量減少，因此中國大陸已將文昌魚列為國家二級保護動物。與廈門一水之隔的金門地區，過去的戰地政務雖然限制了沿岸的開發，卻使當地的自然環境未受到太大的破壞，相對的保持了許多野生動物棲地的完整性。因此近年來屢次發生大陸漁民非法入侵大、小金門之海域採捕文昌魚及抽取海砂之事件，以致造成金門海域文昌魚資源及棲地之破壞甚鉅，亟需予以調查了解，並制定保育及復育之措施。對文昌魚生物生態習性及其學術及應用方面之價值與重要性亦需作整理，以便提供解說教育的保育宣導之用。目前的採集調查只知道金門與小金門附近海域確實也有文昌魚族群存在，但我們對於其族群的分佈與數量與目前受到採捕與抽砂之影響，還未有詳細的了解。其族群結構亦無相關之研究報告可供參考。利用繁養殖與種苗放流方面來復育是否可行，亦無已評估的結果可供參考。

本研究計畫預計將蒐集金門國家公園及鄰近水域文昌魚的基礎資料，並期望配合實驗室的工作進行文昌魚資源的保育與復育，並達成下列目標：

1. 金門鄰近水域文昌魚資源的調查與監測。
2. 金門鄰近水域文昌魚棲息地環境的分析。
3. 文昌魚目前受到人為活動因子的影響。
4. 建立兩岸文昌魚研究與保育交流平台。

5. 文昌魚在生態演化上的重要性分析。
6. 文昌魚保育及復育的建議。

二、研究進度表

預期工作項目	99 年										
	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	
資料收集	■	■									
安排準備採集器材與船隻	■	■									
辦理出海公文	■	■									
兩岸文昌魚研究保育交流	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
文昌魚資源的調查與監測				■	■	■	■	■			
文昌魚棲息地環境的分析				■	■	■	■	■	■	■	
製作成果報告						■	■	■	■	■	
期末簡報											■

第二節 文獻回顧

一、文昌魚型態之習性

頭索動物亞門 (Cephalochordata) 的動物通常被統稱為文昌魚 (Lancelet 或 Amphioxus)。這一類生物在地球的演化歷史相當的長，早在距今五億多年前的寒武紀的地層中就可以發現此一類生物的化石存在 (Chen et al., 1999)。今天，雖然此一生物的現存物種不多，但卻廣泛分布在世界各地的溫帶和熱帶海域。漫長的演化歷史並未造成這一類生物的形態外觀上有所明顯變化，其終生保有脊索動物門 (Chordata) 的三大特徵，分別是：背神經管、脊索、和咽裂。

文昌魚成體棲息於熱帶到溫帶間淺海域之砂質底 (Poss and Boschung, 1996)，平時將身體埋在砂中，僅露出頭部，並不善於游泳，只有在受驚嚇時才會離開砂中，以體側肌肉輪替收縮的方式像鰻一般地游動。文昌魚為濾食者，其攝食方式是藉由前端口鬚的纖毛運動以帶動水流，將周圍的微小有機物過濾進入口中。文昌魚為雌雄異體，體外受精，偶有雌雄同體之特例 (金, 1988)，產卵期多在春夏兩季，於日落時產卵，目前發現許多種類的個體能在生殖季中重複進行產卵 (Stokes and Holland, 1996)。初生卵會下沉至砂中或在水中自由地漂浮，進行長約 10-25 天之漂浮期，幼魚能在水面作纖毛運動，且有日夜垂直洄游之習性，待 36 小時之後卵黃便會完全地被消耗，嘴巴開始出現在身體左側，第一個鰓裂出現在身體中線上，但稍後便會轉移到右側，肛門則是出現在左側，至於生殖腺多在 2-4 年後才出現，四歲時則開始陸續死亡 (Bigelow et al., 1948)。文昌魚具有瘦長的體型，貫穿頭尾的脊索，兩端尖，體側扁，活體呈白色半透明，成熟時體長不一 (1-8 cm)，在受驚嚇時全身以似鰻的方式擺動。

作為一種珍貴的海洋無脊椎動物，文昌魚最早的研究報告可追溯至 1774 年，由德國科學家 Pallas 在英國南部海岸首次採集到文昌魚，但在當時卻被誤以為是屬於軟體動物門的一種肺螺類動物。這一個錯誤一直要了 1836 年，Yarrell

在地中海沿岸再次捕抓到文昌魚時，發現這種動物具備許多類似脊椎動物的特徵，因而重新命名。根據命名法則的優先性原則，在歐洲大西洋與地中海所採集的文昌魚，學名應為 *Branchiostoma lanceolanyum*，中文稱為大西洋文昌魚或是歐洲文昌魚。

二、文昌魚之發現與分類

雖然文昌魚早在 18 世紀時就被人們所發現，但大多數文昌魚種類的命名多在 20 世紀 30 年代以前，之後文昌魚的分類研究就不再吸引動物學家的興趣，主要是因為這類世界廣泛分布的小型海洋動物在形態上非常缺乏鑑別的特徵，不容易準確地區別出不同的種類。更有甚者，文昌魚的分類系統不穩定，也是造成文昌魚分類研究困難的一大問題。文昌魚的分類系統歷史簡介如下：最早是由 Bigelow 等 (1948) 認為文昌魚只有一個目，即文昌魚目 (Amphioxiformes)，此一目中包含有三個科，分別是：

1. 鰓口文昌魚科 (Brachiostomatidae)
2. 側殖文昌魚科 (Epigonichthyidae) 或稱偏殖文昌魚科 (Asymmetriontidae)
3. 浮游文昌魚科 (Amphioxididae)

其中浮游文昌魚科不同於一般文昌魚行底棲之生活，而是浮游於大洋中，關於其分類地位目前仍多爭議，分別有兩派的觀點被提出來解釋。一是浮游文昌魚的確是文昌魚類群中特別的一個類群，其終生行浮游生活；而另一派的說法卻認為，浮游文昌魚可能只是某一類文昌魚的幼體，當漂浮在大洋中卻無法找到合適砂質地點可供其營底棲鑽砂生活時，延長其浮游期以增加其擴散範圍，所以在水層中亦曾捕獲體型大且具生殖成熟之個體，部分學者認為這可能是“幼體成熟”或“幼體持續”(neotenic species) 的現象。究竟浮游文昌魚是否為獨立之屬或種？或是某種文昌魚之幼魚？一直還未有明確定論。

在 McCrosker 所發表的“A Working List of Fishes of the World”中便將浮游文

昌魚科降為屬，共列有二科五屬二十八種；而在 Nelson (1994) 的“世界魚類”一書中，又將文昌魚目降為一科二屬二十二種，分別是鰓口文昌魚屬 (*Branchiostoma*) 及側殖文昌魚屬 (*Epigonichthys*) 兩個屬；Poss and Boschung (1996) 最近的整理亦同意此點。他們重新檢視各地博物館典藏的 1724 尾文昌魚標本後，利用多變值統計分析肌節及鰭基室數目等 6 個計數形質後，認為目前所命的 50 種名字中，只有 29 個有效種，包括 22 種鰓口文昌魚，7 種側殖文昌魚。他把長吻文昌魚屬 (*Dolichorhynchus*) 併入鰓口文昌魚屬，偏殖文昌魚屬 (*Asymmetron*) 併入側殖文昌魚屬，也不承認浮游文昌魚的存在。雖然 Andrews (1893) 所命名的魯卡偏殖文昌魚 (*Asymmetron lucayanum*) 所建立的屬名並不被 Nelson 和 Poss 等人所認同，但最近 Nishikawa (2004) 在鹿兒島西南 200 多公尺深的海中捕獲並發表了一個新種 *Asymmetron inferum*，認為應該要恢復偏殖文昌魚屬 (林，2001; 王等，2004; Xu et al., 2005)。

三、文昌魚之演化及基因研究

文昌魚在演化上具有獨特的地位，素有“活化石”之稱，在形態結構、胚胎發育及基因組結構等方面與脊椎動物有相當高的相似性，不僅是研究脊椎動物起源與演化的關鍵類群，也隨著生命科學基因體研究的發展，科學家逐漸發現需要目前常用的模式動物如：斑馬魚、果蠅、線蟲等遠不足當前需求，需要尋求一種新的模式動物，牠必須在軀體結構上如線蟲般簡單卻又保有與人類和其他脊椎動物較高同源性的個體發育和系統發生。文昌魚恰巧滿足此一需要，牠個體小且軀體呈現透明，行體外受精，且人工繁養殖技術亦已成熟。都是作為生命科學實驗模式動物的必要條件。最早由 Garcia-Fernandez 等人在 1994 年於 Nature 發表有關文昌魚 Hox 基因簇組織結構的報告後，每年以文昌魚為題材的研究報告數量逐年增加，更在 2003 年，以大西洋西岸產的佛羅里達文昌魚 (*Branchiostoma floridae*) 為目標物種的全基因體研究計畫正式被提出。2006 年 3 月，佛羅里達

文昌魚的兩個大片段基因組文庫也正式被公佈。

2010 年，隨著中國大陸地區對文昌魚研究的增加，文昌魚實驗室養殖的技術成功。對中國產文昌魚的全基因組定序工作的重要性日與俱增，全基因組定序工作的完成將有助於促進文昌魚成為新一生命科學研究模式動物的應用。再者，大西洋產的佛羅里達文昌和太平洋西岸中國產文昌魚被預估有 1.12 億年的演化分隔，基因組可能已經產生較大的遺傳分化。因此，建立中國產的白氏文昌魚的全基因組細菌人工染色體（bacterial artificial chromosome）文庫建構的計畫也已被提出完成（張等，2010）。未將來中國產文昌魚的全基因組定序工作奠下基石。然而在發育生物學、比較與功能基因體學等研究領域中，文昌魚的研究愈來愈多時，科學家對其物種資源、生習環境、與族群研究的方面卻還是十分不足。

四、中國的文昌魚研究

廈門關於文昌魚由來的傳說很多，其中一則與南宋理學家朱熹有關。相傳在朱熹任泉州同安縣主簿時，有條大鱷魚在同安劉五店海域作怪，有天夜裡鱷魚竄入縣城裡作亂時，被朱熹以文案上的朱筆正氣所傷。鱷魚躲回海中後不久便死去，其屍體腐化生出許多白色小蟲，而骨頭則變成一塊大石。這一塊大石就是今日劉五店海域的鱷魚嶼，而生出的白色小蟲沉入砂底後愈生愈多，雖然是沒骨沒鰓但卻味道鮮美。朱熹因為這小蟲每年約在文昌帝君生日前後會大量出現，故將牠取名叫文昌魚。

福建廈門沿海居民捕抓文昌魚的傳統可追溯自唐代，但最早的正式科學報導起於 1923 年。由時任職於廈門大學生物系的美國科學家 Light 在 Science 上所發表，敘述了廈門附近海濱有大量的文昌魚棲息與當地漁民捕撈文昌魚的工具和生產活動，並且預估了年產量。Light 也認為廈門海域是世界上唯一的文昌魚漁場。等到 1932 年，Boring 以形態學特徵比了廈門、歐洲、和美國的文昌魚後，認為廈門文昌魚應該是和馬來西亞婆羅洲產文昌魚是同一種，其中文名及學名應該是

白氏文昌魚 (*Branchiostoma belcheri*)，此一學名也一直沿用至今。但中國產文昌魚卻並不只有白氏文昌魚一種，另一種日本文昌魚 (*B. japonicus*) 也在近年內已經被認定是一個有效物種 (王等, 2004; Xu et al., 2005)。這兩個文昌魚物種在中國的分類簡史敘述如下：1936 年，Tchang and Koo 比較青島附近的膠州灣與產自廈門的文昌魚標本後發現這些標本在身體大小、口鬚數、緣膜觸手數、生殖腺數和鰓桿數等方面與廈門產白氏文昌魚非常相似，但在肌節數、鰭室數等方面存在有一定的差異，認為膠州灣產文昌魚為白氏文昌魚的一個變種，並將其定名為 *B. belcheri var. tsingtauense* (Tchang and Koo 1936, 1937)。Zhou (1958) 比較來自海南、廈門、青島和煙台的文昌魚後，同意 Tchang and Koo 先生的論點，認為廈門、海南產的文昌魚與青島、煙台產的文昌魚有較顯著差異，中國南方與北方的文昌魚有明顯的分化，此後學術界將產自膠州灣及其鄰近海域的北方文昌魚作為青島亞種 (*B. belcheri tsingtauense*)，而其他產區的文昌魚仍被稱白氏文昌魚 (*B. belcheri*)。

但 Nishikawa 早於 1981 年的研究結果就指出認為，日本產的文昌魚與青島產的文昌魚屬同一個亞種。進一步考證命名時間發現，Willey 於 1897 年已將日本產的文昌魚命名為 *B. belcheri var. japonicus*，而 Tchang and Koo 的命名時間較 Willey 晚，根據動物命名優先性原則，青島的文昌魚亞種名 *B. belcheri var. tsingtauense* 為無效亞種。原來白氏文昌魚青島亞種的種名應更正為日本文昌魚 (*B. japonicus*)。目前廈門海域產的兩種文昌魚應分別為白氏文昌魚和日本文昌魚 (王與方, 2005)。

這兩種文昌魚在形態上非常相似，除了藉助 DNA 分子標記技術與親緣關係分析的演化樹建構 (圖 1-1, 1-2)，可以將兩種文昌魚分開外，再進行細緻的形態學統計與染色體分析後，最後也可以在形態學特徵與染色體數目上將這兩種文昌魚區別出來 (圖 1-3、1-4、1-5、1-6、1-7)。白氏文昌魚的染色體數目 $2n=40$ ，而日本文昌魚的染色體數目 $2n=36$ ；白氏文昌魚的吻鰭型狀較為圓鈍，而日本文昌魚的吻鰭型狀較為尖銳；白氏文昌魚的前臀鰭腔室細窄而密集，日本文昌魚的

前臀鰭腔室寬大而稀少；白氏文昌魚的尾鰭起始處形狀較為陡峭，日本文昌魚的尾鰭起始處形狀較為平緩。

五、台灣的文昌魚研究

台灣本島、金門、馬祖及台灣堆海域目前共發現有四種文昌魚 (Huang and Toung, 1979; Nishikawa et al., 1997; 林, 2001; 林與邵, 2004)，分別為鰓口文昌魚屬的白氏鰓口文昌魚 (*Branchiostoma belcheri*)，側殖文昌魚屬的短刀側殖文昌魚 (*Epigonichthys cultellus*)、魯卡側殖文昌魚 (*E. lucayanus*) 及馬爾地夫側殖文昌魚 (*E. maldivensis*)，其中於台灣東北角所採獲之白氏鰓口文昌魚為台灣的新紀錄，魯卡及馬爾地夫側殖文昌魚則是首次於台灣北部海域發現。另外在文昌魚目中分類地位仍不確定的浮游型文昌魚 (Amphioxides)，該研究雖以 DNA 序列之比對證實於南灣後壁湖港外所採獲之四尾漂浮文昌魚 (*Amphioxides pelagicus*) 為魯卡側殖文昌魚之幼生，但仍不足以否定浮游文昌魚屬的存在性。以較文昌魚為進化之八目鰻 (lamprey) 為外群，分析文昌魚粒線體 12SrRNA 片段所重建之類緣關係樹，顯示生殖腺及腹褶對稱發育的鰓口文昌魚屬較不對稱的側殖文昌魚屬為原始，以演化最儉約分析法更顯示鰓口文昌魚屬及側殖文昌魚屬皆為單系群，又因魯卡及馬爾地夫側殖文昌魚兩種側殖文昌魚間之遺傳距離遠大於與其他鰓口文昌魚之距離，且魯卡具有尾突此衍徵，馬爾地夫則無，此差異顯示側殖文昌魚應可再分為兩個不同的屬。又於金門、廈門採獲之白氏鰓口文昌魚與其在日本、青島之青島亞種 (*B. b. tsingtauense*) 在遺傳上並無分群或區隔之現象。底砂之特徵為影響文昌魚底棲分布的重要因素。白氏鰓口文昌魚、魯卡及馬爾地夫側殖文昌魚的地理分布及出現頻度與底砂的粒度大小最相關。白氏鰓口文昌魚常見於金門料羅灣海域，多棲息於粗砂中，在本島及馬祖則極為少見；魯卡及馬爾地夫側殖文昌魚對棲地之選擇則無顯著差異，皆分布於東北角及墾丁海域礁砂混合帶的中等粗砂中，但魯卡側殖文昌魚之密度遠高於馬爾地夫側殖文昌

魚。該研究更發現兩者之棲地雖多重疊，但卻有不同之偏好，在顆粒較粗、泥量極少的環境中，馬爾地夫側殖文昌魚的相對密度大幅提高，而在細砂地上則多由魯卡側殖文昌魚所組成，顯示兩者在微棲地上的選擇有所區隔。分析自 1999 年 9 月至 2001 年 4 月魯卡側殖文昌魚族群隨季節之變動，發現南部族群密度較高，全年皆有出現，於 6 月達高峰，無明顯之生殖季節，但 6-10 月生殖成熟之比例較高，應有新族群不斷在入添；北部族群密度則較低，僅於 5-9 月出現，數量也於 6 月達高峰，生殖成熟之個體則僅出現在水溫較高的 8-9 月。南北族群皆以濾食周圍碎屑維生，以矽藻為主。

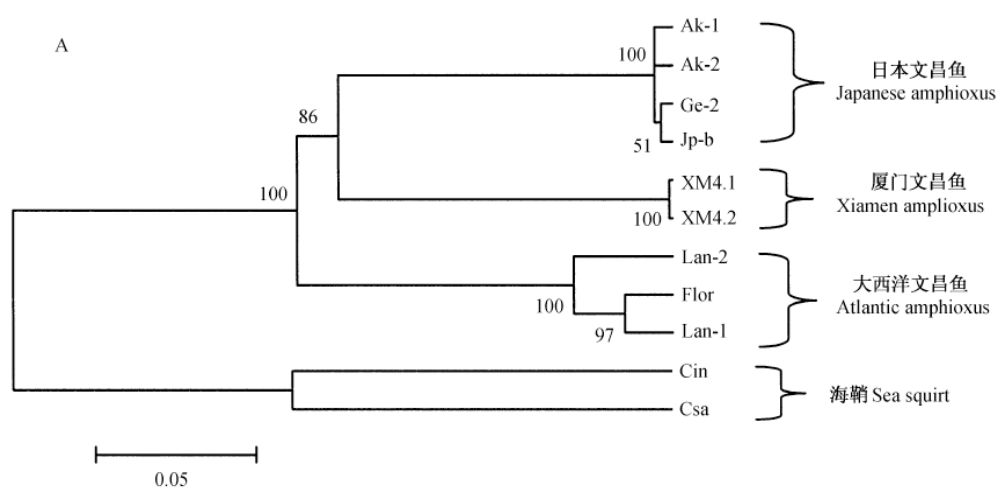


圖 1-1 基於細胞色素乙基因片段重建的文昌魚親緣關係樹。A.

UPGMA 親緣關係樹

(資料來源：王等，2004)

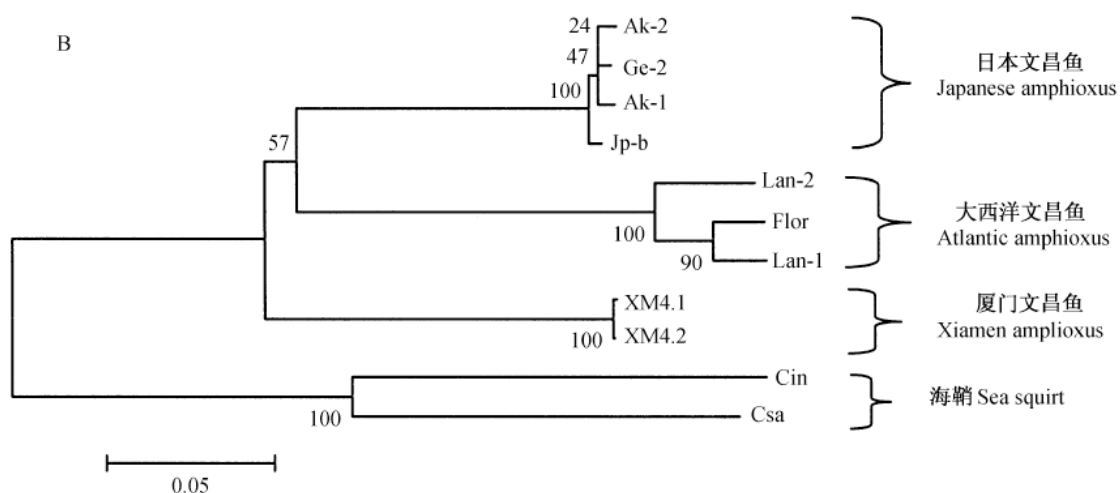


圖 1-2 基於細胞色素乙基因片段重建的文昌魚親緣關係樹。B. NJ 親緣關係樹

(資料來源：王等，2004)



圖 1-3 白氏文昌魚及日本文昌魚染色體數目的不同。白氏文昌魚 ($2n = 40$)

(資料來源：張等，2009)



圖 1-4 白氏及日本文昌魚染色體數目的不同。日本文昌魚 ($2n = 36$)

(資料來源：張等，2009)

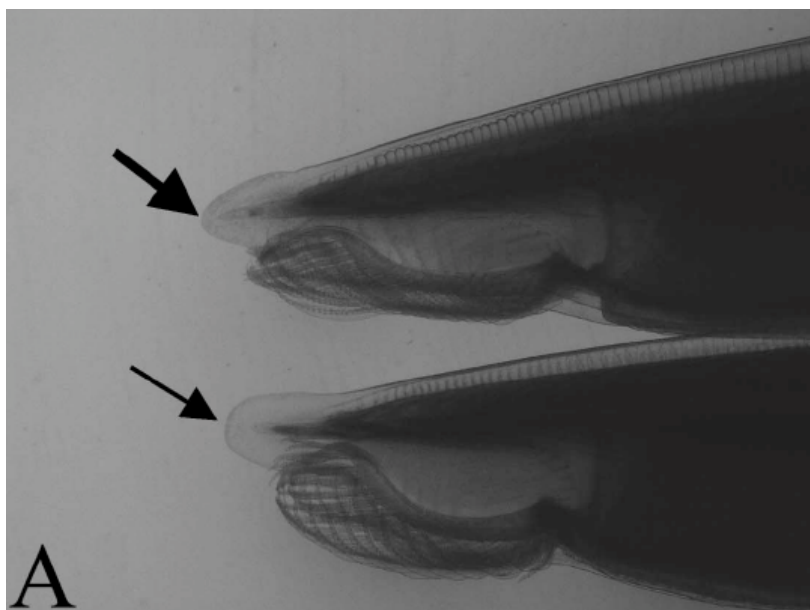


圖 1-5 白氏文昌魚及日本文昌魚吻鰭型態的不同。日本文昌魚 (上

圖)，白氏文昌魚 (下圖)

(資料來源：Zhang et al., 2005)

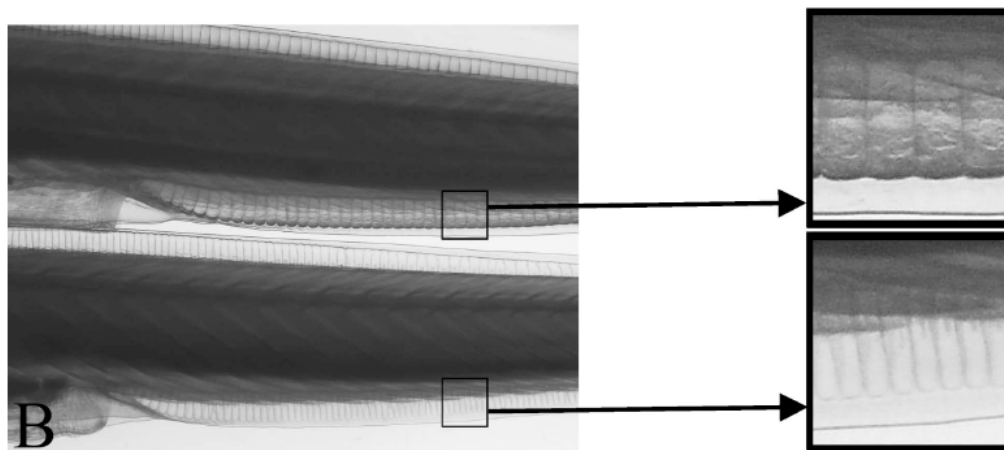


圖 1-6 白氏文昌魚及日本文昌魚尾鰭型態的不同。日本文昌魚（上圖），白氏文昌魚（下圖）

（資料來源：Zhang et al., 2005）

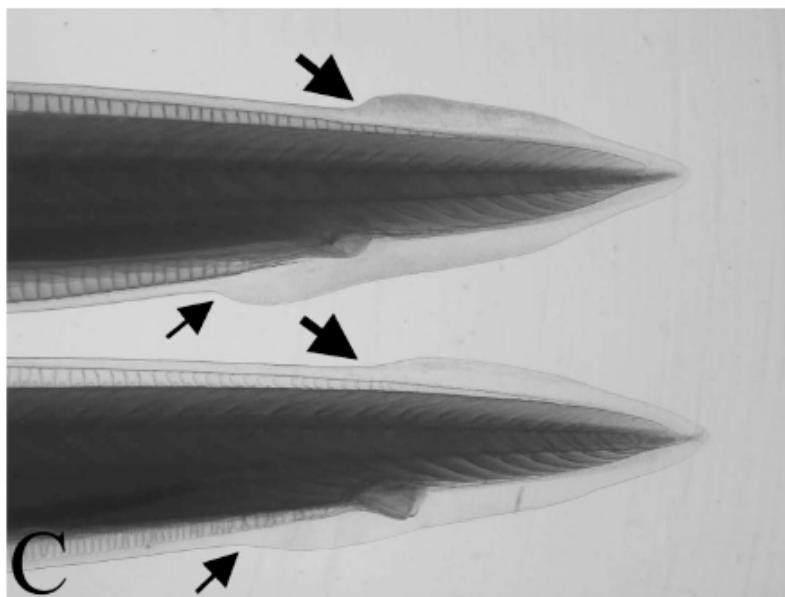


圖 1-7 白氏文昌魚及日本文昌魚前臀鰭腔室型態的不同。日本文昌魚（上圖），白氏文昌魚（下圖）

（資料來源：Zhang et al., 2005）

第二章 材料與方法和結果

第一節 研究材料與方法

一、材料與方法

本實驗於 2010 年 5 月 27 日與 9 月 16 日在金門料羅灣、金烈水道、與小金門周遭海域規劃數個測站進行文昌魚之採集，詳細的採樣點資訊如圖 2-1，2-2 與表 2-1 所示，原本計畫在水深 5 m，10 m，20 m，40 m 的不同深度進行採樣，但後來發現金門周遭水域深度多未達 40m 深，而改用現在使用的測站分佈。搭乘金門水產試驗所的研究船或是租用金豐 68 號漁船（圖 2-3，圖 2-4）進行海上作業，以一截面積為 50 cm×30 cm 的不銹鋼方形為開口的底拖挖泥器，後端加上長度 50 cm 的封閉網袋（圖 2-5），網目小於 1 mm，進行底拖作業，將採集的底質先裝入塑膠桶中後，待回岸上進行文昌魚之淘洗。將網袋內的砂倒入一裝有適量酒精及海水的桶中，以手均勻攪拌，此時文昌魚之鑽沙能力會減弱而因此停留在海水中，再迅速地以篩網將海水過濾，即可見長約 0.5 至 4 cm 之透明文昌魚魚體以左右擺動的方式運動（圖 2-6），小心地以毛筆將其沾起，放入固定液中固定後，帶回實驗室中再進行體長的測量。

二、文昌魚形態觀察

由於台灣地區文昌魚的體長普遍很小（0.5-4.4 cm），所以分類上的計數形質需經由顯微攝影機投射至電視螢幕上進行計數，其主要的分類形質有背鰭基室（dorsal fin-ray box）、腹鰭基室（ventral or preanalfin-ray box）、肌節（myotome or myomere）、口鬚（oral cirri）及生殖腺（gonad）的數目，還有腹褶（metapleural fold）的範圍、鰭褶（finfold）的形狀及尾突（urostyloid process）的有無等（圖 2-7），分類形質之定義如下：

背鰭基室：位於背鰭基部排列成一列的透明小室，形狀大小不規則，但多為方形至橢圓形，於身體兩端會逐漸變小，沒有輔助游泳的功能。

腹鰭基室：位於腹鰭基部排列成一列的透明小室，外型與背鰭相似，但數量較少，並非每一種文昌魚都有，亦無輔助游泳的功能。

肌節：位於身體兩側，最多可達 75 個分節排列之肌肉構造，每個肌節皆呈 V 字形，尖端朝前，白色半透明，富有彈性及光澤，可分別以圍鰓腔孔（腹孔）及肛門的位置為界線，分隔成三部分（腹孔前+腹孔至肛門+肛門後），但漂浮文昌魚屬因為圍鰓腔並無封閉，所以僅能分隔成兩部分（肛門前+肛門後）。

口鬚：位於身體前端腹面，由一軟骨延伸出 30 到 40 根絲狀構造，相互呈指狀交叉，有過濾食物之功能，有些種類的口鬚上有小突起，具感覺功能。

生殖腺：沿著圍鰓腔壁分節排列之卵巢或精巢，成熟之文昌魚個體具有 20 個以上的生殖腺，呈團狀，其大小會隨著個體的成熟而增加，在側殖文昌魚屬中，生殖腺僅位於右側，鰓口文昌魚屬則兩側都有，成熟的卵或精子會破生殖腺壁再經由圍鰓腔孔排出體外。

腹褶：位於腹部的一對縱走皮褶，從口部延伸至圍鰓腔孔。

鰭褶：包圍在背鰭室、腹鰭室與尾巴外部之皮褶，彼此癒合成一片。

尾突：脊索往後延伸突出，且其上無肌節之包附，即尾部特別細長，此特徵被認為是子孫獨有形質（*autapomorphic character-state*）。

三、底質粒度分析

文昌魚為底棲於砂中的生物，且會隨著底質的特性而有不同之棲息方式，所以，如要了解其對棲地之選擇，必須對其底質進行了解，在野外挖砂採集文昌魚的過程中，取底托收集之底砂回實驗室作分析。底砂之粒度分析以濕篩方式處理（參考 Buchanan and Kain, 1971; Hsieh and Chang, 1991），首先，將各站底砂樣品依序用網目為 1.00、0.50、0.25、0.125、0.062 公厘之篩網在水中過篩，收集各

篩網內之砂粒，置於溫度 60 °C 下烘乾至重量不變，秤重，紀錄各網目篩網篩選後之砂粒重量。至於顆粒極小的粉泥及黏土 (Silt-clay)，則是將通過 0.062 公厘篩網之顆粒，以定量吸管測量法 (Pipette method) (Buchanan and Kain, 1971; Hsieh and Chang, 1991) 分析，此分析需在室溫 20 °C 下進行。底砂之物理特性可藉由粒度大小中間度 (Md Φ) 及篩選係數 (Sorting coefficient) 來界定，這兩個數據由上述所得之顆粒大小分布頻度圖中得之，其中

$$\Phi = -\log_2 (\text{粒度大小 (mm)})$$

依粒度大小之 Φ 值對照各個顆粒分組所佔砂樣總重量之累積百分比，在機率紙上畫一曲線，可得當累積百分比為 95%、84%、50%、16%、5% 時之 Φ 值，則

$$\text{中間度 Md}\Phi = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}) / 3$$

再經 $2^{-Md\Phi}$ 回推顆粒直徑 (mm)，將所得之數值對照粒度分類表 (Folk 1966) 可得其粒度類別 (粗砂、中度粗砂、細砂、極細砂及粉泥／黏土五級，分選依據如表 2-1)

$$\text{篩選係數} = (\Phi_{84} - \Phi_{16}) / 4 + (\Phi_{95} - \Phi_5) / 6.6$$

可對照篩選分級表 (Folk 1966) 得其底質篩選程度 (極佳、佳、中度佳、尚佳、不佳五級，分選依據如表 2-3)。篩選度越佳，表示其底質越不均質 (圖 2-8)。

第二節 研究結果

一、研究結果

34 個測站所採集的底質，經由方法中的敘述過程做底質分析後，結果如表 2-4 中所示。大部分的採樣測站的底質環境為細砂或極細砂，分選度不佳。僅有 L14、L22 與 L34 三地的底質為中等佳至尚佳的粗砂，有文昌魚的捕獲紀錄。

二、金門海域的文昌魚種類與其基因序列分析

金門海域所採集的文昌魚，可以發現 2 個種類。分別是白氏文昌魚及日本文昌魚。兩種文昌魚雖然在基因與染色體上有明顯的不同，但是在外型上卻非常相像。只有 3 處特徵可供區分此兩種文昌魚，分別是：吻鰭 (rostral fin)、前臀鰭腔室 (pre-anal fin chamber)、和尾鰭 (caudal fin)。詳細的形態特徵如圖 2-9 到圖 2-14 所示。雖然兩種文昌魚具有外型上的不同，但需要有相當經驗的專家才能明確區分出兩種文昌魚，研究中在金門採集到的文昌魚即是由發表白氏與日本文昌魚的張秋金博士所協助分類。兩種文昌魚最明顯的不同是在前臀鰭腔室，但此一特徵當文昌魚被固定後此特徵就不再容易觀察，而用底拖方法採集的文昌魚又常在吻鰭與尾鰭位置受傷，始分類依據特徵不再，比較可靠的分類方法還是以利用 DNA 基因序列作區分比較不容易出錯。

本研究利用設計的細胞色素乙 (Cytochrome b) 基因和 12S rRNA 基因引子 (表 2-5) 分別將萃取出的白氏與日本文昌魚 DNA 進行聚合酵素鏈鎖反應。增幅放大目標片段 (附錄三)。所得的序列結果利用 PhyML 軟體繪製 Maximum-Likelihood 親緣關係演化樹 (圖 2-15、圖 2-16)。所得的親緣關係分析結果支持白氏與日本文昌魚的差異性程度確為兩個不同的物種。

表 2-1 採集地點列表

測站編號	座標	測站編號	座標
L1	E: 24°23' N: 118°26'	L18	E: 24°28.5' N: 118°16.5'
L2	E: 24°21' N: 118°26'	L19	E: 24°30' N: 118°18'
L3	E: 24°25' N: 118°24'	L20	E: 24°30' N: 118°17'
L4	E: 24°23' N: 118°24'	L21	E: 24°30' N: 118°16'
L5	E: 24°21' N: 118°24'	L22	E: 24°29' N: 118°16'
L6	E: 24°25' N: 118°22'	L23	E: 24°28' N: 118°16'
L7	E: 24°23' N: 118°22'	L24	E: 24°27' N: 118°16.5'
L8	E: 24°21' N: 118°22'	L25	E: 24°25' N: 118°15'
L9	E: 24°21' N: 118°20'	L26	E: 24°24' N: 118°14'
L10	E: 24°22.5' N: 118°19'	L27	E: 24°24' N: 118°13'
L11	E: 24°21' N: 118°18'	L28	E: 24°25' N: 118°12'
L12	E: 24°22.5' N: 118°17'	L29	E: 24°26' N: 118°13'
L13	E: 24°21' N: 118°16'	L30	E: 24°26' N: 118°12'
L14	E: 24°17.5' N: 118°24'	L31	E: 24°27' N: 118°13'
L15	E: 24°26' N: 118°17'	L32	E: 24°27' N: 118°14'
L16	E: 24°27' N: 118°17'	L33	E: 24°27' N: 118°15'
L17	E: 24°28' N: 118°16.5'	L34	E: 24°26' N: 118°16'

(資料來源：本研究製表)

表 2-2 粒度分類表

名稱	巨礫	中礫	小礫	細礫	極粗砂
粒度大小 (mm)	> 256	256 - 64	64 - 4	4 - 2	2 - 1
名稱	粗砂	中等粗砂	細砂	極細砂	粉泥
粒度大小 (mm)	1 - 0.5	0.5 - 0.25	0.25 - 0.25	0.125 - 0.0625	0.0625 - 0.0039
名稱	黏土				
粒度大小 (mm)	< 0.0039				

(資料來源：本研究製表)

表 2-3 篩選度分級表

等級	極佳	佳	中等佳	尚佳
篩選係數	≤ 0.35	$0.35 < x \leq 0.50$	$0.50 < x \leq 0.71$	$0.71 < x \leq 1.00$
等級	不佳	非常不佳	極差	
篩選係數	$1.00 < x \leq 2.00$	$2.00 < x \leq 4.00$	> 4.00	

(資料來源：本研究製表)

表 2-4 各測站之底質特性與文昌魚密度和平均體長，L15-L24 因

作業時，因魚探機故障固缺乏水深資料

測站編號	名稱	分選性	溫度°C	鹽度‰	pH 值	水深(m)	尾/公寸 ³	平均體長 (mm)
L1	細砂	不佳	27	33	8.34	21.3	0	NA
L2	粗砂	不佳	27.1	33	8.32	15.2	0	NA
L3	細砂	中等佳	27.5	33	8.2	8.5	0	NA
L4	中等粗砂	不佳	27	33	8.17	15.5	0	NA
L5	極細砂	不佳	27.5	33	8.16	14.3	0	NA
L6	細砂	不佳	28	33	8.13	7.5	0	NA
L7	細砂	不佳	27.3	34	8.17	14.2	0	NA
L8	極細砂	不佳	27.4	34	8.21	12.2	0	NA
L9	極細砂	不佳	27.3	32	8.2	13.2	0	NA
L10	極細砂	不佳	27.7	33	8.11	16.1	0	NA
L11	粉泥	不佳	27	31	8.22	11.1	0	NA
L12	細砂	不佳	27	33	8.11	10.9	0	NA
L13	細砂	不佳	27.3	32	8.21	13.2	0	NA
L14	粗砂	尚佳	25.6	33	8.1	10.2	1.2	40.15±5.23
L15	極細砂	尚佳	29.1	33	8.08	--	0	NA
L16	極粗砂	不佳	30.2	34	8.08	--	0	NA
L17	細礫	非常不佳	29.5	33	8.07	--	0	NA
L18	粗砂	不佳	28.1	35	8.03	--	0	NA
L19	中等粗砂	不佳	30.5	35	8.04	--	0	NA
L20	極細砂	中等佳	28.9	34	8.04	--	0	NA
L21	粗砂	尚佳	28.5	35	8.06	--	0	NA

L22	粗砂	中等佳	29.5	34	8.09	--	0.062	22.56
L23	粗砂	不佳	30.9	34	8.07	--	0	NA
L24	極細砂	中等佳	28.1	34	8.08	--	0	NA
L25	極細砂	中等佳	28.1	34	8.07	8.0	0	NA
L26	細砂	尚佳	28.5	34	8.08	8.5	0	NA
L27	中等粗砂	尚佳	28.5	34	8.08	10.9	0	NA
L28	粉泥	中等佳	29.6	34	8.03	6.4	0	NA
L29	極細砂	中等佳	30.2	34	8.02	14.1	0	NA
L30	粉泥	尚佳	29.4	34	8.03	5.2	0	NA
L31	極細砂	中等佳	29.6	34	8.03	5.0	0	NA
L32	粉泥	尚佳	30.2	34	8.02	3.5	0	NA
L33	極細砂	尚佳	30.1	34	8.03	2.0	0	NA
L34	粗砂	中等佳	30.5	34	8.03	16	0.021	20.12

(資料來源：本研究製表)

表 2-5 文昌魚細胞色素乙 (Cytochrome b) 基因和 12S rRNA 基因引

子序列

名稱	序列
Cytochrome b-F	AGC ATG AAA AGC TYR TGT TA
Cytochrome b-R	ATT ATC TTC GAY TTA CAA GA
12S-F	GGT CTT GTA ART CGA AGA TA
12S-R	AAC GCT TAT GTC AAG CTC TA

(資料來源：本研究製表)

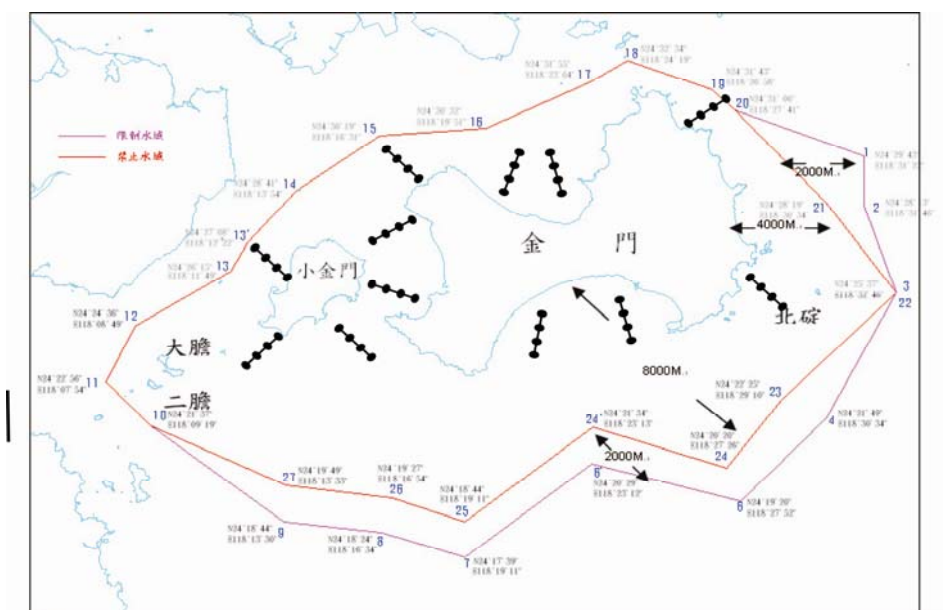


圖 2-1 原計劃採樣測站分布圖

(資料來源：本研究製圖)

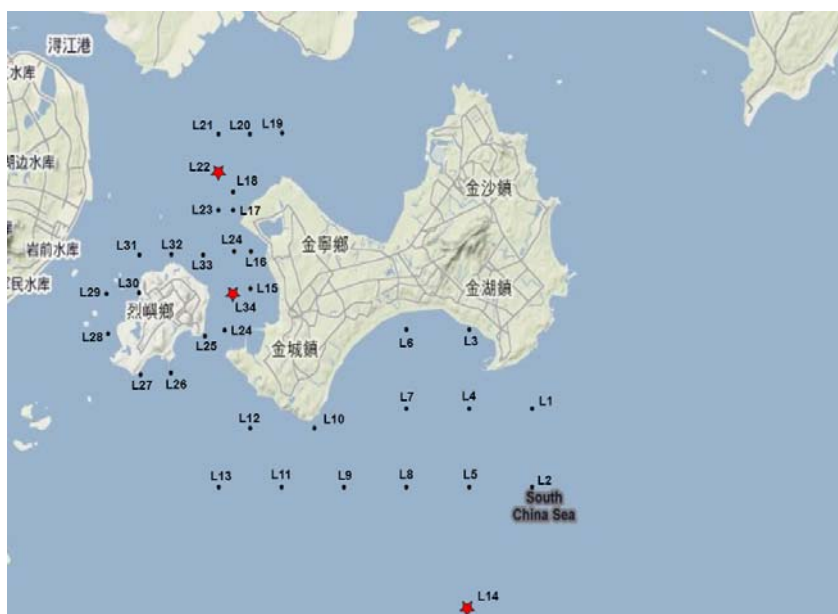


圖 2-2 採樣測站 L1-L34 分布圖，紅星記號表示有捕獲文昌魚的地點

(資料來源：本研究製圖)



圖 2-3 金門水試所研究船

(資料來源：本研究製圖)



圖 2-4 金豐 68 號漁船

(資料來源：本研究製圖)



圖 2-5 文昌魚採集用之底拖挖泥器

(資料來源：本研究製圖)



圖 2-6 以篩網濼洗出的文昌魚

(資料來源：本研究製圖)

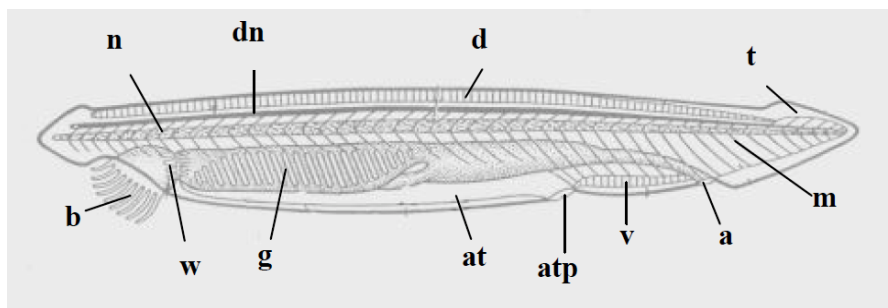


圖 2-7 文昌魚之解剖形態圖。a：肛門，at：圍鰓腔，atp：圍鰓腔孔，
d：背鰭基室，dn：背神經索，g：鰓裂，m：肌節，n：脊索，b：口
鬚，t：尾，v：腹鰭基室，w：輪器

(資料來源：林，2001)



圖 2-8 底質組成越不均勻，篩選度越不佳

(資料來源：本研究製圖)



圖 2-9 白氏文昌魚吻鰭較為圓鈍

(資料來源：本研究製圖)



圖 2-10 日本文昌魚吻鰭則較為尖長

(資料來源：本研究製圖)

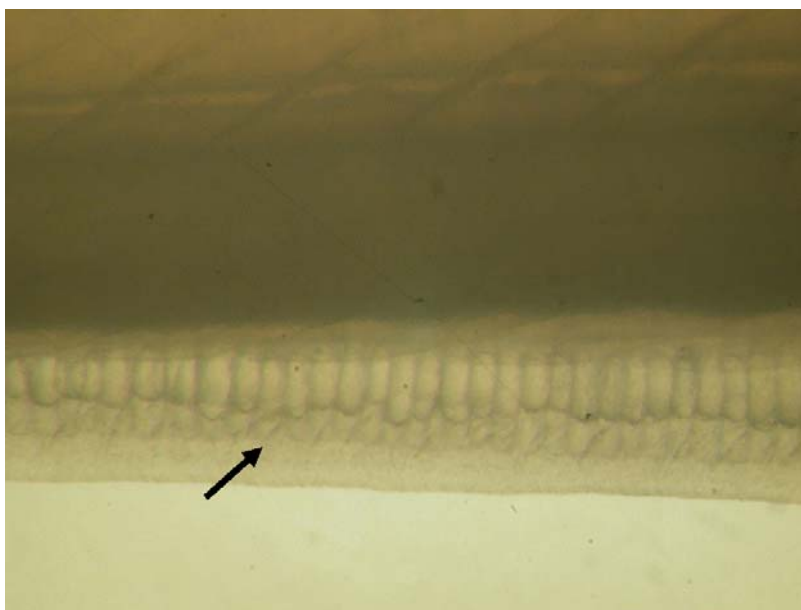


圖 2-11 白氏文昌魚臀鰭腔室較小且密

(資料來源：本研究製圖)

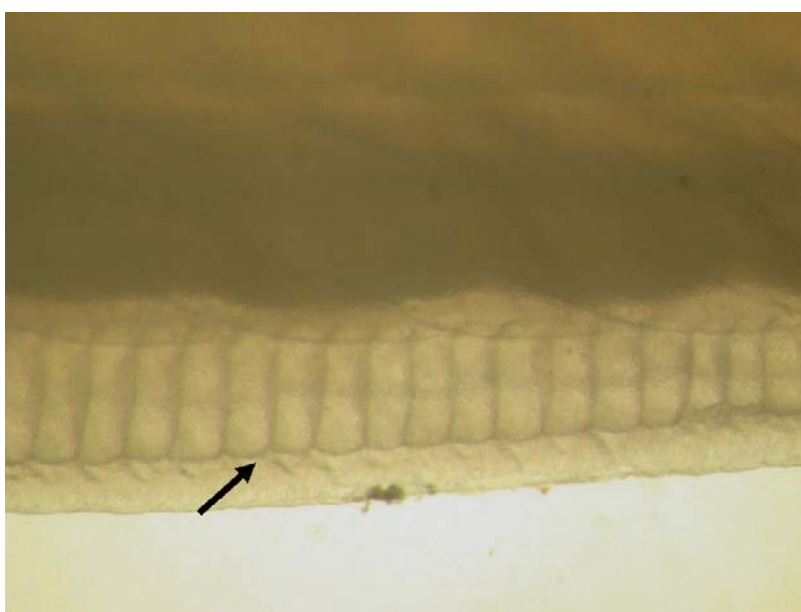


圖 2-12 日本文昌魚臀鰭前腔室則較大且疏

(資料來源：本研究製圖)



圖 2-13 白氏文昌魚尾鰭較平緩

(資料來源：本研究製圖)



圖 2-14 日本文昌魚尾鰭則較陡峭

(資料來源：本研究製圖)

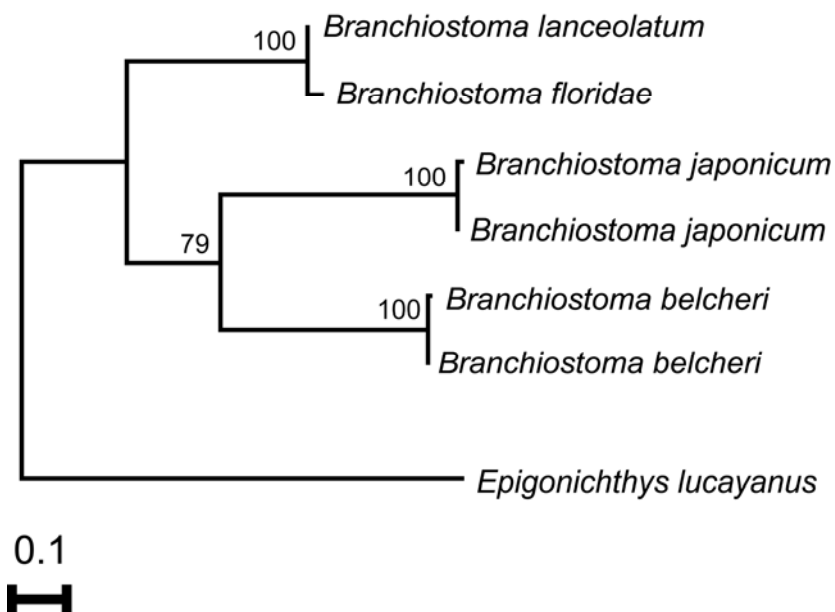


圖 2-15 以細胞色素乙基因所建構的 ML 演化樹

(資料來源：本研究製圖)

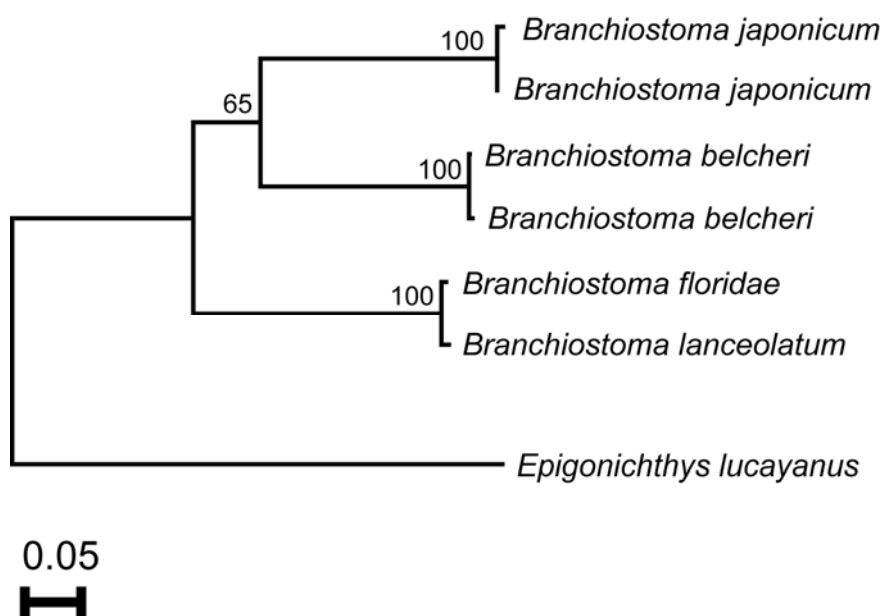


圖 2-16 以 12S rRNA 基因所建構的 ML 演化樹

(資料來源：本研究製圖)

第三章 結論與建議

第一節 結論

一、底質因子最為重要

過去的研究報告指出，溫度、鹽度，和深度等因子中，對文昌魚分布影響最大的環境因子是主要是底質的條件（盧等，2009）。底質因素中的沈積物粒度、底質含沙量，與有機質含量對文昌魚分布有密切關連。周等（1990）在研究了廈門黃厝海域的文昌魚後發現，文昌魚喜好棲息於砂質的底質環境，而砂質泥和粉砂質泥則會限制文昌魚的分布。但是，純砂質底質的環境卻也不被文昌魚所偏好，砂質中含有少量的黏土環境（3.30 % - 11.42 %），既不影響通氣性，又可增加有機質的含量，可供底棲砂藻等文昌魚餌料生物的生長，在這環境下，文昌魚的密度可達到每平方公尺大於 400 尾的密度。海水深度對文昌魚密度的影響則是來自於漁撈。例如，黃厝海域的文昌魚是棲息在水深約 6-10 公尺的潮間帶低潮區到潮下帶間，遇到每月潮汐的最低潮時，大部份區域就露出海面，讓漁民可利用此一時間用非法電魚方式捕魚，造成大量捕獲文昌魚死亡，這也是為何黃厝海域文昌魚資源大量減少的原因，而蟹口和南線兩個海域的文昌魚則棲息在水深 8-15 公尺的潮下帶，這個地區終年不會漏出海面，當地漁民只能利用拖鋤或小竹筏才可以捕撈文昌魚。

在比較了中國大陸青島、蓬萊、廈門、閩江口、大放雞、和離洲島等地區文昌魚棲息環境底質沈積物粒度後發現。文昌魚棲息的底質形態是以篩選度佳的砂質為主，粒度在 0.25 - 2 mm 的極粗砂和中等粗砂為主體。雖然各地區的砂質結構基本上是一致的，但是各地區間還是存在不同的差異性，意味著不同的區間的文昌魚有著不同的生態適應性分化現象。

二、目前金門調查結果

本研究中的數據顯示，第一年度上半年在金門料羅灣一側所設置的 34 個測站採樣結果發現，其中多數測站的底質環境為不利文昌魚分佈的砂質泥或粉沙質泥環境。但也可以發現，若是採樣點的底質為篩選度尚佳至中等佳的粗砂環境，就一定有文昌魚棲息其中，符合過去文獻報告對文昌魚棲息底質要求的敘述。缺乏合適底質環境的情況也可解釋為何在本次研究中大多數採樣地點沒有捕獲到文昌魚。未來在進行文昌魚族群調查時，或許可以先行建立較易採樣的底質環境資料庫後，在針對文昌魚可能的棲息地點，做進一步的底拖調查，以節省人力物力時間。本研究調查中因未使用需要潛水人員操做的文昌魚專用採集器（盧等，2004），故無法估計出每平方公尺的文昌魚棲息密度。

但在調查中發現，近金門週遭的海域，每立方公寸的採集底砂中，平均低於 1 尾文昌魚。雖然金門地區過去受到戰地政策的影響，生態環境受到人為影響的程度較少，加上文昌魚並非金門地區漁民的漁撈物種，所受到的漁撈壓力較小，但是，即便在接近對岸劃定的文昌魚保護區周邊，其族群密度依舊不高的原因，明顯是因為底質不合適其棲息，此一狀況可能有幾種成因：第一，抽砂船對文昌魚族群與棲息地的影響相當大，除了直接的減少其族群數外，抽砂船的作業會導致底質砂粒顆粒變小，不再適合文昌魚棲息其中。第二，1960 年後因廈門地區沿海的建設，如建築海堤、填海造陸，和過度的箱網養殖，這些因素已知對廈門海域海水迴流動力造成削弱的影響，進而使分選程度降低，原本適合文昌魚居住棲息的砂質海底慢慢遭到淤泥堆積。明顯的例子即是文昌魚保護區中的小嶝海區和同安劉五店海區因為棲息地的泥化，此二保護區中的文昌魚已經消失（周等 2003）。金門海域是否原本為文昌魚的棲息地，但因對岸人為工程建設影響海水迴流動力，而使文昌魚棲息地消失。第三，調查中發現在金門週遭海域有大量的竹筏式養蚵活動（圖 3-1、圖 3-2），其位置相當靠近文昌魚保護區範圍，目前已

知有機物的含量也是限制文昌魚分佈的重要因素，養殖牡蠣所產生的排泄物可能也是破壞文昌魚棲息環境的因素之一，或許正因為如此，在靠近文昌魚保護區的採樣地點也未能發現大量文昌魚棲息其中。雖然本次調查中的 34 個調查採樣點中，僅有在三個採樣點捕獲文昌魚，缺乏底質粒徑資料的情況下，無法先就文昌魚可能棲息的地點作調查，避免人力物力時間的耗費。即使在有底質資料的前提下，底質的組成還是可能因為金門廈門海域的經濟成長所帶動的海岸建設，使海水迴游動力改變進而使底質組成改變。所以只有對每一採樣點進行採樣測試，才能得知目前的底質情況與是否有文昌魚棲息。

今年度的採集調查中，以大金門西、南兩側為調查區域，發現文昌魚族群已經相當的稀少，在曾有大陸越界作業捕抓文昌魚的地區，調查中也未能發現大量文昌魚的蹤跡。據傳文昌魚在大陸的價格相當高貴，每斤約在三百至四百人民幣間，此一高漲的售價後面，可能就隱喻著文昌魚已經相當稀有。

行政院經建會已在 99 年 2 月通過了交通部所提出的「金門大橋建設計劃」，將分 6 年建設由金門瑞湖至小金門后頭的跨海大橋（圖 3-3）。與正在研議中的建設案還有金門廈門間的金嶺大橋與金門與烈嶼連接大橋建設後再藉由烈嶼和廈門建設跨海大橋以連接金門烈嶼廈門的金廈和平大橋（圖 3-4）。這些工程的進行對環境所造成的影響，是否會進一步衝擊此一地區已稀少的文昌魚族群？未來將對金門東、北側海域，特別是金嶺大橋可能興建通過的海區作調查計畫。這些研究的資料，將有助於未來的研究可以比對施工前後對文昌魚密度與棲息地的影響程度。跨海大橋的建設，將直接破壞文昌魚的棲息環境，或是將間接改變底質的組成，而使當地文昌魚族群產生變動。

三、廈門一帶文昌魚之分布

廈門海域的文昌魚在 1950 年以前曾是年產量達千噸的漁場，但隨著過度的漁撈、沈積環境變化、和填海造陸等影響結果，近 20 年的監測數據顯示廈門海

域文昌魚的棲息密度和生物量不斷的減少，1987年時，每平方公尺約有80尾文昌魚棲息和約4公克的生物量，但是到2007年時，每平方公尺約只剩20尾文昌魚棲息和約2公克的生物量（方等，2002；張等，2009）。

除了底質的因素外，廈門海域文昌魚所面臨的問題還有因為近年來廈門地區與金門地區的土地開發與觀光人口的增加所伴隨的廢水排放，也可能對周遭海域造成影響。已有研究報告指出，過高的亞硝酸鹽濃度會抑制文昌魚酸性磷酸酶、鹼性磷酸酶、與酚氧化酶的活性，進而導致文昌魚的死亡（白等，2009）。這也不禁令人擔心，在廈門所劃定的文昌魚保護區周邊的同安灣，目前被規劃作為水產養殖的主導功能海域（呂等，2005）。水產養殖上所生成的亞硝酸鹽是會否對文昌魚族群造成負面影響？且養殖花蛤等貝類則可能與文昌魚競爭棲地與食物（翁等，2010）。此外，隨環境開發所伴隨的家庭與工業廢水的增加，造成水體遭到重金屬污染也是一嚴肅議題。白等（2009）所作的研究報告亦指出銅、鋅、和鉻等重金屬污染物，也會抑制文昌魚酸性磷酸酶和鹼性磷酸酶活性，過高的、鋅、和鉻濃度會造成文昌魚的死亡。

四、近年來文昌魚基因研究的進展

自從1886年由俄國胚胎學家Kowalevsky總結因文昌魚在胚胎發育時表現了脊椎動物與無脊椎動物的發育特徵，提出了文昌魚是無脊椎動物演化到脊椎動物的過渡物種後，許多的文昌魚胚胎發育皆支持此一說法。最近的研究也指出，文昌魚的肝盲囊與脊椎動物的肝臟具有同源性，文昌魚也具有和脊椎動物類似的GH/IGF（Growth hormone/insulin-like growth factor）和TH/THR（Thyroid hormone/thyroid hormone receptor）訊號傳遞路徑（李與張，2010）。

今日，文昌魚因為被認為是擁有與脊椎動物最近親緣關係的生物，加上具備許多作為生命科學研究的模式動物特徵。牠被認為是最好研究脊椎動物胚胎發育相關基因演化作用的最理想模式物種。近年來，中國大陸地區已有多篇關於文昌

魚發育時相關基因表達的研究報告發表，例如：張等（2007）以青島採集的日本文昌魚為題材，首次克隆發現到了一個屬於轉錄因子 MADS 家族的肌細胞增強因子 2 (MEF2) (該基因參與了心臟和血管形態生成。它也參與神經發生和發展。小鼠無功能基因複製的 Mef2c 會在出生前死亡)，命名為 AmphiMef2。肌細胞增強因子 2 是負責控制脊椎動物肌肉特異基因表達，在神經元發育時，MEF 也負責左右重塑神經元樹突，最後可能與某些神經性疾病相關，例如自閉症、神經性退化、和精神病。但在無脊椎動物中則並非全部的 Mef2 基因都是肌肉發育時所必須。在日本文昌魚裡所發現的 AmphiMef2，它的蛋白質氨基酸序列與脊椎動物同源蛋白質相對應區域有高度相似性，而且文昌魚的 AmphiMef2 不但可能參與了肌肉的發生，更可能在口前窩的發育或功能中起作用。

黃等（2007）則將研究專注在激酶 C 受體 1 (RACK1) (RACK1 的是廣泛表達，並已牽連涉及在不同的細胞過程：蛋白質翻譯調控，神經病理過程，細胞壓力，及組織發展)，同樣以青島的日本文昌魚為研究題材，克隆了日本文昌魚的 RACK1 同源基因 AmphiRACK1。發現文昌魚的 RACK1 坐落在脊椎動物演化枝的基部。在正常的胚胎中，AmphiRACK1 基因在腦泡、神經管、與體節中有顯著表現。林等（2009）則發現，在對細胞命運決定和細胞分化有作用，以及在神經系統發生和成體神經組織都有表現的 Sox 基因家族時發現，文昌魚和脊椎動物相同俱有 SoxB2 和 SoxC，而非和果蠅一樣只擁有 SoxC。但是，文昌魚的 SoxB2 和 SoxC 與脊椎動物的 SoxB2 和 SoxC 並非同源基因，而是屬於有基因結構和表達部位保守的同功基因。

余等（2009）將目標放在早期胚胎發育中扮演調控器官發生和胚軸形成的轉化生長因子- β (TGF- β) 超家族成員的細胞內信號傳遞過程裡的 Samd 蛋白。他們成功的克隆出青島產日本文昌魚的兩個 Samd 基因，分別是 AmphiSamd 1/5/8 和 AmphiSamd 4。其中，AmphiSamd 1/5/8 與哺乳動物的 R-Samd 家族蛋白同源，而 AmphiSamd 4 則是與哺乳動物的 Co-Samd 家族蛋白同源，並推測 AmphiSamd 1/5/8 和 AmphiSamd 4 參與了文昌魚背腹軸形成和分化，與可能在器官形成的過

程裡扮演重要角色。張等（2009）則發現，文昌魚的 Fas 死亡結構域相關蛋白（bbFADD）基因含有 3 個外顯子，不同於哺乳類的 2 個外顯子。雖然認為頭索動物是無脊椎動物演化到脊椎動物的中間過程，但透過 FADD 氨基酸序列的分析發現，文昌魚和海膽的親緣關係較近。不過，bbFADD 能引起 HeLa 細胞的細胞凋亡（一種細胞的程序性死亡，由病理或生理因素所引起，在免疫系統中扮演非常重要的角色，可將被細菌病毒所侵害的細胞消滅，或是將脫離正常細胞規律的癌化細胞殺死）現象，推測細胞凋亡在生物演化的過程中相當的保守。

王等（2010）將與脊椎動物 Pax1/9 同源的文昌魚 AmphiPax1/9 建構重組質體表達載體以顯微注射方式注入斑馬魚胚胎後，發現成陰性反應，推測是因為功能性的調控因子可能在演化中變異較大，物種間存在有特異性所導致。上述的研究成果，都有助於日後更多的基因功能研究與胚胎發育的實驗的設計。明瞭不同基因在脊椎與無脊椎動物中的演化歷程。雖然過去一直認為脊索動物門中的脊椎動物亞門與頭索動物亞門（文昌魚）是姐妹群，另一尾索動物亞門（海鞘）與他們的關係較遠，但是這幾年的基因組序列分析卻有不一樣的想法，反認為脊椎動物亞門與尾索動物亞門是姐妹群（Delsuc et al., 2006），此三者間真實的親緣關係還有待更多的研究（圖 3-5）。

五、廈門海域文昌魚物種及族群遺傳多樣性的研究

評估一個族群是否健康，除了要了解族群的數目大小外，更重要的是得知此一族群的基因多樣性程度。特別是在今日，文昌魚已經被列為中國大陸的二級保育類動物，各項人工繁殖與種苗流放的計畫都已經進行中，但是，在還沒有對廈門海域文昌魚種類及族群結構有所研究前，就冒然的進行種苗流放的工作，可能會改變當地的文昌魚族群結構，降低其族群中的多樣性程度。陳等（2009）與周等（2003）以分子生物學程級探討廈門地區文昌魚的種群雜合性研究，雖然得到了廈門地區文昌魚種質資源狀況依舊十分良好的結論，且不同海區的文昌魚族群

具有分化現象。但是，這兩篇文章並未將廈門產文昌魚分作為白氏文昌魚與日本文昌魚兩個物種進行討論，而是以舊有的觀念認為廈門只有一種文昌魚所作的分析。

最近，李等（2010）以 COX I 作為遺傳標記物，分析太平洋西側沿海不同族群的文昌魚後發現存在有三種鰓口文昌魚屬物種，分別為白氏文昌魚、日本文昌魚、和馬來文昌魚（*B. malayanum*）（圖 3-6）。在地理種群分化上，文昌魚並沒有顯著的分化情況。這或許是因為文昌魚幼體會經過一漂浮時期，隨海流而擴散遷徙，所以不同地理族群間依然存在有基因交流，降低了地理族群間的分化情況。此一研究的發表，意味著要保護維持當地文昌魚的族群數量，先決的條件是營造出適合文昌魚棲息的環境，當環境條件適合文昌魚棲息其中時，自然會有隨海流擴散來的文昌魚幼體補充增加當地族群數目。

六、海峽兩岸之交流

為能盡早展開與廈門之產官學界交流，收集金門對岸對文昌魚的研究、保育與管理方面最新資訊，提供未來金門文昌魚調查分析及評估資源量，以及擬訂管理政策之參考。本計劃主持人張崑雄及邵廣昭乃藉 2010 年 3 月 16 日應國家海洋第三局黃宗國研究員之邀前往出席在 3 月 18 日在廈門牡丹萬鵬賓館舉辦之〈海峽兩岸生物多樣性研討會〉籌備會，以及〈中國海洋生物物種名錄及圖譜〉成果研討會之機會，於 3 月 19 日上午在海三所 516 室召開〈廈金文昌魚專題研討會〉（圖 3-7）。

承黃宗國研究員之大力協助，特將福建省從事文昌魚研究保育及管理之專家學者均邀請前來與會，包括福建海研所兼副所長方少華研究員、張耀平研究員、廈大生科院王義權教授、福建水產所戴天之副所長等人。台灣方面則還有來自金門水試所的張寶仁科長以及黃將修教授、巫文隆教授、宋克義、邱郁文、孟培傑、賴春福等人。分別就文昌魚的分布、DNA 研究、人工孵化及放流等課題交流意

見。首先由邵廣昭進行金門文昌魚調查計劃之簡報。大陸方面則提供了非常有用之資訊。譬如：

1. 2005 年起開始繁殖放養進行公益性放流。
2. 海堤建設改變了海域環境，破壞了文昌魚之棲地，故提議是否要破堤來恢復過去之自然棲地。
3. 嘗試在人工環境下模擬，以形成人工種群之可能。
4. 黃厝及十八線目前依舊有文昌魚分佈，但鱷魚嶼已經沒有。
5. 抽砂、生活污水或砂質有機物污染、及電魚對文昌魚破壞大，應加以取締，保護區之管理應加強。
6. 文昌魚之習性為塊狀 (patchy) 分佈，會隨潮水往返，不會分佈太深。
7. 大潮時較易採獲。
8. 文昌魚是 r-策略 (性成熟時間短、生命週期短、死亡率較高、每對繁殖個體的子代數較多、第一次繁殖時間早、和親代對子代沒有照顧哺育行為等特徵) 之生活史，故環境管理很重要。
9. 應加強民眾之保育教育，去年 9 月金廈有聯合行動。

2010 年 11 月 5-8 日在廈門舉辦之「海峽兩岸海岸生物多樣性之研討會」中，我已將目前研究計畫的初步成果，張貼了一張壁報並與對岸學者交流。另由廈門大學王義權教授所報告的題目「中國文昌魚種群與遺傳多樣性」中提到，文昌魚是種 r-策略生物。藉由分析文昌魚的生活史策略與中國沿海文昌魚族群遺傳數據，指出野外文昌魚的族群分化性低而族群多樣性高，意味其族群數量降低並非來自於種苗補充的缺乏，而是缺乏合適的棲息地。應重新檢討目前文昌魚種苗流放的政策對當地族群的回復效果。

藉由參與海峽兩岸海岸生物多樣性之研討會，本研究人員也到訪了廈門翔安歐厝村。此一村落目前還有漁民以捕抓文昌魚維生，這裡也是文昌魚保護區的立碑位置 (圖 3-8)。漁港內可以見到捕抓文昌魚的船隻 (圖 3-9)、漁民所使用捕抓文昌魚的工具 (圖 3-10)、與停靠的抽砂船 (圖 3-11)。廈門地區捕抓文昌魚主

要仰賴人力的進行，並未有大規模的機械化捕抓設備。採集的方式並不能將文昌魚一網打盡。體型過小的文昌魚個體還是會在篩選時逸出逃回海中。的確，捕抓文昌魚會對當地族群數目產生影響，但相較於抽砂船對棲地的破壞，其影響的程度有限。畢竟捕撈文昌魚在廈門已有數百年的歷史，直到近年來的棲地破壞前，廈門地區的文昌魚族群數在捕撈的壓力下一直還能獲得補充，維持其族群數量。

與大陸學者交流所獲取的文獻報告如下：

Li, G, QJ Zhang, ZL Ji, YQ Wang (2007) Origin and evolution of vertebrate ABCA genes: a story from amphioxus. *Gene* 405: 88-95

Li, G, P Shi, Y Wang (2007) Evolutionary dynamics of the ABCA chromosome 17q24 cluster genes in vertebrate. *Genomics* 89: 385-391

Li, G, J Zhang, Y Sun, H Wang, Y Wang (2009) The evolutionarily dynamic IFN-inducible GTPase proteins play conserved immune functions in vertebrates and cephalochordates. *Molecular Biology and Evolution* 26: 1619-1630

Li, G, QJ Zhang, J Zhong, YQ Wang (2009) Evolutionary and functional diversity of green fluorescent proteins in cephalochordates. *Gene* 446: 41-49

Wang, W, HL Xu, LP Lin, B Su, YQ Wang (2005) Construction of a BAC library for Chinese amphioxus *Branchiostoma belcheri* and identification of clones containing Amphi-Pax genes. *Genes genetics and systematic* 80: 233-236

Wang, W, J Zhong, B Su, Y Zhou, YQ Wang (2007) Comparison of Pax1/9 locus reveals 500-my-yr-old synthetic block and evolutionary conserved noncoding regions. *Molecular Biology and Evolution* 24: 784-791

Xu QS, F Ma, YQ Wang (2005) Morphological and 12S rRNA gene comparison of two *Branchiostoma* species in Xiamen waters. *Journal of Experimental Zoology* 304B: 259-267

Zhang, QJ, J Zhong, SH Fang, YQ Wang (2006) *Branchiostoma japonicus* and *B.*

belcheri are distinct lancelets (Cephalochordata) in Xiamen waters in China. Zoological Science 23: 573-579

Zhang, QJ, Y Sun, J Zhang, G Li, XM Lu, YQ Wang (2007) Continuous culture of two lancelets and production of the second filial generations in the laboratory. Journal of Experimental Zoology 308B: 464-472

Zhong, J, Q Zhang, Q Xu, M Schubert, V Laudet, Y Wang (2009) Complete mitochondrial genomes defining two distinct lancelet species in the West Pacific Ocean. Marine Biology Research 5: 278-285

王義權，許群山，彭宣憲，周涵韜（2004）通過 Cyt b 基因同源序列比較評估廈門文昌魚的分類學地位。動物學報 50（2）202-208

王義權，張秋金，呂小梅，鐘婧，孫毅（2006）文昌魚的實驗室繁育及子二代獲得。動物學研究 27（6）631-634

王蔚，宿兵，王義權（2005）文昌魚特異的基因倍增。遺傳 27（1）143-149

張秋金，李光，孫毅，王義權（2009）廈門兩種文昌魚染色體的制備與觀察。動物學研究 30（2）131-136

張秋金，陳路，呂小梅，李光，方少華，王義權（2009）廈門2種文昌魚的實驗室飼養與繁殖。水生生物學報 33（2）348-351

張巨永，黃盛豐，王蔚，徐安龍，王義權（2010）白氏文昌魚單個體基因組BAC文庫的建構。遺傳 32（1）67-72

第二節 建議

建議一

調查結果可納入更新解說資料：立即可行建議

主辦機關：金門國家公園管理處

協辦機關：中華民國溪流環境協會

本年度的研究計畫報告可用於更新目前國家公園的解說資料，如將舊有的白氏文昌魚資料，更新為金門海域棲息著白氏與日本兩種鰓口文昌魚屬物種。並指出目前周邊海域的文昌魚數量已經相當的稀少。

建議二

規劃金門東側與北側海域文昌魚族群的進一步調查：立即可行建議

主辦機關：金門國家公園管理處

協辦機關：中華民國溪流環境協會

本年度的計畫中受限於研究船班與海象氣候，金門西側海域的調查未進行。應針對金門東側與北側海域文昌魚族群情況做進一步的調查紀錄，以建立完整的週遭海域文昌魚族群情況資料。

建議三

金門海域文昌魚的復育：中長期建議

主辦機關：金門國家公園管理處

協辦機關：中華民國溪流環境協會、中央研究院、金門縣水產試驗所

文昌魚的繁養殖技術已非常純熟，廈門已多次舉辦流放文昌魚的活動。目前中央研究院臨海研究站也有開始人工繁殖金門採集在白氏與日本文昌魚作為胚胎發育研究的模式動物。若能在金門當地進行文昌魚種苗的人工繁殖，不但可以增加解說教育內容的多樣性，更能藉由舉辦種苗流放的活動，達到教育民眾保

育文昌魚的目的。

建議四

金門海域文昌魚棲地的保護：中長期建議

主辦機關：金門國家公園管理處

協辦機關：金門縣政府

金門海域的竹筏式蚵架位置非常接近文昌魚的保護區，其生長過程所排泄的有機物將嚴重破壞文昌魚的棲息地。金門縣政府是否還要核發養蚵的許可有必要做進一步的考量。此外，在小三通與金門觀光業蓬勃發展的今天，金門的污水處理系統是否健全完善，能負荷觀光人口的快數成長，也需要做進一步的探討。

建議五

金門廈門文昌魚保育的合作：中長期建議

主辦機關：金門國家公園管理處

協辦機關：金門縣政府

文昌魚為金廈兩地所用有的文化與生物資源，保育文昌魚需要兩岸政府通力合作，才能有顯著成效。舉凡人為的捕撈、採砂、和環境污染的議題，都有賴兩岸政府合作制定有效政策並落實執行，並非任一方各自為政所能成功。而不論是對岸的報告或是本研究都發現，金廈海域文昌魚的數量逐年銳減中。如何制訂政策以保育這古老且富於文化與教育功能的生物，已是刻不容緩的工作。期待兩岸官學兩界的進一步通力合作。



圖 3-1 古寧頭北方海域可見的養蚵活動

(資料來源：本研究製圖)



圖 3-2 小金門東方海域可見的養蚵活動

(資料來源：本研究製圖)



圖 3-3 金門大橋建設案所預定的金門大橋位置

(資料來源：行政院經濟建設委員會)



圖 3-4 研議中的金門廈門跨海大橋建設

(資料來源：蘋果日報)

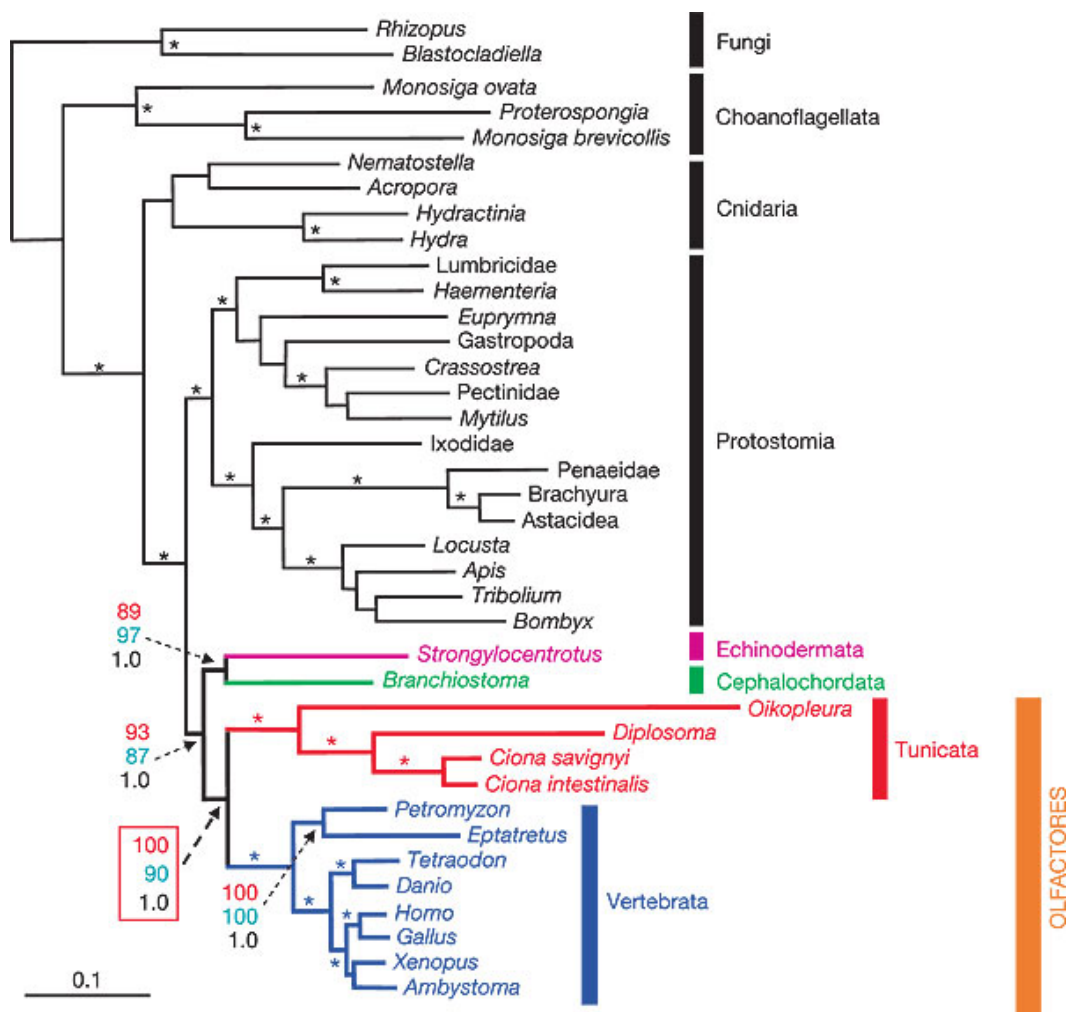


圖 3-5 利用 33800 結構對比分析的胺基酸位置，以最大似然法所建構的演化樹

(資料來源：Delsux 等，2006)

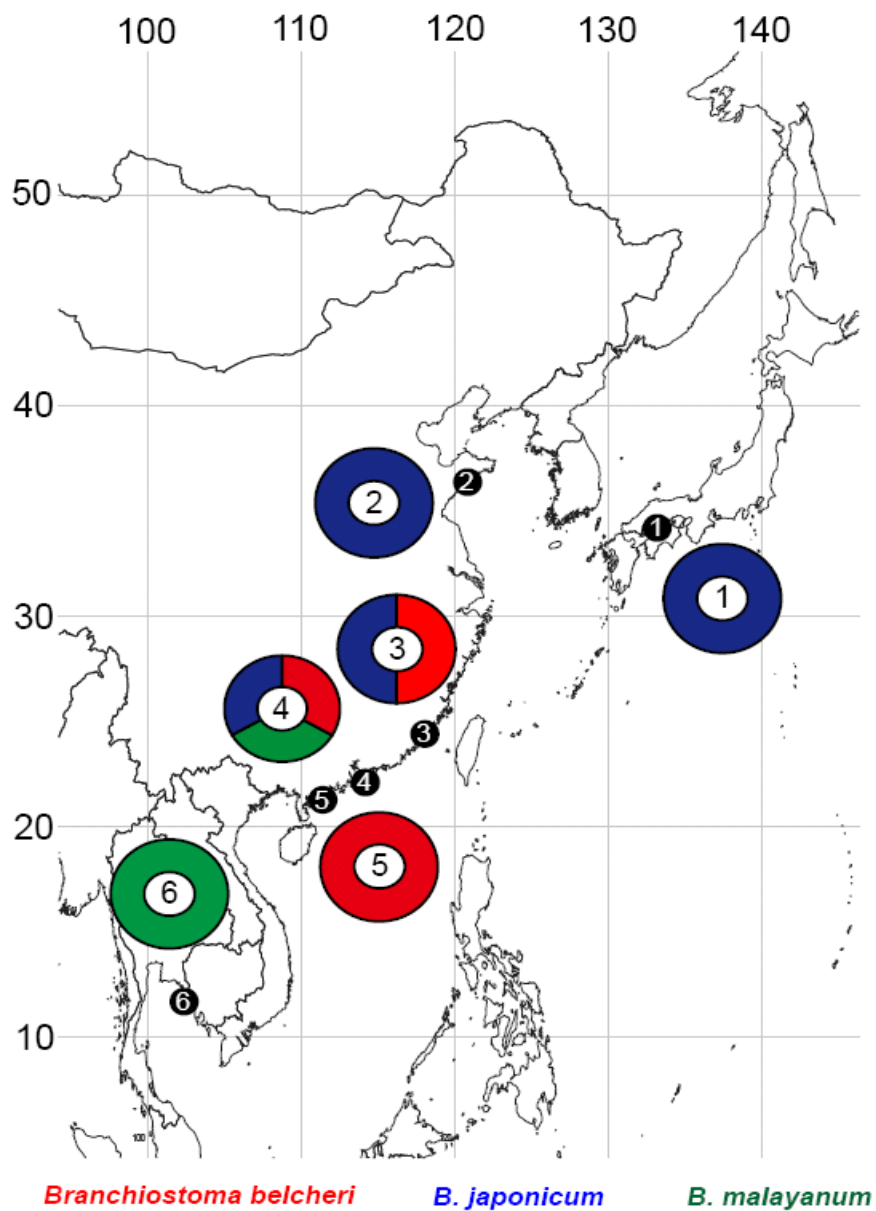


圖 3-6 太平洋西側三種鰓口文昌魚屬物種的分布情況

(資料來源：本研究製圖)



圖 3-7 廈金文昌魚專題研討會召開情形

(資料來源：本研究製圖)



圖 3-8 中國大陸歐厝村所見的文昌魚保護區石碑

(資料來源：本研究製圖)



圖 3-9 中國大陸歐厝村所見捕抓文昌魚的船隻

(資料來源：本研究製圖)



圖 3-10 中國大陸歐厝村所見捕抓文昌魚的工具

(資料來源：本研究製圖)



圖 3-11 中國大陸歐厝村港口中停靠的抽砂船

(資料來源：本研究製圖)

附錄一 期中會議紀錄及回應

「金門海域生態調查研究-文昌魚資源之調查、研究與應用」期中審

查會議紀錄

一、 會議時間：99 年 08 月 09 日(星期一)上午 11 時 00 分

二、 會議地點：本處第一會議室

三、 主持人：曾處長偉宏

四、 出席人員：如簽到簿

五、 簡報：(略)

六、 會議討論：

(一) 本處各課、站 (綜合)

1、有關底砂粒度大小中間值及篩選係數的計算方式是否為國際

通用？及其相關應用，請受託單位說明。

2、過去台灣海域有紀錄的文昌魚一共有多少個物種？

3、近年中國文昌魚基因體相關研究的書面報告中，有關同源基

因及同功基因之差異及保守等專有名詞請受託單位說明，以
作為本處解說教育之參考。

4、有關文昌魚各測站的選取方式及影響文昌魚密度的主要因子

為何？請說明。

5、文昌魚為一珍貴的海洋無脊椎動物，其對台灣、金門的優勢

程度、重要性及生態影響，及本處後續經營管理之建議請受託單位於期末報告書中補充說明。

七、受託單位回應

(一) 回應各課、站（綜合）意見：

1. 底質分析中所使用的計算方法，是參考參考 Buchanan and Kain 1971 與 Hsieh and Chang 1991 兩篇報告。底質的分析方法之所以採用此一，是因為在探討金門文昌魚的底質環境時，不可能自外於廈門海域，更希望未來能將金門海域文昌魚的底質環境資料，與中國青島、廈門、和廣東等處已研究的文昌魚棲地環境資料做比較。特別是中國大陸在文昌魚棲地與底質環境的研究報告已經相當的成就。故本研究所採用的底質分析方法，與中國大陸一致，分別計算出可反映底質物理特性的粒度大小中間度 (Md Φ) 及篩選係數 (Sorting coefficient) 來界定出底質的特性。未來此一數值，可在與中國大陸方面的不同族群文昌魚底質研究報告就比較。
2. 過去台灣海域有紀錄的文昌魚有二屬四種，分別為為鰓口文昌魚屬 (*Branchiostoma*) 的白氏鰓口文昌魚 (*B. belcheri*)，側殖文昌魚屬 (*Epigonichthys*) 的短刀側殖文昌魚 (*E. cultellus*)、魯卡側殖文昌魚 (*E. lucayanus*) 及馬爾地夫側殖文昌魚 (*E. maldivensis*)。而目前證明其中的白氏鰓口文昌魚可再區分出日本文昌魚 (*B.*

japonicus) 和白氏鰓口文昌魚兩個種。其中，具備漁撈價值且在金廈海域被捕撈與發現的只有鰓口文昌魚屬的日本文昌魚和白氏鰓口文昌魚。此二種也是本研究中的調查對象。

3. 我們可以用四足類動物（包刮兩棲類、爬蟲類、鳥類、和哺乳類）同源的上肢構造來解釋同源和同功的兩個名詞。在人類，上肢是指我們的雙手，在鳥類，則為翅膀。在人類中的雙手主要是用來拿東西，但鳥類的翅膀則是用來飛翔。雖然人的雙手與鳥的翅膀是同源構造，但卻負責不同的功能，可以說人的雙手和鳥的翅膀是同源不同功的構造。但蝙蝠的上肢也是用來飛行，所以蝙蝠和鳥類的翅膀就是，同源同功的構造。雖然蝴蝶的翅膀也同樣是負責飛行的構造，但蝴蝶卻不是四足類動物，蝴蝶的翅膀也不是上肢構造，所以蝴蝶和鳥類的翅膀就是，非同源同功的構造。一個基因在演化上的歷程也很像生物的演化歷程，所謂的活化石即是經過長就演化的時間後，此一物種的外型依然和過去幾乎沒有太大的變化。所謂“保守”的基因即是如此，舉例而言，人和豬在演化上的確曾有過共同的祖先，但經過長久的演化歷程，人和豬間已經有許多的差異出現，中間也有許多的物種演化出來。但就胰島素而言，此一基因在人和豬上的變化很小，人的胰島素基因與豬的胰島素基因還是相當相似，這也是為何以前的糖尿病患可以

注射由豬隻胰臟萃取的“豬”胰島素來補充病患自身“人”胰島素的不足，對人體而言，“豬”或是“人”胰島素很相似，可以做相同的工作有相同的功能。反之，有些基因的演化速度就很快而不保守，免疫相關基因就是個好例子，雖然人可以輕易接受用豬的胰島素來補充自身不足，但是卻無法用豬的心臟，腎臟等器官來移植人體。其原因在於免疫系統不會將豬的器官視為是自身的器官，進而產生排斥的作用。由於免疫系統相關基因的演化速度太快，即便同是人類間也無法隨意移植器官，還是以血緣相近的親屬間移植為好。

4. 研究中文昌魚的測站選取，主要是以棋盤格方式打點做測量，儘可能詳細的調查金門週遭海域的文昌魚族群情況。但也考量到砂洲和底部情況，砂洲的淺灘會使得研究船無法到達或是有擱淺的危險，而若是已由船長那得知底部是礁岩也放棄做底拖的工作，以免網具受損。

過去大陸的研究報告已指出，影響文昌魚棲息的環境因子主要是底質的環境。文昌魚行底棲生活，又會鑽入砂堆中，所以棲地必須是砂質底才能供其生活，其行濾食性，所以底質中的砂粒不能太小，不然會影響其濾食甚至使其窒息。的確還有其他因子如鹽度、溫度、pH 值等會影響其生活，但本研究的金門海域地理

範圍與週遭環境條件還未能對調查海域鹽度、溫度、與 pH 值造成顯著影響。所以還是將研究的重點放在底質的組成。

5. 目前台灣與金門對文昌魚的認識了解相當缺少，這也是本研究計畫的緣起原因之一。文昌魚在演化上的地位可媲美腔棘魚，是一種生活在台灣的活化石，但社會大眾卻對牠的了解甚少。著實令人擔憂。更令人覺得可惜的是，不論歐洲或美國都已投入大量的經費希望將文昌魚建立為一模式動物，並積極向其他國家推銷採用時，相較於中國大陸對文昌魚研究正努力追趕歐美，在台灣，不論學術單位或是民間都台灣自己的文昌魚缺乏相關研究投入。除了希望藉由本計畫能讓台灣與金門地區民眾多認識這種生活在我們海域的珍稀物種外，更希望能喚起大家對文昌魚的重視。

八、結論：

- (一) 受託單位對於委員之意見均有妥善回應並納入研究成果報告修正之參酌。
- (二) 本案期中簡報原則通過，並請受託單位依合約規定續辦。

九、散會：12 時 10 分

附錄二 期末會議紀錄及回應

「金門海域生態調查研究-文昌魚資源之調查、研究與應用」

期末審查會議紀錄

一、 會議時間：99 年 12 月 06 日(星期一)上午 11 時 00 分

二、 會議地點：本處第一會議室

三、 主持人：曾處長偉宏

四、 出席人員：如簽到簿

記錄：陳淑靈

五、 簡報：(略)

六、 會議討論：

(一)有關 r 策略及 K 策略在生物演化上的意義請於書面報告中補充說明，以供後續解說教育參考。

(二)調查作業中發現外來漁船及抽砂船在金門水域出現，爾後調查如有發現請加以紀錄，以瞭解抽砂船等對文昌魚生態之影響。

(三)大陸有些地方的地名與金門相同，應加以備註，以免造成讀者混淆。

七、受託單位回應

(一)在r/K策略的理論中，是假設驅動演化的環境壓力會驅使物種的生長曲線往兩個策略其中之一方演化，而大部分的生物都介於這兩極端之間的某處。偏向r策略物種，通常會產生許多的子

代數量，每個個體相對有較低的機率存活到成年。如多數魚類和蛙類。其特點是以「量」取勝：親代對子代缺乏照顧、養育行為。其子代發育較快、性成熟較早、體型較小、多數物種一生僅繁殖一次。反之，偏向K策略物種，通常會產生少數的子代數量，單一個體相對有較高的機率存活到成年。如多數鳥類與哺乳類。其特點是重「質」不重「量」：親代對子代會有照顧、養育的行為。其子代發育較慢、性成熟較晚，體型較大，多數物種一生可多次繁殖。

(二) 未來調查中，會將中國大陸採砂船的紀錄也列入計畫中執行。

(三) 成果報告中已將屬於大陸的地名前都加上「中國大陸」，以防讀者混淆。

八、結論：

(一) 文昌魚為珍貴的海洋無脊椎動物，本案有其研究價值，礙於明年預算刪減，101年仍應編列預算積極辦理，以建置完整金門海域文昌魚分佈基礎資料。

(二) 本案期末簡報原則通過，並請受託單位依合約規定續辦。

九、散會：12時10分

附錄三 文昌魚細胞色素乙 (Cytochrome b) 基因和 12S rRNA

基因序列

Cytochrome b --- *B. belcheri*

AAACATCACCCCTTTATTAAAGGTAGTTAACCATTCTGTTGTTGATTTACCTGT
 TCCTAGAAATATTTTCGGTTTGGTGAAATTTTGGATCATTATTAGGGCTTTGCT
 TGGTGAGACAGATTTTAACCGGTTTATTTTTAGCTATACATTATACAGCTGAT
 GTAAATTTAGCTTTTTCTCTGTAGCGCATATTTGTCGTGATGTAAATTATGG
 TTGATTATTGCGTAATCTTCATGCTAATGGTGCATCTTTTATATTTATTTGTTTA
 TATTTTCATATTGGGCGTGGCATATATTATGGTTCCTACTTTTATATTGAGACG
 TGAAATATTGGGGTGGTGCTTCTAATTCTAACTATGGCAACTGCGTTCCTGG
 GGTATGTTTTACCTTGGGGGCAGATGTCATTTTGAGGGGCTACGGTAATTAC
 CAATTTAGCTTCTGCTATCCCTTATTTAGGGGGGGATTTAGTGCAGTGGTTAT
 GGGGAGGTTTTTCTGTAGATAATGCAACATTGACTCGCTTTTTTTCGTTTCA
 TTTCTTCTTACCTTTTGCAATTGCTGGATTGGCAGTTGTACATTTGTTATTTTT
 ACATCAAACAGGAGCCAATAACCCTACTGGGTTAGCTGGGGACGTAGATAA
 AGTCCCTTTTCATGCATACTTTTCTTATAAAGATGTTATTGGCTTCATTTTATT
 ATTAACGGGGTTAGTGTATTATTGCTCTATTTTCACCTAATTTATTAACAGATC
 CTGAAAATTACATTCCTGCTAATCCTTTGGTTACCCCTGTTTCATATCCAACCT
 GAGTGGTACTTTTTGTTTTGCTTATGCTATTCTTCGTTTCGATTCCAAATAAGCT
 AGGGGGAGTTGTAGCTTTAGCTATATCGATTTTCGTGTTATTTTTTCATGCCGT
 TCGTTCATTCTAGTCGGCAAGCGAGCCATAACTTTTCGGCCGTTGTCGCAGG
 TATTATTTTGAGTTATGGTAACAAATGTTATTTTATTGACATGGTTAGGTGGG
 CAGCCGGTGGAAATATCCATACATTTTCTTGGGCAGATAGCATCGGTTGTGT
 ATTTTTTAAATATTTTATTATTAATTCCTATTGTTGGGTATGTAGAGAACAA

Cytochrome b --- *B. belcheri*

AAACATCACCCCTTTATTAAAGGTAGTTAACCATTCTGTTGTTGATTTACCTGT
 TCCTAGAAATATTTTCGGTTTGGTGAAATTTTGGATCATTATTAGGGCTTTGCT
 TGGTGAGACAGATTTTAACCTGGTTTATTTTTAGCTATACATTATACAGCTGAT
 GTAAATTTAGCTTTTTCTCTGTAGCGCATATTTGTCGTGATGTAAATTATGG
 TTGATTATTGCGTAATCTTCATGCTAATGGTGCATCTTTTATATTTATTTGTTTA
 TATTTTCATATTGGGCGTGGCATATATTATGGTTCCTACTTTTATATTGAGACG
 TGAAATATTGGGGTGGTGCTTCTAATTCTAACTATGGCAACTGCGTTCCTGG
 GGTATGTTTTACCTTGGGGGCAGATGTCATTTTGAGGGGCTACGGTAATTAC
 CAATTTAGCTTCTGCTATCCCTTATTTAGGGGGGGATTTAGTGCAGTGGTTAT

GGGGAGGTTTTCTGTAGATAATGCAACATTGACTCGCTTTTTTGCGTTTCA
TTTCTTCTTACCTTTTGCAATTGCTGGATTGGCAGTTGTACATTTGTTATTTTT
ACATCAAACAGGAGCCAATAACCCCACTGGGTTAGCTGGGGACGTAGATAA
AGTCCCTTTTCATGCATACTTTTCTTATAAAGATGTTATTGGCTTCATTTTATT
ATTAACGGGGTTAGTGTTTATTGCTCTATTTTCACCTAATTTATTAACAGATC
CTGAAAATTACATTCCTGCTAATCCTTTGGTTACCCCTGTTTCATATCCAACCT
GAGTGGTACTTTTTGTTTGCTTATGCTATTCTTCGTTTCGATTCCGAATAAGCT
AGGGGGAGTTGTAGCTTTAGCTATATCGATTTTCGTGTTATTTTTTCATGCCGT
TCGTTCACTTAGTCGGCAAGCGAGCCATAACTTTCGGCCGTTGTTCGCAGG
TATT

Cytochrome b --- *B. japonicus*

GAACATCATCCGTTATTGAAGGTAGTTAATCATTCTCTTATTGATTTACCAGT
CCCGAGTAATATTTCTGCTTGATGAAATTTGGTTCTTTATTAGGGCTTTGCT
TAATTAGTCAAATTTAACAGGCTTGTTTTGGCTATACATTATACGGC GGAT
GTAAATTTGGCTTTTTCTTCTGTGCGCATATTTGTCGGGATGTAAATTATGG
GTGGCTATTGCGTAACCTTCATGCTAATGGAGCTTCGTTTATGTTTATTGCT
TGTACCTGCATATTGGACGAGGTTTGTATTACGGGTCTTATTTTTATATAGAG
ACTTGAAATATCGGTGTTGTGCTTTTACTCTTAACAATAGGTACTGCTTTTTT
AGGGTATGTCTTGCCTTGGGGTCAAATGTCTTTTTGGGGAGCTACGGTAATC
ACTAATTTGGCTTCTGCGATCCCTTATTTAGGGTCTGAGTTAGTACAATGATT
ATGGGGGGGTTTTCTGTTGATAATGCAACACTA ACTCGATTTTTTGCATTT
CACTTTTTCTTGCCTTTTATGATTGCTGGATTAGCTATTGTACATTTATTATTT
TTACATCAAACAGGGGCCAATAATCCGACAGGTCTTGTTGGGGATATTGATA
AAGTACCATTTCACTACTTATTTTTCTTACAAAGACGTGGTGGGGTTTATCTTA
ATATTAACCGGGTTAATATTTGTTGTGTTGTTTTCTCCTAACCTTCTAACTGA
CCCGGAGAATTATATTCCTGCTAACCCTTTAGTTACGCCTGTTTCATATTCAGC
CAGAATGATACTTCTTGTTTGCATACGCAATTTTACGGTCTATTCCAATAAG
TTGGGGGGGGTTGTAGCTTTGGCTATATCTATTTTTGTTTTATTCTTCATGCC
TTTTGTTCACTCAAGTCGGCAAGCAAGCCATGCATTTTCGGCCTTTGTCCCA
AATAGTTTTTTGATTAATAGTTGTGAATGTAATCTTATTA ACTTGGCTTGGGG
GGCAGCCTGTAGAATACCCATATATTTTCTTAGGTCAAGTGGCGTCTGTAGT
TTATTTTACTAGAATCCTTTTATTGGTGCCTATCGTCGGGTATGTTGAAAATAT

Cytochrome b --- *B. japonicus*

GAACATCATCCGTTATTGAAGGTAGTTAATCATTCTCTTATTGATTTACCAGT
CCCGAGTAATATTTCTGCTTGATGAAATTTGGTTCTTTATTAGGGCTTTGCT
TAATTAGTCAGATTTTAACAGGCTTGTTTTGGCTATACATTATACGGC GGAT

GTAAATTTGGCTTTTTCTTCTGTGTCGCGCATATTTGTGCGGGATGTAAATTATGG
 GTGGCTATTGCGTAACCTTCATGCTAATGGAGCTTCGTTTATGTTTATTTGTT
 TGTACCTGCATATTGGACGAGGTTTGTATTACGGGTCCTATTTTTATATAGAG
 ACTTGAAATATCGGTGTTGTGCTTTTACTCTTAACAATAGGTAAGTACTGCTTTTTT
 AGGGTATGTCTTGCCTTGGGGTCAAATGTCTTTTTGGGGAGCTACGGTAATC
 ACTAATTTGGCTTCTGCGATCCCTTATTTAGGGTCTGAGTTAGTACAATGATT
 ATGGGGGGGTTTTTCTGTTGATAATGCAACACTAACTCGATTTTTTGCATTT
 CACTTTTTCTTGCCTTTTATGATTGCTGGATTAGCTATTGTACATTTATTATTT
 TTACATCAAACAGGGGCCAATAACCCGACAGGTCTTGTTGGGGATATTGAT
 AAAGTACCATTTACATACTTATTTTTCTTACAAAGACGTGGTGGGGTTTATCTT
 AATATTAACCGGGTTAATATTTGTTGTGTTGTTTTCTCCTAACCTTCTAACTG
 ACCCGGAGAATTATATTCCTGCTAATCCTTTAGTTACGCCTGTTTCATATTCAG
 CCAGAATGATACTTCTTGTTTGCATACGCAATTTTACGGTCTATTCCAAATAA
 GTTGGGGGGGGTTGTAGCTTTGGCTATATCTATTTTTGTTTTATTCTTCATGC
 CTTTTGTTCACTCAAGTCGGCAAGCAAGCCATGCATTCCGGCCTTTGTCCC
 AAATAGTTTTTTGATTAATAGTTGTGAATGTAATCTTATTAACCTGGCTTGGG
 GGGCAGCCTGTAGAATACCCATATATTTTCTAGGTCAAATGGCGTCTGTAG
 TTTATTTTACTAGAATCCTTTTATTGGTGCCTATCGTCGGGTATGTTGAAAATA
 T

12S rRNA --- *B. belcheri*

ATTTTCTGTTATGCAGATTTGATTCTGGTTTCTATCATGAGGTGATCTTTGAT
 GATACATGCTAGTCGTGCGTTCTAGTGAGGGAAGAGTGCATTTAAAGTTTA
 ACATTAATGTACATTAAGGCTTAAGATTGGTTATTTGTTTTGTGTATTCCAC
 TCCATAATGGTTATAGCAGTACTTAATATTGTGTGAGGCGTGCAAGCGTGCT
 CCAGCAGAGGTTAAAAGAAAATGTTATACGTGGCAAAGATTGTGCCAGCC
 GCCGCGGTTATACCTGAACGTAGTCTTATGATACATATAAGTGTGAGTTAAA
 GGTCAAAGCTTGAAGATAATAGGTAATTAATCGCTTAAGAGGTGTGGTC
 GCATACATTTCTCTTTAGGAGATTTCAATTTTGTAATTACATGAAATAAAGA
 ACTAAACCAGGATTAGAGACCCTGCTATACTTTATTAGTTAACATTTGGTAA
 GTATAAATGTTGTTTGAAAACCAAAGATTTTGGCAGTGAATAAGATCTAGTC
 AGAGGAGTTTGTGTTTGTAATAATCGATAATCCGCGAGAATCTCACTTTAATTT
 GTTATTCAGCTTATATAACCGCCGTCGTCAGCTAATACTGGAAAGGGTTAGAA
 ATTAGCTAGAAGAATGAGTTCTTTACGTCAGGTCAGGGTGTAGCTTATATTA
 AAGGTCAGGATGAATTACAGTTATTGTTAAATATCAGATACTAGTGGTGA
 TCTCTAGTTGAAGTTGGATTTGATAGTAATCAATCATTATTGTGGTTTGTGA
 TTATAGCTCTTATTTATGCACACACCCGCCCGTCATTTTTCTGAATAGATAA
 GGGAAAAAAGTCGTAACAAGGTTAGGGCATCTGGAAAGATCTCCTGGGTA

ATTAGGTATATATAAGTTAAGGAGACTATTACCTTGAAAAGGTAAAAGTAAA
CGT

12S rRNA --- *B. belcheri*

ATTTTCTGTTATGCAGATTTGATTCTGGTTTCTATCATGAGGTGATCTTTGAT
GATACATGCTAGTCGTGCGTTCTAGTGAGGGAAGAGTGCATTTAAAGTTTA
ACATTAATGTACATTAAGGCTTAAGATTGGTTATTTGTTTTGTGTATTCCAC
TCCATAATGGTTATAGCAGTACTTAATATTGTGTGAGGCGTGCAAGCGTGCT
CCAGCAGAGGTTAAAAGAAAATGTTATACGTGGCAAAGATTGTGCCAGCC
GCCGCGGTTATACCTGAACGTAGTCTTATGATACATATAAGTGTGAGTTAAA
GGTCAAAGCTTGAAGATAATAGGTAATTAATAATCGCTTAAGAGGTGTGGTC
GCATACATTTCTCTTTAGGAGATTTCAATTTTGTAATACATGAAATAAAGA
ACTAAACCAGGATTAGAGACCCTGCTATACTTTATTAGTTAACATTTGGTAA
GTATAAATGTTGTTTCGAAAACCAAAGATTTTGGCAGTGAATAAGATCTAGTC
AGAGGAGTTTGTGGTAAATCGATAATCCGCGAGAATCTCACTTTAATTT
GTTATTCAGCTTATATACCGCCGTCGTCAGCTAATACTGGAAAGGGTTAGAA
ATTAGCTAGAAGAATGAGTTCTTTACGTCAGGTCAGGGTGTAGCTTATATTA
AAGGTCAGGATGAATTACAGTTATTGTTAAATATCAGATACTAGTGGTGAAA
TCTCTAGTTGAAGTTGGATTTGATAGTAATCAATCATTATTGTGGTTTGTGA
TTATAGCTCTTATTTATGCACACACCGCCCCGTCATTTTCCCTGAATAGATAA
GGGAAAAAAGTCGTAACAAGGTTAGGGCATCTGGAAAGATCCCCTGGGTA
ATTAGGTATATATAAGTTAAGGAGACTATTACCTTGAAAAGGTAAAAGTAAA
CG

12S rRNA --- *B. japonicus*

CATTTTAAACTCCCAAAGTTTAGGTTTTAGCTTAAACTATTTTCTGTAGCAGA
TTTGATTCTGGTTTCTGTTATAGGTTGATTTTTGATGATACATGCTAACCGTG
TGGGCTAGTGAGGAAGTGAATGTATAATAATTATAAATTATATATGTGTTAA
GCATAAGATTGATCGTTTTGCTTTGATTTATCCACTCCATAAAGGTTATAGCAG
TACTTAGTATTGGTAGGATGCGTAAGCATGCATCAGCATAAATTTTAGTATG
TGGCAAAGATTGTGCCAGCCGCCGCGGTTACACCTGAACATAGTCTTATAA
CATTTTAGGATGTAATTTAGTTAATAATTTTAAAGGCATTTACAGAGGTGTGG
TCGTATACTTTCTCTTTAGGGGGCTTGAATAGAAGTAATTACACGGAATAAA
GGAATAAACCAGGATTAGAGACCCTGCTATACTTTATTAGTTAATATGTGGTT
AGTATAAATTATGTTTGAACCAAAGATTTTGGCAGTGGTTAAGGTCTGCC
CAGAGGAGTTTGTCTGTTAATTCGATAATCCGCGAGGATCTCACTTTAATT
TGTAATACAGCTTATATACCGCCGTCGTCAGCCAATGTTATGAAAGAATAAG
AATTGGCTAAAAGAGTAAATTTCTTAACGTCAGGTCAGGGTGTAGCTAATGTT

AGAGGTAAGAATGAATTACAATTATTTAATATTATCGGGAGTTATATATGTAA
TTATTA ACTTAAGTTGGATTTGGTAGTAAATTGTTATTATAGTGAATAATTGAT
TG TAGCGCTTAAGTATGCACACACCGCCCGTCATTTTCCTGAAGCGATAAA
GGAAAAAGTCGTAACAAGGTAGGGCGTCTGGAAGGACTCCCTGGTAAAT
TAGGCATGTATAAGTTAATTAGACTATTACCTGAAAAGGTAAATGTAAACGG

12S rRNA --- *B. japonicus*

CATTTTAAACTCCCAAAGTTTAGGTTTTAGCTTAAACTATTTTCTGTAGCAGA
TTTGATTCTGGTTTCTGTTATAGGTTGATTTTTGATGATACATGCTAACCGTG
TGGGCTAGTGAGGAAGTGAATGTATAATAATTATAAATTATATATGTGTTAA
GCATAAGATTGATCGTTTGCTTTGATTTATCCACTCCATAAAGGTTATAGCAG
TACTTAGTATTGGTAGGATGCGTAAGCATGCATCAGCATAAATTCTTAGTATG
TGGCAAAGATTGTGCCAGCCGCCGCGGTTACACCTGAACATAGTCTTATAA
CATTTTAGGATGTAATTTAGTTAATAATTTTAAAGGCATTTACAGAGGTGTGG
TCGTATACTTTCTCTTTAGGGGGCTTGAATAGAAGTAGTTACACGGAATAAA
GGAATAAACAGGATTAGAGACCCTGCTATACTTTATTAGTTAATATGTGGTT
AGTATAAATTATGTTTGAAAACCAAAGATTTTGGCAGTGGTTAAGGTCTGCC
CAGAGGAGTTTGTCTGTTAATTCGATAATCCGCGAGGATCTCACTTTAATT
TGTAATACAGCTTATATACCGCCGTCGTCAGCCAATGTTATGAAAGAATAGG
AATTGGCTAAAAGAGTAAATTCCTAACGTCAGGTCAGGGTGTAGCTAATGTT
AGAGGTAAGAATGAATTACAATTATTTAATATTATCGGGAGTTATATATGTAA
TTATTA ACTTAAGTTGGATTTGGTAGTAAATTGTTATTATAGTGAATAATTGAT
TG TAGCGCTTAAGTATGCACACACCGCCCGTCATTTTCCTGAAGCGATAAA
GGAAAAAGTCGTAACAAGGTAGGGCGTCTGGAAGGACTCCCTGGTAAAT
CAGGCATGTATAAGTTAATTAGACTATTACCTGAAAAGGTAAATGTAAACGG

參考書目

- 方少華，呂小梅，張躍平（2002）廈門國家級自然保護區廈門文昌魚資源及其保護。海洋科學 26（10）1-9
- 王華，黃慧哲，王義權（2010）文昌魚 Pax1/9 基因上游調控區的克隆及分析。廈門大學學報（自然科學版） 49（2）276-281
- 王義權，方少華（2005）文昌魚分類學研究及展望。動物學研究 26（6）666-672
- 王義權，許群山，彭宣憲，周涵韜（2004）通過 Cyt b 基因同源序列比較評估廈門文昌魚的分類學地位。動物學報 50（2）202-208
- 白秀娟，盧伙勝，唐峰華（2009）Cu²⁺、Zn²⁺和 Cd²⁺對茂名海域文昌魚酸、鹼磷酸酶的影響。水產科學 28（9）513-517
- 白秀娟，盧伙勝，張冰（2009）亞硝酸鹽對茂名海域文昌魚生長及磷酸酶、酚氧化酶的影響。齊魯漁業 26（8）7-10
- 呂小梅，張躍平，鄭承忠，陳水土，方少華（2005）廈門文昌魚自然保護區的生態環境特點。海洋科學 29（10）27-31
- 林秀瑾（2001）台灣及金門、馬祖沿海文昌魚之系統分類及生態研究。國立台灣大學動物學研究所碩士論文
- 林秀瑾，邵廣昭（2004）海峽兩岸文昌魚之親緣關係及生態研究。金門歷史、文化與生態國際學術研討會論文集
- 李紅岩，張士瓘（2010）文昌魚肝盲囊與脊椎動物肝臟起源。遺傳 32（5）437-442
- 李偉業，鐘婧，王義權（2010）基於 COX I 基因的太平洋西岸文昌魚地理種群分析。動物學研究 31（4）375-380

余雪松，李健偉，劉輝，李曉丹，陳尚武，張紅衛，徐安龍（2009）文昌魚 *AmphiSmad 1/5/8* 和 *AmphiSamd 4* 的克隆和表達。中國科學 C 輯：生命科學 39（12）1146-1154

金德祥（1988）廈門文昌魚的生物學。海洋出版社。

林浴霜，陳冬艷，范秋聲，張紅衛（2009）關於青島文昌魚 *SoxB2* 和 *SoxC* 基因的研究：進化保守性分析。中國科學 C 輯：生命科學 39（5）469-478

周秋麟，何明海，邵合道（1990）廈門黃厝海區文昌魚的分布及其與底質的關係。台灣海峽 9（2）185-189

周涵韜，連玉武，邱檢萍，葉帆，曾國壽（2003）廈門文昌魚遺傳多樣性研究。海洋科學 27（11）68-74

陳錦，黎中寶，趙斌麗，雷光高，張桂玲，王展林（2009）廈門文昌魚（*Branchiostoma belcheri* Gray）種群雜合性研究。海洋與湖沼 40（1）78-82

張巨永，黃盛豐，王蔚，徐安龍，王義權（2010）白氏文昌魚單個體基因組 BAC 文庫的建構。遺傳 32（1）67-72

張秋金，李光，孫毅，王義權（2009）廈門兩種文昌魚染色體的制備與觀察。動物學研究 30（2）131-136

張珞平，江毓武，陳偉琪（2009）福建海灣數模與環境研究－廈門灣。北京：海洋出版社

張晶，黃貝，高謙，聶品（2009）白氏文昌魚 *FADD* 的克隆及功能研究。水生生物學報 33（6）1175-1184

張穎，王利風，邵明，張紅衛（2007）文昌魚 *AmphiMef2* 基因的

特徵及其發育表達。中國科學 C 輯：生命科學 37 (4) 422-426

黃向煒，張偉，李忻怡，張曉輝，李寶鈞，毛炳宇，張紅衛 (2007)

文昌魚 RACK1 基因在胚胎發育中的表達。中國科學 C 輯：生命科學 37 (3) 287-292

翁朝紅，張雅芝，劉賢德，謝仰杰，肖志群，王淑紅 (2010)

福建沿海文昌魚的分布及其資源保護對策。海洋科學 34 (8) 35-40

盧伙勝，周林濱，顏云榕，馮波 (2009)

礪洲島海域文昌魚的分布與棲息地底質關。台灣海峽 28 (2) 272-278

Andrews, E. A. (1893) An undescribed acraniate : *Asymmetron*

lucayanum. Studies from the Biological Laboratory, Johns Hopkins University 5(4): 213-247, pl. 13-14.

Bigelow, H. B., and I. P. Farfante (1948) Fishes of the Western North

Atlantic. Part I. Lancelets, Cyclostomes, Sharks, Memoirs of the Sears Foundation for Marine Research: 1-28

Boring, AM, HL Li (1932) Is the Chinese amphioxus a separate species.

Peking Nat Hist Bull 6: 9-18

Chen, JY, DY Huang, and CW Li (1999) An early Cambrian

craniate-like chordate. Nature 402: 518-522

Delsux, F, Brinkmann H, Chourrout D, and Philippe H (2006)

Tunicates and not cephalochordates are the closest living relatives of vertebrates. Nature 439: 965-968

Garcia-Fernandez, J, PW Holland (1994) Archetypal organization of

the amphioxus Hox gene cluster. Nature 370: 563-566

Huang, CC, RT Yang (1979) A newly record lancelet (*Asymmetron lucayanum* Andrews) found in the southern tip of Taiwan. *ACTA Oceanographica Taiwanica Science Reports of the National Taiwan University* 10: 172-178

Light, SF (1923) *Amphioxus* fisheries near the university of Amoy, China. *Science* 58: 57-60

Nelson, J.S. (1994) *Fishes of the world*. John Wiley and Sons.

Nishikawa, T., H. Shirai, Y. Chen, C.F. Dai, M. Nohara and K. Soong. (1997) First Find of *Epigonichthys maldivensis* (Cooper) and Rediscovery of *E. lucyanus* (Andrews) from Nanwan Bay, Southern Taiwan (Cephalochordata). *Benthos Research* Vol152, No.2: 103-109.

Pallas, P. S. (1774) *Limax lanceolatus*. *Descriptio Limacis lanceolaris*. In: *Spicilegia Zoologica, quibus novae imprimis et obscurae animalium species iconibus, descriptionibus*. Gottlieb Augustus Lange, Berlin. (10): 19. tab. 1, fig. 11 a,b

Poss, SG, and HT Boschung (1996) Lancelets (Cephalochordata: Branchiostomatidae): How many species are valid. *Israel Journal of Zoology* 42: S13-S16

Stokes, MD, and ND Holland (1996) Life-history characteristics of the Florida lancelet, *Branchiostoma floridae*: some factors affecting population dynamics in Tampa Bay. *Israel Journal of Zoology* 42: S67-S86

Tchang, S., and K. C. Koo (1936) Description of a new variety of *Branchiostoma belcheri* (Gray) from Kiaochow Bay, Shantung, 47 China. *Contr. Inst. Zool. Natl. Acad. Peiping*. 3(4): 77-114+2 plates.

Xu QS, F Ma, YQ Wang (2005) Morphological and 12S rRNA gene comparison of two Branchiostoma species in Xiamen waters. J. Exp. Zool. 304B: 259-267

Yarrel, W. 1836. A. History of British Fishes. 1st edition. J. Van Voorst, London. 1:xxxvii+408 pp.,suppl.1839 48; 2:472 pp.;suppl. 72pp.

Zhang, Qiu-Jin, Jing Zhong, Shao-Hua Fang, and Yi-Quan Wang (2006) Branchiostoma japonicum and B. belcheri are distinct lancelets (Cephalochordata) in Xiamen waters in China. Zoological Science 23: 573-579

Zhou, CW (1958) Comparative study on Chinese amphioxus. J. Shandong. Univ. 1: 162-204