

# 大洋性海豚親緣地理研究現況與展望：以 真瓶鼻海豚為例

## An overview and perspective on the phylogeographic studies of oceanic delphinids: a case analysis for com- mon bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*)

陳瑩\* 古靖 林家榆

Ing Chen\*, Jing Ku and Chia-Yu Lin

國立臺灣師範大學地理學系 106308 臺北市和平東路一段 162 號

Department of Geography, National Taiwan Normal University, Taipei Taiwan

\* 通訊作者：[ingchen@ntnu.edu.tw](mailto:ingchen@ntnu.edu.tw)

\*Corresponding author:[ingchen@ntnu.edu.tw](mailto:ingchen@ntnu.edu.tw)

### 摘要

海豚科 (Delphinidae) 包含 38 個物種，為現生海洋哺乳動物中多樣性最高的類群。現生所有的大洋性海豚 (oceanic delphinids)，均為海豚科的物種。由於大洋性海豚分布範圍廣、又多以遠洋海域為主要棲地，因此除了少數明星物種如虎鯨 (*Orcinus orca*)、真瓶鼻海豚 (*Tursiops truncatus*) 外，觀察資料或採集樣本均不完整。本研究短報以資料相對齊全的真瓶鼻海豚為例，回顧其親緣地理

學和基因體學的最新研究進展，著重其分類系統之動態變化。過去的分類標準僅認可兩個瓶鼻海豚屬 (*Tursiops* sp.) 物種，即真瓶鼻海豚與印太洋瓶鼻海豚 (*T. aduncus*)，而最新研究確認第三個物種，即坦氏瓶鼻海豚 (*T. erebennus*)。同時，真瓶鼻海豚內部可再細分出四個在地理上具有特殊性的亞種或生態型。透過討論多樣化的親緣關係和族群結構，本研究提供瓶鼻海豚保育的基礎知識，並探討全球氣候變遷下，真瓶鼻海豚乃至於小型鯨豚未來可能面臨的全球性和在地性族群發展趨勢與挑戰。

**關鍵詞：**海洋哺乳動物、模式生物、生態保育、研究回顧

The family Delphinidae, containing 38 species, is the most diverse group among extant marine mammals. All living oceanic dolphins belong to this family. Due to their extensive distribution and primary habitats in offshore waters, observation data or sample collections from oceanic dolphins are mostly patchy, with the exception of a few relatively well-studied species, such as the killer whale (*Orcinus orca*) and common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). This mini review focuses on the common bottlenose dolphin, a species with relatively comprehensive data, to study recent advancements in its phylogeography and genomics, particularly emphasizing the dynamic changes in its classification. Traditionally, only two species within the genus *Tursiops* were recognized: the common bottlenose dolphin and the Indo-Pacific bottlenose dolphin (*T. aduncus*). However, recent studies have confirmed a third species, the Tamanend's bottlenose dolphin (*T. erebennus*). Additionally, four geographically distinctive subspecies or ecotypes have been identified within the common bottlenose dolphin. Through discussing the diverse phylogenetic relationships and population structures, this study not only provides foundational knowledge for bottlenose dolphin conservation, but also explores the

potential global and local population trends and challenges for the common bottlenose dolphin and other small cetaceans under global climate change.

**Key words:** marine mammal, model organism, conservation, research review

收件日期：2024 年 11 月 25 日      Received: November 25, 2024

接受日期：2025 年 6 月 23 日      Accepted: June 23, 2025

## 緒言

海洋哺乳動物泛指所有依賴海洋環境生存的半水生或完全水生的哺乳動物，包含鰭足下目（*Infraorder Pinnipedia*）、海牛目（*Sirenia*）、鯨下目（*Infraorder Cetacea*）、海獺（*Enhydra lutris*）、秘魯水獺（*Lontra felina*）、北極熊（*Ursus maritimus*）等 137 個物種（Committee on Taxonomy 2023）。除了海牛目的物種全為植食性動物外，海洋哺乳動物均為肉食性動物，於所在的生態系中普遍扮演著高級掠食者（top predator），或是關鍵物種（keystone species）的角色（Harwood 2001）。

關鍵物種具有穩定當地生態系食物鏈、調節生物量等重要生態功能（Valls *et al.* 2015），也因此經常被視為監測公共衛生，如環境中重金屬、有機毒物、塑膠微粒（microplastics）等等污染物質含量的哨兵物種（sentinel species）（Chen *et al.* 2017b; Zantis *et al.* 2021; Williams *et al.* 2023）。另一方面，海洋哺乳動物通常同時是具有魅力、普遍受到大眾歡迎的中大型動物，所以在生態保育經營策略中，海洋哺乳動物也經常被定位為「吸引大眾重視生物多樣性保護」的旗艦物種（flagship species）（Zacharias and Roff 2001; Ritter 2022）。無論是由科

學理性或是社會心理層面出發，海洋哺乳動物的研究和保育，均具有一定程度的重要性。

在海洋哺乳動物中，鯨下目擁有最高的物種多樣性（共計 94 個物種，其中 1 種可能已滅絕），而在鯨下目當中又以海豚科（*Delphinidae*）包含最多的物種（總計 38 個物種；Committee on Taxonomy 2023）。海豚科的物種多為大洋性（oceanic）的中小型海豚，牠們具有極佳自主活動力，主要出沒於大洋海域，對陸地的依賴程度低，再加上過去研究人員對廣闊海洋進行大範圍深入調查的技術瓶頸或預算限制，導致人們對大洋型海豚的生態學知識和保育評估的把握，相對於陸生哺乳動物，有著相當大的差距（Harwood 2001; Kaschner *et al.* 2012）。臺灣東部海岸坡度陡降，緊鄰全球最大水體太平洋，終年有暖流黑潮流經，因此即使在近岸區域，仍然經常可見真瓶鼻海豚（*Tursiops truncatus*）、花紋海豚（*Grampus griseus*）、飛旋海豚（*Stenella longirostris*）等大洋型海豚

物種出沒（Yang *et al.* 1999; Tseng *et al.* 2011）。由於與大洋型海豚相關的科學和生態資訊相對欠缺，以及牠們「很常見」的刻板印象，導致牠們在國際間保育行動中的順位普遍不高，而可能使環境經營者忽略了這些物種的族群量波動趨勢，也可能有導致在地族群局部滅絕的風險（Ashe *et al.* 2021）。

真瓶鼻海豚廣泛分佈於世界各大洋熱帶及溫帶水域（圖 1），是一種常見的大洋型海豚。相對於其他大洋型海豚，在野外觀察研究真瓶鼻海豚相對容易，因為牠們也經常出現在淺水、沿海水域。此外，真瓶鼻海豚具有高度認知能力（Marino 2004）以及複雜的社會結構（Shane *et al.* 1986），因而成為研究鯨豚行為與認知的理想選擇（Hanke and Erdsack 2015）。在圈養條件下，瓶鼻海豚屬物種也是相對容易飼養和訓練的鯨豚種類（Wells and Scott 2018），牠們能在可控的環境中透過人為訓練，執行各種任務，包含娛樂展演、軍事行動、或科學研究（但是有爭議性，

見 Corkeron 2018 的討論)。綜合這些外在生態和內在生物學特色，使得真瓶鼻海豚成為鯨豚研究的模式生物 (model organism)，也是目前科學研究最為透徹的鯨豚物種：粗略估算，在目前已發表、以鯨豚 (cetacean\*) 為題材的科學文獻當中，大約每 4-5 篇就有 1 篇與真瓶鼻海豚有關 (圖 2)。

有鑑於真瓶鼻海豚在鯨豚中的代表性，本研究短報將透過回顧全球真瓶鼻海豚相關的研究進展及資源現況，就未來趨勢及潛在保育議題進行討論。由於有關真瓶鼻海豚的基礎生物學和生態學整合性資訊，包括分布範圍、生態學、生活史、行為生理、人類活動影響等等，在近年出版的海洋哺乳動物百科全書第三版 (Encyclopedia of Marine Mammals. Third Edition)、以及國際自然保護聯盟紅皮書 (IUCN Red List)，皆有專文提供詳盡的描述 (Wells and Scott 2018; Wells *et al.* 2019)，過去亦有學術專書可供參考 (Caldwell and Caldwell 1972; Leatherwood and Reeves

1990; Reynolds III *et al.* 2000)，因此本短報將聚焦於先前回顧型文獻較少報導的新興研究領域，特別是親緣地理 (phylogeography) 及基因體學 (genomics) 方面之研究進展；同時介紹近年內一些在傳統生物學範疇中突破性的研究發現，最後在文末嘗試就未來趨勢以及潛在的全球性或在地性保育議題，進行初步討論。

## 分類與親緣地理

瓶鼻海豚廣泛分布於全球溫帶及熱帶、大洋及近岸海域，而各地的瓶鼻海豚在外形和骨骼形態上具有明顯差異性，因此在早期依賴傳統頭骨形態特徵的分類學中，瓶鼻海豚曾經一度多達超過 20 個獨立物種 (Wells and Scott 2018)。即使 Rice (1998) 透過檢視當時可取得的全球瓶鼻海豚傳統形態學及分子遺傳學資料，定調瓶鼻海豚屬 (Genus *Tursiops*) 內僅有印太洋瓶鼻海豚 (*T. aduncus*) 和真瓶鼻海豚 (*T. truncatus*) 兩個物種，但事實上瓶鼻海豚屬內物種的分類地位，截至今日仍尚未完全明

朗。海洋哺乳動物學會分類委員會（Committee on Taxonomy, Society for Marine Mammalogy; 以下簡稱分類委員會）做為全球海洋哺乳動物分類標準的權威機構，目前認可瓶鼻海豚屬物種有三種，分別為印太洋瓶鼻海豚、真瓶鼻海豚以及坦氏瓶鼻海豚（*T. erebennus*）；其中真瓶鼻海豚之內又再細分四個亞種，詳見後述（Committee on Taxonomy 2023）。

Möller *et al.* (2008) 及 Charlton-Robb *et al.* (2011) 主張棲息於澳洲南部和東南部沿岸水域的瓶鼻海豚，在頭骨形態、粒線體 DNA 細胞色素 b (cytochrome b) 及控制區 (control region)、及微衛星基因座 (microsatellite loci) 多型性上，和澳洲其他海域採集到的印太洋瓶鼻海豚以及真瓶鼻海豚樣本間，有明顯的分化現象，因此主張這些海豚應視為獨立的物種，稱為布魯安海豚 (Burrundolphin, *T. australis*)。然而分類委員會在近年駁回這項主張，除了是考量 Charlton-Robb *et al.* (2011) 中形態學和分子遺傳學的比較基準僅包含澳

洲海域的瓶鼻海豚、且樣本數量少等原因之外，後續有納入兩種瓶鼻海豚模式標本的形態學研究 (Jedensjö *et al.* 2020)，以及涵蓋更廣域瓶鼻海豚樣本的單核苷酸多型性 (single nucleotide polymorphism, SNP) 分子遺傳學研究 (Moura *et al.* 2020; Pratt *et al.* 2023)，顯示南澳的布魯安海豚在形態學上並沒有明顯特殊性，且在親緣關係上更可能是一個屬於印太洋瓶鼻海豚的支系 (Committee on Taxonomy 2023)。

另一方面，早在 90 年代就有初步的形態學、生態學、及分子遺傳資料指出，生息於北美大陸東岸、即西北大西洋海域的瓶鼻海豚，具有近岸、離岸的族群分化現象 (Mead and Potter 1995; Hoelzel *et al.* 1998)。但是因為瓶鼻海豚為全球廣泛分布的物種，長久以來一直缺乏與其他海域個體比較形態或分子遺傳資料，以資確認西北大西洋沿岸型瓶鼻海豚的特殊性。直到近年，學者利用全粒線體基因體 (mitogenome)、限制酶位點標定定序 (restriction site-associated DNA

sequencing, RADseq) 及細胞核全基因體等定序資料，分析北大西洋兩岸、印度洋、地中海及黑海等地的瓶鼻海豚屬物種之親緣遺傳關係，發現分布於西北大西洋近岸地區的瓶鼻海豚，應是上述真瓶鼻海豚支系演化中最早獨立出來的支系 (Moura *et al.* 2013, 2020; Louis *et al.* 2021)。在形態上，西北大西洋近岸型的瓶鼻海豚具有頭骨較小 (頭骨基長 condylobasal length 426–510 mm；離岸型真瓶鼻海豚的測量值為 466–550 mm)，脊椎骨數目較少 (總數為 59–61；離岸型真瓶鼻海豚脊椎骨數目為 62–65)、頭骨形狀特化等形態特色，明顯與其他已知的瓶鼻海豚不同 (Costa *et al.* 2022)。因此 Costa *et al.* (2022) 主張生息於北美大陸東岸、即西北大西洋沿岸淺海域的瓶鼻海豚族群，應視為獨立種群，採用 1865 年美國動物學家 E. D. Cope 之命名 *T. erebennus*，建議以模式標本採集地原住民部落國家 (Nanticoke Lenni-Lenape Tribal Nation) 的傳奇領袖坦慕尼 (Chief Tamanend, ‘The Affable’) 之名為俗名，稱之為坦

氏瓶鼻海豚 (Tamanend’s bottlenose dolphin)。分類委員會亦已於 2023 年認可坦氏瓶鼻海豚為第三個瓶鼻海豚屬物種。

目前分類委員會認可四個真瓶鼻海豚亞種，分別是真瓶鼻海豚指名亞種 (common bottlenose dolphin, *T. t. truncatus*)、黑海瓶鼻海豚 (Black Sea bottlenose dolphin, *T. t. ponticus*)、拉氏瓶鼻海豚 (Lahille’s bottlenose dolphin, *T. t. gephyreus*)、以及東熱帶太平洋瓶鼻海豚 (Eastern Tropical Pacific bottlenose dolphin, *T. t. nuuanu*) (Committee on Taxonomy 2023)。四個亞種中，以黑海瓶鼻海豚分布範圍最為侷限，其分布範圍僅限於黑海海域 (圖 1)。成年黑海瓶鼻海豚的體長及頭骨測量形質 (除了頭骨寬度沒有顯著差異外)，皆明顯較生活於地中海及北大西洋東岸的真瓶鼻海豚短 (Viaud-Martinez *et al.* 2008)。在分子遺傳證據上，黑海瓶鼻海豚的微衛星基因座多型性和粒線體 DNA 控制區序列單套型 (haplotype) 分布，異於歐洲其他海

域的真瓶鼻海豚族群，且多樣性明顯偏低 (Natoli *et al.* 2003, 2005; Viaud-Martinez *et al.* 2008)。利用全粒線體基因體序列重建之親緣譜系研究顯示，黑海瓶鼻海豚的母系血緣並非單系群 (Moura *et al.* 2013)；但後續利用超過 26,000 個 SNP 點位重建的瓶鼻海豚親緣譜系顯示，黑海瓶鼻海豚自成一獨立支系，源自於地中海的族群 (Moura *et al.* 2020)。除此之外，黑海內嚴重的水質污染、頻繁的交通運輸、以及漁業衝突問題，將黑海瓶鼻海豚族群提升為亞種，有助於推展相關保育行動 (Viaud-Martinez *et al.* 2008; Birkun 2012)。

拉氏瓶鼻海豚主要分布範圍為南美洲東岸，從巴西南岸至阿根廷中部沿岸，主要棲地為河口、潟湖等的淺水區域 (圖 1)。相較於真瓶鼻海豚和印太洋瓶鼻海豚，拉氏瓶鼻海豚具有體形較大 (體全長 366 cm)、脊椎數目較少 (總數為 57–59)、頭骨較大 (頭骨基長 533–609 mm) 等明顯形態特色差異性 (Costa *et al.* 2016; Wickert *et al.* 2016; Hohl *et al.* 2020)。

拉氏瓶鼻海豚的頭骨形態數據資料，在主成分分析 (principal component analysis, PCA) 中，亦明顯異於其他新興的真瓶鼻海豚亞種或族群 (Costa *et al.* 2022)。因此也有學者主張拉氏瓶鼻海豚應視為獨立物種 (Wickert *et al.* 2016; Hohl *et al.* 2020)。另一方面，偵測微衛星基因座和粒線體 DNA 控制區序列多樣性的分子遺傳研究顯示，雖然近岸的拉氏瓶鼻海豚和離岸的真瓶鼻海豚之間，有顯著的族群基因分化現象，但在代表近岸和離岸的海豚族群樣本中，均有少數雜交的個體，顯示兩者之間可能仍然有基因交流 (Fruet *et al.* 2017)。在利用粒線體 DNA 控制區單套型序列建立的瓶鼻海豚遺傳譜系樹中，拉氏瓶鼻海豚的母系血緣亦非單系群 (Costa *et al.* 2022)。然而蒐羅南半球各地瓶鼻海豚屬物種的 SNP 點位資料，又支持拉氏瓶鼻海豚和離岸真瓶鼻海豚之間有明顯譜系分化現象，唯其支系長度較短，顯見拉氏瓶鼻海豚的演化歷史尚淺 (Pratt *et al.* 2023)。

除了真瓶鼻海豚指名亞種外，前

述的真瓶鼻海豚新種或亞種（即黑海瓶鼻海豚、拉氏瓶鼻海豚、以及坦氏瓶鼻海豚），皆為具有地理分布範圍相當侷限，又或棲息於近岸海域之族群生態特色。而最近被提出討論的東熱帶太平洋瓶鼻海豚，則是棲息於遠洋離岸環境，分布邊界尚無法確認的種群（Costa *et al.* 2023）。

透過查驗採集自美國加州及墨西哥西岸，擱淺或漁業混獲致死瓶鼻海豚的外型、頭骨形態、以及其他生態特色，Walker (1981) 歸納出北美大陸西岸海域的瓶鼻海豚，依照地理區位，應該有 1) 南加州與墨西哥近岸型、2) 北方溫帶離岸型、以及 3) 東熱帶太平洋離岸型等三種生態型。三個生態型之間的頭骨形態具有差異但不甚明顯，最大的差別在於牙齒的大小，以及近岸型的海豚寄生蟲感染情況明顯較少。後續檢驗微衛星基因座和粒線體 DNA 控制區序列多樣性的分子族群遺傳研究更進一步指出，Walker 分類之南加州與墨西哥近岸型以及北方溫帶離岸型之中，應可再各自細分出近岸及離岸的獨自族群（Segura

*et al.* 2006; Lowther-Thieleking *et al.* 2015）。為了確認北美及中美洲西岸的瓶鼻海豚到底有多少種，Costa *et al.* (2022, 2023) 比較了分別代表加州近岸、加州灣內、東熱帶太平洋、西北太平洋（日本）的真瓶鼻海豚，以及拉氏瓶鼻海豚、坦氏瓶鼻海豚、和印太洋瓶鼻海豚的頭骨形質測量資料。結果發現，東熱帶太平洋族群的頭骨與印太洋瓶鼻海豚的頭骨較為相似，明顯較其他真瓶鼻海豚生態型小，所以東熱帶太平洋瓶鼻海豚應視為不同的亞種。而採集自加州近岸或離岸，以及加州灣內近岸或離岸海域的真瓶鼻海豚樣本，在頭骨形態上則沒有明顯差異。目前尚無分子遺傳證據以資確認東熱帶太平洋瓶鼻海豚在瓶鼻海豚屬內的親緣地位。

## 族群遺傳及基因體學

關於真瓶鼻海豚極易在小尺度空間環境下形成獨立生態型的現象，Louis *et al.* (2021) 分析了採集自英國、愛爾蘭、美國東岸和西岸等各地離岸和近岸海域族群、總共 57 隻真

瓶鼻海豚的全基因體序列資料。結果發現，這些海域形成近岸族群的現象，應各為獨立的平行演化（parallel evolution）事件。研究中篩檢出 7,165 個可能與適應近岸棲地有關的 SNP 點位，並透過最近共祖時間分析（Time to Most Recent Common Ancestor, TMRCA），推論「適應近岸棲地的能力」應屬真瓶鼻海豚之祖徵之一，與前人研究推論相符（Moura *et al.* 2013, 2020）。該研究更進一步偵測到近岸族群的演化進程，可能與行為及生態適應相關的 45 個基因的天擇有關。舉例而言，與認知、學習、記憶有關的基因 *reelin (RELN)* 和 *adenosine deaminase RNA specific B2 (inactive) (ADARB2)*，以及和脂肪儲存及代謝有關的基因 *acylglycerol kinase (AGK)*、*lipin 2 (LPIN2)* 和 *klotho beta (KLB)* 等，這些基因在不同的近岸族群中，同樣出現受到選汰的訊號，顯示其功能有一定程度之重要性。相似的研究結果也見於 Pratt *et al.* (2023)，該研究蒐羅並分析南半球海域包含真瓶鼻海豚、拉氏瓶鼻海豚、印太洋瓶鼻海豚

以及布魯安海豚等總計 353 隻海豚、18,060 個 SNP 點位的基因體資料，發現近岸型的海豚（拉氏瓶鼻海豚、印太洋瓶鼻海豚和布魯安海豚）在與心血管循環（如 *protein kinase AMP-activated non-catalytic subunit gamma 2 'PRKAG2'*、*ryanodine receptor 2 'RYR2'*）、脂質形成及能量產製（如 *3-oxoacid CoA-transferase 1 'OXCT1'*、*glypican 3 'GPC3'*、*PR/SET domain 16 'PRDM16'*）、肌肉骨骼系統（如 *phosphoinositide-3-kinase regulatory subunit 1 'PIK3R1'*、*glypican 3 'GPC3'*）、以及腦神經系統發育等（如 *potassium voltage-gated channel subfamily H member 5 'KCNH5'*、*zinc finger protein 345 'ZNF345'*、*NK2 homeobox 2 'NKX2-2'*、*shroom family member 4 'SHROOM4'*）相關功能性基因，多有受到天擇而呈現平行演化的現象。Cammen *et al.* (2015) 透過比較墨西哥灣內於 1992–2006 年間死於有害藻華（harmful algal blooms）事件與倖存的近岸瓶鼻海豚族群之間的基因體差異，找到數個可能與當地

瓶鼻海豚族群抵禦藻華毒性有關的基因點位，其中包括與調控免疫力有關的主要組織相容性複合體（Major Histocompatibility Complex; MHC）基因片段。

截至 2024 年底，於開放基因組資料庫 NCBI Genome Assembly database (<https://ncbi.nlm.nih.gov/genome>) 及 DNAAZOO (<https://dnazoo.org/assemblies>) 上可取得的完整真瓶鼻海豚基因組序列（genome assembly），總共有 7 組，其中包括兩組染色體層級的高品質參考基因組（reference genome）（GCF\_0111762595.1, GCF\_001922835.1）。透過比對包含真瓶鼻海豚在內的海洋及陸生哺乳動物物種的基因組序列，Foote *et al.* (2015) 揭露多個與適應水生環境有關的基因，在海洋哺乳動物類群中都有受到明顯的天擇選汰現象，為海洋哺乳動物的趨同演化（convergent evolution）提供了有力的基因證據。Kliesmete *et al.* (2023) 透過比對包括真瓶鼻海豚在內的 30 種哺乳動物 TMF1 regulated nuclear protein 1 (TRNP1) 基

因的調控和編碼序列變異，歸納出哺乳動物大腦大小和皮質褶皺程度，與該基因的活化程度有正向相關性。Linguiti *et al.* (2021) 亦利用全基因組序列資料，建立真瓶鼻海豚 T cell receptor beta (TRB) 基因序列及蛋白質結構，確認真瓶鼻海豚的 TRB 基因組結構與其他偶蹄動物相似：由 T cell receptor beta diversity (TRBD)、T cell receptor beta joining (TRBJ) 以及 T cell receptor beta constant (TRBC) 等三個基因片段組成的 D-J-C cluster，以三個重複以內的頻率排列於 TRB 基因的 3' 端。但真瓶鼻海豚的 TRB 基因之獨特性在於其長度僅 276Kb，相較於駱駝（*Camelus dromedarius*）、野豬（*Sus Scrofa*）、山羊（*Capra hircus*）等偶蹄動物（302Kb–558Kb）以及人類（*Homo sapiens*）（620Kb）為短，推測是因為真瓶鼻海豚基因體內片段重複（duplication）較少且發生過片段丟失（deletion），造成其 T cell receptor beta variables (TRBV) 基因組數目較少。

## 氣候變遷的影響

由於真瓶鼻海豚主要棲息於全球大陸棚及大洋中溫帶至熱帶水域，多數研究將其歸類為暖水性物種（warmer water-limited species），認為氣候持續暖化的情境有利真瓶鼻海豚生息，並預期其整體分布範圍將隨著氣候變遷逐漸向高緯度極區水域擴展，或通過拓殖（colonization）增加棲地面積（MacLeod 2009; van Weelden *et al.* 2021）。Principe *et al.* (2023) 調查坦氏瓶鼻海豚在美國南卡羅來納州查爾斯頓河口系統（Charleston Estuarine System, South Carolina）出現地點與水溫及鹽度間的關聯性，發現高鹽度和高水溫是顯著的海豚出現預測因子：在高鹽度的河川水域全年皆可發現坦氏瓶鼻海豚，而在低鹽度地區的水域，若是在水溫較高的時期，也偶爾會發現海豚。這項發現意味著在全球氣候變遷的趨勢下，瓶鼻海豚除了向高緯度地區移動外，也有向河流環境擴張的可能性。另一方面，Sousa *et al.* (2021) 認為馬卡羅尼西亞海域（Macaronesia）的真

瓶鼻海豚群體的脆弱性，與該海域的平均海水溫度、酸度及溶氧量最為相關；而這些因素在氣候變遷下正在急劇變化，可能會對孤立族群的存續，帶來挑戰。

全球氣候變遷引發異常降雨及極地冰山融化，大量淡水注入海洋，導致海水鹽度降低，瓶鼻海豚個體及族群健康，可能因而受到影響。以美國路易斯安那州近岸族群的瓶鼻海豚為例，牠們經常使用鹽度高於 11 ppt 的區域，偶爾會在鹽度約為 8 ppt 的區域短暫停留，但會避免進入鹽度低於 5 ppt 的水域（Hornsby *et al.* 2017）。長時間暴露於低鹽度的水環境，可能導致海豚個體皮膚潰瘍、免疫力降低，進而影響生存率（McClain *et al.* 2020）。Fazioli 與 Mintzer (2020) 發現 2017 年颶風哈維（Hurricane Harvey）帶來的大量降雨，使美國德州加爾維斯頓灣（Galveston Bay）的真瓶鼻海豚在四個月內皮膚病變發生率顯著上升；且這些海豚為了避開低鹽度水域，普遍轉移至鹽度較高的深水區域，而在鹽度較低的水域中，96% 的個體身

上出現至少一處皮膚病變，其中 65% 的個體其病變程度相對嚴重。

此外，在氣候變遷情境下，食餌數量及分布勢必隨之改變，同樣可能影響海豚分布範圍，甚至成為生存挑戰 (Perry *et al.* 2005)。直布羅陀海峽 (Strait of Gibraltar) 的長期鯨豚監測紀錄發現，身形消瘦 (emaciation) 的情況普遍好發於真瓶鼻海豚，且在特定年份特別嚴重，推測可能與年間食餌豐欠變化有關 (Hanninger *et al.* 2023)。Zepeda-Borja *et al.* (2022) 發現墨西哥加州灣東南岸的真瓶鼻海豚相對數量及群體大小，與聖嬰現象 (El Niño-Southern Oscillation) 的發生具有相關性：反聖嬰年 (La Niña) 時觀測到的海豚數量多且群體大，可能與該時期沿岸食餌量大增有關。

## 討論與未來展望

由上述研究回顧可見，真瓶鼻海豚的族群結構複雜，但可以大致歸納成兩點結論：1) 真瓶鼻海豚在天擇選汰生理適應機制下，分化形成沿岸型與大洋型兩大類群；2) 沿岸型族群

因各地沿岸環境差異、地理距離導致的族群隔離、小族群中大量基因漂變 (genetic drift)、以及族群內社會親和性 (social affinity) 等內在與外在因素，容易形成地區性特化族群、生態型或亞種。然而目前的研究成果並未包含所有地理族群，且過去使用不同分子標記 (molecular marker) 取得之研究資料，難以整合進行統合分析 (meta-analysis)，所以尚無法全面了解真瓶鼻海豚的親緣地理全貌。先前分析微衛星基因座多型性和粒線體 DNA 控制區序列單套型多樣性的研究顯示，臺灣海域的真瓶鼻海豚可能也有近岸和離岸族群分化現象 (Chen *et al.* 2017a)，但是受限於傳統分子標記的解釋力有限，以及近岸海域樣本數目偏少，此一現象是否為真仍有待確認。隨著次世代基因定序 (next-generation sequencing) 技術普及，應用於野外生物族群監測變得更廣泛，配合資料開放政策及公民科學潮流興起，預期未來仍有機會發現新的真瓶鼻海豚族群或亞種，並藉由更精緻的基因體資料，能夠更精確估算各族群

間的基因流 (gene flow)，深入解析各族群的基因特徵、生理適應、或行為特化機制。

此外，真瓶鼻海豚為暖水性物種，過去多認為熱帶區域較不受冰河循環影響 (參見 Cane 1998)，因此已發表的分子生態研究，多直接採用現今氣候條件作為分析參數。然而隨科技進步，今日已有更精確的氣候及地質資料描繪熱帶海域的古氣候與海岸環境動態 (Cane 1998; Voris 2000; Chiang 2009)。未來的親緣地理研究應納入更精準的古氣候與古海岸地形資料進行分析為宜。

同理，僅依賴現生真瓶鼻海豚棲地現況，包括水溫、鹽度、地形地貌等非生物環境因子，來推估物種在氣候變遷情境下的適應性並擬定保育策略，具有誤判風險。文獻回顧顯示，氣候變遷可能促使真瓶鼻海豚利用低鹽度棲地，或是造成其食餌分布變遷，進而影響個體健康。然而，氣候變遷對野生生物族群整體分布範圍變動的影響，如造成新棲地的生態平衡擾動 (Alexander *et al.* 2015)、引入

外來病原的可能性 (VanWormer *et al.* 2019)、或局部區域族群滅絕的風險 (Beever *et al.* 2011) 等，迄今尚無針對真瓶鼻海豚，乃至於其他大洋性海豚物種的完整分析。

現今針對鯨豚族群的長期監測，包含本次文獻回顧中多數研究的資料來源，仍以蒐集擱淺或活組織採樣標本、目視調查、被動聲學偵測等傳統方法為主。然而近年在無人機 (unmanned aerial vehicle, UAV) 和環境 DNA (environmental DNA, eDNA) 應用於海洋生物族群監測方面，已有顯著的技術突破 (Suarez-Bregua *et al.* 2022; Álvarez-González *et al.* 2023)。預期在不久的將來，這些新興技術將為包含鯨豚在內的海洋生物及生態監測，帶來更細緻的科學資料，並提供新的觀點和思維。

## 謝誌

本研究由國家科學及技術委員會 (NSTC112-2621-B-003-003) 與國立臺灣師範大學 (109 年度及 112 年度新聘特殊優秀人才獎助計畫、110 年

度新進教師專題研究計畫補助) 資助執行。初步內容於 2023 年 1 月 17 日於臺灣東海大學舉辦之 2023 動物行為暨生態研討會海洋保育工作坊口頭發表。作者感謝審稿人及編輯提供之寶貴意見。

## 引用文獻

- Alexander, J. M., J. M. Diez and J. M. Levine. 2015. Novel competitors shape species' responses to climate change. *Nature* 525: 515–518.
- Álvarez-González, M., P. Suarez-Bregua, G. J. Pierce and C. Saavedra. 2023. Unmanned aerial vehicles (UAVs) in marine mammal research: A review of current applications and challenges. *Drones* 7: 667.
- Ashe, E., R. Williams, C. Clark, C. Erbe, L. R. Gerber, A. J. Hall, P. S. Hammond, R. C. Lacy, R. Reeves and N. L. Vollmer. 2021. Minding the data-gap trap: exploring dynamics of abundant dolphin populations under uncertainty. *Frontiers in Marine Science* 8: 606932.
- Beever, E. A., C. Ray, J. L. Wilkening, P. F. Brussard and P. W. Mote. 2011. Contemporary climate change alters the pace and drivers of extinction. *Global Change Biology* 17: 2054-2070.
- Birkun, A. 2012. *Tursiops truncatus* ssp. *ponticus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2012: e.T133714A17771698. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2012.RLTS.T133714A17771698.en>. [Accessed on 05 August 2023].
- Caldwell, D. K. and M. C. Caldwell. 1972. The world of the bottlenosed dolphin. Lippincott.
- Cammen, K. M., T. F. Schultz, P. E. Rosel, R. S. Wells and A. J. Read. 2015. Genomewide investigation of adaptation to harmful algal blooms in common bottlenose

- dolphins (*Tursiops truncatus*). *Molecular Ecology* 24: 4697–4710.
- Cane, M. A. 1998. A role for the tropical Pacific. *Science* 282: 59–61.
- Charlton-Robb, K., L. A. Gershwin, R. Thompson, J. Austin, K. Owen and S. McKechnie. 2011. A new dolphin species, the Burrunan dolphin *Tursiops australis* sp. nov., endemic to southern Australian coastal waters. *PLoS One* 6: e24047.
- Chen, I., S. Nishida, W. C. Yang, T. Isobe, Y. Tajima and A. R. Hoelzel. 2017a. Genetic diversity of bottlenose dolphin (*Tursiops* sp.) populations in the western North Pacific and the conservation implications. *Marine Biology* 164: 202.
- Chen, M., M. Zhuang, L. Chou, J. Liu, C. Shih and C. Chen. 2017b. Tissue concentrations of four Taiwanese toothed cetaceans indicating the silver and cadmium pollution in the western Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 124: 993–1000.
- Chiang, J. 2009. The tropics in paleoclimate. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 37: 263–297.
- Corkeron, P. 2018. Captivity. pp. 161–164. *In*: B. Würsig, J. G. M. Thewissen and K. M. Kovacs (eds.). *Encyclopedia of Marine Mammals*. Third Edition. Academic Press, London, UK.
- Committee on Taxonomy. 2023. List of marine mammal species and subspecies. Society for Marine Mammalogy, [www.marinemammalscience.org](http://www.marinemammalscience.org). [Accessed on 31 October 2023].
- Costa, A. P. B., P. E. Rosel, F. G. Daura-Jorge and P. C. Simões-Lopes. 2016. Offshore and coastal common bottlenose dolphins of the western South Atlantic face-to-face: What the skull and the

- spine can tell us. *Marine Mammal Science* 32: 1433–1457.
- Costa, A. P. B., W. Mcfee, L. A. Wilcox, F. I. Archer and P. E. Rosel. 2022. The common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) ecotypes of the western North Atlantic revisited: an integrative taxonomic investigation supports the presence of distinct species. *Zoological Journal of the Linnean Society* 196: 1608–1636.
- Costa, A. P. B., F. I. Archer, P. E. Rosel and W. F. Perrin. 2023. *Tursiops truncatus nuuanu*, a new subspecies of the common bottlenose dolphin from the eastern tropical Pacific. *Journal of Mammalian Evolution* 30: 213–229.
- Fazioli, K. and V. Mintzer. 2020. Short-term effects of Hurricane Harvey on bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Upper Galveston Bay, TX. *Estuaries and Coasts* 43: 1013–1031.
- Foote, A. D., Y. Liu, G. W. C. Thomas, T. Vinař, J. Alföldi, J. Deng, S. Dugan, C. E. van Elk, M. E. Hunter, V. Joshi, Z. Khan, C. Kovar, S. L. Lee, K. Lindblad-Toh, A. Mancina, R. Nielsen, X. Qin, J. Qu, B. J. Raney, N. Vijay, J. B. W. Wolf, M. W. Hahn, D. M. Muzny, K. C. Worley, M. T. P. Gilbert and R. A. Gibbs. 2015. Convergent evolution of the genomes of marine mammals. *Nature Genetics* 47: 272–275.
- Fruet, P. F., E. R. Secchi, J. C. Di Tullio, P. C. Simões-Lopes, F. Daura-Jorge, A. P. B. Costa, E. Vermeulen, P. A. C. Flores, R. C. Genoves, P. Laporta, L. B. Beheregaray and L. M. Möller. 2017. Genetic divergence between two phenotypically distinct bottlenose dolphin ecotypes suggests separate evolutionary trajectories. *Ecology and Evolution*

- 7: 9131–9143.
- GBIF.org (11 January 2023) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.gtg9tp>
- GBIF.org (14 November 2024) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.rzkcvv>
- Hanke, W. and N. Erdsack. 2015. Ecology and evolution of dolphin sensory systems. pp. 49–74. *In*: D. L. Herzing and C. M. Johnson (eds.). *Dolphin communication and cognition: Past, present, and future*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Hanninger, E. M., J. Selling, K. Heyer and P. Burkhardt-Holm. 2023. Skin conditions, epizoa, ectoparasites and emaciation in cetaceans in the Strait of Gibraltar: An update for the period 2016-2020. *Journal of Cetacean Resource Management* 24: 121–142.
- Harwood, J. 2001. Marine mammals and their environment in the twenty-first century. *Journal of Mammalogy* 82: 630–640.
- Hoelzel, A. R., C. W. Potter and P. B. Best. 1998. Genetic differentiation between parapatric ‘nearshore’ and ‘offshore’ populations of the bottlenose dolphin. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 265: 1177–1183.
- Hohl, L. S., F. L. Sicuro, J. C. Wickert, I. B. Moreno, O. Rocha-Barbosa and A. S. Barreto. 2020. Skull morphology of bottlenose dolphins from different ocean populations with emphasis on South America. *Journal of Morphology* 281: 564–577.
- Hornsby, F. E., T. L. McDonald, B. C. Balmer, T. R. Speakman, K. D. Mullin, P. E. Rosel, R. S. Wells, A. C. Telander, P. W. Marcy, K. C. Klaphake and L. H. Schwacke. 2017. Using salinity to identify common bottlenose dolphin habitat

- in Barataria Bay, Louisiana, USA. *Endangered Species Research* 33: 181–192.
- Jedensjö, M., C. M. Kemper, M. Milella, E. P. Willems and M. Krützen. 2020. Taxonomy and distribution of bottlenose dolphins (genus *Tursiops*) in Australian waters: an osteological clarification. *Canadian Journal of Zoology* 98: 461–479.
- Kaschner, K., N. J. Quick, R. Jewell, R. Williams and C. M. Harris. 2012. Global coverage of cetacean line-transect surveys: status quo, data gaps and future challenges. *PLoS One* 7: e44075.
- Kliesmete, Z., L. E. Wange, B. Vieth, M. Esgleas, J. Radmer, M. Hülsmann, J. Geuder, D. Richter, M. Ohnuki, M. Götz, I. Hellmann and W. Enard. 2023. Regulatory and coding sequences of TRNP1 co-evolve with brain size and cortical folding in mammals. *eLife* 12: e83593.
- Leatherwood, S. and R. R. Reeves. 1990. *The bottlenose dolphin*. Academic Press, San Diego, CA.
- Linguiti, G., S. Kossida, C. L. Pierri, J. Jabado-Michaloud, G. Folch, S. Massari, M. P. Lefranc, S. Ciccicarese and R. Antonacci. 2021. The T cell receptor (TRB) locus in *Tursiops truncatus*: From sequence to structure of the alpha/beta heterodimer in the human/dolphin comparison. *Genes* 12: 571.
- Louis, M., M. Galimberti, F. Archer, S. Berrow, A. Brownlow, R. Fallon, M. Nykänen, J. O'Brien, K. M. Roberston, P. E. Rosel, B. Simon-Bouhet, D. Wegmann, M. C. Fontaine, A. D. Foote and O. E. Gaggiotti. 2021. Selection on ancestral genetic variation fuels repeated ecotype formation in bottlenose dolphins. *Science Advances* 7: eabg1245.
- Lowther-Thieleking, J. L., F. I. Archer, A. R. Lang and D. W. Weller. 2015.

- Genetic differentiation among coastal and offshore common bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in the eastern North Pacific Ocean. *Marine Mammal Science* 31: 1–20.
- MacLeod, C. D. 2009. Global climate change, range changes and potential implications for the conservation of marine cetaceans: A review and synthesis. *Endangered Species Research* 12: 125–136.
- Marino, L. 2004. Dolphin cognition. *Current Biology* 14: R910–R911.
- McClain, A. M., R. Daniels, F. M. Gomez, S. H. Ridgway, R. Takeshita, E. D. Jensen and C. R. Smith. 2020. Physiological effects of low salinity exposure on bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Journal of Zoological and Botanical Gardens* 1: 61–75.
- Mead J. G. and C. W. Potter. 1995. Recognizing two populations of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) off the Atlantic coast of North America: morphologic and ecologic considerations. *IBI Reports* 5: 31–44.
- Möller L. M., K. Bilgmann, K. Charlton-Robb and L. Beheregaray. 2008. Multi-gene evidence for a new bottlenose dolphin species in southern Australia. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 49: 674–681.
- Moura, A. E., S. C. A. Nielsen, J. T. Vilstrup, J. V. Moreno-Mayar, M. T. P. Gilbert, H. W. I. Gray, A. Natoli, L. Möller and A. R. Hoelzel. 2013. Recent diversification of a marine genus (*Tursiops* spp.) tracks habitat preference and environmental change. *Systematic Biology* 62: 865–877.
- Moura, A. E., K. Shreves, M. Pilot, K. R. Andrews, D. M. Moore, T.

- Kishida, L. Möller, A. Natoli, S. Gaspari, M. McGowen, I. Chen, H. Gray, M. Gore, R. M. Culloch, M. S. Kiani, M. S. Willson, A. Bulushi, T. Collins, R. Baldwin, A. Willson, G. Minton, L. Ponnampalam and A. R. Hoelzel. 2020. Phylogenomics of the genus *Tursiops* and closely related Delphininae reveals extensive reticulation among lineages and provides inference about eco-evolutionary drivers. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 146: 106756.
- Natoli, A., V. Peddemors and A. R. Hoelzel. 2003. Phylogeography and phylogeny of bottlenose dolphins (*Tursiops* sp.) based on microsatellites and mtDNA analyses. *Journal of Evolutionary Biology* 17: 363–375.
- Natoli, A., A. Birkun, A. Aguilar, A. Lopez and A. R. Hoelzel. 2005. Habitat structure and the dispersal of male and female bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Proceedings of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences* 272: 1217–1226.
- Perry, A. L., P. J. Low, J. R. Ellis and J. D. Reynolds. 2005. Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science* 308: 1912–1915.
- Pratt, E. A., L. B. Beheregaray, P. Fruet, G. Tezanos-Pinto, K. Bilgmann, N. Zanardo, F. Diaz-Aguirre, E. R. Secchi, T. R. O. Freitas and L. M. Möller. 2023. Genomic divergence and the evolution of ecotypes in bottlenose dolphins (genus *Tursiops*). *Genome Biology and Evolution* 15: evad199.
- Principe, N., W. McFee, N. Levine, B. Balmer and J. Ballenger. 2023. Using unoccupied aerial systems (UASs) to determine the distribution patterns of Tamanend's bottlenose dolphins (*Tursiops erebennus*) across

- varying salinities in Charleston, South Carolina. *Drones* 7: 689.
- Reynolds III, J. E., R. S. Wells and S. D. Eide. 2000. The bottlenose dolphin: Biology and conservation. University Press of Florida, Gainesville, FL.
- Rice, D. W. 1998. Marine mammals of the world: systematics and distribution. Society for Marine Mammalogy Special Publication 4. Society for Marine Mammalogy, Lawrence, KS.
- Ritter, F. 2022. Marine mammal conservation in the 21st century: A plea for a paradigm shift towards mindful conservation. *Advances in Marine Biology* 93: 3–21.
- Segura, I., A. Rocha-Olivares, S. Flores-Ramírez and L. Rojas-Bracho. 2006. Conservation implications of the genetic and ecological distinction of *Tursiops truncatus* ecotypes in the Gulf of California. *Biological Conservation* 133: 336–346.
- Shane, S. H., R. S. Wells and B. Würsig. 1986. Ecology, behavior and social organization of the bottlenose dolphin: a review. *Marine Mammal Science* 2: 34–63.
- Sousa, A., F. Alves, P. Arranz, A. Dinis, M. Fernandez, L. González García, M. Morales, M. Lettrich, R. Encarnação Coelho, H. Costa, T. Capela-Lourenço, N. M. J. Azevedo and C. Frazão Santos. 2021. Climate change vulnerability of cetaceans in Macaronesia: Insights from a trait-based assessment. *Science of The Total Environment* 795: 148652.
- Suarez-Bregua, P., M. Alvarez-Gonzalez, K. M. Parsons, J. Rotllant, G. J. Pierce and C. Saavedra. 2022. Environmental DNA (eDNA) for monitoring marine mammals: Challenges and opportunities. *Frontiers in Marine Science* 9: 987774.

- Tseng, Y., Y. Huang, G. Kyle and M. Yang. 2011. Modeling the impacts of cetacean-focused tourism in Taiwan: Observations from cetacean watching boats: 2002-2005. *Environmental Management* 47: 56–66.
- Valls, A., M. Coll and V. Christensen. 2015. Keystone species: toward an operational concept for marine biodiversity conservation. *Ecological Monographs* 85: 29–47.
- VanWormer, E., J. A. K. Mazet, A. Hall, V. A. Gill, P. L. Boveng, J. M. London, T. Gelatt, B. S. Fadely, M. E. Lander, J. Sterling, V. N. Burkanov, R. R. Ream, P. M. Brock, L. D. Rea, B. R. Smith, A. Jeffers, M. Henstock, M. J. Rehberg, K. A. Burek-Huntington, S. L. Cosby, J. A. Hammond and T. Goldstein. 2019. Viral emergence in marine mammals in the North Pacific may be linked to Arctic sea ice reduction. *Scientific Reports* 9: 1–11.
- Van Weelden, C., J. R. Towers and T. Bosker. 2021. Impacts of climate change on cetacean distribution, habitat and migration. *Climate Change Ecology* 1: 100009.
- Viaud-Martinez, K. A., R. L. Brownell, A. Komnenou and A. J. Bohonak. 2008. Genetic isolation and morphological divergence of Black Sea bottlenose dolphins. *Biological Conservation* 14: 1600–1611.
- Voris, H. K. 2000. Maps of Pleistocene sea levels in Southeast Asia: Shorelines, river systems and time durations. *Journal of Biogeography* 27: 1153–1167.
- Walker, W. A. 1981. Geographical variation in morphology and biology of bottlenose dolphins (*Tursiops*) in the eastern North Pacific. Administrative Report, No. LJ-81-03C, Southwest Fisheries Center, NOAA, La Jolla, CA.
- Wells, R. S. and M. D. Scott. 2018.

- Bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*, common bottlenose dolphin. pp. 118–125. *In*: B. Würsig, J. G. M. Thewissen and K. M. Kovacs (eds.). *Encyclopedia of Marine Mammals*. Third Edition. Academic Press, London, UK.
- Wells, R. S., A. Natoli and G. Braulik. 2019. *Tursiops truncatus* (errata version published in 2019). The IUCN Red List of Threatened Species 2019:e.T22563A156932432. [Accessed on 05 August 2023].
- Wickert, J. C., S. M. von Eye, L. R. Oliveira and I. B. Moreno. 2016. Revalidation of *Tursiops truncatus* Lahille, 1908 (Cetartiodactyla: Delphinidae) from the southwestern Atlantic Ocean. *Journal of Mammalogy* 97: 1728–1737.
- Williams, R. S., A. Brownlow, A. Baillie, J. L. Barber, J. Barnett, N. J. Davison, R. Deaville, M. ten Doeschate, R. Penrose, M. Perkins, R. Williams, P. D. Jepson, O. Lyashevskaya and S. Murphy. 2023. Evaluation of a marine mammal status and trends contaminants indicator for European waters. *Science of The Total Environment* 866: 161301.
- Yang, S. C., H. C. Liao, C. L. Pan and J. Y. Wang. 1999. A survey of cetaceans in the waters of central-eastern Taiwan. *Asian Marine Biology* 16: 23–34.
- Zacharias, M. A. and J. C. Roff. 2001. Use of focal species in marine conservation and management: a review and critique. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 11: 59–76.
- Zantis, L. J., E. L. Carroll, S. E. Nelms and T. Bosker. 2021. Marine mammals and microplastics: A systematic review and call for standardisation. *Environmental Pollution* 269: 116142.

Zepeda-Borja, K. M., E. Morteo, O. R. Guzón-Zatarain, H. Pérez-España, C. A. Delfín-Alfonso and J. Bello-Pineda. 2022. Interannual shifts in sea surface temperature and chlorophyll drive the relative abundance and group size of common bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* on the Southeast Gulf of California. *Latin American Journal of Aquatic Mammals* 17: 35–42.

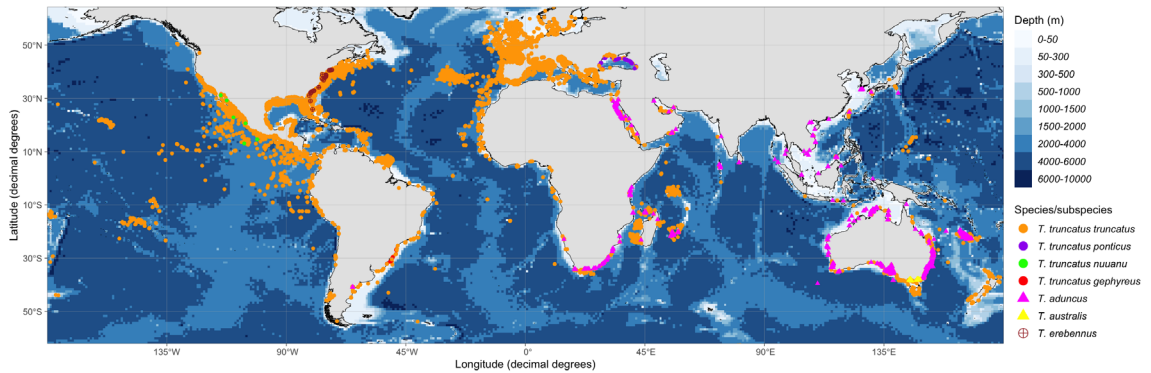


圖 1 全球生物多樣性資訊機構（Global Biodiversity Information Facility, GBIF）登載之瓶鼻海豚屬（genus *Tursiops*）物種出現位置（GBIF.org 2023, 2024）。由於瓶鼻海豚的系統分類在 1998 年前相當混亂，因此除了東熱帶太平洋瓶鼻海豚（*T. t. nuuanu*）以外，本圖僅採用具有觀察年份紀錄，且為 2000 年以後之觀察紀錄之點位資料。東熱帶太平洋瓶鼻海豚出現紀錄皆為推測位置，來源為美國自然史博物館（Smithsonian National Museum of Natural History）館藏歷史文件（1971 年）及墨西哥國家生物多樣知識與利用委員會（La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad; CONABIO）未知年份紀錄。布魯安海豚（*T. australis*）雖非海洋哺乳動物學會正式認可之瓶鼻海豚物種（Committee on Taxonomy 2023），本研究仍獨立圖示標示，以利讀者判讀。

Fig. 1 Occurrence records of species in the genus *Tursiops* as registered by the Global Biodiversity Information Facility (GBIF.org 2023, 2024). Due to unresolved taxonomy in this genus prior to 1998, only post-2000 occurrence records with recorded observation dates are included, with the exception of records for the Eastern Tropical Pacific bottlenose dolphin (*T. t. nuuanu*). Occurrence records for the Eastern Tropical Pacific bottlenose dolphin are based on inferred locations, sourced from historical documents at the Smithsonian National Museum of Natural History (1971) and undated records from Mexico’s National Commission for Knowledge and Use of Biodiversity (CONABIO). Although the Burrunan dolphin (*T. australis*) is not recognized by the Committee on Taxonomy of the Society for Marine Mammalogy, its records are highlighted with different color codes for reader comprehension and recognition.

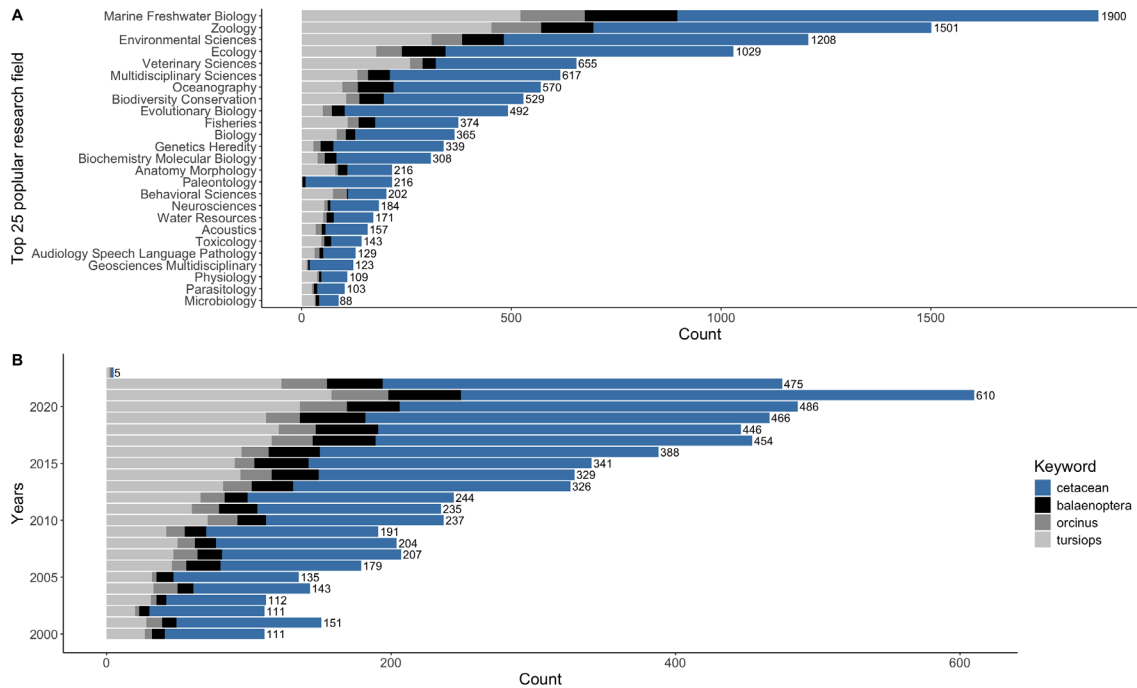


圖 2 科學論文線上資料庫「Web of Science」的引用文獻索引「Science Citation Index Expanded (SCI-Expanded)」中，收錄以「鯨豚」為主題的論文統計資料（統計截至 2023 年 1 月 10 日）。使用「TS=cetacean\*」搜尋資料庫中歸類以鯨豚為題材的文獻，總共 7,447 筆；為呈現不同類群間研究文獻數量上的差異，亦使用「TS=cetacean\* AND balaenoptera」搜尋與鬚鯨有關的文獻，總共 657 筆，比例約 8.8%；使用「TS=cetacean\* AND orcinus」搜尋與虎鯨有關的文獻，總共 440 筆，比例約 5.9%。由於本研究焦點物種瓶鼻海豚（*Tursiops truncatus*）已知在部分文獻中會以 *Tursiops sp.* 表示，且本研究欲排除討論瓶鼻海豚的近源種印太洋瓶鼻海豚（*Tursiops aduncus*），所以統計以瓶鼻海豚為題材的文獻方式採用搜尋「TS=cetacean\* AND tursiops」的文獻總筆數，再扣除「TS=cetacean\* AND tursiops AND aduncus NOT truncatus」的方式計算，總共取得 1795 筆，比例約 24.1%。上圖 A 為統計文獻數目最多的 25 個研究領域中各類群的文獻數目，下圖 B 為統計 2000–2023 年各類群的文獻數目。圖中藍色長條及黑色數字表示以鯨豚（cetacean\*）為主題的文獻數目，淺灰色長條代表瓶鼻海豚（*Tursiops*）、灰色代表虎鯨（*Orcinus*）、鐵灰色代表鬚鯨屬（*Balaenoptera*）的文獻數目統計。

Fig. 2 Statistics of cetacean-related publications indexed in the Science Citation Index Expanded (SCI-Expanded), Web of Science database (as of January 10, 2023). Using the search term “TS = cetacean\*,” a total of 7,447 publications related to cetaceans were retrieved. To show the disparity in publication volume across different cetacean groups, additional searches were conducted as follow. The “TS = cetacean\* AND balaenoptera” yielded 657 publications related to mysticetes, representing approximately 8.8%, and “TS = cetacean\* AND orcinus” yielded 440 publications related to killer whales, representing about 5.9%. The focal species of this study was the common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*), sometimes labelled as *Tursiops sp.* in certain publications. In order to exclude the closely related Indo-Pacific bottlenose dolphin (*Tursiops aduncus*) in this

study, publications related to the common bottlenose dolphin were calculated by subtracting results for “TS = cetacean\* AND tursiops AND aduncus NOT truncatus” from “TS = cetacean\* AND tursiops”, resulting in a total of 1,795 publications (~24.1%). The top panel (A) shows the number of publications for each group across the 25 most represented research fields, while the bottom panel (B) illustrates the annual number of publications for each group from 2000 to 2023. In the figure, blue bars and black numbers represent the number of publications focused on cetaceans (cetacean\*), while light gray bars on bottlenose dolphins (*Tursiops*), gray bars on killer whales (*Orcinus*), and dark gray bars on *Balaenoptera* species.