



文蛤性別鑑定技術開發

林峰右¹、吳育甄¹、林鼎展¹、劉勁甫¹、宋嘉軒²、賴弘智³、許晉榮¹、黃嘉新⁴

¹ 水產試驗所海水養殖研究中心、² 技術服務組、³ 國立嘉義大學、⁴ 中華醫藥學院

前言

臺灣文蛤 (*Meretrix taiwanica*) 屬於軟體動物門、雙殼綱、簾蛤科，是臺灣沿海地區極具經濟價值的養殖雙殼貝類。其肉質細緻鮮美、價格親民，富含蛋白質、肝醣與多種礦物質，不僅為國內重要的海鮮料理原料，也因品質穩定而具出口潛力。根據《漁業年報》統計，2022 年全臺文蛤年產量約為 5.4 萬公噸，養殖面積達 9,096 公頃，主要分布於雲林縣、臺南市、嘉義縣與彰化縣等地，尤以雲林縣產量居冠。在所有養殖水產物種中，文蛤產量僅次於吳郭魚與虱目魚，養殖面積更為全國之最，展現其在國內水產產業中的關鍵地位。

我國自 1980 年代起即著手發展文蛤人工繁殖與育苗技術，並於 1983 年成功突破產瓶頸，促使西部沿海文蛤養殖快速發展，奠定今日產業規模 (Alagarswami et al., 1983; Whetstone et al., 2005)，然而與育苗和養殖技術相較，文蛤在選種與育種方面的基礎研究及應用推廣明顯不足。至今多數業者所使用之種原未經純系建立與遺傳篩選，選育過程多仰賴經驗，難以長期穩定提升品系品質與生產效率。在實務上，目前育苗場或養殖戶多以購自盤商或自家成員作為繁殖親貝，經短期育肥後即進行繁殖操作；為求精卵密度達標，多以批次大量操作方式進行產精產卵誘導，結束作業後即取出種貝歸還盤商或養殖戶，導致部分尚

未完成排精或排卵的個體被提早移除，影響整體繁殖效能與資源利用率 (何，2018)。此外，由於繁殖操作無法區分個體性別與追蹤血統來源，選育效率受限，後代品系亦缺乏穩定遺傳背景。

在文蛤等雙殼類貝類的育種體系中，性別鑑定為關鍵起點，絕大多數雙殼類為雌雄異體 (gonochoric)，惟其外觀形態差異不明顯，尤其在非產卵期或性腺尚未完全成熟時，難以憑藉肉眼或傳統方法判斷性別 (Duisan et al., 2021)。目前業界常以生殖腺色澤作為初步判別依據，成熟雌性呈淡黃色、雄性呈乳白色，但該方法具有高度侵入性須犧牲樣本，開殼觀察操作耗時，人為判斷誤差又大，不利於現場快速應用，此一技術限制長期為育種工作中的瓶頸。隨著全球氣候異常、海水鹽度快速變動與疾病威脅加劇，臺灣文蛤產業亦面臨轉型壓力，現今政策推動產業升級與精準育種，須仰賴能夠進行有效遺傳篩選的種原資源，而性別鑑定技術則為建構家系育種、控制雌雄比例與提升親本利用率的基礎。特別是在人工繁殖初期，若能掌握雌雄親本分布與性腺成熟情形，將可有效提升繁殖效率與子代品質，強化選種育種效率。

雙殼貝性別決定機制多元且複雜，包含環境、基因或交互的作用，在水域環境中的溫度、外源性類固醇、食物是否充足及汙染物都會造成性別的改變。雙殼貝無有性染色體，但已發現 Sry、Sox9、Sox30、Dmrt1、Dmrt2 等基因

與性別決定有關，Breton 等 (2018) 研究發現，部分簾蛤科與蚌類具有「雙親不對稱粒線體遺傳」(doubly uniparental inheritance, DUI) 現象，顯示粒線體基因可能直接參與性別形成，該類機制對理解貝類演化與性別分化提供嶄新視角，這些參與發育的基因可能是動物界中首個由粒線體基因直接參與的性別決定系統，此一現象雖尚未確認發生於臺灣文蛤，但顯示其性別決定機制可能不同於一般動物，對後續性狀遺傳與基因選拔技術具高度研究潛力。目前國際間針對文蛤性腺發育與性別決定的分子與組織層次研究雖逐步增多，但針對活體個體進行非侵入式、現場可操作的性別鑑定技術，至今仍缺乏標準化成果。相關技術研究多聚焦於繁殖操作流程或性腺組織觀察，尚無整合影像判讀、行為觀察與產業應用的多元性別鑑定技術用以鑑別雙殼貝性別。技術落差的存在，導致育種流程無法朝精準控制方向邁進，也不利於選育品系的遺傳穩定與規模化推廣。有鑑於此，本研究嘗試建構一套具有現場應用性與科學驗證基礎之性別鑑定操作流程，此項技術預期能有效提升親貝篩選效率與種原管理能力，進一步推動臺灣文蛤選育體系朝向科學化、制度化發展，為整體產業的技術升級與永續經營奠定關鍵之基礎。

■ 材料與方法

為評估技術新穎性及未來整合應用之可能性，採用超音波、X 光與顯微觀察三種方法進行多面向實驗，此策略有助於掌握各技術在活體文蛤性別鑑定上的潛在優勢與限制，作為後續開發快速且精確鑑定流程之基礎。(1) 超音

波組織都卜勒成像 (tissue Doppler imaging, TDI)；(2) 數位透視 X 光攝影，兩者均以非侵入式方式瞭解器官位置與性別特徵差異；(3) 親本性別二次篩選鑑定，以文蛤個體直接排精排卵進行顯微鏡判定。透過不同技術結果比對，期能優化文蛤性別鑑定流程，提升準確性與操作效率，為育種與親貝選拔提供實用工具。本研究使用之臺灣文蛤，平均體重 29.7 ± 2.9 g，組織平均濕重 5.1 ± 1.23 g，平均殼長、高、寬分別為 4.7 ± 0.2 cm、 3.9 ± 0.19 cm 及 2.5 ± 0.15 cm。

一、超音波組織都卜勒成像

本實驗為本所與中華醫藥學院醫學檢驗技術系黃嘉新教授合作，利用都卜勒高解析度影像超音波，辨識生殖腺肥滿度及雌雄特徵。超音波主機與線性探頭為 ESAOTE 廠牌；文蛤樣本為本中心進行選育技術計畫自行培育的臺灣文蛤，隨機採集 9 顆育肥後文蛤活體樣本及經過育肥並冷凍死亡之文蛤樣本 13 顆，進行性腺構造的影像比對分析。

實驗前需先清洗文蛤表面，去除附著的污垢和海藻，以確保超音波信號的穿透性和成像，同時需要確保文蛤樣本與超音波線性探頭接觸的角度，置於有海水的水盆中以海水為超音波的傳導介質，並使用支撐架固定文蛤樣本以增加成像過程中的穩定性。觀察結果顯示，使用超音波可清晰觀察到斧足、閉殼肌、心臟、鰓部與入水管等主要構造，並可量化內臟團與性腺區域的厚度。

二、數位透視攝影 X 光機

本實驗由嘉義大學獸醫系協助以數位透

視攝影 X 光機 (Digital Fluoroscopy X-ray System)，進行辨識生殖腺、肥滿度及雌雄特徵的可行性評估，儀器原理主要以 X 光產生器發射 X 射線。文蛤體內各組織因密度不同，對 X 射線的吸收程度不同，影像上會有呈色及回音不同，如密度較低的脂肪、生殖腺組織吸收較少 X 光，影像上呈現灰色或黑色，密度較高的殼及骨骼則吸收較多 X 光，影像上呈現白色。接收穿透後的 X 光，轉換為影像訊號後，經由影像處理軟體分析結果，觀察其體腔內部生殖腺的影像特徵進行性別鑑定。

試驗首先選取肥滿度較低與較高之文蛤樣本進行群體攝影，分別拍攝四個不同視角，包括前端、後端、背面及腹面，並嘗試以開殼方式進行內部結構影像擷取。試驗過程中應用螢光透視攝影技術，透過調整光學系統參數以獲取最佳成像條件來進行文蛤體內結構之觀察，並據以判定其性別特徵。觀察結果顯示，透過數位透視攝影 X 光機進行文蛤影像拍攝，在育肥前後的樣本中可於影像中觀察到內部低回音性腺結構變化。

三、親本性別二次篩選鑑定

文蛤排精與排卵行為是目前最直接且準確的性別鑑定方法，其鑑定原理與繁殖作業前的刺激誘導程序相同，本試驗操作流程分為兩階段進行。首先，將整批的親貝進行第一階段的物理刺激誘導排精排卵，雄性個體在刺激後會釋放乳白色絲狀精子，雌性卵子排出呈分散混濁狀，具明顯特性差異，可透過顯微鏡或目視快速加以篩選辨識編號。經過育肥後再次進行上述操作，經過二次篩選已經分辨雌雄文蛤個體後，將鑑定結果標記並作記錄，此結果亦可

作為影像技術比對之對照組使用。

結果與討論

針對經過育肥處理後的文蛤進行超音波掃描，影像分析結果顯示，於縱向掃描平面下，可在內臟團與斧足交界處觀察到一明顯的低回音性腺結構，無論是活體或經冷凍保存之育肥文蛤，其性腺結構在超音波影像中皆能有效地被辨識。超音波影像掃描對於文蛤為非破壞性的評估方法，但無法直接辨識明確的性別特徵，然依據性腺結構延伸的位置，可初步推估其肥滿程度，進而對文蛤的性腺發育狀態提供更深層次的解釋 (圖 1、2)。目前利用超音波影像直接判斷文蛤性別仍存在一定的挑戰性，未來研究方向可著重於蒐集並分析更多雌性與雄性文蛤在不同發育階段的性腺影像特徵，期能建立更精確的性別判定方法，為文蛤的繁殖生理研究及產業應用提供更具體的科學依據。

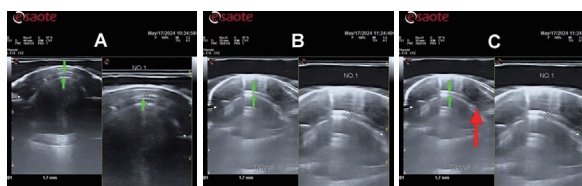


圖 1 都卜勒高解析度影像超音波判定結果
A、B、C 為經過性腺育肥的文蛤橫掃描影像。A：綠色箭頭處顯示在內臟團表面的性腺，性腺的回音為低回音結構；B、C：綠色箭頭為縱掃描性腺的影像，紅色箭頭可以觀察到性腺延伸到斧足區最遠的位置，可藉此判斷性腺肥滿度

數位透視攝影 X 光機顯影圖像顯示出肥滿度具明顯差異 (圖 3、4)，但性腺區域於不同投影角度下均難以清楚辨識，對於性別鑑定無法有效觀察其形態或界定具代表性的性別特徵。

親本性別二次篩選鑑定 (圖 5)，首先透過物理緊迫方式誘導文蛤排精或排卵作為初步篩



| 編號 | 性別 | 橫掃描 | 縱掃描圖 | 性腺最遠位置 (紅箭頭) |
|-------|------|-----|------|-----------------|
| NO. 1 | 無法確定 | | | |
| NO. 2 | 雄性 | | | |
| NO. 3 | 雄性 | | | |
| NO. 4 | 雄性 | | | |
| NO. 5 | 雌性 | | | |
| NO. 6 | 雄性 | | | |
| NO. 7 | 雌性 | | | |
| NO. 8 | 雌性 | | | |
| NO. 9 | 無法確定 | | | |

圖 2 都卜勒高解析度影像超音波判定，左側欄位為已知性別，藉由超音波判定後進行圖面分析比對，對照圖中無法有效找出性別特徵，但依照延伸的位置可推估肥滿程度

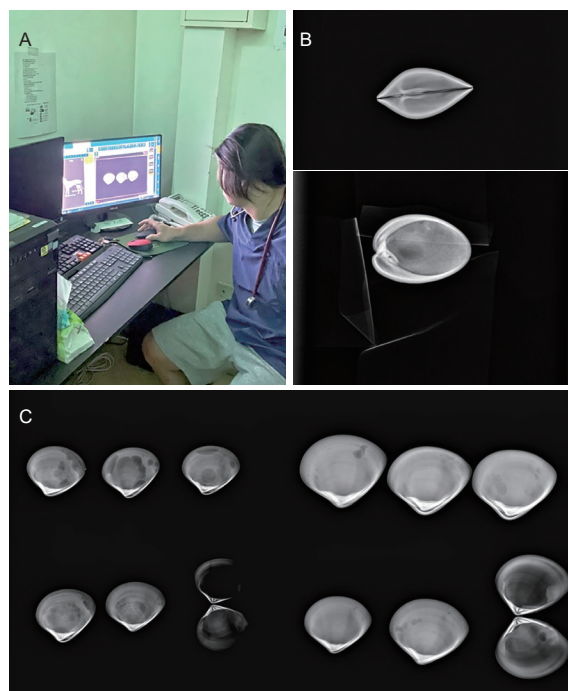


圖 3 A：數位透視攝影 X 光機；B：進行單顆不同視角；C：群體攝影

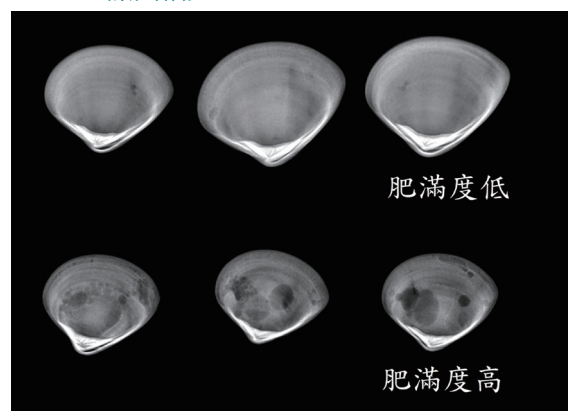


圖 4 影像中觀察到文蛤內部結構的回音變化，顯影圖像顯示出文蛤肥滿度高、低差異

選的依據，隨後經顯微鏡觀察確認性別特徵。本試驗分析樣本 100 顆，其中雄性 52 顆、雌性 46 顆，另有 2 顆未能成功排出精卵。文蛤於緊迫刺激後，如為雄性，常可觀察到噴出呈乳白色之精液成絲狀，並使周圍水體略呈混濁狀，雌性卵子則較慢釋出成散狀。本試驗自上述 100 顆中隨機選出 20 顆樣本進行顯微鏡下

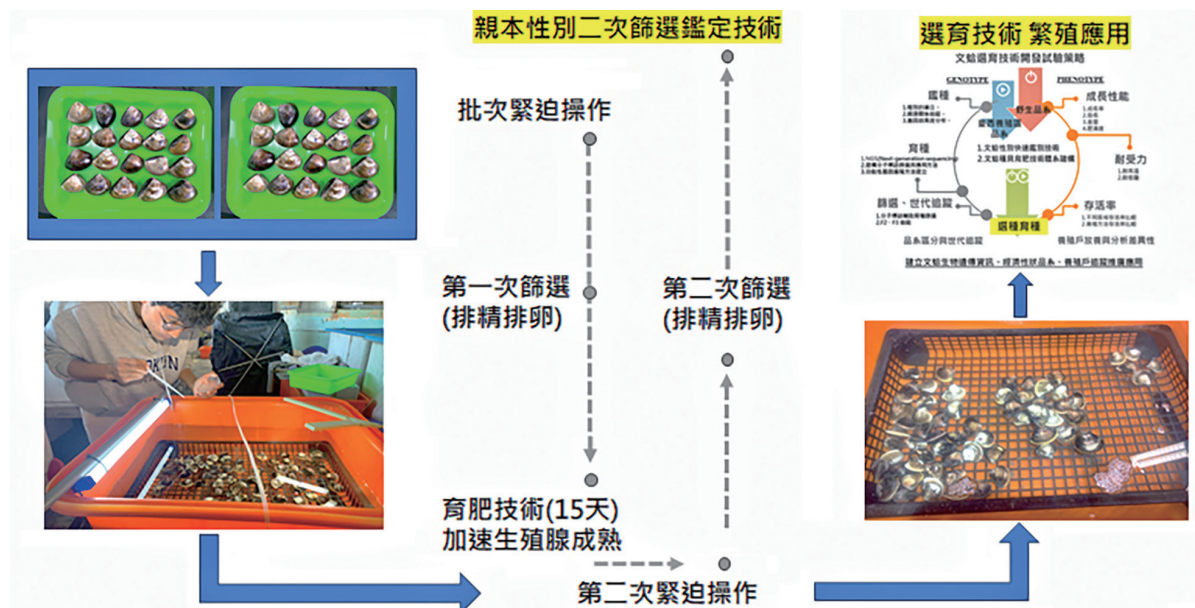


圖 5 親本性別二次篩選鑑定技術。首次篩選後進行育肥，再行二次篩選並紀錄，隨機採樣鏡檢雌雄，驗證鑑定結果

性別鑑定比對，結果與實際性別完全一致，鑑別正確率達 100%。整體結果顯示，此篩選流程具備高度準確性，可作為後續文蛤選育工作中雌雄識別之輔助工具，選育後的種貝可立即應用於選育繁殖。

結語

以上實驗結果總結，超音波影像掃描及數位透視攝影 X 光機都可以透過回音影像判斷肥滿度但無法鑑定性別，超音波技術具備在水下非侵入性觀察文蛤殼內多項重要生理結構的能力，包括纖細的鰓部、負責水流進出的入水管與出水管、強壯的前閉殼肌與後閉殼肌、富含肌肉的斧足以及規律跳動的心臟等。而透過親本性別二次篩選鑑定可以有效且準確進行，但是操作較為耗時耗力，建議對於育種繁殖實驗可先以超音波影像掃描判定其肥滿度，再以排精排卵二次篩選鑑定加以準確鑑定。

本研究針對文蛤育種過程中長期存在的性別鑑定挑戰，創新性嘗試新的解決方案，值得強調的是超音波技術作為一種非侵入性的觀察工具，能夠在文蛤最自然的生活狀態下，即時呈現其內部結構與生理狀況，儘管目前超音波設備的購置成本相對較高，但本實驗的經驗證明，對文蛤個體進行系統性的掃描追蹤，將能在一定程度上有效監測其性腺肥滿度與整體健康狀況，因此結合本研究提出的其他性別鑑別技術，超音波無疑可作為一種極具潛力的輔助方案，為文蛤的科學養殖與育種提供更全面的技術支持。

透過結合快速且非侵入性的都卜勒超音波與 X 光篩選技術，可加以確認肥滿度是否足夠，再利用親本性別二次篩選鑑定可以精準確認，本研究成功建立可靠的親貝性別鑑別流程，此項研究成果預期將能顯著提升文蛤育種的精準度，優化養殖效率，並促進臺灣貝類產業的技術升級與永續發展。