

溫度對半淡鹹水貝類大和黑蜆 (*Corbicula japonica*) 潛沙行為及死亡率之影響

謝淑秋* · 林志訓 · 黃致中 · 林宏傑

農業部水產試驗所海水養殖研究中心

摘 要

溫度變動所造成的環境緊迫經常是影響貝類行為改變及存活的重要因子，本研究探討大和黑蜆 (*Corbicula japonica*) 在溫度變動下的潛沙能力、潛沙行為變化及死亡率。本實驗分成三部分：(1) 潛沙能力：觀察大和黑蜆在不同溫度時，於底沙表面下潛幅度達一半的潛沙能力；(2) 潛沙行為：觀察高溫時大和黑蜆在底沙中的潛沙變化；(3) 溫度回復觀察：經潛沙行為的高溫暴露後，溫度降至 25°C 時，大和黑蜆之死亡率及對其潛沙能力的影響。結果顯示，大和黑蜆潛沙能力在 22°C 及 28°C 暴露 12 小時後顯著高於低溫 (12°C、16°C) 和高溫 (32°C、38°C 及 40°C) 組，並高於 50% 的潛沙率，其中 32°C 的潛沙率隨著時間增加顯著提高，在暴露 48 小時後達 50% 的潛沙率。有關潛沙行為部分，發現溫度越高隨著時間的延長，大和黑蜆逐漸往底沙表面移動，因此降低其潛沙百分比。不管在潛沙能力、潛沙行為及溫度回復觀察試驗中的死亡率部分，發現在高溫 39°C 組的死亡率顯著地高於其他處理組。

關鍵詞：半淡鹹水貝類、大和黑蜆、潛沙行為、水溫

前 言

臺灣的貝類養殖歷史悠久，主要的經濟性養殖貝類為牡蠣 (*Crassostrea angulata*)、文蛤 (*Meretrix taiwanica*) (Hsiao and Chuang, 2015) 和臺灣蜆 (*Corbicula fluminea*)，近年來臺灣養殖貝類產量因受季節氣候變化或養殖管理失當等因素造成產量大波動的波動影響養殖漁民之收益 (Huang *et al.*, 2018; Chang *et al.*, 2019)，因此，養殖漁民開始嘗試開發新興養殖貝類物種。一直以來，臺灣的蜆類養殖部分皆以淡水養殖的臺灣蜆 (*Corbicula fluminea*) 為主，然而於 2009 年臺灣雲林養殖業者自日本引進半淡鹹水的大和黑蜆開始進行養殖，養成後大部分在冬季日本產量減少時回銷日本 (鄭, 2016)。

大和黑蜆廣泛分佈於日本、韓國、北韓到俄羅斯庫頁島等地，緯度大約介於 25.0 – 27.0°N 之間

(Nanbu *et al.*, 2008)，將溫帶物種大和黑蜆經人為媒介方式引進臺灣養殖，主要面臨的是氣候上環境溫度的差異，尤其是夏季高溫。近年來臺灣夏季氣溫屢創新高，養殖池水溫度亦隨氣溫上升而升高，對於溫帶物種而言，具有一定程度的挑戰性。大和黑蜆是日本國民料理味噌湯中不可或缺的食材，且具有促進健康作用的豐富營養成分如鳥胺酸 (ornithine)、維生素 B₁₂ 等，使得日本全年對大和黑蜆的需求量非常高。大和黑蜆在日本當地是很重要的內陸水域漁業物種之一 (Oshima *et al.*, 2004)，佔日本 *Corbicula* 屬總漁獲量的 99% (Nanbu *et al.*, 2008)。大和黑蜆主要棲息在半淡鹹水湖泊和河口，暴露於水溫及鹽度驟變的環境中，日本島根縣穴道湖是大和黑蜆主要的產地之一，全年水溫波動在 4 – 30°C 之間，有研究指出大和黑蜆成貝在短時間 (24 小時) 內可耐受 0 – 35°C 的水溫環境，長時間 (30 天) 的溫度耐受上限為 32°C，幼貝時期最佳活存率溫度為 18 – 21°C，於日本 4 – 9 月為大和黑蜆的繁殖期間，溫度變動範圍介於 10 – 22°C，生殖細胞開始分化、生長和成熟 (Nakamura *et al.*, 1996a, b; Lee *et al.*, 2011;

*通訊作者 / 臺南市七股區三股里海埔 4 號；TEL: (06) 788-0461 轉 137; FAX: (06) 788-1597; E-mail: schsieh@mail.tfrin.gov.tw

Rybalkina *et al.*, 2012)。在鹽度適應能力方面，大和黑蜆屬於廣鹽性動物，可生存的鹽度範圍為 1.5 – 22 psu，而大和黑蜆對鹽度的耐受性則受棲息環境水溫變化的影響 (Nakamura *et al.*, 1996b)。因此，溫度變化對於雙殼類底棲性大和黑蜆的存活、生長速率、生理反應以及潛沙行為，都會造成很大的影響 (Andersom, 1978; Nakamura *et al.*, 1988; Monari *et al.*, 2007; Pariseau *et al.*, 2007; Yu *et al.*, 2022)。

潛沙行為對於生活於沙質底泥的底棲貝類而言，除了可作為其覓食和躲避捕食者的技能外，透過埋藏的行為可以適應複雜多變的環境，而增加其存活率並提高其適應性，許多研究指出影響底棲貝類潛沙行為的因素包括體型 (Goshima, 1982)、鹽度 (Miyajima-Taga and Kuwahara, 2022)、溶氧量 (Rodriguez *et al.*, 2020)、海水元素種類 (Lee *et al.*, 2007)、季節 (Goshima *et al.*, 1999; Watters *et al.*, 2001; Block *et al.*, 2013; Zhang and Yuan, 2015)、沉積物粒徑 (Maru *et al.*, 2005) 及潮汐變化 (Roberts *et al.*, 1989)。底棲貝類受到溫度緊迫影響可透過無氧代謝途徑獲取能量維持緊閉外殼數天 (Weber *et al.*, 2008)，因此即使受到溫度緊迫提高代謝率的初期，貝類並不會出現異常行為，然而當緊迫超過可耐受的範圍，會從底泥中浮出，因此貝類的潛沙行為可作為溫度緊迫或其他不利環境條件的指標 (Lee *et al.*, 2007, 2008)。

在臺灣本地有關大和黑蜆的相關研究報告幾乎沒有，因此本研究將評估大和黑蜆引進臺灣後，溫度對其存活率、潛沙能力及潛沙行為的影響，蒐集大和黑蜆面臨養殖池水溫度變化耐受性之基礎資料，期能提供養殖漁民對於大和黑蜆養殖管理更多的參考資訊。

材料與方法

一、實驗動物

實驗用之大和黑蜆購自雲林縣臺西鄉養殖戶，實驗一的平均殼長為 25.43 ± 1.03 mm，平均體重為 5.88 ± 0.67 g；實驗二、三的平均殼長為 21.57 ± 0.79 mm，平均體重為 3.88 ± 0.06 g。由室外土池移至海水養殖研究中心室內養殖場，蓄養階段使用 2 噸圓形 FRP 桶蓄養至少 2 週，桶槽

內鋪設 10 cm 底沙供其潛沙，底沙粒徑 125 μ m – 3 mm 之間，採流水式，水源為天然半淡鹹水 (溫度範圍 23 – 25°C、鹽度範圍 10 – 15 psu)，蓄養期間每天投銀擬球藻 (*Nannochloropsis oceanica*) 和等鞭金藻 (*Isochrysis aff. galbana*) 一次。

二、實驗設計

實驗一、溫度對大和黑蜆潛沙能力的影響

此實驗共設置 7 組不同實驗溫度，分為 12°C 組 (以 12C 為代號，後續依此類推)、16°C 組 (16C)、22°C 組 (22C)、28°C 組 (28C)、32°C 組 (32C)、38°C 組 (38C) 及 40°C 組 (40C)，每組三重複。溫度處理方法為使用熱循環培養箱 (YIHDER, DK-600D) 及低溫恆溫培養箱 (YIHDER, LE-519RD) 進行溫度控制。實驗開始前先將已鋪設 8 cm 底沙及注入 1.68 L 天然半淡鹹水 (15 psu) 之小方形盒 [28 cm (長) $\times$ 10 cm (寬) $\times$ 15 cm (高)] 放置於控溫系統中，待水溫達實驗溫度時再將已禁食 1 天之大和黑蜆 (n=15) 分別放入小方形盒內。實驗採止水式，每天會以乾淨同溫度天然半淡鹹水置換小方形盒中約一半的水量。觀察其潛沙情形及存活情況 3 天。潛沙率計算方式為各時間點計算桶內大和黑蜆 1/2 以上殼體潛入底沙中，即記錄其具潛沙能力，計算公式如下：

潛沙率 (%) = (潛沙大和黑蜆數量/初始大和黑蜆數量) $\times$ 100

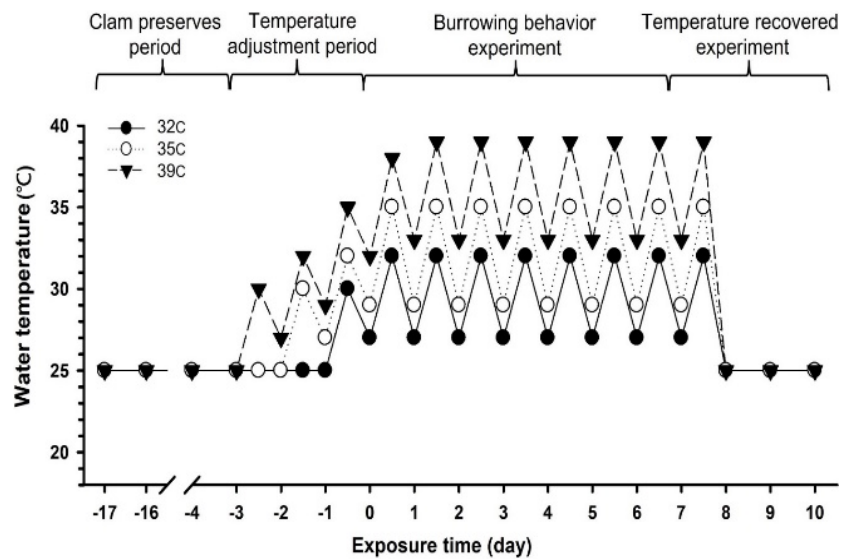
實驗期間若有大和黑蜆死亡，則移除死亡大和黑蜆並記錄其數量，死亡率計算公式如下：

死亡率 (%) = (死亡大和黑蜆數量/初始大和黑蜆數量) $\times$ 100

實驗二、高溫對大和黑蜆潛沙行為變化的影響

此實驗共設置 3 組不同實驗溫度，溫度條件的設置參考自雲林縣台西鄉養殖戶室外土池於 2021 年 7 月實際所偵測到之水溫變化及 Nakamura *et al.* (1996) 試驗結果。將實驗分為 $32 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 組 (以 32C 為代號後續依此類推)、 $35 \pm 1^\circ\text{C}$ 組 (35C) 及 $39 \pm 1^\circ\text{C}$ 組 (39C)，每組三重複。實驗開始前隨機採樣自蓄養階段至少 2 周以上的大和黑蜆 (n=15)，分別放入鋪設 10 cm 底沙之小方形桶 (36 $\times$ 23 $\times$ 14 cm) 中，再將小方形桶置於方形 FRP 桶槽 (52 $\times$ 40 $\times$ 40.5 cm) 內，注入 61 L 的天然半淡鹹水，溫度為

Fig. 1 Patterns for each temperature treatment from the start of the burrowing behavior experiment to the end of the temperature recovery experiment.



25°C、鹽度 15 psu，待所有大和黑蜆皆可完全潛入底沙中，確認為健康個體後，才開始進行實驗溫度調節階段，FRP 桶內各放一支加溫棒進行溫度調控，溫度處理方法為利用加溫棒搭配定時器緩慢連續升溫，每日升高 5 – 6°C，直至達各組實驗溫度 32°C、35°C 和 39°C，由於 3 組溫度加熱到達實驗溫度所需提前加溫天數不同 (39°C 需 3 天、35°C 需 2 天而 32°C 僅 1 天)，為讓各組溫度實驗起始日相同，因此，39°C、35°C 和 32°C 組分別於潛沙行為變化實驗前 3、2 及 1 天開始加溫，實驗期間每天 14:00 達最高溫後使其自然緩慢降溫，於翌日 7:00 再次逐漸升溫至試驗溫度 (Fig. 1)，連續試驗 7 天，並於每日達最高溫時段 (14:00) 觀察記錄其潛沙行為變化及存活情形。每天 16:00 投餵人工培育之海水微細藻類。實驗採止水式，為避免因大和黑蜆新陳代謝所產生之代謝物質及剩餘餌料造成水質惡化，每天會以乾淨海水置換 FRP 桶約一半的水量。

潛沙行為變化為觀察大和黑蜆殼體露出底沙表面情形，記錄方式參考 Rodriguez *et al.* (2020) 方法微做調整，將潛沙行為變化分為殼體全埋藏於底沙中 (completely buried, CB)、埋藏 2/3 (partially buried, 2/3PB)、1/2 (1/2PB) 及整個殼體露出沙面 (not buried, NB)，本實驗期間觀察的潛沙行為包含上述四種觀察型態 (Fig. 2)。實驗期間若有大和黑蜆死亡，則移除並計算其死亡率。



Fig. 2 Burrowing of *Corbicula japonica* in the sediment. The degree to which individuals buried themselves in sediment was classified into four categories: (A) completely buried (CB), (B) 2/3 partially buried (2/3PB), (C) 1/2 partially buried (1/2PB), and (D) not buried (NB).

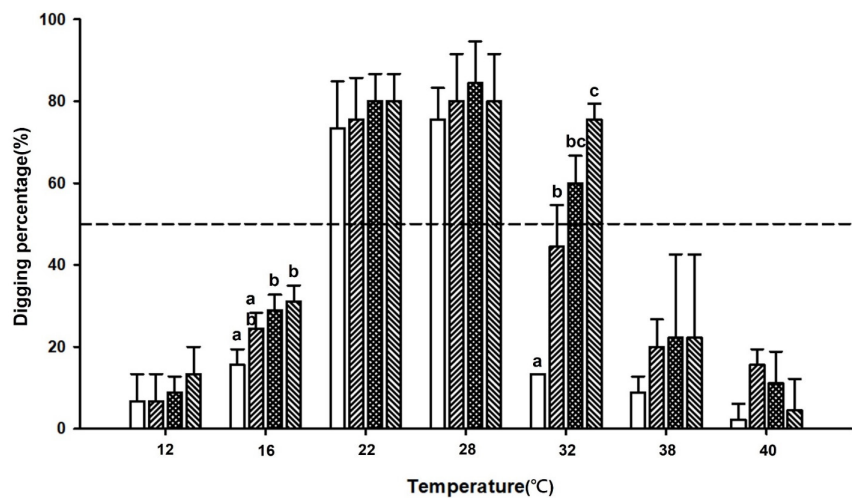
實驗三、溫度回復後，觀察大和黑蜆的死亡和潛沙情形

此部分實驗係於高溫潛沙行為實驗 (7 天) 結束，待溫度回復至 25°C 後，將存活之大和黑蜆移至原蓄養之 25°C 及 15 psu 天然半淡鹹水環境中，同樣每天投餵人工培育之海水微細藻類，於溫度回復階段持續觀察其潛沙情形及存活情況 3 天 (Fig. 1)，潛沙率及死亡率計算公式同實驗一。

三、統計分析

所有實驗數據以 mean ± SD 表示，實驗結果不同處理組間先以單因子變異數分析 (One-way ANOVA) 進行統計分析，若不同處理組間之差異達顯著水準，再以 Tukey's honestly significant difference test 進行事後檢定，比較各溫度處理組間潛沙及死亡數平均值差異的顯著性，所有百分比之數據分析前均經過角度轉換 (arcsine transformation) 為常態分佈，顯著水準 $\alpha = 0.05$ ，統計軟體為 Sigma stat 3.5 版本。

Fig. 3 Digging percentage of *Corbicula japonica* according to the exposure time at different temperatures (12, 16, 22, 28, 32, 38 and 40°C). The line marks 50% of burrowing capacity. Bars with different letters indicate significant differences ($p < 0.05$). Bars and error bars represent means and standard errors, respectively.



結 果

實驗一、溫度對大和黑蜆潛沙能力的影響

大和黑蜆分別在不同溫度下經過 72 小時處理後的潛沙率數據結果如 Fig. 3 所示。大和黑蜆在 16C 及 32C 組隨著潛沙時間的延長，其潛沙率呈現顯著地增加 ($p < 0.05$)，然而 12C、22C、28C、38C 及 40C 組的大和黑蜆潛沙率則沒有顯著的差異；各溫度處理組在 12 小時的潛沙率，經統計分析顯示不同溫度之各組別呈現顯著差異，22C 及 28C 兩組間則無顯著差異 ($p > 0.05$)，潛沙率分別為 $73.3 \pm 11.5\%$ 及 $75.6 \pm 7.7\%$ ，但 22C 及 28C 組潛沙率顯著地高於其他組別分別為 12C ($6.67 \pm 6.67\%$)、16C ($15.6 \pm 3.85\%$)、32C ($13.3 \pm 0\%$)、38C ($8.89 \pm 3.85\%$) 及 40C ($2.22 \pm 3.85\%$)。另 22C 及 28C 組的潛沙率均於 12 小時即達 50%，而 32C 組則在 48 小時才達 50%，而其他溫度 (12C、16C、38C、40C) 處理組在 72 小時內均低於 50%。

大和黑蜆死亡率數據結果如 Fig. 4 所示，大和黑蜆經不同溫度分別處理 12、24、48 及 72 小時後，其中 12C、16C、22C、28C、32C 及 40C 組在 24 小時的死亡率皆為 0%，僅 38C 組有個體死亡 ($6.67 \pm 6.67\%$)，經統計分析結果無顯著差異 ($p > 0.05$)。而各溫度處理組死亡率在 48 小時及 72 小時的時間點呈現顯著差異 ($p < 0.05$)，皆以 40C 組在 48 小時和 72 小時的死亡率分別為 $40 \pm 24\%$ 和 $83.3 \pm 23.6\%$ 為最高，但分別與 38C 的 48

小時死亡率 ($17.8 \pm 13.9\%$) 及 38C、32C 的 72 小時死亡率 ($53.3 \pm 40.6\%$ 、 $15.6 \pm 3.85\%$) 皆無顯著差異 ($p > 0.05$)。

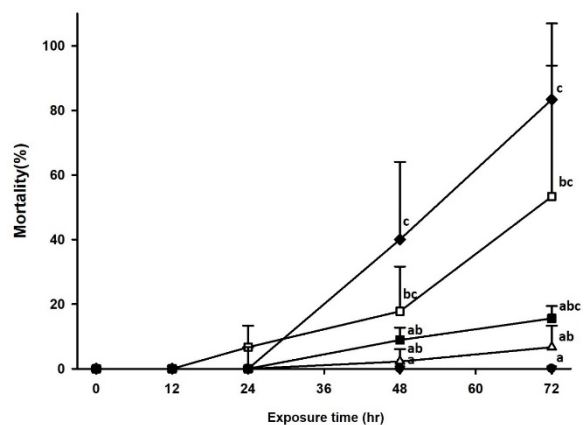


Fig. 4 Mortality of *Corbicula japonica* at different temperatures and exposure times (0, 12, 24, 48, and 72 h). Bars with different letters indicate significant differences ($p < 0.05$). Bars and error bars represent means and standard errors, respectively.

實驗二、高溫對大和黑蜆潛沙行為的影響

高溫緊迫後大和黑蜆潛沙行為變化如 Fig. 5 所示。在不同溫度組別之大和黑蜆隨著處理時間的延長，其潛沙行為顯著地往沙面移動 ($p < 0.05$)，其中 39C 組在第 4、5、6、7 天完全潛砂 (CB) 的比率持續地下降 ($p < 0.05$)，尤其第 7 天時 CB 僅剩 $2.22 \pm 3.85\%$ 。在該實驗過程中大和黑蜆的死亡率經統計分析顯示在 32C 組和 35C 組各暴露時間皆無顯著差異 ($p > 0.05$)，但在 39C 組死亡率則隨

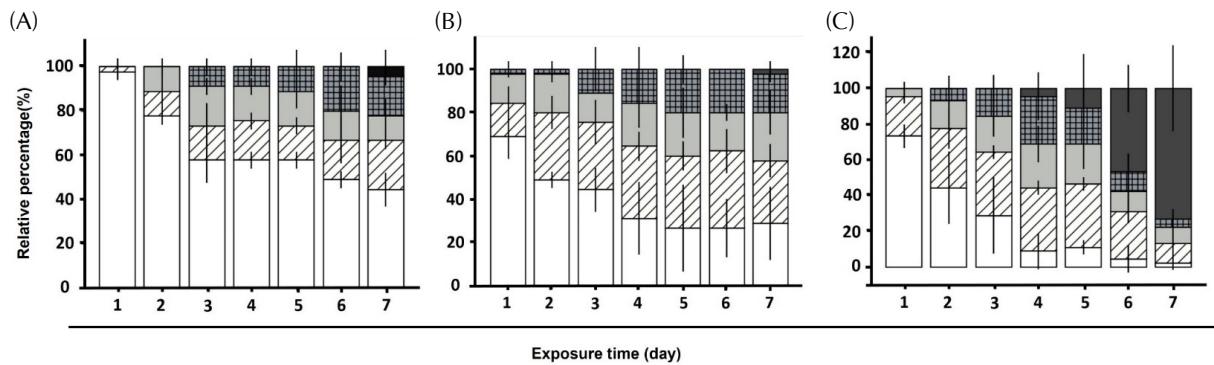


Fig. 5 Burrowing behavior of *Corbicula japonica* depending on temperature: (A) 32 °C, (B) 35 °C, and (C) 39 °C. The degree to which individuals buried themselves in sediment was classified into four categories: completely buried (CB), 2/3 partially buried (2/3PB), 1/2 partially buried (1/2PB), and not buried (NB). Deaths are also shown.

著處理時間的延長，其死亡率呈現顯著地增加 ($p < 0.05$)，第 6 天 ($46.67 \pm 13.33\%$) 及第 7 天 ($73.33 \pm 24.04\%$) 死亡率顯著高於其它天。此外，在本實驗處理過程中有部分往沙面移動的大和黑蜆個體，其斧足軟組織從殼中伸出，在實驗結束後對斧足軟組織進行接觸刺激時外殼雖會緊閉但斧足軟組織則無法縮回殼體內，即使將其放回原蓄養環境 (25°C、15 psu 海水) 進行後續的溫度回復觀察試驗 3 天，結果發現外露的斧足軟組織依然無法縮回殼體內 (Fig.6)，且已斧足軟組織外露的大和黑蜆個體在後續的延遲性死亡觀察中發現有陸續死亡的現象。



Fig. 6 Status of *Corbicula japonica* in the high-temperature treatment (35 °C). The soft body parts are substantially extended beyond the shell. No response was observed even when contact stimulation was performed immediately following the experiment.

實驗三、溫度回復後，觀察大和黑蜆的死亡和潛沙情形響

大和黑蜆經過不同高溫處理後再回到原蓄養環境之延遲性死亡率及潛沙率如 Fig. 7 所示。39C 組 ($n = 5, 7, 0$) 在各處理點之延遲性死亡率皆顯著高於 32C 組 ($n=15, 13, 15$) 及 35C 組 ($n=15, 15, 14$) ($p < 0.05$)，32C 組與 35C 組則無顯著差異 ($p > 0.05$)；而在 39C 組潛沙率部分亦皆顯著低於 32C 組及 35C 組 ($p < 0.05$)，32C 組與 35C 組則無顯著差異 ($p > 0.05$)。

討 論

潛沙是雙殼貝類在生態學上重要且可量化的運動，對於溫度耐受能力而言是一敏感指標 (Morey *et al.*, 2009)，此外，溫度在很大程度上決定了生物體的代謝率，代謝變化可能會導致種群適應度的變化，在宏觀的生態角度上即決定了物種的分布 (Rosa *et al.*, 2012; Xiao *et al.*, 2014; Crespo *et al.*, 2015)。過去研究即曾使用潛沙能力來評估貝類的溫度耐受限制、溫度適應機制 (Ansell and McLachlan, 1980; Ansell *et al.*, 1980a, 1980b, 1981; Peck *et al.*, 2004; Morley *et al.*, 2007)。我們利用觀察大和黑蜆的潛沙能力、潛沙行為變化及溫度回復後的死亡率及潛沙率來評估溫度極限與生物體之間的耐受性關係。Nakamura *et al.* (1996) 研究指出大和黑蜆成貝 (21.63 ± 1.56 mm) 於 24 小時內可耐受 0 – 35°C 的水溫環境。而本研究顯示大和黑蜆於 24 小時內

可耐受到 40°C 的高水溫環境，僅 38°C 組有零星個體死亡現象（無顯著差異）。推測本實驗大和黑蜆能耐較高溫度的可能原因：(1) 大和黑蜆屬溫帶物種，原在日本主要產區之一的穴道湖即可耐受全年大範圍的水溫波動（4 – 30°C 之間），有研究顯示對於溫帶物種而言具有較能適應高溫的能力 (Morley *et al.*, 2009)；(2) 本實驗所使用的大和黑蜆來自於臺灣台西當地養殖漁民自行繁殖飼養已有數年時間，可能經長時間亞熱帶氣候適應的結果。

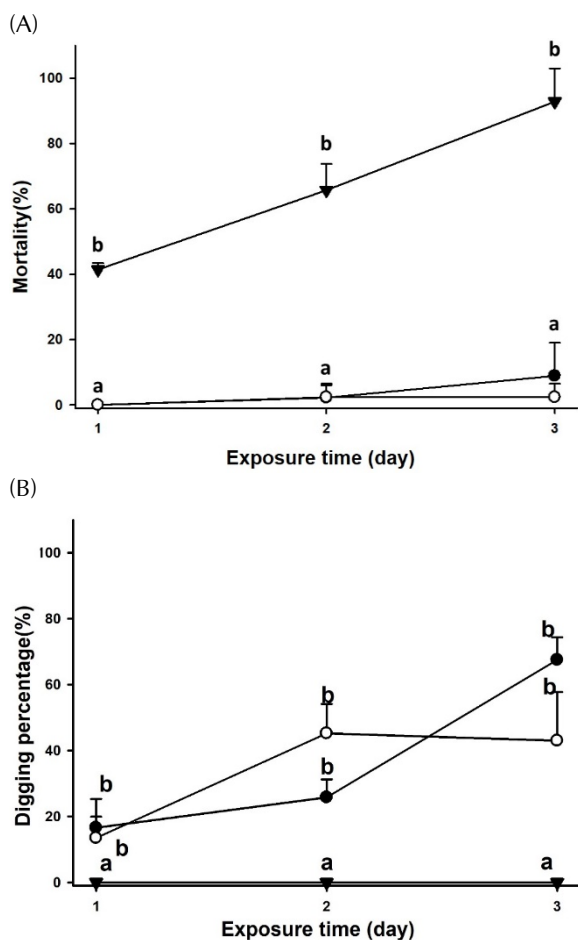


Fig. 7 Mortality (A) and digging percentage (B) of *Corbicula japonica* exposed to different temperatures after 7 days. Bars with different letters indicate significant differences ($p < 0.05$). Bars and error bars represent means and standard errors, respectively.

通常雙殼貝類在開始潛沙前會先伸出斧足對環境進行探索，因此環境溫度對斧足的伸展和整體潛沙成功與否有著密切的關係 (Block *et al.*, 2013)，過去許多研究顯示雙殼貝類的潛沙行為確實

受到環境水溫的影響，如菲律賓簾蛤 (*Ruditapes philippinarum*) (Aishima, 1993)、韓國文蛤 (*Meretrix lamarckii*) (Higano and Yasunaga, 1986) 和紫黑翼蚌 (*Potamilus alatus*) (Block *et al.*, 2013) 等皆受水溫變化而影響其潛沙率或潛沙速度。我們研究結果同樣發現溫度顯著的影響大和黑蜆的潛沙能力，在較低 (12°C、16°C 組) 及較高 (38°C 及 40°C 組) 的實驗溫度其潛沙率明顯偏低 (低於 BT_{50})，其中 32°C 處理組隨著時間的增加潛沙率逐漸提高，雖上述五組處理組皆無個體死亡 (12 小時)，但其潛沙率明顯低於 22°C 及 28°C 組，且 22°C 及 28°C 組潛沙率均高於 70%，因此，當大和黑蜆暴露於低溫及高溫環境變化時會關閉其外殼從而降低潛沙行為的發生，導致大和黑蜆需花費較長的時間潛沙或根本不潛沙。此外，我們已知沉積物 (底質) 粒徑亦會影響雙殼貝類的潛沙行為 (Alexander *et al.*, 1993; Huz *et al.*, 2002; Maru *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2017)，Maru *et al.* (2005) 研究指出大和黑蜆成貝 (平均殼長：32.6 mm) 在不同沉積物粒徑的潛沙率從高到低分別為淤泥 (粒徑：4 – 63 μm)、超細沙至細沙 (63 – 250 μm)、中沙 (250 – 500 μm) 和粗至超粗沙 (500 μm – 2 mm)，根據 Goshima *et al.* (1999) 研究調查大和黑蜆主要產地之一日本青森縣小川原湖 (Lake Ogawara) 沉積物粒徑的組成，其會因地點或季節的不同而有些許的差異，95% 以上的沉積物粒徑大小落在 125 – 500 μm 之間，反而 <125 μm 的超細沙和淤泥不到 3%，而本研究採用之底沙粒徑大小主要落在 125 μm – 3 mm 之間，部分粒徑較大對於經歷過高溫緊迫之大和黑蜆的潛沙效率可能會受到影響，因此，縮小底沙粒徑範圍可能在單位時間內能有更佳的潛沙效率。

Goshima *et al.* (1999) 研究發現大和黑蜆具有季節性垂直遷移變化現象，顯示季節性溫度變化與潛沙行為有著密切關係，平均潛沙深度隨著溫度 (10 – 25°C) 的升高呈上移趨勢，在 25°C 水溫下的大和黑蜆大多潛沙於底沙不到 1 cm 的深度。本研究觀察大和黑蜆在高溫下潛沙行為的變化發現溫度越高移動至底沙表面數量越多，當個體長時間暴露在高溫環境下時，其斧足軟組織部位會暴露於水環境中且無法縮回殼體內，上述現象在 35°C 組較 39°C 組發生率來的高，39°C 組則多為上移後直接開殼死亡或埋藏於底沙中死亡，顯示大和黑蜆暴

露於高溫環境時會直接關閉其外殼來躲避高溫緊迫環境的刺激。Miyajima-Taga and Kuwahara (2022) 的研究指出，大和黑蜆從高鹽到低鹽環境時，亦出現斧足軟組織暴露於淡水環境無法縮回的現象。原推測斧足軟組織暴露無法縮回情況會增加大和黑蜆後續死亡的可能性，但在後續 3 天的延遲性死亡結果卻發現，在發生率最高的 35°C 組其延遲死亡率僅 $7.14 \pm 4.12\%$ 遠低於 39°C 組 ($92.86 \pm 10.1\%$)，不過 35°C 組有外露斧足軟組織的未死亡個體經外界刺激後仍然無法縮回，長時間下來體內能量消耗殆盡後是否會隨即死亡及生理反應變化為何有待日後進一步研究，以了解其調節適應機制。因此，在臺灣亞熱帶地區進行溫帶物種大和黑蜆的養殖，選擇在 22 – 28°C 放養大和黑蜆可大幅提高其潛沙能力，適宜的溫度環境有助於其潛沙穩定性，夏季時應注意連日高溫侵襲，可適當地提高水位降低池底溫度以避免大和黑蜆因高溫緊迫導致死亡。

謝 辭

本研究得以順利完成感謝農業部（原行政院農業委員會）科技計畫經費支持，雲林縣養殖業者歐秋宏、林奇宏、林奇鈴先生寶貴經驗分享及提供養殖現場進行水溫監測，特此致謝。

參考文獻

- 鄭石勤 (2016) 填補日本冬季市場空缺-日本黑蜆。養魚世界, 40(9): 31-36。
- Aishima, N. (1993) Effects of water temperature and salinity on burrowing behavior in juvenile short-neck clam *Ruditapes philipinarum*. Bull. Fukuoka Fish. Mar. Technol. Res. Cent., 1: 145-154.
- Alexander, R. R., R. J. Stanton and J. R. Dodd (1993) Influence of sediment grain size on the burrowing of bivalves: Correlation with distribution and stratigraphic persistence of selected neogene clams. *Palaio*, 8 (3): 289-303.
- Andersom, G. (1978) Metabolic rate, temperature acclimation and resistance to high temperature of soft-shell clams, *Mya arenaria*, as affected by shore level. *Comp. Biochem. Physiol.*, 61(A): 433-438.
- Ansell, A. D. and A. McLachlan (1980) Upper temperature tolerances of three molluscs from South African sandy beaches. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 48(3): 243-251.
- Ansell, A. D., P. R. O. Barnett, A. Bodoy and H. Massé (1980a) Upper temperature tolerances of some European molluscs. I *Tellina fabula* and *T. tenuis*. *Mar. Biol.*, 58(1): 33-39.
- Ansell, A. D., P. R. O. Barnett, A. Bodoy and H. Massé (1980b) Upper temperature tolerances of some European molluscs II. *Donax vittatus*, *D. semistriatus* and *D. trunculus*. *Mar. Biol.*, 58(1): 41-46.
- Ansell, A. D., P. R. O. Barnett, A. Bodoy and H. Massé (1981) Upper temperature tolerances of some European molluscs. *Mar. Biol.*, 65(2): 177-183.
- Block, J. E., G. W. Gerald and T. D. Levine (2013) Temperature effects on burrowing behaviors and performance in a freshwater mussel. *J. Freshw. Ecol.*, 28(3): 375-384.
- Chang, C. C., J. F. Huang, C. Schaffner, J. M. Lee and L. M. Ho (2019) Impacts of culture survival rate on culture cost and input factors: case study of the hard clam (*Meretrix meretrix*) culture in Yunlin country, Taiwan. *J. World Aquac. Soc.*, 51: 139-158.
- Crespo, D., M. Dolbeth, S. Leston, R. Sousa and M. A. Pardal (2015) Distribution of *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in the invaded range: a geographic approach with notes on species traits variability. *Biol. Invasions*, 17: 2087-2101.
- Huz, R. D. L., M. Lastra and J. López (2002) The influence of sediment grain size on burrowing, growth and metabolism of *Donax trunculus* L. (Bivalvia: Donacidae). *J. Sea Res.*, 47: 85-95.
- Goshima, S. (1982) Population dynamics of the soft clam, *Mya arenaria* L., with special reference to its life history pattern. Publications from the Amakusa Mar. Bio. Lab., Kyushu Univ., 6: 119-165.
- Goshima, S., M. Ikegawa, T. Sonoda and S. Wada (1999) Seasonal vertical migration within sediment by the brackish water clam *Corbicula japonica*. *Benthos Res.*, 54 (2): 87-97.
- Higano J. and Y. Yasunaga (1986) Examination of sand-mud bottom substrate II-basic research on burrowing behavior of *Meretrix lamarckii* and *Macridiscus aeuginosa*. *Tech. Rept. Nat. Res. Inst. Fish. Eng.*, 7: 41-52.
- Hsiao, S. T. and S. C. Chuang (2023) *Meretrix taiwanica* (Bivalvia: Veneridae), a previously misidentified new species in Taiwan. *Molluscan Res.*, 43(1): 12-21.

- Huang, C. T., Y. C. Chen, P. C. Liu, C. H. Lin, Y. J. Hsiao, S. C. Chen and C. T. Chuang (2018) Analysis on production economics and marketing economics of clam breeding in Taiwan. *Fish. Ext. Rep.*, 48: 67-82.
- Lee, J. Y., W. K. Kim and C. S. Lee (2011) Growth and survival of the brackish water clam, *Corbicula japonica* larvae according to rearing conditions. *Korean J. Malacol.*, 27(4): 337-343.
- Lee, A. C., M. C. Lee, Y. H. Lee and Y. C. Lee (2008) Candidates for a hypoxia-stress indicator in the hard clam, *Meretrix lusoria*. *Aquaculture*, 278(1-4): 150-155.
- Lee, A. C., Y. H. Lin, C. R. Lin, M. C. Lee and Y. P. Chen (2007) Effects of components in seawater on the digging behavior of the hard clam (*Meretrix lusoria*). *Aquaculture*, 272(1-4): 636-643.
- Li, L., Y. C. Bai, S. L. Huang, Y. S. Chen, Y. C. Zhao, C. L. Xu, F. H. Tang, Y. L. Wang, X. Q. Shen and M. Jiang (2017) Substrate preference and sand burrowing ability assessment of *Meretrix meretrix*. *Mar. Fish.*, 39(5): 548-553.
- Maru, K., M. Yamazaki and J. Nakai (2005) Behavioral characteristics of the brackish water bivalve, *Corbicula japonica* Prime to various bottom sediments. *Aqua. Sci.*, 53(3): 257-262.
- Miyajima-Taga, Y. and H. Kuwahara (2022) The effect of salinity change on the burrowing behavior of an adult brackish water bivalve *Corbicula japonica*. *Fish. Sci.*, 88(1): 119-130.
- Monari, M., V. Matozzo, J. Foschi, O. Cattani, G. P. Serrazanetti and M. G. Marin (2007) Effects of high temperatures on functional responses of haemocytes in the clam *Chamelea gallina*. *Fish Shellfish Immunol.*, 22(1): 98-114.
- Morley, S. A., L. S. Peck, K. S. Tan, S. M. Martin and H. O. Pörtner (2007) Slowest of the slow: latitudinal insensitivity of burrowing capacity in the bivalve *Laternula*. *Mar. Biol.*, 151(5): 1823-1830.
- Morley, S. A., K. S. Tan, R. W. Day, S. M. Martin, H. O. Pörtner and L. S. Peck (2009) Thermal dependency of burrowing in three species within the bivalve genus *Laternula*: a latitudinal comparison. *Mar. Biol.*, 156(10): 1977-1984.
- Nakamura, M., A. Shinagawa and S. Nakao (1996a) Temperature Tolerance of the Brackish Water Bivalve, *Corbicula japonica* Prime. *Aqua. Sci.*, 44(3): 267-271.
- Nakamura, M., M. Yamamuro, M. Ishikawa and H. Nishimura (1988) Role of the bivalve *Corbicula japonica* in the nitrogen cycle in a mesohaline lagoon. *Mar. Biol.*, 99(3): 369-374.
- Nakamura, M., S. Yasugi, F. Takahashi, A. Shinagawa and S. Nakao (1996b) Salinity Tolerance of the Brackish Water Bivalve, *Corbicula japonica* Prime. *Aqua. Sci.*, 44(1): 31-35.
- Nanbu, R., T. Mizuno and H. Sekiguchi (2008) Post-Settlement Growth and Mortality of Brackish Water Clam *Corbicula japonica* in the Kiso Estuaries, Central Japan. *Fish. Sci.*, 74: 1254-1268.
- Oshima, K., N. Suzuki, M. Nakamura and K. Sakuramoto (2004) Shell Growth and Age Determination of the Brackish Water Bivalve *Corbicula japonica* in Lake Shinji, Japan. *Fish. Sci.*, 70: 601-610.
- Pariseau, J., B. Myrand, G. Desrosiers, L. Chevarie and M. Giguère (2007) Influences of physical and biological variables on softshell clam (*Mya arenaria* lineaus 1758) burial. *J. Shellfish Res.*, 26(2): 391-400.
- Peck, L. S., A. D. Ansell, K. E. Webb, L. Hepburn and M. Burrows (2004) Movements and burrowing activity in the antarctic bivalve molluscs *Laternula elliptica* and *Yoldia eightsi*. *Polar Biol.*, 27(6): 357-367.
- Roberts, D., D. Rittschof, D. J. Gerhart, A. R. Schmidr and L. G. Hill (1989) Vertical migration of the clam *Mercenaria mercenaria* (L.) (Mollusca: Bivalvia): environmental correlates and ecological significance. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 126: 271-280.
- Rodriguez, F. A., P. B. Reyna, T. Maggioni, D. R. Giménez and L. Torre (2020) The role of temperature and oxygen availability on the distribution of *Corbicula largillietii*. *Invertebr. Biol.*, 139: e12305.
- Rosa, I. C., J. L. Pereira, R. Costa, F. Gonçalves and R. Prezant (2012) Effects of Upper-Limit Water Temperatures on the Dispersal of the Asian Clam *Corbicula fluminea*. *PLoS One*, 7(10): e46635.
- Rybalkina, S. M., M. A. Maiorova, A. P. Anisimov and D. N. Kravchenko (2013) The gametogenesis and sexual cycle of the bivalve *Corbicula japonica* Prime (1864) in the mouth of the Kievka River (Sea of Japan). *Russ. J. Mar. Biol.*, 39(4): 253-264.
- Watters, G. T., S. H. O'Dee and S. Chordas (2001) Patterns of vertical migration in freshwater mussels (Bivalvia: Unionoida). *J. Freshw. Ecol.*, 16(4): 541-549.
- Weber, K., L. Sturmer, E. Hoover and S. Baker (2008) The Role of Water Temperature in Hard Clam Aquaculture (<http://shellfish.ifas.ufl.edu/clammrs.htm>).

- Xiao, B. C., E. C. Li, Z. Y. Du, R. L. Jiang, L. Q. Chen and N. Yu (2014) Effects of temperature and salinity on metabolic rate of the Asiatic clam *Corbicula fluminea* (Müller, 1774). Springerplus, 3(1): 455.
- Yu, J., Z. Yin, Y. Zhang, J. Bi, X. Yan and H. Nie (2022) Effects of high water temperature on physiology, survival, and resistance to high temperature air-exposure in the Manila clam *Ruditapes philippinarum*. Comp. Biochem. Physiol. C Toxicol. Pharmacol., 262: 109469.
- Zhang, A. and X. Yuan (2015). Effects of temperature, salinity and sediment on the burrowing behavior of clam *Meretrix meretrix*. Chinese J. Ecol., 34(6): 1595-1601.

Effects of Temperature on the Burrowing Behavior and Mortality Rate of the Adult Brackish Water Bivalve *Corbicula japonica*

Shu-Chiu Hsieh*, Zhi-Xun Lin, Chih-Chung Huang and Hong-Jie Lin

Mariculture Research Center, Fisheries Research Institute

ABSTRACT

Temperature fluctuations play an important role in the behavior and survival of brackish water bivalves. This study evaluated three parameters: (1) The digging ability of *Corbicula japonica* at different temperatures; (2) their burrowing behavior inside the sediment at high temperatures; (3) their behaviors at 25°C, focused on their digging ability and mortality after high-temperature exposure. The digging abilities of *C. japonica* after 12 hours of exposure at 22°C and 28°C were significantly higher (by at least 50%) than those at lower temperatures (12 and 16°C) or higher temperatures (32, 38, and 40°C). In addition, the digging ability of the group exposed to 32°C increased significantly with time, resulting in more than 50% digging ability after 48 hours of exposure. On the other hand, as the temperature increased, *C. japonica* gradually moved to the surface of the sediment, lowering its digging ability. The rate of mortality of the group exposed at 39°C was significantly higher than that of other temperature treatments.

Key words: brackish water bivalve, *Corbicula japonica*, burrowing behavior, water temperature

*Correspondence: 4, Haipu, Sangu, Qigu Dist., Tainan, Taiwan. TEL: (06)788-0461 ext. 137; E-mail: schsieh@mail.tfrin.gov.tw