

四指馬鮫 (*Eleutheronema tetradactylum*) 魚苗袋裝運輸 - 最適撈捕體型、密度及其水質變化之探討

邱沛盛* · 朱永桐 · 張丁仁 · 黃建維 · 張哲誠 · 許晉榮

農業部水產試驗所海水養殖研究中心

摘 要

活魚運輸是水產養殖過程中的重要環節，但運輸過程中，魚隻體型、運輸密度及水質變化均會影響其活存率。四指馬鮫 (*Eleutheronema tetradactylum*) 為臺灣重要的經濟性海水養殖物種，然而，有關其魚苗袋裝運輸研究目前仍然缺乏。為建立四指馬鮫魚苗袋裝運輸過程的適宜條件，本研究探討 (1)較適合撈捕的魚苗體型；(2)不同密度對魚苗袋裝運輸的活存率影響及水質變化情形。結果顯示，不同體型 (S = 16.86 ± 1.39、M = 21.37 ± 3.07 及 L = 36.50 ± 4.03 mm) 的魚苗撈捕後經過 24 hr，體型 M 及 L 的魚苗活存率顯著高於 S。以上述 M 體型之魚苗進行不同密度 (1,000、2,000 及 3,000 尾/袋，每袋水量 6.25 L) 包裝，模擬運輸 5 hr，結果顯示以 1000 尾/袋的組別有最高的活存率 (99.53 ± 0.20%)。分析運輸袋水中的 pH、NH₃-N 及 NO₂⁻-N，發現運輸後的 pH 隨著運輸密度增加而降低，相反地，NH₃-N 及 NO₂⁻-N 則隨密度增加而升高，3,000 尾/袋的組別水質惡變的情形顯著高於其他兩組。綜合本研究結果，建議適合撈捕操作的四指馬鮫魚苗體型至少需達 20 mm，並以 1,000 尾/袋的密度進行包裝運輸，且時間以不超過 5 hr 為宜。

關鍵詞：四指馬鮫、活魚運輸、操作體型、包裝密度

前 言

活魚運輸是水產養殖過程中的重要環節，這使活魚在養殖過程中的異地移動成為可能，例如，從孵化場轉移到養成場 (Piper *et al.*, 1982; Harmon, 2009; Koolhaas *et al.*, 2011)。活魚運輸可分為封閉系統和開放系統，封閉系統通常是一個密封的塑料袋，裡面裝有一定比例的水和氧氣，而開放系統則由裝滿水的容器組成，不斷從外部提供氧氣，其中最簡單的是帶有打氣石的水槽 (Berka, 1986; 許等, 1995; Hseu *et al.*, 2000; Sampaio *et al.*, 2016; 張等, 2021)。活魚運輸程序又分為運輸前分級、撈捕、禁食、包裝、運輸中以及運抵後處理等 (Pakhira *et al.*, 2015; Refaey and Li, 2018)，而上述運輸過程的人為處理均會對魚隻造成一定程度的緊迫，尤其是撈捕、不當的運輸密度及水質惡變 (Harmon, 2009;

Santurtun *et al.*, 2018; Lima *et al.*, 2020)，因此，為了降低魚體代謝率，時常利用降溫或在活魚袋內添加麻醉劑來達到此目的 (許等, 1995; Hseu *et al.*, 2000; 張等, 2021)。

四指馬鮫 (*Eleutheronema tetradactylum*) 屬於馬鮫科 (Polynemidae)、四指馬鮫屬 (*Eleutheronema*) 的魚類，為臺灣重要經濟性海水養殖物種。有關其養殖技術已有相當多文獻發表，包含生殖生物學 (Pember *et al.*, 2005; Nesarul *et al.*, 2014; 區等, 2017; Cheng *et al.*, 2017) 及養殖生產管理 (區等, 2017; 邱等, 2022)。有關撈捕及運輸研究已有賴等 (2020) 針對大型稚魚 (15.2 ± 2.9 g、9.7 ± 0.6 cm) 在開放系統中的運輸密度條件進行研究。然而，有關小型魚苗的袋裝運輸研究仍然缺乏，因此有必要針對此一主題進行探討。

在四指馬鮫魚苗運輸前的準備過程中，撈捕魚苗往往造成魚隻驚嚇、緊迫，進而死亡，且魚隻體型越大、死亡率越高，所以業者多選在體型 6 分 (18 - 19 mm) 到 8 分 (24 - 25 mm) 左右的魚苗進行撈捕，是為了提升後續運輸的活存率。然而，此

*通訊作者 / 臺南市七股區三股里海埔 4 號 ; TEL: (06) 788-0461 轉 219; FAX: (06) 788-1597; E-mail: pschiu@mail.tfrin.gov.tw

說法沒有經過實驗證實，多半是憑藉養殖從業人員的經驗而定。Sampaio *et al.* (2016) 認為，魚類的體型與運輸成功與否有關，因為魚隻體型連帶影響運輸密度、袋中水質及運輸時間 (Harmon, 2009; Crosby *et al.*, 2014)。此外，為了有效降低運輸成本，需要提高運輸的裝載率，意即增加包裝密度。然而，若密度過高則可能對魚類健康有害，進而增加死亡率，最終使得養殖收益降低 (Carneiro and Urbinati, 2002; Urbinati *et al.*, 2004)。因此，確認理想的包裝運輸密度、最大限度地降低成本、減輕魚隻緊迫及提升活存率就成為重要課題 (Carneiro and Urbinati, 2002; Sampaio *et al.*, 2016)。

袋裝運輸過程水質的變化也是運輸成功與否的關鍵因素，包括溶氧 (DO)、pH、溫度、鹽度及含氮廢物等參數都顯著影響魚隻的活存率 (Belema *et al.*, 2017; Metar *et al.*, 2018; Espinoza-Ramos *et al.*, 2022)。其中，值得關注的水質因子是 pH 及含氮廢物，在運輸過程袋中的海水 pH 通常會降低，這與魚隻在運輸過程的代謝和產生二氧化碳有關 (Watson *et al.*, 2010)。此外，氨的累積也是導致魚隻死亡的主要原因 (Watson *et al.*, 2010; Barbieri and Bondioli, 2015)。Lim *et al.* (2003) 認為含氮廢物濃度增加與魚隻密度、運輸時間成正比，然而有關四指馬鮫魚苗在袋中運輸過程的 pH 及含氮廢物變化還尚未有研究探討。

綜上所述，為瞭解與建立四指馬鮫魚苗袋裝運輸過程的適宜條件，本研究將探討 (1) 較適合撈捕的魚苗體型；(2) 不同密度對魚苗袋裝運輸的活存率及水質變化，以補足目前仍然缺乏的資訊。

材料與方法

一、實驗動物

本研究已通過實驗動物照護及使用委員會核准進行相關動物實驗 (核准編號 110-IACUC-02)，且無使用瀕危的生物。

二、探討不同體型的魚苗在撈捕後之活存率 (實驗一)

實驗魚苗來自民間養殖場購買的受精卵並自行培育，魚苗培育方法參照邱等 (2022)。進行三批

次育苗並挑選篩分三種尺寸的魚苗進行實驗，分別是 6 分苗 (16.86 ± 1.39 mm, S 體型)、7 分苗 (21.37 ± 3.07 mm, M 體型) 及寸 2 苗 (36.50 ± 4.03 mm, L 體型)。不同體型的魚苗篩分後，依據體型分別移至塑膠箱網 ($3 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$) 內暫養，每個箱網暫養 1,000 尾，密度約 20 尾/ m^3 ，箱網總共有 9 個 (3 組 \times 3 重複)，9 個箱網都放置在一 3,000 噸水池內。蓄養 3 天等待魚苗適應並恢復活力。實驗前 24 hr 禁食，實驗開始時以手撈網在 3 分鐘內從不同箱網中各組撈取 300 尾魚苗分別移至另一組同樣尺寸的箱網內開始觀察，並在 24 hr 後觀察魚隻狀態並計算活存率，公式如下：

$$\text{撈捕後 24 hr 活存率 (\%)} = (\text{剩餘魚苗數量} \div \text{初始魚苗數量}) \times 100$$

三、探討不同包裝密度對魚苗運輸之活存率及水質變化 (實驗二)

根據實驗一活存率最高的結果，選用該體型的魚苗進行本實驗，藉此探討理想的包裝密度及運輸前後的水質變化，實驗方法參照 Hong *et al.* (2019) 並稍做調整。實驗前所有魚隻均禁食 24 hr，接著以 25 L 塑膠魚苗袋，盛裝乾淨海水 6.25 L (33 psu)，每袋分別放入 1,000、2,000 及 3,000 尾魚苗，每袋均充填滿純氧並以橡皮筋封住袋口 (氧氣與水的體積比 = 3:1，參照 Estudillo and Duray (2003)，每組三重複。將包裝袋放入紙箱中，放置於以空調控溫的實驗室中，將溫度維持 24 - 25°C，每小時將紙箱搖動一次，進行 5 hr 的模擬運輸，最後打開包裝袋觀察魚隻狀態以計算活存率，公式如下：

$$\text{運輸 5 hr 後活存率 (\%)} = (\text{運輸後袋中活存魚苗數量} \div \text{運輸前袋中魚苗數量}) \times 100$$

水質分析部分，參考 Estudillo and Duray (2003) 的方法，測量運輸前與運輸後兩個時間點，以手持式多參數水質測定儀 (XT-131M, JAQUA, Taiwan) 直接分析袋中水溫、鹽度及 pH。採樣 500 mL 的袋中水，以桌上型多參數水質儀 (HI83300, Hanna Instruments, USA) 分析 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度。

四、統計分析

所有數據以平均值 \pm 標準差 (mean \pm SD) 表示，以單因子變異數分析 (one-way ANOVA) 及

Tukey's honestly significant difference test 比較不同魚隻體型、不同包裝密度條件下魚隻活存率及水質參數之平均值差異顯著性。以 paired sample t-test 比較運輸前後水質參數差異的顯著性。有關水質參數與包裝密度的關係以簡單線性迴歸 (simple regression) 及皮爾森相關 (Pearson correlation) 進行分析。各項分析之顯著水準 $\alpha=0.05$ ，統計繪圖軟體為 GraphPad Prism 9.0.0 (GraphPad Software)。

結 果

一、不同體型的魚苗在捕撈後之活存率

不同體型 (S、M 及 L) 的魚苗撈捕後，經過 24 hr 的活存率分別為 $69.00 \pm 2.64\%$ 、 $98.33 \pm 1.47\%$ 及 $99.62 \pm 0.64\%$ 。其中體型 M 及 L 的魚苗活存率顯著高於體型 S 的魚苗 ($p < 0.05$)，而體型 M 及 L 之間活存率沒有顯著差異 (Fig. 1)。

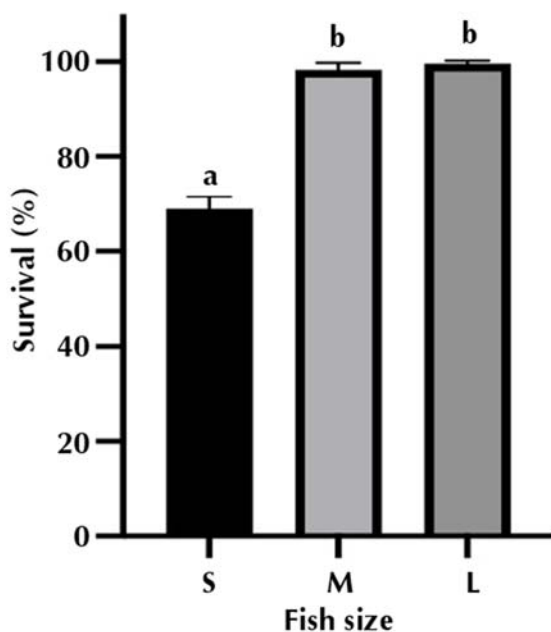


Fig. 1 The survival of *Eleutheronema tetradactylum* juveniles of different sizes at 24 hr after handling. S = small (16.86 ± 1.39 mm); M = medium (21.37 ± 3.07 mm); L = large (36.50 ± 4.03 mm). The different letter above the bar indicates significant difference ($p < 0.05$, $df = 8$).

二、不同包裝密度對魚苗運輸之活存率及水質變化

以上述 M 體型大小之魚苗，進行不同密度的模擬包裝運輸 5 hr 之後，1,000 尾/袋的組別有最高的活存率 ($99.53 \pm 0.20\%$)，顯著 ($p < 0.05$) 高於其他兩組，而 2,000 尾/袋的組別活存率 ($48.18 \pm 7.85\%$) 也顯著 ($p < 0.05$) 高於 3,000 尾/袋的組別 ($6.99 \pm 1.18\%$) (Fig. 2)。運輸前，在不同組別：1,000 尾、2,000 尾及 3,000 尾/袋的水溫分別為 $24.57 \pm 0.25^\circ\text{C}$ 、 $24.47 \pm 0.20^\circ\text{C}$ 及 $24.6 \pm 0.15^\circ\text{C}$ ，鹽度分別為 33.23 ± 0.15 psu、 33.20 ± 0.10 psu 及 33.00 ± 0.10 psu，各組之間與運輸後的溫度 ($24.13 - 24.67^\circ\text{C}$) 及鹽度 ($33.17 - 33.30$ psu) 均沒有顯著差異。

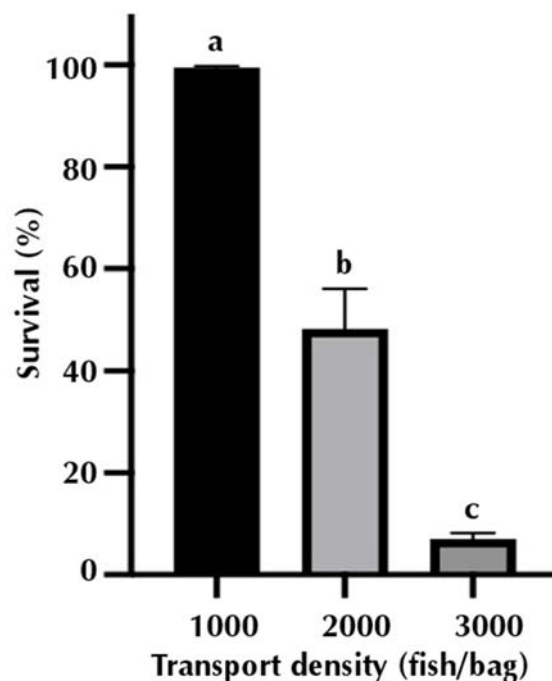


Fig. 2 The survival of *Eleutheronema tetradactylum* juveniles at different packing-densities and 5 hr after simulated transportation. The different letter above the bar indicates significant difference ($p < 0.05$, $df = 8$).

在水質分析方面，運輸前 1,000 尾、2,000 尾及 3,000 尾/袋組之 pH 分別為 8.06 ± 0.01 、 8.03 ± 0.03 及 8.05 ± 0.04 ，經過 5 hr 運輸之後，各組 pH 值分別為 6.58 ± 0.06 、 6.48 ± 0.03 及 6.36 ± 0.02 ，運輸後的 pH 顯著降低 ($p < 0.05$)，且 3,000 尾/袋的 pH 顯著 ($p < 0.05$) 低於 1,000 尾及 2,000 尾/袋的組別 (Fig. 3A)。運輸前 1,000 尾、2,000 尾及 3,000 尾/袋各組 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度均為 0，運輸 5 hr 後分別為 0.09 ± 0.00 mg/L、 0.25 ± 0.02 mg/L 及 0.36 ± 0.04 mg/L，

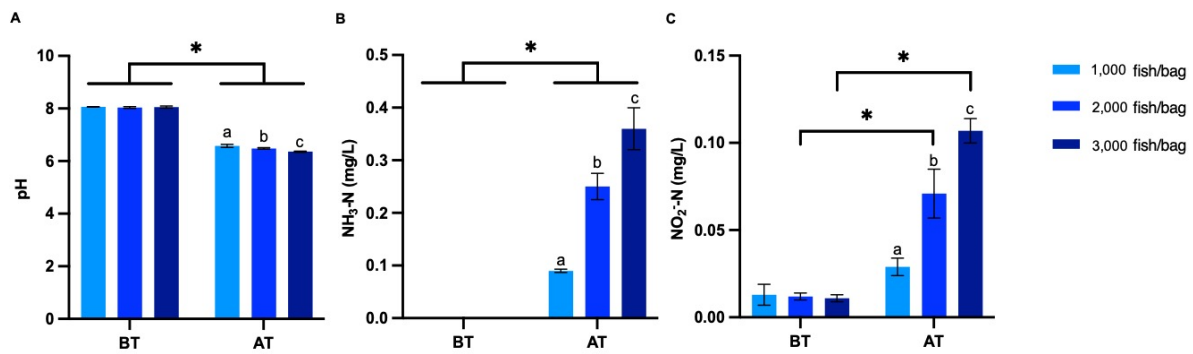


Fig. 3 Variations of pH, $\text{NH}_3\text{-N}$, and $\text{NO}_2\text{-N}$ during the simulated transport experiment under different packing-density conditions. BT = before transportation; AT = after transportation. The asterisks represent significant differences ($p < 0.05$, paired sample t-test) after transportation compared to before transportation. The different letter above the bar indicates significant difference ($p < 0.05$, $df = 8$).

各組在運輸後的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度均顯著升高 ($p < 0.05$)，而以 3,000 尾/袋的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度最高，其次是 2,000 尾/袋，兩組均顯著 ($p < 0.05$) 高於 1,000 尾/袋的組別 (Fig. 3B)。運輸前 1,000 尾、2,000 尾及 3,000 尾/袋各組 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度分別為 0.013 ± 0.006 mg/L、 0.012 ± 0.002 mg/L 及 0.011 ± 0.002 mg/L，運輸後 2,000 尾及 3,000 尾/袋的 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度與運輸前相比均有顯著 ($p < 0.05$) 升高。1,000 尾、2,000 尾及 3,000 尾/袋在運輸後的 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度分別為 0.029 ± 0.005 mg/L、 0.071 ± 0.014 mg/L 及 0.107 ± 0.007 mg/L，3,000 尾/袋顯著 ($p < 0.05$) 高於其他兩組，濃度最低 ($p < 0.05$) 者為 1,000 尾/袋 (Fig. 3C)。

將 pH、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度與包裝密度以簡單線性迴歸及皮爾森相關進行分析，結果顯示包裝密度與 pH 的迴歸方程式為 $Y = -0.00011X + 6.698$ ， $R^2 = 0.860$ ，相關係數 $r = -0.927$ ，呈現顯著 ($p < 0.05$) 負相關，代表包裝密度越高，運輸後水中 pH 也越低 (Fig. 4A)。包裝密度與 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度的迴歸方程式為 $Y = 0.000137X - 0.036$ ， $R^2 = 0.950$ ，相關係數 $r = 0.974$ ，呈現顯著 ($p < 0.05$) 正相關，代表包裝密度越高，運輸後水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度也越高 (Fig. 4B)。包裝密度與 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度的迴歸方程式為 $Y = 0.000039X - 0.008$ ， $R^2 = 0.937$ ，相關係數 $r = 0.968$ ，呈現顯著 ($p < 0.05$) 正相關，代表包裝密度越高，運輸後水中 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度也越高 (Fig. 4C)。

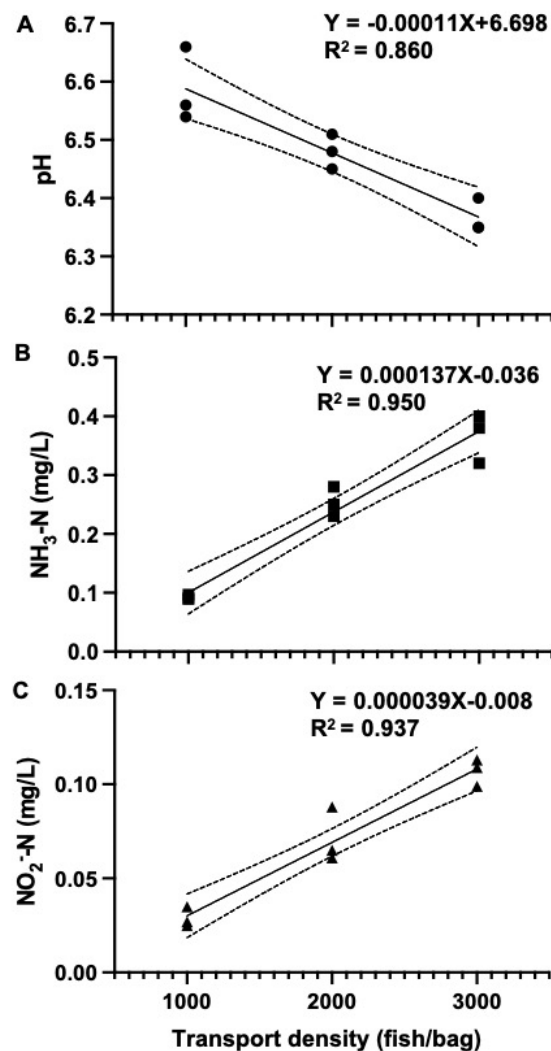


Fig. 4 Simple regression and Pearson correlation analysis between transport packing density and water quality. A: pH; B: $\text{NH}_3\text{-N}$; C: $\text{NO}_2\text{-N}$. Dashed lines represent the 95% confidence intervals.

討 論

眾所周知，撈捕會造成養殖魚類明顯的緊迫 (Acerete *et al.*, 2004; Barcellos *et al.*, 2006)，當緊迫程度超過魚類生理可調節的範圍即會造成死亡 (Urbinati *et al.*, 2003)。賴等 (2020) 發現四指馬鮫大型魚苗 (15.2 ± 2.9 g, 9.7 ± 0.6 cm) 在撈捕後會因為緊迫而有皮質醇 (plasma cortisol) 濃度上升的現象，但沒有描述撈捕過後魚隻的活存率。本研究首次探討不同體型四指馬鮫小型魚苗 (16 - 36 mm) 在撈捕後的活存情形，確認了體型介於 20 - 40 mm 的魚苗在撈捕後 24 hr 仍有超過 90% 的活存率，而小於 20 mm 的魚苗則在撈捕後發生約 30% 的死亡率，可解釋產業界多挑選體型 6 分到 8 分 (18 - 25 mm) 的魚苗進行撈捕的原因。由實驗一結果可看出四指馬鮫魚苗成長至 20 mm 以上 (組別 M 及 L)，對於抗緊迫的能力有顯著提升，未來可進一步從血液學或基因表現的層次來解釋這個變化。Barcellos *et al.* (2012) 指出，不同年齡的魚隻會表現出不同的抗緊迫與調節反應，因此，養殖從業人員應在特定養殖階段 (如魚苗撈捕與運輸時) 考慮這點，因為魚隻體型不同，對於人為操作後的反應也會有差異。相反的，Hemre and Krogdahl (1996) 則發現不同體型 (0.5 及 3 kg) 的大西洋鮭魚 (*Salmo salar*) 在撈捕運送後的血液生化參數變化沒有顯著差異，這可能是因為種別差異或者該研究魚隻的實驗體型較大所致。根據實驗一結果，組別 M 及 L 在撈捕後活存率沒有顯著差異，但一般來說單位水體中魚苗體型越小，可裝載運輸的數量較多，較符合實際上的經濟效益，因此選擇體型 M 的魚苗進行實驗二。

目前已有許多關於海水魚苗運輸的研究 (Table 1)，針對不同魚種，其運輸體型也不同，可發現 Table 1 所列運輸魚隻體長介於 1.47 - 9.70 cm，體重介於 0.12 - 15.2 g，而體型也影響包裝運輸的密度。在不同的研究中，運輸密度表示的方式存在差異，例如以單位水體內的魚隻重量表示 (Pavlidis *et al.*, 2003; Treasurer, 2010; 張等, 2014; Hong *et al.*, 2019; 賴等, 2020; Espinoza-Ramos *et al.*, 2022) 或與本研究一樣，以單位水體內的魚隻數量表示 (Ayson *et al.*, 1990; Estudillo and Duray, 2003; Xavier *et al.*, 2018)，適合運輸的密度具有明顯的種

別特異性，需根據不同魚種分別進行實驗探討。與先前同樣進行四指馬鮫運輸的研究 (賴等, 2020) 相比，本研究使用的魚苗體型較小，且使用塑料袋包裝進行模擬運輸，與賴等 (2020) 的研究使用塑膠桶放置車上運輸的方式不同。目前袋裝運輸是產業界運送受精卵或小型魚苗常使用的方式 (Loka and Philipose, 2012)，本研究得出的實驗參數可提供產業界做參考。在運輸時間方面，本研究模擬運輸 5 hr，而從臺灣南部到北部也約為 5 hr 車程。在先前的研究中，點帶石斑 (*Epinephelus coioides*) 魚苗的模擬運輸採用 6 hr (Xavier *et al.*, 2018)，與本研究設定的時間相近。其它臺灣常見的海水魚種如石斑 (*Epinephelus* sp.) (Estudillo and Duray, 2003)、星斑臭肚魚 (*Siganus guttatus*) (Ayson *et al.*, 1990) 及黃臘鯔 (*Trachinotus ovatus*) (Hong *et al.*, 2019) 運輸時間都在 8 hr，大西洋鱈 (*Gadus morhua*) (Treasurer, 2010)、嘉鱻 (*Pagrus pagrus*) (Pavlidis *et al.*, 2003) 及海鱸 (*Rachycentron canadum*) (Stieglitz *et al.*, 2012) 則較長，為 24 - 48 hr，運輸時間的長短取決於物種特性、運送地點及水溫。

本研究發現包裝密度顯著影響四指馬鮫魚苗的活存率，當包裝密度越高、運送後的活存率越低，在星斑臭肚魚 (Ayson *et al.*, 1990) 及石斑魚 (Estudillo and Duray, 2003) 及大黃魚 (*Larimichthys crocea*) (張等, 2014) 的模擬運輸實驗中也觀察到同樣的現象。相反的，點帶石斑在較高包裝密度下沒有造成任何魚隻死亡，但在緊迫相關生化參數表現上高於低密度的組別 (Xavier *et al.*, 2018)，而黃臘鯔在不同包裝密度下生理與血液中與緊迫相關的參數並沒有顯著差異，因此根據實驗結果可選擇較高的運輸密度 (Hong *et al.*, 2019)，不會影響魚隻活存。除了以活存率作為指標，配合其他生化或分子層次的生理指標來綜合判斷，對於精確的定出最適合運輸的條件有一定助益，因此未來應進一步探討。

許多水質因子影響活魚運輸時的魚隻健康、緊迫及活存，例如二氧化碳、氨 (NH_3 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及 NH_4^+)、溶氧及 pH (Pavlidis *et al.*, 2003; Harmon, 2009; Portz *et al.*, 2006; Treasurer, 2010; 張等, 2021)。在魚隻運輸過程中，水中 pH 會隨著時間的推移顯著降低，而氨氮濃度則會增加 (Bui *et al.*,

Table 1 Comparison of commercial marine fish transport parameters and optimum transport conditions

Species	Fish size	Experimental density	Transport time (hr)	Temperature (°C)	Optimum transport conditions	Reference
<i>Anisotremus scapularis</i>	6.48 ± 0.43 cm 3.53 ± 0.73 g	21.18 ± 4.38, 31.77 ± 6.57, and 42.36 ± 8.76 kg/m ³	8-12	16.87-17.67	31.77 ± 6.57 kg/m ³ 8-10 h	Espinoza-Ramos <i>et al.</i> , 2022
<i>Epinephelus coioides</i>	6.0 ± 0.2 cm 3.0 ± 0.2 g	20, 30, 40, and 50 fish/L	6	28.5-34.5	< 50 fish/L	Xavier <i>et al.</i> , 2018
<i>Epinephelus</i> sp.	1.47-2.81 cm	50, 100, and 200 larvae/L	8	23, 28	50 larvae/L 2.81 cm	Estudillo and Duray, 2003
<i>Eleutheronema tetradactylum</i>	9.7 ± 0.6 cm 15.2 ± 2.9 g	50, 70, and 90 g/L	1	27.9	50 and 90 g/L ^{PB}	Lai <i>et al.</i> , 2020
<i>E. tetradactylum</i>	1.68-3.65 cm	160, 320, and 480 fish/L	5	24-25	21.37 mm 160 fish/L	The present study
<i>Gadus morhua</i>	12 ± 1 g	10, 20, and 30 kg/m ³	24	11-11.4	30 kg/m ^{3T}	Treasurer, 2010
<i>Pagrus pagrus</i>	5.22 ± 1.09 g	10, 20, 30, and 40 kg/m ³	48	14, 19, 24	20-25 kg/m ^{3C}	Pavlidis <i>et al.</i> , 2003
<i>Rachycentron canadum</i>	7.33 ± 1.01 cm 1.65 ± 0.7 g	5, 10, 15, and 20 kg/m ³	24	19.28 ± 0.72	20 kg/m ³	Stieglitz <i>et al.</i> , 2012
<i>Siganus guttatus</i>	2.1 ± 0.11 cm	100, 200, 300, and 400 fish/L	8	28	100 fish/L 8 h 300 fish/L 2 h 200 fish/L 4 h	Ayson <i>et al.</i> , 1990
<i>Trachinotus ovatus</i>	5.86 ± 0.51 cm 3.38 ± 0.36 g	27, 54, and 81 kg/m ³	8	26	81 kg/m ³	Hong <i>et al.</i> , 2019
<i>Larimichthys crocea</i>	0.12 ± 0.03 g	2, 4, and 8 g/L	10	16.5	< 8 g/L	Zhang <i>et al.</i> , 2014

PB: plastic buckets; T: tanks; C: containers

2013; Zeppenfeld *et al.*, 2014; Salbego *et al.*, 2015)。本研究發現不論包裝密度為何，袋中水的 pH 都在模擬運輸 5 hr 後降低，而 NH₃-N 濃度升高，與 Hong *et al.* (2019) 進行黃鰺的包裝運輸實驗結果相似，運輸後的 NH₃-N 濃度顯著高於運輸前，且隨包裝密度增加，NH₃-N 濃度也逐漸增加。此外，在 Espinoza-Ramos *et al.* (2022) 進行肩板異孔石鱸 (*Anisotremus scapularis*) 的包裝運輸實驗，不論運輸時間為 8、10 或 12 hr，高密度組的氨濃度 (NH₃-N、NH₃ 及 NH₄) 都顯著高於低密度組，而運輸 8 - 10 hr 後高密度組 pH 均顯著低於低密度組。由於運輸過程中魚隻可能因為緊迫導致呼吸頻率提高，進而產生更多 CO₂ 造成 pH 降低 (Paterson *et al.*, 2003; Singh *et al.*, 2004)，同時也在運輸過程中因為代謝增加而排出更多的非離子氨 (un-ionized ammonia) (Dan and Yong, 2012; Hong *et al.*, 2019)，這可解釋本研究檢測到 pH 降

低及 NH₃-N 濃度升高的原因，而 NH₃-N 濃度升高會導致魚隻活存率降低 (Loka and Philipose, 2012)，這也反映在本研究結果中。此外，NO₂⁻-N 濃度增加的趨勢與 NH₃-N 相同，然而，早期的研究指出與淡水魚相比，海水魚對 NO₂⁻-N 具有較強的耐受性 (Brownell, 1980)，某些海水魚甚至能夠忍受高於 30 ppm 的濃度 (Atwood *et al.*, 2004)，本研究檢測到最高密度組的 NO₂⁻-N 濃度仍不超過 0.5 ppm (mg/L)，可推斷對於四指馬鮫魚苗的影響並不明顯，這也是為什麼大部分海水魚苗運輸密度實驗僅檢測氨作為水質指標，而非 NO₂⁻-N (Pavlidis *et al.*, 2003; Treasurer, 2010; Hong *et al.*, 2019; Espinoza-Ramos *et al.*, 2022)。

透過簡單線性迴歸與皮爾森相關分析，我們得知 pH 及 NH₃-N 濃度與包裝密度之間，分別呈現負相關與正相關，這與 Espinoza-Ramos *et al.* (2022) 的實驗結果相似。Timmons *et al.* (2002) 認

為海水魚對 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度耐受性較低，不宜超過 0.05 mg/L 。然而，本研究在最低密度的組合 (1,000 尾/袋) 之 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度都已達 0.1 mg/L ，若運輸時間過長可能對魚苗造成負面影響。雖然在此條件下，魚苗的活存率高達 $99.53 \pm 0.20\%$ ，但日後仍須透過如降溫、添加麻醉劑等方式降低魚隻代謝速率，進而降低因 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度累積造成魚苗後續的損傷。綜合本研究結果，以目前的實驗條件來說，進行四指馬鮫魚苗運輸之撈捕操作時，其體型至少需達 20 mm ，包裝密度為 1,000 尾/袋，運輸時間以不超過 5 hr 為宜。

參考文獻

- 邱沛盛, 朱永桐, 張哲誠, 葉信利 (2022) 四指馬鮫的仔稚魚發育及不同養殖密度對稚魚育成表現之影響. 水產研究, 30(1): 45-57.
- 區又君, 謝木嬌, 李加兒, 溫久福, 周慧, 劉奇奇 (2017) 廣東池塘培育四指馬鮫親魚初次性成熟和苗種規模化繁育技術研究. 南方水產科學, 13: 97-104.
- 張坤, 劉書城, 范秀萍, 魏帥, 孫欽秀, 夏秋瑜, 吉宏武, 郝記明, 鄧楚津 (2021) 魚類保活運輸策略與關鍵技術研究. 廣東海洋大學學報, 41(5): 137-144.
- 張偉, 王有基, 李偉明, 呂為群 (2014) 運輸密度和鹽度對大黃魚幼魚皮質醇、糖元及乳酸含量的影響. 水產學報, 38(7): 973-980.
- 許晉榮, 葉信利, 朱永桐, 丁雲源 (1995) 添加 2-phenoxyethanol 在黑鯛輸送過程的效果. 水產研究, 3(1): 11-18.
- 賴哲翊, 郭錦朱, 林如謙, 張博淵, 周瑞良, 吳豐成 (2020) 捕撈及運輸對四絲馬鮫緊迫之影響. 水產研究, 28(2): 71-79.
- Acerete, L., J. C. Balasch, E. Espinosa, A. Josa and L. Tort (2004) Physiological responses in Eurasian perch (*Perca fluviatilis* L.) subjected to stress by transport and handling. Aquaculture, 237: 167-178.
- Atwood, H. L., S. P. Young, J. R. Tomasso and T. I. J., Smith (2004) Resistance of cobia *Rachycentron canadum*, juveniles to low salinity, low temperature, and high environmental nitrite concentrations. J. Appl. Aquac., 15: 191-195.
- Ayson, F. G., M. M. Parazo and D. M. Reyes Jr (1990) Survival of young rabbitfish (*Siganus guttatus* Bloch) under simulated transport conditions. J. Appl. Ichthyol., 6: 161-166.
- Barbieri, E. and A. C. V. Bondioli (2015) Acute toxicity of ammonia in Pacu fish (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg, 1887) at different temperatures levels. Aquac. Res., 46: 565-571.
- Barcellos, L., L. Kreutz and R. Quevedo (2006) Previous chronic stress does not alter the cortisol response to an additional acute stressor in jundiá (*Rhamdia quelen* Quoy and Gaimard) fingerlings. Aquaculture, 253: 317-321.
- Barcellos, L. J. G., L. C. Kreutz, G. Koakoski, T. A. Oliveira, J. G. S. da Rosa and M. Fagundes (2012) Fish age, instead of weight and size, as a determining factor for time course differences in cortisol response to stress. Physiol. Behav., 107: 397-400.
- Belema, M., K. O. Idowu, K. D. Aghogho, A. Ndubuisi, A. Oluwakemi and U. Stella (2017) Handling and packaging of ornamental fishes for successful transportation. J. Fish. Aquat. Sci., 5: 263-265.
- Berka, R. (1986) The transport of live fish: a review (Vol. 48). FAO, Rome, Italy, 52 pp.
- Brownell, C. L. (1980) Water quality requirements for first-feeding in marine fish larvae. I. Ammonia, nitrite, and nitrate. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 44: 269-283.
- Bui, T. M., N. T. Phuong, G. H. Nguyen and S.S.D. Silva (2013) Fry and fingerling transportation in the striped catfish, *Pangasianodon hypophthalmus*, farming sector, mekong delta, Vietnam: a pivotal link in the production chain. Aquaculture, 388: 70-75.
- Carneiro, P. C. F. and E. C. Urbinati (2002) Transport stress in matrinxã, *Brycon cephalus* (Teleostei: Characidae), at different densities. Aquac. Int., 10: 221-229.
- Cheng, A. C., P. C. Liu, T. S. Chin, S. B. Wang and C. H. Liu (2017) Growth and reproductive biology of the four finger threadfin, *Eleutheronema tetradactylum* (Shaw), in an aquaculture pond, Pingtung, Taiwan. J. Fish. Soc. Taiwan, 44: 23-35.
- Crosby, T. C., J. E. Hill, C. V. Martinez, C. A. Watson, D. B. Pouder and R. P. E. Yanong (2014) On-farm transport of ornamental fish. UF/IFAS Extension, 119: 1-7.
- Dan, Z. and J. L. Yong (2012) Technology of reducing ammonia-nitrogen discharged by fish in water. Fish. Sci. Prog., 33: 107-112.
- Espinoza - Ramos, L. A., R. Pepe - Victoriano, J. I. Huanacuni and M. Nande (2022) Effect of transportation time and stocking density on seawater quality and survival of *Anisotremus*

- scapularis* (Perciformes: Haemulidae). J. World Aquac. Soc., 53: 1042-1050.
- Estudillo, C. B. and M. N. Duray (2003) Transport of hatchery-reared and wild grouper larvae, *Epinephelus* sp. Aquaculture, 219: 279-290.
- Harmon, T. S. (2009) Methods for reducing stressors and maintaining water quality associated with live fish transport in tanks: a review of the basics. Rev. Aquac. 1: 58-66.
- Hemre, G. I. and Å. Krogdahl (1996) Effect of handling and fish size on secondary changes in carbohydrate metabolism in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. Aquac. Nutr., 2: 249-252.
- Hong, J., X. Chen, S. Liu, Z. Fu, M. Han, Y. Wang, Z. Gu and Z. Ma (2019) Impact of fish density on water quality and physiological response of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) fingerlings during transportation. Aquaculture, 507: 260-265.
- Hseu, J. R., Y. T. Chu, S. L. Yeh and Y. Y. Ting (2000) Application of 2-phenoxyethanol in live transportation of sea bass, *Lates calcarifer*. J. Fish. Soc. Taiwan, 27(1): 59-62.
- Koolhaas, J. M., A. Bartolomucci, G. Flügge, S. M. Korte, R. Murison and B. Olivier (2011) Stress revisited: a critical evaluation of the stress concept. Neurosci. Biobehav. Rev., 35: 1291-1301.
- Lim, L. C., P. Dhert and P. Sorgeloos (2003) Recent developments and improvements in ornamental fish packaging systems for air transport. Aquac. Res., 34: 923-935.
- Lima, A. F., H. B. D. Oliveira, A. S. Pereira and S. S. Sakamoto (2020) Effect of density of fingerling and juvenile pirarucu during transportation on water quality and physiological parameters. Acta Amazon., 50: 223-231.
- Loka, J. and K. K. Philipose (2012) Transportation of fingerlings and juveniles of marine finfish. In Handbook on Opensea Cage Culture (K. K. Philipose, J. Loka, S. R. Krupesha Sharma and D. Damodaran eds.), Central Marine Fisheries Research Institute, Karwar, 77-83.
- Metar, S., N. Chogale, K. Shinde, S. Satam, V. Sadawarte, A. Sawant, V. Nirmale, A. Pagarkar and H. Singh (2018) Transportation of live marine ornamental fish. Adv. Agric. Res. Technol. J., 2: 206-208.
- Nesarul, H. M., M. K. Abu Hena, A. S. M. Saifullah and M. H. Idris (2014) Breeding biology of *Eleutheronema tetradactylum* (Shaw, 1804) from the bay of Bengal, Indian Ocean. World Appl. Sci. J., 30: 240-244.
- Pakhira, C., T. S. Nagesh, T. J. Abraham, G. Dash and S. Behera (2015) Stress responses in rohu, *Labeo rohita* transported at different densities. Aquac. Rep., 2: 39-45.
- Paterson, B. D., M. A. Rimmer, G. M. Meikle and G. L. Semmens (2003) Physiological responses of the Asian sea bass, *Lates calcarifer* to water quality deterioration during simulated live transport: acidosis, red-cell swelling, and levels of ions and ammonia in the plasma. Aquaculture, 218: 717-728.
- Pavlidis, M., L. Angellotti, N. Papandroulakis and P. Divanach (2003) Evaluation of transportation procedures on water quality and fry performance in red porgy (*Pagrus pagrus*) fry. Aquaculture, 218: 187-202.
- Pember, M. B., S. J. Newman, S. A. Hesp, G. C. Young, C. L. Skepper and N. G. Hall (2005) Biological parameters for managing the fisheries for blue and king threadfins, estuary rockcod, malabar grouper and mangrove jack in north-western Australia. Report to FRDC on Project No. 2002/003, Murdoch, Australia, 172 pp.
- Piper, R. G., I. B. McElwain, L. E. Orme, J. P. McCraren, L. C. Fowler and J. R. Leonard (1982) Fish hatchery management. U.S. Dept. of the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington, D.C., U.S.A., 517 pp.
- Portz, D. E., C. M. Woodley and J. J. Cech (2006) Stress-associated impacts of short-term holding on fishes. Rev. Fish Biol. Fish., 16: 125-170.
- Refaey, M. M. and D. Li (2018) Transport stress changes blood biochemistry, antioxidant defense system, and hepatic HSPs mRNA expressions of channel catfish *Ictalurus punctatus*. Front. Psychol. 9: 1628.
- Salbego, J., A. G. Becker, T. V. Parodi, C. C. Zeppenfeld, J. F. Gonçalves and V. L. Loro (2015) Methanolic extract of *Condalia buxifolia* added to transport water alters biochemical parameters of the silver catfish *Rhamdia quelen*. Aquaculture, 437: 46-50.
- Sampaio, F. D. and C. A. Freire (2016) An overview of stress physiology of fish transport: changes in water quality as a function of transport duration. Fish Fish., 17: 1055-1072.
- Santurtun, E., D. M. Broom and C. J. C. Phillips (2018) A review of factors affecting the welfare of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Anim. Welf., 27: 193-204.
- Singh, R. K., V. R. Vartak, A. K. Balange and M. M. Ghughuskar (2004) Water quality management during

- transportation of fry of Indian major carps, *Catla catla* (Hamilton), *Labeo rohita* (Hamilton) and *Cirrhinus mrigala* (Hamilton). *Aquaculture*, 235: 297-302.
- Stieglitz, J. D., D. D. Benetti and J. E. Serafy (2012) Optimizing transport of live juvenile cobia (*Rachycentron canadum*): effects of salinity and shipping biomass. *Aquaculture*, 364: 293-297.
- Timmons, M. B., J. M. Ebeling, F. W. Wheaton, S. T. Summerfelt and B. J. Vinci (2002) *Recirculating Aquaculture Systems*, 2nd Edition. Cayuga Aqua Ventures, New York, U.S.A., 76 pp.
- Treasurer, J. W. (2010) Remediation of ammonia accumulation during live transport of juvenile cod, *Gadus morhua* L., and the effects of fast period on ammonia levels and water quality. *Aquaculture*, 308: 190-195.
- Watson, C., K. H. Kilgore and C. Martinez (2010) Shipping fish in boxes. *SRAC*, 3903: 1-9.
- Urbinati, E. C., S. A. Janessa, A. C. S. Camargo and M. A. L. Parra (2003) Loading transport stress of juvenile matrinxã (*Brycon cephalus*, Charidae) at various densities. *Aquaculture*, 229: 389-400.
- Xavier, B., S. Megarajan, R. Ranjan, P. Shiva, B. Dash and S. Ghosh (2018) Effect of packing density on selected tissue biochemical parameters of hatchery produced fingerlings of orange spotted grouper *Epinephelus coioides* (Hamilton, 1822) during transportaion. *Indian J. Fish.*, 65: 138-143.
- Zeppenfeld, C. C., C. Toni, A. G. Becker, D. D. S. Miron, T. V. Parodi, B. M. Heinzmann, L. J. G. Barcellos, G. Koakoski, J. G. S. D. Rosa, V. L. Loro, M. A. D. Cunha and B. Baldisserotto (2014) Physiological and biochemical responses of silver catfish, *Rhamdia quelen*, after transport in water with essential oil of *Aloysia triphylla* (L'herit) britton. *Aquaculture*, 418-419: 101-107.

Live-bag Transportation of Juvenile Fourfinger Threadfin (*Eleutheronema tetradactylum*): an Investigation of Handling Size, Packing Density, and Water-quality Variation

Pei-Sheng Chiu*, Yeong-Torng Chu, Ting-Jeng Chang, Jian-Wei Huang, Che-Cheng Chang, and Jinn-Rong Hseu

Mariculture Research Center, Fisheries Research Institute

ABSTRACT

Live-fish transportation is an essential feature of aquaculture. However, during the transportation process, factors such as fish size, packing density, and variations in water quality can impact fish survival. The fourfinger threadfin (*Eleutheronema tetradactylum*) is an important economic marine fish in Taiwan. To date, adequate information about optimal practices for the transportation of fourfinger threadfin is still limited. To establish the appropriate conditions for live transportation of juvenile fish, the present study investigated (1) the suitable handling size of juveniles, and (2) the survival of juveniles and the variation of water quality at different packing-densities. The results showed that the survival of juveniles of different sizes ($S = 16.86 \pm 1.39$, $M = 21.37 \pm 3.07$, and $L = 36.50 \pm 4.03$ mm) was significantly higher in M and L sizes than that in S size at 24 hr after handling. We subsequently investigated the survival rate and water qualities of M size fish in 3 packing densities (1,000, 2,000, and 3,000 fish/bag; water volume per bag = 6.25 L) after 5 hr of simulated transportation. The highest survival rate ($99.53 \pm 0.20\%$) was observed with a density of 1000 fish/bag. The analysis of water quality parameters showed that pH decreased with density; in contrast, $\text{NH}_3\text{-N}$ and $\text{NO}_2\text{-N}$ increased with density, and the deterioration of water quality was significantly higher in the 3,000 fish/bag per bag than that in the other two groups. To summarize, we recommend that juveniles should be at least 20 mm in size, transported in a packing density of 1,000 fish/bag, and with transport time no longer than 5 hr.

Key words: *Eleutheronema tetradactylum*, live-fish transportation, handling size, packing density

*Correspondence: 4, Haipu, Sangu, Qigu Dist., Tainan, Taiwan. TEL: (06)7880461 ext. 219; E-mail: pschiu@mail.tfrin.gov.tw