

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

邱沛盛* · 朱永桐 · 張哲誠 · 葉信利

行政院農業委員會水產試驗所海水繁養殖研究中心

摘 要

四指馬鮫 (*Eleutheronema tetradactylum*) 分布於印度-西太平洋區，包括印度至東南亞沿海，北至菲律賓，南至巴布亞紐幾內亞及澳洲北部沿海，為臺灣重要的海水養殖魚類，具有高經濟價值。我們的結果顯示，剛孵化仔魚體全長 1.29 ± 0.02 mm，肌節數為 10 - 12 + 17 - 18；孵化後第 4 天仔魚，體全長 2.70 ± 0.02 mm，已可開口攝食餌料生物；孵化後第 21 天仔魚，體全長 15.10 ± 0.64 mm，各鰭條數發育與成魚相同，進入稚魚期。四指馬鮫仔稚魚孵化後至第 41 天，體全長之二次函數回歸公式為 $Y = 0.740 + 0.399X + 0.013X^2$ ，其中 Y 為體全長，X 為孵化後天數，可解釋 99.4% 的成長變化情形 ($R^2 = 0.994$, $n = 304$)。本研究將稚魚 (標準體長 3.37 ± 0.07 cm、體重 0.43 ± 0.01 g) 分成三組不同的養殖密度: A 組 (500 fish/m³)、B 組 (1000 fish/m³) 及 C 組 (2000 fish/m³) 進行 30 天的飼養實驗，結果顯示所有成長參數及體型差異度在三組間沒有顯著差異，但 C 組可得到最高的存活率 ($61.67 \pm 5.83\%$) 及最低的殘食率 ($34.16 \pm 4.16\%$)。

關鍵詞：四指馬鮫、仔稚魚發育、養殖密度、成長及活存、殘食

前 言

四指馬鮫 (*Eleutheronema tetradactylum*) 英文俗名為 Fourfinger threadfin，分類上屬於鱸形目 (Perciformes)、馬鮫科 (Polynemidae)、四指馬鮫屬 (*Eleutheronema*)，主要分布於印度 - 西太平洋區海域，包括印度至東南亞各沿海，北至菲律賓，南至巴布亞紐幾內亞、澳洲北部等沿海 (Froese and Pauly, 2021)，棲息於近岸、河口砂泥底質水域，也有進入河川的紀錄 (Menon and Babun Rao, 1984; Kailola *et al.*, 1993; Yamada *et al.*, 1995)。四指馬鮫最早在新加坡繁殖成功 (Chao *et al.*, 1994)，隨後被引進臺灣，進而成為主要生產國，2018 年捕撈與養殖產量約佔全球的 49%，其中 97% 為養殖生產，目前平均產量已逾 1.2 萬公噸，產值超過 20 億 (詹, 2020)，為臺灣重要的海水經濟性養殖魚類。

有關四指馬鮫的研究近幾年已有相當多文獻描述，包含生物學 (Bibby and McPherson, 1997; Pember *et al.*, 2005; Horne *et al.*, 2011)、生殖生物學 (Pember *et al.*, 2005; Nesarul *et al.*, 2014; Cheng *et al.*, 2017; 區等, 2017; 藍等, 2020a)、遺傳多樣性 (Zhang *et al.*, 2014; Khaledi *et al.*, 2012; Kuo *et al.*, 2018)、胚胎、消化道黏液細胞與淋巴器官發育 (謝等, 2015, 2016, 2017; 牛等, 2020; 藍等, 2020b)、環境因子對生理之影響 (羅等, 2015; 劉等, 2017; 區等, 2018; 周等, 2019; 賴等, 2020) 及養殖生產管理 (區等, 2017)。四指馬鮫的仔稚魚發育已由 Kowtal (1972) 及油等 (2014) 描述，然而我們發現 Kowtal (1972) 僅描述至脊索末端上屈後仔魚期 (postflexion larval stage)，而在油等 (2014) 的研究中則缺乏剛孵化仔魚、脊索末端上屈後仔魚至稚魚期過程中的形態證據。因此，至今為止有關四指馬鮫仔稚魚的發育資料仍不完整，有必要在本研究中予以補充，完整的仔稚魚形態發育的詳細記錄有助於改善後續的種苗生產技術。

Ebrahimi *et al.* (2010) 及 Chavez *et al.* (2011) 指出，養殖密度會影響魚隻的成長與活存。過高的

*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

養殖密度會降低魚隻的成長表現，如祕魯笛鯛 (*Lutjanus peru*) (Castillo-Vargasmachuca *et al.*, 2012)、尖翅燕魚 (*Platax teira*) (Chiu *et al.*, 2020) 及卵形鯧鯨 (*Trachinotus ovatus*) (Yang *et al.*, 2020)，此外也有部分報告發現提高養殖密度可提升某些魚類的成長，如日本銀身鯧 (*Argyrosomus japonicus*) (Pirozzi *et al.*, 2009) 及點帶石斑魚 (*Epinephelus coioides*) (Samad *et al.*, 2014)。

魚隻存活率也受養殖密度影響，如大菱鯃 (*Scophthalmus maximus*) (Aksungur *et al.*, 2007)、布氏鯧鯨 (*Trachinotus blochii*) (Chavez *et al.*, 2011) 飼養在較高密度下，則存活率降低，但祕魯笛鯛的存活率卻不受養殖密度影響 (Castillo-Vargasmachuca *et al.*, 2012)。

Hecht and Pienaar (1993) 認為養殖環境中魚隻互相攻擊及殘食行為也受到養殖密度影響。在部分魚種的養殖過程提高密度可以減少魚隻互相殘食的機率 (Hecht and Pienaar, 1993; Baras and Jobling, 2002)，如五條鰺 (*Seriola quinqueradiata*) (Sakakura and Tsukamoto, 2007) 及高體鰺 (*Seriola dumerili*) (Miki *et al.*, 2011)，但在小鋸蓋魚 (*Centropomus parallelus*) (Corrêa and Cerqueira, 2007) 的養殖試驗中則發現密度越高殘食情形越嚴重。

養殖密度也會影響魚隻最後收成時的體型差異度。在尖翅燕魚稚魚的培育試驗中，養殖密度越高則體型差異度越低，魚隻收成規格越均一 (Chiu *et al.*, 2020)，而在大菱鯃的例子，增加密度則會造成體型差異增加 (Irwin *et al.*, 1999)，也有部分研究發現密度對收成後魚隻體型差異沒有顯著影響 (Corrêa and Cerqueira, 2007; Hans *et al.*, 2020)。雖然過去針對許多經濟性魚類的養殖密度有不少研究探討，但我們仍難以確定每一種魚類的最適養殖密度，因為魚種、日齡、生活史階段及養殖環境差異都會產生不同的結果 (Jørgensen *et al.*, 1993; Greaves and Tuene, 2001; Ellis *et al.*, 2002)，目前有關四指馬鮫稚魚在不同養殖密度下的成長、活存、殘食及體型差異度還尚未有文獻進行探討。

本研究目的為完整描述四指馬鮫仔稚魚的發育情形，補充先前文獻缺失部分，並探討四指馬鮫稚魚飼養在不同密度條件下對育成表現之影響，期望能提供四指馬鮫養殖管理有用的參考資訊。

材料與方法

一、餌料生物培養與實驗使用的飼料

仔稚魚培育用的輪蟲 (*Brachionus* sp., size 150 - 250 μm) 及橈足類 (*Apocyclops royi*, size 110 - 1,000 μm) 分別以 600 m^3 (20 m \times 20 m \times 1.5 m) 及 3,000 m^3 (50 m \times 40 m \times 1.5 m) 室外土池進行大量培養，每週添加一次光合菌 (*Rhodovulum sulfidophilum*) 進行培育與滋養，依照餌料生物的成長情形調整菌液添加量 (約 2,000 - 6,000 L/日)。以沉水馬達配合浮游生物網收集每日所需的輪蟲 (收集網目: 60 μm) 及橈足類 (收集網目: 120 μm)，投餵前以乾淨海水清洗備用。本研究使用中和牌浮水性幼鰻飼料 (粗蛋白質 46%、粗脂肪 3%)，配合魚苗成長口徑磨成適合的大小投餵。

二、仔稚魚培育與發育觀察

四指馬鮫受精卵購買自屏東民間養殖場，採用 800 m^3 的室內水泥池進行仔稚魚飼育，採自然光照，水溫範圍為 24.3 - 30.5 $^{\circ}\text{C}$ 、鹽度範圍為 33.0 - 36.6 psu、水質管理情形及餌料投餵次序如 Fig. 1。每日採樣 5 - 10 尾魚苗，觀察前以 MS-222 (Sigma, St Louis, MO, USA) 20 mg/L 麻醉，再以解剖顯微鏡 (Olympus SZH10) 觀察並拍照記錄，測量體全長 (total length, TL) 及口徑 (gape height, GH)。GH 的計算公式 (Shirota, 1970) 如下：

$$\text{GH} = \sqrt{\text{UJL}^2 + \text{LJL}^2}$$

UJL (upper jaw length): 上顎長; LJL (lower jaw length): 下顎長

觀察完後以 7% 中性福馬林固定 2 天，再置換成 70% 酒精中永久保存，以供日後分析研究用。仔稚魚形態學參照 Kendall *et al.* (1984) 的描述方法。

三、不同養殖密度對四指馬鮫稚魚育成表現之影響

此部分實驗於室內中間育成場進行，實驗時間為 2021 年 8 月 26 日至 9 月 26 日，共 30 天。實驗用四指馬鮫稚魚 (n = 30) 日齡約為孵化後 (days post hatching, dph) 第 45 天，平均標準體長

(standard length, SL) 為 3.37 ± 0.07 cm，平均體重 (body weight, BW) 為 0.43 ± 0.01 g。將稚魚隨機放入黑色塑膠養殖桶 (水量 20 L)，設置 3 組不同的養殖密度，分別為 A 組：10 尾/桶 (500 fish/m^3)、B 組：20 尾/桶 (1000 fish/m^3) 及 C 組：40 尾/桶 (2000 fish/m^3)，每組三重複。密度條件的設置參考其他實驗體型相似之經濟性海水魚類之實驗 (Chiu *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2020) 並稍做調整。在我們的預備實驗中，觀察到四指馬鮫稚魚在養殖密度 $< 300 \text{ fish/m}^3$ 時，會因殘食行為造成魚隻數量銳減而無法進行持續 30 天的成長表現分析，因此設置 500 、 1000 及 2000 fish/m^3 的養殖密度。實驗用養殖桶為流水式養殖，24 hr 流水，換水率為 $100\%/hr$ ，水源為經砂過濾之天然海水，養殖場內屋頂以透明瓦片自然採光，每天測定水溫、鹽度、pH 及溶氧。每天 08:00 及 16:00 投餵中和牌浮水性幼鰻飼料 (粒徑 $2 \times 2 \text{ mm}$ ，粗蛋白質 46%、粗脂肪 3%) 至飽食為止。

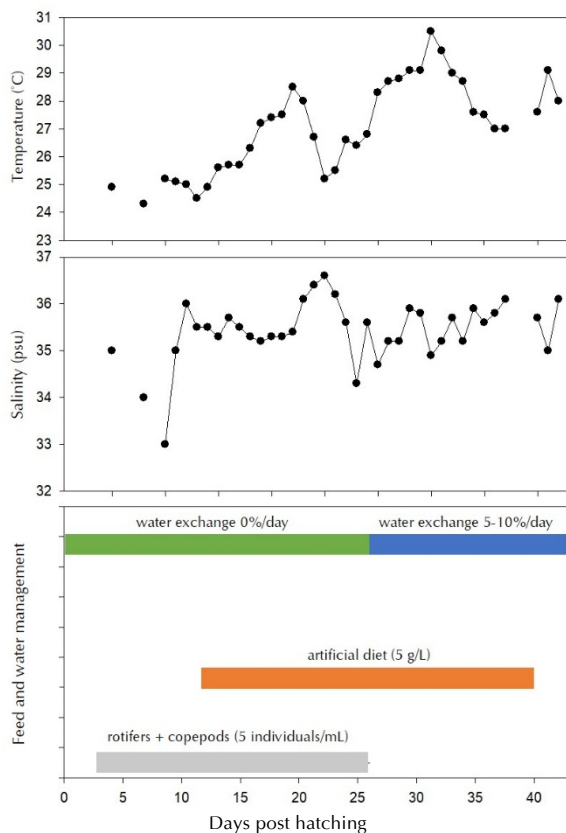


Fig 1. The temperature, salinity, feeding schedule, and water management protocol developed for the rearing of larval *Eleutheronema tetradactylum*.

為避免稚魚在搬運或養殖過程因人為操作、個體間互相啃咬造成尾鰭破損，影響最後體全長的測量結果，此部分實驗採用標準體長進行測量。實驗結束後測量標準體長及體重，實驗結束後測量日增重 (daily weight gain, DWG, g d^{-1})、增重百分比 (percentage weight gain, PWG, %)、日成長率 (specific growth rate, SGR, $\% \text{ d}^{-1}$) 及肥滿度 (condition factor, CF, %)，計算公式如下：

日增重 (g d^{-1}) = [魚隻平均末重 (g) - 魚隻平均初重 (g)] / 實驗天數

增重百分比 (%) = [(魚隻平均末重 (g) - 魚隻平均初重 (g)) / 魚隻平均初重 (g)] $\times 100$

日成長率 ($\% \text{ d}^{-1}$) = $[(\ln \text{ 魚隻平均末重 (g)} - \ln \text{ 魚隻平均初重 (g)}) / \text{ 實驗天數}] \times 100$

肥滿度 (%) = (魚隻平均體重 / 魚隻平均體全長³) $\times 100$ 。

活存率計算方式為每日 07:30 計算水槽內活存的魚隻數，並除以初始魚隻數，計算公式如下：活存率 (%) = (每日活存魚隻數 / 初始魚隻數) $\times 100\%$ 。實驗期間若有魚隻死亡，則移除死亡魚隻，並參照 Chiu *et al.* (2020) 的方法重新補充體型相近的魚隻以維持起初設定的養殖密度條件，但在計算活存率時扣除。

殘食率計算參照 van Damme *et al.* (1989) 的方法，由每日觀測並排除活存率與自然死亡率來計算殘食率，其中自然死亡定義為非因受其他魚隻掠食或攻擊而死亡者，尾鰭、眼睛及體側無受到攻擊之傷口，也沒有被吞食。van Damme *et al.* (1989) 定義魚類殘食死亡模式可分為第一型：獵物被攻擊尾部，第二型：獵物由頭部被殘食者吞食。經過預備實驗觀察，四指馬鮫稚魚除上述兩型殘食外，殘食者也會攻擊獵物腹部或體側，死亡個體在腹部與體側會出現傷口，有別於第一型及第二型的樣態，本實驗期間觀測的殘食行為包含上述三種類型。

殘食率的計算公式為：殘食率 (%) = $100 - [\text{活存率}(\%) + \text{自然死亡率}(\%)]$

體型差異度 (size heterogeneity) 分為體長差異度 (SL heterogeneity) 及體重差異度 (BW heterogeneity)，分別以實驗結束後魚隻全數採收時的標準體長變異係數 (CV of harvest standard length) 及體重變異係數 (CV of harvest body

Table 1 Key morphological characteristics at each developmental stage of *Eleutheronema tetradactylum* larvae and juveniles cultured at a temperature of $27.07 \pm 0.26^\circ\text{C}$

Developmental stage	Duration time	Key morphological characteristic
Yolk-sac	0 dph	Larva was free from the membrane; 10-12+17-18 myomeres; one big yolk-sac
Preflexion	3 dph	Mouth opened; digestive tract appeared; yolk-sac completely absorbed; the eyes were fully pigmented
	4 dph	Anus and swim bladder opened
	5 dph	The mouth was completely differentiated
Flexion	9 dph	The hyprualia bones appeared
Postflexion	10 dph	The hyprualia bones assuming a vertical position; oil globule completely absorbed
	19 dph	The four pectoral filaments appeared
Juvenile	21 dph	The fin ray counts attain an adult complement
	35 dph	The mouths turned downward
	41 dph	The body was completely covered by scales

dph, days post hatching

weight)進行評估。計算公式如下：

體長差異度 = 魚隻末標準體長之標準差 (SD) / 魚隻平均末標準體長 (cm)

體重差異度 = 魚隻末重之標準差(SD) / 魚隻平均末重 (g)

四、統計分析

所有生物形質數據以平均值 \pm 標準誤 (mean \pm SEM)表示。養殖密度實驗結果以單因子變異數分析 (one-way ANOVA)進行統計分析，並以 Tukey's honestly significant difference test 進行事後檢定，比較各組間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。

結 果

一、仔稚魚發育

四指馬鮫仔稚魚發育各階段關鍵特徵詳如 Table 1。在水溫 $27.07 \pm 0.26^\circ\text{C}$ 條件下，剛孵化仔魚體全長 1.29 ± 0.02 mm (n = 5)，肌節數 10 - 12 +

17 - 18，帶有一大卵黃囊 (yolk-sac)，此時進入卵黃囊仔魚期 (yolk-sac larval stage)，油球後位，油球上及軀幹散佈許多黑色素。眼睛、口部及消化道尚未發育完全，游泳能力差，呈現頭下尾上在水中漂浮 (Fig. 2A)；孵化後第 1 天仔魚，體全長 1.93 ± 0.06 mm (n = 10)，卵黃囊消耗為原體積的 1/2，軀幹下方靠近尾端 1/3 處可觀察到橫狀黑色素斑 (Fig. 2B)；孵化後第 2 天仔魚，體全長 2.67 ± 0.03 mm (n = 10)，卵黃囊消耗為原體積的 1/8，眼睛黑色素開始堆積 (Fig. 2C)；孵化後第 3 天仔魚，體全長 2.89 ± 0.04 mm (n = 12)，卵黃囊已消耗殆盡，但仍可以觀察到油球，眼睛發育完全，口部開啟，但功能尚未完全，腸道發育完全，肛門口尚未開啟，此時進入脊索末端上屈前期 (preflexion larval stage) (Fig. 2D)；孵化後第 4 天仔魚，體全長 2.70 ± 0.02 mm (n = 17)，下顎向前延伸，肛門開啟，可觀察到泳鰓開啟，油球體積縮小為原來的 1/2，可開始攝食餌料生物 (Fig. 2E)；孵化後第 5 天仔魚，體全長 2.69 ± 0.06 mm (n = 15)，口部完全分化，油球體積縮小為原來的 1/4 (Fig. 2F)；孵化後第 7 天仔魚，體全長 3.39 ± 0.01 mm (n = 6)，體高增加，油球體積縮小為原來的 1/12 (Fig. 2G)；孵化後第 9 天仔魚，體全長 4.33 ± 0.11 mm (n = 11)，仍可觀察到油球，但體積再度減少，

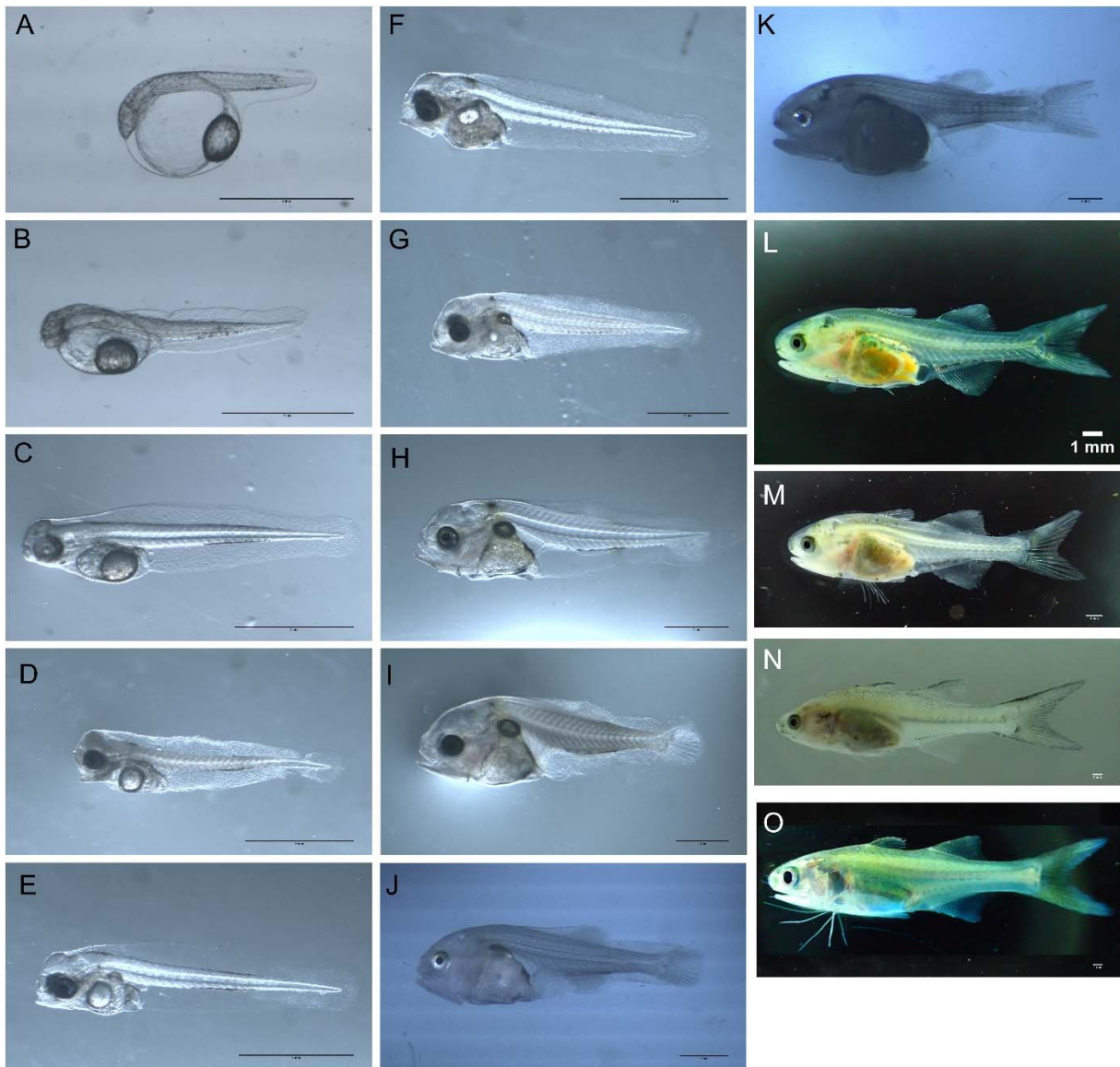


Fig. 2 The larval and juvenile development of *Eleutheronema tetradactylum* at $27.07 \pm 0.26^\circ\text{C}$. (A) Newly hatched larva, 1.29 ± 0.02 mm total length (TL); (B) 1 day post hatch (dph) larva, 1.93 ± 0.06 mm TL; (C) 2 dph larva, 2.67 ± 0.03 mm TL; (D) 3 dph larva, 2.89 ± 0.04 mm TL; (E) 4 dph larva, 2.70 ± 0.02 mm TL; (F) 5 dph larva, 2.69 ± 0.06 mm TL; (G) 7 dph larva, 3.39 ± 0.01 mm TL; (H) 9 dph larva, 4.33 ± 0.11 mm TL; (I) 10 dph larva, 4.49 ± 0.19 mm TL; (J) 12 dph larva, 5.82 ± 0.04 mm TL; (K) 15 dph larva, 9.08 ± 0.22 mm TL; (L) 19 dph larva, 14.30 ± 0.46 mm TL; (M) 21 dph juvenile, 15.10 ± 0.64 mm TL; (N) 35 dph juvenile, 30.74 ± 0.81 mm TL; (O) 41 dph juvenile, 38.42 ± 1.44 mm TL. Scale bars = 1.0 mm.

幾乎消耗殆盡，第二背鰭及臀鰭原基出現，尾下骨(hypural)形成，此時進入脊索末端上屈中期(flexion larval stage) (Fig. 2H)；孵化後第 10 天仔魚，體全長 4.49 ± 0.19 mm ($n = 11$)，油球已完全消耗殆盡，第二背鰭及臀鰭鰭條開始發育，脊索末端上屈完成，進入脊索末端上屈後期，尾鰭鰭條數 12-13 (Fig. 2I)；孵化後第 12 天仔魚，體全長 5.82

± 0.04 mm ($n = 15$)，第二背鰭鰭條數為 6-7、臀鰭鰭條數為 13、尾鰭鰭條數為 13-14 (Fig. 2J)；孵化後第 15 天仔魚，體全長 9.08 ± 0.22 mm ($n = 6$)，第一背鰭出現，鰭條數為 VII，第二背鰭鰭條數為 13，臀鰭鰭條數為 I/16、尾鰭鰭條數為 18 (Fig. 2K)；孵化後第 19 天仔魚，體全長 14.30 ± 0.46 mm ($n = 9$)，第一背鰭鰭條數為 VII、第二背鰭鰭條數為

I/15、臀鰭鰭條數為 II/13、尾鰭鰭條數為 16-17、第二背鰭及臀鰭基部均出現橫狀黑色素斑，胸鰭下方出現 4 個絲狀游離鰭 (pectoral filaments) (Fig. 2L)；孵化後第 21 天，體全長 15.10 ± 0.64 mm ($n = 13$)，第一背鰭鰭條數為 VIII、第二背鰭鰭條數為 I/15、臀鰭鰭條數為 II/13、尾鰭鰭條數為 16-17，各鰭條數與成魚相同，進入稚魚期 (juvenile stage)，胸鰭下方 4 個絲狀游離鰭長度增加 (Fig. 2M)；孵化後第 35 天，稚魚體全長為 30.74 ± 0.81 mm ($n = 13$)，口部完全轉變為下位，第一背鰭前三根硬棘處、第二背鰭鰭膜、背部及尾鰭散佈許多黑色素斑 (Fig. 2N)；孵化後第 41 天，稚魚體全長為 38.42 ± 1.44 mm ($n = 11$)，魚體呈現銀白色 (Fig. 2K)。四指馬鮫仔稚魚孵化後至第 41 天，體全長之二次函數回歸公式為 $Y = 0.740 + 0.399X + 0.013X^2$ ， $R^2 = 0.994$ ， $n = 304$ ，其中 Y 為體全長，X 為孵化後天數 (Fig. 3)。四指馬鮫仔稚魚孵化後第 3 天至第 41 天，口徑之二次函數回歸公式為 $Y = 204.08 + 66.08X + 3.03X^2$ ， $R^2 = 0.984$ ， $n = 125$ ，其中 Y 為口徑，X 為孵化後天數 (Fig. 4)，仔魚在孵化後第 4 天開始攝食餌料生物，首次攝食之口徑為 416.22 ± 15.59 μm 。

二、不同養殖密度對四指馬鮫稚魚育成表現之影響

四指馬鮫稚魚在不同養殖密度下經過 30 天的飼養，其成長參數、活存率、殘食率及體型差異度數據詳如 Table 2。實驗結束後的標準體長、體重、日增重、增重百分比、日成長率及肥滿度在不同密度組別間沒有顯著差異 ($p > 0.05$)；活存率方面，A (500 fish/ m^3)、B (1000 fish/ m^3) 及 C (2000 fish/ m^3) 組分別為 $33.33 \pm 3.33\%$ 、 $21.67 \pm 7.26\%$ 及 $61.67 \pm 5.83\%$ ，其中 C 組顯著高於 A 及 B 組 ($p < 0.05$)，而 A 及 B 組間無顯著差異 ($p > 0.05$)；殘食率方面，A、B 及 C 組分別為 $60.00 \pm 5.77\%$ 、 $73.33 \pm 6.67\%$ 及 $34.16 \pm 4.16\%$ ，其中 C 組顯著低於 A 及 B 組 ($p < 0.05$)，而 A 及 B 組間無顯著差異 ($p > 0.05$)；體長及體重差異度在不同密度組間沒有顯著差異 ($p > 0.05$)。

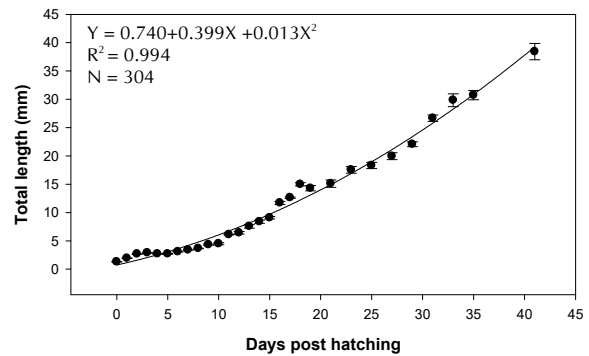


Fig. 3 Development of the total length of *Eleutheronema tetradactylum* in culture, from newly hatched to 41 days post-hatching. All the data are expressed as the means \pm SEM.

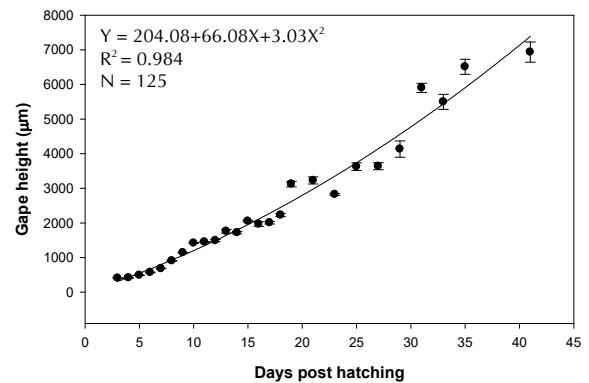


Fig. 4 Development of gape height of *Eleutheronema tetradactylum* in culture, from 3 to 41 days post-hatching. All the data are expressed as the means \pm SEM.

討 論

目前為止有關馬鮫科仔稚魚形態發育的資料相當稀少，Leis and Carson-Ewart (2000) 指出，剛孵化的馬鮫科仔魚的體長約在 0.8 - 2.0 mm 之間，外觀具有一個大卵黃囊、眼睛及口部均尚未發育完全，此特徵與本研究觀察剛孵化四指馬鮫仔魚的形態相似。Kowtal *et al.* (1972) 描述四指馬鮫的剛孵化仔魚體全長為 1.45 - 1.50 mm，略大於本研究觀測的 1.29 ± 0.02 mm，而油等 (2014) 所描述的四指馬鮫剛孵化仔魚體全長為 1.957 mm，則與本研究結果差異較大。對照油等 (2014) 的報告，發現剛孵化仔魚的照片中，卵黃囊早已大幅消耗，肌節數為 18 + 22 - 24，與本研究 (肌節數 10 - 12 + 17 - 18) 及 Kowtal *et al.* (1972) 所描述肌節數 (27) 不同，在仔魚外部形態上也有明顯差異，因此我們認

Table 2 Comparison of the growth parameters among the treatments and the survival, cannibalism and size heterogeneity of *Eleutheronema tetradactylum* juvenile under various stocking densities

Parameters	Treatment		
	A (500 fish/m ³)	B (1000 fish/m ³)	C (2000 fish/m ³)
Initial standard length (cm)	3.37 ± 0.07	3.58 ± 0.11	3.51 ± 0.09
Final standard length (cm)	7.13 ± 0.09	7.16 ± 0.12	6.94 ± 0.04
Initial body weight (g)	0.43 ± 0.01	0.43 ± 0.02	0.43 ± 0.02
Final body weight (g)	2.60 ± 0.13	2.74 ± 0.14	2.46 ± 0.10
Daily weight gain (g/d)	0.072 ± 0.004	0.077 ± 0.005	0.067 ± 0.002
Percentage weight gain (%)	503.61 ± 18.72	544.27 ± 74.96	472.39 ± 8.96
Specific growth rate (%/d)	2.57 ± 0.18	2.77 ± 0.25	2.36 ± 0.13
Condition factor (%)	0.71 ± 0.01	0.74 ± 0.00	0.73 ± 0.01
Survival rate (%)	33.33 ± 3.33 ^a	21.67 ± 7.26 ^a	61.67 ± 5.83 ^b
Cannibalism rate (%)	60.00 ± 5.77 ^a	73.33 ± 6.67 ^a	34.16 ± 4.16 ^b
SL heterogeneity ¹	0.12 ± 0.02	0.11 ± 0.01	0.09 ± 0.01
BW heterogeneity ²	0.43 ± 0.09	0.38 ± 0.03	0.31 ± 0.03

Means sharing at least one common script are not significantly different, whereas other comparisons differ at $p < 0.05$; values are means ± SEM of three replicates.

¹Heterogeneity of harvest standard length.

²Heterogeneity of harvest body weight.

為油等 (2014) 所描述的四指馬鮫剛孵化仔魚實際上可能為孵化後 24 - 48 hr 的仔魚。

剛孵化的仔魚靠卵黃囊提供能量與營養持續發育 (Yamada, 1959), 當卵黃囊消耗殆盡時, 若沒有順利攝食到餌料則會造成仔魚死亡 (May *et al.*, 1974; Westernhagen and Rosenthal, 1975)。相較於卵黃囊, 油球同樣作為能量來源提供仔魚成長 (John and Howell, 1980; Ehrlich and Muszynski, 1982), 隨著仔魚的發育, 油球也會伴隨卵黃囊一併消耗殆盡, 只是其消耗速率較慢 (Avila and Juario, 1987; Williams *et al.*, 2004)。本研究發現四指馬鮫仔魚的卵黃囊在孵化後第 3 天消耗殆盡, 孵化後第 4 天開始攝食, 但此時油球尚存, 仔魚可以同時利用內源性營養 (油球) 與外源性營養 (餌料生物), 而油球直到孵化後第 10 天才完全消耗殆盡。相較之下, 油等 (2014) 的觀測結果則是在孵化後第 6 - 7 天油球即消耗殆盡, 早於本研究觀測結果, 這可能是本研究在育苗開始的 10 天內水溫較低 (24 - 25°C) 的緣故。相較於其他經濟性海水魚類仔魚, 如白星笛鯛 (*Lutjanus stellatus*) (Hamamoto *et al.*, 1992)、點帶石斑魚 (Doi *et al.*, 1991) 卵黃囊及油球消耗殆盡的時候多半為孵化

後第 2 - 3 天, 且立即需要攝食餌料生物, 而因為四指馬鮫仔魚的混合營養期較長, 在仔魚的培育上也較少發生首次攝食過程飢餓死亡的情形。

過去許多學者認為, 仔魚的首次攝食口徑被視為主要的攝食限制條件 (Shirota, 1970; Fernández-Díaz *et al.*, 1994), 四指馬鮫仔魚在孵化後第 4 天的口徑為 $416.22 \pm 15.59 \mu\text{m}$, 可以順利攝食大小約 150 - 250 μm 的輪蟲, 而口徑發育的方程式可以幫助我們瞭解四指馬鮫仔稚魚成長過程之口徑大小, 以選定適合的餌料生物, 然而油等 (2014) 的研究中卻沒有提及有關口徑的資料。與其他經濟性海水魚類相比, 四指馬鮫仔魚的口徑相對大於銀紋笛鯛 (*Lutjanus argentimaculatus*) 的 210 μm (Leu *et al.*, 2003)、烏鱔石斑魚 (*Epinephelus marginatus*) 的 214 - 259 μm (Russo *et al.*, 2009) 及雲紋石斑魚 (*Epinephelus moara*) 的 $307.18 \pm 9.29 \mu\text{m}$ (邱等, 2020)。

目前的魚類初期發育時期多參照 Kendall *et al.* (1984) 所歸納的結果, 因他將各學者的分類方法彙整並提出界定標準, 目前為學界廣泛使用。分別為卵黃囊仔魚期、脊索末端上屈前仔魚期、脊索末端上屈中仔魚期、脊索末端上屈後仔魚期及稚魚

期，本研究將四指馬鮫仔稚魚發育過程各階段重要特徵列於 Table 1，可提供後續研究馬鮫科仔稚魚形態發育之參考。先前的研究在描述四指馬鮫仔稚魚發育過程多依照研究者自己的定義，例如 Kowtal (1972) 是採用仔魚體長來描述各階段，而油等 (2014) 則是用早期仔魚 (剛孵化到孵化後第 3 天)、晚期仔魚 (孵化後第 4 天到第 13 天) 及稚魚期 (孵化後第 14 天至第 36 天) 來定義，但判斷的形態學依據卻與 Kendall *et al.* (1984) 的方法有所差異。不同文獻中對四指馬鮫初期發育的描述尚無法一致，這可能會造成後續互相比較分析的難度，因此在未來的研究中應該使用相同的標準進行觀察記錄。

四指馬鮫稚魚在不同養殖密度下經過 30 天的飼養，稚魚的成長表現在養殖密度 500、1000 及 2000 fish/m³ 的條件下沒有顯著差異。Corrêa and Cerqueira (2007) 以密度 1500、3000 及 6000 fish/m³ 的條件飼養小鋸蓋魚稚魚 30 天，也發現成長表現在不同密度組間沒有顯著差異，大西洋鱈 (*Gadus morhua*) (Björnsson and Ólafsdóttir, 2006)、布氏鯧鯵 (*Chavez et al.*, 2011) 及嘉鱸 (*Pagrus pagrus*) (Vargas-Chacoff *et al.*, 2011) 的成長表現同樣不受養殖密度影響。相反的，白梭吻鱸 (*Sander lucioperca*) 稚魚在低密度組 (6,000 fish/m³) 養殖，實驗後體重及日增重均顯著高於中密度 (10,000 fish/m³) 及高密度組 (15,000 fish/m³) (Szkudlarek and Zakęś, 2007)，而祕魯笛鯛 (63.9 ± 1.4 g) 在低密度 (30 fish/m³) 條件下實驗後體重、增重率以及日成長率都優於高密度組 (50, 70 fish/m³) (Castillo-Vargasmachuca *et al.*, 2012)，在尖翅燕魚 (Chiu *et al.*, 2020) 及卵形鯧鯵 (Yang *et al.*, 2020) 稚魚的養殖試驗則是養殖密度越高、成長表現越差。Ellis *et al.* (2002) 認為，決定最適的養殖密度需考慮不同物種及養殖環境，才能獲得最理想的產量及收益。此外還需考慮實驗物種的生活史階段、實驗初始體型、養殖時間、營養狀態、生態習性及水質因子。雖然四指馬鮫稚魚的成長表現在本研究所設定的條件下沒有顯著差異，但若調整養殖密度 (< 500 或 > 2000 fish/m³)、飼養時間 (> 30 天) 或以其他生長階段的稚魚進行實驗，其成長表現的趨勢是否會跟目前的研究相似，還有待後續探討，這將有助於我們瞭解四指馬鮫不同

生活史階段的最適養殖密度。

在活存率方面，飼養在高密度組 (2000 fish/m³) 的四指馬鮫稚魚有最高的活存率 (61.67 ± 5.83%)，顯著高於另外兩組 (500 及 1000 fish/m³)。我們認為造成其他兩個組別的稚魚活存率低 (21.67 - 33.33%) 的原因為桶槽內魚隻相互殘食造成。從 Table 2 可以看出密度越高、殘食率越低的趨勢。導致這個趨勢的可能原因為高密度飼養環境下，殘食者會因為環境中較多的魚隻造成某種程度的視覺干擾，進而減少攻擊獵物的頻率 (Bara and Jobling, 2002)。相反的，鋸蓋魚 (*Centropomus undecimalis*) 稚魚飼養在 1000、2000 及 4000 fish/m³ 條件下，殘食率卻隨著密度提升而增加 (Hans *et al.*, 2020)，尖吻鱸 (*Lates calcarifer*) 稚魚飼養在 1000、5000 及 10,000 fish/m³ 條件下，也觀察到同樣的趨勢 (Ribeiro *et al.*, 2015)，因此養殖密度高低對不同魚種所造成的殘食率仍需要分別評估。在 30 天的飼養過程中，三個密度組別在每週都會觀察到四指馬鮫稚魚 (3 - 7 cm) 互相殘食的行情，這導致魚隻減少，進而降低收成率。O'Sullivan and Ryan (2001) 及邱等 (2018) 都發現日本銀身鯧稚魚飼養至 8 cm 以上時，殘食率就開始減緩，然而四指馬鮫的體長與殘食率之關係目前還不清楚，有待未來進一步研究。

降低體型差異使魚類體型均一化是養殖生產過程面臨的重要課題 (Biswas *et al.*, 2010)，而養殖密度也顯著影響魚隻體型差異度 (Irwin *et al.*, 1999; Lambert and Dutil, 2001; Schram *et al.*, 2006)，收成時體長或體重的變異係數通常用來評估養殖過程中魚隻的體型差異度 (Boujard *et al.*, 2002; Corrêa and Cerqueira, 2007; Ribeiro *et al.*, 2015; Chiu *et al.*, 2020; Hans *et al.*, 2020)。在本研究中，不論是收成時的體長及體重差異度，在不同密度組間均沒有統計上的顯著差異，雖然如此，以數據來說仍呈現隨著養殖密度提升而降低的趨勢 (Table 2)。在 Corrêa and Cerqueira (2007) 的研究中發現，小鋸蓋魚體長變異係數越大，殘食率也會隨之增加，而 Ribeiro and Qin (2013) 也發現尖吻鱸飼養過程中的體型差異越大，越容易發生殘食行為，這與本研究觀察到的趨勢相似。本研究所設定的三個養殖密度條件下最低的殘食率仍有 34.16 ± 4.16%，以養殖生產的角度來看仍不算理想，未來

的實驗應該將四指馬鮫稚魚飼養在大於 2000 fish/m³ 的密度條件，探討是否能再度降低收成時的體型差異度，進而降低殘食率。

本研究描述四指馬鮫從剛孵化到稚魚期的形態變化與發育情形，並補充先前研究不足的部分，此外，養殖密度實驗顯示在 500、1000 及 2000 fish/m³ 條件下養殖四指馬鮫稚魚 30 天，不影響稚魚的成長表現，但養殖密度 2000 fish/m³ 可得到最高的活存率 (61.67 ± 5.83%) 及最低的殘食率 (34.16 ± 4.16%)，因此，在本研究的實驗條件下，2000 fish/m³ 可能是體長 3.37 ± 0.07 cm、體重 0.43 ± 0.01 g 的四指馬鮫稚魚較適合的養殖密度。

謝 辭

本研究由行政院農業委員會科技計畫：優質午仔魚種苗生產技術之建立 (110 農科 6.2.5-水-A2(1)) 經費支持，並承蒙國立臺灣海洋大學水產養殖學系實習生劉家綸、海水中心同仁何信緯、黃政軒及張丁仁先生協助魚隻搬運及飼養，使本研究得以順利完成，特此致謝。

參考文獻

牛瑩月, 區又君, 藍軍南, 溫久福, 李加兒, 李俊偉, 周慧 (2020) 人工培育四指馬鮫鰓組織結構及其早期發育. 南方水產科學, 16: 108-114.

區又君, 劉奇奇, 溫久福, 李加兒, 李活 (2018) 急性低溫脅迫對四指馬鮫幼魚肝臟, 肌肉以及鰓組織結構的影響. 生態科學, 37: 53-59.

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.

邱沛盛, 黃政軒, 蔡惠萍, 朱永桐, 劉于溶, 葉信利 (2020) 雲紋石斑魚之人工繁殖、初期發育及仔稚魚培育. 水產研究, 28(1): 47-60.

邱沛盛, 陳陽德, 朱永桐, 曹友忠, 劉天和, 葉信利 (2018) 日本銀身鮫稚魚中間育成階段最適日投餵頻度之探討. 水產研究, 26(2): 61-72.

周慧, 區又君, 溫久福, 李加兒, 藍軍南 (2019) 光週期對四指馬鮫視網膜結構和視蛋白表達的影響及其生物信息學分析. 福建水產, 41: 455-469.

油九菊, 柳敏海, 傅榮兵, 李偉業, 章霞, 羅海忠

(2016) 四指馬鮫仔稚魚發育及生長特徵的初步研究. 大連海洋大學學報, 29: 577-581.

詹滿色 (2020) 新冠疫情下臺灣大宗養殖水產品之市場分析. 海大漁推, 50: 95-118.

謝木嬌, 區又君, 李加兒, 溫久福, 王鵬飛, 王雯, 陳世喜 (2015) 四指馬鮫稚魚, 幼魚和成魚消化道黏液細胞組織化學研究. 中國細胞生物學學報, 37: 1226-1234.

謝木嬌, 區又君, 李加兒, 溫久福, 王鵬飛, 王雯, 陳世喜 (2016) 不同發育階段的四指馬鮫消化道組織學比較研究. 南方水產科學, 12: 51-58.

謝木嬌, 區又君, 李加兒, 溫久福, 周慧, 王鵬飛, 劉奇奇 (2017) 四指馬鮫 (*Eleutheronema tetradactylum*) 消化系統胚後發育組織學觀察. 漁業科學進展, 38: 50-58.

劉奇奇, 溫久福, 區又君, 李加兒, 周慧 (2017) 急性離水操作脅迫對四指馬鮫 (*Eleutheronema tetradactylum*) 幼魚組織結構和氧化應激的影響. 漁業科學進展, 38: 48-55.

羅海忠, 李偉業, 傅榮兵, 柳敏海, 許益鉸, 油九菊, 章霞 (2015) 鹽度對四指馬鮫 (*Eleutheronema tetradactylum*) 幼魚生長及其鰓絲Na⁺/K⁺-ATP酶的影響. 漁業科學進展, 36.002: 94-99.

藍軍南, 區又君, 溫久福, 李俊偉, 牛瑩月, 李加兒 (2020a) 四指馬鮫性逆轉過程初步研究. 南方水產科學, 16: 67-74.

藍軍南, 溫久福, 李俊偉, 區又君, 周慧, 李加兒, 李活 (2020b) 四指馬鮫淋巴器官發育組織學觀察. 漁業科學進展, 41: 70-77.

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.

Aksungur, N., M. Aksungur, B. Akbulut and I. Kutlu (2007) Effects of stocking density on growth performance, survival and food conversion ratio of Turbot (*Psetta maxima*) in the net cages on the southeastern coast of the Black Sea. Turkish J. Fish. Aquat. Sci., 7: 147-152.

Avila, E. M. and J. V. Juario (1987) Yolk and oil globule utilization and developmental morphology of the digestive tract epithelium in larval rabbitfish, *Siganus guttatus* (Bloch). Aquaculture, 65: 319-331.

Baras, E. and M. Jobling (2002) Dynamics of intracohort cannibalism in cultured fish. Aquac. Res., 33: 461-479.

Bibby, J. M. and G. R. McPherson (1997) Age and growth of five target fish species in the Gulf of Carpentaria inshore gillnet fishery. In Biology and Harvest of Tropical Fishes in the Queensland Gulf

- of Carpentaria Gillnet Fishery (R. N. Garrett ed.), Fisheries Research and Development Corporation final report No. 92/145., Queensland Department of Primary Industries, Queensland, Australia, 61-86.
- Biswas, G., A. R. Thirunavukkarasu, J. K. Sundaray and M. Kailasam (2010) Optimization of feeding frequency of Asian seabass (*Lates calcarifer*) fry reared in net cages under brackishwater environment. *Aquaculture*, 305: 26-31.
- Björnsson, B. and S. R. Ólafsdóttir (2006) Effects of water quality and stocking density on growth performance of juvenile cod (*Gadus morhua* L.). *ICES J. Mar. Sci.*, 63: 326-334.
- Boujard, T., L. Labbé and B. Aupérin (2002) Feeding behaviour, energy expenditure and growth of rainbow trout in relation to stocking density and food accessibility. *Aquac. Res.*, 33: 1233-1242.
- Castillo-Vargasmachuca, S., J. T. Ponce-Palafox, M. García-Ulloa, J. L. Arredondo-Figueroa, A. Ruiz-Luna, E. A. Chávez and A. G. Tacon (2012) Effect of stocking density on growth performance and yield of subadult pacific red snapper cultured in floating sea cages. *N. Am. J. Aquac.*, 74: 413-418.
- Chao, T. M., H. S. Lim and R. Chou (1994) The first record of natural spawning in net cage and successful larviculture of fourfinger threadfin, *Eleutheronema tetradactylum* (Shaw) in Singapore. *Singapore J. Primary Ind.*, 22: 63-79.
- Chavez, H. M., A. L. Fang and A. A. Carandang (2011) Effect of stocking density on growth performance, survival and production of silver pompano, *Trachinotus blochii*, (Lacépède, 1801) in marine floating cages. *Asian Fish. Sci.*, 24: 321-330.
- 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.
- Chiu, P. S., Y. T. Chu, C. H. Huang, S. W. Ho, J. W. Huang and S. L. Yeh (2020) Effects of stocking density on growth performance, survival and size heterogeneity of juvenile longfin batfish *Platax teira*. *Aquac. Res.*, 51: 5269-5272.
- Corrêa, C. F. and V. R. Cerqueira (2007) Effects of stocking density and size distribution on growth, survival and cannibalism in juvenile fat snook (*Centropomus parallelus* Poey). *Aquac. Res.*, 38: 1627-1634.
- Doi, M., M. N. Munir, N. L. Nik Razali and T. Zulkifli (1991) Artificial propagation of the grouper, *Epinephelus suillus* at the marine finfish hatchery in Tanjong Demong, Terengganu, Malaysia. *Kertas Pengembangan Perikanan*, 167, Department of Fisheries, Malaysia, 41 pp.
- Ebrahimi, M. H., M. R. Imanpoor and M. Adlo (2010) Effects of stocking density on growth factors, survival and blood and tissue parameters, in giant gourami (*Osphronemus goramy* Lacepede, 1801). *J. Fish.*, 4: 97-106.
- Ehrlich, K. F. and G. Muszynski (1982) Effects of temperature on interactions of physiological and behavioural capacities of larval *California grunion*: adaptations to the planktonic environment. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 60: 223-244.
- Ellis, T., B. North, A. P. Scott, N. R. Bromage, M. Porter and D. Gadd (2002) The relationship between stocking density and welfare in farmed Rainbow trout. *J. Fish Biol.*, 61: 493-531.
- Fernández-Díaz, C., E. Pascual and M. Yúfera (1994) Feeding behaviour and prey size selection of gilthead seabream, *Sparus aurata* L., larvae fed on inert and live food. *Mar. Biol.*, 118: 323-328.
- Froese, R. and D. Pauly (2021) FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, (02/2021)
- Greaves, K. and S. Tuene (2001) The form and context of aggressive behavior in farmed Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture*, 193: 139-147.
- Hamamoto, S., S. Kumagai, K. Nosaka, S. Manabe, A. Kasuga and Y. Iwatsuki (1992) Reproductive behavior, eggs and larvae of a lutjanid fish, *Lutjanus stellatus*, observed in an aquarium. *Jpn. J. Ichthyol.*, 39: 219-228.
- Hans, R., R. Schloesser, N. Brennan, F. Ribeiro and K. L. Main (2020) Effects of stocking density on cannibalism in juvenile common snook *Centropomus undecimalis*. *Aquac. Res.*, 51: 844-847.
- Hecht, T. and A. G. Pienaar (1993) A review of cannibalism and its implications in fish larviculture. *J. World Aquac. Soc.*, 24: 246-261.
- Horne, J. B., P. Momigliano, D. J. Welch, S. J. Newman and L. Van Herwerden (2011) Limited ecological population connectivity suggests low demands on selfrecruitment in a tropical inshore marine fish (*Eleutheronema tetradactylum*: Polynemidae). *Mol. Ecol.*, 20: 2291-2306.
- Irwin, S., J. O'Halloran and R. D. FitzGerald (1999)

- Stocking density, growth and growth variation in juvenile turbot, *Scophthalmus maximus* (Rafinesque). *Aquaculture*, 178: 77-88.
- Johns, D. M. and W. H. Howell (1980) Yolk utilization in summer flounder (*Paralichthys dentatus*) embryos and larvae reared at two temperatures. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2: 1-8.
- Jørgensen, E. H., J. S. Christiansen and M. Jobling (1993) Effects of stocking density on food intake, growth performance and oxygen consumption in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Aquaculture*, 110: 191-204.
- Kailola, P. J., M. J. Williams, P. C. Stewart, R. E. Reichelt, A. McNee and C. Grieve (1993) Australian fisheries resources. Bureau of Resource Sciences, Canberra, Australia. 422 pp.
- Kendall Jr, A. W., E. H. Ahlstrom and H. G. Moser (1984) Early life history stages of fishes and their characters. *In* *Ontogeny and Systematics of Fishes* (H. G. Moser ed.), Allen Press Inc, Lawrence, USA, 11-22.
- Khaledi, H., S. Rezvani Gilkolaei, H. Zolgharnein, A. Savari, A. R. Safahieh and A. Ghasemi (2012) Genetic structure four finger threadfin (*Eleutheronema tetradactylum*) population in the Persian Gulf and the Oman Sea Using RAPD marker. *World*, 4: 78-82.
- Kowtal, G. V. (1972) Observations on the breeding and larval development of Chilka 'Sahal' *Eleutheronema tetradactylum* (Shaw). *Indian J. Fish.*, 19: 70-75.
- Kuo, C. Y., Y. J. Lin, H. N. Chen and M. W. Lu (2018) Establishing the microsatellite markers for the fourfinger threadfin (*Eleutheronema tetradactylum*) in Taiwan. *J. Fish. Soc. Taiwan*, 45: 77-80.
- Lambert, Y. and J. Dutil (2001) Food intake and growth of adult Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) reared under different conditions of stocking density, feeding frequency and size-grading. *Aquaculture*, 192: 233-247.
- Leis, J. M. and Carson-Ewart, B. M. (eds.) (2000) *The Larvae of Indo-Pacific Coastal Fishes: An Identification Guide to Marine Fish Larvae* (Vol. 2), Brill, 850 pp.
- Leu, M. Y., I. H. Chen and L. S. Fang (2003) Natural spawning and rearing of mangrove red snapper, *Lutjanus argentimaculatus*, larvae in captivity. *Isr. J. Aquac.*, 55: 22-30.
- May, R. C., D. Popper and J. P. Mcvey (1974) Rearing and larval development of *Siganus canaliculatus* (Park) (Pisces: Siganidae). *Micronesica*, 10: 285-298.
- Menon, A. G. K. and M. Babun Rao (1984) Polynemidae. *In* *FAO Species Identification Sheets for Fishery Purposes. Western Indian Ocean (Fishing Area 51)*, Vol. 3. (W. Fischer and G. Bianchi eds.), FAO, Rome. pag. var.
- Miki, T., H. Nakatsukasa, N. Takahashi, O. Murata and Y. Ishibashi (2011) Aggressive behaviour and cannibalism in greater amberjack, *Seriola dumerili*: effects of stocking density, feeding conditions and size differences. *Aquac. Res.*, 42: 1339-1349.
- 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.
- O'Sullivan, D. and M. Ryan (2001) Mulloway trials suggest opportunities for brackish water ponds. *Austasia Aquacult.*, April/May: 22-26.
- 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.
- Pirozzi, I., M. A. Booth and P. M. Pankhurst (2009) The effect of stocking density and repeated handling on the growth of juvenile mulloway, *Argyrosomus japonicus* (Temminck and Schlegel 1843). *Aquac. Int.*, 17: 199-205.
- Ribeiro, F. F., S. Forsythe and J. G. Qin (2015) Dynamics of intracohort cannibalism and size heterogeneity in juvenile barramundi (*Lates calcarifer*) at different stocking densities and feeding frequencies. *Aquaculture*, 444: 55-61.
- Ribeiro, F. F. and J. G. Qin (2013) Modelling size-dependent cannibalism in barramundi *Lates calcarifer* cannibalistic polyphenism and its implication to aquaculture. *PloS one*, 8: e82488.
- Russo, T., C. Boglione, P. De Marzi and S. Cataudella (2009) Feeding preferences of the dusky grouper (*Epinephelus marginatus*, Lowe 1834) larvae reared in semi-intensive conditions: a contribution addressing the domestication of this species. *Aquaculture*, 289: 289-296.
- Sakakura, Y. and K. Tsukamoto (2007) Effects of density, starvation and size difference on aggressive behaviour in juvenile yellowtails (*Seriola quinqueradiata*). *J. Appl. Ichthyol.* 14: 9-13.

- Samad, A. P. A., F. H. Nan and M. C. Lee (2014). Effects of stocking density on growth and feed utilization of grouper (*Epinephelus coioides*) reared in recirculation and flow-through water system. *African J. Agricul. Res.*, 9: 812-822.
- Schram, E., J. W. Van der Heul, A. Kamstra and M. C. J. Verdegen (2006) Stocking density dependent growth of Dover sole (*Solea solea*). *Aquaculture*, 252: 339-347.
- Shirota, A. (1970) Studies on the mouth size of fish larvae. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 36: 353-368.
- Szkudlarek, M. and Z. Zakęs (2007) Effect of stocking density on survival and growth performance of pikeperch, *Sander lucioperca* (L.), larvae under controlled conditions. *Aquac. Int.*, 15: 67-81.
- van Damme, P., S. Appelbaum and T. Hecht (1989) Sibling cannibalism in Koi carp, *Cyprinus carpio* L., larvae and juveniles reared under controlled conditions. *J. Fish Biol.*, 34: 855-863.
- Vargas - Chacoff, L., Á. Calvo, I. Ruiz - Jarabo, F. Villarroel, J. L. Muñoz, A. B. Tinoco, S. Cárdenas and J. M. Mancera (2011) Growth performance, osmoregulatory and metabolic modifications in red porgy fry, *Pagrus pagrus*, under different environmental salinities and stocking densities. *Aquac. Res.*, 42: 1269-1278.
- Westernhagen, V. H. and H. Rosenthal (1975) Rearing and spawning siganids (Pisces: Teleostei) in a closed seawater system. *Helgoländer wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 27: 1-18.
- Williams K., N. Papanikos, R. P. Phelps and J. D. Shardo (2004) Development, growth, and yolk utilization of hatchery-reared red snapper *Lutjanus campechanus* larvae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 275: 231-239.
- Yang, Q., L. Guo, B. S. Liu, H. Y. Guo, K. C. Zhu, N. Zhang, S. G. Jiang and D. C. Zhang (2020) Effects of stocking density on the growth performance, serum biochemistry, muscle composition and HSP70 gene expression of juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus* (Linnaeus, 1758). *Aquaculture*, 518: 734841.
- Yamada, U., S. Shirai, T. Irie, M. Tokimura, S. Deng, Y. Zheng, C. Li, Y.U. Kim and Y.S. Kim (1995) Names and Illustrations of Fishes from the East China Sea and the Yellow Sea. Overseas Fishery Cooperation Foundation, Tokyo, Japan. 288 pp.
- Yamada, J. (1959) The structure of the yolk-sac and the absorption of the yolk in the pond smelt fry. *Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ.*, 10: 196-204.
- Zhang, B., Y. Sun and G. Shi (2014) The complete mitochondrial genome of the fourfinger threadfin *Eleutheronema tetradactylum* (Perciformes: Polynemidae) and comparison of light strand replication origin within Percoidei. *Mitochondrial DNA*, 25: 411-413.

Larval and Juvenile Development and the Effects of Stocking Density on the Nursery Performance of Fourfinger Threadfin (*Eleutheronema tetradactylum*)

Pei-Sheng Chiu*, Yeong-Torng Chu, Che-Cheng Chang and Shinn-Lih Yeh

Mariculture Research Center, Fisheries Research Institute

ABSTRACT

The fourfinger threadfin (*Eleutheronema tetradactylum* Shaw, 1804) is distributed throughout the Indo-West Pacific, including the coasts of India, Southeast Asia, the Philippines, Papua New Guinea, and northern Australia. It is an important marine farmed fish that has high economic value in Taiwan. Our results show that newly hatched larvae were 1.29 ± 0.02 mm in total length (TL) with 10 - 12 + 17 - 18 myomeres. Four days post-hatching (dph), the TL was 2.70 ± 0.02 mm. First feeding took places at this stage. At 21 dph, the TL was 15.10 ± 0.64 mm, and the fin ray counts showed an adult complement. The statistical model $Y = 0.740 + 0.399X + 0.013X^2$, where Y is the mean TL (mm) and X represents the dph, explained 99.4% of the variation in growth ($R^2 = 0.994$, $n = 304$). In the present study, juveniles (3.37 - 3.58 cm, 0.43 - 0.45 g) were randomly stocked at three densities for a 30-day trial, as follows: treatment A (500 fish/m³), treatment B (1000 fish/m³), and treatment C (2000 fish/m³). No significant differences in the growth parameters were observed among the treatments. Nevertheless, the highest survival rate ($61.67 \pm 5.83\%$), and lowest cannibalism rate ($34.16 \pm 4.16\%$) were observed in treatment C.

Key words: *Eleutheronema tetradactylum*, larval development, stocking density, survival and growth, cannibalism

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