

鬼頭刀 (*Coryphaena hippurus*) 初期發育與育苗研究

鄭明忠 · 江玉瑛 · 吳瑞賢 · 邱俊豪 · 何源興 · 許嘉閔*

農業部水產試驗所東部漁業生物研究中心

摘 要

鬼頭刀 (*Coryphaena hippurus*) 為全球重要的漁獲種類，因過度捕撈已導致漁獲量減少和個體小型化。本研究初步建立鬼頭刀初期發育及育苗技術，可作為增裕漁業資源之基礎並提供產業量產種苗之應用。鬼頭刀受精卵為外觀透明之浮性卵，平均卵徑為 1.55 ± 0.04 mm (mean $\pm$ SD)，內具平均直徑為 0.31 ± 0.02 mm 之單一油球。在水溫 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 、鹽度 32 psu 下，受精卵約 48 hr 20 min 孵化，剛孵化之仔魚平均全長為 5.07 ± 0.05 mm，3 日齡魚平均全長為 5.46 ± 0.12 mm，可投餵 100 – 120 μm 的輪蟲作為初期開口餌料。第 6 日齡魚全長為 5.81 ± 0.62 mm，活動力增強可兼投橈足類幼生，第 10 日齡魚平均全長為 6.63 ± 0.60 mm，攝食能力增強，可混合投餵橈足類成蟲，需注意各種餌料必須重疊使用。第 30 日仔魚平均全長為 33.00 ± 2.44 mm，已可完全接受人工配合飼料。第 45 日齡魚平均全長為 50.70 ± 5.02 mm，體色及斑紋已與成魚一致。

關鍵詞：鬼頭刀、生殖行為、初期發育、育苗

前 言

鬼頭刀 (*Coryphaena hippurus*) 又名鰹魚、鰹鰵，分類上屬於鰹科 (Coryphaenidae) 鬼頭刀屬 (*Coryphaena*)。該屬包括鬼頭刀及棘鬼頭刀 (*C. equisetis*) 二種，在臺灣皆有記錄 (邵, 2022)。鬼頭刀英文名為 Common dolphinfish 或 Dolphinfish，夏威夷群島漁民則稱之為 mahi-mahi，意指「非常強大的魚類」，是休閒海釣的主要目標魚種之一。其游泳速度快，經常在海面追捕飛魚，因此臺灣漁民又以「飛鳥虎」稱之。鬼頭刀廣泛分布於全球各大洋之熱帶及亞熱帶海域，臺灣各地海域及離島均有其蹤跡，尤以東部海域較多 (邵, 2022)。臺灣鬼頭刀捕獲量居全球第四位，主要漁法為沿近海漁業之延繩釣、曳繩釣及定置網，盛漁期為 4 – 5 月及 10 – 11 月間，將近 85% 漁獲均外銷美國 (2,311 mt、價值 24,896 千美元，約 8 億新臺幣)，為臺灣賺進不少外匯 (漁業署, 2021)。

鬼頭刀為國際重要漁獲種類，國內外皆有發表鬼頭刀培育及繁養殖等研究。張等 (2008) 記錄國內鬼頭刀初期育苗研究，以撈捕 2 – 3.5 cm 野生稚魚，提供實驗室圈養至種魚的養成經驗，並討論養殖水質調控、馴餌、圈養後鬼頭刀之習性、疾病等問題為國內首次記錄鬼頭刀研究之文獻。國外研究有 Soichi (1978) 於日本千葉縣水族館大洋展示槽中記錄鬼頭刀種魚生殖及育苗過程，為日本首次發表之觀察記錄；另 Ranjan *et al.* (2017) 記錄美國夏威夷大學團隊於 1980 年開始投入鬼頭刀養殖技術，研究包含調控種魚成熟、自然產卵、仔魚培育、種苗生產及養成等過程。近期邁阿密大學水產養殖學系團隊也著手鬼頭刀繁養殖研究，Stieglitz *et al.* (2017) 提供圈養鬼頭刀由捕獲、運送、檢疫處理、馴養到使其持續生殖的過程的調控文獻；Perrichon *et al.* (2019) 於美國邁阿密大學實驗孵化中心 (University of Miami Experimental Hatchery, UMEH) 亦嘗試進行人工養殖鬼頭刀之胚胎發育及生殖生物學等多樣性研究。在種魚培育研究方面，Stieglitz *et al.* (2017) 及 Kloeblen *et al.* (2017) 發現鬼頭刀種魚會優先利用脂溶性維生素作為其生理活動所需的

*通訊作者 / 臺東縣成功鎮五權路 22 號, TEL: (089) 850090 轉 305; FAX: (089) 850092; E-mail: cmhsu@mail.tfrin.gov.tw

不飽和脂肪酸之抗氧化劑，該研究指出鬼頭刀為多次產卵的魚種，顯示雌魚營養轉移胚體時間短，會優先利用 Vitamin E 以確保胚胎不受不飽和脂肪酸氧化而影響胚胎正常發育，該文獻也提供本研究進行種魚培育營養強化之參考。

鬼頭刀目前仍以海洋捕撈為主，隨著全球對優質蛋白質需求增高，漁撈壓力與日俱增，導致鬼頭刀資源量減少及出現體型小型化之趨勢，永續利用議題受各國關注 (楊, 2016)。本研究致力於鬼頭刀增裕技術研究，建立鬼頭刀人工繁殖與育苗技術，了解不同階段仔稚魚最適餌料生物及掌握鬼頭刀繁養殖關鍵技術，以提供產業量產鬼頭刀及其他洄游性魚類種苗之參考。

材料與方法

一、種魚收集與自然產卵

野生種魚於綠島週邊海域以延繩釣或曳繩釣方式捕獲後，置入具有造流及增氧設備之活魚艙中蓄養，待船筏進港後施以 5 ppm 丁香酚麻醉劑使種魚穩定，確認麻醉後再以蝦母袋載運至種魚培育池。種魚培育池為 150 mt 鋼筋混凝土水池 (直徑 10 m，控制水位深度 150 – 180 cm)，利用慢速水車造流及增氧，並透過中央排水系統藉由水位差進行底部排水，池上裝設遮陽網以減少藻類繁生。為避免鬼頭刀衝撞池壁，沿著池壁每隔 90 cm 裝設打氣石形成氣泡帷幕，牆上亦畫設黑色線條讓新進種魚容易判斷距離進而達到避障效果 (Fig. 1)。



Fig. 1 The breeding pond is adorned with vertical black lines and features an aerated bubble curtain to prevent fish from hitting the walls.

鬼頭刀種魚數量 12 尾 (3 雄、9 雌)，體長介於 40 – 60 cm，體重介於 1.5 – 4 kg，每日以魷魚 (Squid)、秋刀魚 (*Cololabis saira*) 及正鰹 (*Katsuwonus pelamis*) 等生餌混合投餵。養殖水源為天然海水經沈澱後以馬達抽入種魚池備用，蓄養池採流水式每日調控換水量為總水量 1/4，水溫維持在 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ，鹽度為 31 ± 1 psu。生殖期觀察種魚產卵前及追尾行為，並記錄生殖行為模式。

二、受精卵收集與胚胎發育

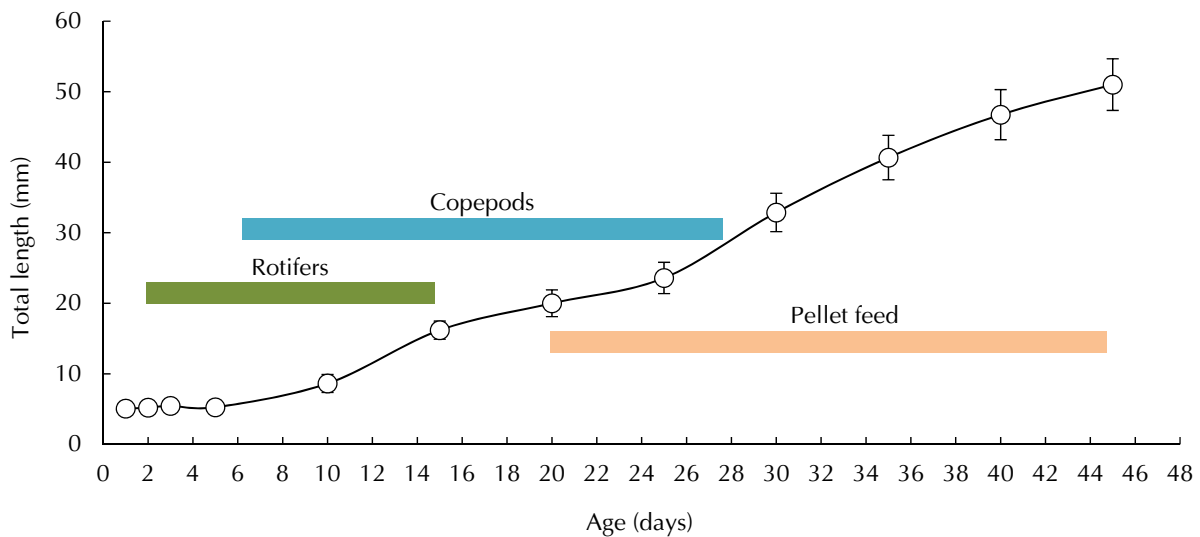
種魚於培育池肥育數月後可自然產卵。繁殖季節於溢水口架設 80 網目之浮游生物網可順利收集到受精卵。集卵網取回實驗室後，以 32 網目手抄網去除大型雜質後，以水瓢帶動桶內海水產生渦流，靜置數分鐘後收集浮於上層之受精卵。將受精卵及沉入桶底死卵分別稱重，以了解種魚之產卵量及受精率。受精卵隨後轉移入 500 L 玻璃纖維強化塑膠桶 (FRP) 中，採流水打氣方式進行孵化。過程中定時採集受精卵至凹槽玻片上，使用立體顯微鏡，測量 50 顆受精卵之卵徑及油球徑及拍攝胚胎發育過程，並記錄時間、水溫與胚胎發育之關係，直至受精卵完全孵化。

三、仔魚形態變化與形質測量

取一批次受精卵置入 1.8 mt 之 FRP 室內培育槽 (內徑為 200 cm×120 cm×80 cm)，控制溫度為 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ，鹽度保持在 31 ± 1 psu 使受精卵孵化。仔魚餌料投餵序列如 Fig. 2 所示，仔魚孵化後 60 hr 內開始投餵輪蟲 (*Brachionus plicatilis*) 作為魚苗開口餌料生物。投餵輪蟲期間 (1 – 10 天) 仔魚培育採止水式，以滴流方式添加擬球藻 (*Nannochloropsis oculata*) 穩定水質，水中透明度維持在 60 – 80 cm，第 6 日以後開始混投小型橈足類 (copepod) 與輪蟲，每日更換海水 200 – 300 L，第 10 日開始接受橈足類成蟲，第 24 日後給予微粒浮性飼料馴餌，每日下午抽底一次。試驗期間每日採樣 6 尾仔魚以立體顯微鏡拍攝仔稚魚之鰭部、體態與體色等成長過程之外形變化，並利用生物解剖顯微鏡搭配數位影像測量分析軟體 (NIS- Elements D 2.30, Nikon)，進行全長 (total

Table 1 Spawning of *Coryphaena hippurus* from April to May 2022

Spawning No.	Spawning		Spawning interval (day)	Spawning temperature (°C)	Spawning eggs (g)	Fertilization rate (%)
	Date	Time				
1	Apr. 07	16:20	–	22.7	51	25.10
2	Apr. 08	17:10	1	22.5	78	30.13
3	Apr. 11	17:30	3	23.0	105	59.05
4	Apr. 15	01:10	4	23.4	80	-
5	Apr. 17	00:40	2	25.1	230	46.30
6	Apr. 18	02:00 ; 17:50	1	24.9	482	-
7	Apr. 20	16:00 ; 01:20	2	24.0	402	90.05
8	Apr. 27	17:30	7	26.3	156	83.33
9	May 04	02:50	7	27.0	372	73.25
10	May 08	16:50 ; 03:20	4	26.7	506	54.35
Average			3.1	24.56	246.2	61.63

**Fig. 2** Growth performance and feed schedule of *Coryphaena hippurus* larvae.

length, TL)、標準體長 (standard length, SL)、頭長 (head length, HL)、吻長 (snout length, SnL)、眼徑 (eye diameter, ED)、口徑 (mouth gape, MG)、肛門前長 (preanal length, PAL)、體高 (body depth at pectoral-fin base, BDP) 等各部位形質測量 (Betti *et al.*, 2009; Pena and Dumas *et al.*, 2009)，測量結束後將標本固定於 75% 酒精中，以利後續研究進行。

四、鹽度對胚胎期胚胎孵化之影響

取受精後 30 min 2 – 4 分裂之受精卵，剔除死卵、破損卵及其他雜物，以塑膠吸管吸取 30 粒健康受精卵分別置入鹽度為 0、5、10、15、20、25、30、35 及 40 psu 之 0.5L 燒杯中，每一處理組

四重複，調控水溫為 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ ，光照週期為 12 hr 明 / 12 hr 暗，各處理組皆不打氣，並記錄各組孵化率。

五、統計分析

本實驗數據處理皆於計算其平均數與標準偏差 (mean $\pm$ SD)，以 ANOVA - Duncan's multiple range test 進行統計分析，以 $p < 0.05$ 表示各組間之平均數在統計上具顯著差異。

結 果

一、種魚培育與自然產卵

野生種魚移入培育池後，第一週存活率約為 70%。之後開始因鱗片脫落出現潮紅出血等外傷，體表潰瘍面積皆達到 30 – 50% 以上，存活率降至 10% 以下，推測可能是因為釣獲過程以撈網或手部觸摸鬼頭刀體表所致。後期釣獲種魚後，解鉤時盡量不直接觸碰魚體，並減少使用撈網以避免磨擦，結果發現可降低後期種魚鱗片脫落導致的潰瘍並提高存活率至 50%。

野生種魚入池後第 2 日，將魷魚、秋刀魚及正鰹等切成適口大小，於上午及傍晚兩時段馴餌，可引誘開口進食。待其對環境適應後，可逐漸接受粒徑 2.0 – 2.2 cm 之石斑魚粒狀飼料。

鬼頭刀是具有性別二型性之魚種，可以由外表判別其性別。雄魚頭部有明顯隆起像斧頭的特徵，雌魚頭部則相對圓潤。本研究於 2022 年 4 月中旬初次發現種魚產卵，迄 5 月中旬止，共觀察到 13 次產卵行為，詳如 Table 1 所示。13 次的產卵水溫介於 22.5 – 27.0°C，產卵時間區分為下午的 16:00 – 18:00 及半夜的 1:00 – 4:00 二個時段，其中 4 月 18、20 日以及 5 月 8 日，在同一天的深夜及黃昏各觀察到 1 次生殖行為，平均生殖周期為 3.1 天、每次產卵量約為 246.2 g (約 108 千顆)、平均受精率為 61.63% (Table 1)。初步觀察生殖周期與月相潮汐無相關，出現生殖行為前，性成熟的雄魚會跟隨雌魚身旁，在水面處沿著池壁伴游；雄魚偶而以軀體或吻部觸碰雌魚刺激其產卵；產卵開始後，種魚會浮至水面同時排卵排精；完成生殖行為後，種魚會往二側分離，數分鐘後雄魚折返繼續跟著雌魚伴游，等待下一次的排卵排精，這樣的行為模式會持續 0.5 – 1 hr。

二、受精卵與胚胎發育

鬼頭刀受精卵為球形、分離之浮性卵，平均卵徑為 1.55 ± 0.04 mm；內含一顆直徑為 0.31 ± 0.02 mm 油球，鏡檢觀察受精卵有金黃色及透明卵二種顏色，該差異由胚體及油球表現 (Fig. 3)，初步觀察顏色差異對仔魚孵化並無影響。

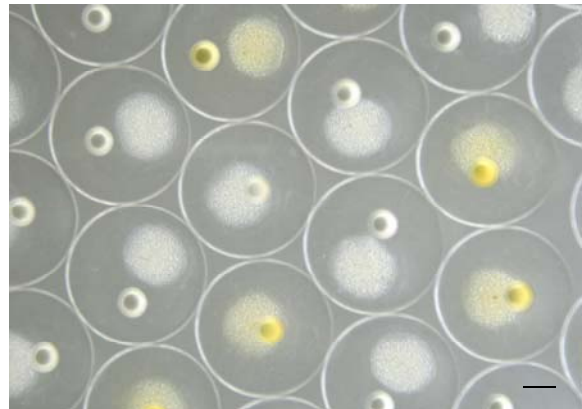


Fig. 3 Under microscopy, the fertilized eggs have two colors: golden yellow and transparent. Scale bar=1.0 mm.

胚胎發育過程如 Table 2 及 Fig. 4 所示，在水溫介於 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ ，鹽度於 32 psu 下，受精後 30 min 胚胎發育為 2 細胞期；受精後 50 min 胚胎發育為 4 細胞期 (Fig. 4A)；1 hr 25 min 為 8 細胞期；2 hr 為 32 細胞期 (Fig. 4B)；2 hr 35 min 為 64 細胞期 (Fig. 4C)；4 hr 10 min 為桑實期 (morula stage) (Fig. 4D)；10 hr 50 min 囊胚形成期 (Fig. 4E)；18 hr 35 min 囊胚覆蓋卵黃 1/2 且脊索形成 (Fig. 4F)；21 hr 40 min 後囊胚覆蓋全卵黃，眼胞形成且出現 7 體節 (Fig. 4G)；26 hr 50 min 後可發現卵黃及胚體上已出現色素胞，尾部與卵黃分離 (Fig. 4H)；28 hr 胚體出現 12 體節 (Fig. 4I)；30 hr 30 min 胚體出現色素胞 (Fig. 4J)；34 hr 20 min 眼部晶體形成，胚體可見痙攣般扭動 (Fig. 4K)；38 hr 30 min 後可發現心搏次數達 130 次/min，體液循環清晰可見 (Fig. 4L)；43 hr 時偶可見仔魚鰓蓋擺動 (Fig. 4M) 並扭動身體嘗試突破卵膜 (Fig. 4N)；48 hr 20 min 後仔魚孵化，剛孵化的仔魚全長為 5.07 ± 0.05 mm (Fig. 4O)。研究發現，當水溫升高至 $28 \pm 1^\circ\text{C}$ ，孵化時間縮短為 46 hr 30 min，當水溫降低至 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 則延長為 54 hr 30 min，顯示孵化時間與水溫呈負相關。

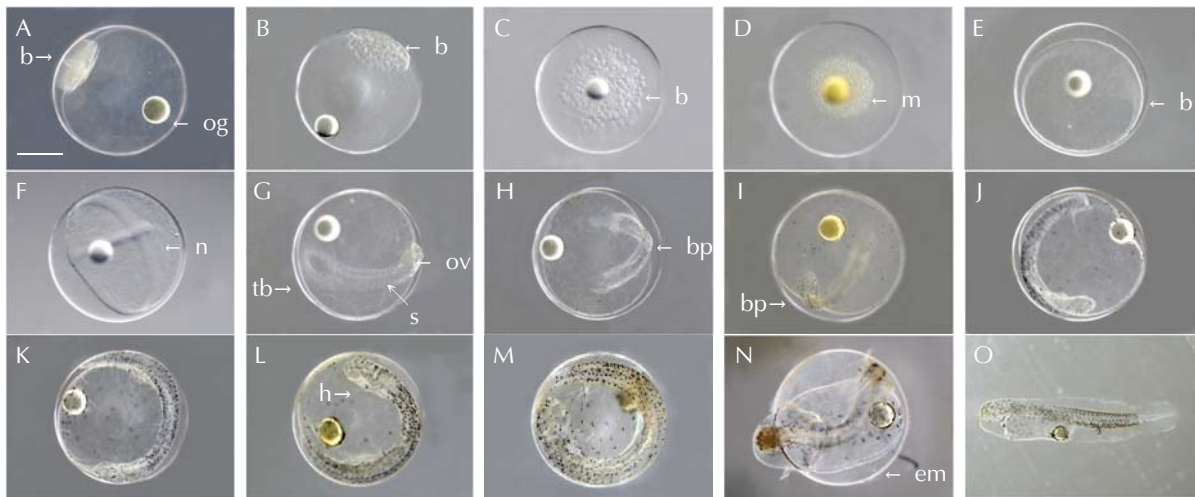


Fig. 4 Embryonic development of *Coryphaena hippurus*. A: 4-cell stage; B: 32-cell stage; C: 64-cell stage; D: morula stage (m); E: blastula stage (b); F: 1/2 of yolk is covered with blastodisc; G: optic vesicles appear (ov), 7 somites (s); H: chromatophore is visible on the embryo, tail freed from yolk sac; I: 12 somites (s); J: pigmented cells appear in embryo; K: embryo shows a spasm-like twist; L: heart rate: 130 beats/min; M: the time was 05:00 before hatching; N: egg membrane breaks; O: newly-hatched larva. b: blastomeres; bp: body pigment; em: egg membrane; h: heart; n: notochord formation; og: oil globule; tb: tail-bud; y: yolk. Scale bar: 1.0 mm (consistent for all).

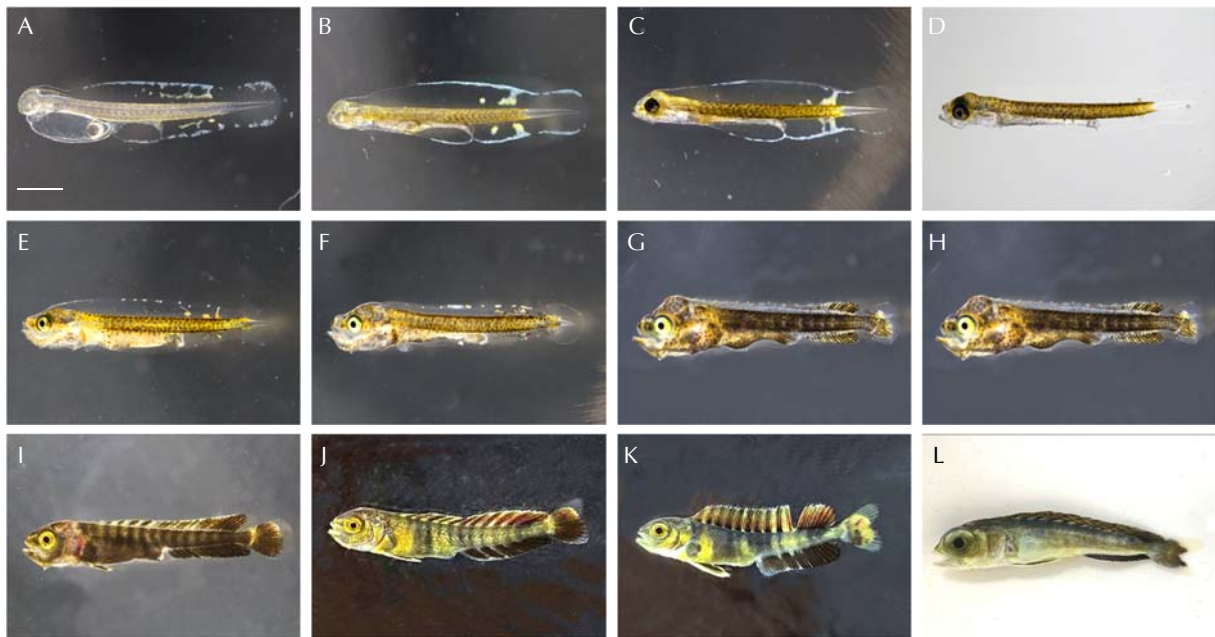


Fig. 5 Morphological changes of *Coryphaena hippurus* from larval to fry stages. A: 1 day post hatching (DPH) 5.07 ± 0.05 mm in total length (TL); B: 2 DPH 5.19 ± 0.18 mm in TL; C: 3 DPH 5.26 ± 0.12 mm in TL; D: 5 DPH 5.46 ± 0.11 mm in TL; E: 7 DPH 6.93 ± 0.65 mm in TL; F: 10 DPH 8.63 ± 0.62 mm in TL; G: 13 DPH 11.01 ± 0.91 mm in TL; H: 15 DPH 16.19 ± 1.29 mm in TL; I: 20 DPH 20.00 ± 1.90 mm in TL; J: 25 DPH 23.59 ± 2.22 mm in TL; K: 30 DPH 33.00 ± 2.44 mm in TL; L: 44 DPH 51.01 ± 3.66 mm in TL. Scale bar: 1.0 mm (consistent for all).

三、仔魚成長及形態變化

鬼頭刀仔魚形態變化如 Fig. 5 所示，初孵化仔魚平均全長為 5.07 ± 0.05 mm，體呈透明並分布色素點於軀幹部 (Fig. 5A)，此時仔魚懸浮於水槽

中上層，魚苗對環境敏感具驅光性，添加微藻控制透明度在 80 cm 左右以穩定水質及仔魚，但此驅光特性會隨著仔魚成長而降低；第2日齡仔魚 (Fig. 5B) 全長為 5.19 ± 0.18 mm，鰭部呈現透明，口及肛門未開，眼部色素尚未形成，卵黃囊已吸收。測

Table 2 Embryonic development of *Coryphaena hippurus* at different rearing temperatures

Developmental stage	Time (hr:min) elapsed at different water temperatures		
	23±1°C	26±1°C	28±1°C
Fertilized eggs: 1.55 ± 0.04 mm ; Oil globule: 0.31 ± 0.02 mm	00:00*	00:00	00:00
2-cell stage	00:35	00:30	00:25
8-cell stage	01:20	01:25	00:40
32-cell stage	02:00	02:00	01:00
64-cell stage	02:50	02:35	01:35
Morula stage	07:30	04:10	03:10
Blastula stage	15:30	10:50	09:10
1/2 of yolk is covered with blastodisc, and the embryo appears	21:00	18:35	17:10
The entire yolk is covered with blastodisc; optic vesicles are visible, 7 somites	24:00	21:40	20:10
Chromatophore is visible on the embryo; the tail is freed from the yolk sac	30:00	26:50	25:00
Optic lens has formed, swing of the tail observed	39:00	34:20	32:20
Heart rate:130 beats/min	44:00	38:30	36:40
5 hours before hatching, the operculum occasionally wiggles	49:00	43:00	42:30
At hatching, total length is 5.07 ± 0.05 mm	54:30	48:20	46:30

量腹部卵黃長徑為 0.70 mm，油球直徑為 0.16 mm；3 日齡仔魚 (Fig. 5C) 全長為 5.26 ± 0.12 mm，卵黃囊消失殆盡，可明顯發現開口及消化道暢通，鬼頭刀仔魚開始尋找可吞食的生物餌料，此時開始投餵體型介於 100–120 μ m 的輪蟲完成仔魚過料；5 日齡仔魚 (Fig. 5D) 全長為 5.46 ± 0.11 mm；7 日齡仔魚 (Fig. 5E) 全長為 6.93 ± 0.65 mm，活動力增強，對外物接近反應靈敏，且會在培育槽角落處群聚，開始混投小型橈足類；10 日齡仔魚 (Fig. 5F) 全長達 8.63 ± 0.62 mm，部份仔魚之頭部及體節處出現色素沉澱，此時可以開始提供大型橈足類；13 日齡仔魚 (Fig. 5G) 體軀幹部黑色素擴散體色變深，全長為 11.01 ± 0.91 mm，可接受 200–300 μ m 的橈足類成蟲；15 日齡仔魚 (Fig. 5H) 全長達 16.19 ± 1.29 mm；培育至 20 日齡仔魚 (Fig. 5I) 全長為 20.00 ± 1.90 mm，出現數條橫紋由背鰭向下延伸至軀幹，開始嘗試以人工微粒飼料馴餌；25 日齡仔魚 (Fig. 5J) 之全長為 23.59 ± 2.22 mm；30 日齡仔魚 (Fig. 5K) 全長為 33.00 ± 2.44 mm，已可完全接受人工飼料；44 日齡仔魚 (Fig. 5L) 全長為 51.01 ± 3.66 mm，外觀與成魚一致。另，本研究同時自基隆收集鬼頭刀 5–7 cm 野生稚魚一批，

蓄養 45 日後，檢查跳池之死亡個體，發現雄魚全長達 25.3 cm、雌魚達 21.0 cm 已可見生殖腺發育 (Fig. 6)。張等 (2008) 也指出，若營養充足，6 個月齡的養殖鬼頭刀可提早達成熟體型。



Fig. 6 Wild-caught juveniles (5–7 cm) from Keelung were raised for 45 days. Gonadal development is visible in the 25.3 cm male fish (above) and the 21.0 cm female fish (below). Scale bar: 1.0 cm.

四、鹽度對胚胎孵化之影響

鹽度對胚胎孵化率影響如 Fig. 7 所示，受精卵在鹽度 35 psu 之孵化率最佳，達 $82.5 \pm 9.6\%$ ；其次為 30 psu ($77.5 \pm 9.57\%$) 及 40 psu 組 ($65.0 \pm$

12.90%)；25 psu 組之孵化率僅 $20.0 \pm 8.16\%$ ，且仔魚孵化後數小時即死亡。20 psu 及以下之低鹽度組，胚胎於數小時後全數終止發育。統計分析結果顯示，高鹽度組 (25 – 40 psu) 與低鹽度組 (20 psu 及以下) 組之孵化率具顯著差異 ($p < 0.05$)，而高鹽度組之各組間則無顯著差異。

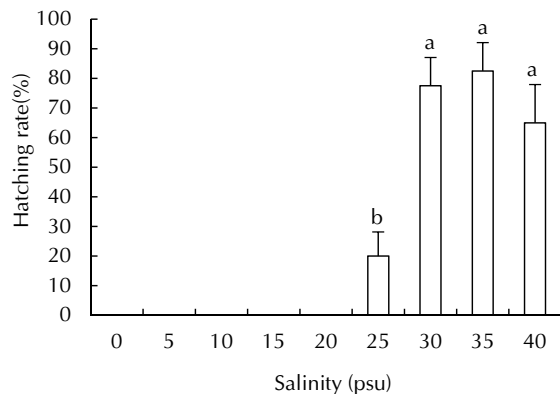


Fig. 7 Effect of salinity on the hatching rate of *Coryphaena hippurus* embryos. In each trial, different letter symbols denote a significantly different ($p < 0.05$).

討 論

本研究種魚蓄養過程發現雄魚領域性非常強烈，具優勢之雄魚常攻擊及排斥弱勢雄魚，導致弱小雄魚因打鬥受傷而死亡，最終池中僅存 1 尾雄魚，因此在種魚管理上必須更加留意。鬼頭刀是屬於多次產卵型魚類，Stieglitz *et al.* (2017) 研究發現雌性鬼頭刀全年皆可產卵，生殖季節時每隻雌魚可產卵 15,000 – 30,000 顆，每次的產卵皆可產出約體重 5% 之卵量，也導致生殖過程的雌魚體重會持續減輕。本研究之鬼頭刀種魚經 2 個月肥育後，於水溫 22.5°C 開始出現生殖行為，雄魚會在傍晚出現追尾，並同時與 2 – 3 尾雌魚追逐後偶而會在水面跳躍情形。觀察發現鬼頭刀產卵行為主要出現於傍晚及深夜，在發現水中有卵粒後即架設集卵網進行收卵工作，夜間則在 23:00 架設集卵網，持續收集受精卵至隔日早上。

Soichi (1978) 記錄在日本千葉縣水族館的鬼頭刀種魚，其產卵行為由其中一尾雄魚追尾開始，激烈的求偶方式使水花激濺，具優勢的雄性也會猛烈驅趕其他雄魚避免接近雌魚，該生殖行為與

本研究一致。但該種魚每次生殖行為僅發生在 15:35 – 17:45 之間，並無記錄本研究於夜間產卵現象。Soichi 也記錄到生殖過程時間大約出現 20 – 30 sec，但休息 5 – 40 min 後可再次追尾產卵，該生殖模式與本研究相似。千葉縣水族館的鬼頭刀因為與其他珊瑚礁魚類混養，在生殖後發現柴魚 (*Microcanthus strigatus*) 和小型展示魚類成群攝食剛產出的受精卵。另外 Ranjan *et al.* (2017) 於夏威夷大學的研究指出，觀察產卵過程全程在水面進行，種魚鮮少游入水池中層，生殖活動也是僅在黃昏時出現。Perrichon *et al.* (2019) 在邁阿密大學實驗孵化中心，將鬼頭刀以 1 雄配 8 雌之性比配對，結果顯示生殖行為會在凌晨 2:00 – 5:00 之間發生，研究員於每天清晨日出後可收穫到受精卵，有別於日本千葉水族館研究，卻與本研究夜間生殖行為相似。

學者指出雌魚會選擇夜間完成產卵，目的可能為精準計算魚苗能在夜間孵化，以最大限度減少掠食者對魚苗捕食以提高存活率。夜間產卵現象在 Margulies *et al.* (2007) 進行人工養殖的黃鰹鮪 (*Thunnus albacares*) 及 Miyashita *et al.* (2001) 研究黑鰹 (*Thunnus thynnus*) 生殖行為，也觀察到相同結果。仔魚孵化觀察也記錄到凌晨產出的受精卵，仔魚也會精準的於夜間孵化現象。本研究中清晨進行生殖行為收集的受精卵於水溫 $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 為近中午時後孵化，黃昏收穫的受精卵才會在晚間完成孵化，與邁阿密大學觀察不相符合，推測邁阿密附近海域水溫直接影響了胚胎發育，延後了胚體孵化時間。

本研究之鬼頭刀受精卵平均卵徑為 1.55 ± 0.04 mm，比較 Soichi (1978) 日本養殖鬼頭刀卵徑 1.4 – 1.65 mm、Lamadrid Rose and Boehlert (1988) 記錄夏威夷鬼頭刀卵徑 1.52 – 1.66 mm 及 Ditty *et al.* (1994) 墨西哥灣養殖鬼頭刀卵徑大小相似；Mito (1960) 記錄日本鬼頭刀卵徑 1.28 mm，比本研究來的小 (Table 3)。鬼頭刀卵與同為洄游性的鰺科魚類受精卵比較，無齒鰺 (*Gnathanodon speciosus*) 受精卵卵徑為 0.91 ± 0.06 mm (何等, 2011)、短鰭黃鰹 (*Trachinotus blochii*) 之卵徑 1.00 – 1.05 mm (何等, 2005)、紅甘鰺 (*Seriola dumerili*) 之卵徑 1.03 – 1.15 mm (林等, 1997)、青甘鰺 (*Seriola quinqueradiata*) 卵徑 1.18 – 1.34 mm

Table 3 Comparison of egg diameter, water temperature, hatching time, and fry length of *Coryphaena hippurus* across study locations reported in the literature

Remarks	Egg diameter (mm)	Water temperature (°C)	Hatching time (hr)	Fry length (mm)	Study location
Mito, 1960	1.28-1.62	21-29	48-60	3.95 ^b	Japan
Soichi, 1978	1.4-1.65	24-25	60	3.8-4.9 ^b	Japan
Uchiyama <i>et al.</i> , 1986	—	24-25	48-50	4.0-4.6 ^b	Hawaii
Lamadrid-Rose and Boehlert, 1988	1.52-1.66	26	54	4.3-5.4 ^b	Hawaii
Ditty <i>et al.</i> , 1994	1.4 ^c	20	58 ^c	—	Gulf of Mexico
		25	38 ^c	—	
		30	26 ^c	—	
Perrichon <i>et al.</i> , 2019	1.2-1.5	26	41-45	3.7-3.8 ^a	Miami
Present study	1.55 ± 0.04	23 ± 1	54	5.07 ± 0.05 ^b	Taiwan
		26 ± 1	48		
		29 ± 1	46		

^aStandard length; ^bTotal length; ^cMean egg diameter and predicted hatching times.

(呂, 1992a) 及金邊鰱 (*Seriola lalandi*) 卵徑 1.27 – 1.50 mm (呂, 1992b) 等魚類來的大。本研究發現產卵水溫 $23.5 \pm 1^\circ\text{C}$ 時, 受精卵於 54 hr 30 min 後孵化, 水溫提升至 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 則時間縮減為 48 hr 20 min 孵化, 孵化時間與水溫呈負相關。Soichi (1978) 於日本千葉縣水族館觀察鬼頭刀生殖行為, 發現受精卵於水溫 $24 - 25^\circ\text{C}$, 胚體於 59 hr 後孵化, 比本研究觀察孵化時間來的晚; Perrichon *et al.* (2019) 於邁阿密大學研究則觀察到於水溫 26°C 時胚體孵化時間為 41 – 45 hr, 相較於本研究 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 的試驗組來的早孵化; Uchiyama *et al.* (1986) 夏威夷鬼頭刀繁殖記錄水溫 $24 - 25^\circ\text{C}$, 胚體約 48 – 50 hr 後孵化, 與本研究觀察孵化時間來近似, 但孵化仔魚體長為 4.0 – 4.6 mm, 比本研究個體來的小。

孵化水溫 $23 - 25^\circ\text{C}$ 仔魚開口時間為第 3 天; 水溫提高至 $27 - 29^\circ\text{C}$, 發現仔魚第 2 日齡眼睛、口部及消化道暢通, 可以開始進食, 因此高水溫期可提早一天投餵餌料生物, 鬼頭刀仔魚於 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 孵化約 60 hr 後開口攝食, 於 70 hr 後可見胃內容物有輪蟲碎片, 鬼頭刀仔魚培育至第 7 日齡後開始改投橈足類可順利進食。文獻指出以橈足類作為幼魚餌料, 橈足類自身的營養可提供幼魚大量長鏈高度不飽和脂肪酸 (HUFA) 使完成稚魚階段 (Watanabe *et al.*, 1978)。Faillettaz *et al.* (2020) 指出當仔魚餌料以輪蟲和豐年蝦無節幼體

投餵時, 它們的 HUFA 含量太低, 長時期餵食鬼頭刀仔魚會出現大量死亡現象, 特別是當仔魚處於緊迫條件時 (高放養密度、疾病、寒冷、變態過程等)。Faillettaz *et al.* (2020) 試驗改使用橈足類後對鬼頭刀仔魚存活提升至 65%。因此本研究以市售之滋養液 (Omega 加強派克滋養液) 及微藻進行滋養輪蟲與橈足類後投餵, 發現可提高仔魚存活率至 60%。

鬼頭刀仔稚魚成長快速, 對其生存有相當重要的意義, 攝食及避敵的能力增加, 可增強對環境之適應及提高活存機會。試驗中觀察鬼頭刀仔魚的開口口徑為 $368 \pm 6 \mu\text{m}$; 第 6 日齡為 $1,130 \pm 9 \mu\text{m}$; 第 10 日齡為 $1,988 \pm 12 \mu\text{m}$, 已比初期增大 5.3 倍, 開口口徑的快速增大可有效改變捕食餌料之大小及種類, 使個體成長更為快速, 故在育苗期間餌料之更換是需要相當謹慎之重點。

Pasparakis *et al.* (2019) 針對鬼頭刀胚胎浮力控制機制研究發現鬼頭刀胚胎在具紫外線環境下, 受精卵會自行調整比重下沉以遠離紫外線危害, 當紫外線停止照射復便恢復浮力上浮至表水層, 其機制目前未知, 唯一能確定的是其胚胎控制浮力方式不是多數魚種常見的氨封存 (ammonia sequestration) 方式表現。本研究並未發現該現象, 但在梅雨後鹽度的改變也影響了浮力的表現, 觀察池水鹽度低於 28 psu 時, 全數魚卵皆沈入孵化槽底部, 鹽度提升至 29 psu, 受精卵開始上浮,

比重與海水一致，30 psu 時，魚卵才全部浮至水面。從鹽度對受精卵影響試驗也發現，25 psu 時，仔魚孵化率為 20.0%，孵化後的仔魚於 4 hr 後全數死亡，鬼頭刀胚體需於 30 psu 以上才有較好的孵化率及育成率。比較近海魚種如點帶石斑 (*Epinephelus coioides*) 之胚胎於 5 psu 的鹽度下有 23.5% 的孵化率 (葉等, 1995); 黑鯛 (*Acanthopagrus schlegelii*) 囊胚中期 (middle gastrula) 及胚體形成期胚胎 (embryo formed stage) 於鹽度 5 psu 下，孵化率尚有 1.9 及 11.6% (丁等, 1995)。鬼頭刀對鹽度改變相當敏感，仔魚培育池降雨後的鹽度低於 25 psu，魚苗全數死亡。育苗過程建議全程利用雨棚或室內培育設施以減少鹽度的影響。另比較海鱸 (*Rachycentron canadum*) 在不同鹽度對仔魚存活率研究中也發現，第 5 日齡海鱸仔魚於鹽度 20 及 30 psu 之存活率分別為 59.2% 及 61.2%，鹽度 30 psu 時，亦高於 20 psu 以下之試驗組別；第 7 日齡仔魚以 30 psu 組之存活率 (32.5%) 最佳，研究觀察出最適合海鱸育苗鹽度為 20 - 30 psu (李等, 2011)，與本研究鬼頭刀仔魚對滲透壓調節敏感且不耐低鹽特性一致，這也直接導致大洋表層洄游性魚類對鹽度降低的變化非常敏感且脆弱，也是培育這些魚苗的瓶頸與挑戰。

結 論

鬼頭刀成長快速，種魚在人為環境下，可利用調控產卵方式，達到全年生產鬼頭刀種苗的目標。本研究初步建立鬼頭刀種苗育成技術，種魚在培育池中可自然產卵，未來將持續建立繁殖及育苗條件，將其繁養殖相關技術最佳化，並提供業者進行商業量產，以減少對鬼頭刀野生族群之依賴，達到永續海洋資源之目標。

謝 辭

本研究經費由行政院農業委員會 111 農科-6.5.1-水-A1 計畫項下支助，執行期間承蒙中心同仁董家宏先生、李任棋先生及范氏碧小姐協助育苗研究；李欣怡、柯淳嚴小姐協助種魚觀察及記錄；陳正發先生協助種魚運送，使本研究能順利完成，併此表達由衷之謝意。

參考文獻

- 丁雲源, 葉信利, 朱永桐 (1995) 鹽度對黑鯛魚卵發育及孵化之影響. 臺灣省水產試驗所試驗研究工作報告, 389-385.
- 呂明毅 (1992a) 紅甘鯪的種苗生產基礎研究-卵發育與仔稚魚的形態變化. 養魚世界, 5: 85-90.
- 呂明毅 (1992b) 金邊鯪的種苗生產基礎研究-成熟促進卵發育與仔稚魚的形態變化. 養魚世界, 4: 99-109.
- 何源興, 陳哲明, 陳文義 (2005) 短鰭黃臘鯪的人工誘導產卵及其初期發育. 水產研究, 13(2): 25-32.
- 何源興, 鄭明忠, 江玉瑛, 張文炳, 陳文義 (2011) 無齒鯪 *Gnathanodon speciosus* 的初期發育及育苗研究. 水產研究, 19(2): 45-54.
- 李彥宏, 張文清, 張賜玲, 林駿, 劉世傑, 陳紫嫻 (2011) 不同環境因子對海鱸胚胎及魚苗發育之影響. 水產研究, 19 (1): 29-36.
- 林金榮, 涂嘉猷, 陳春暉 (1997) 紅甘鯪種魚的池中馴育及誘導產卵試驗. 水產研究, 5(1): 71-79.
- 邵廣昭 (2022) 臺灣魚類資料庫 (<http://fishdb.sinica.edu.tw>).
- 張賜玲, 鄭明忠, 廖紹文, 劉世傑, 李彥宏, 陳紫嫻 (2008) 鬼頭刀的種魚培育及自然產卵習性. 水試專訊, 22: 9-12.
- 葉信利, 朱永桐, 許晉榮, 丁雲源 (1995) 鹽度對點帶石斑器官形成前後胚體發育之影響. 水產研究, 3(2): 133-142.
- 楊家榛 (2016) 臺灣東部海域鬼頭刀 (*Coryphaena hippurus*) 資源之漁業與體型指標分析. 國立臺灣海洋大學碩士論文.
- 漁業署 (2021) 110年漁業統計年報 (https://www.fish.gov.tw/view.php?theme=FS_AR&subtheme=&id=21).
- Betti, P., L. Machinandiarena and M. D. Ehrlich (2009) Larval development of Argentine hake *Merluccius hubbsi*. J. Fish Biol., 74: 234-249.
- Ditty, J. G., R. F. Shaw and J. S. Cope (1994) Larval development, distribution, and abundance of common dolphin, *Coryphaena hippurus* and pompano dolphin, *C. equiselis* (family: coryphaenidae), in the northern Gulf of Mexico. Fish Bull., 92: 275-291.
- Faillietaz, R., E. Johnson, P. Dahlmann, A. Syunkova, J. Stieglitz, D. Benetti, M. Grosell and C. B. Paris (2020) Ontogeny of orientation during the early life history of the pelagic teleost mahi-mahi, *Coryphaena hippurus* Linnaeus, 1758. Oceans, 1(4): 237-250.
- Hagood, R. W., G. N. Rothwelly, M. Swafford and M.

- Tosaki (1981) Preliminary report on the aquacultural development of the dolphin fish, *Coryphaena hippurus* (Linnaeus). J. World Maricul. Soc., 12(1): 135-139.
- Kloeblen, S., J. D. Stieglitz, J. A. Suarez, M. Grosell and D. D. Benetti (2017) Characterizing egg quality and larval performance from captive mahi-mahi *Coryphaena hippurus* (Linnaeus, 1758) spawns over time. Aquacul. Res. (doi:10.1111/are.13459).
- Kraul, S. (1989) Review and current status of the aquaculture potential for the mahimahi, *Coryphaena hippurus*. Advances in Tropical Aquaculture, Workshop at Tahiti, French Polynesia, 20 Feb.-4 Mar. 1989.
- Kraul, S., A. Nelson, K. Brittain, H. Ako and A. Ogasawara, (1992) Evaluation of live feeds for larval and postlarval mahimahi *Coryphaena hippurus*. J. World Aquacul. Soc., 23(4): 299-306.
- Kraul, S., K. Brittain, R. Cantrell, T. Nagao, A. Ogasawara, H. Ako and H. Kitagawa (1993). Nutritional factors affecting stress resistance in the larval mahimahi *Coryphaena hippurus*. J. World Aquacul. Soc., 24(2): 186-193.
- Lamadrid-Rose, Y. and G. W. Boehlert (1988) Effects of cold shock on egg, larval, and juvenile stages of tropical fishes: potential impacts of ocean thermal energy conversion. Mar. Environ. Res. 25:175-193.
- Margulies D, Sutter J, Hunt S. (2007) Spawning and early development of captive yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). Fish Bull, 105: 249- 265.
- Mito, S. (1980) Egg development and hatched larvae of the common dolphin-fish *Coryphaena hippurus* Linne. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 26: 223-226.
- Miyashita, S., Y. Sawada, T. Okada, O. Murata and H. Kumai (2001) Morphological development and growth of laboratory-reared larval and juvenile *Thunnus thynnus* (Pisces: Scombridae). Fish Bull., 99: 601-616.
- Pasparakis, C., Y. Wang, J. D. Stieglitz, D. D. Benetti and M. Grosell (2019) Embryonic buoyancy control as a mechanism of ultraviolet radiation avoidance. Sci. Total Envir., 651: 3070-3078.
- Pena, R. and S. Dumas (2009) Development and allometric growth patterns during early larval stages of the spotted sand bass *Paralabrax maculatofasciatus* (Percoidei: Serranidae). Scientia Marina, 73: 183-189.
- Perrichon, P., J. D. Stieglitz, E. G. Xu, J. T. Magnuson, C. Pasparakis, E. M. Mager, Y. Wang, D. Schlenk, D. D. Benetti, A. P. Roberts, M. Grosell and W. W. Burggren (2019) Mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*) life development: morphological, physiological, behavioral and molecular phenotypes. Dev. Dyn., 248(5): 337-350.
- Ranjan, R., M. Muktha, S. Ghosh, A. Gopalakrishnan, G. Gopakumar and I. Joseph (2017) Prioritized Species for Mariculture in India. ICAR-CMFRI, Kochi, 450 pp.
- Soichi, M. (1978) Spawning behavior of the dolphin, *Coryphaena hippurus*, in the aquarium and its eggs and larvae. Jpn. J. Ichthy. 24(4): 290-294.
- Stieglitz, J. D., R. H. Hoenig, S. Kloeblen, C. E. Tudela, M. Grosell and D. D. Benetti, (2017) Capture, transport, prophylaxis, acclimation, and continuous spawning of mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*) in captivity. Aquaculture, 479: 1-6.
- Uchiyama, J. H., R. K. Burch and S. A. Kraul Jr. (1986) Growth of dolphins, *Coryphaena hippurus* and *C. equiselis*, in Hawaiian waters as determined by daily increment on otoliths. Fish. Bull., 84: 186-191.
- Watanabe, T., C. Kitajima, T. Arakawa, K. Fukusho and S. Fujita (1978) Nutritional quality of rotifer *Brachionus plicatilis* as a living feed from the viewpoint of essential fatty acids for fish. Nippon Suisan Gakk., 44: 1109-1114 (in Japanese).

Studies on the Early Embryonic Development and Larval Rearing of the Common Dolphinfinch (*Coryphaena hippurus*)

Ming-Chung Cheng, Yu-Ying Jiang, Jui-Hsien Wu, Jung-Hau Chiou, Yuan-Shing Ho
and Chia-Min Hsu*

Eastern Fishery Research Center, Fisheries Research Institute

ABSTRACT

The common dolphinfinch (*Coryphaena hippurus*) holds global significance, but its fishery has faced a decline in size and yield due to overfishing. This study aims to establish early-stage development and seedling cultivation techniques, providing a foundation for enhancing fishery resources and supporting industrial seedling production. The fertilized eggs of the common dolphinfinch are buoyant and semi-transparent, with an average diameter of 1.55 ± 0.04 mm, containing a single oil globule with an average diameter of 0.31 ± 0.02 mm. Hatching occurs around 48 hours and 20 minutes after fertilization at a water temperature of $26 \pm 1^\circ\text{C}$ and a salinity of 32 psu. The median length of the newly-hatched larvae is 5.07 ± 0.05 mm. On the 3rd day post-hatching (DPH), their length increases to 5.46 ± 0.12 mm begin feeding on small rotifers, specifically *Brachionus plicatilis*. On the 6th DPH, the larvae reach an average total length of 5.81 ± 0.62 mm, showing increased mobility, and copepod nauplii can be introduced. By the 10th DPH, the larvae achieve an average length of 6.63 ± 0.60 mm, with enhanced feeding capabilities, allowing for mixed feeding of copepod adults. It's essential to ensure overlapping use of various feeds. On the 30th DPH, the juvenile fish have an average total length of 33.00 ± 2.44 mm and can fully accept artificial formulated feed. The pattern of bands and colors of the juveniles on the 45th DPH (50.70 ± 5.02 mm) is consistent with that of the adults.

Key words: *Coryphaena hippurus*, spawning behavior, early development, larval rearing

*Correspondence: Eastern Fishery Research Center, Fisheries Research Institute, 22 Wu-Chuan Rd., Chengkung, Taitung 961, Taiwan. TEL: (089) 850-090 ext. 305; FAX: (089) 850-092; E-mail: cmhsu@mail.tfrin.gov.tw