

以環境條件縮短日本鰻的仔魚期之研究

林天生 摘譯

水產試驗所淡水繁養殖研究中心

近年來日本的養殖鰻魚年生產量有 2 萬多噸，產值維持在 200—400 億日元，養殖用的種苗全部依靠天然捕獲的鰻線，2008 年日本國內的鰻線捕獲量約 6 公噸。如果與 1963 年有 232 公噸的漁獲相比，可發現長期以來資源量明顯減少。由於這些問題，人工鰻線量產技術也被要求能盡早確立。日本鰻 (*Anguilla japonica*) 仔魚的培育技術開發，根據 Tanaka et al. (2001) 報告指出，發現鯊魚卵有可利用性；自 2003 年報導鰻線初次培育成功後 (Tanaka et al., 2003; Kagawa et al., 2005)，目前的研究，著重於如何穩定的量產鰻線。

鰻魚仔魚培育上的問題點之一，是完成變態需要很長時間。如果根據耳石的分析，天然環境中，仔魚開始變態的日齡，是孵化後 116—138 天 (Cheng and Tzeng, 1996) 或 100—160 天 (Arai et al., 1997)，但在人工培育下，所需時間比這更長。有報告指出 (Tanaka et al., 2003; Okamura et al., 2009)，自孵化到變態約需 250 天左右；或者是接近 300 天，超過 700 天以上的例子也有 (增田等，2011)。仔魚期的長短，被認為會受成長速度的影響，而由於在 50% 海水中的成長比在 100% 海水中還好 (Okamura et al., 2009)，可看出環境條件對初期至中期的仔魚成長會有一定影響。其他會造成仔魚成長遲緩的原

因，有認為是因飼育水溫 (22—23°C) (Tanaka et al., 2001; Okamura et al., 2009; Tsukamoto et al., 2009) 比天然棲息水域的水溫 (27—28°C) 低所造成 (Otake et al., 1998)。另外飼料的營養價或者攝餌量是否滿足仔魚的成長，則還不明確，攝餌量的不足等也被認為可能會影響成長。在環境、飼育條件中，作者等首先對飼育水溫、給餌次數以及調整仔魚的收容密度進行探討，顯示在此條件下，最短的可從孵化後 131 天達到變態 (增田等，2011)。

材料及方法

雌鰻來源有產自穴道湖者及由人工育成的鰻線所育成者，雄鰻則購自養鰻業者，開始催熟後即採不給餌飼育管理。雌鰻每週注射鮭魚腦下垂體抽出物，觀察到卵徑增大後再注射經基黃體素 (17 β -hydroxyprogesterone) 誘導排卵 (Kagawa et al., 1997)。雄鰻每週注射人類絨毛膜促性腺激素 (Ohta et al., 1996)。經由誘導產卵 (Satoh et al., 1996) 或人工授精 (Yamamoto et al., 1994) 得到受精卵，孵化後的仔鰻，在試驗開始前，以 25°C 水溫蓄養，不給餌。

試驗 1：探討水溫對初期飼育的影響。試驗採三重覆，各組都是採用壓克力製 10 L

盆狀水槽 (橋本等, 2009) 3 個, 每個水槽放養 250—252 尾仔魚 (試驗組 1 及 3 是孵化後 5 天, 試驗組 2 是孵化後 6 天)。飼育水溫有 1 槽是 23°C (23°C 區), 1 槽是 25°C (25°C 區), 另外一槽是從 7:00 至 15:00 控制在 25°C, 15:00 至隔天 7:00 控制在 23°C (23/25°C 區)。除飼育水溫不同, 其他的條件各槽都一樣。給餌從蓄養隔日開始, 設定每 2 小時 1 次, 1 天 5 次 (7:00-15:00)。每一個水槽投餌以棘角鯊魚卵為主要成分的餌料 (SE) (增田等, 2011) 7 ml, 每次給餌時間 15 分鐘。照明度 1,500—2,000 lux, 除了給餌及更換水槽期間以外, 關掉燈光。注水量每分鐘 0.6—0.7 L, 每天 1 次以虹吸將仔鰻移至乾淨水槽。試驗於孵化後 20 天 (試驗組 2 及 3) 或 21 天 (試驗組 1) 結束, 各取 20 尾以 400 ppm 苯氧乙醇進行麻醉, 然後用萬能投影機 (Nikon, V-12B) 進行全長及體高測定。

試驗 2: 探討水溫對初期飼育成果的影響和追加給餌的效果。試驗區的設定, 最初培育水溫控制在 23°C 和 25°C。給餌分成每 2 小時 1 次, 1 天 5 次的試驗組 (STD 代表標準的 1 天投餌 5 次), 以及第 5 次給餌 8 小時後 (23:00) 再投餌 1 次的試驗組 (add23 代表 5 次後, 於晚上 23:00 再追加 1 次)。根據這些的組合, 設定 23_STD、23_add23、25_STD 及 25_add23 四組, 各試驗組有 3 個水槽 (同上), 每槽放養孵化後 5 天的仔魚 250—255 尾。餌料和給餌方法、照明、注水量及更換水槽等和試驗 1 相同, 孵化後 20 天試驗結束。

試驗 3: 探討水溫對變態的影響。將孵化後 243 天的仔魚, 蓄養於 6 個水槽 (同上), 每槽各 4 尾, 3 槽水溫控制在 27.5°C,

另外 3 槽為 27.5/25°C。27.5°C 組以 27.5°C 培育至試驗結束。27.5/25°C 組是最初設定 27.5°C, 試驗開始後的第 7 天、14 天、21 天, 分別有 24 小時降至 25°C, 之後再調整至 27.5°C, 其溫度變化是經由 1—2 小時改變。除此之外的條件, 兩組相同。基本上每 2 小時投餌 1 次, 1 天 5 次, 每隔 7 天是按照前一天的比例, 在第 5 次的給餌後 8 小時再追加 1 次, 合計 1 天進行 6 次的給餌。每個水槽投餌 SE 飼料 7 ml, 每次的給餌時間為 15 分鐘。注水量為每分鐘 0.8—0.9 L。照明和更換水槽如試驗 1, 每日確認有無開始變態個體, 第 28 天 (孵化後 271 天) 結束試驗。

試驗 4: 孵化後 6 天的仔魚, 蓄養於 6 個水槽, 每槽各放養 255—324 尾。6 個水槽中有 3 個為試驗組 1 (處理組 1), 3 個為試驗組 2 (處理組 2)。培育水溫在試驗組 1, 從開始到結束都控制在 23°C。試驗組 2 開始是設定為 25°C。由於培育中的仔鰻, 隨著成長比重會下降, 為了防止浮到上層死亡, 水溫到了孵化後 65—73 天緩緩上升, 孵化後 73 天以後控制在 27.5°C。另外, 孵化後 118 天以後, 基本上設定為 27.5°C, 每 7 天 1 次, 每次 24 小時調降到 25°C。兩組都在孵化後 6 天的 13:00 開始給餌。試驗組 1 從 7:00 到 15:00, 每 2 小時投餌 1 次, 每天共 5 次。試驗組 2 是孵化後 6 天的 13:00、15:00、18:00、21:00、24:00 及孵化後 7 天的 3:00 進行投餌, 孵化後 7 天的 7:00 以後, 到孵化後 133 天, 此期間是每 2 小時 1 次, 每天 5 次, 從第 5 次後 8 小時再投餌 1 次, 合計共給餌 6 次。孵化後 134 天到 284 天, 也是每隔 7 天以前一天的比率進行 6 次投餌, 除此之外的日子

和試驗組 1，同樣 1 天投餵 5 次。孵化 284 天以後，兩試驗組都是每 2 小時投餵 1 次，合計 5 次。每次投餵 SE 飼料 7 ml，給餌時間每次 15 分鐘。注水量是最初每分鐘 0.6—0.7 L，配合仔魚的成長而增加，最後是每分鐘 0.9 L。試驗組 2 為了進行分槽，原先在收容時 1 個水槽的集團在本篇稱為「群」。試驗組 2 在孵化後 10 天，每一群分到 2 個水槽，孵化後 17 天每一群分到 4 個水槽。分槽是在給餌時間 (15 分鐘) 結束後，大致沒有殘餌時進行。之後由於受預備水槽數量的限制，孵化後 74 天各群只增加一個水槽，從此以後各群為 5 個。

在分槽之前，孵化後 9 天，各水槽取 10—11 尾麻醉後測定全長及體高，孵化後 10 天計算活存尾數。之後是從孵化 20 天以後，每 20 天計算活存的尾數，同時各水槽取 5—20 尾進行麻醉，測定其全長和體高。當開始變態的個體之肛門靠近全長中央附近的階段時，從飼養水槽分出，蓄養供其他用途，往後到變態完成前，進行不給餌飼養管理。因此，上述飼育設定的條件，在隔離的時間點就結束。

統計處理：資料是進行 t-檢定 (Student's t distribution) 或是二元配置分散分析 (two-way ANOVA) 後，用 Tukey-Kramer 多重檢定分析。 $p < 0.05$ 表示有顯著的差異。關於活存率及變態比率是進行逆正弦變換後，進行檢定處理。

結果

試驗 1：供各組試驗進行的卵，其受精

率及孵化率，試驗組 1 為 98.5% 及 87.9%，試驗組 2 為 90.7% 及 33.5%，試驗組 3 為 94.9% 及 91.9%。各試驗組的活存率、全長及體高如表所示。就活存率而言，23℃組和 23/25℃組之間，在 3 試驗組沒有共通的趨勢，但在全部的試驗組中，25℃組活存率較低。

試驗 2：本試驗使用的卵，其受精率及孵化率各為 6.0% 及 4.3%。試驗結束的活存率，組間無顯著差異 (二元配置分散分析、水溫效果， $p = 0.67$ ，給餌次數效果， $p = 0.47$ ，交互作用， $p = 0.22$)。就孵化後 20 天的平均全長而言，試驗組間有顯著差異 (水溫效果， $p = 0.12$ ；給餌次數效果， $p = 0.008$ ；交互作用， $p = 0.17$)，25_add23 的平均全長與 23_STD 相比，明顯較大 ($p < 0.05$)。孵化後 20 天的平均體高，試驗組間沒有顯著差異 (水溫效果， $p = 0.23$ ；給餌次數效果， $p = 0.12$ ；交互作用， $p = 0.43$)。

試驗 3：到了試驗開始後 7 天，兩組變態個體，都各只有 1 尾。除了這些，到試驗開始後 28 天，開始變態的個體，一直是 27.5/25℃組較多，但只有試驗開始後 19 天及 20 天有顯著差異 ($p < 0.05$)。

試驗 4：供本試驗使用的卵，其受精率及孵化率各為 93.7% 及 77.8%。在孵化後 9 天，平均全長，試驗組 2 比試驗組 1 明顯較大 ($p = 3.70 \times 10^{-5}$)。孵化後 9 天，平均體高，試驗組間沒有明顯差異 ($p = 0.073$)。活存率在 10 日齡時，試驗組 2 明顯較高，從孵化後 20—120 天之間的各時間點，試驗組間沒有顯著差異 ($p > 0.05$)。平均全長及平均體高，試驗組 2 明顯較大 ($p < 0.05$)。試驗組 1 有一

群，孵化後 97 天因事故而失敗。在試驗組 1，開始變態個體於孵化後 180 天首次出現，孵化後 671 天結束飼養，最後的變態率是 $7.6 \pm 0.8\%$ ($7.0-8.2\%$)。在試驗組 2，開始變態個體於孵化後 137 天首次出現，孵化後 414 天結束飼養，最後的變態率是 $12.5 \pm 1.4\%$ ($10.8-15.1\%$)。從孵化後 160—420 天之間的各時間點，試驗組 2 的變態率明顯較高 ($p < 0.05$)。獲得鰻線的平均日齡，試驗組 1 是孵化後 300.5 天及 304.6 天，試驗組 2 是孵化後 216.0 天、191.6 天及 223.6 天，試驗組 2 的時間明顯較短 ($p < 0.01$)。

討論

如果根據耳石的分析，天然鰻魚從孵化到變態的仔魚期達 100 天以上 (Cheng and Tzeng, 1996; Arai et al., 1997)，而在人工飼養條件下，需要更長的時間 (Kagawa et al., 2005)。造成仔魚期很長的原因，可能是因為成長很緩慢。筆者等首先考慮在高水溫下可能會提升成長速度，飼育水溫由以往的 23°C (Tanaka et al., 2001; Okamura et al., 2009; Tsukamoto et al., 2009) 改為 25°C ，探討初期的飼育成果。結果各試驗組之成長未有明顯差異，另一方面，在 3 次的試驗中， 25°C 組的活存率比 23°C 及 $23/25^{\circ}\text{C}$ 組差。推測可能是 25°C 組的仔鰻代謝變活躍，但一天當中最長有 16 小時處於無給餌狀態，以致活存率比 23°C 組低。如果這種假設是正確的，將無給餌狀態縮短為 8 小時，預期應可提升活存率。但是檢討在試驗 2 追加第 6 次的給餌效果發現，試驗組間的活存率無差異，沒獲得

結論。但是，在試驗 4 就孵化後 10 天的活存率而言，有追加給餌的試驗組 2，比試驗組 1 高，利用增加給餌次數，不能否定可改善 25°C 組在初期的活存率。另一方面，在試驗 2，孵化後 20 天， 25°C 投餌 6 次的全長比 23°C 投餌 5 次的來得大，顯示高水溫與增加投餌次數的搭配能加速成長。因此也檢討試驗 4 到孵化後 9 天的成長時，高水溫與增加投餌次數搭配，獲得全長較大的結果。

另一方面，觀察仔魚攝餌行為時發現，初期給餌時，過 15 分鐘仍會有殘餌，由於給餌量固定，隨著仔魚成長，常可發現餌料沒有殘留。因此，成長至一定程度後，應該會因餌料缺少而阻礙成長。為了改善這樣的問題，在試驗 4 的試驗組 2，因應增加攝餌量的目的，進行分槽。像這樣提高飼育水溫、增加投餌次數，並且分槽降低飼育密度的結果，從孵化後 20 天到 120 天的各時間點，試驗組 1 和試驗組 2 的活存率沒有差異，但試驗組 2 的仔魚全長與體高都比較大。筆者等是依據先前的資料，利用飼育條件的改善，指出各群組中最大個體的成長加速 (增田等, 2011)，本試驗更確立群組全體的成長加速。

至於從孵化到變態成鰻線的平均天數，試驗組 2 也比試驗組 1 縮短。在本試驗最後的變態比率，試驗組間沒有明顯差異，但數值上，試驗組 2 超過試驗組 1，另外從孵化後 160—400 天，試驗組 2 的變態比率明顯比試驗組 1 高。此結果，試驗組 2 全部群組中有 10% 以上的變態比率，並且得到的鰻線中有 $95.4 \pm 2.2\%$ ($91.7-100\%$) 可以在孵化後 300 天完成變態。在試驗組 1，到孵化後 300

天得到的鰻線有 $47.5 \pm 0.1\%$ ($47.4-47.6\%$, t 檢定, $p = 0.012$)。像這樣, 試驗組 2 仔魚期比試驗組 1 縮短。此結果顯示可能對成長有相當的幫助。另一方面就試驗 3 看到的水溫變化和開始變態的關係而言, 在整個試驗期間, $27.5/25^\circ\text{C}$ 組的開始變態比率超過 27.5°C 組, 以及在一部分的日齡, 開始變態的比率有明顯差異, 因而寄望飼育水溫的變化能縮短仔魚期, 試驗 4 的試驗組 2 和試驗 3 的 $27.5/25^\circ\text{C}$ 組, 採用相同的水溫設定。但是由於要充分注意被認為有可能變態, 全長 50 mm 左右的仔鰻, 在目前有些困難, 因而有關水溫變化和變態有什麼關係, 尚無法作更多的研究。

目前在已知建立的各種飼育條件下, 仔鰻個體成長仍有很大的差異。加上變態開始的機制有很都多尚未了解 (Kuroki et al.,

2010), 獲得鰻線的日齡範圍很廣 (増田等, 2011)。因此, 要驗證各種因素對成長促進, 或是縮短到達鰻線期間等的效果很困難。於是本研究先針對可能具促進成長效果的數種因素組合後的效益為目標, 進行探討, 利用飼育條件的調整加速成長, 已證明能縮短仔魚期。這些因素中, 哪一種對成長的促進及縮短到變態的期間有多少作用還未知, 另外這些促進作用, 其功效也可能因發育階段而不同, 解開這些關鍵為今後的課題。如果能找出最適的飼育水溫、給餌頻率及飼育密度, 就更有可能促進成長及縮短到變態的時間。

註：本文摘譯自増田賢嗣、神保忠雄、今泉 均、橋本 博、小田憲太朗、松田圭史、照屋和久、薄 浩則 (2013) 水溫・給餌回數・飼育密度の調整によるウナギ *Anguilla japonica* 仔魚期間の短縮。日本水產學會誌, 79(2): 198-205.

試驗 1 的日本鰻仔魚在不同水溫的活存率、試驗初及試驗末之全長、體高

	水 溫 ($^\circ\text{C}$)	試 驗 初				試 驗 末			
		孵化後的天數	尾 數	全 長 (mm)	體 高 (mm)	孵化後的天數	活存率 (%)	全 長 (mm)	體 高 (mm)
試驗組 1	23	5	250	6.85 ± 0.07	0.63 ± 0.01	21	76.8	11.94 ± 0.13	1.18 ± 0.32
	23/25*		250				86.8	11.73 ± 0.30	1.13 ± 0.06
	25		252				52.8	12.29 ± 0.12	1.21 ± 0.04
試驗組 2	23	6	250	6.92 ± 0.07	0.61 ± 0.01	20	82.0	10.78 ± 0.12	1.01 ± 0.03
	23/25*		250				78.4	10.83 ± 0.18	1.04 ± 0.04
	25		250				48.4	10.54 ± 0.17	0.98 ± 0.03
試驗組 3	23	5	250	6.84 ± 0.03	0.58 ± 0.01	20	58.4	10.14 ± 0.18	0.96 ± 0.03
	23/25*		250				60.4	10.11 ± 0.21	0.94 ± 0.03
	25		250				39.6	10.09 ± 0.31	0.99 ± 0.03

* 7:00-15:00 水溫控制在 25°C , 15:00 到隔天 7:00 水溫控制在 23°C