

九孔基因歧異度對幼苗活存率及幼貝成長表現之影響

杜金蓮* · 曾福生 · 王姿文 · 張錦宜

行政院農業委員會水產試驗所水產養殖組

摘 要

在為期 34 天之九孔 (*Haliotis diversicolor*) 浮游苗附著浪板後活存率試驗中, 所採用之品系分別為: 宜蘭養殖品系 (strain YA 及 strain YB)、臺東野生品系 (strain TTA 及 strain TTB)、臺南養殖品系 (strain TN) 及臺南與基隆和平島的雜交品系 (strain TNK)。YB、TTA 及 TTB 在試驗期間, 幼苗的活存率均高於 90%, YA 於第 34 天時下降至 82%, 活存率最差的為 TN 及 TNK, 分別為 67.5% 及 70.5%。比較活存率最高及最低的 TTB 及 TN 之基因歧異度, 發現 TTB 之基因歧異度遠大於 TN 品系。進一步探討三種不同配對的九孔子代在 3~10 月齡間的成長表現, 結果顯示, 東北角養殖的雌九孔與臺東野生雄九孔所產的子代 (strain 1) 成長最快, 至 10 月齡之殼長為 36.26 ± 5.77 mm; 其次為東北角養殖九孔子代 (strain 2) 的 33.06 ± 4.13 mm 與臺東野生雌九孔與東北角養殖雄九孔子代 (strain 3) 的 31.73 ± 3.54 mm。在活存率方面, 經過 8 個月的飼養, strain 1 活存率為 97%, strain 2 為 83%, strain 3 為 98%。成長及活存率均以 strain 1 最佳。綜合上述結果顯示, 透過雜交可使族群之基因歧異度增加, 使九孔之成長與活存率有較佳的表現。

關鍵詞: 九孔 (*Haliotis diversicolor*)、基因歧異度、雜交、自交、雜交優勢

前 言

九孔為臺灣海水域之重要養殖種類之一, 臺灣的九孔養殖已有 30 餘年歷史, 於 2001 年之年產量曾達 2,497 mt, 產值 20 億元, 種苗年產量曾高達 2~3 億粒。然而養殖的幼貝主要由自家養殖場選取成長快、外型佳者為種貝繁育而成, 因未有效管理種貝之選擇與配種策略, 致使養殖九孔的遺傳變異逐年降低, 增大遺傳瓶頸效應, 出現近交衰退問題。自 2000 年起, 養殖九孔陸續發生幼苗大量落板死亡以及養成九孔大量死亡現象, 養殖成績急轉直下重創九孔養殖產業發展 (曾等, 2008)。

為解決九孔產業問題, 由產官學研界組成的研究團隊於 2003 年歸納出九孔苗落板大量死亡的原因: 涵蓋受精卵品質不佳、水質不良、浪板上

附著藻量減少或種類改變、溶藻弧菌大量增生感染死亡及病毒性疾病感染等 5 大因素, 多年來相關研究人員一直兢兢業業探討解決對策 (丁與楊, 2003; 曾與林, 2012)。水產試驗所的研究團隊經多年的追蹤觀察, 發現養殖九孔於冬季死亡率高、抗病性及抗逆性差, 顯現出對環境變化敏感且適應力低、成長速度慢, 且個體有小型化之趨勢, 因此由種原調查與雜交育種等面向切入展開一系列研究。

傳統育種常由一個生物族群中, 選拔最佳形質的親本進行配對, 在人為的養殖環境, 逐代選拔, 但由於交配族群內數量不足, 會產生近交現象, 逐代累積, 造成遺傳變異下降。近親繁殖可衍生一連串的遺傳學效應, 最明顯的影響是與繁殖能力或生理機能相關的性狀呈現表現型的平均值下降, 這種現象稱為近交退化 (inbreeding depression) (Charlesworth and Willis, 2009)。近親交配在水產動物會累積有害對偶基因 (deleterious alleles) 已多有證明, 例如斑馬魚 (*Danio rerio*)、吳郭魚 (*Oreochromis aureus*) (McCune *et al.*,

*通訊作者 / 基隆市和一路 199 號; TEL: (02) 2462-4121
轉 2818; FAX: (02) 2462-8138; E-mail: jldu@mail.tfrin.gov.tw

2004; Palti *et al.*, 2002)，近交結果造成隱性 (recessive) 有害對偶基因逐代累積，而影響後代的活存率 (Charlesworth and Willis, 2009)。與自然野生族群相比，養殖族群所採用的繁殖個體，數量相對很少，所以發生近交退化的可能性也相對增加，可能造成個體早熟、成長緩慢以及族群適應力、活存率、繁殖力降低風險，對族群長遠發展而言並非好事 (曾等, 2008)。

面臨水產養殖物種的種種挑戰，除了積極提升養殖相關技術及改善養殖生態環境，針對養殖物種近親退化現象，亟需導入雜交技術培育新品種為養殖貝類育種的重要方法 (You *et al.*, 2009; Xu *et al.*, 2009; Luo *et al.*, 2010; Cruz and Gallardo-Escafate, 2011; Zhang *et al.*, 2012)。有關雜交優勢 (heterosis) 的論述，Shull 指出在二倍體生物產生子代時，如子代配子之基因型為較不相似 (dissimilar) 之組合，則此子代顯現出生長優勢之性狀 (Shull, 1948, 1952)。此外，經由有系統的人為選育，在鮭鱒魚已有相當之育種成果 (Donaldson, 1970)；Haskin 和 Andrews (1988) 在牡蠣的抗病選育已成功克服了病毒感染問題。

在臺灣九孔方面的研究，2008 年曾等在養殖與野生九孔的遺傳變異調查中發現，臺灣養殖九孔的遺傳變異、基因多型性及等位基因個數，不但顯著低於野生貝，且有明顯的基因偏離現象 (曾等, 2012)。於 2012 年針對 6 個臺灣不同來源的野生群體的粒線體細胞色素氧化酶次單元基因 (cytochrome c oxidase subunit I, COI) 之部分基因序列進行分析比對，發現臺灣的九孔群體遺傳變異明顯低於日本九孔群體，表示臺灣的九孔野生群體的遺傳變異正處於下降狀態 (曾等, 2012)，此警訊亟須審慎面對因應。

本研究目的是應用隨機擴增多態性 DNA (Random Amplified Polymorphic DNA, 以下簡稱 RAPD) 標記技術探討臺灣九孔各品系之遺傳變異、幼苗活存率及幼苗成長率三者的關係作為未來九孔育種、資源管理與應用之根據。

材料與方法

一、九孔來源

(一) 試驗一

試驗九孔分為宜蘭九孔養殖場之養殖品系 (以下簡稱 strain YA 及 strain YB)；臺東之野生九孔品系 (strain TTA 及 strain TTB)；臺南之養殖九孔品系 (strain TN) 及臺南與基隆之九孔雜交品系 (strain TNK)。

(二) 試驗二

試驗九孔分為正交組 (strain 1)：由臺灣東北角養殖雌九孔與臺東野生雄九孔所產的子代；自交組 (strain 2)：臺灣東北角養殖貝所產子代以及反交組 (strain 3)：臺東野生雌九孔與臺灣東北角養殖雄九孔所產的子代。

二、九孔幼苗之活存率試驗

以試驗一的九孔為材料，於浮游幼苗開始附著浪板後，於浪板上隨機選取 5 個 5 cm × 5 cm 之面積，計數此面積附著之九孔數量，以附著浪板後第一天之計數為活存率 100%，每日觀察計數，為期 34 天。

三、不同雜交子代之成長試驗

以試驗二的九孔為材料，從養殖貝及野生貝逢機挑選種貝，依正交組：由養殖雌九孔與野生雄九孔；自交組：養殖雌九孔與養殖雄九孔和反交組：野生雌九孔與養殖雄九孔配對。所繁殖子代分別為 strain 1、strain 2 及 strain 3，於第 3 個月起，每組隨機選取 300 顆分別置於 FRP 水槽 (120 × 60 × 60 cm)，並定期投餵龍鬚菜，每個月測量殼長及計數活存率，由 3 月齡測至 10 月齡。

四、採樣與體基因組萃取

(一) 試驗一

於試驗結束時取 strain TN (活存率最低) 及 strain TTB (活存率最高) 各採樣 30 顆九孔，萃取體基因組 DNA，供日後遺傳變異分析用。

(二) 試驗二

於試驗結束時各組各採樣 30 顆九孔，萃取體基因組 DNA，供日後遺傳變異分析用。

(三) 體基因組萃取

切取約 0.1 g 的肌肉組織均質後，加入 500 μ l lysis buffer (500 μ g/mL proteinase K、50 mM Tris-HCl [pH7.5]、10 mM EDTA、0.5% SDS) 混合均勻，置於 55 $^{\circ}$ C 下，輕搖振盪 2 h 後，加入等體積的 phenol/chloroform 均勻混合，於 4 $^{\circ}$ C 以 12,000 \times g 下離心 10 min，取上清液加入 6 倍體積無水酒精，靜置於 -70 $^{\circ}$ C 下 1 h 後，以 12,000 \times g 4 $^{\circ}$ C 離心 30 min 除去上清液，再以 70% 酒精離心清洗沉澱物，於室溫下陰乾，陰乾後加入適量 TE buffer 溶解，放置於 -25 $^{\circ}$ C 冰箱保存 (曾等, 2008)。

五、RAPD 引子

委請國內生技公司訂製合成之隨機引子，經 PCR 篩選出 6 條可清楚辨識且再現性高者進行樣本分析，引子序列如 Table 1 所示。

Table 1 Nucleotide sequences of six random primers, and number of amplified bands, shown in the RAPD analysis in *H. diversicolor*

Primer	Sequences of primer (5'→3')	Total bands
P3	GACCGCTTGT	9
P5	CAAACGTCGG	10
P7	AGACGTCCAC	7
P8	TGTAGCTGGG	11
P9	AATGGCGCAG	11
P12	CCGCCTAGTC	13

六、聚合酶連鎖反應

取九孔體基因組 DNA 樣品 1.0 μ l (30 ng/ μ l)、2 μ l 引子 (10 μ M)、0.5 μ l dNTP (10 mM)、1.0 μ l MgCl₂ (30 mM)、0.5 μ l polymerase (100 U/ μ l) 和無

菌水 15.0 μ l，使之最終體積為 20 μ l。PCR 反應條件：預熱 94 $^{\circ}$ C，15 min，執行 30 個循環，每個循環依序進行變性 (denature) 94 $^{\circ}$ C，45 sec、煉合 (annealing) 42 $^{\circ}$ C，45 sec、延長 (elongation) 72 $^{\circ}$ C，30 sec；最後於 72 $^{\circ}$ C 延伸 10 min 使作用完全，擴增產物於 4 $^{\circ}$ C 儲藏備用 (曾等, 2008)。

七、瓊脂膠電泳觀察

聚合酶連鎖反應產物以 0.5 倍 Tris-acetate (TAE) 溶液等倍稀釋，加入 1 μ l 6 倍 loading dye，混合後取 10 μ l 進行電泳分析，經 120 伏特電泳 30 min，電泳後膠體浸泡在 0.5 μ g/ml 溴化乙錠 (ethidium bromide, EtBr) 溶液中染色 1 min，再以蒸餾水退染 10 min，退染後於紫外燈下顯影，再由影像分析系統 (Bio Imaging System, SYNGENE, UK) 觀察和拍照。

八、統計分析

試驗一之數據以 t-test 分析檢定，試驗二則採用 one-way ANOVA 分析檢定，以比較各組殼長，差異顯著性 $p < 0.05$ 。

結 果

在比較不同品系九孔於附苗後之存活率部份 YB、TTA 及 TTB 在為期 34 天的觀察期間，其存活率均高於 90%，且在第 34 天之存活率分別為 96%、94% 及 99.5%；YA 則於觀測第 16 天時，存活率降至 89.5%，第 34 天下降至 82%；TN 及 TNK 則在第 8 天分別測得 86% 及 89% 之存活率，於第 34 天分別下降至 67.5% 及 70.5% (Fig. 1)。

進一步以 RAPD 引子經 PCR 條帶擴增 strain TN 及 strain TTB，可發現明顯的差異，strain TN 在分子量 600~1,000 bps 間僅有三條明顯的條帶，其餘條帶皆不明顯，反觀 strain TTB，經 PCR 條帶擴增後，大多數個體於分子量 100~2,000 bps 間至少超過 20 個條帶，基因歧異度遠大於 strain TN (Fig. 2)。

而於九孔品系不同配對組合的後代比較成長試驗中，strain 1 起始殼長從 3 月齡平均殼長 22.13

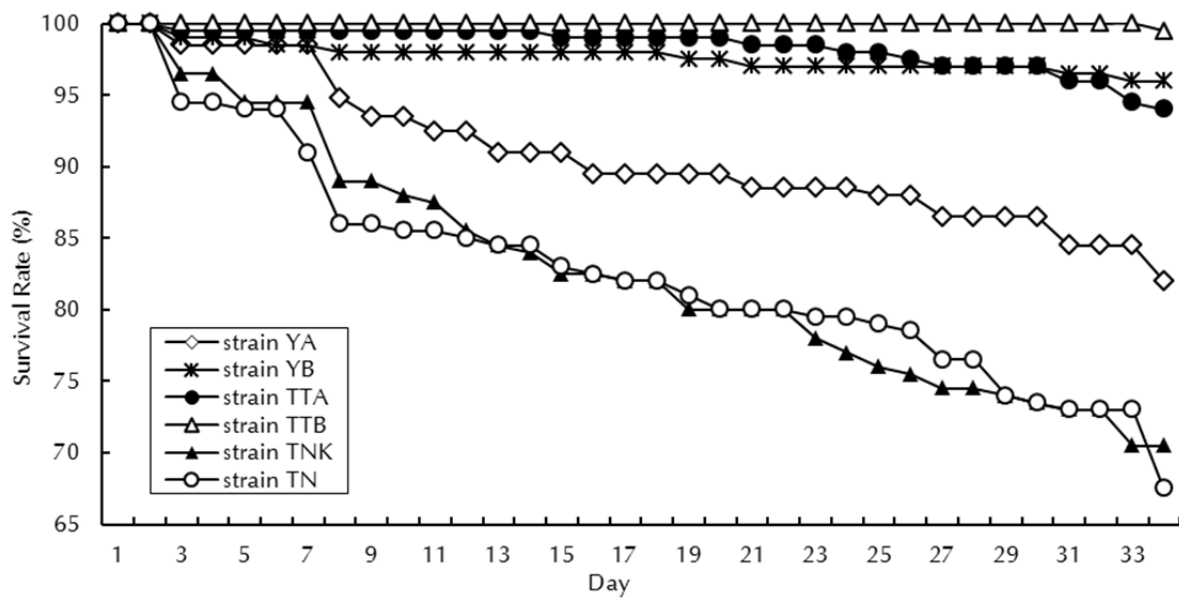


Fig. 1 Daily larval survival rates of six small abalone strains. Strain YA and strain YB were inbred farmed strains from Ilan; strain TTA and strain TTB were inbred wild strains from Taitung; strain TN was an inbred farmed strain from Tainan; strain TNK was a hybrid crossing of farmed strains from Tainan with farmed strains from Keelung.

Table 2 Shell length comparisons of three strains of small abalone during the experimental period. Strain 1: a hybrid crossing of a female farmed strain with male wild strains; strain 2: an inbred farmed strain; s 3: a hybrid crossing of a female wild strain with a male farmed strain

Expt. Group	Mean \pm SD (mm)							
	3-month-old	4-month-old	5-month-old	6-month-old	7-month-old	8-month-old	9-month-old	10-month-old
Strain 1	22.13 \pm 5.7 ^a	23.82 \pm 4.9 ^a	26.75 \pm 5.4 ^a	26.19 \pm 4.7 ^a	29.25 \pm 4.1 ^a	33.07 \pm 4.9 ^a	35.28 \pm 4.19 ^a	36.26 \pm 5.77 ^a
Strain 2	14.17 \pm 3.9 ^b	18.89 \pm 4.9 ^b	22.40 \pm 4.1 ^b	21.00 \pm 5.7 ^c	25.29 \pm 5.9 ^b	26.88 \pm 6.9 ^c	31.47 \pm 5.37 ^b	33.06 \pm 4.13 ^b
Strain 3	13.25 \pm 2.9 ^b	17.95 \pm 2.7 ^b	22.48 \pm 5.8 ^b	23.59 \pm 2.3 ^b	27.70 \pm 2.3 ^a	29.84 \pm 2.4 ^b	32.23 \pm 3.03 ^b	31.73 \pm 3.54 ^b

Values within each column with different superscripts indicated significantly different ($p < 0.05$)

± 5.7 mm 成長到 10 月齡之平均殼長 36.26 ± 5.77 mm；strain 2 的九孔自 3 月齡平均殼長 14.17 ± 3.9 mm 成長到 10 月齡平均殼長 33.06 ± 4.13 mm；strain 3 則從 3 月齡之平均殼長 13.25 ± 2.9 mm 成長到 10 月齡之平均殼長 31.73 ± 3.54 mm，結果顯示，strain 1 殼長從實驗開始至結束皆顯著高於 strain 2 及 strain 3 ($p < 0.05$)，而 strain 3 殼長在 6~8 月齡顯著高於 strain 2 ($p < 0.05$)。但成長至 10 月齡時 strain 3 殼長略小於 strain 2，惟統計上並不顯著 (Table 2)。在活存率方面，經過 8 個月的飼養，strain 1 活存率達到 97%，strain 2 的九孔之活存率

為 83%，而 strain 3 活存率則是高達 98% (Table 3)。

從基因歧異度上比較，以 RAPD 引子分析，PCR 條帶擴增後，在分子量 100~1,200 bps 之間，因 strain 1 與 strain 3 的瓊脂膠電泳照片極相似，故僅選用 strain 1 與 strain 2 進行分析比較。結果顯示，strain 1 的總擴增條帶數平均為 15，遠大於 strain 2 的 9~11 條間；在分子量 800~1,000 bps 間，strain 1 在 820 bps 及 870 bps 有明顯的差異條帶產生 (深淺不一)，而這在區間 strain 2 並沒有明顯的條帶 (Fig. 3)。

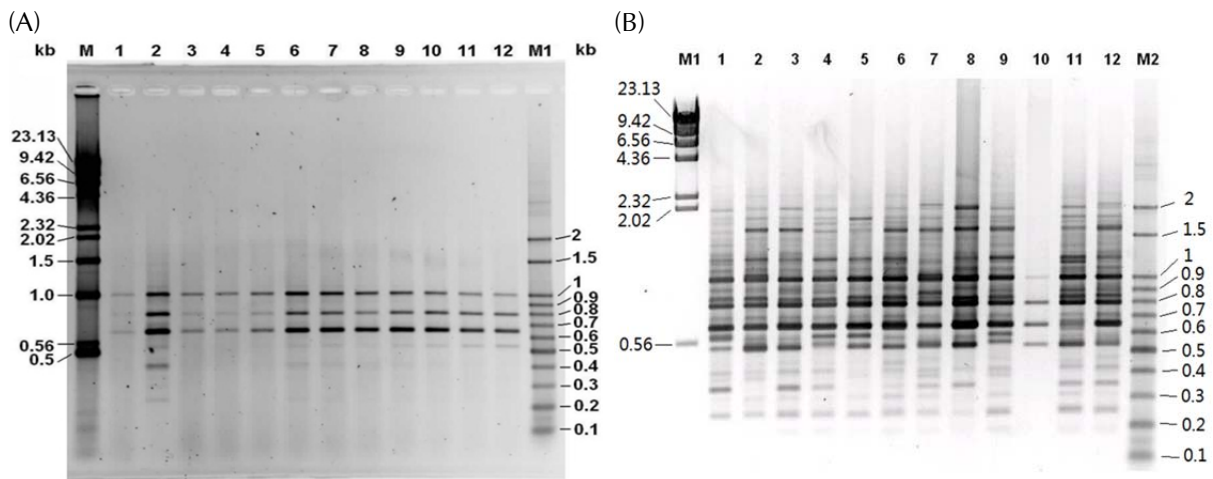


Fig. 2 Amplification products for RAPD primer for farmed abalone and wild abalone to compare with the genetic polymorphism. (A) Strain TN (an inbred farmed strain from Tainan); (B) strain TTB (inbred from wild strains from Taitung), had the higher gene diversity. M was DNA ladder molecular weight standards.

Table 3 Comparisons of the survival rates of the three small abalone strains. Strain 1: a hybrid crossing of a female farmed strain with male wild strains; strain 2: an inbred farmed strain; strain 3: a hybrid crossing of a female wild strain with a male farmed strain

Expt. Group	Initial sample size (number)	Final sample size (number)	Mortality Rate (%)	Survival Rate (%)
Strain 1	300	291	3	97
Strain 2	300	249	17	83
Strain 3	300	295	1.7	98

討 論

基因歧異度又稱基因多樣性或遺傳歧異度，Nei 在 70 年代即對基因歧異度下定義：「由一族群中隨機選取的兩個等位基因為相異的機率 (the probability that two alleles taken at random within a population are different)」(Nei, 1973)；族群中的每一個體 (基因體) 之不同的遺傳組合便可展現不同的性狀，族群中所有生物個體的基因總合即為此族群之基因庫 (gene pool)。當此族群的個體數愈多，通常也代表此族群的基因庫愈大，相對的基因歧異度也愈大；而基因歧異度之增加，將使同種內的個體差異性增加，也將使此群體對環境改變的適應力變大，增加生存機會。

一些九孔雜交的試驗報告著重於探討親代與子代的生理及養殖特性，包括早年針對不同品系

及雜交子代之卵徑、受精率、胚胎發育速度、幼體附著率、幼體變態率、幼體活存率以及稚貝早期生長狀況之探討 (游等, 2005)、型態特徵與養殖性能比較 (游等, 2010)，近年則針對於不同雜交組合在受精率、幼體附著率、幼體活存率、活存率和生長速度的研究 (蘇等, 2011)，有關不同組合之雜種優勢分析、選擇反應 (correlated selection response) 及現實遺傳力 (realized heritability) 估計等也多有著墨 (蔣等, 2013a, b; 林與游, 2013; 胡等, 2014)，而於基因歧異度與子代活存率之關聯則未見探討。

本團隊提出九孔育種研究中基因歧異度與子代活存率之初步證據，針對不同品系組合之子代進行基因歧異度及活存率分析，發現該品系之基因歧異度越高，其子代活存率也越高，基因歧異度與活存率呈正相關，這與曾等於 2008 針對臺灣

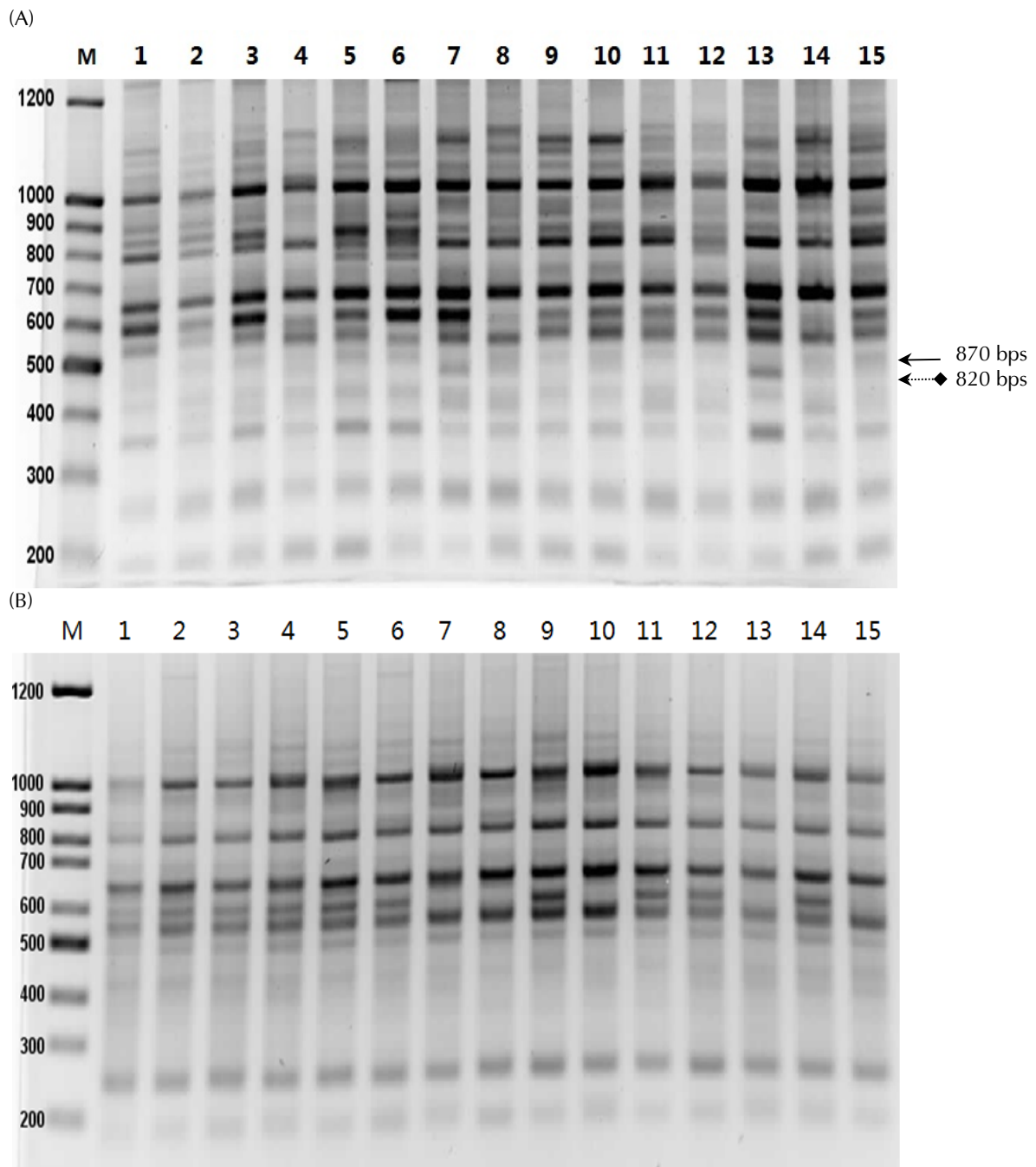


Fig. 3 Genetic polymorphisms of RAPD amplification products from two strains of small abalone. (A) Strain 1: a hybrid crossing of a female farmed strain with male wild strains; (B) strain 2: an inbred farmed strain. Strain 1 had the higher genetic diversity. M was DNA ladder molecular weight standards.

東部養殖與野生九孔的遺傳變異分析，發現野生九孔的基因多態性遠高於養殖九孔，而雜交子代的擴增帶介於兩親之間的結果一致（曾等，2008）。

近年來不少臺灣的九孔養殖戶對養殖九孔的近親繁殖導致之種原弱化問題相當重視，部份業

者已開始進行不同地理群之九孔雜交育種，甚至使用日本九孔與臺灣九孔進行雜交，產出台日雜交九孔第一代子代其成長率與增重率優於日本九孔及臺灣九孔，且亦能適應臺灣養殖環境（于，2013）。而於本研究，針對養殖及野生九孔品系之正反交與自交子代（苗齡約同為3月齡）成長試驗

也初步證實，雜交優勢確實影響子代之成長與存活率，且正反交亦有差異。正交組之 strain 1 殼長從實驗開始至結束皆顯著高於其他 2 品系，且 strain 1 幼苗階段的成長雜交強勢顯著優於其他 2 品系；反交組 strain 3 殼長在 6~8 月齡顯著高於 strain 2 ($p < 0.05$)。雖於 10 月齡時 strain 3 殼長略小於 strain 2，但統計上並不顯著，表示 strain 3 之整體之雜交強勢優於 strain 2，其中 strain 2 在 5~7 月的夏季期間有排卵排精現象，因此，有成長減緩，甚至死亡情況發生。從基因歧異度上比較，試驗二的東北角養殖親貝擴增基因條帶類似於 Fig. 2A，野生親貝擴增基因條帶類似於 Fig. 2B，於子代 strain 1 的總擴增條帶數平均為 15，遠大於 strain 2 的 9~11 條間，也可證明 strain 1 具有較高的基因多型性 (Fig. 3)。

透過雜交選育確實可增加子代基因的歧異度，且經比對幼苗之存活率及成長情形後，發現基因歧異度低的幼貝其存活率顯著較低，成長發育情形亦顯著較差。在太平洋牡蠣 (Hedgecock and Davis, 2007)、扇貝 (Zhang *et al.*, 2007) 之研究顯示，經由具有顯著遺傳差異的種內群體雜交，可讓雜交子代之經濟性狀較自交子代表現優異；然而正反交親本雌雄的選擇配對，也對子代的成長有不同的影響，這在海灣扇貝 (鄭等, 2004; Haibin *et al.*, 2007)、雜色鮑 (游等, 2010)、長牡蠣 (孔等, 2013)、櫛孔扇貝 (劉等, 2003, 2005) 等不同群體的正反交、自交配對組合對子代存活率、成長性狀也有差異的研究結果一致，因此，親代的正反交組合也應列入育種之考量。

本團隊為進一步求證，採集不同養殖場之九孔種貝及野生九孔種貝，先用分子生物技術輔助選種育種平台，篩選出基因歧異度較大者作為種貝，再進行人工配種，以擴大幼苗的基因歧異度，經多次現場育苗試驗結果，幼苗之存活率均提升數倍，幼苗對餌藻的利用度及成長情形也顯著提升，所育成之九孔也可耐受東北角海底池寒冽的養殖環境，並可耐輪獲採捕的壓力；此外，經 2003~2007 年的調查結果顯示，民間養殖場之種貝基因已有同質化現象，應是造成九孔苗大量落苗原因之一，擴大幼苗的基因歧異度，將可大幅提升幼苗存活率及成長率。此外，比較不同配對組合的九孔後代成長，雜交的組合無論在成長及活存

率都有較佳的表現，這種情形在現場的養殖結果也相同。

因此，在利用基因標誌分析遺傳變異時，遺傳變異與存活率的高低極相關，雜種優勢的獲得與保持同樣重要，故未來應建立累積各品系與基因資料之關聯分析，以提出最適性之配種策略。在配種時，需注意親本的質與量的選擇，除了不宜長期利用單一品系九孔，適時利用不同養殖場間九孔品系之交換和雜交；另一方面要注意繁殖親本的數量，避免基因漂流效應，如此方可有效管理並維持九孔之基因歧異度，有效地防止養殖所造成的族群基因歧異度急劇降低和近交衰退，以利永續經營九孔產業。

參考文獻

- 丁雲源, 楊鴻禧 (2003) 九孔種苗生產及病蟲害防治. 水產試驗所特刊, 1: 1-79.
- 于淳康 (2013) 培育九孔種內雜交品系及應用於國內養殖. 國立臺灣海洋大學碩士論文, 基隆.
- 孔令鋒, 滕爽爽, 李琪 (2013) 長牡蠣中國群體與日本群體雜交子一代的生長和存活比較. 海洋科學, 37(8): 78-84.
- 林壯炳, 游偉偉 (2013) 雜色鮑群體間雜交的雜種優勢分析. 南方水產科學, 9(4): 28-32.
- 胡志國, 劉建勇, 包秀鳳, 蔣湘 (2014) 九孔鮑雙列雜交家系子代的雜種優勢與配合力分析. 南方水產科學, 10(1): 43-49.
- 曾福生, 林金榮 (2012) 雜交育種改善九孔養殖成效佳. 水試專訊, 37: 9.
- 曾福生, 杜金蓮, 朱惠真, 謝立偉, 林金榮 (2012) 臺灣及日本野生九孔粒線體 cytochrome c oxidase subunit I (COI) 基因序列變異及遺傳結構之分析. 水產研究, 21(1): 35-42.
- 曾福生, 周賢鏘, 朱惠真, 余俊欣, 盧民益, 林金榮 (2008) 利用 RAPD 分析臺灣東部養殖及野生九孔的遺傳變異. 水產研究, 16(2): 49-58.
- 游偉偉, 柯才煥, 蔡明夷, 王志勇, 王藝磊 (2005) 雜色鮑日本群體與臺灣群體雜交的初步研究. 廈門大學學報 (自然科學版), 44(5): 701-705.
- 游偉偉, 駱軒, 王德祥, 林壯炳, 林煥陽, 柯才煥 (2010) “東優 1 號” 雜色鮑及其親本群體的形態特徵和養殖性能比較. 水產學報, 34(12): 1837-1843.
- 劉小林, 常亞青, 相建海, 李富花, 劉憲傑 (2005) 櫛孔扇貝不同種群雜交效果的研究 II. 中國種群和俄羅斯種群及其雜種 F_1 中期生長發育. 海洋學報, 27(2): 135-140.

- 劉小林, 常亞青, 相建海, 劉憲傑, 李富花, 劉保忠 (2003) 櫛孔扇貝中國種群與日本種群雜交一代的中期生長發育. 水產學報, 27(3): 193-199.
- 蔣湘, 劉建勇, 賴志服 (2013a) 九孔鮑養殖群體與野生群體雜交一代生長比較. 廣東海洋大學學報, 33(1): 22-27.
- 蔣湘, 劉建勇, 賴志服 (2013b) 九孔鮑選擇群體 F_1 的選擇反應與現實遺傳力估計. 南方水產科學, 9(2): 9-13.
- 鄭懷平, 張國範, 劉曉, 關華勇 (2004) 海灣扇貝雜交家系與自交家系生長和存活的比較. 水產學報, 28(3): 267-272.
- 蘇芳, 王小兵, 黃勃 (2011) 雜色鮑的雜交育苗研究. 海洋科學, 2(1): 63-66.
- Donaldson, L. R. (1970) Selective breeding in salmonid fishes. Marine Aquaculture (M). Oregon State Univ. Press, Corvallis, Oregon., 65 - 74.
- Charlesworth, D. and J. H. Willis (2009) Fundamental concepts in genetics: The genetics of inbreeding depression. Nature Rev. Genet., 10: 783-796.
- Fabiola, Lafarga de la ruz and Gallardo-Escárate Cristian (2011) Intraspecies and interspecies hybrids in *Haliotis*: natural and experimental evidence and its impact on abalone aquaculture. Rev. Aquacult., 3(2): 74-99.
- Haibin, Z, L. Xiao, Z. Guofan and W. Chunde (2007) Growth and survival of reciprocal crosses between two bay scallops, *Argopecten irradians concentricus* Say and *A. irradians irradians* Lamarck. Aquaculture, 272: S88-S93.
- Haskin, H. H. and J. D. Andrews (1988) Uncertainties and speculations about the life cycle of the eastern oyster pathogen *Haplosporidium nelsoni* (MSX). AFS Spe.I Pub., 18: 5-22.
- Hedgecock, D. and J. P. Davis (2007) Heterosis for yield and crossbreeding of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. Aquaculture, 272: S17-S29.
- Luo, X., C. Ke, W. You, D. Wang and F. Chen (2010) Molecular identification of interspecific hybrids between *Haliotis discus hannai* Ino and *Haliotis gigantea* Gmelin using amplified fragment-length polymorphism and microsatellite markers. Aquacult. Res., 41 (12): 1827-1834.
- McCune, A. R., D. Houle, K. McMillan, R. Annable and A. Kondrashov (2004) Two classes of deleterious recessive alleles in a natural population of zebrafish, *Danio rerio*. Proc. R. Soc. Lond. B., 271: 2025-2033.
- Nei, M. (1973) Analysis of gene diversity in subdivided populations. Proc. Natl. Acad. Sci., 70: 3321-3323.
- Palti, Y., A. Shirak, A. Cnaani, G. Hulata, R. R. Avtalion and M. Ron (2002) Detection of genes with deleterious alleles in an inbred line of tilapia, *Oreochromis aureus*. Aquaculture, 206: 151-164.
- Shull, G. H. (1948) What is "heterosis"? Genetics, 33: 439-446.
- Shull, G. H. (1952) Beginnings of the heterosis concept. In Heterosis: a record of researches directed toward explaining and utilizing the vigor of hybrids (J. W. GOWEN ed.), Iowa State College Press, 14-48.
- Xu, F., G. Zgang, X. Liu, S. Zhang, B. Shi and X. Guo (2009) Laboratory hybridization between *Crassostrea ariakensis* and *C. sikamea*. J. Shellfish Res., 28(3): 453-458.
- You, W. W., C. H. Ke, X. Lou and C. H. Wang (2009) Growth and survival of three small abalone *Haliotis diversicolor* populations and their reciprocal crosses. Aquacult. Res., 40(13): 1474-1480.
- Zhang, Y., Z. Wang and X. Yan (2012) Laboratory hybridization between two oysters: *Crassostrea gigas* and *Crassostrea hongkongensis*. J. Shellfish Res., 31(3): 619 - 625.
- Zhang, H., X. Liu, G. Zhang and C. Wang (2007) Growth and survival of reciprocal crosses between two bay scallops, *Argopecten irradians concentricus* Say and *A. irradians irradians* Lamarck. Aquaculture, 272: S88-S93.

The Effects of Genetic Diversity on Survival Rate and Growth Performance Among Hybrid Strains of Abalone (*Haliotis diversicolor*)

Jin-Lien Du^{*}, Fu-Shen Tseng, Zi-Wen Wang and Chin-I Chang

Aquaculture Division, Fisheries Research Institute

ABSTRACT

We compared the larval survival rates of the F₁ generations of six small abalone strains in Taiwan, including two inbred farmed strains from Ilan (YA and YB), two inbred wild strains from Taitung (TTA and TTB), one inbred farmed strain from Tainan (TN) and a hybrid crossing of farmed strains from Tainan and Keelung (TNP). While the YB, TTA and TTB strains had larval survival rates of more than 90% and the YA strain had an 82% larval survival rate, the TN and TNK strains had the lowest larval survival rates at 67.5% and 70.5%, respectively, after 34 days. Thus, we decided to study the genetic relationship between the strains with the highest (TTB) and lowest (TN) larval survival rates using random amplified polymorphic DNA (RAPD). Our results showed that the allelic diversity of the TTB strain was higher than that of the TN strain. Therefore, we further studied the growth and survival rates using another hybrid of small abalone. We cross-bred small abalone from three different sources in Taiwan: strain 1, a hybrid crossing of a female farmed strain with wild strains; strain 2, an inbred farmed strain; and strain 3, a hybrid crossing of a female wild strain with a male farmed strain. We compared the growth rates for each strain for an 8-month period starting at 3 months of age. The initial and final shell lengths for each strain were as follows: 22.13 ± 5.7mm to 36.26 ± 5.77mm for strain 1, 14.17 ± 3.9mm to 33.06 ± 4.13mm for strain 2, and 13.25 ± 2.9mm to 31.73 ± 3.54mm for strain 3. The survival rates within this 8-month period were 97% for strain 1, 83% for strain 2, and 98% for strain 3. Overall, strain 1 had the best growth and survival rates, followed by strain 3 and strain 2. In summary, our results indicate that cross-breeding can increase the genetic diversity and improve the growth and survival rates of small abalone.

Key words: *Haliotis diversicolor*, cross-breeding, inbreeding, allelic diversity, heterosis

*Correspondence: Fisheries Research Institute, 199 Hou-lh Road, Keelung 20246, Taiwan. TEL: (02) 2462-2101 #2818; Fax: (02) 2462-8138; E-mail: jlidu@mail.tfrin.gov.tw