

案號：AF-112-06

白棘三列海膽人工飼料研究委託案

成果報告書

委託單位：澎湖縣政府農漁局

執行單位：國立嘉義大學 水生生物科學系

計畫主持人：朱建宏

執行單位地址：嘉義市鹿寮里學府路 300 號

中 華 民 國 1 1 2 年 1 0 月

計畫名稱：白棘三列海膽人工飼料研究委託案

計畫案號：AF-112-06

計畫經費：500,000 元

執行期限：112 年 4 月 25 日至 112 年 11 月 30 日

委託單位：澎湖縣政府農漁局

執行單位：國立嘉義大學

計畫主持人：朱建宏 水生生物科學系

專任助理：王玠文

計畫參與人員：黃子維、林晴瑜、翁莉晴

計畫工作時程自我檢核表

月份 工作項目		4	5	6	7	8	9	10	11
期中報告				★					
期末報告								★	
成果報告									★
稚 膽 飼 料 研 究	研究流程設計	★ ★	★ ★						
	飼料製作		★ ★						
	飼料分析			★ ★	★ ★				
	養殖試驗			★ ★	★ ★	★ ★			
	繳交 50 kg 飼料								★ ★
成 膽 飼 料 研 究	研究流程設計			★ ★	★ ★				
	飼料製作					★ ★			
	飼料分析					★ ★	★ ★		
	養殖試驗					★ ★	★ ★	★ ★	
	繳交 50KG 飼料								★ ★
功 能 性 飼 料 研 究	研究流程設計					★ ★			
	飼料製作						★ ★		
	養殖試驗							★ ★	★ ★

★=應完成進度，★=至 112.11.28 實際完成進度

目錄

計畫工作時程自我檢核表.....	ii
目錄	iii
表目錄.....	v
圖目錄.....	v
履約標的.....	vi
壹、前言	1
貳、材料與方法	5
一、實驗地點、設備及物種來源.....	5
二、稚膽人工飼料研究	5
(一) 殼徑成長飼料配方設計與配製.....	5
(二) 稚膽分組及事前作業.....	6
(三) 稚膽養殖試驗.....	6
(四) 稚膽飼料及成長效益分析方法.....	9
(五) 稚膽量產飼料製作.....	12
三、成膽人工飼料研究	14
(一) 生殖腺育肥飼料配方設計與配製.....	14
(二) 成膽分組及事前作業.....	14
(三) 成膽養殖試驗.....	14
(四) 成膽飼料及生殖腺育肥成效分析方法.....	18
(五) 成膽量產飼料製作.....	18
四、成膽功能性人工飼料研究	18
(一) 呈味功能飼料配製.....	18
(二) 呈味試驗分組及事前作業.....	19
(三) 呈味飼料養殖試驗.....	19
(四) 呈味飼料有效性判別方法.....	19
五、統計方法	20
參、結果	21
一、稚膽人工飼料研究	21

飼食不同蛋能比飼料對稚鰱成長之效果.....	21
二、成鰱人工飼料研究	24
生殖腺指數.....	24
三、成鰱功能性人工飼料研究	25
肆、討論	26
伍、總結	28
陸、問題與未來發展建議	28
柒、參考文獻	29
捌、附錄	32
附錄 1-稚鰱人工飼料中文版配方	32
附錄 2-成鰱人工飼料中文版配方	33
附錄 3-成鰱功能性飼料研究問卷	34

表目錄

表 1. 稚、成膽兩實驗所用海膽來源、取得時程、購買數量、單價，及實驗前活存率.....	5
表 2. 白棘三列海膽稚膽 6 組實驗飼料配方.....	7
表 3. 稚膽人工飼料研究之 6 飼料實驗組營養成分.....	8
表 4. 白棘三列海膽成膽 6 組實驗飼料配方.....	15
表 5. 成膽人工飼料研究之控制組及 6 飼料實驗組營養成分.....	16
表 6. 白棘三列海膽稚膽初、末殼徑，體重，增長百分率，增重百分率，比生長速率，及活存率.....	23

圖目錄

圖 1. 白棘三列海膽 (<i>Tripneustes gratilla</i>)	1
圖 2. 量產飼料製作流程.....	13
圖 3. 海膽解剖取生殖腺步驟.....	17
圖 4. 市售食用級人工檸檬香精.....	18
圖 5. 柚子精油萃取方法.....	19
圖 6. 風味飼料有效性問卷.....	20
圖 7. 不同蛋白質、能量配比及有無添加藻粉之 6 組飼料對稚膽體重增重之影響.....	21
圖 8. 不同蛋白質、能量含量及有無添加誘引物質之 6 組飼料對稚膽殼徑成長之影響.....	22
圖 9. 6 飼料組與 1 昆布組餵食成膽對生殖腺指數增長之影響.....	24
圖 10. 飼料以卵磷脂取代大豆油對成膽生殖腺指數增長之影響.....	25

履約標的

(一) 白棘三列海膽稚膽人工飼料研究

1. 進行白棘三列海膽稚膽人工飼料研究及飼料成分分析，著重於增進稚膽殼徑成長，並進行相關成長試驗。
2. 成果報告需證明試驗飼料之有效性，試驗結果呈現後，須提出最佳結果之飼料成分組成及成長報告。
3. 期中報告：需完成白棘三列海膽稚膽人工飼料試驗研究流程設計，並著手進行養殖試驗。
4. 期末報告：需完成白棘三列海膽稚膽人工飼料研發及試驗，並提交完整試驗報告。
5. 驗收結案前：交付 50 公斤試驗成果最佳之稚膽飼料。

(二) 白棘三列海膽成膽人工飼料研究

1. 進行白棘三列海膽成膽人工飼料研究及飼料成分分析，著重於提高生殖腺育肥，並進行相關試驗。
2. 成果報告需證明試驗飼料之有效性，試驗結果呈現後，須提出最佳結果之飼料成分組成及生殖腺發育報告。
3. 期中報告：需完成白棘三列海膽成膽人工飼料試驗研究流程設計，並著手進行養殖試驗。
4. 期末報告：需完成白棘三列海膽成膽人工飼料研發及試驗，並提交完整試驗報告。
5. 驗收結案前：交付 50 公斤試驗成果最佳之成膽飼料。

(三) 成果報告書

1. 成果報告書一式 3 份(建請彩色雙面列印)及相關資料電子檔案 1 份。
2. 報告書格式：

所有報告書之編撰以中文為主，度量衡單位以公制為原則，標示須符合慣例，所引用之資料須註明來源，報告書規格式樣採 A4 大小，29.7cm×21cm 印刷裝訂(書背須標明該項計畫名稱)。各階段報告書及結案報告書內容均須以電腦編輯，報告書內容文字檔案應以 *.doc 或 *.pdf 檔格式存取，或採用

Microsoft Word 新版繕打，報告內容附圖者，須以 *.bmp 或 *.gif 或 *.jpg 圖檔格式存取 並整合於計畫內容，其報告書內容資料不得少於 20 頁(建請以雙面列印)。

3. 電子檔繳交可使用 USB 隨身碟作為儲存媒體或燒錄於光碟內。

計畫亮點-白棘三列海膽成膽功能性人工飼料研究

1. 進行白棘三列海膽成膽人工飼料研究及飼料成分分析，著重於提高生殖腺生殖腺呈味，並進行相關試驗。
2. 成果報告需證明試驗飼料之有效性，試驗結果呈現後，須提出最佳結果之飼料成分組成及生殖腺呈味報告。
3. 期末報告：需完成白棘三列海膽成膽人工飼料研發及試驗，並提交完整試驗報告。

壹、前言

海膽在世界各地被視為美味佳餚，特別是亞洲與歐洲地區，其生殖腺富含蛋白質與對人體有益的生理活性物質，是味道鮮美的高檔保健營養品，具有食用及藥用價值，臺灣常見的食用種有白棘三列海膽 (*Tripneustes gratilla*) (圖 1)、紫海

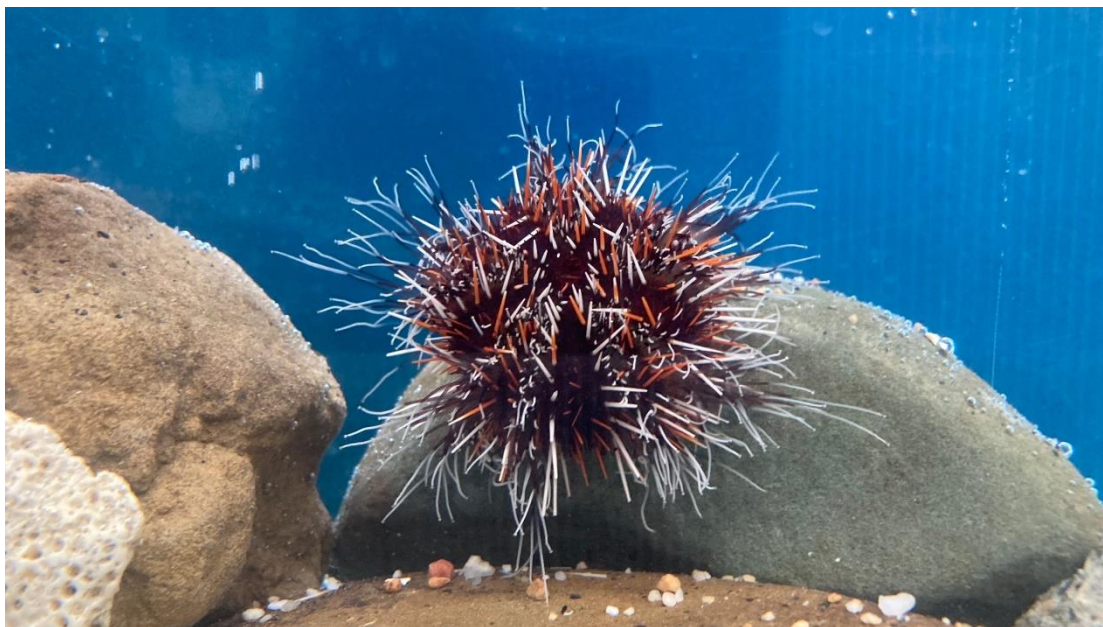


圖 1. 白棘三列海膽 (*Tripneustes gratilla*)

膽 (*Strongylocentrotus purpuratus*)，及口鰓海膽 (*Stomopneustes variolaris*)等3種，前者體型最大、俗稱馬糞海膽 (賴，2008)，其成長速度快、一年生殼徑即可達50~70 mm (Shimabukuro, 1991；Maharavo, 1993)，在澎湖為重要的經濟性物種，隨著消費者對其口味的接受度提高，市場需求相對提升，導致過度捕撈野外種群，產量減少的同時，價位也逐年上漲，現依體型大小每顆落在台幣100~500元，澎湖縣政府每年進行本種幼苗放流，並僅開放漁民於7、8兩月捕撈殼徑8 cm以上之個體進行販售，期望能維持天然族群之數量，但在放流後次年周遭海域的個體仍幾近被抓捕一空，且依然無法滿足市場需求，如能在臺灣發展其養殖產業，應可降低野生族群的被捕撈壓力，亦有利於創造產業轉型及增加出口產值。

長期以來，養殖海膽的餌料來源主要為海帶、裙帶菜、石蓴等大型藻類 (左等，2016)，但相對於人工飼料來源穩定且營養組成可自行調控，其受到分布和生長週期的限制、成本也較高，在很大程度上限制了海膽養殖的發展 (丁等，2014)，故本種養殖產業的成功，取決於人工飼料開發，而若能針對不同生長階段供合適飼料，不但能降低營養成分浪費，更能使飼料營養發揮最大效益。

Juinio-Meñez *et al.* (1998) 指出白棘三列海膽的生殖腺約於殼徑 50 mm 開始發育。故本研究以殼徑 50 mm 作為區分稚、成膽兩發育階段之界定值，並分別根據所需營養，進行飼料研發。現國內外雖有不少關於海膽飼料的研究 (陳，2004；孫，2006；蔡，2006；陳，2008；賴，2008；Lawrence *et al.*, 1997；Olave *et al.*, 2001；Robinson *et al.*, 2002；Shpigel *et al.*, 2005)，但多數針對提高成膽生殖腺的生產量與品質，對稚膽飼料之研究則相對較少 (Akiyama *et al.*, 2001；Hammer *et al.*, 2004；Pearce *et al.*, 2004；Daggett *et al.*, 2005；Taylor *et al.*, 2009)。

飼料在水產養殖中占成本總支出可達 60 % 以上，當中常添加高含量的蛋白質，其提供之能量與胺基酸是幼苗發育和成長的重要營養成分，但同時也是昂貴的成本 (Wilson, 2002)。許多研究顯示海膽對飼料中蛋白質的需求量為 20~30% (Akiyama *et al.*, 2001；Pearce *et al.*, 2007；Pearce *et al.*, 2004；Heflin, 2012)，而在此範圍內，隨著含量升高，會導致攝食量減少 (Hammer *et al.*, 2004；Hammer *et al.*, 2006a, Hammer *et al.*, 2006b)，顯示本類物種攝取足夠營養 (蛋白質或是能量) 後，將暫時不再攝食。

Cyrus *et al.* (2015) 使用新鮮石蓴 (*Ulva* sp.) 與兩組人工飼料 (沒有及含有 20% 乾燥石蓴粉，粗蛋白含量皆為 26 %) 投餵初始殼徑 33.05 ± 0.77 mm 的白棘三列海膽，實驗開始至第 12 週，各組間成長無顯著差異，至第 20 週不含石蓴粉人工飼料組，成長表現顯著低於含有 20% 乾燥石蓴粉人工飼料組與新鮮石蓴組，而後兩組間無顯著差異；Kennedy *et al.* (2005) 使用 2 種蛋白質來源 (魚粉及大豆粉) 與 4 種不同蛋白質含量 (20、30、40 和 50 %) 的人工飼料，投餵 2 種不同初始殼徑 (4-8 mm；12-20 mm) 的綠海膽 (*Strongylocentrotus droebachiensis*) 稚膽，並以新鮮海帶 (*Laminaria longicruris*) (蛋白質含量 13.1 %) 作為對照組，結果顯示，新鮮海帶的殼徑長度 (20.74；24.51mm) 顯著高於其他實驗組 (13.22~16.17；20.41~22.86 mm)，而人工飼料方面，不論是蛋白質來源或含量，各組間差異不明顯。由以上文獻推測，稚膽時期不需餵食高蛋白質飼料就能達到良好的成長效果，並且能夠接受全植物性蛋白質來源人工飼料。此外，諸多研究指出藻粉能幫助海膽成長及增加攝食率 (簡，2013；許與蔡，2014；Cyrus *et al.*, 2015；Dworkanyn *et al.*, 2007；Taylor *et al.*, 2009)。

生殖腺為海膽唯一的可食用部位，是附著於外殼內側之器官，通常有 5 片，每一片由數百個腺泡組成，又其中可區分出營養細胞 (營養體) (Nutritive

phagocytes)，與配子細胞兩種細胞形態 (Walker, 1982)，前者可透過攝食獲取能量以累積，直接影響生殖腺大小 (Walker, 2001)，而生殖腺的發育大致可分為以下 5 階段：

(a) 恢復期 (resting stage)

海膽生殖期結束後，此時生殖線中的營養細胞佔據大部分的濾泡腔 (follicular lumen) 及腺泡周圍組織，這個階段的生殖腺最小。

(b) 發育期 (growing stage)

早期卵黃化卵細胞或初級精細胞沿腺泡組織周圍發育變大，並開始向濾泡腔移動，進一步發育，而營養細胞仍然佔據大部分的濾泡腔，此時的海膽藉由攝食來促進生殖腺成長。

(c) 成熟前期 (premature stage)

卵細胞或精細胞進入濾泡腔取代營養細胞，大部分的濾泡腔充滿卵細胞或精細胞，同時濾泡腔外環繞一層營養細胞，此時的生殖腺雖未達到最大值但是最具市場價值。

(d) 成熟期 (mature stage)

濾泡腔內充滿卵子或精子，而濾泡腔外僅環繞一層薄薄的營養細胞，並有早期卵黃化卵細胞或初級精細胞及晚期卵黃化卵細胞或精細胞的出現，此時的生殖腺最大，但因含水量過高而降低市場價值。

(e) 生殖期 (spawning stage)

因排精或排卵使生殖腺大幅減小，生殖腺的濾泡腔形成許多空腔，空腔內有殘留的營養細胞及退化的卵或精子。

以上的五個階段顯示配子細胞跟營養細胞在生殖腺中的比例會隨生殖腺成熟階段的不同而改變。配子生成作用前生殖腺由營養細胞所佔滿，隨著配子形成作用配子細胞會漸漸取代營養細胞，當海膽生殖腺完全成熟時配子細胞會充滿整個生殖腺。大部分的海膽消費國家所食用的為成熟前期的海膽生殖腺，此階段含有較多的營養細胞和較少量的配子細胞，而前者比後者更具食用價值 (Walker *et al.*, 2001)。

已有研究顯示飼料中的蛋白質含量與來源，可能影響海膽的生殖腺產量及品質 (Watts *et al.*, 1998；Unuma, 2002)，Akiyama *et al.* (2001) 以酪蛋白為蛋白質來源，在飼料中分別添加 10 %、20 %、30 %、40 %，及 50 % 飼食紅海膽

(*Pseudocentrotus depressus*) 稚膽 8 週，結果顯示 20、30、40 % 之間的生殖腺產量無顯著差異，但顯著高於 10 及 50 % 兩組。Pearce *et al.* (2002) 以蛋白質含量 19 %、24 % 及 29 % 的飼料餵食綠海膽 12 週，結果顯示三組間生殖腺產量無顯著差異。孫 (2006) 以不同蛋白質含量飼料投餵紫海膽，發現添加 30 % 組的生殖腺成長最佳。陳 (2008) 分別添加不同含量的動物性，及植物性蛋白質於飼料中餵食紫海膽，結果顯示 30 % 組的生殖腺具較佳成長。由上述文獻成果判斷，飼料中之蛋白質含量可影響海膽的生殖腺產量，但對不同物種的影響不一，因此，若要研發合適本種生殖腺育肥之飼料，須先了解合適的蛋白質添加量。

海膽的生殖腺組成成分，隨著物種及攝食餌料的不同而有差異 (Walker, 2001)，經研究證實，游離胺基酸 (free amino acid, FAA) 及核苷酸相關化合物 (nucleotide-related compounds, NRC)，對其風味呈現上有極大影響 (Fuke and Konosu, 1991)，若能在飼料中加入改變風味的添加劑，並透過餵食改變生殖腺口味，應能讓養殖海膽的市場接受度再提高，以有效減輕野生個體的被捕撈壓力。

本計畫為促進白棘三列海膽養殖產業之發展，針對其不同成長階段營養所需，研發專注殼徑成長的稚膽飼料，與專注生殖腺育肥的成膽飼料，並在飼料中加入添加劑，嘗試改變生殖腺風味，以期提升本種商業價值。

貳、材料與方法

一、實驗地點、設備及物種來源

本研究使用之海膽稚膽，由澎湖縣水產種苗繁殖場提供，成膽則向澎湖縣西嶼鄉二崁村，與新北市萬里區龜吼漁港之漁民購買，取得個體裝於保麗龍箱中，兩層以海水沾濕的濾水用白棉之間，再利用航運與車運至國立嘉義大學水生生物科學系水產養殖研究中心，蓄養在 800 公升方形及 1,000 公升圓形 FRP 桶內，待生物穩定後進行實驗。本計畫所使用海膽的來源、取得時程、數量、單價，及蓄養期間活存率如表 1，其中成膽因生殖腺已發育完全，在運輸過程中感應到環境變化刺激，而大量排精、卵，又路程中難以清潔，故而產生大量損耗，為購齊足夠試驗之個體數，不僅花費大量計畫經費，亦用去許多時間，嚴重減縮實驗時程。試驗設備為室內循環水系統，具前置過濾、生物過濾、蛋白質除沫器、供氧以及恆溫功能，於水溫 $27\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、鹽度 30 ± 2 psu 之條件下進行研究。

表 1. 稚、成膽兩實驗所用海膽來源、取得時程、購買數量、單價，及實驗前活存率

	實驗項目		
	稚膽人工飼料研究	成膽人工飼料研究	
海膽來源	澎湖縣 水產種苗繁殖場	澎湖縣二崁鄉	新北市萬里區
取得時程 (年.月.日)	112.05.10	112.08.14, 17, 18	112.08.30 ; 09.07
取得或購買數量 (個體)	200	14+10+100=214	150+100=250
單價	免費提供	270 元 / 顆	60 元 / 顆; 100 元 / 顆
實驗前蓄養活存率	99.5 %	5.6 %	28.7 % ; 91 %
備註	無水運輸	無水運輸、大量排精卵、 購入後 3 天大量死亡	第一次採無水運輸， 第二次含水運輸、定 時換水

二、稚膽人工飼料研究

本研究探討稚膽階段，蛋白質、能量、誘引物與攝食量，對殼徑成長之影響。

(一) 殼徑成長飼料配方設計與配製

設計六組實驗飼料，配方如表 2。以魚粉及大豆粉作為蛋白質來源，設計兩種蛋白質 (Crude Protein, CP) 含量 (15 %與 25 %)，並利用 α -澱粉調節飼料能量，設計兩種能量比 (High Kcal : 271 ; Low Kcal : 223) (表 3)，再額外添加昆布藻粉 (algae powder, A) 為誘引物質，配製出 6 組試驗飼料，依序為第 1 組：

CP25 % / High Kcal (CP25 / H-EG)、第 2 組：CP25 % / High Kcal + A (CP25 / H-EG + A)、第 3 組：CP25 % / Low Kcal (CP25 / L-EG)、第 4 組：CP25 % / Low Kcal + A (CP25 / L-EG + A)、第 5 組：CP15 % / Low Kcal (CP15 / L-EG)、第 6 組：CP15 % / Low Kcal + A (CP15 / L-EG + A)，再使用油脂 (魚油：大豆油 = w / w, 2 : 1)調整脂質比例，纖維素調整飼料總量，海藻酸鈉為黏著劑，於各組中添加等量的維生素預混物、礦物質預混物。將上述飼料原料以雙手搓揉、機器攪拌均勻後，使用擠料機擠成條狀，再置入烘乾機器以 45°C烘乾，最後收入密封袋，保存於-20°C冰箱中備用。

(二) 稚膽分組及事前作業

研究採 3 重複，共 18 個實驗缸 (56*56*30 cm, 90 L)，選取平均殼徑 28.83 ± 0.02 mm，平均重量 10.28 ± 0.05 g 的稚膽，每缸 9 個體，實驗開始前每兩日投餵石蓴及馬尾藻持續蓄養二週使其適應實驗室條件，之後停止餵食一週，使其生理達同一水平，再開始進行實驗。

(三) 稚膽養殖試驗

實驗自 2023 年 6 月 14 日起為第 0 日，持續 8 週至 8 月 9 日結束，共 56 日，期間為使稚膽能充分攝食每日投餵兩次，分別於上午 9 點及下午 4 點進行，每次皆事先完成殘餌收集、糞便清除，以及水溫與鹽度測量，飼食量採過量投餵，約為各組海膽總重 1 %。每兩週進行殼徑與體重量秤，和養殖系統清洗，海膽秤重前將體表水分盡量吸乾減少誤差，取得數值後盡速將其放回已清洗之桶內。

表 2. 白棘三列海膽稚膽 6 組實驗飼料配方

組別 原料	CP25/H-EG	CP25/H-EG+A	CP25/L-EG	CP25/L-EG+A	CP15/L-EG	CP15/L-EG+A
Fish meal	12.50	12.50	12.50	12.50	7.70	7.70
Soybean meal	33.30	30.80	33.30	30.80	20.50	18
Algae powder	0	15	0	15	0	15
α -starch	18	18	6	6	16	16
Oil *	2.50	2.20	2.50	2.20	3.10	2.85
Sodium alginate	15	15	15	15	15	15
Vitamin premix	2	2	2	2	2	2
Mineral premix	2	2	2	2	2	2
MgCl ₂	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1	1	1	1	1	1
α -cellulose	12.20	0	24.20	12	31.20	18.95
laboratory cost (NT\$/kg)	360	179	546	365	657	476
factory cost (NT\$/kg)**	165	179	160	174	160	173

單位：重量百分比；CP = 粗蛋白；EG = 能量；A = 藻粉

*fish oil：soybean oil = 2：1

**使用粗糠取代 α -cellulose

表 3. 稚鰻人工飼料研究之 6 飼料實驗組營養成分

組別 營養成分	CP25/H-EG	CP25/H-EG+A	CP25/L-EG	CP25/L-EG+A	CP15/L-EG	CP15/L-EG+A
Moisture	7.67	8.42	6.74	7.42	7.63	7.06
Ash ¹	11.16	14.90	10.90	14.87	9.28	13.00
Crude protein ¹	26.93	26.66	27.10	26.92	16.73	17.01
Crude lipids ¹	3.48	3.00	4.32	4.53	3.65	3.09
Crude fiber ¹	7.47	0.10	14.99	10.22	17.88	14.16
Calculated energy ²	271.73	271.47	223.73	223.47	224.08	224.27

¹ Express as a percent of dry weight.

² Protein 4 kcal g⁻¹, carbohydrate 4 kcal g⁻¹, lipid 9 kcal g⁻¹.

(四) 稚鰐飼料及成長效益分析方法

1. 飼料分析

(1) 水分分析

飼料樣品使用水分分析儀 (MOC63u, Shimadzu) 進行測定，條件為自動分析模式，極限溫度為 110 °C，單位顯示為 GRAM，精秤至小數點後三位。先將無灰濾紙 (NO.2 90 mm, Advantec) 烘乾至恆重後記錄重量，之後將剝碎之飼料置於濾紙中開始分析，記錄開始分析與分析結束後之重量。水分計算公式如下：

$$\text{水分 (\%)} = [(W1-W2) / (W1-W0)] \times 100$$

W0：秤量皿恆重 (g)；無灰濾紙恆重 (g)

W1：秤量皿 + 樣品重 (g)；無灰濾紙恆重 + 樣品重 (g)

W2：W1 乾燥至恆重 (g)

(2) 粗蛋白分析

參考 A.O.A.C. (1995) 分析方法，將精秤 0.5 g 已乾燥之樣品放入凱氏氮分解管中，並在各管放入 1.5 g 催化劑(硒 Se：硫酸銅 CuSO₄：硫酸鉀 K₂SO₄ = 1：9：90)與 18 ml 濃硫酸，之後放上凱氏氮分解爐 (STH- 6, Block digestion system)，蓋上抽氣蓋，以 400 °C 進行消化分解，當管內溶液為澄清藍綠色時，再加熱 30 分鐘後，即完成分解步驟。待分解管冷卻後，沿管壁加入些許蒸餾水，待混合且反應不劇烈後，將其倒入已裝有 100 ml 蒸餾水的 250 ml 定量瓶中，並反覆沖洗消化管，確保所有分解液均收入瓶內，待瓶內反應緩和、溫度達室溫後，使用蒸餾水定量至 250 ml 即完成分解步驟。使用定量吸管吸取分解液(約 50~100 ml)，注入快速含氮蒸餾裝置 (CB-ND II, Kjeldahl nitrogen distillation)，隨後加入 50 %氫氧化鈉溶液，加熱蒸餾 7 分鐘，以含有 300 µl 指示劑 (Methyl red：Methylene blue = 30：50) 的 40 ml 4 %硼酸接收液吸收銨水。蒸餾後的硼酸接收液以 0.1 N HCl 進行滴定，樣品顏色呈淡紫色時，即達滴定終點。

粗蛋白計算公式如下：

$$\text{粗蛋白 (\%)} =$$

$$1.4006 \times (0.1N \text{ HCl} / 0.1) \times A \times 250 / 50 \times 100 / B / 1000 \times 6.25$$

A：樣品滴定數 (ml)

B：樣品重 (g)

(3)粗脂肪分析

飼料粗脂肪為乙醚抽出物，分析之前，將所有實驗器具（索氏萃取器、圓底燒瓶）清洗並放入 106 °C 烘箱中乾燥以除去水分，接著將圓底燒瓶置於真空乾燥器中待冷卻後，記錄恆重之圓底燒瓶重量。精秤 0.5 g 之乾燥樣品，以無灰濾紙 (NO2. 90 mm, Advantec) 包覆，置於圓筒濾紙內，隨後放入索氏萃取器中，再將索氏萃取器與圓底燒瓶連結，並倒入 150 ml 乙醚後，接上索氏冷凝管並開啟冷凝裝置 (20 °C)，置於加熱槽 (50 °C) 迴流 12 小時。萃取 12 小時後，取出圓底燒瓶放置於抽氣櫃中，以去除圓底燒瓶中殘留的乙醚，再放入烘箱約 30 分鐘以去除水分，最後進行秤重。

粗/總脂肪計算公式如下：

$$\text{粗/總脂肪 (\%)} = (W1 - W0) / S \times 100$$

W0：圓底瓶恆重

W1：含油脂之圓底瓶重

S：樣品重(g)

(4)粗纖維分析

秤量空濾袋 (F57 filter bag, Ankom) 重量後，再精秤 1 g 乾燥飼料置於袋中，以封口機將裝有樣品濾袋封口後，放入裝置支架中，依序將磁石、支架、溫度探棒放入消化裝置，並關上排水閥。倒入 1.25 % 的硫酸溶液，並加入 0.04 g 的胃蛋白酶 (Pepsin, Sigma)，於常溫下持續分解 40 分鐘後排空；再加入沸騰之 1.25 % 的硫酸溶液，於 100 °C 下分解 1 小時後排空，倒入沸騰蒸餾水清洗 10 分鐘後排空；再加入沸騰之 1.25 % 的氫氧化鈉溶液，於 100 °C 下分解 1 小時後排空，倒入沸騰蒸餾水清洗 10 分鐘後排空，待其冷卻至常溫時，將濾袋取出泡入裝有丙酮之燒杯中，於 10 分鐘後取出濾袋置於抽氣櫃中，以去除濾袋中殘留的丙酮，接著放入 106 °C 烘箱中 2 小時，取出置於真空乾燥器中，待溫度冷卻至室溫秤重，之後放入先秤過恆重之坩堝 (洗淨、灰化)，並按灰化分析步驟操作以獲得其粗灰分數據，之後扣除酸、鹼損失與粗灰分後所得即粗纖維含量。

粗纖維計算公式如下：

$$\text{粗纖維 (\%)} = \{ [(W2 - W0) - (W1 - W0)] - (B \times C) \} / S \times 100$$

W0：坩埚恆重

W1：灰化前坩埚 + 樣品濾袋重

W2：灰化後坩埚 + 樣品濾袋重

B：空濾袋重

C：空白濾袋灰化校正係數 = 1

S：樣品重 (g)

(5) 粗灰分分析

參考 A.O.A.C. (1995) 分析方法，精秤 0.5 g 已烘乾的樣品至小數點後四位，置入已達恆重之坩埚中，放入灰化爐每小時調整升溫 (125 °C - 300 °C - 575 °C) 至 575 °C 灰化 5 小時後，關閉爐心至隔天早上回溫至 105 °C，使冷卻樣品烘乾至恆重。取出坩埚置於真空乾燥器中，待溫度冷卻至室溫秤其重量，減少重量即為粗灰分含量。

粗灰分計算公式如下：

$$\text{粗灰分 (\%)} = [(W1-W2) / (W1-W0)] \times 100$$

W0：坩埚恆重 (g)

W1：坩埚 + 樣品重 (g)

W2：W1 灰化後至恆重 (g)

2. 稚贄成長效益分析

(1) 增重百分率 (Weight gain, WG)

實驗結束之體重增加量，除以初重乘以 100 %。

計算公式：

$$\text{Weight gain (\%)} = \frac{\text{Final body weight (g)} - \text{Initial body weight (g)}}{\text{Initial body weight (g)}} \times 100 \%$$

(2) 增長百分率 (Shell length increase)

實驗結束後，測量海贄殼的增長量，除以殼的初長、寬乘以 100 %。

計算公式：

Shell length, width increase (%) =

$$\frac{\text{Shell length (Final (mm))} - \text{Initial (mm))}}{\text{Shell length (Initial (mm))}} \times 100 \%$$

(3) 比生長速率 (Specific growth rate, SGR)

可計算海贄日殼徑成長值與實驗期間總成長值的比值。

實驗結束之殼長增加量，除以養殖天數乘以 100 %。

計算公式：

$$\text{SGR (\%)} = \frac{\text{Shell length (Final (mm)) - Initial (mm)}}{\text{Feeding days}} \times 100 \%$$

(4) 飼料轉換率 (Feed Conversion Ratio, FCR)

實驗期間飼料攝食量除以實驗結束之殼徑增加量。

計算公式：

$$\text{FCR} = \frac{\text{Total feed consumed}}{(\text{final shell length} - \text{starting shell length})}$$

(5) 活存率

實驗結束時，海膽存活之隻數占實驗開始時之隻數的百分比。

計算公式：

$$\text{Survival (\%)} = \frac{\text{Final numbers}}{\text{Initial numbers}} \times 100 \%$$

(五) 稚膽量產飼料製作

飼料量產配方根據試驗結果，使用對稚膽成長效益最佳之組別，每次製作先將魚粉、大豆粉、昆布藻粉，及粗糠等原料以超微粉研磨機研磨成更細小的顆粒，再將各種粉狀配方置入混粉機中充分拌勻，接著分次把油加入，用手搓揉均勻後，開始加入蒸餾水揉製成團，製成的飼料團利用手動絞肉器將其擠作長條，並由手工切割成適當長度，整齊排放在鐵盤上，置入 35 °C 烘箱中烘乾 (圖 2)，最後裝袋保存於 -20 °C 冷凍櫃內。上述流程單次最大產量為 5 kg，而排除掉原料研磨與飼料烘乾時間，每次製作包含收尾時的器材清潔、保養，需耗時 14~16 小時。



圖 2. 量產飼料製作流程

A-將原料打成更細的粉末；B-將粉狀原料倒入混粉機中充分拌勻；C-分次將油倒入混和好的原料中並搓揉均勻；D-加入水將飼料揉製成團；E-利用手動絞肉器將飼料團製成長條；F-將長條飼料整齊擺放在鐵盤上；G-使用比薩刀將長條飼料切成合適長度；H-放入烘箱中烘乾

三、成膽人工飼料研究

(一) 生殖腺育肥飼料配方設計與配製

本項目乃根據上一標的「稚膽人工飼料研究」之成果，進行配方設計，詳細數據於結果呈現。實驗共 7 組，配方如表 4，除 1 組為餵食昆布 (*Saccharina japonica*) 之控制組，其餘飼料組以魚粉、大豆粉，及昆布藻粉做為蛋白質來源，粗蛋白含量分為 15 %、25 %、35 % 等 3 種，並以 α -澱粉調控能量，各組皆約為 247 Kcal (表 5)，再利用卵磷脂 (Lecithin, L) 取代大豆油，配置出第 1 組：CP15 % (CP15)、第 2 組 CP15 % + Lecithin (CP15 + L)、第 3 組：CP25 % (CP25)、第 4 組 CP25 % + Lecithin (CP25 + L)、第 5 組 CP35 % (CP35)、第 6 組 CP35 % + Lecithin (CP35 + L)，共 6 組。各飼料組中都使用油脂 (魚油：大豆油或卵磷脂 = w/w, 2:1) 調整脂質比例，纖維素調節飼料總量，海藻酸鈉為黏著劑，加入等量的維生素預混物與礦物質預混物，將上述原料用雙手搓揉、機器攪拌均勻形成料團後，放入夾鏈袋內以擀麵棍擀平，接著利用刀具以 1×1 cm 為基準進行切割製成片狀，再置入烘乾機器以 45 °C 烘乾，最後收入密封袋內，保存於 -20 °C 冰箱中備用。

(二) 成膽分組及事前作業

研究採 3 重複，共 21 個實驗缸 (56*56*30 cm, 90 L)，取殼徑 53.13~73.71 mm、重量 66.03~154.78 g，且排過精、卵的成膽，每缸各 5 個體，實驗開始前每 3 日餵食 1 次昆布，持續蓄養 3~12 日使其適應實驗條件，之後停餵一週讓各膽生理儘量達同一水平，再開始實驗。

(三) 成膽養殖試驗

實驗自 2023 年 9 月 19 日起為第 0 日，持續 4 週至 10 月 14 日，共 28 日，每日上午 10 點前完成殘餌收集、糞便清除，及鹽度與水溫檢測，再於下午 4 點進行 1 次餵食 (每日僅此 1 次)，每次採過量投餵，飼食量約為各缸海膽總重 0.5 %，從實驗第 2 週起，每隔 1 週各缸隨機取 1 個體秤量體重，並解剖測生殖腺重，方法如圖 3。

表 4. 白棘三列海膽成膽 6 組實驗飼料配方

組別 原料	CP15	CP15+L	CP25	CP25+L	CP35	CP35+L	Konbu
Fish meal	6.70	6.70	11.50	11.50	16.00	16.00	
Soybean meal	16.50	16.50	31.00	31.00	46.00	46.00	
Algae powder	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	
α -starch	24.50	24.50	14.50	14.50	4.480	4.48	
sodium alginate	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	
Vitamin premix	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
Mineral premix	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	
Fish oil	2.55	2.55	2.20	2.20	1.90	1.90	
Soybean oil	0.92	0	0.54	0	0.12	0	
Lecithin	0	0.92	0	0.54	0	0.12	
α -cellulose	17.33	17.33	8.76	8.76	0	0	
laboratory cost (NT\$/kg)	427	436	292	297	153	154	340
factory cost (NT\$/kg)**	151	159	152	157	153	154	-

單位：重量百分比；CP = 粗蛋白；L = Lecithin

**使用粗糠取代 α -cellulose

表 5. 成膳人工飼料研究之控制組及 6 飼料實驗組營養成分

組別 營養成分	CP15	CP15+L	CP25	CP25+L	CP35	CP35+L	Konbu
Moisture	7.67	8.05	8.09	8.30	7.64	11.42	82.56
Ash ¹	12.05	12.10	14.16	14.32	16.18	16.65	16.41
Crude protein ¹	15.98	15.70	26.29	26.86	36.33	36.64	13.77
Crude lipids ¹	4.12	3.77	4.28	4.34	5.02	4.43	1.11
Crude fiber ¹	11.33	10.75	10.27	8.17	3.58	4.97	2.63
Calculated energy ²	247.06	247.06	246.79	246.79	246.68	246.69	

¹ Express as a percent of dry weight.

² Protein 4 kcal g⁻¹, carbohydrate 4 kcal g⁻¹, lipid 9 kcal g⁻¹.

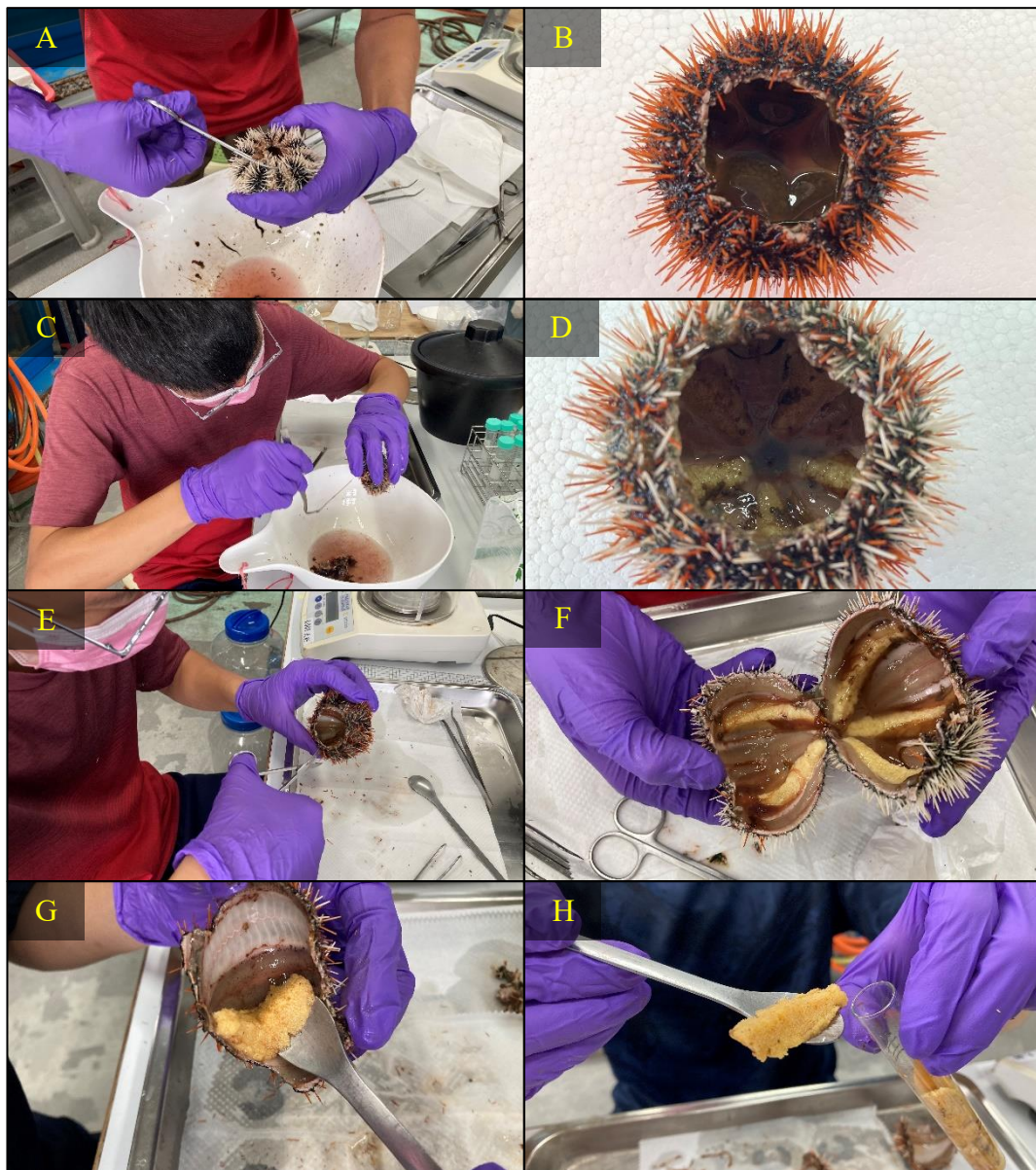


圖 3. 海膽解剖取生殖腺步驟

A-沿口器周圍剪開；B-不傷害生殖腺為前提將腹面剪出一圓型缺口；C-倒出體腔內液體，並將腸道取出；D-體腔內幾乎只剩生殖腺；E-將體殼剪半；F-剪半後的體殼，無傷及生殖腺；G-利用藥杓將生殖腺挖起；H-將生殖腺放入試管中

(四) 成膽飼料及生殖腺育肥成效分析方法

1. 飼料分析

飼料及昆布共 7 組之分析項目及方法與上一標的「稚膽人工飼料研究」中的飼料分析相同，包含水分分析、粗蛋白分析、粗脂肪分析、粗纖維分析，以及粗灰分分析共 5 個項目。

2. 生殖腺指數 (Gonadsomatic index, GSI) 分析

實驗結束後，海膽生殖腺重量占體重之百分比。

計算公式：

$$\text{GSI (\%)} = \frac{\text{Gonad tissue weight (g)}}{\text{Final body weight (g)}} \times 100 \%$$

(五) 成膽量產飼料製作

飼料量產配方根據試驗結果，使用對成膽生殖腺育肥效果最佳之組別，製作流程與耗時同上一標的之「稚膽量產飼料製作」。

四、成膽功能性人工飼料研究

(一) 呈味功能飼料配製

配方使用上一試驗「成膽人工飼料研究」表現最佳之飼料組，再分別額外添加市售食用級人工檸檬香精 (圖 4)，及本研究室自行萃取之天然柚子精油，萃取方法如圖 5。



圖 4. 市售食用級人工檸檬香精



圖 5. 柚子精油萃取方法

A-取下柚子皮盡量去除柚瓢；B-將柚子皮剪成細長條狀風乾；C-以 95 %酒精浸泡 1 日；D-將酒精過濾後取得之濾液，以減壓濃縮機分離出柚子精油

(二) 呈味試驗分組及事前作業

取已在 1,000 公升圓形 FRP 桶中蓄養 28 日以上，且殼徑 60 mm 以上成膽 10 個體，分為檸檬與柚子兩組，每組 5 個體，組內在分出 2 及 3 個體分別飼養於一實驗缸 (56*56*30 cm, 90 L)，共 4 缸，因計畫期程緊迫，僅空腹 2 日即開始實驗。

(三) 呈味飼料養殖試驗

實驗自 2023 年 10 月 16 日起為第 0 日，持續 6 週至 11 月 27 日，共 42 日，每日上午 10 點前完成殘餌收集、糞便清除，及鹽度與水溫檢測，再於下午 4 點進行 1 次餵食 (每日僅此 1 次)，每次採過量投餵，飼食量約為各缸海膽總重 0.5 %，實驗最終日進行解剖，取出生殖腺品評，判斷呈味飼料之有效性。

(四) 呈味飼料有效性判別方法

實驗最終日自 1,000 公升圓形 FRP 桶中，隨機挑選 5 顆攝食各種無添加香

精成膽試驗飼料的蓄養海膽，與本試驗所有個體一同解剖取生殖腺，並邀請 9 位品評人員試吃。品評方法採用盲測，所有試吃員在不知所嚐生殖腺組別的前提下，依照他們主觀判斷在問卷寫下品嚐到的組別順序與風味心得（圖 6），並根據正確率判別飼料中添加香精，對改變海膽生殖腺風味之有效性。

餵食添加香精飼料對海膽生殖腺風味之影響	
階段1—風味品評測試 品嚐分別攝食過檸檬風味、柚子風味，及無添加劑飼料之海膽生殖腺後，再依照直覺於下方格中依品評順序填上各飼料代表編號。 檸檬=A；柚子=B；無添加=C 您認為品嚐到的順序： →	
階段2—風味描述 請依照品評順序在下方標號後，針對味覺寫上您的主觀感受，可以其它食物譬喻。 1. 2. 3.	
~感謝您撥空填寫~	

圖 6. 風味飼料有效性問卷

五、統計方法

實驗數據經統計軟體 Statistical Analysis System (SAS-Window) 之變異系數 (analysis of variance, ANOVA)，其平均值之間有差異 ($p < 0.05$)，再以鄧肯氏多變域測驗 (Duncan's new multiple range test) 做進一步分析組間差異之顯著性。

參、結果

一、稚膽人工飼料研究

本項標的設計 6 種不同粗蛋白、能量配比，以及有無添加海藻粉之飼料，對本種稚膽進行投餵，據其體重、殼徑成長之效益，提出合適配方，詳細數據如下。

餵食不同蛋能比飼料對稚膽成長之效果

1. 體重及殼徑成長

稚膽實驗飼料可區分為粗蛋白 25 % 高能量型 (CP25/H-EG)、粗蛋白 25 % 低能量型 (CP25/L-EG)，以及粗蛋白 15 % 低能量型 (CP15/L-EG) 3 種類型，而各型中又區分有無添加藻類，共 6 組。各組海膽體重與殼徑皆至第 56 日 (第 8 週) 方開始出現統計差異，其中 3 組未添加藻粉的組別，能看出低能量的 CP25/L-EG 組之成長效果不僅較 CP25/H-EG 組低，亦略低於低蛋白含量的 CP15/L-EG 組，雖在統計學上無顯著差異，但從數據呈現的成長趨勢，可判斷若持續進行實驗 CP25/H-EG 組應能成為成長效益顯著最佳之組別，由此推測飼料中能量多寡可能也是影響本種成長之重要因素，又各類型飼料添加藻粉後均有提升成長效果，更在實驗第 56 日顯著優於 CP25/L-EG 組 (圖 7、圖 8)。

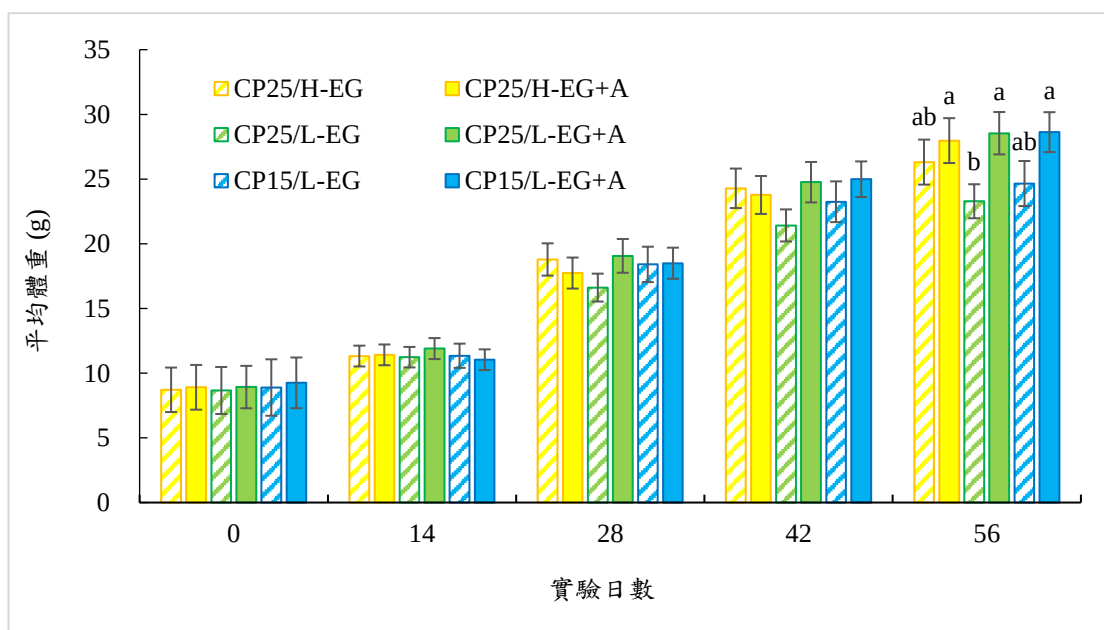


圖 7. 不同蛋白質、能量配比及有無添加藻粉之 6 組飼料對稚膽體重增重之影響

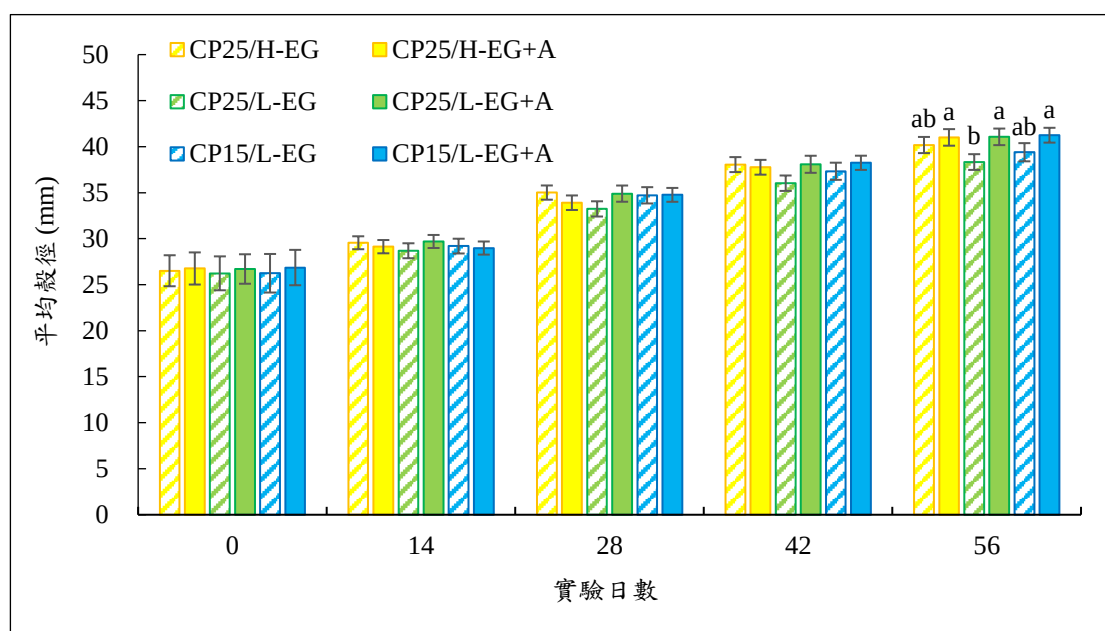


圖 8. 不同蛋白質、能量含量及有無添加誘引物質之 6 組飼料對稚贄殼徑成長之影響

2. 成長效益

6 飼料組之增長百分率、增重百分率，及比生長速率皆無顯著差異，而若單純比較數值，未添加藻粉的 3 個飼料組中，仍是 CP25/H-EG 組所餵食之稚贄的成長效益最佳，結合圖 7、圖 8 顯示的成長趨勢，若能增長試驗時間，本組應能較它組有顯著優異的成果，再看到 3 類型飼料添加藻粉後，其成長效益不僅提升至相同水平，還超越了未添加組，可能是藻類中具有利於本種成長的營養元素，且被本種利用效果佳，接著，本試驗結束時各缸的活存率皆維持在 96% 以上，可確認白棘三列海贄適應本計畫設定之實驗條件，且各組飼料皆能有效使其成長 (表 6)。

表 6. 白棘三列海膽稚膽初、末殼徑，體重，增長百分率，增重百分率，比生長速率，及活存率

組別	初殼徑	末殼徑	初重	末重	增長百分率	增重百分率	特異成長率	活存率
CP25/H-EG	26.51 ± 1.69	40.18 ± 0.88 ^{ab}	8.712 ± 1.719	26.311 ± 1.739 ^{ab}	0.52 ± 0.01	2.05±0.31	0.24 ± 0.02	96
CP25/H-EG+A	26.76 ± 1.75	41.00 ± 0.90 ^a	8.908± 1.729	27.973 ± 1.735 ^a	0.54 ± 0.12	2.23±0.76	0.25 ± 0.04	100
CP25/L-EG	26.23 ± 1.84	38.33 ± 0.85 ^b	8.663 ± 1.816	23.286 ± 1.316 ^b	0.47 ± 0.14	1.80±0.79	0.22 ± 0.05	96
CP25/L-EG+A	26.70 ± 1.60	41.06 ± 0.90 ^a	8.925 ± 1.639	28.543 ±1.638 ^a	0.54 ± 0.10	2.28±0.69	0.26 ± 0.03	96
CP15/L-EG	26.24 ± 2.10	39.39 ± 0.99 ^{ab}	8.890 ± 2.182	24.655 ± 1.741 ^{ab}	0.51 ± 0.13	1.96±0.88	0.23 ± 0.03	96
CP15/L-EG+A	26.86 ± 1.92	41.24 ± 0.81 ^a	9.251 ± 1.961	28.627 ±1.543 ^a	0.54 ± 0.05	2.14±0.38	0.26 ± 0.01	100

All are mean values ± S.E., n = 3.

^{ab} Means in the same column with the different letter are significantly different (p < 0.05)

二、成膽人工飼料研究

本標的以魚粉、大豆粉，及昆布粉作為蛋白質來源，並調整前兩者配比，設計 3 種類型之飼料配方，各類型中又另設 1 組以卵磷脂取代大豆油，有 6 組飼料，外加一投餵昆布之控制組，共 7 組，透過餵食本種成膽，依據生殖腺指數增長效益找出合適之育肥飼料，詳細數據如下：

生殖腺指數

本結果顯示各組海膽生殖腺重佔體重之比例，數值越大越佳，實驗初始 GSI 為 1.434 ± 0.255 ($n = 3$)，至第 14 日 7 組間無顯著差異，以 CP35 + L 組的 2.808 ± 1.093 最優，CP25 + L 組的 2.693 ± 0.860 次之，而 CP15 + L、CP25，及昆布組有下降現象，可能式轉換飼料不適應所致；第 21 日 7 組間仍無顯著差異，數值皆已高於初始 GSI，以 CP35 + L 的 3.697 ± 0.637 最優，CP35 的 3.559 ± 0.860 次之，而 CP15 + L 的 1.803 ± 0.405 最小；實驗第 28 日（最終日），CP25 組的 6.248 ± 0.778 及 CP25 + L 組的 5.944 ± 1.085 ，顯著高於 CP15 組的 2.863 ± 0.489 ，與其餘組別無顯著差異，分別為最高及第二高數值的組別（圖 9）。另分別將 3 類型飼料與昆布組一同進行比較，可發現除 CP15 型外，另兩型中添加卵磷脂的組別其生殖腺指數於實驗最終皆低於無添加組（圖 10），顯示卵磷脂於低蛋白含量之飼料中作用較為明顯。

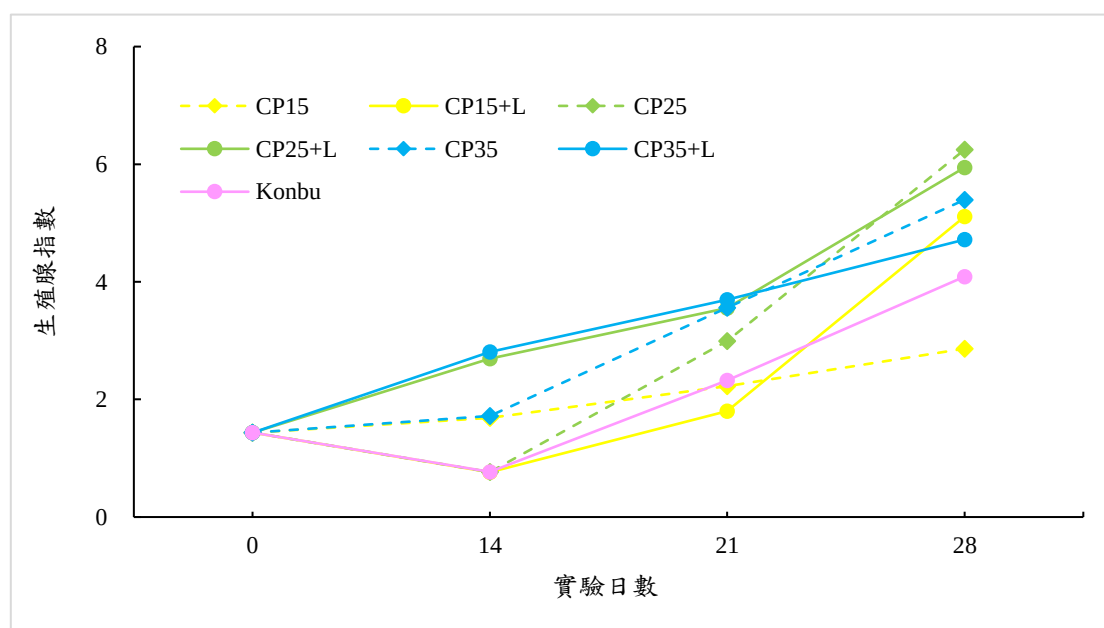


圖 9.6 飼料組與 1 昆布組餵食成膽對生殖腺指數增長之影響

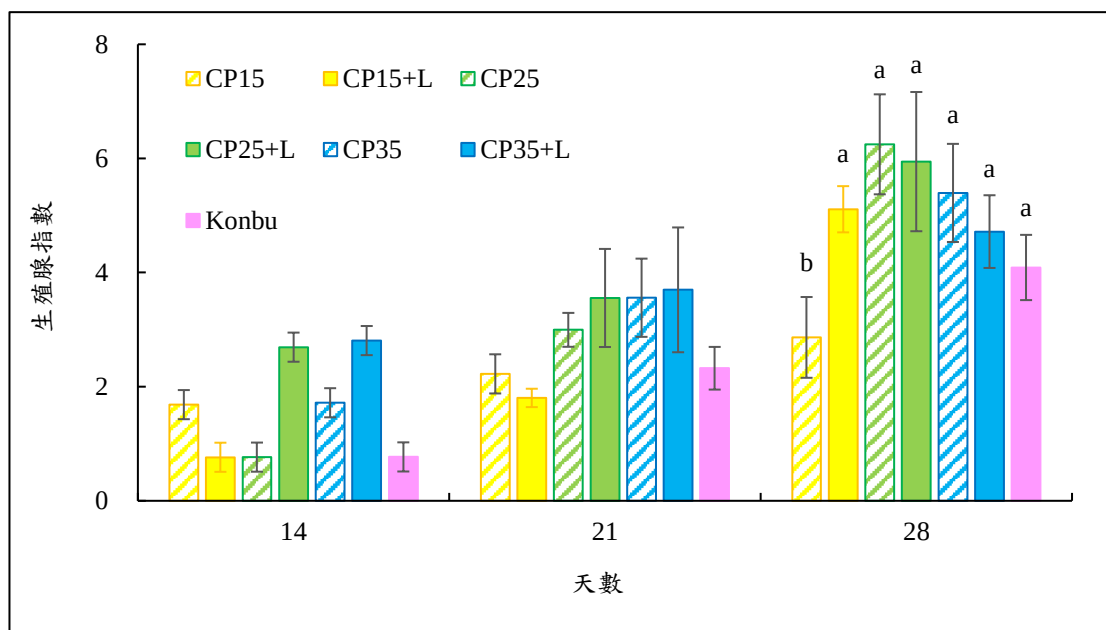


圖 10. 飼料以卵磷脂取代大豆油對成膽生殖腺指數增長之影

響

三、成膽功能性人工飼料研究

本試驗收集的 9 份問卷詳細填答內容於附錄 3，當中有 2 份填寫的順序與品評組別順次完全一致，3 份區分出飼料中有無添加劑的差異，4 份無法區分差異，代表有半數以上品評人員能感受到飼料添加劑帶來的影響，而檸檬與柚子可能是同屬柑橘類的緣故，在風味呈現的差別上並不明顯，因此難以區分，接著在 5 份成功區分出飼料中有無添加劑的問卷中，有 4 份在風味描述上明確表示，攝食含添加劑之海膽的生殖腺，較未添加組甜，有更多正面評價，顯示呈味飼料有助於提升消費者對海膽生殖腺的接受度。

肆、討論

諸多針對海膽的研究以性成熟個體之生殖腺指數作為指標，得出海膽飼料中所需蛋白質含量介於 20~30 % (Akiyama *et al.*, 2001 ; Pearce *et al.*, 2007 ; Pearce *et al.*, 2004 ; Heflin, 2012)。本試驗將白棘三列海膽稚膽的體重與殼徑成長作為指標，得出蛋白質含量 25 % 的飼料表現最為優異，此數值雖落在綜合各個文獻結論得出的區間內，但因其為本研究設定之最大值，因此無發認定為最適含量，接著，本實驗飼料的能量比是利用 α -starch 進行調整，屬於碳水化合物，結果顯示飼料中能量調降後，有降低稚膽成長效益的趨勢，推測本種對碳水化合物的利用效率佳，又海膽屬攝食緩慢物種，與鮑魚、蝦類相似，有研究指出此類物種因攝食時間較長，容易因飼料溶失而導致攝取到的蛋白質與能量等營養元素不足 (Dominy *et al.*, 2003 ; Durazo-Beltrán and Viana, 2001 ; Takagi *et al.*, 2022)，因此在有效的攝食時間內，除了考量飼料中的蛋白質含量外，能量多寡義值得重視。

Seymour *et al.* (2013) 指出褐藻對於白棘三列海膽具有誘引的作用，且於人工飼料中添加褐藻粉會促進其生長；Dworjanyn *et al.* (2007) 發現於投餵白棘三列海膽的飼料組中，添加 5% 馬尾藻粉 (*Ecklonia radiata*) 的組別，其成長率高出空白組 12 %。本計畫結果顯示，稚膽飼料添加藻粉後，有提升成長效益的現象，與前人研究成果相符，而在飼料中添加褐藻粉有助於本種成長的原因是，褐藻中包含了礦物質與色素等許多微量元素，其中礦物質是組成海膽外殼重要的營養元素，而色素含量亦對海膽體成長有正面效果，並且兩者具有正向交互作用 (黃，2006 ; Kennedy and Robinson, 2007)，除此之外，藻體中富含的多醣體，除了屬於碳水化合物能被吸收、利用外，還有助於海膽消化時分泌黏多醣，形成多醣膜 (mucopolysaccharide blanket)，不僅可保護腸道、促進吸收，還能減少自體分泌、降低能量消耗，進而提升成長效益 (Daggett *et al.*, 2005)。

飼料中蛋白質含量對成膽生殖腺發育之影響，隨著物種不同而要差異，如紅海膽 (*Mesocentrotus franciscanus*) 的合適蛋白質含量為 20~40 % (Akiyama, 2001)、綠海膽 (*Strongylocentrotus droebachiensis*) 為 19 % (Pearce, 2002)、紫海膽 (*Strongylocentrotus purpuratus*) 為 30 % (孫，2006 ; 陳，2008)，本試驗結果發現 25 % 具有最佳的生殖腺指數，以此蛋白質配比製作之飼料餵食成膽，能使生殖腺有較佳育肥效果。

脂質是能量密度最高的食物營養素，其能量大約是等量葡萄糖或蛋白質的兩倍 (Schmidt-Nielsen, 1997; Qian 和 Zhu, 1999)。脂質有兩種，中性脂質 (三酸甘油酯和類固醇) 和極性脂質，磷脂質屬後者。大豆卵磷脂通常用作配合飼料中的添加劑，以增加嗜口性，並促進脂質的消化、乳化、吸收以及轉運和動員 (Fenucci 和 Harán, 2007)，因此有文獻以其取代飼料中的棕櫚油餵食中間球海膽 (*Strongylocentrotus intermedius*) 成體，發現當取代量達 1.5 % 時可促進 GSI 指數的上升 (Zhang *et al.*, 2022)。大豆卵磷脂的價位落在 1 元/g，相較大豆油的 0.075 元/g 成本十分高昂，本實驗為嘗試以最低成本達最佳效果，是以取代大豆油的方式將其加入飼料中而非額外添加，結果顯示其在低蛋白質含量的組別 (CP15+L) 才有較優異的表現，當飼料中的粗蛋白含量達 25% 以上時，卵磷脂作用的效果並不明顯，推測是大豆卵磷脂替代原本的大豆油作為油脂來源，可能在尚未發揮作用時即被作為能量使用，且根據前人研究，大豆卵磷脂作為海膽飼料成分的使用量，通常在 0.5~1.5 %，然而本實驗除了 CP15 使用量達 0.92 % 外，其餘組別較為不足 (0.54、0.12 %) (表 4)，因此，若以額外添加大豆卵磷脂的方式，或許可達到快速育肥的效果。

伍、總結

1. 稚膽飼料蛋白質含量須達 25 % 以上，且能量須滿足 223 Kcal 以上。
2. 稚膽飼料中添加褐藻粉有助於成長。
3. 成膽飼料蛋白質為 25 % 時，有助於生殖腺發育，再提升含量並無法增進效益。
4. 飼料中額外添加卵磷脂有助於生殖腺發育。
5. 海膽對碳水化合物的利用率佳。
6. 海膽攝食添加香精之飼料能改變其生殖腺風味。

陸、問題與未來發展建議

1. 計畫期程緊湊，對於攝食過程緩慢的物種，需要較長餵食時間才能完整顯現出成長效益。本次實驗第八周已經出現統計學差異，但因計畫期程關係，只能以八周結果進行討論，若餵食時間夠長，則成長數據的差異定能更加明顯。
2. 本次實驗發現，海膽對於碳水化合物的利用率佳，這與其他水產生物對於碳水化合物營養利用不佳的觀點有所不同，對於爾後人工飼料的發展具有優勢。
3. 卵磷脂的效益在生殖腺的成長上具有相當正面的效果，未來在生殖腺育肥過程中，可以進一步探討蛋白質與磷脂質的比例及含量。
4. 本研究已確認飼料中添加香精餵食海膽，對改變其生殖腺風味的有效性，未來可進一步研究香精的添加量，與有效改變風味的餵食時間。

柒、參考文獻

- 丁玉龍、丁君、丁文君、常亞青，2014。性腺營養成分的影響。大連海洋大學學報 29(6)：638—643。
- 左然濤、侯受權、常亞青、丁君、宋堅、趙衡、張偉傑，2016。海膽營養生理研究進展。大連海洋大學學報 31(4)：463。
- 孫瑋育，2006。飼料中不同蛋白質來源及量對紫海膽(*Anthocardia crassispina*)體成長及生殖腺肥滿度之影響。碩士論文。基隆：國立臺灣海洋大學水產養殖研究所。
- 曾子函，2017。雜色角孔海膽(*Salmacis sphaeroides*)的人工育苗及食性偏好。碩士論文。澎湖：國立澎湖科技大學水產養殖系水產資源與養殖碩士班。
- 陳忠佑，2004。A。碩士論文。基隆：國立臺灣海洋大學水產養殖研究所。
- 陳弘毅，2008。溫度、光週期與飼料中 β -胡蘿蔔素含量對海膽生殖腺成熟與成長之影響。碩士論文。基隆：國立臺灣海洋大學水產養殖研究所。
- 陳世新，2008。飼料中不同動物性及植物性蛋白質比例對紫海膽(*Anthocardia crassispina*)成長及生殖腺的影響。碩士論文。基隆：國立臺灣海洋大學：水產養殖學系。
- 賴儀真，2008。飼料中添加類胡蘿蔔素對紫海膽(*Anthocardia crassispina*)生殖腺呈色、肥滿度之影響。碩士論文。基隆：國立臺灣海洋大學水產養殖研究所。
- 蔡宏益，2006。飼料中添加不同油脂的來源與量對紫海膽成長的影響及添加不同的誘引物對紫海膽的誘引效果。碩士論文。基隆：國立臺灣海洋大學養殖研究所。
- 蒲利云、吳洪流、馮永勤、董楊、劉璐，2009。白棘三列海膽生殖系統的組織學研究。海南大學學報自然科學版 27(2)：147。
- Akiyama, T., Unuma, T., and Yamamoto, T., 2001. Optimum protein level in a purified diet for young red sea urchin *Pseudocentrotus depressus*. Fisheries Science, 67(2), 361-363.
- Cyrus, M. D., Bolton, J. J., and Macey, B. M., 2015. The role of the green seaweed *Ulva* as a dietary supplement for full life-cycle grow-out of *Tripneustes gratilla*. Aquaculture, 446, 187-197.
- Daggett, T. L., Pearce, C. M., Tingley, M., Robinson, S. M. C., and Chopin, T., 2005.

- Effect of prepared and macroalgal diets and seed stock source on somatic growth of juvenile green sea urchins (*Strongylocentrotus droebachiensis*). *Aquaculture*, 244(1-4), 263-281.
- Hammer, B. W., Hammer, H. S., Watts, S. A., Desmond, R. A., Lawrence, J. M., and Lawrence, A. L., 2004. The effects of dietary protein concentration on feeding and growth of small *Lytechinus variegatus* (Echinodermata: Echinoidea). *Marine Biology*, 145(6), 1143-1157.
- Hammer, H., Hammer, B., Watts, S., Lawrence, A., and Lawrence, J., 2006a. The effect of dietary protein and carbohydrate concentration on the biochemical composition and gametogenic condition of the sea urchin *Lytechinus variegatus*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 334(1), 109-121.
- Hammer, H., Watts, S., Lawrence, A., Lawrence, J., and Desmond, R., 2006b. The effect of dietary protein on consumption, survival, growth and production of the sea urchin *Lytechinus variegatus*. *Aquaculture*, 254(1-4), 483-495.
- Heflin, L. E., Gibbs, V. K., Powell, M. L., Makowsky, R., Lawrence, J. M., Lawrence, A. L., & Watts, S. A., 2012. Effect of dietary protein and carbohydrate levels on weight gain and gonad production in the sea urchin *Lytechinus variegatus*. *Aquaculture*, 358, 253-261.
- Kennedy, E. J., Robinson, S. M. C., Parsons, G. J., and Castell, J., 1999. Somatic growth trials for juvenile green sea urchins fed prepared and natural diets. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*, (4), 52-54.
- Kennedy, E.J., Robinson, S.M.C., Parsons, G.J. and Castell, J.D., 2005. Effect of Protein Source and Concentration on Somatic Growth of Juvenile Green Sea Urchins *Strongylocentrotus droebachiensis*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 36: 320-336.
- Lawrence, J. M. (Ed.), 2004. *Sea Urchins: Fisheries and Ecology*; Proceedings of the International Conference on Sea-Urchin Fisheries and Aquaculture, Puerto Varas, Chile, March 25-27, 2003. DEStech Publ.
- Lawrence, J.M., Olave, S., Otaiza, R., Lawrence, A.L. and Bustos, E., 1997. Enhancement of Gonad Production in the Sea Urchin *Loxechinus albus* in Chile Fed Extruded Feeds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 28: 91-96.
- Olave, S., Bustos, E., Lawrence, J. M., and Carcamo, P., 2001. The effect of size and diet on gonad production by the Chilean sea urchin *Loxechinus albus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 32(2), 210-214.

- Pearce, C. M., Daggett, T. L., & Robinson, S. M., 2007. Optimizing prepared feed ration for gonad production of the green sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis*. Journal of the World Aquaculture Society, 33(3), 268-277.
- Pearce, C. M., Daggett, T. L., and Robinson, S. M., 2004. Effect of urchin size and diet on gonad yield and quality in the green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*). Aquaculture, 233(1-4), 337-367.
- Pearce, C. M., Weavers, R. W., and Williams, S. W., 2004. Effect of three kelp species and a prepared diet on somatic growth of juvenile green sea urchins (*Strongylocentrotus droebachiensis*). Aquaculture Association of Canada Special Publication, 8, 73-76.
- Robinson, S. M. C., J. D. Castell, and E. J. Kennedy. 2002. Developing suitable colour in the gonads of cultured green sea urchins (*Strongylocentrotus droebachiensis*). Aquac 206 : 289-303.
- Shpigel, M., McBride, S. C., Marciano, S., Ron, S., and Ben-Amotz, A., 2005. Improving gonad colour and somatic index in the European sea urchin *Paracentrotus lividus*. Aquaculture, 245(1-4), 101-109.
- Taylor, A.M., Powell, M.L., Watts, S.A., and Lawrence, A.L., 2009. Formulated Feed Supports Weight Gain and Survivorship in Juvenile Sea Urchins *Lytechinus variegatus*. Journal of the World Aquaculture Society, 40: 780-787.
- Watts, S. A., Powell, M., and D'Abramo, L. R., 2012. Fundamental approaches to the study of zebrafish nutrition. ILAR journal, 53(2), 144-160.

捌、附錄

附錄 1-稚鰵人工飼料中文版配方

組別 原料	CP25/H-EG	CP25/H-EG+A	CP25/L-EG	CP25/L-EG+A	CP15/L-EG	CP15/L-EG+A
魚粉	12.50	12.50	12.50	12.50	7.70	7.70
大豆粉	33.30	30.80	33.30	30.80	20.50	18
藻粉	0	15	0	15	0	15
α -澱粉	18	18	6	6	16	16
油 *	2.50	2.20	2.50	2.20	3.10	2.85
海藻酸鈉	15	15	15	15	15	15
維生素預混物	2	2	2	2	2	2
礦物質預混物	2	2	2	2	2	2
氯化鎂	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
磷酸二氫鈣	1	1	1	1	1	1
α -纖維素	12.20	0	24.20	12	31.20	18.95
實驗室級成本 (元/公斤)	360	179	546	365	657	476
工廠級成本 (元/公斤)**	165	179	160	174	160	173

單位：重量百分比；CP = 粗蛋白；EG = 能量；A = 藻粉

*魚油：大豆油 = 2：1

**使用粗糠取代 α -纖維素

附錄 2-成膽人工飼料中文版配方

組別 原料	CP15	CP15+L	CP25	CP25+L	CP35	CP35+L	昆布
魚粉	6.70	6.70	11.50	11.50	16.00	16.00	
大豆粉	16.50	16.50	31.00	31.00	46.00	46.00	
藻粉	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	
α -澱粉	24.50	24.50	14.50	14.50	4.480	4.48	
海藻酸鈉	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	
維生素預混物	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
礦物質與混物	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	
魚油	2.55	2.55	2.20	2.20	1.90	1.90	
大豆油	0.92	0	0.54	0	0.12	0	
大豆卵磷脂	0	0.92	0	0.54	0	0.12	
α -纖維素	17.33	17.33	8.76	8.76	0	0	
實驗室級成本 (元/公斤)	427	436	292	297	153	154	340
工廠級成本 (元/公斤)**	151	159	152	157	153	154	-

單位：重量百分比；CP= 粗蛋白；L= 大豆卵磷脂

**使用粗糠取代 α -纖維素

附錄 3-成膽功能性飼料研究問卷

餵食添加香精飼料對海膽生殖腺風味之影響

階段1－風味品評測試

品嚐分別攝食過檸檬風味、柚子風味，及無添加劑飼料之海膽生殖腺後，再依照直覺於下方格中依品評順序填上各飼料代表編號。

檸檬=A；柚子=B；無添加=C

您認為品嚐到的順序： 實際品評順序：C→B→A

C	→	A	→	B
---	---	---	---	---

階段2－風味描述

請依照品評順序在下方標號後，針對味覺寫上您的主觀感受，可以其它食物譬喻。

1. 鹹味 香味

2. 有一點點酸味，鹹味較1淡

3. 鹹味較1淡，與2差不多，比起2更有香味甜味

~感謝您撥空填寫~

鯨魚添加香精飼料對海膽生殖腺風味之影響

階段1—風味品評測試

品嘗分別攝食過檸檬風味、柚子風味，及無添加劑飼料之海膽生殖腺後，再依照直覺於下方格中依品評順序填上各飼料代表編號。

檸檬=A；柚子=B；無添加=C

您認為品嘗到的順序： 實際品評順序：C→B→A

C	→	B	→	A
---	---	---	---	---

階段2—風味描述

請依照品評順序在下方標號後，針對味覺寫上您的主觀感受，可以其它食物譬喻。

1. ~~海草~~有較重的鴨蛋味。

2. 聞起來有柑橘果皮味，較甜

3. 和2號類似，果皮味稍重，甜味較低

~感謝您撥空填寫~

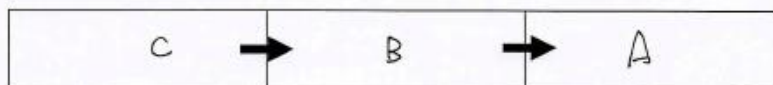
餵食添加香精飼料對海膽生殖腺風味之影響

階段1—風味品評測試

品嚐分別攝食過檸檬風味、柚子風味，及無添加劑飼料之海膽生殖腺後，再依照直覺於下方格中依品評順序填上各飼料代表編號。

檸檬=A；柚子=B；無添加=C

您認為品嚐到的順序： 實際品評順序：C→B→A



階段2—風味描述

請依照品評順序在下方標號後，針對味覺寫上您的主觀感受，可以其它食物譬喻。

1. 有飼料的油耗味

2. 比 1 好吃很多，接近野生海膽
人
比較

3. 跟 2 味道接近

~感謝您撥空填寫~

餵食添加香精飼料對海膽生殖腺風味之影響

階段1－風味品評測試

品嚐分別攝食過檸檬風味、柚子風味，及無添加劑飼料之海膽生殖腺後，再依照直覺於下方格中依品評順序填上各飼料代表編號。

檸檬=A；柚子=B；無添加=C

您認為品嚐到的順序： 實際品評順序：C→B→A

C	→	A	→	B
---	---	---	---	---

階段2－風味描述

請依照品評順序在下方標號後，針對味覺寫上您的主觀感受，可以其它食物譬喻。

1. 甜味較不明顯
2. 尾韻甜味較明顯
3. 甜味最強烈，帶點微微清香，檸檬 & 柚子差異不大，不易分辨。

~感謝您撥空填寫~

5 (A)

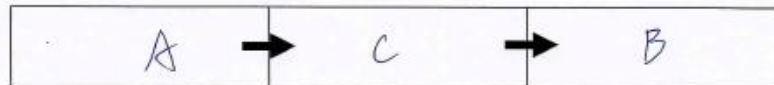
餵食添加香精飼料對海膽生殖腺風味之影響

階段1－風味品評測試

品嘗分別攝食過檸檬風味、柚子風味，及無添加劑飼料之海膽生殖腺後，再依照直覺於下方格中依品評順序填上各飼料代表編號。

檸檬=A；柚子=B；無添加=C

您認為品嘗到的順序： 實際品評順序：B→C→A



階段2－風味描述

請依照品評順序在下方標號後，針對味覺寫上您的主觀感受，可以其它食物譬喻。

1. 有甜味
明顯
2. 淡淡的甜味
3. 具甜味及淡淡的果香

~感謝您撥空填寫~

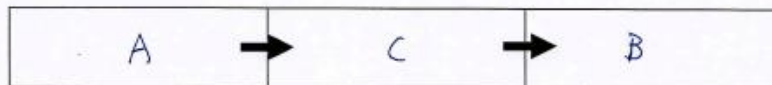
餵食添加香精飼料對海膽生殖腺風味之影響

階段1－風味品評測試

品嘗分別攝食過檸檬風味、柚子風味，及無添加劑飼料之海膽生殖腺後，再依照直覺於下方格中依品評順序填上各飼料代表編號。

檸檬=A；柚子=B；無添加=C

您認為品嘗到的順序： 實際品評順序：C→B→A



階段2－風味描述

請依照品評順序在下方標號後，針對味覺寫上您的主觀感受，可以其它食物譬喻。

1. 有類似牡蠣的味道，但金屬味較淡，口味感覺有點帶酸，略帶甜味。
2. 味道同上，感覺比較鹹一點點。
3. 味道大致同上，差異是多了點柑橘類苦味（不很明顯）

~感謝您撥空填寫~

餌食添加香精飼料對海膽生殖腺風味之影響

階段1－風味品評測試

品嘗分別攝食過檸檬風味、柚子風味，及無添加劑飼料之海膽生殖腺後，再依照直覺於下方格中依品評順序填上各飼料代表編號。

檸檬=A；柚子=B；無添加=C

您認為品嘗到的順序： 實際品評順序：C→B→A

B	→	C	→	A
---	---	---	---	---

階段2－風味描述

請依照品評順序在下方標號後，針對味覺寫上您的主觀感受，可以其它食物譬喻。

1. 前面味道略酸，但吃到中間會有甜味出現，持續到後面，變香甜的。
2. 這個的甜味相較於1來說比較晚出現，到後面會有濕味出現，口味相較單一。
3. 甜味比1來得更快速更明顯，但濕味也相對的提升，整體較喜歡^久。

~感謝您撥空填寫~

餵食添加香精飼料對海膽生殖腺風味之影響

階段1—風味品評測試

品嘗分別攝食過檸檬風味、柚子風味，及無添加劑飼料之海膽生殖腺後，再依照直覺於下方格中依品評順序填上各飼料代表編號。

檸檬=A；柚子=B；無添加=C

您認為品嘗到的順序：實際品評順序：C→B→A

A	→	 B	→	 C
---	---	--	---	--

階段2—風味描述

請依照品評順序在下方標號後，針對味覺寫上您的主觀感受，可以其它食物譬喻。

- 鹹，有淡淡的酸果味，奶香味，
- 鹹，不令人喜歡的^淡酸味，非常淡的奶香味，整體沒什麼味道
- 鹹，奶香味，有海水般的腥味。

~感謝您撥空填寫~

餵食添加香精飼料對海膽生殖腺風味之影響

階段1－風味品評測試

品嚐分別攝食過檸檬風味、柚子風味，及無添加劑飼料之海膽生殖腺後，再依照直覺於下方格中依品評順序填上各飼料代表編號。

檸檬=A；柚子=B；無添加=C

您認為品嚐到的順序：實際品評順序：C→B→A

A	➡	C	➡	B
---	---	---	---	---

階段2－風味描述

請依照品評順序在下方標號後，針對味覺寫上您的主觀感受，可以其它食物譬喻。

1. 吃起來有酸酸的感覺

2. 跟第一個比起來沒那麼香

3. 聞起來還蠻香的，吃起來留在口中的味道沒有第一個那麼久

~感謝您撥空填寫~