

111 年餵食陸生植物和海藻以量產海膽種苗 之比較研究委託案

計畫編號：AF-111-44

成果報告

郭金泉 、林士超

國立台灣海洋大學水產養殖系、海洋生物科技學士學
位學程（學系）

中 華 民 國 111 年 10 月

111 年餵食陸生植物和海藻以量產海膽種苗 之比較研究委託案

計畫編號：AF-111-44

委託單位：澎湖縣政府農漁局

執行機關：國立台灣海洋大學

計畫經費：新台幣 78 萬 9,220 元整

計畫主持人：郭金泉、林士超

參與人員：任憲鈺、張志瑋、蔡益壽、陳易辰、曾進福、

許宏偉、陳仁勇、王昆池

計畫全程：自 111 年 4 月 1 日起至 10 月 31 日止

目錄

圖目錄.....	III
表目錄.....	VII
一、計畫緣起	2
二、計畫目的.....	3
三、實施策略及方法	4
(一).稚海膽攝食陸生植物及海藻的成長率和活存率之中間育成試驗	4
(二).海膽攝食陸生植物和海藻的放養密度試驗	5
(三).實驗現場人力配置及請機關協助事項	5
(四).期末報告	5
四、結果與討論	6
(一).實驗開始時澎湖白棘三列稚海膽的外殼大小與體色	6
(二).體色	7
(四).水質條件	10
(五).掉棘現象	10
(六).澎湖白棘三列海膽和阿里效應 (Allee effect).....	10
(七).寒流與澎湖白棘三列海膽的最適溫度	11
(八).養殖設備的設計	12
(九).非侵入性檢查海膽的生殖腺飽滿程度	13
(十).海膽營養生理研究與飼料開發	13
(十一).殘食現象(cannibalism)	15
(十二).日本海膽種苗放流回顧 — 改善棲地日本主要海膽物種	16
(十三).放流人工生產海膽種苗可以成功復育海膽資源的日本經驗	18
(十四).簡介日本海上養殖海膽	20
(十五).日本水產養殖海膽的制約因素和未來前景	20
(十六).綜合整理一般放流水產生物種苗的結論	20
(十七).對比臺灣漁業水產種苗放流的現況與建議	21
(十八).試評 2018 年澎湖縣政府的海膽種苗放流成效	23
(十九).再利用陸上閒置九孔養殖池養殖海膽的成本分析	27
六、謝言.....	30
七、圖.....	31
八、表.....	67
八、照片.....	80
九、回答審查委員意見	81

圖目錄

圖 1、2022 年 4 月 1 日 點收 400 個稚海膽	31
圖 2、研究開始時的稚海膽之殼寬由 0.3~20 公厘(mm)不等、大小差異很大	31
圖 3 圖 4、研究開始時的稚海膽之大小(以殼寬計)的統計分析、差異很大	32
圖 5、實驗開始(4 月 1 日)時稚海膽殼高和殼寬的相關 R^2 是 0.7025，實驗後期(5 月 25 日) 殼高和殼寬的相關高達 0.966。儀器的精準提高研究的效率和精準度.....	33
圖 6、圓形塑鋼(FRP，寬內徑 140 公分、高 65 公分、但使用 55 公分高水位、所以養殖使用水量約 0.85 公噸)以流水式飼養。入水量每分鐘由 14.4~16.7 公升不等所以入水量每小時為 864~1000 公升	34
圖 7、寬內徑 140 公分、高 65 公分可承 1 公噸水量的圓形塑鋼(FRP)和浮在水面的不銹鋼漏孔圓盤。每個 10 公升體積的圓盤內養殖 30 個稚海膽.....	35
圖 8、不銹鋼漏孔圓盤(直徑 34 公分、盆高 10 公分、圓周和底部共 573 個 0.3 公厘孔徑的圓形洞孔可交換流水、可承水體積 10 公升的臉盆型容器)	35
圖 9、西海養殖場的長方形九孔養殖池.....	36
圖 10、宜蘭海膽置於浮籠(長寬高公分)再浮在十公噸長方形九孔養殖池以海水流水馴化海膽 20 天。紅色圈表示死亡的海膽	37
圖 11、圓形直立式塑鋼桶(FRP，寬內徑 140 公分、高 65 公分)以流水式飼養。入水量每分鐘由 14.4~16.7 公升不等所以入水量每小時為 864~1,000 公升	37
圖 12、浮在 FRP 桶的黑色塑膠籃(長 45.5 公分、寬 33 公分、高 17 公分、容積 25.5 公升)共有 1992 個 0.5 公分正方形洞孔可交換流水。放養密度共三組(100 個/公噸、300 個/公噸、500 個/公噸)，100 個/公噸表示每組實驗放養密度為每公噸海水放養 100 個海膽	38
圖 13、每天以虹吸抽底與拔管方式清除海膽吃剩殘餘的食物	38
圖 14、不論是澎湖本地，還是購自宜蘭之馬糞海膽，體色呈多樣性，偏紅或偏白或中間色，且個體間體色有明顯差異.....	39
圖 15、標準偏差大，海膽的個體差明顯。餵食三種食物一個月後海膽都有顯著的成長(以海膽殼寬代表)。餵食馬尾藻的海膽成長持續領先表現最好，標準偏差也最大。相同組(例如 A)內不同英文字母表示有顯著差異($P<0.05$)。每個柱狀條線採樣 30 個海膽個體。	40
圖 16、海膽成長快速其殼寬與日俱進.....	40
圖 17、實驗過程沒有篩選海膽分級分開飼養，兩個月的餵食實驗結束，稚	

海膽個體成長的程度差異很大.....	41
圖 18、餵食 3 種食物(馬尾藻、高麗菜、石蓴)中最大顆(殼寬約 5 公分)的個體，都發現已長出生殖腺但仍未達飽滿階段.....	42
圖 19、海膽餵食 3 種食物(高麗菜、石蓴、馬尾藻)，在 3 個放養密度。養殖 2 週(2022 年 8 月 15 日)四個實驗(A、B、C、D)設計海膽之殼寬。A、B、C 的海膽購自宜蘭。D 使用的海膽是第一個試驗使用剩餘的澎湖縣水產種苗繁殖場生產之海膽。1(藍色)表示放養密度 100 個/公噸、2(橘色)表放養密度 300 個/公噸、3(灰色)表放養密度 500 個/公噸。相同組(例如 A)內不同英文字母表示有顯著差異($P < 0.05$)。每個柱狀條線採樣 30 個海膽個體。.....	43
圖 20、海膽餵食 3 種食物(高麗菜、石蓴、馬尾藻)，2022 年 8 月 29 日海膽四組(A、B、C、D)之殼寬。A、B、C 的海膽購自宜蘭。D 使用的海膽是第一個試驗使用剩餘的澎湖縣水產種苗繁殖場生產之海膽。1(藍色)表示放養密度 100 個/公噸、2(橘色)表放養密度 300 個/公噸、3(灰色)表放養密度 500 個/公噸.....	43
圖 21、海膽餵食 3 種食物(高麗菜、石蓴、馬尾藻)，2022 年 9 月 13 日海膽四組(A、B、C、D)之殼寬。1(藍色)表示放養密度 100 個/公噸、2(橘色)表放養密度 300 個/公噸、3(灰色)表放養密度 500 個/公噸。A、B、C 的海膽購自宜蘭。D 使用的海膽是第一個試驗使用剩餘的澎湖縣水產種苗繁殖場生產之海膽.....	44
圖 22、海膽餵食 3 種食物(高麗菜、石蓴、馬尾藻)，2022 年 9 月 27 日海膽四組(A、B、C、D)之殼寬。1(藍色)表示放養密度 100 個/公噸、2(橘色)表放養密度 300 個/公噸、3(灰色)表放養密度 500 個/公噸。A、B、C 的海膽購自宜蘭。D 使用的海膽是第一個試驗使用剩餘的澎湖縣水產種苗繁殖場生產之海膽.....	44
圖 23、海膽餵食 3 種食物(高麗菜、石蓴、馬尾藻)在四個(A、B、C、D)實驗設計下，海膽殼寬在實驗期間(8 月 1 日~9 月 27 日)持續增加之演變。相同組(例如 A1)內不同英文字母表示有顯著差異($P < 0.05$)。每個柱狀條線採樣 30 個海膽個體。A、B、C 的海膽購自宜蘭。D 使用的海膽是第一個試驗使用剩餘的澎湖縣水產種苗繁殖場生產之海膽..	45
圖 24、比較海膽餵食 3 種食物(高麗菜、石蓴、馬尾藻)在 4 月和 8 月的成長狀況。放養密度都是 100。虛線(D)使用的海膽是第一個試驗使用剩餘的澎湖縣水產種苗繁殖場生產之海膽。8 月的海膽購自宜蘭...	45
圖 25、餵食 3 種食物(馬尾藻、高麗菜、石蓴)中大顆(殼寬 6 公分)的個體，都已長出生殖腺.....	46
圖 26、研究期間(4 月 1 日~5 月 31 日)澎湖縣立種苗繁殖場提供的海水溫度和照度一例.....	47
圖 27、養殖場海水溫度和設備的照度.....	48

圖 28、海膽掉棘但並沒死亡、且正常攝食逐漸長出新棘.....	49
圖 29、今年 5 月媒體採訪某澎湖海洋保育者，據其調查尖山海域已剩個位數兩個.....	49
圖 30、阿里效應：動物數量下降到某個閥值時會越來越少終至滅絕.....	50
圖 31、過少的鮑魚族群密度，造成彼此難覓配偶，繁衍失敗。交配的困難是引起阿里效應的原因之一.....	50
圖 32、棲息於紅海(Red Sea)淺海域的 <i>Echinometra mathaei</i> 、 <i>Diadema setosum</i> 、 <i>Echinothrix calamaris</i> 及白棘三列海膽(<i>Tripneustes gratilla</i>)四種海膽的溫度耐性(temperature tolerance)與暴露(exposure)在(12~35 °C)後的復原(activity)時間	51
圖 33、陸基 UrchinPlatter™ 系統採用一種新穎的海膽的餵食方法稱為 Platter™。飼料、人工或天然大型藻類，可以夾在背板和高孔夾持板之間，最大限度地提高海膽接觸到飼料和食物的機會.....	52
圖 34、UrchinPlatter™ 系統是一種陸基方法，由英國 Gourmet Marine Ltd.擁有專利，在流水式養殖系統內使用籠子養殖海膽.....	52
圖 35、高商業價值海膽性腺含大量營養細胞而非配子才是適合做食品....	53
圖 36、超音波診斷(a)、X 射線斷層診斷(b)照片.....	53
圖 37、斷層成像技術可非侵入性地看到海膽的生殖腺。引用自 Systematic scanning of sea urchins using MRI. yellow = gonad 黃色是生殖腺.....	53
圖 38、發表飢餓和族群在高密度狀況下會導致海膽同類互相殘食之文獻	54
圖 39、日本主要漁獲的 6 種海膽(<i>Strongylocentrotus intermedins</i> (蝦夷馬糞海膽); <i>S. nudud</i> ; <i>Pseudocentrotus depressus</i> (紅海膽); <i>Hemicentrotus pulcherrimus</i> ; <i>Helicidaris crassispina</i> ; <i>Tripneustes gratilla</i>)。右下角白棘三列海膽(<i>Tripneustes gratilla</i>)日文的意思是白鬚海膽，因為有白色棘。但在台灣稱之馬糞海膽，和日本的馬糞海膽 <i>Hemicentrotus pulcherrimus</i> 指的是不同物種.....	55
圖 40、投石的一個例子.....	56
圖 41、自 1910 年以來，日本就在面臨日本海的本州福井縣(Fukui)沿海以投放石頭來改善海膽棲息地。1975 年至 2007 年的 32 年間，日本投放建造的海膽棲息地區域與面積一如圖所示.....	56
圖 42、Agatsuma(吾妻 行雄)嘗試投放大型混凝土砌塊(wave dissipating concrete block)到某些區域，和堆積成堆(submerged mound)與防波堤(breakwater)或合或離	57
圖 43、日本嘗試投放大型混凝土砌塊到某些區域充當防波堤(breakwater)，在這些人工障礙物的後面，再增放小石塊，以進一步擴大人工礁岩的面積.....	57
圖 44、日本嘗試過各種類型的岩礁設計，包括混凝土砌塊，想方設法增加與擴大定棲性海膽的棲地.....	58

圖 45、日本主要生產和放流海膽的行政區極南(九州)和極北(北海道).....	59
圖 46、日本歷年(1983~2000 年)放流種苗的前十名水產生物。海膽名列第 6，每年平均放流數千萬粒種苗.....	59
圖 47、北海道放流蝦夷馬糞海膽(<i>S. intermedius</i>)的近北極群經驗.....	60
圖 48、長崎縣放流紅海膽(<i>P. depressus</i>)的溫帶群經驗.....	60
圖 49、沖繩 51 年的海膽漁獲量的變化.....	61
圖 50、日本海基養殖系統(Sea-Based Culture Systems)	61
圖 51、日本養殖海膽的海上籠箱(cage).....	62
圖 52、澎湖縣政府標榜採用栽培漁業方式復育海膽資源.....	63
圖 53、澎湖科技大學執行「澎湖烏坎海域生物相調查及復育物種效益評估 案」調查地點圖 54、A 栽培漁業區測得白棘三列海膽之殼徑.....	64
圖 55、A 栽培漁業區測得白棘三列海膽之殼徑分布.....	65
圖 56、日本在沖繩和鹿兒島研究放流馬糞海膽在野外的成長速率.....	66

表目錄

表 1、實驗開始時隨機採樣 100 個稚海膽，其硬殼高(算術平均 7.45 公厘 mm)、殼寬(直徑 11.94 mm)、標準偏差(standard deviation)及 68 和 95% 級距(分佈數字區間)	67
表 2、2022 年 7 月 28 日統計馴化 20 天後的結果(殼寬)	67
表 3、2022 年 8 月 1 日四個實驗(A、B、C、D)設計與 3 組放養密度的海膽殼寬	68
表 4、2022 年 5 月 25 日測量 400 個稚海膽的數據	68
表 5、海膽餵食高麗菜 55 天	69
表 6、海膽餵食石蓴 55 天	69
表 7、海膽餵食馬尾藻 55 天	69
表 8、2022 年 8 月 15 日四個實驗(A、B、C、D)與 3 組放養密度的海膽殼寬 (公厘)	70
表 9、2022 年 8 月 29 日四個實驗(A、B、C、D)與 3 組放養密度的海膽殼寬 (公厘)	71
表 10、2022 年 9 月 13 日四個實驗(A、B、C、D)與 3 組放養密度的海膽殼寬(公厘)	71
表 11、2022 年 9 月 27 日四個實驗(A、B、C、D)與 3 組放養密度的海膽殼寬 (公厘)	71
表 12、在 2 個月(8 月 1 日~9 月 31 日)以三種放養密度(100 個/公噸、300 個/公噸、500 個/公噸)餵食馬糞海膽三種(高麗菜、石蓴、馬尾藻)食物 每兩週的存活率(%)	72
表 13、比較 5 種海膽的生物特徵和 2008 年的價錢	73
表 14、日本海膽生產地點、海膽放流數量和物種	73
表 15、澎湖縣政府海膽管理 17 年的成果	73
表 16、栽培漁業區 A 海域中潮間帶出現的海膽個體數	74
表 17、栽培漁業區 B 外圍海域中潮間帶出現的海膽個體數	75
表 18、低潮線以深 5 個測點之馬糞海膽密度棘出現率	75
表 19、A 測線外之馬糞海膽個體數	76
表 20、A 栽培漁業區及 B 外圍海域中潮間帶出現的生物	76
表 21、A 栽培漁業區及 B 外圍海域中低潮線以深出現的生物	77
表 22、A 栽培漁業區及 B 外圍海域中潮間帶出現的蝦蟹類	78
表 23、A 栽培漁業區及 B 外圍海域中低潮線以深出現的魚類	78
表 24、以陸上閒置九孔養殖池再利用養殖海膽的預估費用	79
表 25、以陸上閒置九孔養殖池再利用養殖海膽的利潤分析	79

摘要

本研究根據去(2021)年試驗「以陸生植物及大型海藻育肥海膽生殖腺之可行性」之結論，進一步以陸生植物(高麗菜)和海藻(石蓴、馬尾藻)餵食稚海膽，比較中間育成的成長率和存活率；並比較尋求最適放養密度，提供澎湖縣養殖戶養殖與縣政府放流之海膽種苗之參考。

第一個試驗：以陸生植物(高麗菜)與兩種大型海藻(石蓴和馬尾藻)共 3 種不同食物餵食稚海膽的試驗結果。由於澎湖縣水產種苗繁殖場 2022 年二月時遭寒害，只能提供 400 個殼寬(直徑 11.94 ± 2.06 公厘)、大小懸殊的稚海膽供研究。餵食三種食物一個月，海膽即成長顯著，但彼此均無顯著差異。二個月試驗結束時，餵食馬尾藻的海膽成長持續領先(殼寬直徑 35.43 ± 8.10 公厘)；餵食高麗菜海膽的標準偏差最大(9.42 公厘)。餵養 2 個月後整體海膽比 2 個月前在統計上有顯著成長：殼寬(直徑 25.04 ± 9.35 公厘)，足足增長一倍，然而個體大小懸殊更加劇。由於本試驗海膽數量過少，試驗時沒篩選海膽進行分級分養。解剖餵食 3 種食物(馬尾藻、高麗菜、石蓴)中最大顆(殼寬約 5 公分)的個體，發現都已長出生殖腺但仍未達飽滿程度。餵食三種食物兩個月後海膽的存活率皆百分之百。實驗末期(5 月 13 日)發現有盤餵食高麗菜的海膽部分個體有掉棘現象，掉棘面積因個體而異，掉棘個體不但沒死亡且隔離飼養後皆復原。高麗菜的其餘重複組並未發現此現象。

第二個試驗：海膽攝食陸生植物和海藻的放養密度試驗。放養密度為每公噸水體養殖 100 個、300 個和 500 個海膽。此試驗的海膽除了使用第一個試驗的海膽外；並由台灣宜蘭私人養殖場購入殼寬 2 公分稚海膽完成試驗。整體而言，餵食三種食物一個月後海膽就都有顯著的成長(以海膽殼寬代表)。海膽的殼寬與日俱增，9 月 28 日的海膽顯著比實驗開始(8 月 1 日)時長大很多，9 月又比 8 月顯著成長。餵食馬尾藻的海膽成長持續領先表現最好。研究也發現放養密度越高有存活率越低的趨勢，囿於設備與材料無法以統計驗證。放養密度 100 個/公噸的海膽之存活率皆百分之百，高放養密度(300 個/公噸和 500 個/公噸)的海膽有互相殘食的現象，可能肇因於海膽個體的活動空間或種原。

本研究探討海膽耐低溫的範圍、殘食現象及阿里效應、也介紹放流海膽種苗的日本經驗、檢討放流即恢復資源的迷思、試探 2018 年在澎湖烏坎栽培漁業區放流海膽的成效、及分析養殖海膽的成本。養殖海膽不但可以提供澎湖夏天旺季與冬天淡季，饕客們極品的招牌「澎湖海膽」生殖腺；而且也可加工成多樣地方特色產品外銷。善用台灣每年因為生產陸生植物過剩(例如高麗菜)與為數可觀丟棄外觀欠佳的陸生農作物，或未開發的澎湖擾人陸生植物，是開創澎湖地方創生產業與循環經濟的契機。

關鍵字：藻類、陸上植物、海膽、種苗、成本分析

一、計畫緣起

台灣人俗稱馬糞海膽的白棘三列海膽(*Tripneustes gratilla*)，是棲息於台灣海域的可食用大型海膽。白棘三列海膽廣泛分佈於印度—西太平洋熱帶及暖溫帶海域，臺灣以澎湖群島最多，其次為東北角及墾丁海域，小琉球及蘭嶼也常見。澎湖群島密度每坪最高可達 15 至 20 個，據某研究者估計，40 幾年前澎湖周圍海域約有 2 億顆海膽。白棘三列海膽是饕客最愛，價高量少。根據 2018 年養魚世界 11 月專題報導：台灣每顆活的白棘三列海膽售價 150~300 元新台幣，因為市場需求大，過度採捕導致海膽資源逐年減少，儘管澎湖縣政府致力於種苗放流多年，但資源量仍不見起色。雖然澎湖縣水產種苗場是台灣目前生產海膽種苗最有成果的單位，但尚無法達到商業化養殖規模，海膽食量很大，食物供應不足是量產限制因子之一。

2011 年 311 大地震後日本東北大學吾妻行雄教授研究團隊長期持續調查日本三陸海岸海洋生物相的演替。他發現海嘯幾乎帶走了棲息於宮城縣志津川灣內所有的海洋生物，包括捕食蝦夷海膽(*Mesocentrotus nudus*，以前稱 *Strongylocentrotus nudus*)的天敵：海星和螃蟹。海嘯後，海藻林(kelp, *Ecklonia bicyclis*, beds (or forests)、海中林)復原最快，僅僅一年即恢復原貌；兩年後海膽和鮑魚也逐漸恢復資源量。但是倖存的海膽在天敵消失的海藻林，大肆繁衍、數量激增，短短 3 年(2013 年)其生物量已約是原先海嘯前的七倍。這些海膽吃光了日本東北沿岸海域的巨型海藻林，造成海底光禿沙漠化(barrens)，而這些海藻林正是日本東北沿岸岩礁生態系的基盤，也是漁業的基礎。更可怕的是，海膽啃光海藻林後並不會立即死亡，牠們生命力超強可以忍著飢餓蟄伏原地達 6 個月之久。更何況此種海膽長壽可活 15 年，除非除掉這些海膽，否則海藻林恢復將遙遙無期。所以這些生殖巢空無一物沒商品價值的海膽(spongy sea urchin)，唯一的功用就是被當地日本漁家撈起來當農業堆肥。

北海道水產專家早就利用海帶餵食海膽增肥。吾妻教授建議宮城縣漁家把清除附著於漁具的海帶、昆布等大型藻的海拋廢棄物，以每 10 天餵食一次的頻度養殖吊養在籠子的這些空虛、深褐色生殖巢，沒商品價值的海膽，進行撈捕再養殖(catch and culture)的實驗。三個月後不但這些海膽的生殖巢顏色金黃飽滿，甘味胺基酸(絲氨酸 serine、丙氨酸 alanine)成分倍增，而且可口，一如天然海膽，再創商機。

無獨有偶，2017 年日本神奈川縣三浦半島也飽受海水暖化藻場消失，加上暖化加速嗜食草食性水族暴增，藻場更被迅速啃食，所謂磯燒(海中藻類消失的現象)之苦。其中紫海膽(ムラサキウニ, *Heliocidaris crassispina*)和象魚數量過剩是被點名的禍首。神奈川水產試驗所的研究員巧妙的善用當地盛產高麗菜，在販售包裝過程中所淘汰的菜葉，餵食這些對生態有害飢腸轆轆皮包骨的海膽，養殖三個月後存活率高和生殖腺指數(GI:Gonad Index)居然與天然海膽的不相上下，品質也深獲好評，甚至因為生殖巢帶有特殊的甜味而獲[高麗菜海膽](キャベツウニ)之品牌。

上述這些技術已經吸引國際上有眼光的投資者之關注。近年來美國加州、紐西蘭、挪威等都傳出生殖腺(巢)空扁、海膽大軍肆虐、生態浩劫的災情，所以國際水產論壇正在鼓吹「吃海膽拯救海洋」。甚至已有公司開發了一種不添加玉米、大豆、抗生素、生長激素或魚粉，號稱 100% 由天然海帶和植物性材料製成的海膽飼料，公司聲稱只需餵食公司的特殊飼料，海膽就能生產出可口美味的生殖腺(巢)。公司透露飼料選擇日本海帶的原因，是可以最大化海膽的“鮮味”。

二、計畫目的

2020 年本研究團隊的預備實驗已證實，單以高麗菜葉餵食，可以在短短的 3 個月內育肥馬糞海膽生殖腺，證實日本神奈川縣水產試驗所的研究員所言不虛；而且預備實驗發現高麗菜對馬糞海膽的肥育有幫助；平均生殖腺重量和平均生殖腺比例，比以 30% 魚粉蛋白質為基底的昂貴人工合成飼料高；且育肥的效果，足以匹敵以 30% 魚粉蛋白質為基底材料的人工合成飼料。

2021 年本研究團隊執行「以陸生植物及大型海藻育肥海膽生殖腺之可行性」已獲以下 10 點初步結論。

- 1、以海膽生殖腺指數=生殖腺溼重/(生殖腺溼重+殼重)更能反映生殖腺占比的實際貢獻。
- 2、澎湖產白棘三列海膽之最小成熟體型落在殼寬直徑 50~60 公厘(mm)之間。
- 3、餵食馬尾藻和高麗菜組海膽 2 個月後海膽即有顯著的成長。餵食馬尾藻和高麗菜組的海膽大小相似；但餵食銀合歡組海膽顯著偏小。餵食約 4 個月(123 天)後海膽存活率在 50~97%。餵食高麗菜(B)組的海膽存活率最高(80、84、85%)，餵食馬尾藻(A)組的海膽存活率其次(52、84、84%)。餵食銀合歡(C)組的活存率最低(50、70、97%)變異也最大。
- 4、海膽攝食銀合歡的量最少、吃馬尾藻的量最多、約是其次高麗菜的 2 倍，銀合歡的 7 倍。餵食馬尾藻和高麗菜明顯比銀合歡對增加生殖腺指數有效。而又以高麗菜增加生殖腺指數最多且均勻。
- 5、澎湖白棘三列海膽體直徑和生殖腺重量的相關比和生殖腺指數的相關高。
- 6、養殖前後白棘三列海膽個體差異大，生殖腺的成熟程度也參差不齊。
- 7、餵食銀合歡組的海膽改餵食馬尾藻與高麗菜後，海膽的殼徑與生殖腺都顯著的成長且有補償生長現象。改餵食 50 天後不管是銀合歡組的海膽(改餵食馬尾藻與高麗菜)、馬尾藻組(改餵食青海菜與石蓴)及高麗菜組(改餵食青海菜與石蓴)海膽的生殖腺指數(GI)都比一直餵原先食物的 GI 有顯著增加。
- 8、即使色差計分析三組生殖腺的色差有顯著差異，品嚐評價甜度、口感及總體喜好度仍因人而異，無母數統計分析後顯示沒顯著差異。
- 9、實驗結束後生殖腺的游離胺基酸以甘胺酸(glycine)和丙胺酸(alanine)濃度最高，5 月至 7 月份為台灣產白棘三列海膽最適食用的月份。

10、澎湖縣水產種苗繁殖場的立地條件優異，非常適合養殖海膽。

2021 年本研究團隊建議：海膽是一種重要的模式物種，研究其營養生理不僅可以為海膽飼料工業提供資訊，營養調控代謝機理也可以為陸生動物或人類營養代謝提供參考。尤其海膽分類地位特殊、有優良研究遺傳學術背景，又容易養殖操控、因此在營養繁殖機理研究方面具有無可比擬的優勢。未來研究可著重於探討營養物質對海膽生殖腺發育和繁殖性能調控機理、影響海膽攝食的因素、海膽消化系統、海膽營養需求及養殖放養密度方向。

本委託案即根據上述去年試驗之結論，進一步以陸生植物(高麗菜)和海藻(石蓴、馬尾藻)餵食稚海膽，比較中間育成的成長率和存活率；同時比較不同放養密度尋求最適放養密度，希望能量產海膽種苗提供澎湖縣養殖戶養殖，與縣政府放流之用。過度捕撈成認是導致澎湖海膽數量驟減的主要原因，為維護其永續發展，澎湖縣政府已經劃設保護區、漁季限制、捕獲大小規範多管齊下企圖挽救資源。雖然澎湖縣近年來也努力生產海膽人工種苗，並放流多年，試圖補充並復育急遽消失的資源，但放流的績效不明或效果不彰，且 2019 年已停止施行。

台灣宜效法日本，尤其是沖繩縣禁捕野生海膽，避免主要因人為濫捕造成海膽資源絕跡甚至滅絕。本研究既可提供澎湖夏天觀光旺季與冬天旅遊淡季，饕客們視為極品的澎湖海膽生殖腺，或加工成高價產品外銷，也可以保護澎湖海膽資源，是恢復澎湖海膽資源的一線生機；同時善用台灣每年因為生產高麗菜過剩與為數可觀的丟棄陸生農作物或未開發的陸生植物，開創澎湖地方創生與經濟契機。

三、實施策略及方法

本計畫由本縣水產種苗繁殖場提供或協助取得馬糞海膽，將之餵食陸生植物(高麗菜)與兩種大型海藻(石蓴、馬尾藻)，試驗稚海膽中間育成的成長率和活存率；並探討以不同放養密度量產海膽種苗的可行性。此研究將提供有興趣的業者和決策單位，在澎湖量產馬糞海膽成立觀光產業之參考。據主事者言澎湖縣水產種苗繁殖場今年(2022)年初(2 月)遭受寒害，造成海膽苗大量死亡，目前重新培育之海膽種苗不足，也因來不及提供本試驗研究進行實驗，因此得向台灣本島採購足夠之種苗，以進行第二個：海膽攝食陸生植物和海藻的放養密度試驗。

(一).稚海膽攝食陸生植物及海藻的成長率和活存率之中間育成試驗

- 1、以陸生植物(高麗菜)與兩種大型海藻(石蓴和馬尾藻)共 3 種不同食物餵食稚海膽。海膽殼徑以水產種苗繁殖場於履約時可供實驗之稚膽為原則。
- 2、每組實驗的海膽數量至少 300 個，實驗 3 重複。每組實驗的海膽在陸上 1 公噸池以流水式養殖。試驗中隨時抽底清理殘渣等，維持海膽處於適合成長的環境(鹽度、pH、水溫)。
- 3、試驗時間至少 2 個月，本研究預計由 4 月開始，定期(原則每 2 週)測量每

實驗組海膽的成長率及活存率。

4、實驗開始、定期及結束時測定殼寬的直徑、殼高。

(二).海膽攝食陸生植物和海藻的放養密度試驗

1、以陸生植物(高麗菜)與兩種大型海藻(石蓴和馬尾藻)共 3 種不同食物餵食海膽。海膽殼徑以水產種苗繁殖場於履約時可供實驗之海膽為原則。

2、實驗 3 組(100 個/公噸、300 個/公噸、500 個/公噸)不同放養密度，100 個/公噸表示每組實驗放養密度為每公噸海水至少 100 個海膽。

3、試驗時間至少 2 個月，本研究預計由 6 月開始，定期(原則每 2 週)測量每實驗組海膽的成長率及活存率。

4、實驗開始、定期及結束時測定生殖腺成熟度、指數。

5、實驗數據以 SAS 統計分析軟體(<https://www.ibm.com/products/spss-statistics>)進行變方分析，視有否顯著差異。

(三).實驗現場人力配置及請機關協助事項

1、因應養殖過程生物變動性大，且上述實驗操作須具備專業能力、精細度及敏感度，為有效達成實驗目的，執行本案需配置 1 名常駐人力進行相關操作。

2、本委託案試驗物種為馬糞海膽，該物種為本縣限制採捕之物種，所以實驗所需馬糞海膽，須由本縣水產種苗繁殖場提供或協助取得。

3、得標廠商得借用本縣水產種苗繁殖場現有試驗場地及種苗硬體設備，惟試驗所需器具、相關耗材由得標廠商自行負責。

4、為有效管理計畫執行進度，機關有權定期要求廠商到場進行工作進度報告，廠商不得無故拒絕。

(四).期末報告

1、廠商應於 111 年 10 月 5 日前完成所有工作內容，提送期末報告書送機關審核，由機關安排廠商簡報，廠商接獲機關對期末報告之審核意見後，需於 111 年 10 月 30 日前繳交正式完成之「成果報告書」一式 5 份及電子檔案 1 份。

四、結果與討論

1. 比較以陸生植物及大型海藻餵食稚海膽的成長率和活存率之中間育成試驗。
2. 比較以陸生植物和大型海藻在三種放養密度養殖海膽，完成最適放養密度試驗。

(一).實驗開始時澎湖白棘三列稚海膽的外殼大小與體色

本研究使用的白棘三列海膽由澎湖縣水產種苗繁殖場提供。由種苗場專家自行人為誘發種膽排精產卵、人工受精(種膽的數量 1 雌 1 雄、即性比 1:1)、養殖幼苗至 2022 年 4 月。同年 4 月 1 日種苗場提供 400 個(圖 1)上述大小不一(圖 2)，外型沒掉棘、健康、棘活潑擺動、正在啃食馬尾藻的稚海膽供研究(圖 1、2)。實驗開始時隨機採樣 100 個稚海膽樣本，以電子游標尺(日本三豐 Mitutoyo)測量每個海膽的硬殼(test)之寬(直徑)和殼高(口部和肛門的距離)。統計 100 個海膽樣本其硬殼高(算術平均 7.45 公厘 mm)、殼寬(直徑 11.94 mm)、標準偏差(standard deviation)之結果如表 1 與圖 3、4。

試驗一開始時每池稚海膽的體型尺寸已有明顯的大小差異(殼高、殼寬)，標準偏差相當大。這表示實驗開始前餵食馬尾藻的海膽已有顯著的個體差。試驗開始時殼高和殼寬之間的相關 R^2 是 0.7025(圖 5)，實驗後期(5 月 25 日)殼高和殼寬之間的相關提高至 0.9667。去年研究標的的海膽是殼寬 5 公分以上、接近性成熟的大海膽，以相同的測量方式發現其相關(R^2 為 0.5479)比今年低且明顯不同。這可能是海膽長越大其口部凹陷越深，加上大海膽棘的不斷擺動造成測量上的干擾，測量殼高比量殼寬較不易，這些都可能是造成大海膽長越大，殼高和殼寬的相關不高，由殼高無法正確推測出殼寬。但是稚海膽剛好相反。由於體高是量測海膽口部和肛門的距離，稚海膽口部凹陷程度不大，殼寬與殼高相關由還算高(0.7025)到甚高(0.9667)。試驗的後期(5 月)使用配備藍芽裝置的雲端無線傳輸的電子游標尺(Vernier scale、瑞士 Sylvac)，改善由一人口述測量結果、另一人以手輸入紀錄數據，一口氣提升到以藍芽無線傳輸數據，杜絕這些誤差。儀器的精進一舉提高研究的效率和精準度。

本試驗研究餵食 3 種食物(馬尾藻、高麗菜、石蓴)，每種食物有 3 重複養在 3 個圓形塑鋼(寬內徑 140 公分、高 65 公分、因使用 50 公分高水位、所以養殖使用水量約 0.90 公噸)以流水式飼養(圖 6、7)。入水量每分鐘由 14.4 到 16.7 公升，約每小時為 864~1,000 公升。每桶之中放置 5 個不銹鋼漏孔圓盤(圖 8；直徑 34 公分、盆高 10 公分、孔徑 0.3 公厘共 573 個孔、承水體積 10 公升臉盆型容器)分別餵食 3 種食物(馬尾藻、高麗菜、石蓴)，每個圓盤隨機平分配到 30 個海膽；剩餘的 130 海膽餵食青海菜與海木耳(結果尚未公布)。由於樣本數過少，實驗過程沒有篩選海膽，進行大小分級分養。

第二個「海膽攝食陸生植物和海藻的放養密度試驗」的海膽除了使用第一個試驗的海膽(實驗組 D 共 306 個海膽)外；並向台灣宜蘭頭城江麥海洋生物科技私人養殖場增購殼寬 2 公分以上稚苗 2,600 個以達到實驗需求海膽數量。購買的海膽種苗於 7 月 8 日凌晨 5 點包裝，以汽車由宜蘭運到台北松山機場，當天中午 12 點空運至澎湖馬公機場。馬公接收後即刻載到鎖港許宏偉先生經營的西海養殖場，以塑膠浮籠(長 120 公分、寬 75 公分、高 60 公分，容積全張開約 0.54 公噸)置於十公噸長方形水泥九孔養殖池(長 6 公尺、寬 1 公尺、高 1.5 公尺)(圖 9、10)。入水量每小時為 214 公升。馴化期間視海膽情況投與高麗菜或馬尾藻，以流水式養殖馴化 20 天(7 月 8 日~7 月 28 日)，活存率 63%(圖 9、10、表 2)。再由存活的個體篩選 1,422 個大小相近的個體(表 2)，移到澎湖縣種苗繁殖場進行本計畫的第二個主題的試驗(表 3)。

本海膽攝食陸生植物和海藻的放養密度試驗餵食 3 種食物(高麗菜、石蓴、馬尾藻)，每種食物有 3 個放養密度(100 個/公噸、300 個/公噸、500 個/公噸)共三組，100 表示每組實驗放養密度為每公噸海水放養 100 個海膽。A 組海膽養於浮在 D 組的圓形塑鋼桶(FRP)上方的黑色塑膠籃(圖 11、12)，B、C、D 組海膽都養在 9 個圓形塑鋼桶(寬內徑 140 公分、高 65 公分、因使用 25 公分高水位、所以養殖使用水量約 0.5 公噸)，以流水式飼養(圖 11-13)。入水量每分鐘由 14.4 到 16.7 公升，約每小時為 864~1,000 公升。浮在 FRP 桶的黑色塑膠籃(長 45.5 公分、寬 33 公分、高 17 公分、容積 25.5 公升)共有 1,992 個 0.5 公分正方形洞孔可交換流水。每桶分別餵食 3 種食物(高麗菜、石蓴、馬尾藻)，每桶按海膽大小分級隨機平均分配到所需湊足密度的海膽數。每天以虹吸抽底與拔管方式清除海膽吃剩殘餘的食物、保持養殖環境潔淨。

2022 年 8 月 1 日篩選在西海養殖場馴化 20 天的馬糞海膽，在上述圓形塑鋼桶(寬內徑 140 公分、高 65 公分，體積 1 公噸)進行放養密度實驗。組 1 表示放養密度為 100 個海膽/公噸、組 2 表示放養密度 300 個/公噸、組 3 表示放養密度 500 個/公噸。因為海膽大小已經經過篩選，餵食同一種食物的三組間之平均和標準差控制相近。A、B、C 海膽購自宜蘭、D 使用第一個試驗：「稚海膽攝食陸生植物及海藻的成長率和活存率之中間育成試驗」剩餘，由澎湖縣種苗繁殖場繁殖生產之海膽。所以 D 海膽殼寬較 A、B、C 使用的宜蘭稚海膽大。實驗數據以 SAS 統計分析軟體(<https://www.ibm.com/products/spss-statistics>)進行變方分析，相同組(例如 A、日期)內不同英文字母表示有顯著差異($P < 0.05$)。每個柱狀條線採樣 30 個海膽個體。

(二).體色

仔細觀察不論是澎湖本地，還是購自宜蘭之海膽的外型和體色，可見體色呈多樣性，偏紅或偏白或中間色，且個體間體色有明顯差異(圖 14)。外國報告也都證實白棘三列海膽(*Tripneustes gratilla*) 體色有多樣性 (Lawrence 2020; Toha et al., 2017; Unuma et al., 2015)。

(三). 餵食高麗菜、石蓴及馬尾藻兩個月的後的成長和存活率

1、實驗一: 餵食高麗菜、石蓴及馬尾藻兩個月(4,5 月)後的成長和存活率

持續餵食相同食物的高麗菜(A)、石蓴(B)及馬尾藻(C)兩個月(4 月 1 日~5 月 30 日)，由統計分析發現即使餵食同樣的食物的 3 個養殖桶每個盤(三重複)之間，海膽的標準偏差大，個體差(individual variation)還是明顯(圖 15)。整體而言，餵食三種食物一個月後(4/28)海膽就都有顯著的成長(以海膽殼寬代表)，且三者有顯著差異(圖 16)，餵食馬尾藻的海膽成長最快、高麗菜次之、石蓴最慢(圖 16)；1 個半月後(5/13)餵食高麗菜海膽的成長與馬尾藻並駕齊驅，石蓴仍是殿後。此趨勢一直持續到 2 個月後(圖 15、16)。餵食馬尾藻的海膽成長持續領先表現最好，但餵食高麗菜海膽的標準偏差最大(表 5、6、7)。海膽的殼寬與日俱進，4 月 28 日的海膽顯著比實驗開始(4 月 1 日)時長大很多，5 月又比 4 月顯著成長(圖 16)。實驗過程沒有篩選海膽分級分開飼養，兩個月的餵食實驗結束，稚海膽個體成長的程度差異很大(圖 17、表 4、5、6、7)。9 個試驗組海膽，在餵食實驗 2 個月過程中，皆無死亡亦即存活率 100%。試驗兩個月結束後解剖餵食 3 種食物(馬尾藻、高麗菜、石蓴)中最大顆(殼寬近 5 公分)的個體，發現都已長出生殖腺但仍未臻飽滿 (圖 18)。

2、實驗二: 餵食高麗菜、石蓴及馬尾藻兩個月(8,9 月)後的成長和存活率

持續餵食相同食物的高麗菜(A)、石蓴(B)及馬尾藻(C)兩個月(8 月 1 日~9 月 30 日)，由統計分析發現即使餵食同樣的食物的 3 個不同放養密度之間，海膽的個體差(individual variation)隨著實驗時日延長，個體差越來越大，標準差越來越明顯(表 3、8、9、10、11)；例如高麗菜(A)標準差由表 3 組 1 的 1.85 到表 8 組 1 的 2.48，而餵食馬尾藻的海膽成長持續領先表現最好(圖 19-23)。整體而言，餵食三種食物一個月後(8 月 29 日)海膽就都有顯著的成長(以海膽殼寬代表)(圖 23)，但三者沒有顯著差異，一直持續到 1 個月後(8 月 29 日；表 9、圖 23)。餵食高麗菜海膽 D 的標準偏差偏大(表 3、8、9、10、11)，海膽的殼寬也與日俱進，9 月 13 日的海膽顯著比實驗開始(8 月 1 日)時顯著成長很多，9 月又比 8 月顯著成長(圖 23、24)。

在 2 個月(8 月 1 日~9 月 31 日)餵食殼長 2 公分馬糞海膽三種(高麗菜、石蓴、馬尾藻)食物期間，發現不論食物種類，放養密度越高存活率越低(表 12)。例如餵食高麗菜海膽的存活率由組 1(A1)放養密度的 100 個/公噸下滑至組 2(A2，放養密度 300 個/公噸)的 94%、到組 3(A3，放養密度 500 個/公噸)的 85%(表 12)。餵食馬尾藻 C 海膽的存活率比相同放養密度的 A 高麗菜和 B 石蓴高(表 12)。

在高密度養殖狀況下，即使充分供應高麗菜，實驗組 A 海膽間(A2、A3)仍發現同類相食現象(照片 1)和趨勢(表 12)，而且越擁擠存活率越低(100% vs 94% vs 85%)，相食可能是主因？實驗組 A 和 D 放養相同的海膽數目，而且根據表 3，D (殼寬 42 公厘 mm)比 A (殼寬 19 公厘 mm)養殖海膽體大，但在三種(100 個/公噸、300 個/公噸和 500 個/公噸)放養密度，實驗組 D 的存活率都是 100%；然而實驗組 A 的存活率卻是由放養密度 100 個/公噸的百分百，下降至放養密度 300 個/公噸的 94%，甚至放養密度 500 個/公噸的 85%。實驗組 D 和 A 除了海膽的大小(D 組比 A

組大)和來源(澎湖 vs 宜蘭)不同外，唯一不同的是：每個海膽個體的活動空間。A 組海膽養於浮在 D 圓形塑鋼上的黑色塑膠籃(長 45.5 公分、寬 33 公分、高 17 公分、容積 25.5 公升)；而 D 組海膽養在圓形塑鋼(寬內徑 140 公分、高 65 公分)。D 組海膽個體的活動空間遠比 A 組大約 20 倍($500/25.5=19.6$)，同類相食(互相殘食)是否是造成實驗組 A 存活率下降的主因，仍需進一步做研究去釐清。

根據 2021 年研究結果，每池養 100 個海膽，養殖使用水量是 0.84 公噸，相當於每公噸海水養殖 120 個海膽。尋找理想的放養密度，不但可以優化水產養殖物種的最佳生長、健康和福利環境，也可以使養殖戶能夠在單位體積內生產最優質的產品。目前對海膽水產養殖業理想的放養密度之資訊有限。Juinio-Menez 等 (2008)在低和高放養密度下以馬尾藻餵養白棘三列海膽發現海膽的平均成長率沒有顯著差異。然而，在較低放養密度的網箱（每平方米 200-250 個海膽）中，存活率和平均生殖腺指數(GI) 顯著比高放養密度（每平方米 750 個海膽）更高。海膽雖然安靜，有久坐不動(sedentary)的生物特性，但對溶氧和水流卻有很高的要求。根據我們的經驗，影響海膽養殖最大的參數是放養密度。外國文獻也警告無論是在野外還是在實驗室水族箱條件下，高放養密度會導致同類相食(LeGault, & Hunt 2016)。

餵食馬尾藻(灰色 C)的海膽，其成長(4 月和 8 月)比餵食高麗菜(藍色 A)和石蓴(橘色 B)的海膽快(4 月和 8 月)(圖 24)。即使實驗開始時(8 月 1 日)餵食高麗菜(藍色)的海膽較小(殼寬)，養殖快一個月(8 月 29 日)即超車石蓴(橘色)，其成長仍是比餵食石蓴(橘色)的海膽快。整體而言 8 月海膽的成長率比 4 月的成長率要高(例如馬尾藻灰色線條的斜率)，餵食高麗菜(D 綠色虛線)海膽的成長率也延續此趨勢(圖 24)。D 使用的海膽是第一個試驗剩餘的澎湖縣水產種苗繁殖場生產之海膽。放養密度都是 100 個海膽/公噸。溫度是影響海膽生長發育和適應性最主要的環境因素和制約因子，對海膽生理、生長、被捕食和行為都會產生顯著影響(鄭等 2022)。試驗兩個月結束後解剖餵食 3 種食物(高麗菜、石蓴、馬尾藻)中殼寬最前面的 20 個(殼寬近 6 公分)的個體，發現都有生殖腺 (圖 25)，生殖腺指數介於 7.15~10.29%。殼寬在 5.5 公分以下者皆觀察不到生殖腺。

結論

- 1、餵食三種食物一個月後海膽就都有顯著的成長，但三者沒有顯著差異。9 月 28 日的海膽顯著比實驗開始(8 月 1 日)時長大很多，9 月又比 8 月顯著成長。
- 2、餵食馬尾藻的海膽成長持續領先餵食高麗菜和石蓴者，表現最好。
- 3、放養密度 100 的海膽之存活率皆 100%，放養密度越高有存活率越低的趨勢。
- 4、在高放養密度下海膽之相食現象可能肇因於海膽個體的活動空間或不同種原。
- 5、餵食高麗菜的海膽組 D，即使放養密度高達 500，存活率仍維持百分之百。
- 6、最適當的養殖密度尚不明，D 組放養密度在 500 時的存活率是 100%，放養密度還可再提高。

(四).水質條件

1、實驗一

養殖設備每天 24 小時持續注入新鮮海水。研究期間(4 月 1 日~5 月 31 日)澎湖縣水產種苗繁殖場提供的海水溫度在 23~27°C(圖 26)、pH8.3、鹽度千分之 28~35 之間。在澎湖縣水產種苗繁殖場試驗時，養殖海膽排泄大量攝食消化後的食物殘留沉積於池底。我們每日以虹吸清池佐以拔管清除海膽吃剩的食物、並以持續 24 小時流水式養殖，每分鐘海水交換率至少 15 公升(14.4~16.7 公升，每小時為 864~1,000 公升)。

2、實驗二

馴化期間(7 月 8 日~28 日)鎖港西海養殖場九孔池水溫(28~31°C，圖 27a)。養殖設備每天 24 小時持續注入新鮮海水。移到澎湖縣水產種苗繁殖場試驗期間(8 月 1 日~9 月 30 日)種苗繁殖場提供的海水溫度在 27~31°C(圖 27b)、pH8.3、鹽度千分之 28~35 之間。在西海養殖場馴化時，海膽食量適量提供。在澎湖縣水產種苗繁殖場試驗時，養殖海膽排泄大量攝食消化後的食物殘留沉積於池底(圖 12、13)。我們每日以虹吸清池佐以拔管清除海膽吃剩的食物、並以持續 24 小時流水式養殖(圖 13)，每分鐘海水交換率至少 15 公升(14.4~16.7 公升，每小時為 864~1,000 公升)。

(五).掉棘現象

實驗的末期(5 月 13 日)發現有一盤餵食高麗菜的海膽有掉棘現象(50%;16/30)且掉棘面積程度不同，但並沒有死亡(圖 28)。但高麗菜的其餘重複組並未發現此現象。隔離此盤海膽到單獨圓形塑鋼桶養殖，觀察到海膽逐漸長回掉的棘。因為沒感染到其他盤，判斷應該不是疾病問題。初步懷疑是水流交換不佳。詳細原因值得進一步研究。流速對光棘球海膽的存活無顯著影響，但顯著影響其生長。高流速(20 cm/s)影響海膽管足活動削弱其覓食行為(而非攝食行為)，進而降低其攝食量和生長；流速為 2~10 cm/s)的海區更適合光棘球海膽的野外生存和底播增殖(施棟濤等 2022)。

(六).澎湖白棘三列海膽和阿里效應 (Allee effect)

據澎湖海洋保育者連續近年(2015~)多年來調查澎湖海域，驚見澎湖白棘三列海膽不但單位面積數目稀少，甚至無形無跡，顯見資源已極度萎縮。今年 5 月媒體採訪某澎湖海洋保育者，據其調查岱大尖山海域，發現只剩兩顆海膽(圖 29)。若保育者所言屬實，根據生態學與保育生物學之小族群的理論，我認為澎湖野生的白棘三列海膽可以宣告絕種了。

阿里效應(Allee effect)是過去被嘲諷，現在被普遍認同奉為主臬。阿里效應(<https://windotw.com/tech/411283.html>)是保育動物學的重要理論。人口越多，每個人可用的資源越少，這個規則也適用於自然界的生物。按此邏輯，如果動物族群的個體數量減少，照道理應該可以騰出資源，使得活著的個體生活得更好。但是事實

卻不是如此。許多數量稀少的動物都經歷了一個慘痛的滅絕漩渦：同類少了，資源更充足，最終結果卻是族群的數量下降速度更快，終至滅絕。美國生態學家沃德·克萊德·阿里 (Warder Clyde Allee) 在 1930 年左右提出一個理論來解釋，後來也被稱作阿里效應 (Allee Effect)。阿里認為，一個動物群體裡，總體的動物數量 (密度) 和每隻動物對環境的適應力息息相關。動物多了，所佔資源多，對於個體不算優勢，但是動物一味減少會有更大的問題。數量下降到某個閾值(threshold)時，群體內的生育會越來越少，從而導致滅絕(圖 30)。阿里在剛提出這個想法時被同儕們嘲笑。畢竟在資源充足的情況下，動物似乎沒有理由滅絕。然而，隨著時間推移，更多的研究慢慢證實了阿里效應是真實存在的，是對動物群體極為不利的現象。

導致阿里效應的機制很多，它們的共同點是：本來就少的數量使得動物們不能良好地利用族群優勢，降低了動物們對環境的適應能力和生存能力。如此迴圈，動物族群數量是越來越少。交配的困難是引起阿里效應的主要原因之一。舉例說明，許多珍貴的大型貓科動物都喜歡獨居，每隻或許佔有很大的空間和很多資源。但是到了繁殖季節，大貓們需要去尋找異性。如果周圍同類稀少，牠們就要花費更多的時間和能量去完成繁衍的任務，有時候甚至找不到配偶。這樣不管資源多麼充足，牠們的數量還是會不停減少。另外一個原因則是群體對外界不良因素的抵抗下降。成百上千的魚形成了巨大的群體，一同行動。不論是覓食還是抵禦敵人，群體行動總比單兵行動更具有優勢。如果只有少量的魚聚在一起活動，天敵來襲時它們的抵抗可能會十分虛弱。以上舉的兩個例子都是對阿里效應簡單而淺顯的解釋，其他觸發阿里效應的機制和原因還有很多，一個最常被忽視的機制是人類對動物群體的影響：不停地獵殺會導致數量的不斷減少。

我們必須體認，大部分情況下，物種滅絕都不是因為被“殺完”，而是死於過度獵殺和撈捕給群體留下的“後遺症”，比如阿里效應。阿里效應在生態學與保育生物學尤其是野生動物保護方面有著非常重大的意義(圖 31)。

(七). 寒流與澎湖白棘三列海膽的最適溫度

了解海水的理化因子，如溫度、鹽度、酸鹼度、溶氧、水流、水壓等因素的變化規律，是養殖生產海洋生物的科學依據。在此僅討論溫度因子。海膽是變溫動物，其體溫隨周圍水溫的變化而改變，有其耐溫的上、下限及最適溫度範圍，在最適溫度範圍內，其攝食、呼吸、消化機能旺盛大、代謝作用增強、生長迅速。不在此適溫範圍，可導致生物代謝作用失調，生長受抑制，甚至死亡。根據魚類對溫度的適應情況，可分熱帶性魚類、溫水性魚類和冷水性魚類。熱帶性魚類適宜較高的水溫 (25~30℃)，但不耐低溫，15~30℃ 以下難以生存。如無郭魚、虱目魚及一些珊瑚魚類。溫水性魚類適宜溫帶水域 (15~25℃)，如鯔魚、梭魚等，而冷水性魚類適宜低溫生長，如鮭鱒魚類適宜水溫 10~18℃，飼養水溫不宜超過 20℃。

全世界的海膽種類有 1000 多種！海膽廣泛分布全球，有寒帶種也有熱帶種。

當然隨著不同物種各有其最適水溫，但此方面的研究文獻有限。日本的海膽主要有馬糞、紫海膽、蝦夷馬糞海膽、北紫海膽，其中台灣說的白棘三列海膽，只棲息在日本國的最南方，且靠近台灣的沖繩。Lawrence (1973) 研究棲息於紅海(Red Sea)淺海域的 *Echinometra mathaei*、*Diadema setosum*、*Echinothrix calamaris* 及白棘三列海膽(*Tripneustes gratilla*)，四種海膽的溫度耐性(temperature tolerance)與暴露(exposure)在(12~35 °C)後的復原(activity)時間(圖 32)。他發現海膽比較耐低溫而不耐高溫(圖 32)。四種海膽都無法存活於 35°C 溫度 12 小時，白棘三列海膽最喜歡 27~33 °C 溫度範圍，對低溫最敏感(圖 32)。Tokioka (1963) 觀察到日本瀨戶(Seto)潮間帶海膽包括白棘三列海膽族群於冬天(119 天中連續 105 天)水溫低於 17 °C 時發生死亡現象。據澎湖縣水產種苗繁殖場主事者言，2022 年 2 月澎湖遭受寒害，造成海膽苗大量死亡，重新培育之海膽最快可在六到七月提供種苗供本試驗放養密度用，但緩不濟急，本研究最後只好由台灣本島採購足夠之種苗，以進行第二個：海膽攝食陸生植物和海藻的放養密度試驗。未來當探討上述溫度耐性(temperature tolerance)範圍，與暴露在極端溫度(例如 12、35 °C)時的致死時間，甚至準備加溫設備未雨綢繆避免重蹈本年的覆轍。

(八). 養殖設備的設計

一個適合商業規模海膽的養殖系統可最大限度地降低養殖海膽的死亡率，最大限度地提高海膽接觸到飼料的機會，最大限度地清除海膽排泄物並淨化水質，為生產高質量的海膽性腺提供一個良好的環境。本研究只是單純把海膽撒在設備，海膽不會游泳，所以海膽沒有利用養殖設備的空間和水體很多。許多研究者為了充份利用難得的養殖設備，致力於提高水產生物的放養密度，進一步研究開發滿足海膽獨特要求的創新飼養系統(Daggett 等 2006、施等 2020)。

Daggett 等(2006)比較了三種可能用於商業規模養殖綠海膽 (*Strongylocentrotus droebachiensis*) 的陸基系統。他們用養殖一段時間後，測量每個養殖系統中海膽的生殖率、性腺數量、性腺質量(顏色、亮度、硬度、質地)和清潔養殖系統之效率，標準化比較三個養殖系統(大流水式、小流水式和洗臉盆)的有效性。養殖 6 週後，他們在三個養殖系統海膽性腺特徵上未檢測到顯著差異、然而大型流水式養殖系統飼養的海膽死亡率明顯最高。清潔三個系統的時間也有顯著差異，洗臉盆養殖系統需要最多的清潔時間。由於大流水式養殖系統的死亡率最高，洗臉盆養殖系統清潔時間最耗時，因此小流水式養殖系統是三個測試系統中最好的。

目前，只有兩種商用系統：陸基 UrchinPlatter™ 系統(圖 33)和挪威開發的海基 SeaNest 系統。UrchinPlatter™ 系統是一種陸基方法，在流水式養殖系統內使用籠子(圖 34)。這項專利 (<http://fis-net.com/fis/techno/newtechno.asp?l=e&id=47357&ndb=1>) 技術由英國 Gourmet Marine Ltd. 擁有。它可用於海膽生長和生殖腺增強。UrchinPlatter™ 系統採用了一種新穎的海膽的餵食方法稱為 Platter™。飼料、人工或天然大型藻類，可以夾在背板和高孔夾持板之間，海膽可以附著和透過保持板上的穿孔吃食食物。系統最大限度地提高海膽接觸到飼料和食物的機會。

(九).非侵入性檢查海膽的生殖腺飽滿程度

白棘三列海膽跟大多數種類的海膽一樣為雌雄異體，從外觀上很難區分雌雄個體與生殖腺的成熟程度。由於海膽的可食用部分被不透明的外殼覆蓋，因此無法獲取體內生殖腺訊息，掌控個體合適的出貨時間。以非致命性方式區分兩者(高商業價值含有營養吞噬細胞，而不是大量生殖配子的性腺的白棘三列海膽，和不適合作為食品成熟期的海膽)，間捕白棘三列海膽，將具有更高商業價值，亦即生殖腺含有大量營養吞噬細胞的白棘三列海膽(圖 35 第二期 stage 2)，和不適合作為食品之成熟期(第四期 stage 4)的海膽，快速區分出來販賣，是值得開發的技巧。

日本開發了一種使用超音波診斷設備，以非致命性方法觀察海膽內部。實驗證實，超音波診斷設備可以在不清楚海膽生殖腺的情況下，可視化可食用生殖腺部分(圖 36a)。此外，結合 X 射線斷層診斷(圖 36b)的觀察與超音波診斷裝置所獲得的圖像，據聞目前在推估並導出可食用生殖腺重量的公式(太田 等 2017)。

其他，利用斷層成像技術，例如微型計算機斷層掃描(μ CT)核磁共振成像(MRI)可允許非侵入性地從整個動物標本中收集數位式解剖數據(圖 37)。生成的大數據(big data)可用於直接觀察二維斷層圖像數據以及手動和半自動三維建模。使用這種技術可以成功地分析新固定的標本以及保存的博物館材料，為動物形態學家提供進行大規模比較研究的嶄新工具。為了證明無侵入性成像在棘皮動物研究中的適用性，Ziegler 等(2010)與 Ziegler(2012)對 92 種海膽(Echinodermata: Echinoidea)物種進行微型計算機斷層掃描核磁共振成像，總共分析了 203 個海膽。選擇的分類群代表了目前公認的 60 個現存海膽科中的 50 個。他們的論文並提供了有關每個數據所採用的掃描參數的信息。此外，還概述了為生成海膽三維模型而建立的工作流程，突顯此科技的潛力。

(十).海膽營養生理研究與飼料開發

養殖海膽的食物來源主要有海帶、裙帶菜、石蓴等大型藻類，隨著海膽養殖業的迅速發展，日益突顯生物餌料供不應求的窘象，因此，開發海膽專用人工配合飼料勢在必行。目前，對海膽的研究主要集中在海膽人工育苗及增養殖技術，有關營養生理方面的研究相對較稀少，馬糞海膽的報告更是鳳毛麟角。在此僅整理海膽營養需求的部分研究，以期為馬糞海膽海膽人工配合飼料的開發研究提供參考(李 2010、Toha 2017、月刊養殖ビジネス 2019)。海膽是一種重要的模式物種，研究其營養生理，不僅可以為海膽飼料產業提供資訊，營養調控代謝機理，也可以為陸生動物或人類營養代謝提供參考。尤其海膽分類地位特殊、有優良研究遺傳學術背景，又容易養殖操控、因此在營養繁殖機理研究方面具有無可比擬的優勢。

開發飼料展望

1、加強配合飼料的科學性和準確性

(1) 營養需求參數

相較其他水產養植物種，科研者對海膽營養需求的研究起步晚、方法簡單。目前，在 10 個經濟海膽養植物種中，尚無完整營養需求量資料庫，這極大地限制了海膽飼料配製的科學性和準確性。此外，營養需求的研究主要集中於蛋白質、碳水化合物、脂肪、脂肪酸、 β -胡蘿蔔素，而對維生素(A、D、E、K、B 族維生素) 和礦物元素(Ca、P、Zn、Fe、Mn、Se) 的研究闕如。

2、開展不同生長階段海膽營養生理的研究。

不同生長階段海膽的消化系統功能和個體發育狀態存在差異。一般來說，存活率、生長速率和生殖腺指數分別是養殖戶對稚膽、幼膽和種膽最為關注的指標。因此，要確定不同生長階段海膽營養需求量以達到上述指標的要求，才能更好地發揮配合飼料的效果。

3、評價指標多樣性。

魚蝦類配合飼料曾經歷了一個從低級階段(動物攝食率和生長速率)到高級階段(功能性飼料)發展的過程。功能性飼料不僅關心動物生長，更注意動物的免疫和抗病力，以及產品品質和生態安全(N、P 排放)。稚膽階段應重視抗激能力(低溫、高溫、低鹽、高鹽、高氨氮)，幼膽階段重視免疫和抗病力，成膽則需注重海膽生殖腺的色澤、風味和必需脂肪酸等品質指標。此外，各生長階段的海膽配合飼料均應關懷氨氮之排放。相對應的免疫增強劑、誘食劑、氨基酸、酶等添加劑的使用，企希在一定程度上增強免疫、提高產品品質、降低環境污染。

4、改進海膽飼料加工技術

海膽的攝食速度相對緩慢，溶蝕的飼料和殘餌不僅增加養殖成本，而且容易污染養殖水域環境，特別是在浮筏吊籠養殖模式下飼料的保形率和溶蝕率顯得尤為重要。由於人工投餵成本的逐年增加，保形率高、溶蝕率低的配合飼料是取代昆布、海帶等傳統生物餌料的第一要求。目前，主要以添加高價的黏合劑來降低飼料溶蝕率，增加其保形率。但是，高比例黏合劑的添加勢必降低海膽對飼料的消化率。未來研究中應結合配方篩選最適的黏合劑組合，使其兼顧黏合性和可消化性。此外，透過膨化等手段提高海膽的攝食率和攝食速度、飼料保形率、降低海膽飼料的溶蝕率，也應是未來研究的趨勢與重點。

5、探討海膽營養調控機理

海膽是一種重要的模式物種，營養生理的研究不僅可以為海膽飼料產業提供資料，其營養調控物質代謝機理的闡釋，也可以為陸生動物或人類營養代謝提供參考。特別是海膽容易養殖、分類地位特殊且具有良好的遺傳學術背景與應用，因此，在營養繁殖機理研究方面具有無可比擬的優勢。未來研究中應側重探討營養物質對海膽生殖腺發育和繁殖性能調控機理，種膽營養對 F1 和 F2 代海膽攝食、免疫、生殖腺發育和繁殖性能的影響及表觀遺傳修飾等。

小結：未來研究可著重於探討營養物質對海膽生殖腺發育和繁殖性能調控機理、影響海膽攝食的因素、海膽消化系統、海膽營養需求及養殖放養密度方向。

(十一).殘食現象(cannibalism)

海膽是雜食動物，甚至被描述為“海中的山羊”，因為它們幾乎什麼都吃。然而，野外海膽的密度不夠高，因此海膽通常不會發現或觀察到互相捕食的現象。但是飢餓和族群在高密度狀況下會導致海膽同類相食(LeGault & Hunt 2016)(圖 38)。Richardson 等(2011)發現(1)小海膽(*Lytechinus variegatus*)的自相殘食率高於大海膽，(2)放養密度增加是導致自相殘殺的重要因素。殘食行為被定義為同物種間相互殺戮與掠食的現象(圖 38)。在魚類人工育苗階段尤其是肉食性經濟魚苗，同類殘食行為普遍存在而解相當嚴重，是制約育苗階段苗種存活率的主要因素之一，給育苗從業者造成巨大的經濟損失。因此，掌握殘食行為的發生機制將有助於尋找降低育苗階段仔稚魚殘食行為發生頻率的方法。

由於有關海膽殘食研究不多，謹匯集近年來國外學者對魚類殘食行為的研究成果參考，造成殘食大致有幾個因素：個體差異是引起魚類殘食的重要內因、饑餓的稚魚比飽食的稚魚發生殘食行為的頻率高，而且殘食率隨饑餓持續時間的增加而升高。在選取不恰當餌料時，會影響到仔稚魚攝食成功率和攝食量，造成相對饑餓現象，從而導致殘食行為的發生。魚類的養殖密度和魚類自殘現象的發生呈正相關。因為養殖密度越大，殘食者和被殘食者相遇的幾率也增大，群體中的殘食現象更嚴重。溫度是影響仔稚魚發育的重要因素之一，在相對較高的溫度下，仔稚魚的生長速度較快，導致養殖群體中個體大小差異較大，加劇殘食現象的發生。不僅如此，在較高的溫度條件下，魚體生長速率、新陳代謝速率加快，但魚體攝食及消化能力較弱，導致營養供給不足，出現相對饑餓的現象，這在一定程度上也促進了群體中殘食行為的發生頻率。魚類殘食行為也受水體透明度的影響。光照強度和光照週期可以影響魚類的殘食行為。在透明度較高的水體中，殘食者更容易發現和捕食被殘食者，促進了群體中的殘食行為。

綜上所述，魚類的殘食現象是由各種錯綜複雜的因素引起的。一般認為，個體差異大、餌料不足及放養密度高等因素都易導致魚類殘食行為的發生。但決定因素，在不同魚種間存在一定差異。在魚苗生產過程中，若能有效地防範殘食行為的發生，就有可能大幅度提高魚苗成活率。未雨綢繆，我認為在海膽養殖過程中應該統一個體大小，進行篩選分級培育飼養；放養密度要合理、投餌要充足、並研究是否須根據不同環境因數對殘食行為的影響採取相應的措施，例如改變水體溫度、光照強度、光照週期和透明度等。

爾來不管是環保團體或政府單位對放流海膽意見甚囂塵上，在此簡介海膽資源管理的先進國家日本的措施，期盼他山之石可以攻錯。

(十二).日本海膽種苗放流回顧 — 改善棲地日本主要海膽物種

在日本，可食用的海膽主要種類是蝦夷馬糞海膽（Strongylocentrotus intermedius），北紫海膽（S. nudus），馬糞海膽（Hemicentrotus pulcherrimus），紅海膽（Pseudocentrotus depressus），紫海膽（H. crassispina）和白棘三列海膽（Tripleneus gratilla）（圖 39）（Unuma et al. 2015、郭 2020a,b,c,d）。

根據收穫地區日本將這六個物種分為三群：(i) 在北海道和本州北部收穫的近北極群（S. intermedius 和 S. nudus）；(ii) 在本州南部，四國和九州南部收穫的溫帶群（H. pulcherrimus，P. depressus 和 H. crassispina）；(iii) 亞熱帶群（T. gratilla），從九州西南延伸到南西群島。在近北極群中，蝦夷馬糞海膽比北紫海膽分佈更北。在溫帶群，馬糞海膽的分佈向北延伸，而紫海膽的分佈則向南。白棘三列海膽廣泛分佈於印度-太平洋，但在日本僅見於日本最南端如琉球。在這六個物種中，蝦夷馬糞海膽和北紫海膽產量(landing、上岸量)最大，佔日本所有海膽總捕獲量的三分之二以上。白棘三列海膽的捕獲量很小，僅佔所有海膽總捕獲量的 1%。全國海膽總產量的大約 50% 來自北海道(Unuma et al. 2015)。

日本永續經營管理這六個具有商業價值的物種的努力包括：大量生產人造種苗，放流和製造漁場。漁業管理政策包括通過地方政府的撈捕法規或通過漁業合作社協會的自我約束限制來控制收穫季節和方法。日本有世界上最具規模的海膽漁業增強計劃（enhancement program）。1974 年日本頒布了「沿海漁場整備開發法」（Coastal Fishing Ground Improvement and Development Law）為改良海膽族群提供了法源基礎，日本的國家目標是“透過建造人工魚礁和釋放人工“幼苗”來系統性地發展和改善日本沿海漁場”。以種苗放流增加資源量，咸認是日本海膽漁業資源管理中最重要工具之一(郭 2020a,b,c,d)。

日本以：（1）增加棲息地，（2）移植野生族群，和（3）放流生產的人工種苗，三箭齊發的方式增加海膽數量和復育資源。在此略過移植野生族群，總整(1)和(3)的結果，首先謹介紹第一箭（1）增加棲息地，看看日本如何以增加或改善海膽的棲息地(日文：漁場造成)增加海膽資源，看看他們的經驗談與意見。

增加或改善海膽的棲息地

棲息地的改善主要在促進藻類在這些投入的石塊上固定繁殖，作為海膽的食物，因而擴大海膽棲息地的面積。在日本，傳統上把從陸地山上切割下來的大石頭，和人工混凝土塊拋入海洋(投石、コンクリートブロック (concrete block，圖 40)，以促進海藻之入住和定植，同時增加和擴大適合海膽居住的棲息地面積 (投石形成海膽增殖場)；此風由來已久，甚至可以上溯至 1910 年。日本自從 1974 年頒布沿海漁場整備開發法以來，1976 年以來又陸續實施“大型育苗場建設(Large-scale Construction of Nursery)”、“近岸育苗場建設(Nearshore Nursery Construction)”和“大面積育苗場建設(Wide Area Nursery Construction)”等項目，藉以改善海膽棲息地。

在 14 個縣中，總面積達到 2 千 133.9 公頃，在海膽漁業集中的北海道、東北、山口和九州，投放礁岩石塊的面積尤其多。北海道佔投石總數面積的 62.2%，其次是岩手縣。在北海道，從 1976 年到 1992 年的 16 年間，已經在 122 個地點投放礁岩(圖 41)。這些主要是針對蝦夷馬糞海膽(*Strongylocentrotus intermedius*)做的所謂棲息地改善，此海膽是此漁業的優勢物種。在日本北部的津輕海峽沿岸為蝦夷馬糞海膽和 *Hemicentrotus pulcherrimus* (バフンウニ、中國稱馬糞海膽) 建造了面積達 690.3 公頃的棲息地。在本州和九州西南部的 *Hemicentrotus pulcherrimus* 和 *Pseudocentrotus depressus*，以及沖繩縣的 *Tripterygites gratilla* 也都建有海膽專有棲息地。日本人普遍認為在日本西南部，潮間帶和潮下帶產量最高的 *H. pulcherrimus* (バフンウニ、中國稱馬糞海膽)，其豐度經常和合適的庇護所(shelter)有高相關(郭 2020a,b,c,d)。

雖然以這種方式“增強”的區域中已經發現有海膽收穫量增加的報導和紀錄，但是目前日本科研者尚不清楚這是否歸因於石頭投入。無獨有偶，未成年的蝦夷馬糞海膽多棲息在巨石塊場中，以避免受到波浪強烈衝擊。日本科研者 Agatsuma(吾妻 行雄)嘗試利用此野外觀察的結果實際應用於增產北海道的海膽，他建議投放大型混凝土砌塊(wave dissipating concrete block)到某些區域，一般沉放於海水下方堆積成堆(submerged mound)與防波堤(breakwater)或合或離；甚至在這些人工障礙物的後面，再投放小石塊，以進一步擴大人工礁岩的面積(圖 42)。然而實驗結果並不理想：日本研究調查在「天然礁石」和「免受波浪作用(calm area)的人工投放礁石區」，並沒有發現海膽產量有顯著差異。

日本研究者也曾嘗試投放大型混凝土砌塊到某些區域充當防波堤(breakwater)，在這些人工障礙物的後面，再增放小石塊，以進一步擴大人工礁岩的面積(圖 43)。在此防波堤系統中，減小了海浪的衝撞力道，形成一個相對平靜的空間(calm area)。由於光照條件和適合藻類附著的表面，預期海藻可茂密生長，並作為海膽的食物。這個人類構思製造的空間預期是海膽的棲息地，然而實驗結果並不理想(郭 2020a,b,c,d)。

日本嘗試過各種類型的岩礁(圖 44)，包括混凝土砌塊包圍的石頭床，鐵棒包圍著石頭的小礁石以及用混凝土或鐵防波堤保護而不受浮冰影響的石頭床。研究發現具有不規則垂直表面的人造多孔混凝土砌塊可以有效地促進小型短命型藻類附生，隨後有向大型多年生長壽海藻(kelp)演替的現象。

其次介紹第二箭，看日本如何生產海膽人工種苗，並放流生產的人工種苗企圖增加海膽資源。

(十三).放流人工生產海膽種苗可以成功復育海膽資源的日本經驗

1、日本海膽種苗生產史

興建海膽孵化場，生產人工種苗是日本一項重要的栽培漁業計畫，目的是放流在地野生族群(Unuma et al. 2015)。日本孵化場生產國產 6 種海膽(Strongylocentrotus intermedius (蝦夷馬糞海膽、えぞばふんうに); S. nudus (きだむらさきうに、北紫海膽、中國稱光棘球海膽); Pseudocentrotus depressus (紅海膽、あかうに); Hemicentrotus pulcherrimus (バフンウニ、中國稱馬糞海膽); Helicodaris crassispina (紫海膽、むらさきうに); Tripneustes gratilla (白棘三列海膽、シラヒゲウニ)，中既可食用又具有商業價值的五種海膽(表 13、14)。表比較 5 種海膽的最小成熟體型(size at maturity、years to maturity)與天然地理分布(distribution)。分布於南方亞熱帶的白棘三列海膽(Tripneustes gratilla)最快成熟(1 年)、而且成熟的體型最大(6~7 公分)，但是價格最低(每公斤 744 日幣)(Unuma et al. 2015)。

日本歷年(1981~2009)在若干縣市實施海膽人工種苗放流，企圖維持海膽資源量(圖 45、46)(Unuma et al. 2015)。日本孵化場生產了五種可食用且具有商業價值的海膽。1960 年代，首次嘗試人工生產紅海膽(P. depressus)種苗。接著，主要在本州山口縣開發大規模生產紅海膽(P. depressus)，紫海膽(H. crassispina)和馬糞海膽(H. pulcherrimus)人工受精卵和養殖至幼苗的技術。至於蝦夷馬糞海膽(S. intermedius)1976 年至 1982 年首先在北海道積丹町沿岸嘗試天然採苗—以聚氯乙烯(PVC)收集器收集野生幼苗，但是這種方法每年收集的種苗量在 10 萬到 4,00 萬之間波動不穩，所以終究在 1985 年成立了孵化場大規模生產和培養蝦夷馬糞海膽(S. intermedius)種苗。1984 年以後，種苗孵化場的數量逐漸增加，到 2009 年達到 42 間孵化場，其中 29 間位於北海道(Unuma et al. 2015)。孵化場的規模不一，每間孵化場的年種苗產量從 1 萬到 9 百萬以上。到 1996 年，所有孵化場的年度種苗總產量急劇增加，達到 9 千萬粒。此後，由於海膽進口量增加導致本地海膽物種價格慘跌，2009 年種苗產量下滑到 5 千 8 百萬粒。2009 年，北海道生產的海膽種苗佔所有海膽的 87.6%，其中蝦夷馬糞海膽(S. intermedius)佔總產量的 80% 以上，主要由北海道的 17 間孵化場提供。放流數量以北方種 Strongylocentrotus intermedius (蝦夷馬糞海膽)最多(占 8 成)，主要放流在北海道；亞熱帶種白棘三列海膽(Tripneustes gratilla)放流數量最少，主要放流在鹿兒島和沖繩(Unuma et al. 2015)。

2、日本放流海膽的成效

(1) 北海道歷年(1985~2009 年)放流蝦夷馬糞海膽(S. intermedius)的近北極群經驗

北海道政府漁業和林業司出版的統計年鑑中，以海膽重為指標，馬糞海膽捕獲量(■)在 1980 年代中期開始下降，並在 1988 年至 1991 年間急劇下降(圖 47)(Unuma et al. 2015)。自 1992 年以來，北海道馬糞海膽捕獲量一直在 3 千萬公噸波

動，總體上保持穩定。在此期間蝦夷馬糞海膽的年度種苗放流量(□)增加，1996 年甚至達到頂峰 6 千 13 萬粒，在 2009 年才下降到 4 千 471 萬粒（圖 47）。但是即使加大了放流人工種苗的力度，收成也沒有增加的事實顯示，放流對增加收成沒有效果。但是隨著 1990 年開始的種種努力，漁獲量穩定在每年 3 千萬公噸上下（圖 47）(Unuma et al. 2015)。

(2) 長崎縣歷年(1981~2007 年)放流紅海膽(*P. depressus*)的溫帶群經驗

1981 年到 1990 年代末，長崎縣紅海膽的年度種苗放流量(□)逐年增加，1998 年達到頂峰放流 180 萬粒。然而長崎縣隨著人工海膽種苗放流數量(□)之增加，而每年長崎縣的海膽撈捕量(■)卻呈穩定下降的趨勢（圖 48）(Unuma et al. 2015)。

無獨有偶，在佐賀縣，自 1981 年以來就進行了紅海膽和馬糞海膽的長期放流人工種苗，自 1980 年代初以來，這兩個物種的年度捕撈數量均下降。在日本已進行大規模人工海膽種苗放流的還有其他三個物種，也是沒有種苗放流成功的證據(Unuma et al. 2015)。

總結(1)+(2) 的日本本土南北方經驗

根據日本農林水產省出版的統計年鑑，日本全國每年的海膽捕獲量(■)從 1977 年的 2 萬 6,898 公噸減少到 2006 年的 1 萬 820 公噸（圖 48）(Unuma et al. 2015)。在海膽產量急降(1989~1992)與穩定波動(1992~2009)的這段期間，日本均進行了大量且全國性廣泛的種苗放流(□)：放流種苗的總數從 1984 年的 262 萬粒增加到 1996 年的 7 千 846 萬粒巔峰，然後逐年下降到 2009 年的 5 千 556 萬粒。但是事與願違，隨著種苗放流量的增加，海膽漁獲量並未增加，但似有減緩資源下降的速度。因為自 1990 年以來，總海膽漁獲量雖然呈下降趨勢，但似乎已穩定下來（圖 48）(郭 2020a,b,c,d)。

但放流的成效也有一些成功的例子。例如自 2000 年以來，在函館市附近的 Esan 放流了 150 萬粒的蝦夷馬糞海膽，發現 2001 年以來，每年的捕撈量已從約 10 公噸增加到 20 公噸以上。這顯示至少在某些局部地區放流海膽會導致海膽漁獲量增加。一些日本研究人員認為，如果能夠確保海膽食物的可獲得性和提供海膽隱蔽處和避難所，放流蝦夷馬糞海膽至少在局部範圍內是有效的(郭 2020a,b,c,d)。

(3) 沖繩縣歷年(1994~2014 年)放流白棘三列海膽(*Tripneustes gratilla*)的亞熱帶群經驗

沖繩 51 年的海膽漁獲量的變化，第一階段（1964-1975 年）：漁獲量從約 300 噸躍升至超過 2 千公噸的高峰，第二階段（1976-1990 年）：維持在 300-500 公噸，第三階段（自 1991 年起）：少於 200 公噸到跌落到目前不足 100 公噸(圖 49)。從

1995 年到 2013 年的 18 年間共放流約 198 萬粒人工種苗，調查 49 個族群只有 5 個有 10% 或更高的活存率，因此科研者認為單藉種苗放流很困難恢復海膽資源(太田 等 2017)。

所以由日本海膽種苗放流的 20 多年的經驗，至今仍舊很難回答：海膽種苗放流是否會增加海膽漁獲量的簡單問題，只能說日本海膽種苗放流似乎對穩定物種的捕撈量有若干成效(郭 2020a,b,c,d)。

(十四).簡介日本海上養殖海膽

日本海基養殖系統一如貝類海水養殖系統，延繩(longlines)是關鍵（圖 50）。延繩索是把養殖系統固定在海底兩端的長繩，並用浮標使箱籠(cage)可以從水面懸掛下來。海膽養殖在延繩懸掛的箱籠中(Unuma et al. 2015)。與陸基系統相比，海基系統的主要優勢是投資資本較小，缺點是在海中養殖海膽需要比陸基系統更費力的管理。養殖者必須使用小船進入養殖區並絞起籠箱(cage; 圖 51)管理餵食和收成。諸如進食，分類和收穫之類的各種工作都是在現場進行的，因此往往靠天賞臉。有時，受氣象影響，在不合適的天氣，上述這些工作只能停擺數天或更長時間。另外，通常很難在 1 天之內完成餵食所有籠子(圖 51)中的海膽，因此必須每隔幾天或每星期輪流一次餵食。因此，海膽食物必需要能長期保存(Unuma et al. 2015)。

(十五).日本水產養殖海膽的制約因素和未來前景

限制日本成功海膽養殖的主要因素是能否獲得足夠用於餵養的大型藻類。在日本，大多數成功或近乎成功的海膽水產養殖場都位於容易獲得野生或養殖大型藻類的地方。如果能開發出優質又經濟實惠的人工配方飼料(formulated feeds)，彌補大型藻類缺貨時的缺口，就可以進一步發展海膽的養殖。配方飼料必須在養殖設施中保持品質穩定，尤其在炎熱的夏季高溫時不會腐爛。目前，栽培海膽由於質量穩定，通常具有比野生海膽更高的商業價值(Unuma et al. 2015)。

水產養殖者需要保持海膽質量，同時降低生產成本，育種計劃可能是提供實現這一目標的積極又有效的方法。儘管目前尚無專門生產用於水產養殖產業的海膽種苗，但如果海膽種苗需求增加，則有可能出現生產這種種苗的行業。選拔育種就是一個提高養殖品種生長速度很好的例子。現在，海膽的養殖週期（從受精卵到市場規模）需要 2-4 年。如果使用能夠快速生長的品種將其縮短至 1-2 年，將大大降低生產成本(Unuma et al. 2015)。

(十六).綜合整理一般放流水產生物種苗的結論

環境的生物承載量是一定的。因為養殖放流種苗與野生種苗劇烈的競爭結果，只會發生養殖放流種苗取代野生種的作用，所以不過是生物取代、置換而已，總生物量並沒有增加(郭 2018b)。

- 1、放流的數量跟自然入添量的變動相比，顯然微不足道，所以很難確定放流是否有效果，而進行栽培漁業應以一代再捕利用回收為原則。
- 2、放流在第一代的直接效果，是靠著種苗活存率還有成長率來決定，成功放流意味可以回本。由於環境承載量固定，放流與野生種產生競爭，甚至養殖放流會取代自然界的野生種，卻沒有增加自然界的生物量。
- 3、人工養殖的基因跟野生種相差很多，但因為養殖種在野外的存活率比較低，加上天擇作用與養殖族群和野生族群的交配，放流養殖種的基因會逐漸從野生種的基因中被淘汰掉。
- 4、漁業資源的回復，應該是要保護生物的產卵場、修復生物孵化育成場的棲地；保護棲地比放流水產生物種苗有效。

(十七)對比臺灣漁業水產種苗放流的現況與建議

- 1、雖然臺灣漁政縣市政府單位每年均有編列巨額經費進行養殖種苗人工放流，但至今仍有許多需要未周全考慮之遺傳與環境因子，如：人工繁殖魚種與野生魚種有基因之差異，是否會有污染天然族群遺傳基因，破壞棲地或生態失衡的問題。
- 2、臺灣漁政公營單位多不生產種苗，臺灣在進行種苗人工放流時，往往是由數個私人養殖場競標，由得標者提供漁政公營單位放流所需的種苗數量。在種魚來源及遺傳資訊不明，魚苗難以分辨（魚苗辨識不易、放流魚苗是否是當地缺少的物種等隱蔽物種問題），只粗略檢查兩種(神經壞死和虹彩)病毒反應(完全忽略細菌、真菌、寄生蟲等其他微生物)，及 4 種(含氯黴素、孔雀綠、還原型孔雀綠、硝基呋喃代謝物)藥物殘留等，在品質不清的情況，以及缺乏族群遺傳及生物多樣性的概念下，往往使得放流效果事倍而功半，無法確實達到預期之效益(郭 2018b)。
- 3、同時「中間育成」技術也是決定種苗放流成功與否的重要關鍵。日本很慎重的把未來要放流的稚魚種苗，由陸上室內養殖場移送到設置於海上或河川之戶外箱網或圍網，讓養殖的稚魚種苗接受嚴酷考驗數十日不等，以增強其野放後的警戒心與競爭能力，為適應未來的大自然環境預先做準備。我研究室解剖了台灣放流的養殖黑鯛與野生黑鯛比較，發現野生黑鯛的肝是正常的紅色，養殖黑鯛竟然是粉紅泛白色，推測可能是吃了太多飼料又因為密集養殖缺乏運動變成了脂肪肝。再以日本栽培漁業生產放流用的嘉鱾種苗為例，野生的嘉鱾魚體色是紅色的，人工養殖嘉鱾魚因為長期人工養殖，生長環境與食物不同，竟然變成黑色無光澤，甚至連鼻孔，從兩個變成了一個。日本也曾經研究魚苗放流後的沉底速度，發現野生的魚苗警戒性高，會快速沉底尋找掩蔽，反之人工養殖魚苗會停在水層表面，導致被捕食的機率大大增加。因此沒有完善的中間育成訓練，貿然放流只讓這些魚去送死(郭 2018b)。除非將被放流的種苗之視覺、嗅覺感官，調節滲透壓等生理機能、與游泳或潛砂能力等型態上的

運動器官發育至某程度、逐漸能夠主動自己覓食、學習調整行為，例如懂得逃避敵害，發展出具備野外求生的基本能力；亦即，由人為選擇轉換為天然選擇，先淘汰不適應野外環境的種苗後，去蕪存菁再放流，才能提高放流後的種苗活存率。然而在臺灣，針對放流魚種之「中間育成」步驟較為缺乏，大多為在種苗放流前和運輸過程中短暫馴化，得標廠商在種苗放流前 3 日，將種苗易池到底質非泥土之容器，注入現啣海水蓄養 3 日。期間並停止餵食魚苗，使魚苗腸道淨空，降低排洩物產生，減少運輸時的水質污染，提高魚苗活存率，也就是把至今為止一直生活習慣於養殖池水質條件的養殖魚苗，瞬間轉置於天然海水鹽度，迫使其緊迫適應 3 日，使得放流到天然海域後的養殖魚苗存活率普遍不高。

- 4、其次儘管台灣沿岸就有六種黑鯛物種，南部與北部沿岸黑鯛可能是完全不同物種，若是採用招標採購常常變成南魚北運，養殖魚苗被瞬間放流至魚種、水文氣象與海洋環境完全陌生的場域。此外台灣除了少數魚種及少量樣本曾進行標識試驗研究，例如估計黑鯛魚苗年度放流貢獻度在 1.7%~6.6%之間、但絕大部分放流的水產生物並未標識，未進行放流效果之評估。而傳統的標記方式（生物、物理、化學）更無法估計放流水產生物的繁殖率、死亡率及再生產量。使得臺灣水產研究者無法進行完整周延的放流評估，人工放流的成效和對天然生態的影響（甚至造成反效果）實在堪慮(郭 2018b)。
- 5、另外，民間盛行宗教放生以積功德，往往引起許多生態保育與動物保護人士團體的撻伐。的主要原因在於：(1)商業化的放生事實上只是鼓勵了額外供給食用魚市場的繁養殖行為，並未如宗教團體所預期的能護生；(2)在放生過程中因為搬運所產生的動物緊迫與傷害一直不被佛教界所看見，放流的程序粗糙，最後造成放生等於放死，而這樣的後果又被解讀為捨報。此外，(3)大量放生動物最令人垢病的環境生態衝擊除了在瞬間於環境中投入大量動物所增加的環境負擔、造成入侵種問題、造成原生生物群聚的改變之外，最糟糕的便是對長期以來經由海潮、地質變動與生物演化自然而然所形成的遺傳與物種多樣性，而擾亂這樣的多樣性，事實上正與永續利用與保育漁業資源是背道而馳的(郭 2018b)。

結論：今天的農業與畜牧的大多數動物和植物，牠和它們已和野生祖先在遺傳上有相當程度的不同，例如牠和它們需要人類的照料、呵護和提供食物飼養以維持生存，例如：牛，羊，豬，雞，火雞，很少還保有牠們祖先型的野性，然而在水產養殖中使用的物種大多仍是野生族群，尚未完全被人為地飼養馴化，而且大多數如果釋放或逃脫返回原先棲地仍有能力恢復野性，放流養殖魚苗和逃脫的水產養殖品種，經常傳染疾病與媒介引入寄生蟲給野生物種也時而耳聞，例如逃逸的大西洋鮭魚身上的魚蟲嚴重感染到野生的大西洋鮭魚，魚苗放流是否也有類似的隱憂值得深慮(郭 2018a、b)。

在浩瀚的海洋耕耘水產養殖，把海洋當牧場的利弊必須評估其對生態等其他難以計量的成本，例如文化和景觀。首先最應該考量的基本問題是：孵化場是否實際上在魚隻的生產中具有成本效益，以及目前孵化場的實際操作是否實質上增加了所欲增產魚類的生物量，還是只是以孵化場生產的魚隻取代野生魚隻，甚至在取代的過程中甚至與野生魚類競爭棲地等，均應該與所產生的環境成本進行權衡，同時絕對不應忽略恢復棲息地和調控監管撈捕漁獲的功能。

根據日本累積 60 年的經驗，水產種苗放流的成功與否還必須借助：(1) 放流後的種苗有適當的棲地，以供覓食與逃避敵害，而一般大多數的海洋魚類及水產無脊椎動物需要一種以上的棲地；豐富充足的食物與良好的天然環境來完成其生活史；(2) 立法規定漁獲體長、限制漁法、捕獲季節等人為劍及履及的執法，積極的資源自主管理。雙管齊下，栽培漁業才有望大功告成((郭 2018b))。

多年來中央及地方政府，為復育漁業資源，漁業署四處辦理魚苗放流，民間機構也加入野放行列，實際成果亦遭到外界質疑。主要原因在於對於欲放流魚苗種類、品質、病原菌檢測，中間育成、放流時間、放流地點選定以及後續的保護、管理、追蹤、調查評估等等都缺乏完整的規劃，亦未進行海洋環境改善，只為放流而放流，實難以發揮效果，造成台灣沿近海魚類資源持續枯竭，漁民感嘆抓無魚生計難維持(杜、郭 2016)。

日本政府自 1963 年在瀨戶內海開始實施種苗放流，希望可以增加沿岸漁業資源。然而根據日本國立東京海洋大學北田修一教授長期追蹤調查發現，並不是所有的水產生物種苗都值得放流，事實上只有少數幾種放流種類如鮭魚、帆立貝、真鯛具經濟效益，斑節蝦的放流屬賠本事業；有學者指出挪威政府也因不合成本，放棄龍蝦與鱈魚的放流，全力發展大西洋鮭魚養殖。而台灣漁政機關辦理魚苗放流工作超過 40 年，卻未進行這類的經濟效益分析。

日本研究者認為沿岸漁業生產量不振與實施栽培漁業效果不彰，其實和生態環境惡化息息相關，尤其不當人工魚苗放流反而造成污染天然族群基因、混雜品系、引進入侵種及病原菌等反效果，反造成生態失衡。因此改為積極發展「責任制栽培漁業」，嚴格要求：使用放流海域種魚所繁殖的種苗來進行種苗放流、增加種魚數目使生產的種苗具有豐富有效族群數目、調節放流量以彌補放流海域同種類天然魚減少的數量為考量、加強放流效益的評估並依據評估結果規劃下一期種苗放流計畫，不再進行無規劃性的種苗放流，台灣政府卻還在盲目進行魚苗放流，浪費民脂民膏(郭 2018b)。

(十八).試評 2018 年澎湖縣政府的海膽種苗放流成效

澎湖縣海膽產量執台灣之牛耳，澎湖縣水產種苗繁殖場自 97(2008)年起研發海膽繁養殖技術，並於 98(2009)年度開始生產種苗放流，初期以馬糞海膽為主，後陸續增加紫海膽及黑海膽(表 15)。澎湖縣政府為強化本縣海膽資源保育及復育，90 年代即實施海膽的種苗放流，結合水產繁養殖、漁業資源管理及海洋工程等方面之科技，經由育種、繁養殖、中間育成、種苗放流、漁場環境改善及資源管理

等人為措施，採用栽培漁業方式復育海膽資源，企以達到增加漁業資源及改善漁業生產之目標(圖 52)。具體步驟是挑選合適海域劃定成為栽培漁業區、進行栽培漁業區海域環境改善及資源調查、生產優質種苗進行科學化人工放流、放流後進行調查追蹤放流成效、制定公共政策及法規，結合社區自主管理落實資源保育。農漁局於 107(2018)年選擇此烏坎海域做為栽培漁業區，藉由棲地環境改善、種苗放流、資源調查、社區自主管理及公共政策制定等方式，落實強化資源保育作為。種苗繁殖場也於 2018(107)年度開始進行人工海藻礁移植試驗，藉由人工育苗的馬尾藻礁移植到栽培漁業區海域，增加天然海藻資源，打造適合海膽生存的海域環境(澎湖縣政府農漁局網頁 <https://www.penghu.gov.tw/farm/home.jsp?id=133>)。

為了解種苗繁殖場海膽放流成效，同年更委託國立澎湖科技大學辦理「澎湖烏坎海域生物相調查及復育物種效益評估案」(計畫經費共計新臺幣 85 萬元整)(曾 2018)。此計畫配合澎湖潮汐變化，自 2018 年 1 月執行至 8 月，每月於各選定之測站進行 1 次調查(圖 53)。

調查期間於潮間帶共紀錄 7 種，於 A 區發現 5 種(表 16)，B 區有 4 種(報告表 17)，兩區中皆以口鰓海膽(*Stomopneustes variolaris*)及梅氏長海膽(*Echinometra mathaei*)出現個體多，其主要棲息於潮間帶的岩縫中，而梅氏長海膽於水深 5m 左右仍可見其蹤跡，但以低潮線附近的碎浪區最為常見。此外，A 區於 3 月、B 區於 1 月則有發現主要放流物種白棘三列海膽(*Tripneustes gratilla*)(表 18、曾 2018)。

B 區海膽共記錄到 4 種，包括口鰓海膽、梅氏長海膽、白棘三列海膽、刺冠海膽(報告表 19)，低潮線以深區中 A 區共紀錄 7 種，B 區為 2 種，包括主要放流物種白棘三列海膽，其出現狀況於第 1 區屬偶見種，主要於 1-3 月可發現蹤跡，分布最高密度為 0.02 個體/m²，於第 2 區及第 3 區屬經常見物種，最高密度為第 2 區 0.42 個體/m²，第 3 區為 0.16 個體/m²，第 4 區及第 5 區則屬稀有種，僅出現於 3 月，密度皆為 0.01 個體/m²(曾報告的表 20)。此外，於區外調查僅 2 月未發現，其餘月份皆可見，而白棘三列海膽之族群動態從 4 月開始於第 1~2 區的區域之間可發現 31 個體，殼徑介於 8.3-11.2cm，平均 9.5±1.0cm；至 5 月於海域中央發現 95 個體，殼徑介於 6.0-7.0cm，平均 6.5±0.6cm；6 月時，則分布於第 2~3 區間及海域中央，殼徑介於 9.0-13.0cm，平均 10.5±1.6cm；7 月則主要分布於第 2~3 區間，殼徑介於 6.0-12.0cm，平均 7.7±1.7cm；到了 8 月第 1~2 區間、第 2~3 區間及海域中央皆可見，殼徑介於 5.0-12.0cm，平均 8.3±1.6cm(表 19、圖 54、55)(曾 2018)。

表 20 列出 A 栽培漁業區及 B 外圍海域中潮間帶出現的生物。包括節肢動物的蝦蟹，在此僅列出蟹科：活額寄居蟹科 Diogenidae 光掌硬殼寄居蟹 *Calcinus laevimanus*、藍色細螯寄居蟹 *Clibanarius virescens*、酋婦蟹科 Eriphiidae 司氏酋婦蟹 *Eriphia smithii* 方蟹科 (Grapsidae)、平背蜞 *Gaetice depressus*、白紋方蟹 *Grapsus*

albolineatus、絨毛近方蟹 Hemigrapsus penicillatus、藻蝦科 Hippolytidae 花斑掃帚蝦 Saron marmoratus、蜘蛛蟹科 Majidae 單刺單角蟹 Menaethius monoceros、沙蟹科 Ocypodidae 斯氏沙蟹 Ocypode stimpsoni、瓷蟹科 Porcellanidae 日本岩瓷蟹 Petrolisthes japonicus、梭子蟹科 Portunidae 底棲短槳蟹 Thalamita prymna、扇蟹科 Xanthidae 絨毛仿銀杏蟹 Actaeodes tomentosus、光掌滑面蟹 Etisus laevimanus。其中有些螃蟹的出現比率是栽培漁業區比 B 外圍海域多。棘皮動物有發現藍指海星 (Linckia laevigata) (表 21) (曾 2018)。

潮間帶輔助調查主要以魚類為對象物種(表 23)，A 區出現 6 目 19 科 29 屬 33 種，B 區為 6 目 18 科 21 屬 25 種，共記錄 7 目 26 科 37 屬 46 種，屬藻食性魚類於 A 區出現長臀光鰓雀鯛 Chromis analis、尾斑鈍鰕虎 Amblygobius phalaena、褐深鰕虎 Bathygobius fuscus、圓眼燕魚 Platax orbicularis、褐籃子魚 Siganus fuscescens；B 區有六線豆娘魚 Abudefduf sexfasciatus、長臀光鰓雀鯛 Chromis analis、班卡雀鯛 Pomacentrus bankanensis、篩口雙線鯛 Enneapterygius etheostomus、褐籃子魚 Siganus fuscescens，兩區域中各出現 5 種。表 25 發現隆頭魚科 Labridae 黑星紫胸魚 Stethojulis bandanensis、哈氏錦魚 Thalassoma hardwicke、新月錦魚 Thalassoma lunare、二齒鮨科 Diodontidae 的六斑二齒鮨 Diodon holocanthus (曾 2018)，但沒量化。

根據報告”澎湖縣水產種苗繁殖場於 2018 年 4 月 2 日已進行 15,000 個體之 2~4 cm (公分)白棘三列海膽放流，主要放流點為低潮線以深之第 2 區，直至 4 月 14 日再進行放流狀況的檢視工作時，於第 1 區至第 3 區到全栽培漁業區中皆無觀察到放流海膽之個體，但於 5 月及 7 月有發現最小殼徑 6 cm 之海膽(報告圖 23)，8 月則有 5 cm 之海膽，其身上皆背負海藻、珊瑚碎屑等。然而，2~4 cm 之海膽經人工蓄養 2~3 個月後，可成長至 5~6 cm。推測剛放流之海膽為躲避天敵，將海藻、碎珊瑚等黏附在身上，導致 4 月放流後初步檢視，無發現任何白棘三列海膽個體”(曾 2018)。

根據本研究，過去本場和日本沖繩和鹿兒島對馬冀海膽成長的研究(圖 56)，馬冀海膽成長速度每個月約 1 公分(8.3~11.0 mm)；假使 4 月放流殼長 2~4 cm 的人工養殖海膽都順利成長，到 8 月殼長也不會超過 8 cm (公分)(鹿兒島県水産技術開発センター. 2008)。

根據曾(2018)報告的結論與建議”在進行海膽復育時，建議先評估海域中藻類等餌料生物量的充足與否，再估計放流量(密度)後進行放流，方能達到良好資源復育成效。建議在海膽種苗培育時，模擬天然的棲地環境、設置躲藏、掩蔽物，觀察稚海膽的攝食行為及生活模式，以做為輔助選擇放流場域的重要依據。曾又建議，栽培漁業區中，3 月於第 2 區、5 月於海域中央處進行海膽放流會有較佳的成效、且在放流後至少需要 2 週連續的密集觀察個體在棲地內的活動情形。若天候條件許可，增加夜間觀察也會是了解稚海膽在放流海域中的棲息，躲藏及遷移路徑的重要方式。本次調查之數據尚無法準確估計栽培漁業區中的海膽數量，建議可在區域內增加測線數量，並對藻類相變化進行觀測，達到可評估放流效益

的工作目標”。啟人疑竇的是：放流海膽都沒有物理或化學標記再放流(郭 2019b)，不知道調查人員如何辨識在野外觀察到的海膽是來自野生(Wild)或養殖人工放流的海膽？調查人員如何評估放流海膽的成效並提出結論與建議？

海膽是海洋生物中一種被魚類和無脊椎動物捕食者廣泛捕食的獵物。作為被捕食的對象，海膽的生存與生長會受到捕食者的影響。海膽的捕食者主要包括海域中的螃蟹、海星、魚類等以及淺水地區能夠捕食水面附近水生生物的海鷗等等。2011 年 3 月 11 日日本東北發生震驚世界的大規模海嘯。2013 年也是地震和海嘯後的第 2 年日本宮城縣志津川灣的海膽數量爆發，東北大學吾妻行雄教授研究發現原來 2011 年的大海嘯也把海星和螃蟹(海膽的天敵)一掃而空。海嘯後，當年出生的小海膽活存率大增，2 年後(2013 年秋)這些小海膽長大，在沒捕食者的海藻林天堂，恣意繁衍、數量激增，吃光了志津川灣的海藻林，造成海底光禿沙漠化(barrens，日文稱磯燒)(郭 2020)。當被捕食的海膽遭遇烏鴉或螃蟹等捕食者，海膽的覓食或生存行為就會為之改變(Norderhaug 等 2014)。過於接近水面或水底的海膽個體由於便於捕食者進行捕食，其死亡率會升高。同時，由於個體所處位置發生改變，海膽的攝食也會受到影響，水面和水底的海帶等食物無法攝食到，生長也會受到影響。長此以往，海膽族群的生存，攝食和生長都會受到捕食者的存在而受影響(Norderhaug 等 2014)。

審視 2017 年「澎湖烏坎海域生物相調查及復育物種效益評估案」報告赫然發現海膽放流地點的栽培漁業區充斥日本研究者口中的天敵：螃蟹和海星。尖牙利齒的魚類例如隆頭魚科(Labridae)、鮪科(Diodontida)及軟體動物的章魚，也是研究者公認嗜食海膽是海膽殺手與剋星(鹿兒島県水産技術開発センター. 2008、郭 2020、Lawrence 2020)。2017 年報告中這些物種是否會捕食放流的馬糞海膽值得進一步探討，藉以釐清 2018 年澎湖縣種苗場放流 1.5 萬殼寬 2~3 公分的稚海膽到烏坎海域栽培漁業區在短時間(隔天，陳盡川 message 通訊兼口述)集體失蹤？被環保人士批評效果不彰的問題。究竟或是海膽集體遷移？被捕食者或獵(掠)食者捕食殆盡？放流運搬過程有疏失？或放流方法造成傷亡須精進放流手續？

隨著遠洋漁業經營環境惡化，復育沿近海水產資源讓我國漁民能安心在自家海域捕魚，同時提供國人生鮮海產，是漁政機關施政的重點工作。遺憾的是，誠如環保團體指出“澎湖縣政府雖然限制 1 年中有長達 10 個月是海膽禁捕期，且有規定採捕大小，但沒有建立採捕許可證、沒有「輪牧」概念的採捕區域限制、沒有仿效外國管理水產生物資源的總量管理，也不重視漁獲申報與統計，禁捕期形同虛設”(https://www.east.org.tw/action/8627)。

澎湖縣政府除列舉“近五年馬糞海膽產量高低波動劇烈，民國 106 年是 4 萬顆、107 年是 2 萬顆、108 年 8 萬顆、109 年 10 萬顆、110 年 6 萬顆，顯示波動甚大，應可不必過度擔心，至於今年開放採捕後，總數是否確有變少及其原因，將與研究單位持續訪調”(胡 2022)。澎湖縣政府以此論述佐證數量未如想像般銳減，除了強調將持續監測，也提出今年起將採以培育養殖取代捕撈的政策，減緩野生海膽過度捕撈。澎湖農漁局局長胡流宗(2022)表示，“現在都是個體戶自行交易

或網上直接銷售，因此在市場上會覺得變少，事實上海膽產量並未減少。”
(<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/3976479>;<https://www.penghutimes.com/Article/Detail/22725>)。張(2017)宣稱澎科大已可量化生產海膽，2017 年首度投入海膽量產就交出 3 萬顆中型紫海膽與馬糞海膽的亮麗成績。張(2022)報導”澎湖農漁局種苗繁殖場場長柯志鴻進一步說明，澎湖種苗場馬糞海膽的育苗技術已趨成熟，這幾年成功育成第二代種苗，小海膽每個月可以長大 1 公分，最終的精緻飼料也已經研發成功，預計 2022 年 10 月份將轉給養殖戶大量畜養，明年此時如果觀光客來澎湖吃海鮮，或許就可以吃到物美價廉的馬糞海膽了”。我們且拭目以待。

(十九).再利用陸上閒置九孔養殖池養殖海膽的成本分析

成本分析包括預估費用和利潤分析，表列如下。預估費用有電費、人工、養殖池租金、飼料購入運輸、種苗購入(時價)、及器具分攤項目，依次試算如下(表 24、25)。

利潤分析又分成損益(平衡點試算)與利潤試算。依種苗購入價錢、批價、養殖數量、使用養殖池數目、估計費用總額(成本)。再以收穫率(85、90)試算利潤。

舉例說明：若以每公噸水養殖 100 個為基準放養密度，每個九孔養殖池的蓄水量是十公噸，使用分層養殖設備將養殖池分成 7~9 區塊，共可以養殖 700~900 個海膽。七個九孔養殖池總共可以養 4,900~6,300 個海膽。購買海膽殼寬 3 公分的稚苗價為 20 元，若每公噸海水養殖 500 個海膽，使用 7 公噸九孔養殖池(=七個九孔養殖池)，養殖 3500(=每池養 500 個海膽 x 七個池)個海膽，則其損益平衡點為 85.6 元。提高養殖放養密度為 700 個海膽，則損益平衡點降為 66.8 元、提高養殖放養密度至 900 則損益平衡點降為 56.4 元。

如果在批發市場每個海膽售價為 100 元，海膽養殖的收穫率分別以 85%和 90%試算，利潤試算結果將如表所示。舉例說明：例如每個海膽售價 100，收穫率 85%，則利潤將是負數 -2,000(=3,500 個海膽 x 0.85 收穫率 x 100 每粒賣價 -299,500 費用總額)。如果收穫率提升至 90%則利潤將是 15,500(=3500 個海膽 x 0.90 收穫率 x 100 每粒賣價 -299,500 費用總額)。當賣價為 100 元時，收穫率 85%則出現赤字，反之當收穫率 90%以上則出現黑字，轉虧為盈，顯示收穫率極端左右利潤比率。

綜上分析得知，海膽養殖產業是利可圖值得推廣的產業。既可提供澎湖夏天觀光旺季與冬天旅遊淡季，饕客們視為極品的澎湖海膽生殖腺，或加工成高價產品外銷，也可以保護澎湖海膽資源，是恢復澎湖海膽的一線生機；同時善用台灣每年因為生產高麗菜過剩與為數可觀的丟棄陸生農作物，或未開發的陸生植物例如仙人掌，開創澎湖地方創生與經濟契機。亦可提供學術研究的材料，可說是一舉數得，達到產、官、學、研及活絡在地創生產業的目的。

我研究團隊連續花費兩年選育海膽，發現育出的海膽具有品質均一的特點，將來可能育成新商用品種。未來除了提高單位產量外，亦需持續研究其對變動的環境的韌度(resilience)。我們期待對振興澎湖的海膽養殖產業有貢獻。

五、主要參考文獻

- 李鎮文 2010 飼養密度與飼料種類在兩種養殖系統中對紫海膽與白棘三列海膽成長、活存與生殖腺的影響。臺灣海洋大學水產養殖系碩士論文。110 頁。
- 杜宇、郭金泉 2016. 別讓澎湖馬糞海膽消失！ETtoday 新聞雲 雲論。
<https://forum.ettoday.net/news/744775>
- 施栋涛，赵冲，尹东红，陈 阳，常亚青·2020. 流速对光棘球海胆行为和生长的影响·生态学报，42(10):1-9。
- 胡流宗 2022.澎湖府：馬糞海膽每年產量不一 盼養殖取代捕撈。自由時報
<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/3976479>
- 郭金泉 2018a. 魚類馴化與水產養殖。科學發展。549:48~54。
- 郭金泉 2018b. 日本漁業種苗放流近一甲子的回顧。農業科技決策資訊平台。
<https://agritech-foresight.atri.org.tw/article/contents/1442>
- 郭金泉 2019a. 海水魚類的馴化歷史(上)。漁友。494:24~27。
- 郭金泉 2019b. 以螢光染色標記海膽。臺灣水產。頁 61-66。
- 郭金泉 2019c. 馴化是保護野生生物的解方嗎?魚苗放流可能復育資源嗎?(上)。漁友。496:22~25。
- 郭金泉 2019d. 馴化是保護野生生物的解方嗎?魚苗放流可能復育資源嗎?(中)。漁友。497:16~18。
- 郭金泉 2019e. 馴化是保護野生生物的解方嗎?魚苗放流可能復育資源嗎?(下)。漁友。498:20~23。
- 郭金泉 2020a. 化廢棄物為黃金：與其放流海膽不如養殖牠 - 民報
<https://www.peplemedia.tw/news/9e687caa-83d2-427d-ae78-7198a12c80bd>
- 郭金泉 2020b. 放流人工生產海膽種苗可以成功復育海膽資源?以日本經驗為例。漁友。511:24~27。
- 郭金泉 2020c. 日本放流海膽的成效與簡介海上養殖海膽。漁友。512:28~29。
- 郭金泉 2020d. 以改善與增加棲地提高海膽產量的日本經驗。漁友。513:28~29。
- 郭金泉 2022. 友善魚直播：海膽養殖。湧升海洋 Facebook。
<https://www.youtube.com/watch?v=mftLz7lkYfs>
- 郑定发，王慧妍，丁靖芸，孙江南，赵冲，常亚青 2020. 温度对中间球海胆幼胆生存、生长和行为的影响。中国水产科学 29(2): 264-273。
- 曾建璋 2018. 澎湖烏坎海域生物相調查及復育物種效益評估案成果報告。澎湖縣政府農漁局。
- 澎湖海洋公民基金會、台灣動物社會研究會 2022.6.29 聯合聲明. 被趕盡殺絕的澎湖馬糞海膽是時候落實全面禁捕了。<https://www.east.org.tw/action/8627>
- 澎湖農漁局 2009. 白棘三列海膽 (Tripneustes gratilla)種苗量產模式、人工養殖方式與放流成效探討。
- 張國亮 2017 澎科大養海膽種苗有成 未來完全人工養殖。

<https://blog.xuite.net/penghu.dialy/blog/503498072>

張茂雄 2022. 吃高麗菜的馬糞海膽？澎湖種苗場養殖成功 10 月可技轉養殖戶。

中時新聞 <https://www.msn.com/zhtw/news/living/%E5%90%83%E9%AB%98%E9-%BA%97%E8%8F%9C%E7%9A%84%E9%A6%AC%E7%B3%9E%E6%B5%B7%E8%86%BD%EF%BC%9F%E6%BE%8E%E6%B9%96%E7%A8%AE%E8%8B%97%E5%A0%B4%E9%A4%8A%E6%AE%96%E6%88%90%E5%8A%9F10%E6%9C%88%E5%8F%AF%E6%8A%80%E8%BD%89%E9%A4%8A%E6%AE%96%E6%88%B6/ar-AAZ4dVz>

太田 格，久保弘文，渡辺利明，上原匡人 2017. 沖繩におけるシラヒゲウニ漁業の現状。沖繩水海技セ事報 77，135－143。

月刊養殖ビジネス 2019. 日本と世界のウニ養殖。養殖ビジネス 56 号：4-26。

鹿児島県水産技術開発センター. 2008. シラヒゲウニ放流の手引き。

Chen CP & Chang KH (1981) Reproductive periodicity of the sea urchin, *Tripneustes gratilla* (L.) in Taiwan compared with other regions. *Int. J. Invertebr. Reprod.*, 3:6,309-319,

Chen YC, Chen TY, Chiou TK, Hwang DF (2013). Seasonal variation on general composition, free amino acids and fatty acids in the gonad of Taiwan sea urchin *Tripneustes gratilla*. *Journal of Marine Science and Technology* 21(6):723-732.

Daggett, T.L., Pearce, C.M. and Robinson, S.M.C. (2006), A comparison of three land-based containment systems for use in culturing green sea urchins, *Strongylocentrotus droebachiensis* (Müller) (Echinodermata: Echinoidea). *Aquaculture Research*, 37: 339-350. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01430.x>

Dworjanyn SA, Byrne M. (2018). Impacts of ocean acidification on sea urchin growth across the juvenile to mature adult life-stage transition is mitigated by warming. *Proc. R. Soc. B* 285: 20172684.

Juinio-Menez, M.A., Bangi, H.G., & Malay, M. (2009). Effect of Type of Feed, Stocking Density and Grow-out site on GonadIndex, Growth and Survivorship of Cultured Sea Urchin (*Tripneustes gratilla*). *Philippine Agricultural Scientist*, 91.

Lawrence, J.M. (1973) Temperature tolerances of tropical shallow-water echinoides (ECHINODERMATA) at flat (Red Sea), *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 22(2-4), 143-150. doi: <https://doi.org/10.1080/00212210.1973.10688387>

Lawrence, J. (2020). *Edible Sea Urchins: Biology and Ecology*, 4th ed.; Elsevier Science: Amsterdam, The Netherlands, Volume 38, ISBN 978-0-444-52940-4.

LeGault, K. N., & Hunt, H. L. (2016). Cannibalism among green sea urchins *Strongylocentrotus droebachiensis* in the laboratory and field. *Marine Ecology Progress Series*, 542, 1-12.

Mos B and Dworjanyn SA, (2019). Ready to harvest? spine colour predicts gonad index and gonad colour rating of a commercially important sea urchin. *Aquaculture*, DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.03.010

Mos B, Byrne M, Dworjanyn SA. (2016). Biogenic acidification reduces sea urchin gonad growth and increases susceptibility of aquaculture to ocean acidification. *Mar. Environ. Res.* 113,

- 39 – 48. (doi:10.1016/j.marenvres.2015.11.001)
- Norderhaug, K.M., Christie, H., Pedersen, M.F., & Fredriksen, S. (2014). Predators of the destructive sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis* on the Norwegian coast. *Marine Ecology Progress Series*, 502, 207-218.
- Richardson, Cristina & Lawrence, John & Watts, Stephen. (2011). Factors leading to cannibalism in *Lytechinus variegatus* (Echinodermata: Echinoidia) held in intensive culture. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 399. 68-75. 10.1016/j.jembe.2011.01.018.
- Toha, A., Sumitro, S., Hakim, L., Widodo, N., Binur, R., Suhaemi, S., & Anggoro, A.W. (2017). Review: Biology of the commercially used sea urchin *Tripneustes gratilla* (Linnaeus, 1758) (Echinoidea: Echinodermata). *Ocean Life* 1:1-10.
- Unuma, T., Sakai, Y., Agatsuma, Y. and Kayaba, T. (2015). Sea Urchin Aquaculture in Japan. In *Echinoderm Aquaculture* (eds N.P. Brown and S.D. Eddy). <https://doi.org/10.1002/9781119005810.ch5>
- Warren-Myers, F., Swearer, S. E., Overton, K., & Dempster, T. (2020). Stocking density and rearing environment affect external condition, gonad quantity and gonad grade in onshore sea urchin roe enhancement aquaculture. *Aquaculture*, 515, 734591.
- Ziegler A, Ogurreck M, Steinke T, Beckmann F, Prohaska S, Ziegler A. (2010). Opportunities and challenges for digital morphology. *Biol Direct*. 2010 Jul 6;5:45. doi: 10.1186/1745-6150-5-45. PMID: 20604956; PMCID: PMC2908069.
- Ziegler A, (2012). Broad application of non-invasive imaging techniques to echinoids and other echinoderm taxa. *Zoosymposia*, 7, 53-70.

六、謝言

由衷感謝澎湖縣農漁局水產種苗繁殖場提供場地、設備、種苗及經費補助。感謝蔡萬生、林澤民、許文東、藍亞文、張宏安、柯志鴻審查委員的建言，實驗期間農漁局長官(胡流宗局長、陳銓汶科長、與柯志鴻場長) 尤其歐俊龍、蕭皓庭、江姿吟小姐等無私提供技術指導。陳易辰(宜蘭江麥海洋生物科技)生產販售提供種苗、曾進福(澎湖海菜推廣中心)販售提供冷凍石蓴、蔡益壽做成本分析、許宏偉(西海養殖場)租借場地、管明芳照顧海膽一週、彼此分享心得及改善建議。海洋大學張志瑋測量、解剖、記錄樣本、統計分析，本研究才得以完成。陳仁勇醫師和王昆池技師的技術指導亦一併致謝。

七、圖



圖 1、2022 年 4 月 1 日 點收 400 個稚海膽



圖 2、研究開始時的稚海膽之殼寬由 0.3~20 公厘(mm)不等、大小差異很大

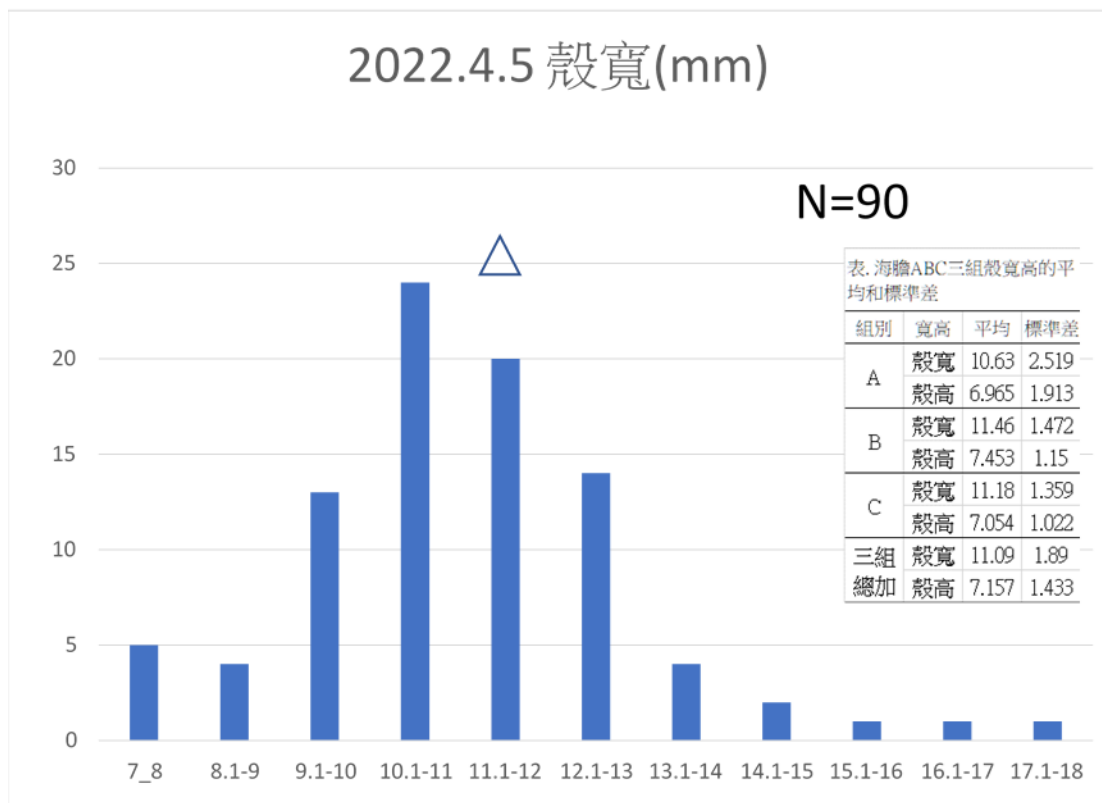
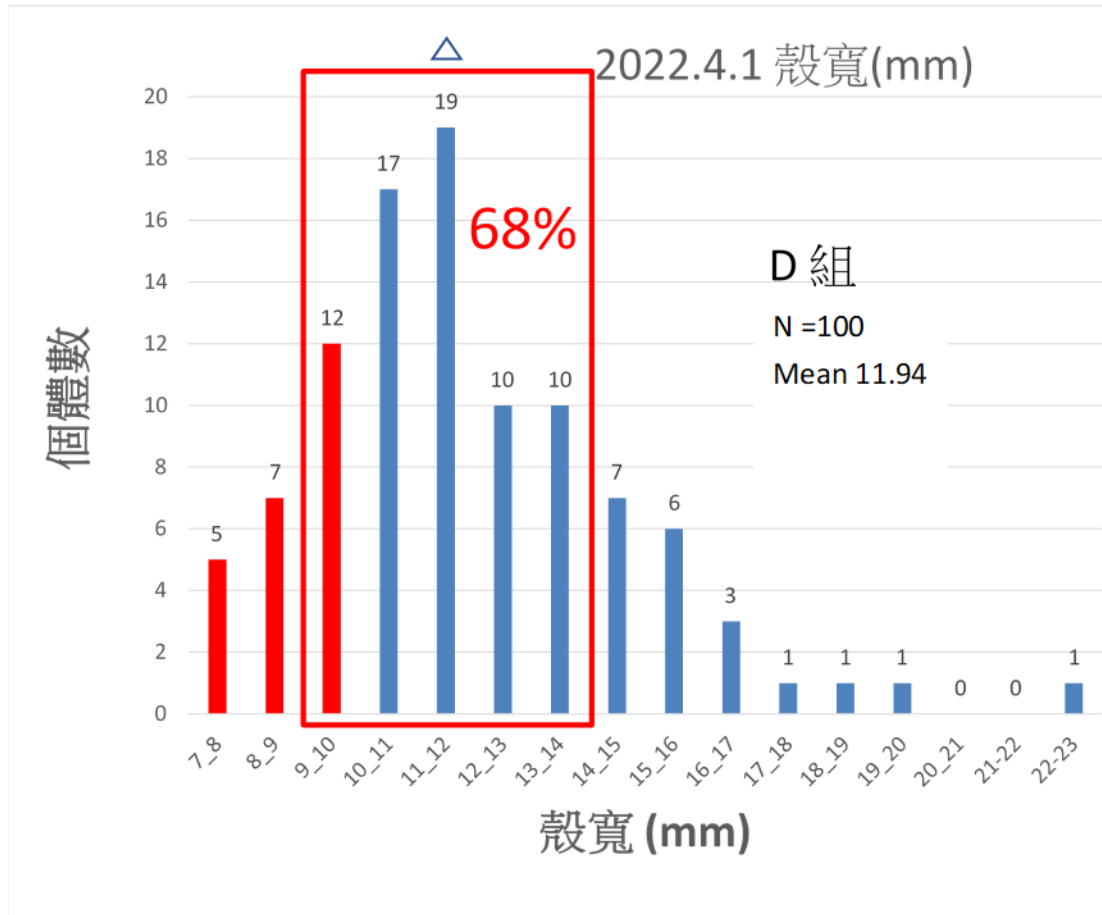


圖 3 圖 4、研究開始時的稚海膽之大小(以殼寬計)的統計分析、差異很大

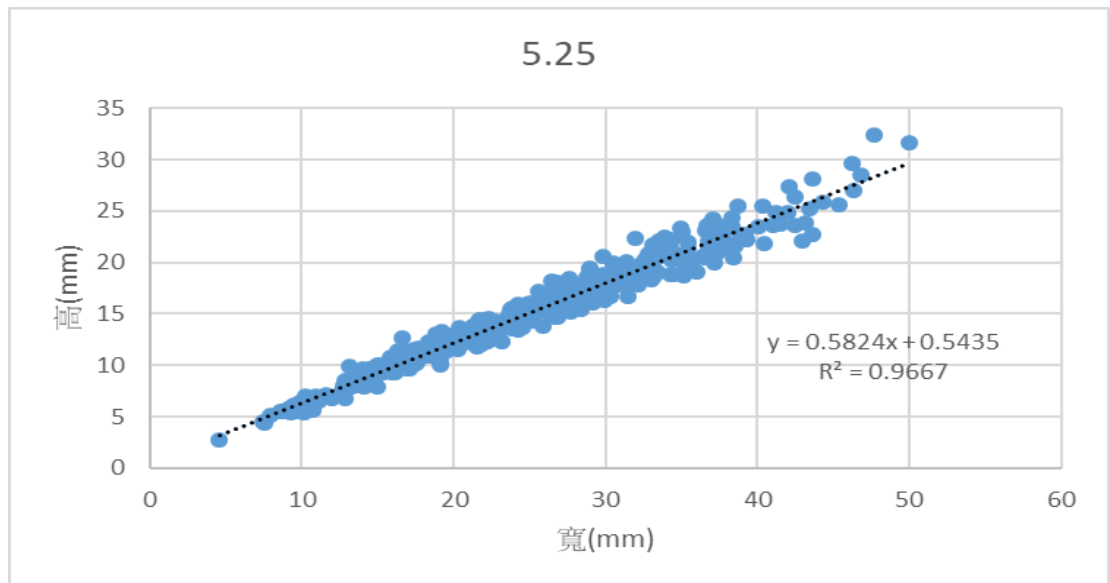
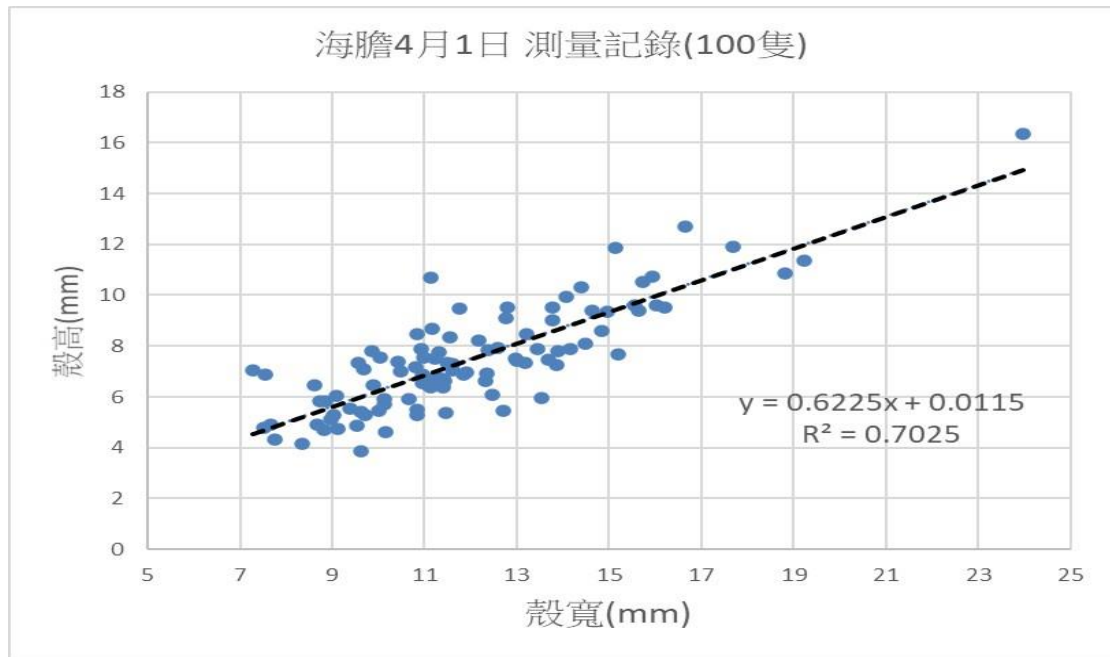


圖 5、實驗開始(4 月 1 日)時稚海膽殼高和殼寬的相關 R^2 是 0.7025，實驗後期(5 月 25 日) 殼高和殼寬的相關高達 0.966。儀器的精準提高研究的效率和精準度

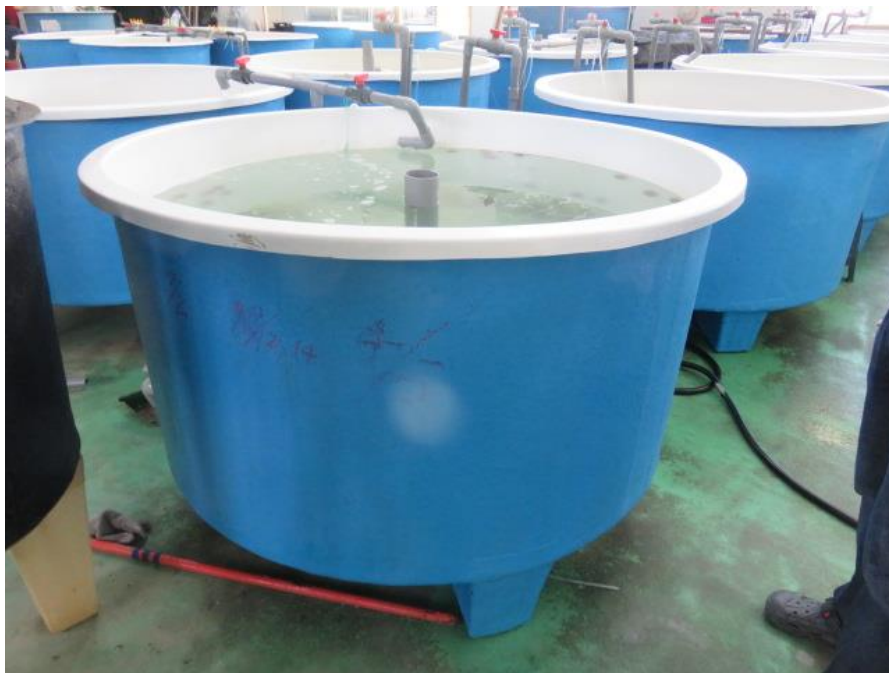


圖 6、圓形塑鋼(FRP，寬內徑 140 公分、高 65 公分、但使用 55 公分高水位、所以養殖使用水量約 0.85 公噸)以流水式飼養。入水量每分鐘由 14.4~16.7 公升不等所以入水量每小時為 864~1000 公升

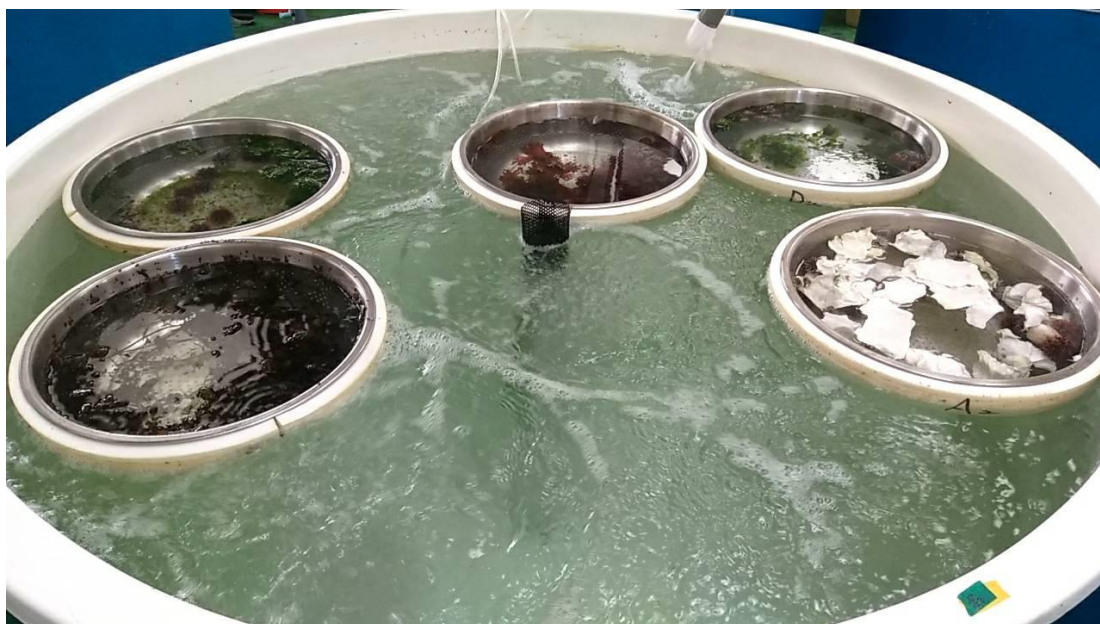


圖 7、寬內徑 140 公分、高 65 公分可承 1 公噸水量的圓形塑鋼(FRP)和浮在水面的不銹鋼漏孔圓盤。每個 10 公升體積的圓盤內養殖 30 個稚海膽



圖 8、不銹鋼漏孔圓盤(直徑 34 公分、盆高 10 公分、圓周和底部共 573 個 0.3 公厘孔徑的圓形洞孔可交換流水、可承水體積 10 公升的臉盆型容器)

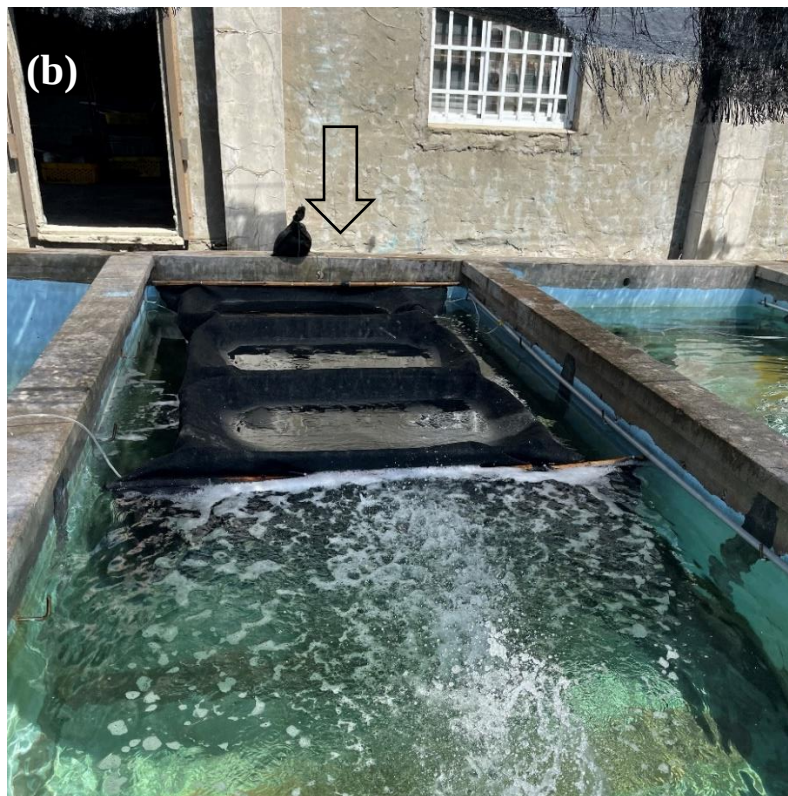


圖 9、西海養殖場的長方形九孔養殖池
a:入水口(箭頭)，上方覆蓋黑色塑膠布遮陽
b:出水口(箭頭)



圖 10、宜蘭海膽置於浮籠(長寬高公分)再浮在十公噸長方形九孔養殖池以海水流水馴化海膽 20 天。紅色圈表示死亡的海膽



圖 11、圓形直立式塑鋼桶(FRP，寬內徑 140 公分、高 65 公分)以流水式飼養。入水量每分鐘由 14.4~16.7 公升不等所以入水量每小時為 864~1,000 公升

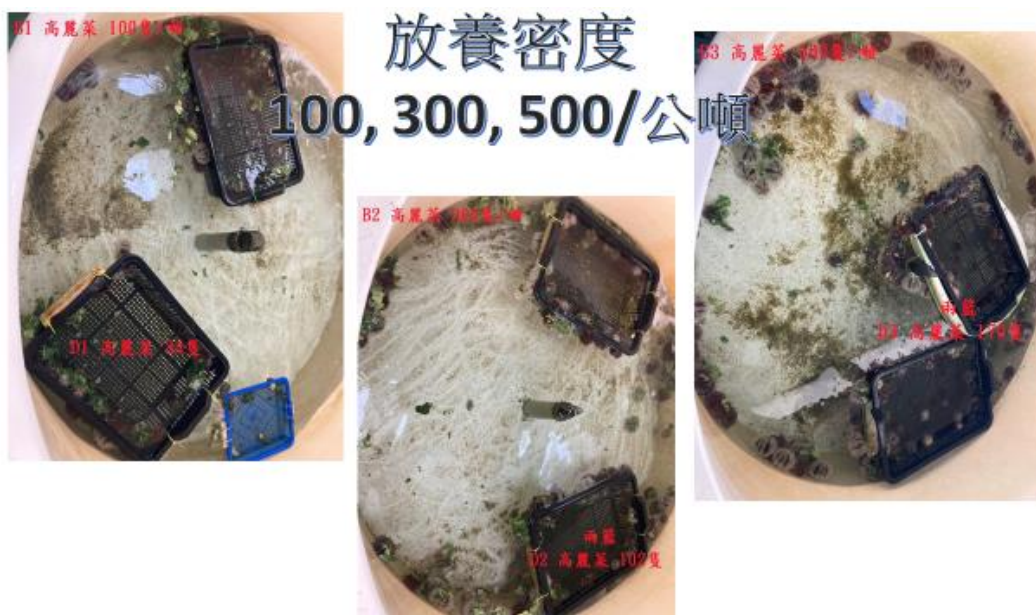


圖 12、浮在 FRP 桶的黑色塑膠籃(長 45.5 公分、寬 33 公分、高 17 公分、容積 25.5 公升)共有 1992 個 0.5 公分正方形洞孔可交換流水。放養密度共三組(100 個/公噸、300 個/公噸、500 個/公噸)，100 個/公噸表示每組實驗放養密度為每公噸海水放養 100 個海膽

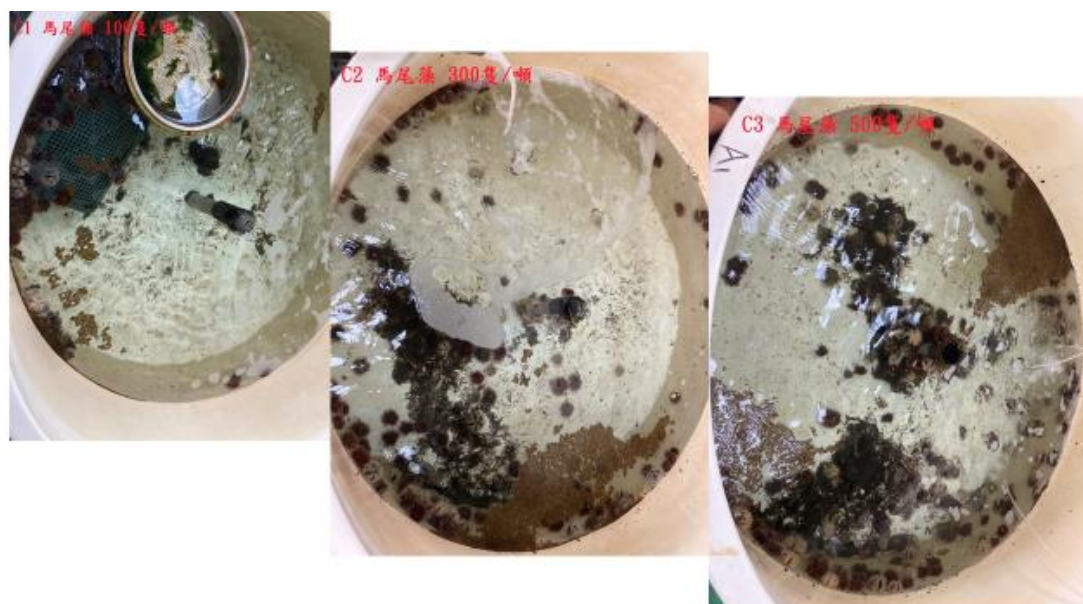


圖 13、每天以虹吸抽底與拔管方式清除海膽吃剩殘餘的食物

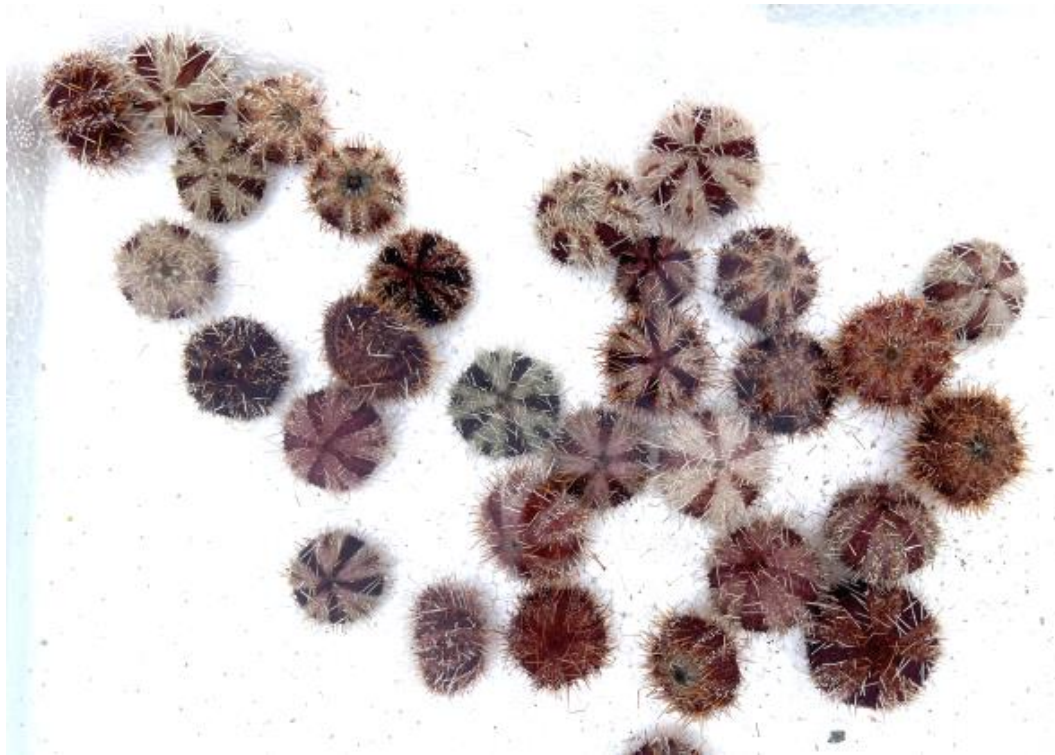


圖 14、不論是澎湖本地，還是購自宜蘭之馬糞海膽，體色呈多樣性，偏紅或偏白或中間色，且個體間體色有明顯差異

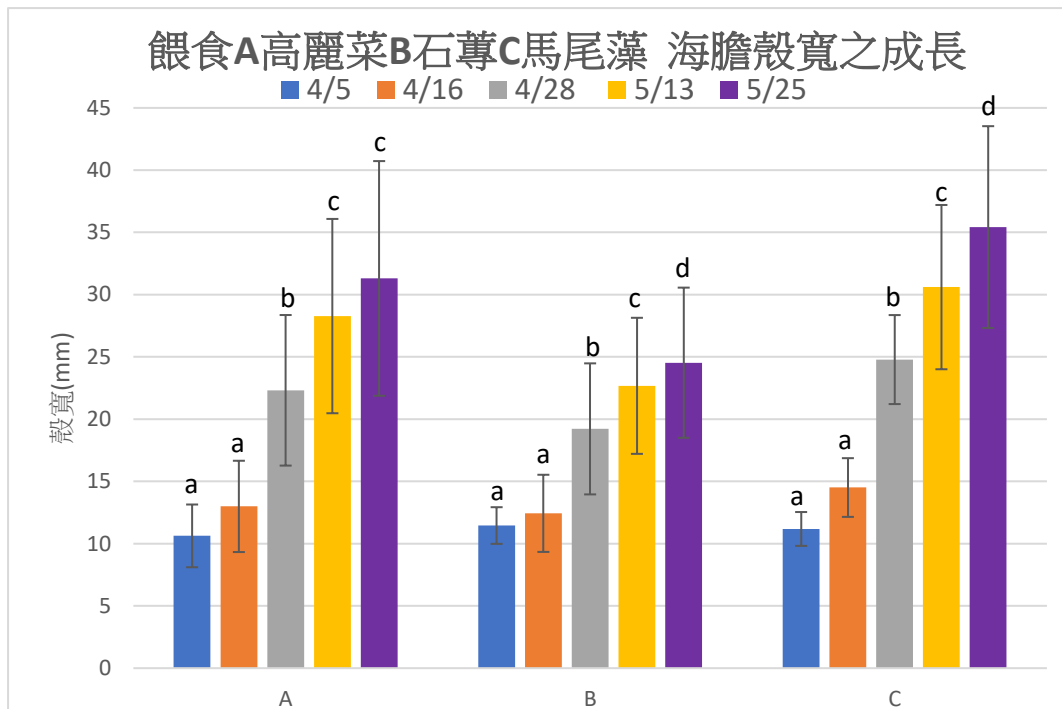


圖 15、標準偏差大，海膽的個體差明顯。餵食三種食物一個月後海膽都有顯著的成長(以海膽殼寬代表)。餵食馬尾藻的海膽成長持續領先表現最好，標準偏差也最大。相同組(例如 A)內不同英文字母表示有顯著差異($P < 0.05$)。每個柱狀條線採樣 30 個海膽個體。

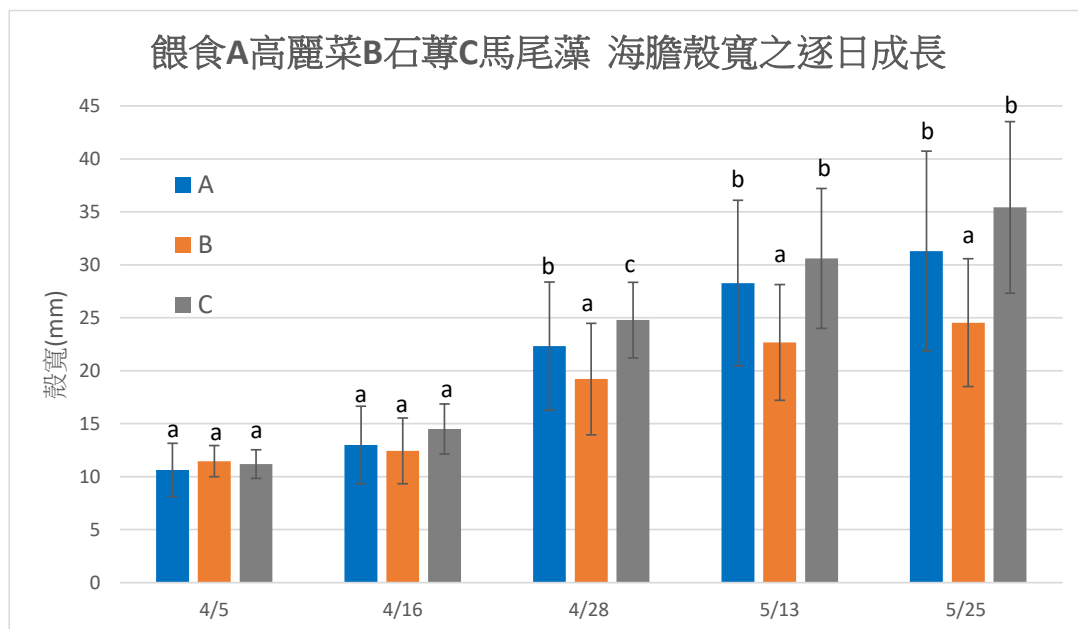


圖 16、海膽成長快速其殼寬與日俱進

兩個月的餵食實驗結束，稚海膽個體成長的程度差異很大(圖 11、表 2~5)。然而餵食三種食物海膽的存活率皆百分之百。相同組(例如 4/5)內不同英文字母表示有顯著差異($P < 0.05$)。每個柱狀條線採樣 30 個海膽個體。

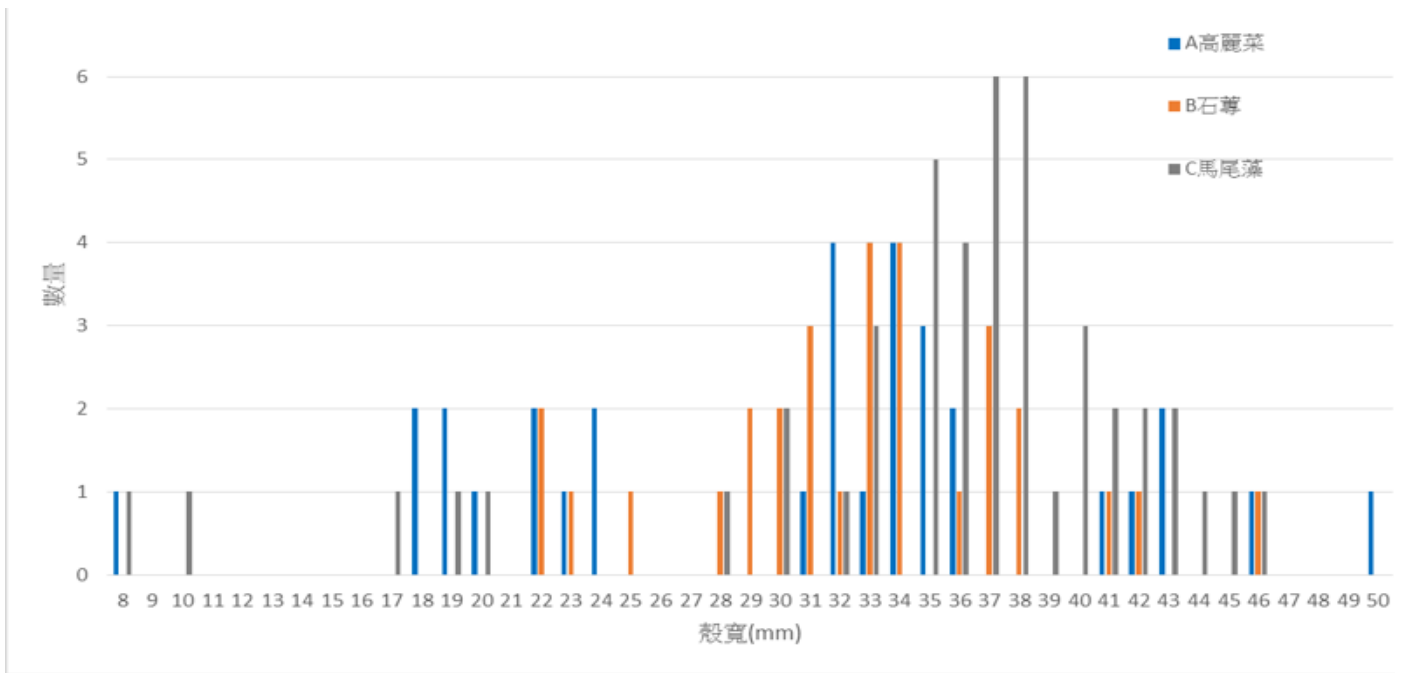


圖 17、實驗過程沒有篩選海膽分級分開飼養，兩個月的餵食實驗結束，稚海膽個體成長的程度差異很大



餵食馬尾藻海膽的生殖腺



餵食高麗菜海膽的生殖腺



餵食石蓴海膽的生殖腺

圖 18、餵食 3 種食物(馬尾藻、高麗菜、石蓴)中最大顆(殼寬約 5 公分)的個體，都發現已長出生殖腺但仍未達飽滿階段

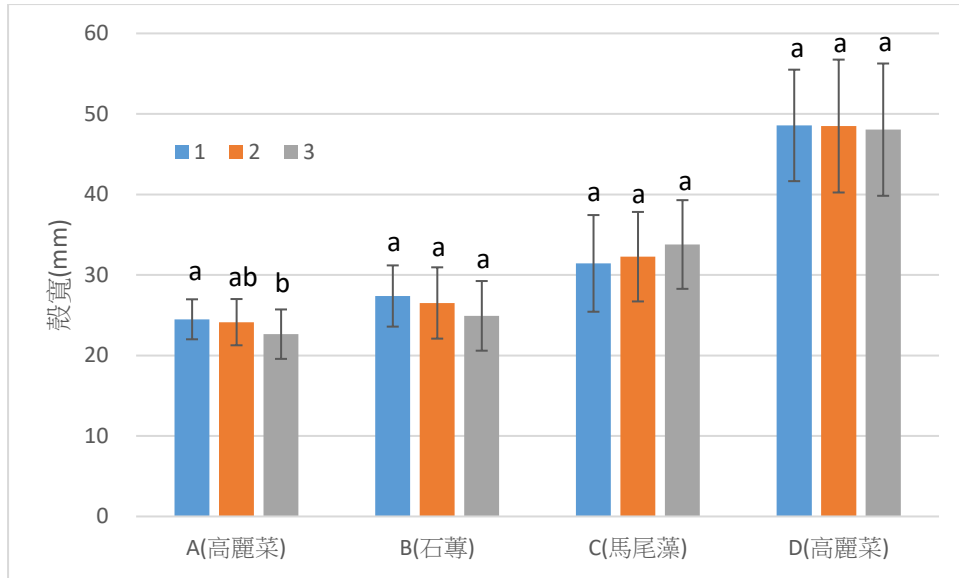


圖 19、海膽餵食 3 種食物(高麗菜、石蓴、馬尾藻)，在 3 個放養密度。養殖 2 週 (2022 年 8 月 15 日) 四個實驗(A、B、C、D)設計海膽之殼寬。A、B、C 的海膽購自宜蘭。D 使用的海膽是第一個試驗使用剩餘的澎湖縣水產種苗繁殖場生產之海膽。1(藍色)表示放養密度 100 個/公噸、2(橘色)表放養密度 300 個/公噸、3(灰色)表放養密度 500 個/公噸。相同組(例如 A)內不同英文字母表示有顯著差異($P < 0.05$)。每個柱狀條線採樣 30 個海膽個體。

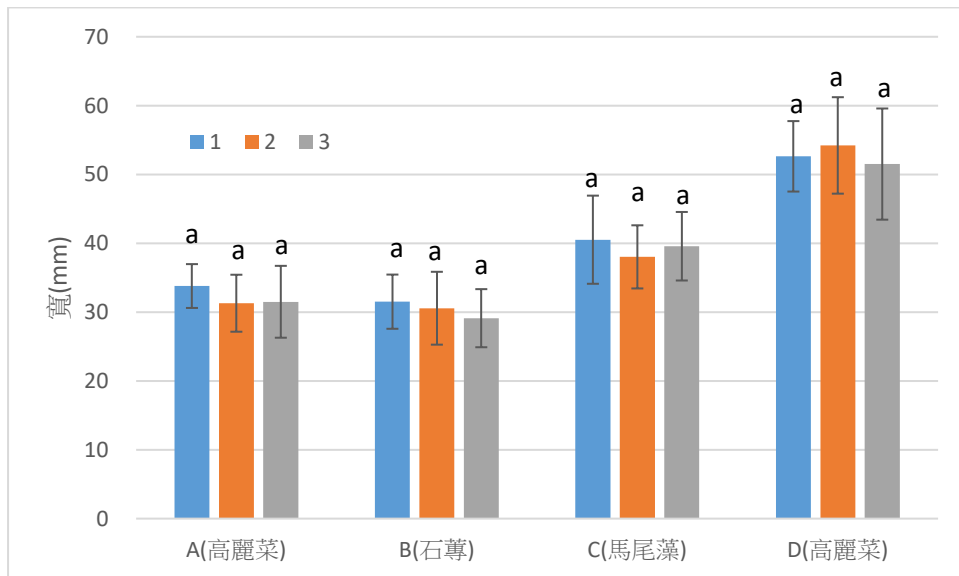


圖 20、海膽餵食 3 種食物(高麗菜、石蓴、馬尾藻)，2022 年 8 月 29 日海膽四組 (A、B、C、D) 之殼寬。A、B、C 的海膽購自宜蘭。D 使用的海膽是第一個試驗使用剩餘的澎湖縣水產種苗繁殖場生產之海膽。1(藍色)表示放養密度 100 個/公噸、2(橘色)表放養密度 300 個/公噸、3(灰色)表放養密度 500 個/公噸

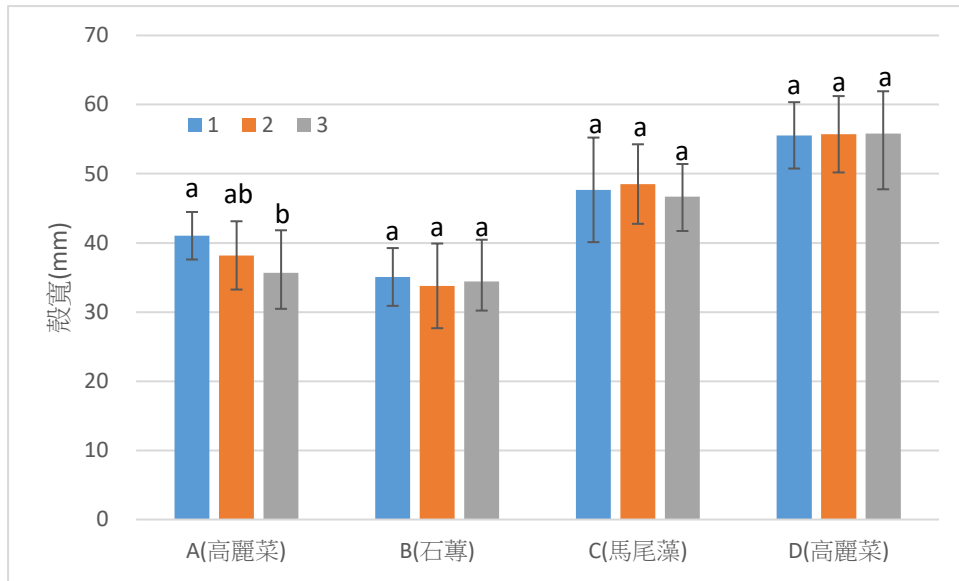


圖 21、海膽餵食 3 種食物(高麗菜、石蓴、馬尾藻)，2022 年 9 月 13 日海膽四組 (A、B、C、D)之殼寬。1(藍色)表示放養密度 100 個/公噸、2(橘色)表放養密度 300 個/公噸、3(灰色)表放養密度 500 個/公噸。A、B、C 的海膽購自宜蘭。D 使用的海膽是第一個試驗使用剩餘的澎湖縣水產種苗繁殖場生產之海膽

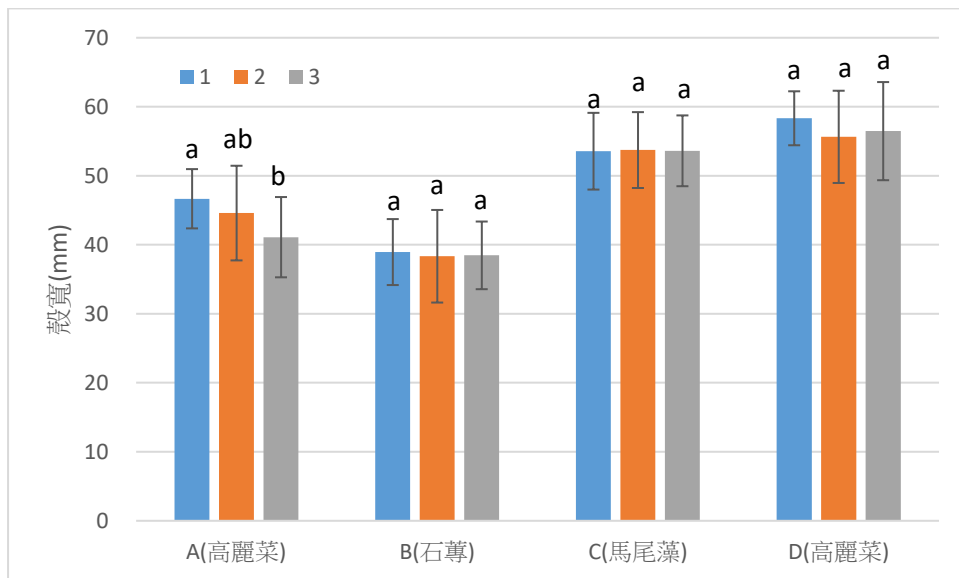


圖 22、海膽餵食 3 種食物(高麗菜、石蓴、馬尾藻)，2022 年 9 月 27 日海膽四組 (A、B、C、D)之殼寬。1(藍色)表示放養密度 100 個/公噸、2(橘色)表放養密度 300 個/公噸、3(灰色)表放養密度 500 個/公噸。A、B、C 的海膽購自宜蘭。D 使用的海膽是第一個試驗使用剩餘的澎湖縣水產種苗繁殖場生產之海膽

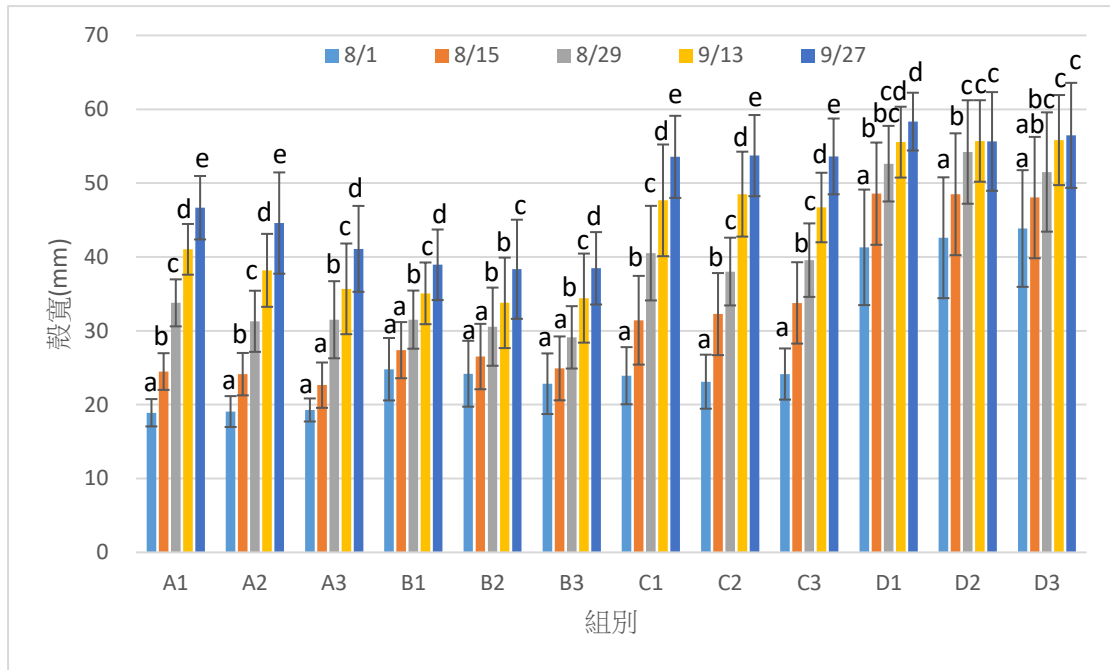


圖 23、海膽餵食 3 種食物(高麗菜、石蓴、馬尾藻)在四個(A、B、C、D)實驗設計下，海膽殼寬在實驗期間(8 月 1 日~9 月 27 日)持續增加之演變。相同組(例如 A1)內不同英文字母表示有顯著差異($P < 0.05$)。每個柱狀條線採樣 30 個海膽個體。A、B、C 的海膽購自宜蘭。D 使用的海膽是第一個試驗使用剩餘的澎湖縣水產種苗繁殖場生產之海膽

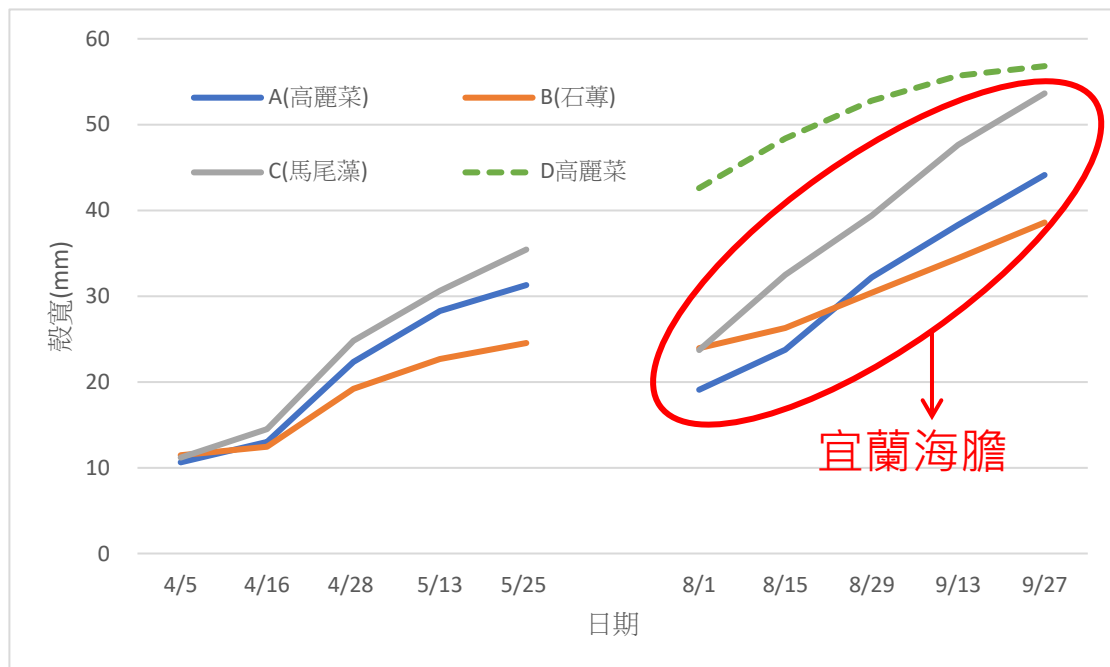


圖 24、比較海膽餵食 3 種食物(高麗菜、石蓴、馬尾藻)在 4 月和 8 月的成長狀況。放養密度都是 100。虛線(D)使用的海膽是第一個試驗使用剩餘的澎湖縣水產種苗繁殖場生產之海膽。8 月的海膽購自宜蘭



圖 25、餵食 3 種食物(馬尾藻、高麗菜、石蓴)中大顆(殼寬 6 公分)的個體，都已長出生殖腺

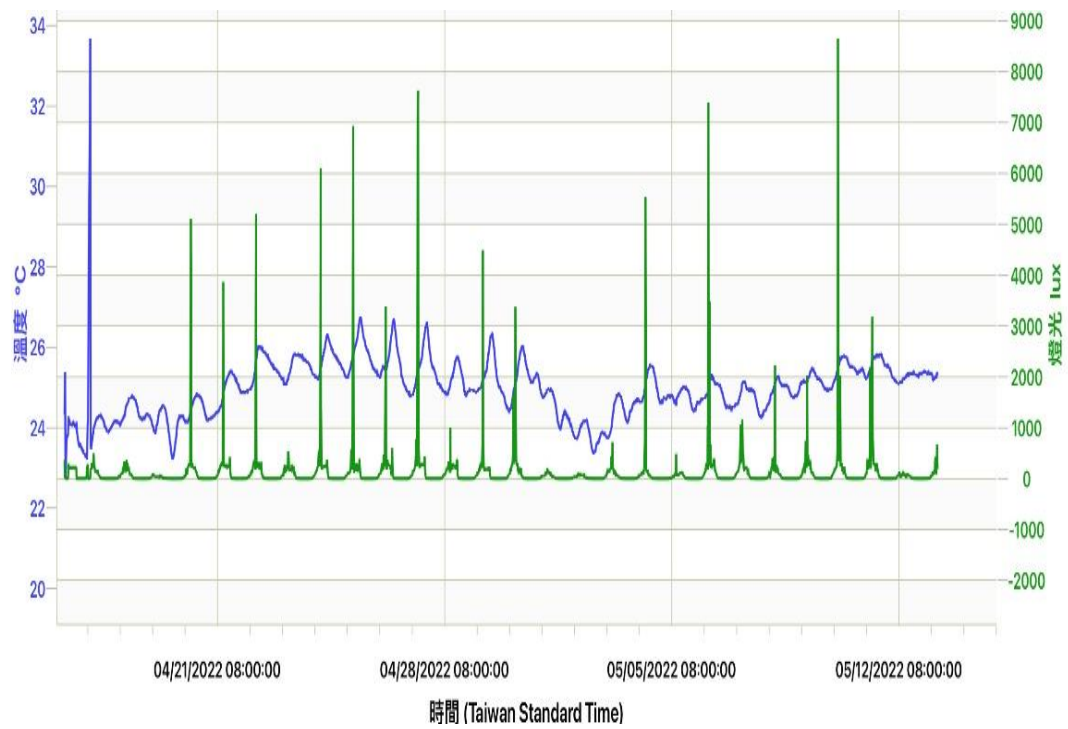


圖 26、研究期間(4 月 1 日~5 月 31 日)澎湖縣立種苗繁殖場提供的海水溫度和照
度一例

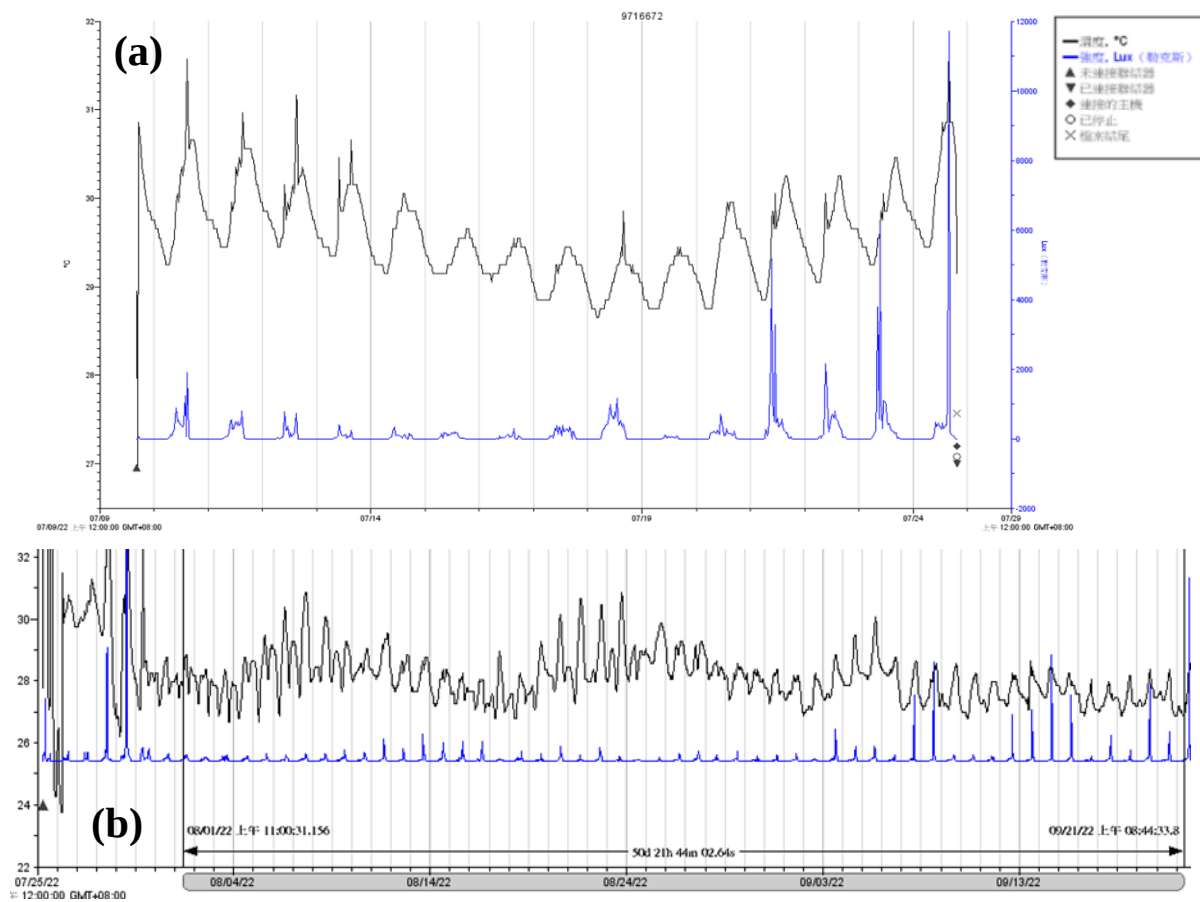


圖 27、養殖場海水溫度和設備的照度

a:澎湖鎖港西海養殖場九孔池 7 月 9 日~24 日水溫與照度

b:研究期間(8 月 1 日~9 月 30 日)澎湖縣水產種苗繁殖場提供的海水溫度和設備的照度一例



圖 28、海膽掉棘但並沒死亡、且正常攝食逐漸長出新棘

澎湖尖山海域馬糞海膽 4月中旬只見2顆

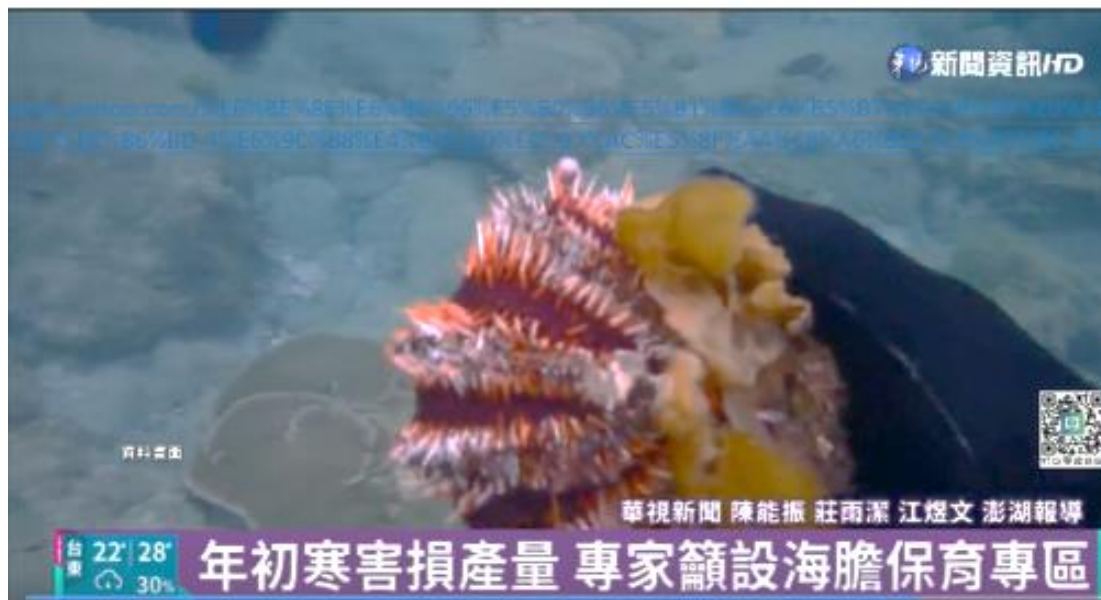


圖 29、今年 5 月媒體採訪某澎湖海洋保育者，據其調查尖山海域已剩個位數兩個

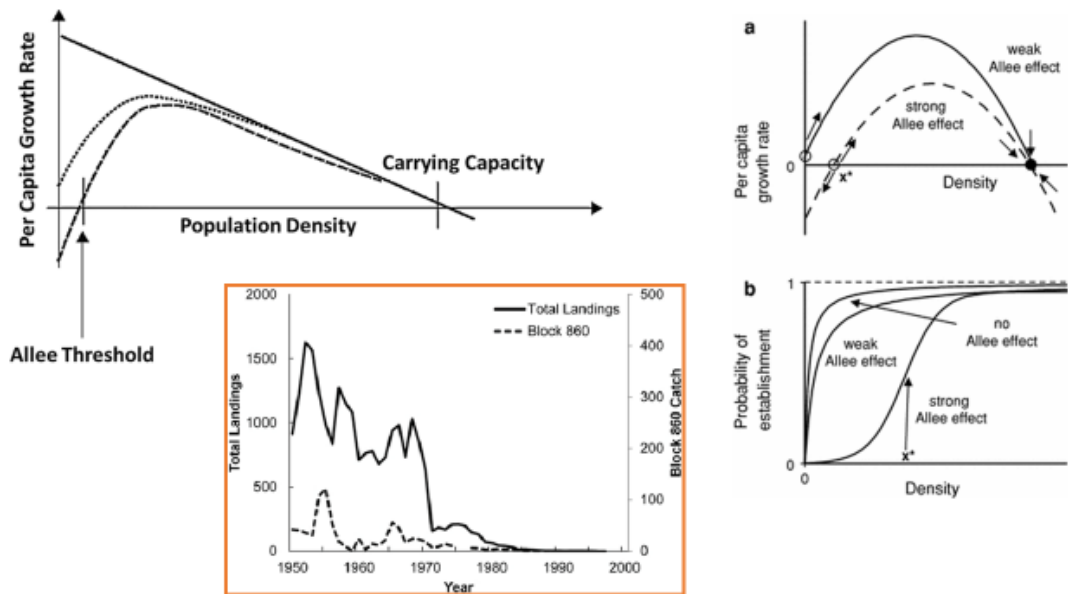


圖 30、阿里效應：動物數量下降到某個閾值時會越來越少終至滅絕

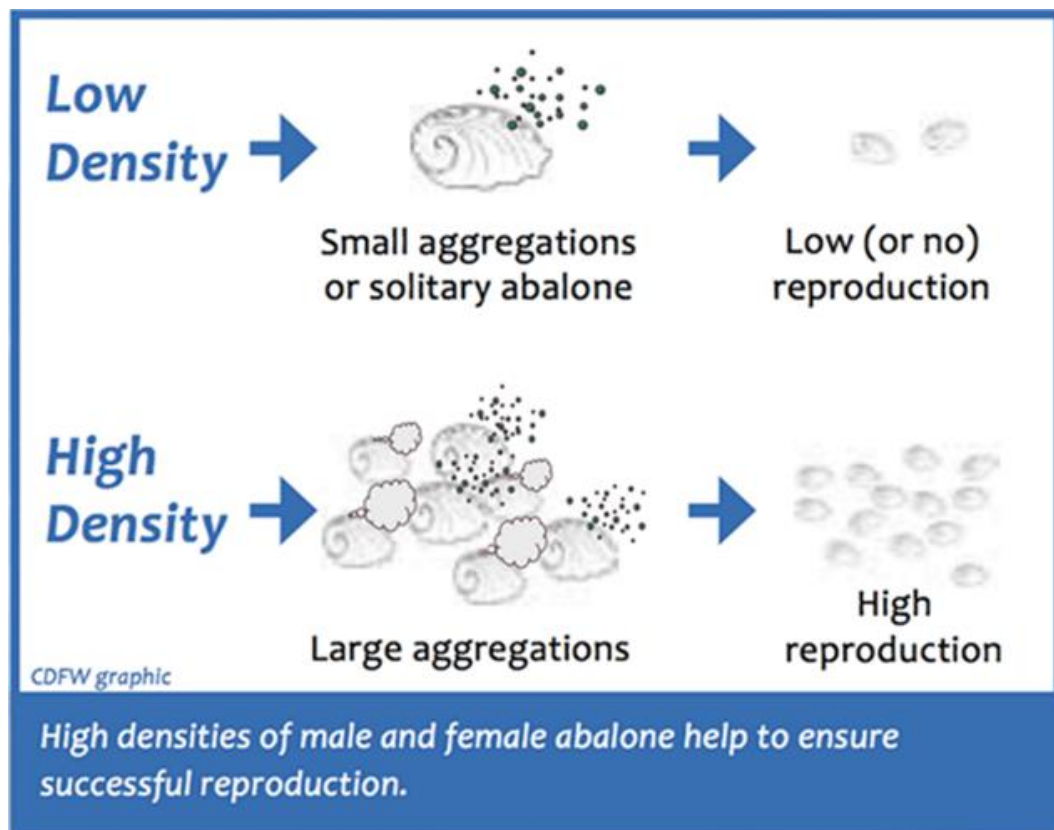


圖 31、過少的鮑魚族群密度，造成彼此難覓配偶，繁衍失敗。交配的困難是引起阿里效應的原因之一

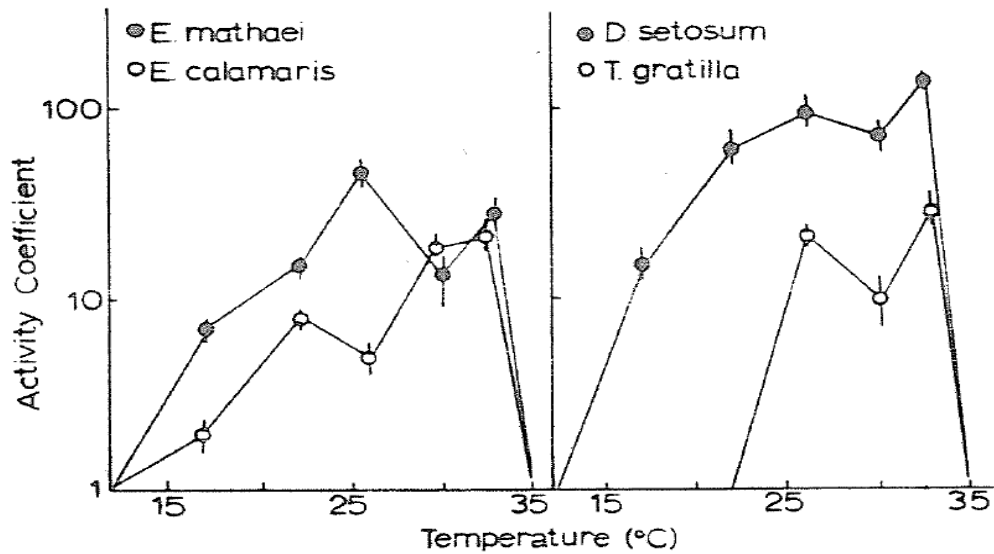


Fig. 1. The activity coefficients of echinoids after exposure to experimental temperatures for 12 h. Means ± 1 S.E. are represented when all animals righted within the 15 min period allowed; median values are given when not all animals did so. In this and the following figure, no data points were placed on the abscissa (value 1 of ordinate) because the actual values were less than 1.

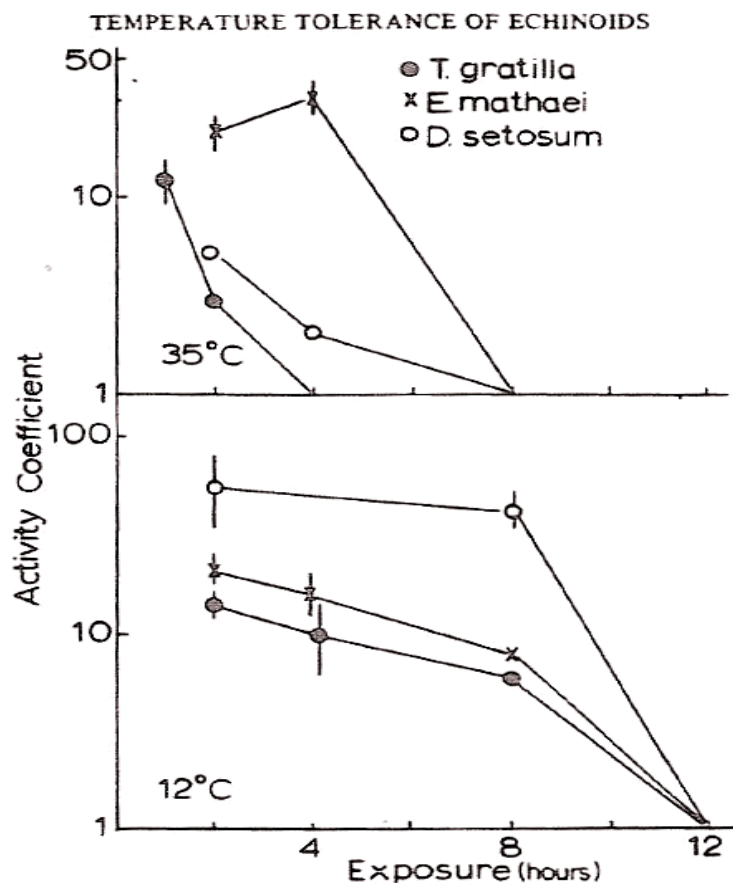


圖 32、棲息於紅海(Red Sea)淺海域的 *Echinometra mathaei*、*Diadema setosum*、*Echinothrix calamaris* 及白棘三列海膽(*Tripneustes gratilla*)四種海膽的溫度耐性 (temperature tolerance)與暴露(exposure)在(12~35 °C)後的復原(activity)時間

The UrchinPlatter™ System

Sea urchin requirements:

- Attachment surface – preferably vertical
- Feeding surface for grazing

UrchinPlatter™ Stack™

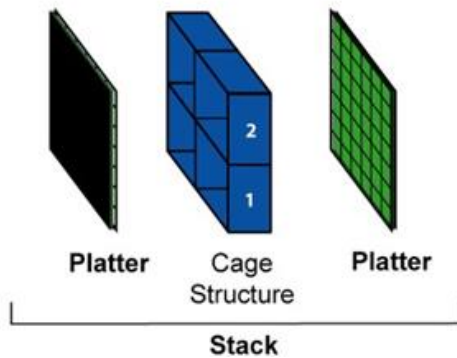


圖 33、陸基 UrchinPlatter™ 系統採用一種新穎的海膽的餵食方法稱為 Platter™。飼料、人工或天然大型藻類，可以夾在背板和高孔夾持板之間，最大限度地提高海膽接觸到飼料和食物的機會



圖 34、UrchinPlatter™ 系統是一種陸基方法，由英國 Gourmet Marine Ltd.擁有專利，在流水式養殖系統內使用籠子養殖海膽

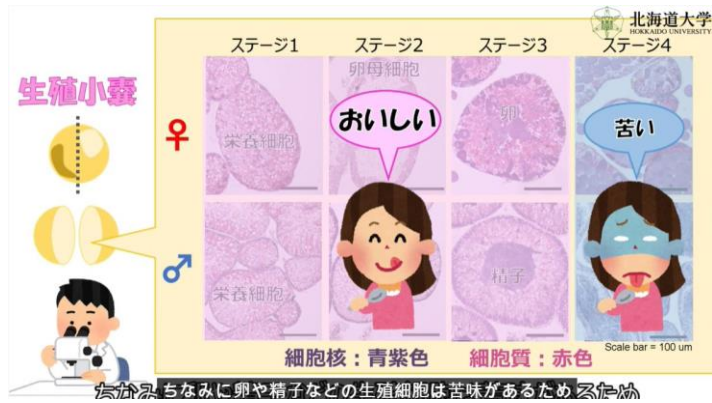


圖 35、高商業價值海膽性腺含大量營養細胞而非配子才是適合做食品

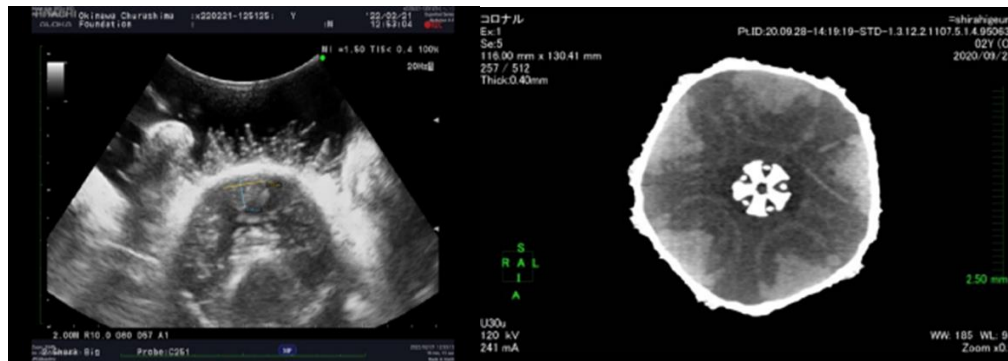


圖 36、超音波診斷(a)、X 射線斷層診斷(b)照片

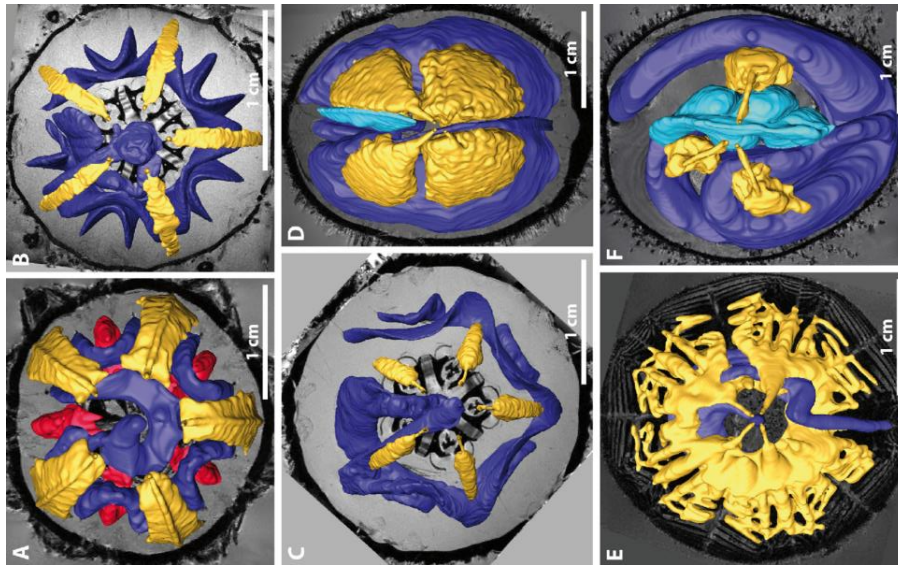


圖 37、斷層成像技術可非侵入性地看到海膽的生殖腺。引用自 Systematic scanning of sea urchins using MRI. yellow = gonad 黃色是生殖腺

FEATURE ARTICLE



Cannibalism among green sea urchins *Strongylocentrotus droebachiensis* in the laboratory and field

K. N. LeGault*, H. L. Hunt

Department of Biology, University of New Brunswick, PO Box 5050, Saint John, New Brunswick E2L 4L5, Canada



Plate 1. Photographs of urchins in various stages of cannibalism. Panel A depicts an urchin that has been mostly consumed. In panels B, C, and D the urchins are still alive (active spine movement) with a hole in their aboral surface. Panel E depicts an urchin that has had many of its spines consumed. Panel F shows the Aristotle's lantern being removed and consumed from a cannibalized urchin.

Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 399 (2011) 68–75



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Experimental Marine Biology and Ecology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jembe



Factors leading to cannibalism in *Lytechinus variegatus* (Echinodermata: Echinoidia) held in intensive culture

Cristina M. Richardson^{a,*}, John M. Lawrence^b, Stephen A. Watts^a

^a Department of Biology, University of Alabama at Birmingham, Birmingham, AL 35294, USA
^b Department of Integrative Biology, University of South Florida, Tampa, FL 33620, USA



圖 38、發表飢餓和族群在高密度狀況下會導致海膽同類互相殘食之文獻

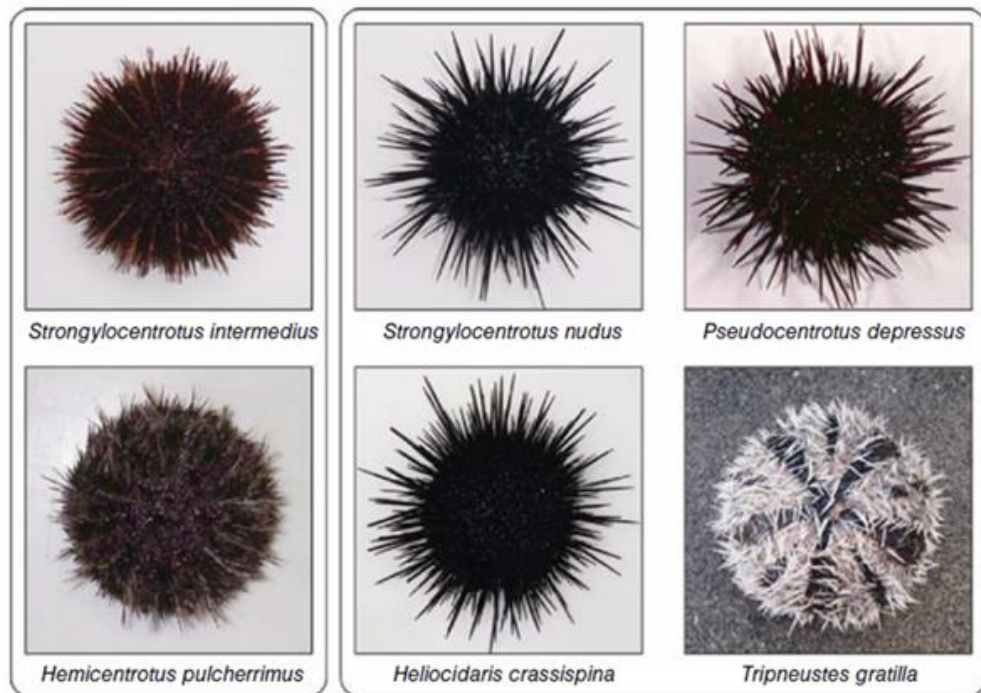


Figure 5.2 Major sea urchin species harvested in Japanese fisheries. Test diameters are approximately 5 cm, except *H. pulcherrimus*, which is approximately 4 cm.

圖 39、日本主要漁獲的 6 種海膽(*Strongylocentrotus intermedius* (蝦夷馬糞海膽); *S. nudus*; *Pseudocentrotus depressus* (紅海膽); *Hemicentrotus pulcherrimus*; *Heliocidaris crassispina*; *Tripneustes gratilla*)。右下角白棘三列海膽(*Tripneustes gratilla*)日文的意思是白鬚海膽，因為有白色棘。但在台灣稱之馬糞海膽，和日本的馬糞海膽 *Hemicentrotus pulcherrimus* 指的是不同物種

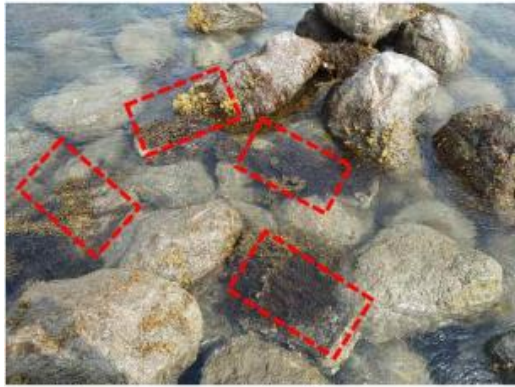


写真3 投石場にヒジキブロックを設置
(H26. 5. 15 国東市羽田海岸)

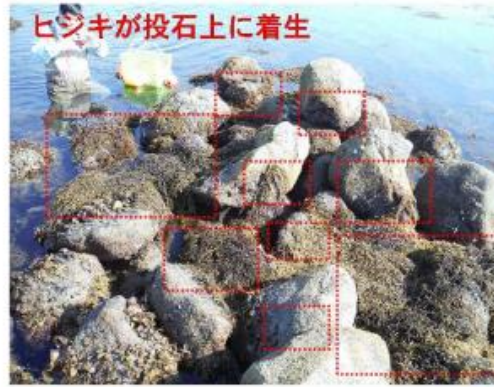


写真4 投石場にヒジキが繁茂した様子
(H27. 4. 21 国東市羽田海岸)

圖 40、投石的一個例子



圖 41、自 1910 年以來，日本就在面臨日本海的本州福井縣(Fukui)沿海以投放石頭來改善海膽棲息地。1975 年至 2007 年的 32 年間，日本投放建造的海膽棲息地區域與面積一如圖所示

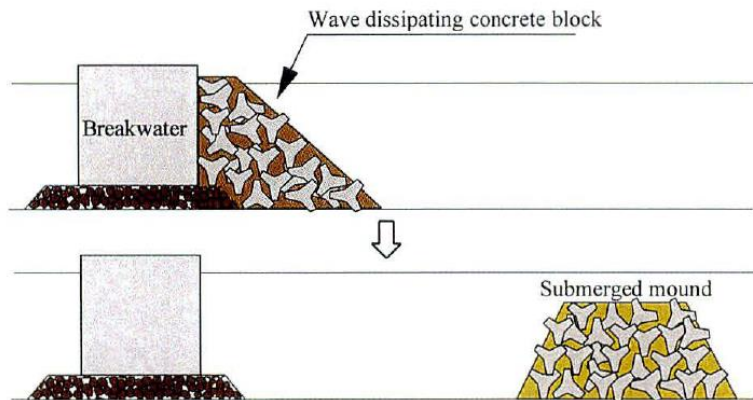


Fig. 36 A schematic diagram of composite breakwater with detached submerged mounds (Dotsu *et al.*, 1996).

圖 42、Agatsuma(吾妻 行雄)嘗試投放大型混凝土砌塊(wave dissipating concrete block)到某些區域，和堆積成堆(submerged mound)與防波堤(breakwater)或合或離

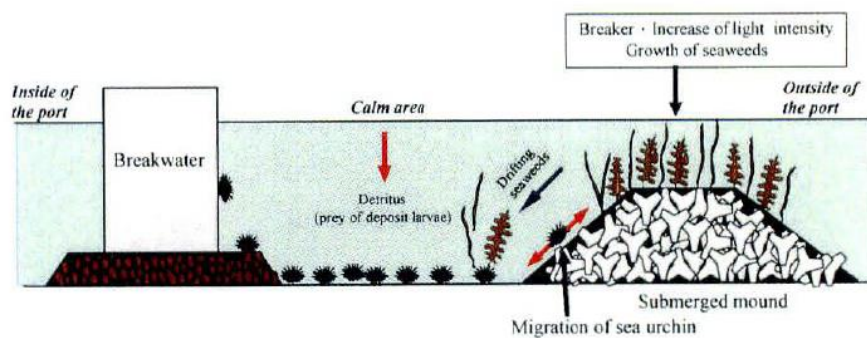
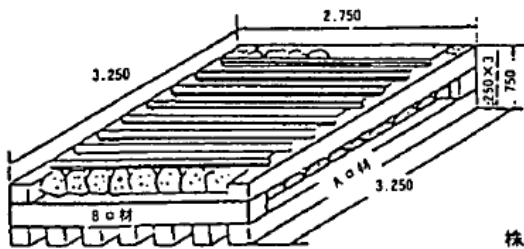
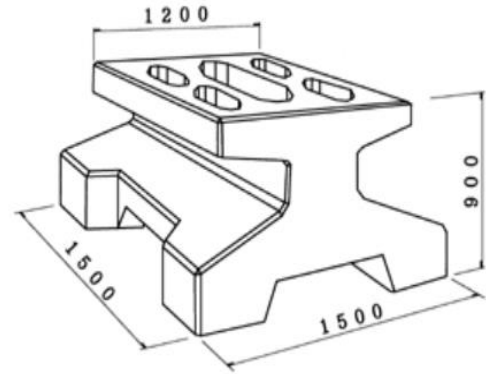


Fig. 37 A feasible application of composite breakwater with detached submerged mounds as the culture ground of the sea urchin (arranged from Dotsu *et al.*, 1996).

圖 43、日本嘗試投放大型混凝土砌塊到某些區域充當防波堤(breakwater)，在這些人工障礙物的後面，再增放小石塊，以進一步擴大人工礁岩的面積

πブロック

- ・アワビ・ウニおよびコンブ等の増殖に効果的である。
- ・ブロックの底部形状が幼貝育成に適しており、天敵からの保護が図れます。
- ・数個のブロックを組み合わせて配置することで、複雑な形状を持ったあわび礁群を形成できるとともにブロックの安定性も高められます。
- ・機種は、2t・3t・5t・8t型があり、海域条件や目的にあわせて使用できます。



北海道のウニ増殖場“保護礁” タイプ (水産庁振興部開発課・1990)

割石を鉄棒などで囲った単体礁
放流種苗を保護育成する場合、点在する天然礁を補完する場合、高密度の餌料場を造成する場合、通常の転石帯では波力に帯する安定性確保が難しい場合に設置される。

株式会社北海道水産新聞社・川村一広監修「うに増養殖と加工、流通」より

圖 44、日本嘗試過各種類型的岩礁設計，包括混凝土砌塊，想方設法增加與擴大定棲性海膽的棲地

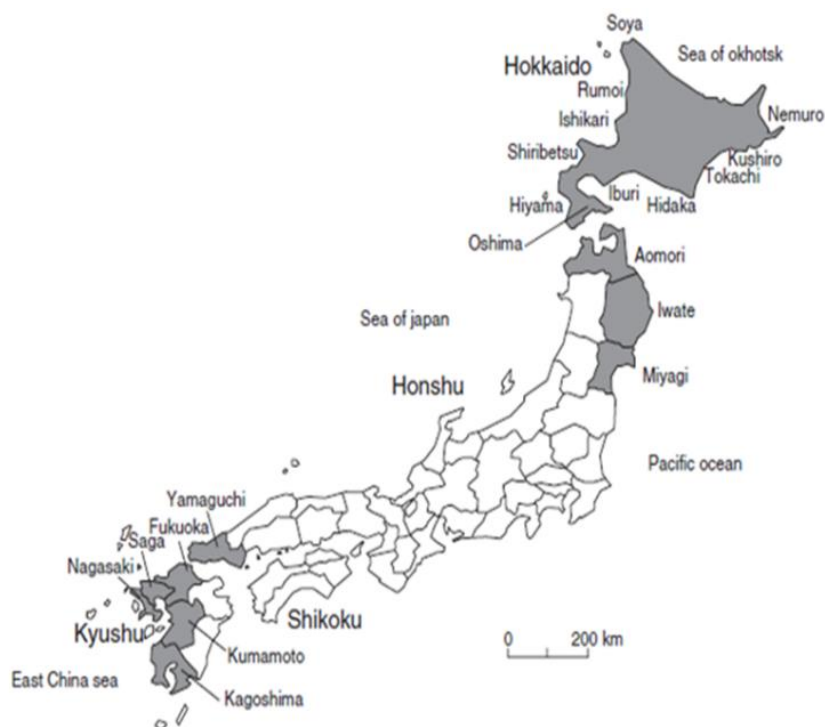


Figure 5.13 Most important sea urchin-producing and reseeding prefectures in Japan.

圖 45、日本主要生產和放流海膽的行政區極南(九州)和極北(北海道)

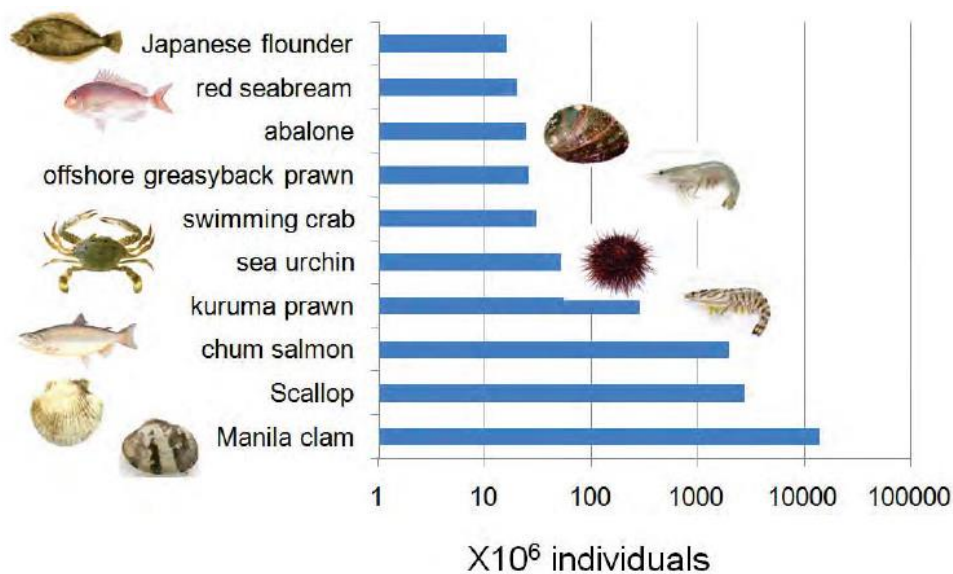


Figure 7. Annual release of top 10 species for resource enhancement in Japan. The numbers are the averages from 1983 to 2000. The figure was based on data in the Achievement of Seed Production and Release of Stock Enhancement in Japan.

圖 46、日本歷年(1983~2000 年)放流種苗的前十名水產生物。海膽名列第 6，每年平均放流數千萬粒種苗

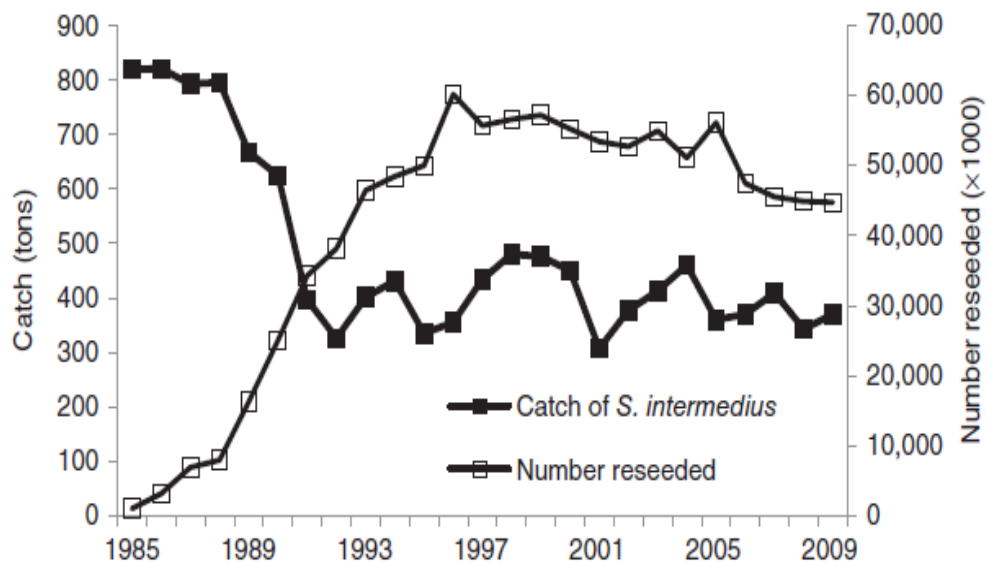


Figure 5.16 Annual catch and reseeded levels for *S. intermedius* in Hokkaido from 1985 to 2009.

圖 47、北海道放流蝦夷馬糞海膽(*S. intermedius*)的近北極群經驗

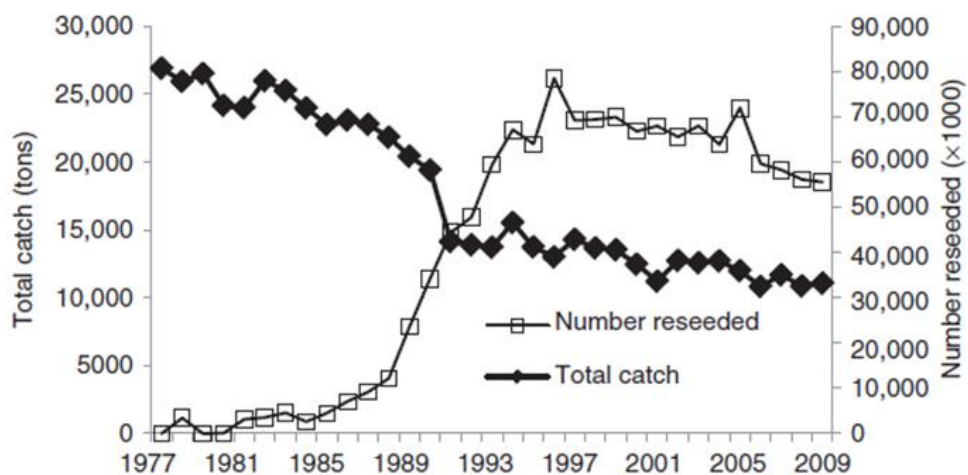


Figure 5.15 Total number of sea urchins reseeded and total catch (tons) by year for all sea urchin species and prefectures.

圖 48、長崎縣放流紅海膽(*P. depressus*)的溫帶群經驗

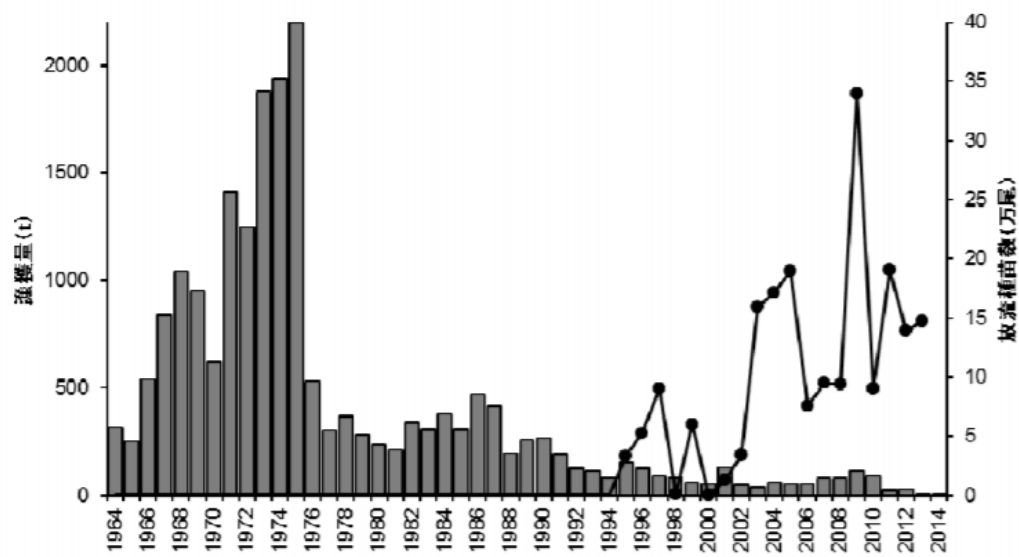


図1 沖縄県のウニ類（シラヒゲウニ）漁獲量及び種苗放流実績
 漁獲量データ 1964—1971 年：「琉球の水産業」（琉球政府，1968），「沖縄の水産業」（琉球政府，1969）；1972—2014 年：「沖縄水産農
 林水産統計年報」（沖縄総合事務局）。種苗放流実績は表 1 参照。

圖 49、沖繩 51 年的海膽漁獲量的變化

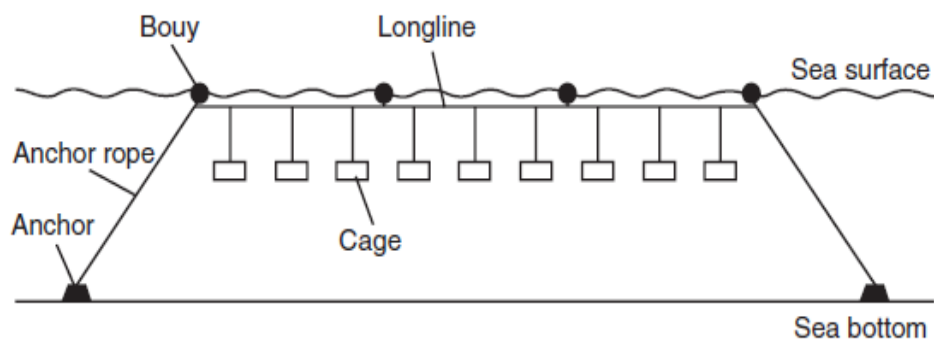


Figure 5.20 Longline system for sea-based aquaculture of shellfish. This system is applied for cultivation of various shellfish culture, including sea urchins.

圖 50、日本海基養殖系統(Sea-Based Culture Systems)



ウニのカゴを力を合わせて引き上げる。(岩内町)



写真2 ウニ育成籠

長さ3m、目合は9mmと23mmが基本でウニの生育に併せて目合いを替える。写真の籠は出荷までの育成用で、目合いは23mmである。このほかに稚ウニ用の長さ1.5m、目合い5mmの籠がある。

写真提供：釧路地区水産技術普及指導所

図 51、日本養殖海胆の海上籠箱(cage)

採用栽培漁業方式復育海膽資源

- 所謂栽培漁業乃結合水產繁養殖、漁業資源管理及海洋工程等方面之科技，經由育種、繁養殖、中間育成、種苗放流、漁場環境改善及資源管理等人為措施，以達到增加漁業資源及改善漁業生產之目標。

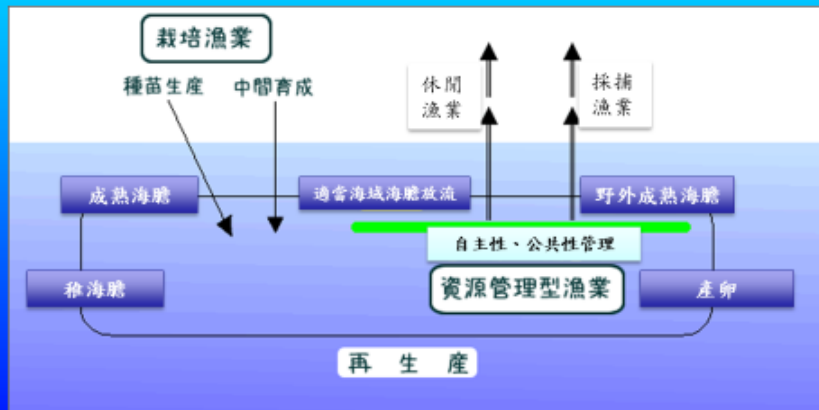


圖 52、澎湖縣政府標榜採用栽培漁業方式復育海膽資源



圖 1、本計畫調查之區域



圖 2、調查區域潮間帶及低潮線以深區之採樣點(區)

圖 53、澎湖科技大學執行「澎湖烏坎海域生物相調查及復育物種效益評估案」調查地點

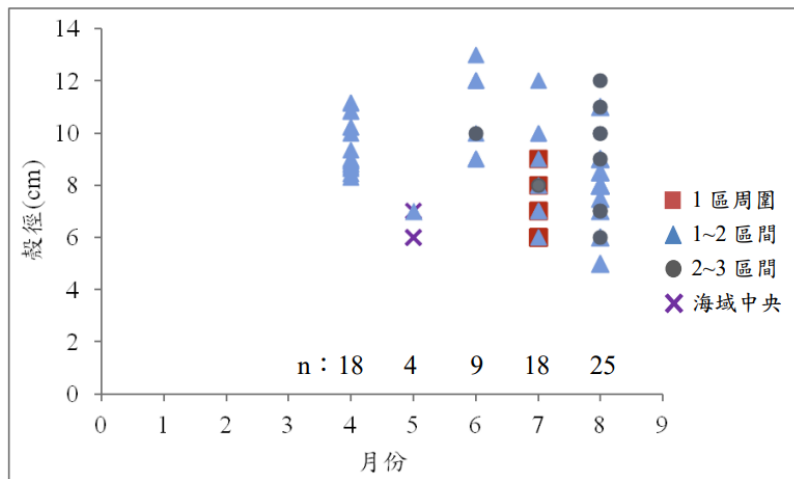


圖 22、2018 年 1-8 月 A 栽培漁業區中測得白棘三列海膽之殼徑
圖 54、A 栽培漁業區測得白棘三列海膽之殼徑

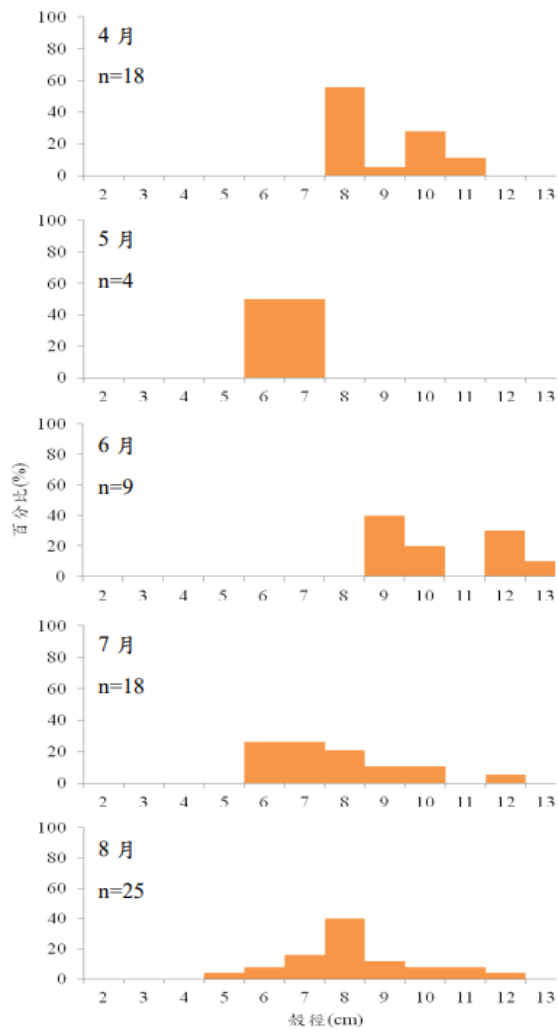


圖 23、2018 年 4-8 月 A 栽培漁業區中測得白棘三列海膽殼徑之分布

圖 55、A 栽培漁業區測得白棘三列海膽之殼徑分布

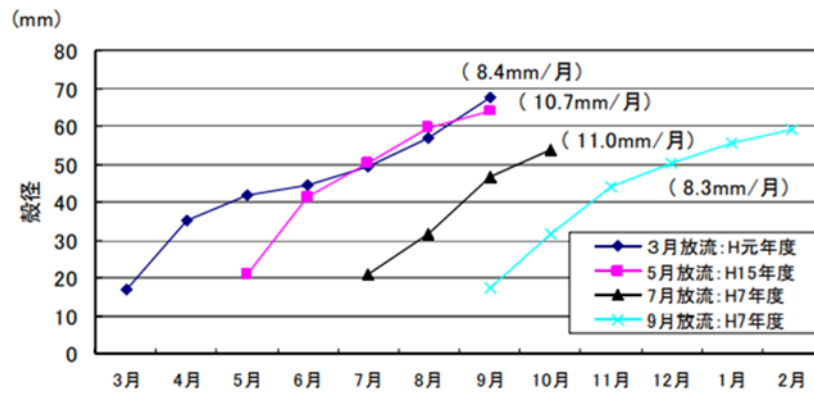


図5 シラヒゲウニ 放流群の成長(用 岬)
※ () は、月当たりの成長量

圖 56、日本在沖繩和鹿兒島研究放流馬糞海膽在野外的成長速率

八、表

表 1、實驗開始時隨機採樣 100 個稚海膽，其硬殼高(算術平均 7.45 公厘 mm)、殼寬(直徑 11.94 mm)、標準偏差(standard deviation)及 68 和 95%級距(分佈數字區間)

	殼寬(公厘 mm)	殼高(公厘 mm)
Mean(算術平均)	11.94	7.45
STD(標準偏差)	2.78	2.06
68% 級距	9.16~14.72	5.39~9.51
95% 級距	6.38~17.5	3.33~11.57

表 2、2022 年 7 月 28 日統計馴化 20 天後的結果(殼寬)

	殼寬 (公厘 mm)		Total (個)
浮籠	平均	標準差	
1	21.15	4.2	252
2	20.51	2.87	260
3	20.4	2.84	307
4	21.1	3.82	269
5	20.93	3.77	294
6	20.69	2.79	228
1~6	20.79	3.44	1610

表 3、2022 年 8 月 1 日四個實驗(A、B、C、D)設計與 3 組放養密度的海膽殼寬

組	A (高麗菜)		B (石蓴)		C (馬尾藻)		D (高麗菜)	
	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差
1	18.91	1.85	24.80	4.23	23.92	3.87	41.31	7.82
2	19.07	2.09	24.19	4.46	23.11	3.66	42.61	8.18
3	19.29	1.56	22.84	4.11	24.15	3.46	43.86	7.90

表 4、2022 年 5 月 25 日測量 400 個稚海膽的數據

	殼寬(公厘 mm)	殼高(公厘 mm)
Mean(算術平均)	25.04	15.13
STD(標準偏差)	9.35	5.54
68% 級距	15.96~34.39	9.59~20.67
95% 級距	6.61~43.74	4.05~26.21

表 5、海膽餵食高麗菜 55 天

	殼寬(公厘 mm)	殼高(mm)
Mean(算術平均)	31.30	18.59
STD(標準偏差)	9.42	5.79
68% 級距	21.88~40.72	12.8~24.38
95% 級距	12.46~50.14	7.01~30.17

表 6、海膽餵食石蓴 55 天

	殼寬(mm)	殼高(mm)
Mean(算術平均)	33.26	20.38
STD(標準偏差)	5.50	3.83
68% 級距	27.76~38.76	16.55~24.21
95% 級距	22.26~44.26	12.72~28.04

表 7、海膽餵食馬尾藻 55 天

	殼寬(mm)	殼高(mm)
Mean(算術平均)	35.43	20.53
STD(標準偏差)	8.10	4.64
68% 級距	27.33~43.53	15.89~25.17
95% 級距	19.23~51.63	11.25~29.81

表 8、2022 年 8 月 15 日四個實驗(A、B、C、D)與 3 組放養密度的海膽殼寬
(公厘)

組	A(高麗菜)		B(石蓴)		C(馬尾藻)		D(高麗菜)	
	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差
1	24.49	2.48	27.38	3.80	31.43	6.01	48.57	6.92
2	24.13	2.87	26.52	4.43	32.27	5.56	48.49	8.25
3	22.64	3.07	24.92	4.32	33.78	5.51	48.05	8.22

表 9、2022 年 8 月 29 日四個實驗(A、B、C、D)與 3 組放養密度的海膽殼寬(公厘)

組	A(高麗菜)		B(石蓴)		C(馬尾藻)		D(高麗菜)	
	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差
1	33.79	3.18	31.52	3.94	40.52	6.40	52.63	5.12
2	31.29	4.14	30.56	5.29	38.03	4.59	54.22	7.01
3	31.50	5.22	29.12	4.22	39.57	4.98	51.51	8.08

表 10、2022 年 9 月 13 日四個實驗(A、B、C、D)與 3 組放養密度的海膽殼寬(公厘)

組	A(高麗菜)		B(石蓴)		C(馬尾藻)		D(高麗菜)	
	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差
1	41.03	3.44	35.08	4.18	47.67	7.56	55.55	4.80
2	38.19	4.94	33.79	6.12	48.51	5.75	55.71	5.52
3	35.69	6.14	34.43	6.03	46.70	4.71	55.83	6.10

表 11、2022 年 9 月 27 日四個實驗(A、B、C、D)與 3 組放養密度的海膽殼寬(公厘)

組	A(高麗菜)		B(石蓴)		C(馬尾藻)		D(高麗菜)	
	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差
1	46.67	4.29	38.94	4.78	53.56	5.56	58.33	3.91
2	44.59	6.86	38.34	6.71	53.73	5.50	55.64	6.68
3	41.10	5.82	38.47	4.90	53.62	5.13	56.47	7.11

表 12、在 2 個月(8 月 1 日~9 月 31 日)以三種放養密度(100 個/公噸、300 個/公噸、500 個/公噸)餵食馬糞海膽三種(高麗菜、石蓴、馬尾藻)食物每兩週的存活率(%)

	8/1		8/15		8/29		9/13		9/27	
	存活數	存活%	存活數	存活%	存活數	存活%	存活數	存活%	存活數	存活%
A1	34	100	34	100	34	100	34	100	34	100
A2	102	100	102	100	102	100	96	94	87	85
A3	170	100	170	100	167	98	145	85	129	76
B1	62	100	62	100	62	100	62	100	62	100
B2	186	100	178	96	178	96	178	96	168	90
B3	310	100	291	94	286	92	277	89	266	86
C1	62	100	62	100	62	100	62	100	62	100
C2	186	100	182	98	180	97	178	96	170	91
C3	310	100	301	97	295	95	282	91	282	91
D1	34	100	34	100	34	100	34	100	34	100
D2	102	100	102	100	102	100	102	100	102	100
D3	170	100	170	100	170	100	170	100	170	100

註：D 使用的海膽是第一個試驗剩餘的澎湖種苗場生產之海膽。A、B、C 的海膽購自宜蘭。A 的海膽養在黑色塑膠籃(長 45.5、寬 33、高 17 公分、容積 25.5 公升) 浮在 D 圓形塑鋼(圖 6)，B、C、D 海膽都養在 9 個圓形塑鋼(寬內徑 140 公分、高 65 公分、因使用 25 公分高水位、所以養殖使用水量約 0.5 公噸)。

表 13、比較 5 種海膽的生物特徵和 2008 年的價錢

Table 5.3. Sea urchin species preferred for the seed production in Japan with its commercial value and biological characteristics.

Species	Local price in 2008*, JPY/kg whole weight	Size at maturity	Years to maturity	Distribution
<i>Tripneustes gratilla</i>	744	6–7 cm	1 yr	Okinawa and Kagoshima
<i>Pseudocentrotus depressus</i>	1250	2.4 cm	2 yr	west to Shimane in the Sea of Japan, west to Kanagawa in the Pacific
<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>	912	2.5 cm	2 yr	Nagasaki to Toyama
<i>Strongylocentrotus intermedius</i>	1849	3 cm	2 yr	Hokkaido, Aomori, Iwate
<i>Strongylocentrotus nudus</i>	866	4–5 cm	2 yr	North to Toyama in Sea of Japan, north to Ibaraki in Pacific

*Local price was calculated from the average price in 2008 landed in a prefecture where catches each species dominantly.

表 14、日本海膽生產地點、海膽放流數量和物種

Species and hatchery of origin	Number of release sites	Total seed released
Totals for <i>Strongylocentrotus intermedius</i>	315	71,181,000
<i>Strongylocentrotus nudus</i>		
Fukushima Prefectural Aquaculture Association	6	136,000
Hachinohe Minato Fisheries Cooperative Association	15	276,000
Hakodate City Toi Sea Urchin Seed Center	8	820,000
Hakodate Esan Sea Urchin Seed Center	5	1,500,000
Hokkaido Shikabe Fisheries Seed Center	18	1,105,000
Iwate Aquaculture Association, Taneichi Branch	58	2,441,000
Kamiisogun Fisheries Cooperative Association	7	320,000
Totals for <i>Strongylocentrotus nudus</i>	117	6,598,000
<i>Tripneustes gratilla</i>		
Kagoshima Prefectural Fisheries Technology and Development Center	22	95,000
Okinawa Prefectural Sea Farming Center	2	8,000
Totals for <i>Tripneustes gratilla</i>	24	103,000

表 15、澎湖縣政府海膽管理 17 年的成果

澎湖海膽管理17年來的成果

年度	放流數量(顆) / 日期	種類	捕撈量(顆)
98	5,000	馬糞海膽	
99	4,746	馬糞海膽	
100	4,200	馬糞海膽	
101	33,691	馬糞海膽、紫海膽	
102	23,687	馬糞海膽、紫海膽、黑海膽	
103	8,659	馬糞海膽、紫海膽	
104	3,000	雜色角孔海膽、紫海膽	
105	8,700	馬糞海膽、雜色角孔海膽	
106	8,000	紫海膽	4萬
107	1.5萬(4.2)	馬糞海膽	2萬
108	1.5萬(8.31)	馬糞海膽	8萬
109	0		10萬
110	5 – 8萬(新聞稿)		6萬

表 16、栽培漁業區 A 海域中潮間帶出現的海膽個體數

表 10、2018 年 1-8 月 A 栽培漁業區潮間帶中海膽出現之個體數

	1	2	3	4	5	6	7	8
口鰓海膽科 Stomopneustidae								
口鰓海膽 <i>Stomopneustes variolaris</i>	3	5			1	1	2	3
壺海膽科 Brissidae								
脊背壺海膽 <i>Brissus latecarinatus</i>						1		
長海膽科 Echinometridae								
梅氏長海膽 <i>Echinometra mathaei</i>		3					4	2
毒棘海膽科 Toxopneustidae								
白棘三列海膽 <i>Tripneustes gratilla</i>			1					
冠海膽科 Diadematidae								
刺冠海膽 <i>Diadema setosum</i>		1			1	1		1

表 17、栽培漁業區 B 外圍海域中潮間帶出現的海膽個體數

表 11、2018 年 1-8 月 B 外圍海域潮間帶中海膽出現之個體數

	1	2	3	4	5	6	7	8
口鰓海膽科 Stomopneustidae								
口鰓海膽 <i>Stomopneustes variolaris</i>	4	7			1	2	3	6
長海膽科 Echinometridae								
梅氏長海膽 <i>Echinometra mathaei</i>	1	2			2		4	
毒棘海膽科 Toxopneustidae								
白棘三列海膽 <i>Tripneustes gratilla</i>	1							
冠海膽科 Diadematidae								
刺冠海膽 <i>Diadema setosum</i>							1	

表 18、低潮線以深 5 個測點之馬糞海膽密度棘出現率

表 12、2018 年 1-8 月低潮線以深區中 5 個測點之白棘三列海膽密度及出現率(%)

月份 測點	1	2	3	4	5	6	7	8	出現率
第 1 區	0.01(1)	0.02(2)	0.01(1)	0	0	0	0	0	37.5
第 2 區	0.07(7)	0.09(9)	0.13(13)	0.03(3)	0.08(8)	0.12(12)	0.13(13)	0.42(42)	100.0
第 3 區	0.13(13)	0.04(4)	0.11(11)	0.03(3)	0.10(10)	0.09(9)	0.14(14)	0.16(16)	100.0
第 4 區	-	-	0.01(1)	0	0	0	0	0	16.7
第 5 區	-	-	0.01(1)	0	0	0	0	0	16.7

*數值：密度(個體數)

*面積：1m²(100m²)

*第 1 區、第 2 區及第 3 區於 1 月至 8 月調查 8 次

*第 4 區及第 5 區於 3 月至 8 月調查 6 次

表 19、A 測線外之馬糞海膽個體數

表 13、2018 年 1-8 月 A 栽培漁業區中各測線外之白棘三列海膽個體數

月份 測點	1	2	3	4	5	6	7	8
第 1 區周圍			2					
第 1~2 區間	8		4	31	7	1	8	20
第 2~3 區間	4		2		3	43	30	13
海域中央 (平行於海岸線)				11	95	55	1	72

表 20、A 栽培漁業區及 B 外圍海域中潮間帶出現的生物

表 1、A 栽培漁業區及 B 外圍海域中潮間帶生物之出現(續)		
	A 栽培漁業區	B 外圍海域
司氏酋婦蟹 <i>Eriphia smithii</i>	+	
方蟹科 Grapsidae		
平背蜞 <i>Gaetice depressus</i>	+	+
白紋方蟹 <i>Grapsus albolineatus</i>	+	+
絨毛近方蟹 <i>Hemigrapsus penicillatus</i>	+	+
藻蝦科 Hippolytidae		
花斑掃帚蝦 <i>Saron marmoratus</i>	+	
蜘蛛蟹科 Majidae		
單刺單角蟹 <i>Menaethius monoceros</i>	+	
沙蟹科 Ocypodidae		
斯氏沙蟹 <i>Ocypode stimpsoni</i>	+	
瓷蟹科 Porcellanidae		
日本岩瓷蟹 <i>Petrolisthes japonicus</i>	+	+
梭子蟹科 Portunidae		
底棲短槳蟹 <i>Thalamita prynna</i>	+	+
扇蟹科 Xanthidae		
絨毛仿銀杏蟹 <i>Actaeodes tomentosus</i>	+	
光掌滑面蟹 <i>Etisus laevimanus</i>	+	+
沙跳蝦科 Talitridae		
扁跳蝦 <i>Orchestia platensis</i>	+	+
指蝦蛄科 Gonodactylidae		

表 21、A 栽培漁業區及 B 外圍海域中低潮線以深出現的生物

表 2、A 栽培漁業區及 B 外圍海域中低潮線以深區生物之出現(續)

	A 栽培漁業區	B 外圍海域
長碑碟蛤 <i>Tridacna maxima</i>	+	
鐘螺科 Trochidae		
銀塔鐘螺 <i>Tectus pyramis</i>	+	
棘皮動物門 Echinodermata		
蛇星科 Ophidiasteridae		
藍指海星 <i>Linckia laevigata</i>	+	
口鰓海膽科 Stomopneustidae		
口鰓海膽 <i>Stomopneustes variolaris</i>	+	
長海膽科 Echinometridae		
紫海膽 <i>Anthocidaris crassispina</i>	+	
梅氏長海膽 <i>Echinometra mathaei</i>	+	
毒棘海膽科 Toxopneustidae		
斑點毒棘海膽 <i>Pseudoboletia maculata</i>	+	
喇叭毒棘海膽 <i>Toxopneustes pileolus</i>	+	
白棘三列海膽 <i>Tripneustes gratilla</i>	+	+
冠海膽科 Diadematidae		
刺冠海膽 <i>Diadema setosum</i>	+	+
海參科 Holothuriidae		
黑海參 <i>Holothuria atra</i>	+	+
蕩皮參 <i>Holothuria leucospilota</i>	+	+
脊索動物門 Chordata		
魷科 Dasyatidae		
古氏新魷 <i>Neotrygon kuhlii</i>	+	
鯧科 Muraenidae		
大斑裸胸鯧 <i>Gymnothorax favagineus</i>	+	
鱸科 Serranidae		
玳瑁石斑魚 <i>Epinephelus quoyanus</i>	+	+
擬雀鯛科 Pseudochromidae		

表 22、A 栽培漁業區及 B 外圍海域中潮間帶出現的蝦蟹類

表 1、A 栽培漁業區及 B 外圍海域中潮間帶生物之出現(續)		
	A 栽培漁業區	B 外圍海域
司氏酋婦蟹 <i>Eriphia smithii</i>	+	
方蟹科 Grapsidae		
平背蜆 <i>Gaetice depressus</i>	+	+
白紋方蟹 <i>Grapsus albolineatus</i>	+	+
絨毛近方蟹 <i>Hemigrapsus penicillatus</i>	+	+
藻蝦科 Hippolytidae		
花斑掃帚蝦 <i>Saron marmoratus</i>	+	
蜘蛛蟹科 Majidae		
單刺單角蟹 <i>Menaethius monoceros</i>	+	
沙蟹科 Ocypodidae		
斯氏沙蟹 <i>Ocypode stimpsoni</i>	+	
瓷蟹科 Porcellanidae		
日本岩瓷蟹 <i>Petrolisthes japonicus</i>	+	+
梭子蟹科 Portunidae		
底棲短槳蟹 <i>Thalamita prymna</i>	+	+
扇蟹科 Xanthidae		
絨毛仿銀杏蟹 <i>Actaeodes tomentosus</i>	+	
光掌滑面蟹 <i>Etisus laevimanus</i>	+	+
沙跳蝦科 Talitridae		
扁跳蝦 <i>Orchestia platensis</i>	+	+
指蝦蛄科 Gonodactylidae		

表 23、A 栽培漁業區及 B 外圍海域中低潮線以深出現的魚類

表 2、A 栽培漁業區及 B 外圍海域中低潮線以深區生物之出現(續)

	A 栽培漁業區	B 外圍海域
雀鯛科 Pomacentridae		
條紋豆娘魚 <i>Abudefduf vaigiensis</i> *	+	
霓虹雀鯛 <i>Pomacentrus coelestis</i> *	+	+
藍紋高身雀鯛 <i>Stegastes fasciolatus</i> *	+	+
隆頭魚科 Labridae		
黑星紫胸魚 <i>Stethojulis bandanensis</i>		+
哈氏錦魚 <i>Thalassoma hardwicke</i>		+
新月錦魚 <i>Thalassoma lunare</i>		+
二齒鮨科 Diodontidae		
六斑二齒鮨 <i>Diodon holocanthus</i>	+	+
合計	41	31
共計 4 門 46 種		

*為藻食性物種

表 24、以陸上閒置九孔養殖池再利用養殖海膽的預估費用

一 預估費用

2022/9/20

	項目名稱	單價	數量	金額	備註
	電費 3HP	1,500	3	4,500	1 期 3 個月
	人工 2 人	30,000	6	180,000	2 人 3 個月
	養殖池租金(7 公噸水)	10,000	1	10,000	7 個九孔養殖池
	飼料購入運輸	10,000	3	30,000	剩菜類
	種苗購入	時價		0	種苗殼寬 3 公分
	器具分攤	5,000	1	5,000	閒置九孔養殖池再利用
			總計	229,500(g)	

表 25、以陸上閒置九孔養殖池再利用養殖海膽的利潤分析

二 利潤分析部

損益平衡點試算

苗價	每噸養殖數量	每粒批價	每池數量	費用總額	成本金額	單粒利潤	收穫率	利潤%	每池利潤	每池利潤	每池利潤
20	500	86	3,500	299,500	85.6	0.4	0.50		1,200	1,275	1,350
20	700	67	4,900	327,500	66.8	0.2	0.24		640	680	720
20	900	57	6,300	355,500	56.4	0.6	1.01		2,880	3,060	3,240

利潤試算

苗價	每噸養殖數量	每粒賣價	每池數量	費用總額	成本金額	單粒利潤	利潤%	每池利潤	每池利潤	每池利潤
20	500	100	3,500	299,500	85.6	14.4	16.9	40,400	42,925	45,450
20	700	100	4,900	327,500	66.8	33.2	49.6	130,000	138,125	146,250
20	900	100	6,300	355,500	56.4	43.6	77.2	219,600	233,325	247,050

苗價	每噸養殖數量	每粒賣價	每池數量	費用總額	成本金額	單粒利潤	利潤%	每池利潤	每池利潤	每池利潤
20	500	150	3,500	299,500	85.6	64.4	75.3	180,400	191,675	202,950
20	700	150	4,900	327,500	66.8	83.2	124.4	326,000	346,375	366,750
20	900	150	6,300	355,500	56.4	93.6	165.8	471,600	501,075	530,550

計算公式說明：

單價(c)=費用總額(b)/每池數量(a)

每池數量(a)=每公噸養殖數量(h)*7 公噸容量(利用九孔池養殖)

費用總額(b)=費用總計(g)+(苗價(f)X 每池數量(a)

單價(c)=費用總額(b)/[每池數量(a)X 收穫率(i)]

每池利潤(e)=每池數量(a)X 收穫率(i)X 每粒賣價(d)-費用總額(b)

八、照片



照片 1、實驗組 A 放養密度越高 (A2：每公噸水體養 300 個海膽、A3：500)，發現海膽彼此之間出現同類相食

九、回答審查委員意見

編號	審查委員意見	回答
1	p.10 第四行起種苗場今年(2022)遭受寒害...可否就期末報告實際狀況陳述。	已遵所囑修改
2	p.12 倒數第 4、5 行塑膠浮籠及九孔養殖池之長度單位標示清楚。	已遵所囑修改
3	p.15 圖(4)浮在 FRP「統」，請更正為桶，另整頁之數字單位請分別補列公分或顆。	已修改。但數海膽的單位是顆或個，即使審查委員意見也不同。所以視文章情況而定
4	p.20 整頁有多處漏列單位，請補正。	已修改
5	p.21 圖(11)4~5 月，養殖成長曲線圖係依據本縣種苗場或宜蘭購置海膽苗未標列清楚。	已遵所囑修改
6	p.23 第 5 行及第 11 行有縣立種苗繁殖場與澎湖縣立種苗繁殖場等稱謂，請統一正為澎湖縣水產種苗繁殖場。	已遵所囑修改
7	p.26 第 2 段第 1 行及第 7 行之「和」磁共振，請更正為「核」磁共振。	已遵所囑修改
8	p.28 第 2 行養殖 35,000 個海膽，請修正為 3,500 顆海膽。	已遵所囑修改
9	期末報告應包括期中結果併述才完整。	已遵所囑併述
10	利潤分析每噸養殖 900 顆利潤最大，但是否有考慮到存活率的問題。	有。依本實驗的研究結果，最適當的養殖密度尚不明，D 組放養密度在 500 時的存活率式 100%，放養密度還可提高。創新養殖設備的設計。一個優良商業規模海膽的養殖系統可最大限度地降低養殖海膽的死亡率包括互噬殘食，最大限度地提高海膽接觸到飼料的機會，最大限度地清除海膽排泄物並淨化水質，為生產高質量的海膽生殖腺。
11	p.12 結果與討論:未將期中報告「稚海膽攝食陸生植物及海藻的成長率和存活率之中間育成試驗成果」(本案委託工作第一項)納入期末報告，請補充納入。	同意見 9，已遵所囑納入

12	海膽攝食陸生植物和海藻的放養密度已遵所囑補充說明如下。試驗結束時生試驗，依委託事項在實驗開始、定期及殖腺指數介於7.15~10.29%。海膽殼寬在結束時需測定生殖腺成熟度、指數，結5.5公分以下者皆觀察不到生殖腺。果與討論亦未見成果分析，請補充說明。	
13	p.18、19 表5 表6D(高麗菜)第二組 9/27 平均殼長(55.64 mm)較 9/13(55.71 mm)為小，越養越小，其原因為何？	推測是採樣誤差，重要的是沒有統計上的差異。
14	p.20 表7 水產種苗場提供的本地種海膽從4/1至9/27各種放養密度餵食高麗菜存活率皆為100%，而宜蘭種餵食高麗菜放養密度300及500存活率各為85%和76%，其差異為何？是否與放養容器材質不同有關？	採購自宜蘭之種苗(A組)吾人不知其生產過程，此外宜蘭養殖海膽的鹽度為28比澎湖32低。D組海膽個體的活動空間遠比A組大約20倍，A組的養殖空間擁擠是否因此緊迫導致同類相食(互相殘食)是造成實驗組A存活率下降的主因，仍需進一步做研究去釐清。
15	p.27 表9 收穫率80%、85%、90%之每池利潤未依表列計算公式說明計算，請重新修正。又每噸養殖數量700及900較實驗密度高出甚多，可能造成互相殘殺，其收穫率(存活率)能否達80%以上？	依本實驗的研究結果，最適當的養殖密度尚不明，D組放養密度在500時的存活率式100%，放養密度還可提高。需進一步做研究去釐清。
16	依表7 表8 表9 分析，養殖海膽每粒售價至少要100元才有利潤可言，與在地野生海膽及國外進口價格相較是否有競爭力？	是否與在地野生海膽或國外進口海膽有競爭力只能未來由饕客決定
17	請就試驗結果提出最佳飼料排序及最適放養密度範圍。	最佳飼料排序馬尾藻、高麗菜、石蓴。依本實驗的研究結果，最適當的養殖密度尚不明，D組放養密度在500時的存活率式100%，放養密度還可提高。
18	目錄至表目錄部分:句子最後有「:」、「。」請刪除，頁次建議用羅馬數字。	已遵所囑修改
19	p.20 第2、3、5行(表5)(表6)請修正為(表7)	已遵所囑修改
20	p.34 第7行「實驗結」並不理想，請修正「實驗結果」並不理想。	已遵所囑修改
21	p.35 第5行栽培漁業「計劃」，請修正為「計畫」。	已遵所囑修改

22	p.45 第 16 行烏坎海域「育」…字多於請刪除。	已遵所囑修改
23	封面，有關委託單位至計畫全程之內容，建請移至內頁第一頁為宜；而執行機關:應為國立台灣海洋大學；林士超非林世超，請修正。	已遵所囑修改
24	p.8,第 7 行後面，…150-300 元新台幣，宜請加元新，較清楚完整。	已遵所囑修改
25	期末及成果報告之撰寫，章節段落請沿用一、(一)、1、(1)、…等之方式排列為宜。	已遵所囑修改
26	p.10,中下，文字底下橫線說明，因已是期末報告，宜以現在式書寫陳述說明為宜。	已遵所囑修改
27	p.12,第 5 行，本研究使用的澎湖白棘三列海膽動物由澎湖縣立種苗繁殖場…，建議修改為本研究使用的白棘三列海膽由澎湖縣水產種苗繁殖場…。	已遵所囑修改
28	p.14,表 1 中，無活存率之資料，請補充；total(個或 ind.)，宜有單位。	已遵所囑修改
29	p.14,第 4 行中，…浮在 D 圓形塑鋼…，D 是甚麼?圓形塑鋼後應加入桶；圖 3、圓形塑鋼桶…，少了個桶；第 7 行中，浮在 FRP 統的黑色…，統改為桶；第 9 行中後，…隨機平均分配…，少了個均。	已遵所囑修改
30	p.15,圖 4、浮在 FRP 統的…，統改桶；倒數第 4 行中，…圓形塑鋼直立圓筒…，筒應改為桶；另此塑鋼養殖容器也非直立形啊!	已遵所囑修改
31	p.15,放養密度宜有單位，如 100,300,500 個/公噸，或 ind./Ton。	已遵所囑修改
32	p.17,倒數第 4 行後，…3 個放養密度養。刪除後面的養。	已遵所囑修改
33	p.20,第 1 行前，表 5 應是表 7 之誤。	已遵所囑修改
34	p.21,圖 11,第 1 行後，…在四月和 8 月…，四改為 4，因橫書以求一致。	已遵所囑修改

35	p.23 PH 8.3 請修正為 pH8.3；圖 13.文字資料及圖形不清晰，請改正。	已遵所囑修改
36	p.27,有關治具是甚麼？	養殖器具
37	p.29,第 17 行前，…人工投餵成本…，非人工投喂成本。	已遵所囑修改
38	p.32-36，有關各海膽物種之學名，英文字體請以斜體字或正體字於其底加橫線，以符規範。	已遵所囑修改
39	p.44,倒數第 8 行前，…日本國東京海洋…，應是…日本國立東京海洋…。	已遵所囑修改
40	p.46,倒數第 2 行中，…2018 年 1 月執行至 8 月，1 後少了個月。	已遵所囑修改
41	請問從本實驗的研究結果，您認為最適當的養殖密度是多少？要養殖多大的規模才能符合經濟效益？	如果在批發市場每個海膽售價為 100 元，海膽養殖的收穫率分別以 85%和 90%試算，85%利潤將是負數 -2,000。如果收穫率提升至 90%則利潤將是 15,500。依本實驗的研究結果， <u>最適當的養殖密度尚不明</u> ，D 組放養密度在 500 時的存活率 100%，放養密度還可再提高。 <u>批發市場每個海膽的售價與收穫率極端左右利潤和經濟效益。</u>
42	本實驗放養密度，300 及 500 個/噸，有互相殘食的問題，代表有空間競爭的現象，請問應如何避免？	創新養殖設備的設計。一個優良商業規模海膽的養殖系統可最大限度地降低養殖海膽的死亡率包括互噬殘食，最大限度地提高海膽接觸到飼料的機會，最大限度地清除海膽排泄物並淨化水質，為生產高質量的海膽生殖腺。
43	p.7,摘要，最後一行，有關海膽餵食仙人掌，請問作過預備實驗了嗎？可能性有多少？否則後面的那段話就變成多餘了。	已遵所囑修改