

國立澎湖科技大學
水產資源與養殖碩士班
碩士學位論文

澎湖卵葉鹽草 (*Halophila ovalis*)

生物量季節性變化及溫度與鹽度

對種子發芽影響之研究

Study on the seasonal variation of biomass and
the effect of temperature and salinity on seed
germination of *Halophila ovalis* in Penghu

指導教授：徐振豐

研究生：趙元寧 撰

中華民國 107 年 1 月

國立澎湖科技大學
水產資源與養殖碩士班
碩士學位論文

澎湖卵葉鹽草 (*Halophila ovalis*) 生
物量季節性變化及溫度與鹽度對種
子發芽影響之研究

Study on the seasonal variation of biomass and the
effect of temperature and salinity on seed
germination of *Halophila ovalis* in Penghu

指導教授：徐振豐

研究生：趙元寧 撰

National Penghu University

中華民國 107 年 1 月

國立澎湖科技大學
碩士學位考試委員會審定書

本校 水產養殖系水產資源與養殖碩士班 趙元寧 君

所提論文（中文）澎湖卵葉鹽草（*Halophila ovalis*）生物
量季節性變化及溫度與鹽度對種子發芽
影響之研究

（英文）Study on the seasonal variation of biomass
and the effect of temperature and salinity
on seed germination of *Halophila ovalis* in
Penghu

合於碩士資格水準、業經本委員會評審認可。

口試委員：

徐振豐

張睿昇

張志剛

指導教授：

徐振豐

研究所所長：



中 華 民 國 1 0 7 年 1 月 3 0 日

摘 要

分布在岐頭灣的卵葉鹽草 (*Halophila ovalis*) 為澎湖覆蓋率最高的海草床，依存的生物種類豐富，具有相當重要的生態價值，但受到人為干擾與環境變遷的影響，分布範圍也逐漸變小。本研究顯示卵葉鹽草全年覆蓋率在 7-8 月及 12-2 月出現 2 次的降幅；在 7-8 月高水溫期間第 3 對葉片有明顯變小的趨勢；生物量、地下莖長及葉片數分別在 4-7 月及 11-1 月間出現 2 個高峰，花果期也隨之出現；地上部與地下部的比值平均僅為 0.49 ± 0.11 ，全年出現 4 個起伏，顯現生命週期短、生長迅速的模式；在東北季風強盛的 10-1 月，地下莖長度變長以便於錨固。鹽度在 25 及 35ppt 與水溫 30°C 時卵葉鹽草植株的生長率最佳。種子在發芽後，由子葉突起伸展、胚根伸出、由第 1 到第 5 葉及第 1 對新芽陸續生出。低鹽度不僅能使發芽率提升，更能縮短發芽期程。有、無光照對發芽率雖然沒有顯著差異，但無光照處理的平均發芽日數明顯較短，加快發芽期程；而光照處理有助於幼苗長出更多的葉子。雖然發芽係數以無光照、5ppt 的最佳，但考量到幼苗的成長，以光照、10ppt 為最適發芽條件。以 10°C 、35ppt 的處理最適宜海草種子的保種條件。

關鍵字:卵葉鹽草、生物量、種子發芽

Abstract

The coverage of seagrass *Halophila ovalis* in Citou Bay is the highest of all the seagrass meadows in Penghu. It has high ecological importance because there are abundant species of creatures. However, the distribution of the seagrass meadow is shrinking because of the influence of human disturbance and environmental changing. In this study, it revealed that the coverage dropped twice in a year, during July to August and December to February. The third pair of leaves was obviously smaller during the high-water temperature period of July to August. There were two peaks of biomass, rhizome length, and leaf amount during April to July and November to January; moreover, blooming and fruiting periods appeared as well. The ratio of shoot system to root system were 0.49 ± 0.11 . There were four undulations of the curve showed that it has a short life cycle and rapid growing speed. The length of rhizome grew longer during October to January for anchoring in the monsoon season. There was the best growth rate under the salinity of 25 and 35ppt and the temperature of 30°C . After germinating, the cotyledon extended and radicle stretched, and then the first to the fifth leaf and the first pair of buds grew consecutively. Low salinity would not only promote the germination rate but also shorten the time frame of germination. There was no statistical significant difference of germinate rate between the group with and without artificial light. However, the average germination days of the group without artificial light was obviously shorter than the other. Providing light to the young seedlings would be helpful on growing more leaves. Considering the growth of young seedlings, the best germination condition would be under the salinity of 10ppt with light, although the best germination index was the condition under the salinity of 5ppt without light. Therefore, the best preservation condition for seagrass seeds was 10°C and 35ppt.

Keywords: *Halophila ovalis*, biomass, germination

謝 辭

本論文得以完成，首先要感謝恩師 徐振豐教授殷切鼓勵、悉心指導；論文初稿完成後，承蒙國立海洋科技博物館張睿昇博士、本系施志昀教授，百忙之中撥冗斧正，惠賜寶貴意見，使論文臻於至善，謹致上由衷謝意。

此外，也要感謝本系李孟芳教授、徐師母林惠美小姐及曾建璋主任，在求學的過程中的打氣加油；行政院農業委員會水產試驗所林慧秋小姐、翁進興副研究員、陳律祺助理研究員，細心教導資料分析方法，陳佳香、江姿吟小姐協尋文獻，鄭靜怡小姐協助翻譯；還有系上的信維、美英、禮弘、富琪、立進、秋錦及立菊的協助，謹此一併敬表謝忱。

最後要感謝外子在這二年半的修業期間，對家庭的照顧，給我最大的包容、支持，讓我得以完成學業。

目 錄

	頁次
中文摘要	I
英文摘要	II
謝辭.....	III
目錄	IV
壹、前言	1
貳、材料與方法	7
一、卵葉鹽草生物量季節性變化之調查研究	7
(一)採樣時間、頻度與地點	7
1. 採樣時間、頻度.....	7
2. 調查地點.....	7
(二)樣本採集、環境監測與生物量分析	7
1. 本採集方法	7
2. 固定測站環境之監測	8
(1)水溫.....	9
(2)強降雨對潮間帶海草床退潮期間鹽度變化	9
(3)底土粒徑分析.....	9
3. 卵葉鹽草生物量之季節性變化分析.....	9
(1)海草覆蓋率估算.....	9
(2)海草生物量.....	10
(3)地上部 / 地下部之比值	10
(4)地下莖長.....	10
(5)葉片數.....	10
(6)第 3 對葉片之長與寬.....	11
(7)卵葉鹽草花、果期與豐度.....	11
(三)卵葉鹽草在不同水溫與鹽度成長之比較.....	11
1.樣本來源與前處理	12
2.水溫與鹽度對成長之比較.....	12
(1)不同水溫成長比較.....	12
(2)不同鹽度成長比較.....	12
二、卵葉鹽草種子發芽型態變化與環境因子對種子發芽之影響.....	13
(一) 卵葉鹽草種子發芽型態變化	13
(二)環境因子對卵葉鹽草種子發芽之影響	13
1.光照與否及鹽度對種子發芽之影	13

2.發芽後經過鹽度馴化處理對幼苗葉子生長的影響.....	14
3.溫度對種子發芽之影響.....	14
4.種子保存試驗	15
5.種子發芽率、平均發芽日數及發芽係數.....	15
6.資料統計分析	16
參、結果	17
一、卵葉鹽草生物量季節性變化之調查研究	17
(一) 固定測站環境之間測	17
1. 水溫	18
2. 降雨對歧頭海草床棲地退潮期間鹽度之變化.....	18
3. 底土粒徑分析.....	19
(二) 卵葉鹽草生物量之季節性變化之調查研究.....	19
1. 海草覆蓋率.....	19
2. 海草生物量.....	20
3. 地上部/地下部之比值	21
4. 地下莖長.....	21
5. 葉片數.....	22
6. 第 3 對葉片之長與寬.....	22
7. 卵葉鹽草花、果期與豐度.....	23
(1) 雄花期與豐度	23
(2) 雌花期與豐度	24
(3) 果實期與豐度	24
8. 各測站點的覆蓋率、生物量與花果期時序與豐度分析.....	25
(三) 卵葉鹽草在不同水溫與鹽度成長之比較.....	25
1. 水溫.....	25
2. 鹽度.....	26
(四) 海草床生物相紀錄.....	27
二、卵葉鹽草種子發芽型態變化與環境因子對種子發芽之影響	28
(一) 卵葉鹽草種子發芽型態變化.....	28
(二) 鹽度對種子發芽之影響.....	29
1. 光照處理.....	29
2. 無光照處理.....	30
3. 各鹽度及有無光照，對發芽率、平均發芽日數的影響統計分析...31	
4. 發芽後經過鹽度馴化與否對生長葉數的影響.....	31
(三) 溫度對種子發芽之影響.....	31
(四) 種子保存試驗.....	32

肆、討論	33
一、卵葉鹽草生物量季節性變化之調查研究.....	33
(一) 水溫.....	33
(二) 強降雨對歧頭海草床棲地退潮期間鹽度之變化.....	34
(三) 底土粒徑分析.....	34
(四) 卵葉鹽草生物量之季節性變化.....	35
1. 覆蓋率.....	35
2. 生物量.....	37
3. 地上部與地下部之比值.....	37
4. 地下莖長.....	38
5. 第 3 對葉片之長與寬.....	39
6. 花期與果實期.....	39
二、卵葉鹽草在不同水溫與鹽度成長之比較.....	41
三、鹽度、有無光照及溫度對卵葉鹽草種子發芽之影響.....	44
四、種子保存試驗.....	46
五、海草的「無性生殖」與「有性生殖」效益比較.....	49
伍、結論與建議.....	49
一、結論.....	51
(一) 卵葉鹽草生物量季節性變化.....	51
(二) 環境因子對卵葉鹽草種子發芽之影響.....	51
二、建議.....	52
陸、參考文獻.....	54
柒、圖	66
捌、表	85
附錄 1：歧頭灣海草床生物相（軟體動物）	91
附錄 2：歧頭灣海草床生物相（棘皮動物）	93
附錄 3：歧頭灣海草床生物相（甲殼動物）	94

壹、前言

一億年前，海草(seagrass)由陸地回到海洋(den Hartog, 1970)，成為海洋沉水性的開花植物。由海草植株所組成的海底草原平坦寬廣，故有海草床(seagrass beds)之稱。主要的分布範圍在熱帶及溫帶沿岸海域的潮間帶至水深 6m 的砂泥底質，少數可生長在數十公尺深的環境中。為單子葉植物，具有維管束、發達的地下莖、根系及葉，在海中開花授粉、結果、散播種子，完成生活史(邵，1998；Kuo and den Hartog, 2000；林及蕭，2010)。

海草的分類為被子植物門 Magnoliophyta、單子葉植物綱 Liliopsida、澤瀉目 Alismatales，下分生長於海水環境裡的波西冬科 Posidoniaceae、絲粉草科 Cymodoceaceae、甘草科 Zosteraceae 及水蘚科 Hydrocharitaceae 等 4 科。目前全世界已記錄的海草種類計有 14 屬 72 種(Short *et al.*, 2007)，台灣鄰近的國家，如菲律賓記錄的有 13 種(Menez *et al.*, 1983)、日本 15 種(Miki, 1934；Tanaka *et al.*, 1962；Shimabuku, 1997)、中國大陸 22 種(鄭等，2013)。過去研究台灣海草的資料相當有限，最早可追溯至 1896 年田代安定(Yasusada Tashiro)在台灣所採得的小甘草 *Zostera nana* 標本(後來鑑定為線葉二藥草 *Halophila pinifolia*)；Hayata 於 1908 年記錄卵葉鹽草(*Halophila ovalis*(R. Br.)Hook. f., 1858)；之後由 Masamune 於 1954

記錄貝氏鹽草(*Halophila beccarii*)及泰來草(*Thalassia hemprichii*)；1978 年，Yang 記錄到單脈二藥草 (*Halophila uninervis*) 與甘草 (*Zostera japonica*)，1987 年記錄的有絲粉草(*Cymodocea rotundata*) 齒葉絲粉草 (*Cymodocea serrulata*)、針葉草 (*Syringodium isoetifolium*)；1993 年，Mok *et al.*，更在台灣南部恆春半島海域，水下 13m 處發現新紀錄種-毛葉鹽草 (*Halophila decipiens*)。Yang *et al.* (2002) 在台灣西南與澎湖的沿岸，首次針對台灣的海草進行調查研究，隨後柯 (2004) 更將臺灣、澎湖及東沙群島的海草種類及分布進行調查研究，確定了有 3 科 6 屬 10 種；Lin *et al.* (2005) 針對東沙島的海草進行調查時，記錄到台灣新紀錄種-鐮葉叢草 (*Thalassodendron ciliatum*)，使台灣的海草種類最後增至為 11 種。洗等(2011) 針對澎湖週邊海域的海草加以調查分類並記錄分布範圍，共發表了 2 科 3 屬 5 種的海草，即毛葉鹽草、卵葉鹽草、線葉二藥草、單脈二藥草及甘草此 5 種。

全球海草床所分佈的面積約為全海洋的 0.3% (Moore, 2003)，與珊瑚礁和紅樹林同列為三大典型濱海生態系，也是高生產量的生態系統之一，極具重要的生態功能 (林及蕭，2010；García-Marín *et al.*, 2013)，綿密的海草床植被是許多海洋生物極佳的棲息環境，也是一些大型的海洋動物如綠蠵龜 *Chelonia mydas* 與儒艮 *Dugong*

dugon 賴以生活的重要棲地 (Short *et al.*, 2007)，更是魚類重要的育成場 (Duffy, 2006; Orth *et al.*, 2006; Waycott *et al.*, 2009; 冼等, 2012)，因此與當地的漁業資源動態有著密切的關係。一般來說，同為沙質地，在有海草分布的棲地，其海洋生物的種類與豐度通常都比沒有海草分布的來得高 (李, 2009; 邱, 2009)。因海草床能提供生物躲避天敵的良好遮蔽 (Shulman, 1985; Heck and Orth, 2006; Orth *et al.*, 1984) 和豐富的食物資源 (Heck and Wetstone, 1977; Nakamura *et al.*, 2003)，所以是許多海洋幼生躲藏、覓食與成長的重要養育所 (McCloskey and Unsworth, 2015) 為名符其實的「海洋幼兒園」。除此之外，大面積的海草床具有減緩波浪、保護海岸、從海水中固定二氧化碳轉為能量存於海草植株中，是全球碳循環中很重要的碳庫之一 (Nellemann *et al.*, 2009; Fourqurean *et al.*, 2012)。行光合作用所釋放出的氧氣，更能提升海水及底土的溶氧量。而海水中的微量元素或養分也可經由海草進行循環，更有益於穩定海中沉積物並能淨化水質。對於溫度、酸鹼度 (pH)、鹽度等環境因子變化，海草雖有很大的耐受力，但唯獨對光線的要求較為嚴苛，對混濁的水質耐受力較低 (Romero *et al.*, 2006; McGlathery *et al.*, 2007; Waycott *et al.*, 2009; Milena *et al.*, 2009)。

全球海草床受到人為活動、海岸的開發、天然災害及全球氣候

變化之影響，使面積逐年消失（Japar and Zokaria , 2003；Short *et al.*, 2011），這些現象在台灣也如出一轍，使海草床的面積不增反減。如澎湖的鎮海灣海草床，在海岸線水泥化、增置消波塊及航道疏濬的工程中，海草棲地直接被破壞，或者導致水文的改變造成海沙飄移或堆積，使大面積海草床被掩埋；而頻繁的捕捉槍蝦的漁業行為，使得海草床破碎化；這些人為破壞讓原本連續性的海草床被切割成為片段，以致海草床面積逐漸萎縮，讓海草消失的速度越來越快（冼等，2011）。自 1990 年以來，全球每年海草床的消失面積平均約為 110 平方公里，估計約為全部海草面積的 7%。自 19 世紀以來，全球海草床約有 29 % 的海草生態環境已經流失。近幾十年來消失的速度更是急劇上升，流失的趨勢持續增加（Park & Lee, 2007；Waycott *et al.*, 2009），約有 14%（約有 10 種）的海草種類瀕臨滅絕（Short *et al.*, 2011）。

在 Rasmussen（1977）的研究報告中，北大西洋就曾發生大規模海草消失的情形，對生態系產生嚴重的傷害，重創當地扇貝漁業之外，連帶水禽種群也顯著的減少。唇亡齒寒的例子不只如此，*Zostera marina* 海草的消失，導致了 *Lottia alveus* 此種腹足類完全的滅絕（Carlton *et. al.*, 1991）。由此，海草與賴以生存的生物之間相依相存的關係可見一斑。

因此海草床與生物群落的在國際間愈來愈受到重視（張等，2013）。如鄰近的日本及中國大陸均對海草的移植或是播種方法進行了許多的研究與討論，更對海草床之復育作了許多的努力（Fonseca *et al.*, 1994；上野 等，2003；李等，2010），反觀國內對海草的研究尚處於拓荒開路之際，仍需投入更多的研究能量。

卵葉鹽草是一種雌雄異株的單子葉開花植物，是屬於體型較小的海草。地下莖直徑約 2mm，葉片和根生長在地下莖的莖節上，莖節間距 1-5cm；葉片呈綠色半透明狀，為圓形或卵形（圖 1），葉子的主脈與側脈近乎垂直，側脈與側脈間平行，為側出平行脈。卵葉鹽草的生長範圍廣泛，主要分布於熱帶印度洋及西太平洋周圍海域中，可說是世界上最常見的海草種類(Short *et al.*, 2010)，更是潮間帶淺坪優勢的物種（Beer *et al.*, 2006）。冼等（2011）針對澎湖海草基礎生態調查時指出，所調查潮間帶 13 處海域的海草優勢種均以卵葉鹽草為主，尤以白沙鄉岐頭村澎湖水族館前的卵葉鹽草海草床最具規模；張等（1992）所調查的澎湖北部海域海洋生物資源時指出，岐頭灣海草床生物相極為豐富，是許多魚蝦貝類繁育幼苗的棲所。顯示卵葉鹽草維持砂泥質地潮間帶海域生物的多樣性，具有相當重要的生態價值。國內外都曾對卵葉鹽草有許多相關報導，但是隨著海草地理分布的位置與氣候的差異，同一種海草所呈現的物候現象

也會有所不同 (den Hartog, 1970; 柯, 2004; 林等, 2010)。目前對澎湖週邊潮間帶優勢海草的卵葉鹽草, 卻未曾進行季節性生物量變化之研究, 故本研究將以此區的卵葉鹽草海草床進行調查, 以確認其季節性之生長變化。除此之外, 卵葉鹽草所生長的潮間帶水域中的環境因子 (如溫度與鹽度等) 易受潮汐、陸緣水的挹注及氣候的變化 (如強降雨或日照) 而改變 (洗等, 2015 及 2016), 在不同的溫度與鹽度環境下, 其成長否有差異, 本研究也將一併探討。

目前國內有關海草復育的相關技術尚處於起步階段, 僅以無性繁殖的方式, 對卵葉鹽草、單脈二藥草根及甘草等 3 種海草曾進行過復育試驗 (洗等, 2013 及 2014)。與無性繁殖的研究相比, 有性繁殖的相關報告更是闕如。因此本研究將探討溫度及鹽度的變化對卵葉鹽草的種子發芽之影響, 供未來海草有性繁殖研究之參考, 以期有助於恢復海草床以維持海洋生態的生物多樣性。

貳、材料與方法

一、卵葉鹽草生物量季節性變化之調查研究

(一) 採樣時間、頻度與地點

1. 採樣時間、頻度

本調查研究自 2016 年 3 月起至 2017 年 3 月止，以每月調查一次為原則，並在「花期」與「果實期」出現時增加調查頻度，調整為每週進行觀察記錄。

2. 調查地點

澎湖水族館前方潮間帶所生長之卵葉鹽草海草床範圍內(圖 2)，設有 3 個固定測站，進行生物量觀察與採樣分析。

(二) 樣本採集、環境監測與生物量分析

1. 樣本採集方法

在設置的 3 個固定測站(表 1 及圖 3)使用不銹鋼方形樣框(大小為 50×50cm，分成 10×10cm 共 25 個小格，每一小格面積為 100cm²)，每月記錄三個測站的海草覆蓋率。並選擇正中間的一小格樣框，使用鐵鏟鏟起此一小格內的海草塊與底土(挖掘的深度為 10cm)，攜回實驗室進行各項生物量的記錄與分析(圖 4)。採樣過程中，同時紀錄周邊海草床所出現的生物相。另外也於 2016 年 3 月採集各測站底土，並攜回實驗室進行底土粒徑分析。

2. 固定測站環境之監測

(1) 水溫

於 3 個固定測站上各設置 1 個水溫連續紀錄器，每小時紀錄 1 筆各固定測站的水溫資料，供本研究環境背景資料參考用。並於海草床邊緣處增設一個測站做為對照參考用（圖 5）。因紀錄時間冗長，過程當中可能會有紀錄器遺失無法回收或因電池耗盡而無法紀錄等情形發生，故在調查期間分別在 2016 年 10 月 28 日至 2017 年 5 月 2 日及 2017 年 5 月 2 日至 11 月 05 日止，分 2 階段設置紀錄器紀錄與回收下載，以降低上述風險。

(2) 強降雨對潮間帶海草床退潮期間鹽度變化

當調查期間出現大雨（heavy rain）或豪雨（extremely heavy rain）時，於退潮期間至調查海域所設置的 11 個測點（圖 6），進行採水，回實驗室使用鹽度計進行鹽度檢測，所監測的範圍不僅涵蓋前述海草採樣測站外，還包括鄰近的水域，以了解所影響鹽度改變之範圍，探討強降雨對海草床海水鹽度之變化。（備註：中央氣象局「大雨」的定義：指 24 小時累積雨量達 80mm 以上，或時雨量達 40mm 以上之降雨現象；「豪雨」的定義：指 24 小時累積雨量達 200mm 以上，或 3 小時累積雨量達 100mm 以上之降雨現象。）

(3)底土粒徑分析

將攜回的底土樣本中的生物殘碎物去除後，將樣本以恆溫箱用 60°C 烘乾後，依序用網目 2 mm、1 mm、500 μ m、250 μ m、125 μ m、63 μ m 之篩網過篩，秤取各篩網內顆粒之重量百分比。粒徑是指岩石或其他固體單一粒子的物理尺度，依 Folk (1966) 及謝等 (1993) 對底土粒徑的定義，分為小礫石或極細礫(2 mm 以上)、極粗砂(1-2 mm)、粗砂(500 μ m-1 mm)、中砂(250-500 μ m)、細砂(125-250 μ m)、極細砂(62.5-125 μ m) 及粉砂(62.5 μ m 以下) 等。

3. 卵葉鹽草生物量之季節性變化分析

(1)海草覆蓋率估算

以拍照目視估計記錄 50×50 公分不銹鋼方形樣框中的海草量，估算其所佔據的小樣框數(F)及在 25 個小框內的等級(0-5 級)，以得到其覆蓋率(English *et al.*, 1994)。海草覆蓋率等級、面積估算與百分評比之對照如表 2 所示，計算公式如下：

$$\text{覆蓋率 (C)} = \Sigma (F \times M) / 25$$

F=各等級(0-5 級)的小樣框數

M=該等級的百分評比

(2)海草生物量

指固定面積（100 cm²）海草海草植株之總重量。攜回實驗室的海草樣本以清水進行清洗，將葉片上的附著性生物及根系所纏繞的小石塊與砂粒剔除，並分成地上部（above-ground，葉片的部分及花果）及地下部（below-ground，地下莖與根的部分），再以吸水紙將植株表面上的水吸乾後，測量其濕重（圖 7）。

(3)地上部/地下部之比值（The ratio of above-ground to below-ground biomass）

係指植物地上部與地下部重量之比值，藉其比值的大小判斷海草植株生長之階段（邱等，2013）。其表示方法如下所示：

地上部/地下部之比值= T / R

T=地上部重，R=地下部重。

(4)地下莖長

指固定面積（100 cm²）海草植株地下走莖之總長。將上述地下部的地下走莖以電子游標卡尺進行量測至 0.01 mm。

(5)葉片數

指固定面積（100 cm²）海草葉片之總數。將上述地上部的葉片（包括新生芽）進行計數。

(6)第 3 對葉片之長與寬

柯 (2004) 在台灣海草分類與分布之研究論文指出，卵葉鹽草的葉片會依生長環境的差異而有所不同。Kaewsrikhaw & Prathap (2014) 對卵葉鹽草葉片進行形態量測時，也以第 3 對葉片為量測對象。而選擇第 3 對葉片的另一個理由是同一株海草的第 1 及 2 對葉片為新生與生長中的葉片，皆尚未完全成熟以至葉片形態差異較大；而第 3 對葉片已成熟，差異較小；第 4 對葉片旁則常長出分枝，使第 4 對葉片老化或已脫落。

(7)卵葉鹽草花、果期與豐度

每月從所採集的卵葉鹽草的樣本中檢視花與果實是否出現，加以記錄，並計算固定面積內 (100 cm^2) 所出現的雌花、雄花 (圖 8) 與果實 (圖 9) 的數量。果實的部分，除了以電子游標卡尺量測果實外部的長徑與短徑至 0.01 mm ，將以解剖刀剖開果實計算種子數，並以解剖顯微鏡量測種子的長徑與短徑。

(三) 卵葉鹽草在不同水溫與鹽度成長之比較

在進行卵葉鹽草季節性生物量調查時，發現測站 1 及 2 的水溫可能會受澎湖水族館前置池溢流口排水之影響而有不同，而使 3 個測站間的海草生物量、葉片形態、花期及果實期有所差異；強降雨也會使潮間帶淺坪的海水鹽度有驟降的現象。因此，為了解卵葉鹽

草在不同水溫與鹽度條件下之成長是否有差異，遂採集卵葉鹽草植株進行相關的成長試驗。

1. 樣本來源與前處理

卵葉鹽草植株採集於生長較佳的測站 2，將樣本攜回實驗室後以清水清洗後，以解剖剪刀剪取具有前 3 對葉片的植株，並以游標卡

尺量測實驗初始的地下莖長度至 0.01mm，完成實驗前處理。

光源使用 LED 植物生長燈，波長為 420-470nm 的藍光燈泡及波長 630-780nm 的紅光燈泡，藍、紅燈泡比為 3：1，光照時間以定時器設定為 12L：12D（圖 10）進行培養。

2. 水溫與鹽度對成長之比較

(1)不同水溫成長比較

水溫控制分為 26、28、30 及 32℃ 等共 4 組，以恆溫水槽進行溫度控制，每個水溫控制組分別置入 20 株已完成前處理的植株，觀察期共計 30 天，每 3 天記錄各組植株的地下莖長。

(2)不同鹽度成長比較

在 28℃ 的環境下，鹽度分成 5、15、25 及 35 ppt 等共 4 組，每個鹽度分別置入 5 株已完成前處理的植株，觀察期共計 30 天，每 3 天記錄各組植株的地下莖長。

植株成長率之計算公式如下所示：

$$\text{成長率} = (X_n - X_0) / X_0 \times 100\%$$

式中 X_n ：經培養至第 n 日的地下莖長度

X_0 ：培養前地下莖初始的長度

二、卵葉鹽草種子發芽形態變化與環境因子對種子發芽之影響

（一）卵葉鹽草種子發芽型態變化

一般種子發芽生理學定義，指胚根（或胚芽）突出包覆組織時，該種子即已發芽（郭，2015）。至於海草種子發芽之定義，不僅是種皮的破裂，而是當子葉突破包覆組織後，才算發芽（Kuo and Kirkman, 1992；Brenchley and Probert, 1998）。

在實驗前期，本研究先行採集卵葉鹽草種子以海水在室溫環境下培育，觀察卵葉鹽草種子在發芽後之形態變化，供後續以鹽度、水溫等對海草種子發芽影響之探討。

（二）環境因子對卵葉鹽草種子發芽之影響

1. 光照與否及鹽度對種子發芽之影響

將種子分別放置於有光照處理（光週期為 12L：12D、光照度為 $120 \mu\text{mol photo m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ）與無光照處理中（以鋁箔紙包覆培養皿遮光）。再分別設定為 0、5、10、20、30 及 35 ppt 等 6 種鹽度梯度，採雙因子實驗設計，每處理 3 重複，每重複 10 粒種子，置於

25°C 恆溫箱，每天觀察記錄發芽種子數，發芽後的種子立即移至 35ppt 海水、光照度為 $120 \mu\text{mol photo m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、光週期為 12L:12D 的環境中培育，每三天換水一次，全程共計 63 天，最後統計發芽數及幼苗生長葉數。

2. 發芽後經過鹽度馴化處理對幼苗葉子生長的影響

在 5 ppt 低鹽度海水中發芽的幼苗，分為直接放進 35ppt 海水培育或逐日提升鹽度至 35 ppt 進行鹽度馴化的二種處理方式。每處理 3 重複，每重複 10 粒種子。全程置於 25°C 恆溫箱，光照度為 $120 \mu\text{mol photo m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、光週期為 12L:12D 中，每三天換水一次，經 21 天後實驗結結束，記錄各組總葉片數。

3. 溫度對種子發芽之影響

適當的溫度也是種子發芽的必要條件之一。所以將所採集的種子分別在 10、15、20、25 及 30°C 等不同的溫度，以 5 ppt 的海水，進行種子發芽實驗，每組進行 3 重複，每重複使用 10 顆種子，全程光照度為 $120 \mu\text{mol photo m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、光週期為 12L:12D 中，每三天換水一次，共 21 天。

4. 種子保存試驗

本實驗將種子存於低溫高鹽的環境下試圖抑制發芽，之後再以較高溫與低鹽促使種子發芽，藉以探討是否可達到保種之目的。

將 260 顆新鮮的卵葉鹽草種子分別存放於鹽度 35 及 45 ppt 的滅菌海水中，保存在黑暗、10°C 的環境中 30 天；之後再挑選外形完整、無透明且大小相近的種子各 60 顆，每組鹽度處理以 20 顆為 1 小組，進行 3 重複；最後將這些種子移至鹽度 5 ppt 海水、溫度 25°C、光照度為 120 $\mu\text{mol photo m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、光週期為 12L:12D 的環境中進行發芽實驗，21 天後計算各組的發芽率。

5. 種子發芽率、平均發芽日數及發芽係數

參考郭（2015）及田（2014）的方法記錄種子發芽數，用來計算種子發芽率、平均發芽日數(Mean germination period, MGP)，參考許(2013)之方法計算發芽係數(coefficient of germination)，公式如下：

$$\text{種子發芽率} = \text{發芽種子數} / \text{試驗種子總數} \times 100\%$$

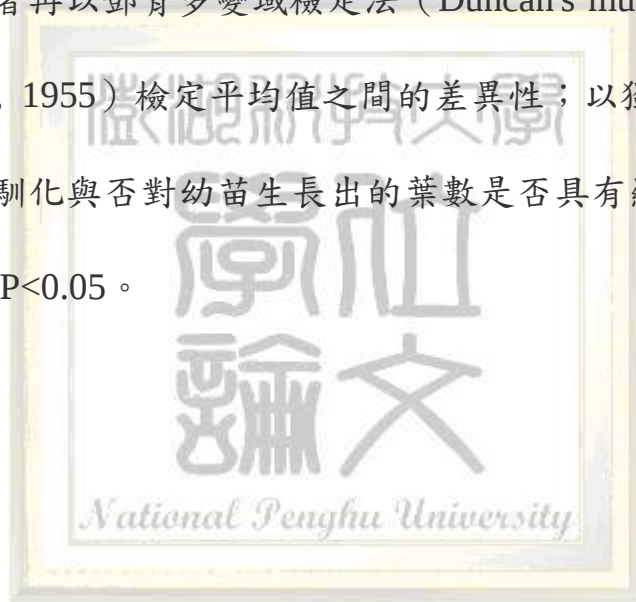
$$\text{平均發芽日數 } MTG(d) = \Sigma(n_i \times d) / N$$

式中 n_i 為第 i 天發芽種子數， d 代表發芽統計的第 i 天， N 為發芽種子的總數。

發芽係數 = (種子發芽率× 100 / 平均發芽日數)

6.資料統計分析

實驗數據分析採用 SPSS18.0 套裝軟體的單因子變異分析 (One-Way ANOVA) 將三個測站點之間的各生物量進行分析；以雙因子變異數分析 (Two-Way ANOVA) 來比較各鹽度和有無光照處理對種子發芽率、平均發芽日數的影響是否有顯著差異，顯著差異者再以鄧肯多變域檢定法 (Duncan's multiple range test) (Duncan, 1955) 檢定平均值之間的差異性；以獨立樣本 t 檢定檢測鹽度馴化與否對幼苗生長出的葉數是否具有顯著差異，顯著水準設為 $P < 0.05$ 。



參、結 果

一、卵葉鹽草生物量季節性變化之調查研究

(一) 固定測站環境之監測

1. 水溫

各測站水溫變化敘述如下：

(1) 測站 1

本測站在第 2 階段所設置的紀錄器，疑遭泥砂掩埋而遺失而無法收回，全程僅記錄 2016 年 10 月 28 日至 2017 年 5 月 2 日止第一階段的連續水溫資料，共計 4,468 筆。此期間水溫介於 10.9-37.2°C，平均水溫為 $21.3 \pm 3.6^{\circ}\text{C}$ （圖 11）。

(2) 測站 2

本測站在 2 個階段所設置的紀錄器均順利收回，但在第一階段因紀錄器故障僅記錄至 2016 年 1 月 31 日，全程所記錄的連續水溫共計 6,730 筆。此期間水溫介於 15.2-36.2°C，平均水溫為 $25.9 \pm 4.0^{\circ}\text{C}$ （圖 11）。

(3) 測站 3

本測站在 2 個階段所設置的紀錄器均順利回收，全程所記錄的連續水溫共計 8,946 筆。此期間水溫介於 11.6-41.5°C，平均水溫為 $26.1 \pm 4.7^{\circ}\text{C}$ （圖 11）。

(4)測站 4

本測站在 2 個階段所設置的紀錄器均順利回收，但在第一階段因紀錄器故障僅記錄至 2016 年 1 月 31 日，全程所記錄的連續水溫共計 6,730 筆。此期間水溫介於 $14.6\text{--}47.5^{\circ}\text{C}$ ，平均水溫為 $26.1\pm 5.0^{\circ}\text{C}$ （圖 11）。

2. 強降雨對岐頭海草床棲地退潮期間鹽度之變化

2017 年 7 月 31 日因輕颱海棠（HAITANG：編號 201710）經過澎湖北方海域，並夾帶大量的雨勢，單日降雨量高達 123.5mm（已達大雨之標準），更是 2017 年澎湖單日最高的降雨量（資料來源：中央氣象局網站）。故於上午 11 時潮水退至最低點（潮高 -75cm，中央氣象局海象預報中心-潮汐表），採水回實驗室以鹽度計進行檢測。

在所設置的 11 個測點（圖 6），所測得鹽度介於 4-17 ppt 之間（圖 12），平均為 13.7 ± 4.2 ppt，顯示強降雨對在退潮時潮間帶海水鹽度會有驟降的現象。除此之外，所檢測的測點局部區域鹽度也會受地形之影響而有較大的差異，如測點 7（位於澎湖水族館抽水站西側的小潮池）及測點 5（位於澎湖水族館前置池排水口東側），因地勢較高，退潮時幾乎曝露於空氣中，僅部分低窪處形成小潮池，此區域在退潮時經大雨降下後，鹽度驟降，僅剩

4 及 7 ppt；其餘近岸水深僅約 10cm 的 7 個（1-4、6、8-9）測點，鹽度於 14-16 ppt 之間；距岸較遠的沙洲北側，水深約 60cm 之表層和底層水鹽度分別為 16 及 17 ppt。從結果顯示，在退潮期間降雨量達「大雨」等級以上時，讓鹽度驟降至 48.5-87.9%，使潮間帶淺坪海域鹽度大幅改變。

3. 底土粒徑分析

經過篩秤各網層粒徑之重量後，3 個測站粒徑組成以極粗砂平均 $28.7 \pm 2.7\%$ 的比例最高（圖 13），其次依序分別為小礫石（ $23.3 \pm 7.1\%$ ）、中砂（ $20.8 \pm 1.9\%$ ）、粗砂（ $12.4 \pm 2.7\%$ ）、細砂（ $10.0 \pm 1.6\%$ ）、極細砂（ $2.6 \pm 0.9\%$ ）及粉砂（ $2.1 \pm 0.8\%$ ）。各測站所測粒徑組成重量百分比如表 3 所示，其粒徑組成比例相似，僅測站 2 的小礫石比例最高，粉砂比例也為 3 個測站中最低。

（二）卵葉鹽草生物量季節性變化之調查研究

1. 海草覆蓋率

調查海域係由卵葉鹽草單一種類所構成的海草床，周年各月間的平均覆蓋率起伏變化大，介於 30.2-73.0% 之間，平均為 $56.3 \pm 13.8\%$ 。從圖 14 可發現周年平均覆蓋率共出現 2 次的降幅，分別為 7-8 月及 12-2 月，其中又以 7-8 月的降幅最大。

各測站覆蓋率周年變化如下所述，測站 1 介於 42.0-75.0%之間，平均為 $57.7 \pm 11.8\%$ ；測站 2 覆蓋率為最高，介於 20.1-75.0%之間，平均為 $64.3 \pm 15.5\%$ 。雖然在 2016 年 8 月間，澎湖水族館在整修出水口閘門時，因怪手施工使測站 2 的卵葉鹽草遭受破壞，而無法測量；但在 9 月間，這些受損的卵葉鹽草覆蓋率已迅速恢復至 27.0%，至 10 月間，其覆蓋率又成為 3 個測站最高者；測站 3 覆蓋率為最低，介於 18.4-70.5%之間，平均為 $47.4 \pm 20.0\%$ （表 4）。

2. 海草生物量

周年各月間的生物量平均介於 $3.53-22.66 \text{ g}/100 \text{ cm}^2$ 之間，平均為 $11.78 \pm 6.24 \text{ g}/100 \text{ cm}^2$ ，全年 4-8 及 12 月等共 6 個月的平均生物量高於平均值（圖 15）。

周年各月間的地上部重量平均介於 $1.14-8.08 \text{ g}/100 \text{ cm}^2$ 之間，平均為 $4.13 \pm 2.50 \text{ g}/100 \text{ cm}^2$ ；周年各月間的地下部重量平均介於 $2.39-14.59 \text{ g}/100 \text{ cm}^2$ 之間，平均為 $7.64 \pm 3.88 \text{ g}/100 \text{ cm}^2$ （圖 15）。周年地上部的重量均小於地下部的重量，所佔比例介於 23.2-49.7%之間，平均為 $33.5 \pm 7.6\%$ （表 5）。

各測站生物量周年變化如下所述，測站 1 介於 4.42-23.94 g /100 cm² 之間，平均為 12.86 ± 6.98 g /100 cm²；測站 2 生物量最高，介於 2.01-26.80 g /100 cm² 之間，平均為 15.11 ± 8.58 g /100 cm²；測站 3 生物量最低，介於 1.24-13.99 g /100 cm² 之間，平均為 8.21 ± 4.71 g /100 cm²（圖 16）。

3. 地上部/地下部之比值

地上部/地下部之比值周年介於 0.35-0.76 間，平均為 0.49±0.11（圖 17）。

各測站地上部/地下部之比值周年分別為，測站 1 介於 0.31-0.72，平均為 0.53±0.13；測站 2 之比值為 3 個測站最高，介於 0.43-0.92，平均為 0.58±0.15；測站 3 之比值為 3 個測站最低，介於 0.15-0.80，平均為 0.37±0.20，低於平均比值（圖 18）。

4. 地下莖長

周年各月間卵葉鹽草地下莖的平均長度有明顯的季節性變化，長度介於 208.1-425.0 cm /100 cm² 之間，平均為 304.7 ± 78.2 cm /100 cm²，全年共出現 2 個高峰，分別在春末至夏季的 4-7 月間及冬季的 11-1 月間（圖 19）。這 2 個高峰的型式也有差異，在春末至夏季的 4-7 月的波峰所持續的時間長達 4 個月；而在冬季的 11-1 月間的波峰雖較高，但持續時間較短。

各測站周年地下莖長變化如下所述，測站 1 的長度最長，介於 193.0-608.6 cm /100 cm² 之間，平均為 334.9 ± 118.0 cm /100 cm²；測站 2 介於 116.8-481.8 cm /100 cm² 之間，平均為 318.0 ± 112.0 cm /100 cm²；測站 3 的長度最短，介於 43.1-399.8 cm /100 cm² 之間，平均為 254.4 ± 97.8 cm /100 cm²（表 6）。

5. 葉片數

周年各月間葉片數季節性變化明顯，介於 170-381 片 /100 cm² 之間，平均為 270 ± 64 片 /100 cm²，全年出現 2 個高峰，主要高峰期出現在春末至夏季的 4-7 月間及次高峰期為冬季的 12-1 月間（圖 20）。

各測站周年葉片數變化如下所述，測站 1 的數量最多，介於 173-440 片/100 cm² 之間，平均為 308 ± 80 片 /100 cm²；測站 2 介於 155-471 片 /100 cm² 之間，平均為 261 ± 84 片 /100 cm²；測站 3 的數量最少，介於 102-335 片 /100 cm² 之間，平均為 243 ± 74 片 /100 cm²（表 7）。

6. 第 3 對葉片之長與寬

周年各月間第 3 對葉片之長介於 10.2-13.9 mm 之間，平均為 12.3 ± 1.1 mm；第 3 對葉片寬介於 5.5-7.9 mm 之間，平均為 7.0 ±

0.8 mm。全年在夏季高水溫期時，第 3 對葉片有明顯變小的趨勢（圖 21）。

各測站周年第 3 對葉片型態變化如下所述，測站 1 的葉片長介於 10.7-16.1 mm 之間，平均為 12.5 ± 1.9 mm；葉片寬介於 5.7-8.8 mm 之間，平均為 7.2 ± 1.1 mm。測站 2 葉片長度最長，介於 10.9-16.8 mm 之間，平均為 13.8 ± 1.7 mm；葉片的寬度也最寬，介於 6.7-9.4 mm 之間，平均為 8.0 ± 0.7 mm。測站 3 葉片長度最短，介於 9.4-13.8 mm 之間，平均為 11.0 ± 1.2 mm；葉片的寬度也最窄，介於 4.8-7.0 mm 之間，平均為 5.9 ± 0.7 mm（表 8）。

7. 卵葉鹽草花、果期時序與豐度

(1) 雄花期與豐度

卵葉鹽草雄花花梗長 1-2cm、花苞呈橢圓型、由 3 片半透明的白色花瓣所組成，花瓣為長橢圓狀、長 4mm 寬 2mm、間雜暗紅色斑點。全年雄花的花期計有 2 期，分別為 5-6 月及 12 月（表 9），2 期的花期豐度差異不大，每 100cm^2 介於 0-2 朵（平均為 0.2 ± 0.7 朵/ 100cm^2 ）。

各測站周年雄花花期與豐度如下所述，測站 1 全年花期僅 1 期出現在 6 月，每 100cm^2 僅有 1 朵；測站 2 全年花期同樣

僅 1 期出現在 5 月，每 100cm^2 有 2 朵；測站 3 全年雄花計有 2 期，分別出現在 6 及 12 月，每 100cm^2 僅有 1 及 2 朵。

(2) 雌花期與豐度

雌花子房呈圓形長 1-2.5mm、三條苞片細如線長 3-5mm、花柱長 1-2mm。全年雌花的花期同樣計有 2 期，分別為 5-6 月及 10-12 月（表 9），雖然 5-6 月的花期較短，但豐度高，每 100cm^2 介於 4-23 朵（平均為 11 ± 8 朵/ 100cm^2 ），10-12 月花期較長，豐度卻較低，每 100cm^2 介於 1-8 朵（平均為 1 ± 3 朵/ 100cm^2 ）。

各測站周年雌花花期與豐度如下所述，測站 1、2 全年花期僅有 1 期在 5-6 月，測站 1 豐度為，每 100cm^2 分別有 4 及 8 朵，測站 2 為每 100cm^2 有 18 及 8 朵；測站 3 全年花期有 2 期，分別在 5-6 月的豐度介於 4-23 朵/ 100cm^2 ，10-12 月的豐度介於 1-8 朵/ 100cm^2 。

(3) 果實期與豐度

果實由 2 片苞片保護，為橢圓形、成熟時近乎球形，果皮光滑為淡黃色略帶粉紅或綠色、上有紅褐色小斑點。長 2.2-4.4mm 之間、寬 1.2-4.0mm 之間；每顆果實中約有 5-24 顆種子。

全年果實期計有 2 期，分別為 5-7 月及 11-12 月（表 9），以 5-7 月的果實期最長，豐度也最高，每 100cm² 介於 1-58 顆（平均為 10±18 顆/100cm²），11-12 月果實期短，豐度也低，每 100cm² 介於 1-3 顆（平均為 0.7±1.2 顆/100cm²）。

各測站周年果實期與豐度如下所述，測站 1 及 2 全年果實期僅 1 期，分別出現在 5-7 月，測站 1 豐度介於 1-9 顆/100cm²，測站 2 豐度介於 3-58 顆/100cm²。測站 3 全年果實期有 2 期；在 5-6 月的豐度介於 4-12 顆/100cm²，11-12 月的豐度介於 1-3 顆/100cm²。

8. 各測站點的覆蓋率、生物量與花果期時序與豐度分析

以單因子變異數分析三個測站點的覆蓋率及各生物量，分析結果如表 10 所示：測站 1 及 2 的覆蓋率、生物量、地上/地下部比值、地下莖長結果皆無顯著差異，但測站 2 與測站 3 之間均有顯著差異。第二測站的第 3 對葉長及葉寬為最高，與其他測站均有顯著差異（ $p < 0.05$ ）；三個測站的葉片數無顯著差異。

（三）卵葉鹽草在不同水溫與鹽度成長之比較

1. 水溫

溫度（26、28、30 及 32℃）處理之成長比較。經 30 日觀察，在 26℃ 的地下莖全組平均長度已成長至 28.9±18.6 mm，成長率為

124.1%，在第 15 日始有組織壞死潰爛的現象發生，並持續惡化使成長率趨緩，至第 30 日時，已有 10 株的地下莖壞死，佔 50%；28°C 的地下莖在第 27 日有部分片段的植株出現潰爛的現象，成長率趨緩，在第 30 日有 1 株地下莖潰爛，佔 5.0%，在 30 日之後成長至 48.0 ± 19.0 mm，最終成長率為 171.9%；30°C 此組的地下莖成長為 131.2 ± 42.4 mm，在第 27 日時，植株的部分片段開始有老化並有潰爛的現象，成長率開始趨緩，成長率為 328.7%，為各組最高；植株在水溫 32°C 的環境經 3 日後，20 株的植株便已全部壞死，成長率為 0%（圖 22）。

2. 鹽度

鹽度（5、15、25 及 35 ppt）處理之成長比較，從結果顯示，海草植株地下莖在鹽度 5 ppt 的環境中成長緩慢，至第 9 天全數潰爛，地下莖幾乎沒有成長，成長率僅 4.0%；15 ppt 初期，第 0-9 day 的階段，成長率也不高，僅 8.5%，有 40%植株潰爛，在第 9-24 day 的階段時，成長率緩緩增至 36.6%，在第 30 天植株潰爛率增加至 60%，老化植株也持續潰爛，成長率不增反減，又降至 17.2%；鹽度 25 及 35 ppt 環境中的植株不僅成長較快其趨勢也相似，經 30 天後，2 組成長率分別已達 181.4%及 170.1%，僅 25ppt 在第 30

天有一植株片段發生潰爛的現象，35ppt 的植株無潰爛壞死的情形（圖 23）。

（四）海草床生物相紀錄

調查期間在調查海域海草床所記錄的生物相包括軟體動物、棘皮動物及甲殼動物等，茲將所記錄之生物相組成描述如下，生物相參考附錄 1-3。

1. 軟體動物（**Mollusca**）為調查海域種類數最為豐富，共計 3 綱 13 科 26 種，包括雙殼綱有 7 科 15 種、裸鰓綱有 3 科 5 種及腹足綱 3 科 6 種。
2. 棘皮動物（**Echinodermata**） 共計 3 綱 4 科 6 種，包括海星綱（**Asteroidea**）1 科 1 種、海膽綱（**Echinoidea**）1 科 1 種及海參綱（**Holothurioidae**）2 科 4 種。
3. 甲殼動物（**Crustacea**） 共計 2 綱 7 科 12 種，包括軟甲綱（**Malacostraca**）6 科 11 種及肢口綱（**Merostomata**）1 科 1 種。

二、卵葉鹽草種子發芽形態變化與環境因子對種子發芽之影響

(一) 卵葉鹽草種子發芽形態變化

所採集的種子形態近乎球型，長徑介於 1.0-1.5mm 之間，平均長徑為 1.2 ± 0.14 mm；短徑介於 0.65-1.1mm 之間，平均短徑為 0.8 ± 0.15 mm（圖 24-1）。種子以無菌海水在室溫環境下培育，從種子發芽後的逐步發展可分為下列幾個階段（Japar *et al.*, 2011）：

1. **子葉(cotyledon)突起** 種子發芽前，種子一端呈現微微突起，種膜略有膨脹，上面的網格明顯可見（圖 24-2）。
2. **子葉延伸** 原本在種子內部的捲曲子葉由合點端（the chalazai end）伸出，逐漸延伸將膨脹的種膜撐開使之掉落（圖 24-3）。Kuo and Kirkman (1992) 認為當子葉突出包覆組織便算發芽，故此時期可視為已發芽。
3. **胚根(rodicle)延伸** 除子葉持續延伸外，另一頭的胚根也向外生長，在新生的胚根上還長出許多細毛（圖 24-4 及 5）。
4. **第 1 葉(first leaf)生成** 從子葉和胚軸(hypocotyl)處長出第 1 葉（圖 24-6）。
5. **第 2-4 葉(second - forth leaf)生成** 第 2-4 葉持續長出並長出側根(lateral root)（圖 24-7-9）。
6. **第 5 葉(fifth leaf)和新芽(new shoot)生成** 當長出 5 葉之

後，也長出細小的地下莖，前端有第一對新芽（圖 25-10）。

（二）鹽度對種子發芽之影響

1. 光照處理組

種子以不同鹽度（0、5、10、20、30 及 35 ppt）與光照處理後，經 9 週（63 天）的培育後，各組發芽率介於 20-63.3% 之間，平均為 $44.4 \pm 17.1\%$ 。各組發芽率分述如下（表 11）：

- (1) **0 ppt** 經培育 3 週，發芽率迅速增加至 46.7%，第 4 週後發芽率呈現趨緩現象，經 9 週後，發芽率達 53.3%（圖 26）。
- (2) **5 ppt** 其趨勢與 0 ppt 相似，在 3 週發芽率便已增至 56.7%，之後呈現趨緩，在 9 週高達 63.3%，為各組間最高（圖 26）。
- (3) **10 ppt** 發芽率在第 6 週趨緩後，第 8 週再迅速增至 60.0%（圖 26）。
- (4) **20 ppt** 發芽率緩緩增長，至第 6 週停滯後，第 8 週再緩緩增至 36.7%（圖 26）。
- (5) **30 ppt** 經培育 3 週，發芽率緩慢，僅 3.3%，第 4 週發芽率激增至 20.0%後，便停滯（圖 26）。
- (6) **35ppt** 經培育 4 週遲遲未有發芽現象，第 5 週激增至 30.0%後，發芽率趨緩，至第 9 週僅維持在 33.3%（圖 26）。

2. 無光照處理

種子以不同鹽度（0、5、10、20、30 及 35 ppt）與無光照處理後，經 9 週（63 天）的培育後，各組發芽率介於 10-56.7% 之間，平均為 $37.2 \pm 21.1\%$ 。各組發芽率分述如下（表 12）：

(1) 0 ppt 經培育 2 週，發芽率便已迅速增加至 46.7%，第 3

週後發芽率呈現停滯現象，直至第 8 週後，發芽率才又緩升至 50.0%（圖 27）。

(2) 5 ppt 在第 1 週時發芽率就已達 50.0%，之後呈現趨緩，直至第 8 週後，發芽率才又緩升至 56.7%（圖 27）。

(3) 10 ppt 全程發芽率均呈現穩定的增長，至第 9 週增至 56.7%，本組與 5ppt 的發芽率為各組間最高（圖 27）。

(4) 20 ppt 發芽率在第 2 週時增長至 33.3%，之後呈現趨緩甚至停滯的現象，發芽率最後為 36.7%（圖 27）。

(5) 30 ppt 經培育 3 週，發芽率僅增加到 3.3%，第 4 週緩緩增至 10.0%後，便停滯至第 9 週（圖 27）。

(6) 35ppt 培育至第 2 週發芽率為 10.0%，之後成長趨緩甚至停滯，發芽率最後為 13.3%（圖 27）。

3. 各鹽度及有無光照，對發芽率、平均發芽日數的影響統計分析

以雙因子變異數分析各鹽度及有無光照對發芽率的分析結果如表 13 所示：各鹽度對發芽率有顯著差異 ($p < 0.05$)；事後檢定以 0、5 及 10ppt 的發芽率較高（圖 28 及表 15），與其他鹽度有顯著差異；有無光照此二種處理對發芽率並沒有顯著差異；鹽度和有無光照之間的交互作用並不顯著。

各鹽度及有無光照對平均發芽日數的影響，以雙因子變異數分析結果如表 14 所示：各鹽度對平均發芽日數有顯著差異；0 和 5 ppt 的平均發芽日數較少與其他鹽度有顯著差異（表 15 圖 29）；與有光照的相比，無光照的發芽日數較少有顯著差異；鹽度和有無光照之間並無顯著的交互作用。

4. 發芽後經過鹽度馴化與否對生長葉數的影響

經低鹽 5ppt 發芽後的幼苗以直接放進海水培養或經過鹽度馴化的二種方法對幼苗葉數並無明顯差異 ($p > 0.05$)。

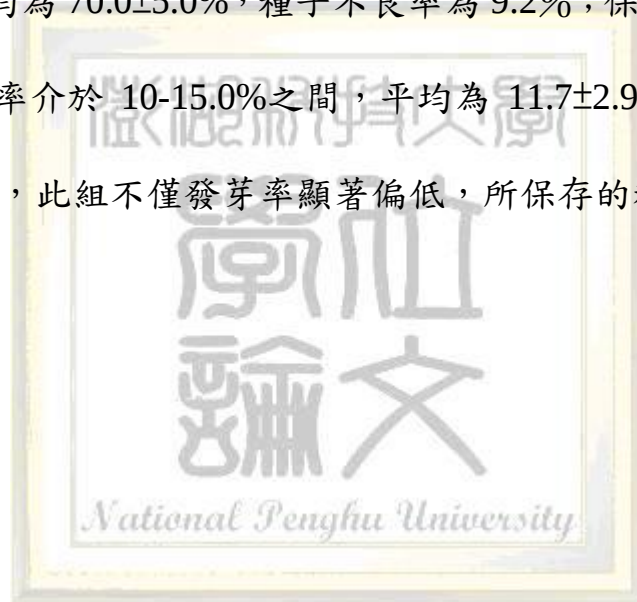
（三）溫度對種子發芽之影響

以 15、20、25 及 30°C 等不同溫度的處理，種子在 5 ppt 低鹽度環境中經 21 天的培育之後，從圖 30 可發現，隨著水溫的增加種子發芽率也隨之提高的趨勢，至 25°C 發芽率達 56.7%最

高，各組間有顯著差異。在 30℃ 時，種子因有微生物孳生使種子有壞死的現象出現，使發芽率最低。

(四) 種子保存試驗

將種子保存在 10℃ 低溫與 35 及 40 ppt 高鹽度的環境 30 天後，再將這些種子移至鹽度 5 ppt 溫度為 25℃ 的環境中進行萌發，經 21 日後，原來保存在鹽度 35 ppt 的種子，發芽率介於 65.0-75.0% 之間，平均為 $70.0 \pm 5.0\%$ ，種子不良率為 9.2%；保存在鹽度 45 ppt 的，發芽率介於 10-15.0% 之間，平均為 $11.7 \pm 2.9\%$ ，種子不良率為 47.5%，此組不僅發芽率顯著偏低，所保存的種子不良率也非常高。



肆、討 論

一、卵葉鹽草生物量季節性變化之調查研究

(一) 水溫

潮間帶水域環境的水溫除受天候影響外，潮汐的起落及日照強度是影響水溫變化的因素之一（冼等、2015）。Collier and Watcott (2014)更探討極端水溫對海草生長之影響研究指出，經連續 6 日，每日以 2.5 小時模擬退潮期間的極端水溫，將卵葉鹽草置於高水溫的環境中，在 35°C 時光合作用和成長皆停滯；超過 40°C 時會導致卵葉鹽草死亡。而 den Hertog (1970) 指出，海水在 10°C 以下，卵葉鹽草便無法存活。

分析所監測的水溫資料（圖 31），在高水溫期間，在水族館前置池溢流水可影響範圍內的測站 1 及 2，全年水溫未曾高於 40 °C；但遠離溢流水可影響所及之範圍的第 3 及 4 測站，在 4 月底便有 40 °C 以上的高水溫出現，甚至在 7 月中旬水溫高達 47.5 °C，高水溫並延續至 9 月中旬；4 個測站全年所測得最低水溫為 10.9°C，僅出現在 2 月中旬且時間短暫。推估在澎湖卵葉鹽草生長之水溫限制因子為高水溫而非低水溫。

（二）強降雨對岐頭海草床棲地退潮期間鹽度之變化

張等（2011）在探討影響海草種子萌發的研究指出，鹽度、溫度與溶氧是影響海草種子萌發的關鍵。如大葉藻（*Zostera marina*）種子隨著鹽度的降低，發芽率與發芽指數會逐漸增高，發芽歷程則有逐漸縮短的趨勢（田等，2014）。澎湖陸域缺少溪流，僅有強降雨瞬間出現大量淡水注入沿岸海域才能讓鹽度驟降，但隨著漲退潮的帶動下，經一個潮汐之後，將再回復一般鹽度。因此澎湖沿岸海域鹽度相對穩定且變化不大，此現象可能會導致海草種子發芽率變低，或延長發芽歷期，對海草族群的有性繁殖可能會造成障礙。而降大雨使潮間帶淺坪鹽度出現短暫驟降的現象，有可能誘使海草種子發芽，故有關自然環境中鹽度的變化對卵葉鹽草種子發芽之影響可再進一步探討。

（三）底土粒徑分析

岐頭灣海草床棲地屬「泥質至沙質灘地」，其潮間帶寬廣（大於 100m 以上）、潮差大（1-3m）、海岸高度差小、漲潮時海岸線底部受波浪濤洗作用的影響極低，海草在退潮時近陸地側仍含有水（柯，2004）。

而本調查結果顯示，岐頭灣卵葉鹽草底土粒徑則以 1mm 以上的極粗砂和粗細礫為主；林及蕭（2010）的調查研究指出，在東沙的

卵葉鹽草底土粒徑多以 125-250 μ m 的細砂為主，與岐頭灣與東沙海草床的底土粒徑差異相當大，可見粒徑大小對卵葉鹽草的生長分布影響似乎不大。與 den Hartog (1970) 的研究指出，不論生長的底質是粗礫石或鬆軟的泥沙地，均可發現卵葉鹽草之結果相似。

在調查海域所設置的 3 個固定測站之間的距離很近，其底質粒徑組成應該相似，但位於澎湖水族館前置池出水口處的測站 2，粒徑最小的「粉砂」比例是 3 個測站中最低，而粒徑最粗的「小礫石」比例則是 3 個測站中最高的。推測應是長期受水族館排水沖刷影響所致。與孟等（2007）針對墾丁國家公園海域生態長期監測研究結果類似，即海草床的底土經颱風波浪擾動後，粒徑的中間值會明顯增加，粉泥黏土含量則有下降趨勢的情形。

Bujang & Zakaria (2011) 指出底質的差異會影響海草葉片的大小與形態，但其他環境因子如鹽度 (Benjamin *et al*, 1999) 和光線強弱 (Bujang and Zakaria, 2011) 也都會影響卵葉鹽草。所以測站 2 的「小礫石」比例雖最高，僅能推論是使葉片型態最寬最長的因素之一。

（四）卵葉鹽草生物量之季節性變化

1. 覆蓋率

從結果顯示，岐頭灣測站 3 在高水溫期的 7-9 月間，因退潮期

間使海草過度曝曬與高水溫等因素，而讓覆蓋率降低。此與東沙的卵葉鹽草覆蓋率季節性變化趨勢相似，是此現象也發生在澎湖其他區域，如紅羅潮間帶的卵葉鹽草退潮時幾乎曝露在空氣中，覆蓋率平均僅有 $2.4 \pm 0.7\%$ (冼等, 2015)，以上應證了 Les *et al.*, (1997) 指出夏季的高水溫對海草有抑制生長的現象；然而，生長在較深區域的海草會比淺水區域保有較高的生產力 (林及蕭, 2010)，如大倉灣的卵葉鹽草，在大退潮時海水高度仍保有 60cm 的深度，即使在高水溫期，覆蓋率仍能保持在 60% 以上 (冼等, 2013)。從上述各區域卵葉鹽草覆蓋率變化顯示，生長在亞潮帶的卵葉鹽草在退潮之後仍有海水高度的庇護下，較不受過度曝曬或水溫過高的威脅，其週年的覆蓋率季節性變化小；生長於潮間帶在退潮之後，則易受過度曝曬或水溫過高的威脅，使週年的覆蓋率季節性變化明顯，在夏季有變低的趨勢。本研究在岐頭灣測站 2 卵葉鹽草的海草床同樣也是生長在潮間帶，但在退潮時受澎湖水族館溢流水長時間的挹注之下，發揮調節水溫，趨緩溫差變化的功能，使得其週年的覆蓋率季節性變化不大。岐頭灣卵葉鹽草隨著高水溫期一過，覆蓋率又能隨之回復。符合只要緊迫的壓力降低，海草床便可迅速回復的結論 (林及蕭, 2010)。

近岸光照自然比較充裕，但因潮間帶潮汐高低變化使海草能沉

沒於海水的時間不一，且乾濕變化大，不利於海草生長（Livingston, 1984）。但隨著海水深度遞增，光線隨之遞減，進而限制了海草族群的生長（Longstaff *et al.*, 1999）這些影響海草生長的環境因子，在自然中巧妙的劃出海草生長的範圍。

2. 生物量

本研究所記錄的生物量與前人研究類似，在 5-7 月的夏季達到最高峰，進入夏季高水溫時下降直至秋末的 10 月下降為最低，隨之逐漸增加，使生物量在 12 月達次高峰，之後便再次下降，整體的趨勢是夏季高冬季低的。與 Duarte（1989）的研究，溫帶和亞熱帶的海草在夏季通常會出現季節性的生物量高峰，而冬季則會驟然下降的趨勢相似。全年的生物量高峰與花果期也是相伴出現的，夏季生物量高時的花果期豐度也較高（圖 16），可見生物量的高低與花果期是息息相關的。

3. 地上部與地下部之比值

Pangallo and Bell（1988）發現 *Holodule wrightii* 的地上和地下部的生物量有明顯的季節性變化。而 Duarte and Chiscano（1999）將全球 30 種海草的地上部/地下部之比值進行彙整分析，得到全球海草之比值平均為 1.11 ± 0.08 ，並發現同一種海草的比值有隨著緯度增加而增加的趨勢；也會隨海草體型大小而有不同的比值。邱等（2013）

發現貝氏鹽草的比值會隨著不同生長的階段出現變化。岐頭灣全年卵葉鹽草的比值平均為 0.49 ± 0.11 ，假設高於平均值為成長階段，低於平均值為衰亡階段，全年比值共計出現 4 個高峰，分別出現在 3、5 及 6、10、12 月，以冬季 12 月高峰最高（圖 18）。卵葉鹽草為體型小，以生命期短、生長迅速的生存模式，不斷的向外擴張（Kruczynski and Fletcher, 2012）。本研究的結果顯示，地上部與地下部隨著生長互有消長，週期性的調節下使地上部與地下部的比值呈現上下波動，植株不斷的生長的現象。全年以 1-2 月間比值最低，此與卵葉鹽草地下莖因應越冬儲藏澱粉，及地下莖與根部變長便於錨固之所致（Govers *et. al.*, 2015），因此在冬季時，地下部較地上部的發展更為旺盛，使地上部與地下部之比值會下降。

地上部與地下部的比值能反映植物的生長狀況及環境對植物的影響。Di Carlo and Kenworthy（2008）和 Vonk *et. al.*,（2015）均認為地上和地下生物量是判斷環境壓力對海草生態系統的重要指標。若未來對卵葉鹽草海草床需加以評估調查時，本研究的地上和地下部生物量及比值，將可作為最基礎的參考值。

4. 地下莖長

Hedge *et al.*,（2009）的研究指出，生長在大堡礁的卵葉鹽草的地下莖在季風季節會長得更長。Kaewsrikhaw and Prathep（2014）更

進一步指出，卵葉鹽草的地下莖長度有明顯的季節性變化，主要是地下莖和根生長在地表 10cm 以淺，發展出較長的地下莖和根可將海草錨定，藉以抵抗較強的波浪。本研究的結果也有類似的趨勢，亦即在東北季風吹送的冬季，地下莖的長度會明顯增長（圖 19）。

5. 第 3 對葉片之長與寬

本研究的結果顯示，生長在歧頭的卵葉鹽草全年在夏季高水溫時期時，第 3 對葉片有明顯變小的趨勢（圖 21）。在其他文獻中也有類似的趨勢，在光照，溫度和海浪沖擊都較強烈的潮區，鹽草屬（*Halophila*）葉子的長寬均較小（Procaccini *et al.*, 1999）；柯（2004）指出，生長在潮間帶之鹽草屬的植物於低潮時全裸露於空氣中，葉片有變小之趨勢；Shafer *et al.*,（2007）更指出，當棲息環境使海草暴露於炎熱的空氣中時，葉片會有變小、葉柄長度變短的狀況，推測是植株為了減少水分損失所形成的。

6. 花期與果實期

den Hartog（1970）指出，生長在熱帶的卵葉鹽草全年均可觀察到花果期。而位處熱帶的東沙卵葉鹽草從 10 月持續至隔年的 6 月都有發現花與果實的存在，長達 9 個月（林及蕭，2010）；在台灣屏東的卵葉鹽草花果期全年出現 2 次，分別在 4-6 月及 9-10 月間（柯，2004）；而澎湖全年花期也是有 2 次，主要出現在 5-6 月及 10-12

月間、果實期在 5 月下旬至 7 月上旬及 11-12 月間，出現的時間比緯度低的屏東較晚（表 9）。Kuo & Kirkman（1992）調查位於澳洲西南部的卵葉鹽草，在夏末、秋二季的 4 個月出現花果期；並在不同的測站點發現在緯度低的卵葉鹽草比緯度高的，花開得較早。此現象與本研究結果一致。不獨有偶的是邱等（2013）研究也指出，同為鹽草屬的貝氏鹽草因受到氣溫影響，在馬來西亞則全年開花，在廣西珍珠灣就只有在夏季開花的情形；且結果實期也是緯度低的比緯度高的較早。

所以在不同地區的同種海草會有不同的花果期。McMillan（1976）針對鹽草屬的 *Halophila engelmanni* 進行海草開花結果的實驗，發現溫度不僅是控制開花的一個重要因素，對果實的成熟也有影響。在岐頭灣海草床的測站 1 及 2，周年僅出現 1 次花期和果實期；而測站 3 周年出現 2 次花期和果實期。因 3 個測站之間的海水高度、底質粒徑組成都十分相似，唯受水族館前置池溢流海水影響，最大的差異在於測站 1、2 的全年最高溫皆未超過 40°C，而測站 3 於 4 月底即已出現高於 40°C 的低溫且持續到 9 月（表 17）。張等（2016）指出植物具有調節自身生長與發育進程，以反應外界環境變化的能力，當遭遇乾旱、高鹽、溫度過高或過低、光照太高或太低強等不利條件時，植物會停止生長，而提早開花結果以快速完成生命週期，

即「逆境誘導開花」的狀況。固推測測站 3 因高溫逆境，導致秋冬仍有花果產出。

卵葉鹽草主要是藉由海流的帶動使花授粉，讓果實呈現不均勻的分布，有時在一株地下莖上能發現許多花果，卻在相鄰的另一株上一無所獲。Kuo and Kirkman 在 1992 所做的卵葉鹽草花果密度調查結果中也曾發現這樣的情況。

二、卵葉鹽草在不同水溫與鹽度成長之比較

地下莖成長率以 30°C 最佳；隨著水溫的降低成長率趨緩，植株死亡率增加；而水溫在 32°C 經 3 天，植株全數死亡（圖 22）。一般而言，海草在自然環境中最合適生長溫度範圍為 15-33°C (Masini and Manning, 1997; Perez and Romero, 1992; Berry and Bjorkman, 1980; Coles and Jokiel, 1977)；在自然環境中，隨著日照強弱或潮汐漲退水溫隨之而變化，但本研究各組水溫均為恆溫，以至 32°C 組的水溫仍低於最適合生長範圍內，但在此偏高的水溫環境中持續 3 天後，便全數死亡。因此，未來若要人工環境中進行卵葉鹽草幼苗、以無性繁殖植株或應用於水族觀賞之利用時，種植的水溫環境以 28-30°C 最佳。另以所監測在澎湖水族館前的卵葉鹽草海草床覆蓋率變化可發現，在進入高水溫時期的 8 月份，覆蓋率明顯驟降，為周年最低，隨著高水溫期的結束，覆蓋率也逐月增加。

多數的海草對光照的需求高，導致被限制在淺水域生長，當水質不佳時，光的穿透性更差，迫使海草向更淺的水域遷移（Dennison *et al.*, 1993）。然而，在低潮帶，海水具有保護與調節溫度的作用隨著退潮而減弱，當海草植株暴露在太陽輻射和空氣的溫度中，乾燥與高溫二者加乘的作用下，環境溫度將高於一般海水（Berkelmans, 2002）。雖然不同的物種和棲地之間，海草進行光合作用和生長的溫度會有所不同。Lenschner（1993）指出 25~30°C 是卵葉鹽草進行光合作用的最佳溫度範圍，在此範圍之外的溫度，光合作用的效能不彰；Ralph（1998）認為 10 與 40°C 的極端溫度更會讓光合作用完全停擺，將卵葉鹽草置於 15 到 30°C 溫度中長達 96 小時後，仍能夠完全恢復到正常的生長狀況。

Collier and Watcott（2014）更探討極端水溫對海草生長之影響之研究指出，連續 6 日，每日以 2.5 小時將卵葉鹽草模擬於退潮期間的極端水溫（35、40 及 43°C）環境中，發現 35°C 時光合作用和成長皆停滯；40°C 的高水溫是導致卵葉鹽草死亡的臨界點，即使水溫之後再回復較低的溫度，也無法恢復；短期的高水溫對海草生長會造成傷害甚至導致死亡。

Adams and Bate（1994）指出，不同種的海草對低鹽度或高鹽度的水體會有不同的耐受性與反應，有的種類甚至可在淡水正常生長。

卵葉鹽草對鹽度變化的適應能力較其他種類高，鹽度在 15-35 ppt 的環境中仍具有高生產力（Hillman *et al.*, 1995），長期曝露於低鹽的環境中對生長於海水中的卵葉鹽草會產生不良影響，如葉片加速脫落、抑制新生葉片之發展等，經 3 周後死亡率達 75%，即使再將植株回復原棲度鹽度，仍無法改善低鹽對植株之不良影響（Benjamin *et al.*, 1999）。此與本研究結果之趨勢相似，植株在高鹽度 25 及 35 ppt 的環境下，地下莖成長率穩定的增長；鹽度在 15 ppt 的環境下，地下莖成長率緩慢，經 30 天成長率不增反減，死亡率達 60%；鹽度在 5 ppt 的環境下，地下莖幾乎沒有成長，在第 9 天植株全數死亡（圖 23）。

由於澎湖少河口缺乏淡水源注入沿岸海域，使澎湖沿岸海域鹽度相對穩定，即使發生持久性的強降雨，大量淡水之挹注下，鹽度驟降受影響之期程僅一個退潮的期間，對卵葉鹽草植株生長影響有限。

卵葉鹽草不僅是一種廣泛分布在溫帶及熱帶潮間帶的物種，更是可以在非常淺的潮間帶生存的唯一物種（Beer *et al.*, 2006）。其能耐受 15ppt 到 35ppt 的鹽度範圍，仍具有高生產力，並且能夠耐受低於 10 ppt 的鹽度長達 1 個月（Hillman *et al.*, 1995）。所以，卵葉鹽草是唯一能在海河交界的環境中，不到 2 公尺深的海裡形成廣闊海

草床的唯一一種海草（Hillman *et al.*, 1995）；卵葉鹽草除了具廣鹽性的特質，更是具耐熱的特別物種（Ralph, 1998）；也是許多海草床生態系先驅物種（林，2010）並以地下莖橫向快速拓展的方式因應環境壓力（Inglis, 1999；林，2010），未來如果海草床遭到極端氣候高水溫所帶來的嚴重影響，卵葉鹽草可能是第一個能恢復的物種（Birch and Birch 1984）。

三、鹽度、有無光照及溫度對卵葉鹽草種子發芽之影響

海草種子發芽需要2個條件：一是有活力的種子的適合的環境條件。而中止海草種子休眠啟動發芽的影響因素有：鹽度、溫度、光、溶氧濃度、激素、外力破除種皮等（Moore, 1993；Brenchley, 1998）。一般認為鹽度是影響海草種子發芽的最重要的因素，主要是低鹽改變了滲透壓，促進種子吸水膨脹，讓種子內部酵素活化，代謝加速，而使種子快速發芽（Orth, 2000）。許多文獻均指出，多種海草種子在低鹽度環境下均可提高其發芽率，並隨著鹽度增加而下降（Caye *et al.*, 1992；Conacher *et al.*, 1994；Brenchley and Probert, 1998）。

將本實驗處理各組的發芽率除以平均發芽日數所得之發芽係數及幼苗所生出的葉數，整理如表 16，可知低鹽度能使種子發芽率增加、無光照的處理能縮短發芽期程，其中以 5 ppt、無光照的發芽係數最高、效果較佳，但長出的葉片及第一對新生芽的數量皆不如

10ppt、光照處理的。種子長期浸泡在淡水中容易導致潰爛，即使發芽後，幼苗的存活率也很低（Kaldy *et.al.*,2015）。過低的鹽度雖然可以提高種子的發芽率，卻對幼苗的存活率有不良的影響（田等，2014）在低鹽度的環境下雖有較高的發芽率，但卻未必能產出最多的幼苗（Zarranz *et al.*, 2010）。

雖然澎湖沿岸缺少河流挹注使海水鹽度穩定變化不大，但在澳洲雨季時，河口的鹽度在短短的 2 週內，便能從 35 降至 10ppt，更能維持數週（Hillman *et al.*,1995）。而本實驗所得最佳發芽鹽度為 10ppt，或許也是反映卵葉鹽草能在河口域生長、繁殖的表現。

Kuo & Kirkman（1992）曾以 1250 顆卵葉鹽草種子，在 20℃ 海水中，先以黑暗處理 14 天，之後以 $100-120 \mu \text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，12L:12D 光照條件進行實驗，28 天後種子開始陸續發芽，60 天的發芽率為 12%，長達 180 天後的發芽率僅為 63%，實驗結束時只有一棵幼苗長出三片葉子。本研究的種子在 25℃ 無光照處理的 35ppt 海水中，於 60 天時有 13.3% 的發芽率與前人的研究結果相似。以 5ppt 於光照及無光照處理的發芽率在 60 天時已達 63.3% 及 56.70%，與前人以海水培育 180 天的發芽率相似，可見低鹽確實是能提高發芽率並縮短發芽時程的。而本實驗以 10ppt 處理的種子共 60 顆，發芽後的

幼苗培育在海水中，在 63 天時已有 3 棵幼苗長出 5 片葉子，而長出第一對新芽的也有 3 棵。

海草種子發芽及幼苗生長的最適鹽度範圍並不相同，隨著種子長成幼苗及植株的過程中，海草調節鹽度的能力會不斷的產生變化 (Hootsmans *et al.*, 1987)。對於鹽度有很高的適應力的卵葉鹽草，其發芽後的幼苗培育，以直接放進海水及逐日增加到一般海水鹽度的二種培養方法，對葉子的成長並無明顯差異。

溫度也是對卵葉鹽草種子發芽之影響因子之一，Brenchley & Probert (1998) 發現以 6°C 5 個月的低溫層積 (春化) 方法可以讓 *Zostera capricorni* 加快發芽；以 7°C 低溫層積處理過的 *Zostera japonica* 種子的發芽率與發芽速度都比未處理的更高 (Morita *et al.*, 2010)。而許多陸生植物的種子甚至還要模擬日夜溫差的變溫處理會顯著提升發芽率 (郭, 2015)。雖然本研究僅以恆溫的處理方式來探討溫度對發芽率的影響，結果以 25°C 的發芽率最高，但低溫層積甚至於變溫的處理或許也是影響發芽率的因素之一，仍待投入研究。

四、種子保存試驗

找出延長種子休眠期的方法，得以儲存海草種子，對於以種子修復海草床而言，是必要的。在進行溫度與鹽度對種子發芽影響實驗時發現，在較低溫與高鹽度的環境中發芽率似乎有被抑制的現象，

與 Hootsmans (1987) 對 *Zostera noltii* 的實驗結果類似。McMillan (1991) 將 *Zostera capricorni* 的種子置於低溫 (5-10°C) 下，最長可以保存 50 天；而 *Phyllospadix torreyi* 的種子儲放在黑暗低溫的環境中，可以延遲發芽歷程 (Reeda *et al.*, 1998)。 *Zostera japonica* 種子置於 20ppt 以上的鹽度中能抑制發芽，當種子再被放到低鹽下又能恢復萌發 (Kaldy *et al.*, 2015)。本實驗的卵葉鹽草種子以 10°C 的低溫與鹽度 35 ppt 的環境中進行種子保存 30 天後，再以 25°C 低鹽 5PPT 誘使發芽，發芽率仍能維持原來的水平；但是存於同樣溫度、鹽度較高的 45 ppt，種子不但容易脫水形成透明狀，發芽率也很低，不適用於保存種子。本實驗保存時間僅 30 天，稍嫌不足。未來可以用一般鹽度海水浸泡保存，繼續嘗試將保存時間延長，並探討更低的溫度是否會影響發芽率。

預實驗時，曾以一般培育前消毒海藻所用的 1% 碘化鉀將種子浸泡殺菌一分鐘，結果種子變黃甚至不能發芽。所以進行本實驗時皆未消毒，最後導致已長出五片葉子和第一對新芽的幼苗，都因矽藻等微生物孳生而無法繼續順利成長。Kishima (2011) 表示消毒和低溫是保存海草種子的關鍵技術。同篇報告也發現以 70 天一次做海水的更換，比前人研究的每 7 天換水一次的處理，使種子的保存狀況更穩定。本研究在進行種子發芽的各項實驗中，每隔 3 天換水一

次的頻率，或許這也是造成微生物孳生的原因之一。未來可針對卵葉鹽草種子之消毒的方法及換水的頻度再加以探究。

本種子發芽試驗所採用的光照強度及光照週期參考 Kuo & Kirkman(1992)的實驗條件($100\text{-}120\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、12L:12D)設為 $120\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 及 12L:12D。一旦種子儲備營養消耗，光合作用對幼苗可否繼續生長的影響是至關重要的(Belzunce *et al* , 2005)。而 Bujang & Zakaria(2003)在光照強度 $200\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的環境下，記錄到種子發芽並可長成成熟植株。Duarte (1991)在海草生長深度的研究報告中指出，一般海草賴以生存所需的最低光照度需為地面光照的 11%。以姚 (2011) 所述晴朗無雲的地面照度約為 $2200\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 來計算，海草所需最低光照為 $242\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。

但在 Bujang and Zakaria (2011) 以人工培育卵葉鹽草的報告中，發現在適合海草生長的一般戶外光線下培育海草，其最大的競爭者-藻類也會過度生長；且認為卵葉鹽草為耐低光照的海草，所以建議在其實驗條件下（戶外自然光下的陰影處使光照度保持在 $160\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 到 $240\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 之間），仍可再降低光照度，以減少藻類滋生。所以在培育幼苗前，應確立種子消毒技術、使用殺菌之海水、底質與器具，盡量杜絕雜藻來源；並在幼苗成長時提高光照

度，讓幼苗能及早行光合作用，以提高成苗率，而最適培育幼苗之光照條件與培育流程仍待深究。

五、海草的「無性生殖」與「有性生殖」效益比較

無性繁殖是海草最簡單也最普遍的繁殖方式，因此以挖掘海草床的草塊再加以分株移植的方法，是先前進行復育海草的主要方法，雖然有助於海草族群的擴散，但需投入相當密集的勞動力，耗費許多的金錢與時間，較不符合經濟效應。且此法雖可保存原植株之品系，但也可能會因個體間的差異性小，一旦面臨環境驟變或疾病威脅時，可能會導致族群全數死亡，使復育工作前功盡棄（Clarke and Kirkman、1989；Duarte，1991；Procaccini and Mazzella，1998）。和無性繁殖相較，有性繁殖的相關研究相對更少，並且有些海草的有性繁殖是不易被觀察到的（Balestri and Cinelli，2003）。因此，缺乏有關種子發芽及幼苗的資料，使人產生了種子對海草床的維持作用並不大的誤解。近年來，隨著學者的研究日益增多，發現以播種的有性繁殖方法，對於保持遺傳多樣性，與幫助族群擴散及拓展新棲地，具有關鍵性的作用（Orth *et al.*, 1994; Piazzini *et al.*, 1998; Waycott *et al.*, 2007，Kendrick *et al.*, 2012）。故於 21 世紀初，海草復育方法轉而採取大規模播種方式為主（Orth *et al.*, 2006；Paling *et al.*, 2009; Marion and Orth, 2010），但效果卻事與願違、不如預期。主要是在

自然環境下，種子的發芽率並不高，所播下的種子可能易被動物所食、被海流帶至不適成長的環境中或直接被泥砂所掩埋等因素（Gambi *et al.*, 1990； Piazzzi *et al.*, 1999； Balestri and Cinelli.,2003）使種子發芽進而成為幼苗，並成功長成植株的機率並不高。所以若能在人為的環境中，使用人工技術讓種子的發芽率提高，並在移植前培植出強健的幼苗，再移植到適合生長的自然環境，應為可行的方法（Zarranz *et al.*,2010）。



伍、結論與建議

一、結論

(一) 卵葉鹽草生物量季節性變化

1. 卵葉鹽草的葉片在高水溫期葉片會有明顯變小的趨勢，覆蓋率也隨之有遞減的現象。

2. 地下部較地上部的生物量發展更為旺盛，越冬時地下莖的長度也有變長的趨勢。

3. 花果期有二期，時間短且集中，春末夏初豐度較高；環境溫度是影響花果產生的因素之一。

整體而言，分布在岐頭潮間帶海域的卵葉鹽草覆蓋率較澎湖其他區域高，且依存的生物種類與豐度相當高，為澎湖維持生物多樣性相當重要的海草床棲地。海草對環境變動具有相當高的敏感度，為環境的指標性生物之一，素有海岸的生物哨兵 (biological sentinels) 之稱。因此調查海草的豐度、分布與狀況改變等資料，可供環境變異參考之依據，並能在生態惡化之前發出預警。

(二) 環境因子對卵葉鹽草種子發芽之影響

1. 環境因子對種子發芽之影響結果顯示，低鹽度不但能使種子發芽率明顯較高，更能縮短發芽期程。

2. 有無光照對發芽率並無顯著差異。無光照的平均發芽日數明

顯較少，能使發芽期程加快，但光照處理卻可促使幼苗長出更多的葉子。

3. 本實驗之最適發芽溫度為 25°C。

4. 在一般海水鹽度、10°C 的條件下，種子可以保存 30 天之後仍能正常發芽。

綜合發芽率和發芽日數而論，以無光照、鹽度 5 ppt 的發芽系數最高、效果最佳。雖然提高種子發芽率，使發芽速度快，可使發芽整齊，在管理上較為方便且有效率，但考量幼苗之後的成長，取捨之下，應以 10ppt、有光照、25°C 處理較為合適。而卵葉鹽草種子一般在一般海水鹽度、10°C 的環境下會減緩發芽，未來可利用此特性進行嘗試海草種子保種條件試驗。

二、建議

岐頭潮間帶海域為澎湖砂泥質潮間帶維持生物多樣性相當重要的海草床棲地，重要的生物種類除了本研究的卵葉鹽草之外，還包括香燭海筆 (*Scytalium splendens*)、中國鰲 (*Tachypleus tridentatus*)、遠海梭子蟹 (*Portunus pelagicus*)、短棘槍蝦 (*Alpheus brevicristatus*)、招潮蟹 (Fiddler Crab)、二枚貝 (*Bivalvia*) 資源等豐富的生態資源。此片海草床所依存的生物種類與豐度相當高，張等 (1992) 研究也指出，本海域生物多樣性具有相當重要的生態價值，是不容忽視的

海草床棲地。期盼相關單位能將本區域進行更透徹之調查研究。並配合澎湖水族館，未來規劃為澎湖重要的環境教育場域，成為認識生物多樣性的活教室。

目前卵葉鹽草在 IUCN 紅色名錄中，列為 LC (Least Concern) 尚無瀕臨絕種的危險。但當環境驟變，生態物種的流逝速度常不可預測。約莫 25 年前，講美、鎮海、港子及歧頭灣還布滿了俗稱「蝦草」的卵葉鹽草，當時短脊槍蝦的族群密度很高，引來採捕者以「踩蝦」方式進行捕捉，不但讓槍蝦的族群量銳減更破壞了槍蝦賴以生存的海草床；雪上加霜的是周邊水泥堤防和疏濬工程讓水文改變，使海中泥沙逐漸沉積、淹沒海草床，讓海草的生長盛況已不復於前。當生態環境遭到破壞，事後的恢復往往是亡羊補牢為時已晚了。因此，期盼藉由此研究報告能喚起對海草生態系統的重視，並提供卵葉鹽草復育的相關訊息以供將來不時之需。

陸、參考文獻

- 田璐、張沛東、牛淑娜、張秀梅、張凌宇（2014）不同處理對大葉藻種子萌發和幼苗建成的影響。生態學雜誌，33(9)：2408-2413。
- 李承錄（2009）墾丁大光泰來草與單脈二藥草海草床之魚類群聚變化與胃內含物研究。中興大學碩士論文。
- 李森、范航清、邱龐龍、石雅君（2010）海草床恢復研究進展。生態學報，30(9)：2443-2453。
- 邱士涵（2009）墾丁大光潮間帶泰來草床之無脊椎動物群集及碳收支模式。中興大學碩士論文。
- 邱廣龍、范航清、李宗善、劉國華、石雅君、李森（2013）瀕危海草貝克喜鹽草的種群動態及土壤種子庫-以廣西珍珠灣為例。生態學報，33（19）：6163-6172。
- 邵廣昭（1998）海洋生態學。明文書局，476 頁。
- 孟培傑、鍾國南、陳正平、陳明輝、劉銘欽、張揚祺、樊同雲、林幸助、劉弼仁、張家銘、方力行、邵廣昭（2007）墾丁國家公園海域生態之長期監測研究。國家公園學報，17(2)：71-88。
- 林幸助、蕭淑娟（2010）東沙海域大型藻類生物量與海草物候、生產力調查。海洋國家公園管理處委託辦理研究報告，135 頁。
- 林幸助、李承錄、黃衍勳、鄭惠元、戴孝勳、林良瑾（2010）波光綠茵：東沙海草床。海洋國家公園管理處，207 頁。
- 冼宜樂、鐘金水、林綉美、涂詩韻、鄭靜怡、歐麗榛、黃文卿、蔡萬生（2011）澎湖海草的分類與分布。水試專訊，34:27-31。
- 冼宜樂、鐘金水、林綉美、涂詩韻、鄭靜怡、歐麗榛、黃文卿、蔡萬生（2011）澎湖海草床基礎生態調查之研究。澎湖縣政府農漁局委託計畫結案報告，67 頁。
- 冼宜樂、鐘金水、林綉美、黃文卿、鄭靜怡、歐麗榛、蔡萬生（2012）澎湖大倉灣海草床魚類群聚初探。水試專訊，39:5-9。
- 冼宜樂、鐘金水、蔡萬生（2013）澎湖海域海草(床)生態調查及與漁業資源保育相關性研究（Ⅲ）海草移植技術研究-1。水產試驗所研究報告書，12 頁。

- 洗宜樂、鐘金水、林金榮 (2014) 澎湖海域海草 (床) 生態調查及與漁業資源保育相關性研究 (IV) 海草移植技術研究-2。水產試驗所研究報告書, 15 頁。
- 洗宜樂、鐘金水、林綉美、黃文卿、鄭靜怡、歐麗榛、林金榮 (2015) 澎湖青螺濕地紅羅灣海域環境魚類資源現況調查。澎湖縣政府農漁局委託計畫結案報告, 89 頁。
- 洗宜樂、鐘金水、黃丁士、黃文卿、林綉美、鄭靜怡、歐麗榛、林金榮 (2016) 遠海梭子蟹種苗放流效益評估。澎湖縣政府農漁局委託計畫結案報告, 45 頁。
- 姚銘輝 (2011) 光度單位轉換問題之探討。農業試驗所技術服務, 85:26-29。
- 柯智仁 (2004) 台灣海草分類與分布之研究。國立中山大學生物科學系碩士論文, 97 頁。
- 郭華仁 (2015) 種子學。臺大出版中心, 399 頁。
- 張崑雄、江永棉、陳春暉、詹榮桂、戴昌鳳、鄭明修 (1992) 澎湖北部海域海洋生物資源調查。交通部觀光局澎湖風景特定區管理籌備處委託計畫報告書, 194 頁。
- 張沛東、孫燕、牛淑娜、張秀梅 (2011) 海草種子休眠、萌發、幼苗生長及其影響因素的研究進展。應用生態學報, 22(11): 3060-3066。
- 張沛東、曾星、孫燕、張秀梅 (2013) 海草植株移植方法的研究進展。海洋科學, 37(5): 100-107。
- 張敏、朱佳旭、王磊、徐妙云 (2016) 逆境誘導植物開花的研究進展。生物工程學報, 32(10): 1301-1308
- 鄭風英、邱廣龍、范航清、張佛 (2013) 中國海草的多樣性、分布及保護。生物多樣性, 21(5): 517-526。
- 謝蕙蓮、黃守忠、李坤瑄、陳章波 (1993) 潮間帶底棲生態調查法。生物科學 36(2): 71-80。
- 上野成三、高山百合子、前川行幸、原条誠也 (2003) 播種. 株植が不要なアマモ移植方法の現地実験。海岸工學論文集, 50: 1261-1265。

- Adams, J. B., & Bate, G. C.** (1994) .The ecological implications of tolerance to salinity by *Ruppia cirrhosa* (Potogna) Grande and *Zostera capensis* Setchell. *Botanica Marina*,37:449-456.
- Balestri, E., & Cinelli, F.** (2003) .Sexual reproductive success in *Posidonia oceanica*. *Aquatic Botany*,75 (1) , 21-32.
- Beer, S., Mtolera, M., Lyimo, T., and Bjork, M.** (2006) .The photosynthetic performance of the tropical seagrass *Halophila ovalis* in the upper intertidal. *Aquatic Botany*,84, 367–371.
- Belzunce, M., Havarro, R. M.,& Rapoport, N. F.** (2005) .Seed and early plantlet structure of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*.[*Aquatic Botany*](#),82(4), 269-283.
- Benjamin, K. J., Walkerb, D. I., McComba, A. J .,& Kuo, J .** (1999) .Structural response of marine and estuarine plants of *Halophila ovalis* (R. Br.) Hook. f. to long-term hyposalinity. [*Aquatic Botany*](#), 64, (1) , 1-17
- Berkelmans, R.** (2002) .Time-integrated thermal bleaching thresholds of reefs and their variation on the Great Barrier Reef. *Marine Ecology Progress Series*, 229, 73–82.
- Berry, J., and Bjorkman, O.** (1980) . Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31, 491–543.
- Brenchley, J. L., and Probert, R. J.** (1998) .Seed germination responses to some environmental factors in the seagrass *Zostera capricorni* from eastern Australia. [*Aquatic Botany*](#), 62 (3) : 177-188.
- Birch, W.R., & Birch, M.** (1984) .Succession and pattern of tropical intertidal seagrasses in Cockle Bay, Queensland, Australia: a decade of observations. *Aquatic Botany* ,19, 343–367.
- Brenchley, J.L., & Probert, R.J.** (1998) .Seed germination responses to some environmental factors in the seagrass *Zostera capricorni* from eastern Australia. *Aquatic Botany*, 62(3),177–188.
- Bujang, J. S. and Zakaria, M. H.** (2003) .Seagrasses in Malaysia. *Seagrass Ecosystem: Resource Status*,22-37.
- Bujang, J. S.and Zakaria, M. H.** (2011) .Initiatives towards seagrass rehabilitation and restoration seagrass culture.In:”Seagrasses resource status status and trends in Indonesia, Japan,Malaysia,Thailand and

Vietnam".108-120,eds.Ogawa H.,Japar Sidik B.,Muta Harah Z.The Tokyo,The Japan:Seizando-Shoten Publishing Co.,Ltd.

- Carlton, J. T., Vermeij, G. J., Lindberg, D. R., Carlton, D. A., and Dubley, E. C.** (1991) . The first historical extinction of a marine invertebrate in an ocean basin: The demise of the eelgrass limpet, *Lottia alveus* . *Biological Bulletin* ,180: 72–80.
- Caye, G., Bulard, C. , Meinesz, A., &Loquès, F.** (1992) .Dominant role of seawater osmotic pressure on germination in *Cymodocea nodosa*. *Aquatic Botany* ,42, 187–193.
- Clarke, S. M., & Kirkman, H.** (1989). Seagrass dynamics. In: Larkum, A W. D., McComb, A. J., Shepherd, S. A. eds. *Biology of seagrasses*. pp.304-345, Elsevier. Amsterdam.
- Collier,C. J., and Waycott, M.** (2014) .Temperature extremes reduce seagrass growth and induce mortality. *Marine Pollution Bulletin* ,83, 483-490.
- Coles, S.L., & Jokiel, P.** (1977) .Effects of temperature on photosynthesis and respiration in hermatypic corals. *Marine Biology*, 43, 209–216.
- Conacher, C. A., Poiner, I. R., Butler, J., Pun, S.,& Tree, D. J.** (1994) .Germination, storage and viability testing of seeds of *Zostera capricorni* Aschers. from a tropical bay in Australia. *Aquatic Botany*, 49, 47-58
- den Hartog, C.** (1970) .The seagrasses of the world. North-Holland, Amsterdam, *London*, 275.
- Dennison, W. C., Orth, R. J., Moore, K. A., Stevenson, J. C., Carter, V., Kollar, S., Bergstrom, P. W., and Batiuk, R. A.** (1993).Assessing Water Quality with Submersed Aquatic Vegetation. *BioScience* ,43 (2) ,86-94.
- Di Carlo, G.,& Kenworthy, W. J.** (2008) .Evaluation of aboveground and belowground biomass recovery in physically disturbed seagrass beds. *Oecologia*,158 (2) ,285-298.
- Duarte, C. M.** (1989) .Temporal biomass variability and production / biomass relationships of seagrass communities. *Marine Ecology Progress Series*, 51 (3) ,269-276.

- Duarte, C. M.** (1991) .Seagrass depth limits.[*Aquatic Botany*, 40 \(4 \)](#), 363-377.
- Duarte, C. M., Chiscano, C. L.** (1999) .Seagrass biomass and production: a reassessment. *Aquatic Botany*, 65(1 / 4),159- 174.
- Duffy, J. E.** (2006) .Biodiversity and the functioning of seagrass ecosystems. *Marine Ecology Progress Series* ,311, 233-250.
- Duncan, D. B.**(1955).Multiple range and multiple F test, *Biomtrics*, 11, 1-42.
- English, S., Wilkinson, C.,and Baker, V.** (1994) . Seagrass Communities. In “Survey Manual for Tropical Marine Resources.ASEAN-Australis marine science project:living coastal resources”. Chapter 5,239-271 (Australian Institute of Marine Science.Townsville.).
- Folk, R. L.** (1966) .A review of grain size parameters. *Sodimentology*, 6,73-93.
- Fourqurean, J. W., Duarte, C.M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M.A., Apostolaki ,E.T., Kendrick, G.A., Krause-Jensen, D., McGlathery, K.J., and Serrano, O.** (2012) . Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience*,5,505–509.
- Gambi, M. C., Nowell, A. R.M., Jumars, P. A.** (1990) .Flume observations on flow dynamics in *Zostera marina* (eelgrass) beds. *Marine Ecology Progress Series*, 61 (1), 159-169.
- Gareìa-Marin, P., Cabaço, S., Hernández, I., Vergara, J.J., Silva ,J., Santos, R.** (2013) .Multi-metric index based on the seagrass *Zostera noltii* (ZoNI) for ecological quality assessment of coastal and estuarine systems in SW Iberian Peninsula.*Marine Pollution Bulletin*, 8(1-2),46-54.
- Govers, L. L., Suykerbuyk, W., Hoppenreijis, J. H. T., Giesen, K., Bouma, T. J., Katwijk, M. M.** (2015) .Rhizome starch as indicator for temperate seagrass winter survival. *Ecological Indicators*. 49,53–60.
- Heck, K. L., and Wetstone, G. S.** (1977) .Habitat complexity and invertebrate species richness and abundance in tropical seagrass meadows. *Journal of Biogeography* ,4, 135-142.

- Heck, K. L., and Orth, R. J.** (2006). Predation in seagrass beds. In: Larkum AWD, Orth RJ, Duarte CM (eds) *Seagrasses: biology, ecology, and conservation*. Springer, ch22.
- Hedge, S., Smith, N., and Unsworth, R. K. F.** (2009) .Temporal and spatial morphological variability of seagrasses *Halophila ovalis* and *Halodule uninervis* through out the Great Barrier Reef region: Preliminary analysis. Report to Marine and Tropical Sciences Research Centre Facility. *Reef and Rainforest Research Centre Limited*, Cairns.
- Hillman, K., McComb, A. J., & Walker, D. I.** (1995) .The distribution, biomass and primary production of the seagrass *Halophila ovalis* in the Swan±Canning Estuary, Western Australia. *Aquatic Botany*, 51,1-54.
- Hootsmans, M. J. M., Vermaat, J.E.,& Vierssen, W. V.** (1987) . Seed-bank development, germination and early seedling survival of two seagrass species from The Netherlands: *Zostera marina* L. and *Zostera noltii* hornem, *Aquatic Botany*, 28 (3–4) ,275-285.
- Inglis, G J.** (1999) .Variation in the recruitment behaviour of seagrass seeds: implications for population dynamics and resource management, *Pacific Conservation Biology*, 5(4) ,251 – 259.
- Kaewsrikhaw, R., and Prathep, A.** (2014) .The effect of habitats, densities and seasons on morphology, anatomy and pigment content of the seagrass *Halophila ovalis* (R.Br.) Hook.f. at Haad Chao Mai National Park, *Southern Thailand Aquatic Botany*, 116:69–75.
- Kaldy, J. E., Shafer, D. J., Ailstock, M. S. A. , & Magound, D.** (2015) .Effects of temperature, salinity and seed age on induction of *Zostera japonica* germination in North America, USA. *Aquatic Botany* ,126, 73-79.
- Kendrick, G.A., Waycott, M., Carruthers, T. J. B.** (2012) . The central role of dispersal in the maintenance and persistence of seagrass populations. *Bioscience* ,62, 56–65.
- Kishima, J., Harada, S., Sakurai, R.** (2011) Suitable water temperature for seed storage of *Zostera japonica* for subtropical seagrass bed restoration. *Ecological Engineering*, 37 (9) ,1416-1419.
- Kruczynski, W. L., and Fletcher, P. J.** (2012) .Tropical Connections: South Florida's marine environment, 260. University of Maryland

Center for Environmental Science.

- Kuo, J., and Kirkman, H.** (1992). Fruits, Seeds and Germination in the Seagrass *Halophila ovalis* (Hydrocharitaceae). *Botanica Marina*, 35, 1-8.
- Kuo, J., and den Hartog, C.** (2000). Seagrasses: A profile of an ecological group. *Biologia Marina Mediterranea*, 7(2), 3-17.
- Lenschner, C., & Rees, U.** (1993). CO₂ gas exchange of two intertidal seagrass species, *Zostera marina* L. and *Zostera noltii* Hornem., during emersion. *Aquatic Botany*, 45, 53-62.
- Les, D. H., Cleland, M. A., and Waycott, M.** (1997). Phylogenetic Studies in Alismatidae, II: Evolution of Marine Angiosperms (Seagrasses) and Hydrophily. *Systematic Botany*, 22 (3), 443-463.
- Lin, H. J., Yung, L. Y., and Liu, P. J.** (2005). Seagrasses of Tongsha Island, with descriptions of four new records to Taiwan. *Botanical Bulletin- Academia Sinica Taipei*, 46, 163-168.
- Longstaff, B. J., Loneragan, N. R., O'Donohue, M. J., and Dennison, W. C.** (1999). Effects of light deprivation on the survival and recovery of the seagrass *Halophila ovalis* (R. Br.) Hook. *Marine Biology and Ecology*, 234(1), 1-27.
- Masini, R. J., and Manning, C. R.** (1997). The photosynthetic responses to irradiance and temperature of four meadow-forming seagrasses. *Aquatic Botany*, 58, 21-36.
- Marion, S. R., and Orth, R. J.** (2010). Innovative Techniques for Large-scale Seagrass Restoration Using *Zostera marina* (eelgrass) Seeds. *Restoration Ecology*, 18 (4), 514-526.
- McMillan, C.** (1976). [Experimental studies on flowering and reproduction in seagrasses](#). *Aquatic Botany*, 2, 89-92.
- McMillan, C.** (1991). The longevity of seagrass seeds. *Aquatic Botany*, 40 (2), 195-198.
- McCloskey, R. M., and Unsworth, R. K.** (2015). Decreasing seagrass density negatively influences associated fauna. *PeerJ*, 1053, 13.
- McGlathery, K. J., Sundbäck, K., Anderson, I. C.** (2007). Eutrophication in shallow coastal bays and lagoons: The role of plants in the coastal filter. *Marine Ecology Progress Series*, 348, 1-18.

- Meñez, E. G., Phillips, R. C., and Calumpong, H. P. (1983)** .Seagrass from the Philippines. 21,40. Smithsonian Institution Press. Washington.
- Miki, S. (1932)** .On Sea-Grasses New to Japan. *Bot. Mag. (Tokyo)* 46 (552): 774-788. With Plate 1 and 9 Text-figures.
- (1933) On the Sea-Grasses in Japan (I). *Zostera* and *Phyllospadix*, with Special Reference to Morphological and Ecological Characters. *Bot. Mag. (Tokyo)* 47(564): 842-862.
- (1934) On the Sea-Grasses in Japan (II). *Cymodoceaceae* and *Marine Hydrocharitaceae*. *Bot. Mag. (Tokyo)* 48(566): 131-142. With 7 Text-Figures.
- (1934) On the Seagrasses in Japan (III) . General Consideration on the Japanese Seagrasses. *Bot. Mag. (Tokyo)* 48 (567) :171-178.
- Mok, H. K., Lee, J. D., and Lee, C. P.(1993)** .A new record of seagrass, *Halophila decipiens* Ostenfeld (Hydrocharitaceae) , in Taiwan. *Botanical Buletin-Academia Sinica Taipei*. 34,353-356.
- Moore, R. M. (2003)** .Marine Sources of Volatile Organohalogens. *The Handbook of Environmental Chemistry*. 3, 85-101.
- Moore, K. A., Orth, R. J., Nowak, J. F. (1993)**.Environmental regulation of seed germination in *Zostera marina* L. in Chesapeake Bay: effects of light, oxygen and sediment burial.*Aquatic Botany* ,45 (1) ,79-91.
- Morita, T., Kakinuma, M., Mizuno, G., Okumura, I., Kokubu, H., Kurashima, A., Maegawa, M., Miyamatsu, A., Fujii, M., and Abe, M. (2010)** .Morphological characteristics of annual *Zostera marina* shoots at various germination temperatures. [*Aquatic Botany*, 92 \(1 \)](#) , 49-54
- Nakamura, Y., Horinouchi, M., Nakai, T., and Sano, M.(2003)** .Food habits of fishes in a seagrass bed on a fringing coral reef at Iriomote Island, southern Japan. *Ichthyological Research* ,50, 15-22.
- Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C.M., Valdes, L., DeYoung, C., Fonseca, L., and Grimsditch, G. (eds) (2009)** .Blue Carbon. A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal, www.grida.no.
- Orth, R. J., Heck, K. L., and van Montfrans, J. (1984)** .Faunal

communities in seagrass beds: A review of the influence of plant structure and prey characteristics on predator-prey relationship. *Estuaries*, 7, 339-350.

Orth, R. J., Luckenbach, M., and Mpire, K. A. (1994). Seed Dispersal in a Marine Macrophyte: Implications for Colonization and Restoration. *Ecology*, 75 (7), 1927-1939.

Orth, R. J., Harwell, M. C., Bailey, E. M., Bartholomew, A., Jawad, J. T., Lombana, A. V., Moore, K. A., Rhode, J. M., Woods, H. E. (2000) .A review of issues in seagrass seed dormancy and germination: implications for conservation and restoration. *Marine Ecology Progress Series*, 200, 277-288.

Orth, R. J., Carruthers, T. J. B., Dennison, W. C., Duarte, C. M., Fourqurean, J. W., Heck, K. L., Hughes, A. R., Kendrick, G. A., Kenworthy, W. J., Olyarnik, S., Short, F. T., Waycott, M., and Williams, S. L. (2006) .A global crisis for seagrass ecosystems. *BioScience*, 56, 987-996.

Paling, E. I., Fonseca, M., van Katwijk, M. M., and van Keulen, M. (2009) .SEAGRASS RESTORATION . Coastal wetlands An integrated ecosystem approach: *Elsevier*, 687-713.

Pangallo R. A. and Bell S.S., (1988) Dynamics of the aboveground and belowground structure of the seagrass *Halodule wrightii*, *Marine Ecology Progress Series*, 43 (3), 297-301.

Park, J. I., and Lee, K. S. (2007) .Site-specific success of three trans-planting methods and the effect of planting time on the establishment of *Zostera marina* transplants. *Marine Pollution Bulletin*, 54, 1238-1248.

Perez, M., & Romero, J. (1992) . Photosynthetic response to light and temperature of the seagrass *Cymodocea nodosa* and the prediction of its seasonality. *Aquatic Botany*, 43, 51-62.

Piazzi B. E., Magri M., & Cinelli, F. (1998) .Experimental Transplanting of *Posidonia oceanica* (L.) Delile into a Disturbed Habitat in the Mediterranean Sea. *Botanica Marina*, 41, 593-601.

Piazzi, L., Acunto, S., & Cinelli, F. (1999) .In situ survival and development of *Posidonia oceanica* (L.) Delile seedlings, *Aquatic Botany*, 63 (2), 103-112.

Procaccini, G., and Mazzella, L. (1998) . Population genetic structure

and gene flow in the seagrass *Posidonia oceanica* assessed using microsatellite analysis. *Marine Ecology Progress Series*, 169,133–141.

Procaccini, G., Acunto, S., Famà, P., and Maltagliati, F., (1999). Structural morphological and genetic variability in *Halophila stipulacea* (Hydricharitaceae) populations in the western Mediterranean. *Marine. Bioogyl.* 135:181–189.

Ralph, P.J. (1998) .Photosynthetic response of laboratory-cultured *Halophila ovalis* to thermal stress, *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES* ,171,123-130.

Rasmussen, E. (1977) .The wasting disease of eelgrass (*Zostera marina*) and its effects on environmental factors and fauna Pages 1–51 in McRoy CP Helfferich C.eds.*Seagrass Ecosystems*. New York, Marcel Dekker.

Reeda, D. C., Holbrookb, S. J., Solomonb, E., Angheraa, M. (1998) .Studies on germination and root development in the surfgrass *Phyllospadix torreyi*: implications for habitat restoration. *Aquatic Botany*,62 (2) ,71-80.

Romero, J., Lee, K.S., Pe´rez, M., Mateo, M.A., Alcoverro, T. (2006) In *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*, eds Larkum W.D., Orth R.J., Duarte C.M. (Springer, Dordrecht, The Netherlands), 227–254.

Shimabuku, K. I. (1997) .Check List Vascular Flora of the Ryukyu Islands. 855.

Short, F. T., Polidoro, B., Livingstone, S. R., Carpenter, K. E., Bandeira, S., Bujang, J. S., Calumpong, H. P., Carruthers, T. J. B., Coles, R. G., Dennison, W. C., Erftemeijer, P. L. A., Fortes M. D., Freeman, A. S., Jagtap, T. G., Kamal, A. H. M., Kendrick, G. A., Kenworthy, W. J., Nafie, Y. A. L., & Zieman, J. C. (2011) . Extinction risk assessmesnt of the world's seagrass species. *Biological Conservation* ,144(7),1961-1971.

Short, F. T., Carruthers, T., Dennison, W., & Waycott, M., (2007) .Global seagrass distribution and diversity: a bioregional model. [*Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*](#). 350 (1-2), 3– 20.

Short, F., Moore, G.E., & Peyton, K.A. (2010) *Halophila ovalis* in the Tropical Atlantic Ocean. *Aquatic Botany*. 93 (3), 141–146.

- Short, F. T., Polidoro, B., Livingstone, S. R., Carpenter, K.E., Salomão, B., Bujang, J. S., Calumpong, H. P., Carruthers, T. J. B., Coles, R. G., Dennison, W. C., Erftemeijer, P. L. A., Fortes, M. D., Freeman, A. S., Jagtap, T. G., Kamal, A. H. M., Kendrick, G. A., Kenworthy, W. J., Nafie, Y. A. L., Zieman, J. C.** (2011). Extinction risk assessment of the world's seagrass species. *Biological Conservation*. 144 (7), 1961-1971.
- Shulman, M. J.** (1985). Recruitment of coral reef fishes: effects of distribution of predators and shelter. *Ecology*, 66, 1056-1066.
- Tanaka, T., Nozawa, K., and Nozawa, Y.** (1962). The distribution of seagrasses in Japan. *Acta Phytotax. Geobot.* XX:180-183. HUH record number 1097.
- Vonk, J. A., Christianen, M. J. A., Stapel, J., O'Brien, K. R.** (2015). Why knowledge of belowground biomass dynamics is crucial to effective seagrass management. [*Ecological Indicators*.57](#), 259-267.
- Waycott, M., Gabriele, P., Les, D. H., Reusch, T. B. H.** (2007). Seagrass Evolution, Ecology and Conservation: A Genetic Perspective. Springer, 25-50.
- Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, T. J. B., Orth, R. J., Dennison, W. C., Olyarnik, S., Calladine, A., Fourqurean, J. W., Heck, K. L., Hughes A. R., Kendrick G. A., Kenworthy W. J., Short F. T., and Williams, S. L.** (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 106(30),12377-123281.
- Yang, Y. P.** (1978). Hydrocharitaceae, Zannichelliaceae and Zosteraceae. Pages 22, 17-19, 33-34 in H. L. Li, T. S. Liu, T.C. Huang, T. Koyama, and C. E. DeVol, eds. *Flora of Taiwan*. Epoch Publishing Co, Ltd., Taipei.
- Yang, Y. P., Fong, S. C., and Liu, H. Y.** (2002). Taxonomy and Distribution of Seagrasses in Taiwan. *Taiwania*, 47(1), 54-61.
- Zarranz, M. E., Gonza'lez-Henri'quez, N., Garc'a-Jime'nez, P., and Robaina, R. R.** (2010). Restoration of *Cymodocea nodosa* seagrass meadows through seed propagation: germination in vitro, seedling culture and field transplants. *Botanica Marina*, 53, 173-181.

網路文獻

許博行（2013）樹苗繁殖法課程講義。

（<http://web.nchu.edu.tw/pweb/users/bhsheu/lesson/33.pdf>）

<http://125.75.235.126:1517/xdnyzy/ZYKC201330-A04/index.html>



柒、圖



圖 1. 卵葉鹽草生態照（上，歧頭灣）與標本照（下）
Fig. 1 The live *Halophila ovalis* image (above, Citou Bay) and the specimen
image(below)

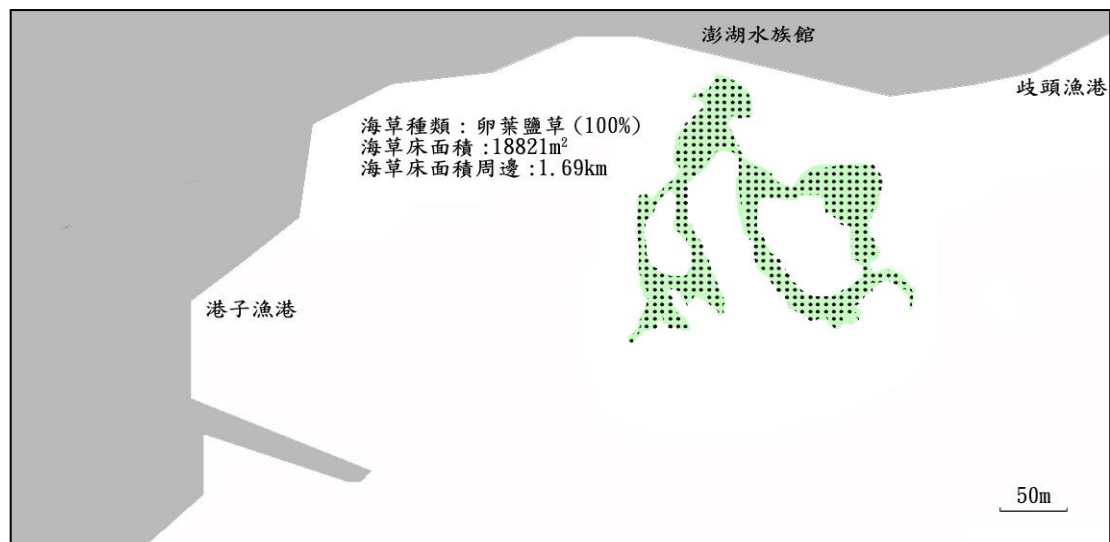


圖 2. 位於澎湖水族館前的卵葉鹽草海草床與測站 (綠色點為卵葉鹽草分布區域；紅色虛線框圍調查研究範圍)

Fig. 2 *Halophila ovalis* meadow and sampling sites in front of Penghu Aquarium. (The green spot is the distribution of *Halophila ovalis* and the square of red dotted line shows the investigation area)



圖 3. 卵葉鹽草物候調查研究測站位置圖

Fig. 3 Sampling sites of the phenology study of *Halophila ovalis*.



圖 4. 以鐵鏟切移樣框內的海草塊。

Fig. 4 Collecting the seagrass inside the sampling frame by shovel.



圖 5. 卵葉鹽草物候調查使用的水溫連續紀錄器。

Fig. 5 HOBO Pendant Temperature/Light Data Logger used in the phenology study of *Halophila ovalis*.



圖 6. 岐頭卵葉鹽草鹽度測點位置圖

Fig. 6 Sampling sites of the salinity of the *Halophila ovalis* meadow in Citou Bay.

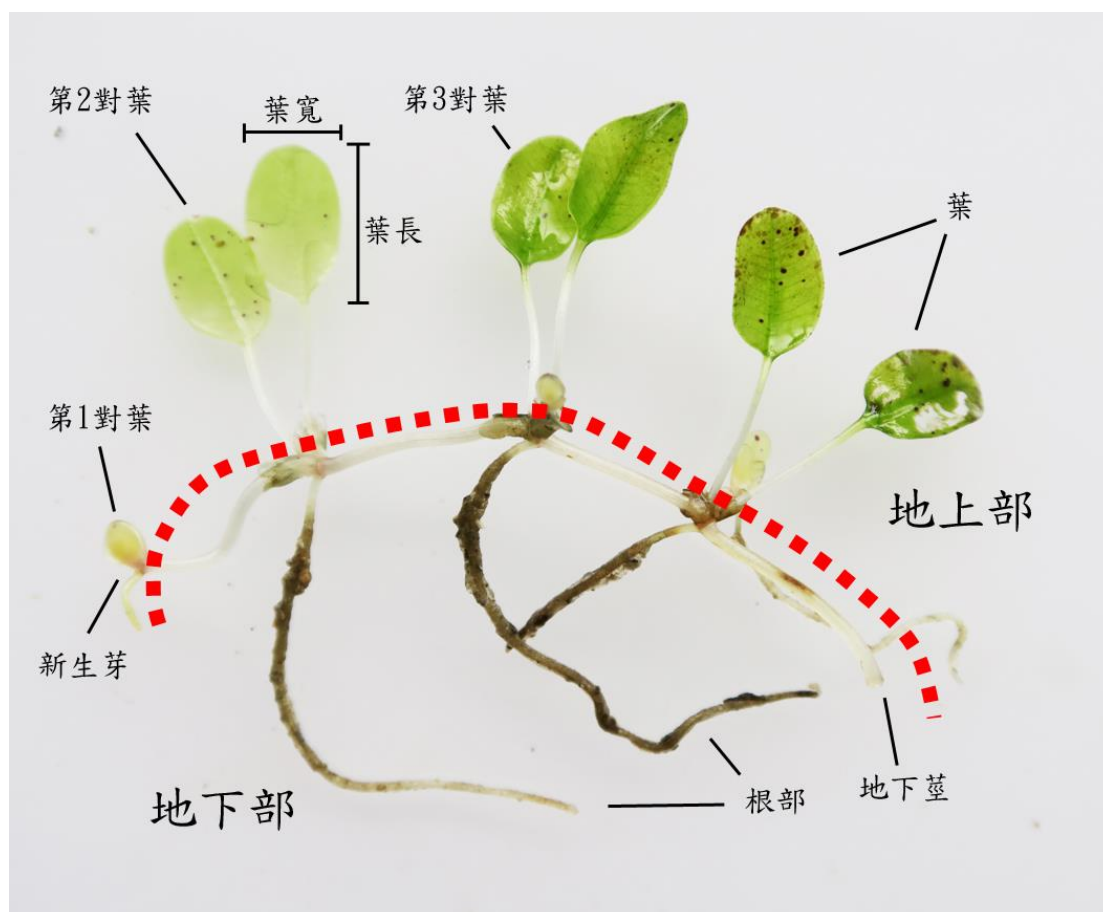


圖 7. 卵葉鹽草植株地上部（紅色虛線以上）與地下部（紅色虛線以下）之區別及各部（第 1-3 對葉片、地下莖、根部）位置與葉片之量測。

Fig. 7 Distinction between the shoot system (above the red dotted line) and root system (below the red dotted line) of *Halophila ovalis*, each parts of *Halophila ovalis* (the first to third pair of leaves, rhizome, root), and the measurement of leaves.

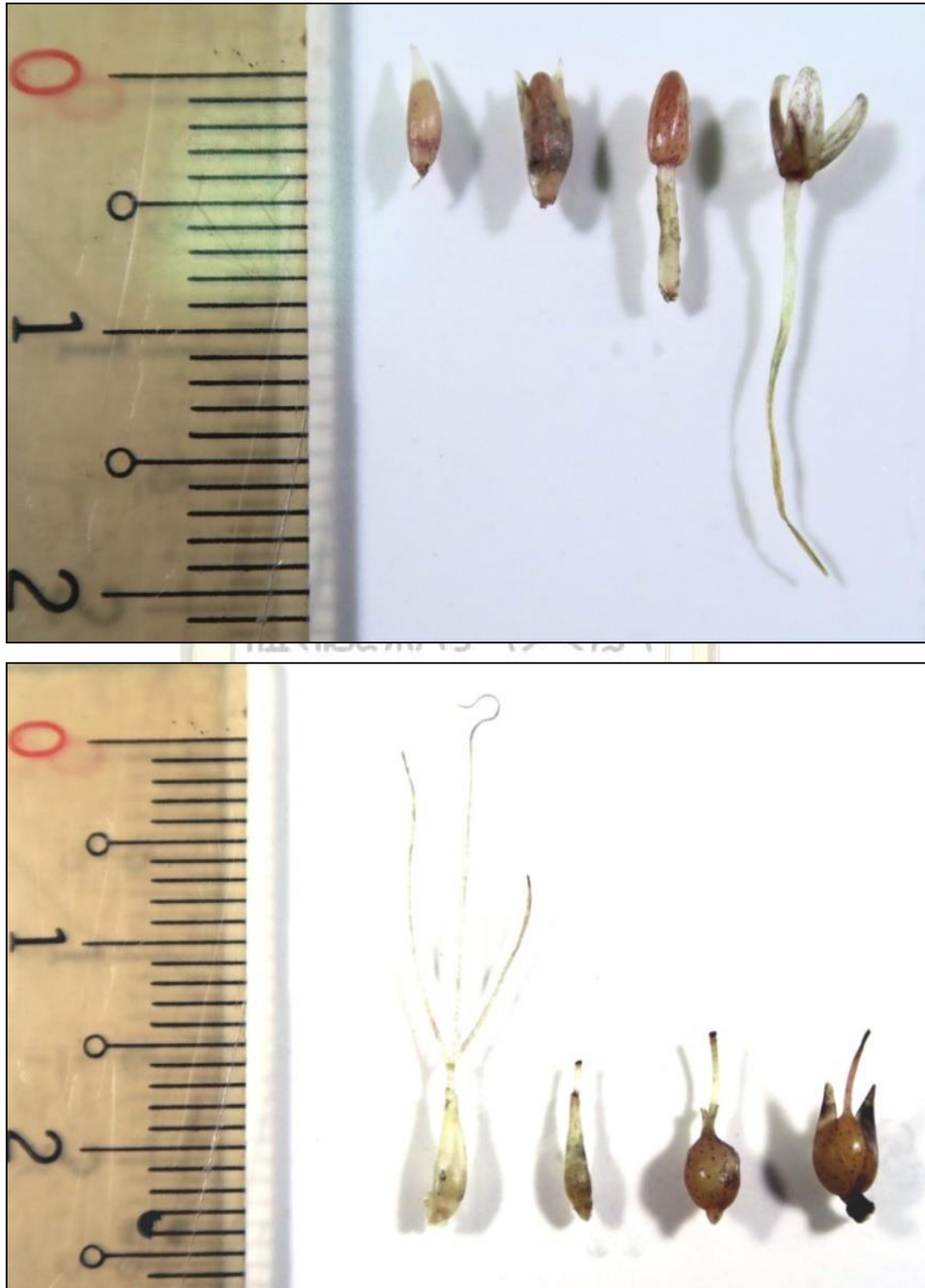


圖 8. 卵葉鹽草的雄花(上)與雌花及果實 (下)

Fig. 8 Male flower (above), female flower and fruit (below) of *Halophila ovalis*.

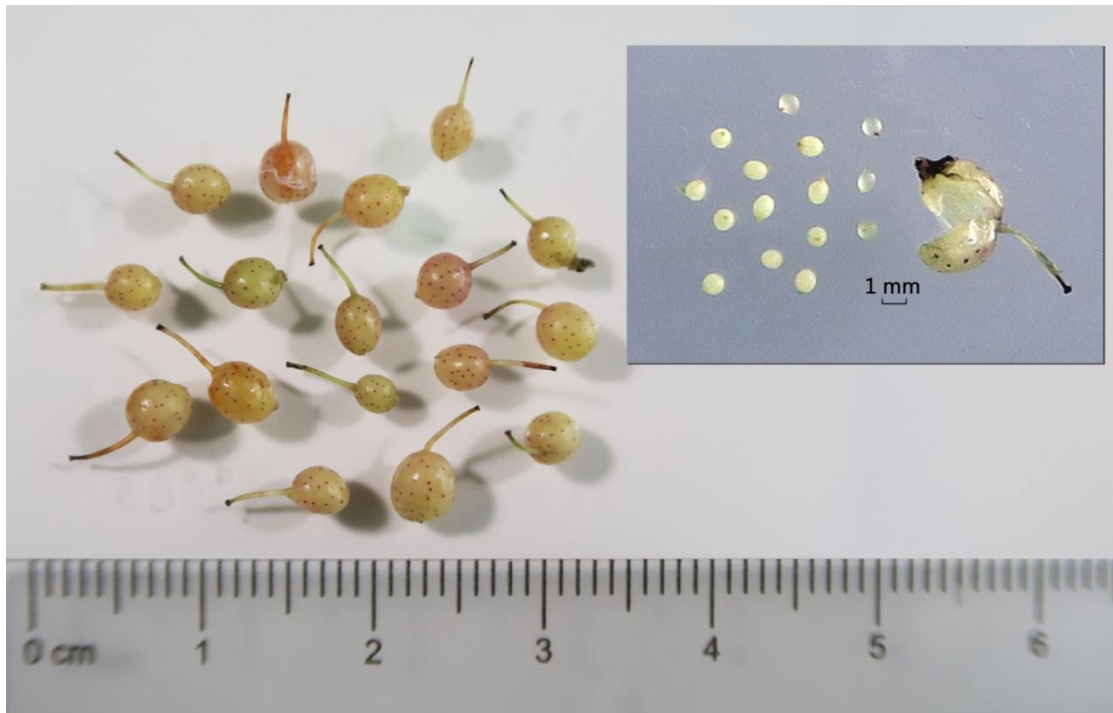


圖 9. 卵葉鹽草的果實（左）與種子（右上）。
Fig. 9 Fruit (left) and seed (the upper right) of *Halophila ovalis*.

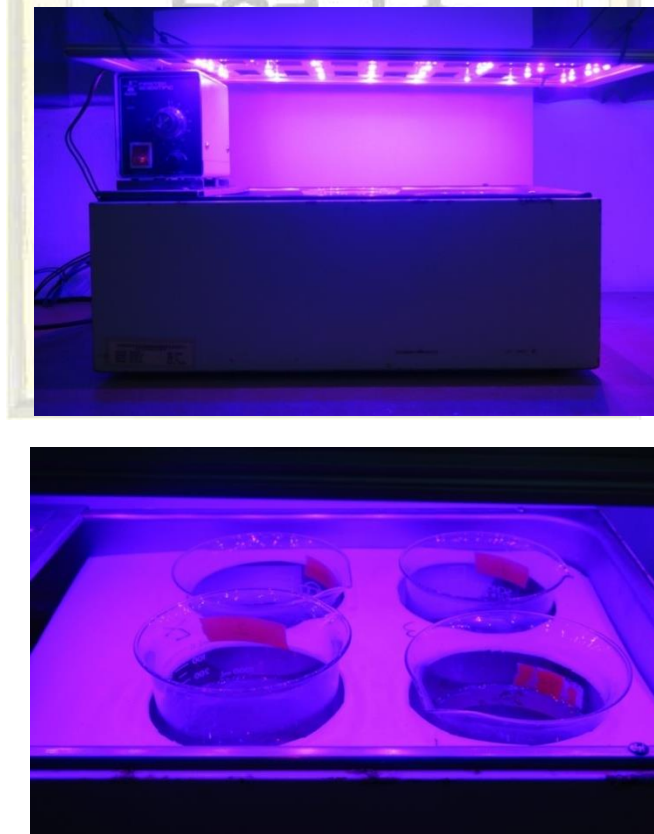


圖 10. 卵葉鹽草不同水溫與鹽度成長比較所使用的 LED 植物生長燈

Fig. 10 The LED Grow Light used in comparing growth rates under different water temperature and salinity.

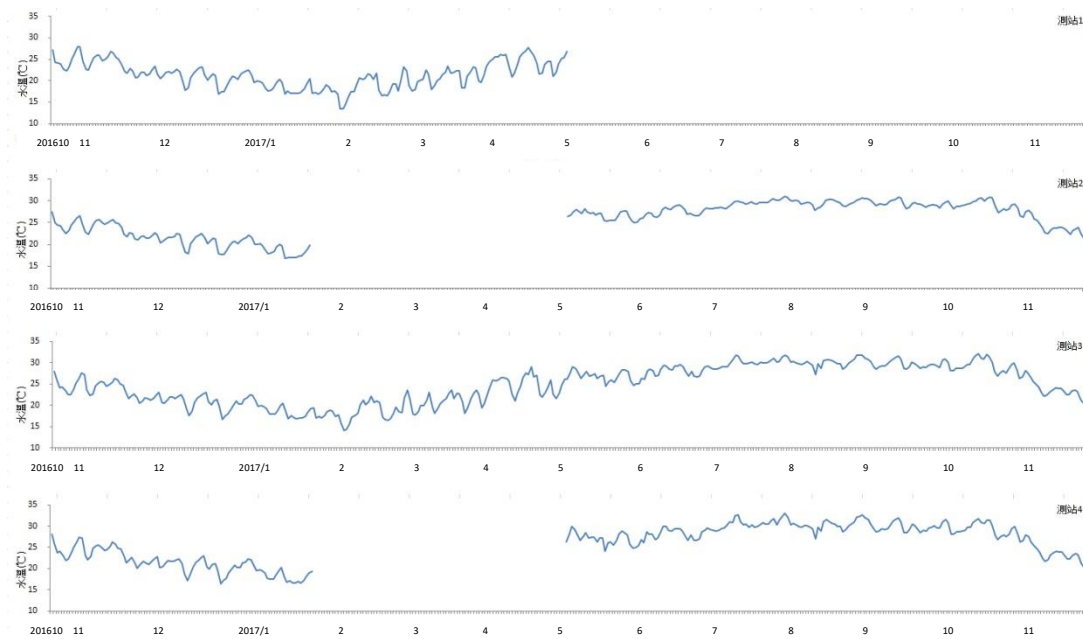


圖 11. 岐頭海草床 4 測站周年日均溫水溫變化

Fig. 11 Annual variation of the water temperature of four sites of the seagrass meadow in Citou Bay.



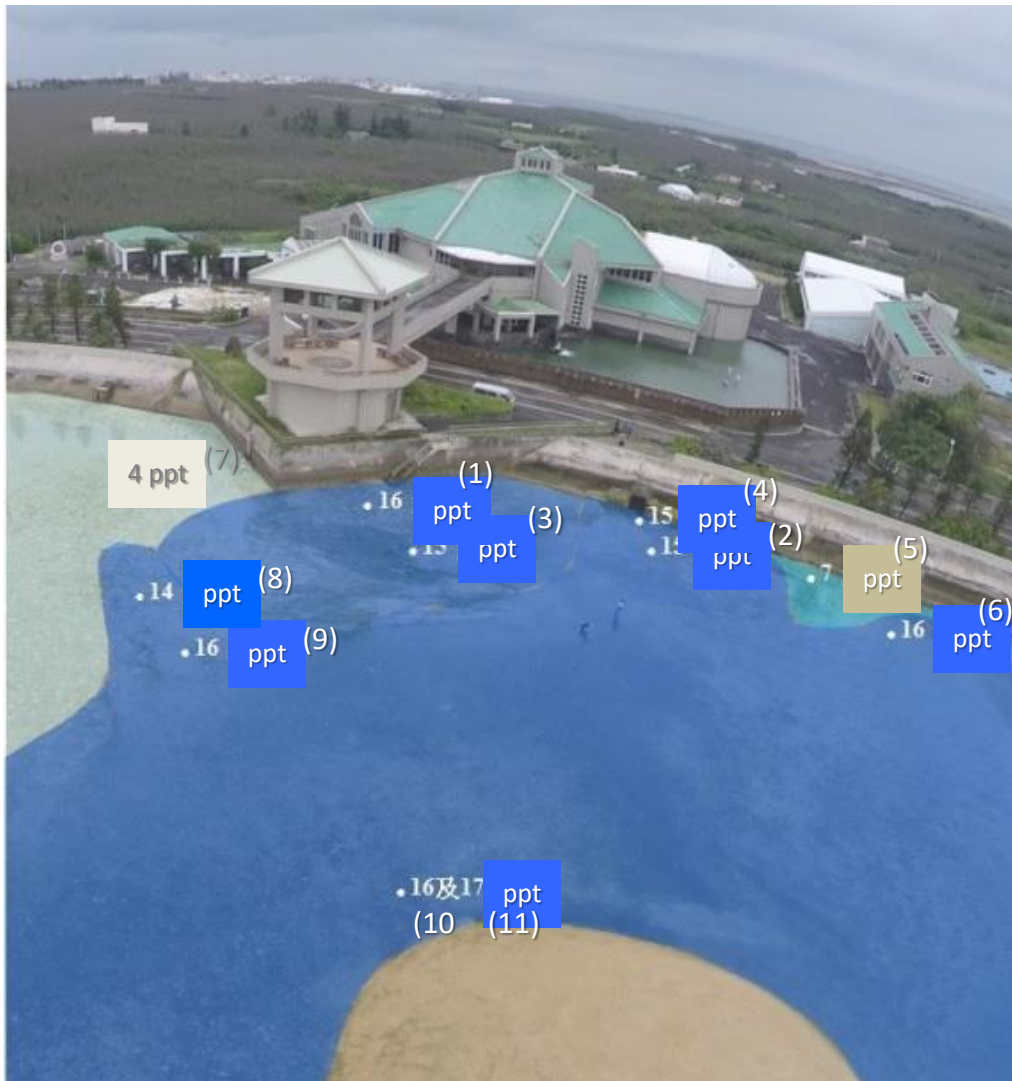


圖 12. 強降雨後岐頭海草床鹽度分布

Fig. 12 Salinity distribution of the seagrass meadow in Citou Bay after heavy rainfall.

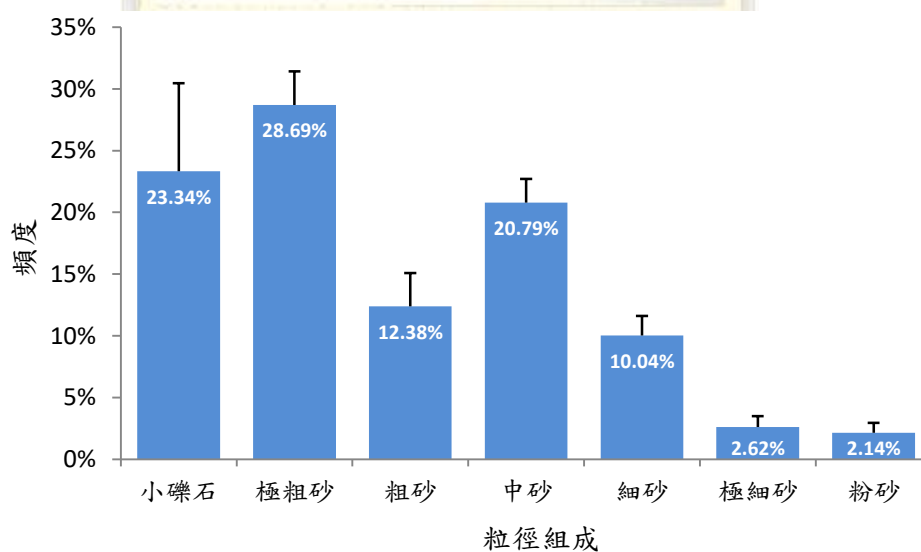


圖 13. 卵葉鹽草調查測站底質粒徑組成平均分布圖

Fig. 13 Composition and distribution of the substrate particle size of *Halophila ovalis*

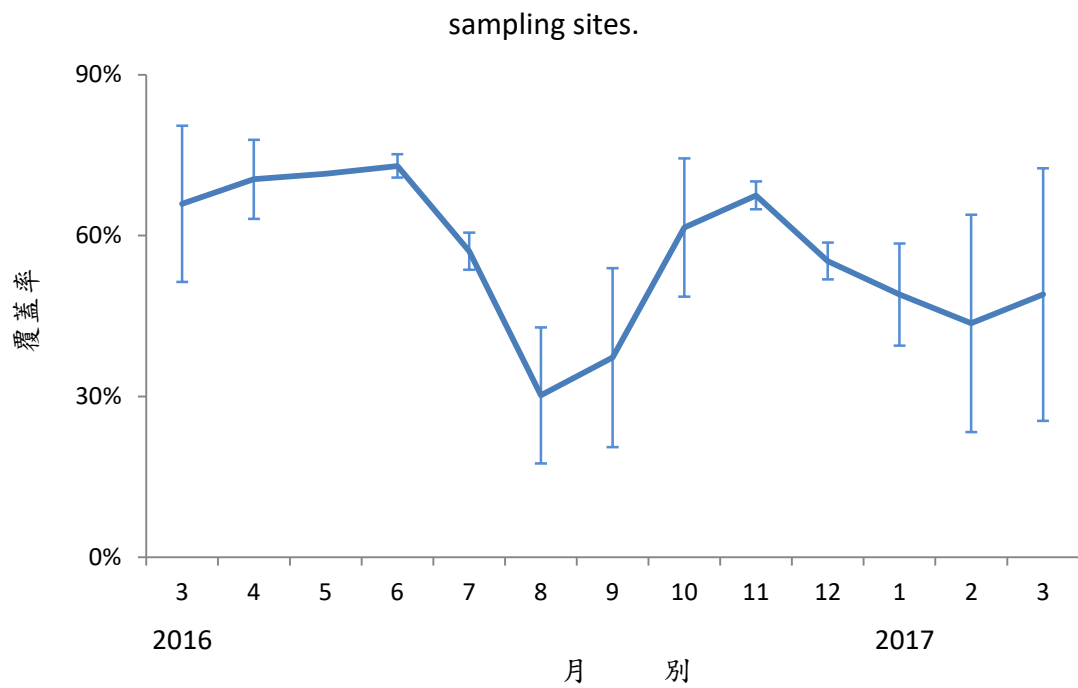
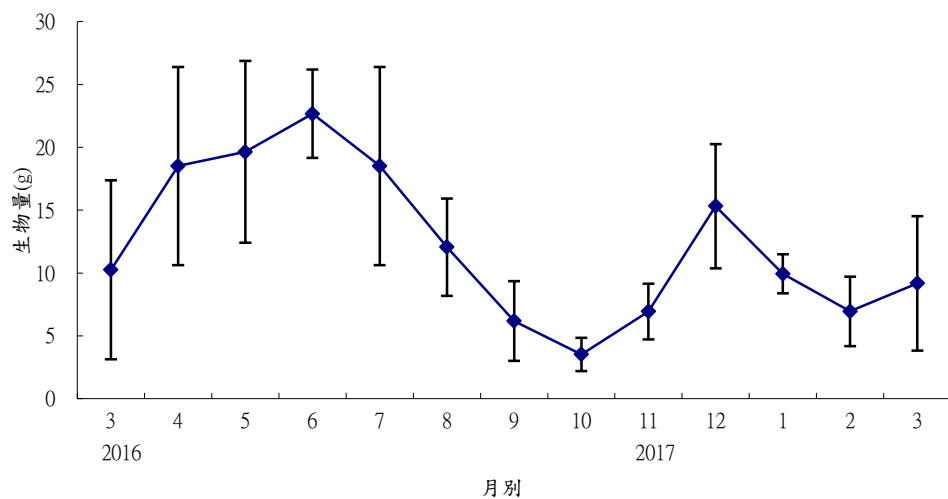


圖 14. 卵葉鹽草周年各月間平均覆蓋率變化圖

Fig. 14 Monthly variation of the average coverage of *Halophila ovalis*.



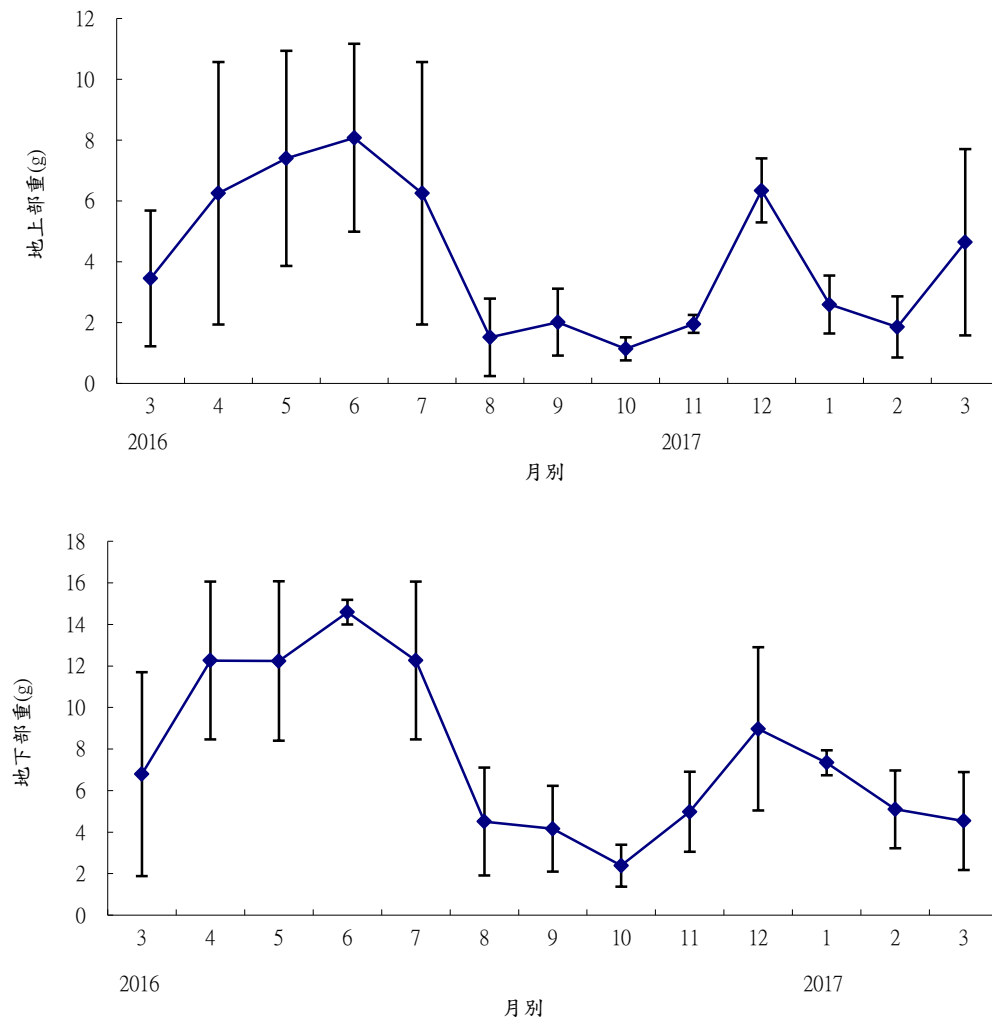


圖 15. 卵葉鹽草周年各月間平均生物量(上圖)、地上部(中圖)及地下部(下圖)變化圖

Fig. 15 Monthly variation of the average biomass (above), shoot system (middle), and root system (below) of *Halophila ovalis*.

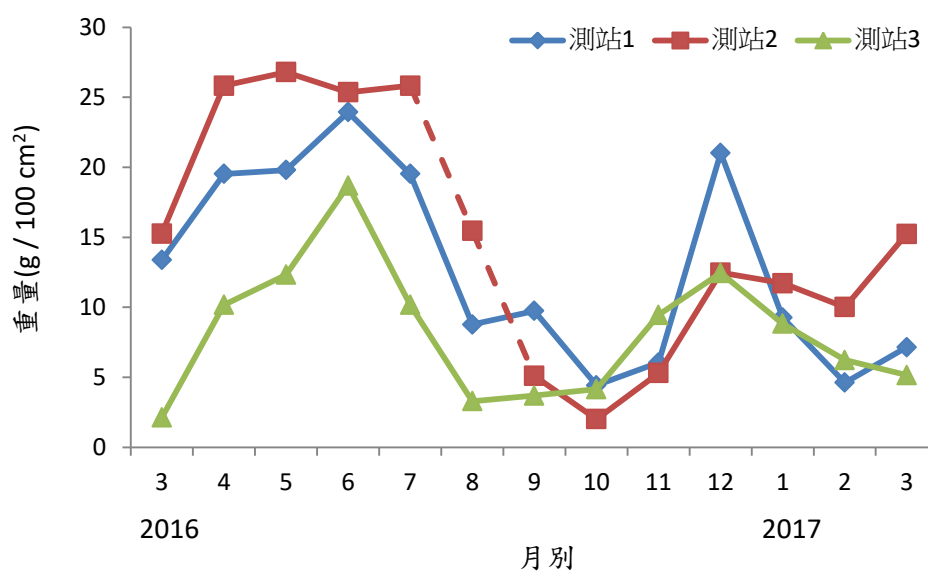


圖 16. 卵葉鹽草周年各測站生物量變化圖

Fig. 16 Variation of the biomass of each *Halophila ovalis* sampling sites.

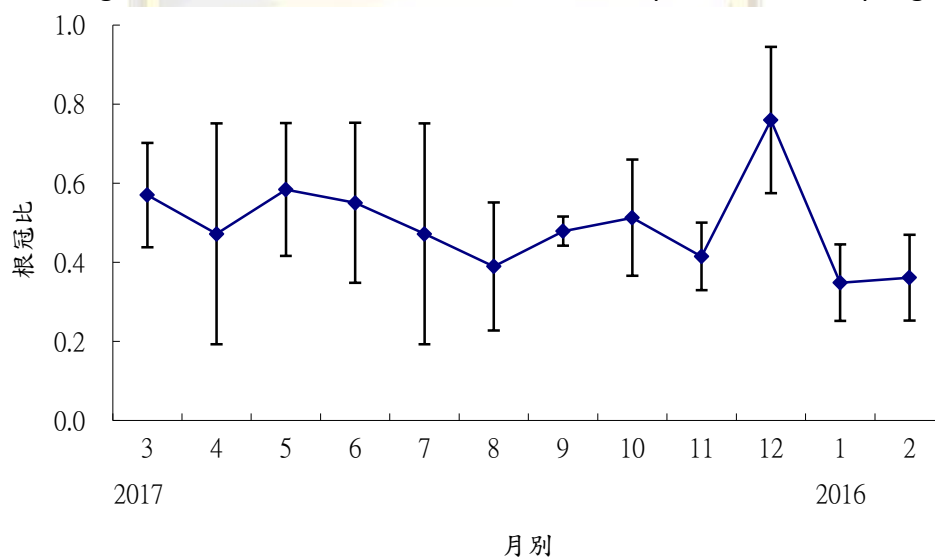


圖 17. 卵葉鹽草周年各月間地上部/地下部之比值變化圖

Fig. 17 Monthly variation of the ratio of shoot system to root system of *Halophila ovalis*.

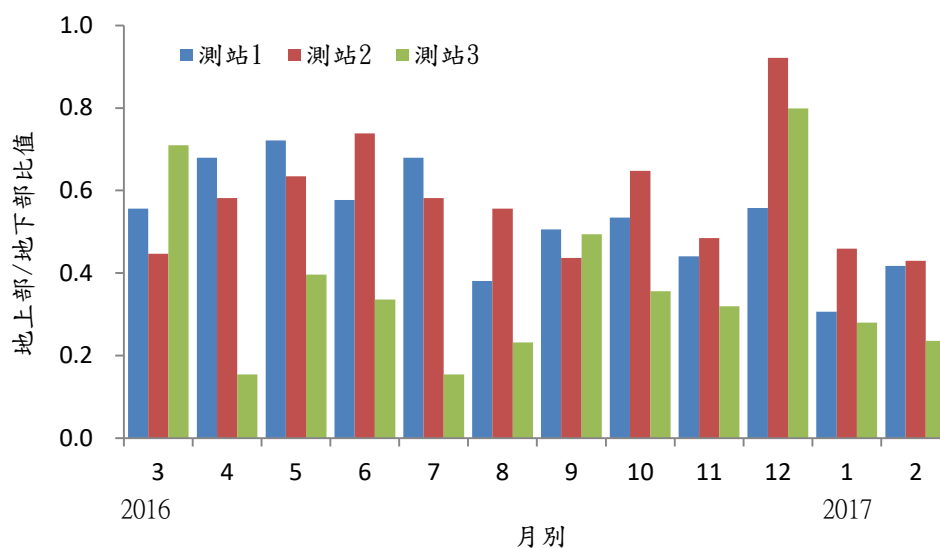


圖 18. 卵葉鹽草各測站周年月間地上部/地下部之比值變化圖

Fig. 18 Monthly variation of the ratio of shoot system to root system of *Halophila ovalis* each sampling sites.

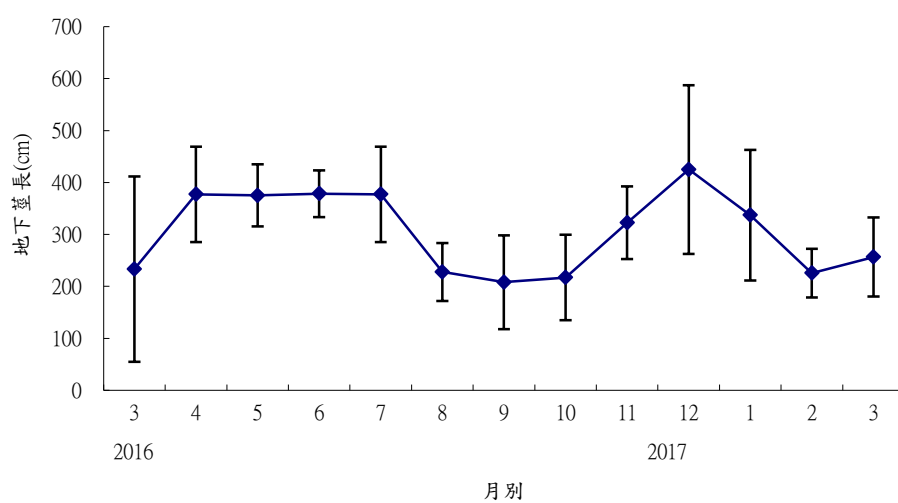


圖 19. 卵葉鹽草地下莖周年平均長度變化圖

Fig. 19 Variation of the average length of *Halophila ovalis* rhizome.

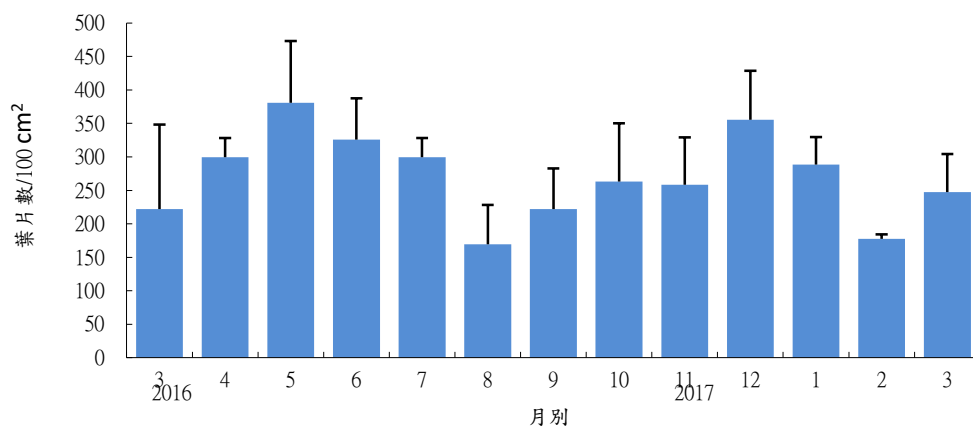


圖 20. 卵葉鹽草葉片數(100cm²)周年平均變化圖
Fig. 20 Variation of the *Halophila ovalis* leaf amount (100cm²).

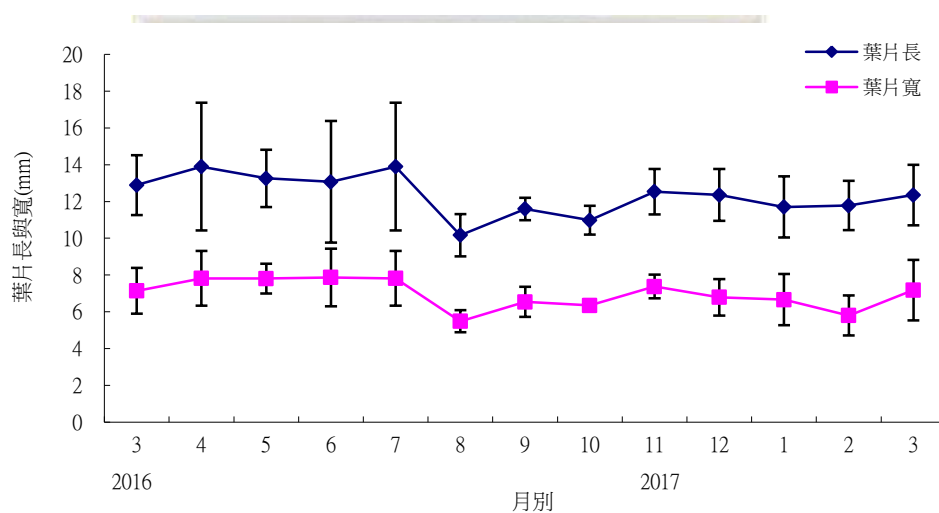


圖 21. 卵葉鹽草第 3 對葉片形態周年平均變化圖
Fig. 21 Variation of the third pair of leaves of *Halophila ovalis*.

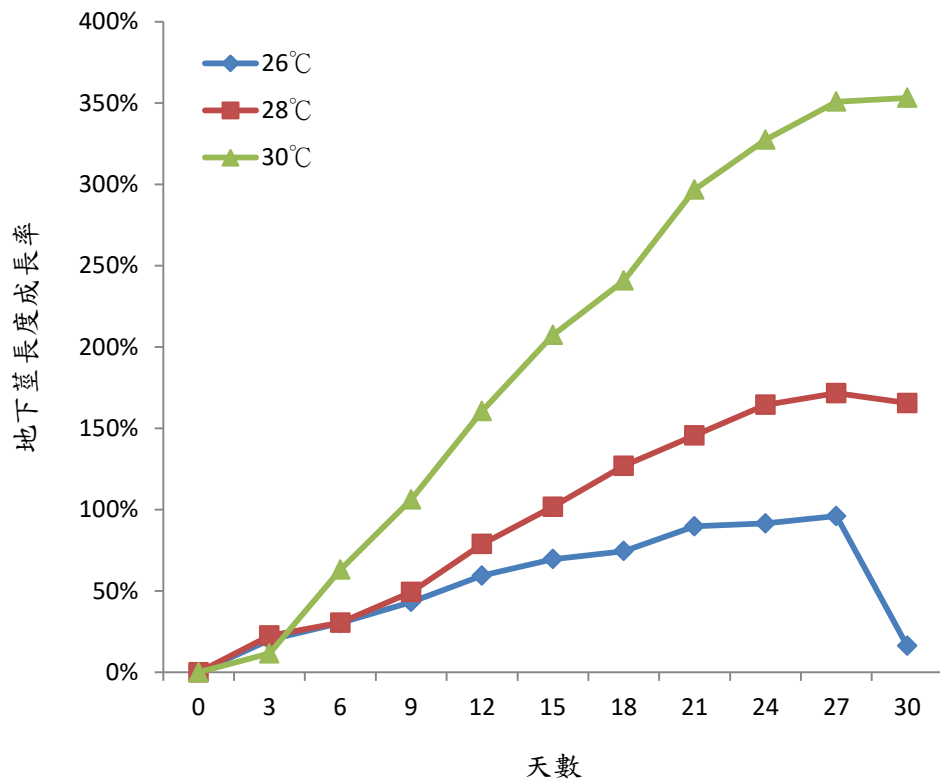


圖 22. 在不同溫度環境下卵葉鹽草地下莖生長率變化

Fig. 22 The growth rate of the length of *Halophila ovalis* rhizome in different temperature condition.

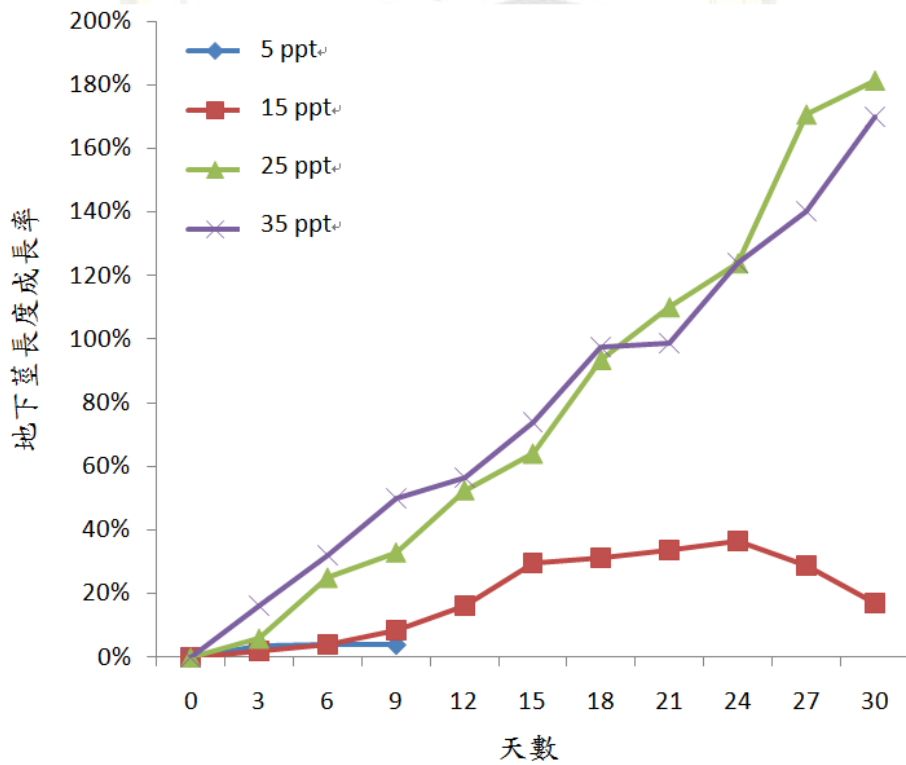


圖 23. 在不同鹽度環境下卵葉鹽草地下莖生長率變化

Fig. 23 The growth rate of the length of *Halophila ovalis* rhizome in different salinity condition.

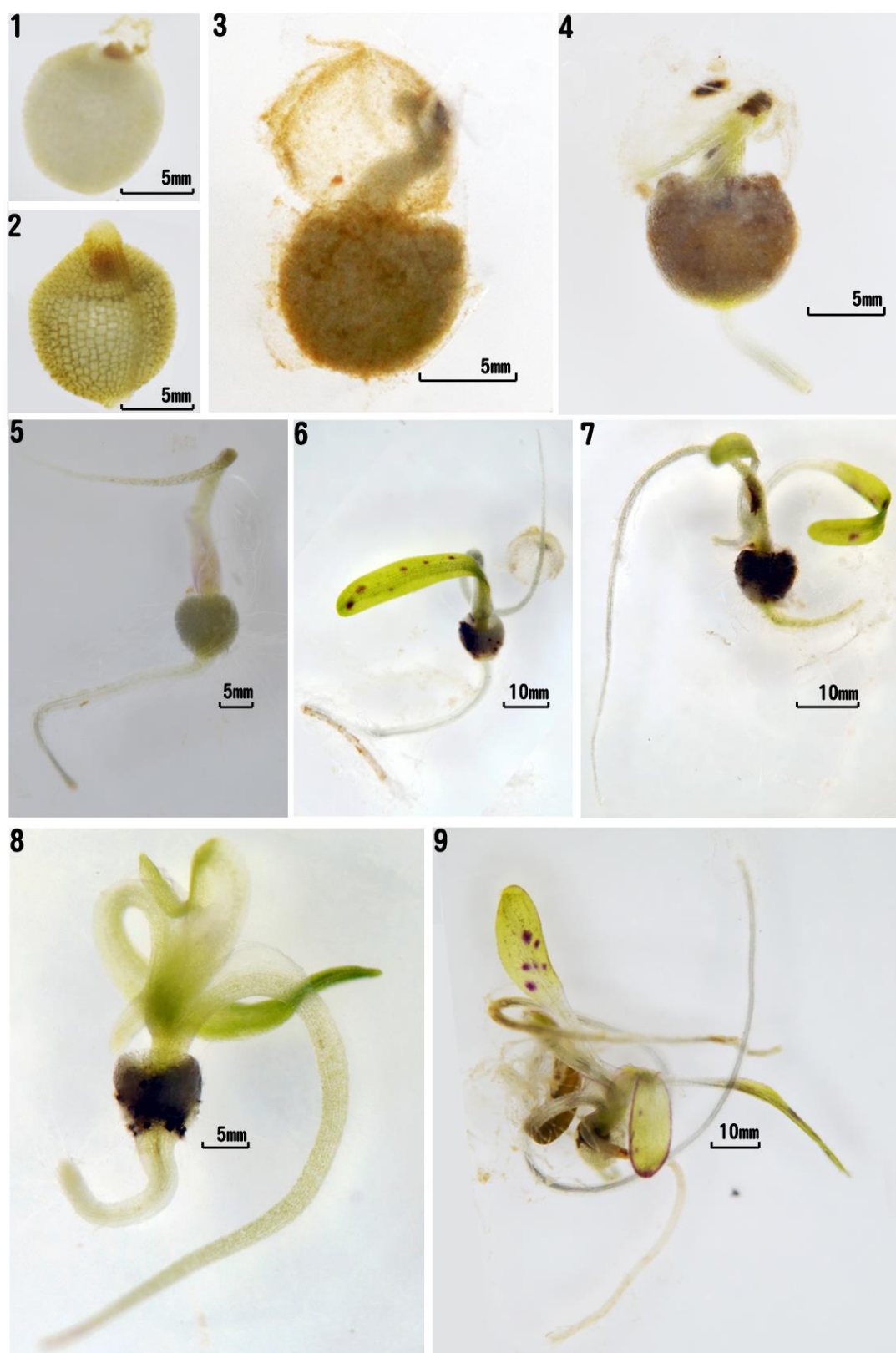


圖 24. 卵葉鹽草種子發芽各期之形態 (1)

Fig. 24 Morphology of *Halophila ovalis* seeds (I).

圖說：1.種子；2.子葉突起，網格清楚可見；3.子葉延伸，種膜脫離；4.胚根延伸；5.子葉及胚根伸展；6.第 1 片葉；7. 第 2 片葉；8. 第 3 片葉；9.第 4 片葉



圖 25. 卵葉鹽草種子發芽各期之形態 (2)

Fig. 25 Morphology of *Halophila ovalis* seeds (II).

圖說：10. 第 5 片葉及第一對新生芽。

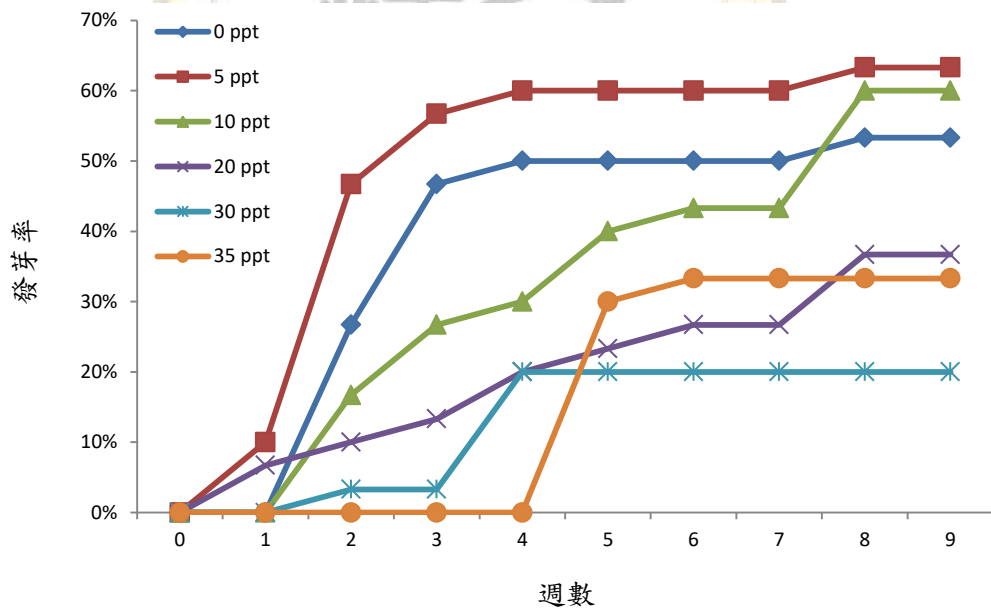


圖 26. 不同鹽度 (光照處理) 對卵葉鹽草種子發芽率之變化

Fig. 26 The germination rate of *Halophila ovalis* seeds in different salinity condition (with light).

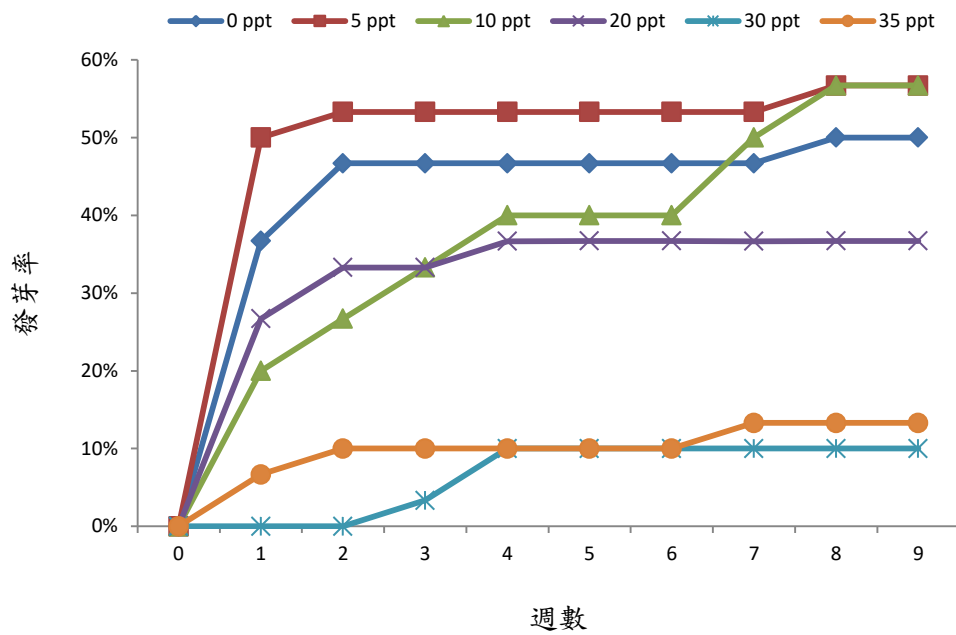


圖 27. 不同鹽度（無光照處理）卵葉鹽草種子發芽率之變化

Fig. 27 The germination rate of *Halophila ovalis* seeds in different salinity condition (without light).

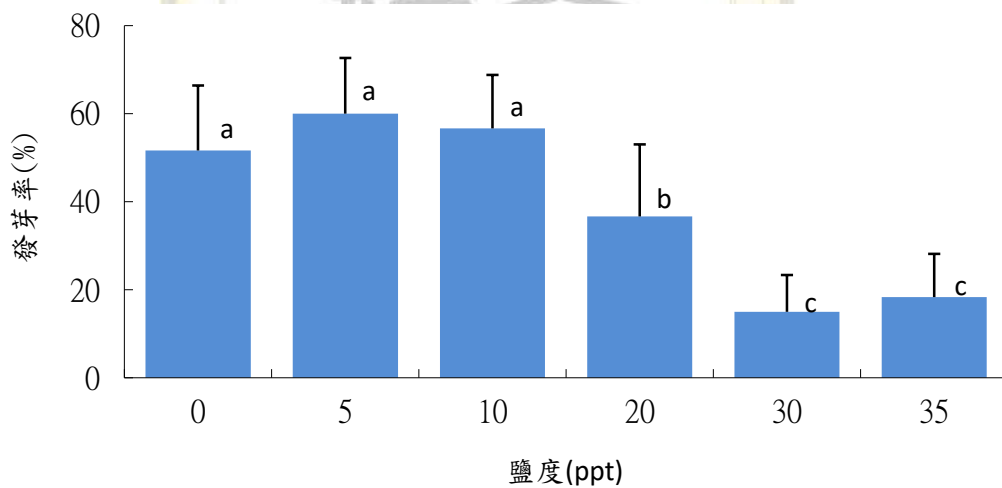


圖 28. 不同鹽度對卵葉鹽草種子發芽率之影響

Fig. 28 Effect on the germination rate of *Halophila ovalis* seeds in different salinity.

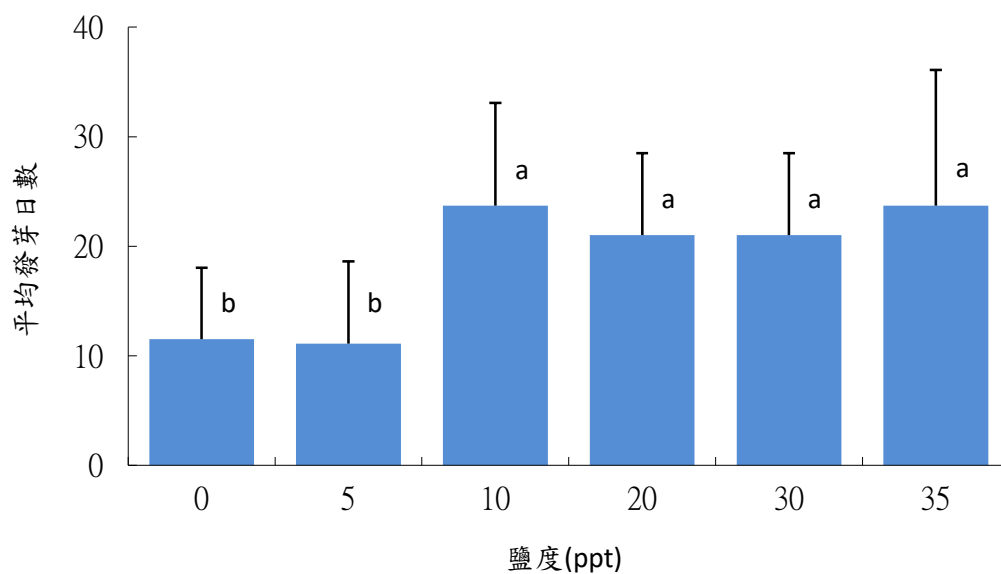


圖 29 同鹽度對卵葉鹽草種子平均發芽日數之影響

Fig. 29 Effect on the average germination days of *Halophila ovalis* seeds in different salinity.

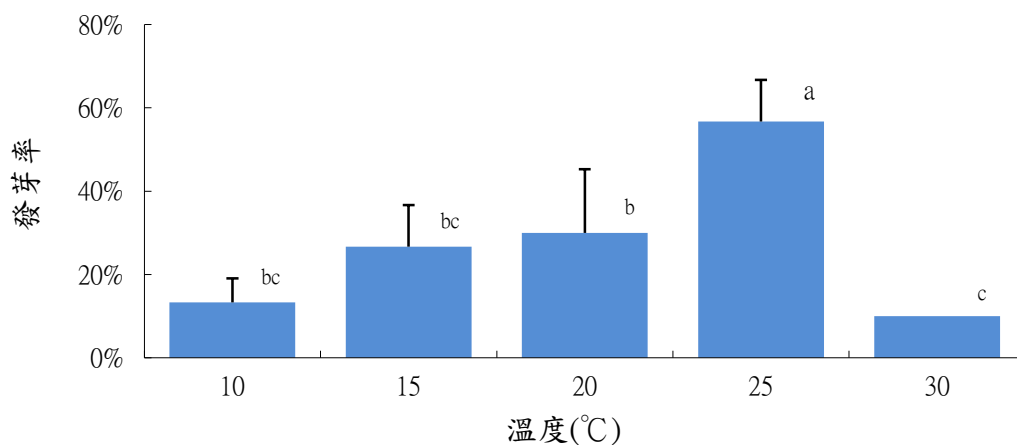


圖 30. 在低鹽度（5ppt）不同溫度對卵葉鹽草種子發芽率之變化

Fig. 30 The germination rate of *Halophila ovalis* seeds in different temperature condition while in low salinity (5ppt).

捌、表

表 1. 卵葉鹽草物候調查研究測站位置表

Table 1 List of the sampling sites of the phenology study of *Halophila ovalis*.

站 別	經 緯 度
測站 1	23°38'951" N、 119°36'267" E
測站 2	23°38'952" N、 119°36'272" E
測站 3	23°38'939" N、 119°36'249" E

表 2. 海草覆蓋率等級、面積估算與百分評比之對照表

Table 2 Lookup table for the coverage scale, area estimation and percentage appraise of seagrass.

等級	覆蓋面積估算	相對於覆蓋面積值的百分比 (%)	百分比評分 (%)
5	1/2-全部	50-100	75
4	1/4-1/2	25-50	37.5
3	1/8-1/4	12.5-25	18.75
2	1/16-1/8	6.25-12.5	9.38
1	少於 1/16	<6.25	3.13
0	沒有出現	0	0

表 3. 卵葉鹽草物候調查研究各測站底質粒徑組成表

Table 3 Composition of the substrate particle size of each sampling sites of the phenology study of *Halophila ovalis*.

粒徑組成 站別	小礫石 (>2mm)	極粗砂 (1 mm)	粗砂 (500μm)	中砂 (250μm)	細砂 (125μm)	極細砂 (63μm)	粉砂 (<63μm)
測站 1	23.10%	27.02%	14.54%	21.87%	8.81%	1.77%	2.90%
測站 2	30.58%	27.22%	9.36%	18.58%	9.48%	3.50%	1.27%
測站 3	16.33%	31.84%	13.24%	21.93%	11.82%	2.60%	2.25%

表 4. 卵葉鹽草覆蓋率周年各月間變化 (%)

Table 4 Monthly variation of the coverage of *Halophila ovalis*(%).

年 月 站別	2016 3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	2017 1	2	3
測站 1	68.0	70.5	72.8	75.0	58.5	42.0	51.7	60.0	63.7	51.7	49.5	39.3	47.2
測站 2	72.0	70.5	72.8	75.0	0.0	0.0	49.5	64.5	68.3	66.0	69.0	69.0	75.0
測站 3	57.6	70.5	69.0	69.0	43.7	18.4	33.0	60.0	70.5	48.0	28.5	22.5	24.8

表 5. 卵葉鹽草平均生物量、地上部重及地下部重周年各月間變化(g / 100 cm²)

Table 5 Monthly variation of the average biomass (above), weight of shoot system (middle), and weight of root system (below) of *Halophila ovalis* (g / 100 cm²).

年 月 站別	2016 3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	2017 1	2	3	平均
生物量	10.25	18.51	19.10	22.66	18.51	6.03	6.18	3.53	6.94	15.32	9.94	6.95	9.18	11.77
地上部	3.45	6.25	7.63	8.08	6.25	1.52	2.01	1.14	1.96	6.35	2.60	1.85	4.64	4.12
地下部	6.80	12.26	11.47	14.59	12.26	4.51	4.16	2.39	4.98	8.97	7.34	5.10	4.54	7.65

表 6. 卵葉鹽草地下莖長 (cm / 100 cm²) 周年各月間變化

Table 6 Monthly variation of the average length of *Halophila ovalis* rhizome (cm / 100 cm²).

年 月 站別	2016 3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	2017 1	2	3
測站 1	397.3	340.6	443.9	330.0	340.6	267.4	209.6	219.6	304.5	357.3	452.2	193.0	246.4
測站 2	259.5	481.8	333.7	418.3	481.8	299.3	116.8	133.7	263.3	366.4	355.8	279.4	337.1
測站 3	43.1	309.6	180.8	386.9	309.6	188.3	297.7	298.0	399.8	300.2	203.4	204.3	186.1

表 7. 卵葉鹽草葉片數 (片 / 100 cm²) 周年各月間變化

Table 7 Monthly variation of the *Halophila ovalis* leaf amount (pcs / 100cm²).

年 月 站別	2016 3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	2017 1	2	3
測站 1	354	318	385	389	318	211	273	288	331	440	335	173	190
測站 2	210	267	471	323	267	211	155	166	254	317	274	185	304
測站 3	102	314	287	265	314	128	238	335	190	309	256	175	248

表 8. 卵葉鹽草第 3 對葉片型態周年各月間變化

Table 8 Monthly variation of the third pair of leaves of *Halophila ovalis*.

		年 月													
		2016 3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	2017 1	2	3	
站 別															
測 站 1	長徑	12.3	16.1	14.9	12.0	16.1	11.0	11.2	11.8	12.5	11.3	11.2	10.7	11.2	
	短徑	7.2	8.8	8.6	7.9	8.8	5.9	6.3	6.3	7.1	6.1	6.5	5.7	7.9	
測 站 2	長徑	14.7	15.7	13.2	16.8	15.7	14.0	12.3	10.9	11.3	14.0	13.6	13.3	14.2	
	短徑	8.4	8.6	7.9	9.4	8.6	8.0	7.5	6.7	8.1	7.9	8.1	6.9	8.3	
測 站 3	長徑	11.6	9.9	11.7	10.4	9.9	9.4	11.3	10.3	13.8	11.8	10.3	11.4	11.6	
	短徑	5.9	6.1	7.0	6.3	6.1	5.1	5.9	6.0	6.9	6.64	5.4	4.8	5.3	

表 9. 卵葉鹽草花果期時序表

Table 9 Time scale of the blooming and fruiting periodsof *Halophila ovalis*.

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
雄花												
雌花												
果實												

表 10.卵葉鹽草生物量變異數分析表

Table 10 ANOVA table of the biomass of *Halophila ovalis*.

	覆蓋率(%)	生物量 (g/100cm ²)	地上部/地下部 比值	地下莖長 (cm)	第3葉片長 (mm)	第3葉片寬 (mm)	葉片數 (片/100cm ²)
測站 1	57.7±11.8 ^{ab}	12.9±7.0 ^{ab}	0.53±0.13 ^a	334.9±118.0 ^a	12.48±1.93 ^b	7.16±1.13 ^b	308.±80 ^a
測站 2	64.3±15.5 ^a	15.1±8.6 ^a	0.58±0.15 ^a	317.5±112.1 ^a	13.81±1.70 ^a	8.03±0.71 ^a	261±84 ^a
測站 3	47.4±20.0 ^b	8.2±4.7 ^b	0.37±0.20 ^b	254.4± 97.8 ^b	11.04±1.17 ^c	5.92±0.66 ^c	243±74 ^a

表 11. 不同鹽度（光照處理）對卵葉鹽草種子發芽率（%）之變化

Table 11The germination rate(%) of *Halophila ovalis* seeds in different salinity condition (with light).

鹽度 天數	0 ppt	5 ppt	10 ppt	20 ppt	30 ppt	35 ppt
7	0	10.0	0	6.7	0	0
14	26.7	46.7	16.7	10.0	3.3	0
21	46.7	56.7	26.7	13.3	3.3	0
28	50.0	60.0	30.0	20.0	20.0	0
35	50.0	60.0	40.0	23.3	20.0	20.0
42	50.0	60.0	43.3	26.7	20.0	23.3
49	50.0	60.0	43.3	26.7	20.0	23.3
56	53.3	63.3	60.0	36.7	20.0	23.3
63	53.3	63.3	60.0	36.7	20.0	23.3

表 12. 不同鹽度（無光照處理）對卵葉鹽草種子發芽率（%）之變化

Table 12 The germination rate(%) of *Halophila ovalis* seeds in different salinity condition (without light).

鹽度 天數	0 ppt	5 ppt	10 ppt	20 ppt	30 ppt	35 ppt
7	36.7	50.0	20.0	26.7	0	6.7
14	46.7	53.3	26.7	33.3	0	10.0
21	46.7	53.3	33.3	33.3	3.3	10.0
28	46.7	53.3	40.0	36.7	10.0	10.0
35	46.7	53.3	40.0	36.7	10.0	10.0
42	46.7	53.3	40.0	36.7	10.0	13.3
49	46.7	53.3	50.0	36.7	10.0	13.3
56	50.0	56.7	53.3	36.7	10.0	13.3
63	50.0	56.7	53.3	36.7	10.0	13.3

表 13. 鹽度與有無光照處理對卵葉鹽草種子發芽率影響之雙因子變異數分析表

Table 13 Two-way ANOVA table of the effects on the germination rate of *Halophila ovalis* seeds in different salinity and light condition.

S.O.V	D.F.	M.S.	F	P
salinity (S)	5	23.028	12.754	0.000
Light (L)	1	3.361	1.862	0.185
S×L	5	0.228	0.126	0.985
Error	24	1.81		
Corrected Total	36			

表 14. 鹽度與有無光照處理對卵葉鹽草種子平均發芽日數影響之雙因子變異數分析表

Table 14 Two-way ANOVA table of the effects on the average germination day of *Halophila ovalis* seeds in different salinity and light condition.

S.O.V	D.F.	M.S.	F	P
salinity (S)	5	200.810	5.126	0.002
Light (L)	1	1036.196	26.451	0.000
S×L	5	26.392	0.674	0.647
Error	24	39.175		
Corrected Total	36			

表 15. 不同鹽度對對卵葉鹽草種子發芽影響

Table 15 Effect on the germination of *Halophila ovalis* seeds in different salinity.

鹽度(ppt)	0	5	10	20	30	35
發芽率 (%)	51.67±14.72 ^a	60.00±12.65 ^a	56.67±12.11 ^a	36.67±16.33 ^b	15.00±8.37 ^c	18.33±9.83 ^c
平均發芽日數	11.53±6.52 ^b	11.12±7.52 ^b	23.07±9.40 ^a	21.02±7.48 ^a	21.72±4.99 ^a	23.70±12.39 ^a

1. Mean±standard deviation(n=6)

2. ^{a b c} Mean values within a row not sharing the same superscript were significantly different at 5% level.

表 16. 不同鹽度及有無光照的卵葉鹽草種子發芽係數及生長葉數一覽表

Table 16 Germination index and leaf amount of *Halophila ovalis* seeds in different salinity and light condition.

鹽度(ppt)		0	5	10	20	30	35
有光照處理	發芽係數	3.14	4.56	2.03	1.25	0.83	0.7
	幼苗葉數(片)	3	14	25	12	12	6
	新生芽(對)	0	2	2	0	0	0
無光照處理	發芽係數	6.25	8.17	3.05	2.40	0.73	0.75
	幼苗葉數(片)	0	1	9	9	5	6
	新生芽(對)	0	0	1	0	0	0

表 17. 歧頭灣海草床 4 測站最高最低水溫表

Table. The highest and lowest temperature of four sites of the seagrass meadow in Citou Bay.

	紀錄期程	紀錄筆數	最低水溫 (°C)	最高水溫 (°C)	平均水溫 (°C)
測站 1	2016/10/28- 2017/05/02	4,468	10.9	37.2	21.3 ± 3.6
測站 2	2016/10/28- 2017/11/05	6,730	15.2	36.2	25.9 ± 4.0
測站 3	2016/10/28- 2017/11/05	8,946	11.6	41.5	26.1 ± 4.7
測站 4	2016/10/28- 2017/11/05	6,730	14.6	47.5	26.1 ± 5.0



附錄 1：歧頭灣海草床生物相（軟體動物）

Appendix Table 1 Fauna of the seagrass meadow in Citou Bay (Mollusca).

軟體動物 (Mollusca)

雙殼綱

殼菜蛤科 (Mytukudae)

土嘴瓜殼菜蛤 (*Modiolus metcalfei*)

江珧蛤科 (Pinnidae)

牛角江珧蛤 (*Atrina pectinata*)

黑旗江珧蛤 (*Atrina vexillum*)

尖角江珧蛤 (*Pinna muricata*)

鶯蛤科 (Pteriidae)

黑蝶真珠蛤 (*Pinctada margaritifera*)

滿月蛤科 (Lucinidae)

美姬滿月蛤 (*Epicodakia bella*)

紫雲蛤科 (Psammobiidae)

枯葉紫雲蛤 (*Psammotaea virescens*)

櫻蛤科 (Tellinidae)

波紋櫻蛤 (*Quidnipagus palatam*)

簾蛤科 (Veneridae)

歪簾蛤 (*Anomalocardia squamosa*)

岐紋簾蛤 (*Gafrarium divaricatum*)

厚殼縱簾蛤 (*Gafrarium tumidum*)

黃文蛤 (*Pitarina sulfureum*)

菲律賓簾蛤 (*Ruditapes philippinarum*)

硬殼淺蜊 (*Tapes blecheri*)

淺蜊 (*Tapes literatus*)

裸鰓類 (Nudibranchia)

盤海牛科 (Discodorididae)

整齊盤海牛 (*Diocodoris concinna*)

海兔科 (Aplysiidae)

黑指紋海兔 (*Aplysia dactylomela*)

染斑海兔 (*Aplysia jiliana*)

截尾海兔 (*Dolabella auricularia*)

六鰓海牛科 (Hexabranichidae)

裂緣六鰓海蛞蝓 (*Hexabranichus lacera*)

腹足綱

海捲科 (Potamididae)

黑瘤海捲螺 (*Batillaria sordida*)

附錄 1：歧頭灣海草床生物相（軟體動物）

Appendix Table 1 Fauna of the seagrass meadow in Citou Bay (Mollusca).

燒酒海捲螺 (*Batillaria zonalis*)

玉螺科 (Naticidae)

小灰玉螺 (*Natica gualteriana*)

腰帶玉螺 (*Natica vitellus*)

黑唇玉螺 (*Polinices melanostomus*)

鶉螺科 (Tonnidae)

鶉螺 (*Tonna perdx*)

備註：依臺灣生物多樣性資訊入口網站 (<http://taibif.tw/zh>) 物種名錄分類排序



附錄 2：歧頭灣海草床生物相（棘皮動物）

Appendix Table 2 Fauna of the seagrass meadow in Citou Bay (Echinodermata).

棘皮動物 (Echinodermata)

海星綱 (Asteroidea)

飛白楓海星科 (Archasteridae)

飛白楓海星 (*Archaster typicus*)

海膽綱 (Echinoidea)

毒棘海膽科 (Toxopneustidae)

白棘三列海膽 (*Tripneustes gratilla*)

海參綱 (Holothurioidae)

海參科 (Holothuriidae)

黑海參 (*Holothuria atra*)

黃疣海參 (*Holothuria hilla*)

蕩皮參 (*Holothuria leucospilota*)

刺參科 (Stichopodidae)

糙刺參 (*Stichopus horrens*)

備註：依臺灣生物多樣性資訊入口網站 (<http://taibif.tw/zh>) 物種名錄分類排序



附錄 3：歧頭灣海草床生物相（甲殼動物）

Appendix Table 3 Fauna of the seagrass meadow in Citou Bay (Crustacea).

甲殼動物 (Crustacea)

軟甲綱 (Malacostraca)

槍蝦科 (Alpheidae)

短脊槍蝦 (*Alpheus brevicristatus*)

無刺槍蝦 (*Alpheus lobidens*)

太平洋槍蝦 (*Alpheus pacificus*)

饅頭蟹科 (Calappidae)

肝葉饅頭蟹 (*Calappa hepatica*)

玉蟹科 (Leucosiidae)

豆形拳蟹 (*Philyra pisum*)

大眼蟹科 (Macrophthalmidae)

萬歲大眼蟹 (*Macrophthalmus banzai*)

對蝦科 (Penaeidae)

刀額新對蝦 (*Metapenaeus ensis*)

梭子蟹科 (Portunidae)

遠海梭子蟹 (*Portunus pelagicus*)

達氏短槳蟹 (*Thalamita danae*)

底棲短槳蟹 (*Thalamita prymna*)

雙額短槳蟹 (*Thalamita sima*)

肢口綱 (Merostomata)

蠍科 (Limulidae)

三棘蠍 (*Tachypleus tridentatus*)

備註：依臺灣生物多樣性資訊入口網站 (<http://taibif.tw/zh>) 物種名錄分類排序