

鋸齒麒麟菜之世代判別與資源保護策略

Generation determination and resource protection methods of *Eucheuma perplexum* Doty.

陳柏原^{1*}、冉繁華²、李孟洲²、葉翰揚²、藤田大介³

Boryuan Chen, Fan-Hua Nan, Meng-Chou Lee, Han-Yang Yeh, and Dai-suke Fujita

¹ 財團法人醫藥工業技術發展中心，產業發展處

新北市五股區五權路9號7樓

Industrial Development Division, Medical and Pharmaceutical Industry

Technology and Development Center, 7 F, No. 9, Wuquan Road, Wugu District,

New Taipei City, Taiwan

² 國立台灣海洋大學，水產養殖學系

基隆市中正區北寧路2號

Department of Aquaculture, National Taiwan Ocean University, Keelung City

20224, Taiwan

³ 國立東京海洋大學，應用藻類研究室

東京都港區港南4-5-7

Laboratory of Applied Phycology, Graduate School of Tokyo University of Marine

Science and Technology, 4-5-7 Minato-ku, Tokyo 108-8744, Japan.

*boryuan0527@gmail.com

Corresponding author: *boryuan0527@gmail.com

摘要

鋸齒麒麟菜 *Eucheuma perplexum* 為台灣本土料理涼拌蜈蚣菜的主要原料，因擁有充滿嚼勁的口感，深得大眾所愛。本研究使用核磁共振光譜法進行鋸齒麒麟菜之世代判定並於新北市瑞芳區深澳漁港海域實施兩項資源保護實驗。世代判定結果顯示，鋸齒麒麟菜配偶體及四分孢子體之藻體內鹿角菜膠皆為 ι 型，故需使用其他方式判定未成熟藻體之世代。而資源保護實驗結果顯示，單去除鋸齒麒麟菜群落周遭的競爭物種無法提升鋸齒麒麟菜之族群量，但於鋸齒麒麟菜生長高峰或攝食壓力高之時期予以保護，如設置保護籠等，可維持其正向的日成長量。本研究以累積鋸齒麒麟菜之生物學資訊及增加資源保護策略建議為目的，未來建議可投入資源以建立如鋸齒麒麟菜等高經濟藻種之養殖系統，並開發可迴避草食性生物之方法，以作為未來大型藻類養殖技術之基盤。

關鍵詞：鋸齒麒麟菜、鹿角菜膠、草食性生物、資源保護

Abstract

Eucheuma perplexum Doty is the main ingredient of a Taiwanese local dish “Liang Ban Wu Gong Cai” (cold centipede dish), and is loved by the locals for its chewy texture. In this research, the generation of *E. perplexum* is determined by using Nuclear Magnetic Resonance (NMR) spectroscopy. Two resource protection experiments were conducted in Shen-Ao Bay, Rui-Fang District, New Taipei City. The results from sex determination showed that both generations contain the same carrageenan, which is the iota type. It is necessary to use other methods to determine the sex of immature *E. perplexum*. The results of two protection experiments showed that although the removal of competing species around the communities of *E. perplexum* does not increase the population of *E. perplexum*, protecting them, e.g., in a cage during the high growth or high feeding pressure period can positively maintain their daily growth rate. The purpose of

this research is to accumulate the biological information of *E. perplexum* and to find new strategies in resource conservation. It is recommended in the future to invest in exploring the establishment of a cultivation system for high-economic algae such as *E. perplexum*, and to develop methods to avoid herbivories, laying the foundation of the future seaweed cultivation technology.

Key words: *Eucheuma perplexum*, carrageenan, herbivory, resource protection

序言

鋸齒麒麟菜 *Eucheuma perplexum* Doty 屬於真紅藻綱 Florideophyceae、杉藻目 Gigartinales、紅翎菜科 Solieriaceae 之海藻，分布於溫帶至熱帶海域 (Yamada 1936)。其分類學上英文學名本稱作 *E. serra*，但依據 Dumilag 等 (2020) 針對本國基隆市八斗子海域之樣本的論述指出，臺灣與菲律賓海域之鋸齒麒麟菜正確英文學名為 *E. perplexum*，而原本的 *E. seera* 只分布於澳洲周圍海域。其外型為深紅色，擁有軟骨質的扁圓柱狀藻體，藻體直徑約 0.1-0.4 cm，呈現羽毛狀或不規則狀分枝，分枝前端呈突刺狀，整體呈現鋸齒般的外型，並分布於水深 3-5 m 處 (Yamada 1936, Chen *et al.*

2020)(圖 1)。此海藻經過川燙後冰鎮，搭配大蒜末、薑絲、芝麻、辣椒末及檸檬汁食用，為台灣本土料理「涼拌蜈蚣菜」的主要原料，在日本宮崎縣則被製成塊狀，醃製味增後當作傳統小吃 -Mukadenori Misoduke 食用 (Chen *et al.* 2020)。此種海藻除了食用以外，其藻體可萃取的高純度多聚糖 - 鹿角菜膠 (Carrageenan) 被廣泛應用在食品、工業及製藥的增稠劑及穩定劑，例如：冰淇淋、豆漿及牙膏等 (道本與五十嵐 1985; Lin *et al.* 2000, 2001)，為高經濟用途海藻，其販賣價格約為濕重量 1 公斤 900 新台幣左右 (Chen *et al.* 2020)。

此海藻為多年生海藻，夏季時遭受額帶刺尾魚 *Acanthurus dussumieri*



圖 1 生長在深澳漁港內的鋸齒麒麟菜：生長在深澳漁港水深 4 m 處之鋸齒麒麟菜個體。

Fig. 1. *Euclidean perplexum* in Shen-Ao Bay: *E. perplexum* inhabiting at a depth of 4 m in Shen-Ao Bay.

等草食性生物 (Herbivory) 嚴重的啃食 (Browsing) 及仙菜科藻類寄生造成藻體損傷 (Chen *et al.* 2020)，導致資源量變動幅度極大。鋸齒麒麟菜之原料來源主要為販售店家等委託沿海地區漁民使用自由潛水進行潛水採集，日本九州地區因其採集方式與臺灣相同，資源量也未有詳細管理規範，以至於此高經濟藻種之資源量大幅減少，如

今已難以採集 (大野等 2001)。此海藻在臺灣雖屬東北角海域排名第 6 之優勢藻種 (Lin *et al.* 2018)，但因與日本相同，並無相關規範管理資源量，其未來之資源量變化著實令人堪憂。

近年來，因鹿角菜膠的需求增加，麒麟菜屬 *Euclidean* 的養殖市場逐漸擴大，現今最為普遍的養殖藻種為耳突麒麟菜 *Kappaphycus alvarezii*

(Doty) Doty ex Silva，乃因其鹿角菜膠品質與藻體生長率較高。而因麒麟菜屬之養殖方式皆採用無性繁殖 (Clone cultivation)，導致藻體喪失遺傳多樣性 (Hurtado and Cheney 2003)，造成環境適應力不佳、生長率下降、品質降低、ice-ice 病與寄生藻等問題頻繁發生 (Hurtado *et al.* 2012, 2015)。雖然有性生殖下的世代交替能提高藻體環境適應力，但因紅藻之未成熟個體的世代辨識十分困難，提升了有性養殖的難度。而鋸齒麒麟菜的未成熟藻體、成熟雄性藻體、四分孢子體皆屬無法使用肉眼判斷性別與世代之藻體 (Chen *et al.* 2020)。如有明確方法能夠判別鋸齒麒麟菜之世代，能有效地了解海域內鋸齒麒麟菜之資源量，也能使臺灣朝向鹿角菜膠生產原料國的領域往前邁進一步，增加我國水產養殖的實力。

本論文將探討應用於紅翎菜科海藻中判定世代時使用的核磁共振光譜法 (Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy, NMR) 是否能應用於鋸齒麒麟菜之世代判斷，並於新北市瑞芳區深澳漁港海域內進行鋸齒麒麟菜天然

資源保護與群落擴增實驗以補充鋸齒麒麟菜生物學資訊及增加臺灣海域大型藻類資源保護經驗，期盼藉由本研究的結果能使我國大型藻類之資源保護及養殖技術基盤更加穩固。

材料與方法

一、調查地點

本研究之調查地點位於新北市瑞芳區深澳漁港 (25.127325, 121.820122) (圖 2)，屬台灣東北角海域。本調查海域全年受高溫、高能見度、低營養營的黑潮與低溫、高營養鹽、低能見度的中國沿岸流影響 (Jan *et al.* 2002)，擁有海洋生物多樣性高的環境。調查地點之海底底質為硬底質 (礁石) 與軟底質 (沙地) 混合，本研究於易於打樁及安裝不銹鋼籠等器材之礁石區 (4 m) 進行研究。

本研究調查地點之潮下帶海藻相主要為優美石花菜 *Gelidium elegans* Kützinger (圖 3) 及鋸齒麒麟菜為優勢種並廣泛分布於 3~5 m 處，東青葉馬尾藻 *Sargassum ilicifolium* (Turner) C. Agardh 則分布於 3 m 以淺處。

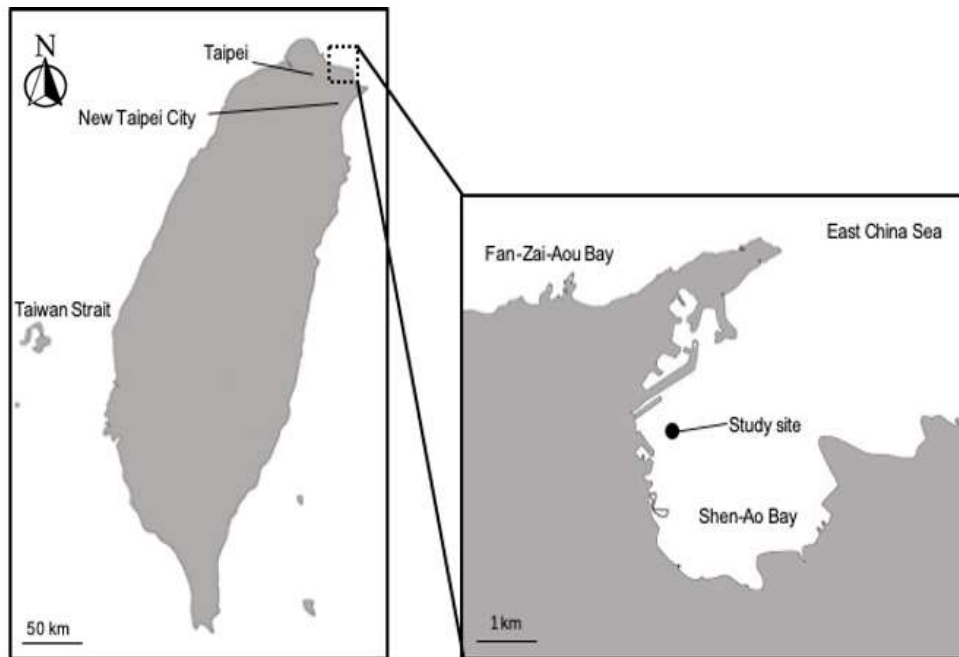


圖 2 本研究調查地點：本研究地點位於新北勢瑞芳區深澳漁港海域。

Fig. 2. Study site of this research: During our research, study site was located in Shen-Ao Bay, Rui-Fang District, New Taipei City.

圖 3 調查地點之優美石花菜群落：生長在本研究調查地點水深 4 m 處之優美石花菜群落。

Fig. 3. Communities of *Gelifum elegans* in study site: The communities of *G. elegans* inhabiting at a depth of 4 m in Shen-Ao Bay.

二、世代判定

無法由肉眼判斷世代之鋸齒麒麟菜成熟藻體，如雄性配偶體、四分孢子體，可藉由製作藻體切片後再使用顯微鏡觀察其生殖細胞等特徵判定性別及世代，而未成熟個體之世代目前尚無任何判定方式 (Chen *et al.* 2020)。早川 (2017) 指出鋸齒麒麟菜近緣種的線形軟刺藻 *Chondracanthus tenellus* (Harvey) Hommersand (杉藻目，杉藻科) 擁有因世代交替而產生不同類型鹿角菜膠的特性，並可藉由核磁共振光譜法判定其世代。本論文將利用此特性探討是否適用於鋸齒麒麟菜之世代判定。

鹿角菜膠類型分析之樣本為使用 2017 年 6 月 21 日於調查地點 (圖 2) 採集之冷凍藻體，經由藻體切片判斷性別及世代後，挑選成熟雌性配偶體 (單倍體，n) 及成熟四分孢子體 (雙倍體，2n) 各 1 藻體進行鹿角菜類型分析。

鹿角菜膠之萃取方式為，將藻體表面洗淨後，乾燥風乾，風乾後之藻體置入錐形瓶，並加入等於乾燥藻體

約 33 倍之萃取液 (DW, 1M NaOH)，將索氏提取器 (Soxhlet extractor) 安裝於錐形瓶後浸入 90° C 恆溫水浴槽中放置 3 小時。待鹿角菜膠液體提取完後，將其倒入玻璃過濾器過濾，將過濾後之過濾液加入約 3 倍量的 2- 丙醇 (99.9 %，7°C)，使其液體中之多糖體沉澱。隨後將其沉澱物移至培養皿中，放入 60°C 乾燥機中乾燥 2 日以上。2 日後取出培養皿並用研杵搗碎後加入重水 (deuterated water, D₂O) 使其濃度達到 2 % (v/v)，並使用設定至 80° C 之恆溫水浴槽加熱溶解 30 分鐘。加熱溶解後將樣本移入實驗燒杯中並使用超音波清洗機震動 15 分鐘，隨後再次使用 80° C 之恆溫水浴槽加熱溶解約 30 分鐘。將樣本取出 1 ml 至玻璃管中，並靜置於 80° C 恆溫裝置中，於玻璃管內加入微量的 2,2- 二甲基 -2- 矽戊烷 -5- 磺酸鈉 (Sodium 2,2-dimethyl-2-silapentane-5-sulfonate, DSS) 做為化學位移對照化合物，並用封口膜密封後可得測量樣本。

本研究之核磁共振光譜法 NMR 使用液態超導核磁共振儀 Bruker

AVANCE III 600 (Bruker)(樣本溫度 65°C, 累加次數 64 次) 進行測量, 將測量得之鋸齒麒麟菜之配偶體及四分孢子體光學頻譜與鹿角菜膠 κ 型與 ι 型樣本比較, 並判定鋸齒麒麟菜之配偶體及四分孢子體之鹿角菜膠類型及世代判定的可行性。

1. 資源保護實驗

在本研究中資源保護實驗方法分為兩種方式進行, 保護籠實驗是於

2019年5月14日藉由水肺潛水(SCUBA Diving) 將外觀無傷痕及附著物之野生鋸齒麒麟菜藻體採收上岸後, 將分枝前端部切成一定大小(約 1.6 ± 0.6 g), 並將每 5 個藻體固定於 1 條直徑約 0.5 mm 之養殖繩 (Cremona rope) 上, 本實驗之樣本為 2 條養殖繩, 共 10 藻體。將養殖繩用束帶固定於事前設置於水深 4 m 處之礁石海床上的不銹鋼方型籠 (20 x 20 x 20 cm, 網目 5.5 mm), 籠

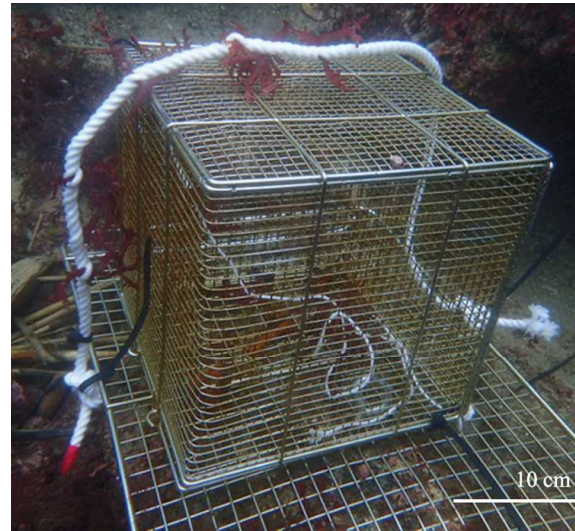
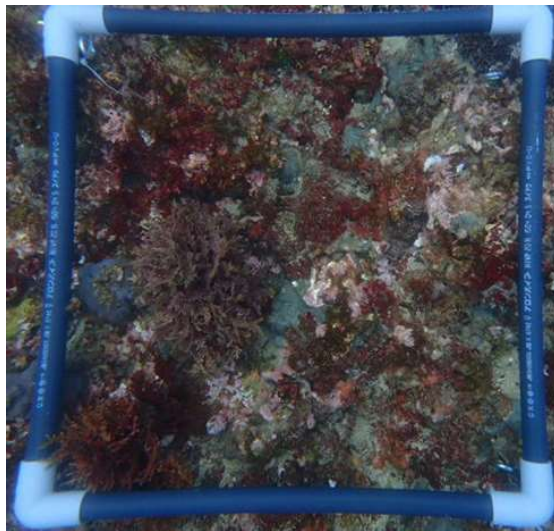


圖 4. 固定於海床之不銹鋼籠及養殖繩: 本研究使用不銹鋼籠保護海藻個體, 並將海藻固定在繩子上。

Fig. 4. The cage with cremona ropes was deployed on the sea bottom at a depth of 4 m: In our research, we used a stainless cubic mesh cage to protect the thalli of *E. perplexum* which were inserted into cremona ropes.

圖 5. 群落擴增實驗之對照區方框: 本研究群落擴增實驗之對照區, PVC 水管為輔助識別方框範圍之工具。

Fig. 5. Control section of community expansion experiments: Control section in this research, we used PVC pipes to assist in identifying the sections range.

內外各固定 1 條養殖繩 (圖 4)。於實驗期間內每月一次將養殖繩取下並返回陸地測量藻體片之重量、殘存個體數並拍照記錄。測量完成後再將養殖繩固定回海中籠內及籠外。

第二種群落擴增實驗之方式為，在鋸齒麒麟菜成熟期間時 (2019 年 5 月 14 日)，於調查海域內海床上 (4 m)，使用鐵鎚、不銹鋼樁於海床上製成 50 x 50 cm 永久方框 (圖 5)，永久方框為 1 對照區與 3 競爭物種移除區 (下稱移除去)，共 4 區。移除區內將鋸齒麒麟菜以外之雜藻、固著性生物以刮刀刮除。並於 2019 年 5 月至 9 月內每月下水一次，調查方式為使用自製 50 x 50 cm PVC 水管輔助識別永久方框範圍，並拍攝方框內海藻群落擴增情形，並使用 Image J 計算鋸齒麒麟菜群落面積 (%) 變化。

結果

一、世代判定

鹿角菜膠標準品樣本 ι 型、 κ 型、鋸齒麒麟菜配偶體及四分孢子體之 NMR 光譜分析結果如圖 6 所示，圖

中 NMR 光譜峰之信號來源於鹿角菜膠分子的振動和轉動，而兩世代之藻體樣本皆於 1.6~1.8 ppm、1.85 ppm、4~4.6 ppm、5.15 ppm、5.8 ppm 處出現明顯光譜峰，並於 4.65 ppm 處出現最高峰，5.2~5.4 ppm 間出現連續兩光譜峰。兩世代之光譜峰與鹿角菜膠 κ 型與 ι 型樣本比較之結果指出鋸齒麒麟菜之兩世代皆為 ι 型鹿角菜膠。

二、資源保護實驗

資源保護實驗結果如圖 7 所示。保護籠之殘存個體數不論是籠內或籠外皆於 2019 年 6 月開始減少，籠外藻體於 8 月完全消失，9 月因米塔颱風影響導致籠子鬆脫、藻體流走而致實驗中止。藻體濕重量的結果指出，籠內外之藻體皆於 6 月呈現正成長，籠外藻體濕重量於 7 月開始下降並於藻體上觀察到啃食痕跡 (Bite mark)(圖 8)，籠內藻體則順利從 5 月 (1.6 ± 0.1 g, mean \pm SD, n = 4) 成長至 8 月 (3.1 ± 0.4 g, mean \pm SD, n = 2)，並觀察到二次附著器 (Secondary attachment disc) 生成及附著於養殖繩上 (圖 9)。

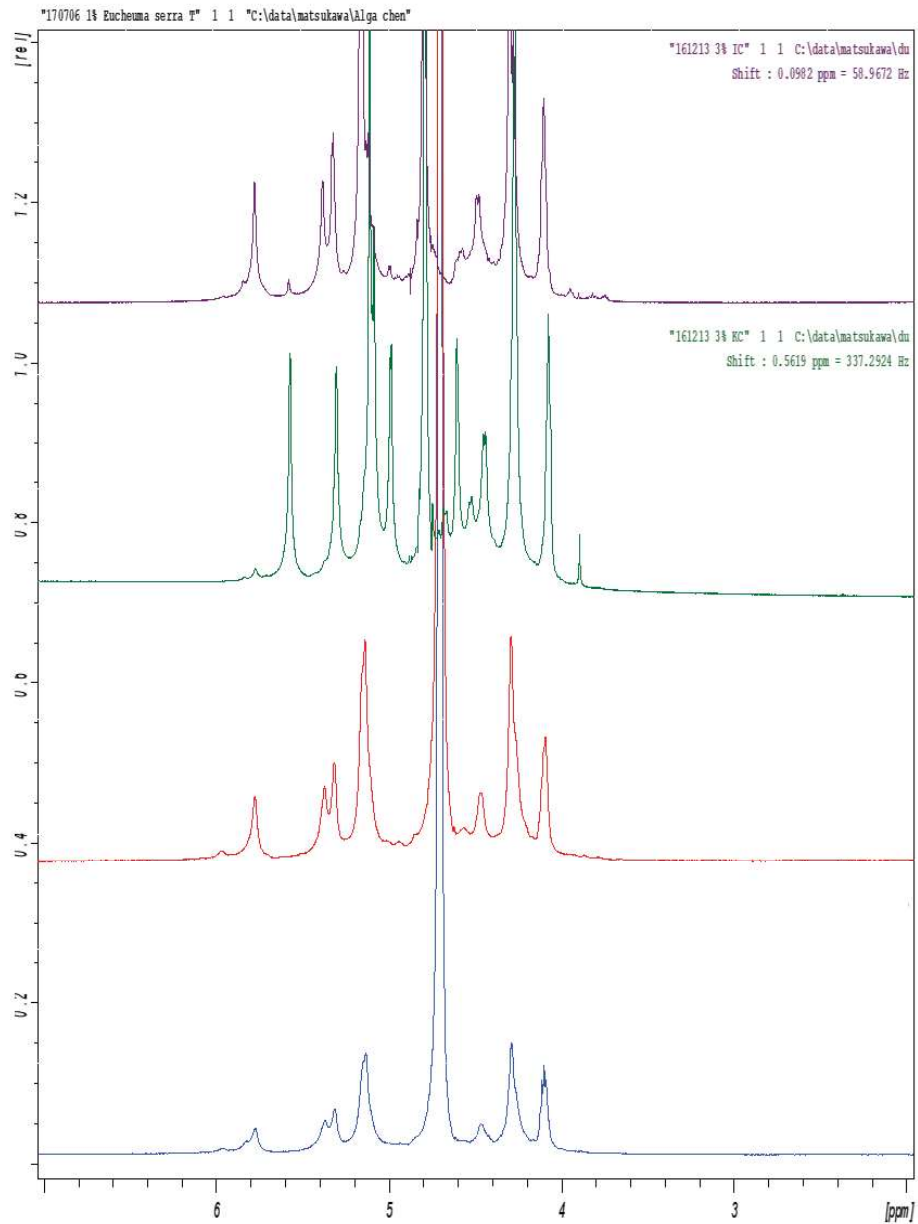


圖 6. 鹿角菜膠樣本 ι 型 (紫色)、 κ 型 (綠色)、鋸齒麒麟菜配偶體 (紅色)、四分孢子體 (藍色) 之紫外線光譜峰比較：本研究使用 NMR 檢測鋸齒麒麟菜之兩世代鹿角菜膠類型與對照之鹿角菜膠樣本 ι 型、 κ 型之比較，比較結果兩世代皆為 ι 型。

Fig.6. The comparison of ι type carrageenan sample (purple), κ type carrageenan sample (green), *Eucheuma perplexum* gametophyte (red), and tetrasporophyte (blue): we used NMR to analyze the type of carrageenan of 2 generations of *E. perplexum*, the results showed that both of the two generations are ι type.

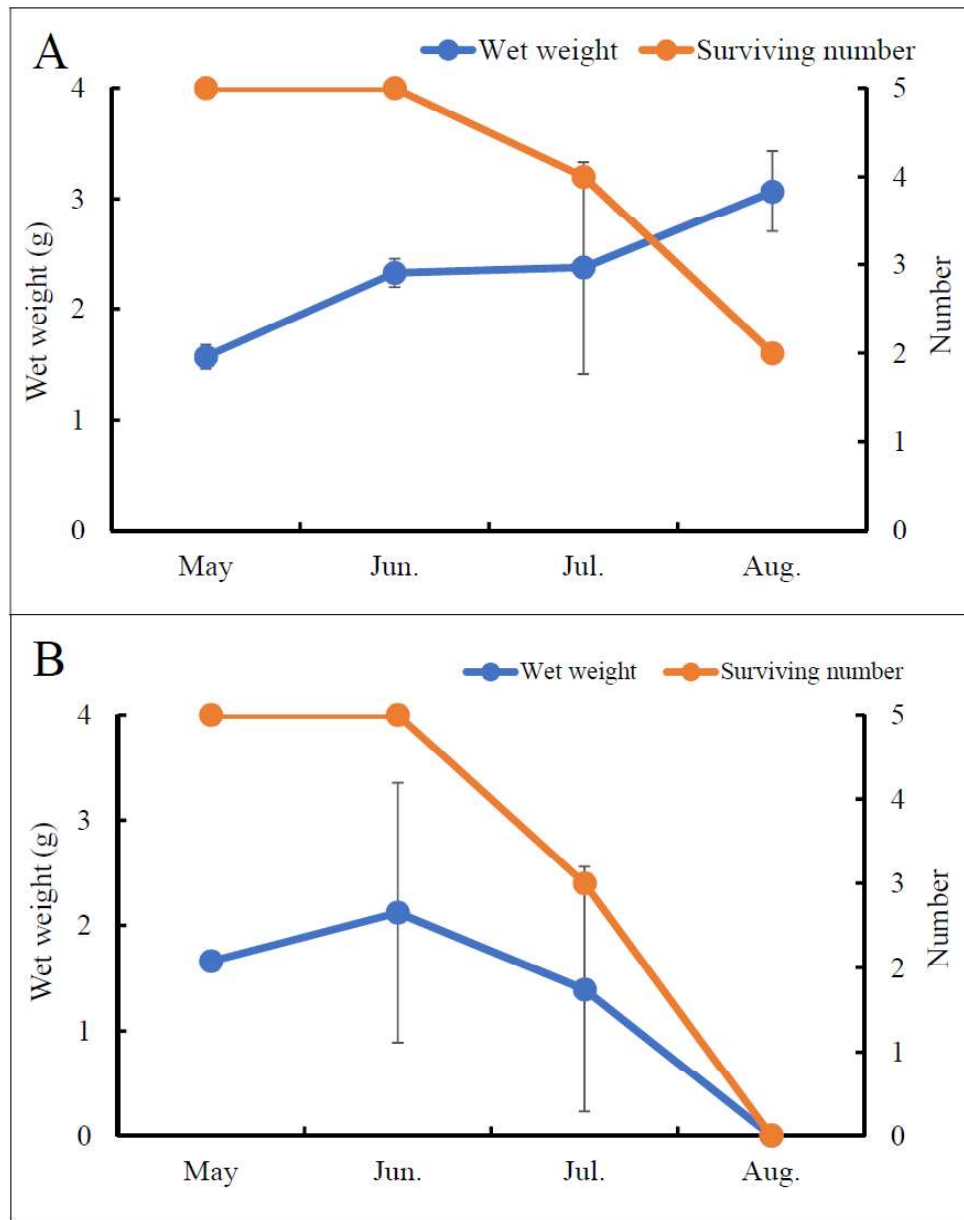


圖 7 籠內 (A) 外 (B) 之藻體濕重量與殘存藻體數的結果：籠內藻體之殘存藻體數多於籠外，濕重量也持續呈現正成長，直到籠子遭 9 月之颱風摧毀為止。

Fig. 7 The results of wet weight and surviving number of *Eucheuma perplexum* inside (A) and outside (B) the cage: the surviving number inside the cage was higher than outside, and wet weight also showed positive growth rates before the typhoon season in September.

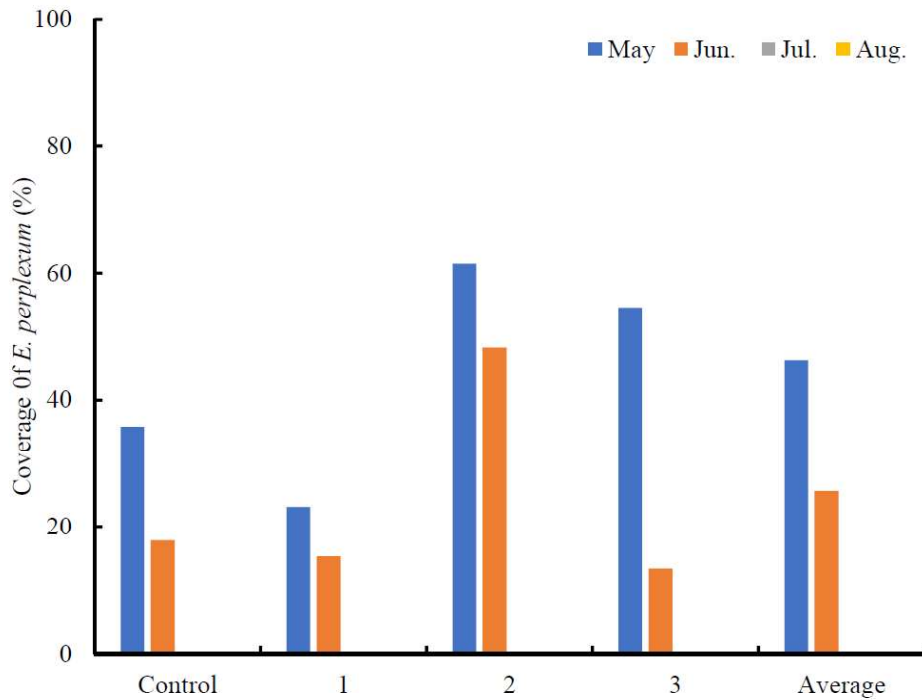
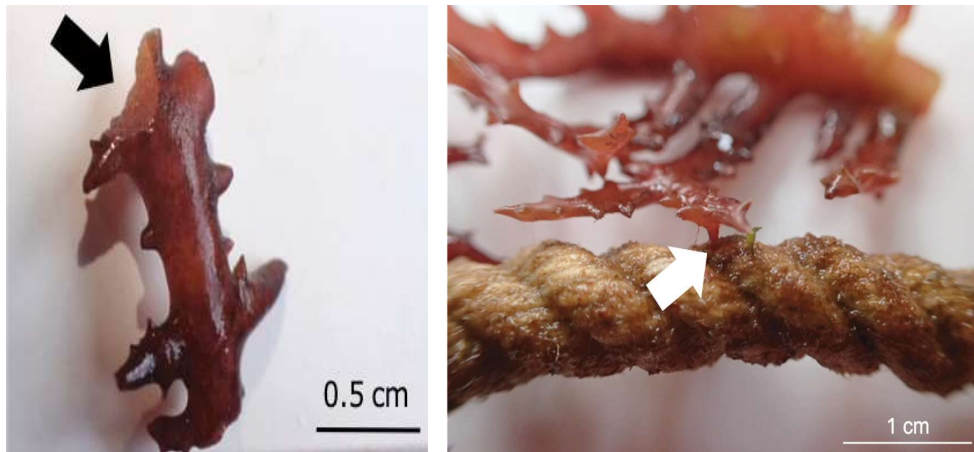


圖 8. 藻體上之啃食痕跡：籠外藻體可觀察到明顯草食性生物啃食痕跡。

Fig. 8. Bite marks on thallus: bite marks are visible on the thalli outside the cage.

圖 9. 鋸齒麒麟菜之二次附著器：籠內藻體生成二次附著器並附著於養殖繩上。

Fig. 9. Secondary attachment disc of *Eucheuma perplexum*: Thalli reattached on the cremona rope via secondary attachment disc (SAD) within the cage

圖 10. 競爭種移除實驗之鋸齒麒麟菜群落面積變化：共 4 區之鋸齒麒麟菜群落皆遭受嚴重啃食，導致群落全部消失。

Fig. 10. The coverage of *Eucheuma perplexum* in competing species removal experiments: including the control section, the communities of *E. perplexum* in all section were eaten by herbivores and as a result, the whole communities disappeared.

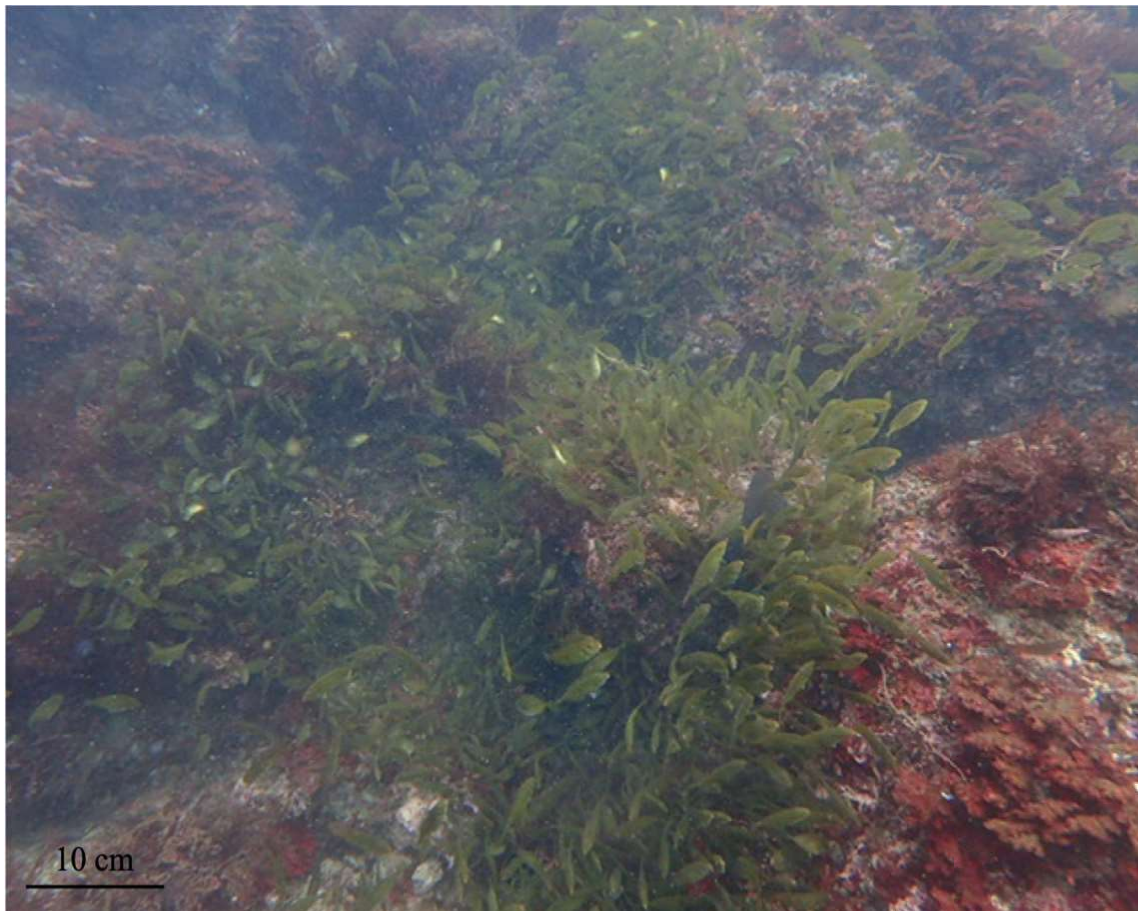


圖 11. 實驗期間出現於調查地點之刺藍子魚稚魚魚群：出現於調查地點之刺藍子魚稚魚魚群，數量驚人而且持續啃食礁石表面之大型海藻。

Fig. 11. The school of juvenile *Siganus spinus* swimming around the study site during experiments period: a school of juvenile *S. spinus* was found in the study site and was seen grazing on the surface of rocks.

群落擴增實驗結果如圖 10 所示。對照區之鋸齒麒麟菜分布面積從 5 月實驗開始時 (35.8%) 開始減少，6 月降至 17.8%，7 月時則完全消失，9 月因米塔颱風的影響導致所有方框遭破壞，以致調查中止。移除區之結果也

與對照區得到相似的結果。調查期間內皆可見草食性魚類 - 刺藍子魚 *Siganus spinus* 稚魚群於調查區附近活動並頻繁啄食礁石上之海藻 (圖 11)。

討論

NMR 核磁共振光譜法為用以化學位移校正、定量目標化合物之用，本研究成功使用 NMR 分析鋸齒麒麟菜之鹿角菜膠種類，根據分析結果得知兩世代皆為相同類型，故，鋸齒麒麟菜沒有世代交替產生不同鹿角菜膠類型之特徵，並與其他紅翎菜科 (van de Velde 2008)、杉藻科 (早川 2017) 海藻不同，無法使用此特性判定藻體世代。本研究分析出了臺灣東北角優勢海藻種 - 鋸齒麒麟菜之鹿角菜膠為富有彈性、柔軟且具保水性之 *t* 型，未來可利用此資訊，將其投入適當之食品、工業產品加工，進而拓展其經濟價值。而因 NMR 法無法判定鋸齒麒麟菜之世代，肉眼無法判別未成熟藻體世代之課題仍舊存在，雖藻體成熟時可採用冷凍切片 (Frozen section) 判定生殖細胞等之特徵 (Chen *et al.* 2020)，但若是遇到冬季 (未成熟個體多) 或樣本數多時，依然會損耗大量的人力和時間成本，本研究在此建議未來可朝遺傳因子領域開發，例如 DAPI 染色法或許是一個十分有潛力判別藻體為單

倍體或雙倍體之方式。

本研究之資源保護實驗最後雖受颱風影響導致籠內藻體消失，但籠內早體成長結果與籠外藻體、同調查地點之鋸齒麒麟菜生活史結果 (Chen *et al.* 2020) 相比得知，於高啃食率 (Feeding rate) 時予以適當的保護，可保護鋸齒麒麟菜之自然資源。另外，本研究首次觀察到鋸齒麒麟菜之二次附著器生成，二次附著器之生成除了鋸齒麒麟菜外，同為紅藻的 *Solieria filiformis* (Kützing) Gabrielson (Perrone and Cecere 1997)、*Chondracanthus chamissoi* (C.Agardh) Kützing (Bulboa *et al.* 2013) 與雞冠菜 *Meristotheca papulose* (Montagne) J.Agardh (Chen *et al.* 2019) 皆有二次附著器生成之報告。二次附著器為海藻脫落後再附著之重要利器 (Chen *et al.* 2019)，此外，也有關於將二次附著器特性運用於海藻種苗養殖實作研究 (Hernández-González 2007)，固本研究觀察之鋸齒麒麟菜二次附著器生成或許可應用於未來大型藻類養殖技術開發。

而群落擴增實驗中，移除競爭種

並沒有使鋸齒麒麟菜群落擴增，故無法確認其有效性。野田等 (2014) 指出，在南日本海域中，只有單一藻種形成之藻床，即便是草食性魚類喜好性較低之藻種，也會在夏季時期遭受持續性的啃食，導致藻床衰退、消失。本研究在實驗開始時即發現許多啃食痕跡出現在藻體上，再加上草食性魚類的刺藍子魚之稚魚成群結隊於附近頻繁活動，故可推測移除競爭物種導致草食性魚類之攝食壓力 (Browsing pressure) 集中，以致鋸齒麒麟菜群落消失。本研究因颱風影響導致移除後之觀察時間不足，今後須將觀察時間增加，進行更長期之觀察。

本文作者 (2020) 曾指出，本調查海域之潛在攝食者為額帶刺尾魚，但，2019 年夏季調查時並未觀察到從前隨處可見之額帶刺尾魚魚群。取而代之的是刺藍子魚之稚魚魚群。雖然過去時曾使用刺藍子魚成魚於鋸齒麒麟菜之攝食實驗中，但結果並未出現明顯的攝食率 (Chen *et al.* 2020)。根據日本水產庁 (2015) 的報告指出，褐藍子魚 *S. fuscescens* 稚魚主要食物來源並

非為大型藻類，而為寄生於大型藻類表體之絲狀寄生藻。本調查地於夏季時期能觀察到許多絲狀仙菜科海藻寄生於鋸齒麒麟菜上，據此推測刺藍子魚稚魚有極高的可能啃食此類絲狀寄生藻 (Chen *et al.* 2020)，造成宿主鋸齒麒麟菜藻體受損、消失。無論是額帶刺尾魚或刺藍子魚皆較少在魚市場上流通，但仍能在傳統市場中見到刺藍子魚 (陳 2017)，我國也曾有過種苗放流之紀錄 (Chang *et al.* 2010)。故此，今後須加強台灣東北角海域草食性魚類，甚至是如海膽、螺類等草食性底棲動物之食性研究，包含喜好性實驗、攝食量研究等，以了解沿海地區大型藻類面臨的生存壓力。

近年來，全球暖化造成水溫上升及海洋熱波等現象，都直接導致草食性生物食慾增加 (水產庁漁港漁場整備部 2017)，未來草食性生物造成大型藻類資源減少將可能無法避免，本論文建議未來在資源保護及養殖技術發展時應設法建立有效的草食性生物隔離系統，以因應氣候變遷影響，守護好大海中最重要的初級生產者們。

謝誌

本作者感謝人生中最重要的父親陳明偉、母親楊尹雅、黃至薇在學術發展上的支持與鼓勵，並感謝所有參與本論文討論的友人們給予修改意見，也特別感謝 Khoi Yong Ho 先生的英文校閱，讓本文更臻完善。

引用文獻

- 大野正夫、矢野誠、平岡雅規、岡直宏、谷口道子。2001。海洋深層水を用いたトゲキリンサイとトサカノリのタンク培養。高知大学海洋生物研究報告。20: 35-40。
- 水産庁。2015。磯焼け対策ガイドライン。
- 水産庁漁港漁場整備部。2017。気候変動に対応した漁場整備方策に関するガイドライン。
- 早川雄飛。2017。紅藻スギノリの生理生態学的研究。東京海洋大学応用藻類学研究室修士論文。
- 野田幹雄、大原啓史、村瀬昇、池田至、山元憲一。2014。アイゴによるアラメおよび数種のホンダワラ類の被食過程と群落構造の關係。Nippon Suisan Gakkaishi 80(2): 201-213.
- 陳柏蓀。2017。トサカノリの室内培養及び海中養殖に関する研究。東京海洋大学応用藻類学研究室修士論文。
- 道本千衣子、五十嵐脩。1985。トゲキリンサイの多糖の分画と諸性質。家政学雑誌。36: 18-22。
- Bulboa, C., K. Véliz, F. Sáez, C. Sepúlveda, L. Vega, and J. Macchiavello. 2013. A new method for cultivation of the carrageenophyte and edible red seaweed *Chondracanthus chamissoi* based on secondary attachment disc: development in outdoor tanks. Aquaculture 410/411: 86-94.
- Chang, J. S. and C. C. Tseng. 2010. Effects of recent ecological events on the distribution and growth of macroalgae in marine waters around

- Taiwan. Bulletin of Fisheries Research Agency 32: 11-17.
- Chen, B., S. Akita, A. Uehara, and D. Fujita. 2019. Is the red alga *Meristotheca papulosa* annual? -Monitoring of tagged thalli at Banda, Tateyama, Central Pacific coast of Japan-. Aquaculture Science 67(1): 49-56.
- Chen, B., Y. Lu, S. Akita, and D. Fujita. 2020. Phenology of the edible red alga *Euclidean serra* (J. Agardh) J. Agardh in northern Taiwan. Aquaculture Science 68(2): 121-128.
- Dumilag, R. V., S. M. Lin, G. C. Zuccarello, and G. T. Kraft. 2020. The identity of *Euclidean perplexum* (Solieriaceae, Gigartinales) and its distinction from *Euclidean serra* as exemplified by a proposed new epitype. Phycologia 59: 497-505.
- Hernández-González, M. C., A. H. Buschmann, M. Cifuentes, J. A. Correa, and R. Westermeier. 2007. Vegetative propagation of the carrageenophytic red alga *Gigartina skottsbergii* Setchell et Gardner: Indoor and field experiments. Aquaculture 262(1): 120-128.
- Hurtado, A. Q. and D. P. Cheney. 2003. Propagule Production of *Euclidean denticulatum* (Burman) Collins et Harvey by Tissue Culture. Botanica Marina 46(4): 338-341.
- Hurtado, A. Q., M. Joe, R. C. Sanares, D. Fan, B. Prithiviraj, and A. T. Critchley. 2012. Investigation of the application of Acadian Marine Plant Extract Powder (AMPEP) to enhance the growth, phenolic content, free radical scavenging, and iron chelating activities of *Kappaphycus* Doty (Solieriaceae, Gigartinales, Rhodophyta). Journal Applied Phycology 24: 601-611.
- Hurtado, A. Q., I. C. Neish, and A. T. Critchley. 2015. Developments in production technology of *Kappaphycus* in the Philippines: more than four decades of farming. Journal Applied Phycology 27(5): 1945-

- 1961.
- Jan, S., J. Wang, C. S. Chern, and S. Y. Chao. 2002. Seasonal variation of the circulation in the Taiwan Strait. *Journal of Marine Systems* 35(3-4): 249-268.
- Lin, L. H., M. Tako, and F. Hongo. 2000. Isolation and characterization of ι -carrageenan from *Eucheuma serra* (Togekirinsai). *Journal Applied Glycoscience* 47(3/4):303-310.
- Lin, L. H., M. Tako, and F. Hongo. 2001. Molecular origin of the rheological characteristics of ι -carrageenan isolated from Togekirinsai (*Eucheuma serra*). *Food Science Technology Research* 7(2): 176-180.
- Lin, S. M., L. C. Tseng, Jr. P. O. Ang, J. Bolton, and L. C. Liu. 2018. Long-term study on seasonal changes in floristic composition and structure of marine macroalgal communities along the coast of Northern Taiwan, southern East China Sea. *Marine Biology* 165(5): 1-17.
- Perrone, C., E. Cecere. 1997. Regeneration and mechanisms of secondary attachment in *Solieia filiformis* (Gigartinales, Rhodophyta). *Phycologia* 36(2): 120-127.
- van de Velde, F. 2008. Structure and function of hybrid carrageenans. *Food Hydrocolloids* 22(5): 727-734.
- Yamada, Y. 1936. Species of *Eucheuma* from Ryukyu and Formosa. *Science Papers of Institute of Algological Research, Faculty of Science, Hokkaido Imperial University* 1(2): 119-134.