



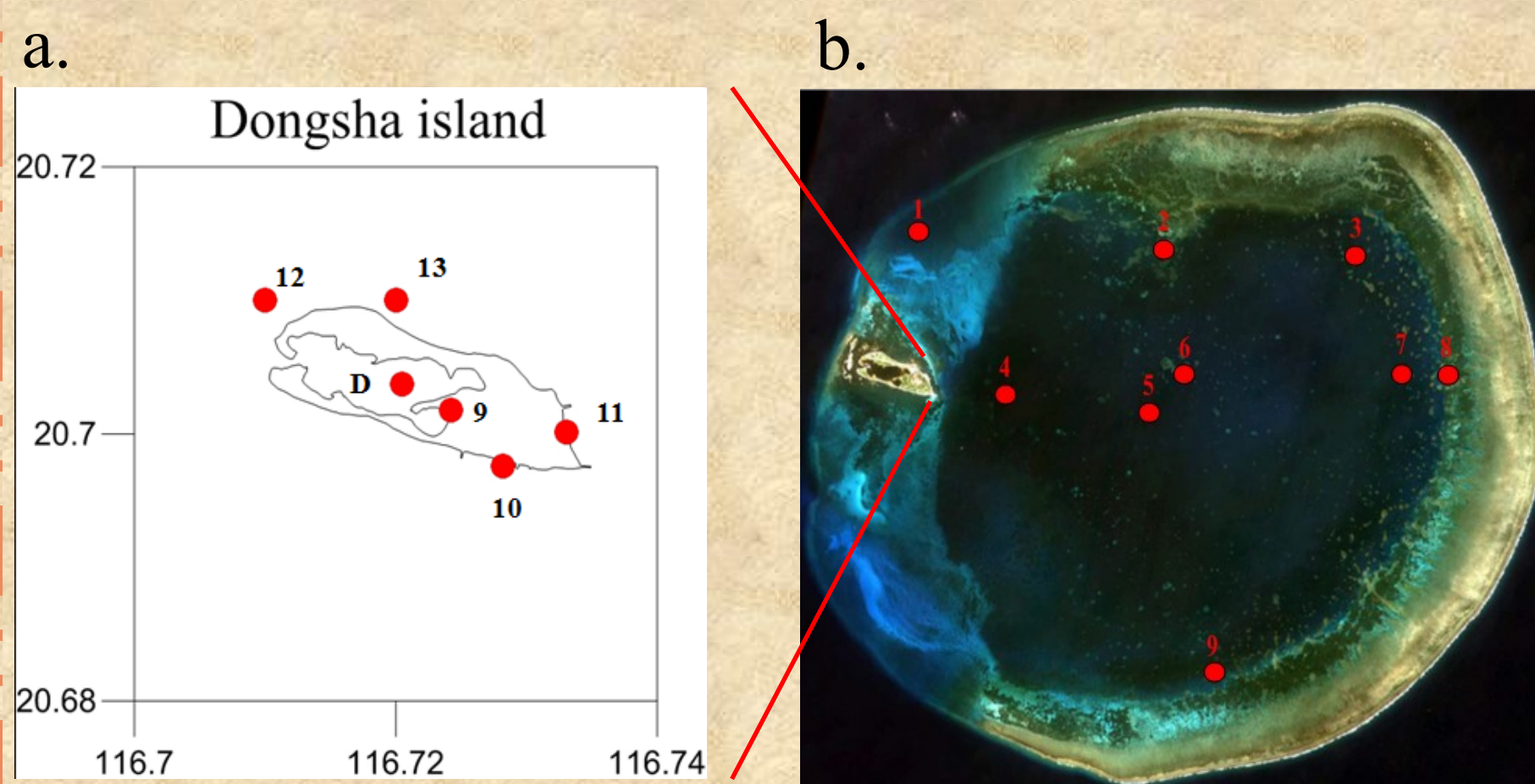
一沙兩世界 東沙環礁海草與珊瑚生態系統碳化學比較與研究

國立台灣海洋大學海洋環境化學與生態研究所 劉亭之 指導老師:周文臣

前言

自工業革命以來，人類大量排放二氧化碳至空氣中，透過海氣交換作用，海洋吸收了大約三分之一人為活動所排放之二氧化碳，致使海水的酸鹼度與碳酸鈣飽和度($\Omega_{\text{aragonite}}$)持續下降，是為海洋酸化。珊瑚礁的外骨骼由碳酸鈣構成，故珊瑚礁系統是對海洋酸化極其敏感的海域，因此瞭解其碳化學特性為一重要的研究議題。國外已有許多對於珊瑚礁生態系二氧化碳系統的調查，但國內卻鮮少有相關的研究。Manzello 等人於 2012 年的研究指出，當海草床生長於珊瑚礁系統的附近時，此區域的 $\Omega_{\text{aragonite}}$ 會上升，使得生長在此處的珊瑚對於海洋酸化有著較高的耐受性。東沙環礁地理環境特殊，具有全國分布最廣的海草床、內波、多颱風、潟湖等特殊的环境條件，故其碳化學的時空變異，可能有別於其它的珊瑚礁系統。本研究於 2013 年夏季及冬季至東沙島小潟湖及環礁潟湖進行調查，以完整瞭解其海水二氧化碳系統之現況，並探討控制其空間分布之各項生地化過程。

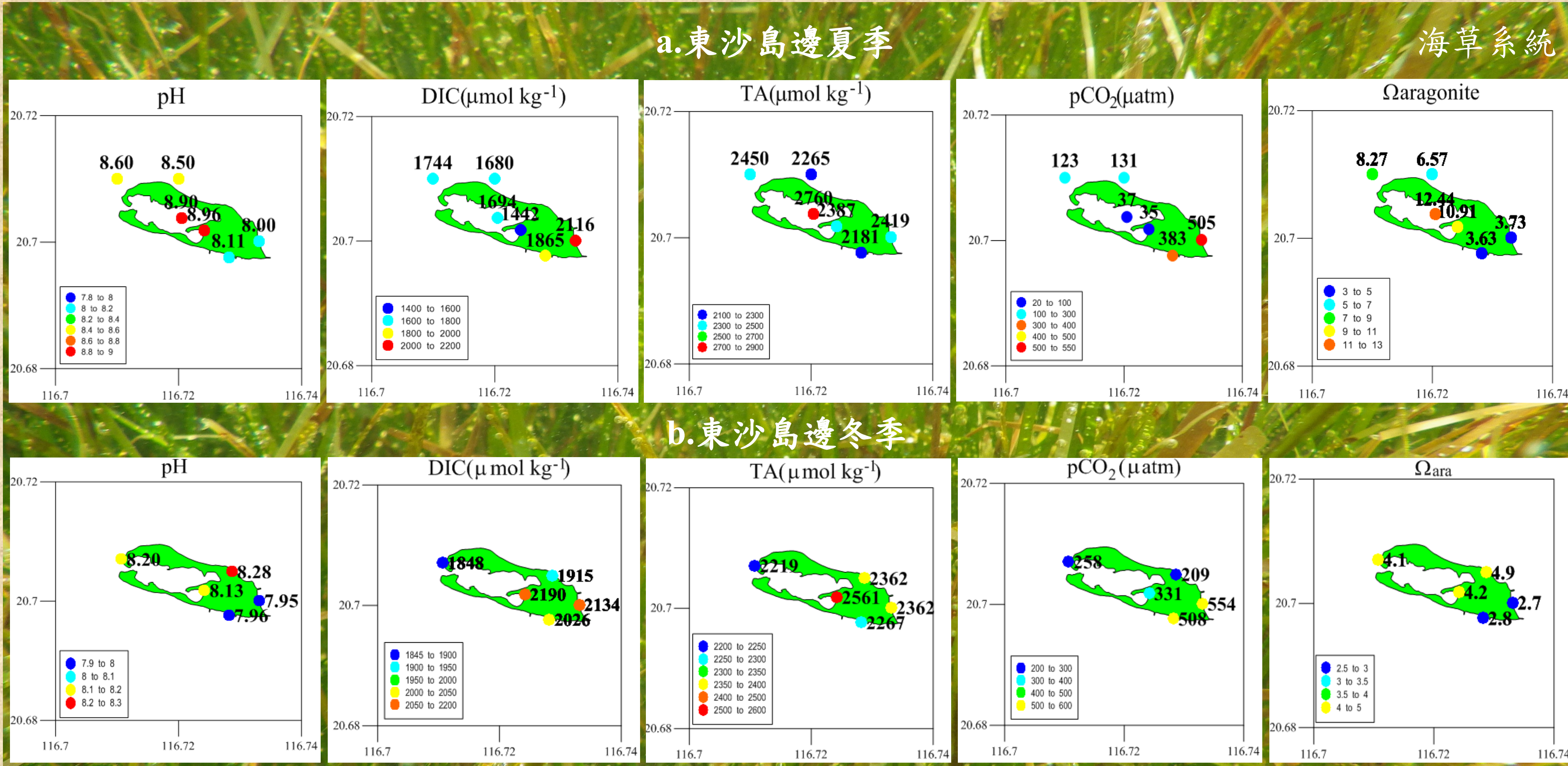
材料與方法



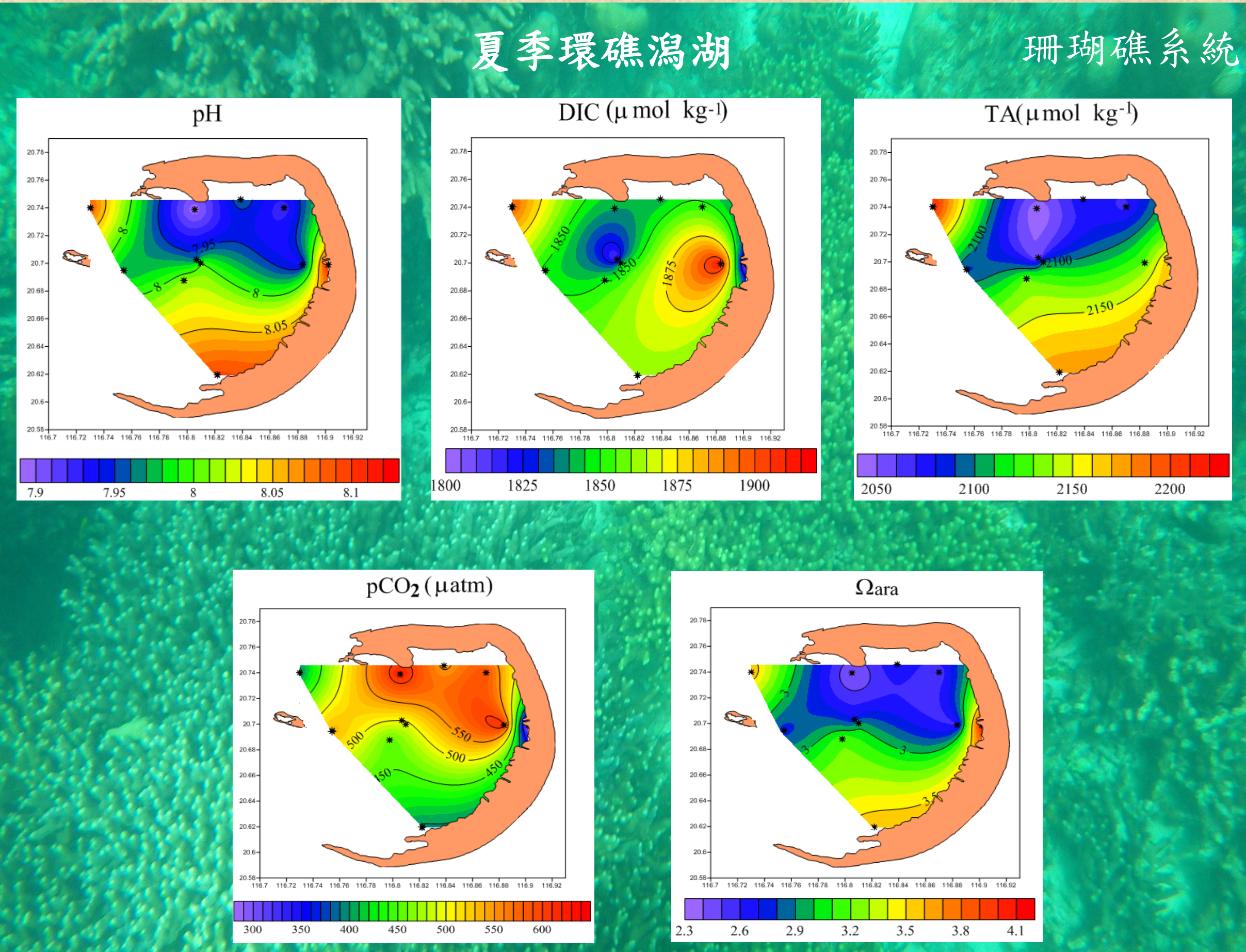
圖一、測站位置圖。(a.)東沙島周邊及小潟湖的採樣樣點。夏冬兩季分別於下午採集島週遭及小潟湖內樣點；夏季及冬季並分別於小潟湖岸邊(第九站)進行兩小時一次的樣水採集，惟夏天晚上無進行採樣，冬天則完成一完整日夜週期採樣。(b.)夏季環礁潟湖空間分布採樣測站。

所有樣品皆採集表層海水並加入氯化汞保存，後分析其溫度、鹽度、pH、溶解態無機碳(DIC)、總鹼度(TA)，並以 Lewis and Wallace 於 1998 年所建立的二氧化碳系統計算程式(CO₂ SYS)來計算二氧化碳分壓(pCO₂)及碳酸鈣飽和度(Ω_{ara})。鹽度是以導電度法進行測定，精確度為±0.003 PSU；pH 則是以分光光譜法測定，精確度為±0.005；DIC 以非分散性紅外光譜法測定之，精確度為±0.25%；TA 則採用「電位滴定法」來進行。精確度為±0.15%。

結果

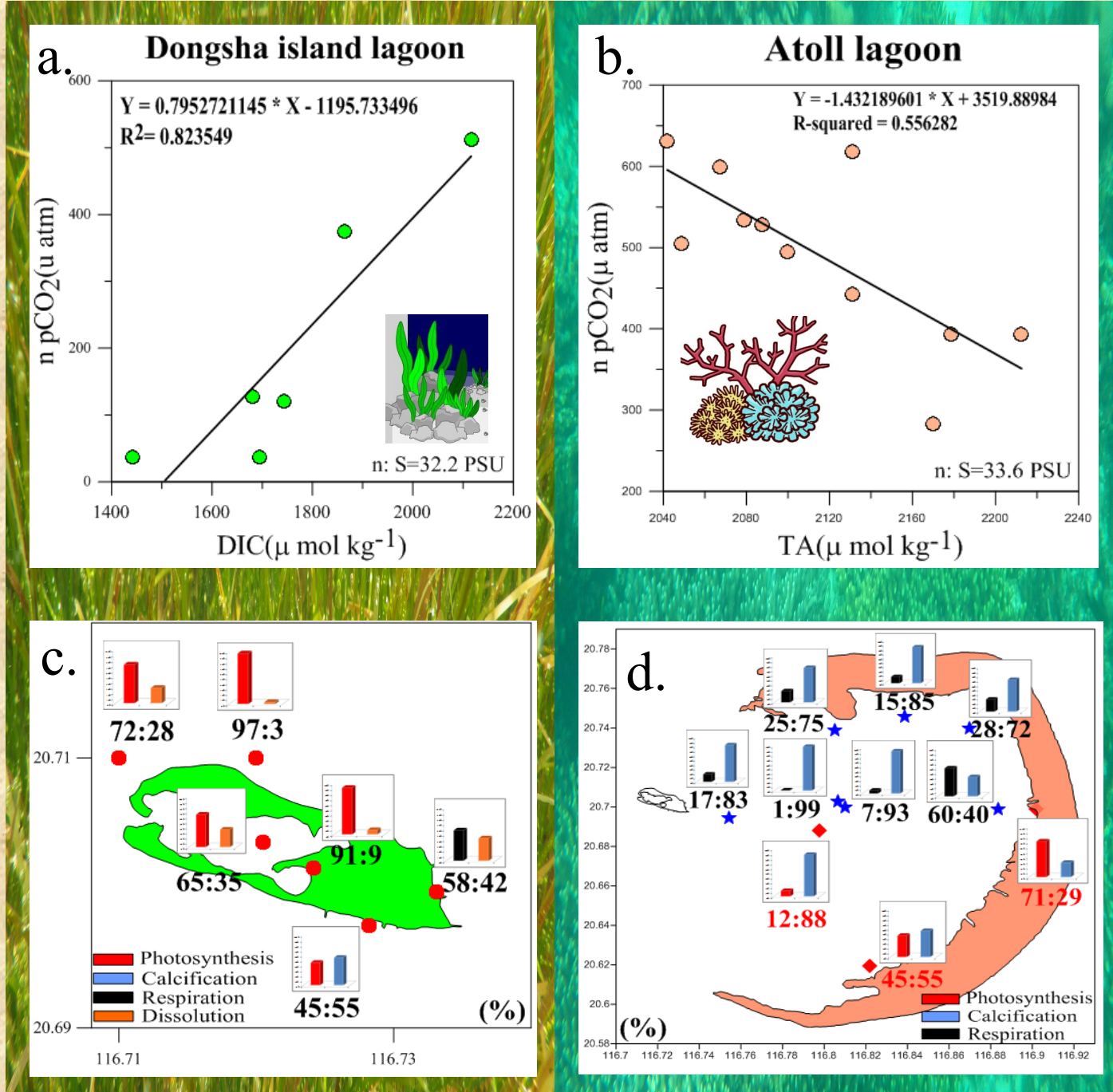


圖二、東沙島邊夏、冬兩季碳化學參數空間分布圖。夏冬兩季的參數分布主要與海草的分布密度有關。在海草密度較高的小潟湖內、潟湖口和島的北側其夏冬兩季的 pCO₂ 及 DIC 皆為相對低值；而 pH 和 Ω_{ara} 則為相對高值，惟冬季小潟湖內之 DIC 偏高。而海草密度較低的東側及南側，其夏冬兩季的 pCO₂ 及 DIC 則為相對高值；pH 和 Ω_{ara} 則為相對低值。而 TA 不論在夏季或冬季，其分布與海草的空間分布均無明顯關係，夏季以小潟湖中 TA 最高，南岸最低；冬季則小潟湖內最高，小潟湖口最低。



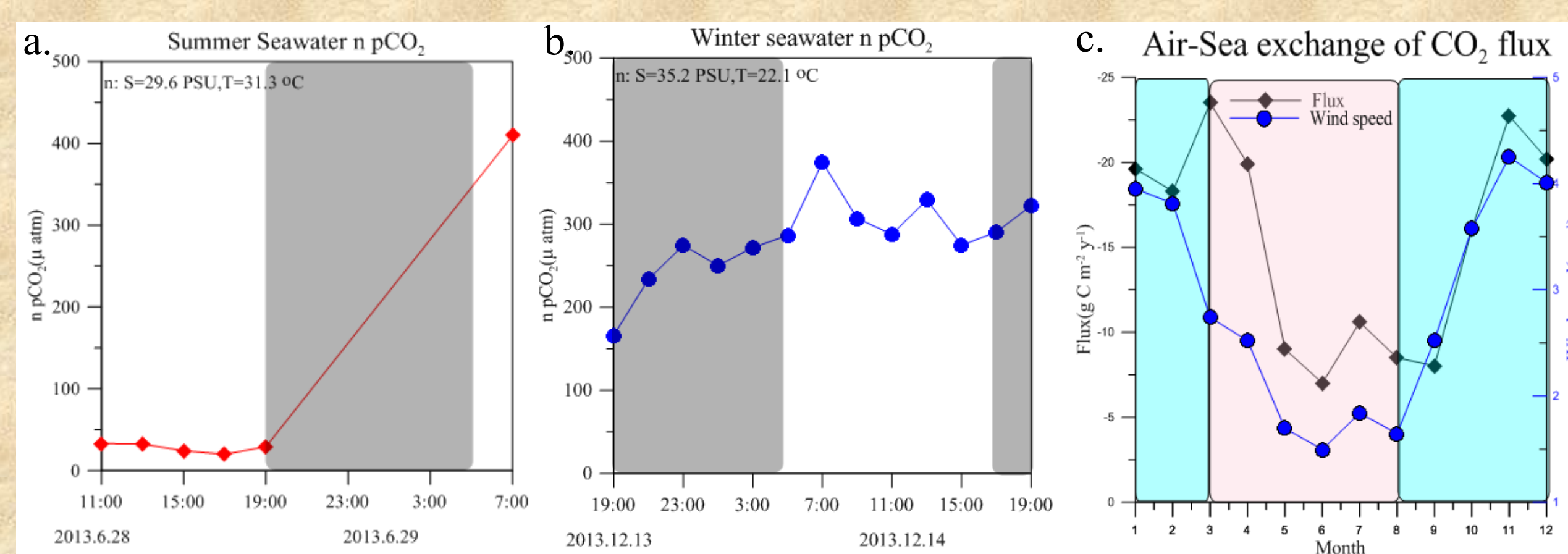
圖三、環礁潟湖夏季碳化學參數空間分布圖。環礁潟湖的碳化學參數分布主要與珊瑚礁的生長密度相關。在珊瑚礁生長密度較高的北環礁，其 pH、TA、 Ω_{ara} 皆為相對低值，而 pCO₂ 則為相對高值；於珊瑚礁生長密度較低的南環礁則為 pH、TA、 Ω_{ara} 的相對高值，而 pCO₂ 則為相對低值。惟 DIC 並無明顯南北分布差異。

討論一、海草與珊瑚礁生態系統中淨族群生產作用與淨族群鈣化作用之相對重要性



圖四、(a)夏季東沙島邊 n pCO₂ 與 DIC 相關圖。(b)夏季環礁潟湖 n pCO₂ 與 TA 相關圖。(n 為標準化鹽度至該季節平均。)(c)夏季影響小潟湖碳化學各項生地化作用相對重要性百分比圖。(d)夏季影響環礁潟湖碳化學各項生地化作用相對重要性百分比圖。

討論二、海草床海氣二氧化碳交換通量的估算



圖五、(a)夏季小潟湖 n pCO₂ 日夜變化圖。(b)冬季小潟湖 n pCO₂ 日夜變化圖。(c)冷季及暖季二氧化碳通量推估圖。(n 為將鹽度、溫度標準化至該季平均。)

在夏季，小潟湖白天的海水 n pCO₂ 為 20.0–33.3 μatm ，而經過晚上後次日清晨的海水 n pCO₂ 則變為 409.4 μatm ，其 ΔpCO_2 當日加權平均後為 -274.7 μatm 。而冬季時海水 n pCO₂ 平均較夏季為高，且無明顯日夜週期變化，n pCO₂ 為 166.6–374.6，其 ΔpCO_2 為 -117.7 μatm 。通量以 Wanninkhof 於 1992 年所提出之 K 值函數公式，代入海洋國家公園管理處所提供之風速資料，並分別以夏季及冬季所測得的 ΔpCO_2 去推算東沙海草床暖季及冷季之通量。計算結果，暖季及冷季的通量分別為 -13.09 gC m⁻² y⁻¹ 及 -17.49 gC m⁻² y⁻¹，由於冷季風速較強，使得冷季略高於暖季，全年為一大氣二氧化碳的匯。初步推估東沙海草床一年可吸收 125.4 公噸的碳，較林幸助老師於 2011 年時以海草生產力估算的為低 (718 t C y⁻¹)，推測可能為海草死亡時的分解會將其固定的有機碳返還回水體，故實際可吸收量較低。

結論

- 根據 TA 及 DIC 空間分布差異計算求得：東沙島周遭海草床覆蓋率較高之海域，碳化學參數的空間變化主要受淨族群生產作用控制，使其為一大氣二氧化碳的匯(sink)；而環礁潟湖珊瑚礁分布海域則以淨族群鈣化作用為主，使其成為大氣二氧化碳的源(source)。
- 小潟湖海草床於夏、冬兩季皆為大氣二氧化碳的匯(sink)。受高風速影響，冬季吸收速率略高於夏季，初步估算全年可吸收 125.4 公噸的碳，遠較前人以海草生產力估算為低。此結果顯示海草床行光合作用所固定的二氧化碳，大部分可能無法長期保存於沉積物或海水中。
- 海草床與珊瑚礁截然不同的碳化學特性，是否對珊瑚生長有利？此問題有待進一步去探討。以本實驗之結果推測，若海草床所產生的高碳酸鈣飽和度(Ω_{ara})的水體可進入珊瑚礁系統內，則或可使東沙珊瑚礁對於海洋酸化有較高的耐受性。

參考資料

- 林幸助, et al. (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報告。
- Manzello, D. P., et al. (2012). "Ocean acidification refugia of the Florida Reef Tract." PLOS one 7(7): e41715.

感謝

東沙海洋國家公園管理處、中山大學 宋克義老師研究室、東沙國際研究站
中央研究院環境變遷研究中心 黃天福老師研究室、周文臣老師實驗室成員 協助研究進行