

## 研究報告

# 金門西岸沿海濕地退潮後底棲生物碳代謝量

林蔚任<sup>1</sup>，林幸助<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>國立中興大學生命科學系；<sup>2</sup>通訊作者 E-mail: [hjlin@dragon.nchu.edu.tw](mailto:hjlin@dragon.nchu.edu.tw)

**[摘要]** 沿海濕地初級生產力高，被認為是地球上天然的碳匯系統。大金門島擁有廣大的沿海濕地，但是所具有的碳吸存生態服務功能仍未曾量化。本研究利用密閉罩蓋法，藉由紅外線監測底棲生物 CO<sub>2</sub> 的流量變化，測量大金門島西海岸潮間帶退潮後底棲生物群集生產力和呼吸速率。2010 年 7 月開始至隔年 3 月於四季分別在歐厝沙灘(歐厝)、浯江溪出海口北岸(浯江)、湖下海堤(湖下)及北山海堤(北山)四個沿海濕地進行底棲生物群集淨生產力(NCP)和呼吸速率(CR)的測定。測量結果顯示，NCP 和底土葉綠素 *a* 濃度、底土粉泥黏土含量及底土有機物質含量呈顯著正相關，與底土粒徑則呈顯著負相關。NCP 平均值以北山最高(35.63 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)，其次依序為浯江(11.32 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)、湖下(8.56 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)，而以歐厝最低(4.07 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)。CR 和底棲無脊椎動物生物量、底土粉泥黏土含量及底土有機物質含量有顯著正相關，與底土粒徑有顯著負相關，CR 平均值以北山(4.49 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)最高，歐厝(1.06 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)最低。大金門島西岸沿海濕地經面積加權平均後的底棲生物年淨生產力為 5.52 g C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>，顯示大金門島西岸沿海屬於碳匯型濕地。

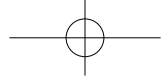
**關鍵字：**初級生產力、呼吸速率、底棲微藻、密閉罩蓋法

## Benthic Metabolism during Emergence in the Western Coastal Wetlands of Kinmen

Wei-Jen Lin<sup>1</sup> and Hsing-Juh Lin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Life Sciences, National Chung Hsing University; <sup>2</sup>Corresponding author E-mail: [hjlin@dragon.nchu.edu.tw](mailto:hjlin@dragon.nchu.edu.tw)

**ABSTRACT** Coastal wetlands are considered as natural carbon sinks owing to high primary production. Coastal wetlands contribute to a large percentage of the total area of Kinmen Island. However, little study has been done on benthic metabolism in the coastal wetlands. Primary production and respiration of microphytobenthos were measured in situ during emergence in four study sites on the western coast of Kinmen. CO<sub>2</sub> fluxes in benthic chambers were measured on the intertidal sandflats. The results showed that the production correlated highly positively with sediment chlorophyll *a* concentration, whereas the respiration highly negatively with sediment macrofauna biomass. Both the production and respiration correlated highly positively with the sediment silt/clay content and sediment organic matter content, but negatively with sediment grain size. Both the production and respiration in the northern study site, Beishan, were the highest (35.63±12.94 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, 4.49±0.58 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), but in the southern study site, Ouou, was the lowest (4.07±0.99 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, 1.06±0.40 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). Average annual benthic net community production of the coastal wetlands was



estimated at  $5.52 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ , indicating a carbon sink.

**Keywords:** primary production rate, respiration rate, microphytobenthos, closed-chamber method

## 前言

全球濕地面積估計有  $7-10 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，約佔全球陸地面積的 5-8%，是陸地生物性碳庫最大的組成部分(Dixon and Krankina 1995)。濕地中的植物與藻類等生產者會進行光合作用，將大氣中的二氧化碳( $\text{CO}_2$ )固定並吸收保存在濕地底層低度分解的厭氧土中。因此碳匯是濕地主要的生態系統服務功能之一(Mitsch and Gosselink 2007)。但在厭氧環境下，底土中的細菌會進行無氧呼吸，分解有機物質獲得能量。當底土中的電子接受者皆被還原後，會由  $\text{CO}_2$  接受電子，還原成甲烷( $\text{CH}_4$ )後由濕地逸散到大氣中(Bridgham *et al.* 2006)。 $\text{CH}_4$ 的釋放雖然少於  $\text{CO}_2$ ，但  $\text{CH}_4$ 的溫室效應卻是  $\text{CO}_2$  的 21 倍(Bartlett and Harriss 1993, Brix *et al.* 2001)。然而，沿海濕地因潮汐作用，有週期性的海水進入，使濕地被海水淹沒，海水內的硫酸鹽( $\text{SO}_4^{2-}$ )會抑制甲烷菌產生  $\text{CH}_4$ (Freeman *et al.* 1994)，使沿海濕地因為有較低的  $\text{CH}_4$  釋出，能較有效發揮碳吸收(Carbon Sequestration)的功能(Bridgham *et al.* 2006)。

沿海濕地是海水與陸地交會的緩衝地帶，包括鹽澤、泥灘地、河口沙洲、高鹽潟湖、海草床及紅樹林等多樣性環境，具有重要的碳吸收能力，且是地球上生物多樣性及生產力最高的生態系之一。MacIntyre *et al.*(1996)指出底棲微藻(Microphytobenthos)是沿海濕地中重要的生產者，可以提供三分之一以上(Sullivan and Moncrieff 1988, Pinckney and Zingmark 1991)，甚至三分之二(Asmus 1982)的生態系統總初級生產力。基於底棲微藻在沿海濕地有高生產力，亟需要量化底棲微藻固定碳的能力(Pinckney and Zingmark 1991)。然而目前研究多以溫帶地區為多，亞熱帶及熱帶地區沿海濕地底棲微藻碳的代謝資料仍十分缺乏。

大金門島形似啞鈴，中央狹窄東西兩端較

寬廣，為一大陸型島嶼。地理位置位於中國大陸九龍江口的廈門灣內，緯度與台中相當。大金門島生物資源豐富，擁有廣闊的沿海濕地生態系，然而該沿海濕地可提供碳吸收之生態系統服務功能與影響因素仍未有研究。自營建署於 2007 年公告國家重要濕地以來，濕地保育與復育已成為國家重要政策。本研究實地測量大金門島西海岸沿海濕地碳代謝量，以了解沿海濕地之碳吸收之生態系統服務功能，以及影響生物與底土環境因子。

## 材料與方法

### 一、研究地點及時間

本研究地點位於大金門島西海岸的沿海濕地，面積約 1175 ha。自 2010 年 7 月至隔年 3 月，每季選定一日當正午且潮汐退至最低潮時，於現場測量底棲生物群集淨生產力、呼吸速率及生物與環境因子，底棲生物群集內主要的生產者為底棲微藻。依據交通部中央氣象局統計的氣溫變化，將 3-5 月訂定為春季( $15^\circ\text{C}-25^\circ\text{C}$ )、6-8 月訂為夏季( $>25^\circ\text{C}$ )、9-11 月訂為秋季( $25^\circ\text{C}-15^\circ\text{C}$ )和 12-2 月訂為冬季( $<15^\circ\text{C}$ )；依據海岸線地理位置分為大金門島西南邊的歐厝沙灘( $24^\circ24'7.1''\text{N}$ ,  $118^\circ20'11.9''\text{E}$ ；歐厝)，西邊的的浯江溪出海口北岸( $24^\circ25'55.3''\text{N}$ ,  $118^\circ18'31.1''\text{E}$ ；浯江)和湖下海堤( $24^\circ27'13.7''\text{N}$ ,  $118^\circ18'9.7''\text{E}$ ；湖下)，以及西北邊的北山海堤( $24^\circ29'8.1''\text{N}$ ,  $118^\circ18'9.9''\text{E}$ ；北山)等 4 個研究樣點(圖 1、表 1)。

### 二、研究方法

$\text{CO}_2$  通量測量方法改良自 Migné *et al.*(2002)的密閉罩蓋法(圖 2)。選擇白天潮水退去後底土表層無積水的灘地，先以透光半圓形罩蓋和鋼圈在灘地上製造密閉空間，藉由紅外線  $\text{CO}_2$  氣體分析儀(LI-820, LI-COR)測量密

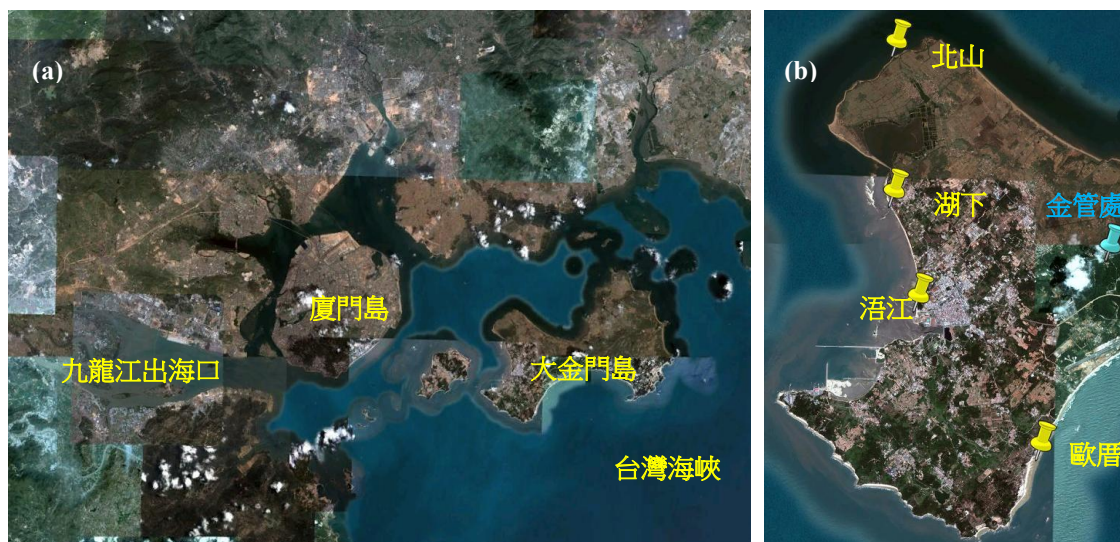


圖 1. 大金門島及 4 個研究樣點位置圖  
(a)大金門島於九龍江口的位置；(b)四個樣點於大金門島西岸的位置(圖片來源：Google Map)

表 1. 各樣點碳代謝量在四個季節的最小值、最大值及平均值

大金門島西海岸線分區	樣點名稱	面積 ha	碳代謝量(Min~Max, Mean±SE, n=4)			
			GCP	CR	NCP	GCP <sub>m</sub>
			mg C m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>			
尚義海堤東端至水頭碼頭西岸	歐厝	352.82	1.64~7.57	0.37~2.01	1.23~5.56	4.34~7.37
			5.14±1.25	1.06±0.40	4.07±0.99	6.20±0.69
水頭碼頭北防坡堤至金城鎮與金寧鄉交界	浯江	133.90	5.33~17.90	0.69~1.52	4.75~16.60	6.66~22.53
			12.46±2.65	1.13±0.18	11.32±2.53	16.06±3.36
金城鎮與金寧鄉交界至慈湖西邊海岸	湖下	174.15	5.29~12.99	0.94~2.13	4.35~11.17	12.36~17.87
			10.12±1.68	1.56±0.26	8.56±1.47	15.19±1.16
慈湖西邊海處至金門國家公園古寧頭區東端	北山	514.25	11.31~63.73	2.93~5.62	8.38~59.34	11.46~68.03
			40.12±13.15	4.49±0.58	35.63±12.94	43.96±14.11

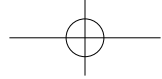
閉罩內 10~15min 內 CO<sub>2</sub> 的濃度變化，每樣點 3 重複。所得數據以直線回歸法求得回歸方程式的斜率，參考 Hubas *et al.* (2006) 等人提出的計算方式，將斜率(ppm CO<sub>2</sub> [30 sec]<sup>-1</sup>)換算成碳代謝量(mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)，此時的碳代謝量即為底棲生物群集淨生產力(Net Community Production, NCP)。以黑色塑膠袋遮避光線測得的 CO<sub>2</sub> 流量即為底棲生物群集呼吸速率(Community Respiration, CR)。底棲生物群集總生產力(Gross Community Production, GCP)則將 NCP 和 CR 相加而得。

另外以不同透光度(透光度 70%、50%、30%)的紗網或蘭花網做不同光度處理，得到在各個光度下的 GCP，代入 Jassby and Platt(1976) 提出用來描述藻類光合作用與光度關係的雙

曲線正切函數，可得到當日光度與 GCP 的關係式(P-I curve)，公式如下：

$$GCP = GCP_m \times \tanh(\alpha I / GCP_m)$$

其中 I 為現地測得的光合作用有效輻射量(Photosynthetically Active Radiation, PAR)，為光波長介於 400~700 nm 的光度。 $\alpha$  為此正切函數的起始斜率。GCP<sub>m</sub> 為底棲微藻在光合作用最大飽和光度(I<sub>m</sub>)時的最大總生產力。考量漲潮時因海水混濁造成光限制的環境使得底棲微藻幾乎沒有光合作用(Migné *et al.* 2009) 及 Spilmont *et al.* (2007) 發現底棲微藻自退潮時潮間帶露出後由底土深處移動至表層需要的時間(Time Lag)，造成在最大光度下退潮開始



時底棲微藻並未有  $GCP_m$  的生產，底棲微藻垂直移動時間的計算方式如下：

$$TL_{GCP/cm} = 0.52 \times TL_{em/noon} + 37.52$$

其中  $TL_{GCP/cm}$  為底棲微藻達到  $GCP_m$  時與剛開始退潮時的時間差， $TL_{em/noon}$  為剛開始退潮時與正午的時間差。總和退潮時的光度變化帶入 P-I curve 得到的 GCP，扣除底棲微藻在底土垂直移動需要的時間所高估的生產力，以計算底棲生物群集日總生產力(Daily GCP)。接著考慮每日潮汐時間的不同，且當季每日的碳代謝量以當季實驗測得資料帶入計算，累計底棲生物群集日總生產力得到底棲生物群集年總生產力(Annual GCP)。



圖 2. 密閉罩蓋法測量底棲生物群集碳代謝量

假設 CR 在一日的晝夜間沒有差異(Spilmont *et al.* 2006)，底棲生物群集日呼吸速率(Daily CR)將 CR 乘上 24 求得，考慮四季的變化，且當季每日的碳代謝量以當季實驗測得資料帶入計算，底棲生物群集年呼吸速率(Annual CR)則可總和日底棲生物群集總呼吸速率而求得。底棲生物群集年淨生產力(Annual NCP)則由底棲生物群集年總生產力和底棲生物群集年呼吸速率相減而得。計算出四個樣點的底棲生物群集年淨生產力，依照四個樣點的面積比例(歐厝 30%、浯江 11%、湖下 15%、北山 44%)計算出大金門島西海岸的年碳吸收量。

除  $CO_2$  通量的測量外，同時以光子感測器(LI-190SA, LI-COR)測量一日及碳代謝量測量時的光度變化。藉由綜合水質儀(Model 556,

YSI)測量漲潮時的海水水質(溫度、鹽度、酸鹼值及溶氧濃度)，並以褐色瓶取海水及孔隙水水樣，冷凍攜回實驗室以分光光度計(U2001, HITACHI)測量磷酸鹽(Murphy and Riley 1962)、硝酸鹽(Jenkins and Medsker 1964)、亞硝酸鹽(Pai and Yang 1990)、銨鹽(Pai *et al.* 2001)等營養鹽濃度。並以內徑 3.4 cm 的塑膠管採集底土表層以下 5 cm 土樣，以濕篩法(謝等 1993)分析底土，對照粒徑分類表(Folk 1966)得到粒徑大小(Grain Size)及粉泥黏土含量(Silt and Clay Content)，並以 400°C 高溫灰化 4 hr 測量底土有機物質含量等底土環境因子。底土生物因子有以丙酮萃取(Parsons *et al.* 1984)、分光光度計(U2001, HITACHI)測量底土葉綠素 *a* 濃度與以內徑 10 cm 的鋼製採土管採取表層以下 10 cm 的底土，藉由孔徑為 0.5 mm 篩網挑出底棲無脊椎動物，秤重計算底棲無脊椎動物生物量。以上環境、生物因子取樣各 3 重複。

### 三、統計分析

以斯皮爾曼等級相關係數(Spearman's Rank Correlation Coefficient)檢驗 NCP、CR、GCP 與底土環境與生物因子間的相關性。利用雙因子變異數分析(Two-way ANOVA)探討不同季節、地點對 NCP、CR、GCP 的影響。若在不同季節或不同地點有顯著差異，則進一步利用 Duncan's Multiple Range Test 事後檢定探討哪個季節與地點有差異。

## 結果

### 一、環境、生物因子

漲潮時海水水質(溫度、鹽度、酸鹼值及溶氧濃度)、海水及孔隙水營養鹽濃度與 NCP、CR 及 GCP 皆沒有顯著相關性。

底土平均粒徑在夏、秋、冬及春季皆以北山最小(0.10-0.13 mm)，而夏、秋及冬季則以浯江最大(0.60-0.75 mm)，春季則以歐厝最大(0.57 mm) (圖 3)。底土平均有機物質含量在

夏、秋、冬及春季皆以北山最高(1.14-1.56%)，歐厝最低(0.21-0.28%) (圖 4)。

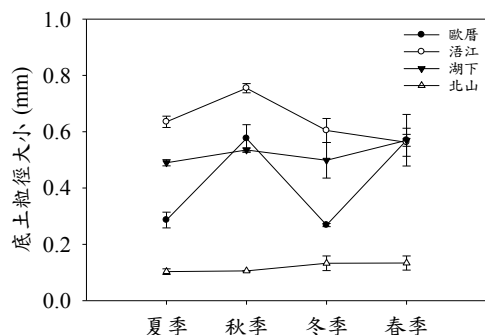


圖 3. 金門西岸沿海濕地四季底土粒徑大小測量結果

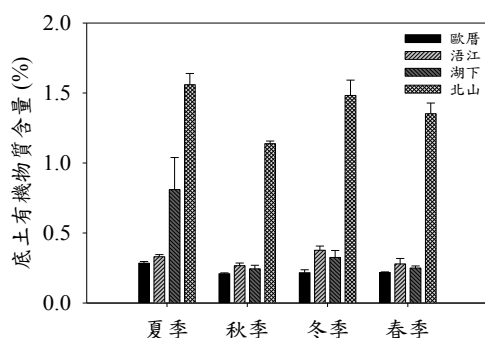


圖 4. 金門西岸沿海濕地四季底土有機物質含量測量結果

底土平均葉綠素 *a* 濃度在夏、秋、冬及春季皆以歐厝最低(9.83-28.68 mg m<sup>-2</sup>)。除春季以北山最高(139.91 mg m<sup>-2</sup>)之外，其餘夏、秋及冬季皆以浯江最高(134.70-297.59 mg m<sup>-2</sup>) (圖 5)。底棲無脊椎動物生物量在夏季以歐厝最高(1.35 gDW m<sup>-2</sup>)，秋、冬及春季則以北山最高(0.30-1.47 gDW m<sup>-2</sup>) (圖 6)。

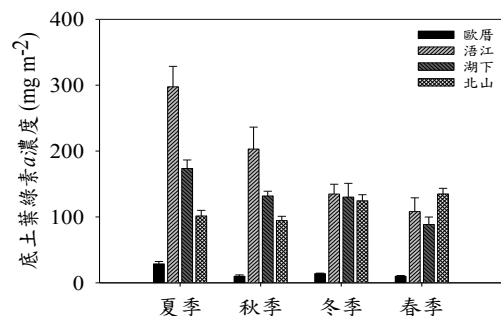


圖 5. 金門西岸沿海濕地四季底土葉綠素 *a* 濃度測量結果

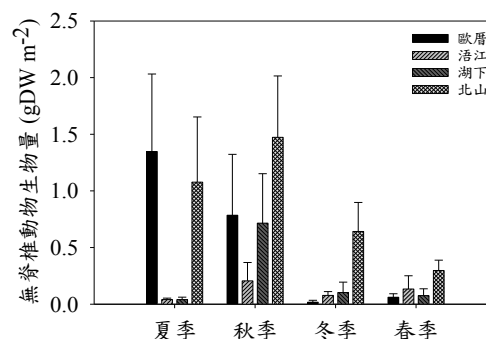


圖 6. 金門西岸沿海濕地四季底棲無脊椎動物生物量測量結果

## 二、底棲生物群集淨生產力及呼吸速率

NCP 在季節與地點間有交感作用 (Two-way ANOVA,  $F=5.37, p<0.01$ )。除了在秋季，平均 NCP 以浯江最高(13.36 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) 外，夏、冬及春季皆以北山最高(18.73-59.34 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)；夏、秋、冬及春季皆以歐厝最低(1.23-5.56 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) (圖 6)。NCP 和底土葉綠素 *a* 濃度( $r=0.45, p<0.01$ )、底土粉泥黏土含量( $r=0.59, p<0.01$ )及底土有機物質含量( $r=0.61, p<0.01$ )皆有顯著正相關，與底土粒徑( $r=-0.27, p=0.03$ )有顯著負相關。

CR 在季節與地點間亦有交感作用 (Two-way ANOVA,  $F=2.86, p<0.01$ )。在夏、秋、冬及春季，平均 CR 皆以北山最高(2.93-5.26 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)；夏季則以浯江最低(1.31 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)，秋季則以湖下最低(0.94 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)，冬、春季則以歐厝最低(0.37-0.41 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) (圖 6)。CR 和底棲無脊椎動物生物量( $r=0.43, p<0.01$ )、底土粉泥黏土含量( $r=0.49, p<0.01$ )及底土有機物質含量( $r=0.71, p<0.01$ )皆有顯著正相關，與底土粒徑( $r=-0.57, p<0.01$ )有顯著負相關。

GCP 在季節與地點間亦有交感作用 (Two-way ANOVA,  $F=6.24, p<0.01$ )。在夏、冬及春季皆以北山較高(24.35-63.73 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)，歐厝最低(1.64-7.57 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)，秋季則以浯江最高(14.38 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)，湖下最低(5.29 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) (圖 7)。GCP 和底土葉綠素 *a* 濃度( $r=0.43, p<0.01$ )、底土粉泥黏土含量( $r=$

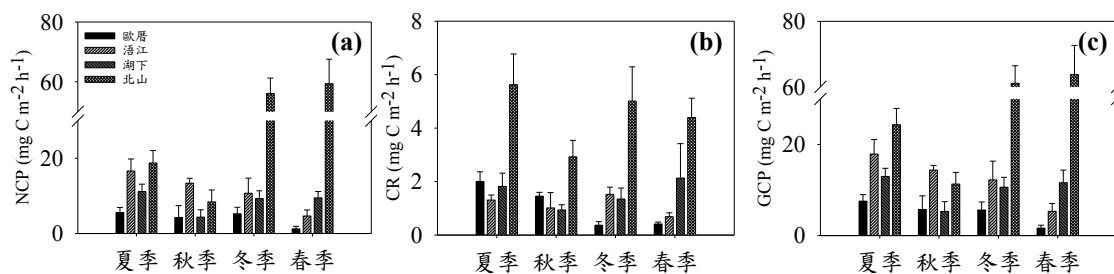


圖 7. 底棲生物初級生產力與呼吸速率的測量結果

(a)底棲生物群集淨生產力(NCP)；(b)底棲生物群集呼吸速率(CR)；(c)底棲生物群集總生產力(GCP)

0.62,  $p < 0.01$ )及底土有機物質含量( $r = 0.67$ ,  $p < 0.01$ )皆有顯著正相關,與底土粒徑( $r = -0.34$ ,  $p < 0.01$ )有顯著負相關。

### 三、年底棲生物群集總生產力

以  $GCP_m$  計算 annual GCP, 並以 CR 計算 annual CR, 可得歐厝為  $3.45 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、 $4.24 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ , 浯江為  $19.00 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、 $4.53 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ , 湖下為  $7.93 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、 $6.24 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  及北山為  $26.77 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、 $17.95 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 。經四個樣點面積加權計算, 扣除 annual CR 後可得到大金門島西半部沿海濕地的碳吸收量為  $5.52 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ , 顯示大金門島西半部沿岸是碳吸收的結果, 屬於碳匯型濕地。

## 討論

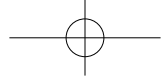
MacIntyre *et al.* (1996) 研究指出, 影響底棲微藻生產力的環境因子有底土葉綠素 *a* 濃度、光照度、溫度、潮汐等。但由本研究結果顯示, 漲潮時海水水質及營養鹽濃度對大金門島西海岸沿海濕地底棲微藻碳代謝作用影響較小, 主要影響因子除了底土葉綠素 *a* 濃度外, 底土環境因子的影響不容小覷, 包括底土粒徑、底土粉泥黏土含量及底土有機物質含量。

由相關性分析可以發現主要影響底棲生物碳代謝量的生物與環境因子皆與底土環境頗有關聯。底土葉綠素 *a* 濃度可代表底土內底棲微藻的生物量, 當底土葉綠素 *a* 濃度(底棲微藻生物量)愈高, 可提供較高的生產力; 反之則如歐厝底土葉綠素 *a* 濃度(底棲微藻生物

量)最低, 提供的生產力也最低。但在北山葉綠素 *a* 濃度雖僅在春季最高, 但在夏、冬及春等三季的生產力皆是四個樣點中最高。觀察北山底土累積的有機物質含量也較多, 使底棲微藻的營養來源豐富而有高生產力。反之, 如歐厝因受波浪與潮汐影響, 底土擾動頻繁, 累積有機物質含量最少, 提供底棲微藻的營養來源較少, 而有最低的生產力。

由相關性分析可以發現主要影響 CR 的生物與環境因子同樣是與底土環境有所關聯。CR 主要貢獻者可能來自於底棲微藻及底棲無脊椎動物, 但是底土葉綠素 *a* 濃度( $r = 0.12$ ,  $p = 0.32$ )和 CR 的相關性較低, 而底棲無脊椎動物生物量( $r = 0.43$ ,  $p < 0.01$ )則有顯著正相關。以 CR 在四季皆最高的北山為例, 北山的底土粒徑最小且粉泥黏土含量最高, 形成緻密的厭氧層。Wattermann *et al.* (1999) 指出底土較細, 顆粒保水性高且營養含量也較高。北山有機物質含量高, 除了能提供底棲微藻營養來源外, 也支持許多以濾食底土內有機物質的底棲無脊椎動物, 如多毛類的管蟲生長, 導致較高的生物量, 進而有高的 CR。

本研究在大金門島西海岸沿海濕地測量底棲生物群集碳代謝量, 與台灣海峽東側、約相同緯度台中市的高美濕地 ( $24^{\circ}18'N$ ,  $120^{\circ}32'E$ ) 所測得的底棲生物群集碳代謝量的研究結果 (Lee *et al.* 2011) 相比較: GCP、NCP 與 CR 除了在歐厝較高美濕地的平均值低外, 北山所測得值較高美濕地的平均值高。NCP 在兩沿海濕地的值相近, CR 則在高美濕地較高, GCP 也以高美濕地較高。但底土葉綠素 *a*



林蔚任，林幸助

濃度則以金門沿海濕地較高，底土粒徑則除北山外，高美濕地皆比其他三個樣點都高。

Lee *et al.* (2011) 發現高美濕地底棲生物群集呼吸速率(CR)主要的影響因子是底土葉綠素 a 濃度及底棲無脊椎動物生物量，和本研究於大金門島西海岸沿海濕地的結果相似；高美濕地底棲生物群集生產力(GCP、NCP)主要影響因子有底土粒徑和底土粉泥黏土含量，他們發現底土粒徑有顯著的正相關性，而底土粉泥黏土含量有顯著的負相關性，和本研究結果正好相反。由此可知影響沿海濕地底棲生物群集生產力和呼吸速率的各種環境與生物因子中，不能忽視底土因子。但是為何在不同的沿海濕地有不同的影響程度，可能需要同時分析包括水質或地理位置等更大尺度因素之影響，方能得知。

本研究計算大金門島西半部沿海濕地的碳吸收量為  $5.52 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ，此數值的推算是以  $GCP_m$  代表 Daily GCP，假設退潮時，潮間帶所接受到光度(I)皆高於底棲微藻光合作用的最大飽和光度( $I_m$ )。然而大氣中雲層變化會影響潮間帶接受到的光度，降低底棲微藻的生產量(Migné *et al.* 2009)，且因研究上人力與經費的限制，目前僅能以每季一次測量值代表此季節的數值，忽略各月或各日間底棲生物群集的變異性，因此本研究之估算值實為光度理想狀況下的高估值。未來應該增加不同月份間的量測，同時考慮因為陰雨天光度較低的狀況，才能提高估算值的準確度。

## 結論

大金門島西海岸沿海濕地，北山的底棲生物群集初級生產力和呼吸速率高於其他樣點，乃因北山的底土粒徑最小(泥灘地)，累積的有機物質含量較多，能提供底棲微藻及無脊椎動物較多的營養來源，導致底棲微藻的生產力高，且底棲無脊椎動物生物量增加而呼吸速率高所致。歐厝的生產力最低，可能是其底土粒徑最大(沙灘)，不易累積有機物質於底土

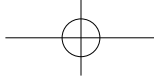
中，使底棲微藻有低生產力所致。在大金門島西岸沿海濕地底棲生物群集一年平均總生產力為  $16.09 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ，但扣除呼吸速率後，大金門島西岸沿海濕地碳吸收量為  $5.52 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ，屬於碳匯型濕地。

## 誌謝

本研究承金門國家公園管理處提供研究經費。金門國家公園管理處盧淑妃副處長、保育研究課邱天火課長、陳尚月小姐、陳淑靈小姐及西區管理站蔡水田先生提供許多行政協助，謹此一併致謝。

## 引用文獻

- 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。
- Asmus R. 1982. Field measurements on seasonal variation of the activity of primary producers on a sandy tidal flat in the northern Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research* 16:389-402.
- Bartlett K and RC Harriss. 1993. Review and assessment of methane emissions from wetlands. *Chemosphere* 26:261-320.
- Bridgman SD, JP Megonigal, JK Keller, NB Bliss and C Trettin. 2006. The carbon balance of North American wetlands. *Wetlands* 26:889-916.
- Brix H, BK Sorrell and B Lorenzen. 2001. Are Phragmites-dominated wetlands a net source or net sink of greenhouse gases? *Aquatic Botany* 69:313-324.
- Dixon RK, and ON Krankina. 1995. Can the terrestrial biosphere be managed to conserve and sequester carbon? In *Beran MA (ed.), Carbon Sequestration in the Biosphere: Processes and Prospects*. Springer, New York, USA.
- Folk RL. 1996. A review of grain-size parameters. *Sedimentology* 6:73-93.
- Freeman C, M Hudson, MA Lock, B Reynolds and S Swanson. 1994. A possible role of sulfate in the suppression of wetland methane fluxes following drought. *Soil Biology and Biochemistry* 26:1439-1442.
- Jassby AD and T Platt. 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton. *Limnology and Oceanography* 21:540-547.



- Hubas C, D Davoult, T Cariou and LF Artigas. 2006. Factors controlling benthic metabolism during low tide along a granulometric gradient in an intertidal bay (Roscoff Aber Bay, France). *Marine Ecology Progress Serine* 316:53-68.
- Jenkins D and LL Medsker. 1964. A brucine method for the determination of nitrate in ocean, estuarine, and fresh waters. *Analytical Chemistry* 36:610-612.
- Lee LH, LY Hsieh, and HJ Lin. 2011. Spatio-temporal variability of benthic metabolism during emersion and annual budget on subtropical intertidal sandflats. *Marine Ecology Progress Serine* 441:33-47.
- MacIntyre HL, RJ Geider and DC Miller. 1996. Microphytobenthos: the ecological role of the "secret garden" of unvegetated, shallow-water marine habitats. I. Distribution, abundance and primary production. *Estuaries* 19:186-201.
- Migné A, D Davoult, N Spilmont, D Menu, G Boucher, JP Gattuso and H Rybarczyk. 2002. A closed-chamber CO<sub>2</sub>-flux method for estimating intertidal primary production and respiration under emersed conditions. *Marine Biology* 140:865-869.
- Migné A, N Spilmont, G Boucher, L Denis, C Hubas, M-A Janquin, M Rauch, D Davoult. 2009. Annual budget of benthic production in Mont Saint-Michel Bay considering cloudiness, microphytobenthos migration, and variability of respiration rates with tidal conditions. *Continental Shelf Research* 29:2280-2285.
- Mitsch WJ and JG Gosselink. 2007. *Wetlands*. John Wiley and Sons, Hoboken, USA.
- Murphy J and JP Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in nature water. *Analytica Chimica Acta* 27:31-36.
- Pai SC, YJ Tasu and TI Yang. 2001. pH and buffering capacity problems involved in the determination of ammonia in saline water using the indo phenol blue spectrophotometric method. *Analytica Chimica Acta* 434:209-216.
- Pai SC and CC Yang. 1990. Formation kinetics of the pink azo dye in the determination of nitrite in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 232:345-349.
- Parsons TR, Y Maita and CM Lalli. 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Pergamon Press, New York, USA.
- Pinckney J and RG Zingmark. 1991. Effects of tidal stage and sun angles on intertidal benthic microalgae productivity. *Marine Ecology Progress Serine* 76:81-89.
- Spilmont N, D Davoult, A Migné. 2006. Benthic primary production during emersion: In situ measurements and potential primary production in the Seine Estuary. *Marine Pollution Bulletin* 53:49-55.
- Spilmont N, A Migné, L Seuront and D Davoult. 2007. Short-term variability of intertidal benthic community production during emersion and the implication in annual budget calculation. *Marine Ecology Progress Serine* 333:95-101.
- Sullivan M and C Moncreiff. 1988. Primary production of edaphic algal communities in a Mississippi salt marsh. *Journal of Phycology* 24:49-58.
- Watermann F, H Hillebrand, G Gerdes, WE Krumbein and U Sommer. 1999. Competition between benthic cyanobacteria and diatoms as influenced by different grain sizes and temperatures. *Marine Ecology Progress Serine* 187:77-87.