



東沙環礁瀉湖內異營性細菌生產力時空變異及其生長限制因子探討

梁至希¹, 夏復國^{1,2}

1. 國立臺灣海洋大學 海洋環境化學與生態研究所 2. 中央研究院環境變遷研究中心

摘要

異營性浮游細菌是水體中唯一能分解溶解態有機物(DOM)的分解者,而溶解性有機碳(Dissolve organic carbon, DOC)佔水體生態系中總有機碳的90%以上,故了解水體中控制DOC儲量的機制,對於協助我們估算全球碳通量是很重要的。本研究地點為東沙環礁湖,是一珊瑚礁生態系,具有再生性作用(regeneration)支持之高初級生產力,但因處高緯度,水體易形成分層,故再生性營養鹽無法往上層水體輸送而造成貧營養狀態。前人研究(Wang *et al.* 2007; 陳仲吉等 2010)指出,南海內波行進至東沙環礁附近,因受地形淺化而成為上抬型內波時,將為東沙環礁注入"系統外新營養鹽",對於細菌生產力在環礁內的變化及生長限制因子有何影響是值得探討的。本研究分別在2010年5(春)、7(夏)、9(秋)月及2011年2月(冬)進行四季的觀測,在東沙環礁瀉湖內24個測站進行細菌生產力的時空變化及限制因子的研究。現場結果顯示,水溫分布除南、北航道口外,於東沙環礁東側亦發現內外海水交換孔道。根據Redfield ratio (C:N:P = 106:16:1)理論,四季現場觀測值的N/P ratio皆大於16,可推測此生態系內浮游生物的生長為磷限制環境。野外數據複回歸分析顯示,細菌生長在春夏兩季沒有明顯影響因子,而秋冬兩季分別與總無機氮(Dissolve inorganic carbon, DIN)及DOC相關。夏、秋及冬季的營養鹽添加實驗顯示夏、秋季細菌生長為磷限制(P-limited)環境,而冬季(DOC最高之季節)則受到碳限制(C-limited);本研究發現野外數據的統計(回歸或相關)分析無法完全揭露細菌當季的生長控制因子;Redfield ratio有時(冬季)也無法作為細菌生長是受何種營養鹽限制的依據。

研究方法

2010年5、7月、9月及2011年2月,於環礁內24個測站(圖1)進行基本物理、化學、生物等水文參數調查。7月、9月、2月並選取10個測站(圖1),進行營養鹽(Glucose(C), NH₄(N), PO₄(P))添加實驗,以對照組為基準,細菌生產力增加率>20%即為顯著(Shiah *et al.* 2001)。

結果

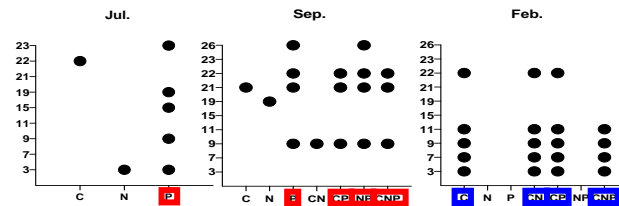


圖1. 東沙環礁瀉湖採樣測站。圖中黃框為營養鹽添加之10個測站。

圖3. 營養鹽添加結果。7月及9月為磷限制, 2月為碳限制。

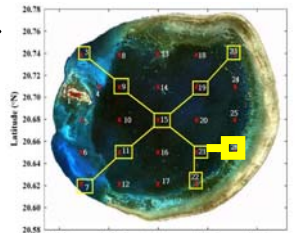


表1. 四季複回歸(stepwise)分析表(數值為Log-transformed value)。**為p<0.01, *為p<0.05。

Categories	n	Dependent variables	Independent variables and R ²	Equation
May	13	BP	ns	logBP = 1.35 + 0.49(±0.18)logChl a*
		BB	Chl a, R ² =0.40	
		Bμ	ns	
Jul.	13	BP	ns	logBP = 2.44 - 3.80(±1.11)logDIN**
		BB	DIN, R ² =0.51	
		Bμ	DIN, R ² =0.50	
Sep.	11	BP	DIN, R ² =0.55	logBP = -0.47 + 3.41(±1.02)logDIN**
		BB	Chl a, R ² =0.50	
		Bμ	Chl a, R ² =0.59	
		Bμ	DIN+Sal, R ² =0.82	
Feb.	24	BP	DOC, R ² =0.46	logBP = 10.86 - 4.37(±1.01)logDOC**
		BB	DOC+Chl a, R ² =0.59	
		Bμ	Chl a, R ² =0.39	
		Bμ	DOC, R ² =0.54	
			DOC+N/P, R ² =0.66	logBμ = 10.66 - 4.27(±0.77)logDOC - 0.74(±0.28)logN/P*

結論

東沙環礁內水溫空間分佈結果(圖2)顯示,東沙環礁瀉湖內除南北航道口外,於環礁東側亦有一海水交換孔道。前人研究(Chang *et al.*, 2006)內波由東向西傳播至東沙陸棚,故推測內波即由此東側海水交換道進入東沙環礁內,並送入深層高營養鹽,使此水域營養鹽(DIN > 2μM, PO₄ > 0.07μM, DOC > 146 μM)高於一般貧營養鹽系統(NO₃ < 0.2μM, DOC < 70μM Shiah *et al.* 2001),或因此區水體循環較差及半封閉性,造成營養鹽停滯在環礁內,且不斷再循環(陳仲吉等2011)。由現場測值結果來看,四季N/P ratio均大於16,顯示東沙環礁瀉湖為一磷限制系統。營養鹽添加實驗結果(圖3)顯示,夏秋兩季細菌生產力限制因子為磷酸鹽,冬季則受碳限制。雖然此結果與秋季複回歸分析結果(表1)不同,但生物狀態的表現,唯以添加營養鹽並模擬其生長環境培養的結果,將較數據分析之結果更能顯示實際上細菌所需的營養鹽。另外冬季具有四季中最高濃度的DOC,卻為細菌生長限制因子,推測原因為測得之DOC為海草凋亡後所釋出,因分子較大使細菌分解不易,故造成DOC累積。

參考文獻

1. Chang, M.-H., R.-C. Lien, T. Y. Tang, E. A. D'Asaro, and Y. J. Yang (2006). Energy flux of nonlinear internal waves in northern South China Sea. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L03607. doi:10.1029/2005GL025196.
 2. Shiah FK, Chen TY, Gong GC, Chen CC, Chiang KP, Hung JJ (2001) Differential coupling of bacterial and primary production in mesotrophic and oligotrophic systems of the East China Sea. *Aquat Microb Ecol* 23: 273-282
 3. 陳仲吉, 夏復國, 詹晨, 許世傑 (2011) 東沙環礁瀉湖生態系統研究(一) 成果報告。海洋國家公園管理處委託研究報告。

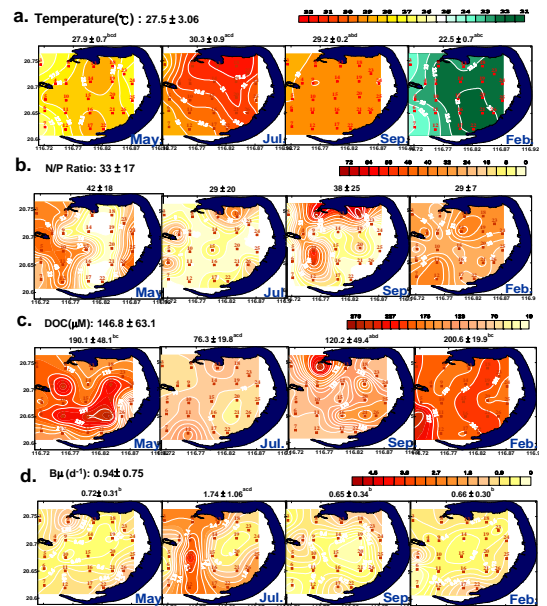


圖2. 現場調查結果空間分佈圖, a-d依序為水溫、DOC、N/P ratio、細菌置換率(Bμ)。每小圖上方為所得數據,其右上角字母為ANOVA (Post hoc: Bonferroni)分析結果。