

第四章 討論

4.1 東海南部海域物理環境的時空變異

東海南部海域的表層海水水溫與鹽度在夏季有最高值，冬季有最低值，具有明顯的時序變化（圖 4）。此外，受到大陸沿岸淡水注入的影響，此海域也呈現明顯的空間變化，一般靠近大陸沿岸海域具有較低的表水溫度與鹽度，而越靠近黑潮流域其表水溫度與鹽度則越高，此趨勢與先前研究結果相類似，亦即東海陸棚整年變化的趨勢為靠近陸棚內側會有較低的水溫與鹽度，而陸棚邊緣則是呈現高溫高鹽的現象（Gong *et al.*, 1996 ; Chen *et al.*, 2003, 2006）。就個別水團的表水溫度及鹽度的季節變化而言，大陸沿岸水、台灣海峽水、以及黑潮水的表水溫度皆呈現明顯且相類似的季節變化，亦即在冬季的水溫最低，夏季的水溫最高（圖 4）。在鹽度變化方面，大陸沿岸水受到淡水注入的影響較大，故呈現明顯的季節性變化，其值在冬季最低，在夏季最高（圖 4b）。此結果與傳統東海陸棚大陸沿岸水鹽度變化的結果相佐（即春、夏鹽度較秋冬低）。推測原因可能與大陸沿岸流在冬季時會順著大陸沿岸南下有關（Kao *et al.*, 2003）；台灣海峽水較低的表水鹽度值亦出現在冬季（圖 4c），但是其變化的幅度不如大陸沿岸水明顯，相較於其它季節此鹽度低值亦不明顯，若有任何原因，此冬季低溫低鹽水可能主要與上述冬季時南下的大陸沿岸水於台灣海峽中間時迴

轉向北流有關 (Kao *et al.*, 2003)；黑潮海域由於終年受到高溫高鹽黑潮水注入的影響，因而即使在冬季，表水水溫仍可達 24 左右，鹽度則無明顯的季節性變化 (圖 4d)。

東海南部海域的混合層呈現明顯的季節性變化，以冬季的混合層深度最深，秋季與春季次之，夏季的混合層最淺 (圖 4)，此結果與大部分海域和東海陸棚先前研究的季節性變化相似 (Chen *et al.*, 2003)。在空間變異上，大陸沿岸水的混合層平均深度最淺，台灣海峽水次之，黑潮水的平均混合層深度最深，在大陸沿岸有較淺的混合層可能與表層較多的淡水有關。

4.2 東海南部海域化學水文的時空變異

就 14 個測站的無機營養鹽而言，硝酸鹽 (NO_3^-)、磷酸鹽 (PO_4^{3-})、矽酸鹽 (SiO_2) 濃度皆與溫度呈現顯著的負相關 ($p < 0.01$)，推論其最主要原因是在水溫較低的冬季，浮游植物數量較少，對於無機營養鹽的消耗少，加上冬天的風浪大，水體垂直混合作用強烈，會將沉積在底層的營養鹽帶至淺層海水，因此水體中可累積大量無機營養鹽。春季水溫升高，日照充足，加上冬季累積的大量營養鹽，使得浮游植物在此季節大量生長，消耗掉更大量的營養鹽，因此營養鹽濃度就相對較低。又因為受到海水物理性質影響，夏季表層海水水溫較高，密度較低，相反的，中下層海水的水溫較低，密度較高，使得海水垂直交

換作用不良，營養鹽更難由中下層水補充上來。

Gong *et al.*, (1996) 指出，注入東海的大陸沿岸淡水，含有豐富的硝酸鹽和矽酸鹽，磷酸鹽的濃度則較低。Wong *et al.*, (2000) 亦指出注入東海的沖淡水中具有相當高的氮磷比 ($(\text{NO}_3+\text{NO}_2)/\text{PO}_4 > 40 \text{ mol N mol}^{-1} \text{ P}$)。本研究亦發現此海域磷酸鹽的濃度遠小於硝酸鹽和矽酸鹽，且在大陸沿岸水的硝酸鹽濃度 ($p < 0.01$)、矽酸鹽濃度 ($p < 0.05$) 與表水水溫皆呈顯著負相關，顯示在冬季有較豐沛的淡水注入，硝酸鹽及矽酸鹽的注入量亦較多，推測其原因可能由於大陸沿岸流在冬季時順著大陸沿岸南下為東海南部海域提供較高濃度的無機營養鹽 (Gong *et al.*, 1996; Kao *et al.*, 2003)。磷酸鹽濃度與表水水溫沒有顯著相關性，推測原因是注入此海域的淡水的磷酸鹽濃度甚低所造成。就空間變化而言，台灣海峽水的磷酸鹽濃度則與水溫呈顯著負相關 ($p < 0.01$)，推測原因是由於台灣東北角附近的湧升流 (Liu *et al.*, 1992) 產生的湧升作用會將深層海水的磷酸鹽帶到表層海水，且冬季湧升作用較為旺盛，而夏季時持續的西南季風會減弱湧升作用 (Gong *et al.*, 1992)，故此水團冬季的磷酸鹽濃度會較其他季節來的高 (圖 6b)，而與水溫呈現顯著負相關。

4.3 東海南部海域群聚呼吸率的空間變異

東海南部海域群聚呼吸率於四季皆呈現相類似的空間變化趨

勢，即在靠近大陸沿岸的測站有較高值，而越靠近陸棚邊緣（或黑潮水）其群聚呼吸率越低（圖 10），與 Chen *et al.* (2003) 指出在營養鹽濃度較高的海域其群聚呼吸率較貧營養鹽海域為高相同，此趨勢亦可從不同水團間群聚呼吸率之比較結果得到證明（圖 9e）。進一步分析顯示，東海南部海域的群聚呼吸率與顆粒性有機碳 ($p < 0.05$)、異營性細菌生產力 ($p < 0.05$)、和葉綠素 *a* 濃度呈顯著正相關 ($p < 0.01$ ；表 4)，此結果說明影響東海南部海域群聚呼吸率的主要因素為浮游群聚數量的多寡，先前研究也證明浮游生物群聚（包含：細菌性浮游生物、浮游植物、浮游原生動物以及浮游動物等）的數量多寡與種類組成是影響是影響群聚呼吸率變化的主因 (Hopkinson *et al.*, 1989；kemp *et al.*, 1994)，而本研究中葉綠素 *a* 濃度的空間變化趨勢為大陸沿岸水最高，台灣海峽水次之，黑潮水最低（圖 9 b），此結果與 Gong *et al.* (2000) 相同，並與群聚呼吸率的空間變化相似（圖 9 e），且群聚呼吸率與葉綠素 *a* 濃度之間的相關係數 *r* 值高達 0.76（表 4），顯示葉綠素 *a* 的濃度為影響群聚呼吸率空間變化最主要的貢獻者，而葉綠素 *a* 濃度可視為水體中浮游植物生物量的指標，故在大陸沿岸水浮游植物的數量較台灣海峽水及黑潮水為多，除此之外，葉綠素 *a* 濃度的值在同一個航次中的震蕩相當劇烈（圖 7），表示在同一季節的不同水團中葉綠素 *a* 濃度差異很大，亦即葉綠素 *a* 濃度具有空間上的差異，

推測造就此現象的原因為大陸沿岸水無機營養鹽（硝酸鹽、磷酸鹽、矽酸鹽）濃度在三個水團中為最高者（圖 6），而營養鹽濃度為控制浮游植物生長的重要因子（Gong *et al.*, 1996），故大陸沿岸水浮游植物的數量則較多，因而群聚呼吸率亦較高。

此外，異營性細菌生產力與群聚呼吸率間的相關係數 r 值達 0.50，表示當異營性細菌生產力越高，群聚呼吸率就越高，且由前人的研究可知，在水域環境有機碳的消耗中，微生物群聚扮演著相當重要的角色，其中又以細菌為最（del Giorgio and Duarte, 2002），Griffith *et al.* (1990) 亦指出細菌性浮游生物的呼吸率所佔浮游生物群聚呼吸率的比例可達 50 ~ 94%。另外，在東海陸棚海域的研究中，細菌性浮游生物可以消耗絕大部份的生物源顆粒性有機碳（Shiah *et al.*, 2000a），且細菌的呼吸率佔群聚呼吸率相當大的一部份（Chen *et al.*, 2003），因此可推論異營性細菌的數量或生產力亦為影響東海南部海域群聚呼吸率的主要因子之一，在本研究中異營性細菌生產力的空間變化趨勢與顆粒性有機碳相似（圖 9a, d），顯示異營性細菌生產力會受到顆粒性有機碳濃度的影響。

綜上所述，東海南部海域群聚呼吸率的空間變化受到葉綠素 a 濃度及異營性細菌生產力等生物因子的影響，其中葉綠素 a 的空間變化受營養鹽濃度的影響，而異營性細菌的生長則受到顆粒性有機碳濃度

的影響。

4.4 東海南部海域群聚呼吸率的時序變化

東海南部海域的群聚呼吸率的時序變化為春季最高，夏季和秋季次之，冬季最低（表 3），此季節性的變化趨勢可能與異營性細菌和葉綠素 *a* 濃度的季節性變異有關，然而由於東海南部海域主要受到大陸沿岸水、台灣海峽水、和黑潮水所影響，因此影響相關時序變化的因子將就不同水團分別進行討論。

東海南部海域群聚呼吸率在三個水團中以大陸沿岸水具有最高值，而此大陸沿岸水群聚呼吸率的季節性變化，以春季為最高，冬季最低（圖 8e）。進一步分析結果發現，大陸沿岸水的群聚呼吸率與葉綠素 *a* 及顆粒性有機碳濃度呈顯著正相關 ($p < 0.01$ ；表 5)，顯示在大陸沿岸水，葉綠素 *a* 濃度為影響群聚呼吸率季節變異的主要因子之一。然而大陸沿岸水的顆粒性有機碳濃度與葉綠素 *a* 濃度間無顯著相關，推測是由於近岸地區的顆粒性有機碳常帶有多量不具活性的懸浮顆粒（賴，2004），故大陸沿岸水顆粒性有機碳的樣品中含有較高量死亡生物個體殘留的有機碎屑，而非由浮游植物數量所致，因此大陸沿岸水的顆粒性有機碳與葉綠素 *a* 濃度無顯著相關，由此結果可知影響大陸沿岸水群聚呼吸率的季節性變化，可能有其它浮游生物群聚（例如：原生動物或浮游動物）所控制，可惜本研究並無相關數據可

以證明。

台灣海峽水群聚呼吸率的季節性變化亦與大陸沿岸水相同，亦即以春季為最高，冬季最低（圖 8e）。進一步分析結果發現，台灣海峽水的群聚呼吸率與顆粒性有機碳和異營性細菌生物量呈顯著正相關 ($p < 0.01$ ；表 6)，且顆粒性有機碳與異營性細菌生物量亦呈顯著正相關 ($p < 0.01$ ；表 6)，顯示台灣海峽水群聚呼吸率的季節性變化，以異營性細菌為重要的貢獻者，而影響此異營性細菌生物量的多寡主要與顆粒性有機碳濃度有關。

黑潮水群聚呼吸率的季節性為冬季最低，夏季最高，進一步由簡單相關分析發現，黑潮水的群聚呼吸率與顆粒性有機碳 ($p < 0.01$)、細菌生產力 ($p < 0.01$)、葉綠素 a ($p < 0.05$) 呈顯著正相關，顯示在黑潮水，影響其群聚呼吸率的因子主要為異營性細菌及浮游植物生物量的多寡。另外，在 2004 年 8 月的航次中，黑潮水的群聚呼吸率值高於台灣海峽水，檢視其他相關生物參數之後發現，黑潮水的葉綠素 a 濃度及異營性細菌生產力皆較台灣海峽水為高，且在前人的研究中，此區域於 8 月份時動物性浮游生物豐度高，可能在強烈攝食作用下產生較多的溶解性有機物，使得細菌得以利用這些有機物質而造成細菌活性出現峰值（許，2005）。此外，此區域還受到黑潮湧升作用的影響，因而有營養鹽自中下層海水湧升至淺層海水。受到營養鹽濃度較

高的影響，浮游植物的數量亦會較多，故推論黑潮水的群聚呼吸率較台灣海峽水為高是由於黑潮湧升作用使得黑潮水的植浮及異營性細菌的生物量較台灣海峽水多所造成。