

第三章 結果

一、東海南部海域物理水文參數之時空變異

1.1 表層海水的鹽度

研究期間 (2003 年 9 月 ~ 2004 年 8 月) 表層海水鹽度的變化範圍介於 29.8 ~ 34.7 psu 之間，平均鹽度為 33.8 ± 1.1 psu (表 2)。就季節變化而言，最高鹽度值出現在夏季 (2004 年 8 月為 34.2 ± 0.1 psu；2003 年 9 月為 34.10 ± 0.21 psu)，秋季 (2003 年 11 月； 33.8 ± 1.2 psu) 和春季 (2004 年 5 月； 33.7 ± 1.3 psu) 次之，最低鹽度平均值出現在冬季 (2004 年 1 月)，為 33.3 ± 1.4 psu (表 3)。就表層海水鹽度的空間變化趨勢而言，在靠近大陸沿岸的測站鹽度較低，表水鹽度往台灣海峽及黑潮的方向有增加的趨勢，最高的鹽度平均值出現於黑潮流經的測站 14 (圖 3)。

為便於空間變異的討論，依據溫、鹽散佈圖 (T-S diagram) 的結果，進一步將 14 個測站分為大陸沿岸水 (China Coastal Waters；CCW；測站 1-4)、台灣海峽水 (Taiwan Waters；TW；測站 5-9) 和黑潮水 (Kuroshio Waters；KW；測站 10-14；圖 2)。其中以大陸沿岸水的表層海水鹽度變化範圍最大 ($31.5 \sim 34.1$ psu；圖 2, 4b)，但平均鹽度值為三個水團中最低 (32.8 ± 1.3 psu)；台灣海峽水鹽度變化範圍介於 $33.3 \sim 34.4$ psu 之間 (圖 2, 4c)，平均鹽度值為 34.0 ± 0.4 psu，高於

大陸沿岸水團；黑潮水的鹽度變化範圍最小，(34.2 ~ 34.6 psu；圖 2, 4d)，平均鹽度值為三個水團中最高 (34.4 ± 0.2 psu)。

1.2 表層海水的溫度

東海南部海域的表層海水水溫變化範圍介於 13.6 ~ 29.8 之間，平均水溫為 24.9 ± 4.2 (表 2)。就季節變化而言，最高水溫出現在夏季 (2004 年 8 月)，其平均值為 28.97 ± 0.87 ，最低水溫 (19.45 ± 3.51) 出現在冬季 (2004 年 1 月)，秋季與春季的平均水溫分別為 23.88 ± 3.34 及 24.90 ± 1.76 (表 3；圖 4a)。在空間變化趨勢上，綜觀 14 個測站的年均溫變化圖 (圖 3)，鄰近大陸沿岸的測站表水平均溫度最低 (22.98 ± 5.58)，表水溫度往黑潮方向有逐漸增高的趨勢，其中台灣海峽水平均溫度為 24.8 ± 4.26 ，最高表水水溫出現在黑潮水 (26.55 ± 2.53)。

1.3 混合層深度 (Mixed-layer depth)

東海南部海域混合層深度 (與表水溫差小於 1 之深度) 變化範圍介於 4 ~ 113 m 之間 (圖 5)，平均混合層深度為 35 ± 28 m。就季節變化而言，冬季的混合層深度最深 (68 ± 28 m)，秋季 (44 ± 27 m) 與春季 (25 ± 17 m) 次之，夏季的混合層最淺 (19 ± 13 m；圖 5)。就空間變化來說，大陸沿岸水團的平均混合層深度較淺 (28 ± 19 m)，台灣海峽水次之 (32 ± 23 m)，最深的為黑潮水 (39 ± 34 m)。由於有光

層資料並不完整，故後續相關的積分值是以混合層深度作為積分的基準。

二、東海南部海域化學水文參數之時空變異

2.1 硝酸鹽 (NO_3^-)

混合層以淺的平均硝酸鹽濃度變化範圍介於 $0.03 \sim 17.97 \mu\text{M}$ 之間，平均濃度為 $3.59 \pm 3.81 \mu\text{M}$ (表 2)。就季節性變化趨勢而言 (圖 6a)，在冬季有最高的硝酸鹽濃度 ($7.12 \pm 5.3 \mu\text{M}$)，春季次之 ($3.04 \pm 2.32 \mu\text{M}$)，秋季平均濃度最低 ($1.04 \pm 2.07 \mu\text{M}$)，夏季則無資料 (表 3)。在空間變化方面，大陸沿岸水的硝酸鹽濃度最高 ($4.76 \pm 5.61 \mu\text{M}$)，其次是台灣海峽水 ($3.06 \pm 2.83 \mu\text{M}$)，黑潮水最低 ($2.23 \pm 0.79 \mu\text{M}$)；圖 6a)。

簡單相關分析結果顯示，整個東海南部海域的硝酸鹽濃度與表水溫度和鹽度呈顯著負相關 ($p < 0.01$ ；表 4)，其與細菌生物量、細菌生產力、和群聚呼吸率則呈顯著正相關 ($p < 0.05$ ；表 4)。

2.2 磷酸鹽 (PO_4^{3-})

混合層以淺的平均磷酸鹽濃度變化範圍介於 $0.01 \sim 1.8 \mu\text{M}$ 之間，平均濃度為 $0.38 \pm 0.47 \mu\text{M}$ (表 2)。就季節性變化趨勢而言 (圖 6b)，磷酸鹽濃度在冬季為最高 ($0.92 \pm 0.49 \mu\text{M}$)，秋季次之 ($0.18 \pm$

0.32 μM)，春季的值最低，為 $0.06 \pm 0.04 \mu\text{M}$ ，夏季缺乏資料 (表 3)。

就空間變化而言，磷酸鹽的平均濃度變化趨勢與硝酸鹽類似，以大陸沿岸水的濃度最高 ($0.46 \pm 0.72 \mu\text{M}$)，台灣海峽水次之 ($0.39 \pm 0.42 \mu\text{M}$)，黑潮水團最低 ($0.20 \pm 0.25 \mu\text{M}$)；圖 6b)。

簡單相關分析結果顯示，整個東海南部海域的磷酸鹽濃度與溫度 ($p < 0.01$) 和鹽度 ($p < 0.01$) 呈顯著負相關，其與細菌生物量 ($p < 0.01$) 和細菌生產力 ($p < 0.05$) 則呈顯著正相關 (表 4)。

2.3 矽酸鹽 (SiO_2)

混合層以淺的平均矽酸鹽濃度變動範圍介於 $0.17 \sim 31.15 \mu\text{M}$ 之間，平均濃度為 $9.06 \pm 7.05 \mu\text{M}$ (表 2)。矽酸鹽平均濃度的季節變化與硝酸鹽和磷酸鹽的趨勢相似 (圖 6c)，以冬季為最高 ($15.07 \pm 7.93 \mu\text{M}$)，其次依序為春季的 $8.81 \pm 5.76 \mu\text{M}$ ，和秋季的 $5.6 \pm 7.22 \mu\text{M}$ (表 3)。就空間變化而言，最高值出現在大陸沿岸水 ($10.92 \pm 8.19 \mu\text{M}$)，黑潮水 ($8.72 \pm 3.25 \mu\text{M}$) 次之，台灣海峽水 ($7.32 \pm 5.67 \mu\text{M}$) 最低 (圖 6c)。

簡單相關分析結果顯示，整個東海南部海域的矽酸鹽濃度與表水溫度和鹽度呈顯著負相關 ($p < 0.01$)；表 4)，但其與細菌生產力 ($p < 0.05$)、細菌呼吸率和群聚呼吸率 ($p < 0.01$) 則呈顯著正相關 (表 4)；

三、東海南部海域生物水文參數之時空變異

3.1 顆粒性有機碳 (Particulate Organic Carbon)

混合層以淺的平均顆粒性有機碳濃度的變化範圍介於 $32.65 \sim 1126.06 \text{ mg C m}^{-3}$ 之間, 平均濃度為 $278.91 \pm 253.77 \text{ mg C m}^{-3}$ (表 2)。就季節變化而言 (圖 7a), 以秋季 (2003 年 11 月) 的平均濃度最高 ($629.38 \pm 177.94 \text{ mg C m}^{-3}$), 其次依序為冬季 (2004 年 1 月) 的 $414.45 \pm 227.95 \text{ mg C m}^{-3}$ 和春季 (2004 年 5 月) 的 $268.7 \pm 352.2 \text{ mg C m}^{-3}$, 夏季 (2003 年 9 月; 2004 年 8 月) 兩個航次的值皆較低 ($94.13 \pm 34.66 \text{ mg C m}^{-3}$ 、 $115.98 \pm 47.73 \text{ mg C m}^{-3}$; 表 3)。就個別水團分析而言, 三個水團的顆粒性有機碳皆呈現相類似的季節變化趨勢, 其值以在秋季為最高, 夏季為低值 (圖 8a)。空間變異方面, 以大陸沿岸水有最高的顆粒性有機碳濃度 ($409.12 \pm 282.66 \text{ mg C m}^{-3}$; 圖 9a), 台灣海峽水次之 ($231.48 \pm 182.05 \text{ mg C m}^{-3}$), 黑潮水最低 ($222.16 \pm 218.83 \text{ mg C m}^{-3}$)。

簡單相關分析結果顯示, 整個東海南部海域顆粒性有機碳與葉綠素 *a* 濃度 ($p < 0.01$) 和群聚呼吸率 ($p < 0.05$) 呈顯著正相關 (表 4)。就空間變異分析而言, 大陸沿岸水的顆粒性有機碳濃度與群聚呼吸率呈顯著正相關 ($p < 0.01$; 表 5); 台灣海峽水的顆粒性有機碳濃度與細菌生物量和群聚呼吸率呈顯著正相關 ($p < 0.01$; 表 6); 黑潮

水的顆粒性有機碳濃度與細菌生產力和群聚呼吸率呈顯著正相關 ($p < 0.01$; 表 7)。

3.2 葉綠素 *a* 濃度 (Chlorophyll *a*)

混合層以淺的平均葉綠素 *a* 濃度的變化範圍介於 $0.06 \sim 2.45 \text{ mg Chl m}^{-3}$ 之間，平均葉綠素 *a* 濃度值為 $0.59 \pm 0.46 \text{ mg Chl m}^{-3}$ (表 2)。在季節性變化方面，秋季的平均濃度最高 ($0.92 \pm 0.56 \text{ mg Chl m}^{-3}$)，其次為春季 ($0.85 \pm 0.75 \text{ mg Chl m}^{-3}$) 和夏季 ($0.65 \pm 0.45 \text{ mg Chl m}^{-3}$)，冬季的濃度最低 ($0.48 \pm 0.11 \text{ mg Chl m}^{-3}$; 表 3; 圖 7b)。就個別水團的季節變化分析而言，大陸沿岸水在春季有最高葉綠素 *a* 濃度值 ($1.48 \text{ mg Chl m}^{-3}$)，冬季最低 ($0.53 \text{ mg Chl m}^{-3}$)；台灣海峽水，最高值則是出現在秋季，但其濃度僅為 $0.43 \text{ mg Chl m}^{-3}$ ，其它季節變化並不明顯；黑潮水則無明顯的季節變化 (圖 8b)。就空間變化而言，大陸沿岸水的葉綠素 *a* 平均濃度最高 ($0.91 \pm 0.49 \text{ mg Chl m}^{-3}$; 圖 9b)，其次為台灣海峽水 ($0.57 \pm 0.29 \text{ mg Chl m}^{-3}$)，黑潮水的葉綠素 *a* 濃度值最低 ($0.36 \pm 0.05 \text{ mg Chl m}^{-3}$)。

簡單相關分析結果顯示，整個東海南部海域葉綠素 *a* 濃度與群聚呼吸率呈顯著正相關 ($p < 0.01$; 表 4)。就個別水團分析而言，大陸沿岸水的葉綠素 *a* 濃度與細菌生產力則呈顯著負相關 ($p < 0.01$; 表 5); 在台灣海峽水，葉綠素 *a* 濃度亦與細菌生產力呈顯著負相關 ($p <$

0.01 ; 表 6) ; 黑潮水的葉綠素 *a* 濃度與細菌生物量、細菌生產力、和群聚呼吸率則呈顯著正相關 ($p < 0.05$; 表 7)。

3.3 異營性細菌生物量 (Bacterial Biomass)

混合層以淺的平均異營性細菌生物量的變化範圍介於 $0.52 \sim 9.86$ $\text{mg C m}^{-3} \text{d}^{-1}$ 之間，平均值為 2.89 ± 1.78 $\text{mg C m}^{-3} \text{d}^{-1}$ (表 2)。就季節變化而言，夏季有最大的異營性細菌生物量 (4.73 ± 2.51 $\text{mg C m}^{-3} \text{d}^{-1}$) 其次為秋季 (2.31 ± 1.39 $\text{mg C m}^{-3} \text{d}^{-1}$) 和冬季 (2.31 ± 0.81 $\text{mg C m}^{-3} \text{d}^{-1}$; 圖 7c)。就個別水團的季節變化而言，三個水團在夏季都有最高值，其生物量在秋季和冬季皆低 (圖 8c)。此外，就空間變化而言，大陸沿岸水有最高的細菌生物量 (3.31 ± 1.25 $\text{mg C m}^{-3} \text{d}^{-1}$; 圖 9c)，台灣海峽水次之 (3.23 ± 1.19 $\text{mg C m}^{-3} \text{d}^{-1}$)，黑潮水的細菌生物量最低 (2.23 ± 1.41 $\text{mg C m}^{-3} \text{d}^{-1}$)。

簡單相關分析顯示，整個東海南部海域細菌生物量與溫度 ($p < 0.01$) 和鹽度 ($p < 0.05$) 呈顯著負相關 (表 4)，但與細菌生產力 ($p < 0.05$)、硝酸鹽 ($p < 0.05$)、磷酸鹽及矽酸鹽 ($p < 0.01$) 則呈顯著正相關 (表 4) ; 就個別水團分析而言，在大陸沿岸水，細菌生物量與溫度呈顯著負相關 ($p < 0.01$; 表 5)，但與硝酸鹽 ($p < 0.01$)、和細菌生產力 ($p < 0.05$) 則呈顯著正相關 (表 5) ; 台灣海峽水的細菌生物量與細菌生產力和群聚呼吸率呈顯著正相關 ($p < 0.01$; 表 6) ; 黑潮水的細

菌生物量與溫度呈顯著負相關 ($p < 0.05$; 表 6)。

3.4 異營性細菌生產力 (Bacteria Production)

混合層以淺的平均異營性細菌生產力的變化範圍介於 $1.09 \sim 32.27 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ 之間，平均值為 $7.79 \pm 6.65 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ (表 2)。就季節變化而言 (表 3), 夏季 (2003 年 9 月) 有最高值 ($18.48 \pm 7.84 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$)，其次是冬季 ($9.62 \pm 1.28 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$)，秋季 ($4.01 \pm 2.31 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) 及春季 ($3.83 \pm 2.74 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) 則最低 (圖 7d)。就個別水團的季節變化而言, 此三水團的細菌生產力最高值皆出現在 2003 年 9 月的夏季航次 (圖 8d)。另外，就空間變異而言，大陸沿岸水的細菌生產力最高 ($10.76 \pm 6.40 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$; 圖 9d)，黑潮水次之 ($6.67 \pm 6.96 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$)，台灣海峽水最低 ($6.54 \pm 5.18 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$)。

簡單相關分析結果顯示，整個東海南部海域細菌生產力與溫度和鹽度呈顯著負相關 ($p < 0.01$; 表 4), 但與無機營養鹽和細菌生物量 ($p < 0.05$) 呈顯著正相關 (表 4)。個別水團分析結果顯示，大陸沿岸水的細菌生產力與表水溫度呈顯著負相關 ($p < 0.01$; 表 5)，但與硝酸鹽、矽酸鹽 ($p < 0.05$)、和細菌生物量 ($p < 0.01$) 呈顯著正相關 (表 5) ; 台灣海峽水的細菌生產力與表水溫度和鹽度呈顯著負相關 ($p < 0.01$; 表 6)，但與無機營養鹽和細菌生物量則呈顯著正相關 ($p < 0.01$; 表 6) ; 黑潮水的細菌生產力與表水溫度和鹽度呈顯著負相關 (p

< 0.01 ; 表 7) , 與顆粒性有機碳和群聚呼吸率則呈顯著正相關 ($p < 0.01$; 表 7)。

3.5 群聚呼吸率 (Planktonic Community Respiration) 之時空變異

混合層以淺的平均群聚呼吸率的變化範圍介於 6.28 ~ 281.14 mg C m⁻³ d⁻¹ 之間 , 平均值為 57.88 ± 50.3 mg C m⁻³ d⁻¹ (表 2)。就季節變化而言 , 春季的群聚呼吸率 (78.91 ± 67.89 mg C m⁻³ d⁻¹ ; 表 3 ; 圖 7e) 最高 , 其次為兩個夏季的 74.9 ± 43.75 mg C m⁻³ d⁻¹ (2003 年 9 月) 與 66.48 ± 69.38 mg C m⁻³ d⁻¹ (2004 年 8 月) , 再者為秋季的 42.83 ± 26.61 mg C m⁻³ d⁻¹ , 最低值則出現在冬季 (29.4 ± 17.4 mg C m⁻³ d⁻¹)。就個別水團的季節變化而言 (圖 8e) , 大陸沿岸水在春季 (2004 年 5 月) 出現最高值 (140.90 mg C m⁻³ d⁻¹) , 冬季有最低值 (44.54 mg C m⁻³ d⁻¹) ; 台灣海峽水亦在春季有最高值 (67.67 mg C m⁻³ d⁻¹) , 冬季的值最低 (24.70 mg C m⁻³ d⁻¹) ; 黑潮水的群聚呼吸率則是夏季 (2004 年 8 月) 有最高值 (57.54 mg C m⁻³ d⁻¹) , 冬季的值最低 (16.93 mg C m⁻³ d⁻¹)。綜觀不同季節所有測站聚呼吸率的空間變化皆呈現相類似的變化趨勢 (圖 10) , 即在靠近大陸沿岸的測站群聚呼吸率最高 , 越往黑潮群聚呼吸率則愈低 , 唯在 2004 年 8 月的夏季航次 , 隸屬於黑潮水的測站 14 其群聚呼吸率值在所有測站中為最高 , 但就整體的空間變化而言 , 大陸沿岸水有最高的群聚呼吸率 (87.03 ± 42.13 mg C m⁻³ d⁻¹ ; 圖 9e) , 台

灣海峽水次之 ($47.53 \pm 21.34 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$)，黑潮水最低 ($34.34 \pm 15.91 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$)。

簡單相關分析結果顯示，整個東海南部海域群聚呼吸率與溫度和鹽度呈顯著負相關 ($p < 0.01$ ；表 4)，與葉綠素 a ($p < 0.01$)、無機營養鹽、顆粒性有機碳、和細菌生產力 ($p < 0.05$) 皆呈顯著正相關 (表 4)。就個別水團分析而言，大陸沿岸水的群聚呼吸率與顆粒性有機碳和葉綠素 a ($p < 0.01$) 呈顯著正相關 (表 5)；台灣海峽水的群聚呼吸率與溫度和鹽度呈顯著正相關 ($p < 0.05$ ；表 6)，但與細菌生產力則呈顯著負相關 ($p < 0.05$ ；表 6)；黑潮水的群聚呼吸率則與鹽度呈顯著負相關 (表 7)，但與葉綠素 a 呈顯著正相關 ($p < 0.05$ ；表 7)。