

國立臺灣師範大學海洋環境科技研究所
碩士論文

北南海及西菲律賓海浮游性植物
族群結構之分布

研究生：楊絮涵 撰

指導教授：何東垣 博士
余英芬 博士

中華民國九十八年六月

誌謝

短暫的兩年碩士生活，在過程中獲得許多人的幫助，才得以從一位初學者到如今完成此篇論文。首先，感謝何東垣老師於實驗過程中耐心的教導以及指導我研究科學的態度，使我從中學習很多，余英芬老師於論文寫作期間耐心的引領，讓我可以多方思想未考慮周詳的地方。感謝口試委員溫良碩老師及熊同銘老師給予論文內容的建議，讓我可以再次補強論文的不足之處。

此外，感謝溫良碩老師於採樣上的幫忙以及出海採樣過程中，感謝苾芬、瑋倫、筱雨學姐、季謙、怡雯、小平、海研一號所有船員和技術人員的幫助和照顧，讓我得以順利採集樣品。感謝實驗室的夥伴，炳南、婷婷、力慈、正苓、君瑗、宛臻、嘉德、瑞谷和殷瑋，給予我很多建議以及陪伴我度過碩士時光。也感謝同為色素夥伴的小嫻、樂竹和 Inah 平時的加油打氣。要感謝的人太多，你們對我的幫助將記掛在我心裡。感謝我的家人和阿鄧，每個禮拜傳給我溫馨的簡訊和電話，讓我不覺得孤單。最後，我將所有的榮耀獻給我最愛的神。

摘要

海洋浮游性植物各族群體內獨特的色素組成可成為分析其族群結構的重要訊息。本研究利用高效能液相層析儀(HPLC)分析北南海及西菲律賓海中單細胞藻類體內色素之組成，並利用化學分類運算程式(CHEMTAX)進行藻類族群分布之運算。由於藻種體內各別色素濃度與葉綠素甲濃度比值(pigment ratio)為 CHEMTAX 推算族群結構之關鍵訊息，本研究以循環收斂運算方式(Latasa, 2007)應用於 CHEMTAX 的計算，以獲取較可信賴的色素比及族群分布結果。

本研究發現南海北部表水以 *Cyanobacteria* 和 *Prochlorococcus* 為主要優勢藻種，在浮游植物族群總量上分別占有 $36\pm 15\%$ 和 $30\pm 12\%$ ；SEATS 測站則以 *Prochlorococcus* (51%) 為優勢藻種；東沙環礁內測站，以 *Prochlorococcus* 與 diatom 為優勢藻種，各別為 $35\pm 17\%$ 和 $23\pm 3\%$ ；綠島西北及西南測站，以 *Prymnesiophytes* ($25\pm 2\%$) 及 *Prochlorococcus* ($23\pm 4\%$) 為優勢藻種；西菲律賓海以 *Prymnesiophytes* ($49\pm 3\%$) 為主要優勢藻種。此結果對於海洋暖化、海水酸化或是人為活動由河川大氣輸出物等環境變遷對於南海北部及西菲律賓海之浮游植物族群分布之影響提供了基礎的背景訊息。

關鍵字：浮游性植物，族群結構，CHEMTAX，東沙，綠島，南海，西菲律賓海

Abstract

Unique pigment compositions in various marine phytoplankton phyla provide us useful information to study the community structure of marine phytoplankton in the ocean. This study applied high performance liquid chromatography (HPLC) to analyze the pigment composition in the phytoplankton assemblages collected in the surface waters of the northern South China Sea and western Philippines Sea. The CHEMTAX calculation was based on the recycling calculation method suggested by Latasa (2007) in order to obtain more reliable pigment ratios.

This study found that *Cyanobacteria* ($36\pm 15\%$) and *Prchlorococcus* ($30\pm 12\%$) were dominant phytoplankton in the surface waters of the northern South China Sea; *Prochlorococcus* (51%) were the major microalgae in the euphotic zone of the SEATS station; *Prochlorococcus* ($35\pm 17\%$) and diatom ($23\pm 3\%$) were the dominant species in the Dongsha Atoll; *Prymnesiophytes* ($25\pm 2\%$) and *Prochlorococcus* ($23\pm 4\%$) dominated in the north-west and south-west waters near the Green Island; and *Prymnesiophytes* ($49\pm 3\%$) were the major species in the western Philippines Sea. These results provide us the fundamental information about phytoplankton community structure in the regions, which would be useful to understand how phytoplankton community structure in the study sites are responded to environmental changes, such as global warming, ocean acidification, and anthropogenic pollution through riverine and aeolian inputs.

Keywords : phytoplankton, community structure, CHEMTAX, Dongsha- Atoll,
Green Island, South China Sea, western Philippines Sea

目錄

致謝.....	I
中文摘要.....	II
英文摘要.....	III
目錄.....	V
圖目錄.....	X
表目錄.....	XIII
1.前言	
1.1 浮游性植物族群結構於海洋的重要性	1
1.2 研究區域背景介紹.....	2
1.2.1 南海.....	3
1.2.2 西菲律賓海.....	5
1.3 研究目的.....	6
2.材料與方法	
2.1 現場採樣.....	7
2.2 實驗室分析.....	7
2.3 層析方法.....	8
2.4 標準品配置及驗證.....	9

2.5 CHEMTAX 運算.....	10
3. 結果	
3.1 南海北部.....	13
3.1.1 色素分布.....	13
3.1.2 藻類族群結構.....	13
3.2 東沙島瀉湖與環礁內測站	
3.2.1 色素分布.....	14
3.2.2 藻類族群結構.....	15
3.3 SEATS 測站	
3.3.1 色素分布.....	16
3.3.2 藻類族群結構.....	16
3.4 綠島周遭海域之西北及西南測站	
3.4.1 色素分布.....	17
3.4.2 藻類族群結構.....	18
3.5 西菲律賓海	
3.5.1 色素分布.....	18
3.5.1.1 西菲律賓海測站 30 短時間序列觀察.....	18
3.5.1.2 西菲律賓海測站 7、4、2 及 1a.....	19
3.5.2 藻類族群結構.....	19

3.5.2.1 西菲律賓海測站 30 短時間序列觀察.....	19
3.5.2.2 測站 7、4、2 及 1a	20
4. 討論	
4.1 色素隨深度變化.....	21
4.2 不同海域其藻類族群結構.....	22
4.2.1 南海北部.....	22
4.2.2 SEATS 測站.....	23
4.2.3 東沙島瀉湖測站與環礁內測站之比較.....	23
4.2.4 西菲律賓海.....	24
4.2.5 從南海北部及東沙 d4、d8 測站地形與藻種族群 分布的關係	25
4.2.6 不同島嶼(東沙、綠島、蘭嶼)族群豐度比較.....	25
4.3 不同海域營養鹽分布與浮游性植物之關係.....	26
5. 結論.....	27
參考文獻.....	28
附錄 1、南海北部海域表水測站及 SEATS 測站，其深度 60m 以淺之 重覆運算所得最終(a)輸入色素比值(input pigment ratio)、(b) 輸出色素比值(output pigment ratio)、(c)輸入與輸出色素比 值之變化百分比。.....	67

附錄 2、SEATS 測站其深度深於 60m 重覆運算所得最終(a)輸入色素比值(input pigment ratio)、(b)輸出色素比值(output pigment ratio)、(c)輸入與輸出色素比值之變化百分比。.....	68
附錄 3、東沙島嶼表水測站及 d4、d8 測站其深度 60m 以淺之重覆運算所得最終(a) 輸入色素比值(input pigment ratio)、(b) 輸出色素比值 output pigment ratio、(c) 輸入與輸出色素比值之變化百分比。.....	69
附錄 4、東沙島嶼 d4、d8 測站其深度深於 60m 重覆運算所得最終(a) 輸入色素比值(input pigment ratio)、(b) 輸出色素比值 output pigment ratio、(c) 輸入與輸出色素比值之變化百分比。.....	70
附錄 5、綠島測站深度 60m 以淺之重覆運算所得最終((a) 輸入色素比值(input pigment ratio)、(b) 輸出色素比值 output pigment ratio、(c) 輸入與輸出色素比值之變化百分比。.....	71
附錄 6、綠島測站其深度深於 60m 重覆運算所得最終(a) 輸入色素比值(input pigment ratio)、(b) 輸出色素比值 output pigment ratio、(c) 輸入與輸出色素比值之變化百分比。.....	72
附錄 7、西菲律賓海測站 30 深度 60m 以淺之重覆運算所得最終(a) 輸入色素比值(input pigment ratio)、(b) 輸出色素比值 output pigment ratio、(c) 輸入與輸出色素比值之變化百分比。.....	73

附錄 8、西菲律賓海測站 30 深度深於 60m 重覆運算所得最終(a)

輸入色素比值(input pigment ratio)、(b) 輸出色素比值 output

pigment ratio、(c) 輸入與輸出色素比值之變化百分比。.....74

附錄 9、西菲律賓海測站 7、4、2 與 1a 深度 60m 以淺之重覆運算

所得最終(a) 輸入色素比值(input pigment ratio)、(b) 輸出色

素比值 output pigment ratio、(c) 輸入與輸出色素比值之變化百

分比。.....75

附錄 10、西菲律賓海測站 7、4、2 與 1a 深度深於 60m 重覆運算所

得最終(a) 輸入色素比值(input pigment ratio)、(b) 輸出色素比值

output pigment ratio、(c) 輸入與輸出色素比值之變化百分

比。.....76

圖目錄

圖次		頁數
圖 1	(a)樣品採集區域；(b)為東沙島嶼採樣地點；(c)為綠島採樣地點。.....	34
圖 2.	四個不同測站環境營養鹽隨深度變化。.....	35
圖 3.	南海北部表層測站:(a)(b)為各測站色素分布；(c)各測站之藻類族群結構。.....	36
圖 4	東沙島嶼各測站色素分布:(a)(b)為表水測站色素分布；(c) (d)為 d4 測站色素隨深度分布；(e) (f)為 d8 測站色素隨深度分布。.....	37
圖 5	東沙島嶼表水測站藻類族群結構分布:(a)為瀉湖內測站(b)為島嶼東岸四個測站。.....	39
圖 6	東沙島嶼測站藻類族群結構隨深度分布:(a)為 d4 測站(b)為 d8 測站。.....	40
圖 7	南海 SEATS 測站:(a) (b)為色素隨深度分布；(c)為藻種族群結構隨深度分布。.....	41
圖 8	綠島測站色素隨深度分布:(a) (b)為 W1 測站；(c) (d) 為 W3 測站；(e) (f) 為 W5 測站站。.....	42
圖 9	綠島測站色素隨深度分布:(a) (b)為 N1 測站；(c) (d) 為 N2 測	

	站；(e) (f) 為 N3 測站；(g) (h) 為 N4 測站；(i)	
	(j)為 N5 測站。.....	44
圖 10	綠島測站藻類族群結構隨深度變化：(a)為 W1 測站；(b)為 W3 測站；(c)為 W5 測站。.....	48
圖 11	綠島測站藻類族群結構隨深度變化：(a)為 N1 測站；(b)為 N2 測站；(c)為 N3 測站；(d)為 N4 測站；(e)為 N5 測站。.....	49
圖 12	西菲律賓海測站 30 於不同時間色素隨深度分布:(a) per ；(b)fuco ；(c) hex ；(d) but ；(e)pras ；(f) all ；(g)zea ；(h) chl b。.....	50
圖 13	西菲律賓海測站色素隨深度分布:(a)(b)測站 7 ；(c)(d)測站 4 ；(e)(f)測站 2 ；(g)(h)測站 1a。.....	53
圖 14	西菲律賓海測站 30 於不同時間觀察其藻類族群結構隨深度變化。.....	56
圖 15	西菲律賓海測站 7、4、2、1a 藻類族群結構隨深度變化。.....	57
圖 16	本研究利用梯形積分法除上積分深度，所得各測站藻類族群結構：(a)SEATS 測站；(b)東沙島嶼瀉湖測站(DC1~DC3)；(c)東沙島嶼東岸測站(DC4~DC7)；(d)綠島測站(N1~N5，W1、W3與 W5)；(e)西菲律賓海測站 30；(f)西菲律賓海測站 1a、2、4	

與 7°58

表目錄

表次		頁數
表 1.1	HPLC 分析條件及 time program	60
表 1.2	各藻類體內指紋色素分布.....	61
表 1.3	色素標準品濃度配置及各色素相對應之面積.....	62
表 1.4	樣品前處理方式之測試結果.....	63
表 1.5	初始藻類色素比值.....	65
表 1.6	研究區域進行 CHEMTAX 運算前之分類.....	66

1. 前言

1.1 浮游性植物族群結構的重要性

生存於海水中生態階級最基礎的海洋浮游性植物，其物種彼此間生存的消長，對生態食物鏈的進行、全球物質循環與氣候變遷均有重大的影響。不同的藻種所能適應的環境條件各自相異，因此，藻種族群結構分布及控制藻種族群消長的機制為現今海洋研究的一項重要議題。

海洋浮游性植物可分為原核藍綠藻與真核藻類兩大種類。矽藻(Diatom)，為主要真核藻種之一，主要分布在營養鹽充足的環境(Furuya et al., 2003；Miki et al., 2008；Wang et al., 2006)，因體型相對較大和外表有殼體覆蓋，死後沉降速度相對較快，在沉降過程中雖會由細菌分解將部分矽或無機物重新釋放至海水裡，但未被分解的殘骸則可進入深海或至於海底，對於物質在海洋中的垂直循環扮演重要角色。真核的鞭毛藻(Dinoflagellates)，生活方式可分為自營性、異營性和混合性，主要分布於熱帶與亞熱帶溫暖的海域(Jeffrey and Hallegraeff, 1990)。著鞭毛藻(*Prymnesiophytes*)主要分布於熱帶及亞熱帶溫暖的海域，然而有少數種屬可生活在寒冷的極區(Thomsen et al., 1991)。其中以鈣板藻(*Coccolithophorids*)於海洋的鈣循環裡扮演重要

角色；*Coccolithophorids* 同時大量分泌二甲基硫丙酸根(DMSP)，再經由細菌作用成為二甲基硫(DMS)釋放至大氣後氧化成為硫酸根，進一步在大氣中成為雲結核並產生雲，影響陽光進入地表(Homsen et al., 1991)，並進而影響生態圈(Mackey et al., 2002)。綠鞭毛藻(*Prasinophytes*)及綠藻(*Chlorophytes*)生活於淡鹹水環境與營養鹽充足的沿岸(Jeffrey et al., 2005)。裸藻(*Euglenoids*)於淡鹹水中可發現，其海水種屬易在溫暖近岸的水體生活，且可利用有機化合物來維持生長，故可當做環境汙染的生物性指標(Jeffrey et al., 2005)。原核類的藍綠藻(*Cyanobacteria*)主要分布在熱帶及副熱帶海域的水體上層。其中束毛藻(*Trichodesmium*)為可行固氮作用的藻類，在貧營養鹽的海域中，硝酸鹽是限制海洋浮游性植物生長的營養鹽因子。因此，束毛藻的存在可影響碳在地球的循環，同時可形成新的氮源提供給其他藻類運用(Chen et al., 2003)。原綠球藻(*Prochlorococcus*)於大西洋及太平洋廣泛分布，所貢獻的生產力於大洋中佔有舉足輕重的角色(Goericke et al., 1990)。總而言之，不論在區域範圍或是整個地球圈，浮游性植物族群結構的變化對於物質生地化循環均可造成重大的影響。

1.2 研究區域背景

南海與西菲律賓海同屬寡營養水體，故浮游植物分布易受營養

鹽因子所調控。然而，對於單細胞藻類在此兩海域的研究，大多以顯微鏡或流式細胞儀進行觀察分析。對於使用高壓液相層析法，以獲得藻種色素濃度，再利用化學分類法(CHEMTAX)進行藻種族群結構在空間分布的計算，於前人研究中所知有限。因此，本研究在北南海與西菲律賓海利用高壓液相層析法，獲得藻種族群結構於上述兩海域的時空分布。

1.2.1 南海

南海為全世界最大的邊緣海之一，氣候橫跨熱帶與亞熱帶，面積為 $3.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。深海盆地於南海東北方，深度最深可達 5000 公尺，而南海平均深度為 1350 公尺。盆地四周為深度淺於 100 公尺大陸坡所環繞(Chen et al., 2001)。南海具有複雜的生態特性，例如珠江口與膠州灣為營養鹽充足的區域，但南海陸坡及盆地為貧營養鹽環境，更因為夏季西南季風吹拂，使得南海北部表層水被風吹離岸邊，而導致底部冷水向表層補充，可提供大量營養鹽供浮游植物生長(彭等, 2006)。季節分布上，南海北部時間序列測站(SEATS)於 2001 六月至 2003 年 12 月期間，觀察葉綠素甲(*Chlorophyll a*)於不同時間之變化，發現冬季受到季風影響，將水層下部的營養鹽翻攪至表層，導致冬季的 *Chlorophyll a* 濃度有增加的現象(Tseng et al., 2005)。再者，位處南海的東沙島，其面積約 1.7 km^2 ，屬亞熱帶海洋性氣候。島嶼形狀為

南北狹窄、東西較寬與西側開口深入腹地，形成一內海式瀉湖，周遭為環礁所圍繞(江永棉, 1983)。此外，由於南海本身內波強大，從呂宋海峽向西行進至大陸棚區，最後破裂且能量消散。而內坡的破碎將冷且富含營養鹽的海水帶至東沙環礁，進而促使當地浮游植物生長(Wang et al., 2007)。

南海藻類族群分布易受到區域性環境影響，而有不同的族群結構。經前人研究指出，南海北部 2002 至 2003 年期間，*Trichodesmium* 於夏秋兩季的豐度高於春季，影響原因是春季的 Nitracline 深度較淺且海水溫度相對夏秋兩季低(Chen et al., 2003)；*Prochlorococcus* 夏季的生物量高於冬季，易生長在貧營養鹽環境的大陸邊坡與開放性大洋，且在水體垂直分布上，受控於環境溫度的影響，主要集中在生活在水層下部(Yu et al., 2007)。同時，SEATS 測站從 2001 年 10 月至 2002 年 9 月及 2004 年 11 月至 2005 年 12 月做季節性觀察，發現 *Prochlorococcus* 在夏季貢獻出 80% 的生物量，而聚球藻(*Synechococcus*) 在冬季貢獻出 60 至 80% 的生物量(Liu et al., 2007)。其他藻種如 *Coccolithophorids* 與 Diatom 於南海北部有族群消長的關係，在氣候較寒冷的月份，大陸邊坡表層硝酸鹽濃度大於 $0.3\mu\text{M}$ 時，Diatom 對於 *Coccolithophorids* 為較優勢藻種；南海盆地海域，表層硝酸鹽濃度為 $0.03\sim 0.17\mu\text{M}$ 時，*Coccolithophorids* 反而取代 Diatom 為較優勢

藻種(Chen et al., 2007)。此外，2002 年 11 月南海北部藻類族群結構，以珠江口為起 Diatom 為主要優勢族群，次要為 *Chlorophyta* 及隱藻 (*Cryptophyta*)。越往外海，族群的交替消長越明顯。整體的族群結構以 *Cyanobacteria*、*Coccolithophorids* 及 *Prochlorococcus* 之分布比重提高。乃因越靠近河口，提供 Diatom 生長所需之營養鹽提高；越往外海，營養鹽含量減少，因此改為對營養鹽吸收代謝迅速之小體型藻種為優勢族群(陳等, 2003)。位處南海之東沙島，全島均由珊瑚碎屑形成之細白沙所覆蓋。島嶼周遭海域浮游植物分布，據張桂祥(2005) 2004 年 8 月觀察東沙珊瑚礁外環及內環測站，發現此區域具有矽藻與渦鞭毛藻存在。同時，珊瑚礁外環測站所觀察得知的浮游植物密度低於珊瑚礁內環測站，且並無發現任何明顯之優勢藻種存在。

1.2.2 西菲律賓海

西菲律賓海為北太平洋西側邊緣海，具有來自赤道地區帶來高溫高鹽的黑潮，沿著台灣東岸向北行進，流經台灣東岸流幅寬度約為 120~170 公里(劉, 2008)。黑潮從低緯度流向高緯度，可將低緯度高溫海水運送至高緯度區域，對全球能量的傳遞循環及氣候上的調節，具有獨特且重要的影響力。黑潮流經區域中，若是遇到地形的抬升或是不同水團的混合作用產生湧升現象(Liang et al., 2003；Tang et al., 2000)，而導致局部區域浮游生物大量生長。此湧升現象於台灣東北

海域的東海陸棚、東南海域的蘭嶼、綠島皆有發現(劉, 2000)。綠島、蘭嶼周遭為珊瑚礁生長區域，同時地理位置處於黑潮流經區域，故當地氣候深受黑潮所影響。綠島周圍海域水溫終年為 22°C 以上，蘭嶼周圍海域表水溫度夏季可高達 30°C，冬天約為 23°C。前人研究於西菲律賓海藻類族群結構之調查所知有限，故望本研究資料能為其有所貢獻。

1.3 研究目的

有鑒於南海北部及西菲律賓海藻類族群結構空間分布所知有限，故本論文於南海北部、東沙島、SEATS 測站、綠島及西菲律賓海進行航次採樣，利用化學分類法(CHEMTAX)獲得海洋浮游性植物之族群分布，為台灣周遭海域藻類族群結構建立基本資料。再者於現今人為工業汙染所釋放的氣膠顆粒、海洋酸化或是全球暖化等環境變動的影響，本研究奠定了基礎的背景訊息，可用於日後環境因子與浮游性植物族群結構分布其調控機制的探討。

2.材料與方法

2.1 現場採樣

本論文所採集樣品區域為南海北部及西菲律賓海海域(圖 1)。其中，南海北部為海研三號 1293 航次，作業時間為民國九十七年五月十三日至五月十八日，測站位置為東沙島瀉湖、環礁內側及周遭海域；海研一號 866 航次，作業時間為民國九十七年五月二十八日至六月六日，測站位置為南海北部表層測站與 SEATS 測站；海研二號 1584 航次，作業時間為民國九十七年十月十二至十月十七日，測站位置為綠島周遭海域；海研一號 892 航次，作業時間為民國九十八年三月十九至三月二十七日，測站位置為西菲律賓海區域。於研究船上，以輪盤式採水瓶(Go-Flo)採水、棕色瓶潤洗海水兩次後收集水樣，並以小於 100 毫米汞柱(mmHg)的壓力將水樣中的浮游植物過濾到玻璃纖維材質的濾紙(Whatman GF/F 47mm)。最終將濾紙收集至包埋盒，保存於液態氮中以待航次結束回實驗室分析。

2.2 實驗室分析

將所收集的樣品，進行真空冷凍乾燥 24 小時,再加入 5 毫升濃度為 90%丙酮定量萃取。於超音波震盪 1 小時，期間須加入碎冰(0°C)以預防因震盪導致水溫攀高，而影響色素裂解。再以半徑 13mm 孔徑

為 0.2 μ M 鐵氟龍材質濾膜(PTFE Syringe filter)加裝在玻璃針筒上過濾樣品，取得澄清液於樣品分析瓶內，最終以高效能液相層析系統分析。此分析方法乃先經由實際海水純株藻種進行測試，再以翡翠水庫水樣作為三種不同前處理方試結果之比較，並且使用螢光光度計測量水樣中的 Chl. a 濃度，以對照不同前處理方式所得 Chl. a 之結果。從結果得知，冷凍乾燥步驟會有效提升色素樣品的萃取效率，對提升樣品的可靠性有重大的影響。同時，歷經 1 小時的超音波萃取，即可有效萃取樣品中的色素，不需再經過 18 小時的冷凍萃取過程，可避免色素因長時間所造成的分解(表 1.4)。

2.3 層析方法

高效能液相層析儀(HPLC)之分析原理乃利用混合物中的各成份在靜相(管柱)和移動相(solvent)之間的親和力不同，使其在管柱中的滯留時間相異而達到分離的效果。本研究所使用儀器為 Shimazu LC-10A HPLC 分析系統，其本體主要分為四大部分，高壓幫浦(Pump)、樣本自動注射器(Auto sampler)、溫控樣品槽(Column oven)及多頻陣列可見光偵測器(UV/VIS Detector)。

分析條件及梯度設定敘述於表 1.1。管柱採用 C18 polymeric column(Dimensions : 250x4.6 mm, particle size: 5 μ m; TOSOH)，分析注射體積為 50 μ L，偵測波長 436nm，auto sampler 溫度設定為 4 $^{\circ}$ C，

column oven 溫度為 28°C，分析流速為 1mL/min。所使用的移動相 A 為 80% MeOH buffered with 0.5M ammonium acetate (pH=7.2)；移動相 B 為 90% acetonitrile；移動相 C 為 100% ethyl acetate。其中移動相 A 需使用 PC 濾紙(Polycarbonate，孔徑 0.2μm，Whatman GF/F 47mm) 過濾(Wright et al., 1991)。

2.4 標準品配置及驗證

將 1 毫克粉狀的葉綠素甲(*Chlorophyll a*)和葉綠素乙(*Chlorophyll b*)，以 90%丙酮定容到 50 毫升，使預期濃度為 20000μg/L(Stock A)，再依照檢量線所需濃度進行配置。為確認葉綠素甲和葉綠素乙標準品的準確度(Accuracy)，本研究並以分光光度計進行校正(Jeffrey et al., 1975)，並使用螢光光度計與高效能液相層析儀，量測實際樣本之 *Chlorophyll a* 濃度作為驗證，如表 1.4。

於 DHI 購買以下色素標準品: 葉綠素 C-3(*Chlorophyll C3*)、葉綠素 C-2(*Chlorophyll C2*)、多甲藻素(*Peridinin*)、19' 己醯氧基岩藻黃素 (*19'-Butanoyloxyfucoxanthin*)、岩藻黃素(*Fucoxanthin*)、*Neoxanthin*、19' 丁醯氧基岩藻黃素(*19'-Hexanoyloxyfucoxanthin*)、青綠素(*Prasinonxanthin*)、紫黃素(*Violaxanthin*)、矽甲黃素(*Diadinoxanthin*)、角藻藍素 (*Alloxanthin*)、*Diatoxanthin*、葉黃素(*Lutein*)、玉米黃素(*Zeaxanthin*)、

α 胡蘿蔔素(α -Carotene)和 β 胡蘿蔔素(β -Carotene)。其中各藻種所對應之指紋色素及各色素代稱列於表 1.2。將上述每種色素標準品各取 1 毫升，並依照檢量線所需濃度進行配置(如表 1.3)。

2.5 CHEMTAX 運算

Chemical Taxonomy(CHEMTAX)為計算藻類族群豐度之運算程式，此為 Mackey et al.(1996)所發展。CHEMTAX 計算依據乃是將不同藻種的浮游性植物體內具有相對 Chl. a 不同的獨特色素比例，並經由最小平方法與因子分析法運算，以求得各種浮游性植物的族群豐度。運算式如下：

$$\varepsilon = \| S - C_0 F_0 \|$$

其中，

$$\varepsilon = 0.005$$

S：樣品中各類色素濃度

C_0 ：初始藻類族群結構豐度

F_0 ：初始各種藻類體內特定色素相對於葉綠甲的比值

進行 CHEMTAX 運算前，須先進行資料的前處理(Prepro)。首先須輸入樣品中各色素濃度的矩陣資料(.dat file)和初始各藻種體內特定色素相對 Chl. a 之比值(Intial pigment ratio matrix)進行重複運算。每次運算過程中會不斷出現 F_n 、 C_n 搭配所輸入的色素濃度資料以致使

結果達到預設最小值才得以停止。同時，所輸入的色素比值(input ratio)和計算過後所得的色素比值(output ratio)需在±25%內，所得之藻類族群豐度才具有可信度。然而，運算過程中，可能因為初始色素之比值(Intial pigment ratio)輸入不正確，而導致運算過程中無法達到預設最小值，故最終所獲得之族群豐度便不具有代表性。再者有鑑於藻種於不同環境因子的調控下，其體內色素使用之比例會依照外在環境的變化做調整(Henriksen et al., 2002; Mackey et al., 1998)。如 *Prymnesiophytes*、隱藻(*Cryptophytes*)與 *Cyanobacteria* 體內具有之指紋色素對 Chl. a 比值會隨著光照強度而改變(Schluter et al., 2000)。故在進行 CHEMTAX 運算前，須審慎地進行資料分類以減低運算過程中的誤差範圍。

本論文所選取的初始藻類色素比值(表 1.5)為 Miki et al. (2008) 和 Mackey et al. (1996)所建立的資料庫進行運算。再者本研究乃依據深度及海域進行資料分類。其中海域以南海、東沙島、綠島和西菲律賓海為主要分類，而以水深 60 公尺作為深度分類依據進行運算(Mackey et al., 1996; Wright et al., 2000)(表 1.6)。然而有鑑於南海及西菲律賓海尚無實際純株藻種之色素比例資料，故使用相鄰的蘇祿海資料(Miki et al., 2008)，經由 CHEMTAX 運算過後的輸出色素比值，當作本研究資料運算的初始色素比值。然而不同海域的水文環境

會影響藻種體內色素比值，因此採用 Latasa.(2007)重複迴圈計算方法，作為本研究計算藻類族群結構之運算主軸，直至輸入色素比值與輸出色素比值於各藻種間的變化範圍於±25%以內。而西菲律賓海樣本資料所需輸入色素比值，乃使用上述初始色素比值進行重覆運算，再以最終之輸出色素比值為所有西菲律賓海資料的初始色素比值，再經由重複運算以獲得藻種之族群結構(Marty et al., 2008)。而各藻種所貢獻的生物量計算，是由 CHEMTAX 最終運算之藻種豐度乘以 Chl. a 濃度所獲得。

然而本研究所使用之分析方法並未分離 *Prochlorococcus* 所具有的獨特色素體 *Divinyl chlorophyll a* 及 *Divinyl chlorophyll b*。考量此藻種於大洋廣泛分布，每毫升海水中即有 7~20 萬個細胞(Partensky et al., 1999)，並於本研究區域發現有此藻種存在(Liu et al., 2007；陳等, 2003)，故所輸入之初始色素比值包含 *Prochlorococcus* 進行運算 (Mackey et al., 1996)。

3. 結果



3.1 南海北部

3.1.1 色素分布

2008 年 5 月在南海北部表層 5 公尺深的 13 個測站採樣，研究發現此一區域並無 *neo* 及 *lutein* 存在(圖 3a、b)，Chl. a 最大值出現於測站 28 濃度為 $0.732\mu\text{g/L}$ ，最小值出現於測站 11 濃度為 $0.054\mu\text{g/L}$ 。藻類色素表現上，整體以 *Cyanobacteria*、*Prochlorococcus* 所具有的 *zea* 為主要色素體。*hex*、Chl. a 及 *fuco* 為次要色素體。其中測站 28，*fuco* 為主要表現色素，濃度為 $0.32\mu\text{g/L}$ ，其次為 *zea*、*hex* 及 Chl. b(本研究各色素與藻種代稱列於表 1.2)。

3.1.2 藻類族群結構

由南海北部表水 13 個測站結果得知，整體藻類族群結構並無發現 *Euglenoids* 存在，而以 *Cyanobacteria* 和 *Prochlorococcus* 為主要優勢藻種。*Cyanobacteria* 相對 Chl. a 貢獻之平均生物量為 $0.087\pm 0.044\mu\text{g/L}$ ；*Prochlorococcus* 相對 Chl. a 貢獻之平均生物量為 $0.087\pm 0.050\mu\text{g/L}$ 。*Prymnesiophytes* 與 *Diatom* 就本研究區域而言為次要優勢藻種。其他藻種如 *Chrysophytes*、*Dinoflagellates* 及 *Prasinophytes*，所貢獻之平均生物量卻低於 $0.016\mu\text{g/L}$ 。南海北部表層測站 28 之藻種族群

結構明顯異於此區域其他測站，Diatom 所佔有之生物量高達 0.486 $\mu\text{g/L}$ ，明顯為此測站表水優勢種；然而 *Prymnesiophytes*、*Cyanobacteria* 和 *Prochlorococcus* 相對其他測站所佔有之比例卻大幅減少(圖 3c)。

3.2 東沙島瀉湖與環礁內測站

3.2.1 色素分布

本研究於東沙島表層測站採樣，時間為 2008 年 5 月，測站分布可劃分兩區域以作為觀察。第一類為 DC1~DC3 測站，採樣點位於東沙島瀉湖；第二類為 DC4~DC7 測站，採樣點位於島嶼東部為珊瑚礁所環繞的區域內。第一類測站並無發現 hex 色素存在，同時此區域 Chl. a 濃度範圍為 0.056~0.160 $\mu\text{g/L}$ 。整體色素以 fuco 為主要色素體，濃度介於 0.016~0.049 $\mu\text{g/L}$ 。其次為 zea、per 及 Chl. b，其餘色素體濃度皆低於 0.009 $\mu\text{g/L}$ (圖 4a)。第二類測站其 Chl. a 濃度範圍 0.127~0.455 $\mu\text{g/L}$ ，整體色素以 Chl. b 為主要色素體，其次為 fuco、zea、hex 及 pras(圖 4b)。

色素隨深度分布，d4 測站 Chl. a 最大值出現在水深 80 公尺，其濃度為 0.233 $\mu\text{g/L}$ (圖 4c、d)；d8 測站 Chl. a 最大值出現在水深 40

公尺，其濃度為 $0.623\mu\text{g/L}$ (圖 4e、f)。同時，d4 及 d8 測站整體色素主要以 Chl. b 及 hex，其次為 *zea*、*but* 與 *fuco*。色素隨深度分布之觀察，淺於水深 40 公尺以 *zea* 為主要色素體，其次為 Chl. b、*but* 和 hex，分布水深集中於 40~120 公尺。而 *fuco* 於兩測站皆集中於 Chl. a 最大值所在之深度。

3.2.2 藻類族群結構

東沙島表層潟湖測站(DC1~DC3)，所得藻類豐度以 Diatom 所貢獻之平均生物量為 $0.032\pm 0.02\mu\text{g/L}$ 及 *Chlorophytes* 所貢獻之平均生物量為 $0.030\pm 0.016\mu\text{g/L}$ 為主要優勢族群。其次為 *Cryptophytes* 和 *Dinoflagellates*。其餘藻種如 *Cyanobacteria*、*Prasinophytes*、*Prochlorococcus* 及 *Euglenoids* 貢獻之平均生物量皆低於 $0.007\mu\text{g/L}$ ，且同時於此三個測站並無發現 *Prymnesiophytes* 的存在(圖 5a)。

東沙環礁內之四個表水測站(DC4~DC7)，其主要優勢藻種為 *Prochlorococcus*，所貢獻平均生物量為 $0.102\pm 0.081\mu\text{g/L}$ ，其次為 Diatom、*Cryptophytes*、*Prasinophytes* 及 *Prymnesiophytes*。然而 *Cyanobacteria*、*Euglenoids*、*Dinoflagellates* 及 *Chrysophytes* 貢獻的平均生物量皆低於 $0.007\mu\text{g/L}$ 。從東沙島表層測站之兩個不同的採樣區域，可以明顯發現藻類族群結構的相異處。潟湖測站並無發現 *Prymnesiophytes* 存在，且 *Chlorophytes* 和 *Dinoflagellates* 的豐度皆高

於島嶼東岸的區域；再者島嶼東岸測站卻發現 *Prymnesiophytes*、*Prasinophytes* 的存在，同時 *Chlorophytes* 和 *Dinoflagellates* 於此區域卻有豐度降低的現象(圖 5b)。

垂直分布上，d4、d8 兩測站所得藻類豐度以 *Prochlorococcus* 為主要優勢族群，集中於 d4 測站 80 公尺深(圖 6a)、d8 測站 40 公尺深(圖 6b)。其次為 *Prymnesiophytes*、*Chrysophytes* 和 *Cyanobacteria*。而 *Dinoflagellates*、*Euglenoids*、*Cryptophytes*、*Prasinophytes* 和 *Diatom* 貢獻的平均生物量皆低於 0.009 $\mu\text{g/L}$ 。

3.3 SEATS 測站

3.3.1 色素分布

SEATS 測站採樣時間為 2008 年 5 月，並無發現 allo 此色素體存在。其 Chl. a 最大值出現於水深 70 公尺，濃度為 0.281 $\mu\text{g/L}$ 。色素隨深度變化，整體以 Chl. b 為主要色素體，最高值出現於水深 70 公尺，濃度為 0.206 $\mu\text{g/L}$ 。其次為 *zea*、*hex*、*but* 及 *fuco*。其中 Chl. b、*hex*、*but* 及 *fuco* 主要分布於水深 70~80 公尺處；*zea* 主要出現 50 公尺以淺之深度(圖 7a、b)。

3.3.2 藻類族群結構

南海北部 SEATS 測站並無發現 *Cryptophytes* 及 *Euglenoids* 藻種

存在，故就藻類於水體垂直分布上 *Prochlorococcus* 為主要優勢種，其最大值出現於水深 60 公尺處，貢獻之生物量為 0.081 $\mu\text{g/L}$ 。其次為 *Cyanobacteria* 主要分布範圍為 50 公尺以淺之深度。*Prymnesiophytes* 和 *Chrysophytes* 於水體垂直分布有一致的現象，隨深度增加其生物貢獻量也隨之增加。其他藻種如 *Prasinophytes*、*Dinoflagellates*、*Chlorophytes* 及 *Diatom* 所貢獻之生物量皆低於 0.004 $\mu\text{g/L}$ (圖 7c)。

3.4 綠島周遭海域之西北及西南測站

3.4.1 色素分布

綠島周遭測站採樣時間為 2008 年 10 月，並且根據採樣地點，可劃分兩部分以觀察色素濃度分布的概況。以測站 W1、W3 及 W5 為一討論據點且歸類為 A；測站 N1~N5 為另一討論據點歸類為 B。兩分類區域並無發現 *neo* 及 *lutein* 存在。從分類 A 三個測站觀察，其 Chl. a 最大值出現於 W3 測站水深 50 公尺處，其濃度為 0.384 $\mu\text{g/L}$ 。在藻類色素表現上，整體趨勢以 Chl. b 為主要色素體，其次為 *hex*、*fuco*、*but* 及 *zea*。其餘色素於此測站區域平均濃度皆低於 0.001 $\mu\text{g/L}$ (圖 8)。

分類 B 五個測站其色素隨深度分布，其 Chl. a 最大值出現於 N3 測站，水深 50 公尺處，濃度為 0.566 $\mu\text{g/L}$ 。綜觀五個測站，其色素表

現整體仍以 Chl. b 為主要色素體，其次為 hex、fuco、but 及 zeax。其餘色素於此測站區域平均濃度皆低於 0.003 $\mu\text{g/L}$ (圖 9)。

3.4.2 藻類族群結構

分類 A 三個測站(W1、W3 及 W5)，其藻類族群結構於水體垂直分布並無發現 *Euglenoids* 存在。以 *Prymnesiophytes* 及 *Prochlorococcus* 為主要優勢，且兩者所貢獻之生物量最大值，皆出現於水深 100 公尺處。其次為 *Chrysophytes*、*Chlorophytes*、*Dinoflagellates*、*Cyanobacteria* 及 *Diatom*。其他藻種如 *Prasinophytes* 及 *Cryptophytes* 所貢獻平均生物量低於 0.002 $\mu\text{g/L}$ (圖 10)。

分類 B 五個測站(N1~N5)其藻類族群結構於水體垂直分布也並無發現 *Euglenoids* 存在。而以 *Prymnesiophytes* 及 *Prochlorococcus* 為主要優勢，其次為 *Chrysophytes*、*Chlorophytes*、*Dinoflagellates*、*Cyanobacteria* 及 *Diatom*。其他藻種如 *Prasinophytes* 及 *Cryptophytes* 所貢獻平均生物量低於 0.003 $\mu\text{g/L}$ (圖 11)。

3.5 西菲律賓海

3.5.1 色素分布

3.5.1.1 西菲律賓海測站 30 短時間序列觀察

於此測站做短期時間序列觀察，時間分布為 2009 年 3 月 20，

晚間 10 點 30 分；3 月 21，下午 1 點 30 分；3 月 22，凌晨 2 點；3 月 23，早上 8 點 30 分及 3 月 23 下午 2 點 30 分。Chl. a 於上述時間點最大值出現在水深 80 或 100 公尺深。指紋色素在不同時間點的表現，並無發現 neo 及 *lutein* 存在。再者，以 Chl. b、hex、zea 與 but 為主要色素體，次要色素為 fuco。其他色素於此測站區域平均濃度皆低於 0.003 $\mu\text{g/L}$ (圖 12)。

3.5.1.2 西菲律賓海測站 7、4、2 及 1a

西菲律賓海測站 7、4、2 及 1a，Chl. a 最大值出現深度以測站 1a 為水深 10 公尺，測站 4 為水深 40 公尺相異於其他兩個測站。而色素在不同測站之分布，並無發現 neo 及 *lutein* 存在。而以 Chl. b 為主要色素體，其分布深度以 80~120 公尺為主；次要色素體為 zea、hex、but 及 fuco。其他色素於此測站區域平均濃度皆低於 0.004 $\mu\text{g/L}$ 。色素於空間分布，隨測站越靠近台灣沿岸，Chl. a 最大值出現在水深 80 至 100 公尺提升至水深 10~20 公尺；Chl. b 主要分布水深也從原本的 80 至 120 公尺提升至 10~20 公尺，同時 hex、but 及 fuco 也有此一情形發現(圖 13)。

3.5.2 藻類族群分布

3.5.2.1 西菲律賓海測站 30 短時間序列觀察

測站 30 於不同時間觀測藻種隨深度變化之族群分布，並無發現

Cryptophytes 及 *Euglenoids* 存在。其優勢藻種以 *Prymnesiophytes* 為主，其次為 *Prochlorococcus*、*Cyanobacteria* 及 *Chrysophytes*。其他藻種如 *Diatom*、*Chlorophytes*、*Prasinophytes* 及 *Cryptophytes* 所貢獻的平均生物量低於 0.004 $\mu\text{g/L}$ 。然而從不同時間周期觀察其藻種分布並無明顯差異(圖 14)。

3.5.2.2 測站 7、4、2 及 1a

藻種隨深度變化之族群分布也無發現 *Cryptophytes* 及 *Euglenoids* 存在。其優勢藻種以 *Prymnesiophytes* 為主，其次為 *Prochlorococcus*、*Cyanobacteria* 及 *Chrysophytes*。其他藻種如 *Diatom*、*Chlorophytes*、*Prasinophytes* 及 *Cryptophytes* 所貢獻的平均生物量低於 0.008 $\mu\text{g/L}$ 。然而隨測站地點越靠近台灣沿岸，發現 *Cyanobacteria*、*Prymnesiophytes*、*Prochlorococcus*、*Chrysophytes* 及 *Diatom* 其主要分布深度相對變淺，於測站 1a 可以明顯發現(圖 15)。

4. 討論

4.1 色素隨深度的變化

浮游性植物體內色素含量易受到光照、溫度或營養鹽條件不同而改變。前人研究發現，於水體垂直剖 *vio*、*diad*、*lutein* 及 *zea* 色素體隨深度越深，在單細胞藻類體內的含量相對於 *Chl. a* 減少；反之 *but*、*hex*、*neo* 及 *chlorophyll b* 色素體在單細胞藻類體內隨著深度加深，相對 *Chl. a* 含量越高 (Mackey et al., 1998; Wright et al., 2000)。上述現象於本研究經由 CHEMTAX 程式所運算出的色素比值，大部分符合此一現象，同時於樣品的色素分布也是具有一致性。再者所輸入的初始色素比值帶入 CHEMTAX 計算所得結果並不是唯一解，故於資料分類後，同批資料進行重覆運算所得的色素比值，於 60 公尺深淺兩種深度分類有些微不同。然而，從 CHEMTAX 西菲律賓海四個測站 (7、4、2 及 1a) 發現其水深 60 公尺以下 *but*、*hex*、*neo* 及 *Chl. b* 四種色素體在生物體內相對 *Chl. a* 含量比值與六十公尺以上相對 *Chl. a* 比值卻沒有明顯差異，推測為一開始樣品資料的分類是將此四測站為一類，然而測站 1a 因為較靠近台灣沿岸且各色素主要分布深度較淺，故而影響色素體於生物體內之含量比值，使色素隨深度變化不具有明顯性。此外，本研究以 CHEMTAX 重複運算西菲律賓海測站 30

之過程，所得最終運算結果，*Prochlorococcus* 的 Chl. b 相對 Chl. a 比值為 6.9(w/w)，與前人文獻資料所獲得之比值範圍高出許多 (0.125~1.074，Burger-Wiersma et al., 1986；Stauber and Jeffrey et al., 1989)，導致此測站計算 *Prochlorococcus* 生物貢獻量會有低估的現象，類似問題亦於相關研究中發現(Miki et al., 2008；Eker-Deveil et al., 2008)。此問題日後可利用流式細胞儀計算 *Prochlorococcus* 之相對數量作為比對，或是建立當地海域純株藻種的色素比值使 CHEMTAX 所運算出的藻種豐度更具有可性度。

4.2 不同海域其藻類族群結構

4.2.1 南海北部

本研究結果發現，同屬南海北部表水測站，測站 28 經由 CHEMTAX 運算所得藻種族群結構與他站迥異。此區域的表水測站，大都以 *Cyanobacteria* 與 *Prochlorococcus* 為主要藻種。原因為表層海水營養鹽濃度極低，適合體型小、吸收營養鹽效率與代謝速率高的藻種生活。而測站 28 之 Diatom 所佔比例為 66%，且 Diatom 易生長於營養鹽充足的環境，故推測此測站有水體垂直運動的現象。而水體垂直運動之原因，可能因為採樣季節為夏季，盛行西南季風。受到季風吹拂，沿岸表層水便會離岸而導致底下的冷水向表層補充，提供大量

營養鹽供浮游植物生長所導致(彭等, 2006)。

4.2.2 SEATS 測站

SEATS 測站利用梯形積分法除上積分的深度所得藻種豐度比例，並無發現 *Cryptophytes* 及 *Euglenoids* 藻種存在，同時 *Dinoflagellates*、*Prasinophytes*、*Chlorophytes* 及 *Diatom* 所佔平均比例皆低於 2%，主要因上述藻種易出現於近岸營養鹽豐富的區域。而 SEATS 測站屬於貧營養鹽環境，經由 CHEMTAX 運算得知，主要優勢藻種為 *Prochlorococcus*，所貢獻之生物量比例為 51%。然而此區的 *Cyanobacteria* 所貢獻之生物量比例為 18%，且主要分布於水深 50 公尺以淺。分布原因推測為 *Cyanobacteria* 本身需要光照較強的環境，採樣時間為春末，且 Nitracline 深度較淺並海水溫度相對於夏秋兩季低(Chen et al., 2003)，故所貢獻生物量相較於 *Prochlorococcus* 少。上述現象與 Liu et al.(2007)觀察所得之結果具有相似性 (圖 16a)。

4.2.3 東沙島瀉湖測站與環礁內測站之比較

東沙島瀉湖內三個測站(DC1~DC3)與環礁內測站(DC4~DC7)，可以發現適應營養鹽充足區域的藻種於此區域所佔比例增加，如 *Prasinophytes*、*Cryptophytes*、*Chlorophytes* 與 *Prasinophytes*。同時，瀉湖內測站所觀察之浮游植物生物量低於島嶼東岸測站，推測原因為環礁內的測站與南海水的水流交換較差，營養鹽較易累積(Torretton et

al., 2002), 故浮游植物種類及密度相對東沙島瀉湖測站與南海水域的 SEATS 測站較高。此外, DC4 測站之藻類族群結構組成相異 DC5 至 DC7 測站, 推測原因為 DC4 測站位於東沙環礁出口, 水體環境易受到南海水的影響。而本研究結果與江永棉(1975)、張桂祥(2005)觀察所得結果部分類似, 相異處為本研究發現 *Cryptophytes*、*Chlorophytes* 與 *Prasinophytes* 在此測站區域出現。推測原因為受到島上人為活動所帶來的影響, 而導致某些適合生存在營養鹽充足的沿岸環境之藻種於此區域發現。

4.2.4 西菲律賓海

從空間分布觀察, 以 Barlow et al.(2007)發現夏季日照強的環境條件, *Cyanobacteria* 的分布比例會高於其他三季, 同時具有鞭毛的藻種(flagellates)分布跟 *Cyanobacteria* 會有季節性之消長現象。而本研究於西菲律賓海採樣時間為春季, 表層溫度與光照強度相較夏秋兩季低, 故 *Cyanobacteria* 的分布相對於 *Prymnesiophytes* 及 *Chrysophytes* 來得少量可作為此解釋。此外, 隨著測站越靠近台灣東岸, Diatom 的比例有些微增加的趨勢。垂直分布上, 越靠近沿岸, 海水有光層深度越淺, 主要因海水複雜的垂直運動, 如波浪、潮汐及接近岸邊河川注入的有機物質影響而導致海水濁度的改變。因而導致藻類分布都向表層集中及 *Chlorophyll a* 最大值深度皆提升至表層。

4.2.5 從南海北部及東沙 d4、d8 測站其地形與藻種族群分布的關係

從南海表層測站觀察，測站分布依照地形深淺可有三個短測線，分別為測線 A：2、4、6 測站；測線 B：12、14、16 測站；測線 C：27、26、22、18 測站。從三條測線可以觀察到從近岸向外海分布的 Chl. a，隨著離岸越遠其濃度隨之減少，同時於藻類族群的豐度也呈現一致性。此外，從東沙 d4、d8 測站觀察，d8 位處深度相較 d4 測站淺，故在 Chl. a 垂直分布上，d8 測站最大值為水深 40 公尺；d4 測站最大值為水深 80 公尺。藻類族群分布上，d8 測站所涵蓋之不同藻種相對 Chl. a 的生物貢獻量也高於 d4 測站。因此，不論是在表水測站或是水層的垂直分布，藻種族群結構及 Chl. a 最大值深度與地形的深淺具有部分的相關性。然而地形深淺會影響水體的垂直運動及南海本身波的傳送，故雖可觀察上述地形與藻種間的分布概況，然而真正影響其分布不單單只有地形的因素，還需多方考量到生物、化學、物理各因子的影響。

4.2.6 不同島嶼測站(東沙、綠島、蘭嶼)族群豐度比較

東沙、綠島及蘭嶼，其海域環境雖同屬珊瑚礁分布區域，然而各島嶼位處不同的環境條件，如東沙位處內波強大的南海海域、蘭嶼及綠島位於黑潮行進的路線。因此，就三座島嶼所觀察之藻類族群結構，可發現東沙東岸測站，其藻種的多元化分布高於綠島及蘭嶼，且

Diatom、*Prasinophytes* 及 *Cryptophytes* 所佔比例較高；綠島之藻種族群分布比例較為平均，且 Dinoflagellates、*Chlorophytes* 所佔豐度高於其他兩區域；蘭嶼(測站 7)則是以 *Prymnesiophytes* 為主要優勢藻種，藻種豐富度較少(圖 16)。同時，綠島與蘭嶼雖同位處黑潮流經區域，藻種族群分布卻相異，推測原因為綠島採樣時間為秋季(10 月)，蘭嶼(測站 7)採樣時間為春季(3 月)之季節性不同所造成的差異。

4.3 不同海域營養鹽垂直分布與浮游性植物之關係

不同海域之測站，其 Nitracline 深淺不一(圖 2)，進而影響浮游植物生長的趨勢。從 SEATS 測站與西菲律賓海測站 30 觀察，可發現 Nitracline 深度約為 80 和 100 公尺，同時，此兩測站出現 Chl. a 最大值的深度也位於 80 和 100 公尺。此一現象於東沙 d4 測站、d8 測站與綠島測站有相似現象。此現象分布原因，乃為屬貧營養鹽的海水，表層硝酸鹽濃度極低，同時硝酸鹽為藻類吸收進行蛋白質製造的重要營養鹽之一。因此在海水表層缺乏硝酸鹽與光照較強的環境下，*Cyanobacteria* 為主要多數生長的藻種。隨著深度變深，經由細菌分解所釋放出的營養鹽可提供其他藻種生長，故 Nitracline 出現的深度，往往為浮游植物大量聚集的區域(Gibb et al., 2001)。

5. 結論

在台灣周邊的五個區域中，包含南海北部、東沙島、SEATS、綠島及西菲律賓海，其藻類族群分布差異極為顯著。南海北部表層測站與 SEATS 測站，浮游植物族群在深度分布上，表水為營養鹽缺乏及日照強的環境條件，是以 *Cyanobacteria* 為主；次表水層以生活條件易受控於環境溫度之 *Prochlorococcus* 為主。同屬南海區域，富含珊瑚礁豐富生態的東沙島，其藻種則以 *Prochlorococcus* 及 *Diatom* 為主要優勢族群，同時也觀察到易生長在沿岸區域的藻種存在，顯示出人為活動影響而致使東沙島環礁內側的環境改變，進而影響當地藻種族群結構的分布。而西菲律賓海以 *Prymnesiophytes* 為主要優勢族群，綠島於藻種族群間分布最為平均且與東沙島同樣具有多元化的藻類族群結構。

參考文獻

一、英文參考文獻：

- Burger-Wiersma, R., M. Veenhuis, H. J. Korthals, C. C. M. Van de Wiel, and L. R. Mur. (1986). A new prokaryote containing chlorophyll a and b. *Nature* 320 : 262-264.
- Barlow, R., V. Stuart, V. Lutz, H. Sessions, S. Sathyendranath, T. Platt, M. Kyewalyanga, L. Clementson, M. Fukasawa, S. Watanabe, and E. Devre. (2007). "Seasonal pigment patterns of surface phytoplankton in the subtropical southern hemisphere." *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers* 54(10): 1687-1703.
- Chen, Y. L. L., H. Y. Chen, and Y. H. Lin. (2003). "Distribution and downward flux of Trichodesmium in the South China Sea as influenced by the transport from the Kuroshio Current." *Marine Ecology-Progress Series* 259: 47-57.
- Chen, Y. L. L., H. Y. Chen, and C. W. Chung. (2007). "Seasonal variability of coccolithophore abundance and assemblage in the northern South China Sea." *Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography* 54(14-15): 1617-1633.
- Furuya, K., M. Hayashi, Y. Yabushita, and A. Ishikawa. (2003). "Phytoplankton dynamics in the East China Sea in spring and summer as revealed by HPLC-derived pigment signatures."

- Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography* 50(2): 367-387.
- Gibb, S. W., D. G. Cummings, X. Irigoien, R. G. Barlow, R. Fauzi, and C. Mantoura. (2001). "Phytoplankton pigment chemotaxonomy of the northeastern Atlantic." *Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography* 48(4-5): 795-823.
- Gong, G.-C., J. Chang, K. P. Chiang, T. M. Hsiung, C. C. Hung, S. W. Duan, and L. A. Codispoti. (2006). "Reduction of primary production and changing of nutrient ratio in the East China Sea: Effect of the Three Gorges Dam?" *Geophysical Research Letters* 33.
- Henriksen, P., B. Riemann, H. Kaas, H. M. Sorensen, and H.L. Sorensen. (2002). "Effects of nutrient-limitation and irradiance on marine phytoplankton pigments." *Journal of Plankton Research* 24: 835-858.
- Homsen, H. A., J. B. Ostergaard, and L. E. Hansen. (1999). "Heteromorphic Life Histories in Arctic Coccolithophorids (Prymnesiophyceae)." *Journal of Phycology* 27(5): 634-642.
- Iglesias-Rodriguez, M. D., C. W. Brown, S. C. Doney, J. Kleypas, D. Kolber, Z. Kolber, P. K. Hayes, and P. G. Falkowski. (2002). "Representing key phytoplankton functional groups in ocean carbon cycle models: Coccolithophorids." *Global Biogeochemical Cycles*

16(4).

Jeffrey, S. W., R. F. C. Mantoura, and S. W. Wright. (2005).

"Phytoplankton pigments in oceanography : guidelines to modern methods. " *UNESCO*

Latasa, M. (2007). "Improving estimations of phytoplankton class abundances using CHEMTAX." *Marine Ecology-Progress Series* 329: 13-21.

Liu, H. B., J. Chang, C. M. Tseng, L. S. Wen, and K. K. Liu. (2007).

"Seasonal variability of picoplankton in the northern South China Sea at the SEATS station." *Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography* 54(14-15): 1602-1616.

Mackey, M. D., D. J. Mackey, H. W. Higgins, and S. W. Wright. (1996).

"CHEMTAX - A program for estimating class abundances from chemical markers: Application to HPLC measurements of phytoplankton." *Marine Ecology-Progress Series* 144(1-3): 265-283.

Mackey, D. J., H. W. Higgins, M. D. Mackey, and D. Holdsworth. (1998).

"Algal class abundances in the western equatorial Pacific: Estimation from HPLC measurements of chloroplast pigments using CHEMTAX." *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers* 45(9): 1441-1468.

Mackey, D. J., J. Blanchot, H. W. Higgins, and J. Neveux. (2002).

"Phytoplankton abundances and community structure in the

- equatorial Pacific." *Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography* 49(13-14): 2561-2582.
- Malin, G., S. M. Turner, P. S. Liss, and Aiken. (1992). "Sulfur - the Plankton Climate Connection." *Journal of Phycology* 28(5): 590-597.
- Marty, J. C., N. Garcia, and P. Rairnbault. (2008). "Phytoplankton dynamics and primary production under late summer conditions in the NW Mediterranean Sea." *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers* 55(9): 1131-1149.
- Miki, M., N. Ramaiah, S. Takeda, and K. Furuya. (2008). "Phytoplankton dynamics associated with the monsoon in the Sulu Sea as revealed by pigment signature." *Journal of Oceanography* 64(5): 663-673.
- Partensky, F., W. R. Hess, and D. Vaulot. (1999). "Prochlorococcus, a marine photosynthetic prokaryote of global significance." *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 63(1): 106
- Shen, S. H., G. G. Leptoukh, J. G. Acker, Z. J. Yu, and S. J. Kempler. (2008). "Seasonal variations of chlorophyll a concentration in the northern South China Sea." *Ieee Geoscience and Remote Sensing Letters* 5(2): 315-319.
- Tseng C. M., George T. F. Wong, I. I. Lin, C. L. Wu, and K. K. Liu. (2005). "A unique seasonal pattern in phytoplankton biomass in low-latitude waters in the South China Sea." *Geophysical Research*

Letters 32.

Wang, Y.-H., C.-F. Dai, and Y. Y. Chen. (2007). "Physical and ecological processes of internal waves on an isolated reef ecosystem in the South China Sea." *Geophysical Research Letters* 34.

Wright, S. W., S. W. Jeffrey, R. F. C. Mantoura, C. A. Llewellyn, T. Bjornland, D. Repeta, and N. Welschmeyer. (1991). "Improved Hplc Method for the Analysis of Chlorophylls and Carotenoids from Marine-Phytoplankton." *Marine Ecology-Progress Series* 77(2-3): 183-196.

Wright, S. W. and R. L. van den Enden. (2000). "Phytoplankton community structure and stocks in the East Antarctic marginal ice zone (BROKE survey, January-March 1996) determined by CHEMTAX analysis of HPLC pigment signatures." *Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography* 47(12-13): 2363-2400.

Schluter, L., F. Mohlenberg, H. Havskum, and S. Larsen. (2000). "The use of phytoplankton pigments for identifying and quantifying phytoplankton groups in coastal areas: testing the influence of light and nutrients on pigment/chlorophyll a ratios." *Marine Ecology-Progress Series* 192(1-3) : 49-63

Yu, M. C., R. N. Xiu, G. L. Cheng, and H. Qiang. (2007). "Distribution pattern of Photosynthetic picoplankton and heterotrophic bacteria in

the North South China Sea." *Journal of Integrative Plant Biology* 49(3):282-298.

二、中文參考文獻：

江永棉，1975，東沙群島綜合調查報告，二、海洋植物調查。台灣大學理學院海洋研究所，16-20。

劉光宗，2000，黑潮短期變動與綠島鋁鈣比之關係。國立台灣大學海洋研究所碩士論文，56 頁。

張桂祥，2005，東沙海域浮游植物現況。 *platax*，2005 卷，83-87。

彭欣、齊修仁與孫軍，2006，南海北部浮游植物生長對營養鹽的影響。 *生態學報*，第 26 卷第 12 期。

陳紀新、黃邦欽、劉媛、曹振銳與洪華生，2006，應用特徵光合色素研究東海和南海北部浮游植物的群落結構。 *地球科學進展*，第 21 卷第 7 期。

劉欣侑，2008，台灣東部黑潮及鄰近海域葉綠素濃度與海洋環境因子之關係。國立中山大學海洋生物研究所碩士論文，50 頁。

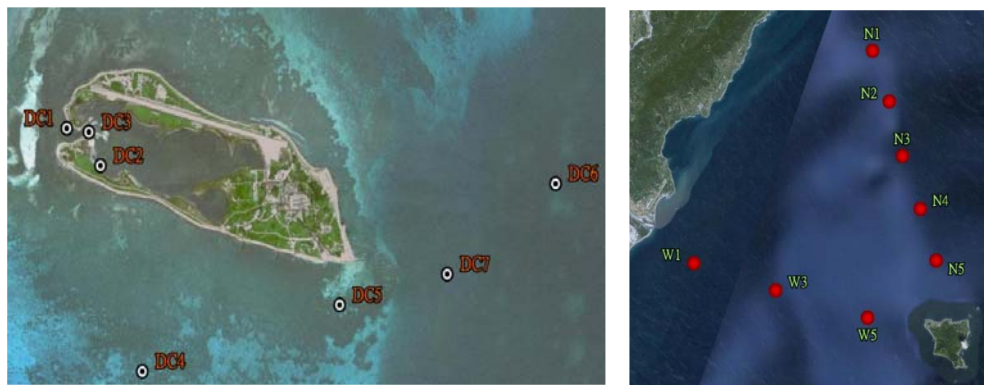
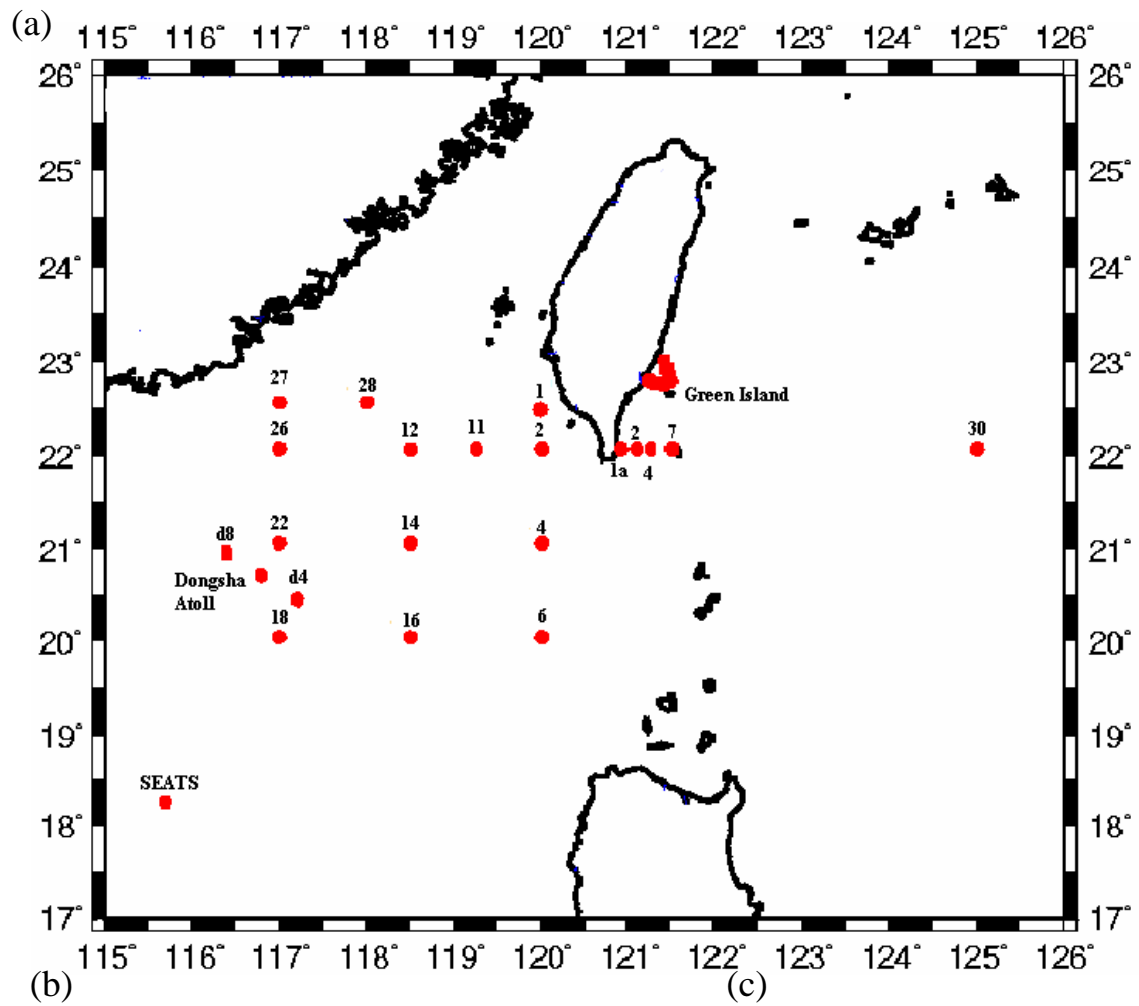


圖 1 本論文研究之樣品採集區域: (a)涵蓋南海北部、東沙、綠島及西菲律賓海；(b)為東沙島嶼採樣地點；(c)為綠島採樣地點。

(底圖來源: Google Earth)

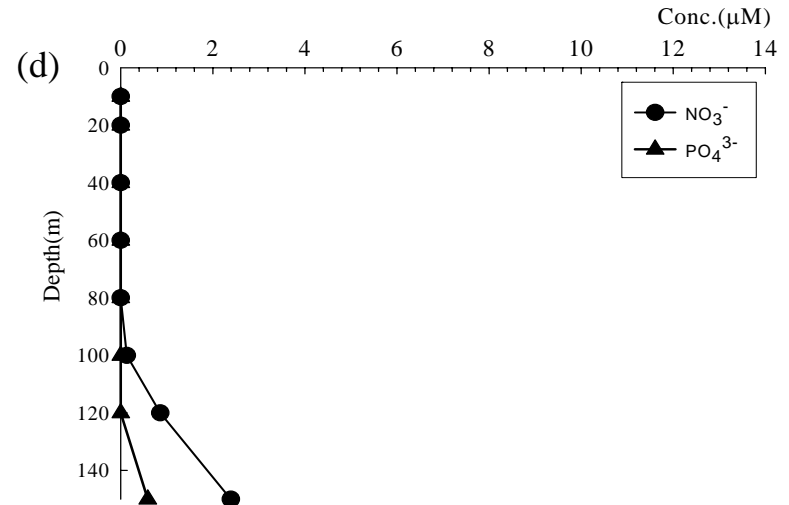
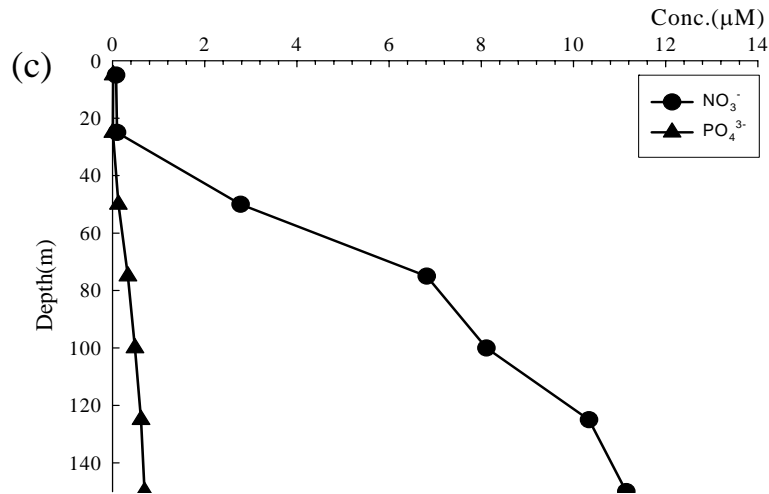
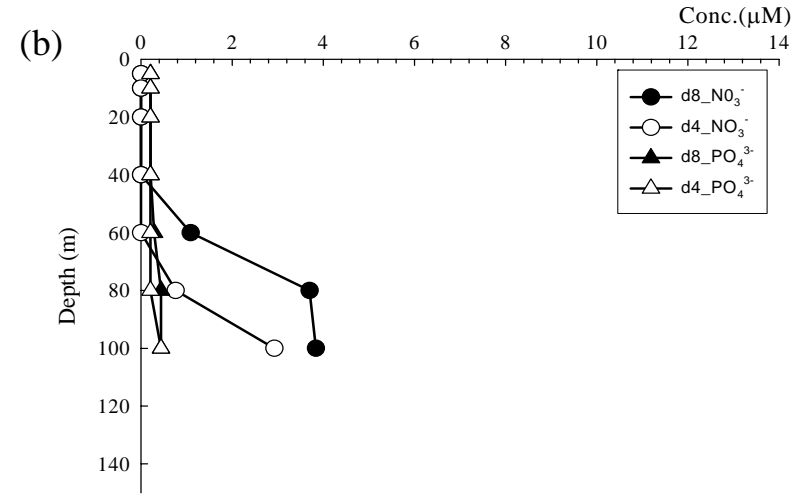
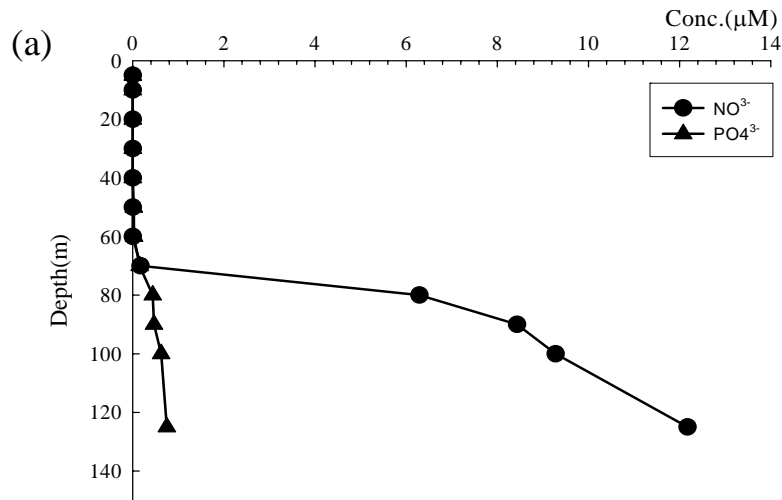


圖 2 為營養鹽隨深度變化：(a)SEATS 測站；(b)東沙周邊海域測站；(c)綠島測站；(d)西菲律賓海測站 30。
(資料來源:台大海研所 溫良碩老師實驗室)

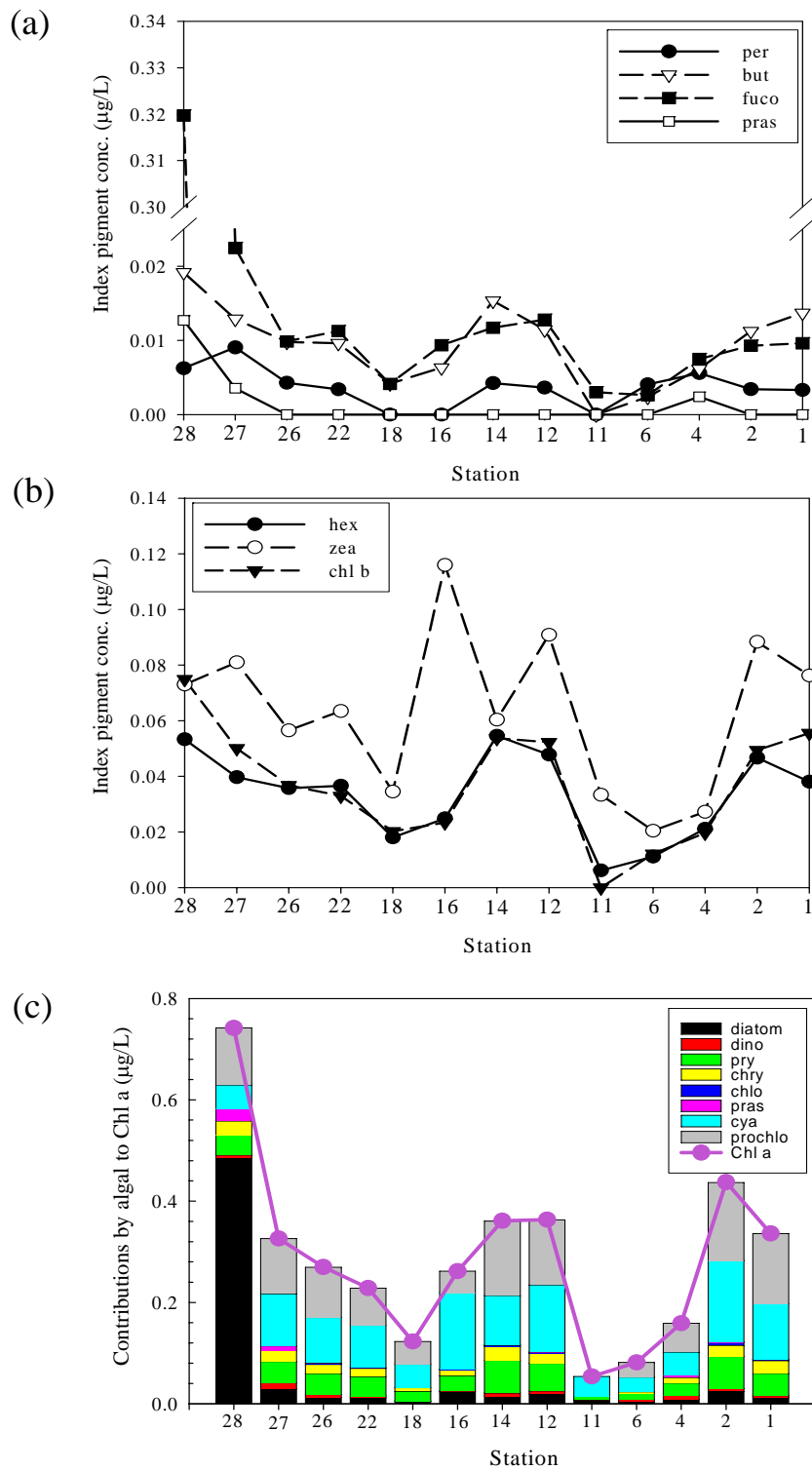


圖 3 南海北部表層測站:(a)(b)為各測站色素分布；(c)各測站之藻類族群結構，其中各色素及藻類代稱皆於表 1.2 說明。

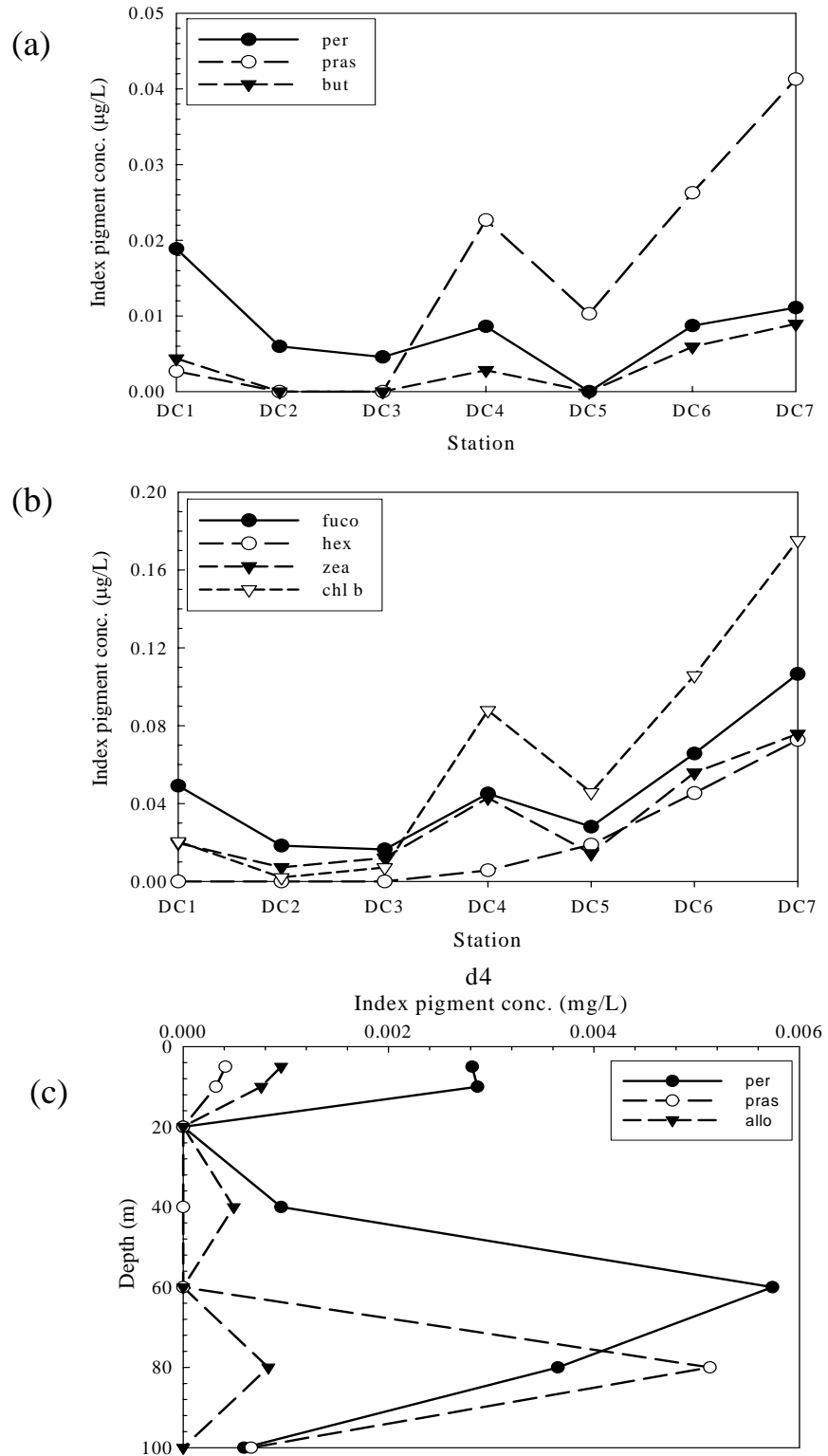


圖 4 東沙島嶼各測站色素分布:(a)(b)為表水測站色素分布；(c)(d)為 d4 測站色素隨深度分布；(e)(f)為 d8 測站色素隨深度分布。

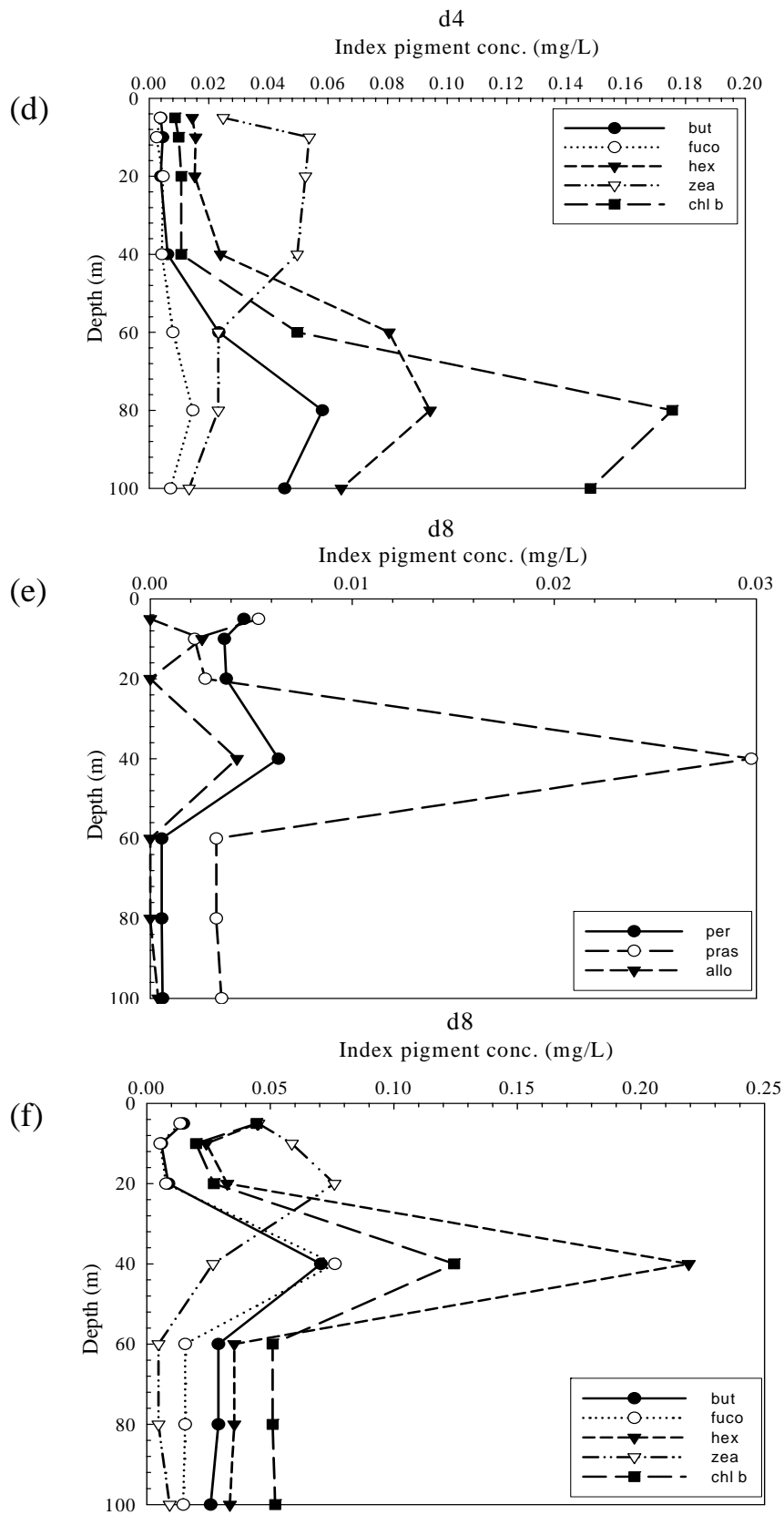
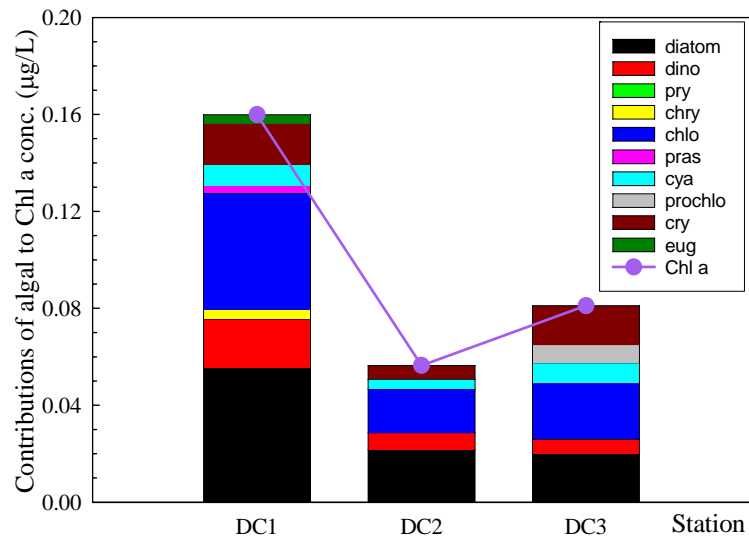


圖 4、續

(a)



(b)

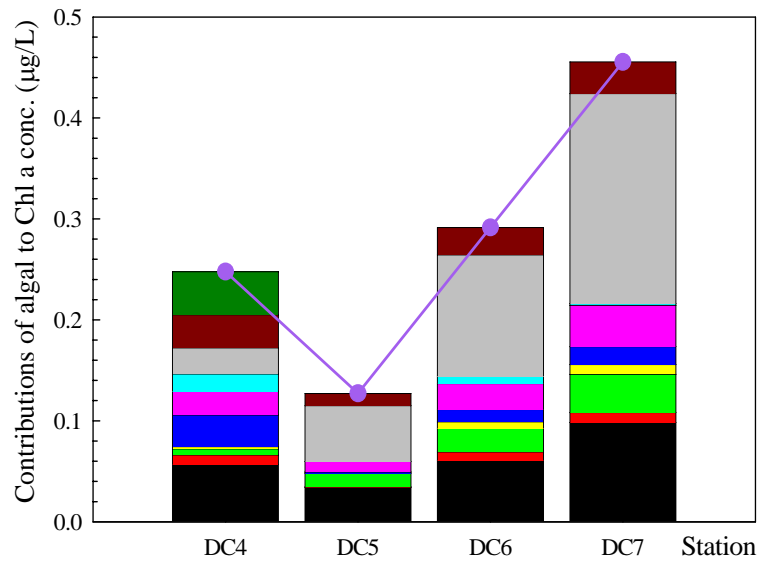


圖 5 東沙島嶼表水測站藻類族群結構分布:(a)為瀉湖內測站(b)為島嶼東岸四個測站。

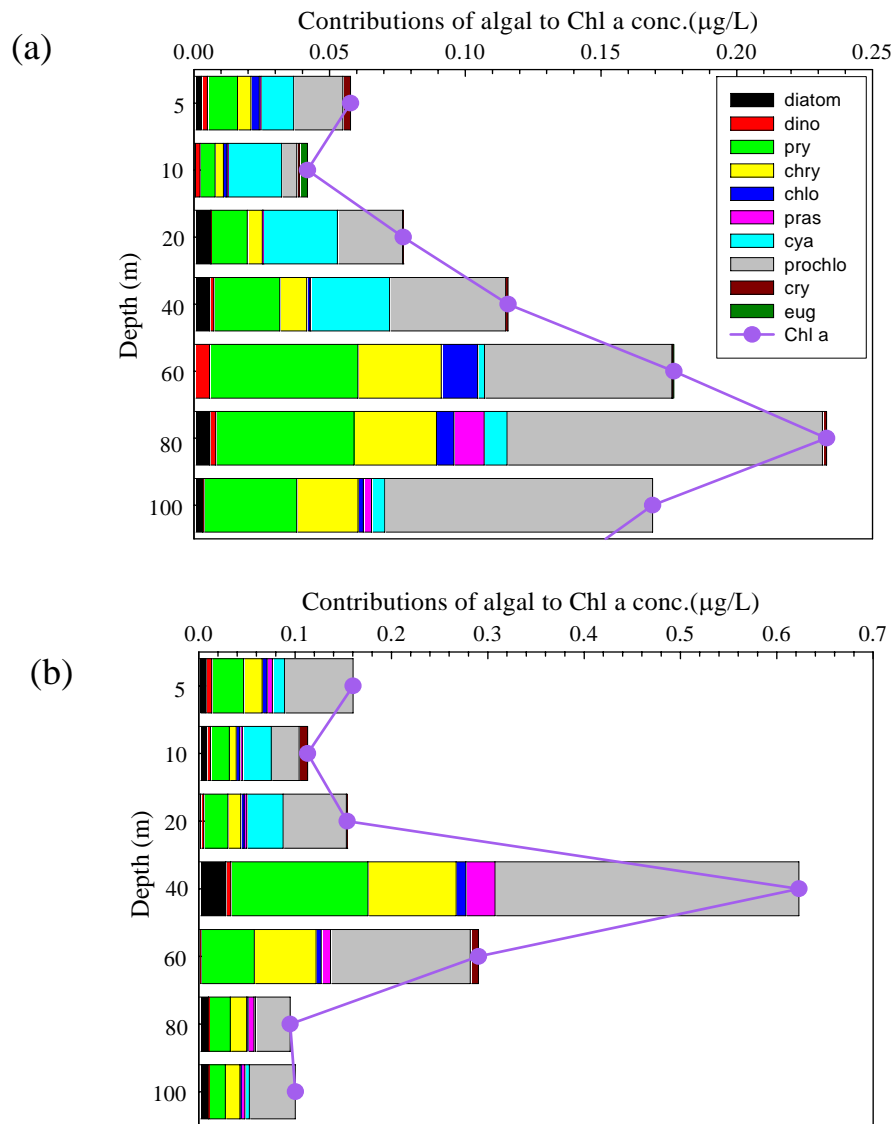


圖 6 東沙島嶼測站藻類族群結構隨深度分布:(a)為 d4 測站(b)為 d8 測站。

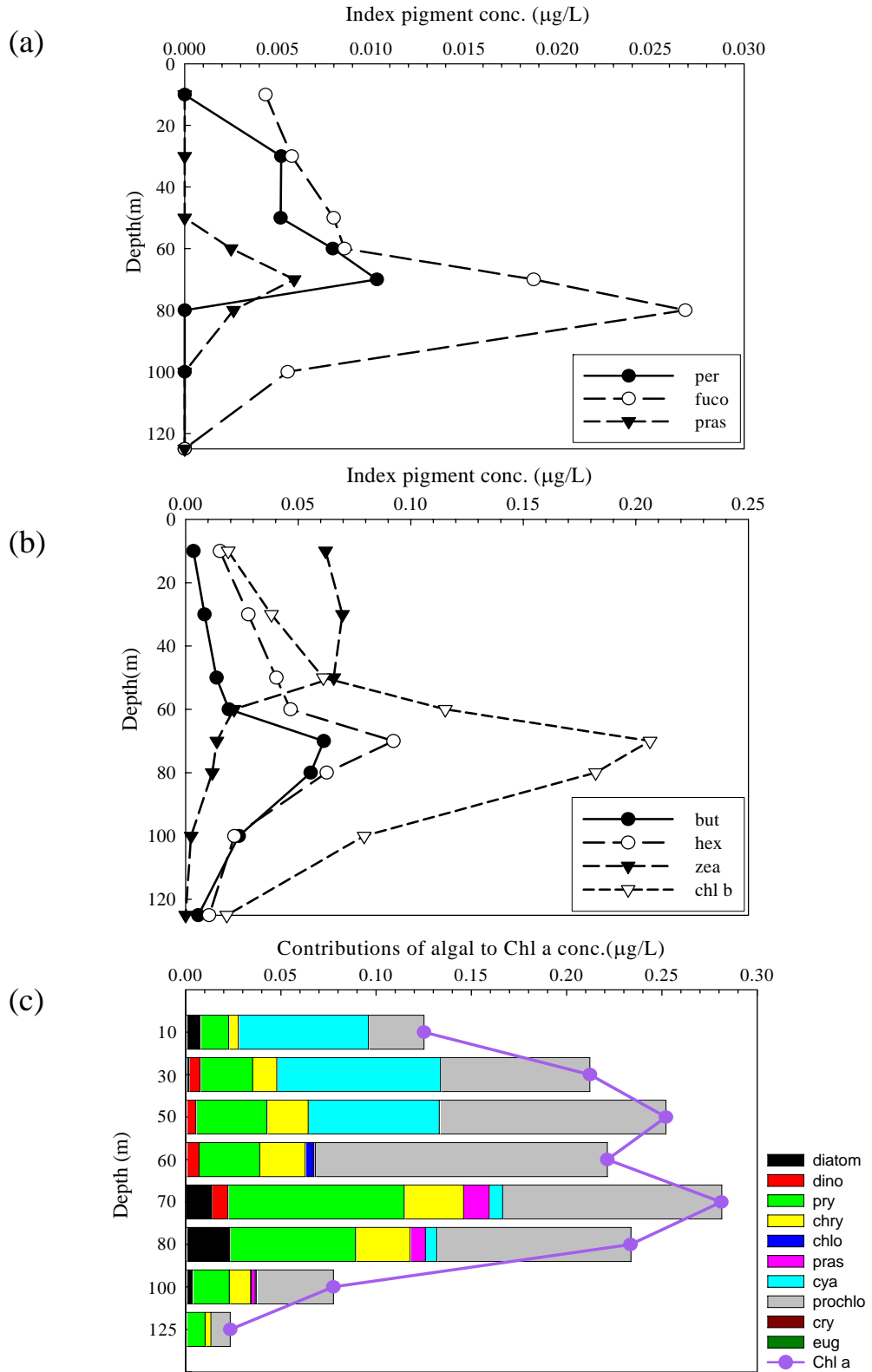


圖 7 南海 SEATS 測站:(a) (b)為色素隨深度分布；(c)為藻種族群結構隨深度分布。

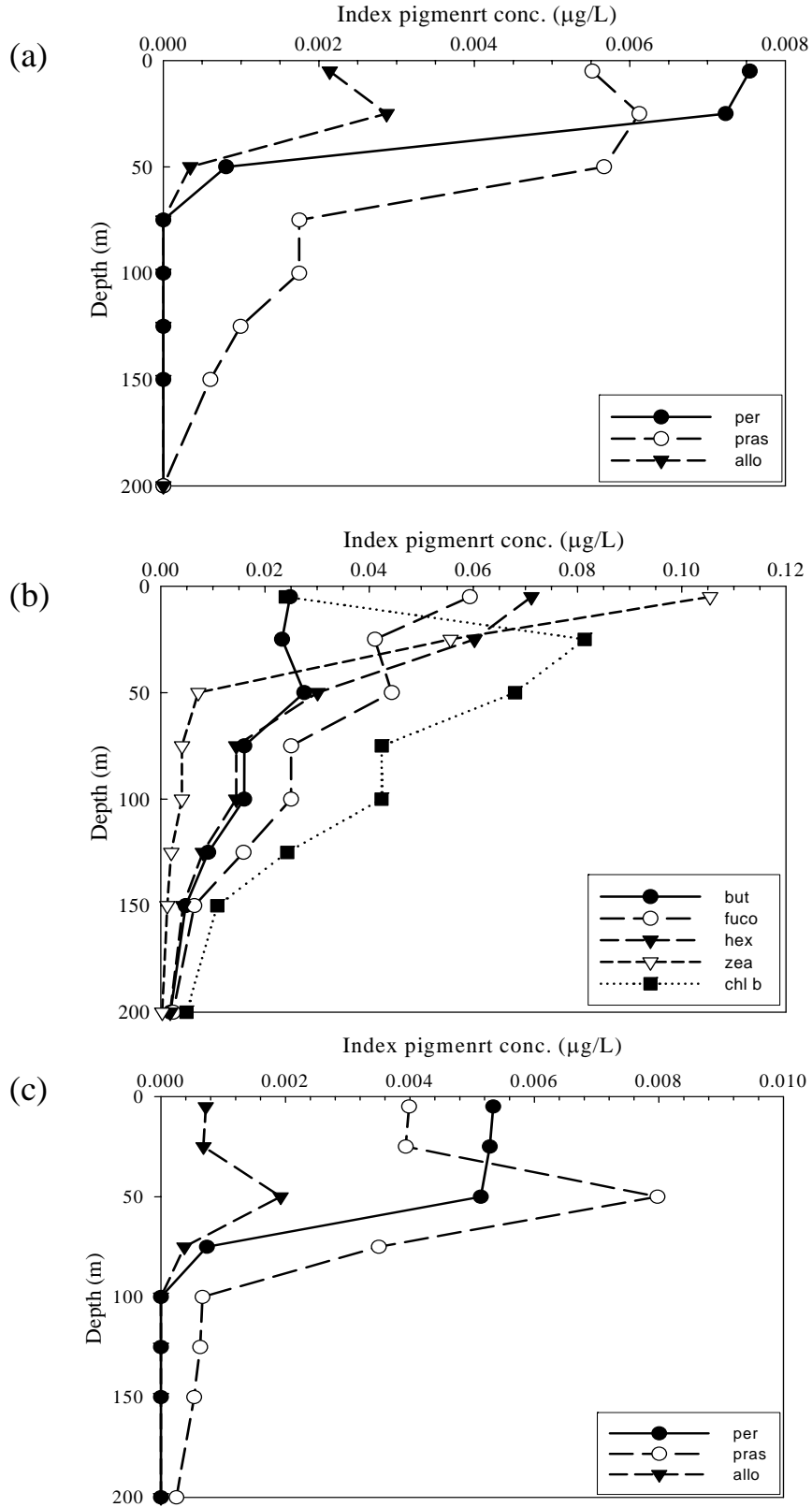


圖 8 綠島測站色素隨深度分布:(a) (b)為 W1 測站；(c) (d) 為 W3 測站；(e) (f) 為 W5 測站。

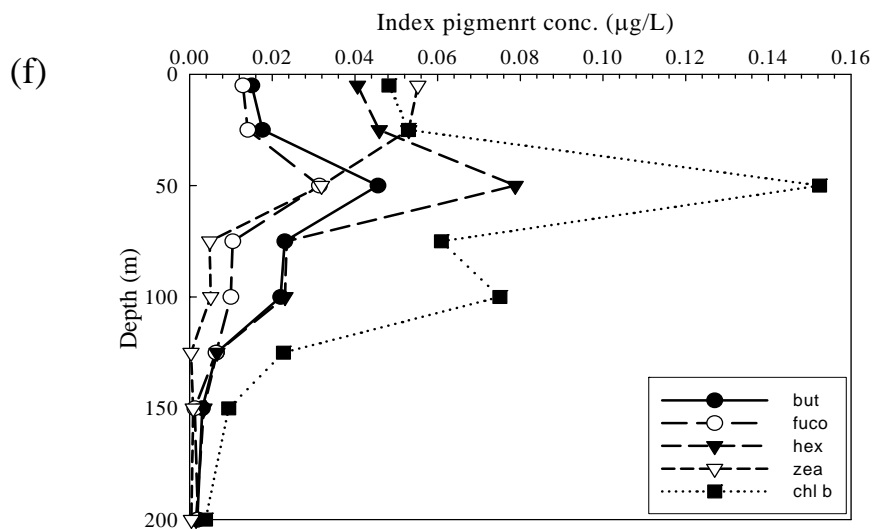
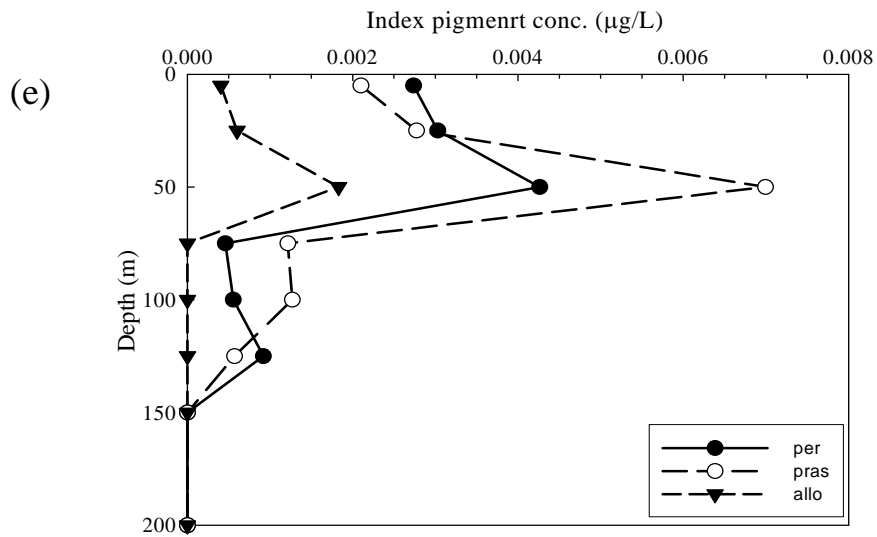
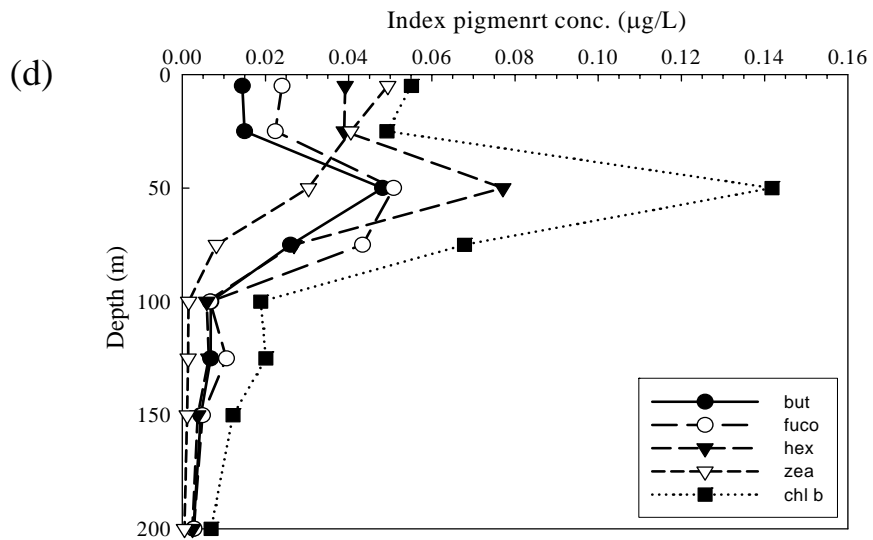


圖 8、續

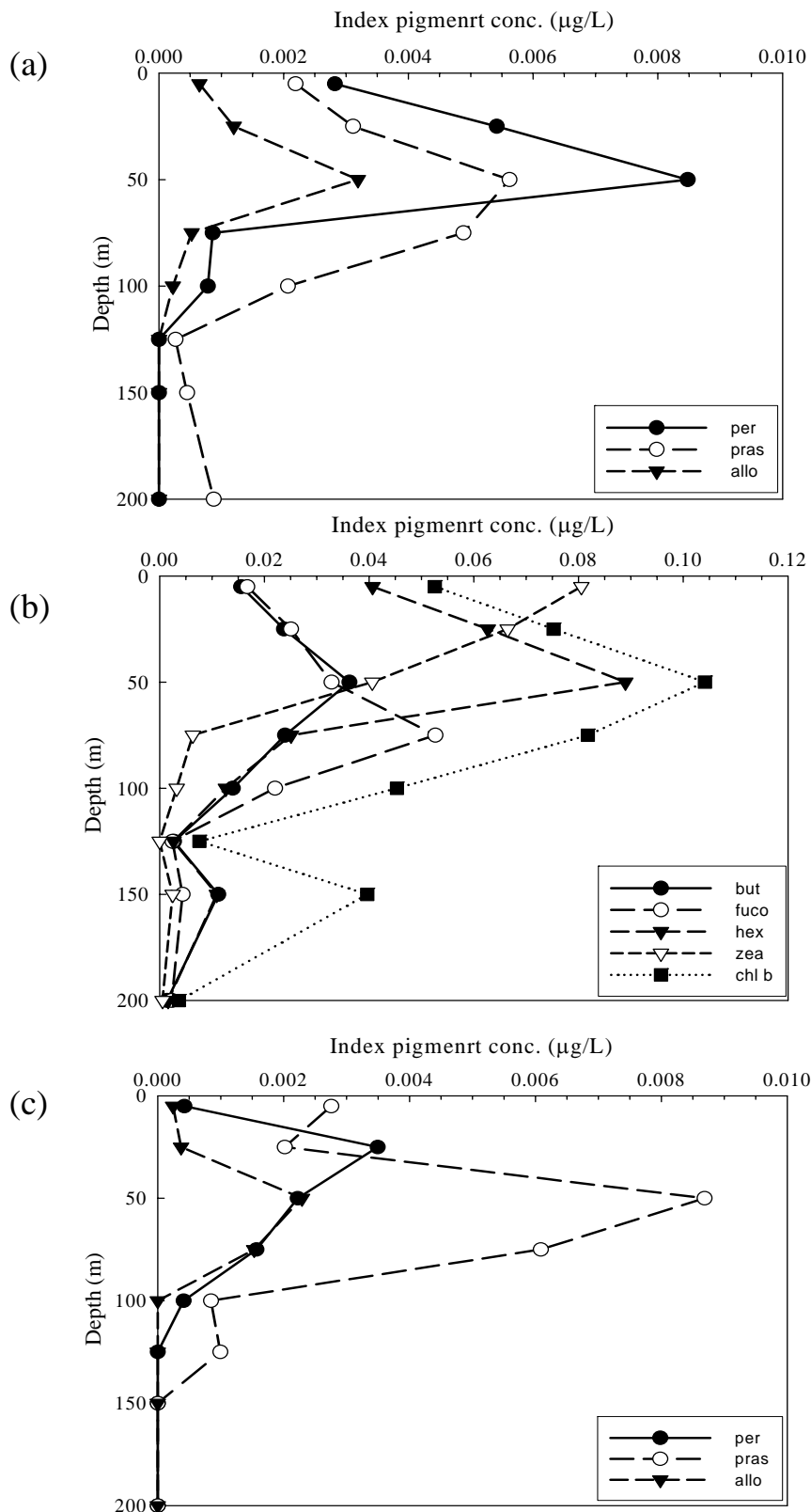


圖 9 綠島測站色素隨深度分布:(a) (b)為 N1 測站；(c) (d) 為 N2 測站；(e) (f) 為 N3 測站；(g) (h) 為 N4 測站；(i) (j) 為 N5 測站。

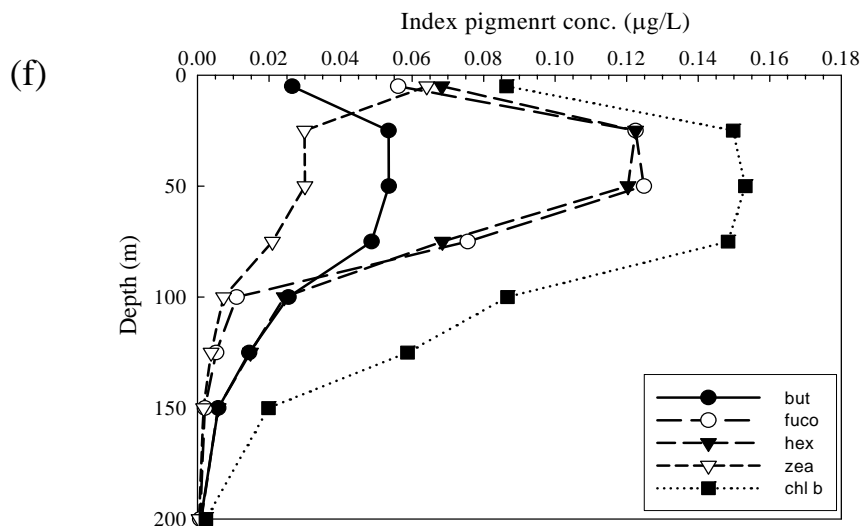
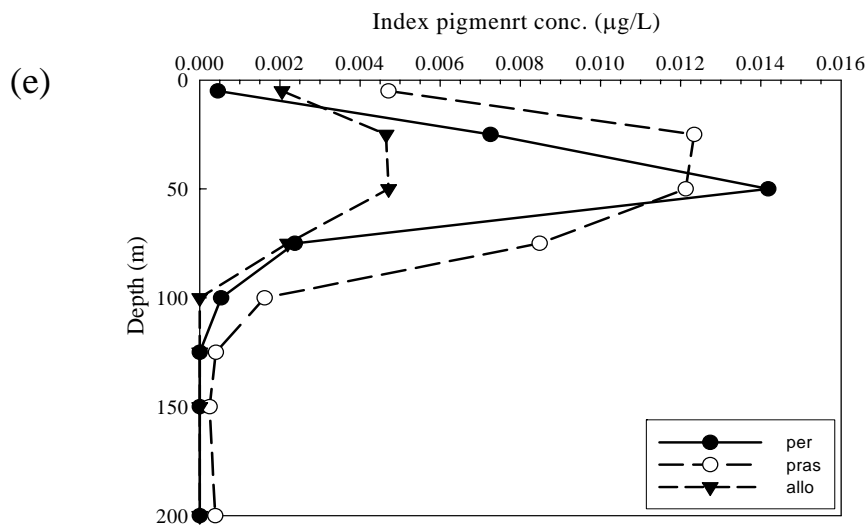
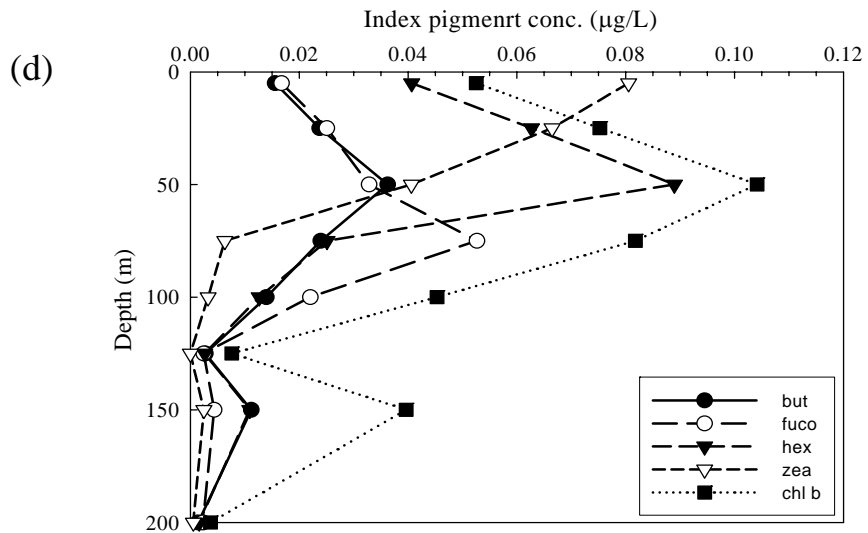


圖 9、續

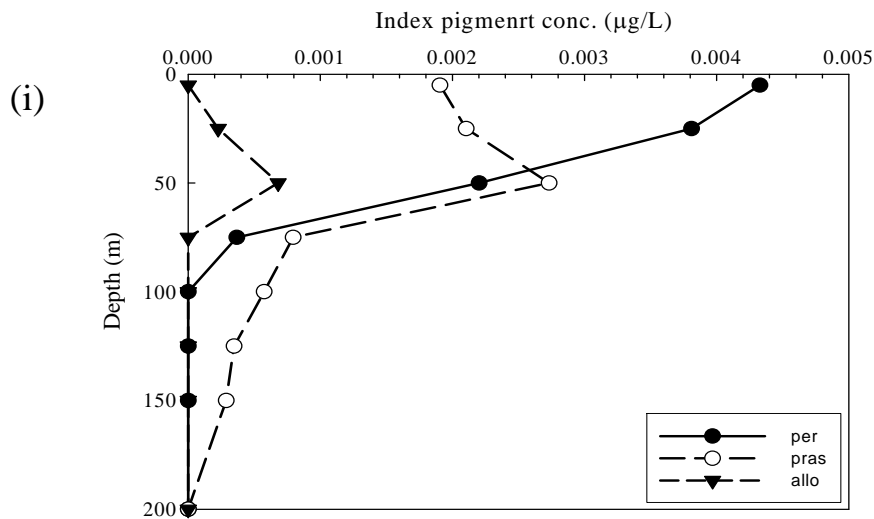
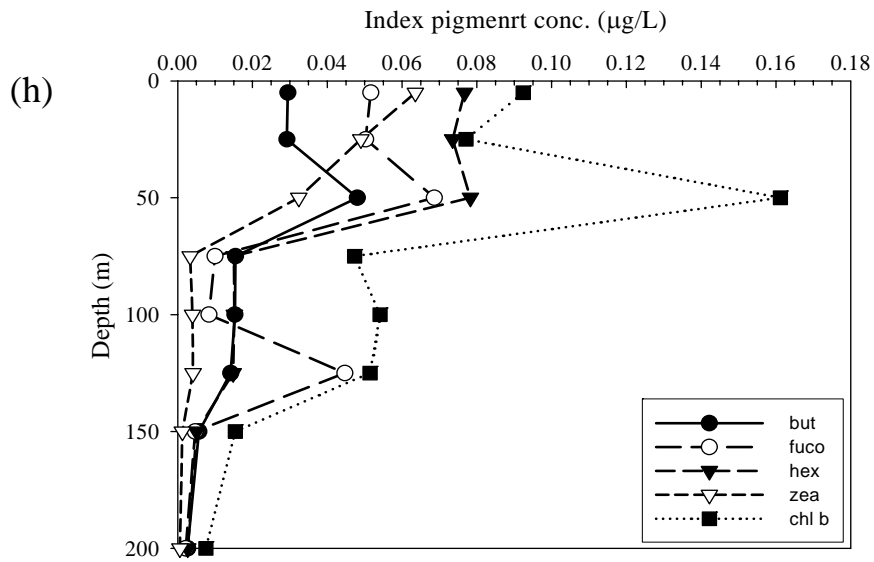
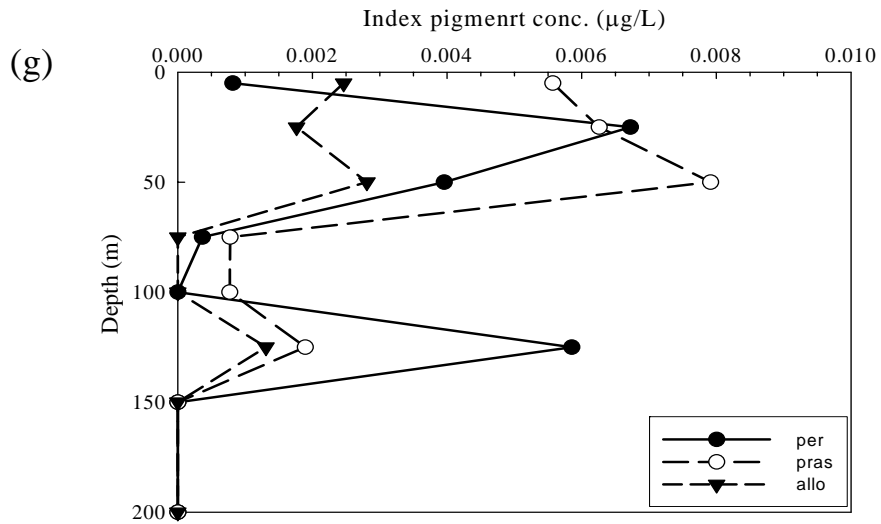


圖 9、續

(j)

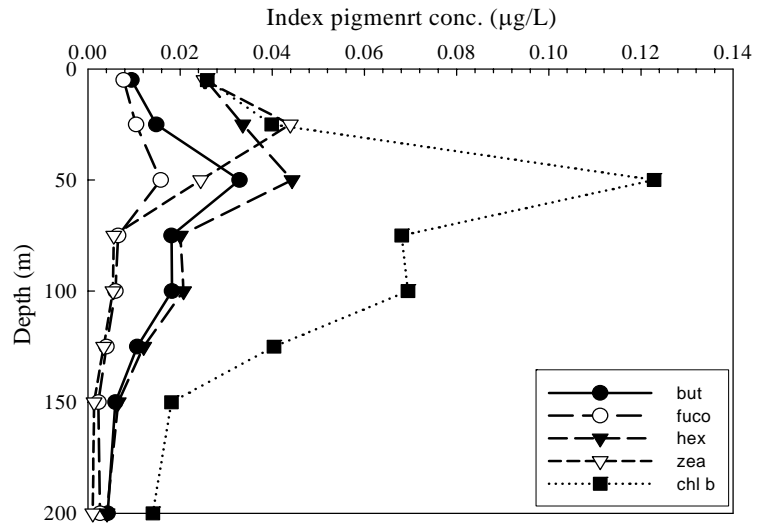


圖 9、續

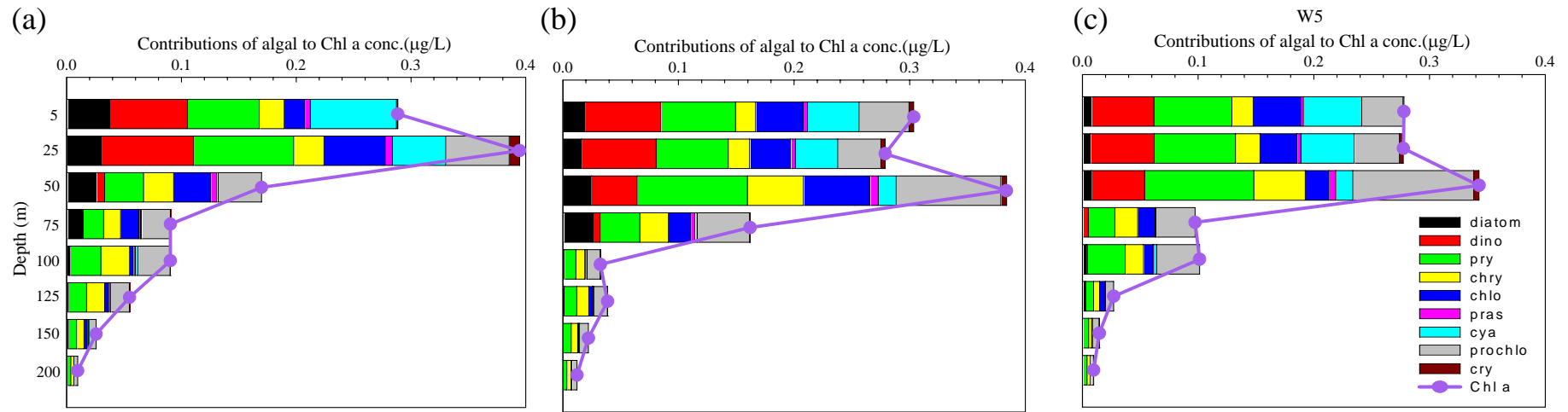


圖 10 綠島測站藻類族群結構隨深度變化：(a)為 W1 測站；(b)為 W3 測站；(c)為 W5 測站。

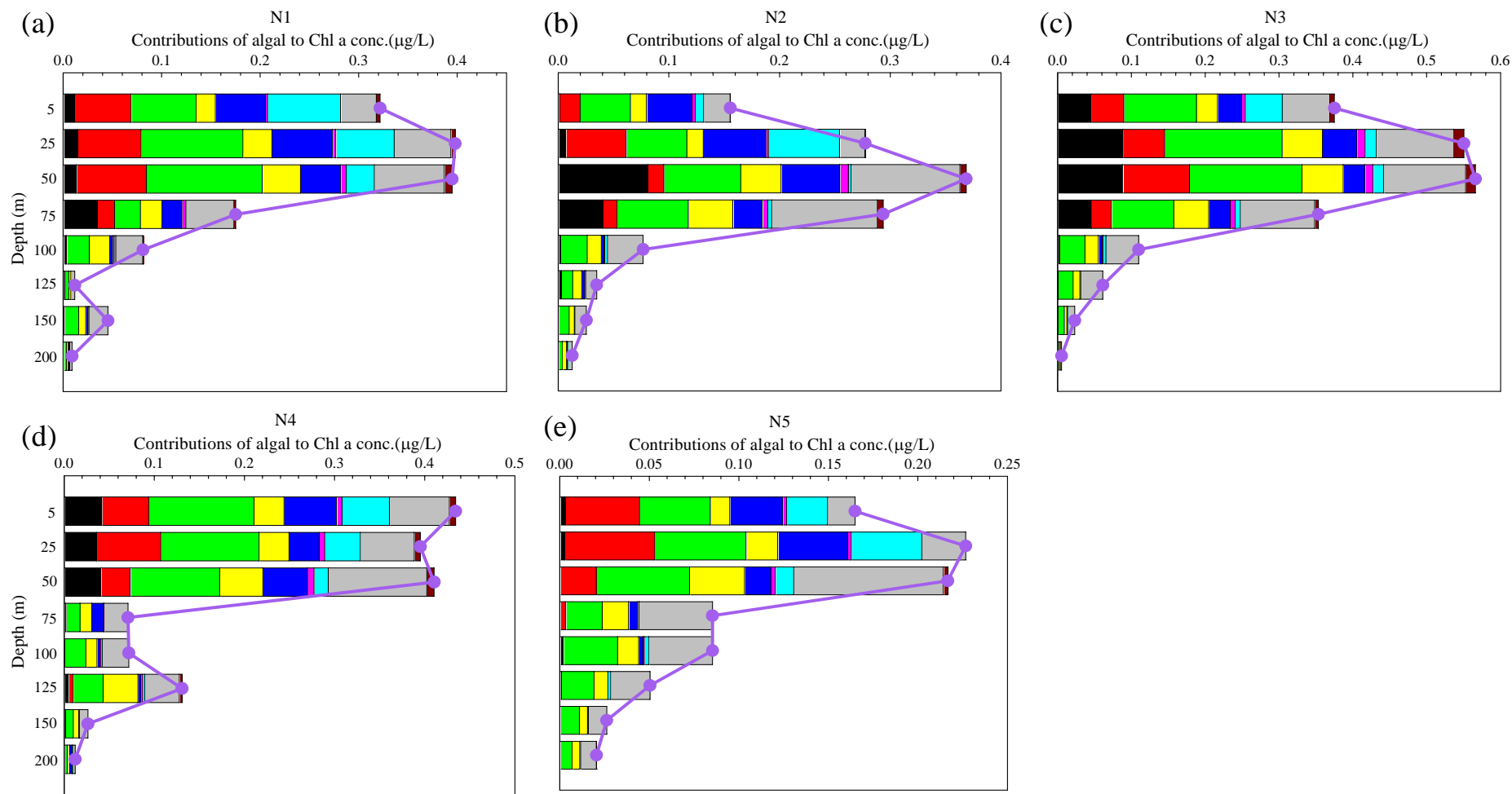


圖 11 綠島測站藻類族群結構隨深度變化：(a)為 N1 測站；(b)為 N2 測站；(c)為 N3 測站；(d)為 N4 測站；(e)為 N5 測站。

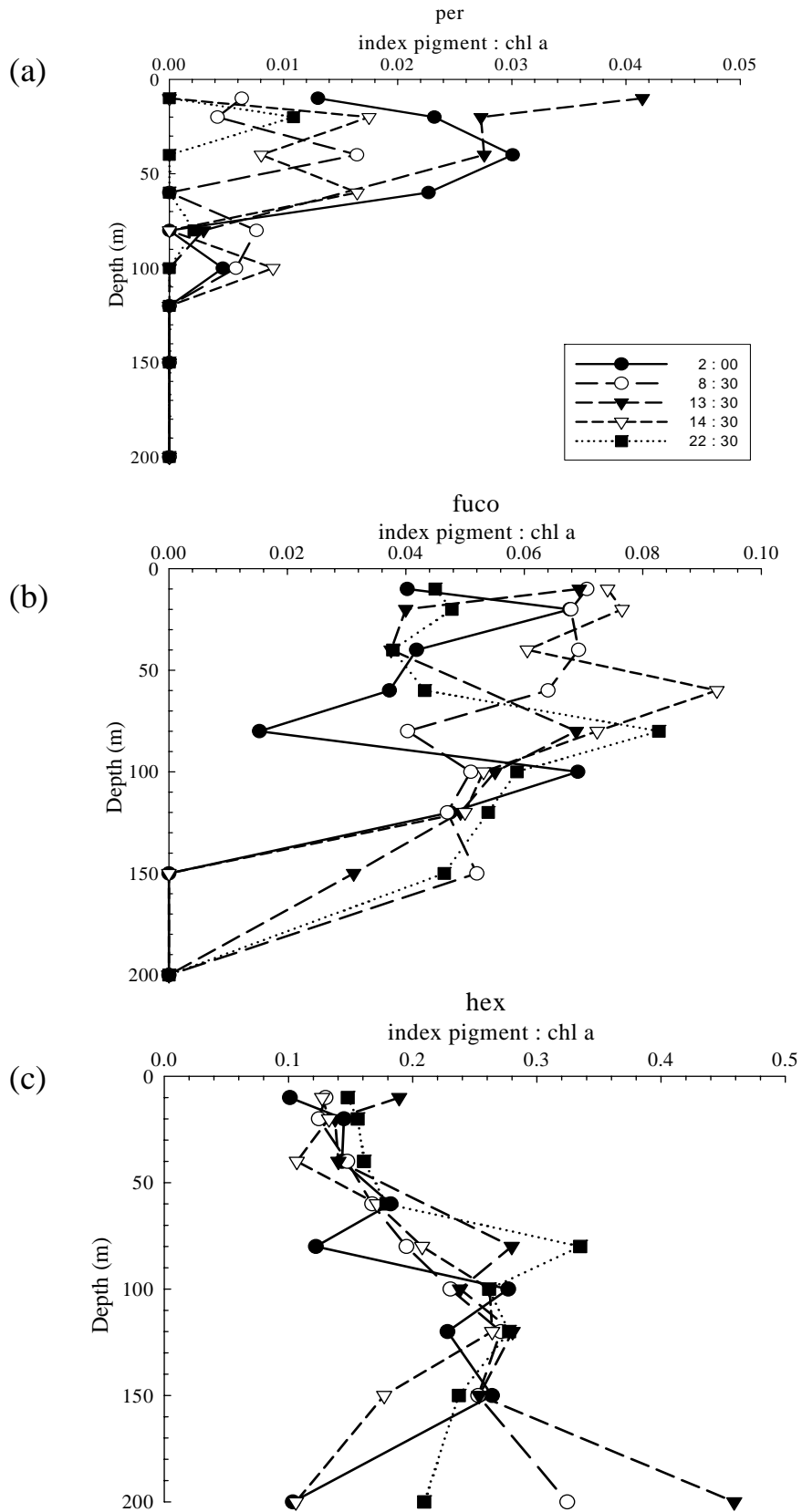


圖 12 西菲律賓海測站 30 於不同時間色素隨深度分布:(a) per ; (b)fuco ; (c) hex ; (d) but ; (e)pras ; (f) allo ; (g)zea (h) Chl. b 。

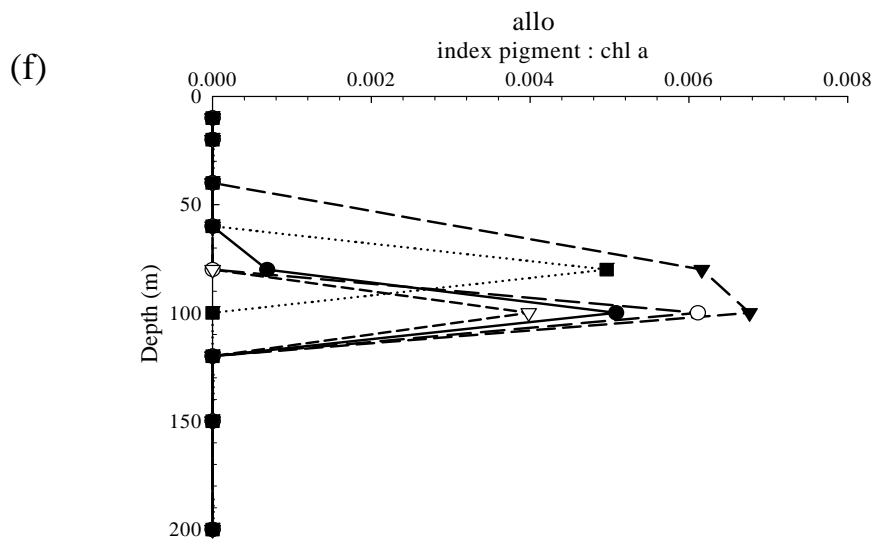
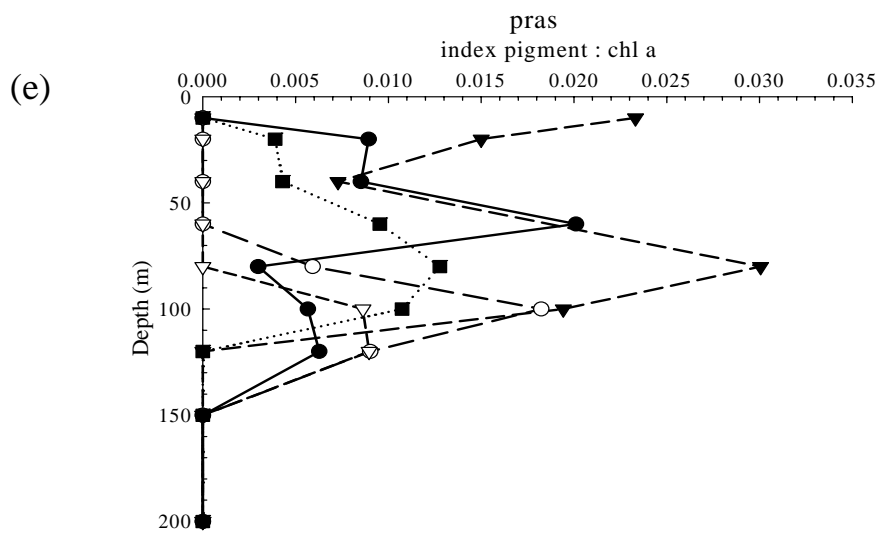
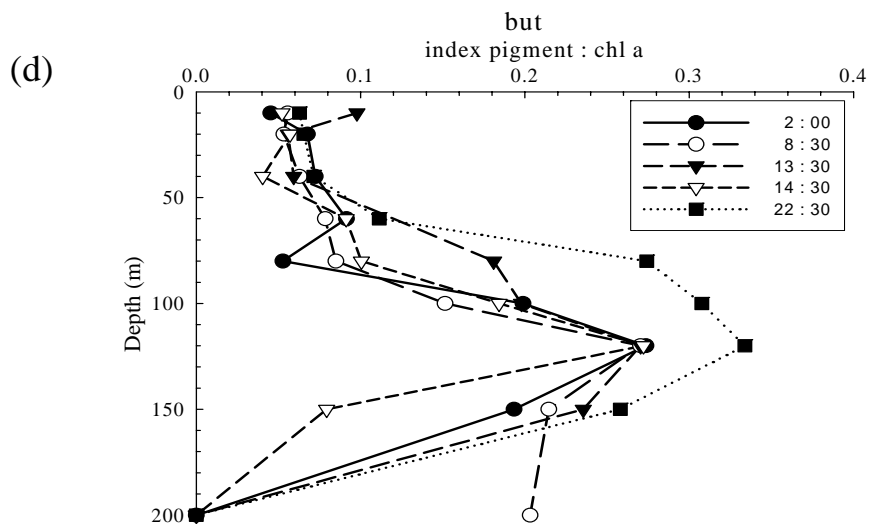


圖 12、續

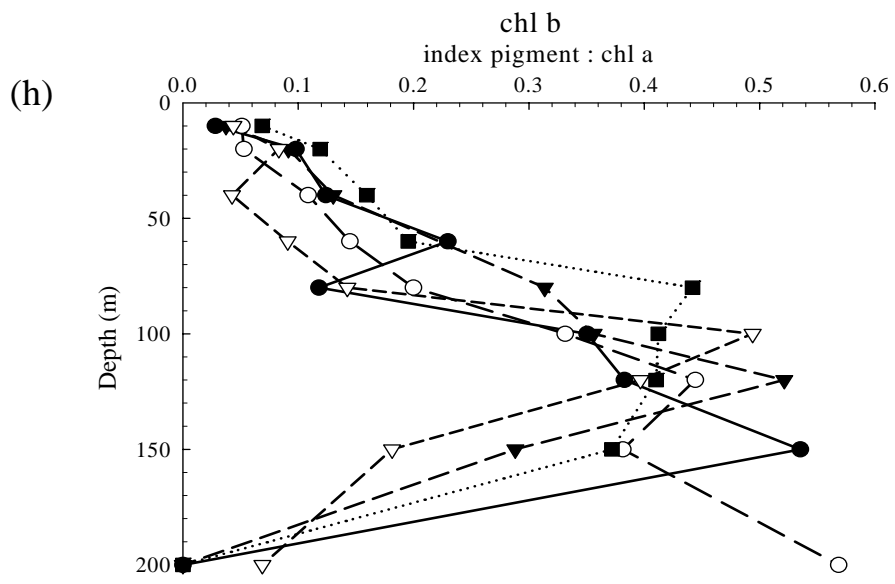
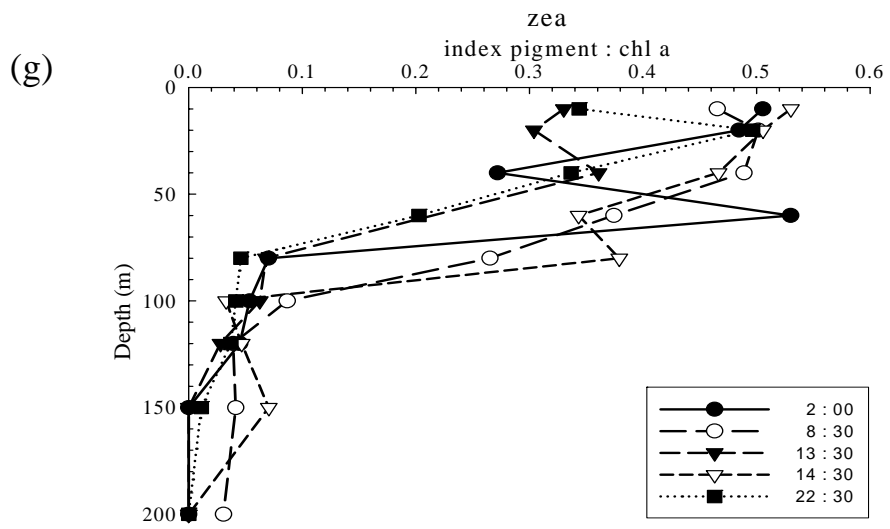


圖 12、續

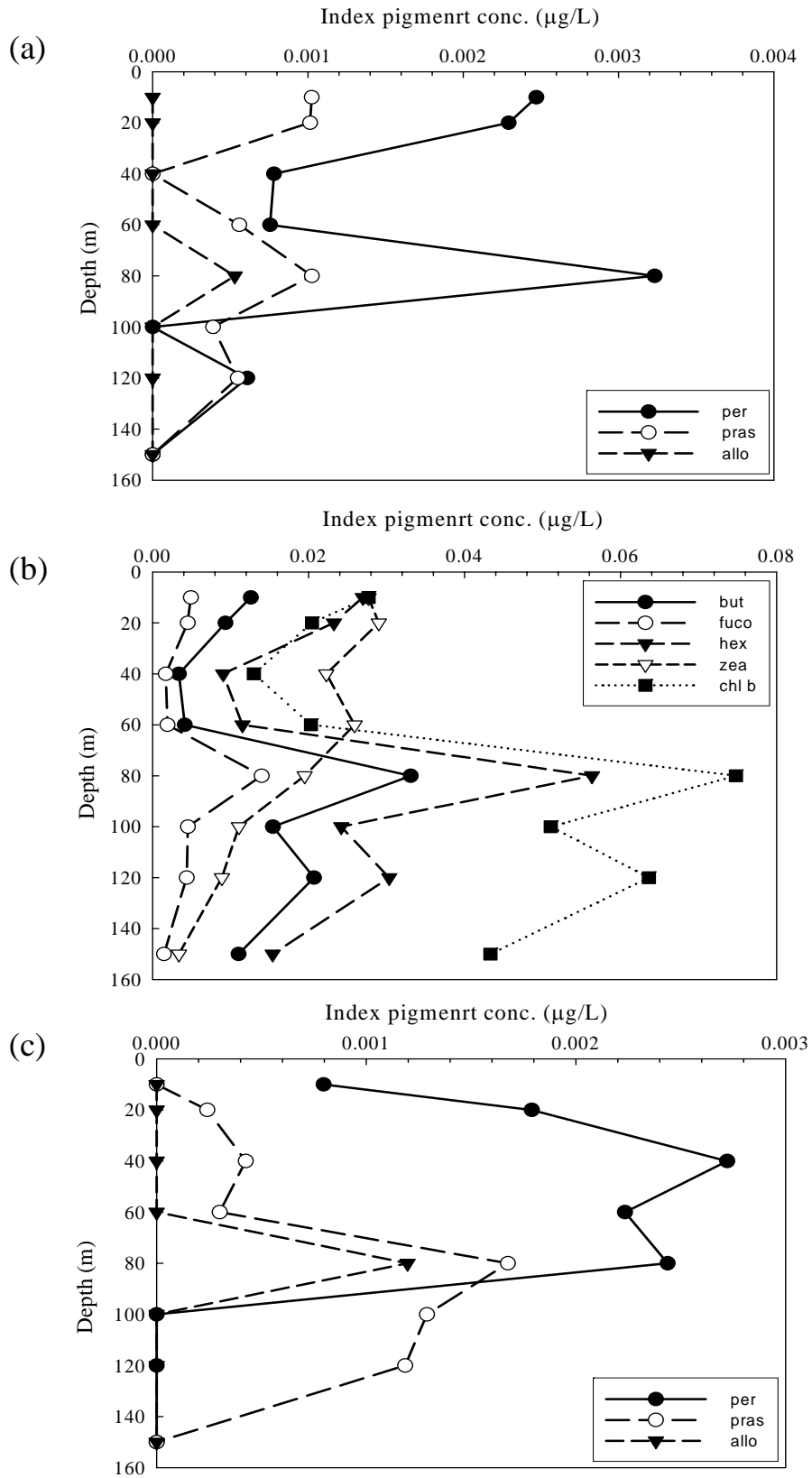


圖 13 西菲律賓海測站色素隨深度分布:(a)(b)測站 7 ; (c)(d)測站 4 ; (e)(f)測站 2 ; (g)(h)測站 1a。

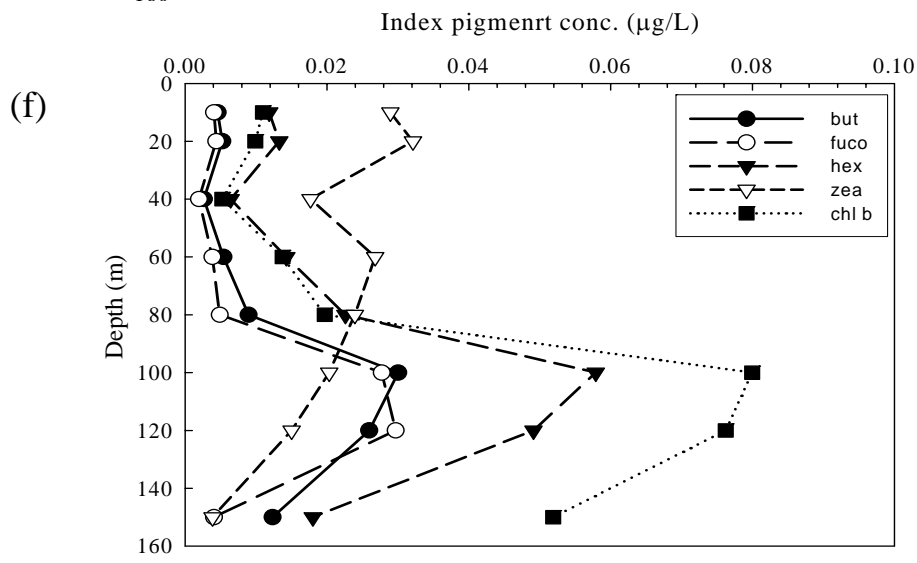
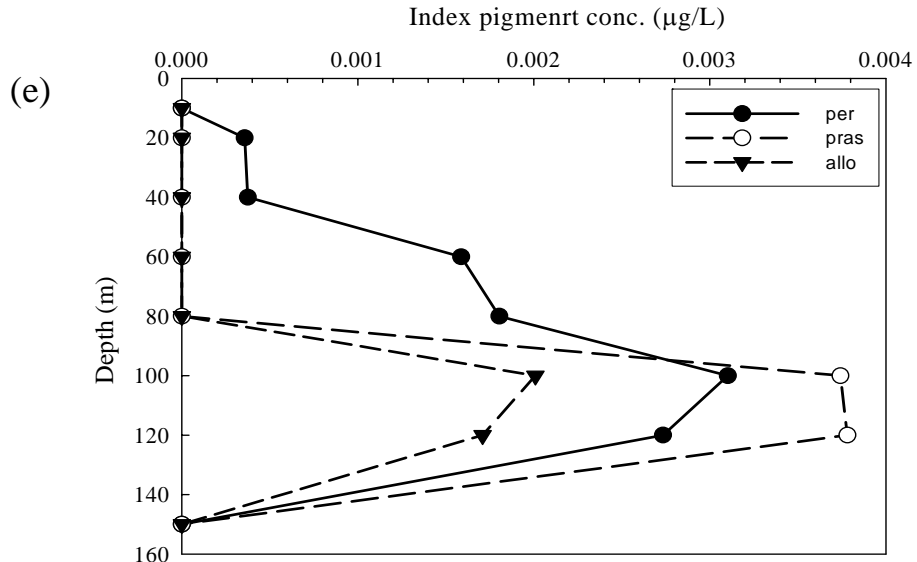
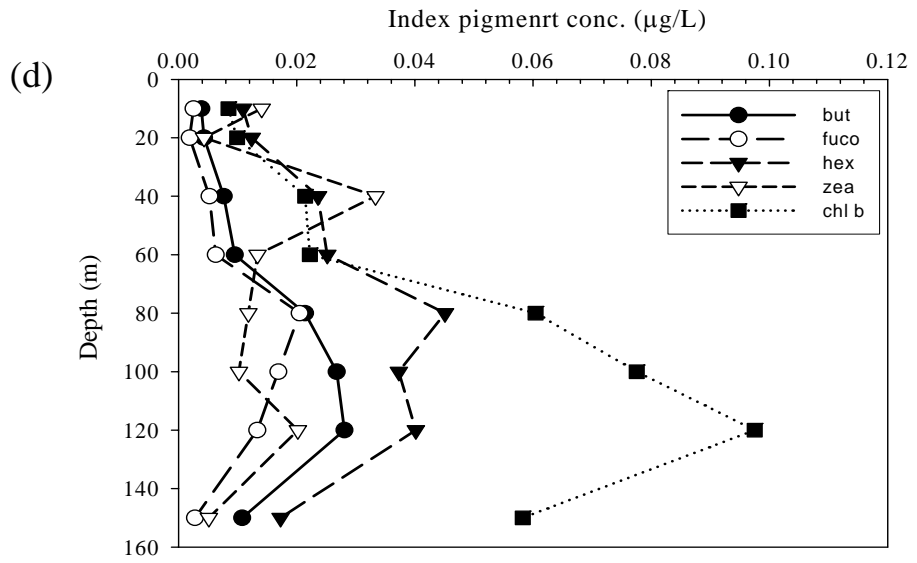


圖 13、續

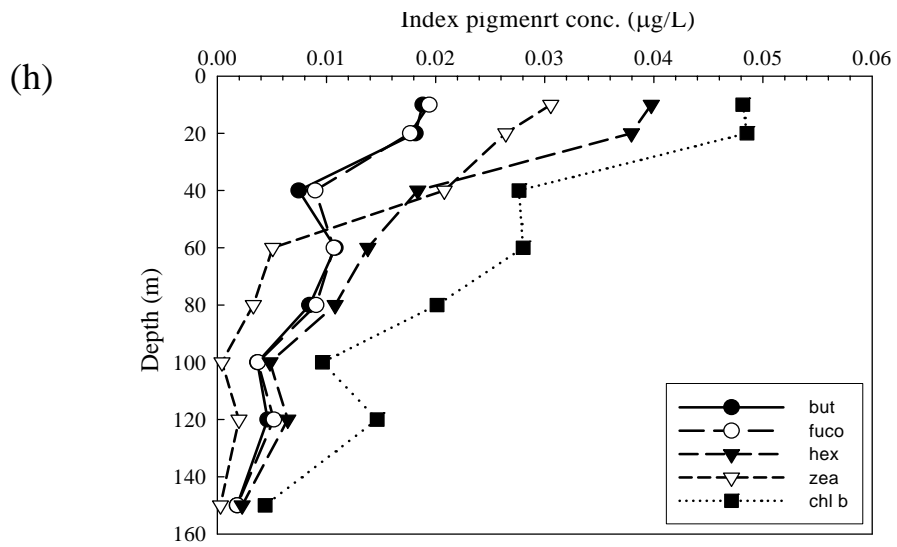
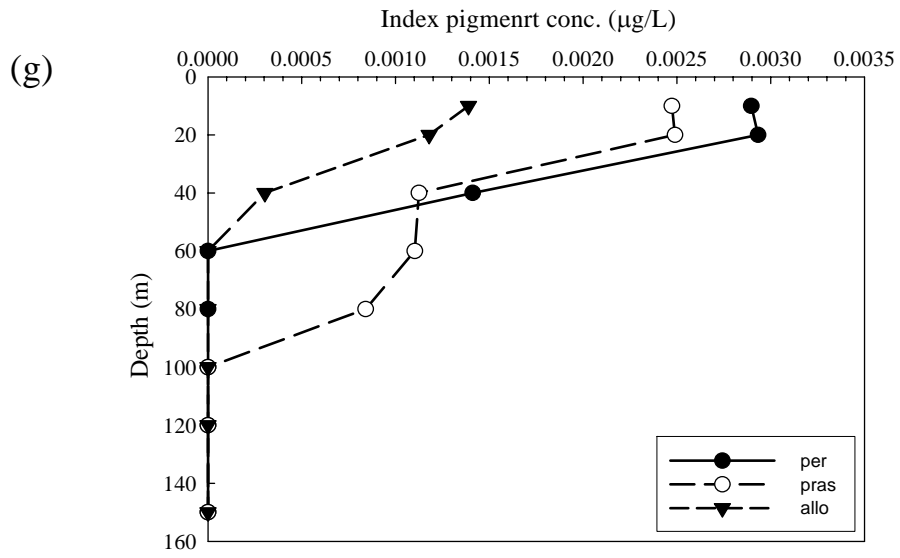


圖 13、續

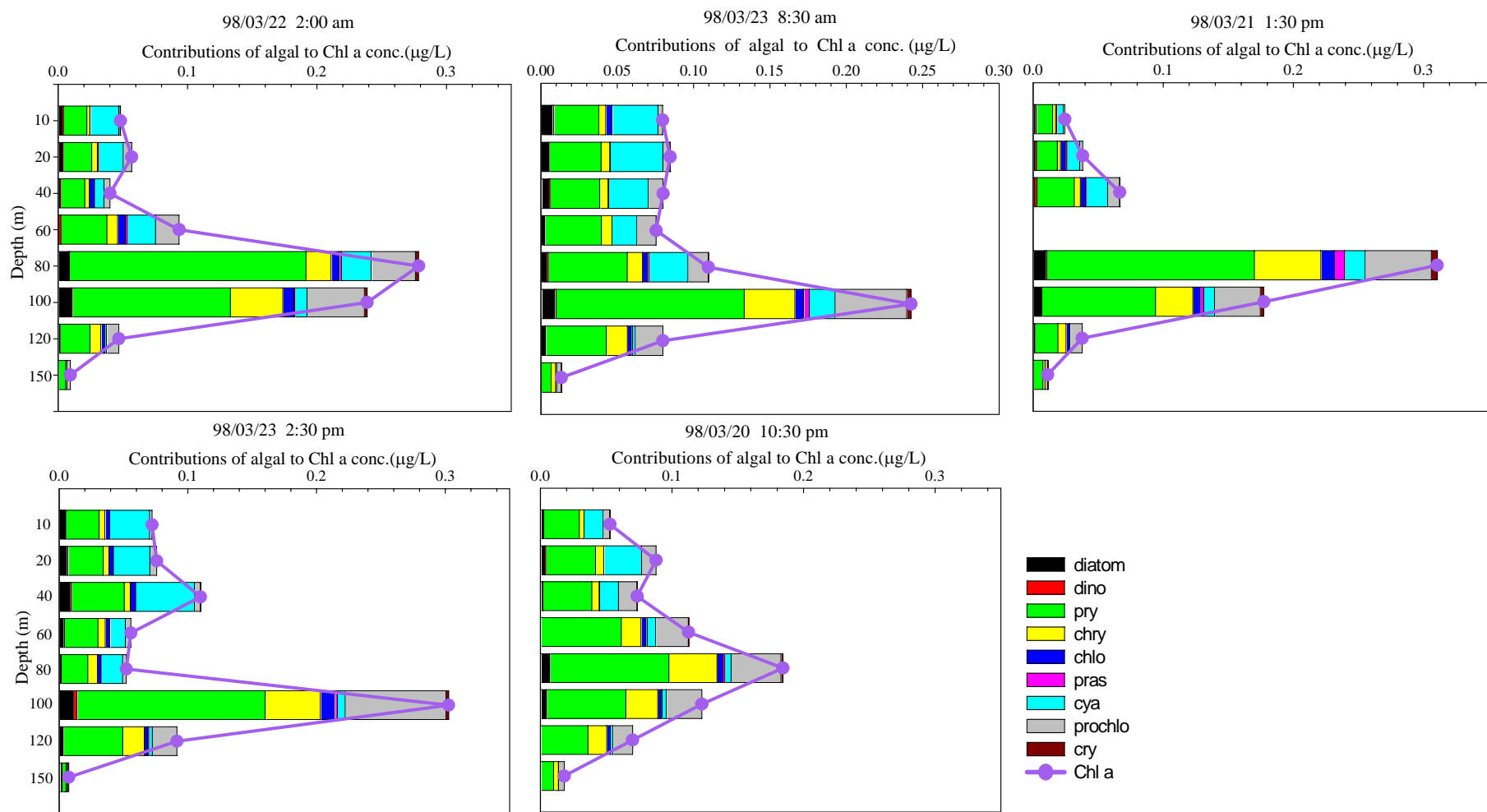


圖 14 西菲律賓海測站 30 於不同時間觀察其藻類族群結構隨深度變化。

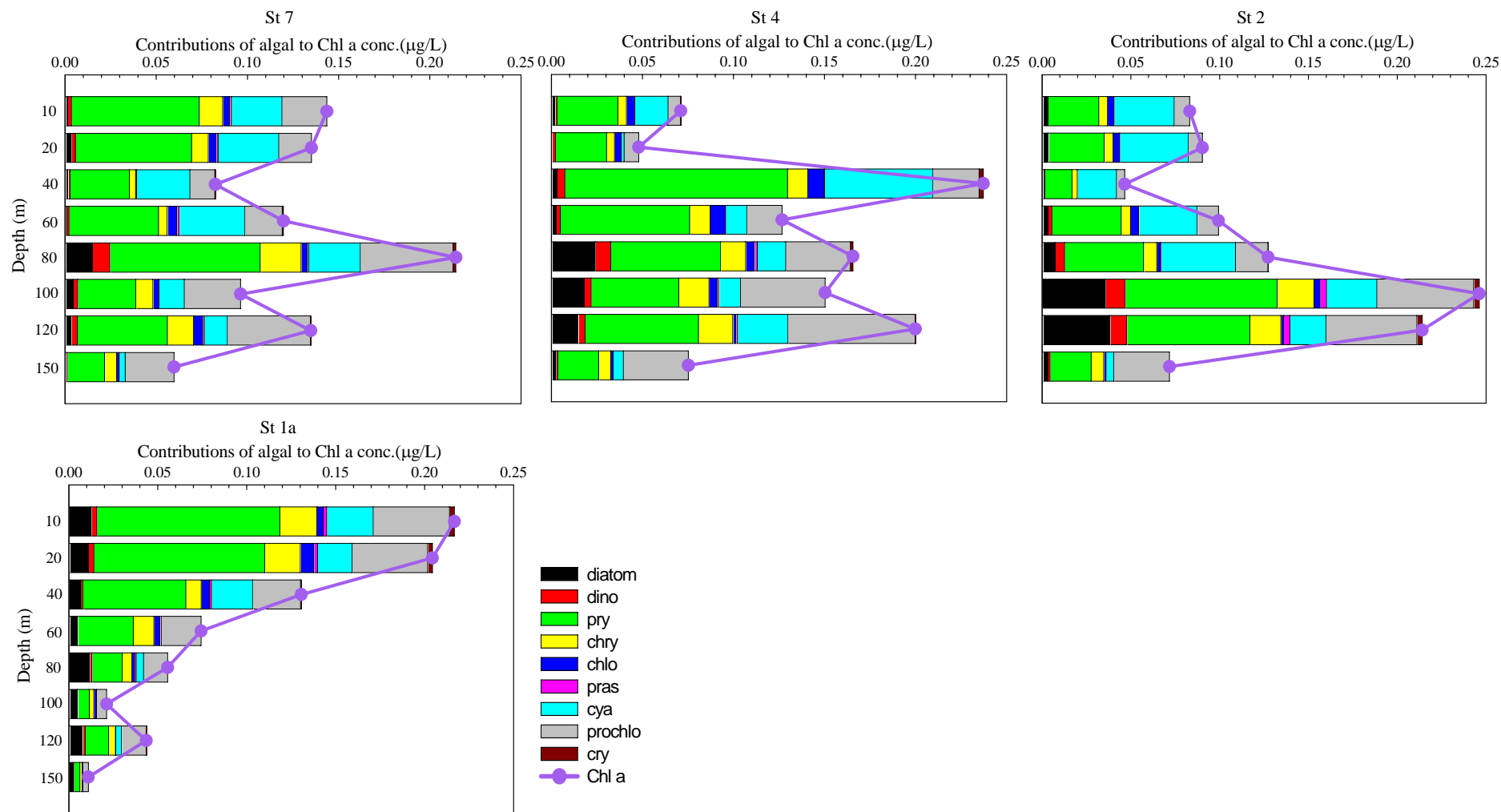


圖 15 西菲律賓海測站 7、4、2、1a 其藻類族群結構隨深度變化。

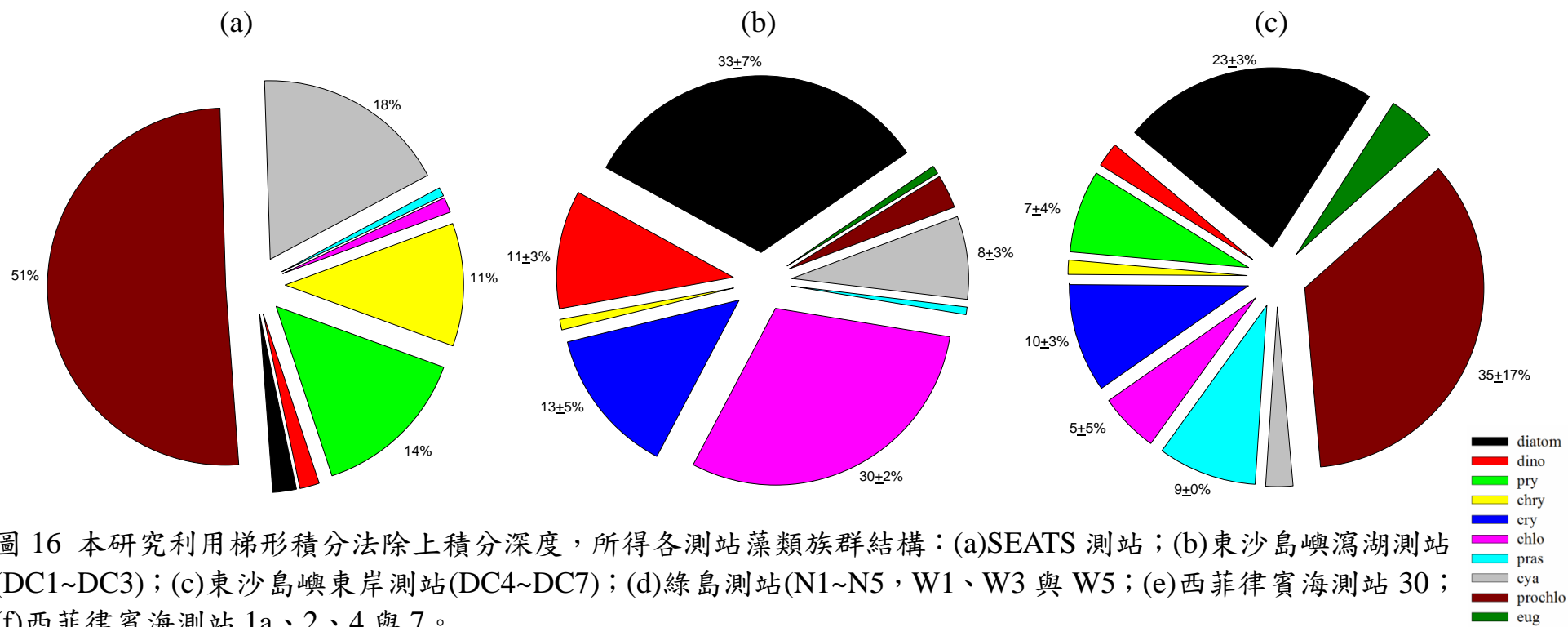


圖 16 本研究利用梯形積分法除上積分深度，所得各測站藻類族群結構：(a)SEATS 測站；(b)東沙島嶼瀉湖測站 (DC1~DC3)；(c)東沙島嶼東岸測站(DC4~DC7)；(d)綠島測站(N1~N5，W1、W3 與 W5)；(e)西菲律賓海測站 30；(f)西菲律賓海測站 1a、2、4 與 7。

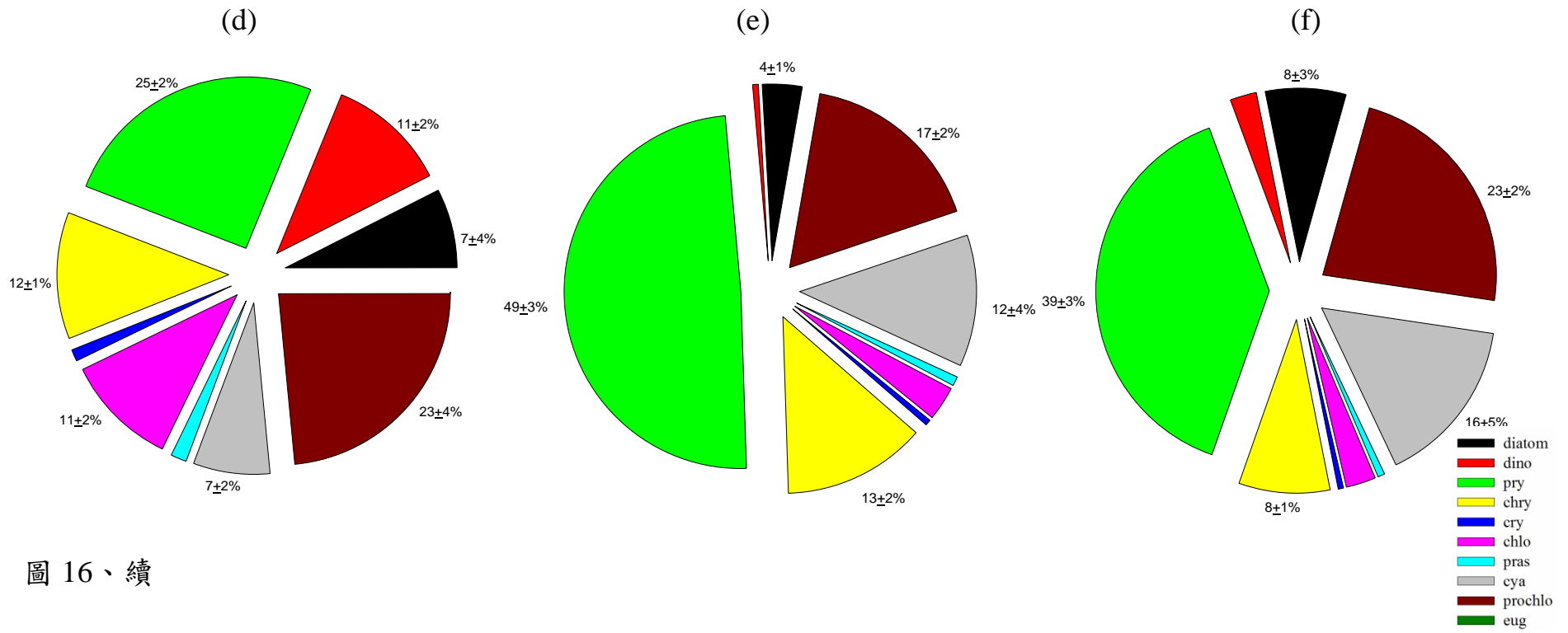


圖 16、續

表1.1 HPLC分析條件及梯度設定，其中A: 80% MeOH buffered with 0.5M ammonium acetate (pH=7.2)；B: 90% acetonitrile；C: 100% ethyl acetate (Wright *et al.* 1991)。

Time(min)	A (%)	B (%)	C (%)	Conditions
0	100	0	0	Injection
4	0	100	0	linear gradient
18	0	20	80	linear gradient
21	0	100	0	linear gradient
24	100	0	0	linear gradient
29	100	0	0	Equilibration

表 1.2 各藻種體內指紋色素分布，其中藻種代稱以括號內示之(Miki *et al.*, 2008)。

Algal signature pigment	Abbreviation	Corresponding phytoplankton group
Chlorophyll a	Chl. a	All groups except <i>prochlorococcus</i>
Fucoxanthin	fuco	diatom, <i>chrysophytes</i> (chry)
Peridinin	per	dinoflagellates(dino)
19'-hexanoyloxyfucoxanthin	hex	<i>prymnesiophytes</i> (pry)
19'-butanoyloxyfucoxanthin	but	<i>chrysophytes</i>
Diadinoxantn	diad	diatom, <i>chrysophytes</i> ,dinoflagellates, <i>prymnesiophytes</i>
Alloxanthin	allo	<i>Cryptophytes</i> (cry)
Violaxanthin	vio	<i>chlorophytes</i> (chlo), <i>prasinophytes</i>
Prasinoxanthin	pras	<i>Prasinophytes</i> (pras)
Zeaxanthin	zea	<i>cyanobacteria</i> (cya), <i>prochlorococcus</i> , <i>chlorophytes</i>
Chlorophyll b	Chl b	<i>chlorophytes</i> , <i>prasinophytes</i> , <i>euglenoids</i> (eug)
Divinyl chlorophyll a	DV Chl. a	<i>prochlorococcus</i>
Divinyl chlorophyll b	DV Chl b	<i>Prochlorococcus</i> (prochlo)

表 1.3 色素標準品濃度配置及各色素相對應之面積。n=3，單位濃度(μg/L)。

pigment	Conc.1	Conc.2	Conc.3	Conc.4	Conc.5	Conc.6	Slope	r ²						
chlc3	2.5	1034 ± 54	5.0	2049 ± 108	12.6	5399 ± 163	25.1	10522 ± 158	40.2	17161 ± 98	50.3	22345 ± 408	435	0.999
chlc2	2.7	2072 ± 43	5.5	4268 ± 11	13.7	10778 ± 149	27.5	22163 ± 17	43.9	37321 ± 21	54.9	46547 ± 154	841	0.999
peri	3.4	1047 ± 32	6.7	2092 ± 38	16.8	5407 ± 4	33.6	10717 ± 16	53.7	16743 ± 69	67.2	21383 ± 147	316	0.999
but	2.4	1160 ± 23	4.8	2291 ± 30	12.0	5668 ± 20	24.0	11158 ± 45	38.3	17474 ± 56	47.9	22266 ± 138	462	0.999
fuc	3.5	1663 ± 11	7.1	3225 ± 42	17.7	8327 ± 25	35.4	16432 ± 27	56.6	25756 ± 10	70.7	32799 ± 117	461	0.999
neo	2.5	1202 ± 26	4.9	2627 ± 76	12.4	6730 ± 36	24.7	13640 ± 214	39.6	24163 ± 15	49.5	29966 ± 11	598	0.998
hex	2.8	1136 ± 26	5.6	2384 ± 40	13.9	6288 ± 10	27.9	12153 ± 141	44.6	20652 ± 45	55.7	26101 ± 33	462	0.998
pras	2.9	1349 ± 18	5.9	2662 ± 2	14.7	6534 ± 53	29.4	13032 ± 70	47.0	20384 ± 29	58.7	25955 ± 81	440	0.999
vio	2.8	1743 ± 28	5.7	3485 ± 25	14.2	8711 ± 116	28.4	17454 ± 36	45.4	27306 ± 38	56.8	34754 ± 74	609	0.999
diadi	2.3	1443 ± 20	4.7	2825 ± 16	11.7	7190 ± 13	23.4	14432 ± 25	37.4	22539 ± 45	46.8	28642 ± 72	609	0.999
allo	2.6	1604 ± 9	5.2	3179 ± 47	12.9	7857 ± 35	25.8	15608 ± 10	41.3	24575 ± 85	51.7	31310 ± 47	602	0.999
diato	1.5	939 ± 35	3.0	1906 ± 29	7.6	4779 ± 32	15.2	9580 ± 10	24.4	15017 ± 80	30.5	19174 ± 73	625	0.999
lut	2.7	1705 ± 14	5.3	3352 ± 10	13.3	8317 ± 26	26.6	16756 ± 69	42.5	26141 ± 116	53.1	33308 ± 136	624	0.999
zea	2.3	1334 ± 13	4.7	2636 ± 27	11.6	6531 ± 92	23.3	13199 ± 113	37.2	20512 ± 185	46.6	26095 ± 215	558	0.999
carotene*	4.3	2223 ± 21	8.7	4738 ± 42	21.7	12103 ± 11	43.5	24705 ± 43	69.6	39050 ± 163	87.0	49630 ± 101	567	0.999
Chl b			4.8	1017 ± 44	9.6	1908 ± 21	19.1	3622 ± 24	76.4	14591 ± 101	114.6	21823 ± 67	190	0.999
Chl. a			4.1	1084 ± 32	8.1	2174 ± 5	16.1	3508 ± 9	32.3	8528 ± 125	64.6	16342 ± 94	254	0.997

carotene* 為α、β-carotene 總和

表 1.4、樣品前處理方式之測試結果(n=3)。前處理步驟測試：(A)為冷凍乾燥樣品(overnight)，再進行超音波萃取 1 小時(0°C)後上機分析；(B)冷凍乾燥樣品，進行超音波萃取 1 小時(0°C)，再冷凍萃取 18 小時(-20°C)後上機分析；(C)不經冷凍乾燥樣品，直接將樣品進行超音波萃取 1 小時(0°C)，再冷凍萃取 18 小時(-20°C)後上機分析；(D)為樣品先經螢光光度計測量樣品中的 Chl. a 含量，再與 HPLC 分析結果比對。(何東垣實驗室，未發表資料)

A.

conc.(µg/L)	2m_average	RSD	15m_average	RSD
Chl C3	0.05±0.00	0.02	0.02±0.00	0.07
Chl C2	0.25±0.00	0.01	0.08±0.00	0.02
Fucoanthin	0.25±0.01	0.03	0.14±0.00	0.00
Prasinanthin	0.02±0.00	0.16	ND	ND
Violanthin	0.02±0.00	0.01	0.02±0.00	ND
Diadinoxanthin	0.07±0.00	0.04	0.04±0.00	0.01
Alloxanthin	0.53±0.02	0.03	0.14±0.00	0.00
Diatoxanthin	0.05±0.00	0.04	0.02±0.00	0.20
Lutein	0.02±0.00	0.11	0.01±0.00	0.05
Zeaxanthin	0.33±0.01	0.02	0.16±0.00	0.03
Chl b	0.03±0.00	0.04	ND	ND
Chl. a	2.64±0.04	0.02	1.09±0.02	0.02
carotene	0.16±0.01	0.04	0.06±0.01	0.08

B.

conc.(µg/L)	2m_average	RSD	15m_average	RSD
Chl C3	0.03±0.02	0.60	0.02±0.00	0.14
Chl C2	0.21±0.01	0.04	0.08±0.00	0.04
Fucoanthin	0.23±0.00	0.02	0.15±0.00	0.04
Neoxanthin	0.01±0.00	0.22	ND	ND
Violanthin	0.02±0.01	0.50	0.02±0.00	0.19
Diadinoxanthin	0.06±0.00	0.06	0.04±0.00	0.04
Alloxanthin	0.28±0.23	0.81	0.08±0.09	1.09
Diatoxanthin	0.05±0.01	0.33	0.02±0.02	0.73
Lutein	0.02±0.00	0.05	ND	ND
Zeaxanthin	0.34±0.01	0.02	0.01±0.00	0.04
Chl b	0.05±0.00	0.07	ND	ND
Chl. a	1.59±1.35	0.85	1.19±0.04	0.04
carotene	0.14±0.00	0.03	0.07±0.00	0.04

表 1.4 續

C.

conc.($\mu\text{g/L}$)	2m_average	RSD	15m_average	RSD
Chl C3	0.06 \pm 0.01	0.22	ND	ND
Chl C2	0.17 \pm 0.02	0.12	ND	ND
Fucoxanthin	0.16 \pm 0.03	0.17	ND	ND
Neoxanthin	0.01 \pm 0.00	0.24	ND	ND
Prasinoxanthin	0.01 \pm 0.00	0.06	ND	ND
Violaxanthin	0.04 \pm 0.00	0.06	0.01 \pm 0.00	0.23
Diadinoxanthin	0.05 \pm 0.01	0.24	ND	ND
Alloxanthin	0.31 \pm 0.09	0.27	ND	ND
Diatoxanthin	0.04 \pm 0.01	0.27	ND	ND
Lutein	0.02 \pm 0.01	0.34	ND	ND
Zeaxanthin	0.24 \pm 0.08	0.35	ND	ND
Chl b	0.06 \pm 0.01	0.14	ND	ND
Chl. a	1.92 \pm 0.31	0.16	0.05 \pm 0.02	0.45
carotene	0.14 \pm 0.06	0.40	ND	ND

D. 螢光光度計分析結果

Depth	Flu	HPLC
2m	2.87	2.64 \pm 0.04
15m	0.06	1.09 \pm 0.02

表 1.5 初始藻類色素比值(Miki *et al.*, 2008 and Mackey *et al.*, 1996)

input	per	but	fuco	hex	pras	neo	vio	diad	allo	diat	lut	zea	chlb	chla
diatom	0	0	0.750	0	0	0	0	0.050	0	0	0	0	0	1
dino	1.100	0	0	0	0	0	0	0.240	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	1.700	0	0	0	0.100	0	0	0	0	0	1
chry	0	0.760	0.350	0	0	0	0	0.190	0	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	0.055	0	0	0.060	0.283	0	0.260	1
pras	0	0	0	0	0.360	0.110	0.011	0	0	0.060	0.086	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.800	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.320	0.420	1
eug	0	0	0	0	0	0.150	0	0	0	0	0	0	0.406	1

表 1.6 研究區域進行 CHEMTAX 運算前之分類

海域	航次	深度(m)	測站
南海	OR1_866	<60	1、2、4、6、11、12、14、16、 、18、22、26、27、28、kk1
		>60	SEATS
西菲律賓海	OR1_892	<60	30、7、4、2、1a
		>60	30、7、4、2、2a
東沙	OR3_1293	<60	DC1~DC7
		>60	D4、D8
綠島	OR2_1584	<60	N1~N5、W1、W3、W5
		>60	N1~N5、W1、W3、W6

附錄 1、南海北部海域表水測站及 SEATS 測站，其深度 60m 以淺之重覆運算所得最終(a)輸入色素比值(input pigment ratio)；(b)輸出色素比值(output pigment ratio)；(c)輸入與輸出色素比值之變化百分比。

(a)	per	but	fuco	hex	pras	neo	vio	diad	allo	diat	lut	zea	chlb	chla
diatom	0	0	0.407	0	0	0	0	0.081	0	0	0	0	0	1
dino	1.100	0	0	0	0	0	0	0.240	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	1.700	0	0	0	0.010	0	0	0	0	0	1
chry	0	0.760	0.350	0	0	0	0	0.257	0	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	0.055	0	0	0.006	0.283	0	0.260	1
pras	0	0	0	0	0.360	0.110	0.011	0	0	0.060	0.286	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.060	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.095	0.309	1
(b)														
diatom	0	0	0.503	0	0	0	0	0.100	0	0	0	0	0	1
dino	1.100	0	0	0	0	0	0	0.240	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	1.700	0	0	0	0.010	0	0	0	0	0	1
chry	0	0.760	0.350	0	0	0	0	0.277	0	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	0.055	0	0	0.006	0.283	0	0.260	1
pras	0	0	0	0	0.360	0.110	0.011	0	0	0.060	0.286	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.688	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.095	0.404	1
(c)														
diatom	0	0	15	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	-7
dino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pry	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
chry	0	-1	-1	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	-1
chlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-21	0	22
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-6	22	-6

附錄 2、為 SEATS 測站其深度深於 60m 重覆運算所得最終(a)輸入色素比值(input pigment ratio)；(b)輸出色素比值(output pigment ratio)；(c)輸入與輸出色素比值之變化百分比。

(a)	per	but	fuco	hex	pras	neo	vio	diad	allo	diat	lut	zea	chlb	chla
diatom	0	0	0.75	0	0	0	0	0.050	0	0	0	0	0	1
dino	1.100	0	0	0	0	0	0	0.240	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	0.653	0	0	0	0.012	0	0	0	0	0	1
chry	0	3.630	0.337	0	0	0	0	0.031	0	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	0.055	0	0	0.006	0.283	0	0.260	1
pras	0	0	0	0	0.259	0.105	0.011	0	0	0.435	0.086	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.800	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.039	2.528	1
(b)														
diatom	0	0	0.75	0	0	0	0	0.050	0	0	0	0	0	1
dino	1.100	0	0	0	0	0	0	0.240	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	0.653	0	0	0	0.010	0	0	0	0	0	1
chry	0	4.678	0.337	0	0	0	0	0.031	0	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	0.055	0	0	0.006	0.283	0	0.260	1
pras	0	0	0	0	0.259	0.080	0.011	0	0	0.479	0.086	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.800	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.032	2.528	1
(c)														
diatom	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pry	0	0	0	0	0	0	0	-18	0	0	0	0	0	0
chry	0	7	-17	0	0	0	0	-17	0	0	0	0	0	-17
chlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pras	0	0	0	0	-1	-24	-1	0	0	9	-1	0	0	-1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-18	0	0

附錄 3、東沙島嶼表水測站及 d4、d8 測站其深度 60m 以淺之重覆運算所得最終(a)輸入色素比值(input pigment ratio)；(b)輸出色素比值(output pigment ratio)；(c)輸入與輸出色素比值之變化百分比。

(a)	per	but	fuco	hex	pras	neo	vio	diad	allo	diat	lut	zea	chlb	chla
diatom	0	0	0.845	0	0	0	0	0.155	0	0	0	0	0	1
dino	1.100	0	0	0	0	0	0	0.240	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	1.843	0	0	0	0.100	0	0	0	0	0	1
chry	0	0.760	0.350	0	0	0	0	0.059	0	0	0	0	0	1
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0.230	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	0.055	0	0	0.156	0.164	0	0.260	1
pras	0	0	0	0	0.809	0.110	0.011	0	0	0.060	0.86	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.073	0	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.264	0.476	0	1
eug	0	0	0	0	0	0.217	0	0	0	0	0	0	0.587	1
(b)														
diatom	0	0	0.845	0	0	0	0	0.164	0	0	0	0	0	1
dino	1.100	0	0	0	0	0	0	0.240	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	1.985	0	0	0	0.096	0	0	0	0	0	1
chry	0	0.760	0.350	0	0	0	0	0.059	0	0	0	0	0	1
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0.230	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	0.055	0	0	0.159	0.164	0	0.260	1
pras	0	0	0	0	0.986	0.110	0.011	0	0	0.060	0.086	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.405	0	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.236	0.476	1
eug	0	0	0	0	0	0.323	0	0	0	0	0	0	0.874	1
(c)														
diatom	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
dino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pry	0	0	0	3	0	0	0	-8	0	0	0	0	0	-4
chry	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
chlo	0	0	0	0	0	0	8	0	0	1	-0	0	0	0
pras	0	0	0	0	12	-8	-8	0	0	-8	-8	0	0	-8
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	-8
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-9	2	2
eug	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	22	-18

附錄 4、東沙島嶼 d4、d8 測站其深度深於 60m 重覆運算所得最終(a)輸入色素比值(input pigment ratio)；(b)輸出色素比值(output pigment ratio)；(c)輸入與輸出色素比值之變化百分比。

(a)	per	but	fuco	hex	pras	neo	vio	diad	allo	diat	lut	zea	chlb	chla
diatom	0	0	0.884	0	0	0	0	0.033	0	0	0	0	0	1
dino	1.103	0	0	0	0	0	0	0.046	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	2.348	0	0	0	0.100	0	0	0	0	0	1
chry	0	2.885	0.350	0	0	0	0	0.050	0	0	0	0	0	1
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0.230	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	1.089	0	0	0.055	0.051	0	1.695	1
pras	0	0	0	0	0.360	0.085	0.011	0	0	0.233	0.082	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.800	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.031	0.653	1
eug	0	0	0	0	0	0.150	0	0	0	0	0	0	0.406	1
(b)														
diatom	0	0	0.915	0	0	0	0	0.033	0	0	0	0	0	1
dino	1.103	0	0	0	0	0	0	0.037	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	2.410	0	0	0	0.103	0	0	0	0	0	1
chry	0	3.217	0.350	0	0	0	0	0.050	0	0	0	0	0	1
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0.230	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	1.221	0	0	0.055	0.051	0	1.695	1
pras	0	0	0	0	0.395	0.085	0.011	0	0	0.289	0.082	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.800	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.027	0.653	1
eug	0	0	0	0	0	0.150	0	0	0	0	0	0	0.406	1
(c)														
diatom	0	0	2	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	-2
dino	0	0	0	0	0	0	0	-20	0	0	0	0	0	0
pry	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-2
chry	0	3	-7	0	0	0	0	-7	0	0	0	0	0	-7
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
chlo	0	0	0	0	0	0	8	0	0	-3	-3	0	-3	-3
pras	0	0	0	0	4	-5	-5	0	0	18	-5	0	0	-5
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-12	0	0
eug	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

附錄 5、綠島測站深度 60m 以淺之重覆運算所得最終((a)輸入色素比值(input pigment ratio)；(b)輸出色素比值(output pigment ratio)；(c)輸入與輸出色素比值之變化百分比。

(a)	per	but	fuco	hex	pras	neo	vio	diad	allo	diat	lut	zea	chlb	chla
diatom	0	0	0.771	0	0	0	0	0.447	0	0	0	0	0	1
dino	1.150	0	0	0	0	0	0	0.042	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	0.236	0	0	0	0.005	0	0	0	0	0	1
chry	0	1.709	1.945	0	0	0	0	0.260	0	0	0	0	0	1
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0.230	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	0.014	0	0	0.010	0.006	0	0.734	1
pras	0	0	0	0	0.358	0.033	0.010	0	0	0.012	0.279	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.626	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.583	2.076	1
(b)														
diatom	0	0	0.771	0	0	0	0	0.447	0	0	0	0	0	1
dino	1.150	0	0	0	0	0	0	0.042	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	0.236	0	0	0	0.005	0	0	0	0	0	1
chry	0	1.744	1.944	0	0	0	0	0.195	0	0	0	0	0	1
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0.230	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	0.013	0	0	0.010	0.006	0	0.962	1
pras	0	0	0	0	0.294	0.026	0.009	0	0	0.010	0.241	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.626	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.583	2.076	1
(c)														
diatom	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pry	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
chry	0	3	1	0	0	0	0	-25	0	0	0	0	0	1
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
chlo	0	0	0	0	0	0	-17	0	0	-11	0	-11	16	-11
pras	0	0	0	0	-12	-15	-8	0	0	-12	0	-8	0	7
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

附錄 6、綠島測站其深度深於 60m 重覆運算所得最終(a)輸入色素比值 (input pigment ratio)；(b)輸出色素比值(output pigment ratio)；(c)輸入與輸出色素比值之變化百分比。

(a)	per	but	fuco	hex	pras	neo	vio	diad	allo	diat	lut	zea	chlb	chla
diatom	0	0	0.719	0	0	0	0	0.538	0	0	0	0	0	1
dino	1.150	0	0	0	0	0	0	0.042	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	0	0.362	0	0	0.007	0	0	0	0	0	1
chry	0	1.622	1.360	0	0	0	0	0.013	0	0	0	0	0	1
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0.230	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	0.023	0	0	0.202	0.011	0	0.274	1
pras	0	0	0	0.037	0	1.455	0.011	0	0	0.076	0.031	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.626	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.053	2.840	1
(b)														
diatom	0	0	0.581	0	0	0	0	0.634	0	0	0	0	0	1
dino	1.150	0	0	0	0	0	0	0.042	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	0	0.362	0	0	0.006	0	0	0	0	0	1
chry	0	1.556	1.360	0	0	0	0	0.013	0	0	0	0	0	1
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0.230	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	0.028	0	0	0.247	0.013	0	0.336	1
pras	0	0	0	0.037	0	1.455	0.011	0	0	0.076	0.031	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.626	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.044	2.919	1
(c)														
diatom	0	0	-18	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	2
dino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pry	0	0	0	0	0	0	0	-17	0	0	0	0	0	0
chry	0	-2	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
chlo	0	0	0	0	0	0	14	0	0	14	14	0	14	-7
pras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-17	1	-2

附錄 7、西菲律賓海測站 30 深度 60m 以淺之重覆運算所得最終(a)輸入色素比值(input pigment ratio)；(b)輸出色素比值(output pigment ratio)；(c)輸入與輸出色素比值之變化百分比。

(a)	per	but	fuco	hex	neo	pras	vio	diad	allo	diat	lut	zea	chlb	chla
diatom	0	0	0.771	0	0	0	0	0.447	0	0	0	0	0	1
dino	1.150	0	0	0	0	0	0	0.042	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	0.236	0	0	0	0.005	0	0	0	0	0	1
chry	0	1.709	0.747	0	0	0	0	0.319	0	0	0	0	0	1
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0.230	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	0.022	0	0	0.192	0.010	0	0.260	1
pras	0	0	0	0	0.037	1.455	0.011	0	0	0.076	0.031	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.626	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.583	2.076	1
(b)														
diatom	0	0	0.771	0	0	0	0	0.456	0	0	0	0	0	1
dino	1.150	0	0	0	0	0	0	0.042	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	0.226	0	0	0	0.004	0	0	0	0	0	1
chry	0	2.271	0.993	0	0	0	0	0.424	0	0	0	0	0	1
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0.230	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	0.022	0	0	0.213	0.010	0	0.260	1
pras	0	0	0	0	0.037	1.541	0.011	0	0	0.076	0.031	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.685	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.081	2.729	1
(c)														
diatom	0	0	-1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	-1
dino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pry	0	0	0	-4	0	0	0	-21	0	0	0	0	0	1
chry	0	7	7	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	-19
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
chlo	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	10	0	-1	-1
pras	0	0	0	0	-3	0	3	-3	0	-3	-3	0	0	-3
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-2
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	-20

附錄 8、西菲律賓海測站 30 深度深於 60m 重覆運算所得最終(a)輸入色素比值(input pigment ratio)；(b)輸出色素比值(output pigment ratio)；(c)輸入與輸出色素比值之變化百分比。

(a)	per	but	fuco	hex	neo	pras	vio	diad	allo	diat	lut	zea	chlb	chla
diatom	0	0	0.008	0	0	0	0	0.374	0	0	0	0	0	1
dino	1.150	0	0	0	0	0	0	0.042	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	0.316	0	0	0	0.002	0	0	0	0	0	1
chry	0	3.587	0.815	0	0	0	0	0.039	0	0	0	0	0	1
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0.230	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	0.028	0	0	0.247	0.013	0	0.335	1
pras	0	0	0	0	0.037	1.455	0.011	0	0	0.076	0.031	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.626	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.101	6.492	1
(b)														
diatom	0	0	0.008	0	0	0	0	0.337	0	0	0	0	0	1
dino	1.150	0	0	0	0	0	0	0.042	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	0.311	0	0	0	0.002	0	0	0	0	0	1
chry	0	4.240	0.963	0	0	0	0	0.035	0	0	0	0	0	1
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0.230	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	0.031	0	0	0.297	0.014	0	0.402	1
pras	0	0	0	0	0.037	1.455	0.011	0	0	0.076	0.031	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.626	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.101	6.887	1
(c)														
diatom	0	0	-7	0	0	0	0	-7	0	0	0	0	0	3
dino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pry	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
chry	0	3	3	0	0	0	0	-21	0	0	0	0	0	-13
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
chlo	0	0	0	0	0	0	12	0	0	12	12	0	12	-7
pras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	0	0	0
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-20	4	-20

附錄 9、西菲律賓海測站 7、4、2 與 1a 深度 60m 以淺之重覆運算所得最終(a)輸入色素比值(input pigment ratio)；(b)輸出色素比值(output pigment ratio)；(c)輸入與輸出色素比值之變化百分比。

(a)	per	but	fuco	hex	neo	pras	vio	diad	allo	diat	lut	zea	chlb	chla
diatom	0	0	0.771	0	0	0	0	0.447	0	0	0	0	0	1
dino	1.150	0	0	0	0	0	0	0.042	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	0.26	0	0	0	0.006	0	0	0	0	0	1
chry	0	1.722	0.976	0	0	0	0	0.053	0	0	0	0	0	1
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0.230	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	0.022	0	0	0.192	0.010	0	0.260	1
pras	0	0	0	0	0.037	1.455	0.011	0	0	0.076	0.031	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.831	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.489	2.076	1
(b)														
diatom	0	0	0.974	0	0	0	0	0.419	0	0	0	0	0	1
dino	1.150	0	0	0	0	0	0	0.042	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	0.264	0	0	0	0.006	0	0	0	0	0	1
chry	0	2.454	1.183	0	0	0	0	0.064	0	0	0	0	0	1
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0.230	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	0.024	0	0	0.208	0.011	0	0.282	1
pras	0	0	0	0	0.037	1.455	0.011	0	0	0.076	0.031	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.755	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.489	2.283	1
(c)														
diatom	0	0	17	0	0	0	0	-13	0	0	0	0	0	7
dino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pry	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
chry	0	14	-3	0	0	0	0	-3	0	0	0	0	0	-20
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
chlo	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5	5	0	5	-3
pras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5	0	4
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-6	4	-6

附錄 10、西菲律賓海測站 7、4、2 與 1a 深度深於 60m 重覆運算所得最終(a)輸入色素比值(input pigment ratio)；(b)輸出色素比值(output pigment ratio)；(c)輸入與輸出色素比值之變化百分比。

(a)	per	but	fuco	hex	neo	pras	vio	diad	allo	diat	lut	zea	chlb	chla
diatom	0	0	0.583	0	0	0	0	0.003	0	0	0	0	0	1
dino	0.161	0	0	0	0	0	0	0.325	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	0	0.479	0	0	0.009	0	0	0	0	0	1
chry	0	3.858	0.366	0	0	0	0	0.009	0	0	0	0	0	1
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0.459	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	0.148	0	0	1.029	0.043	0	1.397	1
pras	0	0	0	0.037	0	1.455	0.011	0	0	0.076	0.031	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.540	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.035	2.377	1
(b)														
diatom	0	0	0.556	0	0	0	0	0.003	0	0	0	0	0	1
dino	0.167	0	0	0	0	0	0	0.364	0	0	0	0	0	1
pry	0	0	0	0	0.495	0	0	0.007	0	0	0	0	0	1
chry	0	3.858	0.366	0	0	0	0	0.009	0	0	0	0	0	1
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0.459	0	0	0	0	1
chlo	0	0	0	0	0	0	0.195	0	0	1.324	0.051	0	1.797	1
pras	0	0	0	0.037	0	1.455	0.011	0	0	0.076	0.031	0	0	1
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.512	0	1
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.028	2.329	1
(c)														
diatom	0	0	-3	0	0	0	0	-3	0	0	0	0	0	2
dino	1	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	-3
pry	0	0	0	2	0	0	0	-18	0	0	0	0	0	-1
chry	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cry	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
chlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	-1	0	7	-17
pras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cya	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	0	2
prochlo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-18	0	2