

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第10期 Vol.34 No.10 **2014**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 10 期 2014 年 5 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 景观可持续性与景观可持续性科学..... 赵文武,房学宁 (2453)
- 生态系统服务付费的诊断框架及案例剖析 朱文博,王 阳,李双成 (2460)
- 湿地植物根表铁膜研究进展..... 刘春英,陈春丽,弓晓峰,等 (2470)
- 水生生态环境中捕食信息素的生态学效应..... 覃光球,卢豪良,唐振柱,等 (2481)
- 脊椎动物传播植物肉质果中的次生物质及其生态作用 潘 扬,罗 芳,鲁长虎 (2490)

个体与基础生态

- 中亚热带天然林土壤 CH_4 吸收速率对模拟 N 沉降的响应 陈朝琪,杨智杰,刘小飞,等 (2498)
- 塔里木盆地南缘早生芦苇生态特征与水盐因子关系..... 贡 璐,朱美玲,塔西甫拉提·特依拜,等 (2509)
- 黄刺玫叶片光合生理参数的土壤水分阈值响应及其生产力分级..... 张淑勇,夏江宝,张光灿,等 (2519)
- 亚热带杉木和米老排人工林土壤呼吸对凋落物去除和交换的响应..... 余再鹏,万晓华,胡振宏,等 (2529)
- 施钾提高蚜害诱导的小麦茉莉酸含量和叶片相关防御酶活性..... 王 伟,张月玲,苏建伟,等 (2539)
- 高浓度 O_3 及太阳辐射减弱对冬小麦 PS II 光合活性及光能耗散的影响 孙 健,郑有飞,吴荣军,等 (2548)
- 蜡样芽孢杆菌 B3-7 在大田小麦根部的定殖动态及其对小麦纹枯病的防治效果 黄秋斌,张 颖,刘凤英,等 (2559)
- 有限供水下冬小麦全程耗水特征定量研究..... 张兴娟,薛绪掌,郭文忠,等 (2567)
- 抗真菌转基因水稻生态适合度评价..... 李 伟,郭建夫,袁红旭,等 (2581)
- 花生叶片蛋白组对 UV-B 辐射增强的响应 杜照奎,李钧敏,钟章成,等 (2589)
- 南海南部悬浮颗粒物脂肪酸组成..... 刘华雪,柯常亮,李纯厚,等 (2599)
- 年龄、集群、生境及天气对鄱阳湖白鹤越冬期日间行为模式的影响..... 袁芳凯,李言阔,李凤山,等 (2608)
- [树]麻雀羽再生的能量预算和水代谢散热调节 杨志宏,吴庆明,杨 渺,等 (2617)
- 低剂量杀虫剂对星豹蛛捕食效应的影响及其机理 李 锐,李 娜,刘 佳,等 (2629)
- 空心莲子草叶甲对越冬保护的响应与控害效能..... 刘雨芳,王秀秀,李 菲,等 (2638)
- ### 种群、群落和生态系统
- 气候变化对鄱阳湖白鹤越冬种群数量变化的影响..... 李言阔,钱法文,单继红,等 (2645)
- 不同退耕年限下菜子湖湿地土壤磷素组分特征变化..... 刘文静,张平究,董国政,等 (2654)

查干湖湿地浮游植物与环境因子关系的多元分析	李然然,章光新,张 蕾 (2663)
闽江河口区淡水和半咸水潮汐沼泽湿地土壤产甲烷菌多样性.....	曾志华,杨民和,余晨兴,等 (2674)
环境及遗传背景对延河流域植物叶片和细根功能性状变异的影响.....	郑 颖,温仲明,宋 光,等 (2682)
衡阳紫色土丘陵坡地植被恢复阶段土壤特性的演变.....	杨 宁,邹冬生,杨满元,等 (2693)
海平面上升影响下广西钦州湾红树林脆弱性评价.....	李莎莎,孟宪伟,葛振鸣,等 (2702)
中国南方 3 种主要人工林生物量和生产力的动态变化.....	杜 虎,曾馥平,王克林,等 (2712)
杉木人工林土壤真菌遗传多样性.....	何苑擘,周国英,王圣洁,等 (2725)
科尔沁固定沙地植被特征对降雨变化的响应.....	张腊梅,刘新平,赵学勇,等 (2737)
黄土丘陵区退耕还林地刺槐人工林碳储量及分配规律.....	申家朋,张文辉 (2746)
景观、区域和全球生态	
南亚热带森林演替过程中小气候的改变及对气候变化的响应.....	刘效东,周国逸,陈修治,等 (2755)
黄淮海平原典型站点冬小麦生育阶段的干旱特征及气候趋势的影响.....	徐建文,居 辉,刘 勤,等 (2765)
资源与产业生态	
基于 GIS 的山西省矿产资源规划环境影响评价	刘 伟,杜培军,李永峰 (2775)
基于效益分摊的水电水足迹计算方法——以密云水库为例	赵丹丹,刘俊国,赵 旭 (2787)
学术信息与动态	
全球土地计划第二次开放科学大会 (GLP 2 nd Open Science Meeting) 会议述评	段宝玲,卜玉山 (2796)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 348 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 36 * 2014-05	



封面图说: 鄱阳湖越冬的白鹤群——白鹤为国家一级保护动物,世界上白鹤东部种群的迁徙路线是从俄罗斯西伯利亚的雅库特,向南迁飞 5100km 到中国长江下游的鄱阳湖越冬,其中途经俄罗斯的雅纳河、印迪吉尔卡河和科雷马河流域,进入中国后主要停歇地有扎龙、林甸、莫莫格以及双台河口、滦河口、黄河三角洲和升金湖等地。多年的监测表明,世界 90% 以上的白鹤种群都在鄱阳湖越冬。越冬初期和末期是白鹤补充能量的关键阶段,因此,研究鄱阳湖国家级自然保护区越冬白鹤种群数量和当地气候变化的相关性具有重要意义。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@ 163.com

DOI: 10.5846/stxb201212231849

刘华雪, 柯常亮, 李纯厚, 廖秀丽, 黄洪辉. 南海南部悬浮颗粒物脂肪酸组成. 生态学报, 2014, 34(10): 2599-2607.

Liu H X, Ke C L, Li C H, Liao X L, Huang H H. Composition of fatty acids from suspended particulate matter in southern South China Sea. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(10): 2599-2607.

南海南部悬浮颗粒物脂肪酸组成

刘华雪^{1,2}, 柯常亮¹, 李纯厚¹, 廖秀丽¹, 黄洪辉^{1,*}

(1. 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300;

2. 中国科学院热带海洋生物资源与生态重点实验室, 中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301)

摘要: 中国水产科学研究院南海水产研究所“南锋号”科考船在 2012 年 2 月 22 日—3 月 20 日调查期间, 对南海南部海域 0 m、75 m 和 150 m 层水体悬浮颗粒物进行了脂肪酸(FA)组成的研究。FA 含量在表层、75 m 层和 150 m 层的变化范围分别为 9.9—15.65 $\mu\text{g/L}$ 、10.45—14.45 $\mu\text{g/L}$ 和 9.65—16.45 $\mu\text{g/L}$ 。FA 与叶绿素 a 的比值垂向变化非常大, 在表层和 150 m 层都大于 70, 而在 75 m 层小于 30(除 A7)。悬浮颗粒物的 FA 组成以饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸为主, 而多不饱和脂肪酸含量较低。饱和脂肪酸主要包括 C16:0 和 C18:0, 其次是 C12:0, 单不饱和脂肪酸主要包括 C14:1n3、C16:1n7 和 C16:1n9, 多不饱和脂肪酸主要为 C18:2n6 和 C22:2n6。主成分分析表明, 第一主成分主要与 C16:0、C18:0、C20:0 等正相关, 可认为第一主成分主要表征浮游植物和碎屑, 而第二主成分所表征的可能与浮游动物等有关的信息。悬浮颗粒物的脂肪酸标记物中, C16:1n7/C16:0 和 $\Sigma\text{C16:1}/\Sigma\text{FA}$ 之间呈显著正相关, 同时 C16:1n7/C16:0 与 $\Sigma\text{C18}/\Sigma\text{FA}$ 呈显著负相关, 将 C16:1n7/C16:0 和 C16:1/ ΣFA 结合起来适宜于指示硅藻类的组成, $\Sigma\text{C18}/\Sigma\text{FA}$ 可用来指示甲藻类组成。

关键词: 南海; 悬浮颗粒物; 脂肪酸

Composition of fatty acids from suspended particulate matter in southern South China Sea

LIU Huaxue^{1,2}, KE Changliang¹, LI Chunhou¹, LIAO Xiuli¹, HUANG Honghui^{1,*}

1 Key Laboratory of South China Sea Fishery Resource Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China

2 Key Laboratory of Tropical Marine Bio-resources and Ecology, Chinese Academy of Sciences, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

Abstract: Some fatty acids (FA) are specific to individual classes of organisms and attempts to trace organic materials in the ocean. Fatty acid markers have been widely used to trace or confirm predator-prey relationships so as to illustrate the key trophic linkages in the marine ecosystem. Suspended particulate matter from 0m, 75 m and 150 m were collected to better understand the fatty acid composition and its fatty acid biomarkers in the southern South China Sea. The cruise was conducted by “NanFeng” RV from February 22 to March 30, initiated by South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences. The range of FA contents were 9.9—15.65 $\mu\text{g/L}$, 10.45—14.45 $\mu\text{g/L}$ and 9.65—16.45 $\mu\text{g/L}$ at 0 m, 75 m and 150 m, respectively. FA contents indicate that vertical change of FA contents was unobvious. Deep chlorophyll a (Chl a) maximum phenomenon was popular in South China Sea, thus FA/Chl a concentration varied in the water column obviously. The ratio of FA/Chl a was higher than 70 at surface and 150m layer, while lower than 30 at

基金项目: 农业部财政重大专项(NFZX2013); 公益性行业(农业)科研专项(201403008); 中央级公益性科研院所基本科研业务费(中国水产科学研究院南海水产研究所)资助项目(2013TS07); 广东省自然科学基金(S2013040016424); 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室开放基金(LSF201105); 中国科学院热带海洋生物资源与生态重点实验室开放基金(LMB111010)

收稿日期: 2012-12-23; 网络出版日期: 2014-02-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huanghh@scsfri.ac.cn

75m layer (except A7). Saturated fatty acids (SFA) and mono-unsaturated fatty acids (MUFA) dominated total fatty acid contents in all SPM from each layer. Major SFA was C16:0, C18:0 and C12:0. Major MUFA were C14:1n3, C16:1n7 and C16:1n9, and major polyunsaturated fatty acids (PUFA) were C18:2n6 and C22:2n6. Principle components analysis (PCA) revealed that PC1 was positively related to C16:0, C18:0 and C20:0 concentrations, so PC1 maybe the indicator of phytoplankton and debris. PC2 may be represented the information of zooplankton. Within five FA biomarkers, C16:1n7/C16:0 was positively related to C16:1/ Σ FA, while negatively related to Σ C18/ Σ FA, so the combination of C16:1n7/C16:0 and C16:1/ Σ FA can be considered as FA biomarker of diatoms, and Σ C18/ Σ FA also can be applied to indicate dinoflagellate.

Key Words: South China Sea; suspended particulate matter; fatty acid

生物体对食物的吸收过程中,食物中的脂肪酸(FA)被相对保守地同化至消费者体内,因此脂肪酸能反映最近一段时期内生物的摄食情况^[1]。浮游植物的脂肪酸组成不仅能反映浮游植物群落结构的变化,还可以揭示浮游动物的摄食策略,表达海洋食物链的传输路径和海洋生物生活史策略^[2-3]。海洋生态系统的悬浮颗粒物(SPM)包括无机颗粒和有机颗粒(原生动、碎屑和浮游植物),其中有机颗粒是海洋生态系统中的主要初级食物源^[4-5],对其脂肪酸组成和时空变化的分析可以加深对海洋食物网动力学的认知^[6-8]。国外关于海洋 SPM 脂肪酸的组成和动态变化在 Conception 湾^[9-10]、北海^[11]、Alboran Sea^[12] 等不同海域^[13] 已经进行了一些研究^[9-13]。国内学者对脂肪酸标记物的研究主要集中在浮游植物和浮游动物的脂肪酸组成^[14-16] 和室内投喂实验^[17],而对悬浮颗粒物脂肪酸组成的研究较少^[18]。

南海是我国四大海中最大的一个近似封闭的海域,也是西北太平洋最大的边缘海,具有复杂的物理和生态过程^[19-21]。国内外学者对该南海的研究兴趣渐次浓厚,但关于南海 SPM 中 FA 组成的研究尚无公开报道。本文根据 2012 年中国水产科学研究院南海水产研究所春季航次的现场采样,对不同水层 SPM 的 FA 进行了研究,探讨 FA 组成和分布特征及脂肪酸标记物,研究结果可填补南海这一研究空白,并为南海生态系统的研究提供基础资料。

1 材料和方法

1.1 研究海区 and 采样站位

2012 年 2 月 22 日至 3 月 20 日,使用“南锋”科学考察船对南海南部海域进行现场调查,共设置站位 9 个(图 1)^[22]。

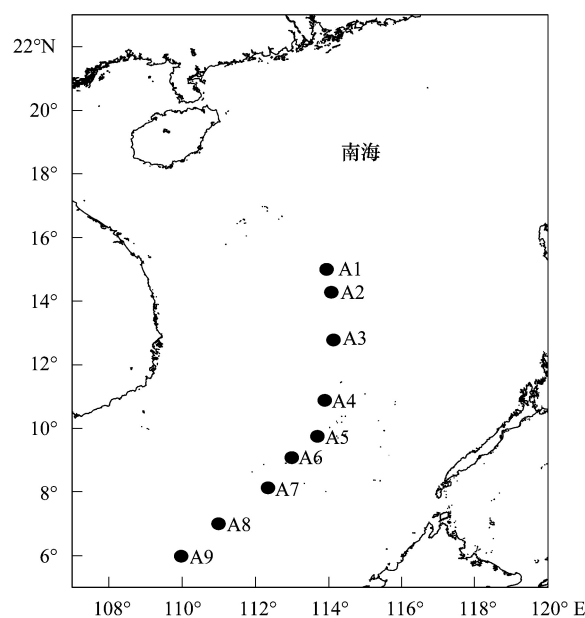


图 1 南海南部采样站位图^[22]

Fig.1 Sampling site in the southern South China Sea

1.2 样品采集与分析

使用温盐深仪(CTD, Seabird)采集 0、75、150 m 层的水样,用 200 μ m 的筛绢除去粒径大于此的浮游动物和颗粒物。本文将叶绿素 a(Chl a)实测结果与荧光数据校正,以校正后的荧光数据作为 Chl a 浓度。2L 脂肪酸水样用在马弗炉中 450℃ 下灼烧 4 h 左右的玻璃纤维膜(0.7 μ m)收集颗粒物,收集的样品膜置于同样条件灼烧过的锡纸中密封后保存在 -20℃ 冰箱中。所有不能灼烧的采样器具均用稀盐酸润洗。

样品经过二氯甲烷:甲醇(2:1)提取总脂后加入 1 mL 0.5 mol/L KOH 甲醇溶液于 80℃ 水浴中皂化,再加入 1 mL BF₃ 甲醇溶液在 80℃ 水浴中甲酯化反应 1 h。脂肪酸甲酯经正己烷萃取后上机测定,其中

甲醇、二氯甲烷和正己烷均为色谱纯,BF3 甲醇溶液、脂肪酸甲酯标样(37 种混标及 C19:0)均为 Sigma 公司生产^[12]。脂肪酸甲酯用 Agilent 7890A-5975C 气质联用仪(GC/MS)进行分析,分离用毛细管柱规格为 30 m×0.249 mm×0.25 μm。

色谱条件为:柱温采用程序升温,进样口温度为 270 ℃,检测器温度为 320 ℃,质谱传输线温度 250 ℃;载气为高纯氦气,流速为 1.0 mL/min;进样采用自动进样,进样体积为 1 μL,不分流。质谱条件为:离子源温度 250 ℃,以 EI 方式电离,电离电压为 70 EV,检测采用全扫描方式,扫描范围为 50—600。

用各种单一脂肪酸甲酯标准品在相同气质条件下的保留时间及 NIST 谱库来进行定性,定量采用内标标准工作曲线法。本文用 $X:YnZ$ 形式来表示脂肪酸的基本命名,其中 X 表示碳链的长度, Y 表示双键的数目, nZ 表示从甲基末端计第一个双键所在的位置^[18]。用 SPSS16.0 软件对各水层 SPM 中脂肪酸含量进行主成分分析(PCA),并对脂肪酸标记物进行 Pearson 相关性分析。

2 结果

2.1 脂肪酸组成

按步骤进行实验,37 种脂肪酸甲酯混合标样的 GC/MS 总离子流图如图 2 和表 1 所示。南海南部海域 SPM 中 FA 以饱和脂肪酸(SFA)和单不饱和脂肪酸(MUFA)为主,而多不饱和脂肪酸(PUFA)含量较低(表 2)。SFA 主要包括 C16:0 和 C18:0,其次是 C12:0, MUFA 主要是 C14:1n3、C16:1n7 和 C16:1n9,PUFA 主要是 C18:2n6 和 C22:2n6。

表 1 37 种脂肪酸甲酯标准品在脂肪酸名称

Table 1 The name of methyl esters of fatty acids in 37 mix							
序号 No.	名称 Name	序号 No.	名称 Name	序号 No.	名称 Name	序号 No.	名称 Name
1	C6:0	10	C15:0	19	C18:1	28	C21:0
2	C8:0	11	C16:1	20	C18:0	29	C22:6
3	C10:0	12	C16:0	21	C20:4	30	C22:2
4	C11:0	13	C17:1	22	C20:5	31	C22:1
5	C12:0	14	C17:0	23	C20:3	32	C22:0
6	C13:0	15	C18:3	24	C20:2	33	C23:0
7	C14:1	16	C18:3	25	C20:1	34	C24:1
8	C14:0	17	C18:2	26	C20:3	35	C24:0
9	C15:1	18	C18:2	27	C20:0		

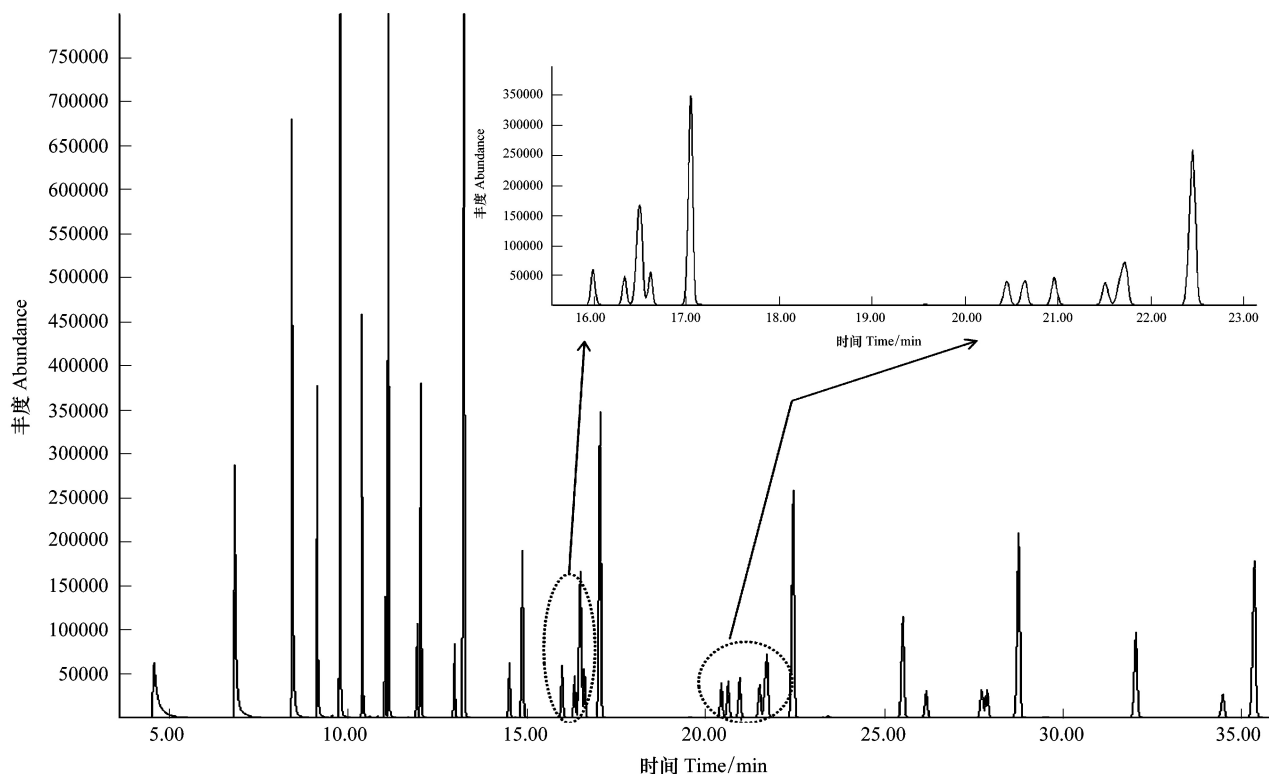


图 2 37 种脂肪酸甲酯标准品的总离子流图

Fig.2 TIC chromatogram of methyl esters of fatty acids in 37 mix

表 2 各水层悬浮颗粒物中脂肪酸组成的比例/%

Table 2 The percentage of each FA content to total FA contents

	0m									75m									150m								
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
C8:0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C10:0	0.4	0	0	0	0	0	0.4	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.5	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0
C11:0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0.5	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
C12:0	3.5	2.6	3.0	3.8	4.0	6.2	0	0	5.8	0	2.3	1.6	0	0	4.1	5.0	0	0	2.1	2.8	2.9	0	5.7	3.5	11.6	4.6	0
C13:0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	A6	
C14:0	0.4	0.7	0.5	0.9	0.4	0.3	0.4	0.8	1.0	1.5	0.9	0.8	0.9	0.7	0.4	0.6	0.5	0.4	1.0	0.8	0.5	0.9	0.5	0.5	0.9	0.5	0.5
C15:0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0
C16:0	17.8	25.1	20.7	30.5	17.5	21.9	28.6	25.2	25.2	33.5	23.8	28.0	19.0	23.9	20.7	24.3	18.7	25.0	31.1	20.7	20.6	35.0	17.6	18.6	22.2	19.3	19.4
C17:0	0.4	0.4	0.5	0.5	0.0	0.3	0.4	0.4	0.6	0.4	0.0	0.4	0.4	0.3	0	0.3	0.5	0.4	0.3	0.4	0	0.4	0.5	0	0.6	0	0.5
C18:0	22.9	24.3	27.3	41.8	22.9	29.0	37.7	32.7	33.9	30.8	22.0	33.3	24.8	31.8	26.8	33.0	23.9	34.0	30.4	26.8	27.8	47.9	22.8	25.1	28.6	25.9	27.3
C20:0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0.3	0.4	0.0	0.4	0	0.3	0	0.3	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0.3	0	0
C14:1n3	40.3	33.0	36.9	8.9	35.9	28.1	25.0	29.1	25.2	24.4	36.0	26.8	39.8	30.4	35.4	26.3	37.3	32.4	24.8	37.4	37.3	6.8	38.3	42.2	23.7	36.5	40.7
C15:1n5	3.5	2.2	1.0	0.5	2.7	4.6	0.4	0.8	2.6	1.5	2.3	0.4	0.4	2.4	0.8	2.0	2.9	0.8	1.7	2.8	0.5	1.3	2.6	1.5	1.5	1.0	0.9
C16:1n7	5.0	4.9	5.6	4.7	4.9	4.3	2.5	2.4	2.2	3.0	4.7	3.3	4.9	3.8	3.7	3.5	5.7	3.7	3.8	4.1	4.3	3.8	4.7	4.5	2.7	5.6	4.6
C17:1n7	0.4	1.5	1.0	2.3	3.6	0.3	0.7	3.1	0.6	2.3	3.3	1.2	3.5	1.7	1.2	1.2	4.3	0.8	1.0	2.0	2.9	0.9	1.6	0.5	1.8	0	1.4
C18:1n9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C18:1n7	3.5	3.4	0	3.8	4.5	2.8	2.2	2.0	1.6	0.4	1.4	1.6	0.4	2.8	2.4	1.2	1.4	0.4	0.3	0.4	1.0	0.4	1.0	0.5	3.6	3.0	2.3
C22:1n9	0	0	0.5	0.5	0.4	0.3	0	1.2	0	0.4	0.5	0.4	0	0.7	0.4	0.3	0.0	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0	0.3	1.0	0
C24:1n9	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0	0.3	0.4	0.5	0	1.3	0.3	0.8	0.0	1.0	0.4	0.3	0.8	0.5	0.9	1.0	1.5	0	1.0	0.9
C18:3n3	0.4	0	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0	0	0	0	0	1.3	0.0	0.4	0.3	1.0	0	0.3	0	0.0	0.4	0.5	0.0	0.3	0.5	0
C18:2n6	1.2	0.4	0.5	0.0	0.4	0.3	0.4	0.4	0	0.4	0.5	0.4	1.3	0.0	0.8	0.3	0.5	0	0.7	0	0.5	0	1.0	0.5	0.3	0.5	0
C20:4n6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C20:3n6	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C20:2n6	0	0.4	1.0	0.5	0.4	0.3	0	0.4	0.3	0.4	0.9	0.4	0.9	0.7	0.8	0.3	1.0	0.4	0.7	0	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0	0.5
C22:2n6	0	0.4	0.5	0.5	0.9	0.3	0.4	1.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.9	0.0	0.8	0.3	0.5	0.8	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.3	0.5	0.9

各水层中不同 FA 所占比例如图 3 所示,各水层中 SFA 和 MUFA 的占比变化较大,PUFA 占比一直低于 5%。SFA 比例在 150 m 层最高,其次是表层,在 75 m 层最低,但一直高于 40%。MUFA 的占比在 75 m 层最高,其次是表层,在 150 m 层最低,但绝大多数站位低于 SFA 含量。相关性分析显示,表层 Chl a 含量与大多 SFA (如 C14:0、C16:0、C17:0、C18:0

和 C20:0) 呈正相关,而与部分不饱和脂肪酸 (如 C16:1n9 和 C18:3n3) 呈负相关。此外,C18:2n6 与 C14:0、C16:0、C18:0 负相关。在 75 m 层,C16:0 含量与 C18:0、C20:0、C22:1n9 含量呈正相关,而与 C24:1n9、C18:3n3、C20:2n6 含量呈负相关。在 150m 层,C12:0、C14:0、C16:0、C17:0、C14:1n3、C18:2n6 含量与 C24:1n9 含量呈负相关。

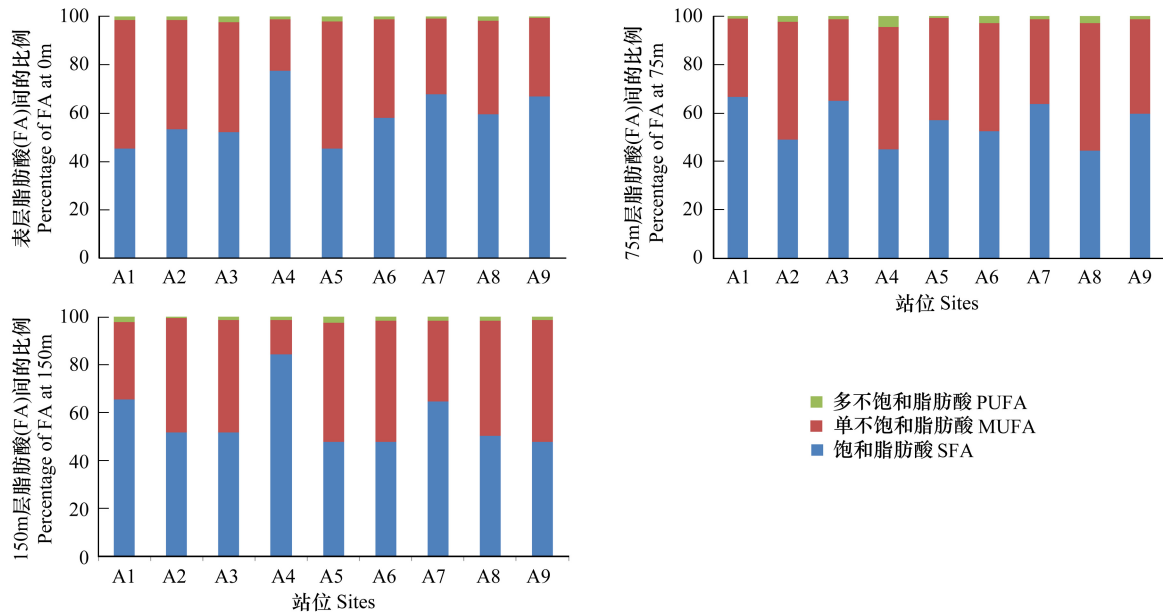


图 3 各水层悬浮颗粒物脂肪酸组成的比例

Fig.3 The percentage of each FA content to total FA contents

2.2 FA 含量及 FA/Chl a 的比值

不同水层中悬浮颗粒物的 FA 含量的垂向变化不大 (图 4), 没有像 Chl a 那样在次表层出现极大值。FA/Chl a 的比值垂向变化非常大, 在表层和 150 m 层都大于 70, 而在 75 m 层, 除了 A7 其余站位都小

于 30。FA 含量在表层、75 m 层和 150 m 层的变化范围分别为 9.9—15.65 $\mu\text{g/L}$, 10.45—14.45 $\mu\text{g/L}$ 和 9.65—16.45 $\mu\text{g/L}$ 。表层的 FA 高值出现在 A6 和 A9, 而在 75 m 层和 150 m 层出现在 A8。

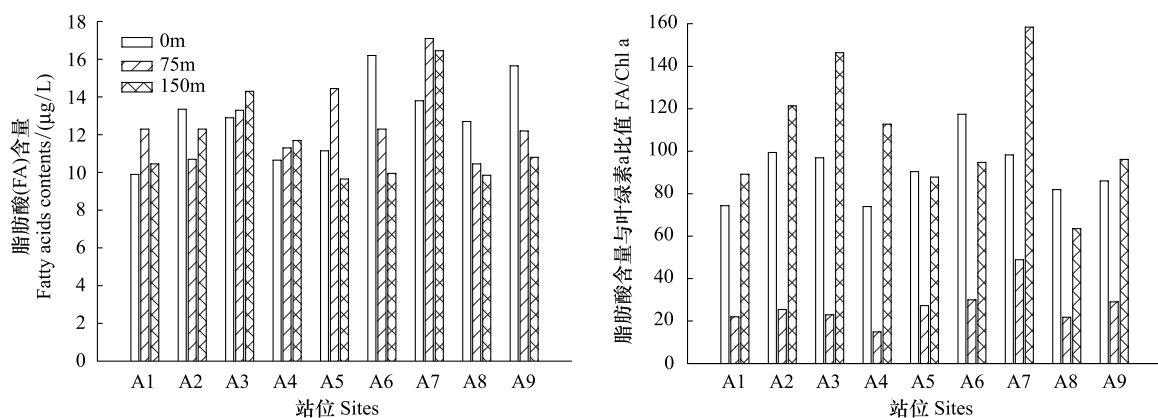


图 4 悬浮颗粒物中脂肪酸含量及脂肪酸含量/叶绿素 a 的比值

Fig.4 FA content of SPM and the ratio of FA/Chl a

对各水层悬浮颗粒物中脂肪酸实际含量进行了主成分分析(图5)。表层和150 m层中,A4显著区别于其他站位,该站的C18:0偏高,C14:1n3偏低。表层C14:0、C16:0、C17:0和C18:0较为接近,而C15:1n5和C24:1n9较类似。在75 m层,C16:0、C20:0和C22:1n9较接近,C18:3n3和C20:2n6较接近。在150 m层,C16:0、C20:0和C14:0生态特征较为类似。在表层,PC1与C17:1n7呈负相关,PC2与C14:0、C16:0和C18:0呈负相关;在75 m层,

PC1与C22:1n9正相关,与C24:1n9、C18:3n3、C18:2n6、C20:2n6负相关,而PC2与部分MUFA(C14:1n3、C15:1n5、C16:1n7、C18:1n9)正相关;在150 m层,PC1与C18:1n7、C20:2n6正相关,与C24:1n9负相关;PC2与C14:1n3、C16:1n7、C17:1n7、C20:2n6正相关,与C18:3n3负相关。PC1主要表征的可能是浮游植物和水体中的碎屑。PC2在不同水层与FA呈现的相关性不同,且与不饱和脂肪酸有较大联系,所表征的信息可能与浮游动物等有关。

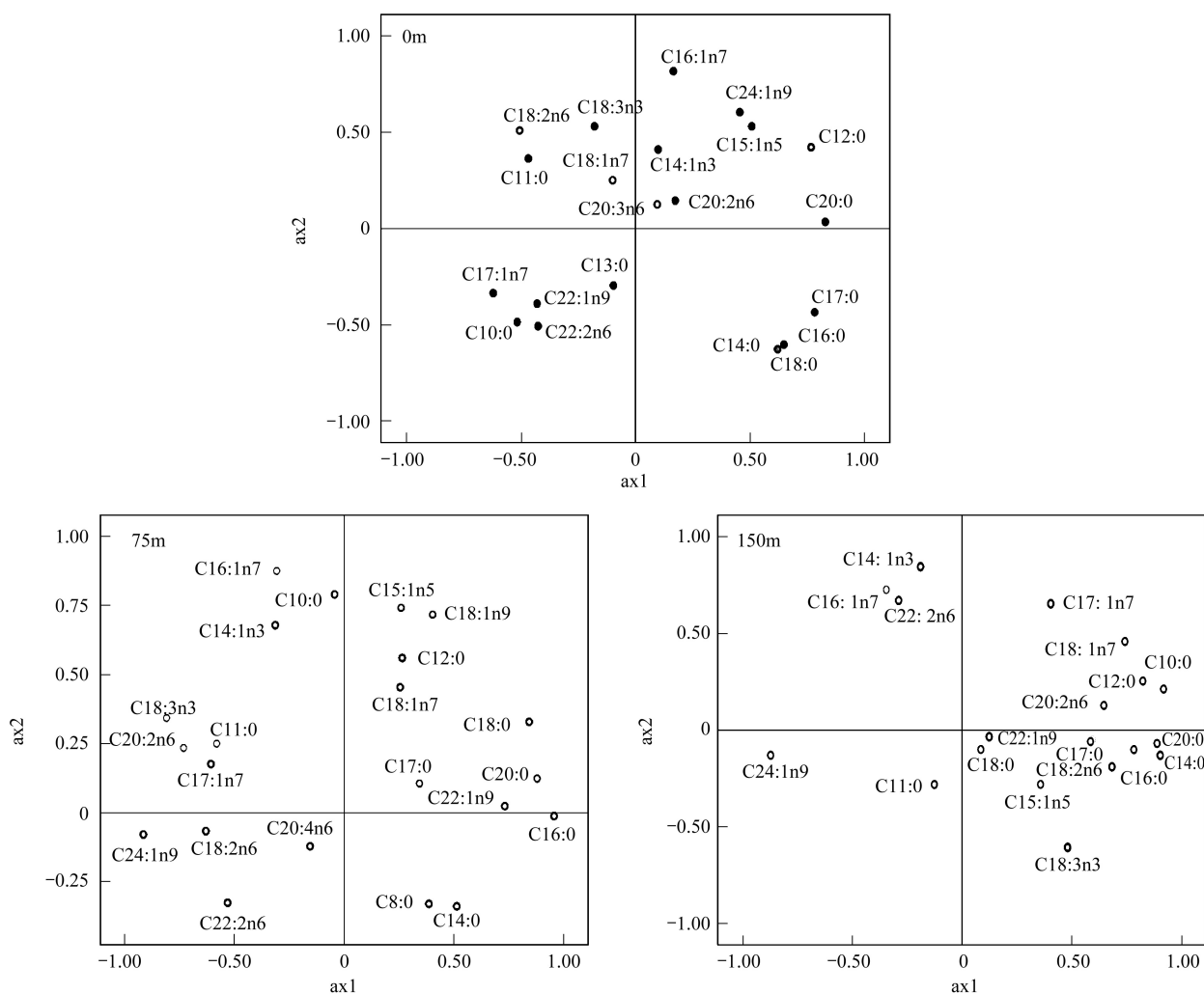


图5 各水层SPM脂肪酸组成主成分分析图

Fig.5 Score plots for the first two PCs for the 24 FAs at each layer

2.2 脂肪酸标志物

$\Sigma C16/\Sigma FA$ 、 $C16:1n7/\Sigma FA$ 、 $\Sigma C16/\Sigma C18$ 和 $C16:1/C16:0$ 是常见的硅藻标志物^[16-18],而 $\Sigma C18/\Sigma FA$ 是常见的甲藻标志物^[14]。本文对5种常见脂肪酸标记物的结果进行了整理(表3),各种标志物的垂向变化不大。 $\Sigma C16/\Sigma FA$ 比值在不同水层的

均值分别是0.23—0.24,变化较小。 $C16:1n7/\Sigma FA$ 比值在各层的均值都是0.04,且均小于0.1。 $\Sigma C16/\Sigma C18$ 比值在不同水层均值分别是0.82—0.90,绝大多数情况下比值小于1。 $C16:1/C16:0$ 比值在表层和75m都是0.17,高于150 m的均值(0.13)。 $\Sigma C18/\Sigma FA$ 比值在表层和75 m是0.34,略高于

150 m层(0.31)。各水层 SPM 脂肪酸标记物之间的相关性如表 4 所示,其中 C16:1/C16:0 与 Σ C18/ Σ FA 和 Σ C16/ Σ FA 呈负相关,与 C16:1n7/ Σ FA 正相关。

表 3 各水层 SPM 脂肪酸标记物
Table 3 Fatty acid biomarker of SPM at each layer

脂肪酸标记物		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Σ C16/ Σ FA	0 m	0.18	0.25	0.21	0.31	0.17	0.22	0.29	0.25	0.25
	75 m	0.33	0.24	0.28	0.19	0.24	0.21	0.24	0.19	0.25
	150 m	0.31	0.21	0.21	0.35	0.18	0.19	0.22	0.19	0.19
C16:1n7/ Σ FA	0 m	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02
	75 m	0.03	0.05	0.03	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06	0.04
	150 m	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.03	0.06	0.05
Σ C16/ Σ C18	0 m	0.82	1.07	0.93	0.77	0.79	0.81	0.77	0.79	0.77
	75 m	1.15	1.20	0.89	0.86	0.80	0.80	0.79	0.91	0.83
	150 m	1.10	0.91	0.85	0.80	0.88	0.88	0.76	0.83	0.81
C16:1/C16:0	0m	0.28	0.19	0.27	0.15	0.28	0.20	0.09	0.09	0.09
	75m	0.09	0.20	0.12	0.26	0.16	0.18	0.14	0.31	0.15
	150m	0.12	0.20	0.21	0.11	0.26	0.24	0.12	0.29	0.24
Σ C18/ Σ FA	0 m	0.28	0.28	0.28	0.46	0.28	0.32	0.41	0.35	0.35
	75 m	0.31	0.24	0.35	0.28	0.35	0.30	0.35	0.27	0.34
	150 m	0.32	0.27	0.29	0.49	0.25	0.26	0.33	0.30	0.30

表 4 各水层 SPM 脂肪酸标记物相关性
Table 4 Correlation of fatty acid biomarker of SPM at each layer

		0 m			
		Σ C18/ Σ FA	Σ C16/ Σ FA	C16:1n7/ Σ FA	Σ C16/ Σ C18
Σ C16/ Σ FA	0.87**				
C16:1n7/ Σ FA	-0.47	-0.50			
Σ C16/ Σ C18	-0.56	-0.13	0.50		
C16:1/C16:0	-0.70*	-0.82**	0.90**	0.33	
		75 m			
		Σ C18/ Σ FA	Σ C16/ Σ FA	C16:1n7/ Σ FA	Σ C16/ Σ C18
Σ C16/ Σ FA	0.44				
C16:1n7/ Σ FA	-0.75**	-0.78**			
Σ C16/ Σ C18	-0.58	0.46	0.06		
C16:1/C16:0	-0.69*	-0.87**	0.97**	-0.11	
		150 m			
		Σ C18/ Σ FA	Σ C16/ Σ FA	C16:1n7/ Σ FA	Σ C16/ Σ C18
Σ C16/ Σ FA	0.86**				
C16:1n7/ Σ FA	-0.35	-0.43			
Σ C16/ Σ C18	-0.24	0.28	0.04		
C16:1/C16:0	-0.67*	-0.82**	0.87**	-0.16	

显著程度:*($P<0.05$);**($P<0.01$)

3 讨论

南海具有典型的贫营养特征,随着水深的增加,

在真光层内的光照和温度降低,营养盐浓度升高,而 Chl a 浓度先升高再降低^[19, 21]。南海南部 SPM 脂肪酸含量的垂向变化较小,可能与浮游植物种类组成和生物量的变化有关,这是因为浮游植物种类在表层,DCM 层和真光层底部存在较大差异^[23]。此外,环境因素(光照、温度、营养盐)^[24]、真光层内的浮游动物摄食和碎屑沉降也与 SPM 脂肪酸含量可能有密切关系。

不同藻类所含的脂肪酸组成不同,水体中脂肪酸的分布特征取决于浮游植物的群落结构,因此一些不常见的脂肪酸,典型的脂肪酸和一些脂肪酸的比率都可用做化学分类标志物^[18]。Jeffries^[4]对美国罗得岛东部的 Narragansett 湾浮游植物群落的研究发现,随着湾中浮游植物群落优势种群由硅藻逐渐演替到甲藻,水体 SPM 脂肪酸组成中 C16:1/C16:0 比值由大于 2 逐渐降低到小于 0.3,而 C18:4/C18:1 比值的变化趋势则与其相反,呈逐渐升高的趋势。该研究的结果表明以上两种脂肪酸含量比值可以对水体浮游植物群落组成特征起到示踪作用。饱和脂肪酸如 C14:0、C16:0 及 C18:0 等因为可以在多种生物中合成且含量水平存在差异,所以很少能作为生化指示物来进行种类分析^[25-28]。本研究中这几种 SFA 与 Chl a 具有显著的相关性,说明浮游植物生物

量和 SFA 含量有较紧密的关系,可用来表示水体中浮游植物和碎屑的含量。此外,部分不饱和脂肪酸浓度与 Chl a 浓度负相关,这可能是与浮游动物碎屑有关。

很少有某种脂肪酸是某一物种所特有,也就是说没有哪种单一脂肪酸可以用来指示某一物种^[28-29]。而利用两种或多种脂肪酸的组合作为指示物在种类分析中更加有效^[3, 30]。一般来讲指示硅藻的较普遍组合是 C16:1n7/C16:0^[31-33],当 $16:1n7/16:0 \geq 1$ 时,表明硅藻占优势^[25-26]。Pond 等^[34]采用浅海中型围隔实验研究了水体中的浮游植物群落变化及脂肪酸组成特征,验证了 $\Sigma C16PUFA + C20:5n3$ (EPA) 对硅藻类的指示作用。另外一些组合如 $\Sigma C16/\Sigma C18$ 等也常常用来指示硅藻的组成^[35-37]。甲藻的种类较多,脂肪酸组成变动较大,但 C18 系列脂肪酸是这个种类所共有的主要脂肪酸,高的 $\Sigma C18PUFA/\Sigma FA$ 比值是甲藻的特征^[30, 38],另外也多用 C22:6n3/C20:5n3 (DHA/EPA) 指示甲藻组成,当 $DHA/EPA \geq 1$ 时,表明甲藻占优势,当该值 < 1 时,认为硅藻占优势^[35]。

通过统计手段初步确定了适宜于本海域 SPM 的特征脂肪酸组合。C16:1n7/C16:0 和 $\Sigma C16:1/\Sigma FA$ 之间的相关性较好,同时 C16:1n7/C16:0 与甲藻指示组合呈显著负相关,所以认为 C16:1n7/C16:0 和 $C16:1/\Sigma FA$ 更适宜用来指示硅藻的组成,而 $\Sigma C18/\Sigma FA$ 可以较好的指示甲藻组成。在表层, C16:1n7/ ΣFA 和 $C16:1/C16:0$ 均表现在 A1—A6 站位较高, A7—A9 站位较低,可能显示了硅藻空间分布的变化。大多数情况下, $\Sigma C16/\Sigma C18$ 的比值小于 1,说明甲藻在南海南部海域可能比例更大些。

致谢:“南锋”号科考船工作人员在采样过程中提供帮助,特此致谢。

References:

- [1] Napolitano G E. Fatty acids as trophic and chemical markers in freshwater ecosystems // Arts M T, Wainman B C, eds. *Lipids in Freshwater Ecosystems*. New York: Springer, 1999.
- [2] Conte M H, Volkman J K, Eglinton G. Lipid biomarkers of the Haptophyta // Green J C, Leadbeater B S C, eds. *The Haptophyte Algae*. Oxford: Clarendon Press, 1994: 351-377.
- [3] Dalsgaard J, John M S, Kattner G, Müller-Navarra D C, Hagen W. Fatty acid trophic markers in the pelagic marine environment. *Advances in Marine Biology*, 2003, 46: 225-340.
- [4] Jeffries H P. Seasonal composition of temperate plankton communities-fatty acids. *Limnology and Oceanography*, 1970, 15 (3): 419-426.
- [5] Wakeham S G, Beier J A. Fatty acid and sterol biomarkers as indicators of particulate matter source and alteration processes in the Black Sea. *Deep-Sea Research*, 1991, 38(S2): S943-S968.
- [6] Kaitaranta J K, Linko R R, Vuorela R. Lipids and Fatty acids in plankton from the Finnish coastal waters of the Baltic Sea. *Comparative Biochemistry and Physiology B*, 1986, 85 (2): 427-433.
- [7] Miyazaki T. Compositional changes of fatty acids in particulate matter and water temperature, and their implications to the seasonal succession of phytoplankton in a hypereutrophic lake, Lake Kasumigaura, Japan. *Archiv für Hydrobiologie*, 1983, 99 (1): 1-14.
- [8] Parrish C C. Dissolved and particulate marine lipid classes: a review. *Marine Chemistry*, 1988, 23(1/2): 17-40.
- [9] Parrish C C, Thompson R J, Deibel D. Lipid classes and fatty acids in plankton and settling matter during the spring bloom in a cold ocean coastal environment. *Marine Ecology Progress Series*, 2005, 286: 57-68.
- [10] Parrish C C, Deibel D, Thompson R J. Effect of sinking spring phytoplankton blooms on lipid content and composition in suprabenthic and benthic invertebrates in a cold ocean coastal environment. *Marine Ecology Progress Series*, 2009, 391: 33-51.
- [11] Kattner G, Gercken G, Eberlein K. Development of lipids during a spring plankton bloom in the northern North Sea. I. Particulate fatty acids. *Marine Chemistry*, 1983, 14(2): 149-162.
- [12] Tolosa I, Vescovale I, Leblond N, Marty J C, Mora S, Prieur E. Distribution of pigments and fatty acid biomarkers in particulate matter from the frontal structure of the Alboran Sea (SW Mediterranean Sea). *Marine Chemistry*, 2004, 88 (1/4): 103-125.
- [13] Mayzaud P, Claustre H, Augier P. Effect of variable nutrient supply on fatty acid composition of phytoplankton grown in an enclosed experimental ecosystem. *Marine Ecology Progress Series*, 1990, 60: 123-140.
- [14] Xu Q, Yang H S. Fatty acid biomarker and its application in marine trophic relation studies. *Acta Oceanologica Sinica*, 2011, 33(1): 1-6.
- [15] Wang N. Application of Fatty Acids Biomarker in Marine Food Web Research: A Case in the Yangtze River Estuary Sea Area [D]. Shanghai: East China Normal University, 2008.
- [16] Liang Y. Study on Fatty Acids Composition of Marine Diatoms [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2004.
- [17] Liu M T, Li C L, Sun S. Identification of trophic relationships between marine algae and the copepod *Calanus sinicus* in a fatty acid approach. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(4): 933-942.
- [18] Lü S G. Distribution of Fatty Acids and Their Effect on the Trophic

- Relationship between Primary Producers and the Zooplankton Consumers in Jiaozhou Bay, Northern China [D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2007.
- [19] Chen Y L L. Spatial and seasonal variations of nitrate-based new production and primary production in the South China Sea. *Deep-Sea Research I*, 2005, 52(7): 319-340.
- [20] Su J L. Overview of the South China Sea circulation and its influence on the coastal physical oceanography outside the Pearl River Estuary. *Continental Shelf Research*, 2004, 24(16): 1745-1760.
- [21] Ning X, Chai F, Xue H, Cai Y, Liu C, Shi J. Physical-biological oceanographic coupling influencing phytoplankton and primary production in the South China Sea. *Journal of Geophysical Research*, 2004, 109(C10): C10005, doi: 10.1029/2004JC002365.
- [22] Liu H X, Li G, Tan Y H, Ke Z X, Huang J R, Huang L M. Latitudinal changes (6°S—20°N) of summer ciliate abundance and species compositions in surface waters from the Java Sea to the South China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 2013, 32(4): 66-70.
- [23] Ke Z X, Huang L M, Tan Y H, Yin J Q. Species composition and abundance of phytoplankton in the northern South China Sea in summer 2007. *Journal of Tropical Oceanography*, 2011, 30(1): 131-143.
- [24] Zhang Y J, Pan J F, Pu X M. Fatty acids of marine phytoplankton: composition, physiological functions and ecological significances. *Marine Science Bulletin*, 2011, 30(1): 113-120.
- [25] Napolitano G E, Ackman R G. Anatomical distributions and temporal variations of lipid classes in scallops *Placoepten magellanicus* (Gmelin) from Georges Bank (Nova Scotia). *Comparative Biochemistry and Physiology B*, 1992, 103(3): 645-650.
- [26] Napolitano G E, Ackman R G, Ratnayake W M N. Fatty acid composition of three cultured algal species (*Isochrysis galbana*, *Chaetoceros gracilis* and *Chaetoceros, Calcitrans*) used as food for bivalve larvae. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1990, 21(2): 122-130.
- [27] Napolitano G E, Pollero R J, Gayoso A M, MacDonald B A, Thompson R J. Fatty acids as trophic markers of phytoplankton blooms in the Bahía Blanca estuary (Buenos Aires, Argentina) and in Trinity Bay (Newfoundland, Canada). *Biochemical Systematics and Ecology*, 1997, 25(8): 739-755.
- [28] Reuss N, Poulsen L K. Evaluation of fatty acids as biomarkers for a natural plankton community. A field study of a spring bloom and a post-bloom off West Greenland. *Marine Biology*, 2002, 141(3): 423-434.
- [29] Sargent J R, Parkes R J, Mueller-Harvey I, Henderson R J. Lipid biomarkers in marine ecology // Sleigh M A, ed. *Microbes in the sea*, 1988: 119-138.
- [30] Viso A C, Marty J C. Fatty acids from 28 marine microalgae. *Phytochemistry*, 1993, 34(6): 1521-1533.
- [31] Lévillé J C, Amblard C, Bourdier G. Fatty acids as specific algal markers in a natural lacustrine phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 1997, 19(4): 469-490.
- [32] Chu F L E, Lund E D, Podbesek J A. Quantitative significance of n-3 essential fatty acid contribution by heterotrophic protists in marine pelagic food webs. *Marine Ecology Progress Series*, 2008, 354: 85-95.
- [33] Dunstan G A, Volkman J K, Barrett S M, Leroi J M, Jeffrey S W. Essential polyunsaturated fatty acids from 14 species of diatom (Bacillariophyceae). *Phytochemistry*, 1994, 35(1): 155-161.
- [34] Pond D W, Bell M V, Harris R P, Sargent J R. Microplanktonic polyunsaturated fatty acid biomarkers: a biomesocosm trial. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1998, 46(2): 61-67.
- [35] Budge S M, Parrish C C. Lipid biogeochemistry of plankton, settling matter and sediments in Trinity Bay, Newfoundland. II. Fatty acids. *Organic Geochemistry*, 1998, 29(5/7): 1547-1559.
- [36] Budge S M, Parrish C C, McKenzie C H. Fatty acid composition of phytoplankton, settling particulate matter and sediments at a sheltered bivalve aquaculture site. *Marine Chemistry*, 2001, 76(4): 285-303.
- [37] Claustre H, Marty J C, Cassiani L, Dagaut J. Fatty acid dynamics in phytoplankton and microzooplankton communities during a spring bloom in the coastal Ligurian Sea: Ecological implications. *Marine Microbial Food Webs*, 1988, 3: 51-66.
- [38] Nichols P D, Jones G J, de Leeuw J W, Johns R B. The fatty acid and sterol composition of two marine dinoflagellates. *Phytochemistry*, 1984, 23(5): 1043-1047.

参考文献:

- [14] 许强, 杨红生. 脂肪酸标志物在海洋生态系统营养关系研究中的应用. *海洋学报*, 2011, 31(1): 1-6.
- [15] 王娜. 脂肪酸等生物标志物在海洋食物网研究中的应用——以长江口毗邻海域为例 [D]. 上海: 华东师范大学, 2008.
- [16] 梁英. 海洋硅藻脂肪酸组成的研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2004.
- [17] 刘梦坛, 李超伦, 孙松. 脂肪酸对中华哲水蚤摄食两种海洋微藻的指示作用. *生态学报*, 2011, 31(4): 933-942.
- [18] 吕淑果. 胶州湾悬浮颗粒物中脂肪酸的时空分布及其在初级生产者到初级消费者食物传递中的作用. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2007.
- [23] 柯志新, 黄良民, 谭烨辉, 尹健强. 2007 年夏季南海北部浮游植物的物种组成及丰度分布. *热带海洋学报*, 2011, 30(1): 131-143.
- [24] 张玉君, 潘进芬, 蒲新明. 海洋浮游植物的脂肪酸: 组成、功能及其生态学意义. *海洋通报*, 2011, 30(1): 113-120.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.10 May, 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Landscape sustainability and landscape sustainability science ZHAO Wenwu, FANG Xuening (2453)
- A diagnostic framework of payments for ecosystem services and associated case studies
..... ZHU Wenbo, WANG Yang, LI Shuangcheng (2460)
- Progress in research of iron plaque on root surface of wetland plants
..... LIU Chunying, CHEN Chunli, GONG Xiaofeng, et al (2470)
- Ecological effects of predator chemical cues in aquatic ecosystem QIN Guangqiu, LU Haoliang, TANG Zhenzhu, et al (2481)
- Secondary substances and their ecological effects on seed dispersal in vertebrate-dispersed fleshy fruit plants
..... PAN Yang, LUO Fang, LU Changhu (2490)

Autecology & Fundamentals

- Responses of CH₄ uptake rates to simulated N deposition in a nature forest in mid-subtropical China
..... CHEN Chaoqi, YANG Zhijie, LIU Xiaofei, et al (2498)
- Ecological characteristics of *Phragmites australis* and their relationship to water-salt indicators in dry habitats of the southern
marginal zones of the Tarim Basin, China GONG Lu, ZHU Meiling, TASHPOLAT · Tiyp, et al (2509)
- Threshold effect of soil moisture on photosynthetic and physiological parameters in *Rosa xanthina* L. and its photosynthetic
productivity classification ZHANG Shuyong, XIANG Jiangbao, ZHANG Guangcan, et al (2519)
- Contrasting responses of soil respiration to litter manipulation in subtropical *Mytilaria laosensis* and *Cunninghamia lanceolata*
plantations YU Zaipeng, WAN Xiaohua, HU Zhenhong, et al (2529)
- Potassium application for increased jasmonic acid content and defense enzyme activities of wheat leaves infested by aphids
..... WANG Yi, ZHANG Yueling, SU Janwei, et al (2539)
- Combined effects of elevated O₃ concentration and reduced solar irradiance on photosynthetic activity and energy dissipation
of winter wheat SUN Jian, ZHENG Youfei, et al (2548)
- Colonization dynamics of *Bacillus cereus* B3-7 on wheat roots and control efficiency against sharp eyespot of wheat
..... HUANG Qiubin, ZHANG Ying, LIU Fengying, et al (2559)
- Quantitative study of water consumption characteristics of winter wheat under deficit irrigation
..... ZHANG Xingjuan, XUE Xuzhang, GUO Wenzhong, et al (2567)
- Assessment on the ecological fitness of anti-fungal transgenic rice LI Wei, GUO Jianfu, YUAN Hongxu, et al (2581)
- A proteomic analysis of *Arachis hypogaea* leaf in responses to enhanced ultraviolet-B radiation
..... DU Zhaokui, LI Junmin, ZHONG Zhangcheng, et al (2589)
- Composition of fatty acids from suspended particulate matter in southern South China Sea
..... LIU Huaxue, KE Changliang, LI Chunhou, et al (2599)
- The influence of age, flock size, habitat, and weather on the time budget and the daily rhythm of wintering Siberian Cranes
in Poyang Lake YUAN Fangkai, LI Yankuo, LI Fengshan, et al (2608)
- The energy budget and water metabolism heat regulation of tree sparrows *Passer montanus* of toba compensatory regeneration
..... YANG Zhihong, WU Qingming, YANG Miao, et al (2617)
- The effect of low-dose of pesticide on predation of spider and its preliminary mechanisms LI Rui, LI Na, LIU Jia, et al (2629)
- Response of the alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae) to overwintering protection and
its controlling effect on alligator weed *Alternanthera philoxeroides* (Amaranthaceae: Alternanthera)
..... LIU Yufang, WANG Xiuxiu, LI Fei, et al (2638)

Population, Community and Ecosystem

- The effect of climate change on the population fluctuation of the Siberian crane in Poyang Lake LI Yankuo, QIAN Fawen, SHAN Jihong, et al (2645)
- Characteristics of soil phosphorus fractions in wetlands with various restoration age in caizi lake, Anhui Province LIU Wenjing, ZHANG Pingjiu, DONG Guozheng, et al (2654)
- Multivariate analysis of the relations between phytoplankton assemblages and environmental factors in Chagan Lake Wetland LI Ranran, ZHANG Guangxin, ZHANG Lei (2663)
- Diversity of methanogen communities in tidal freshwater and brackish marsh soil in the Min River estuary ZENG Zhihua, YANG Minhe, SHE Chenxing, et al (2674)
- The influence of environment and phylogenic background on variation in leaf and fine root traits in the Yanhe River catchment, Shaanxi, China ZHENG Ying, WEN Zhongming, SONG Guang, et al (2682)
- Changes of soil properties in re-vegetation stages on sloping-land with purple soils in hengyang of Hunan Province, South-central China YANG Ning, ZOU Dongsheng, YANG Manyuan, et al (2693)
- Vulnerability assessment on the mangrove ecosystems in qinzhou bay under sea level rise LI Shasha, MENG Xianwei, GE Zhenming, et al (2702)
- Dynamics of biomass and productivity of three major plantation types in southern China DU Hu, ZENG Fuping, WANG Kelin, et al (2712)
- Fungal diversity in *Cunninghamia lanceolata* plantation soil HE Yuanhao, ZHOU Guoying, WANG Shenjie, et al (2725)
- Response of sandy vegetation characteristics to precipitation change in Horqin Sandy Land ZHANG Lamei, LIU Xinping, ZHAO Xueyong, et al (2737)
- Characteristics of carbon storage and sequestration of *Robinia pseudoacacia* forest land converted by farmland in the Hilly Loess Plateau Region SHEN Jiapeng, ZHANG Wenhui (2746)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Forest microclimate change along with the succession and response to climate change in south subtropical region LIU Xiaodong, ZHOU Guoyi, CHEN Xiuzhi, et al (2755)
- Drought variations of winter wheat in different growth stages and effects of climate trend in Huang-Huai-Hai Plain, China XU Jianwen, JU Hui, LIU Qin, et al (2765)

Resource and Industrial Ecology

- A method of environment assessment of mineral resources planning for shanxi provinces base on GIS LIU Wei, DU Peijun, LI Yongfeng (2775)
- A new approach to assess the water footprint of hydropower: a case study of the Miyun reservoir in China ZHAO Dandan, LIU Junguo, ZHAO Xu (2787)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 祖元刚

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 10 期 (2014 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 10 (May, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元