

南海岛屿周边浮游植物中的活性物质资源

田晓清¹, 康伟¹, Rafael Salas², Joe Silke², 陈佳杰¹, 樊成奇¹, 陆亚男¹, 韩清华¹, 李涵¹, 崔雪森^{1*}

¹中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海

²爱尔兰海洋研究所, 戈尔韦

Email: amytian0904@126.com, cui1012@sh163.net

收稿日期: 2020年9月2日; 录用日期: 2020年9月20日; 发布日期: 2020年9月27日

摘要

利用光学显微镜分别对海南岛新村和上川岛附近的水样进行浮游植物种类组成的基本情况分析, 对所鉴定的浮游植物种属进行次级代谢产物文献检索, 为进行这些资源的食用或药用价值开发利用奠定基础。结果显示: 海南岛新村共发现浮游植物47种, 其中2018年11月35种, 2019年2月21种, 两个季节浮游植物种类既有交叉又有演替; 2019年05月上川岛距离岸边从远及近“V”型采样点的浮游植物呈现明显的人类生活影响趋势。三个航次共鉴定浮游植物57种, 覆盖硅藻门、黄藻门、甲藻门、蓝藻门、金藻门、裸藻门, 文献检索显示其代谢产物丰富多样, 包含糖苷类、萜类、脂肪酸类、生物碱类、大环内酯类、类胡萝卜素类、肽类、甾醇类。总体来说, 海南岛新村和上川岛浮游植物组成均匀度较低, 丰富度较高; 硅藻门种类数最多, 其次是甲藻门, 其代谢产物丰富多样, 具有筛选发现活性天然产物的潜力, 同时为南海岛屿周边浮游植物调查研究提供基础数据。

关键词

南海岛屿, 浮游植物, 活性物质

The Resources of Bioactive Substances from Phytoplankton around the South China Sea Islands

Xiaoqing Tian¹, Wei Kang¹, Rafael Salas², Joe Silke², Jiajie Chen¹, Chenqi Fan¹, Yanan Lu¹, Qinghua Han¹, Han Li¹, Xuesen Cui^{1*}

¹East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai

²Marine Institute, Co., Galway

Email: amytian0904@126.com, cui1012@sh163.net

Received: Sep. 2nd, 2020; accepted: Sep. 20th, 2020; published: Sep. 27th, 2020

*通讯作者。

文章引用: 田晓清, 康伟, Rafael Salas, Joe Silke, 陈佳杰, 樊成奇, 陆亚男, 韩清华, 李涵, 崔雪森. 南海岛屿周边浮游植物中的活性物质资源[J]. 植物学研究, 2020, 9(5): 511-519. DOI: 10.12677/br.2020.95064

Abstract

In order to lay a foundation for the development and utilization of medicinal valuable phytoplankton, the phytoplankton species identification of water samples from Xincun of Hainan Island and Shangchuan Island is analyzed using optical microscope, and the reported secondary metabolite types of these identified phytoplankton were summarized by literature retrieval. The result showed a total of 47 species in Xincun samples, including 35 species in November 2018 and 21 species in February 2019. There are both cross and succession in phytoplankton species in these two seasons. "V" type of sampling points was set along the Shangchuan Island in May 2019. The phytoplankton showed obvious impact by humans from near too far. A total of 57 species, belonging to bacillariophyta, xanthophyta, pyrrhophyta, cyanophyta, chrysophyte, and euglenophyta, were identified in three voyages. Their secondary metabolites were various by literature, including glucosides, terpenoids, fatty acids, alkaloids, macrolides, carotenoids, peptides, sterols and so on. In summary, phytoplankton near the two islands has lower uniformity and higher species abundance. Most of them belong to bacillariophyta and followed by pyrrhophyta. The secondary metabolites of phytoplankton were various, and have the potential of screening and finding of bioactive natural products. At the same time, it can provide the basic data for phytoplankton investigation in the South China Sea.

Keywords

South China Sea Islands, Phytoplankton, Bioactive Substances

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

海洋浮游植物属于微生物(micro-organisms),是海洋生态系统中的最重要的初级生产者,被认为是复杂海洋生态系统的自然生物指示剂,其群落特征是研究海区其他生态和环境问题的基础,也是水质监测的重要生物类群[1] [2]。除此以外,浮游植物中存在着丰富的、结构独特的生物活性物质,其中有许多具有药理活性,特别是微藻类具有生长速度快、繁殖周期短、产量高、易于人工培养、适应能力强等特点,在医药和保健品的开发应用方面具有巨大的潜力,逐步受到人们的重视。Barchi [3]等人在颤藻中分离出大环内酯类抗生素,他们具有细胞毒活性和抗肿瘤活性;Bjornland [4]等人在舟形藻中分离到胡萝卜素、类胡萝卜素类化合物,也具有一定的预防和治疗心脑血管疾病的作用。另外,虾青素作为新型的化妆品原料,广泛应用于眼霜、乳剂等护肤品中[5]。南海地处热带、亚热带,四季气候温和,年平均气温为21℃~23℃,6~8月水温大多在28℃以上,水温季节变化明显,10月至次年2月为降温期。除此以外,海南的台风季节一般发生在每年6~11月的夏秋季节,主要集中于8~10月,对海水中浮游植物种类影响较大(<https://www.tulu.com/read-107135.html>, <https://baike.baidu.com/item/%E6%B5%B7%E5%8D%97/13346?fr=aladdin#3>)。南海为中国边缘四海中最大的一个半封闭的陆缘海[6]。浮游植物门属种类较多[7] [8],季节性差异明显。

考虑到季节和地理位置等原因,本次研究分别在近海和远海各选一个具有代表性的地点——海南岛新村和上川岛,对其浮游植物种类组成、季节变化进行调查,为发现有价值的浮游植物种类提供参考,同时对海洋活性物质、新药先导化合物的研究提供基础数据。

2. 材料和方法

选取海南岛新村和上川岛的表层 0.5 m 水样, 观察藻类差异, 调查站位见表 1 和图 1。现场分别取未加固定液的水样和保存于终浓度为 5% 的鲁哥氏液中的水样两份[7], 带回实验室静置沉淀, 浓缩后在光学显微镜下进行分析鉴定[2] [6] [7] [8]。

光学显微镜(eclipse Ti, Nikon)参数(目镜 10 倍, 物镜 40 倍); 鲁哥试剂(碘以及碘化钾购买于国药集团); 50 mL 无菌离心管。

Table 1. The information of sampling stations

表 1. 样品采集信息

采集时间/Time	采样地点/Station	经纬度/Coordinate	标记/Label
2018.11.21	海南岛新村 1 航次	E109°58', N18°25'	X1
2019.02.28	海南岛新村 2 航次	E109°58', N 18°25'	X2
		1909-1 (E112°38', N21°26')	S1
		1910-2 (E112°38', N21°17')	S2
		1912-3 (E112°35', N21°09')	S3
2019.05.15	上川岛 1 航次	1913-4 (E112°37', N21°04')	S4
		1914-5 (E112°41', N21°07')	S5
		1915-6 (E112°46', N21°22')	S6
		1916-7 (E112°50', N21°30')	S7

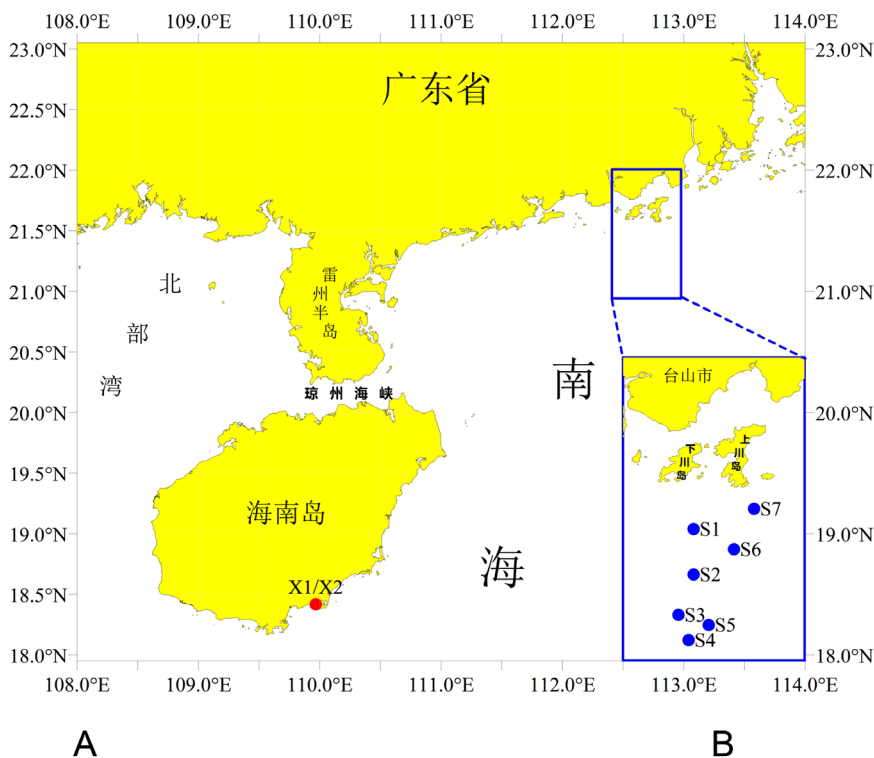


Figure 1. Sampling stations of phytoplankton Island

图 1. 样品断面调查图

3. 结果与讨论

3.1. 浮游植物组成

海南岛新村 2018 年 11 月份共鉴定藻类 35 种, 其中硅藻门 25 种、黄藻门 1 种、甲藻门 3 种、蓝藻门 3 种、金藻门 2 种, 裸藻门 1 种; 2019 年 2 月份共鉴定藻类 21 种, 其中硅藻门 16 种、甲藻门 4 种、蓝藻门 1 种。海南上川岛共鉴定出藻类 21 种, 分属于硅藻门 15 种、甲藻门 4 种、蓝藻门 1 种、裸藻门 1 种(表 2)。三个航次的浮游植物中硅藻种类占绝对优势, 硅藻中根管藻、菱形藻、斜纹藻种类居多。与朱根海等[6]的研究相比, 发现黄藻门和裸藻门的藻类各一株。

上川岛“V”型采样点中 S5 没有检测出浮游植物, 从地理位置可以看出, 这两个位点远离海岸线, 受人类影响较少。S1 站位鉴定出硅藻门 5 种, 裸藻门 1 种; S2 站位硅藻 5 种; S3 站位硅藻门 1 种; S4 站位蓝藻门 1 种; S6 站位硅藻门 4 种; S7 站位硅藻门 5 种, 甲藻门 4 种(见表 3)。硅藻门呈现明显的“V”型分布, 越靠近岸边, 藻种类越丰富。

两个地点浮游植物生态类型较丰富, 有广温广盐类型, 代表种中肋骨条藻(X2)、圆筛藻(X2)、琼氏圆筛藻(X2)、刚毛根管藻(X1、X2)、布氏双尾藻(S)、等。低盐近岸性类型, 代表种主要有尖刺菱形藻(S)、丹麦细柱藻(X、S)等。高温外海类型包括叉角藻(*Ceratium furca*) (S)、三角角藻(S)等。

新村的冬季和春季藻种类数与多样性显示出一定的季节变化。冬季藻类种数 35 种, 春季鉴定的藻种数为 21 种, 两个季节浮游植物种类既有交叉又有演替。冬季浮游植物中还检测到黄藻门、金藻门和裸藻门, 春季没有检测到。

浮游植物生长繁殖必须从水体中吸取无机营养元素。另外调查区受到沿岸水和西北太平洋外海水以及西南季风的作用和影响, 使得海南岛东北沿岸区域营养盐丰富, 水体肥沃, 水体也相对稳定, 给浮游植物生长、繁殖带来了有利条件。冬季主要上升流区在吕宋岛的西北, 越南外海近南海中部海区, 上升流区具有高营养水涌升, 浮游植物很丰富[6]。

Table 2. Phytoplankton species identified in the Xincun Island and Shangchuan Island

表 2. 海南岛新村、上川岛浮游植物类别

门类/phylum	中文名/Chinese name	拉丁种名/Latin name	标记/Label		
			X1	X2	S
硅藻门 Bacillariophyta	圆筛藻	<i>Coscinodiscus</i> sp.		+	
	琼氏圆筛藻	<i>C. jonesianus</i>		+	
	刚毛根管藻	<i>Rhizosolenia setigera</i>	+	+	
	笔尖根管藻	<i>R. styliformis</i>	+		+
	柔弱根管藻	<i>R. delicatula</i>		+	
	中华根管藻	<i>R. sinensis</i>	+		+
	角毛藻	<i>Chaetoceros</i> sp.	+		+
	旋链角毛藻	<i>C. curvisetus</i>	+		
	短孢角毛藻	<i>C. brevis</i>			+
	并基角毛藻单胞变形	<i>C. decipiens</i>			+
	卡氏角毛藻	<i>C. castracanei</i>			+
	菱形藻	<i>Nitzschia</i> sp.			+
	尖刺菱形藻	<i>N. pungens</i>			+
	长菱形藻	<i>N. longissima</i>	+	+	+
	柔弱菱形藻	<i>N. delicatissima</i>		+	+

Continued

	新月菱形藻	<i>N. clostertum</i>	+		
	洛氏菱形藻	<i>N. lorenziana</i>	+		
	海链藻	<i>Thalassiosira</i> sp.	+	+	
	骨条藻	<i>Skeletonema</i> sp.	+		+
	中肋骨条藻	<i>S. costatum</i>		+	
	丹麦细柱藻	<i>Leptocylindrus</i>	+	+	+
	双眉藻	<i>Amphora</i> sp.	+		
	卵圆双眉藻	<i>A. ovalis</i>	+		
	唐氏藻	<i>Donkiniarecta</i> sp.	+		
	舟形藻	<i>Navicular</i> sp.	+	+	
	线形舟形藻	<i>N. graciloides</i>	+		
	优美施罗藻	<i>Schroederella delicatula</i>	+	+	
	环纹娄氏藻	<i>Lauderia annulata</i>	+	+	+
	菱形海线藻	<i>Thalassionema nitzschioides</i>		+	
	双凹梯形藻	<i>Climacodium biconcavum</i>		+	
	布氏双尾藻	<i>Ditylum brightwellii</i>			+
	曲壳藻	<i>Achnanthes</i> sp.	+		
	小环藻	<i>Cyclotella cryptica</i>			+
	薄壁几内亚藻	<i>Guinardia flaccida</i>	+	+	
	斯氏几内亚藻	<i>G. striata</i>		+	
	胸隔藻	<i>Mastogloia</i> sp.	+		
	美丽斜纹藻	<i>Pleurosigma formosum</i>	+		
	斜纹藻属	<i>Pleurosigma wsmith</i>	+		
	诺马斜纹藻	<i>P. normani</i>	+		
	长斜纹藻	<i>P. elongatum</i>	+		
	黄藻门 Xanthophyta	<i>Heterosigma akashiwo</i>	+		
		<i>Ceratium. furca</i>			+
		<i>C. tripos</i>			+
		<i>Prorocentrum micans</i>		+	
		<i>Karenia mikimotoi</i>		+	
	甲藻门 Dinophyta	<i>Scrippsiella trochoidea</i>		+	+
		<i>Biecheleriopsis adriatica</i> sp.	+		
		<i>Amylax triacantha</i>			+
		<i>Peridinium quinquecorne</i>	+		
		<i>Metaphalacroma skogsbergi</i>	+		
		<i>Prorocentrum</i> sp.		+	
		<i>Phormidium</i>	+	+	
	蓝藻门 Cyanobacteria	<i>Oscillatoria</i>			+
		<i>Microcystis aeruginosa</i>	+		
		<i>Gloethece linearis</i>	+		
	金藻门 Chrysophyceae	<i>Isochrysis</i> sp.	+		
		<i>Coccolithophorid</i>	+		
	裸藻门 Euglenophyta	<i>Euglena</i> sp.	+		+

Table 3. Phytoplankton species identified in the Shangchuan Island
表 3. 上川岛采样点藻种类

门类/phylum	中文名/Chinese name	拉丁种名/Latin name	标记/Label							
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	
硅藻门 Bacillariophyta	笔尖根管藻	<i>R. styliformis</i>							+	+
	角毛藻	<i>Chaetoceros</i> sp.	+							
	短孢角毛藻	<i>C. brevis</i>		+						+
	并基角毛藻单胞变形	<i>C. decipiens</i>				+				
	卡氏角毛藻	<i>C. castracanei</i>							+	
	菱形藻	<i>Nitzschia</i> sp.								+
	尖刺菱形藻	<i>N. pungens</i>	+	+						
	长菱形藻	<i>N. longissima</i>								
	柔弱菱形藻	<i>N. delicatissima</i>	+	+						
	骨条藻	<i>Skeletonema</i> sp.	+						+	+
	丹麦细柱藻	<i>Leptocylindrus danicus</i>							+	
	中华根管藻	<i>Rhizosolenia sinensis</i>	+							
	环纹娄氏藻	<i>Lauderia annulata</i>				+				
	布氏双尾藻	<i>Ditylum brightwellii</i>				+				
	甲藻门 Dinophyta	小环藻	<i>Cyclotella cryptica</i>							
叉角藻		<i>C. furca</i>								+
三角角藻		<i>C. tripos</i>								+
锥状斯氏藻		<i>Scrippsiella trochoidea</i>								+
蓝藻门 Cyanobacteria	三棘双鞭毛藻	<i>Amylax triacantha</i>								+
	颤藻	<i>Oscillatoria</i>					+			
裸藻门 Euglenophyta	裸藻	<i>Euglena</i> sp.	+							

3.2. 浮游植物中的活性物质资源

浮游植物中存在着丰富的、结构独特的生物活性物质，其中有许多具有药理活性，在医药和保健品的开发应用方面具有巨大的潜力。Imada N. [9]等人从骨条藻属获得的二十碳五烯酸衍生物具有抑制其自身生长的作用；Urbanova K.等人[10]从舟形藻属获得的反式棕榈油酸具有植物发芽诱导剂，血管保护剂，抗肿瘤，杀藻剂的作用；Gustafson K.R. [11]从席藻属中分离到的糖苷类化合物可参与 CO₂在细胞膜上的交换，同时在体外显示抗 hiv-1 活性；Ayaka 等人[12]研究发现小鼠口服裸藻属对非酒精性脂肪性肝炎具有抗纤维化活性，有望成为抑制非酒精脂肪肝的替代品。角毛藻的提取物具有抗菌、抗生物膜活性以及抗氧化和一氧化氮抑制活性[13] [14]。

该研究分别对所鉴定的浮游植物种属进行次级代谢产物文献检索，以分辨其中活性物质资源，为进行这些资源的食用或药用价值开发利用奠定基础。检索到产糖苷类代谢产物的有角毛藻属、菱形藻、赤潮异弯藻属、席藻属；产萜类代谢产物的有舟形藻属、根管藻属、海链藻属、斜纹藻属、金藻属、凯伦

藻属；产多不饱和脂肪酸类代谢产物的有骨条藻属、菱形藻属、舟形藻属；产生物碱类代谢产物的有小环藻属、菱形藻属、舟形藻属、细柱藻属、裸藻属；产大环内酯类代谢产物的有颤藻属；产类胡萝卜素类代谢产物的有舟形藻属、菱形藻属、细柱藻属、小环藻属、球石藻属、裸藻属；产肽类代谢产物的有舟形藻属、微囊藻属；产甾醇类代谢产物的有细柱藻属、五刺多甲藻属(见表 4)。

Table 4. The active substance of phytoplankton around islands in the south China sea
表 4. 南海岛屿周边浮游植物中的活性物质资源

浮游植物种类/ Phytoplankton species	化合物种类/ compound classification	糖苷类	萜类	多不饱和 脂肪酸类	生物 碱类	类胡 萝卜	肽类	甾醇类	大环 内酯
角毛藻属[15] <i>Chaetoceros</i> sp.		+							
赤潮异弯藻属[16] <i>Heterosigma akashiwo</i>		+							
席藻属[11] <i>Phormidium</i> sp.		+							
菱形藻属[11] [23] [25] [26] [28] <i>Nitzschia</i> sp.		+		+		+	+		
舟形藻属[17] [24] [25] [26] [28] <i>Navicular</i> sp.			+	+		+	+		
金藻属[18] <i>Isochrysis</i> sp.			+						
根管藻属[19] <i>Rhizosolenia</i> sp.			+						
海链藻属[20] <i>Thalassiosira</i> sp.			+						
凯伦藻属[21] <i>Karenia</i> sp.			+						
斜纹藻属[22] <i>Pleurosigma</i> sp.			+						
骨条藻属[9] <i>Skeletonema</i> sp.				+					
小环藻属[25] [26] [28] <i>Cyclotella</i> sp.					+	+	+		
细柱藻属[25] [28] [29] <i>Leptocylindrus</i> sp.					+		+		
裸藻属[4] [23] <i>Euglena</i> sp.					+	+			
细柱藻属[26] <i>Leptocylindrus</i> sp.						+		+	
球石藻属[27] <i>Coccolithophorid</i> sp.						+			
微囊藻属[29] <i>Microcystis</i> sp.							+		
五刺多甲藻属[30] <i>Peridinium quinquecorne</i>								+	
颤藻属[3] <i>Oscillatoria</i> sp.									+

从藻类获得的糖苷类、萜类、脂肪酸类、生物碱类、大环内酯类、类胡萝卜素类、肽类、甾醇类化合物，具有明显的生物活性，是进行新药及保健与功能食品研制和开发的原料来源。

基金项目

- 1) 中国水产科学研究院院级基本科研业务费专项项目(2018GH13);
- 2) 农业部“引进国际先进农业科学技术”(948)项目(2015-Z18);
- 3) 科技基础资源调查专项(2018FY100202);
- 4) 中国水产科学研究院基本科研业务费资助项目(2020TD68)。

参考文献

- [1] 孙军, 李冠国, 范振刚. 海洋生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 247-282.
- [2] 刘述锡, 樊景, 王真良. 北黄海浮游植物群落季节变化[J]. 生态环境学报, 2013, 22(7): 1173-1181.
- [3] Barchi, J.J., Moore, R.E. and Patterson, G.M.L. (1984) Acutiphycin and 20,21-Didehydroacutiphycin, New Antineoplastic Agents from the Cyanophyte *Oscillatoria acutissima*. *Journal of the American Chemical Society*, **106**, 8193-8197. <https://doi.org/10.1021/ja00338a031>
- [4] Bjornland, T., Liaaen-Jensen, S. and Thronsen, J. (1989) Carotenoids of the Marine Chrysophyte *Pelagococcus subviridis*. *Phytochemistry*, **28**, 3347-3353. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(89\)80345-0](https://doi.org/10.1016/0031-9422(89)80345-0)
- [5] 陈勇, 孙净, 周志刚. 藻源活性物质的抗皮肤衰老作用[J]. 天然产物研究与开发, 2017, 29(5): 893-901+881.
- [6] 朱根海, 宁修仁, 蔡昱明, 等. 南海浮游植物种类组成和丰度分布的研究[J]. 海洋学报, 2003, 25(2): 8-23.
- [7] 殷安齐, 王兴华. 海南岛铺前湾浮游植物群落结构初步研究[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(2): 103-104+112.
- [8] 陈自强, 寿鹿, 廖一波, 等. 三亚岩相潮间带底栖海藻群落结构及其季节变化[J]. 生态学报, 2013, 33(11): 3370-3382.
- [9] Mitchell, P.D., Hallam, C. and Hemsley, P.E. (1984) Inhibition of Platelet 12-Lipoxygenase by Hydroxy-Fatty Acids. *Biochemical Society Transactions*, **12**, 839-841. <https://doi.org/10.1042/bst0120839>
- [10] Urbanova, K., Valterova, I., Hovorka, O. and Kindl, J. (2001) Chemotaxonomical Characterisation of Males of *Bobus lucorum* (Hymenoptera: Apidae) Collected in the Czech Republic. *European Journal of Entomology*, **98**, 111-115. <https://doi.org/10.14411/eje.2001.017>
- [11] Gustafson, K.R., Cardellina, J.H., Fuller, R.W., et al. (1989) Aids-Antiviral Sulfolipids from *Cyanobacteria* (Blue-Green Algae). *Journal of the National Cancer Institute*, **81**, 1254-1258. <https://doi.org/10.1093/jnci/81.16.1254>
- [12] Nakashima, A., Sugimoto, R., Suzuki, K., Shirakata, Y., Hashiguchi, T., Yoshida, C. and Nakano, Y. (2019) Anti-Fibrotic Activity of *Euglena gracilis* and Paramylon in a Mouse Model of Non-Alcoholic Steatohepatitis. *Food Science & Nutrition*, **7**, 139-147. <https://doi.org/10.1002/fsn3.828>
- [13] Iglesias, J., Soengas, R., Probert, I., et al. (2019) NMR Characterization and Evaluation of Antibacterial and Anti-biofilm Activity of Organic Extracts from Stationary Phase Batch Cultures of Five Marine Microalgae (*Dunaliella* sp., *D. salina*, *Chaetoceros calcitrans*, *C. gracilis* and *Tisochrysis lutea*). *Phytochemistry*, **164**, 192-205. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2019.05.001>
- [14] Azizan, A., Bustamam, M.S.A., Maulidiani, M., et al. (2018) Metabolite Profiling of the Microalgal Diatom *Chaetoceros Calcitrans* and Correlation with Antioxidant and Nitric Oxide Inhibitory Activities via ¹H NMR-Based Metabolomics. *Marine Drugs*, **16**, 154. <https://doi.org/10.3390/md16050154>
- [15] Shibata, Y. and Morita, M. (1988) A Novel, Trimethylated Arseno-Sugar Isolated from the Brown Alga *Sargassum thunbergii* (Biological Chemistry). *Agricultural and Biological Chemistry*, **52**, 1087-1089. <https://doi.org/10.1080/00021369.1988.10868781>
- [16] Kobayashi, M., Hayashi, K., Kawazoe, K., et al. (1992) Marine Natural-Products.29. Heterosigma-Glycolipid-I, Heterosigma-Glycolipid-II, Heterosigma-Glycolipid-III, and Heterosigma-Glycolipid-IV, 4 Diacylglyceroglycolipids Possessing Omega-3-Polyunsaturated Fatty-Acid Residues, from the *Raphidophycean dinoflagellate Heterosigma-Akashiwo*. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, **40**, 1404-1410.
- [17] Tomita, B. and Hirose, Y. (1973) Allo-Cedrol: A New Tricarbocyclic Sesquiterpene Alcohol. *Phytochemistry*, **12**, 1409-1414. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(73\)80575-8](https://doi.org/10.1016/0031-9422(73)80575-8)
- [18] Gareth, R.M.A., Teece, T.M., Peakman, A.M., et al. (1998) Long-Chain Alkenes of the Haptophytes *Isochrysis galba-*

- na* and *Emiliania huxleyi*. *Lipids*, **33**, 617-625. <https://doi.org/10.1007/s11745-998-0248-0>
- [19] Belt, S.T., Masse, G., Allard, W.G., *et al.* (2003) Novel Monocyclic Sester- and Triterpenoids from the Marine Diatom, *Rhizosolenia setigera*. *Tetrahedron Letters*, **44**, 9103-9106. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2003.10.039>
- [20] Harkes, P.D. and Begemann, W.J. (1974) Identification of Some Previously Unknown Aldehydes in Cooked Chicken. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **51**, 356-359. <https://doi.org/10.1007/BF02632383>
- [21] Bourdelais, A.J., Jacocks, H.M., Wright, J.L.C., *et al.* (2005) A New Polyether Ladder Compound Produced by the Dinoflagellate *Karenia brevis*. *Journal of Natural Products*, **68**, 2-6. <https://doi.org/10.1021/np049797o>
- [22] Belt, S.T., Allard, G.M., Guillaume, R., Bigwarfe Jr., P.M. and Baden, D.G. (2000) Important Sedimentary Sesterterpenoids from the Diatom *Pleurosigma intermedium*. *Chemical Communications*, **6**, 501-502. <https://doi.org/10.1039/a909670a>
- [23] Ohashi, K., Kosai, S., *et al.* (1989) Syntheses of D-Erythro-1-Deoxydihydroceramide-1-Sulfonic Acid and Phosphosphingoglycolipid Found in Marine Organisms via a Common Precursor. *Tetrahedron*, **45**, 2557-2570. [https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(01\)80087-9](https://doi.org/10.1016/S0040-4020(01)80087-9)
- [24] Manivasaham, S., Mohankumar, A., Subramanian, A., *et al.* (1991) Antibacterial Fatty Acids of *Navicula gracilis*. *Planta Medica*, **57**, A85. <https://doi.org/10.1055/s-2006-960358>
- [25] Klein R, Tatischeff I, Tham G, *et al.* (1991) The Major Pterin in *Tetrahymena pyriformis* Is 6-(D-Threo-1,2,3-Trihydroxypropyl)-Pterin (D-Monapterin) and Not 6-(D-Threo-1,2-Dihydroxypropyl)-Pterin (Ciliapterin). *Biochimie*, **73**, 1281-1285. [https://doi.org/10.1016/0300-9084\(91\)90089-J](https://doi.org/10.1016/0300-9084(91)90089-J)
- [26] Arpin, N., Svec, W.A. and Liaen-Jensen, S. (1976) New Fucoxanthin-Related Carotenoids from *Coccolithus huxleyi*. *Phytochemistry*, **15**, 529-532. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)88964-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)88964-5)
- [27] 张璇, 宁娜, 刘方菁. 微藻中的生理活性物质及其保健食品的研究概况[J]. 农产食品科技, 2010, 4(4): 39-43
- [28] Tadashi, N.B.E. (1969) 3,4-Dihydroxyproline: A New Amino Acid in Diatom Cell Walls. *Science*, **164**, 1400-1401. <https://doi.org/10.1126/science.164.3886.1400>
- [29] Choi, B.W., Namikoshi, M., Sun, F.R., *et al.* (1993) Isolation of Linear Peptides Related to the Hepatotoxins Nodularin and Microcystins. *Tetrahedron Letters*, **34**, 7881-7884. [https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(00\)61500-9](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(00)61500-9)
- [30] 刘宝宁, 刘晨, 周成旭, 等. 几种菱形藻及其近缘种分类界定的比较研究[J], 海洋与湖沼, 2011, 42(3): 351-358.