

南沙群岛海域营养盐分布的研究^{*}

DISTRIBUTION OF NUTRIENTS IN THE NANSHA ISLANDS WATERS

林洪瑛 韩舞鹰

(中国科学院南海海洋研究所 广州 510301)

关键词 南沙群岛海域, 营养盐, N:P 原子比, 浮游植物生长限制

海洋中的营养盐是海洋浮游植物生长所必需的物质基础。营养盐、光照和温度是初级生产力的主要影响因素。海水中不同的营养组成和浓度比, 不但会影响生物生产力, 同时会对浮游植物的群落结构产生调节作用, 影响着海洋生态系统的结构。因此, 作为了解海洋生态系统生产过程的关键过程, 海洋中的营养盐状况和循环研究, 越来越得到生态学家的重视。诸多的研究表明, 海洋中影响浮游植物生长的限制因子一般为 N 或 P, 在中国沿海则主要是 P 的限制^[1]。南沙群岛海域位于南海的南部, 作为典型的热带海区, 其营养盐状况与我国的温带地区是不同的。作者根据在南沙群岛海域进行的多年水化学环境调查结果, 探讨其营养状况及对浮游植物生长的限制作用, 为进一步了解该地区的生物生产过程和生态系统提供理论基础。

1 采样与实验方法

本研究的资料来源于“八五”、“九五”期间中国科学院南沙综合科学考察队在南沙群岛海域进行的多个航次的调查和分析结果。春、夏、秋、冬季的资料分别取自 1990 年 5~6 月、1993 年 12 月、1994 年 9~10 月和 1999 年 7 月航次的调查分析结果, 调查站位见图 1。水样是在“实验 3”号船上用美国生产的多瓶自动采水系统 (Rosette Autosampler System) 与 CTD 同步, 分层采集后现场分析。分析方法采用国家技术监督局 1991 年 3 月颁布的《海洋调查规范》(GB12763.4-91) 中的海水化学要素的观测分析方法。

2 结果与讨论

2.1 营养盐的分布状况

分别对南沙群岛海域春季航次 20 个测站、夏季航次 31 个测站、秋季航次 29 个测站、冬季航次 27 个

测站的 0, 50, 100 m 深度的营养盐含量进行统计, 不同季节海水营养盐含量的统计分析结果列于表 1。结果显示, 南沙群岛海域表层海水的营养盐含量较低, 各航次的调查结果均发现在表层存在或无机磷酸盐或硝酸氮或无机硅酸盐检测不出的分析结果, 而在次表层约 75~200 m 深度, 营养盐含量明显增大。南沙群岛海域属热带海区, 终年存在温度跃层, 各季节的温跃层强度均大于 0.05 °C/m。由于温跃层的阻隔, 使上、下层海水的混合作用较弱, 上层海水中的营养盐被浮游生物吸收后, 难以得到来自下层海水营养盐的补充, 使表层海水的营养盐含量较低。过低的营养盐含量, 加上过强的光照, 抑制了浮游植物的生长, 使热带海区的表层海水初级生产力维持在较低的水平。

南沙群岛海域海水营养盐的统计分析结果还表明, 海水中的亚硝酸氮在表层和在深层均检测不出,

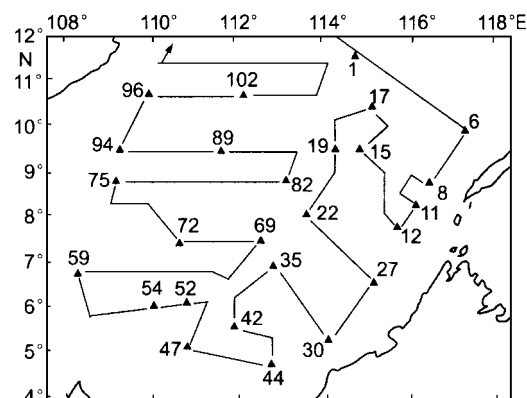


图 1 南沙群岛海域采样站位分布(1999 年 7 月)

^{*} “九五”国家科技攻关资助项目 97-926-04-01 号。

收稿日期: 2000-05-08; 修回日期: 2000-10-15

表 1 南沙群岛海域海水营养盐的统计分析结果

调查时间	层次 (m)	营养盐含量 ± 标准偏差(m mol/ m ³)				
		PO ₄ -P	SiO ₃ -Si	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ ⁺ -N
1990 年 5 ~ 6 月	0	0.19 ± 0.10	4.55 ± 2.09	0.14 ± 0.14	0.00	0.87 ± 0.52
	50	0.30 ± 0.19	6.47 ± 3.71	0.68 ± 1.65	0.05 ± 0.10	0.71 ± 0.36
	100	0.97 ± 0.33	14.65 ± 4.28	12.91 ± 3.62	0.04 ± 0.04	0.80 ± 0.42
1999 年 7 月	0	0.24 ± 0.30	/	1.76 ± 2.29	0.07 ± 0.13	4.59 ± 1.85
	50	0.35 ± 0.29	/	2.70 ± 3.69	0.17 ± 0.28	4.21 ± 2.66
	100	0.96 ± 0.60	/	18.11 ± 6.54	0.15 ± 0.16	3.90 ± 2.17
1994 年 9 月	0	0.10 ± 0.09	0.00	0.56 ± 0.79	0.00	/
	50	0.25 ± 0.22	0.93 ± 1.82	3.32 ± 4.38	0.07 ± 0.02	/
	100	0.91 ± 0.93	5.36 ± 3.70	9.93 ± 8.94	0.01 ± 0.02	/
1993 年 12 月	0	0.34 ± 0.08	0.00	0.00	0.00	0.01 ± 0.01
	50	0.41 ± 0.14	0.08 ± 0.35	0.84 ± 2.27	0.03 ± 0.06	0.01 ± 0.01
	100	0.83 ± 0.30	3.18 ± 1.57	6.18 ± 4.95	0.65 ± 0.12	0.02 ± 0.03
	200	1.39 ± 0.47	7.04 ± 1.17	17.57 ± 7.95	0.00	0.48 ± 1.94

只在 50~100 m 出现,平均含量在 0.06~0.37 m mol/ m³,呈现薄层现象。由于亚硝酸氮是来自 NH₄⁺N 硝化和 NO₂⁻N 反硝化作用的中间产物,而海水中 NH₄⁺N 主要来自浮游动物排泄和浮游植物细胞的溶出,碎屑分解产生 NO₂⁻N。亚硝酸氮薄层现象,反映了次表层在此深度处存在活跃的生物活动。南沙群岛海域不同季节均存在亚硝酸氮的薄层现象,这是南沙群岛海域独特的生物地球化学特征,作者将在另文作详细讨论。

2.2 营养盐对浮游植物生长的限制

2.2.1 Redfield 比值法

浮游植物是海洋的初级生产者,通过光合作用,把海水中的无机离子转化为初级生产力,从而形成了海洋生态系统中食物链和能量流的基础。浮游植物在光合作用中以吸收一定的 N/P 原子比进行,Redfield 认为该比值为 16:1。当海水中 N/P 原子比与此比值比较,偏高或过低,都有可能引起相对含量较低的营养元素对浮游植物生长的限制。

南沙群岛海域冬、春季不同层次的海水营养盐的

表 2 南沙群岛海域不同层次海水中的平均 N/P,Si/P,Si/N 值

时间	层次	N/ P	Si/ P	Si/ N
冬季 (1993 年 12 月)	上准均匀层(0~20 m)	0.026	0.0	0.0
	上温跃层(50~75 m)	1.59	0.81	8.40
	下温跃层(100~200 m)	15.99	5.49	2.82
春季 (1990 年 5~6 月)	上准均匀层(0~30 m)	6.62	35.76	7.94
	上温跃层(50~75 m)	9.06	21.12	5.43
	下温跃层(100~200 m)	14.89	18.24	1.21

平均 N/P,Si/P,Si/N 原子比统计结果列于表 2。结果表明,上准均匀层海水中冬季 N/P,Si/P,Si/N 原子比平均值均很低,表明此时海水中的无机 N 含量和无机 Si 含量均较低。春季上准均匀层海水中虽然无机 N 含量仍较低,但无机 Si 含量就相对较高。上温跃层中海水的 N/P 原子比春、冬季均偏低,无机 N 相对无机 P 不足,浮游植物生长受到 N 的限制。下温跃层中 N/P 原子比接近 Redfield 比值,浮游植物生长有较合适的营养比例。根据在南沙群岛海域进行的海水透明度观测,南沙群岛海域的真光层深度一般在 70~80 m,由此看来,100~200 m 深度的下温跃层中,光照不足,虽然海水中的 N/P 原子比接近 Redfield 比值,营养盐丰富,但此时浮游植物的生长因受到光的限制而使光合作用有所减弱,初级生产力受到抑制。南沙群岛海域叶绿素 a 的观测在 50~75 m 层呈现垂直分布的极大值现象^[2],正好反映了这一分析结果。

由于各航次的采样布站有所不同,为了解营养盐不同季节时的变化状况,各航次均有采样分析的测站,即分别位于南沙群岛海域西南部海区(110°E,6°30'N)和西北部海区(110°E,10°N)的测站进行了营养盐状况的四季分析,其 0~200 m 深度的平均 N/P,Si/P,Si/N 原子比的统计结果列于表 3。由表可见,春、冬季 N/P 原子比均偏小于 Redfield 比值,而夏、秋季均偏大于 Redfield 比值,同时西南部和西北部海区的

表 3 南沙群岛海域不同季节的平均 N/P, Si/P, Si/N 值

时间 (年.月)	N/P		Si/P		Si/N	
	西南部	西北部	西南部	西北部	西南部	西北部
春季 (1990.5~6)	8.7	6.7	34.3	33.7	10.4	15.4
夏季 (1999.7)	54.9	88.6	/	/	/	/
秋季 (1994.9)	48.4	12.2	0.4	5.2	0.03	0.3
冬季 (1993.12)	5.2	6.8	2.6	2.4	0.3	0.2

夏、秋季 N/P 原子比均比该季节整个海区平均的 N/P 原子比值要高,反映该海区具有的区域特性和季节特征。由于南沙海域夏、秋季盛行西南季风,来自中南半岛等陆源的无机氮等营养盐被带入南沙西部海区,使该海区具有较高的 N/P 原子比值,P 相对不足。冬、春季,南沙海区盛行东北季风,虽然来自南海北部的陆源营养物质也被带入南海,使南海的营养盐在此季节有较高的含量,但海水运行到南海南部的南沙海域时,大量的氮营养盐已被途中的浮游生物所消耗,主要来自陆源的无机氮相对于自生的无机磷来说,显得相对不足,由此可判断,南沙群岛海域冬、春季浮游植物生长可能受到 N 的限制,而夏、秋季则可能受到 P 的限制。

2.2.2 Justic 法

Justic 等^[3]1992 年在总结前人工作的基础上提出了一个系统评估每一种营养盐化学计量限制的标准:(1)若 $Si/P > 22$ 和 $N/P > 22$ 则受磷酸盐限制;(2)若 $N/P < 10$ 和 $Si/N > 1$ 则受溶解无机氮限制;(3)若 $Si/P < 10$ 和 $Si/N < 1$ 则受溶解无机硅限制。根据此化学计量标准对南沙群岛海域海水营养盐状况进行分析,春季浮游植物生长受无机氮的限制;秋季和冬季均受无机硅酸盐的限制,同时秋季由于 $N/P > 22$ 表现出无机磷酸盐相对不足,而冬季同时有 $N/P < 10$ 表现出无机氮相对不足;夏季 $N/P > 22$,有较高的 N/P 比值,虽然西南季风会给南沙海域带入较多的硅酸盐,使无机硅酸盐在夏季具有相对较高的含量,但由于 1999 年 7 月航次没有进行无机硅酸盐的观测,一时还难于判断硅的限制状况,但无机磷酸盐相对不足却是肯定的。

2.2.3 无机硅酸盐对浮游植物的影响

海水中溶解态的无机硅酸盐,主要来源于陆地矿物风化作用后随河流向海洋的输送。海洋中的硅藻、放射虫等会利用海水中的硅。为了解南沙群岛海域无机硅酸盐对浮游植物生长的限制作用,作者对冬季南沙群岛海域浮游植物的细胞数量与海水 N/P 原子比和 Si/P 原子比分别进行了回归分析。分析结果发现,

冬季南沙群岛海域浮游植物细胞总数量和硅藻细胞数量分别与 N/P 原子比有很好的相关性,相关系数分别为 0.999 1 和 0.993 2 ($n=8$),而对 Si/P 原子比的回归分析却没有相关性,反映冬季南沙群岛海域浮游植物的生长与 N

关联, Si 不能影响其初级生产量。Hecky 和 Kilham 1988 年的研究结果认为硅不能限制浮游植物的总生物量,但可以调节浮游植物的群落组成。海洋中的主要藻类为硅藻,当硅缺乏时受到限制,而使其他的藻类获益,但浮游植物的生物量并未受到影响^[4]。围隔实验研究表明^[5],在营养盐丰富的水体中, N/P 比值高,繁殖速率高的硅藻易成为优势种;当营养盐缺乏时,浮游植物演替为对营养盐利用能力强的甲藻成为优势种。南沙群岛海域浮游植物的调查分析表明^[6,7],南沙群岛海域浮游植物的优势种为硅藻和甲藻。浮游植物种类组成不同于近岸水域,也不同于温带海域的以硅藻为优势,而是以甲藻为主要成分,甲藻占浮游植物种类数的 43% 以上,大大高于我国其他海区,反映出热带、外洋性特征。也许正是由于南沙群岛海域冬季低的 Si 含量对其浮游生物群落的调节作用,使南沙群岛海域浮游植物种类具有较多甲藻种类的特色。

由于南沙群岛海域浮游植物的分布具有斑状特点,南沙西部、北部的甲藻比例高于东南部,其海水的区域营养限制,还有待今后作进一步的分析和研究。

参考文献

- 1 林荣根,邹景忠.海洋环境科学,1997,16(3):71~75
- 2 中国科学院南沙综合科学考察队.南沙群岛海区生态过程研究(一).北京:科学出版社,1997.1~16
- 3 赵卫红,焦念志,赵增霞.海洋科学,2000,24(4):31~34
- 4 蒲新明,吴玉霖.海洋科学,2000,24(2):27~30
- 5 陈尚,朱明远,马艳等.地球科学进展,1999,14(6):571~576
- 6 中国科学院南沙综合科学考察队.南沙群岛及其邻近海区海洋生物多样性研究 II.北京:海洋出版社,1996.11~27
- 7 中国科学院南沙综合科学考察队.南沙群岛及其邻近海区海洋生物研究论文集(二).北京:海洋出版社,1991.66~76

(本文编辑:刘珊珊)