

南沙群岛珊瑚礁区仙掌藻的现代沉积特征^①

余克服 赵焕庭 朱袁智

(中国科学院南海海洋研究所 广州 510301)

提 要 仙掌藻为温暖水体中钙化的绿藻,是南沙群岛珊瑚礁区重要的钙质沉积物源。对南沙群岛 8 座环礁现代沉积物样品的分析表明,仙掌藻碎屑在环礁各地貌沉积带沉积物中的含量,以泻湖盆底最高,平均为 32.66%,最高可达 75%,泻湖坡次之,平均 9.22%,礁坪含量低,平均 6.06%。南沙群岛仙掌藻以砂质基底上生长的直立类型为主,能生长于各个地貌沉积带,最适生态环境为封闭性好、泻湖面积大、水深较大(10~25 m)、水动力弱的砂质泻湖盆底。仙掌藻的现代沉积特征反映了其生态特征,可作为中新世以来珊瑚礁沉积相划分的依据。

关键词 南沙群岛 珊瑚礁 仙掌藻 沉积相

第一作者简介 余克服 男 28 岁 助理研究员 在职博士生 珊瑚礁地质与环境

1 概述

仙掌藻(*Halimeda*)为绿藻门(Chlorophyta)松藻科(Codiaceae)的一个属。它由许多板状心型的或亚圆柱形的节片组成,呈仙人掌状,节片钙化,节片间的关节未钙化,构成活动关节,将仙掌藻节片连接成链状枝,以适应海浪冲击,植株一旦死亡节片即相互分离。仙掌藻的节片由中间的髓部和表层的皮层构成,髓部丝体粗、数目少、呈纵向排列,皮层丝体较细,一般为三级分枝。已报道的仙掌藻有 33 种,多个固着器系统使其既能适应坚硬的岩石基底,也能在松散的砂质上很好地生长。一般匍匐的种类生长在坚硬的底质上,松散沉积物上则以直立类型的为主。仙掌藻分布水深深度广,150 m 以浅都有分布;分布时代从晚白垩世至现代。

在许多热带珊瑚礁区都有仙掌藻大量生长,它一直是钙质沉积物的重要生产者。晚更新世和全新世时,在许多礁区还形成了近 20 m 或更厚的仙掌藻生物礁(bioherm)^[1]。在描述礁区仙掌藻的发育程度时,派生了仙掌藻原(meadow)、藻幔(drapery)、藻丘(mound)、藻垄(bank)和生物礁(bioherm)等专门术语^[2]。仙掌藻在现代礁区沉积物中所占的比例,据调查,在巴哈马礁区占 32%~63%^[3],在加勒比海珊瑚礁区占 20%~30%,在太平洋的环礁泻湖中则可高达 70%以上^[4],在澳大利亚的大堡礁占 26%^[5]等。1985 年第六届国际珊瑚礁会议之后,这种重要的礁区植物才首次引起了海洋科学界的重视,并先后开展了仙掌藻的系统分类、生长率、钙化率、沉积速率、生态等的研究。

仙掌藻生长快,砂质基底上生长的种类一般每枝(一般

每株仙掌藻植物由多个枝构成)每天可长出一个新的节片,高者可达 3.3 节以上^[6],甚至可在 24 小时之内长成一株完整的仙掌藻植物^[4]。礁区仙掌藻生物量大,在巴哈马每 1 m² 一般超过 100 株,更密的可超过 500 株^[7]。仙掌藻生长具有季节性变化的特征^[6],其生长的最适水温为 27~29°C^[8]。仙掌藻矿物成分为文石,但易发生成岩变化而转变为方解石,其方解石化的方式为胞间和髓部间隙被稍粗的方解石充填胶结,故方解石化后其原始组织结构仍可辨认^[9]。化学成分以富 Sr 贫 Mg 为特征,南沙群岛仙掌藻 Sr 和 Mg 的平均含量分别为 0.846% 和 0.22%^[10]。对大堡礁痕量和微量元素的研究发现, Sr/Ca 平均值为 (10.9±0.1) mmol/mol, Mg/Ca 平均值为 (1.35±0.26) mmol/mol,全新世仙掌藻的 Sr/Ca 和 Mg/Ca 值与现代的相似, Mn/Ca 值比现代的高^[11]。

我国在南海诸岛礁体上先后打了 5 口较深的全取芯地质钻井,研究了珊瑚礁的地层、礁体演化和环境变迁,其中也开展了珊瑚礁沉积相的研究,但对仙掌藻这种重要的礁区生物物的沉积特征和指相意义的研究则很少。我们对西沙群岛灰沙岛和南沙群岛环礁现代沉积物的研究中已意识到,仙掌藻是南海礁区现代沉积的重要物源,并且其沉积分布具有一定的规律性^[12]。本文专门探讨这个问题,选择南沙群岛 8 座环礁,研究仙掌藻在南沙群岛珊瑚礁区的沉积特征和指相意义。

2 样品采集和研究方法

环礁为南沙群岛珊瑚礁的主要类型。本文选择了位于南沙群岛不同地理方位的永暑礁之西南礁、清碧礁、郑和群

① 中国科学院南沙综合科学考察队调查报告

② 余克服,朱袁智,赵焕庭.南沙群岛信义礁等 4 座环礁的现代碎屑沉积.南海海洋科学集刊,第 12 集(待刊)

收稿日期:1997-09-24 收修改稿日期:1997-12-04

礁的东礁锡安达礁、三角礁、美济礁、仙娥礁、信义礁和皇路礁等 8 座环礁为研究对象 (图 1), 这 8 座环礁按泻湖被封闭程度可划分为封闭型、准封闭型和开放型, 其地貌特征见表 1。设计野外工作剖面方向穿过环礁的礁前斜坡、礁坪、泻湖坡和泻湖盆底等 4 个地貌沉积带 (图 2), 共采集了 52 个样品。这批样品基本上能够代表礁坪 (18 个)、泻湖坡 (15 个) 和泻湖盆底 (17 个) 3 个带的沉积特征。由于礁前坡度陡, 砂质沉积物少, 采样较难, 只采到 2 个, 其代表性则较差。室内将采集的样品低温烘干, 以 $1/4\phi$ 为单位进行粒度分析, 在显微镜下对粒径大于 0.25 mm 的每一个 $1/4\phi$ 单位的样品进行了鉴定、称量和统计仙掌藻碎屑在各个粒度中的百分含量, 以研究仙掌藻碎屑的沉积特征与粒径大小之间的关系; 然后将仙掌藻碎屑在各个粒度的百分含量转换为占所分析样品的百分含量, 进行环型各地貌沉积带、各礁体之间的比较分析, 对仙掌藻样品未进行种一级的鉴定。

表 1 南沙群岛 8 座礁体的面积、水深和类型

Table 1 The areas, depths and types of 8 atolls in Nansha Islands

礁名	礁体面积 /km ²	礁坪面积 /km ²	泻湖面积 /km ²	泻湖水深 /m	类型
永暑礁之西南礁体	约 5.6	约 3.6	约 2	5	开放型
渚碧礁	14.6	5	9.6	10~20	封闭型
郑和群礁	约 14.4	约 12	约 2.4	5	开放型
东礁锡安达礁					
三角礁	10.8	4.4	6.5	5~12	封闭型
美济礁	46.4	8.5	37.9	20~25	准封闭型
仙娥礁	18.8	4.3	14.5	5~13	封闭型
信义礁	6.8	3.9	2.9	2~5	封闭型
皇路礁	2.8	1.4	1.4	6~8	封闭型

3 样品分析结果

8 座环礁 52 个样品仙掌藻碎屑的含量如图 3 从图中可以看出不同礁体现代沉积物中仙掌藻含量具有一个共同特征, 即: 礁坪低, 泻湖盆底高, 从礁坪向泻湖盆底呈增加的趋势。统计表明, 仙掌藻碎屑在各地貌沉积带中的百分含量, 礁坪沉积物中 6% 左右, 一般不超过 10%, 平均含量为 6.06%; 泻湖坡沉积物中含量一般 9%~10%, 最高达 16%, 平均为 9.22%; 泻湖盆底沉积物中平均含量为 32.66%。

不同环礁类型礁体现代沉积物中仙掌藻的含量存在差异, 泻湖盆底沉积物中最为突出。准封闭型的美济礁, 其潮汐通道水深 (3~7 m) 比泻湖 (水深 20~25 m) 浅, 泻湖盆底封闭性好, 面积和水深都大, 仙掌藻碎屑含量高达 57.07%~74.73%; 封闭型中的渚碧礁, 面积和水深都较大, 仙掌藻碎屑为 30.58%~45.85%, 其次为三角礁, 含量为 16.51%~52.65%; 其他封闭型环礁和开放型环礁泻湖面积和水深都较小, 泻湖盆底沉积物中仙掌藻碎屑含量一般为 16.51%~30% 之间。仙掌藻碎屑在礁坪和泻湖坡这两个地貌沉积带沉积物中含量低, 且在不同礁体之间的差异不是十分明显。

南沙群岛珊瑚礁礁前斜坡深度变化大, 达 1 000 m, 坡度陡, 上部礁缘属波浪破碎带, 浪潮流急, 砂质沉积物少。永暑礁礁前 10 m 水深台阶处的 93-5 样品, 仙掌藻碎屑含量达

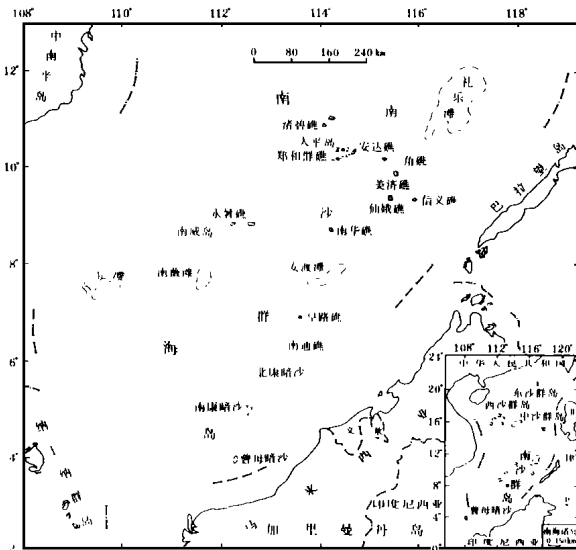


图 1 南沙群岛永暑礁等 8 座环礁的位置

Fig. 1 Locations of the 8 studied reefs in Nansha Islands

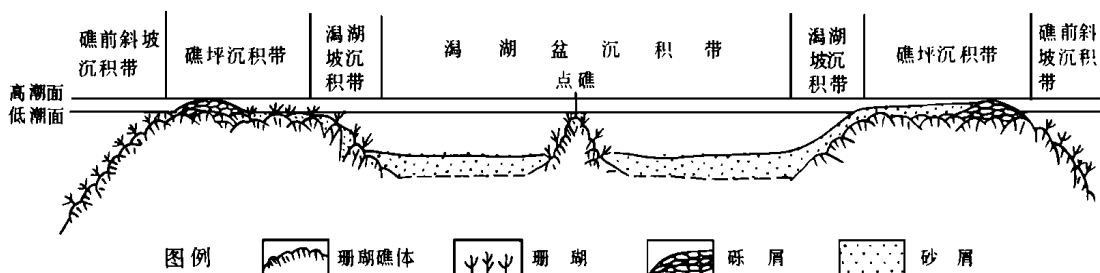


图 2 南沙群岛环礁的地貌沉积带模式

Fig. 2 The models of geomorphic-sedimentary zones of the atolls in Nansha Islands

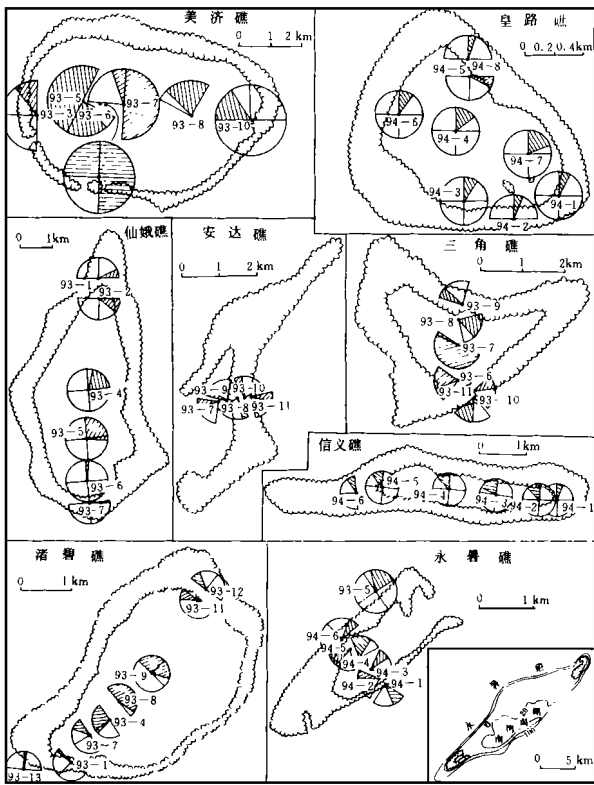


图 3 8 座环礁的地貌、采样点和
仙掌藻碎屑的百分含量

(整圆代表 10%, 半圆代表 5%, $\frac{1}{4}$ 圆代表 25%,
阴影部分代表相应的仙掌藻的含量)

Fig. 3 The landforms, sampling locations and
clastic *Halimeda* contents of the 8 reefs

21.16%, 渚碧礁礁前 80 m 水深处 93-13 样品, 仙掌藻碎屑含量小于 0.5%。

对不同粒级仙掌藻碎屑含量的分析表明, 在泻湖盆底沉积物中粒径较大的粗砂、细砾样品中仙掌藻碎屑含量极高, 甚至有的全部为仙掌藻碎屑。镜下见仙掌藻碎屑在这些粒级中多以完整的叶片保存。由于钙化的仙掌藻叶片极易破碎, 因此这种完整的叶片反映了一种未经搬运的原地沉积的特征。随着粒径变小, 仙掌藻碎屑含量降低, 其它生物组分如有孔虫等的含量增高。泻湖坡沉积物中也见到了原地沉积的仙掌藻片, 但与泻湖盆底沉积物相比要少得多, 礁坪沉积物中更少。

4 讨论

从本文分析结果来看, 仙掌藻是南沙群岛珊瑚礁区现代沉积物重要的碳酸钙沉积物源。我们曾在新加坡群岛永暑礁礁坪上钻取了深 152.07 m 和 413.69 m 的珊瑚礁岩心, 揭示仙掌藻是岩心的重要生物组分之一, 在有些层段仙掌藻含量极高, 如南永 1 井 21.60~21.70 m 间有 10 cm 厚的全部由仙掌藻组成的属于晚更新世的胶结岩^[13]。由于相邻的南永 2

井的上段 (0~150 m) 的生物组分因经费与时间不足尚未开展详细研究, 故该礁是否如爪哇海和大堡礁等地一样在晚更新世时发育了仙掌藻生物礁还有待深入研究。在邻近的西沙群岛珊瑚礁区, 有人指出仙掌藻为西琛 1 井的主要造礁生物^[14], 但尚未见其关于仙掌藻在该井剖面中的分布和在礁岩组分中的定量分析, 也未见关于仙掌藻生物礁的报道。

Wiman 等对佛罗里达珊瑚礁区仙掌藻的研究指出, 仙掌藻除了作为钙质沉积物的直接生产者以外, 还以其它方式间接地加速礁区沉积物的堆积, 如为其它生物提供栖息场所、减少水体流速加速悬浮物的沉淀等^[15]。

显微镜下见到泻湖盆底大粒径的沉积物中仙掌藻多以叶片状完整保存, 反映为未经搬运磨损的原地沉积的特征。从本文分析的结果来看, 泻湖盆底现代沉积物中仙掌藻碎屑含量最高, 说明泻湖盆底为南沙群岛珊瑚礁区仙掌藻的理想生长场所, 这与我们实地所见一致。迄今为止, 我国尚未开展南海珊瑚礁区仙掌藻系统分类和生态学的详细调查。从我们多次对珊瑚礁生物地貌和沉积物的实地考察中, 我们发现仙掌藻的生长具有明显的分带性, 一般环礁泻湖盆底中仙掌藻生长好, 密度大, 为直立类型的砂质基底生长种类 (见文献^[16]图版 IV-1)。这种情形普遍存在于其它许多热带珊瑚礁区, 如百慕大群岛^[17]、巴哈马群岛^[7]、加勒比海诸岛^[18]、太平洋^[1]和大堡礁^[1]等。礁坪中也有一些仙掌藻生长, 多附生在礁岩上或珊瑚的基部, 非常稀疏, 个体小。从南沙群岛珊瑚礁各地貌沉积带的水动力状况来看, 从礁缘的波浪破碎带向泻湖中心水动力减弱, 泻湖盆底为水动力最弱的生态环境。因此南沙群岛珊瑚礁区仙掌藻最适生长环境为水动力弱的砂质泻湖盆底, 泻湖越封闭, 水深愈大, 水动力愈弱, 仙掌藻生长愈好, 仙掌藻碎屑沉积也愈多。在泻湖水深较大、准封闭的美济礁和封闭的渚碧礁泻湖盆底中, 仙掌藻碎屑含量高, 而开放型的永暑礁和虽封闭但水深较浅的信义礁泻湖盆底中, 仙掌藻含量相对较低。礁坪水浅, 水动力强, 仙掌藻分布少, 在现代沉积物中含量低。这种沉积分布特征在元素地球化学的分析结论中也得到证实, 沉积物中元素的丰度是由生物组分所控制的, 而仙掌藻以富 Sr 贫 Mg 为特征, 分析表明, 从礁坪向泻湖盆底, 现代沉积物中 Sr 含量增加, Mg 含量降低, Sr 在泻湖盆底中含量最高^[19]。可见南沙群岛珊瑚礁区仙掌藻碎屑的沉积特征与活仙掌藻的生态特征是一致的。Wiman 等对佛罗里达珊瑚礁的研究也发现仙掌藻的沉积分布与活仙掌藻植被的分布很有关系^[15]。

据研究, 自中生代以来珊瑚礁区仙掌藻的生长环境与现代的具有可比性^[20]。南沙群岛的 2 口钻井资料也揭示自中新世以来珊瑚礁的发育规律和发育环境与现代相似, 即过去就已经形成了礁前斜坡、礁坪、泻湖坡和泻湖盆底等, 与现代的地貌沉积带一致, 仙掌藻化石的沉积特征与现代生态相似, 因此可以用仙掌藻在珊瑚礁区的现代沉积特征作为南沙群岛中新世以来珊瑚礁沉积相带划分的依据, 该结论在我们对南沙群岛新生代中新世以来珊瑚礁沉积相带的详细研究

中得到了证实^[13,21],体现了地质学的一个“将今论古”的原则。

Goreau 等曾报道仙掌藻为牙买加沿岸礁前带沉积物的主要生产者,其生长深度超过 45 m^[22],之后在 Enewetak 环礁、西印度群岛和巴哈马群岛等地礁前都发现有仙掌藻大量生长,最大水深达 150 m,甚至还形成了礁前仙掌藻带,成为主要的碳酸盐物源^[5,7]。在南沙群岛珊瑚礁,除潜水观察礁前珊瑚生长状况以外,对礁前的生态特征尚未作详细的调查研究。过去曾报道南沙群岛礁区有限几个礁前斜坡沉积物样品中仙掌藻碎屑含量,永暑礁礁前 45 m 处的粗砂级样品中少于 3%、牛车水礁礁前 595 m 处粗砂级样品中为 0.38%、南通礁礁前 1 194 m 处粗砂级样品中为 0.16%^[23],加上本文分析的 2 个礁前斜坡碎屑沉积物仙掌藻组分的资料来看,在南沙群岛珊瑚礁礁前带仙掌藻提供的碳酸钙沉积物少,远不如上述国外礁区高。特别在水深 45 m 以下,仙掌藻含量极低。礁前水深变化大,可想象随水深增加生态变化明显。这是一个重要的地貌沉积带,有待进一步了解该带生态与沉积特征。

5 结论

通过对南沙群岛 8 座环礁各地貌沉积带 52 个现代沉积物样品的分析和比较,我们认为:

(1) 在南沙群岛环礁各地貌沉积带中,泻湖盆底沉积物中仙掌藻含量最高,一般介于 16%~75% 之间,平均为 32.66%;泻湖坡沉积物中仙掌藻含量次之,介于 8%~16% 之间,平均含量为 9.22%;礁坪沉积物中仙掌藻含量低,一般小于 8%,平均含量为 6.06%;礁前斜坡深度变化大,从已有资料来看,仙掌藻含量少,但还需作深入细致的调查,才可作出结论。

(2) 南沙群岛珊瑚礁区仙掌藻以砂质基底上生长的直立类型为主,从实地考察所见和室内分析的仙掌藻沉积特征来看,仙掌藻能生长于各个地貌沉积带,其最适生长环境为封闭性好、泻湖面积大、水深较大、水动力弱的砂质泻湖盆底。

(3) 仙掌藻是南沙群岛珊瑚礁区重要的钙质碎屑沉积物源,它在各地貌沉积带的沉积特征反映了其生态特征,可作为中新世以来珊瑚礁沉积相带划分的依据。

(4) 为了更全面地了解仙掌藻在南沙群岛珊瑚礁区的分布特征,必须开展包括礁前斜坡在内的各地貌沉积带的详细调查,包括不同种的分布特征、生长率、沉积速率等。

参 考 文 献

- 1 Marshall J F, Davies P J. *Halimeda* bioherms of the northern Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, 1988, 6(3/4): 139~148
- 2 Freile D, Milliman J D, Hillis L. Leeward bank margin *Halimeda* meadows and draperies and their sedimentary importance on the western Great Bahama Bank slope. *Coral Reefs*, 1995, 14(1): 27~33

- 3 Hoskin C M, Reed J K, Mook D H. et al. Production and off bank transport of carbonate sediment, Black Rock, Southwest Little Bahama Bank. *Marine Geology*, 1986, 73: 125~144
- 4 Milliman J D. *Marine carbonates*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1974. 1~363
- 5 Orme G R, Salama M S. Form and seismic stratigraphy of *Halimeda* banks in part of the northern Great Barrier Reef Province. *Coral Reefs*, 1988, 6(3/4): 131~138
- 6 Payri C E. *Halimeda* contribution to organic and inorganic production in a Tahitian reef system. *Coral Reefs*, 1988, 6(3/4): 251~262
- 7 Littler M M, Littler D S, Lapointe B E. A comparison of nutrient- and light-limited photosynthesis in psammophytic versus epilithic forms of *Halimeda* (Caulerpaceae, Halimedaaceae) from the Bahamas. *Coral Reefs*, 1988, 6(3/4): 219~226
- 8 Hillis-Colinvaux L. Ecology and taxonomy of *Halimeda*: Primary producer of coral reefs. *Advances in Marine Biology*, 1990, 17: 1~327
- 9 沙庆安. 仙掌藻的文石质骨骼及其变化. *海洋科学*, 1982, 1(2): 20~21
- 10 中国科学院南沙综合科学考察队. 南沙群岛及其邻近海区综合调查报告(一)上卷. 北京: 科学出版社, 1991. 1~12
- 11 Delaney M L, Linn L J, Davies P J. Trace and minor element ratios in *Halimeda* aragonite from the Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, 1996, 15(3): 181~189
- 12 余克服, 宋朝景, 赵焕庭. 西沙群岛永兴岛地貌与现代沉积特征. *热带海洋*, 1995, 14(2): 24~31
- 13 中国科学院南沙综合科学考察队. 南沙群岛永暑礁第四纪珊瑚礁地质. 北京: 海洋出版社, 1992. 1~264
- 14 蔡峰, 许红, 郝先锋等. 西沙—南海北部晚第三纪生物礁比较沉积学研究. *沉积学报*, 1996, 14(4): 61~69
- 15 Wim an S K, Mckendree W G. Distribution of *Halimeda* plants and sediments on and around a patch reef near Old Rhodes Key, Florida. *Journal of Sedimentary petrology*, 1975, 45: 415~421
- 16 钟晋梁, 陈欣树, 张乔民等. 南沙群岛珊瑚礁地貌研究. 北京: 科学出版社, 1996. 1~84
- 17 Wefer G. Carbonate production by algae *Halimeda*, *Penicillus* and *Padina*. *Nature*, 1980, 285: 323~324
- 18 Johns H D, Moore C H. Reef to basin sediment transport using *Halimeda* as a sediment tracer, Grand Cayman Island, West Indies. *Coral Reefs*, 1988, 6(3/4): 187~194
- 19 余克服, 赵焕庭, 朱袁智. 南沙群岛永暑礁等 8 座环礁现代沉积物中 Ca Sr Mg 的特征. *海洋通报*, 1996, 15(3): 54~63
- 20 Flugel. *Halimeda*: palaeontological record and palaeoenvironmental significance. *Coral Reefs*, 1988, 6(3/4): 123~130
- 21 朱袁智, 沙庆安, 郭丽芬等. 南沙群岛永暑礁新生代珊瑚礁地质. 北京: 科学出版社, 1997. 43~52
- 22 Goreau T F, Graham E A. A new species of *Halimeda* from Jamaica. *Bulletin of Marine Science*, 1967, 17: 432~441
- 23 朱袁智, 聂宝符, 王有强. 南沙群岛南北部珊瑚礁沉积. 见: 南沙群岛及其邻近海区地质地球物理及岛礁研究论文集(一). 北

京: 海洋出版社, 1991. 206- 223

Modern Sedimentary Characteristic of *Halimeda* on Coral Reefs of Nansha Islands

Yu Kefu Zhao Huanting Zhu Yuanzhi

(South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301)

Abstract

Halimeda, a genus of calcified green alga (Chlorophyta) of warm seas, is an important producer of carbonate sediment on coral reef areas of Nansha Islands, South China Sea. This study analysed the modern sedimentary characteristic of *Halimeda* in 52 clastic samples from the 4 geomorphic-sedimentary zones of 8 atolls. Among the 4 zones, i. e., reef front slope, reef flat, lagoon slope and lagoon basin floor, *Halimeda* is the richest in lagoon basin floor and constitutes averagely 32.6% of the sediment, and it ranges from 16% to 75%. Observation under microscope indicates that in the sediment of lagoon basin floor there are most well preserved *Halimeda* segments and they are deposited in situ. In the sediment of lagoon slope, *Halimeda* ranges from 8% to 16%, with an average of 9.22%. In reef flat, *Halimeda* composition is low, and ranges from 1% to 8%, with an average of 6.06%. From the present data, the contribution of *Halimeda* to the reef front carbonate production is small. The analysed results are consistent with the field investigation. *Halimeda* of Nansha Islands can grow on any zone of coral reefs either in sand or on solid substrata, the optimum habitat is well closed, big lagoon area, deep water, weak dynamic, sandy lagoon basin floor, where it develops well in erect. This paper concludes that the sedimentary characteristic of *Halimeda* on coral reefs of Nansha Islands are in line with its ecologic distribution. Coral reef drilling research shows that the paleoenvironment setting of the Cenozoic is comparable with that of recent *Halimeda*, so the characteristic can be the bases of analysing sedimentary facies of ancient and modern coral reef sediment.

Key words Nansha islands coral reef *halimeda* sedimentary facies