

有害赤海藻卡盾藻研究进展

Study advances in harmful alga *Chattonella* Biecheler (Raphidophyceae)

袁美玲, 王朝晖, 杨宇峰

(暨南大学 水生生物研究所, 广东 广州 510632)

中图分类号: Q949.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2009)11-0100-05

赤潮作为全球性的海洋灾害, 1990 年被联合国列为当今世界三大海洋污染问题之一。近年来由于环境污染加剧, 有害赤海藻的种类和数量日益增多, 发生的频率、范围和危害程度也明显上升, 对海洋生态环境、海水养殖业、旅游业和人类的健康安全构成了严重威胁, 已引起沿海国家和社会的广泛关注。

卡盾藻(*Chattonella*)是世界上危害最为严重的有害赤海藻之一, 频繁地在日本、加拿大、澳大利亚、中国等国发生, 造成大量鱼、虾、贝类死亡, 给水产养殖业带来极大的危害和巨大的经济损失^[1~4]。卡盾藻赤潮自 1991 年春在中国南海大鹏湾首次爆发以来, 随后又多次在中国南海、黄海、渤海等海域发生, 且近年来呈增加趋势^[5~8]。作者就卡盾藻的种类、形态特征、生理生态、赤潮发生机理及在中国沿海发展趋势等几个方面的研究进展进行了综述, 以期为中国沿海卡盾藻赤潮灾害的预防、预测提供科学依据。

1 卡盾藻的种类与形态

1.1 卡盾藻的种类

卡盾藻属(*Chattonella* Biecheler), 1991 年齐雨藻曾命名为褐胞藻, 隶属于针胞藻纲(Raphidophyceae)。Hara 等^[9]把卡盾藻属分为 7 个种类: 古老卡盾藻(*C. antique* (Hada) Ono)、海洋卡盾藻(*C. marina* (Subrahmanyam) Hara et Chihara)、盐生卡盾藻(*C. subsalsa* Biecheler)、球状卡盾藻(*C. globosa* Hara et Chihara)、小型卡盾藻(*C. minima* Hara et Chihara)、卵形卡盾藻(*C. ovata* Hara et Chihara)和疣突卡盾藻(*C. verruculosa* Hara et Chihara)。其中古老卡盾藻和海洋卡盾藻是世界上危害最为严重的有害赤潮原因种, 已在世界许多海区引发赤潮并造成养殖鱼类的大量死亡, 给海水养殖业造成了巨大危害和经济损失^[3,4]。在中国除了小型卡盾藻外, 其他卡盾藻均有发现^[10]。

1.2 卡盾藻的形态特征

卡盾藻属为黄褐色小型海洋浮游生物, 有圆形、卵形、椭圆形、梨形, 有的表面有疣突和脂肪粒^[10]。

海洋卡盾藻(图 1a)为单细胞, 体呈黄褐色, 长 30~55 μm , 宽 20~30 μm 。无细胞壁, 纺锤形或卵形, 后段一般无显著尖尾, 2 条亚等长鞭毛, 前身鞭毛为游泳鞭毛, 后鞭紧贴纵沟。色素体为多数, 椭圆形至卵形, 由中心向四周辐射状排列, 蛋白核裸露, 无黏液泡^[11]。

古老卡盾藻(图 b)和海洋卡盾藻细胞大小有一定差距, 但在形态结构上十分相似, 长 50~130 μm , 宽 25~35 μm ^[9]。其较小个体与海洋卡盾藻较大个体很难区分, Hiroish 等^[12]曾用抗体免疫反应技术来鉴别两者。小型卡盾藻和卵形卡盾藻的形态结构与古老卡盾藻相似, 前者长 20~45 μm , 宽 20~30 μm , 后者长 50~70 μm , 宽 30~45 μm , 且其外部原生质液泡发达^[9]。

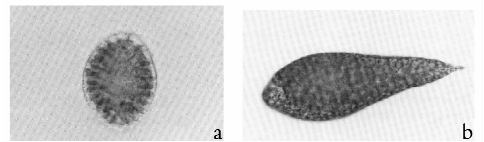


图 1 卡盾藻的显微照片(自 Fukuyo *et al.* (1990)^[13])

a. 海洋卡盾藻; b. 古老卡盾藻

球状卡盾藻, 近球形, 直径 40~55 μm , 两条不等长鞭毛。色素体多数, 相对较小, 长 1~2 μm , 宽 0.5 μm , 无蛋白核, 黏液泡较大; 盐生卡盾藻和疣突卡盾藻在形态结构上与球状卡盾藻相似, 但前者色素体比球状卡盾藻大, 具蛋白核, 后者直径 12~45 μm , 细胞表面具疣突^[9]。

收稿日期: 2007-07-10; 修回日期: 2007-12-20

基金项目: 国家自然科学基金委员会、广东省人民政府自然科学基金项目(U0633006); 国家自然科学基金项目(40306020)

作者简介: 袁美玲(1980-), 女, 硕士, 研究方向: 水生生物学, E-mail: yuanml1980@163.com

2 卡盾藻的生理生态特征

2.1 环境因子对卡盾藻生长的影响

卡盾藻的营养细胞一般以二分裂方式增殖,影响其营养细胞增殖的环境因子主要是光照强度、温度、盐度、营养盐(氮和磷)、微量元素等。

卡盾藻对低光照具有较强适应能力,光补偿点为 $30 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光饱和点为 $110 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,在光强为 $42 \sim 63 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,便能达到最大增长速率的 $1/2$ ^[14]。在黑暗条件下,卡盾藻可完成细胞分裂,且具有较强的营养吸收能力^[15]。卡盾藻属高温广盐种,其生存温度范围是 $10 \sim 31^\circ\text{C}$,盐度范围是 $10 \sim 45$,而最适生长温度、盐度条件分别为 25°C 、 $25 \sim 30$ ^[16]。因此,在 10°C 以下,水体中很难发现卡盾藻营养细胞。

氮、磷、铁、维生素(B1 和 B12)等都可以成为影响卡盾藻生长的限制因子。卡盾藻可利用硝态氮、氨态氮和尿素等氮源,利用磷酸盐获得磷源,而且卡盾藻对氮、磷的吸收是同步的^[15]。此外卡盾藻能以正磷酸盐的形式在细胞内储存磷源,形成磷库,这有利于其在营养物质缺乏的水体中与硅藻竞争^[17]。在温度、盐度适宜,营养盐满足的条件下,铁离子浓度的增加能促进卡盾藻的迅速繁殖,而且卡盾藻对铁的吸收速率高,故能优先利用铁元素,使其在藻类生长繁殖竞争中占据优势^[18]。

2.2 卡盾藻的垂直迁移

垂直迁移是许多鞭毛藻类的生理特征,同时也是对其种群竞争有利的生态行为。Watanabe 等^[19]观察了古老卡盾藻的垂直迁移现象,它在夜晚垂直迁移至水面 $5 \sim 10 \text{ m}$ 以下,吸收营养物质,日间移向营养缺乏的表层水体,利用夜间吸收的营养进行光合作用。张玉宇等^[7]也发现海洋卡盾藻具有相似的昼夜垂直迁移现象。卡盾藻属于较为大型的鞭毛藻类,分裂生长速度远低于小型硅藻类^[20],因此在硅藻占据优势时,卡盾藻等鞭毛藻类无法与硅藻竞争,但当水体中的营养盐缺乏时,硅藻会逐渐消退,而卡盾藻等鞭毛藻类的这种垂直迁移特性增加了对环境的适应性,它们可迁移到富营养的深水层吸收养分,并可迅速大量繁殖,在浮游植物种群竞争中获得优势,从而引发赤潮。

2.3 卡盾藻毒素及毒性机理

卡盾藻形成赤潮时会对鱼类产生毒害作用,如降低水体溶解氧、阻碍鱼鳃氧气交换、损伤鱼鳃组织等,而且分泌的毒素会导致鱼血红细胞发生凝血或溶血作用^[9,20,21]。目前已知卡盾藻通常含有 3 种有

毒成分,神经性毒素(neurotoxin)、溶血性毒素(hemolysin)和血凝性毒素(hemagglutinin)^[22,23]。神经毒素,如短甲藻毒素(Brevetoxin),是一种脂溶性的神经性贝毒,可引起鱼类心跳速率减慢,降低通过鳃的氧气量等^[23,24];溶血性毒素一般属于细胞毒素,大多数是一些多不饱和脂肪酸,对光敏感,在光照条件下才具有溶血作用^[4,25];血凝性毒素的化学成分包括磷、己糖和丙三醇,可使红血球发生凝聚作用^[23]。此外卡盾藻还可产生活性氧(reactive oxygen species, ROS),如超氧阴离子和过氧化氢等^[26]。由于 ROS 能损伤鱼鳃组织,因此许多学者认为针胞藻产生的 ROS 可能是导致鱼类死亡的原因之一。卡盾藻致毒作用有多方面因素,其毒性机理目前尚未明确,但普遍认为 ROS 对鱼鳃的损伤作用与其他一些有毒化学物质如短甲藻毒素、多不饱和脂肪酸的协同作用是其致毒的主要原因^[24]。

3 卡盾藻赤潮

3.1 卡盾藻地理分布与赤潮

卡盾藻主要分布于中国沿海、日本沿海、印度洋、欧洲地中海、法国及荷兰沿海、非洲阿尔及利亚沿海等地^[10]。

卡盾藻是日本的主要赤潮生物,其赤潮自 1969 年在广岛被发现以来,频繁地在日本沿海发生^[16,20]。从 1972 至 1987 年的 16 年间,由卡盾藻赤潮造成的经济损失高达 180.6 亿日元,其中,1972 年 7~8 月发生在播磨滩的古老卡盾藻赤潮使 1 428 万尾鱼死亡,造成经济损失达 71 亿日元^[20,27]。而在挪威、美国、澳大利亚等国发生的卡盾藻赤潮也造成金枪鱼和鲑鱼的大量死亡^[2,3]。

中国于 1991 年 3 月在广东省大鹏湾首次发生海洋卡盾藻赤潮,致使几十万尾鱼苗死亡^[5]。此后,卡盾藻赤潮频繁在中国沿海海域发生。1993 年和 1995 年,北黄海发生的海洋卡盾藻赤潮,致使大量中国蛤蜊和菲律宾蛤仔死亡^[6];2001 年 4 月,大鹏湾发生了卵形卡盾藻赤潮^[28];2001 年 9 月,大连海域发生了古老卡盾藻赤潮,对贝类养殖造成极大危害;2002 年 7 月,河北秦皇岛湾发生了海洋卡盾藻赤潮^[28];2003 年黄海、渤海、南海等沿海海域都有过卡盾藻赤潮的报道^[28]。由此可见,卡盾藻赤潮发生的频率、范围和危害程度在中国沿海有不断上升的趋势。

3.2 卡盾藻孢囊与赤潮发生机理假设

卡盾藻繁殖方式一般为二分裂,但有些卡盾藻生活史的某一时期,能进行有性生殖,形成休眠孢囊。目前已知古老卡盾藻和海洋卡盾藻都能形成孢

囊,该属其他种类能否形成孢囊尚未确定。

海洋卡盾藻孢囊多数为半球形(直径 25~35 μm ,高 15~25 μm),呈黄绿色-褐色,黑色-暗褐色,附着在硅藻壳或砂粒上^[27]。古老卡盾藻孢囊和海洋卡盾藻孢囊酷似。郑磊等^[29]在对大鹏湾的孢囊调查中发现了数量极少的海洋卡盾藻孢囊。矫晓阳等^[6]从北黄海采集的样品中观察到了正在萌发的海洋卡盾藻孢囊。卡盾藻孢囊不具运动能力,只能随波逐流,所以主要分布在海湾中央和湾口深水域^[30]。

由于卡盾藻细胞分裂速率较慢,最大分裂速率为每天分裂一次^[31],一般认为卡盾藻赤潮发生是由分布在海底的孢囊在条件适宜时大量萌发,生成的营养细胞经过增殖、聚集等过程形成的,而不是由营养细胞短时间内爆发性增殖引起的^[8,20,27,32]。然而硅藻生长繁殖速率远高于卡盾藻,在种群竞争中占优势,卡盾藻孢囊的萌发只是给水体提供了营养细胞种源,尚不能保障细胞的大量繁殖,引发赤潮。今井一郎等^[33]根据日本濑户内海卡盾藻赤潮发生的特点并结合其他专家学者的研究成果^[34],提出了硅藻休眠假说,用来解释卡盾藻赤潮发生机理,他们认为当水体营养物质缺乏特别是无机氮源缺乏时,硅藻易形成休眠细胞沉降于海底,待条件合适时可萌发成营养细胞,但硅藻的萌发需要在光照条件下进行,而卡盾藻孢囊则可在低氧、黑暗环境下萌发^[20,35],这样在低光照的海区卡盾藻便可战胜硅藻,在竞争中取胜,并大量繁殖、聚集形成赤潮。此外,齐雨藻等^[31]也对卡盾藻赤潮发生机理进行了研究,推理结果与今井一郎等提出的卡盾藻赤潮发生机理一致。

3.3 卡盾藻赤潮防治

防治卡盾藻赤潮目前还没有非常有效的措施,主要是以防为主,适当采取治理措施。

在预防方面,首先要控制水体富营养化。水体富营养化是卡盾藻赤潮形成的物质基础,尤其是过多氮、磷等营养元素的注入。为防止水体富营养化可在赤潮多发海域栽培大型海藻如江蓠等^[36];其次随着国际海运业的发展,一些赤潮生物种类通过压舱水与沉积物的排放被引入,因此需加强对外来船只压舱水的监测,采取措施控制外来有毒赤潮生物的入侵。

在治理方面,可采用物理、化学和生物方法。物理方法如用搜集船机械清除或超声波处理等,经超

声波处理后卡盾藻凝聚显著,但缺点是对高密度效果佳,对低密度或深水层效果不理想。化学方法即采用一些化学试剂消除卡盾藻,如过碳酸钠或过氧化氢等。1987 年在日本濑户内海发生古老卡盾藻赤潮期间,曾在赤潮区喷洒过碳酸钠,2 h 后赤潮区 90% 的古老卡盾藻细胞被杀死^[16];而用过氧化氢消除卡盾藻优点是浓度适当时能有效除去卡盾藻细胞,对鱼类影响也较小,且过氧化氢在水中能马上分解,污染程度低^[37]。

4 卡盾藻赤潮在中国沿海发生发展趋势

中国卡盾藻赤潮首先爆发于南海海域,随后黄海、渤海海域也多次发生了卡盾藻赤潮^[5,6,28,32]。卡盾藻现已成为南海、黄海和渤海海域的常见赤潮生物,尤其是 2000 年以来,由其引发的赤潮频率逐渐增高,范围不断扩大,危害日益增加。广东沿海处于亚热带海域,全年水温适宜于藻类生长,加之海域富营养化严重,近年来,一些有害藻类的赤潮首先发生于广东海域,随后向全国沿海扩展,如球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa*)和米氏凯伦藻(*Karenia mikimotoi*)的赤潮分别于 1997 年和 1998 年在南海柘林湾和珠江口海域首次发生,造成了 3.5 亿元人民币的经济损失^[38,39],随后扩展至全国海域,先后于 2004 年和 2005 年分别在渤海湾和浙江沿海引发了面积超过 5 000 km^2 的特大赤潮^[28]。由此可见,卡盾藻也存在扩展为中国沿海常见赤潮生物并爆发大规模赤潮的可能性。目前国内对卡盾藻属的研究十分有限,关于卡盾藻的生态分布、生理生态、毒素分泌、毒理等方面还缺乏必要的研究资料。因此需加强卡盾藻的研究,为卡盾藻赤潮的监测和防范提供依据。

参考文献:

- [1] Anderson D M. Toxic algal blooms and red tides: a global perspective [A]. Okaichi T, Anderson D M, Nemoto T. Red Tides: Biology, Environmental Science and Toxicology [C]. New York: Elsevier, 1989. 11-16.
- [2] Hallegraff G M, Munda Y B, Baden D G, et al. *Chattonella marina* raphidophyte bloom associated with mortality of cultured bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) in south Australia [A]. Reguera J, Blanco M, Fernandez T, et al. Harmful Algae, VIII Conference on Harmful Algae [C]. Vigo, Spain: Intergovernmental

- Oceanographic Commission of UNESCO, 1998. 93-96.
- [3] Tiffany M A, Barlow S B, Matey V E, *et al.* *Chattonella marina* (Raphidophyceae), a potentially toxic alga in the Salton Sea, California [J]. **Hydrobiologia**, 2001, 466: 187-194.
 - [4] Landsberg J H. The effects of harmful algal blooms on aquatic organisms [J]. **Rev Fish Sci**, 2002, 10: 113-390.
 - [5] 齐雨藻, 洪英, 吕颂辉, 等. 南海大鹏湾海洋褐胞藻赤潮成因 [J]. 海洋与湖沼, 1994, **25**(2): 132-137.
 - [6] 矫晓阳, 郭皓. 中国北黄海发生的两次海洋褐胞藻赤潮 [J]. 海洋环境科学, 1996, **15**(3): 41-45.
 - [7] 张玉宇, 吕颂辉. 大亚湾澳头水域一次锥状斯氏藻和海洋卡顿藻赤潮的初步探讨 [A]. 中国海洋学会赤潮研究与防治专业委员会. 中国赤潮研究与防治(一) [C]. 北京: 海洋出版社, 2005. 16-20.
 - [8] 王朝晖, 齐雨藻, 陈菊芳, 等. 大亚湾春季卡盾藻种群动态及其赤潮成因分析 [J]. 水生生物学报, 2006, **4**(30): 394-398.
 - [9] Hara Y, Doi K, Chihara M. Four new species of *Chattonella* (Raphidophyceae, Chromophyta) from Japan [J]. **Jpn J Phy Japan**, 1994, 42: 407-420.
 - [10] 齐雨藻. 中国沿海赤潮 [M]. 北京: 科学出版社, 2003. 221-223.
 - [11] Subrahmanyam R. On the life-history and ecology of *Hornellia marina* gen. et sp. nov. (Chloromonadineae), causing green discoloration of the sea and mortality among marine organism of the Malabar Coast, Indian [J]. **J Fish**, 1954, 1: 182-203.
 - [12] Hiroishi S A, Uchida A, Nagasaki K, *et al.* A new method for identification of inter and intra-species of the red tide algae *Chattonella antiqua* and *Chattonella marina* (Raphidophyceae) by means of monoclonal antibodies [J]. **J Phycol**, 1988, 4: 442-444.
 - [13] Fukuyo Y, Takano H, Chihara M, *et al.* Red Tide Organisms in Japan-An Illustrated Guide [M]. Tokyo: Uchida Rokakuho, 1990. 332-336.
 - [14] Nakamura Y, Watanabe M. Growth characteristics of *Chattonella antiqua* (Raphidophyceae) Part 1: Effect of temperature salinity, light intensity and pH on growth [J]. **J Oceanogr Soc Japan**, 1983, 39: 110-114.
 - [15] Nakamura Y, Watanabe M. Nutrient and phosphate uptake kinetics of *Chattonella antiqua* in light/dark cycles [J]. **J Oceanogr Soc Japan**, 1983, 39: 167-170.
 - [16] Okaichi T. Red tides problem in Seto Inland Sea, Japan [A]. Okaichi T, Anderson D M, Nemoto T. Red tides: Biology, Environmental Science, and Toxicology [C]. New York: Elsevier, 1989. 137-142.
 - [17] Kimura T, Watanabe M. Phosphate metabolism during diel vertical migration in the raphidophycean alga, *Chattonella* [J]. **J of Applied Phycol**, 1999, 11: 301-311.
 - [18] Iwasaki H, Yasumoto T. Recent progress of red tide studies in Japan: an overview [A]. Okaichi T, Anderson D M, Nemoto T. Red tides: Biology, Environmental Science, and Toxicology [C]. New York: Elsevier, 1989. 289-292.
 - [19] Watanabe M, Kohata K, Kunuui M. Nitrogen and phosphate accumulation by *Chattonella antiqua* during diel vertical migration in a stratified microcosm [A]. Graneli E B, Sundstrom B, Edler L. Toxic Marine Phytoplankton [C]. New York, Amsterdam, London: Elsevier, 1990. 244-248.
 - [20] Imai I, Yamaguchi M, Watanabe M. Ecophysiology, life cycle, and bloom dynamics of *Chattonella* in the Seto Inland Sea, Japan [A]. Anderson D M, Cembella A D, Hallegraff G M. Physiological Ecology of Harmful Algal Bloom [C]. Berlin: Springer-Verlag, 1998. 95-112.
 - [21] Hiroishi S, Okada H, Imai I, *et al.* High toxicity of the novel bloom-forming species *Chattonella ovata* (Raphidophyceae) to cultured fish [J]. **Harmful Algae**, 2005, 4: 783-787.
 - [22] Khan D, Ahmed M S, Arakawa O, *et al.* A toxicological study of the marine phytoflagellate, *Chattonella antiqua* (Raphidophyceae) [J]. **Phycologia**, 1996, 35: 239-244.
 - [23] Ahmed M S, Khan S, Arakawa O, *et al.* Properties of hemagglutinins newly separated from toxic phytoplankton [J]. **Biochim Biophys Acta**, 1995, 1243: 509-512.
 - [24] Ishimatu A, Maruta H, Oda T, *et al.* A comparison of physiological responses in yellowtail to fatal environmental hypoxia and exposure to *Chattonella marina* [J]. **Fish Sci**, 1997, **63**(4): 557-562.
 - [25] Marshall J A, Nichols P D, Hamilton B, *et al.* Ichthyotoxicity of *Chattonella marina* (Raphidophyceae) to damselfish (*Acanthochromis polykanthus*): the synergistic role of reactive oxygen species and free fatty acids [J]. **Harmful Algae News**, 2003, 2: 273-281.
 - [26] Oda T, Nakamura A, Okamoto T, *et al.* Lectin-induced enhancement of superoxide anion production by red tide phytoplankton [J]. **Mar Biol**, 1998, 131: 383-390.

- [27] Imai I, Itakura S, Itoch K. Life cycle strategies of red tide causing flagellate *Chattonella* (Raphidophyceae) in the Seto Inland Sea [J]. **Mar Poll Bull**, 1991, 23: 165-170.
- [28] 国家海洋局. 2001, 2003, 2004 年中国海洋环境质量公报, <http://www.coi.gov.cn/hygb/hyhj/index.html>, 2004-10-09.
- [29] 郑磊, 齐雨藻, 骆育敏. 大鹏湾有毒赤潮生物孢囊研究 [J]. 暨南大学学报(自然科学版), 1995, 16(1): 121-126.
- [30] 今井一郎, 伊藤克彦, 寺田和夫, 等. 周防灘海底泥から見出された *Chattonella* のシストについて(予報) [J]. 日本プランクトン学会報, 1986, 33: 61-63.
- [31] Yanaguchi M, Imai I, Honjio T. Effects of temperature, salinity and irradiance on the growth rates of noxious red tide flagellates *Chattonella antique* and *C. marina* (Raphidophyceae) [J]. **Nippon Suisan Gakkaishi**, 1991, 57: 1 277-1 284.
- [32] 齐雨藻, 黄长江. 南海大鹏湾海洋卡盾藻赤潮发生的环境背景 [J]. 海洋与湖沼, 1997, 28(4): 337-342.
- [33] 今井一郎. ラフイド藻赤潮の発生機構と予知 [A]. 石田祐三郎, 本城凡夫, 福代康夫, 等. 有害有毒赤潮の発生と予知防除 [C]. 日本: 日本水産資源保護協会, 2000, 38-41.
- [34] 板倉茂. 浮游硅藻類休眠期細胞の生態戦略 [J]. 月刊海洋, 1995, 27: 575-581.
- [35] Ichimi K, Meksumun S, Montani S. Effect of light intensity on the cyst germination of *Chattonella* spp. (Raphidophyceae) [J]. **Plankton Biology and Ecology**, 2003, 50(1): 22-24.
- [36] 平田孝司. 利用海藻回收氮和磷 [J]. 漁村, 1983, 49(6): 54-59.
- [37] 村田寿. 海洋卡盾藻(*Chattonella marina*)赤潮除去剤の研究 [J]. **Nippon Suisan Gakkaishi**, 1989, 55(6): 1 075-1 082.
- [38] 王朝晖, 吕颂辉, 陈菊芳, 等. 广东沿海几种赤潮生物的分类学研究 [J]. 武汉植物学研究, 1998, 16(4): 310-314.
- [39] 陈菊芳, 徐宁, 江天九, 等. 中国赤潮新纪录种——球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa*) [J]. 暨南大学学报, 1999, 20(3): 124-129.

(本文编辑:张培新)

(上接第 77 页)

The simulation of monitoring oceanic dynamical environment parameters based on X-band nautical radar

CUI Li-min^{1,2,3}, HE Yi-jun^{1,2}

(1. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Key Laboratory of Ocean Circulation and Waves, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Received: Jun., 24, 2008**Key words:** X-band nautical radar; ocean wave; sea surface current; signal to noise ratio

Abstract: Numerical simulations are used to evaluate the capability of monitoring the ocean wave and current for X-band nautical radar. Based on the random wave theory and radar imaging principle of geometry, the radar image sequences are simulated by considering shadow effect. The existing algorithms to estimate the sea surface current and ocean wave spectrum are introduced, and then the relevant factors that influence the observation of the sea surface current and ocean wave are analyzed. Finally, the R_{SN} (Signal to Noise Ratio) for radar images, which are added to the Gaussian white noise, is calculated, and the linear relationship between the square root of the R_{SN} and significant wave height is validated. It is shown that the X-band nautical radar can monitor effectively the ocean wave and surface current, and radars with different noise levels are corresponding to different calibration coefficients.

(本文编辑:刘珊珊)