

# 东海原甲藻修订及与相关原甲藻的分类学比较<sup>\*</sup>

陆斗定<sup>1\*\*</sup> 齐雨藻<sup>2</sup> Jeanette Goebel<sup>3</sup> 邹景忠<sup>4</sup> 高亚辉<sup>5</sup>

(<sup>1</sup> 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012; <sup>2</sup> 暨南大学, 广州 510632; <sup>3</sup> Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek, Germany; <sup>4</sup> 中国科学院海洋研究所, 青岛 2660715; <sup>5</sup> 厦门大学, 厦门 361005)

**【摘要】** 分析了东海原甲藻 (*Prorocentrum donghaiense* Lu) 显微结构, 并与具齿原甲藻 (*Prorocentrum dentatum* Stein) 模式种和 Schiller 的钝头原甲藻的描述等进行了比较, 结果表明, 它们之间的形态结构和个体大小具有很大的差别, 这些差异远超出了同种个体因环境不同所造成的形态变化范围。从细胞形态及其表面结构可以判断, 日本、韩国海区所记录并报道的“*P. dentatum*”与我国东海的东海原甲藻应属同一种。因此可以认为, 我国东海赤潮高发区以及在韩国、日本海区的出现的高生物量 (high biomass bloom-forming species) 赤潮原甲藻不是 Stein 所发表的具齿原甲藻, 而是东海原甲藻, 并对其进行了进一步修订, 其种名应为东海原甲藻 *Prorocentrum donghaiense* Lu。

**关键词** 原甲藻 赤潮 形态结构 分类

**文章编号** 1001-9332(2003)07-1060-05 **中图分类号** Q178.53 **文献标识码** A

**Redescription of *Prorocentrum donghaiense* Lu and comparison with relevant *Prorocentrum* species.** LU Douding<sup>1</sup>, QI Yuzao<sup>2</sup>, Jeanette Goebel<sup>3</sup>, ZOU Jingzhong<sup>4</sup>, GAO Yahui<sup>5</sup> (<sup>1</sup> Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou 310012, China; <sup>2</sup> Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, China; <sup>3</sup> Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek, Germany; <sup>4</sup> Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; <sup>5</sup> School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China). - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2003, 14(7): 1060~1064.

In this paper, the detailed morphology of *Prorocentrum donghaiense* was studied. Taxonomic comparison was made between *P. donghaiense* and other relevant *Prorocentrum* species. The results suggested that distinct differences existed among them with respect to their conservative characteristics of morphology and cell sizes. This kind of discrepancy was far beyond that of individual variations within same species due to environmental factors. Therefore, the high biomass bloom-forming species in the East China Sea was not real *Prorocentrum "dentatum"* Stein, but *P. donghaiense* Lu that was re-described in the present paper. *P. donghaiense* appeared in the East China Sea, and *P. "dentatum"* occurred in Japanese and Korean waters should be the same species.

**Key words** *Prorocentrum*, Harmful algal bloom, Morphology, Taxonomy.

## 1 引 言

有害赤潮是一种错综复杂的海洋生态现象, 严重影响水产资源、公众健康和海洋环境<sup>[10, 25]</sup>。近年来在我国东海赤潮高发区出现一高生物量赤潮种 (high biomass bloom-forming species)<sup>[13, 14]</sup>, 其引发赤潮的规模有时达数千平方公里, 实属世界罕见, 引起了我国政府、公众和科技界的广泛关注<sup>[31]</sup>。对于赤潮原因种的准确识别和鉴定是赤潮研究和监测工作的基础和关键<sup>[10, 20]</sup>。海洋甲藻是赤潮原因种家族中最重要的类群。原甲藻 (*Prorocentrum*) 是赤潮甲藻的重要一属, 归于甲藻纲, 原甲藻目, 原甲藻科<sup>[1~8, 15, 19~26, 28~30]</sup>, 该属的部分种类个体微小, 个体大小在 20 μm 或以下, 属于微型浮游生物的范围, 如果缺乏必要的分类学知识与研究手段, 要将该属

成员鉴定到种的水平是有困难的。

2002年4、5月间于我国东海长江口发生了以原甲藻 (*Prorocentrum*) 为主的大面积赤潮。关于此次赤潮主要原因种之一的原甲藻的种类分析有不同的认识<sup>[31]</sup>。作者认为本种应与1995年在东海海域发生的赤潮种为同一种<sup>[14]</sup>, 即东海原甲藻 (*P. donghaiense* Lu), 但也有学者 (李瑞香, 个人通讯, 2002) 认为该种为具齿原甲藻 (*Prorocentrum dentatum* Stein)。研究发现广泛分布于日本、韩国等海域的赤潮原甲藻与东海的本种在形态上十分相近, 但普遍被报告为“具齿原甲藻”<sup>[12, 30]</sup>。因而, 确切地认

\* 国家重点基础研究发展规划项目 (2001CB409700) 和中德合作资助项目 (CHN001022)。

\*\* 通讯联系人。

2003-01-03 收稿, 2003-04-21 接受。

知这一原因种成为一个重要的科学问题。

东海原甲藻在 2001 年曾经被作为一个新种发表<sup>[13]</sup>,但模式种的细胞表面结构被部分细胞分泌物——多糖所遮盖,新种的描述也有不够完善之处。因此,我们对东海赤潮高发区出现高生物量赤潮种类进行了进一步细胞形态学研究,本文将东海原甲藻与 Stein 对具齿原甲藻、Schiller 对钝头原甲藻(*P. obtusidense* Schiller)模式种描述特征等进行了比较,并对东海原甲藻进行修订。

## 2 材料与方法

### 2.1 采样与固定

东海赤潮原甲藻样品采自东海赤潮高发区。根据不同研究目的,样品分别用 3~5% 缓冲福尔马林、3~5% 的 Lugol 液和 2~4% 的戊二醛固定保存,藻株的分离采用系列稀释法<sup>[27]</sup>,藻株在 17℃ 恒温光照箱培养中保种以备。

### 2.2 样品观察

活体和固定样品利用 Olympus H2、Leitz 20EB 相差显微镜和 Leitz 荧光倒置显微镜进行细胞形态和运动行为观察分析,并用 Leica DC200 数码显微照相机及其摄像系统进行照相和摄像。扫描电镜样品的处理采用酒精系列脱水、二氧化碳临界点干燥和喷涂镀金后,用 ZEISS DSM940 电镜进行观察与照相。

## 3 结果与分析

### 3.1 东海原甲藻细胞形态分析和种的重新描述

从图 1 可见,细胞呈不对称梨形,长 15~22 $\mu\text{m}$ ,宽 9~14 $\mu\text{m}$ ,厚度根据其不同的生理阶段变化较大,细胞顶部稍微凹陷,顶部一侧有时没有突起,有时则稍有突起,大多数细胞底部呈圆卵形,但也有个别藻体末端呈尖状。右壳鞭毛区呈 V 形,并有一鞭毛孔和至少一个以上的辅助孔,孔周围被耳形领状或唇状结构围绕。左右壳面均有密集的球形突起分布,每微米有 3 个突起,壳面还具有零星的壳面小孔,其直径为 0.18 $\mu\text{m}$ ,四周有明显的“围墙结构”。刺丝胞孔的直径为 0.43 $\mu\text{m}$ ,其主要分布在壳面边缘区。老化细胞在两壳连接处形成间接带(Megacytic zone),光学显微镜下可见,细胞越老,此区越宽,从而增加了细胞厚度。在扫描电镜下可看到间接带的精细表面结构,具有比壳面更密集的突起,成横向排列,1 $\mu\text{m}$  4~5 排,每排有 7~8 个突起。细胞内上部具一大液泡,细胞核位于细胞下部,呈圆球形,细胞具有板块状叶绿体。细胞壳面内侧具有许多凹陷,其位置正好与细胞外部半球形突起位置相符。

### 3.2 东海原甲藻的生态与分布特征

东海原甲藻个体营单细胞生活,但有时形成 2~4 个细胞短链,这是目前原甲藻属中的种类唯一已知能形成细胞链的种类。本种主要分布在东海长江口与浙江沿岸水域,垂直分布的特征是在大多数情况下分布在表层和次表层,近年来在长江口与浙江北部沿岸水域春季常常形成数百平方公里的特大规模赤潮,赤潮水体的厚度可达 10 m 左右,赤潮水体的颜色为稀释的酱油色,赤潮时最大细胞密度记录达  $3.6 \times 10^8$  个  $\cdot \text{dm}^{-3}$ ,赤潮发生时,海水温度为 17~20℃,盐度为 19~28。此种在我国广东和香港海域有其出现的记录<sup>[11]</sup>。本种在日本和韩国海域也有分布<sup>[10,12,30]</sup>。

### 3.3 三种原甲藻的比较

3 种原甲藻分类学特征列于表 1。从表 1 可知,限于当时的研究条件,具齿原甲藻和钝头原甲藻模式种的分类特征描述不够全面<sup>[16~18,22]</sup>,但它们与东海原甲藻的差异是十分明显的。具齿原甲藻整体上呈披针形,最显著的特征是细胞两头尖,细胞上部一侧具很长的三角形齿状突起,约占细胞长度的 1/7~1/8,本种的名称由此而定,细胞下部呈圆锥状,而个体大小与东海原甲藻大体上相差 3 倍左右。钝头原甲藻细胞上部两侧几乎平行,顶端具一显著的钝头突起,本种名称也是由这一形态特征而来,其细胞下部呈圆锥状,细胞大小也比东海原甲藻大 1 倍左右。而东海原甲藻形态虽有所变化但并不具备这些特征,其名称是根据这一特别的高生物量种类在我国东海长江口和浙江沿岸水域形成特大规模赤潮这一地理特征而定。新种可以根据其藻类本身的某一显著的特征、人名、地名或其它有象征意义的名称命名,在植物命名法中均是可行的。东海原甲藻的长宽比例为 1.5~1.7,但也有极个别长形细胞长宽比接近 2.3,其表面结构等特征与众多的东海原甲藻细胞相似,但根据著名甲藻专家 Karl Tangen 的建议(个人通讯,1997),在计算体型 L/W 比例时暂时未包括在内,这些长形细胞也有可能是东海原甲藻的变型或变种,但需研究证据加以证实。从总体上考察,东海原甲藻与 Stein 的具齿原甲藻和 Schiller 的钝头原甲藻不仅在个体大小上而且在形态上具有显著差异。

## 4 讨 论

1975 年 Dodge 发表了一篇原甲藻属的修订文章,将许多种类加以合并,其中将钝头原甲藻、具齿

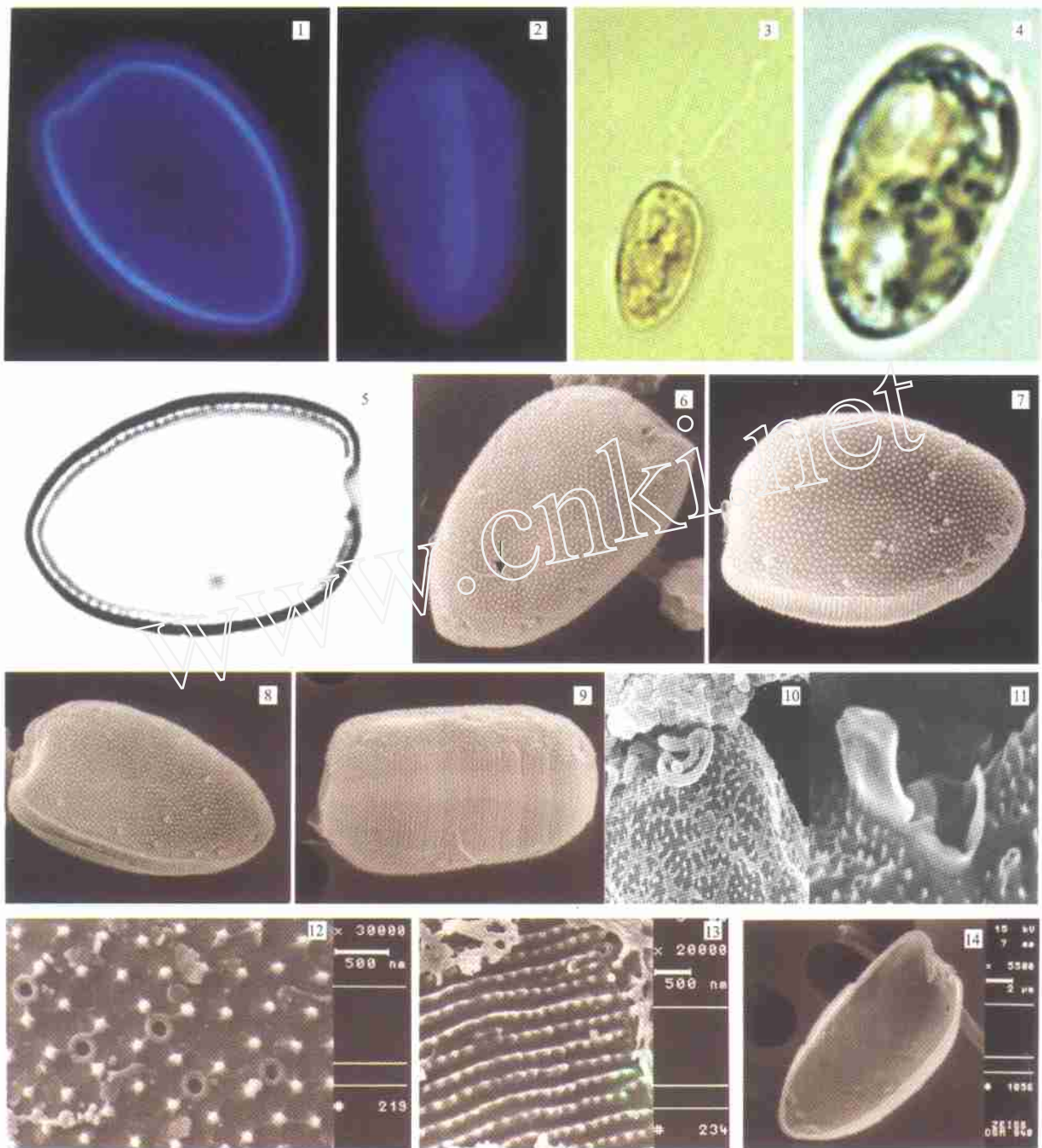





图1 东海原甲藻细胞的显微结构

Fig.1 Microscopic structure of *Prorocentrum donghaiense*.

1) 东海原甲藻细胞外形,整体稍微不对称(荧光显微镜) The outline of cell under fluorescence microscope; 2) 荧光显微镜下显示的细胞间接带 The megacytic zone of cell under fluorescence microscope; 3) 活体细胞,可见细胞顶部的鞭毛 A living cell with two flagellates is visible; 4) 示位于细胞下部的细胞核(箭头),双箭头示液泡 Arrow shows nucleus, double arrows show vacuole; 5) 细胞右壳内侧,细胞顶部鞭毛区有一V型凹陷,双箭头示细胞间接带(相差显微镜下) Right valve of the cell, periflagellar area is v-shaped, double arrows megacytic zone under light microscope with phase contrast; 6) 扫描电子显微镜下细胞右侧面整体外观,箭头示胞丝 Right valve view of cells under SEM, the arrow shows one trichocyst; 7、8) 扫描电子显微镜下两种稍有不同体形的细胞左侧面整体外观 Left valve view of cells with slightly different outline under SEM, there is a little extension at one side of apical area; 9) 老化细胞的间接带显著增厚(培养藻株) A old cell with broad megacytic zones(cultured strain); 10) 示细胞顶部从鞭毛孔伸出的两条鞭毛 Two flagellates are extended from flagellate pore; 11) 细胞顶部围绕鞭毛孔和辅助孔的领状或唇状结构清晰可见 The ear-shaped collars or lips are clearly visible at the periflagellar area; 12) 扫描电镜放大3万倍下的细胞壳面,可见基本呈均匀状分布的球形突起,和壳面小孔(箭头) Evenly distributed knob-like spines on the surface of valve, arrows show small valve pores; 13) 扫描电镜放大2万倍下的细胞间接带结构,清晰可见排列整齐的小突起 Rows of tiny knobs on megacytic zone of cell; 14) 细胞内侧结构,箭头示对应于外侧胞丝孔的内部突起 Structure inside part of cell, arrows show protuberances corresponding to trichocyst pores of outside part of cell.

表 1 几种相关原甲藻 (Proocentrum) 分类学诊断特征

Table 1 Taxonomic characteristics of relevant Proocentrum species

	东海原甲藻 <i>P. donghaiense</i> Lu	具齿原甲藻 <i>P. dentatum</i> Stein	钝头原甲藻 <i>P. obtusidens</i> Schiller
模式种分布	东海长江口、浙江近岸水域	大西洋	地中海
细胞形态			
细胞大小	细胞呈长卵形, 不对称, 上部一侧有时具不明显的突起, 细胞下部圆卵状, 但有个别细胞下部稍呈尖状。 长度: 16~22 μm 宽度: 9.5~14 μm	细胞上部一侧具显著的三角形齿状突起, 约占细胞长度的 1/8, 本种名称由此而定, 细胞下部尖锥状。 长度: 50~60 μm	细胞上部两侧几乎平行, 顶端具一显著的钝头突起, 细胞下部呈尖状。 长度: 36 μm 宽度: 16~22 μm
长宽比例指数 L:W	比例指数: 1.5~1.7	比例指数: 2.12	比例指数: 1.6~2.3
长宽比例指数 L:W (各作者)	1.5 (Yoo&Lee) 2.52~3.2 (Horiguchi)	1.9~2.5 (Dodge)	2.3 (Thronsdén) 2.4~2.6 (Schiller)
细胞核	位于细胞下部	位于细胞中部	
顶孔刺	在光镜下不明显, 在扫描电子显微镜呈颈状结构。	无	无
壳面孔	有, 但在光学显微镜下观察不到, 在扫描电子显微镜可见孔周围有一层“围墙”结构围绕。	在光学显微镜下可见	在光学显微镜下可见
壳面刺	有	有	原文无描述
是否在光镜下可见	否	可见	
壳面刺形态(SEM)	短突起状		
壳面刺密度	不定/μm		
丝胞孔	主要分布在壳面边缘	主要分布在壳面边缘	原文无描述
细胞间接带结构(老细胞)	在光学显微镜下可见, 在 SEM 下可见: 4~5 排/μm <sup>2</sup> ~8 个突起/μm <sup>2</sup> 排	在光学显微镜下可见	在光学显微镜下可见
生态行为/有害事件	单细胞, 有时呈 2~4 个细胞链状, 赤潮种, 形成赤潮时海水呈现稀粥样。	单细胞	单细胞, 稀有种

原甲藻等合并为一个种<sup>[7]</sup>, 但并未给出理由和依据,

因此合并难免显得有些牵强。多年来, 日本、韩国等国有关分类学文献中出现的“具齿原甲藻”与 Stein 的模式种描述不相符合<sup>[12,30]</sup>, 这也许多少受 Dodge 观点的影响。比较日本或韩国所定的“*P. dentatum*”与东海原甲藻, 虽然它们体形的长宽比例指数有所变化, 但从细胞形态及其表面结构可以判断, 它们应该与我国东海的赤潮原甲藻属同一种, 而韩国海区的“*P. dentatum*”与我国东海的东海原甲藻在形态上更为接近。著名赤潮藻分类学专家福代康夫 (Fukuyo) 也认为以前不论是日本或韩国所定的 *P. dentatum* 与 Stein 的原描述的差别如此之大, 应认为都定错了名字 (个人通讯, 2002)。东海原甲藻包括日本和韩国海区的细胞个体, 无论从形态学特征还是细胞大小都与 Stein 所描述的具齿原甲藻模式种有显著差异。其实 20 世纪 90 年代初这一种类至少在东海区已有记载, 但由于缺乏文献等原因, 一直误认为是其它种, 如欧阳怡然<sup>[16]</sup>将舟山嵛山海域出现的赤潮藻定为 *P. triestinum*, 作者 2002 年 10 月重新观察了舟山生态站当时采集的样品, 认为样品中

的优势种原甲藻所有的特征都符合东海原甲藻而不是 *P. triestinum*。近年来在我国误用最多的生物学种名是具齿原甲藻, 这种现象显然是受到了日本学者的影响。1975 年日本学者 Harada 曾发表过 2 个新种<sup>[9]</sup>, 文中只选择 *Proocentrum micans* 等作为比较对象, 很明显是选错了对象或是掌握相关文献不够。另外, Harada 文的描述过于简单且没有所定新种的照片, 更为重要的是没有新种拉丁文的描述, 因此按照植物命名法应属于无效。

## 5 结 论

经过反复比较研究, 我们认为无论是从保守的形态结构还是细胞个体的大小范围东海原甲藻都与具齿原甲藻和钝头原甲藻具有很大的差别, 这种差别超出了同种个体因环境等差异所造成的形态变化范围, 我们认为在我国东海赤潮高发区以及在韩国、日本海区的出现的这种高生物量赤潮种类并非是 Stein 所描述的真正具齿原甲藻, 而应称为东海原甲藻。

## 参考文献

- 1 Abe TH. 1967. The armoured Dinoflagellata II. Proocentridae

- and Dinophsidae (A). *Publ Seto Mar Biol Lab*, **14**: 369 ~ 389
- 2 Adachi R. 1972. A taxonomical study of the red tide organisms. *J Fac Fish Pref Univ Mie*, **9**: 9 ~ 145
  - 3 Bohm A. 1936. Dinoflagellates of the coastal waters of the western Pacific. *Bull Bernice P Bishop Mus*, **137**: 1 ~ 54
  - 4 Braarud T, Markali J & Nordli E. 1958. A note on the thecal structure of *Exuviaella baltica* Lohm. *Nytt Mag Bot*, **6**: 43 ~ 47
  - 5 Bursa A. 1959. The genus *Prorocentrum* Ehrenberg: Morphodynamics, protoplasmatic structures and taxonomy. *Can J Bot*, **37**: 1 ~ 31
  - 6 Dodge JD. 1965. Thecal fine structure in the dinoflagellate genera *Prorocentrum* and *Exuviaella*. *J Mar Biol Ass UK*, **45**: 607 ~ 614
  - 7 Dodge JD. 1975. The Prorocentrales (Dinophyceae) II. Revision of the taxonomy within the genus *Prorocentrum*. *Bot J Linnean Soc*, **71**: 103 ~ 125
  - 8 Faust MA. 1974. Micromorphology of a small dinoflagellate *Prorocentrum mariae-lebouriae* (Parke and Ballantine) comb. nov. *J Phycol*, **10**: 315 ~ 332
  - 9 Harda Y. 1975. On two new species of the genus *Prorocentrum* Ehrenberg belonging to Dinoflagellida. *Hiroshima Shudo Daigaku Ronshu*, **16**: 31 ~ 38
  - 10 Hallegraeff GM, Anderson DM and Cembella AD eds. 1995. Manual on Harmful Marine Microalgae. IOC Manuals Guides No. 33. Paris: UNESCO.
  - 11 Hodgkiss IJ & Yang ZB. 2001. New and dominant species from Sam Xing wan, sai Kung during the 1998b massive fish killing red tide in Hongkong. Harmful Algal Blooms 2000, 62 ~ 65. Paris: Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO.
  - 12 Horiguchi T. 1990. *Prorocentrum dentatum*. In: Fukuyo Y, eds. Red Tide Organisms in Japan. Fukuyo Y, eds. Tokyo, Japan: The Japan Fisheries Resource Conservation Association. 26 ~ 27
  - 13 Lu D & Goebel J. 2001. Five red tide species in genus *Prorocentrum* including the description of *Prorocentrum donghaiense* Lu sp. nov. from the East China Sea. *Chin J Oceanogr Limnol*, **19** (4): 337 ~ 344
  - 14 Lu D, Goebel J, Qi Y, et al. 2002. *Prorocentrum donghaiense* — a high biomass bloom-forming species in the East China Sea. *IOC Newsletter on Toxic Algae and Algal Blooms*, **23**: 1 ~ 5
  - 15 Martin GW. 1929. Three new dinoflagellates from New Jersey. *Bot Gazette*, **87**: 556 ~ 558
  - 16 Ouyan Y-R (欧阳怡然). 1992. A primary study on *Prorocentrum triestinum* Schiller, a causative species of red tide. *Mar Fish Sci (海洋水产科技)*, **44** (2): 16 ~ 19 (in Chinese)
  - 17 Qi Y-Z (齐雨藻), Wang Y (王艳). 2003. What the *Prorocentrum* species should be? — A review on identification of a *Prorocentrum* species from the East China Sea. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **14** (7): 1188 ~ 1190 (in Chinese)
  - 18 Schiller J. 1918. Uber neue *Prorocentrum* und *Exuviaella* Arten aus der Adria. *Arch Protistenk*, **38**: 250 ~ 262.
  - 19 Schiller J. 1928. Die planktischen vegetationen des adriatischen meeres. C. Dinoflagellata. 1 Teil. Adiniferidea, Dinophysidaceae. *Arch Protistenk*, **61**: 45 ~ 49.
  - 20 Schiller J. 1933. *Dinoflagellatae*. In: Rabenhorts Kryptogamenflora Vol. 10, III: pt. 1. Akad. Verlagsges, Leipzig: 1 ~ 617
  - 21 Steidinger KA. 1983. A re-evaluation of toxic dinoflagellate biology and ecology. *Progr Phycological Res*, **2**: 147 ~ 188
  - 22 Steidinger KA & Karl Tangen. 1996. Identifying Diatoms and Dinoflagellates. San diego: Academic Press Inc. 387 ~ 584
  - 23 Tafall BFO. 1942. Notas sobre alguivos dinoflagelados planktonicos marinos de mexico, con description de nuevas especies. *Anles Esc Nac Cienc Biol*, **2**: 431 ~ 447
  - 24 Tangen K. 1980. Brown water in the Oslofjord, Norway, in September 1979, caused by the toxic *Prorocentrum minimum* and other dinoflagellates. *Blyttia*, **38**: 145 ~ 158
  - 25 Taylor FJR. 1976. Dinoflagellates from the International Indian Ocean Expedition. A report on material collected by the R. V. Anton Brunn 1963 ~ 1964. *Bibliotheca Bot*, **132**: 1 ~ 226
  - 26 Thronsdon J. 1978b. The dilution culture method. In: Sournia A, eds. Phytoplakton Manual. UNESCO Monographs on Oceanographic Methodology, No. 6, 218 ~ 224
  - 27 Thronsdon J. 1983. Ultrar and Nanoplankton Flagellates from Coastal Waters of Southern Honshu and Kyushu, Japan. Tokyo: Gakujutsu Toshu. Working Party on Taxonomy in the Akashwo Mondai Kenkyukai. 1 ~ 62
  - 28 Toriumi S. 1980. *Prorocentrum* species (Dinophyceae) causing red tide in Japanese coastal waters. *Bull Plankton Soc Japan*, **27** (2): 105 ~ 112
  - 29 von Stein F. 1883. Der Organismus der Infusionsthiere nach eigenen Forschungen in systematischer Reihenfolge bearbeitet. Die Naturgeschichte der arthrodelen Flagellaten. Wilhelm Engelmann, Leipzig. 1 ~ 30
  - 30 Yoo K and Joorn-Baek L. 1986. Taxonomical studies on dinoflagellates in Masan Bay 1. Genus *Prorocentrum* Ehrenberg. *J Oceanol Soc Korea*, **21** (1): 46 ~ 55
  - 31 Zhou M-J (周名江), Yan T (颜天), Zou J-Z (邹景忠). 2003. Preliminary analysis of the characteristics of red tide areas in Changjiang River estuary and its adjacent sea. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **14** (7): 1031 ~ 1038 (in Chinese)

作者简介 陆斗定,男,1956年2月出生,研究员,主要从事赤潮生物研究。E-mail: ludouding@sio.zj.edu.cn