

# 甲藻(Dinophyta)凯伦藻科(Kareniaceae)的分类学研究展望\*

王建艳<sup>1</sup> 何建宗<sup>2①</sup> 齐雨藻<sup>3</sup> 吕颂辉<sup>3</sup> 杨静<sup>1</sup>

(1. 北京自然博物馆 北京 100050; 2. 香港公开大学 香港九龙 999077; 3. 暨南大学 广州 510632)

**摘要** 凯伦藻科(Kareniaceae)是甲藻门中较新建立的一个科。凯伦藻科种类广泛分布于全球海域,目前已报道 3 属 30 个种。由于该科大部分种类频发藻华,严重威胁近海生态安全和水产养殖,因而备受关注。自 20 世纪 90 年代起,我国沿岸也逐渐成为凯伦藻藻华的重灾区,凯伦藻曾引发我国最严重的几次藻华事件。本文对本科种类分类学特征进行详细描述,翻译其中文名,编制属、种分类检索表,以期为我国凯伦藻生物多样性研究以及凯伦藻藻华防治提供基础而必要的种源信息。

**关键词** 凯伦藻科; 凯伦藻属; 卡尔藻属; 塔卡藻属; 分类学

中图分类号 Q179.1 doi: 10.11693/hyhz20170200027

凯伦藻科(Kareniaceae)隶属于甲藻纲(Dinophyceae)裸甲藻目(Gymnodiniales),是甲藻门(Dinophyta)下较近建立的一个新科,由 Bergholtz 等(2006)建立。该科种类为单细胞,细胞大小不等,长度一般为 20 微米,也有部分种类小至十几微米或者大至三十几微米。该科的主要特征是:(1)细胞无甲板(unarmoured);(2)顶沟(apical groove)呈直线形或者“S”形;(3)细胞主要辅助色素成分为岩藻黄素(fucoxanthin)或/及其衍生物而非甲藻素(Bergholtz *et al.*, 2006)。

凯伦藻科种类属广域分布种,从热带海域到极地海区都有分布(de Salas *et al.*, 2008; Brand *et al.*, 2012)。据报道,凯伦藻科藻类在美国(Tester *et al.*, 1997)、新西兰(Chang *et al.*, 2001)、日本(Oda, 1935)、韩国(Cho, 1981)、中国(Lü *et al.*, 2004; Lu *et al.*, 2014)、挪威(Tangen, 1977)、智利(Clément *et al.*, 2001)、澳大利亚(de Salas *et al.*, 2004a, b)、南非(Botes *et al.*, 2003)等地均有报道,并在这些国家引发过严重的灾害性藻华。

自 2005 年凯伦藻科建立至今,经过十多年的研

究及修订,目前该科共有 3 个属 30 个种(Nézan *et al.*, 2014; Guiry *et al.*, 2017)。与之相比,我国海域凯伦藻种类多样性的研究较少,目前仅报道 3 个属 11 个种(含香港海域)(刘瑞玉, 2008; Wang *et al.*, 2011; 罗秉全等, 2013; Gu *et al.*, 2013)。本文就凯伦藻科分类沿革、形态特征、种类多样性等进行综述,结合拉丁文及其形态特征拟出其相应的中文译名,以期为我国凯伦藻多样性研究提供基础的种源信息。

## 1 凯伦藻科的缘起及其分类沿革

成立之前,凯伦藻科的种类多属于裸甲藻目(Gymnodiniales)裸甲藻属(*Gymnodinium*),也有少数种类属于环沟藻属(*Gyrodinium*)。20 世纪 80 年代,随着扫描电子显微镜技术的发展,裸甲藻类的一些微小结构如顶沟被发现,并成为裸甲藻类的重要分类依据(Takayama, 1985),促进了裸甲藻系统结构的进一步分化。Daugbjerg 等(2000)根据藻细胞顶沟特征,并结合分子生物学信息对裸甲藻属进行修订,将原先的裸甲藻属划分为四个属,分别为裸甲藻属(*Gymnodinium* Stein)、凯伦藻属(*Karenia* Hansen &

\* 北京市科学技术研究院青年骨干计划, 201602 号; 北京市博士后科研活动经费资助项目, 2016ZZ-85 号; 国家自然科学基金资助项目, 41606175 号。王建艳, 博士, E-mail: wjy198530@163.com

通讯作者: 何建宗, 教授, E-mail: kcho@ouhk.edu.hk

收稿日期: 2017-02-04, 收修改稿日期: 2017-04-05

Moestrup)、卡尔藻属(*Karlodinium* Larsen)和赤潮藻属(*Akashiwo* Hansen & Moestrup), 其中, 凯伦藻属、卡尔藻属和赤潮藻属为新属。

根据 Daugbjerg 等(2000)的分类方法, 具有直线形顶沟的裸甲藻类被归至凯伦藻属和卡尔藻属, 即后来构成凯伦藻科的两个属。据此分类方法, 原本属于裸甲藻属的多个种, 如 *G. breve*、*G. mikimotoi* 和 *G. brevisulcatum* 被修订至凯伦藻属, 分别被命名为 *K. brevis*、*K. mikimotoi* 和 *K. brevisulcata*; 而另外一些裸甲藻属种类如 *G. micrum*、*G. veneficum* 和 *G. vitiligo* 被修订移至卡尔藻属, 分别被命名为 *Karl. micrum*、*Karl. veneficum* 和 *Karl. vitiligo*。此时, 凯伦藻科下有 6 个种, 含凯伦藻属 4 个种(*K. brevis*, *K. brevisulcata*, *K. digitata* 和 *K. mikimotoi*)和卡尔藻属 2 个种(*Karl. veneficum* = *Karl. micrum* 和 *Karl. vitiligo*)。

自凯伦藻属和卡尔藻属建立之后, 其种类多样性在随后几年快速增长, 尤其是 2003 至 2004 年, 仅凯伦藻属的种类就增长至 13 种。Botes 等(2003)报道了两种分离自南非沿岸的凯伦藻 *K. cristata* 和 *K. bicuneiformis*; Haywood 等(2004)报道了分离自新西兰海域的 3 种凯伦藻 *K. papilionacea*, *K. sellformis* 和 *K. bidigitata*。Chang 等(2004)鉴定了 2002 年新西兰豪拉基湾(Hauraki Gulf)的藻华肇事种, 命名为 *K. concordia*。de Salas 等(2004b)报道了 2003 年澳大利亚塔斯马尼亚(Tasmania)南部凯伦藻藻华肇事种之一 *K. asterichroma*。与此同时, de Salas 等(2003)补充了日后属于凯伦藻科的另一个属—塔卡藻属(*Takayama* de Salas, Bolch, Botes et Hallegraef), 报道了该属下的 2 个种: *T. tasmanica* 和 *T. helix*, 并将原属于裸甲藻属的 *G. pulchellum*、*Gyr. acrotrochum* 和 *Gyr. cladochroma* 等 3 个种移至塔卡藻属, 成立伊始的此属下共有 5 个种。

Bergholtz 等(2006)综合形态学特征、核糖体大亚基 DNA 序列(LSU rDNA)和色素组成等信息, 建议将凯伦藻属、卡尔藻属和塔卡藻属等 3 个属归入一个新科——凯伦藻科(Kareniaceae), 并界定该科的特征为: 细胞裸露, 细胞色素成分为岩藻黄素或其衍生物, 顶沟直线形或“S”形。自此之后, 凯伦藻科作为一个新科, 逐渐引起藻类学家的关注。

2008 年是凯伦藻科成立之后, 其种类数量大幅增长的一年。de Salas 等(2008)通过对南极地区的浮游藻类分析, 发现了 5 种卡尔藻和 1 种塔卡藻。2008 年之后至今, 凯伦藻科的种类数量又增加了 3 种, 分

别是由 *Gyr. corsicum* 修订而来的 *Karl. corsicum* (Siano *et al.*, 2009)以及由 Gu 等(2013)和 Nézan 等(2014)发表的两个新种 *T. xiamenensi* 和 *Karl. gentienii*。

## 2 凯伦藻科各属种及其形态特征

目前, 凯伦藻科共 3 个属 30 个种(Nézan *et al.*, 2014; Guiry *et al.*, 2017)。

(1) 凯伦藻属(*Karenia* Hansen & Moestrup, 2000): 该属以美国著名海洋藻类学家 Karen Steidinger 的名字命名, 以彰显其对甲藻研究的卓越贡献。该属的主要特征是细胞色素主要成分为岩藻黄素, 19'-乙酰氧基岩藻黄素和/或 19'-丁酰氧基岩藻黄素, 细胞核裸露没有核被膜和核室, 顶沟直(Daugbjerg *et al.*, 2000)。

(2) 卡尔藻属(*Karlodinium* Larsen, 2000): 本属以挪威藻类学家 Karl Tangen 为名, 用以纪念其对 Daugbjerg 等(2000)一文中所用藻种的贡献。该属藻类的主要特征是细胞裸露, 色素体内含有扁豆状蛋白核, 主要细胞色素为岩藻黄素或其衍生物。细胞表面存在表质膜, 表质膜因其上面塞状结构的排布而呈六边形。顶沟直。具有腹孔(Daugbjerg *et al.*, 2000)。

(3) 塔卡藻属(*Takayama* de Salas, Bolch, Botes et Hallegraef, 2003): 该属以日本著名海洋藻类学家 Haruyoshi Takayama 为名, 以纪念其首次阐述了顶沟在裸甲藻分类学中的重要性。该属的主要特征是细胞裸露, 主要细胞色素为岩藻黄素或其衍生物, 顶沟为“S”形(de Salas *et al.*, 2003)。

### 凯伦藻科分属检索表

- 1. 顶沟直 ..... 2
- 1. 顶沟弯, “S”形 ..... 塔卡藻属(*Takayama*)
- 2. 有腹孔 ..... 卡尔藻属(*Karlodinium*)
- 2. 无腹孔 ..... 凯伦藻属(*Karenia*)

#### 2.1 凯伦藻属种类及其形态特征

凯伦藻属目前有 12 个种, 该属模式种为短凯伦藻(*K. brevis*), 属下各种的分类学特征及地理分布概况详见表 1。

#### 2.2 卡尔藻属种类及其形态特征

卡尔藻属目前有 11 个种, 本属的模式种为剧毒卡尔藻(*Karl. veneficum*), 属下各种的分类学特征及地理分布概况详见表 2。

#### 2.3 塔卡藻属种类及其形态特征

塔卡藻属目前有 7 个种, 模式种为塔斯马尼亚塔卡藻(*T. tasmanica*)。本属各种的分类学特征及地理分布概况详见表 3。

表 1 凯伦藻属种类特征  
Tab.1 Morphological features of the genus *Karenia*

| 种类                      | 中文译名  | 细胞形状             | 细胞大小<br>( $\mu\text{m}$ )            | 上壳部     | 下壳部        | 横沟位移          | 纵沟延伸            | 顶沟                             | 细胞核                            | 色素体                                    | 首次报道地  | 地理分布         |
|-------------------------|-------|------------------|--------------------------------------|---------|------------|---------------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|--|--|--------------|
| <i>K. asterichroma</i>  | 星状凯伦藻 | 背腹扁平, 外形呈五边形或六边形 | 长 30—40, 宽 32—42, 侧面宽 17—25          | 平截或尖    | 平截         | 细胞长度的 1/6     | 纵沟入侵上壳部, 顶端平    | 直, 延伸至上壳部背面 1/2 处              | 小球形, 位于上壳部的中央                  | 10—20 个, 细长, 围绕细胞中央处类蛋白核结构呈辐射状分布       | 澳大利亚塔斯马尼亚(de Salas <i>et al.</i> , 2004a)                        | 澳大利亚         |
| <i>K. bicuneiformis</i> | 双楔凯伦藻 | 背腹扁平             | 长 33.88—38.62, 宽 31.3—36.36, 侧面宽 5   | 尖锥形     | W 型, 底端船齿状 | 1 个横沟宽度       | 入侵上壳部, 入侵部位明显   | 直, 在细胞背面延伸或无                   | 卵圆形, 位于下壳部的左侧                  | 10—20, 黄绿色, 形态多样                       | 南非<br>(Botes <i>et al.</i> , 2003; Haywood <i>et al.</i> , 2004) | 南非、新西兰       |
| <i>K. brevis</i>        | 短凯伦藻  | 背腹扁平             | 长 23—34, 宽 24—36, 侧面宽 10—15          | 顶端成瘤状突起 | 微小的两裂片状    | 1—2 倍横沟宽度     | 入侵上壳部, 并到达细胞上顶端 | 直, 在细胞背面短                      | 圆形, 位于左下壳部                     | 10—20, 分布于细胞表面                         | 美国佛罗里达 (Davis, 1948)   | 日本、美国、墨西哥、中国 |
| <i>K. brevisulcata</i>  | 短沟凯伦藻 | 背腹扁平             | 长 13—25, 宽 10—20, 侧面宽 9—11           | 亚球形或平截  | 半球形        | 细胞长度的 11%—27% | 入侵上壳部           | 非常短, 腹面长度仅为左上壳部长度的 1/3—1/2     | 球形, 位于左下壳部                     | 2 到多个, 黄绿色, 细长, 每个内含蛋白核                | 新西兰<br>(Chang, 1999)   | 新西兰          |
| <i>K. concordia</i>     | 协和凯伦藻 | 背腹扁平             | 长 15—33, 宽 14—32, 侧面宽 7—12           | 锥形      | 二裂片状       | 细胞长度的 18%—27% | 入侵上壳部           | 直, 腹面非常长, 背面短 $\leq$ , 腹面上壳部长度 | 圆球形, 多位于左下壳部, 偶见于下壳部中央甚至上壳部下壳部 | 2—16 个, 一般为 6—8 个, 细长形, 黄褐色, 遍布于细胞上下壳部 | 新西兰<br>(Chang <i>et al.</i> , 2004)                              | 新西兰          |
| <i>K. cristata</i>      | 冠状凯伦藻 | 背腹扁平             | 长 24.05—27.35, 宽 21.79—26.79, 侧面宽 10 | 顶端成冠状   | 左右不对称      | 2 倍横沟宽度       | 入侵上壳部           | 直, 腹面长, 背面短                    | 圆形或卵圆形, 位于下壳部中央并达上壳部           | 多, 黄绿色, 形状多样                           | 南非<br>(Botes <i>et al.</i> , 2003)                               | 南非           |
| <i>K. digitata</i>      | 指沟凯伦藻 | 球形或卵圆形           | 长 10—26.3, 宽 10—22.5                 | 半球形或宽锥形 | 半球形        | 大于细胞长度的 20%   | 入侵上壳部成指状        | 直, 始于横沟近端, 延伸至上壳部背部 1/3—1/2    | 大, 球形至卵圆形, 位于细胞中央略靠下           | 10—20 个, 黄绿色至淡黄褐色, 形状不规则               | 日本、中国、香港<br>(Yang <i>et al.</i> , 2000)                          | 日本、中国、香港     |

续表

| 种类                     | 中文译名  | 细胞形状               | 细胞大小<br>( $\mu\text{m}$ )         | 上壳部      | 下壳部           | 横沟位移      | 纵沟延伸            | 顶沟                            | 细胞核                     | 色素体                            | 首次报道地                                      | 地理分布                     |
|------------------------|-------|--------------------|-----------------------------------|----------|---------------|-----------|-----------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------------|--|--------------------------|
| <i>K. longicanalis</i> | 长沟凯伦藻 | 背腹扁平, 程度低          | 长 17.5—35,<br>宽 10—22.5           | 半球形      | 半球形           | 细胞长度的 22% | 无上壳部入侵          | 直且长, 自横沟上边缘之下延伸至背面上壳部 2/3     | 大, 圆形, 位于细胞中央           | 约 30 个, 圆形, 黄绿色, 每个内含蛋白核       | 中国香港 (Yang <i>et al.</i> , 2001)           | 中国香港                     |
| <i>K. mikimotoi</i>    | 米氏凯伦藻 | 背腹扁平, 呈宽卵圆形        | 长 20—30,<br>宽 16—30,<br>侧面宽 10—15 | 半球形或宽圆锥形 | 两浅裂片状         | 2 倍横沟宽度   | 入侵上壳部           | 直, 自横沟起点的右侧略上处, 延伸至上壳部背部      | 椭圆形, 位于下壳部左侧, 近细胞边缘     | 10—20, 分布于细胞表面                 | 日本 (Oda, 1935)                             | 日本、新西兰、美国、挪威、爱尔兰、中国      |
| <i>K. papilionacea</i> | 蝶形凯伦藻 | 腹面凹, 背面凸, 纵切面呈窄椭圆形 | 长 18—32,<br>宽 18—48,<br>侧面宽 10—15 | 顶端渐细成龙骨突 | 两裂片状          | 1 倍横沟宽度   | 入侵上壳部, 末端呈开口状   | 直, 背面延伸长度约为上壳部的 1/3           | 球形或卵圆形, 位于左下部           | 2—20, 圆形或肾形, 黄绿色, 分布于细胞表面      | 新西兰 (Haywood <i>et al.</i> , 2004)         | 新西兰、美国、中国、香港             |
| <i>K. selliformis</i>  | 鞍形凯伦藻 | 背腹扁平               | 长 20—30,<br>宽 16—30,<br>侧面宽 5—10  | 半圆形或圆锥形  | 两裂片状, 呈马鞍形    | 2 倍横沟宽度   | 入侵上壳部后逐渐变窄, 呈开口 | 直, 在背腹面延伸长度约占上壳部的 1/3         | 卵圆形、椭圆形, 甚至长肾形, 位于下壳部中央 | 多个, 肾形, 黄绿色或绿色, 分布于细胞表面        | 新西兰 (Haywood <i>et al.</i> , 2004)         | 新西兰、北美、墨西哥、台湾、智利、科威特、突尼斯 |
| <i>K. umbella</i>      | 伞辐凯伦藻 | 卵圆形, 背腹略扁平         | 长 29—42,<br>宽 21—32               | 圆锥形或半球形  | 不对称, 右半片大于左半片 | 细胞长度的 20% | 入侵上壳部成指状        | 直, 很长, 始于纵沟顶端之下, 延伸至上壳部背面 1/2 | 大, 圆形或椭圆形, 位于细胞中央靠近细胞背部 | 约 20 个, 形状多样, 分布于细胞表面, 每个内含蛋白核 | 澳大利亚塔斯马尼亚 (de Salas <i>et al.</i> , 2004b) | 澳大利亚、新西兰、法国、日本           |

## 凯伦藻属分类检索表

1. 细胞背腹扁平 ..... 2
1. 细胞背腹扁平程度低, 或呈圆球形 ..... 9
2. 上顶端突出形成龙骨突状 ..... 3
2. 上顶端不突出, 无龙骨突 ..... 4
3. 下壳部腹面凹进, 背面凸起  
..... 蝶形凯伦藻(*K. papilionaceae*)
3. 下壳部无内凹 ..... 短凯伦藻(*K. brevis*)
4. 顶端因顶沟呈冠状 ..... 冠状凯伦藻(*K. cristata*)
4. 顶端无冠状结构 ..... 5
5. 下壳部底部平截, 中央凹陷程度低 ..... 6
5. 下壳部底部不平截, 中央凹陷深 ..... 8
6. 细胞核位于细胞上壳部  
..... 星状凯伦藻(*K. asterichroma*)
6. 细胞核位于细胞下壳部 ..... 7
7. 顶沟长, 延伸至横沟终端的上边缘  
..... 协和凯伦藻(*K. Concordia*)
7. 顶沟短, 仅达横沟起点的上边缘  
..... 米氏凯伦藻(*K. mikimotoi*)
8. 下壳部底端两裂片呈锯齿状  
..... 双楔凯伦藻(*K. bicuneiformis*)
8. 下壳部底端两裂片呈马鞍形  
..... 鞍形凯伦藻(*K. selliformis*)
9. 顶沟长, 腹面达到横沟上边缘之下, 背面为上壳部的 1/2—2/3 ..... 10
9. 顶沟短, 腹面始于横沟之上, 背面为上壳部的 1/3—1/2 ..... 11
10. 上壳部有 8 条纵行的沟, 纵沟延伸上壳部成指状入侵 ..... 伞辐凯伦藻(*K. umbella*)
10. 上壳部无纵行的沟, 纵沟在上壳部无入侵  
..... 长沟凯伦藻(*K. longicannalis*)
11. 顶沟短, 腹面为上壳部的 1/3—1/2; 纵沟形成指状入侵 ..... 指沟凯伦藻(*K. digitata*)
11. 顶沟极短, 腹面为上壳部的 1/3 或更短  
..... 短沟凯伦藻(*K. brevisulcata*)

## 卡尔藻属分类检索表

1. 细胞卵圆形或椭圆形 ..... 2
1. 细胞呈五边形或双锥形 ..... 9
2. 顶沟长, 背面长度约占上壳部的 1/2 ..... 3
2. 顶沟短, 背面长度约占上壳部的 1/3 或更短 ..... 4
3. 细胞长约为宽的两倍, 腹孔不明显或者无  
..... 南极卡尔藻(*Karl. antarcticum*)
3. 细胞长稍大于宽, 腹孔明显呈裂隙状  
..... 螺旋卡尔藻(*Karl. decipiens*)

4. 腹孔清晰可见 ..... 5
4. 腹孔不明显或缺失  
..... 巴氏卡尔藻(*Karl. ballantinum*)
5. 色素体数量多, 多于 10 个 ..... 6
5. 色素体少于 10 个, 一般 2—8 个 ..... 7
6. 细胞表面分布刺细胞, 纵沟内无管状结构  
..... 甲胄卡尔藻(*Karl. armiger*)
6. 细胞表面横沟之下有两排小突起, 纵沟内有管状结构 ..... 科西嘉卡尔藻(*Karl. corsicum*)
7. 细胞核位于细胞上顶端  
..... 南方卡尔藻(*Karl. australe*)
7. 细胞核位于细胞中间或者略靠下 ..... 8
8. 上壳部分布平行排列的犁沟, 沟内有成列的微小突起 ..... 让氏卡尔藻(*Karl. gentienii*)
8. 细胞上壳部无平行排列的犁沟 ..... 剧毒卡尔藻(*Karl. veneficum*)或白斑卡尔藻(*Karl. vitiligo*)\*
9. 个体大, 细胞核位于下壳部  
..... 锥形卡尔藻(*Karl. conicum*)
9. 个体小, 细胞核位于细胞中央靠右, 上壳部有平行纵纹 ..... 波纹卡尔藻(*Karl. corrugatum*)
- \* 白斑卡尔藻(*Karl. vitiligo*)与剧毒卡尔藻(*Karl. veneficum*)细胞形态极为相似, 主要区别在于生理方面: 白斑卡尔藻不具毒性, 而剧毒卡尔藻具有细胞毒性。

## 塔卡藻属分类检索表

1. 顶沟深, 弯曲, 呈“S”形 ..... 2
1. 顶沟浅, 略弯曲, “S”形不明显  
..... 螺旋塔卡藻(*T. helix*)
2. 细胞核大, 呈杯状 ..... 3
2. 细胞核小, 椭圆形或圆球形 ..... 5
3. 色素体自中央蛋白核成放射性分布, 分枝状 ..... 4
3. 色素体小, 30—40 个, 不分枝  
..... 厦门塔卡藻(*T. xiamenensis*)
4. 细胞个体大于 20 $\mu$ m, 有腹孔和指状入侵  
..... 塔斯马尼亚塔卡藻(*T. tasmanica*)
4. 细胞个体小, 腹孔不明显, 下壳部遍布疣状突起  
..... 覆疣塔卡藻(*T. tuberculata*)
5. 细胞核位于细胞上壳部  
..... 绕顶塔卡藻(*T. acrotrocha*)
5. 细胞核位于细胞左侧 ..... 6
6. 色素体数量少, 呈分枝状  
..... 分枝塔卡藻(*T. cladochroma*)
6. 色素体几个, 形状不规则  
..... 纤美塔卡藻(*T. pulchella*)

表 2 卡尔藻属种类特征  
Tab.2 Morphological features of the genus *Karlodinium*

| 种类                       | 中文译名   | 细胞形状      | 细胞大小(μm)         | 上壳部 | 下壳部     | 横沟位移          | 纵沟                     | 顶沟                           | 腹孔                    | 细胞核                       | 色素体                   | 首次报道地                                 | 地理分布  |
|--------------------------|--------|-----------|------------------|-----|---------|---------------|------------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------------------|-------|
| <i>Karl. antarcticum</i> | 南极卡尔藻  | 细胞长, 卵圆形  | 长 15—24, 宽 10—14 | 锥形  | 圆锥形     | 细胞长度的 1/3—1/2 | 浅, 非直线形, 具管状结构         | 直, 非常长, 延伸至背面约 1/2           | 有, 不明显                | 球形, 下壳部近底端                | 多个, 离散分布, 内含蛋白质       | 南极南大洋 (de Salas <i>et al.</i> , 2008) | 南极南大洋 |
| <i>Karl. armiger</i>     | 甲冑卡尔藻  | 卵圆形, 背腹不平 | 长 12—22, 宽 8—18  | 圆锥形 | 圆形      | 细胞长度的 1/3     | 在下壳部宽, 经横沟后变窄, 入侵上壳部明显 | 始于纵沟入侵处之上, 延伸至上壳部背面 1/4 处    | 细长, 位于顶沟右侧            | 大, 卵圆形或肾形, 位于下壳部左侧并延伸至上壳部 | 10 个或更多, 灰绿色, 分布于细胞边缘 | 西班牙 (Bergholtz <i>et al.</i> , 2006)  | 西班牙   |
| <i>Karl. australe</i>    | 南方卡尔藻  | 卵圆形       | 长 19—26, 宽 16—22 | 半球形 | 半球形     | 细胞长度的 1/4     | 浅且宽, 入侵上壳部, 呈指状        | 直, 在上壳部腹面极短                  | 位于纵沟入侵处右侧             | 不规则或圆形, 位于细胞顶端            | 6—10 个, 不规则地分布于细胞边缘   | 澳大利亚 (de Salas <i>et al.</i> , 2005)  | 澳大利亚  |
| <i>Karl. ballantini</i>  | 巴氏卡尔藻  | 椭圆形       | 长 11—18, 宽 8—14  | 半球形 | 半球形     | 细胞长度的 1/3     | “S”形, 在下壳部较深, 延伸至上壳部   | 直, 腹面不及上壳部的 1/2, 背极短         | 不明显或缺失                | 大, 位于细胞背面正中央              | 多个, 细长形, 分布不规则        | 澳大利亚 (de Salas <i>et al.</i> , 2008)  | 澳大利亚  |
| <i>Karl. conicum</i>     | 锥形卡尔藻  | 五边形       | 长 19—29, 宽 15—25 | 圆锥形 | 四边形     | 细胞长度的 1/4     | 正弦型, 具管状结构, 入侵上壳部呈指状   | 相对较短, 背腹面长度分别占上壳部的 1/3 和 1/4 | 大, 位于纵沟顶端与顶沟起点之间的 1/2 | 小, 圆形, 位于细胞底端             | 多个, 长条形, 带状分布于细胞边缘    | 澳大利亚 (de Salas <i>et al.</i> , 2008)  | 澳大利亚  |
| <i>Karl. corrugatum</i>  | 波纹卡尔藻  | 双锥形或五边形   | 长 13—21, 宽 11—17 | 锥形  | 圆锥形或半球形 | 细胞长度的 1/4     | 凹陷深, 边缘明显, 入侵上壳部呈指状    | 始于纵沟的上顶端, 延伸至上壳部背面 1/4 处     | 有, 窄裂缝状               | 大, 占据细胞右侧大部分              | 少, 成团聚集于细胞左侧          | 南极南大洋 (de Salas <i>et al.</i> , 2008) | 南极南大洋 |
| <i>Karl. corsicum</i>    | 科西嘉卡尔藻 | 卵圆形, 背腹不平 | 长 17—24, 宽 12—16 | 半圆形 | 半圆形     | 细胞长度的 1/3     | 具管状结构, 入侵上壳部呈裂隙状       | 始于腹面纵沟之上, 延伸至上壳部背面 1/3 处     | 有, 肾形                 | 细胞中央                      | 约 15 个, 分布于细胞边缘       | 地中海 (Paulmier <i>et al.</i> , 1995)   | 地中海   |

续表

| 种类                     | 中文译名  | 细胞形状          | 细胞大小( $\mu\text{m}$ )    | 上壳部    | 下壳部 | 横沟位移          | 纵沟                      | 顶沟                           | 腹孔           | 细胞核               | 色素体                              | 首次报道地                                | 地理分布          |
|------------------------|-------|---------------|--------------------------|--------|-----|---------------|-------------------------|------------------------------|--------------|-------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------|
| <i>Karl. decipiens</i> | 螺旋卡尔藻 | 椭圆形, 轻微背腹扁平   | 长 18—25, 宽 13—19         | 半球形    | 半球形 | 细胞长度的 1/3     | 窄, 具管状结构, 纵沟入侵上壳部且痕迹不明显 | 直线形, 始于横沟上边缘, 延伸至上壳部腹面 1/2 处 | 裂隙状, 位于纵沟上方  | 大, 位于细胞中央, 略靠近背面  | 多个, 带状, 分布于细胞边缘, 在上壳部呈螺旋状, 内含蛋白核 | 澳大利亚 (de Salas <i>et al.</i> , 2008) | 澳大利亚          |
| <i>Karl. gentienii</i> | 让氏卡尔藻 | 卵圆形, 横截面近圆形   | 长 13.5—18.9, 宽 11.5—16.8 | 圆锥形    | 半球形 | 细胞长度的 25%—31% | 具管状结构, 延伸至上壳部, 形成指状入侵   | 直线形或略弯曲, 在细胞背面延伸长度约为上壳部 1/6  | 有            | 大, 形状不规则, 多位于细胞中央 | 5—7 个, 分布于细胞边缘, 内含圆锥形的蛋白核        | 法国 (Nézan <i>et al.</i> , 2014)      | 法国            |
| <i>Karl. veneficum</i> | 剧毒卡尔藻 | 卵圆形, 轻微扁平或不扁平 | 长 9—18, 宽 7—14           | 圆锥形或圆形 | 半球形 | 1—2 个横沟宽度     | “S”形, 延伸至上壳部成短入侵        | 直, 背面延伸长度约为上壳部的 1/7          | 明显, 位于细胞腹面左侧 | 圆形, 位于下壳部中央       | 2—8 个, 一般为 4 个, 上下壳部各 2 个, 内含蛋白核 | 英国 (Ballantine, 1956)                | 挪威、美国、新西兰、中国等 |
| <i>Karl. vitiligo</i>  | 白斑卡尔藻 | 宽卵圆形, 背腹不平    | 长 7—18, 宽 7—14           | 半球形    | 半球形 | 2 倍横沟宽度       | 入侵上壳部                   | 无资料                          | 无资料          | 不明显, 位于细胞中央       | 2—8 个, 金黄色, 形状不规则                | 英国 (Ballantine, 1956)                | 英国            |

表 3 塔卡藻属种类特征  
Tab.3 Morphological features of the genus *Takayama*

| 种类                    | 中文译名     | 细胞形状              | 细胞大小<br>( $\mu\text{m}$ )             | 上壳部     | 下壳部      | 横沟位移             | 纵沟                    | 顶沟                     | 腹孔                          | 细胞核                       | 色素体                           | 首次报道地                                | 地理分布            |
|-----------------------|----------|-------------------|---------------------------------------|---------|----------|------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| <i>T. acrotrocha</i>  | 绕顶塔卡藻    | 近五边形, 横截面呈圆形      | 长 22—27,<br>宽 18—22                   | 半圆形     | 不规则      | 细胞长度的 0.25—0.8 倍 | 未入侵上壳部                | “S”形, 始于横沟的上端点, 环绕细胞顶端 | 不明显或没有                      | 大, 占据上壳部大部分               | 圆盘状, 主要分布于下壳部, 内含蛋白核          | 澳大利亚 (Larsen, 1996)                  | 澳大利亚            |
| <i>T. cladochroma</i> | 分枝塔卡藻    | 卵圆形               | 长 18—22,<br>宽 11—19,<br>侧面宽 15—16     | 半球形     | 半球形      | 细胞长度的 1/4        | 入侵上壳部短, 呈指状           | “S”形, 在上壳部背面延伸短        | 不明显或没有                      | 位于细胞左侧                    | 分枝状, 内含蛋白核                    | 澳大利亚 (Larsen, 1996)                  | 澳大利亚            |
| <i>T. helix</i>       | 螺旋塔卡藻    | 偏菱形乃至圆形           | 长 16—45,<br>宽 11—31,<br>侧面宽 9—25      | 圆锥形至半球形 | 底端平截, 内陷 | 细胞长度的 1/4        | 宽, 入侵上壳部短呈指状, 有具管状结构  | 弯曲状, 1/3—1/2           | 顶沟腹面下端偶见裂缝或孔状结构             | 形状多样, 一般为椭圆形, 细胞上壳部或近细胞中央 | 多, 末端细长, 螺旋带状地分布, 内含蛋白核       | 澳大利亚 (de Salas <i>et al.</i> , 2003) | 澳大利亚、南非、日本      |
| <i>T. pulchella</i>   | 纤美塔卡藻    | 宽卵圆形, 轻微背腹扁平      | 长 6—25,<br>宽 11—16                    | 圆锥形或半球形 | 底端平截, 内陷 | 1—1.5 个横沟宽度      | 入侵上壳部短, 呈指状           | “S”形, 从细胞顶端看呈逆时针方向     | 不明显或没有                      | 大, 位于细胞的左侧                | 形状不规则, 内含蛋白核                  | 澳大利亚 (Larsen, 1994)                  | 澳大利亚、新西兰、日本、中国等 |
| <i>T. tasmanica</i>   | 塔斯马尼亚塔卡藻 | 轻微扁平              | 长 16—27,<br>宽 14—26,<br>侧面宽 10—20     | 半球形     | 底端平截     | 细胞长度的 1/4        | 宽, 入侵上壳部短, 呈指状, 具管状结构 | “S”形, 延伸至上壳部背面约 2/3 处  | 某些细胞有, 此外, 顶沟腹面下端存在一裂隙似孔状结构 | 大, 杯状, 几乎占据整个上壳部          | 7—10, 自细胞中央辐射分布, 中央蛋白核        | 澳大利亚 (de Salas <i>et al.</i> , 2003) | 澳大利亚、新西兰、北美     |
| <i>T. tuberculata</i> | 覆疣塔卡藻    | 轻微扁平, 卵圆形, 甚至近正方形 | 长 13—22,<br>宽 10—20                   | 半球形     | 四边形      | 细胞长度的 1/4—1/3    | 宽, 入侵上壳部浅且短, 具管状结构    | “S”形, 延伸至上壳部背面的 2/3 处  | 不明显或没有                      | 位于细胞顶部, 从背部、侧面及顶部包围蛋白核    | 围绕蛋白核呈辐射状分布, 在上壳部呈螺旋状, 中央蛋白核  | 南大洋 (de Salas <i>et al.</i> , 2008)  | 南大洋             |
| <i>T. xiamenensis</i> | 厦门塔卡藻    | 卵圆形               | 长 20—27,<br>宽 18—23,<br>侧面宽 17.0—20.5 | 圆锥形或半球形 | 半球形      | 1 倍横沟宽度          | 入侵上壳部呈 45° 的指状, 具管状结构 | “S”形, 延伸至上壳部背面 1/3 处   | 具腹孔, 顶沟腹面下端存在一裂隙似状结构        | 杯状, 位于上壳部                 | 30—40 个, 分布于细胞周边, 蛋白核大, 1—5 个 | 中国厦门 (Gu <i>et al.</i> , 2013)       | 中国              |



### 3 我国的凯伦藻科分类学研究

我国对凯伦藻的研究始于1998年珠江口的大规模米氏裸甲藻(米氏凯伦藻的前称)藻华,此后对于其种类鉴定、生态生理和成灾机理等已开展了诸多研究(吕颂辉等,2007;李雁宾等,2008;姚炜民等,2007; Lei *et al.*, 2011; Yuan *et al.*, 2012)。相较于生理生态学研究,目前国内在凯伦藻科的分类学和种类多样性研究方面略显不足。但是,国内研究者对凯伦藻分类学研究的方法起点较高,分类研究中综合了形态学、分子生物学甚至毒理学方法(Yang *et al.*, 2001; Wang *et al.*, 2011; Zhou *et al.*, 2011; 徐娜等, 2012; 罗秉全等, 2013; Gu *et al.*, 2013; Lu *et al.*, 2014)。

目前我国甲藻种类收录较为全面的是《中国海洋生物名录》(刘瑞玉,2008)一书,其中凯伦藻属4个种,卡尔藻属1个种,塔卡藻属1个种,没有单列凯伦藻科。马新等(2013)结合AlgaeBase数据库将《中国海洋生物名录》中的甲藻进行整理,建议与国际分类同步成立凯伦藻科,其下共有6个种,分别为短凯伦藻、指状凯伦藻、米氏凯伦藻、长沟凯伦藻、微小卡尔藻和美丽塔卡藻。Lu等(2014)列举了我国沿海常见的藻华生物,其中包含凯伦藻科种类5个种,分别为剧毒卡尔藻、短凯伦藻、米氏凯伦藻、指状凯伦藻和长沟凯伦藻。Gu等(2013)补充了凯伦藻科的一个新种厦门塔卡藻(*T. xiamense*)。另外,我国香港海域已记录的凯伦藻科含3个属9个种,分别为双楔凯伦藻、短沟凯伦藻、指沟凯伦藻、长沟凯伦藻、米氏凯伦藻、蝶形凯伦藻、剧毒卡尔藻、美丽塔卡藻和塔斯马尼亚塔卡藻(Yang *et al.*, 2001; 罗秉全等, 2013)。

在我国,迄今已发现的凯伦藻科种类较少,不及AlgaeBase已报到数量的1/3。由于国内已有对凯伦藻分类学的研究仅局限于个别种类的和描述,种类多样性及地理分布研究缺乏系统性。同时,有关该科的分子系统学信息更是相对匮乏。

### 4 凯伦藻科分类学研究展望

凯伦藻科的种类具有较为近似的形态学特征,其准确鉴定需借助于光学显微镜和电子显微镜技术。即便如此,在细胞培养以及样品固定、脱水处理等过程中也会导致某些特征的丢失,造成种类鉴定的困难。分子序列信息的获得为裸甲藻类的分类提供了非常有利的辅助信息,可完成相似种之间的区分,实现对形态上无法准确鉴定的种类进行种属的归类,同

时也可提供准确的系统发育信息(Orr *et al.*, 2012)。形态学和分子生物学方法相结合,极大促进凯伦藻新种的发现,丰富种类多样性。但是目前凯伦藻科的分类学研究中仍存在一些问题。

(1) 某些形态特征用于区分凯伦藻种类的有效性还有待考究。凯伦藻科成立时,其下凯伦藻属与卡尔藻属最主要的区别是前者无腹孔,后者有腹孔(Bergholtz *et al.*, 2006)。但是,近几年的研究发现,卡尔藻的某些种类(*Karl. ballantini*)缺乏腹孔(de Salas *et al.*, 2008)。可见,仅依据形态学特征对凯伦藻科种类实现准确鉴定存在一定的难度。

(2) 分子生物学信息在凯伦藻种类鉴定中的有效利用。DNA序列信息在一定程度上可弥补仅依据形态学特征进行藻类分类的不足,为凯伦藻科的分提供了非常有利的辅助信息。但是目前分子生物学信息在凯伦藻科的分中的用仍存在一些问题。研究发现,常用标记序列(如LSU rDNA)在凯伦藻科的塔卡藻属内高度保守,无法实现种类的有效区分(Gu *et al.*, 2013)。Reñé等(2015)曾发现一个未知种类的LSU rDNA序列信息与两种塔卡藻*T. tasmanica*和*T. tuberculata*的相似性分别为99.5%和99.3%,而这两种塔卡藻在形态学上具有明显的不同。Yang等(2000)根据细胞具有直顶沟和无腹孔特征将1998年在我国香港等地引起大规模藻华的肇事种指状凯伦藻(*K. digitata*)归于凯伦藻属,而Lee等(2011)通过分子序列比对分析发现,指状凯伦藻在分子系统树中与卡尔藻种类聚在一支,并非是与凯伦藻种类聚在一起。故仅凭分子生物学信息无法实现凯伦藻类尤其是新的未知种的准确鉴定。凯伦藻科种类的准确鉴定需在形态学特征的基础上,综合分子生物学信息,乃至细胞色素组成信息以及毒理特征才能完成。

(3) 相近属种的进一步修订。随着研究的深入,更多近似种类可能被修订至凯伦藻科。研究发现,野外样品中Brachidiniaceae科下的*Brachydidinium*属和*Asterodinium*属种类常与某些凯伦藻属的种类,尤其是蝶形凯伦藻混合出现(Gómez *et al.*, 2005)。光镜下这两个属形态与凯伦藻类非常相似,电镜下观察都具有直顶沟(Gómez *et al.*, 2005; Gómez, 2006)。近年,Henrichs等(2011)通过分子序列分析表明,*Brachydidinium*属下的*Brachydidinium. capitatum*聚在了凯伦藻属下。那么,Brachidiniaceae科下的种类会不会原本属于凯伦藻科?目前还不得而知,今后还需进

一步加强对这几个近似属的分类学、系统学的研究与修订。

(4) 凯伦藻种类多样性和地理分布研究亟需加强。已有的对凯伦藻类的分类学研究多是基于在藻华暴发后对肇事种的鉴定需要, 对该科种类的地理分布研究较少。一般情况下凯伦藻类在海水中的浓度较低, 极易被忽视。Zingone 等(2006)通过对地中海坎帕尼亚地区(Campania region, Mediterranean Sea)有害藻类进行系统调查并报道了 5 种凯伦藻和 1 种塔卡藻。Nézan 等(2014)对法国沿海的凯伦藻科进行调查, 基于分子生物学信息(LSU rDNA 序列)报道了凯伦藻科 12 个种类。本文研究者通过对中国近海凯伦藻科种类分布的初步研究, 目前已发现 3 个国内新纪录种。若广泛开展凯伦藻科种类多样性和地理分布研究, 或许会有更多的种类被发现, 同时也会丰富已有种类的地理分布信息。

综上所述, 凯伦藻科种类是全球近岸海域重要的藻华生物, 开展分类学和种类多样性研究有助于凯伦藻藻华肇事种的准确鉴定。今后的研究中, 应加强对该科甲藻的分类学基础研究, 广泛采集、分离和鉴定野外样品, 开展不同地理株的形态比较和分子生物学信息采集, 以丰富我国凯伦藻科的种源信息, 加深对凯伦藻藻华的认识。

### 参 考 文 献

马 新, 李瑞香, 李 艳等, 2013. 甲藻分类历史沿革及中国近海部分甲藻分类地位修订. 生物多样性, 21(1): 19—27

吕颂辉, 黄凯旋, 2007. 米氏凯伦藻在三种无机氮源的生长情况. 生态环境, 16(5): 1337—1341

刘瑞玉, 2008. 中国海洋生物名录. 北京: 科学出版社, 177

李雁宾, 韩秀荣, 胡跃诚等, 2008. 营养盐对东海浮游植物生长影响的现场培养实验. 海洋环境科学, 27(2): 113—117

罗秉全, 李燕琼, 2013. 香港有害海洋微藻. 香港, 中国: 渔农自然护理署, 67—77, 93—95

姚炜民, 潘晓东, 华丹丹, 2007. 浙江海域米氏凯伦藻赤潮成因的初步研究. 水利渔业, 27(6): 57—58, 76

徐 娜, 逢少军, 刘 峰, 2012. 一株桑沟湾赤潮藻的分子鉴定. 海洋科学, 36(4): 13—18

Ballantine D, 1956. Two new marine species of *Gymnodinium* isolated from the Plymouth area. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 35(3): 467—474

Bergholtz T, Daugbjerg N, Moestrup Ø *et al*, 2006. On the identity of *Karlodinium veneficum* and description of *Karlodinium armiger* sp. nov. (Dinophyceae), based on light and electron microscopy, nuclear-encoded LSU rDNA, and pigment composition. Journal of Phycology, 42(1): 170—193

Botes L, Sym S D, Pitcher G C, 2003. *Karenia cristata* sp. nov. and *Karenia bicuneiformis* sp. nov. (Gymnodiniales, Dinophyceae): two new *Karenia* species from the South African coast. Phycologia, 42(6): 563—571

Brand L E, Campbell L, Bresnan E, 2012. *Karenia*: the biology and ecology of a toxic genus. Harmful Algae, 14: 156—178

Chang F H, 1999. *Gymnodinium brevisulcatum* sp. nov. (Gymnodiniales, Dinophyceae), a new species isolated from the 1998 summer toxic bloom in Wellington Harbour, New Zealand. Phycologia, 38(5): 377—384

Chang F H, Chiswell S M, Uddstrom M J, 2001. Occurrence and distribution of *Karenia brevisulcata* (Dinophyceae) during the 1998 summer toxic outbreaks on the central east coast of New Zealand. Phycologia, 40(3): 215—221

Chang F H, Ryan K G, 2004. *Karenia concordia* sp. nov. (Gymnodiniales, Dinophyceae), a new nonthecate dinoflagellate isolated from the New Zealand northeast coast during the 2002 harmful algal bloom events. Phycologia, 43(5): 552—562

Cho C H, 1981. On the *Gymnodinium* red tide in Jinhae Bay. Bulletin of the Korean Fisheries Society, 14(4): 227—232

Clément A, Seguel M, Arzul G *et al*, 2001. Widespread outbreak of a haemolytic, ichthyotoxic *Gymnodinium* sp. in southern Chile. In: Hallegraeff G M, Blackburn S I, Bolch C J, *et al* eds. Harmful Algal Blooms 2000. Paris, France: IOC of UNESCO, 66—69

Daugbjerg N, Hansen G, Larsen J *et al*, 2000. Phylogeny of some of the major genera of dinoflagellates based on ultrastructure and partial LSU rDNA sequence data, including the erection of three new genera of unarmoured dinoflagellates. Phycologia, 39(4): 302—317

Davis C C, 1948. *Gymnodinium brevis* sp. nov., a cause of discolored water and animal mortality in the Gulf of Mexico. Botanical Gazette, 109(3): 358—360

de Salas M F, Bolch C J S, Botes L *et al*, 2003. *Takayama* gen. nov. (Gymnodiniales, Dinophyceae), a new genus of unarmoured dinoflagellates with sigmoid apical grooves, including the description of two new species. Journal of Phycology, 39(6): 1233—1246

de Salas M F, Bolch C J S, Hallegraeff G M, 2004a. *Karenia umbella* sp. nov. (Gymnodiniales, Dinophyceae), a new potentially ichthyotoxic dinoflagellate species from Tasmania, Australia. Phycologia, 43(2): 166—175

de Salas M F, Bolch C J S, Hallegraeff G M, 2004b. *Karenia asterichroma* sp. nov. (Gymnodiniales, Dinophyceae), a new dinoflagellate species associated with finfish aquaculture mortalities in Tasmania, Australia. Phycologia, 43(5): 624—631

de Salas M F, Bolch C J S, Hallegraeff G M, 2005. *Karlodinium australe* sp. nov. (Gymnodiniales, Dinophyceae), a new potentially ichthyotoxic unarmoured dinoflagellate from lagoonal habitats of south-eastern Australia. Phycologia, 44(6): 640—650

de Salas M F, Laza-Martínez A, Hallegraeff G M, 2008. Novel unarmoured dinoflagellates from the toxigenic family Kareniceae (Gymnodiniales): five new species of

- Karlodinium* and one new *Takayama* from the Australian sector of the Southern Ocean. *Journal of Phycology*, 44(1): 241—257
- Gómez F, 2006. The dinoflagellate genera *Brachidinium*, *Asterodinium*, *Microceratium* and *Karenia* in the open SE Pacific Ocean. *Algae*, 21(4): 445—452
- Gómez F, Nagahama J, Takayama H *et al*, 2005. Is *Karenia* a synonym of *Asterodinium-Brachidinium* (Gymnodiniales, Dinophyceae)? *Acta Botanica Croatica*, 64(2): 263—274
- Gu H F, Luo Z H, Zhang X D *et al*, 2013. Morphology, ultrastructure and phylogeny of *Takayama xiamenensis* sp. nov. (Gymnodiniales, Dinophyceae) from the East China Sea. *Phycologia*, 52(3): 256—265
- Guiry M D, Guiry G M, 2017. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; searched on 4 February 2017
- Haywood A J, Steidinger K A, Truby E W *et al*, 2004. Comparative morphology and molecular phylogenetic analysis of three new species of the genus *Karenia* (Dinophyceae) from New Zealand. *Journal of Phycology*, 40(1): 165—179
- Henrichs D W, Sosik H M, Olson R J *et al*, 2011. Phylogenetic analysis of *Brachidinium capitatum* (Dinophyceae) from the Gulf of Mexico indicates membership in the Kareniaceae. *Journal of Phycology*, 47(2): 366—374
- Larsen J, 1994. Unarmoured dinoflagellates from Australian waters I. The genus *Gymnodinium* (Gymnodiniales, Dinophyceae). *Phycologia*, 33(1): 24—33
- Larsen J, 1996. Unarmoured dinoflagellates from Australian waters II. Genus *Gyrodinium* (Gymnodiniales, Dinophyceae). *Phycologia*, 35(4): 342—349
- Lee F W F, Ho K C, Mak Y L *et al*, 2011. Authentication of the proteins expression profiles (PEPs) identification methodology in a bloom of *Karenia digitata*, the most damaging harmful algal bloom causative agent in the history of Hong Kong. *Harmful Algae*, 12: 1—10
- Lei Q Y, Lü S H, 2011. Molecular ecological responses of dinoflagellate, *Karenia mikimotoi* to environmental nitrate stress. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12): 2692—2699
- Lu D D, Qi Y Z, Gu H F *et al*, 2014. Causative species of harmful algal blooms in Chinese coastal waters. *Algological Studies*, 145(1): 145—168
- Lü S H, Hodgkiss I J, 2004. Harmful algal bloom causative collected from Hong Kong waters. *Hydrobiologia*, 512(1—3): 231—238
- Nézan E, Siano R, Boulben S *et al*, 2014. Genetic diversity of the harmful family Kareniaceae (Gymnodiniales, Dinophyceae) in France, with the description of *Karlodinium gentienii* sp. nov.: A new potentially toxic dinoflagellate. *Harmful Algae*, 40: 75—91
- Oda M, 1935. The red tide of *Gymnodinium mikimotoi* Miyake *et* Kominami n. sp. (MS.) and the effect of altering copper sulphate to prevent the growth of it. *Dobutsugaku Zasshi*, Zoological Society of Japan, 47(555): 35—48
- Orr R J S, Murray S A, Stüken A *et al*, 2012. When naked became armored: an eight-gene phylogeny reveals monophyletic origin of theca in dinoflagellates. *PLoS One*, 7(11): e50004
- Paulmier G, Berland B, Billard C *et al*, 1995. *Gyrodinium corsicum* nov. sp. (Gymnodiniales, Dinophycées), organisme responsable d'une eau verte dans l'étang marin de Diana (Corse), en avril 1994. *Cryptogamie, Algologie*, 16(2): 77—94
- Reñé A, Camp J, Garcés E, 2015. Diversity and phylogeny of Gymnodiniales (Dinophyceae) from the NW Mediterranean Sea revealed by a morphological and molecular approach. *Protist*, 166(2): 234—263
- Siano R, Kooistra W H C F, Montresor M *et al*, 2009. Unarmoured and thin-walled dinoflagellates from the Gulf of Naples, with the description of *Woloszynskia cincta* sp. nov. (Dinophyceae, Suessiales). *Phycologia*, 48(1): 44—65
- Takayama H, 1985. Apical grooves of unarmoured dinoflagellates. *Bulletin of the Plankton Society of Japan*, 32: 129—140
- Tangen K, 1977. Blooms of *Gyrodinium aureolum* (Dinophyceae) in North European waters, accompanied by mortality in marine organisms. *Sarsia*, 63(2): 123—133
- Tester P A, Steidinger K A, 1997. *Gymnodinium breve* red tide blooms: initiation, transport, and consequences of surface circulation. *Limnology oceanography*, 42(5part2): 1039—1051
- Wang H X, Lu D D, Huang H Y, *et al*, 2011. First observation of *Karlodinium veneficum* from the East China Sea and the coastal waters of Germany. *Acta Oceanologica Sinica*, 30(6): 112—121
- Yang Z B, Hodgkiss I J, Hansen G, 2001. *Karenia longicanalis* sp. nov. (Dinophyceae): a new bloom-forming species isolated from Hong Kong, May 1998. *Botanica Marina*, 44(1): 67—74
- Yang Z B, Takayama H, Matsuoka K *et al*, 2000. *Karenia digitata* sp. nov. (Gymnodiniales, Dinophyceae), a new harmful algal bloom species from the coastal waters of west Japan and Hong Kong. *Phycologia*, 39(6): 463—470
- Yuan J, Mi T Z, Zhen Y *et al*, 2012. Development of a rapid detection and quantification method of *Karenia mikimotoi* by real-time quantitative PCR. *Harmful Algae*, 17: 83—91
- Zhou C X, Fernández N, Chen H M *et al*, 2011. Toxicological studies of *Karlodinium micrum* (Dinophyceae) isolated from East China Sea. *Toxicon*, 57(1): 9—18
- Zingone A, Siano R, D'Alelio D *et al*, 2006. Potentially toxic and harmful microalgae from coastal waters of the Campania region (Tyrrhenian Sea, Mediterranean Sea). *Harmful Algae*, 5(3): 321—337

## PROGRESS IN TAXONOMY STUDY ON KARENACEAE (DINOPHYTA)

WANG Jian-Yan<sup>1</sup>, HO Kin-Chung<sup>2</sup>, QI Yu-Zao<sup>3</sup>, LÜ Song-Hui<sup>3</sup>, YANG Jing<sup>1</sup>

(1. Department of Science Research, Beijing Museum of Natural History, Beijing 100050, China; 2. School of Science and Technology, Open University of Hong Kong, Kowloon 999077, China; 3. College of Life Science and Technology, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

**Abstract** The family Karenaceae is a recently erected taxonomic family of the order Gymnodiniales (Dinophyceae). Species of this family can be found throughout the world. The family Karenaceae includes 30 described species and 3 genera to date. Karenaceae species are known responsible for recurrent harmful bloom events, which have led to severe economy losses and ecology damage worldwide. Since the 1990s, *Karenia* species have drawn attentions in China for causing several significant bloom events. In this review article, a comprehensive description of Karenaceae species is summarized and a identification key is also listed for a better understanding of species in this family.

**Key words** Dinophyta; Karenaceae; *Karenia*; *Karlodinium*; *Takayama*; taxonomy