

海产绿藻束生刚毛藻(*Cladophora fascicularis*) 的分类地位探讨*

邓绍阳 丁兰平 黄冰心 朱芮佳

(天津师范大学生命科学学院 天津市动植物抗性重点实验室 天津 300387)

摘要 针对国际上海洋绿藻束生刚毛藻 *Cladophora fascicularis* 与 *C. vagabunda* 的同物异名争议, 本文对采集于海南岛莺歌海的束生刚毛藻进行了形态学观察。从 55 个样品的形态特征观测及分析中获得了用于其物种鉴定的主要特征为: 藻体丛生, 黄绿色, 往往纠缠在一起, 高 3—23cm; 基部为不规则分枝的假根状, 往往多个植株的假根粘连在一起; 直立部分叉状或多不规则叉状分枝, 主枝可产生多个分枝或产生分级的分枝; 上部枝多个密集成束, 偏生于一侧, 末位小枝侧生, 多向内侧弯曲, 略呈栉状排列, 枝端钝尖; 主轴细胞长宽比为 3—6.5, 侧枝细胞长宽比为 3—5, 小枝细胞长宽比为 1.5—5, 末位细胞长宽比为 1.2—5。结合形态特征比较以及分子数据分析, 本文探讨了束生刚毛藻与 *C. vagabunda* 的同物异名问题, 认为束生刚毛藻可作为独立种存在。

关键词 海藻; 绿藻门; 刚毛藻属; 分类

中图分类号 Q949.21; Q944 **doi:** 10.11693/hyhz20181000252

刚毛藻是主要的绿藻类群之一, 咸、淡水均有分布。刚毛藻科 Cladophoraceae 由 Wille 于 1884 年建立 (Warming, 1884)。此科主要包括以下几个属: 根枝藻属、硬毛藻属和刚毛藻属等。

我国海洋刚毛藻科分类研究最早由 Cotton(1915)于 1915 报道了威海的气生硬毛藻, 之后陆续有国内外学者报道了该科的物种(代岳等, 2017)。

刚毛藻属 *Cladophora* 隶属于绿藻门 Chlorophyta、刚毛藻目 Cladophorales、刚毛藻科 Cladophoraceae, 由 Kützing 定名(Kützing, 1843), 模式种为 *Cladophora oligoclona*。

刚毛藻结构简单, 且外形易受环境影响, 导致物种鉴定困难, 因此存在着许多同物异名(Guiry, 2018), 且物种间界限模糊, 有些种类缺乏明确的鉴定标准, 争议比较大(代岳等, 2017)。束生刚毛藻 *C. fascicularis* 由 Kützing 于 1843 命名, 之后在国际上一沿用。自 Van Den Hoek(1982)提出束生刚毛藻为

C. vagabunda 的异名及其与合作者提出东亚的束生刚毛藻也为 *C. vagabunda* 的异名以来(Van Den Hoek *et al*, 2000), 它们是否为独立物种一直存在争议(代岳等, 2017), 亚洲主要学术著作仍作为独立物种处理 (Yoshida, 1998; 丁兰平等, 2013)。也有文献(滕林宏, 2011)报道, 以 ITS 序列构建的分子系统发育树中, *C. fascicularis* 并没有与 *C. vagabunda* 聚类, 它们之间存在一定的遗传差异。因此, 本文利用采自海南莺歌海经形态鉴定为束生刚毛藻的 55 株样品进行形态观察对比, 结合 GenBank 中刚毛藻属的序列数据分析, 尝试探讨束生刚毛藻的分类地位争议问题, 可为束生刚毛藻的准确鉴定提供分类学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

2013 年 12 月 17 日和 2016 年 12 月 3 日采集于中国海南省乐东县莺歌海的刚毛藻属标本, 包括液

* 国家自然科学基金面上项目, 31670199 号; 天津市教委科研计划项目, JW1705 号; 天津师范大学引进人才基金项目(自然科学 2016); 天津市高校“学科领军人才培养计划”项目(2017)。邓绍阳, E-mail: 451872810@qq.com

通信作者: 黄冰心, 博士, E-mail: skyhbx@tjnu.edu.cn

收稿日期: 2018-10-25, 收修改稿日期: 2018-12-13

浸标本(用 5%甲醛海水液浸泡)和腊叶标本(编号相同)。标本存放于天津师范大学藻类学实验室。

1.2 方法

1.2.1 基于形态特征的物种鉴定

(1) 外形特征比较 观察比较藻体大小、固着器有无、直立枝、藻体外形轮廓、主轴及分枝特征等。

(2) 显微观察 将样品制成装片, 放置于体式显微镜 Nikon SMZ25 和正置荧光显微镜 DM5000B 下观察与拍照。

(3) 显微特征比较 显微镜下观察、测量、比较包括基部假根形态、分枝、细胞大小、长宽比等特征。

(4) 物种鉴定 通过上述特征对比及相关数据的比较分析, 结合文献鉴定物种。

1.2.2 基于基因序列的系统发育树构建 搜索 GenBank 中相关物种基因序列数据(含 Algaebase 中记录为 *Cladophora vagabunda* 同物异名的基因序列), 对数据进行整理、分析和筛选, 使用 MEGA7.0 构建系统发育树。

1.2.3 形态与基因序列数据综合分析 对形态鉴定结果和基因序列的系统发育分析结果进行综合分析, 判断束生刚毛藻 *C. fascicularis* 独立存在的可能性。

2 实验结果

2.1 束生刚毛藻的形态特征观察与结果

束生刚毛藻 *Cladophora fascicularis* (Mertens ex C. Agardh) Kützing; Sakai 1964: 25, pl.4: 1, fig.8; Tseng *et al*, 1983: 258, pl.128, fig.4; Yoshida 1998: 62; Ding 2013: 108.

Conferva fascicularis Mertens ex C. Agardh

Cladophora mauritiana Kützing

Cladophora utriculosa sensu Yendo

模式标本产地: 西印度群岛。

习性: 生长于潮间带中上部的覆泥沙的岩石上, 也有生长在其他大型海藻上。

标本编号: 201312170031、201612020003。

藻体丛生, 黄绿色, 往往纠缠在一起, 高 3—23cm(图 1), 为单列细胞的丝状分枝组成(图 2a)。基部为不规则分枝的假根状, 往往多个藻体的假根丛生在一起, 由数个藻体其假根数较少但粗壮的假根起大的固着作用(图 2b), 而其余藻体其假根数较多但较细的假根固着于其他假根上(图 2c)。直立部分叉状或多不规则叉状分枝, 主枝上可产生多个分枝(图 2d), 主枝也可先产生一个分枝, 由一级分枝继续产生多个二级分枝(图 2e)。上部枝多个密集成束, 偏生

于一侧, 末位小枝侧生, 多向内侧弯曲, 略呈栉状排列, 枝端钝尖(图 2f)。主轴细胞长 650—1000 μ m, 宽 100—360 μ m, 长为宽的 3—6.5 倍; 侧枝细胞长 400—900 μ m, 宽 140—230 μ m, 长为宽的 3—5 倍; 小枝细胞长 120—400 μ m, 宽 80—150 μ m, 长为宽的 1.5—5 倍; 末位细胞长 80—300 μ m, 宽 60—120 μ m, 长为宽的 1.2—5 倍(图 2g—i)。

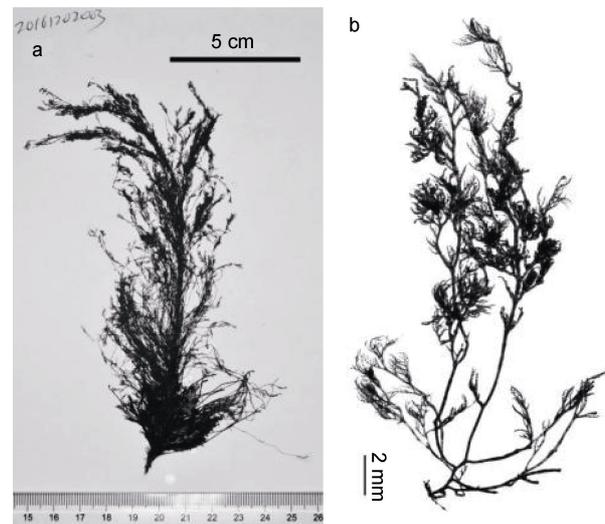


图 1 束生刚毛藻的外形

Fig.1 The thallus of *C. fascicularis*

a. 腊叶标本; b. 浸液标本

其生殖结构生于藻体侧枝的中上部, 长卵形, 明显比非生殖结构的分枝细胞粗壮(图 3a、b)。其生殖结构细胞长 150—450 μ m, 最宽处 100—300 μ m, 长为宽的 1.2—1.8 倍(图 3c)。其内可见大量颗粒物, 经 DAPI 染色发现颗粒物中含有大量 DNA, 几乎充满整个细胞(图 3d)。

幼年期藻体, 其枝顶端的末位小枝细胞的形态较完整, 细胞体积小, 没有断裂的痕迹(图 4a)。壮年期且生活在相对静水海区的藻体, 其小枝十分繁茂, 基部具有末枝细胞完整、体积小、不具分枝的细枝(图 4b、c); 而生活在水流作用较大的海区的藻体, 基部具有末枝细胞完整、体积小、不具分枝的细枝, 但其上部枝大部分脱落(图 4d、e)。中老年期的藻体, 其中部分分枝较茂密, 但其密集成束的上部枝大部分脱落, 随着藻体年龄的增长, 其藻体进一步脱落(图 4f、g)。老年期的藻体, 其上部枝和中部枝也已经脱落, 仅剩下单轴的主枝和少部分分枝; 还有的藻体主轴与分枝较粗壮, 但藻体矮小, 绝大部分藻体已脱落, 而水流较大海区的, 则脱落处不规整(图 4h、i)。

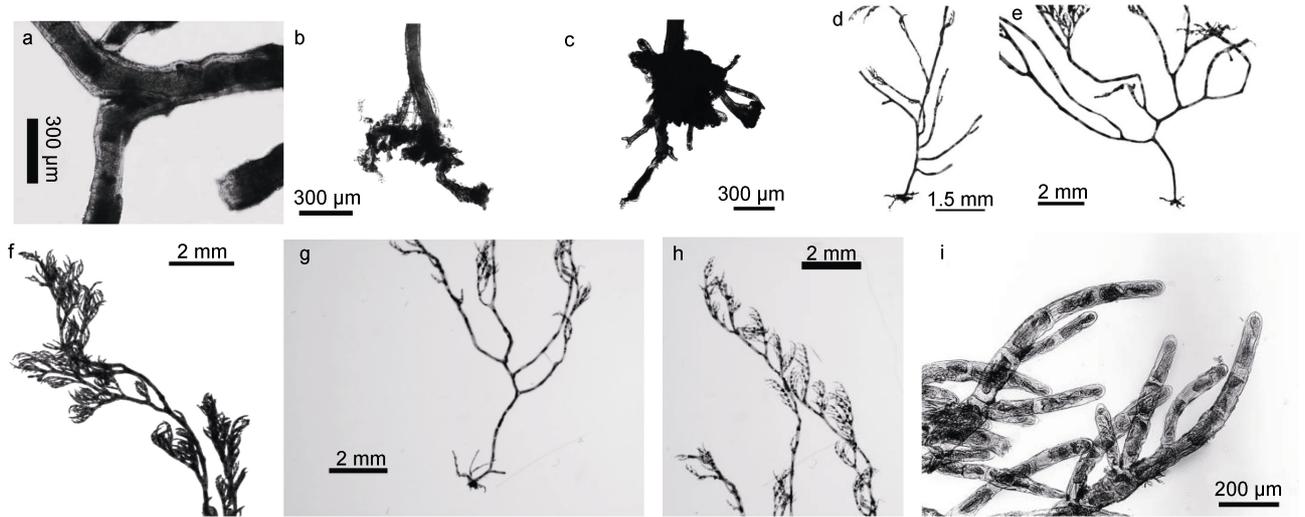


图 2 束生刚毛藻的内部结构

Fig.2 The microscopic sketches of *C. fascicularis*

注: a. 藻体主枝的分支结构; b. 藻体基部, 示少量假根; c. 藻体基部, 示多数假根; d. 主枝上生出多个分枝; e. 主枝及次级枝; f. 藻体上部分枝; g. 藻体下中部; h. 藻体上中部; i. 藻体末位小枝细胞

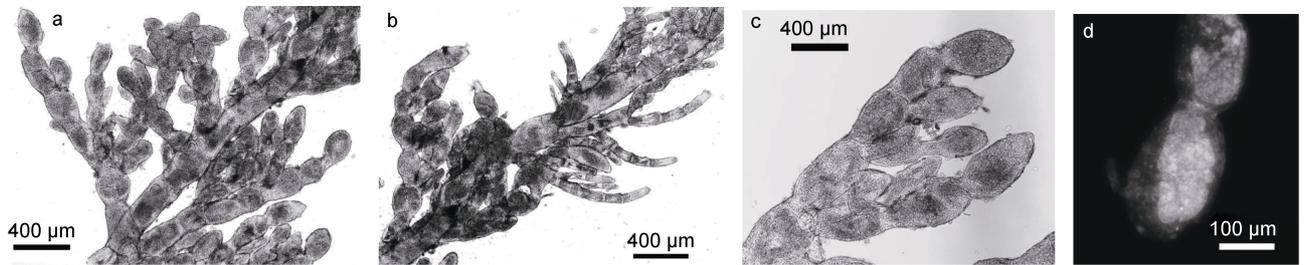


图 3 束生刚毛藻的生殖结构

Fig.3 The reproductive structures of *C. fascicularis*

注: a. 藻体侧枝的中上部; b. 生殖结构细胞与正常分枝细胞; c. 生殖结构细胞; d. 经 DAPI 荧光染色的生殖结构细胞

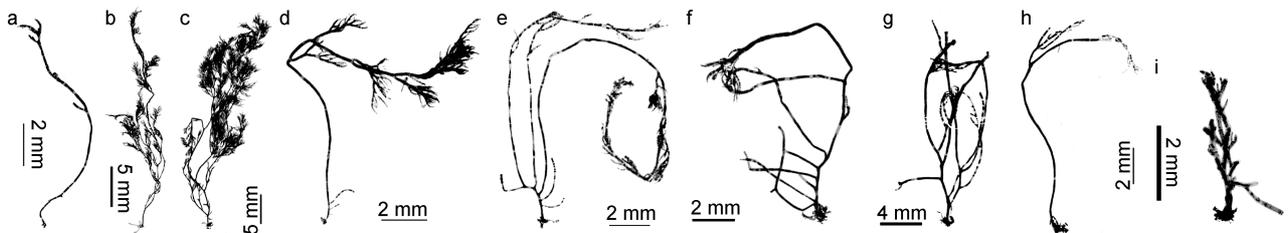


图 4 束生刚毛藻的形态变化特征

Fig.4 The morphology at the different growth stages of *C. fascicularis*

注: a. 幼年期藻体; b. c. 壮年期小枝繁茂的藻体; d. e. 壮年期小枝脱落的藻体; f. g. 中老年期藻体; h. i. 老年期藻体

2.2 束生刚毛藻系统发育分析及结果

在 Algaebase 中, 作为 *Cladophora vagabunda* 同物异名的名称达 50 余个。其中, 在 GenBank 中与之对应的 18S rRNA 基因序列和 18S rRNA、ITS、28S

rRNA 基因序列分别仅为 *C. fascicularis* (JQ308269.1) 和 *C. expansa* (JQ308259.1)、*C. fascicularis* (JQ308255.1), 以及这两个序列的相关物种信息分别见表 1 和表 2。

表 1 18S rRNA 基因的物种信息
Tab.1 The species with 18S rRNA gene

物种名	序列号	物种名	序列号
	KX281856.1	<i>C. laetevirens</i>	LT607363.1
<i>C. albida</i>	AB665587.1	<i>C. lehmanniana</i>	LT607364.1
	JQ308274.1	<i>C. oligocladoidea</i>	AB665582.1
<i>C. capensis</i>	LT607351.1	<i>C. opaca</i>	JQ308266.1
<i>C. coelothrix</i>	FR865756.1		AB665580.1
<i>C. Columbiana</i>	LT607353.1	<i>C. pachyderma</i>	KC691292.1
<i>C. dalmatica</i>	LT607354.1	<i>C. pellucidoidea</i>	KX281846.1
<i>C. expansa</i>	JQ308273.1	<i>C. rivularis</i>	LT607373.1
<i>C. fascicularis</i>	JQ308269.1	<i>C. ruchingeri</i>	LT607374.1
<i>C. flexuosa</i>	LT607355.1	<i>C. rupestris</i>	Z35319.1
<i>C. flexuosa</i>	AB807628.1	<i>C. rupestris</i>	LT607377.1
<i>C. globulina</i>	LT607356.1		LT607379.1
	LT607359.1	<i>C. sericea</i>	Z35320.1
<i>C. glomerata</i>	AB062706.1	<i>C. stimpsonii</i>	JQ308271.1
	AB665579.1	<i>C. submarina</i>	LT607380.1
<i>C. gracilis</i>	JN574848.1	<i>C. vadorum</i>	KX281851.1
	KX281848.1		AB665576.1
<i>C. hutchinsiae</i>	LT607362.1		Z35316.1
	JQ308268.1	<i>C. vagabunda</i>	KX281847.1
<i>C. hutchinsioides</i>	AB807629.1		AB062710.1
	KX281844.1		LT607383.1
<i>C. laetevirens</i>	AB665577.1	<i>Chaetomorpha aerea</i>	LT607325.1

注: 数据来源于 NCBI, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

表 2 18S rRNA、ITS、28S rRNA 基因的物种信息
Tab.2 The species with 18S rRNA, ITS and 28S rRNA genes

物种名	序列号	物种名	序列号
	AB665574.1	<i>C. laetevirens</i>	LN679099.1
<i>C. albida</i>	JQ308260.1	<i>C. oligocladoidea</i>	AB665569.1
	KX281892.1		AB665567.1
	LN679098.1	<i>C. opaca</i>	JQ308252.1
<i>C. expansa</i>	JQ308259.1	<i>C. pellucidoidea</i>	KX281877.1
<i>C. fascicularis</i>	JQ308255.1	<i>C. ruchingeri</i>	LN679096.1
	AB665566.1	<i>C. stimpsonii</i>	JQ308257.1
<i>C. glomerata</i>	KC914578.1	<i>C. vadorum</i>	KX281884.1
<i>C. glomerata</i>	LN679077.1		AB665563.1
<i>C. gracilis</i>	JN574857.1	<i>C. vagabunda</i>	KX281878.1
<i>C. hutchinsiae</i>	KX281879.1		KX281890.1
<i>C. hutchinsioides</i>	JQ308254.1	<i>C. hutchinsioides</i>	LN679078.1
	AB665564.1	<i>Chaetomorpha aerea</i>	JN540041.1
<i>C. laetevirens</i>	KX281875.1		

注: 数据来源于 NCBI, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

根据表 1 的 18S rRNA 和表 2 的 18S rRNA、ITS、28S rRNA 基因序列构建的分子系统发育树见图 5、图 6。气生硬毛藻 *Chaetomorpha aerea* 作为外群。

由图 5 18S rRNA 基因系统发育树可知: (1) 5 个 *C. vagabunda* 样本分别包含在 3 个比较相近的独立进化枝上, 而含 *C. fascicularis* 的独立进化枝插入其中,

成为 4 个独立相邻进化枝, 而 *C. expansa* 距离 *C. vagabunda* 和 *C. fascicularis* 很远, 中间距离 10 多个物种; (2) GenBank 中某些物种的基因序列信息可信度存疑, 如 *C. glomerata* 的 3 个样本和 *C. albida* 的 3 个样本, 它们分别处在系统树的不同分枝上。

由图 6 18S rRNA、ITS、28S rRNA 基因系统发育树可知: (1) 3 个 *C. vagabunda* 样本与 *C. gracilis* 聚在一起成独立进化枝, *C. fascicularis* 与 *C. laetevirens* (编号: AB665564.1) 独立成枝, 而其与 *C. vagabunda* 进化枝间隔 *C. stimpsonii*, 而 *C. expansa* 进化枝与 *C. vagabunda* 进化枝间隔近 10 个物种; (2) 相对于 18S rRNA 基因系统发育树, 在 18S rRNA、ITS、28S rRNA 基因系统发育树上, 不同物种能更好地聚中于相同或相邻进化枝上。

基于上述的分子序列分析, Hoek 对 *C. vagabunda* 的划分可能过于宽泛, 将 *C. fascicularis* 等都作为它的同物异名, 其可信度不高。

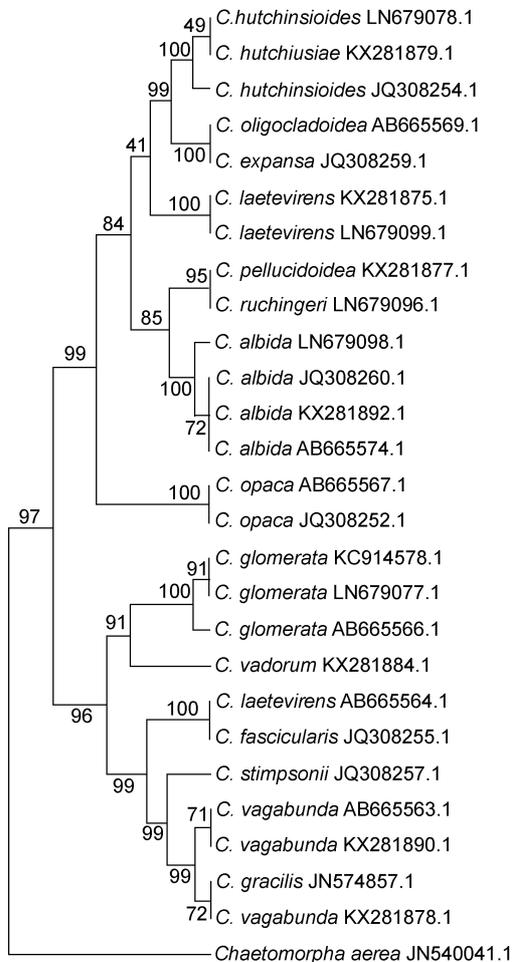


图 5 18S rRNA 基因的系统发育树
Fig.5 The phylogram inferred from 18S rRNA gene

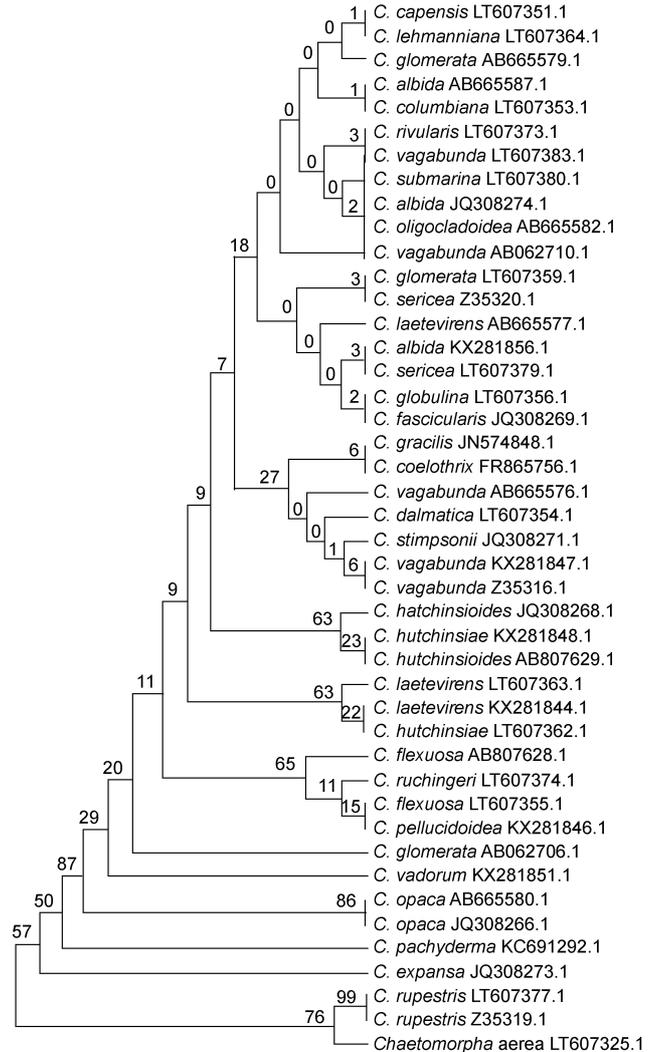


图 6 18S rRNA、ITS、28S rRNA 基因的系统发育树
Fig.6 The phylogram inferred from 18S rRNA, ITS and 28S rRNA gene

3 讨论

基于形态学特征, 对比专论性文献[主要为丁兰平等(2013)、Yoshida(1998)、Van Den Hoek 等(2000)和 Van Den Hoek(1963)], 欧洲与东亚束生刚毛藻的特征比较见表 3。

在藻体颜色方面, 东亚和欧洲样品的差别不大, 欧洲具有颜色深的个体。在藻体高度方面, 东亚样品的普遍在 30cm 以下, 而欧洲样品可达 50cm。

本文海南岛三亚莺歌海的束生刚毛藻 *C. fascicularis* 的外形为藻体丛生, 往往纠缠在一起; 基部固着器为不规则分枝的假根, 往往多个藻体的假根固着在一起; 直立部分叉状或多不规则叉状分枝, 主枝上可产生一个或多个分枝; 上部枝多个密

集成束, 偏生于一侧, 末位小枝侧生, 多向内侧弯曲, 略呈栉状排列, 枝端钝尖。这与东亚 Yoshida (1998)、Van Den Hoek 等(2000)以及丁兰平等(2013)的描述相似, 只是 Van Den Hoek 等(2000)描述密集束状分枝像绒球状与其他学者的不一样。而 Van Den Hoek (1963)(欧洲)描述的欧洲样品, 分枝常呈镰刀状或扭曲镰刀状(refracto-falcate), 与东亚的相似。东亚与欧洲的生境差异不明显, 生长于岩石上(Yoshida, 1998), 或潮间带或低潮线石沼中(丁兰平等, 2013), 分布很广, 从低海岸流水处到高海岸岩石以及礁湖和盐沼池塘中(Van Den Hoek *et al*, 2000), 附生于其他大型海藻上, 欧洲的常形成漂浮群体(Van Den Hoek, 1963)。而莺歌海地区则不同, 其地处海南岛西南坡, 风大浪急, 束生刚毛藻成片分布于迎风浪平缓地带潮间带中上部覆泥沙的岩石上, 或附着于其他大型海藻藻体表面。

在藻体各级分枝细胞大小方面, 本次观察的样品, 与丁兰平等(2013)描述的比较相似, 与 Yoshida(1998)的仅主轴细胞长宽比差异较大, 我们的研究结果为 3—6.5, 而后者为 10—20。本实验的藻体侧枝细胞长度与丁兰平等(2013)报道的其最小值存在差异, 我们在观察中发现末位细胞长度受其生长年龄的因素影响较大, 正在生长幼龄的末位细胞, 其细胞长度较小, 使得末位细胞长度实验测量结果出现较大范围的波动。Van Den Hoek 等(2000)和 Van Den Hoek(1963)的数据可能是描述方式稍有不同, 在小枝细胞和末位细胞长宽比方面与东亚学者的描述差异较大, 但其自己的东亚和欧洲数据仍相似(见表 3)。

在实验中我们发现藻体高度的变化差异很大, 我们认为同一物种的高度在一定范围内变化, 这一现象除了跟生长年龄有关, 也受环境影响。滕林宏(2011)也曾报道在水流作用比较大的海区, 藻体一般较静水区的小, 因为藻体容易断裂, 而且易较早形成生殖囊, 从而限制了它们的高度。Van Den Hoek 等(2000)也发现, 低海岸或较少暴露地点的植株一般都紧凑, 高仅几厘米, 而 5—10cm 高或更高的藻体大部分发生在平静温和的水流中, 很少分布于有波浪且无遮蔽的地点。并且, 我们发现位于水流作用比较大的藻体, 其主轴细胞的直径比位于水流作用比较小的藻体的主轴细胞直径更小。因此, 刚毛藻藻体结构简单, 外观易受环境影响, 这可能就是导致物种鉴定

困难、许多物种同物异名的主要原因。

Van Den Hoek 等(2000)提出把束生刚毛藻 *C. fascicularis* 作为 *C. vagabunda* 的异名, 除了描述藻体外形外, 由其报道的各特征部位细胞长、宽和长宽比的数据不够全面且其数据本身波动范围较大。本实验的结果与 Yoshida(1998)、丁兰平等(2013)报道的 *C. fascicularis* 在形态描述和各特征部位细胞长和宽以及长宽比的数据比较接近, 而与 Van Den Hoek 等(2000)报道的虽然在形态描述上比较接近, 但是在用于鉴定的各特征部位细胞长和宽以及长宽比的数据相差较大。因此, 从形态特征看, 束生刚毛藻 *C. fascicularis* 和 *C. vagabunda* 是否为同一物种, 还存在不确定性。

有报道认为, 目前对刚毛藻目物种进行分子鉴定效果较好的则为 ITS 和 18S rDNA 等片段(代岳等, 2017)。近年来, 国际上普遍利用 ITS、18S rDNA 和 28S rRNA 基因片段研究刚毛藻的系统进化关系(Leliaert *et al*, 2003; 滕林宏, 2011; Hayakawa *et al*, 2012; Taylor *et al*, 2017)。因此, 本文采用了 18S rRNA 基因、ITS 基因、28S rRNA 基因序列构建分子系统发育树, 分析物种间的进化关系。

根据上文的结果, 在 Algaebase 中作为 *C. vagabunda* 同物异名的 *C. fascicularis* 和 *C. expansa* 都没有与 *C. vagabunda* 聚类成独立进化枝。滕林宏(2011)也曾报道, 在 ITS 大系统树中, *C. fascicularis* 并没有与 *C. vagabunda* 聚类, 认为两者之间存在着遗传差异。

在上述的 18S rRNA 基因系统发育树中, 1 个 *C. fascicularis* 样本和 5 个 *C. vagabunda* 样本与 10 余个物种分别归入 4 个独立相邻进化枝, 而 *C. expansa* 则远离它们。因此, 18S rRNA 基因分析结果无法支持 *C. fascicularis* 和 *C. expansa* 作为 *C. vagabunda* 的同物异名。但存在物种鉴定和 18S rRNA 基因用于系统分析的可信度问题, 如从该系统发育树可知, 若 18S rRNA 基因用于系统分析是可信的, 则物种鉴定就存在问题(相同物种在系统树上归入不同的独立进化枝), 反之亦然。

然而, 当利用 18S rRNA、ITS、28S rRNA 基因进行系统发育树分析时, 仅以 18S rRNA 基因系统发育树分析中存在的问题基本得到解决, 因为大部分的物种都能很好地聚类, 如 *C. glomerata* 和 *C. albida* 等, 由此可知前者在刚毛藻的系统发育分析方面是更灵敏的分子标签。

表 3 束生刚毛藻各文献形态特征的比较
Tab.3 The characteristic comparison of *C. fascicularis* among different literatures

项目及形态特征		文献			
本文		丁兰平等, 2013	Yoshida, 1998	Van Den Hoek <i>et al.</i> , 2000	Van Den Hoek, 1963
地区	海南岛	中国	日本	日本	欧洲
种名	<i>C. fascicularis</i>	<i>C. fascicularis</i>	<i>C. fascicularis</i>	<i>C. vagabunda</i>	<i>C. vagabunda</i>
颜色	绿色或黄绿色	绿色或黄绿色	鲜绿色或黄绿色	淡绿色至中绿色(几乎没有深绿色)	淡绿色至深绿色
藻体高度(cm)	3—23	10—20	10—20	(0.5—5)5—10 及更长	达 50
习性	潮回带中上部的覆泥沙的岩石上, 也生长在大型海藻上	潮回带或低潮线石沼中, 也生长于大型海藻上	岩石上或其他海藻上	从生长于低海岸的水流中到高海岸充满阳光的岩石上或有时附生于植物上以及礁湖和盐沼池塘中	潮回带石沼、泻湖, 或漂浮生长
主轴细胞长(μm)	650—1000	800—1200	无	无	无
主轴细胞宽(μm)	100—360	100—300	230—250	(70—140)—(100—250)(—300)	80—300
主轴细胞长宽比	3—6.5	3—6	10—20	(4—8)—(1.5—5)	(5—14)—(1.5—3)
侧枝细胞长(μm)	400—900	900—1000	无	无	无
侧枝细胞宽(μm)	140—230	200—240	140—250	无	无
侧枝细胞长宽比	3—5	3—5	2—4	无	无
小枝细胞长(μm)	120—400	无	无	无	无
小枝细胞宽(μm)	80—150	无	60—160	(20—40)(—50)—(30—55)(—70)	(18—30)—(70—130)
小枝细胞长宽比	1.5—5	无	2—4	(5—15)—(2—9)	(9—14)—(1—2.5)
末位细胞长(μm)	80—300	220—360	无	无	无
末位细胞宽(μm)	60—120	75—100	40—120	(20—30)(—40)—(30—50)(—60)	(17—23)—(55—85)
末位细胞长宽比	1.2—5	2—5	2—4	(10—20)—(1.5—8)	(8—23)—(1.5—3)

在 18S rRNA、ITS、28S rRNA 基因系统发育树中, 与 *C. gracilis* 聚类的 *C. vagabunda* (KX281878.1, Taylor *et al*, 2017) 和与 *C. fascicularis* 聚类的 *C. laetevirens* (AB665564.1, Hayakawa *et al*, 2012) 未提供任何形态学特征信息。另外, 在系统发育树中, 2 个 *C. laetevirens* 样本(LN679099.1, Pochon *et al*, 2015; KX281875.1, Taylor *et al*, 2017) 聚类在远离 *C. laetevirens* (AB665564.1, Hayakawa *et al*, 2012) 的进化支上。而 *C. gracilis* (JN574857.1, 滕林宏, 2011)、*C. fascicularis* (JQ308255.1, 滕林宏, 2011)、*C. expansa* (JQ308259.1, 滕林宏, 2011) 以及与 *C. vagabunda* 亲缘关系最近的 *C. stimpsonii* (JQ308257.1, 滕林宏, 2011) 都有完整的形态学特征可供参考, 其物种鉴定结果的可信度相对较高。因此, 本文认为以 18S rRNA、ITS、28S rRNA 基因序列分析的结果是相对可靠的, *C. vagabunda*、*C. fascicularis* 和 *C. expansa* 在分子水平上是独立物种。

4 结论

结合形态及分子数据的分析结果, 我们认为束生刚毛藻 *C. fascicularis* 是分类学上的独立种。关于 Algaebase 中 *C. vagabunda* 存在大量的同物异名问题, 因目前分子数据不充分, 还很难对其进行一一甄别, 需要开展更深入的研究工作。

参 考 文 献

丁兰平, 栾日孝, 2013. 中国海藻志 第 4 卷 绿藻门 第 1 册. 北京: 科学出版社
 代 岳, 丁兰平, 黄冰心等, 2017. 海产刚毛藻科的形态分类与分子系统发育学研究进展. 广西科学, 24(4): 419—426
 滕林宏, 2011. 中国刚毛藻目海藻的形态及系统发育学研究——兼 DNA 条形码技术在刚毛藻目的应用初探. 北京: 中国科学院海洋研究所硕士学位论文
 Cotton A D, 1915. Some Chinese marine algae. Bulletin of Miscellaneous Information, 1915(3): 107—113
 Guiry M D, 2018. AlgaeBase is a global algal database of

taxonomic, nomenclatural and distributional information. <http://www.algaebase.org>
 Hayakawa Y I, Ogawa T, Yoshikawa S *et al*, 2012. Genetic and ecophysiological diversity of *Cladophora* (Cladophorales, Ulvophyceae) in various salinity regimes. Phycological Research, 60(2): 86—97
 Kützing F T, 1843. Phycologia generalis oder Anatomie, Physiologie und Systemkunde der Tange. Leipzig: F. A. Brockhaus
 Leliaert F, Rousseau F, De Reviere B *et al*, 2003. Phylogeny of the Cladophorophyceae (Chlorophyta) inferred from partial LSU rRNA gene sequences: is the recognition of a separate order Siphonocladales justified? European Journal of Phycology, 38(3): 233—246
 Pochon X, Atalah J, Wood S A *et al*, 2015. *Cladophora ruchingeri* (C. Agardh) Kützing, 1845 (Cladophorales, Chlorophyta): a new biofouling pest of green-lipped mussel *Perna canaliculus* (Gmelin, 1791) farms in New Zealand. Aquatic Invasions, 10(2): 123—133
 Sakai Y, 1964. Scientific papers of the institute of algological research. Hokkaido: Hokkaido Imperial University
 Taylor R L, Bailey J C, Freshwater D W, 2017. Systematics of *Cladophora* spp. (Chlorophyta) from north Carolina, USA, based upon morphology and DNA sequence data with a description of *Cladophora subtilissima* sp. Nov. Journal of Phycology, 53(3): 541—556
 Tseng C K, 1983. Common Seaweeds of China. Beijing: Science Press
 Van Den Hoek C, 1963. Revision of the European Species of *Cladophora*. Leiden, Netherlands: Doctor Dissertation of University of Leiden
 Van Den Hoek C, 1982. A Taxonomic Revision of the American Species of *Cladophora* (Chlorophyceae) in the North Atlantic Ocean and their Geographic Distribution. Amsterdam: North-Holland Publishing Company
 Van Den Hoek C, Chihara M, 2000. A Taxonomic Revision of the Marine Species of *Cladophora* (Chlorophyta) Along the Coasts of Japan and the Russian Far-east. Tokyo: National Science Museum
 Warming E, 1884. Haandbog i den Systematiske Botanik: Naermest Til Brug for Laerere Og Universitets-Studerende. Kjøbenhavn: P. G. Philipsens
 Yoshida T, 1998. New Descriptions of Japanese Algae. Tokyo: Uchida Rokakuho (in Japanese)

THE TAXONOMICAL POSITION ON MARINE GREEN ALGAL *CLADOPHORA FASCICULARIS*

DENG Shao-Yang, DING Lan-Ping, HUANG Bing-Xin, ZHU Rui-Jia

(College of Life Sciences, Tianjin Normal University, Tianjin Key Laboratory of Animal and Plant Resistance, Tianjin 300387, China)

Abstract At present, it is disputed between *Cladophora fascicularis* and *C. vagabunda* worldwide. The morphological characteristics were observed by the collected samples of marine green alga *C. fascicularis* from Yinggehai sea, Hainan Island, China. Its main characteristics were combined under the observation and analysis to 55 samples as follows: thalli clumped, yellow green, often entangled together, 3—23cm high; the base with irregularly branched rhizoid, the rhizoids of several plants often stick together; the erect part forked or irregularly forked branching, main branch with many branches or ranked branches; the upper branches densely bunched, secund, terminal branchlets lateral and mostly curved inwards, slightly pectinate arranged with blunt point at the end; the cells of main axes, lateral branches, branchlets and terminate of branchlets with length/width 3—6.5, 3—5, 1.5—5 and 1.2—5, respectively. Based on the combination results between the comparison of morphological characteristics and analysis of molecular data, it proposes that that *C. fascicularis* is not synonym of *C. vagabunda* and can be as distinct species.

Key words marine algae; Chlorophyta; *Cladophora*; taxonomy