

山东半岛漂浮铜藻和底栖铜藻气囊及生殖托的形态学比较分析

庞云龙^{1,5}, 刘正一¹, 丁兰平², 付晚涛³, 于淑贤¹, 孙作登⁴, 秦松¹

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东烟台 264003; 2. 天津师范大学生命科学学院, 天津 300387; 3. 大连海洋大学海洋科技与环境学院, 辽宁大连 116000; 4. 山东省水生生物资源养护管理中心, 山东烟台 264003; 5. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 铜藻(*Sargassum horneri*)是主要分布于北太平洋西部的暖温带性海藻, 是我国海藻场的重要组成部分之一, 对于海洋环境、渔业资源具有重要支撑作用。除底栖生活外, 铜藻可营漂浮生活。气囊和生殖托是铜藻适应漂浮生活的重要结构, 但是二者与漂浮生活相适应的结构特点尚研究有限。本文对漂浮铜藻和底栖铜藻气囊、生殖托的数量以及主要形态学特征进行了统计学分析, 结果显示: 漂浮铜藻气囊体积显著小于底栖铜藻($P < 0.01$), 漂浮铜藻生殖托个数远少于底栖铜藻($P < 0.01$), 推测铜藻为了适应漂浮生境, 其漂浮能力和有性生殖能力已经发生改变。

关键词: 漂浮铜藻(*Sargassum horneri*), 气囊, 生殖托, 统计学分

中图分类号: S968.42 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2018)03-0084-08

DOI: 10.11759/hyxx20171210001

铜藻(*Sargassum horneri*)分类学上隶属于褐藻门(Phaeophyta)、圆子纲(Cyclosporeae)、墨角藻目(Fucales)、马尾藻科(Sargassaceae)、马尾藻属(*Sargassum*)^[1]。藻体黄褐色, 体长可达 8 m。固着器裂瓣状, 主枝单生, 气囊圆柱状, 顶端冠一小裂叶, 生殖托圆柱状, 是马尾藻属中生殖托最长的种类^[2], 可营漂浮和底栖两种生活史类型。

漂浮海藻是由部分种类的底栖海藻在物理、生物等条件下, 藻体断裂、漂浮于海面而形成的海藻类群, 可在风场和海流作用下进行远距离的漂移, 并形成较大的生物量, 其生活史和生态学功能有别于底栖海藻^[3]。马尾藻中许多种类可形成漂浮海藻, 是漂浮海藻的主要类群之一。早在哥伦布时期, 航海家和学者就开始关注漂浮马尾藻的起源与分布^[4], 近些年由于漂浮马尾藻事件频发, 被人们称为“金潮”(golden tide)^[5], 如分布于北大西洋墨西哥湾和马尾藻海的 *Sargassum natans* 和 *Sargassum fluitans*, 这两种马尾藻由于藻体断裂, 由底栖转为漂浮生活, 被大西洋环流传送汇聚在一起, 通过营养体藻枝段进行繁殖, 可在漂浮生境中完成整个生活史^[6]。

近年来, 中国黄海漂浮铜藻的规模和影响越来越大, 其大面积聚集成片, 被形象地称为“金潮”, 与人们熟知的“绿潮”、“赤潮”一样受到广泛关注和重视。2008年黄海绿潮中发现有漂浮铜藻伴生, 并逐渐与黄海绿潮形成连年的伴生群体^[7-9]。2016年冬季, 黄海漂浮铜藻对江苏水产养殖业造成经济损失高达 5 亿元^[10]。

铜藻的漂浮能力和生殖能力对其漂浮生活具有

重要影响, 气囊和生殖托是与之对应的两个重要藻体结构。马尾藻的气囊是由皮层细胞加厚、髓部细胞破裂而成的空腔^[11]。在气囊作用下, 当底栖铜藻受生物或物理因素脱离固着基或者主枝后, 可形成漂浮生活的铜藻^[12]。另外, 铜藻为雌雄异体的大型褐藻, 成熟的藻体在叶腋处能分化出产生生殖细胞的生殖托, 雄托细长, 雌托相对较粗短^[13]。据观察, 黄海漂浮铜藻仍具有生殖托结构。目前已有较多关于漂浮铜藻的研究报道, 包括漂浮铜藻的鉴定、漂浮路径、漂浮来源^[10]等, 鲜有关于漂浮铜藻和底栖铜藻的形态比较的研究。本文利用统计学方法比较分析山东半岛漂浮和底栖铜藻气囊和生殖托的形态、数量等方面的差异, 这为解释铜藻营漂浮生活提供了科学参考, 也为“金潮”的防控提供一定的科学依据。

1 材料采集与方法

1.1 材料采集与处理

实验所用材料采自 2017 年 4 月 3 日至 8 日, 该

收稿日期: 2017-12-02; 修回日期: 2018-01-27

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA1102040300); 海洋公益性行业科研专项经费项目(201505022)

[Foundation: Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA1102040300; Public Science and Technology Research Funds Projects of Ocean, No. 201505022]

作者简介: 庞云龙(1988-), 男, 博士生, 从事海洋生物学研究, E-mail: tclpang@163.com; 秦松(1968-), 通信作者, 研究员, 博士生导师, E-mail: sqin@yic.ac.cn

时段黄海海域的漂浮铜藻和底栖铜藻均处于成熟期, 具有生殖托结构。漂浮铜藻采自山东荣成, 底栖铜藻采自山东长岛, 每个地点随机采集 30 棵样本。新鲜样本采集后迅速放入冷冻盒带回实验室, 藻体表面用过滤海水清洗干净, 去除表面杂物, 以备测量和提取 DNA 使用。截取部分藻体制作组织切片及腊叶标本, 并使用单反相机拍照记录藻体形态。

1.2 DNA 制备及 18S rDNA 分析

随机截取 100 mg 藻体样本放入液氮中研磨, DNA 提取使用天根 Plant Genomic DNA Kit, 得到的 DNA 保存到 -20℃, 作为 18S rDNA 扩增的 DNA 模板。PCR 反应使用的引物参照 Nakayama 等^[14], 由上海生工生物工程有限公司合成。引物序列包含 F: 5'-TACCTGGTTGATCCTGCCAG-3'; R: 5'-CCTTCCGCAGGTTACCTAC-3'。PCR 反应条件: 95℃预变性 5 min, 95℃变性 30 s, 48℃退火 30 s, 72℃延伸 1min, 28 个循环。PCR 产物经 1%琼脂糖凝胶电泳和溴化乙锭染色后, 通过紫外光检测。扩增产物的纯化及测序由北京睿博兴科生物技术有限公司完成。

采用 BIOEDIT (<http://www.brothersoft.com/bioedit-490363.html>)对样品 18S 序列进行编辑和对齐。同源序列通过 NCBI-BLAST 比对并下载, 系统发育树构

建采用邻接法(NJ), 使用 MEGA 5.0 中 Kimura 2-parameter 模型计算遗传分化距离^[15]。

1.3 数量统计

分别随机选取 30 棵藻体完整的铜藻初生分枝, 采用人工计数的方法, 统计底栖和漂浮铜藻的气囊、生殖托个数。通过数码相机获得的照片后, 利用 photoshop 测量气囊长、宽, 并计算体积。使用 Mettler-Toledo (Switzerland)天平测得藻体质量。

1.4 石蜡切片

生殖托石蜡切片方法参照刘涛^[16]海洋藻类组织切片制作方法。

1.5 数据分析

用 SPSS 软件 One-Way ANOVA 检验分析各个处理之间的显著性, 用 origin 9 软件作图。

2 结果

2.1 18S rDNA 分析结果

实验测得两种不同来源铜藻 18S 序列长度为 1769 bp, 从图中 1 可以看出两种不同来源的铜藻与 *S. horneri* (AB011429.1)聚为一支。

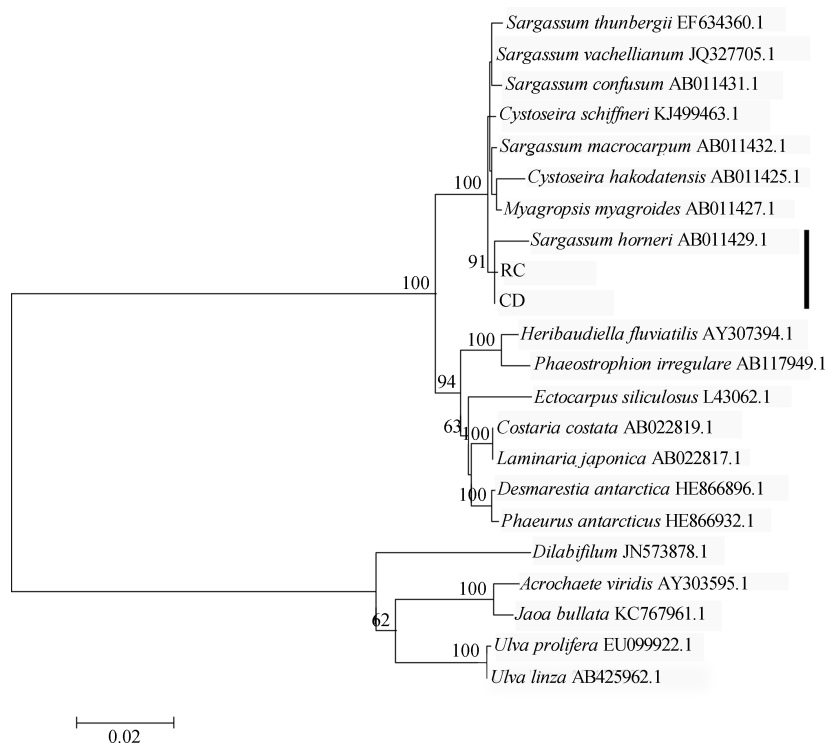


图 1 基于 18S rDNA 序列构建的系统进化树

Fig. 1 Phylogenetic tree based on 18S rDNA sequence

RC. 荣成漂浮铜藻; CD. 表示长岛底栖铜藻

RC: floating sample from Rongcheng; CD: attached sample from Changdao island

2.2 气囊定量分析

铜藻藻体结构主要包括固着器、主枝、分枝、叶片、气囊、生殖托。笔者通过调查发现,铜藻主枝上并不着生气囊,气囊仅着生于初生分枝和次生分枝上,且以次生分枝为主,图 2③。

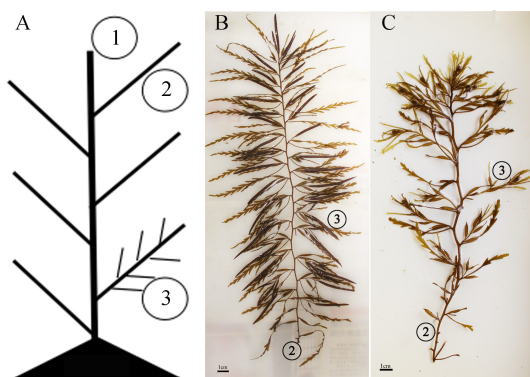


图 2 铜藻结构示意图

Fig. 2 Schematic of *Sargassum horneri*

A. 铜藻示意图; B. 底栖铜藻; C. 漂浮铜藻

①. 主干; ②. 初生分枝; ③. 着生气囊的次生分枝

A. Diagram of *S. horneri*; B. attached sample; C. floating sample

①. Main axis; ②. primary lateral; ③. secondary lateral

实验共统计 5578 个气囊,其中底栖铜藻 2 908 个,漂浮铜藻 2 670 个。实验结果显示底栖铜藻每根次生分枝气囊个数明显少于漂浮铜藻($P < 0.05$):底栖铜藻平均每根次生分枝 2.09 个气囊,最多 6 个,漂浮铜藻平均每根次生分枝 3.85 个气囊,最多 11。如图 3。

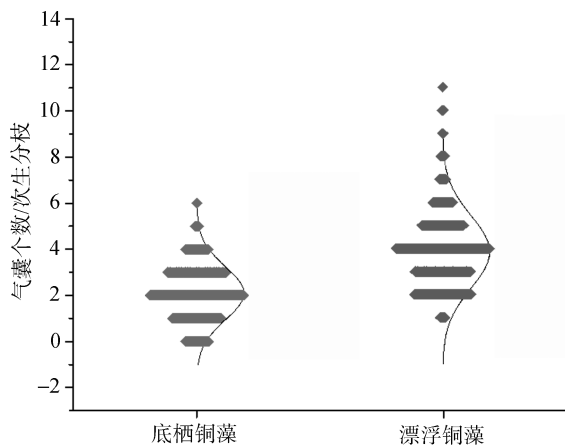


图 3 每根次生分枝的气囊数量统计

Fig. 3 Number of vesicles per secondary lateral

实验共计测量 1 805 个气囊长度,其中底栖铜藻 1 184 个,漂浮铜藻 621 个。实验结果显示底栖铜藻气囊明显较漂浮铜藻长($P < 0.05$),底栖铜藻气囊长度

为 0.309~1.397 cm,平均长度 0.901 cm,其中有 1 030 个气囊长度集中分布在 0.65~1.15 cm,约占总数的 87%;漂浮铜藻气囊长度为 0.132~1.256 cm,平均长度 0.613 cm,453 个气囊长度集中分布在 0.35~0.75 cm,约占总数的 73%。如图 4。

实验共计测量 1 805 个气囊直径,其中底栖铜藻 1 184 个,漂浮铜藻 621 个。分析结果表明底栖铜藻气囊明显较漂浮铜藻宽($P < 0.05$),底栖铜藻气囊直径为 0.107~0.336 cm,平均宽度 0.187 cm,1 079 个气囊直径集中分布在 0.15~0.23 cm,超过总数的 90%;漂浮铜藻气囊直径为 0.065~0.286 cm,平均长度 0.613 cm,481 个气囊长度集中分布在 0.13~0.21 cm,超过总数的 77%。如图 4。

实验共计测量 1 802 个气囊体积,其中底栖铜藻 1 182 个,漂浮铜藻 620 个。分析结果表明底栖铜藻气囊体积明显大于漂浮铜藻($P < 0.01$),底栖铜藻气囊体积为 3.24~66.91 mm³,平均 25.83 mm³,86.82%气囊体积集中在 15~35 mm³;漂浮铜藻气囊体积为 0.44~64.29 mm³,平均 14.01 mm³;80.19%气囊体积集中在 5~15 mm³。如图 5。

通过测量初生分枝长度,和统计初生分枝及其上次生分枝所着生的气囊数量,得到每根初生分枝对应的气囊个数与长度比值,即气囊密度。ANOVA 方差分析显示,底栖铜藻与漂浮铜藻的气囊密度差异极显著($P < 0.01$),如图 6A。以初生分枝的单位长度(cm)计,底栖铜藻气囊密度为 2.59 个/cm,漂浮铜藻为 3.33 个/cm。通过测量初生分枝长度和初生分枝对应的气囊总体积,得到每根初生分枝气囊总体积与长度的比值。结果表明,单位长度(cm)内,底栖铜藻对应的气囊总体积平均值 0.067 cm³ 大于漂浮铜藻 0.047 cm³,经过 ANOVA 方差分析,差异极显著($P < 0.01$),如图 6B。

本实验通过测量得到气囊的平均体积和藻体平均质量,进一步估算出两种海藻单位体积(mm³)气囊所承受的藻体质量(mg)。分析结果表明,以藻体单位长度计,漂浮铜藻质量为 935.93 mg/cm,底栖铜藻为 1936.76 mg/cm。底栖铜藻单位体积气囊所承受的藻体质量为 28994.81 mg/cm³,平均每立方厘米气囊比漂浮铜藻(20035.25 mg/cm³)多承受约 9g 的藻体质量,如表 1。

2.3 生殖托定量分析及组织与细胞观察

实地调查统计结果(图 7)显示,底栖铜藻雄性个体每根初生分枝生殖托平均数量为 76.05 个,雌雄个体平均为 37.5 个。由于漂浮铜藻生殖托雌雄特征差异不明显,如图 8D、E,因此统计时未分雌雄,平均

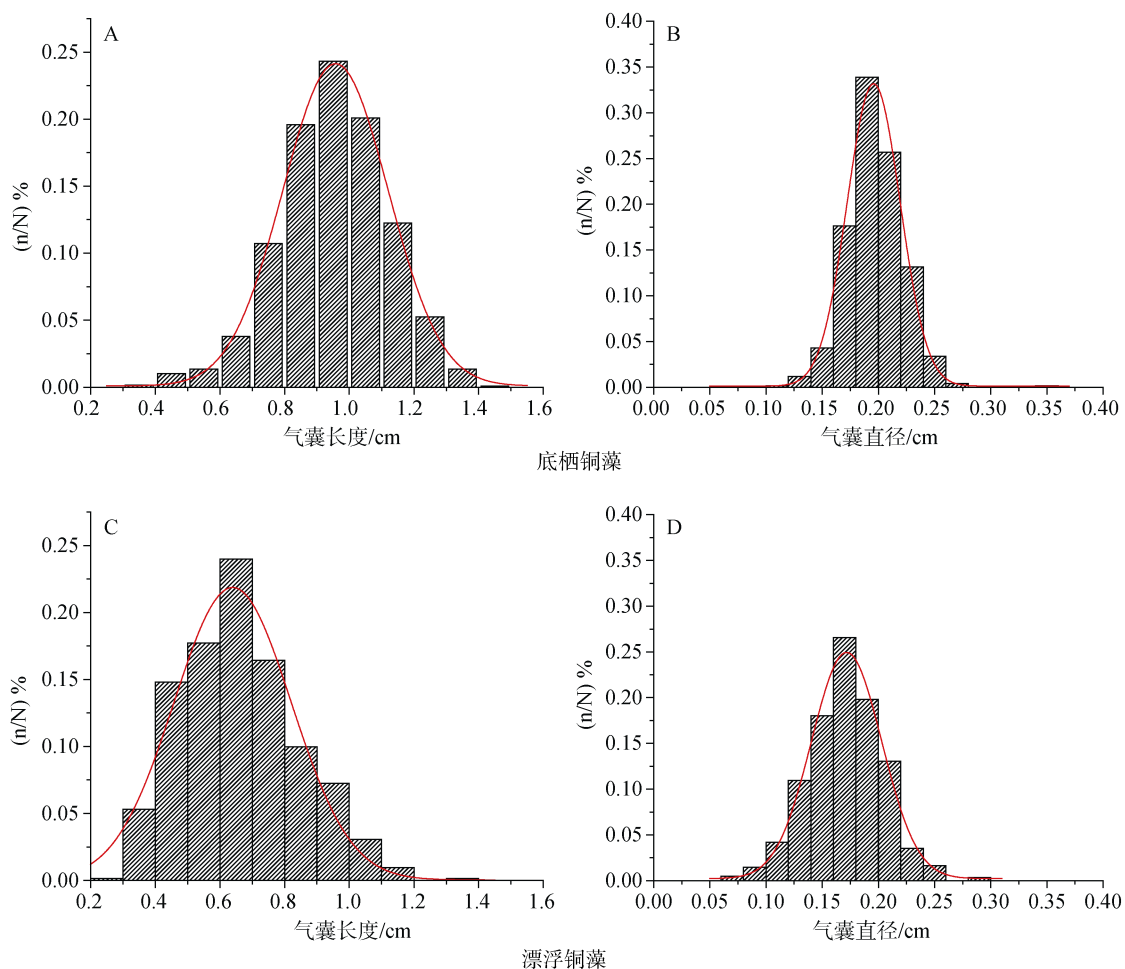


图 4 气囊长度和直径频率分布直方图

Fig. 4 Frequency distribution histogram of vesicle length and diameter

A. 底栖铜藻气囊长度; B. 底栖铜藻气囊直径; C. 漂浮铜藻气囊长度; D. 漂浮铜藻气囊直径

A. Vesicle length of the attached sample; B. vesicle diameter of the attached sample; C. vesicle length of the floating sample; D. vesicle diameter of the floating sample

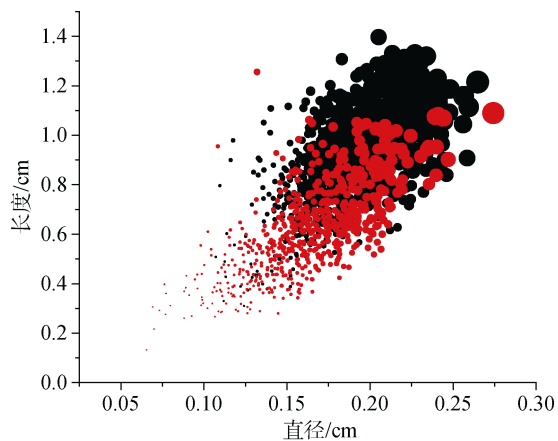


图 5 气囊体积

Fig. 5 Vesicle volume

黑色. 底栖铜藻; 红色. 漂浮铜藻; 其中圆圈大小代表体积
Black: vesicle volume of the attached sample; Red: vesicle volume of the floating sample; size of the circles represents the volume

每根初生分枝生殖托均值为 4.8 个。经过 ANOVA 方差分析, 差异极显著($P < 0.01$)。

生殖托组织切片结果显示, 横切面上两种铜藻生殖托均可分为表皮细胞、皮层和髓质三部分。表皮细胞位于生殖托的最外层, 较密实; 皮层为薄壁细胞, 辐射状分布的生殖窝开口于表皮形成生殖窝孔, 精子(卵子)囊母细胞位于生殖窝内; 中央髓质也是薄壁细胞, 如图 8。与漂浮铜藻相比, 底栖铜藻雌、雄生殖托的生殖窝内腔均较大, 雌托可见卵细胞, 雄托每个生殖窝显微视野(20×)平均含有(244±82)个精囊细胞。漂浮铜藻生殖窝排列紧密, 内腔较小, 统计结果显示每个雄性生殖窝显微视野(20×)平均含有(170±75)个精囊细胞。另外, 本实验采集了大量的样本, 但是仅见漂浮铜藻生殖托具有典型的雄托特征, 未见雌托特征。如图 8E、F。

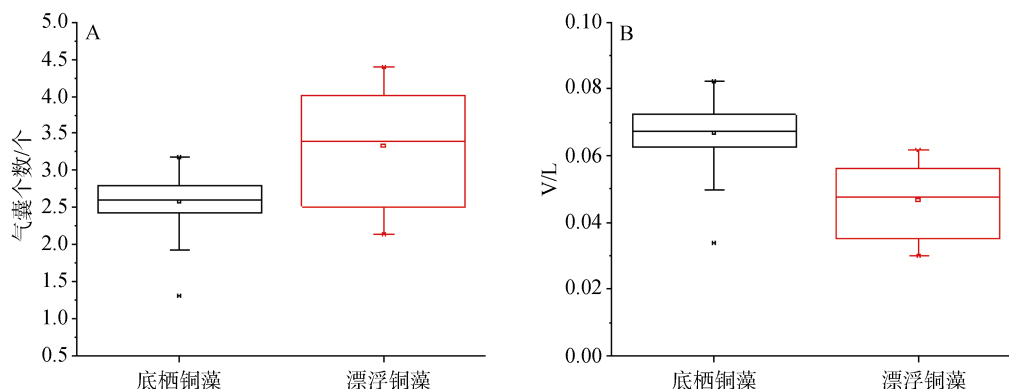


图 6 单位初生分枝长度气囊个数(A)和气囊体积(B)

Fig. 6 Number of vesicles (A) and vesicle volume (B) per centimeter of the primary lateral

表 1 气囊体积、藻体质量和藻体长度

Tab. 1 Vesicle volume as well as the weight and length of algae

样品	藻体质量/长度(mg/cm)	气囊体积/藻体长度(cm ³ /cm)	藻体质量/气囊体积(mg/cm ³)
漂浮铜藻	935.93	0.047	20035.25
底栖铜藻	1936.76	0.067	28994.81

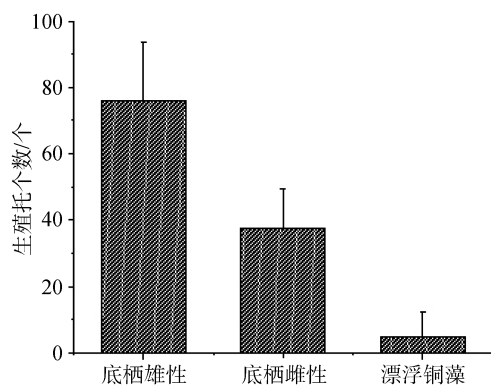


图 7 生殖托数量统计

Fig. 7 Receptacle and quantity statistics

3 讨论

本实验目的在于比较典型的底栖铜藻和典型漂浮铜藻的形态特点, 实地调查显示山东半岛荣成海域的海带养殖筏架区已经形成了常年存在的漂浮铜藻群体, 而长岛海域虽然也能见到海面上漂浮的铜藻残枝, 但是不能确定其形成漂浮的时间。而且, 从距离上来讲, 荣成漂浮群体是已知距离长岛底栖群体最近的漂浮群体。因此, 为了获得更加准确的实验结果, 将荣成漂浮铜藻作为典型的漂浮铜藻样本, 将长岛底栖铜藻作为典型的底栖铜藻样本。实验所用两种海藻经过 18S 分析结果显示都为马尾藻属铜藻(图 2)。本文对于漂浮铜藻气囊及生殖托等特征进行定量统计, 并与底栖铜藻进行比较分析。根据曾呈

奎^[17]描述, 辽宁地区铜藻成熟期在 6~7 月, 浙江铜藻成熟期在 4~6 月, 据此分析山东铜藻的成熟期在 4~5 月。本实验于 4 月份在山东黄海海域采集的漂浮和底栖铜藻均已形成生殖托, 且进入成熟期, 与资料分析相符, 藻体适宜进行气囊与生殖托的统计与比较分析。

3.1 气囊

气囊长度及直径等参数是马尾藻属最重要的形态特征之一^[18, 19]。本研究详细统计了两类铜藻的气囊的相关参数, 分析表明漂浮铜藻和底栖铜藻气囊的数量、长度、直径、体积、初生分枝长度/气囊体积都存在显著差异(图 3~图 6)。说明铜藻在脱离底栖环境进行漂浮生活后, 气囊的数量及形态特征会逐渐发生了变化。Cheang^[18]利用气囊长度、宽度、叶片大小等表型性状成功区分了 *S. hemiphyllum* 两个变种, 一级分枝上的气囊是区分不同种群的重要形态特征。本研究结果表明, 铜藻单位长度藻体气囊的数量和形态特征可以作为区别漂浮铜藻和定生铜藻的重要特征。

本文研究结果显示底栖铜藻单位长度(cm)含有气囊 2.59 个, 漂浮铜藻为 3.33 个, 漂浮铜藻气囊平均体积为 14.01 mm³, 底栖铜藻气囊体积接近漂浮铜藻的一倍(图 5)。由此表明, 虽然漂浮铜藻单位长度藻体具有更多的气囊个数, 但是由于气囊体积小于底栖铜藻, 导致单位长度(cm)底栖铜藻对应的气囊总体积是漂浮铜藻的 1.4 倍。而藻体质量结果显示,

单位长度(cm)底栖铜藻的质量大约是漂浮铜藻的 2 倍(表 1)。底栖铜藻单位体积气囊承受的藻体质量大

于漂浮铜藻, 据此分析说明漂浮铜藻的漂浮能力大于底栖铜藻。

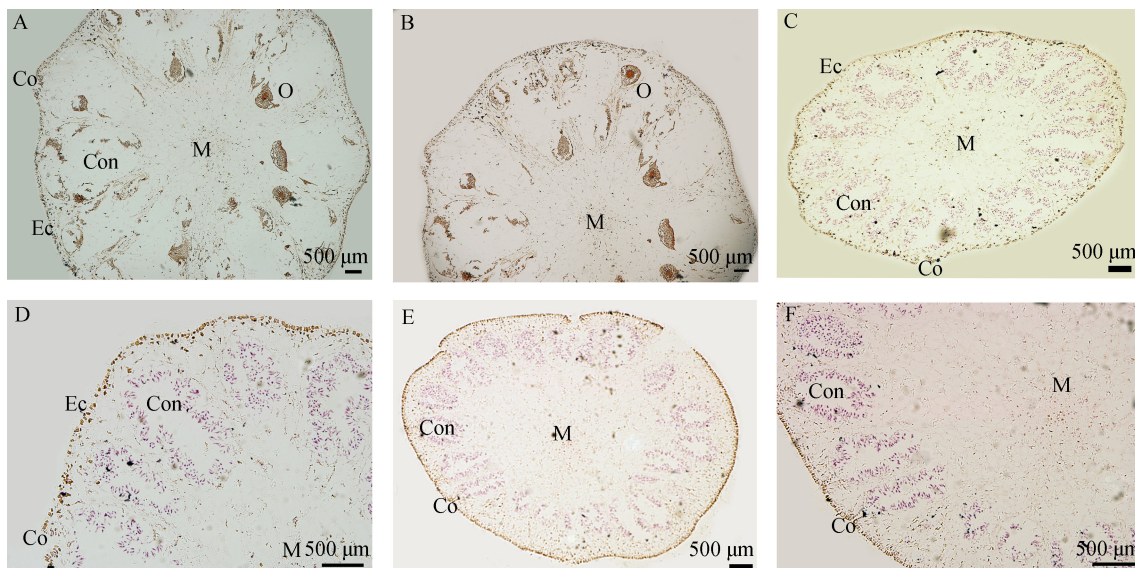


图 8 生殖托组织切片

Fig. 8 Tissue section of receptacle

A. 底栖铜藻雌托; C 和 D. 底栖铜藻雄托; E 和 F. 漂浮铜藻雄托; Con. 生殖窝; O. 卵细胞; Co. 生殖窝孔; Ec. 表皮细胞; M 髓质
A and B: female receptacle of the attached sample; C and D: male receptacle of the attached sample; E and F: male receptacle of the floating sample; Con: conceptacle; O: oocyte; Co: conceptacle ostiole; Ec: epidermal cell; M: medulla. Scale

底栖铜藻固着在海底基质上, 为有效地进行光合作用以满足机体的生长繁殖需要, 必须尽量多地接收透射到水中的太阳光。因此, 底栖铜藻的气囊所产生的浮力必须保证藻体在水中向上伸展, 接收充足光照。但是漂浮铜藻一直生活在海洋表层, 野外观察发现漂浮铜藻在海洋表面呈团状或带状漂浮生长, 藻体能够在海面水平方向上充分铺展, 增加了接受太阳光的表面积, 高效的光合作用下漂浮藻体能够进行快速生长, 而气囊产生的浮力必须能够充分支撑藻体质量的快速增加, 始终维持在海洋表面的漂浮生活状态。综上所述, 根据气囊的数据分析证明漂浮铜藻具有更强的漂浮能力。

3.2 生殖托

部分海藻在转入漂浮生活史之后仍然可以生活一段时间, 甚至有些可以保持繁殖能力^[21], 但是关于漂浮铜藻的生殖托及其有性生殖能力的研究尚未见报道。生殖托是马尾藻属海藻的生殖器官^[21]。本文对两种铜藻的生殖托数量进行定量分析, 发现漂浮铜藻生殖托数量不及底栖铜藻 1/10(图 7), 雄托生殖窝较底栖铜藻小, 且雄托生殖窝内的精细胞数量较底栖铜藻少。另外, 本实验采集了大量的样本, 但

是仅见漂浮铜藻生殖托具有典型的雄托特征, 未见雌托特征, 推测漂浮铜藻的雌托数量极少, 甚至并不存在雌托(图 8)。Macaya^[22]在研究漂浮 *Macrocystis* spp. 时观察到底栖种群具有更多孢子体, 可能由于漂浮种群对于繁殖起到了负面影响。根据本文观察结果推测铜藻在脱离固着器营漂浮生活之后, 其(有性)生殖能力下降。

3.3 造成表型差异的原因

脱离底栖生活的漂浮海藻, 为了适应海洋表面光照和温度等环境条件, 常具有调整生理特性的能力, 即表现出生理的可塑性^[18, 23]。甚至藻体形态特征会发生相应变化, 大量报道证明海藻的藻体长度^[24]、分枝^[25]、气囊^[18]、生殖托^[26]等藻体结构特征与环境中的生物及非生物因素紧密相关。然而, 是哪一种环境因子造成了这种可塑性? 目前为止还不清楚。

4 总结

由于漂浮铜藻涉及海洋渔业、生态环境等诸多重要环节, 逐渐引起了国内科学家和涉海机构的重视。本文通过实地科学考察, 首次对于漂浮铜藻气囊、生殖托等进行定量统计和比较分析, 认为底栖铜

藻转入漂浮生活史后,为适应漂浮生境,其表型结构相应发生了改变,表现出一种可塑性。基于浒苔漂浮生态型的相关研究分析,漂浮铜藻可能也是一种新的漂浮生态型(floating ecotype),而气囊、生殖托的形态结构差异可作为其划分的重要依据。

参考文献:

- [1] 曾呈奎, 陆保仁. 中国海藻志[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 43-44.
Tseng Chengkui, Lu Baoren. Flora algarum marinarum sinicarum[M]. Beijing: Science Press, 2000: 43-44.
- [2] 曾呈奎等编. 中国经济海藻志[M]. 北京: 科学出版社, 1962: 79.
Tseng Chengkui, et al. Flora algarum marinarum economic sinicarum[M]. Beijing: Science Press, 1962: 79.
- [3] Rothäusler E, Gutow L, Thiel M. Floating seaweeds and their communities[M]. Seaweed Biology, 2012: 359-380.
- [4] Gower J, King S. Satellite images show the movement of floating *Sargassum* in the Gulf of Mexico and Atlantic Ocean[J]. Lancet Oncology, 2008, 14(3): 189-191.
- [5] Smetacek V, Zingone A. Green and golden seaweed tides on the rise[J]. Nature, 2013, 504(7478): 84.
- [6] Parr A E. Quantitative observations on the pelagic *Sargassum* vegetation of the western North Atlantic[J]. Bull Bingham Oceanogr Coll, 1939, 6: 1-94.
- [7] 易俊陶, 黄金田, 宋建联. 对盐城市沿海 2008 年浒苔发生情况的初步认识[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(s1): 57-58.
Yi Juntao, Huang Jintian, Song Jianlian. Initial understand of *Enteromorpha prolifera* occurred in Yancheng Coastal Waters in 2008[J]. Marine Environmental Science, 2009, 28(s1): 57-58.
- [8] 蔡永超, 孙彬, 马家海, 等. 我国南黄海海域漂浮铜藻的分子生物学鉴定[J]. 海洋渔业, 2014, 36(2): 102-106.
Cai Yongchao, Sun Bin, Ma Jiahai, et al. Molecular identification of floating *Sargassum horneri* in the southern Yellow Sea[J]. Marine Fisheries, 2014, 36(2): 102-106.
- [9] 陈军, 王寅初, 余秋璐, 等. 绿潮暴发期间我国青岛漂浮铜藻的分子鉴定[J]. 生物学杂志, 2016, 33(1): 39-42.
Chen Jun, Wang Yinchu, Yu Qirong, et al. Molecular phylogenetic analysis of floating *Sargassum horneri* associated with green tides in coastal area of Qingdao[J]. Journal of Biology, 2016, 33(1): 39-42.
- [10] Xing Q, Guo R, Wu L, et al. High-Resolution satellite observations of a new hazard of golden tides caused by floating *Sargassum* in winter in the Yellow Sea[J]. IEEE Geoscience & Remote Sensing Letters, 2017, PP(99): 1-5.
- [11] 钱树本, 刘东艳, 孙军. 海藻学[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2005: 459.
Qian Shuben, Liu Dongyan, Sun Jun. Phycology[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2005: 459.
- [12] Mizuno S, Ajisaka T, Lahbib S, et al. Spatial distributions of floating seaweeds in the East China Sea from late winter to early spring[J]. Journal of Applied Phycology, 2014, 26(2): 1159.
- [13] 曾呈奎. 中国黄渤海海藻[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 368.
Tseng C K. Seaweeds in Yellow Sea and Bohai Sea of China[M]. Beijing: Science Press, 2008: 368.
- [14] Nakayama T, Watanabe S, Mitsui K, et al. The phylogenetic relationship between the Chlamydomonadales and Chlorococcales inferred from 18S rDNA sequence data[J]. Phycol Res, 1996, 44(1): 47-55.
- [15] Tamura K, Peterson D, Peterson N, et al. T MEGA5: Molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods[J]. Mol Biol Evol, 2014, 28(10): 2731-2739.
- [16] 刘涛. 大型海藻实验技术[M]. 北京: 海洋出版社, 2016: 60.
Liu Tao. The experiment technology of seaweed[M]. Beijing: Ocean Press, 2016: 60.
- [17] 曾呈奎, 张峻甫. 关于几种褐藻在中国沿岸的不连续分布[J]. 海洋与湖沼, 1959, 2(2): 86-82.
Tseng Chengkui, Zhang Junfu. On the discontinuous distribution of some brown algae on the china coast[J]. Oceanologia and Limnologia Sinica, 1959, 2(2): 86-82.
- [18] Cheang C C, Chu K H, Ang J. Morphological and genetic variation in the populations of *Sargassum hemiphyllum* (Phaeophyceae) in the northwestern pacific[J]. Journal of Phycology, 2008, 44(4): 855.
- [19] Noormohammadi Z, Barki S G, Sheidai M, et al. Morphological diversity of *Sargassum* species of Iran[J]. Gene Conserve, 2011, 1-22.
- [20] Gaylord B, Reed D C, Washburn L, et al. Physical-biological coupling in spore dispersal of kelp forest macroalgae[J]. Journal of Marine Systems, 2004, 49(1-4): 19-39.
- [21] 赵素芬. 海藻与海藻栽培学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 224.
Zhao Sufen. Marine algae and algae culture science[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2012: 224.
- [22] Macaya E C, Boltaña S, Hinojosa I A, et al. Presence of sporophylls in floating kelp rafts of *Macrocystis* spp. (Phaeophyceae) along the Chilean Pacific coast[J]. J Phycol. Journal of Phycology, 2010, 41(5): 913-922.
- [23] Koch K, Thiel M, Hagen W, et al. Short-and long-term

- acclimation patterns of the giant kelp *Macrocystis pyrifera* (Laminariales, Phaeophyceae) along a depth gradient[J]. *Journal of Phycology*, 2016, 52(2): 260-273.
- [24] Wong C L, Gan S Y, Phang S M. Morphological and molecular characterisation and differentiation of *Sargassum baccularia*, and *S. polycystum*, (Phaeophyta)[J]. *Journal of Applied Phycology*, 2004, 16(6): 439-445.
- [25] Kilar J A, Hanisak M D. Seasonal patterns of morphological variability in *Sargassum polyceratum* (Phaeophyta)[J]. *Journal of Phycology*, 2010, 24(4): 467-473.
- [26] Kraberg A C, Norton T A. Effect of epiphytism on reproductive and vegetative lateral formation in the brown, intertidal seaweed *Ascophyllum nodosum* (Phaeophyceae)[J]. *Phycological Research*, 2010, 55(1): 17-24.

Morphological comparison and analysis of the vesicle and receptacle of floating and attached *Sargassum horneri* in Shandong peninsula

PANG Yun-long^{1, 5}, LIU Zheng-yi¹, DING Lan-ping², FU Wan-tao³, YU Shu-xian¹, SUN Zuo-deng⁴, QIN Song¹

(1. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 2. School of Life Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China; 3. School of Ocean Technology and Environment, Dalian Ocean University, Dalian 116000, China; 4. Shandong Hydrobios Resources Conservation and management Center, Yantai 264003, China; 5. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Received: Dec. 02, 2017

Key words: *Sargassum horneri*; floating seaweed; vesicle; reproduction

Abstract: *Sargassum horneri* is an important part of the seaweed bed and is mainly distributed in areas west of the north Pacific. It is a type of temperate algae and of great significance to the marine environment and fishery resources. It can support benthic life in addition to floating life. The vesicle and receptacle are important parts of *S. horneri*, but the relationship with the floating lifestyle is still not clear. Herein, a quantitative analysis of the floating and attached algal vesicle and receptacle structures has been conducted through field investigation. Simultaneously, the microstructural characteristics of the receptacles derived from the two kinds of algae were compared. The results revealed that the vesicle volume of the floating samples is less than that of fixed algae ($P < 0.01$). The number of receptacles for floating samples was significantly less than that for algae with holdfast ($P < 0.01$). It is likely that the structure and reproductive ability of *S. horneri* changed as a result of living on the ocean surface after detaching from the bottom.

(本文编辑: 梁德海)