

余秋瑢, 杨革, 刘正一. 黄渤海典型海岛的石莼属绿藻形态学观察及分子系统发育分析[J]. 生态科学, 2017, 36(1): 102-110.  
YU Qiurong, YANG Ge, LIU Zhengyi. Morphological observation and molecular biology identification of *Ulva* sp. in Huanghai and Bohai Sea islands[J]. Ecological Science, 2017, 36(1): 102-110.

# 黄渤海典型海岛的石莼属绿藻形态学观察及分子系统发育分析

余秋瑢<sup>1,\*</sup>, 杨革<sup>1</sup>, 刘正一<sup>2</sup>

1. 曲阜师范大学, 山东 曲阜 273165
2. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003

**【摘要】**对黄渤海典型海岛的石莼属绿藻进行了调查和采集, 共采集到 110 株石莼属样品。对所采集样品进行形态学观察, 就 *ITS*、*rbcL*、*tufA*、*LSU* 序列进行分子系统发育分析。结果表明, 受海流条件影响较为相近的南隍城岛与獐子岛上石莼属绿藻种类组成较为相似, 都分布着孔石莼(*Ulva pertusa*)、缘管浒苔(*Ulva linza*)、浒苔(*Ulva priliifera*)、扁浒苔(*Ulva compressa*)、肠浒苔(*Ulva intestinalis*)、石莼(*Ulva lactuca*)六种石莼属绿藻; 而受海流条件影响差异较大的刘公岛上主要分布着孔石莼(*Ulva pertusa*)、缘管浒苔(*Ulva linza*)、浒苔(*Ulva priliifera*)、肠浒苔(*Ulva intestinalis*)、裂叶石莼(*Ulva fasciata*)五种石莼属绿藻。综合分析实地采样时观察到的石莼属形态及生境的差别, 探讨受海流条件影响不同的 3 个海岛上石莼属的差异, 为石莼属绿藻生物地理学研究提供基础资料。

**关键词:** 黄渤海; 海岛; 石莼属; 种类鉴定

doi:10.14108/j.cnki.1008-8873.2017.01.014 中图分类号: Q948.2 文献标识码: A 文章编号: 1008-8873(2017)01-102-09

## Morphological observation and molecular biology identification of *Ulva* sp. in Huanghai and Bohai Sea islands

YU Qiurong<sup>1,\*</sup>, YANG Ge<sup>1</sup>, LIU Zhengyi<sup>2</sup>

1. Qufu Normal University, Qufu 273165, China
2. Yantai Institute of Coastal Zone Research Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China

**Abstract:** Nanhuangcheng Island, Zhangzi Island and Liugong Island were chosen as the most representative sampling sites within Huanghai and Bohai Sea, and totally 110 green algae *Ulva* sp. from those three islands were collected. Morphological and molecular analysis was used to make accurate identification of the *Ulva* sp. in the three islands. Results showed that the species composition of Nanhuangcheng Island and Zhangzi Island was relatively similar, which were mainly *Ulva pertusa*, *Ulva linza*, *Ulva priliifera*, *Ulva compressa*, *Ulva intestinalis* and *Ulva lactuca*. That of Liugong Island was mainly *Ulva pertusa*, *Ulva linza*, *Ulva priliifera*, *Ulva intestinalis*, and *Ulva fasciata*. This study provides a basis research for the biogeography of green algae.

**Key words:** Huanghai and Bohai Sea; island; *Ulva*; species identification

### 1 前言

石莼属绿藻属于石莼科(Ulvaceae), 是海洋藻类

中的重要代表。为世界性的广温种类, 其分布范围从炎热的赤道附近延伸到严寒的极地。中国南、北方各海区均有分布。它们对盐度、温度和水质变化

收稿日期: 2015-04-30; 修订日期: 2016-04-22

作者简介: 余秋瑢(1989—), 女, 汉族, 广西柳州人, 硕士研究生, 主要从事海藻生物地理学的研究, E-mail: yuqr0904@163.com

\*通信作者: 余秋瑢, 女, 硕士, 主要从事海藻生物地理学研究, E-mail: yuqr0904@163.com

有很高的耐受力,可以在海水、半咸水甚至淡水中广泛存在,从盐度很低的河口直到盐度很高的盐田都能生长,环境营养条件合适时可快速繁殖。

黄渤海区主要由高温、高盐的外海(暖流)流系和低温、低盐的沿岸流系组成。其中,外海流系起主导。具体的海流情况为:黑潮的一个分支——黄海暖流余脉在北黄海北部西折,通过渤海海峡北部进入渤海,当到达渤海西岸时,受海岸阻力影响而分为南北两支。其中北支沿渤海西岸折南进入渤海湾,在渤海南部与沿岸流构成左旋环流,最后在渤海海峡南部流出渤海。但在辽东湾夏季某些年份的个别月份,会出现逆时针环流的现象(管秉贤, 1994, 2002)<sup>[1-2]</sup>。黄海暖流途径獐子岛、南隍城岛,两岛所受海流条件影响基本相同。刘公岛地处黄海,海流条件不同于南隍城岛、獐子岛,受高温、高盐的外海(黄海暖流)流系影响较弱,受低盐的山东近岸流系影响较强,其上海藻呈多样性分布,且极具地域性特点。本文根据海流情况,选择黄渤海内具代表意义的南隍城岛、獐子岛、刘公岛作为采样地点,对其上石莼属绿藻进行全面采集。结合形态学观察和分子生物学方法,对三个岛上石莼属绿藻种类组成进行精确鉴定,探讨受海流条件影响不同的三个海岛上石莼属海藻种类组成的差异,为石莼属绿藻生物地理学研究提供基础资料。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料

#### 2.1.1 样品的采集与处理

实验所用石莼属绿藻样品于 2014 年 6 月—8 月采集自南隍城岛、獐子岛、刘公岛沿岸。各采样地所包含的采样位点的名称及经纬度见表 1。选择形

态有一定差异且形态完整的藻体,用高压灭菌的海水冲洗数次并用笔刷刷去藻体表面杂质,制作腊叶标本、浸液标本用于样品的保存及后续的形态学观察和分类鉴定。保留分子样品于 1.5 mL EP 管用于后续分子分析。

#### 2.1.2 试剂

Plant Genomic DNA Kit(50)、E.Z.N.A Gel Extraction Kit(50)、 $\beta$ -巯基乙醇、无水乙醇、异戊醇、异丙醇、琼脂糖、DNA Marker D2000、DNA Marker D5000、6×Loading Buffer、10×buffer、dNTPs、Taq DNA 聚合酶、溴化乙锭 EB、10×TBE Buffer 等。

## 2.2 方法

### 2.2.1 形态学特征观察

对采集到的石莼属绿藻进行形态学鉴定观察,分类依据参考《中国海藻志——第四卷绿藻门》中的分种检索表<sup>[3]</sup>。利用 OLYMPUS BX-51(日本)型显微镜对新鲜藻体进行观察,并用 Leica DF320 型显微镜数码成像系统进行成像。

### 2.2.2 基因组 DNA 的提取

取新鲜或冷冻的藻体,在液氮冷冻条件下将样品研磨成粉末状,利用天根 Plant Genomic DNA Kit (TIANGEN, China)试剂盒,进行基因组 DNA 的提取。

### 2.2.3 ITS、*rbcL*、*tufA*、LSU 间隔序列的扩增、回收及测序

用于 ITS、*rbcL*、*tufA*、LUS 间隔序列扩增的引物、PCR 反应体系及反应条件参照 Gary W.S. (2010)<sup>[4]</sup>方法进行。扩增成功 PCR 产物通过 1%琼脂糖凝胶电泳分离,将目的片段切下后,使用 Agarose Gel DNA Purification Kit Ver. 3.0 试剂盒(OMEGA)进行片段回收,送往上海立菲生物技术有限公司(北京)进行正反向测序。

表 1 黄渤海各采样位点

Tab. 1 Sample collecting sites in Huanghai and Bohai Sea

采样地	位点名称	经度	纬度	采集时间
獐子岛	明珠宾馆	122°44'	39°02'	2014 年 6 月 15 日
	码头附近	122°43'	39°02'	2014 年 6 月 16 日
南隍城岛	后口	120°54'	38°22'	2014 年 7 月 14 日
	佛爷礁	120°54'	38°20'	2014 年 7 月 15 日
刘公岛	黄岛炮台	122°09'	37°30'	2014 年 8 月 9 日
	东泓炮台	122°12'	37°29'	2014 年 8 月 10 日

### 2.2.4 数据处理

用 Clustalx2.0 软件对序列进行排列, 结合 BioEdit7.0.5 进行人工编辑裁剪。排列后对序列中每个变异位点结合图谱再次进行认真核对, 将可能人为引入的错误尽可能降至零。编辑后的序列在 NCBI 网站上(<http://www.ncbi.nih.gov>)进行 BLAST 比对, 确保扩增出的片段是我们所需的。测序结果用 MEGA6.06 计算相对遗传距离和碱基组成; 采用邻接法(neighbor-joining method)构建系统树, 以自举检验(bootstrap test)估计系统树分支节点的置信度, 自举数据为 1000。

## 3 结果

### 3.1 形态学特征

形态学分类的结果显示, 采集样品经文献和图鉴相关资料的查阅, 分选出了 7 种在形态各个方面有所差异的物种, 包括孔石莼(*Ulva pertusa*)、缘管浒苔(*Ulva linza*)、浒苔(*Ulva pruilifera*)、扁浒苔(*Ulva compressa*)、肠浒苔(*Ulva intestinalis*)、石莼(*Ulva lactuca*)、裂叶石莼(*Ulva fasciata*)。

形态学分析, 有 36 株样品鉴定为孔石莼(*U. pertusa*), 如图 1。在南隍城岛、刘公岛、獐子岛均

有分布, 且均为优势藻种, 在高、中、低潮带均很常见, 其中中、高潮带个体较小, 低潮带个体较大。有固着和漂浮两种形态, 形态受环境变化影响较大。藻体鲜绿或碧绿色, 膜质叶状, 单个或 2 株或 3 株丛生。固着器盘状, 其附近有同心圆圈皱纹。具有两层细胞的片状结构, 藻体由于细胞分裂产生大量大小不一的孔洞。经显微观察其细胞呈长方形且细胞边缘不规则。排列较为紧密但不整齐, 细胞壁较厚质地较硬, 细胞大小为 10—20  $\mu\text{m}$ , 含有 1—3 个蛋白核。藻体由下向上逐渐变薄, 近固着器部分体厚 300—650  $\mu\text{m}$ , 下部厚 125—225  $\mu\text{m}$ , 中部厚 85—105  $\mu\text{m}$ , 上部厚 80—100  $\mu\text{m}$ 。

采集的样品中有 15 株样品鉴定为石莼(*Ulva lactuca*), 如图 2。主要生长于南隍城岛、獐子岛, 刘公岛在调查采集中未见其分布。常见于内湾的中、低潮带的岩礁上。藻体绿色, 膜质片状, 固着器小盘状, 由下部营养细胞长出的假根状丝体组成。外观与孔石莼(*Ulva pertusa*)相似, 但是藻体颜色较浅, 质地较软。叶状体呈卵形或不规则卵形, 边缘稍有波皱, 中部有孔零星分布也有的藻体无孔。细胞为正方或者长方形, 排列紧密, 大小为 9—20  $\mu\text{m}$ , 含有 1—2 个蛋白核。

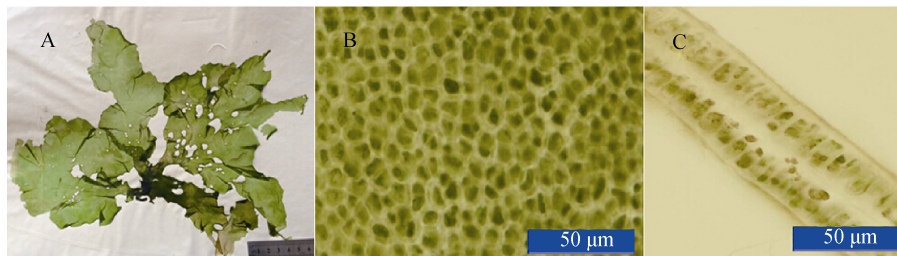


图 1 孔石莼(*U. pertusa*)的形态特征(A: 宏观藻体形态; B: 藻体表面观; C: 藻体横切面观)

Fig. 1 Morphological characteristics of *U. pertusa* (A: Macroscopic thallus view; B: Surface view of the thallus; C: Transverse section of the thallus)

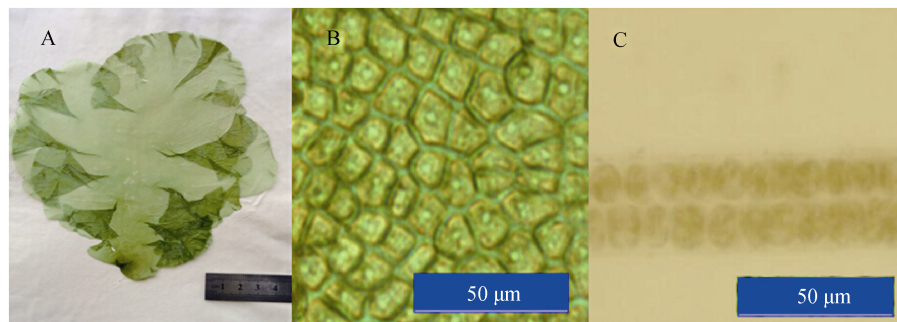


图 2 石莼(*U. lactuca*)的形态特征(A: 宏观藻体形态; B: 藻体表面观; C: 藻体横切面观)

Fig. 2 Morphological characteristics of *U. lactuca* (A: Macroscopic thallus view; B: Surface view of the thallus; C: Transverse section of the thallus)

采集到的样品中有 33 株样品鉴定为缘管浒苔 (*U. linza*), 如图 3。南隍城岛、刘公岛、獐子岛均见其分布, 且均为优势种。生长在潮间带的岩石或沙石上, 中高潮带较为常见, 低潮带较少, 有时附生在其他大型藻体上。藻体黄绿色至深绿色, 不分枝, 线性或倒卵形, 常呈螺旋状扭曲。叶片基部向下逐渐狭细, 变为圆柱形中空的柄。切片观察藻体由两层细胞组成, 叶缘的两层细胞分离成中空。细胞大小 10—20  $\mu\text{m}$ , 1 个蛋白核, 细胞排列紧密为长方形或椭圆形。

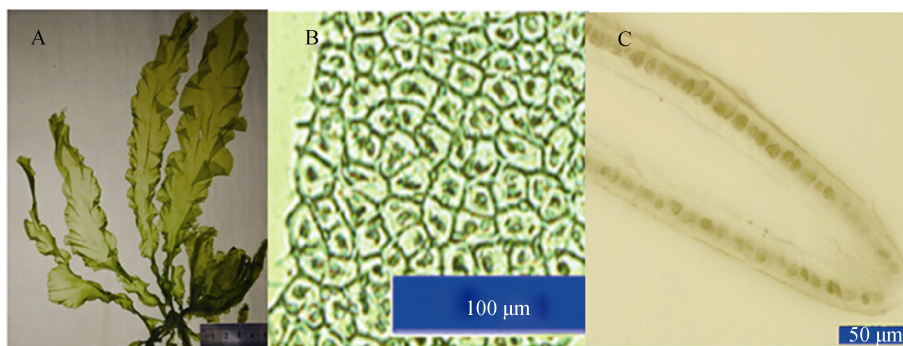


图 3 缘管浒苔 (*U. linza*) 的形态特征 (A: 宏观藻体形态; B: 藻体表面观; C: 藻体横切面观)

Fig. 3 Morphological characteristics of *U. linza* (A: Macroscopic thallus view; B: Surface view of the thallus; C: Transverse section of the thallus)

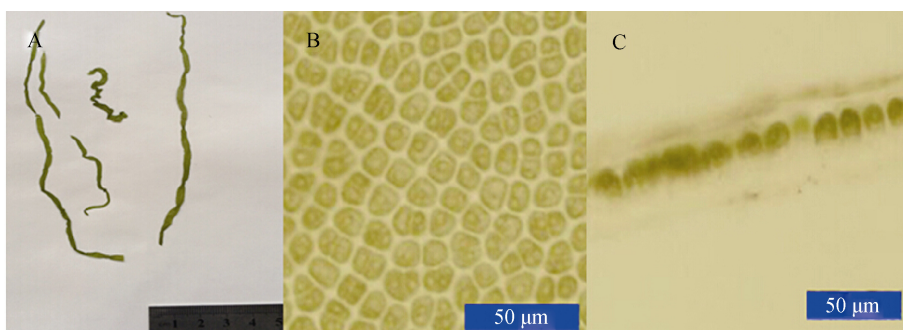


图 4 肠浒苔 (*U. intestinalis*) 的形态特征 (A: 宏观藻体形态; B: 藻体表面观; C: 藻体横切面观)

Fig. 4 Morphological characteristics of *U. intestinalis* (A: Macroscopic thallus view; B: Surface view of the thallus; C: Transverse section of the thallus)

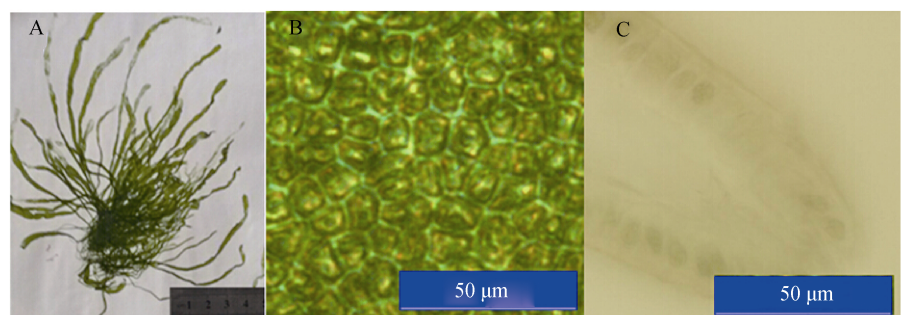


图 5 扁浒苔 (*U. compressa*) 的形态特征 (A: 宏观藻体形态; B: 藻体表面观; C: 藻体横切面观)

Fig. 5 Morphological characteristics of *U. compressa* (A: Macroscopic thallus view; B: Surface view of the thallus; C: Transverse section of the thallus)

分布较少,刘公岛未发现扁浒苔样品。藻体亮绿色,质地粗糙较硬,有许多分枝,不规则,基部较密,上部较疏,下部的分枝较细,上部的分枝较粗大,往往与主干相似。切片观察细胞为圆形或不规则,大小10—28  $\mu\text{m}$ ,有1个蛋白核,藻体体壁大多由一层细胞组成,排列较为紧密,叶绿体在中部。

采集到的样品中有7株样品鉴定为浒苔(*U. priliifera*),如图6。在南隍城岛、刘公岛、獐子岛均有发现,大多漂浮生长,少量固着。藻体暗绿色或亮绿色,管状扁压,分枝较多,主枝明显,分枝细长,直径小于主枝,柄部渐细,分枝基部常收缩。切片观察细胞为方形或长方形,大小10—15  $\mu\text{m}$ ,有1个淀粉核。除了分枝的基部外,细胞排列不规则。

采集到的样品中有1株样品为裂叶石莼(*U. fasciata*),如图7。仅在刘公岛发现。采集到的裂叶石莼固着于低潮带岩石上。藻体绿色,丛生,基部盘状,有1—2次叉状分枝裂片,裂片呈带状,宽1—2 cm。切片观察细胞为多角形、长圆形,大小10—18  $\mu\text{m}$ 。

## 3.2 分子系统发育分析

### 3.2.1 ITS 序列系统进化发育分析

经优化 PCR 反应条件,测序、校正后,获得16个不同序列,以AY016306(*Umbraulva olivascens*)为外群,将刘公岛、獐子岛、南隍城岛所有序列构

建的NJ进化树如图8。分枝处的数值为支持强度值,1000次重复,分枝长度表示序列变化强度。进化树显示各物种间的系发育关系。ITS序列分析结果显示,16个样品聚为6个类群,即*Ulva linza-procera-prolifera* (LPP) 复合体类群(6个样品)、*U. fasciata* 类群(1个样品)、*U. compressa* 类群(2个样品)、*U. pertusa* 类群(3个样品)、*U. lactuca* 类群(2个样品)、*U. intestinalis* 类群(2个样品)。

### 3.2.2 rbcL 序列系统进化发育分析

经PCR反应,测序、校正后,获得18个不同序列。以HQ603479.1(*Blidingia marginata*)为外群,将刘公岛、獐子岛、南隍城岛所有序列构建的NJ进化树如下图9。分枝处的数值为支持强度值,1000次重复,分枝长度表示序列变化强度。进化树显示各物种间的系发育关系。*rbcL*序列分析结果显示,18个样品聚为6个类群,即*U. linza-procera-prolifera* (LPP) 复合体类群(6个样品)、*U. fasciata* 类群(1个样品)、*U. compressa* 类群(3个样品)、*U. pertusa* 类群(3个样品)、*U. lactuca* 类群(3个样品)、*U. intestinalis* 类群(2个样品)。

### 3.2.3 tufA 序列系统进化发育分析

经PCR反应,测序、校正后,获得18个不同序列,为进一步证明*tufA*能否区分*U. linza*和*U.*

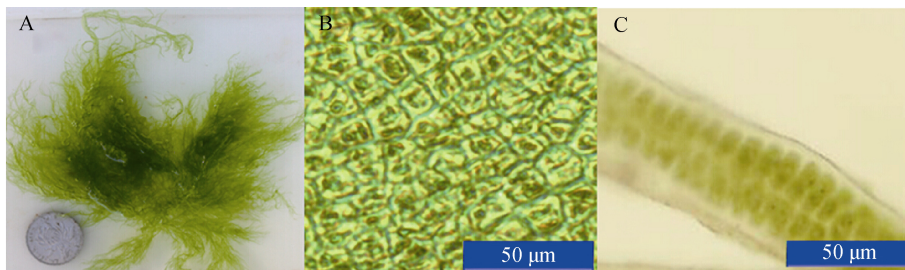


图6 浒苔(*U. priliifera*)的形态特征(A: 宏观藻体形态; B: 藻体表面观; C: 藻体横切面观)

Fig. 6 Morphological characteristics of *U. priliifera* (A: Macroscopic thallus view; B: Surface view of the thallus; C: Transverse section of the thallus)

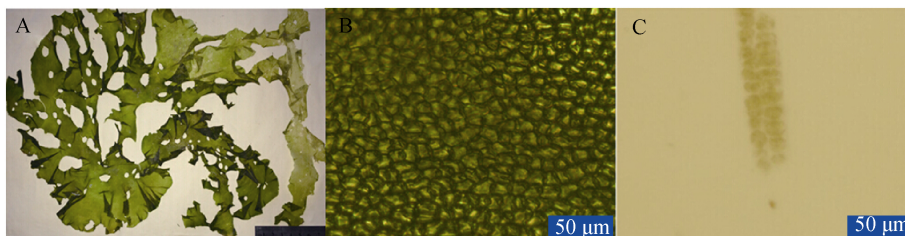


图7 裂叶石莼(*U. fasciata*)的形态特征(A: 宏观藻体形态; B: 藻体表面观; C: 藻体横切面观)

Fig. 7 Morphological characteristics of *U. fasciata* (A: Macroscopic thallus view; B: Surface view of the thallus; C: Transverse section of the thallus)

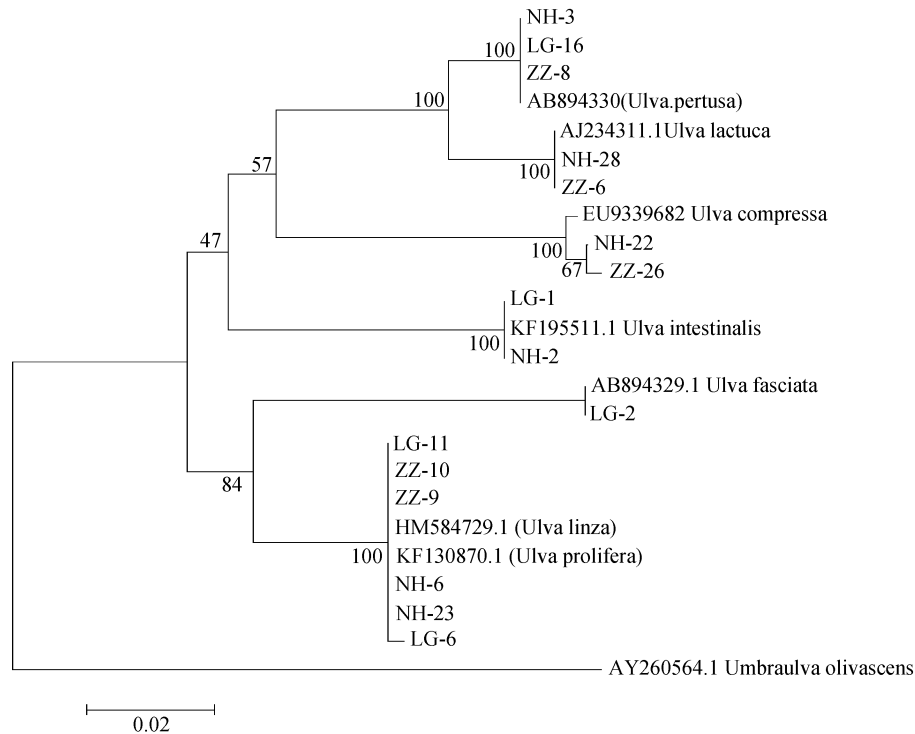


图 8 基于 ITS 序列的石莼科 NJ 系统进化树(NH-为南隍城岛采集到的样品, ZZ-为獐子岛采集到的样品, LG-为刘公岛采集到的样品)

Fig. 8 ITS sequence alignment of the three islands samples

*prolifera*, 从 GenBank 中下载 9 个 *U. prolifera* 序列和 5 个 *U. linza* 序列, 以 HQ610238.1(*B. marginata*) 为外群, 将刘公岛、獐子岛、南隍城岛所有序列构建的 NJ 进化树如图 10。分枝处的数值为支持强度值, 1000 次重复, 分枝长度表示序列变化强度。进化树显示各物种间的系发育关系。*tufA* 序列分析结果显示, 18 个样品聚为 7 个类群, 即 *U. linza* 类群(3 个样品)、*U. prolifera* 类群(3 个样品)、*U. fasciata* 类群(1 个样品)、*U. compressa* 类群(3 个样品)、*U. pertusa* 类群(3 个样品)、*U. lactuca* 类群(3 个样品)、*U. intestinalis* 类群(2 个样品)。

### 3.2.4 LSU 序列系统进化发育分析

经 PCR 反应, 测序、校正后, 获得 15 个不同序列, 以 HQ603266.1(*B. marginata*) 为外群, 将刘公岛、獐子岛、南隍城岛所有序列构建的 NJ 进化树的拓扑结构如下(图 11)。分枝处的数值为支持强度值, 1000 次重复, 分枝长度表示序列变化强度。进化树显示各物种间的系发育关系。LSU 序列分析结果显示, 15 个样品聚为 5 个类群, 即 *U. linza-procera-prolifera* (LPP) 复合体类群(6 个样品)、*U. compressa* 类群(3 个样品)、*U. australis* 类群(3 个样品)、*U.*

*lactuca* 类群(2 个样品)、*U. intestinalis* 类群(2 个样品)。

## 4 讨论

对于石莼属物种鉴定, 仅使用形态学方法面临一些问题。石莼属形态特征复杂, 少数形态特征会随环境的变化而变化, Blomster et al.(1998)<sup>[5]</sup> 运用分子生物学和形态学结合的方法分析了大不列颠群岛的 *U. intestinalis* 和 *U. compressa*, 数据表明, 虽然 *U. intestinalis* 和 *U. compressa* 在形态特征非常的相似, 但 *U. intestinalis* 没有分枝, *U. compressa* 有分枝, 且在遗传上是两种不同的物种。发现分枝的存在与否是一个有用的形态特征。但是低盐或盐休克可以诱导 *U. intestinalis* 形成分枝。上述研究实例表明形态学方法和分子生物学方法在石莼属物种鉴定上是相辅相成的, 将它们结合起来可以更好更有效的解决石莼属海藻分类鉴定的难题(Leliaert et al., 2008, 2009)<sup>[6-7]</sup>。本论文运用形态学观察和分子生物学鉴定相结合的方法, 精确鉴定调查研究海岛上石莼属海藻的种类组成。

在利用形态学结合分子生物学方法对黄渤海典型海岛的石莼属海藻进行调查研究时发现, *U. linza*、

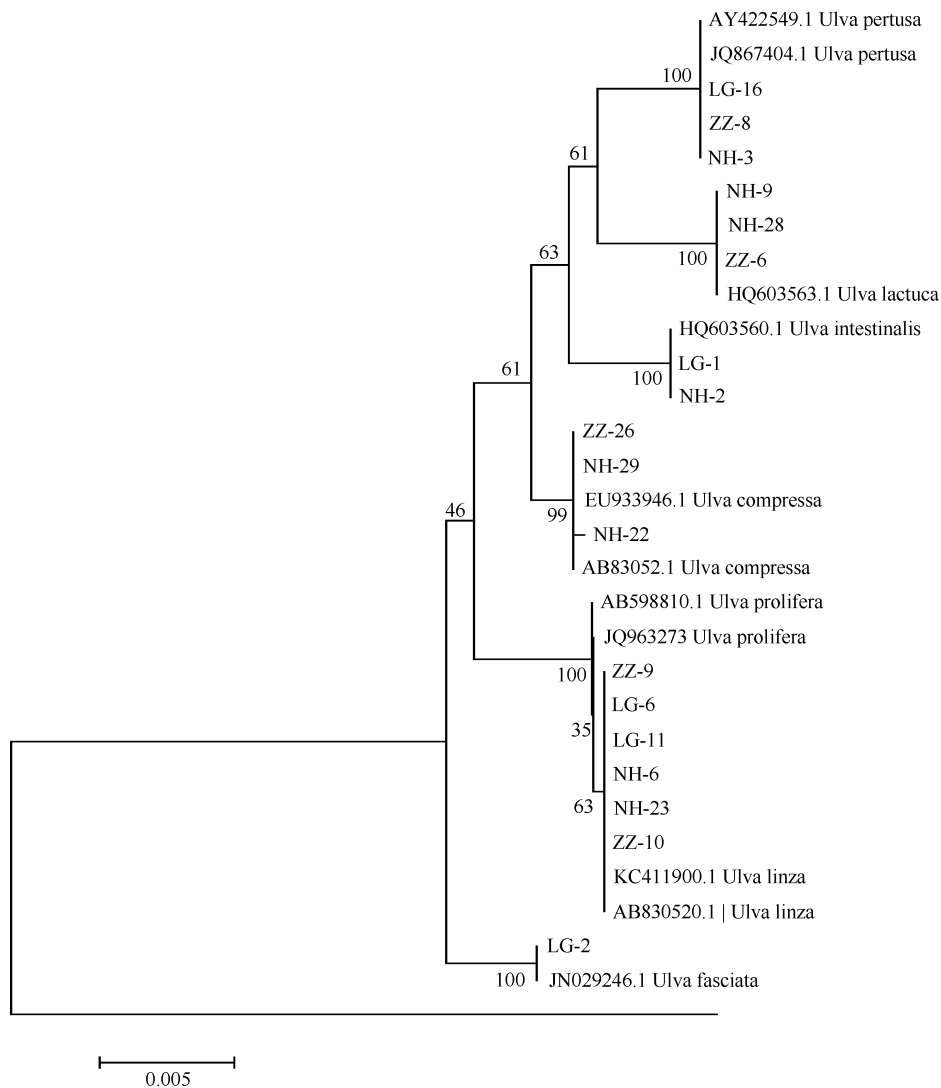


图9 基于 *rbcL* 序列的石莼科 NJ 进化树(NH-为南隍城岛采集到的样品, ZZ-为獐子岛采集到的样品, LG-为刘公岛采集到的样品)

Fig. 9 Neighbor-joining phylogenetic tree constructed from *rbcL* sequences

*U. pertusa*、*U. prolifera*、*U. intestinalis* 等物种成为采集样品中的主体, 并多同时发现于三个岛上; 相对的 *U. compressa*、*U. lactuca*、*U. fasciata* 等物种占采集样本总数的比例较小, 且 *U. compressa*、*U. lactuca* 仅发现于南隍城岛、獐子岛沿岸, *U. fasciata* 仅发现于刘公岛沿岸。这种各物种占有比例及分布情况的不同, 一方面与采样范围和季节变化有关, 但另一方面却能反映刘公岛、南隍城岛、獐子岛石莼属海藻的分布情况, 即 *U. linza*、*U. pertusa*、*U. prolifera*、*U. intestinalis* 等物种在三个岛上具有生存优势、生长分布范围较广。

另外, 就三个岛上石莼属绿藻的种类组成来看,

受海流条件影响较相似的南隍城岛和獐子岛上石莼属绿藻种类组成相同, 而与受海流条件影响差异较大的刘公岛上石莼属绿藻有所区别, 推测因为为自然状态下, 海藻及其生殖细胞(孢子和受精卵)主要依靠海流这一途径进行传播, 且在海水环境中, 海藻生长及其生殖细胞萌发所必需的条件(温度、盐度等)也与海流条件存在很大的关系, 海流条件对海藻的分布有较大影响。这与 Alan J. K.(1999)<sup>[8]</sup>的调查结果相似。Alan J. K.(1999)对诺福克岛上底栖海藻的群落结构做了详细研究, 并对与该岛处于相似纬度的周边地区的海藻共有种进行比较分析, 发现其上海藻群落组成与新南威尔士州相比有 46%的共有

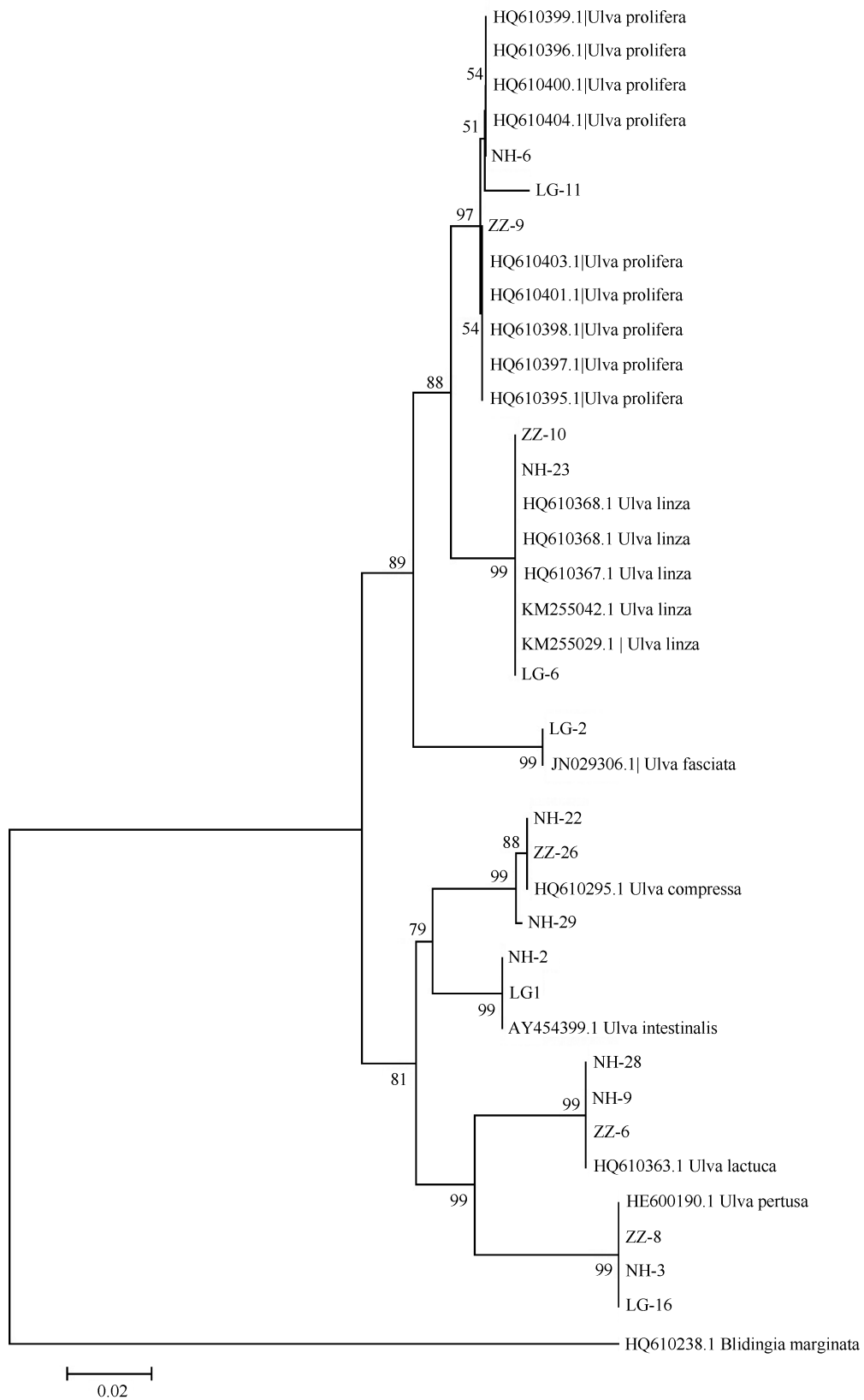


图 10 基于 *tufA* 序列的石莼科 NJ 系统发育树(NH-为南隍城岛采集到的样品, ZZ-为獐子岛采集到的样品, LG-为刘公岛采集到的样品)

Fig. 10 Neighbor-joining phylogenetic tree constructed from *tufA* sequences



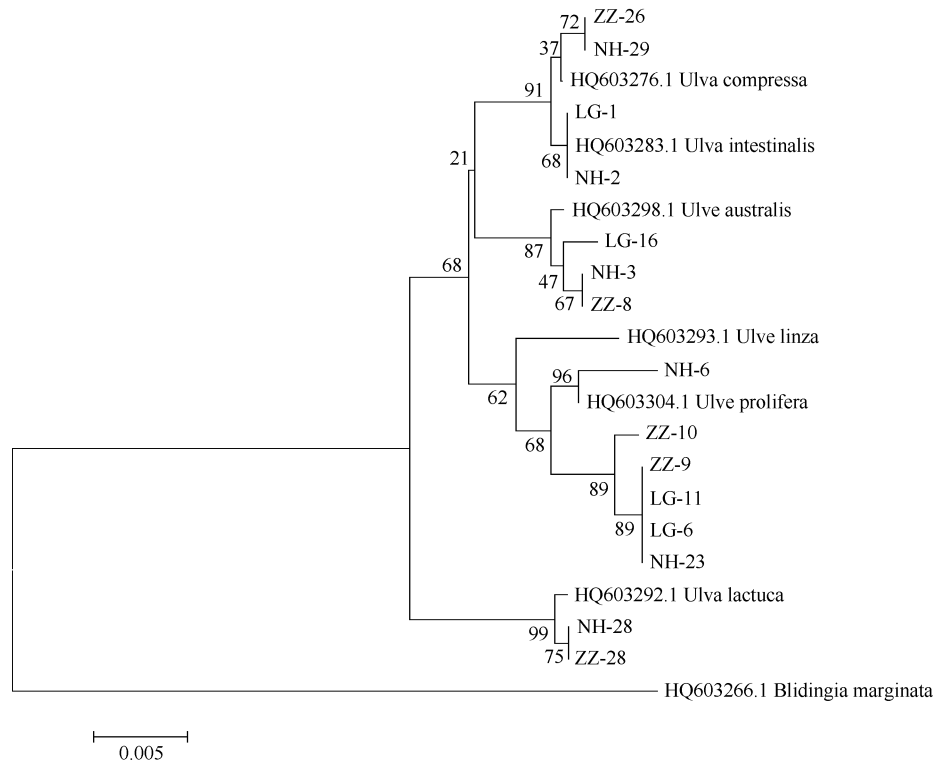


图 11 基于 LSU 序列的石莼科系统进化 NJ 树(NH-为南隍城岛采集到的样品, ZZ-为獐子岛采集到的样品, LG-为刘公岛采集到的样品)

Fig. 11 Neighbor-joining phylogenetic tree constructed from LSU sequences

种, 与豪勋爵岛相比有 45% 的共有种, 分析原因为这 3 个地方通过东澳大利亚海流相连, 使其上海藻种类组成相似。我国海流环境复杂, 从大的环流系统来看, 渤、黄、东海为一环流系统, 南海为另一个环流系统<sup>[9]</sup>。本研究为海流条件对海藻的分布有较大影响这一观点提供了佐证。

#### 参考文献

- [1] 管秉贤著. 中国东南近海冬季季风海流[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2002.
- [2] 管秉贤. 黄海冷水团水温变化以及环流特征的初步分析[J]. 海洋与湖沼, 1964, 5(4): 255–284.
- [3] 丁兰平著. 中国海藻志: 第四卷绿藻门[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [4] GARY W S & HANA K. An evaluation of *rbcL*, *tufA*, UPA, LSU and ITS as DNA barcode markers for the marine green macroalgae[J]. Cryptogamie, Algologie, 2010, 31 (4): 487–528
- [5] BLOMSTER J & MAGGS C A & STANHOPE M J. Molecular and morphological analysis of *Enteromorpha intestinalis* and *E. compressa* (Chlorophyta) in the British Isles[J]. J. Phycol. 1998,34: 319–340.
- [6] LELIAERT, F & MALTA, E J & ENGELEN A H, et al. Quindao algal bloom culprit identified[J]. Mar Pollut. Bull. 2008, 56: 1515–1516.
- [7] LELIAERT F & ZHANG X & YE N, et al. Identity of the Qingdao algal bloom[J]. Phycol Res. 2009, 57: 147–151.
- [8] ALAN J K. Marine Benthic Algae of Norfolk Island, South Pacific[J]. *Australian Systematic Botany* 1999, 12: 479–547
- [9] 苏纪兰. 中国近海的环流动力机制研究[J]. 海洋学报, 2001, 23(4): 1–16.