

外来入侵海洋红藻具孔斯帕林藻 *Sparlingia pertusa* 的形态观察及分子系统分析*

宋学文 娄宇 依朋 王宏伟

(辽宁师范大学 生命科学学院 大连 116081)

摘要 2015 年 5 月至 2016 年 7 月在辽宁省大连市黑石礁海域发现红皮藻科入侵种具孔斯帕林藻 *Sparlingia pertusa* (Postels et Ruprecht) G. W. Saunders, I. M. Strachan et G. T. Kraft, 对其进行了详细的形态结构观察和分子系统分析。结果表明: 藻体直立; 成熟藻体高 0.2—0.8m; 呈红色或暗红褐色; 藻体表面分布着密集的孔洞; 皮层由 2—3 层圆形细胞组成; 髓部由 3—5 层椭圆形薄壁细胞组成。 *rbcL* 基因序列分析结果显示本研究的 6 个具孔斯帕林藻样本之间无碱基差异, 与产自日本的样本无碱基差异, 与美国和加拿大产的样本之间的碱基序列差异为 1bp (0.98%); COI 基因序列分析结果显示本研究的 6 个具孔斯帕林藻样本之间无碱基差异, 与产自加拿大的样本之间无碱基差异。具孔斯帕林藻在我国海域首次发现为中国新纪录种, 同时发现斯帕林藻属 *Sparlingia* G. W. Saunders, I. W. Strachan et G. T. Kraft 为中国新纪录属, 认为海洋经济物种太平洋牡蛎和虾夷扇贝的引进、船舶压舱水以及海水的流动等是该种入侵的主要原因。

关键词 外来入侵; 红藻; 具孔斯帕林藻; 形态观察; 分子系统分析

中图分类号 Q949 **doi:** 10.11693/hyh20170700195

具孔斯帕林藻 *Sparlingia pertusa* (Postels et Ruprecht) G. W. Saunders, I. M. Strachan et G. T. Kraft 隶属于红藻门 Rhodophyta 红皮藻科 Rhodymeniaceae 斯帕林藻属 *Sparlingia* G. W. Saunders, I. M. Strachan et G. T. Kraft, 目前斯帕林藻属在全世界共报道了 2 个种, 模式种为具孔斯帕林藻, 另一个种为 *S. stipitata* (Kyllin) N. G. Klochkova。最早 Postels 等(1840)发现该种并将其命名为具孔紫菜 *Porphyra pertusa* Postels et Ruprecht, Agardh (1852)后来将其移入到了红皮藻属 *Rhodymenia* Greville 中, 重新命名为具孔红皮藻 *R. pertusa* (Postels et Ruprecht) J. Agardh。直到 1999 年, Saunders 等人(1999)运用形态学观察结合分子系统分析的方法, 发现具孔红皮藻与红皮藻属的模式种 *R. pseudopalmata* (J. V. Lamouroux) P. C. Silva 及其他种在外部形态和内部结构以及分子分析中存在很大差异, 认为具孔红皮藻不属于红皮藻属, 故提

出了一个新属——斯帕林藻属 *Sparlingia* G. W. Saunders, I. M. Strachan et G. T. Kraft, 该属以 Shirley Sparling 的姓命名, 并将具孔红皮藻移入斯帕林藻属中, 重新命名为具孔斯帕林藻。该种主要分布于北冰洋地区、北美地区及亚洲北部(日本) (Dawson, 1941)。

海洋外来物种是指出现在过去或者现在的自然分布范围以及扩散潜力之外的海洋物种、亚种或以下的分类单元, 包括该物种可能存活繁殖的部分或繁殖体(陆琴燕等, 2013)。一些海洋外来物种到达新的环境后, 因为摆脱了原有的危害, 且本身繁殖能力较强, 可能或者已经对当地的生态环境造成危害, 发展成为外来入侵种(朱建庚等, 2006)。海洋外来物种入侵现已成为海洋生态系统面临的四大威胁之一(杨圣云等, 2001), 入侵途径一般分为有意和无意两种, 有意如经济性物种的引进, 无意如航运及船舶压舱水(赵淑江等, 2005)。随着海洋运输业的高速发展, 海洋

* 国家自然科学基金项目, 31270251 号。宋学文, 硕士研究生, E-mail: 873351218@qq.com

通讯作者: 王宏伟, 博士, 教授, 博士生导师, E-mail: kitamiwang@163.com

收稿日期: 2017-07-24, 收修改稿日期: 2017-09-05

外来物种的传播与入侵日趋严重(刘艳等, 2013)。大连是一座开放的海滨城市, 也是中国北方最大的港口城市, 海洋资源丰富, 自然条件优越, 航运频繁, 为外来物种的传入提供了便利条件。近些年, 许多大型海藻入侵到大连海域, 红藻门如日本星丝藻 *Erythrotrichia japonica* J. Tokida、加粗星丝藻 *Erythrotrichia incrassata* T. Tanaka (栾日孝等, 2005) 等, 褐藻门如粗丝多辐藻 *Myriactula clavata* (Takamatsu) J. Feldmann (栾日孝, 2003)、有害藻类天庚点叶藻 *Punctaria Hesperia* A. W. Setchell et N. L. Gardner (栾日孝等, 2000)、舌状酸藻 *Desmarestia ligulata* (Stackhouse) J. V. Lamouroux (栾日孝等, 2003) 等, 绿藻门如在大连小平岛海域发现的盒管藻 *Capsosiphon groenlandicus* (J. Agardh) K. L. Vinogradova (丁兰平等, 2008)、入侵到大连瓦房店海域的强壮硬毛藻 *Chaetomorpha valida* (J. D. Hooker et Harvey) F. T. Kützing (迟永雪等, 2009) 等, 而这些外来藻类都在北太平洋地区被报道过。其中原产于澳大利亚塔斯马尼亚的强壮硬毛藻在海洋养殖池中大量繁殖, 生长盛期可将海参缠绕致死, 严重影响海洋养殖业的发展, 带来了巨大危害和经济损失(迟永雪等, 2009)。

2015年5月在辽宁省大连市黑石礁海域首次发现具孔斯帕林藻, 我国尚未有关该种的报道, 斯帕林

藻属也未见报道。在本研究中, 对其进行了详细的形态学观察和分子系统分析, 也讨论了该种的入侵渠道, 种源地和未来扩增的趋势等。

1 材料与方法

1.1 材料采集和处理

试验所用样本于2015年5月至2016年7月采自于辽宁省大连市黑石礁海域, 材料处理参照李芳(2016)的方法, 将采集后的样本编号, 新鲜样本用于制作冰冻切片, 一部分制作成硅胶干燥标本用于提取DNA, 形态完整的制作成腊叶标本。标本保存在辽宁师范大学生命科学学院植物标本馆(LNU)。

使用解剖镜和光学显微镜(Olympus BH2)观察藻体的形态结构, 用 Nikon HFX-A 照相机拍摄照片记录结果。

1.2 DNA 提取与 PCR 扩增

使用植物基因组 DNA 提取试剂盒(TIAGEN, Valencia, CA, Beijing)进行藻体 DNA 的提取, 将提取到的 DNA 进行 PCR 扩增。*rbcL* 和 COI 基因的 PCR 反应程序参照李芳(2016)的设计, 检测后的样品均由上海生工生物公司纯化和测序。使用 Primer5.0 软件进行引物设计, 引物组合见表 1, 均由上海生工生物公司合成。

表 1 *rbcL* 和 COI 序列扩增所需引物
Tab.1 Primers used for amplifying *rbcL* sequences and COI sequences

基因类型	引物	序列
<i>rbcL</i>	F5	5'-TGGGACCCTGATTATGTA-3'
	R1352	5'-CGGTGTCTGTAGAAGTATAGTT-3'
	F1	5'-GGATACTGGGACCCTGAT-3'
	R1140	5'-GCCAAACTGAAGAACAACA-3'
COI	F1	5'-CTTGTATTTAATTTTGGTGCATTCT-3'
	R661	5'-AAATAGATGTTGATAAAGAACAGGATC-3'

1.3 分子系统分析

本研究中 6 个样本的 *rbcL* 基因序列与从 GenBank 上下载选取的红皮藻科内的斯帕林藻属的具孔斯帕林藻(Schmidt *et al.*, 2016; Schneider *et al.*, 2012; Suzuki *et al.*, 2010)、红皮藻属的 5 个种(Filloramo *et al.*, 2016; Gavio *et al.*, 2003; Lozada-Troche *et al.*, 2010)、葡萄藻属 *Botryocladia* (J. Agardh) H. Kylin 的葡萄藻 *B. leptopoda* (J. Agardh) Kylin (Filloramo *et al.*, 2016)、伴绵藻属 *Ceratodictyon* Zanardini 的 *C. repens* (Kützing) R. E. Norris (Gavio *et al.*, 2005)、金膜藻属 *Chrysymenia* J. Agardh 的金膜藻

C. wrightii (Harvey) Y. Yamada (Filloramo *et al.*, 2016) 和腔腺藻属 *Coelothrix* F. Borgesen 的不规则腔腺藻 *C. irregularis* (Harvey) F. Borgesen (Lozada-Troche *et al.*, 2010), 以及作为外群种的红皮藻目环节藻科中环节藻属 *Champia* Desvaux 的环节藻 *C. parvula* (C. Agardh) W. H. Harvey (Ballantine *et al.*, 2008) 和腹枝藻属 *Gastroclonium* Kützing 的 *G. ovatum* (Hudson) G. F. Papenfuss (Filloramo *et al.*, 2016) 与红毛菜目红毛菜科紫菜属 *Pyropia* J. Agardh 的越南紫菜 *P. vietnamensis* (Tak. Tanaka et Pham-Hoàng Ho) J. E. Sutherland et Monotilla (Sutherland *et al.*, 2011) 等 15 个

rbcL 基因序列(表 2)进行分析比对。

本研究中 6 个样本的 COI 基因序列与从 GenBank 中选取的红皮藻科内的斯帕林藻属的具孔斯帕林藻(Schneider *et al*, 2012)、红皮藻属的 5 个种(Filloramo *et al*, 2016; Saunders *et al*, 2010)、葡萄藻属 *Botryocladia* 的 *B. Pseudodichotoma* (Farlow) H. Kylin (Saunders, 2014)、金膜藻属的金膜藻(Filloramo *et al*, 2016)和腔腺藻属的不规则腔腺藻(Sherwood *et al*, 2010), 以及作为外群种的红皮藻目环节藻科中环节藻属的环节藻(Sherwood *et al*, 2010)和腹枝藻属 *Gastroclonium* 的 *G. ovatum*

(Filloramo *et al*, 2016)与红毛菜目红毛菜科紫菜属的越南紫菜(Milstein *et al*, 2012)等 12 个 COI 基因序列(表 2)进行分析比对。

应用软件 Clustalx (1.83)进行基因序列比对。使用最大似然法 Maximum likelihood (ML)、临近法 Neighbor joining (NJ)和最大简约法 Maximum parsimony (MP)构建系统发育树, 使用 MEGA6.0 软件用于进行碱基差异度的分析以及系统树的构建, 计算遗传距离模型为 Number of differences 和 Kimura 2-Parameter, Bootstrap 重复 1000 次。使用 DnaSP 软件计算核苷酸多样性和单倍型多样性。

表 2 分子序列分析所用海藻种类、采集地点和基因登录号列表

Tab.2 The list of species used in this study, the collection location, and GenBank accession numbers

物种	采集地点	登录号	
		<i>rbcL</i>	COI
<i>Sparlingia pertusa</i> (Postels et Ruprecht) G. W. Saunders, I. M. Strachan et G. T. Kraft	中国大连(LNU20150512)	KY774847	KY774853
<i>S. pertusa</i>	中国大连(LNU20150513)	KY774848	KY774854
<i>S. pertusa</i>	中国大连(LNU20150515)	KY774849	KY774855
<i>S. pertusa</i>	中国大连(LNU20160717)	KY774850	KY774856
<i>S. pertusa</i>	中国大连(LNU20160718)	KY774851	KY774857
<i>S. pertusa</i>	中国大连(LNU20160719)	KY774852	KY774858
<i>S. pertusa</i>	加拿大卑诗省	JQ907561	HM916393
<i>S. pertusa</i>	日本岩手	AB383123	
<i>S. pertusa</i>	美国阿拉斯加州	KT154697	
<i>Rhodymenia corallina</i> (Bory de Saint-Vincent) Greville	智利科金博	AY168657	
<i>R. pseudopalmata</i> (J. V. Lamour) P. C. Silva	美国德克萨斯州	AY168656	HM033146
<i>R. intricata</i> (Okamura) Okamura	韩国济州	KU726710	KU707844
<i>R. divaricata</i> E. Y. Dawson	波多黎各	EU670597	
<i>R. stenoglossa</i> J. Agardh	澳大利亚维多利亚州	KU726706	HM033152
<i>R. leptophylla</i> J. Agardh	澳大利亚新南威尔士		HM033148
<i>R. prolificans</i> Zanardini	澳大利亚塔斯马尼亚		HM033144
<i>Botryocladia leptopoda</i> (J. Agardh) Kylin	菲律宾	KU726723	
<i>B. pseudodichotoma</i> (Farlow) Kylin	美国加利福尼亚州		KM254747
<i>Ceratodictyon repens</i> (Kutzing) Norris	南非	HQ400571	
<i>Chrysymenia wrightii</i> (Harvey) Yamada	日本	KU726707	KU707857
<i>Coelothrix irregularis</i> (Harv) Borgesen	波多黎各	EU670598	
<i>C. irregularis</i>	美国		HQ422624
<i>Champia parvula</i> (C. Agardh) Harvey	波多黎各	EU086464	
<i>C. parvula</i>	美国		HQ422819
<i>Gastroclonium ovatum</i> (Hudson) Papenfuss	爱尔兰	KU726714	KU707861
<i>Pyropia vietnamensis</i> (Tak. Tanaka et Pham-Hoàng Ho) J. E. Sutherland et Monotilla	印度喀拉拉邦	HQ687544	
<i>P. vietnamensis</i>	巴西		JN222751

注: 表中加粗字体为本文研究种

2 结果

2.1 斯帕林藻属(新拟)

Sparlingia G. W. Saunders, I. W. Strachan et G. T. Kraft, 1999

成熟藻体直立, 叶片呈椭圆形, 具有不同大小的孔洞; 二叉式分枝 1—2 次; 圆盘形固着器; 皮层由 2—3 层小球形细胞组成, 髓部由 3—5 层椭球形薄壁细胞组成; 雌雄配子体和四分孢子体同型; 果胞枝主枝由 4 个细胞组成, 辅助细胞枝主枝由 2 个细胞组成; 囊果直径约为 1mm; 成熟的四分孢子囊呈十字形分裂。

模式种: *Sparlingia pertusa* (Postels et Ruprecht) G. W. Saunders, I. M. Strachan et G. T. Kraft, 1999

2.2 具孔斯帕林藻(新拟, 图 1)

Porphyra pertusa Postels et Ruprecht, 1840

Rhodymenia pertusa (Postels et Ruprecht) J. Agardh, 1851

Sparlingia pertusa (Postels et Ruprecht) G. W. Saunders, I. M. Strachan et G. T. Kraft, 1999

模式标本产地: 俄罗斯堪察加半岛。

外部形态: 成熟藻体直立; 呈红色或暗红褐色; 二叉式分枝 1—2 次; 高 0.2—0.8m; 藻体分枝近椭圆形; 其中, 雌配子体宽 30—50cm; 四分孢子体宽 20—30cm; 圆盘形的固着器上长出圆柱状的柄; 藻体具有不同大小的孔洞(图 1A—G); 孔洞边缘呈波浪状(图 2A); 雌配子体和四分孢子体同型(图 1)。

营养结构: 藻体由皮层和髓部组成, 厚度为

90—140 μ m。皮层由 2—3 层圆球形细胞组成, 厚度为 10—20 μ m, 细胞中含有色素; 髓部由 3—5 层椭球形薄壁细胞组成, 厚度为 80—120 μ m, 中央细胞较大, 外围细胞较小(图 2B)。雌配子体和四分孢子体营养结构相同。

生殖结构: 成熟囊果近球形, 直径 1mm 左右, 散落于除基部外的藻体表面, 未成熟时, 囊果微突出藻体表面且呈现肉眼可见的斑点状, 成熟后, 呈凸起状(图 2C, D); 果孢子聚集成团在囊果的中央部位(图 2E—H)。四分孢子囊由四分孢子体的皮层细胞形成, 散落分布在除基部外的藻体表面(图 2I), 微凸起状, 四分孢子囊孢子母细胞进行减数分裂, 形成二分体, 最后形成四分孢子囊, 成熟的四分孢子囊呈十字形分裂, 长 30—40 μ m, 宽 20—35 μ m(图 2J—L)。

习性: 生长在低潮带及潮下带的岩石上(图 3)。

产地: 辽宁大连黑石礁; 38°55'N, 121°37'E。

国外分布: 俄罗斯(堪察加半岛), 日本(北海道), 加拿大, 丹麦(格陵兰), 挪威(斯匹次卑尔根岛), 北美海岸(南普吉特海湾), 美国(华盛顿)。

2.3 具孔斯帕林藻的分子系统分析

2.3.1 *rbcL* 基因序列分析 以红皮藻目环节藻科中环节藻属的环节藻和腹枝藻属 *Gastroclonium* 的 *G. ovatum* 与红毛菜目红毛菜科紫菜属的越南紫菜作为外群种, 结合红皮藻科主要类群序列, 基于 ML 法、NJ 法和 MP 法构建了 *rbcL* 序列和 COI 序列的系统发

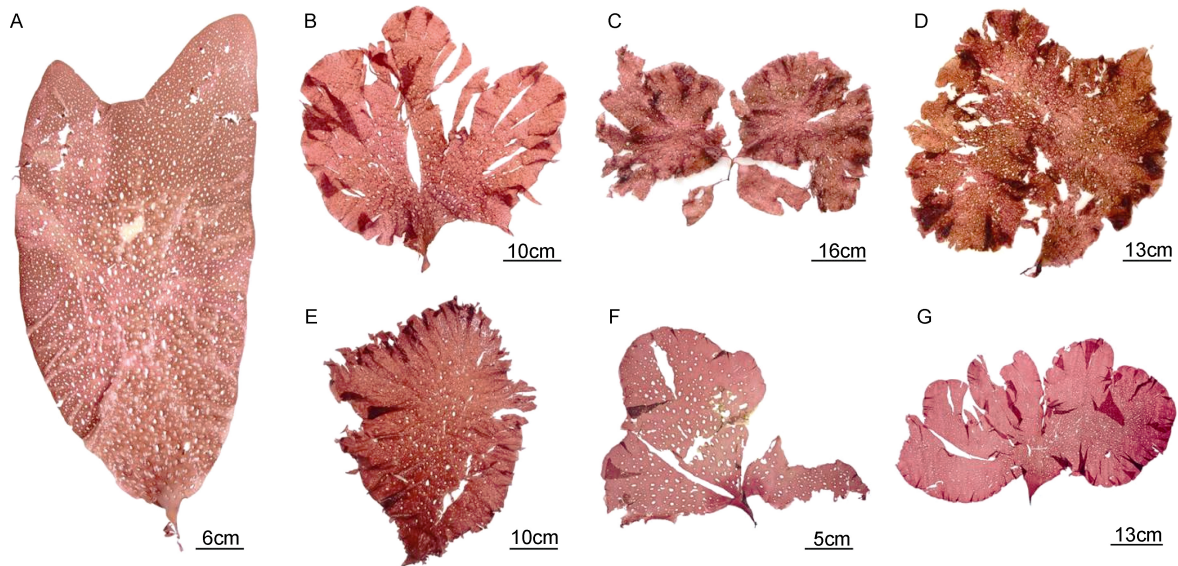


图 1 具孔斯帕林藻的外部形态

Fig.1 The morphological appearance of *S. pertusa*

注: A—D: 雌配子体; E—G: 四分孢子体

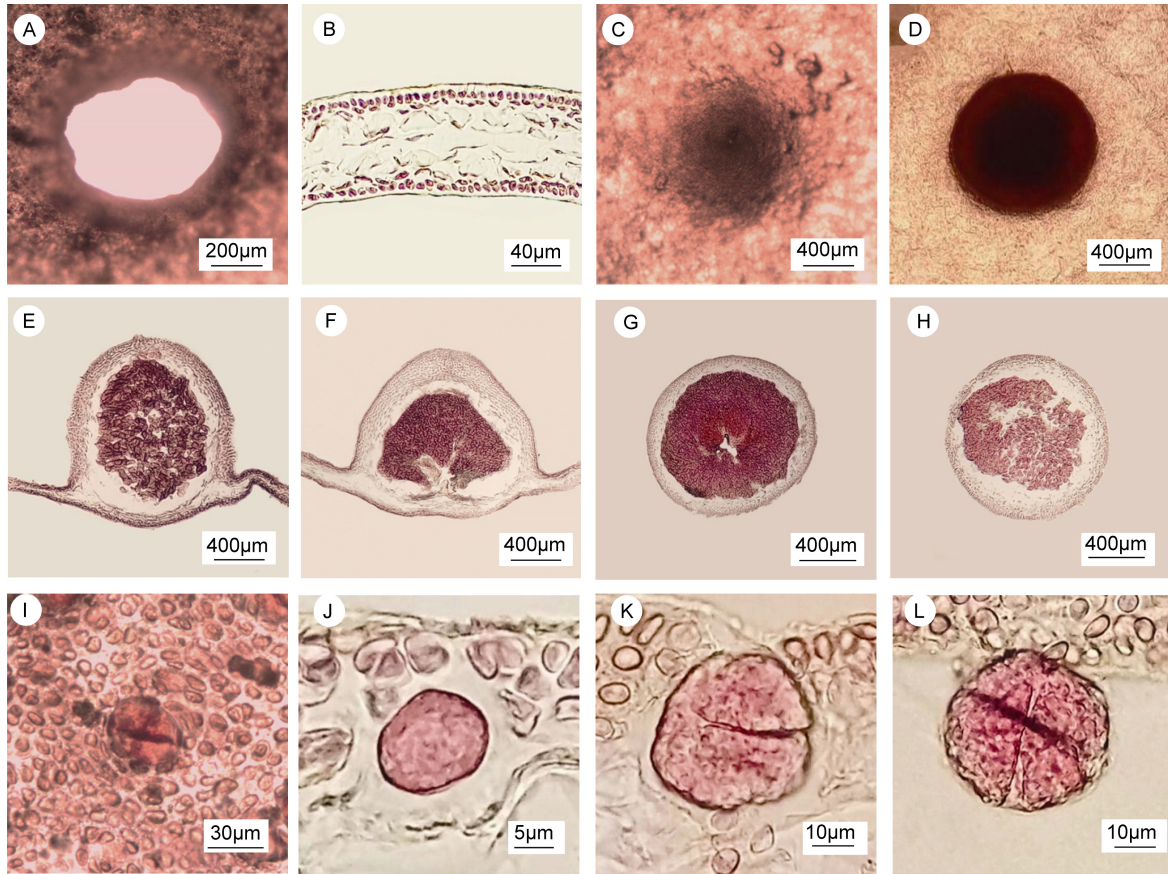


图 2 具孔斯帕林藻的营养结构和生殖结构

Fig.2 The vegetative structure and reproductive structures of *S. pertusa*

注: A: 藻体表面的孔洞结构; B: 藻体横切面; C—D: 雌配子体表面观示囊果; E—F: 囊果纵切面观; G—H: 囊果横切面观; I: 四分孢子体表面观示四分孢子囊; J: 四分孢子囊母细胞; K: 二分体; L: 成熟的四分孢子囊呈十字形分裂

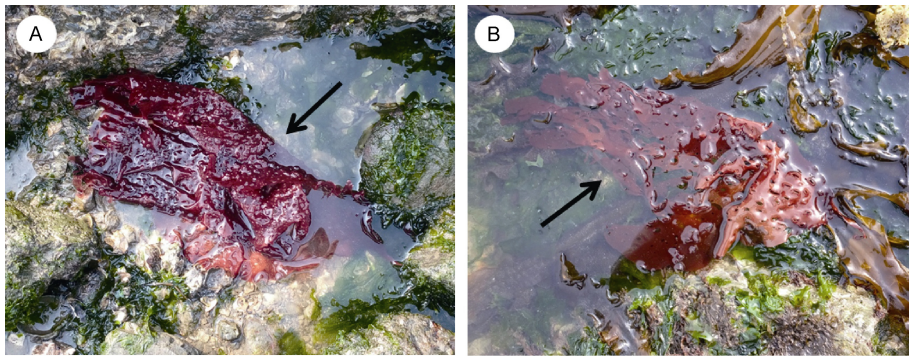


图 3 具孔斯帕林藻的野外形态(箭头所指)

Fig.3 The forms of *S. pertusa* (arrows) in the field

注: A: 雌配子体; B: 四分孢子体

育树, 三种方法所构建的发育树拓扑结构比较相似, 故均以 ML 法所构建系统发育树的拓扑结构显示。本研究共获得了 6 条 *rbcL* 基因序列, 将实验测得的具孔斯帕林藻的 *rbcL* 序列提交到 GenBank 中, 所获得登录号为: KY774847、KY774848、KY774849、

KY774850、KY774851、KY774852, 对比校正后的序列共 21 条, 序列矩阵长度为 1223bp, 可变位点 448 个, 简约信息位点 305 个, 单态位点 143 个。结果显示, 本研究的 6 个样本与国外产的具孔斯帕林藻在发育树中聚在一支(图 4), 6 个样本之间的 *rbcL* 基因序列

无碱基差异, 它们与日本产的无碱基差异, 与美国和加拿大产的碱基序列差异为 1bp (0.98%), 与同科内红皮藻属的 5 个种的碱基差异为 137bp (10.50%)—162bp (11.07%), 与同科内葡萄藻属的葡萄藻、伴绵藻属 *Ceratodictyon* 的 *C. repens*、金膜藻属的金膜藻和腔腺藻

属的不规则腔腺藻的碱基差异分别为 140bp (10.29%)、189bp (11.70%)、150bp (10.49%)、192bp (12.34%)。与外群种环节藻属的环节藻、腹枝藻属 *Gastroclonium* 的 *G. ovatum* 和紫菜属的越南紫菜的碱基差异为 213bp (11.75%)、184bp (12.30%)、269bp (13.91%)。

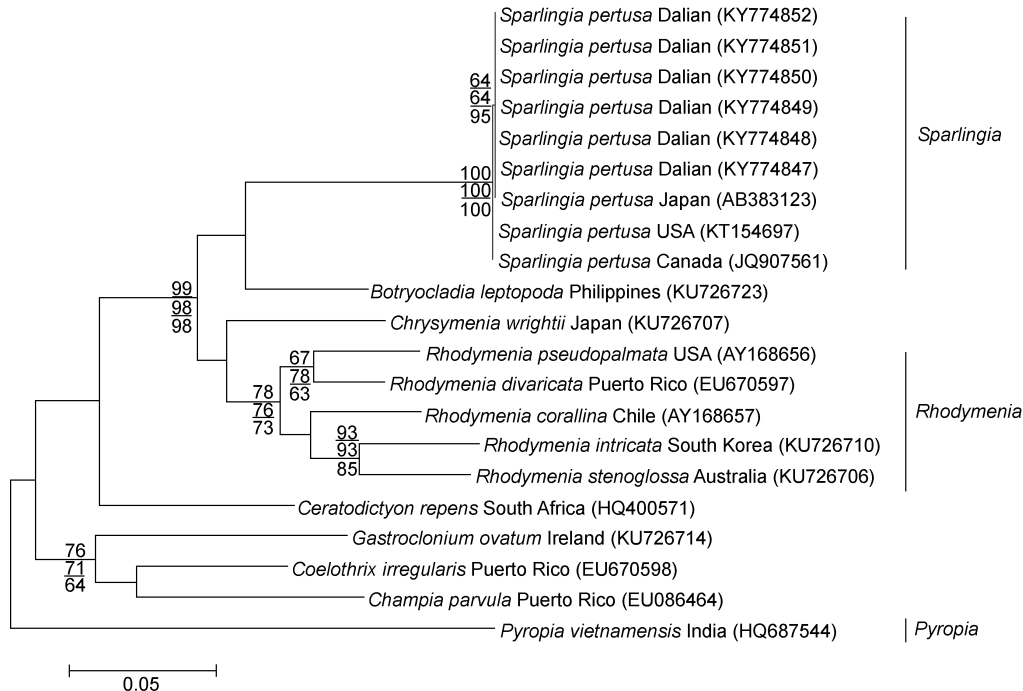


图 4 基于 *rbcL* 序列所构建的 ML 系统发育树

Fig.4 The Maximum Likelihood (ML) tree built based on *rbcL* sequences

注: 节点的数值表示自展支持值, 从上至下分别表示 ML、NJ、MP, 自展值只显示大于 50

2.3.2 COI 基因序列分析 本研究共获得 6 条 COI 基因序列, 将实验测得的具孔斯帕林藻的 COI 序列提交到 GenBank 中, 所获得登录号为: KY774853、KY774854、KY774855、KY774856、KY774857、KY774858, 对比校正后的序列共 18 条, 序列矩阵长度为 601bp, 可变位点 245 个, 简约信息位点 195 个, 单态位点 50 个, 所构建系统发育树的拓扑结构与 *rbcL* 序列所构建的系统发育树大致相同。序列比对结果显示, 本研究的 6 个样本与产自加拿大的具孔斯帕林藻在系统树中聚在一个分支中, 无碱基差异(图 5), 与同科内红皮藻属的 5 个种的碱基序列差异为 90bp (8.78%)—97bp (9.14%), 与同科内葡萄藻属 *Botryocladia* 的 *B. pseudodichotoma*、金膜藻属的金膜藻和腔腺藻属的不规则腔腺藻的碱基差异分别为 103bp (9.28%)、104bp (9.67%)、116bp (10.16%)。与外群种环节藻属的环节藻、腹枝藻属 *Gastroclonium* 的 *G. ovatum* 和紫菜属的越南紫菜的碱基差异为

130bp (10.48%)、122bp (10.15%)、147bp (11.11%)。

3 讨论

采自大连的标本与日本和加拿大的具孔斯帕林藻的形态描述基本一致(Dawson, 1941; Saunders *et al*, 1999)。根据 *rbcL* 序列所构建的系统发育树(图 4)以较高的自展支持值反映出了所采集海藻的系统发育位置, 其中本研究中的 6 个样本与斯帕林藻属种类聚在一起, 形成一个独立的分支, 自展值为 100, 区别于其他种, 验证了本研究的 6 个样本为具孔斯帕林藻, 与斯帕林藻属分支距离较近的是菲律宾的葡萄藻和日本的金膜藻; 在 COI 序列构建的系统发育树中(图 5), 本研究的 6 个样本与加拿大的具孔斯帕林藻聚集在一起, 形成一个独立的小分支, 自展值为 100, 区别于其他种, 与分支距离较近的是澳大利亚的 *Rhodymenia leptophylla* 和韩国的错综红皮藻 *Rhodymenia intricata* (Okamura) K. Okamura。

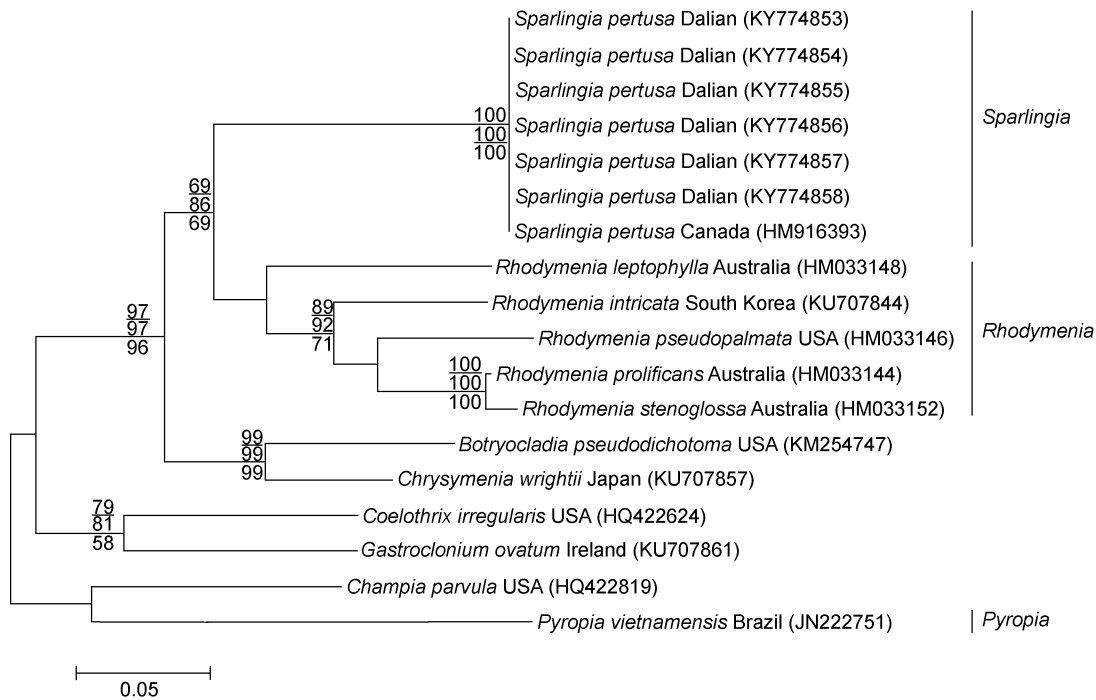


图5 基于 COI 序列所构建的 ML 系统发育树

Fig.5 Maximum likelihood (ML) tree built based on COI sequences

注: 节点的数值表示自展支持值, 从上至下分别表示 ML、NJ、MP, 自展值只显示大于 50

如今, 随着全球经济一体化、国际贸易的发展, 各国之间航运日渐频繁(Poulter *et al*, 2008), 使外来海洋物种的数量越来越多。大连市位于辽东半岛最南端, 海上贸易逐年递增, 海洋养殖品种的引进可能将国外的具孔斯帕林藻的孢子携带到大连海域。而大连市是养殖太平洋牡蛎和虾夷扇贝的主要地区, 大连沿海在 20 世纪 80 年代末开始对太平洋牡蛎进行浮筏养殖(隋锡林等, 2002); 虾夷扇贝在 1982 年由辽宁省海洋水产科学研究院从日本北部沿海引进后进行养殖试验并推广(李华琳等, 2007)。但是目前有效的防污处理措施并不完善, 牡蛎壳、扇贝壳上通常携带大量的海藻孢子, 养殖产品的进出口作为海藻入侵最主要的原因之一已经得到广泛认可。经鉴定, 一些海膜目的物种通过这种方式已经从东北亚地区入侵到欧洲(Mineur *et al*, 2010)。我们在大连海域发现该种, 极有可能是该种的孢子附着在从日本进口的牡蛎壳和扇贝壳上入侵过来的。

另外, 船舶压舱水也是海洋物种入侵的主要途径之一。据估计, 在美国五大水域分离出 100 多种外来物种的主要原因就是船舶压舱水(邵柏, 2001), 澳大利亚的科学家们在澳大利亚沿岸鉴定出 200 多种外来海洋物种, 发现大多数外来物种进入的原因是

船舶携带的压舱水(朱建庚等, 2006)。目前, 我国对船舶压舱水的管理较薄弱, 随着贸易的繁荣和航运的增加, 大量的海洋物种被携带到我国海域, 包括具孔斯帕林藻的孢子。因此, 船舱压舱水可作为具孔斯帕林藻入侵的原因之一。

此外, 大气中二氧化碳的浓度升高致使全球变暖(Chust *et al*, 2010), 海平面的上升也加剧了海水入侵, 可直接改变海滨生态系统的潮汐、水位等(Nicholls *et al*, 2010), 孢子随海水从堪察加半岛或日本流动到大连海域, 我们认为这也是具孔斯帕林藻出现的原因之一。地理位置上, 该种的分布范围在北温带, 约北纬 $38^{\circ}53'$ 至 $60^{\circ}51'$, 其中大连与俄罗斯的堪察加半岛和日本北海道的的气候类型为温带季风气候, 海洋环境也较适合具孔斯帕林藻的生长繁殖。

海洋外来物种对当地的影响大致可分为 3 种: (1) 被看成是“积极”因素, 丰富了当地生物量; (2) 对当地生态系统没有任何影响; (3) 对当地环境有明显影响, 如与当地种竞争, 破坏海洋生态平衡(刘艳等, 2013)。具孔斯帕林藻生长在低潮带及潮下带的岩石上, 与 Klochkova 等人(2009)记录的具孔斯帕林藻在海平面以下 5—20 米深度生长的环境相一致, 同时从 2015 年发现该藻后, 每年都能在大连的黑石礁发现,

采集到的数量逐年增多, 可见该藻已经在黑石礁附近海域有一定的规模, 并有扩增之势。该种的出现是否会对当地渔业发展、生态环境与社会经济建设造成较大影响还需进一步跟踪探究。

4 结论

基于形态学观察和 *rbcL* 基因序列与 COI 基因序列分析, 发现具孔斯帕林藻 *Sparlingia pertusa* (Postels et Ruprecht) G. W. Saunders, I. M. Strachan et G. T. Kraft 为中国新纪录种, 同时发现斯帕林藻属 *Sparlingia* G. W. Saunders, I. W. Strachan et G. T. Kraft 为中国新纪录属。认为海洋经济物种的引进、各国来往船舶携带的压舱水以及海水的流动等是该种入侵的主要原因。

参 考 文 献

- 丁兰平, 栾日孝, 黄冰心等, 2008. 黄海西部、渤海海域盒管藻科 Capsosiphonaceae(石莼目 Ulvales)的分类研究. 海洋学报, 30(2): 169—174
- 刘 艳, 吴惠仙, 薛俊增, 2013. 海洋外来物种入侵生态学研究. 生物安全学报, 22(1): 8—16
- 朱建庚, 张露黎, 2006. 海洋外来物种入侵与我国压载水管理. 生态经济: 学术版, (10): 307—310
- 李 芳, 2016. 四种红藻的形态学观察和分子系统学研究. 大连: 辽宁师范大学硕士学位论文论, 50—51
- 李华琳, 李文姬, 薛真福等, 2007. 大连西部海域虾夷扇贝采苗试验. 齐鲁渔业, (12): 6—8
- 杨圣云, 吴荔生, 陈明茹等, 2001. 海洋动植物引种与海洋生态保护. 应用海洋学学报, 20(2): 259—265
- 迟永雪, 王丽梅, 栾日孝等, 2009. 中国硬毛藻属新记录种—强壮硬毛藻. 水产科学, 28(3): 162—163
- 陆琴燕, 刘 永, 李纯厚等, 2013. 海洋外来物种入侵对南海生态系统的影响及防控对策. 生态学杂志, 32(8): 2186—2193
- 赵淑江, 朱爱意, 张晓举, 2005. 我国的海洋外来物种及其管理. 海洋开发与管理, 22(3): 58—66
- 栾日孝, 2003. 中国多辐藻属(*Myriactula*)三个新记录种. 植物研究, 23(2): 137—140
- 栾日孝, 栾淑君, 2005. 中国红质藻科(Erythropeltidaceae)5个新记录种. 湛江海洋大学学报, 25(6): 1—4
- 栾日孝, 楚志广, 安利佳等, 2000. 中国点叶藻科(褐藻门)三个新记录种. 植物分类学报, 38(4): 392—397
- 栾日孝, 楚志广, 苏 乔等, 2003. 中国酸藻属(酸藻科)一新记录. 植物研究, 23(4): 396—398
- 邵 柏, 2001. 加强入境船舶压舱水管理的新观念. 中国国境卫生检疫杂志, 24(1): 39—42
- 隋锡林, 孙景伟, 王富贵等, 2002. 大连沿海太平洋牡蛎大量死亡原因解析. 大连水产学院学报, 17(4): 272—278
- Agardh J G, 1852. Species, Genera et Ordines Algarum, Seu Descriptiones Succinctae Specierum, Generum et Ordinum, Quibus Algarum Regnum Constituitur. Lund: C.W.K. Gleerup, 337—720
- Ballantine D L, Lozada-Troche C, 2008. *Champia harveyana* sp. nov. (Champiaceae, Rhodophyta) from Puerto Rico, Caribbean Sea. Caribbean Sea, 51(5): 388—398
- Chust G, Caballero A, Marcos M *et al*, 2010. Regional scenarios of sea level rise and impacts on Basque (Bay of Biscay) coastal habitats, throughout the 21st century. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 87(1): 113—124
- Dawson E Y, 1941. A review of the genus *Rhodymenia* with descriptions of new species. Allan Hancock Pacific Expeditions, 3(8): 123
- Filloramo G V, Saunders G W, 2016. Application of multigene phylogenetics and site-stripping to resolve intraordinal relationships in the Rhodymeniales (Rhodophyta). Journal of Phycology, 52(3): 339—355
- Gavio B, Fredericq S, 2003. *Botryocladia caraibica* (Rhodymeniales, Rhodophyta), a new species from the Caribbean. Cryptogamie Algologie, 24(2): 93—106
- Gavio B, Fredericq S, 2005. New Species and new records of offshore members of the Rhodymeniales (Rhodophyta) in the Northern gulf of Mexico. Gulf of Mexico Science, 23(1): 58—83
- Klochkova N G, Korolyova T N, Kusidi A E, 2009. Atlas of marine algae of Kamchatka and surrounding areas. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO Press, 2: 186—187
- Lozada-Troche C A, Ballantine D L, 2010. Observations on morphology and the taxonomic affiliation of *Coelothrix irregularis* (Harv.) Borgesen (Rhodymeniales, Rhodophyta). Caribbean Journal of Science, 46(1): 71—82
- Milstein S, Oliveira E C, Oliveria M C *et al*, 2012. Will a DNA barcoding approach be useful to identify *Porphyra* species (Bangiales, Rhodophyta)? Journal of Applied Phycology, 24(4): 837—845
- Mineur F, Clerck O D, Le Roux A *et al*, 2010. *Polyopes lancifolius* (Halymeniales, Rhodophyta), a new component of the Japanese marine flora introduced to Europe. Phycologia, 49(1): 86—96
- Nicholls R J, Cazenave A, 2010. Sea-level rise and its impact on coastal zones. Science, 328(5985): 1517—1520
- Postels A, Ruprecht F J, 1840. Illustrationes algarum in itinere circum orbem jussu imperatoris Nicolai I. Typis Eduardi Pratz, Petropoli [St. Petersburg], pp. [i—vi]+ [i]+ iv + 28. [1—2, index], [Latin:] [—iv], [1]—22, [1—2, index], 40 pls.
- Poulter B, Halpin P N, 2008. Raster modelling of coastal flooding from sea-level rise. Journal of Geographical Information Science, 22(2): 167—182
- Saunders G W, Strachan I M, Kraft G T, 1999. The families of the order Rhodymeniales (Rhodophyta): a molecular-systematic investigation with a description of Faucheaceae fam. nov. Phycologia, 38(1): 23—40
- Saunders G W, McDonald B, 2010. DNA barcoding reveals multiple overlooked Australian species of the red algal order Rhodymeniales (Florideophyceae), with resurrection of *Halopeltis* J. Agardh and description of *Pseudohalopeltis* gen. nov. Botany, 88(7): 639—667
- Saunders G W, 2014. Long distance kelp rafting impacts seaweed

- biogeography in the Northeast Pacific: the kelp conveyor hypothesis. *Journal of Phycology*, 50(6): 968—974
- Schmidt W E, Gurgel C F D, Fredericq S, 2016. Taxonomic Transfer of the Red Algal Genus *Gloiosaccion* to *Chrysymenia* (Rhodymeniaceae, Rhodymeniales), Including the Description of a New Species, *Chrysymenia pseudoventricosa*, for the Gulf of Mexico. *Phytotaxa*, 243(1): 54—70
- Schneider C W, Freshwater D W, Saunders G W, 2012. First report of *Halopeltis* (Rhodophyta, Rhodymeniaceae) from the non-tropical Northern Hemisphere: *H. adnata* (Okamura) comb. nov. from Korea, and *H. pellucida* sp. nov. and *H. willisii* sp. nov. from the North Atlantic. *Algae*, 27(2): 95—108
- Sherwood A R, Kurihara A, Conklin K Y *et al*, 2010. The Hawaiian Rhodophyta Biodiversity Survey (2006-2010): a summary of principal findings. *BMC Plant Biology*, 10: 258
- Sutherland J E, Lindstrom S C, Nelson W A *et al*, 2011. A new look at an ancient order: generic revision of the bangiales (Rhodophyta). *Journal of Phycology*, 47(5): 1131—1151
- Suzuki M, Hashimoto T, Nakayama T *et al*, 2010. Morphology and molecular relationships of *Leptofaucheia rhodymenioides* (Rhodymeniales, Rhodophyta), a new record for Japan. *Phycological Research*, 58(2): 116—131

MORPHOLOGICAL AND MOLECULAR STUDY ON INVASIVE MARINE RED ALGAE, *SPARLINGIA PERTUSA*

SONG Xue-Wen, LOU Yu, YI Peng, WANG Hong-Wei
(College of Life Sciences, Liaoning Normal University, Dalian 116081, China)

Abstract *Sparlingia pertusa* (Postels et Ruprecht) G. W. Saunders, I. M. Strachan et G. T. Kraft in the Family Rhodymeniaceae was discovered recently as an invasive species in Heishijiao, Dalian, Liaoning during May 2015 to July 2016. Detailed morphological structure observation, and the large subunit of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (*rbcL*) gene and the partial cytochrome c oxidase I (COI) gene sequences analysis were conducted. The thalli was erect; mature thallus height was 0.2—0.8m; red or dark reddish brown; the hole with different sizes on the surface; cortex consisting of 2—3 layers of small cells and medulla of 3—5 layers of large oblong cells. The *rbcL* gene shows no sequence divergence among all our six samples of *S. pertusa* and sequence from Japan, except for only a 1 bp (0.98%) divergence as intraspecific difference between our specimens and those from USA and Canada. In addition, the COI gene shows no sequence divergence between our samples and Canadian ones. Both the species *S. pertusa* and the genus *Sparlingia* G. W. Saunders, I. M. Strachan et G. T. Kraft are the first record in China. We infer that this species was brought in with a ship ballast water like other marine economic species did, e.g., *Crassostrea gigas* and *Pecten yessoensis*.

Key words foreign species; red algae; *Sparlingia pertusa*; morphological observations; biomolecular analysis