

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2013.01.003

谢伟东, 朱栗琼, 招礼军, 等. 广西三种主要海草的茎叶解剖结构研究[J]. 广西植物, 2013, 33(1): 25–29

Xie WD, Zhu LQ, Zhao LJ, et al. Stem and leaf anatomical structures of three seagrass species in Guangxi[J]. *Guihaia*, 2013, 33(1): 25–29

广西三种主要海草的茎叶解剖结构研究

谢伟东¹, 朱栗琼¹, 招礼军¹, 邱广龙^{2,3}, 范航清^{1,2,3*}

(1. 广西大学 林学院, 南宁 530004; 2. 广西科学院 广西红树林研究中心, 广西 北海 536000; 3. 广西红树林保护重点实验室, 广西 北海 536000)

摘要: 利用光学显微镜观察了分布于广西北部湾沿岸的三种主要海草(矮大叶藻、二药藻和喜盐草)的茎叶解剖构造。结果表明:(1)三种海草的叶片结构和根状茎均有发达的气腔组织,叶肉及皮层细胞数量较少,且胞间隙明显;(2)叶肉及皮层中夹杂有纤维群,皮层薄壁细胞均有不同程度的木质化现象;(3)维管束结构简化,主要起机械支持作用而非输导功能。这些特征反映出矮大叶藻、二药藻和喜盐草对海洋环境中海浪和潮汐冲击、光等胁迫的高度适应。

关键词: 海草; 根状茎; 叶; 解剖结构; 生态适应

中图分类号: Q174 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2013)01-0025-05

Stem and leaf anatomical structures of three seagrass species in Guangxi

XIE Wei-Dong¹, ZHU Li-Qiong¹, ZHAO Li-Jun¹,
QIU Guang-Long^{2,3}, FAN Hang-Qing^{1,2,3*}

(1. College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. Guangxi Mangrove Research Centre, Guangxi Sciences of Academy, Beihai 536000, China; 3. Guangxi Key Laboratory for Mangrove Conservation, Beihai 536000, China)

Abstract: Under optical microscope, the anatomical observations were made on the rhizomes and leaves of *Zostera japonica*, *Halodule uninervis* and *Halophila ovalis*. The results were as followed: (1) well-developed aerenchymae and distinct intercellular space were found both at the rhizomes and leaves structure in all three seagrass species, while mesophylls and cortical cells were less compared to the general terrestrial plants; (2) fiber clusters were found between mesophylls and cortices, and lignified parenchyma cells were also found inside cortices; (3) the structures of vascular bundles, playing a role of mechanical support rather than conducting tissue, were simplified. The anatomical structure of leaf and rhizome in these seagrass species reflected their greatly ecological adaptability to the surrounding high-wave and low-light habitat.

Key words: seagrasses; rhizome; leaf; anatomical structure; ecological adaptability

植物受外界生态环境的影响, 逐渐演化出各种各样的形态与结构来适应其生存的特定环境。植物

与环境、结构与功能之间的辩证统一是植物抗性研究的指导原则, 因此对植物形态结构特征的研究往

* 收稿日期: 2012-09-29 修回日期: 2012-11-06

基金项目: 广西自然科学基金(桂科基 0832030); 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科能 0992028-6); 海洋公益性行业科研专项(201005012); 广西科学院基本科研业务费(09 YJ17HS04)

作者简介: 谢伟东(1964-), 男, 广西博白县人, 博士, 副教授, (E-mail) xiexiegx@163.com。

* 通讯作者: 范航清, 博士, 研究员, 首席科学家, (E-mail) fanhq666@126.com。

往是揭示植物抗性机理的重要基础。海草是生活于热带和温带浅海中的单子叶高等植物,它能在海水环境中完成整个生活史,主要分布在河口、海湾潮间带湿地和潮下带浅水中(Green *et al.*, 2003)。全世界的海草包括 12 个属,其中我国分布有 8 属(范航清等,2009)。den Hartog & Yang(1990)首次对中国的 15 种海草植物(其中 8 种海草为首次记录)的分类特征进行了汇总分析,而范航清等(2009)再次对我国海草植物的分类系统进行梳理,归纳了我国 20 种海草的分类特征。广西的海草床主要分布在合浦附近海域和珍珠港海域等,主要种类有喜盐草(*Halophila ovalis*)、二药藻(*Halodule uninervis*)和日本大叶藻(即矮大叶藻,*Zostera japonica*)等 4 种海草(Huang *et al.*, 2006; 范航清等,2011)。喜盐草隶属水鳖科(Hydrocharitaceae)喜盐草属(*Halophila*),二药藻隶属海神草科(*Cymodoceaceae*)二药藻属(*Halodule*),矮大叶藻隶属大叶藻科(*Zosteraceae*)大叶藻属(*Zostera*)。由于海草的生活环境是一个高盐、相对缺氧而又频受波浪与潮汐干扰的环境,在形态结构方面,海草植物与一般的陆生单子叶植物或淡水沉水单子叶植物相比,亦有其特别的形态结构。例如,海草的单位面积的叶片重量(LMA)比淡水植物的普遍较高(Cambridge *et al.*, 1998);通气组织发达,维管组织退化等(中国湿地植被编辑委员会,1999)。

早在 19 世纪末,Sauvageau(1890,1891)对海草营养器官的解剖结构进行了较详细的描述,是海草形态与解剖学研究的开拓者。此后,den Hartog(1970)、Tomlinson(1980)和 Kuo(1978a, b, 1988, 1995)等对海草形态学与解剖学研究的推动做出了较大的贡献。中国在海草研究方面起步较晚,且大部分的海草研究集中在生态学研究领域(杨宗岱,1982;韩秋影等,2008;张景平等,2008),对海草解剖结构方面的研究鲜有报道。现有研究仅报道了热带种泰来草(*Thalassia hemprichii*)、海神草(*Cymodocea rotundata*)与温带种大叶藻(*Zostera marina*)

的显微结构与超微结构(于函等,2009;王林桂,2010;原永党等,2010),但对于亚热带分布较广的喜盐草、二药藻和矮大叶藻三种海草目前尚未见有文献报道。亚热带海草形态解剖结构认知的缺乏严重阻碍了所在区海草系统分类学的发展,同时也成了从结构与机理上解释海草抗性的一大瓶颈。本文通过对广西的矮大叶藻、二药藻和喜盐草三种海草的茎叶显微结构进行对比分析,试图进一步揭示海草植物的海洋沉水生活适应性结构特征以及环境的适应性,为海草的生物学、生态学和生理学等研究提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 材料的选取及处理方法

于 2010 年 8 月根据要求在广西北海竹林海滩(21°26.02' N, 109°16.90' E)采集矮大叶藻、二药藻和喜盐草整株植物体若干,马上置于 FAA 固定液中保存。制片:随机取成熟叶片及茎段各 30,剪取叶片中部材料 1 cm×1 cm,茎段约 1 cm,石蜡制片法切片,切片厚 10~15 μm,酒精脱水,TO 生物制片剂透明,番红-固绿对染,加拿大树胶封藏(李正理,1996)。

1.2 观测指标及方法

Nikon E100 显微镜观察拍片,JD801 图像分析软件测定,所有测量数据均为 30 个视野的平均值。观测指标包括:叶片厚度、主脉厚度(喜盐草)、维管束厚、表皮细胞厚度、气腔周长及面积,茎半径、维管束直径等。

1.3 数据处理

实验数据的处理采用 Excel 2003 完成。

2 结果与分析

三种海草的叶片横切面解剖构造和根状茎横切面解剖构造分别见表 1 和表 2。

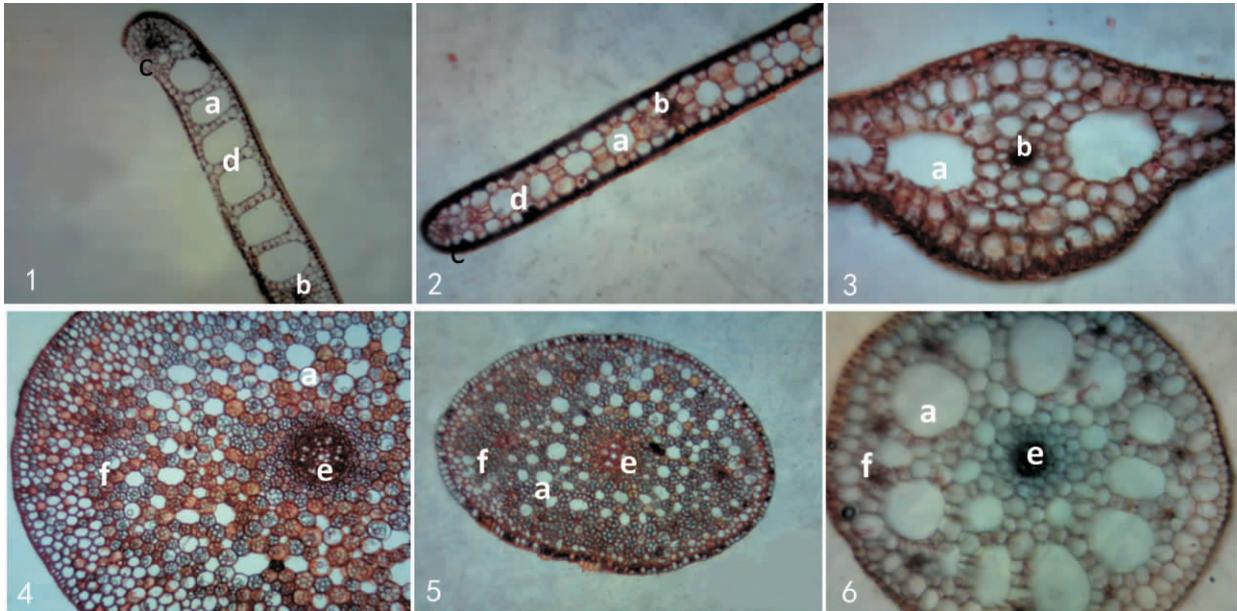
表 1 三种海草的叶片横切面解剖构造

Table 1 Leaf anatomical structures of transverse section in three seagrass species

海草种类 Seagrass species	表皮厚 (μm) Thickness of epidermis	叶片厚 Thickness of leaf (μm)	主脉厚 Thickness of midvein (μm)	维管束厚 (μm) Thickness of vascular bundle	气腔周长 Perimeter of air space (μm)	气腔面积 Area of air space (μm ²)
喜盐草 <i>Halophila ovalis</i>	36.90±6.90	113.21±37.30	895.32±54.83	103.62±16.98	996.11±140.32	66834.63±17920.85
二药藻 <i>Halodule uninervis</i>	25.53±6.82	210.91±16.68	—	90.92±10.44	303.66±50.37	6119.17±1977.95
矮大叶藻 <i>Zostera japonica</i>	19.71±3.35	244.21±25.32	—	82.45±21.31	489.48±42.52	16685.53±3270.35

表 2 三种海草的根状茎横切面解剖构造
Table 2 Rhizome anatomical structures of transverse section in three seagrass species

海草种类 Seagrass species	茎直径 Diameter of rhizome (μm)	表皮厚度 Thickness of epidermis (μm)	中心维管束直径 Diameter of centric vascular bundle (μm)	气腔周长 Perimeter of air space (μm)	气腔面积 Area of air space (μm^2)
喜盐草 <i>Halophila ovalis</i>	1379.24 \pm 98.29	38.64 \pm 14.76	111.96 \pm 38.46	634.75 \pm 152.50	30025.33 \pm 14099.21
二药藻 <i>Halodule uninervis</i>	996.00 \pm 184.02	28.26 \pm 3.45	119.68 \pm 30.17	146.06 \pm 32.36	1430.02 \pm 631.73
矮大叶藻 <i>Zostera japonica</i>	1836.80 \pm 387.99	22.69 \pm 6.45	132.93 \pm 48.02	139.46 \pm 58.06	1565.49 \pm 1427.73



图版 I 三种海草叶片和茎的横切面解剖构造 1. 矮大叶藻叶横切面($\times 100$); 2. 二药藻叶横切面($\times 100$); 3. 喜盐草叶横切面($\times 100$); 4. 矮大叶藻茎横切面($\times 100$); 5. 二药藻茎横切面($\times 100$); 6. 喜盐草茎横切面($\times 100$)。a: 气腔; b: 主脉; c: 侧脉; d: 叶肉; e: 茎中心维管束; f: 皮层。

Plate I Stem and leaf anatomical structures of transverse section in three seagrass species 1. Leaf transverse section of *Zostera japonica* under microscope ($\times 100$); 2. Leaf transverse section of *Halodule uninervis* under microscope ($\times 100$); 3. Leaf transverse section of *Halophila ovalis* under microscope ($\times 40$); 4. Rhizome transverse section of *Zostera japonica* under microscope ($\times 100$); 5. Rhizome transverse section of *Halodule uninervis* under microscope ($\times 100$); 6. Rhizome transverse section of *Halophila ovalis* under microscope ($\times 100$). a: air space; b: mid-vein; c: lateral vein; d: mesophyll; e: centric vascular bundle of rhizome; f: cortex.

2.1 三种海草的叶解剖构造

矮大叶藻的叶片构造由表皮、叶肉、叶脉及大型气腔组成。从图版 I : 1 可以看出, 其上下表皮细胞各一层, 无明显区别, 但细胞壁较厚, 内存在较多的叶绿体, 同时经番红染色后原生质体呈现深红色, 表明其异质性显著, 含有特殊成分, 具旺盛的代谢活动。叶肉组织位于上、下表皮之间, 但被几个大型气腔分隔开, 紧贴表皮各一层外, 在相邻的气腔之间各有一列, 均为薄壁的同化组织, 含少量叶绿体。气腔排列整齐, 中间叶脉两边各有 5~7 个, 在近边缘脉处一般还分布着 2 个小的气腔。矮大叶藻的叶脉为平行脉, 即维管束共 3 条, 叶中部一条较粗大, 近叶缘处各一条, 稍小, 均埋于叶肉中不突出叶表。维管束结构较简单, 主要由少量纤维包围几个小型的薄

壁细胞紧密结合在一起构成, 此外, 在叶缘处的两条叶脉四周及各气腔之间的角隅处还分布有簇状纤维。在矮大叶藻的叶片构造中最显著的就是中脉两侧各 5~7 个一字排开的呈矩形的大型气腔, 在近边缘脉处一般还分布着 2 个小的气腔, 气腔占据了叶面积的近 2/3。

二药藻叶片的形态、构造与矮大叶藻的相似(图版 I : 2)。二者叶片结构上的差异主要体现在二药藻叶片上的气腔呈近圆形, 而矮大叶藻的是矩形, 气腔所占据叶横切面积后者明显要多; 另外, 二药藻位于相邻气腔间的叶肉细胞, 在形态上比矮大叶藻同一位置的细胞大; 再者, 二药藻缺乏矮大叶藻叶中的簇状纤维。喜盐草叶片横切面上由于主脉粗大, 中间明显增厚, 两端渐次变薄, 到边缘脉处再次变厚,

但无主脉处厚,然后再次变薄(图版 I:3)。叶片由表皮、叶肉及维管束组成。表皮也无上下表皮的区别,近方形,外向壁增厚。叶肉只存在叶片中主脉附近,叶肉细胞近圆形或椭圆形,胞间隙明显,而在叶片较薄的区域仅有两层表皮细胞,无叶肉组织。喜盐草的主脉粗大,向叶的两面突出,主脉处的表皮细胞下各有 3 层胞间隙明显的薄壁细胞,中间是维管束,维管束外围有一圈由薄壁细胞组成的花环状结构,类似 C₄ 植物的维管束鞘。喜盐草叶片横切面上看到的大型气腔分布于主脉维管束两侧,分别有一大一小两个不规则形气腔。

2.2 三种海草的根状茎解剖构造

从矮大叶藻根状茎的横切面图(图版 I:4)上可以看到呈椭圆形,由表皮、皮层及维管束 3 部分组成。表皮为一层厚壁细胞,横切面上看为椭圆形,长轴指向圆中心。皮层由外皮层、中间皮层及内皮层三部分组成,外皮层是 5~7 层厚角组织,细胞大小不一,但结构紧密,厚角细胞之间夹杂有大量纤维;中间皮层属于薄壁组织,细胞壁薄、胞间间隙明显,含大量淀粉粒;内皮层细胞排列紧凑、无胞间隙。矮大叶藻根状茎的维管束分 2 种,即中心大维管束及小维管束。大维管束位于茎中心位置,近圆形,由维管束鞘、厚壁细胞、木化的薄壁细胞组成;小维管束在皮层的厚角组织与薄壁组织交接处,6~7 束,环绕中心维管束,主要由几个木化的薄壁细胞形成。矮大叶藻根状茎的横切面上可以看到在中部皮层及中心维管束分布有许多气腔,中部皮层的气腔随机分布,呈多角形,形态上较中心维管束的气腔大,中心维管束的正中心有一个气腔,在其与维管束鞘之间还环绕一圈小型气腔。

二药藻的根状茎横切面呈长椭圆形(图版 I:5),由表皮、皮层及维管束构成。表皮细胞近长椭圆形,长轴指向圆中心,排列紧密,内向壁明显增厚。皮层由外皮层、中间皮层及内皮层三部分组成,外皮层是 1~2 层厚角组织,细胞大小不一,但结构紧密;中间皮层属于薄壁组织,细胞壁薄、胞间间隙明显,含大量淀粉粒;内皮层细胞排列紧凑,无胞间隙,细胞壁已木化。维管束分 2 种,即中心大维管束及分散于皮层中的小维管束。大维管束位于茎中心位置,近圆形;小维管束在皮层近中间位置分散分布,环绕中心维管束。二药藻根状茎的维管束的结构均较简单,由一群木化的薄壁细胞组成,维管束的大小只是组成的木化薄壁细胞的数量及大小的区别而

已。在二药藻的根状茎横切面上还有一个明显的特征,就是气腔较多,除在中间皮层呈近 3 环同心圆状排列的气腔外,在中心维管束中还存在 5~6 个较小的气腔,较均匀地分布在木薄壁细胞中。

从喜盐草的根状茎横切面上看近圆形(图版 I:6),同样由表皮、皮层及维管束组成。表皮细胞近等径,较小,壁薄,排列紧密。皮层分为 3 层,外皮层仅 1 层薄壁细胞,该层细胞形态较大,无胞间隙;中间皮层占据大部分面积,细胞大小不一,但均由薄壁细胞组成,胞间隙明显;内皮层细胞比较小,排列紧密,并且有轻微的木化。喜盐草的根状茎的维管组织也分 2 种,一种是居于茎正中的大维管束,主要由厚角组织构成,另一种是位于皮层中的木化细胞群。喜盐草的根状茎上的气腔与上述两者明显不同,在皮层中间部分均匀地分布有 2 轮同心排列的气腔,外轮气腔大,排列整齐而有规则,两相邻气腔间被一列由 3~4 个薄壁细胞组成的隔栏分开,隔栏的外侧均有几个木薄壁细胞环绕一小型气腔;内轮的气腔不仅小于外轮的,同时排列的规则性也不如外轮气腔整齐。在中心维管束中偶然可见若干个小气腔。

3 结论与讨论

由以上分析可见,三种海草的根状茎叶气腔结构都特别发达,表皮、叶肉和维管束退化;茎直立,较粗,根状茎匍匐生长于潮间带和潮下带,这都是海草在海生环境中增强自身的柔韧性和地表的附着力,减小受冲击的面积和阻力,增大氧气和二氧化碳交换能力等的适应特性。

(1)叶片表皮无上下之分,为叶片直立于水中有利;表皮上无气孔、角质层、表皮毛等附属结构,一方面是水生环境中防止大量水分通过气孔进入体内,而角质层的存在将影响其在水中弱光环境下对光的吸收,也是因为水下的弱光照的原因,使得海草的这些附属物退化,而这些附属物的退化又减弱了海草对强光照和脱水的抵御能力,使它们依赖于浸泡于海水中。另一方面附属物的存在会增加阻力和硬度,造成不必要的机械损伤。Kuo & C. den Hartog (2006)在总结其它一些种类的海草时,亦发现叶片表皮同样缺乏气孔,而对于叶片的角质层,其它一些海草种类即使存在,也相当纤薄。与另外一些海岸带盐生植物红树林不同的是,很多红树植物,如白骨壤(*Avicennia marina*)本身具有将体内盐分排出体

外的泌盐腺毛(叶子蕨等,2010),而海草植物不具有这样的泌盐结构,这大概是因为海草植物本身具有耐受盐分的结构以及机制,不需要将盐分排出体外。

(2)形大而量多的气腔和发达的胞间隙有助于海草的气体交换。无论是叶片还是根状茎中都分布有几乎贯穿于器官整体的通气组织,同时所有薄壁组织除近维管束处之外均有胞间隙,进一步加强了通气系统的功能。原永党等(2010)在对大叶藻的解剖中,亦发现组织中有较大的气道。发达的通气系统可以贮存光合作用放出的氧和呼吸作用放出的二氧化碳,形成氧和二氧化碳的“贮库”(王勋陵等,1989;Kuo & den Hartog,2006),用以弥补大气中氧和二氧化碳的不足,以避免水中缺氧对植物的伤害及光合作用中二氧化碳的缺乏(高晨光等,2000)。

(3)退化的叶肉组织及维管束,可提高机体的柔韧性,适应水生环境的需要。与海草植物不同,红树植物经常有发达的维管束,用以输送营养物质与水分以及支撑植物体(李元跃等,2006)。海草尽管没有发达的维管束,但叶片中较发达的厚角组织及纤维细胞的分布,对因大量通气组织的存在而造成的支撑能力的降低起到较强的弥补作用,这是海草植物叶片能适应于水中生长环境的主要原因。而相对于淡水植物,海草的单位面积的叶片重量(LMA)普遍较高,这是因为在海水环境中,需要经受更多更大波浪的阻力,因此需要更坚韧的叶片(Cambridge *et al.*,1998)。

参考文献:

- 范航清,邱广龙,石雅君等. 2011. 中国亚热带海草生理生态学 研究[M]. 北京:科学出版社
- 范航清,石雅君,邱广龙. 2009. 中国海草植物[M]. 北京:海洋 出版社
- 李正理. 1996. 植物组织制片学[M]. 北京:北京大学出版社
- 王勋陵,王静. 1989. 植物形态结构与环境[M]. 兰州:兰州大 学出版社
- Cambridge ML, Lambers H. 1998. Specific leaf area and functional leaf anatomy in Western Australian seagrasses[M]//Lambers H, Poorter H, van Vuuren MMI (eds). Inherent variation in plant growth. Physiological mechanisms and ecological consequences. Leiden; the Netherlands; Backhuys Publishers; 89-99
- den Hartog C. 1970. The Sea-grasses of the World[M]. Amsterdam; North Holland.
- den Hartog C, Yang ZD. 1990. A catalogue of the seagrasses of China[J]. *Chin J Oceanol Limnol*, **8**:74-91
- Gao CG(高晨光), Chu JH(初敬华), Zhu QG(朱秋广). 2000. The research in the vivisection structure and the adaption mechanism of the vegetative organs of the *Hippuris vulgaris* L.(杉叶藻营养器官的解剖构造及适应机理的研究)[J]. *Songliao J: Nat Sci Edit*(松辽学刊·自然科学版), **5**:27-29
- Green EP, Short FT. 2003. World atlas of seagrasses[M]. Prepared by the UNEP World Conservation Monitoring Centre, Berkeley, USA; University of California Press; 289
- Han QY(韩秋影), Huang XP(黄小平), Shi P(施平), *et al.*. 2008. Eco-compensation of seagrass demonstration area in Hepu in Guangxi(广西合浦海草示范区的生态补偿机制)[J]. *Mar Environ Sci*(海洋环境科学), **27**(3):283-286
- Huang XP, Huang LM, Li YH, *et al.* 2006. The main seagrass beds and their threats in South China coastal[J]. *Chinese Sci Bull*, **52**:114-119
- Kuo J, Aioi K, Iizumi H. 1988. Comparative leaf structure and its functional significance in *Phyllospadix iwatensis* Makino and *Phyllospadix japonicus* Makino(Zosteraceae)[J]. *Aquat Bot*, **30**:169-187
- Kuo J. 1978a. Morphology, anatomy and histochemistry of the Australian seagrasses of the genus *Posidonia* König (posidoniaceae). I. Leaf blade and leaf sheath of *Posidonia australis* hook F [J]. *Aquat Bot*, **5**:171-190
- Kuo J, Cambridge ML. 1978b. Morphology, anatomy and histochemistry of the Australian seagrasses of the genus *Posidonia* König(posidoniaceae). II. Rhizome and root of *Posidonia australis* Hook. f. [J]. *Aquatic Bot*, **5**:191-206
- Kuo J, den Hartog C. 2006. Seagrass morphology, anatomy, and ultrastructure[M]//Larkum AWD(ed). Seagrasses: biology, ecology and conservation. Springer; Dordrecht; 51-87
- Kuo J, Stewart JG. 1995. Leaf anatomy and ultrastructure of the north American marine angiosperm *Phyllospadix*(Zosteraceae)[J]. *Can J Bot*, **73**:827-842
- Li YY(李元跃), Lin P(林鹏). 2006. Leaf structure and its ecological adaptability in three species of mangroves (3种红树植物叶片结构及其生态适应)[J]. *Mar Sci*(海洋科学), **30**(7):53-56
- Phillips RC, Meneze G. 1988. Seagrass[M]. Washington DC: Smithsonian Institution Press; 32-33
- Tomlinson PB. 1980. Leaf morphology and anatomy in seagrasses [M]//Phillips RC, McRoy CP(eds). A Handbook of Seagrass Biology. New York; Garland STEPM Press; 7-28
- Wang LG(王林桂). 2010. Histological study on vegetative organs of *Thalassia hemprichii* and *Cymodocea rotundata*(泰来草和海神草营养器官的组织学研究)[D]. Haikou: Hainan University (海口:海南大学)
- Yang ZD(杨宗岱). 1982. Seagrass ecological research in China (中国海草的生态学研究)[J]. *Mar Sci*(海洋科学), **2**:32-37
- Ye ZW(叶子蕨), Yan MT(严慕婷), Ye CX(叶创兴), *et al.*. 2010. Leaf structure of *Avicennia marina* and its ecological adaptability(红树植物白骨壤叶片的解剖结构及其生态适应性)[J]. *Guihaia*(广西植物), **30**(2):174-176
- Yu H(于函), Ma YH(马有会), Zhang Y(张岩), *et al.* 2009. Study on anatomy structure and ultrastructure of eelgrass *Zostera marina* L. inflorescence(大叶藻花序的解剖结构及超显微结构)[J]. *Prog Fishery Sci*(渔业科学进展), **30**(3):131-134
- Yuan YD(原永党), Song ZC(宋宗诚), Guo CL(郭长禄), *et al.* 2010. Morphological characters and microstructure of *Zostera marina*(大叶藻形态特征与显微结构)[J]. *Trans Oceanol Limnol*(海洋湖沼通报), (3):73-78