

波缘水蕹，中国水蕹科一新记录种

何松¹, 胡艳华², 刘琴², 张锐³, 郑希龙⁴, 吴磊^{2*}

(1. 海口市湿地保护管理中心, 海口 570135; 2. 中南林业科技大学林学院, 长沙 410004; 3. 中国科学院上海辰山植物科学研究中心, 上海 201602; 4. 广东药科大学中药资源学院, 广州 510006)

摘要: 基于形态学和分子系统学研究报道了中国水蕹科(Aponogetonaceae)一新记录种: 波缘水蕹(*Aponogeton undulatus* Roxb.), 该种与水蕹(*A. lakhonensis*)相似, 但区别在于叶片边缘明显波状, 基部多为楔形。结合相关资料和标本研究, 对该种的形态特征进行了描述并提供了彩色照片。

关键词: 水蕹属; 湿地; 水生植物; 海南; 新记录

doi: 10.11926/jtsb.4317

Aponogeton undulatus Roxb., A Newly Recorded Species of Aponogetonaceae from China

HE Song¹, HU Yan-hua², LIU Qin², ZHANG Rui³, ZHENG Xi-long⁴, WU Lei^{2*}

(1. Haikou Wetland Protection and Management Center, Haikou 570135, China; 2. College of Forestry, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China; 3. Shanghai Chenshan Plant Science Research Center, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201602, China; 4. School of Traditional Chinese Medicine Resources, Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Based on morphological and molecular evidences, *Aponogeton undulatus* Roxb., discovered in Hainan Province, is reported as a newly recorded species of Aponogetonaceae from China. It is similar to *A. lakhonensis* A. Camus, but differs by its leaf blade undulate at margin and cuneate at base. Additionally, a detailed description and color photographs are provided herein.

Key words: *Aponogeton*; Wetland; Aquatic plant; Hainan; New record

水蕹属(*Aponogeton* L. f.)隶属于水蕹科(Aponogetonaceae), 全世界约有 57 种, 分布于亚洲、非洲和大洋洲, 其中非洲热带种类最为丰富, 约有 33 种^[1-3]。该属植物均为多年生草本, 且为淡水生, 由于姿态优美, 多数种类作为观赏水草被广泛栽培于水族馆或鱼缸中^[2]。到目前为止, 中国仅记载 1 种水蕹(*A. lakhonensis* A. Camus), 产中国东南部各省区, 常生于浅水塘、溪沟及蓄水稻田中^[4-5]。

2019 年 11 月, 笔者在考察海南湿地植物时, 在定安县龙门镇岭架村附近的淡水河中发现 1 种未知的沉水植物居群。该植物外形及习性与水蕹相似, 均为淡水草本, 有卵球形的根茎和草质的披针形叶

片, 且叶片上具有平行脉和较多的次级横脉。但二者的叶片边缘及叶基明显不同, 前者叶片边缘明显波状, 基部多为楔形, 而后者叶片全缘, 不呈波状, 基部多为钝或微心形。之后, 笔者对该居群进行跟踪观察并引种 10 株至上海辰山植物园, 但至今未观察到花果。鉴于此, 笔者进一步开展了形态学和分子系统学研究, 以期确定该种植物的名实问题。

1 材料和方法

1.1 材料

材料采自海南省定安县龙门镇岭架村附近的

收稿日期: 2020-10-09

接受日期: 2020-11-23

基金项目: 海口市林业局资助项目(HNJC2019-0801)资助

This work was supported by the Haikou Forestry Bureau (Grant No. HNJC2019-0801).

作者简介: 何松(1967~), 男, 本科, 林业工程师, 主要从事湿地保护工作。E-mail: 1209947117@qq.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: wuleibk@163.com

淡水河中。野外观察和测量了 30 株个体的形态特征,用于形态学比较研究,并引种了 10 株至上海辰山植物园。采集 2 株植物完好的叶片,用硅胶干燥,置于-20℃冰箱保存,用于分子试验。凭证标本(严岳鸿等 Fern08117 和严岳鸿等 Fern08120)保存在上海辰山植物园(CFS)。

1.2 DNA 的提取、PCR 扩增和测序

DNA 的提取采用 CTAB 法^[6],将提取的 DNA 产物溶于 TE 缓冲液中,并保存在-20℃冰箱中备用。参照 Tamura 等^[7]的方法,对叶绿体 *rbcL* 基因序列进行扩增,采用 Shinwari 等设计的引物^[8],扩增程序为:95℃预变性 2 min;然后 95℃变性 30 s,

50℃退火 30 s,72℃延伸 30 s,共 25 个循环;最后 72℃延伸 5 min。PCR 产物送至生工生物工程(上海)股份有限公司进行 CE 测序(sanger 测序)。

1.3 数据统计和分析

将所得序列在 GenBank 数据库中进行比对,结果表明与水蓼属的一些种类相似度最高。因此,根据 Donald 等^[9]的方法,从 GenBank 中下载水蓼属物种及外类群水牛膝(*Tetroncium magellanicum* Willd.)和 *Cycnogeton procerum* (R. Br.) Buchenau 的相关序列(表 1),利用最大简约法(maximum parsimony, MP)和贝叶斯法(Bayes inference, BI)构建系统发育树。

表 1 来自 GenBank 的水蓼属物种和外类群的 *rbcL* 序列登录号

Table 1 Accession No. of *rbcL* sequences of *Aponogeton* and outgroups downloaded from GenBank

物种 Species	凭证标本 Voucher	登录号 Accession No.	物种 Species	凭证标本 Voucher	登录号 Accession No.
<i>Aponogeton undulates</i> (1)	van Bruggen s. n. (CONN)	HQ456524	<i>A. junceus</i>	Viljoen s. n. (CONN)	HQ456514
<i>A. undulates</i> (2)	Les 564 (NSW)	HQ456522	<i>A. hexatepalus</i>	Sainty 434337 (NSW)	HQ456513
<i>A. distachyos</i> (1)	—	KM360640	<i>A. eurypermus</i>	Jacobs 8839 (NSW)	HQ456512
<i>A. distachyos</i> (2)	—	HQ901579	<i>A. decaryi</i>	Eggers s. n. (CONN)	HQ456511
<i>A. distachyos</i> (3)	Les s. n. (CONN)	U80684	<i>A. capuronii</i>	van Bruggen s. n. (CONN)	HQ456510
<i>A. fenestralis</i>	Kasselmann s. n. (CONN)	AB088808	<i>A. bullosus</i>	Les 595 (NSW)	HQ456509
<i>A. proliferus</i>	Les 549 (NSW)	HQ456518	<i>A. boivinianus</i>	van Bruggen s. n. (CONN)	HQ456508
<i>A. vanbruggenii</i>	Les 568 (NSW)	HQ456525	<i>A. crispus</i>	C-114 (C)	DQ859162
<i>A. robinsonii</i>	Bogner 2905 (M)	HQ456521	<i>A. elongates</i> (1)	Les s. n. (CONN)	U80683
<i>A. rigidifolius</i>	Les 555 (NSW)	HQ456520	<i>A. elongates</i> (2)	Les s. n. (CONN)	U68091
<i>A. queenslandicus</i>	Les 550 (NSW)	HQ456519	<i>A. lakhonensis</i>	—	KX527459
<i>A. madagascariensis</i>	Les 562 (NSW)	HQ456517	<i>A. fenestralis</i>	Kasselmann s. n. (CONN)	AB088779
<i>A. longiplumulosus</i>	Les 560 (NSW)	HQ456516	<i>Tetroncium magellanicum</i>	A. Vogel s. n. (MJG)	GQ452337
<i>A. lancesmithii</i>	Les 590 (NSW)	HQ456515	<i>Cycnogeton procerum</i>	—	KF632854

—: 无标本信息。

—: No specimen information.

最大简约法运用 PAUP4.0b^[10]软件,所有位点权重相同,序列随机添加,进行启发式搜索运算 1 000 次,采用分支交换算法(tree bisection-reconnection, TBR),保存所有步长相等的树,得到严格一致树。自展分析重复 1 000 次,每次随机添加 10 个序列重复,每次重复取样保存 100 棵树(nchuck=15; chuck score=5)。贝叶斯分析运用软件 MrBayes 3.2 X86^[11]。在贝叶斯分析之前,使用 Jmodeltest 2.1 软件上对各个 DNA 片段的核算替代模型(models of nucleotide substitution)进行估算,利用 Akaike 信息标准(akaike information criterion, AIC)来检测模型的拟合情况得到供贝叶斯分析的最佳核酸替代模型为 GTR+G^[12]。

在贝叶斯分析法时,采用马尔可夫链蒙特卡洛方法(Markov chain Monte Carlo, MCMC)基于最适合的模型用 3 条热链和 1 条冷链对每个数据组进行 300 万代的平行运算,每 100 代保存 1 棵树,直至 SDSF 值降至 0.01 以下,起始 25%的样本作为舍弃样本(burn-in sample)的树,用达到稳定状态后的树来计算贝叶斯后验支持率(posterior probabilities, PP)。

2 结果和分析

基于叶绿体 *rbcL* 基因片段的数据矩阵包含了 29 条序列,比对后的序列长 933 bp,其中变异位点

94 个, 简约信息位点 45 个, 保守位点 839 个。基于 *rbcL* 序列片段利用最大简约法和贝叶斯分析法构建系统发育树, 其拓扑结构一致, 但最大简约法构建的系统发育树中多数分支的支持率偏低(图 1)。

系统发育树表明, 本研究的所有水蕹属植物(包括本研究的 2 个个体)均聚为一支, 组成单系(BS=100%; PP=1.00), 说明定安县的这个水生植物居群系水蕹属植物。其中, 水蕹与 *A. euryspermus* Hellq.

& S. W. L. Jacobs、*A. elongatus* F. Muell. ex Benth、*A. bullosus* H. Bruggen、*A. lancesmithii* Hellq. & S. W. L. Jacobs、*A. queenslandicus* H. Bruggen 和 *A. proliferus* Hellq. & S. W. L. Jacob. 形成 1 个具有较高支持率的分支(BS=83%; PP=1.00), 而本研究采集的 2 株个体与 *A. undulatus* Roxb. 聚为一支(BS=83%; PP=1.00), 说明其与 *A. undulatus* Roxb. 关系较近, 而与水蕹关系更远。

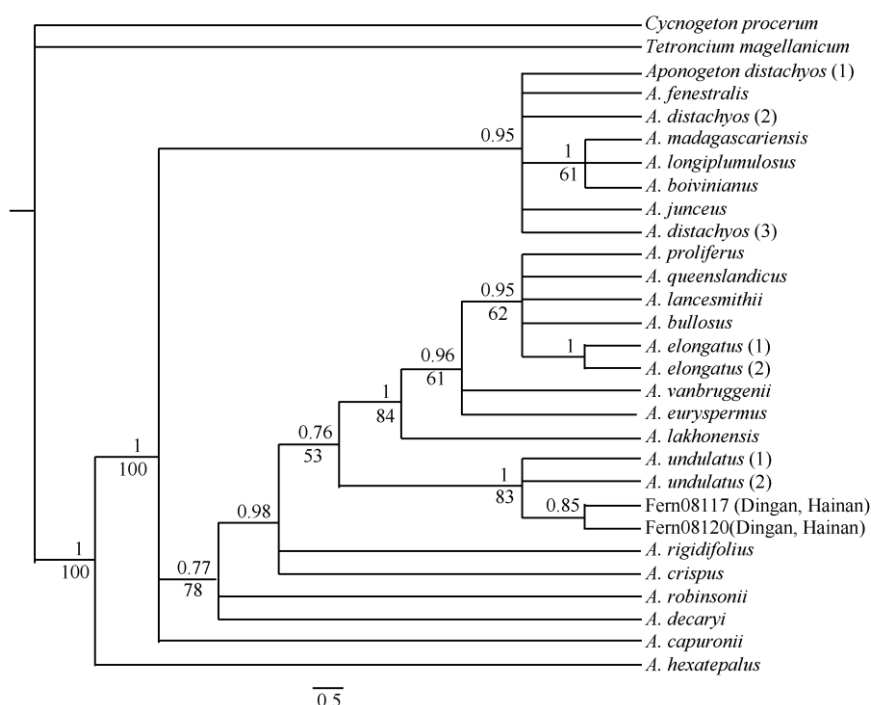


图 1 基于叶绿体片段 *rbcL* 构建的贝叶斯树。分支上、下的数字分别代表贝叶斯后验概率(PP)和似然性分析的自展值(仅标注 BS≥50 的值)。

Fig. 1 Phylogeny based on cpDNA data of *rbcL* sequences. Numbers above and below branches represent posterior probability of Bayesian analysis and bootstrap values more than 50% from maximum-likelihood analysis, respectively.

从形态上看, 定安县采集的植株外形与水蕹相似, 但前者叶片边缘明显波状, 基部多为楔形(图 2: B, C), 与后者明显不同^[1,4-5], 而与 *A. undulatus* Roxb. 和 *A. stachyosporus* de Wit 一致。进一步研究还发现, 定安县采集的植株体上有一些类似花序梗的顶端具有繁殖体(图 2: C, D), 这个结构也与 *A. undulatus* Roxb. 的模式标本(图 3: A)和 *A. stachyosporus* de Wit 的等模式标本一致(图 3: B)。 *A. stachyosporus* 已被并入 *A. undulatus* 的 1 个异名^[1,13]。因此, 鉴于形态学和分子系统学的研究结果, 我们认为, 在海南定安县发现的这种水生草本植物系水蕹属的 *A. undulatus*, 为中国首次记录, 亦为最北的分布记录。

3 分类处理

波缘水蕹 新拟

Aponogeton undulatus Roxb., Hort. Beng. 26, 1814, nom. inval. et Fl. Ind. 2: 21. 1832; Bruggen, Blumea 18(2): 465. 1970; Cook, Aquat. Wetl. Pl. India 49. 1996; Yadav & Gaikwad, Bull. Bot. Surv. India 45: 66. 2003; Bhat, Fl. South Canara 81. 2014; Biju et al., Int. J. Curr. Adv. Res. 8: 5261. 2017.

多年生水生草本。块茎卵球形或圆柱形, 1~2 cm×1~1.5 cm, 下部有许多纤维状的须根。叶沉没水中或漂浮水面, 草质; 叶柄呈钝三角形, 沉水的叶柄长 10~15 cm, 浮水的叶柄长可达 40 cm, 白



图2 波缘水蕹。A, B: 生境; C: 植株; D: 繁殖体; E: 块茎。

Fig. 2 *Aponogeton undulatus* Roxb. A, B: Habitat; C: Habit; D: Propagules; E: Tuber.

色或黄褐色，易断，无毛；叶片椭圆状披针形至狭披针形，12~20 cm×1.4~2.5 cm，基部常为楔形，有时钝，先端钝，绿色至棕绿色，边缘明显波状，平行脉4~6条，脉间由排列紧密的细叶脉连接。花葶长约20 cm，圆柱状，沉于水中；穗状花序单一，长2~10 cm；佛焰苞常宿存，长1~3 cm，草质，先端渐尖。花两性，无梗；花被片2枚，淡紫色，倒卵形至长圆状倒卵形，3~6 mm×1.6~2 mm，基部具爪，先端钝，具中脉，早落；雄蕊6枚；花丝长1.3~1.5 mm；花药近圆形，2室，纵裂；雌蕊3~6枚，离生，子房3室，每室胚珠2颗。果为蓇葖果，5~7 mm×4 mm，顶端渐狭成一外弯的短钝喙^[1]。

引证标本：海南省定安县龙门镇岭架村，2019

年11月8日，海拔73 m，严岳鸿等 Fern08117 (CSF)；同地，严岳鸿等 Fern08120 (CSF)。

生境：生长于水质良好的淡水河流中，海拔约70 m。常见伴生植物有水菜花[*Ottelia cordata* (Wall.) Dandy]、水毛茛[*Schoenoplectus mucronatus* subsp. *robustus* (Miquel) T. Koyama]、毛蕨[*Cyclosorus interruptus* (Willd.) H. Ito]和邢氏水蕨(*Ceratopteris shingii* Y. H. Yan & R. Zhang)等。

分布：中国、印度、孟加拉国、印度尼西亚、马来西亚、缅甸、泰国；中国分布新记录，见于海南。

附注：到目前为止，波缘水蕹仅发现于海南定安县龙门镇岭架村附近的河流中，随着调查的深入，应会有更多的分布点被发现(海南还分布着大量的



图3 波缘水蕹的模式标本(Roxburgh's drawing 936) (A)和 *Aponogeton stachyosporus* de Wit 的等模式标本(Sinclair SFN40652, L, barcode L0050360)(B)。箭头: 繁殖体。

Fig. 3 Type (A) of *Aponogeton undulatus* (Roxburgh's drawing 936) and isotype (B) of *A. stachyosporus* de Wit (Sinclair SFN40652, L, barcode L0050360). Arrows: Propagules.

湿地区域, 如海口羊山湿地)。

根据调查, 波缘水蕹在野外呈片状分布, 未见单株散生。同时, 在近1年持续的监测和实验室观察中均未见其开花, 但见一些类似花序梗的顶端具有繁殖体(图2: C, D)。这种特殊的繁殖现象可为其种群数量维持和扩大产生作用: 其一, 每个繁殖体都可成长为1个新个体, 这似乎可解释该种在野外呈片状分布的成因; 其二, 这些繁殖体与花序未伸出佛焰苞时的形态极其相似, 可减少真正的花序被鱼或水鸟牧食, 提高有性繁殖的几率。关于其独特的繁殖方式, Yadav等^[1]在修订印度水蕹属植物时, 亦指出该种野外或室内栽培的植株均极少开花, 主要靠营养繁殖。

湿地被称为“地球之肾”, 具有调节气候、涵养水源、保护生物多样性和维持区域生态平衡等多种功能, 生态价值巨大, 且关系着一个区域经济社会

的发展^[14]。随着人类活动的影响, 一些湿地遭到严重破坏, 湿地面积逐渐萎缩, 生境每况愈下。目前, 波缘水蕹所在湿地已经出现大量的凤眼蓝 [*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms]、大藻 (*Pistia stratiotes* L.) 等外来入侵植株, 如果不及时控制或清理, 包括波缘水蕹在内的其他本土水生植物的生存将受到严重威胁。

参考文献

- [1] YADAV S R, GAIKWAD S P. A revision of the Indian Aponogetonaceae [J]. Bull Bot Surv India, 2003, 45(1/2/3/4): 39–76.
- [2] CHEN L Y, GRIMM G W, WANG Q F, et al. A phylogeny and biogeographic analysis for the Cape-Pondweed family Aponogetonaceae (Alismatales) [J]. Mol Phyl Evol, 2015, 82(Part A): 111–117. doi: 10.1016/j.ympev.2014.10.007.
- [3] PUNNAKOT B, JOSEKUTTY E J, AUGUSTINE J. *Aponogeton*

- undulatus* Roxb. (Aponogetonaceae), a new addition to the flora of kerala, India [J]. *Int J Curr Adv Res*, 2017, 6(8): 5261–5262. doi: 10.24327/ijcar.2017.5262.0685.
- [4] ZHOU L Y, ZHONG X W. Aponogetonaceae [M]// SUN X Z. *Flora Reipublicae Popularis Sinicae*, Tomus 8. Beijing: Science Press, 1992: 34–36.
- 周凌云, 钟雄文. 水蕹科 [M]// 孙祥钟. *中国植物志*, 第 8 卷. 北京: 科学出版社. 1922: 34–36.
- [5] GUO Y H, ROBERT R H, HELLQUIST C B. Aponogetonaceae [M]// WU Z Y, RAVEN P H, HONG D Y. *Flora of China*, Vol. 23. Beijing: Science Press & St. Louis: Missouri Botanical Garden Press, 2010: 104.
- [6] DOYLE J. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue [J]. *Phytochem Bull*, 1987, 19(1): 11–15.
- [7] TAMURA M N, YAMASHITA J, FUSE S, et al. Molecular phylogeny of monocotyledons inferred from combined analysis of plastid *matK* and *rbcL* gene sequences [J]. *J Plant Res*, 2004, 117(2): 109–120. doi: 10.1007/s10265-003-0133-3.
- [8] SHINWARI Z K, KATO H, TERAUCHI R, et al. Phylogenetic relationships among genera in the Liliaceae-Asparagoideae-Polygonatae s. l. inferred from *rbcL* gene sequence data [J]. *Plant Syst Evol*, 1994, 192(3/4): 263–277. doi: 10.1007/BF00986256.
- [9] DONALD L, MOODY M, JACOBS S. Phylogeny and systematics of *Aponogeton* (Aponogetonaceae): The Australian species [J]. *Syst Bot*, 2005, 30(3): 503–519. doi: 10.1600/0363644054782215.
- [10] SWOFFORD D L. PAUP: Phylogenetic Analysis Using Parsimony (and Other Methods), Version 4.0.b10 [M]. Sunderland: Sinauer Associates, 2002: 233–234.
- [11] FREDRIK R, HUELSENBECK J P. MrBayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models [J]. *Bioinformatics*, 2003, 19(12): 1572–1574. doi: 10.1093/bioinformatics/btg180.
- [12] POSADA D, BUCKLEY T R. Model selection and model averaging in phylogenetics: Advantages of akaike information criterion and bayesian approaches over likelihood ratio tests [J]. *Syst Biol*, 2004, 53(5): 793–808. doi: 10.1080/10635150490522304.
- [13] VAN BRUGGEN H W E. Revision of the genus *Aponogeton* L. f. IV. The species of Asia and Malesia [J]. *Blumea*, 1970, 18: 457–486.
- [14] FANG Z S, YUAN L X, LU G. Illustrations of Wetland Plants in Yangshan [M]. Hainan: Nanhai publishing company, 2018: 1–7.
- 方赞山, 袁浪兴, 卢刚. *羊山湿地植物图鉴* [M]. 海南: 南海出版公司, 2018: 1–7.