

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2020.03.004

水盾草入侵机制及防治对策

丁瑜欣¹, 吴娟^{1,2}, 成水平^{1,2}

¹同济大学环境科学与工程学院, 长江水环境教育部重点实验室, 上海 200092;

²上海生态景观水环境工程技术研究中心, 上海 200031

摘要: 生物入侵是当今世界难题之一, 成为维护生物安全和生态安全的共同挑战。水盾草作为一种流行的观赏水草, 原分布于美洲中部, 伴随人类商业、运输等活动迁移到世界各地, 现已成功入侵了亚洲、欧洲和大洋洲等地区, 也在我国长三角地区广泛分布。本文介绍了水盾草的生态习性、危害、入侵成因、防治与管理等方面, 从生物学特征和生境分析其入侵机制。由于很强的繁殖扩散能力和对新环境的适应能力等特性, 水盾草一旦定居, 即迅速生长, 争夺本地物种的生存空间和资源, 对入侵区域的环境、生物、经济产生负面影响。适宜的气候条件、空生态位资源是水盾草入侵的外部环境因素。目前, 多种物理、化学和生物控制方法用于管理水盾草, 但治理效果不一, 需要综合使用多种手段, 重复干预以达到管控的目的。为防止水盾草在我国大面积泛滥, 亟需开展基础研究, 科学预测, 针对可能入侵水域, 研究提出早期发现和快速响应的综合管理措施, 科学治理和管理水盾草。

关键词: 生物入侵; 水盾草; 入侵机制; 防治对策



开放科学标识码
(OSID 码)

Invasion mechanism and control measures of the aquatic weed *Cabomba caroliniana* Gray

DING Yuxin¹, WU Juan^{1,2}, CHENG Shuiping^{1,2}

¹Key Laboratory of Yangtze River Water Environment, Ministry of Education, College of Environment Science, Tongji University, Shanghai 200092, China; ²Shanghai Engineering Research Center of Landscape Water Environment, Shanghai 200031, China

Abstract: Biological invasions are among the world's severe problems that have become the common challenge in the face of biological and ecological security. *Cabomba caroliniana* Gray is a popular aquarium plant that is native to Central America and has spread throughout the world through human business, transportation and other activities. It has widely invaded Asia, Europe and Oceania, and is widely distributed in the Yangtze River Delta of China, too. This paper reviewed the ecological habit, harmfulness, invasion, prevention and management of *C. caroliniana*, and analyzed its mechanism of invasion. *C. caroliniana* is capable of colonizing habitats and appropriating space and resources of native species due to its traits such as robust regeneration, quick establishment and adaptability to new habitats. The resulting fast increase in densities is associated with a wide range of negative impacts on environment, biology, and economy of invaded regions. Suitable climatic conditions and vacant niche resources are the principal environmental factors of *C. caroliniana* invasion. Numerous physical, chemical, and biological measures are employed to control *C. caroliniana*, but results are inconsistent and multiple methods and repeated treatments are often required. Therefore, it is urgent to carry out basic research and scientific prediction on the potential distribution of *C. caroliniana* before it spreads more widely. In the meantime, an integrated management system, which focuses on early detection and rapid response in possible water bodies, may be worked out for slowing down the *C. caroliniana* invasion.

Key words: biological invasion; *Cabomba caroliniana*; invasion mechanism; control measure

生物入侵是当今世界棘手的生态问题之一。一些物种进入新生境后,对当地经济、环境等造成恶劣影响,甚至威胁本地生物多样性和生态系统的稳定性。经济全球化的发展,越来越多的物种打破地域壁垒,在本土范围外生长,生物入侵形势愈发严峻(陈洁君和王晶,2018)。生物入侵不仅使全球物种组成同质化,还可能通过空间和资源的强大竞争力加速本地物种的丧失(Feng & Zhu, 2010),造成巨大的环境、生物、经济损失。

水盾草 *Cabomba caroliniana* Gray, 别名绿菊花草, 蕹菜科, 原产地在南美洲北部和北美洲南部, 现广泛分布于亚洲、欧洲和大洋洲等区域。水盾草的繁殖传播能力、对环境的适应能力强, 进入适宜生长的水体后能迅速扩散, 取代本地种形成优势群落, 对生态环境产生负面影响。20世纪90年代, 我国首次发现水盾草(沈脂红, 2000)。随后, 水盾草扩散到我国长江三角洲地区(丁炳扬等, 2003)。我国已于2017年8月将水盾草列入《中国自然生态系统外来入侵物种名单(第四批)》。

目前, 国内学者对水盾草的研究较少, 缺乏对该物种全面的认识。本文通过查阅国内外文献资料, 介绍了水盾草的基本形态、分布和危害、入侵扩散成因, 力求为加强水盾草入侵机制及防治研究提供科学依据。

1 水盾草的生态习性和危害

1.1 形态与繁殖

水盾草是多年生沉水植物, 茎在水下挺立, 茎长可达1.5 m, 分枝; 沉水叶对生, 呈翠绿色。掌状分裂, 叶2叉裂3~4次掌状排列(赵家荣和刘艳玲, 2009); 浮水叶少数, 浮于水面互生, 形似蕹菜叶, 着生, 边全缘或基部2浅裂。花挺出水面, 绿白色, 5~6枚离花瓣, 与萼片近等长或稍大, 近基部具一对黄色腺体, 雌蕊6枚, 无毛; 萼片3枚, 无毛, 椭圆形; 心皮3枚, 离生, 被微柔毛, 子房1室, 通常有3胚珠。花期7~10月。种子难以收集, 有性繁殖较难(丁炳扬, 2000; Ørsgaard, 1991)(图1)。

1.2 分布

水盾草原生于美洲中部, 现已遍及世界各地。在荷兰(Matthews *et al.*, 2013)、比利时(Scheers *et al.*, 2019)、斯洛文尼亚(Hrivnák *et al.*, 2019)、罗马尼亚(Anastasiu *et al.*, 2017)、澳大利亚(Schooler & Julien, 2006)、日本(Kadono, 2004)、美国(Cournoy-

er, 2016)、加拿大(Hogsden *et al.*, 2007)等地均有报道。美国共有31个州报道了水盾草的存在, 在一些州被视为严重的杂草问题(Hrusa *et al.*, 2002)。

1993年, 我国于浙江宁波初次发现水盾草, 1999年才作为新记录物种被报道(万志刚等, 1999)。丁炳扬等(2003)实地调研了我国华南、华中和华东区域, 纬度跨度29°33'7"N-31°35'2"N间均发现水盾草的存在, 已广泛分布在我国长三角地区的浙北、苏南和上海, 主要分布类型为平原地带的河流和湖泊, 特点为水流速度慢、水位较稳定, 水深不超过3 m; 水盾草在不同群落的状态不同, 表现为零星漂浮、刚定居或已经成为优势种。2007年广西省柳州市发现水盾草群落(董志德等, 2007)。2009年江苏省的调查显示, 水盾草已遍布江苏省广大地区, 入侵范围和程度较2003年均有所增长(何金星等, 2009)。2010年4月, 侯元同等(2012)在山东省的南四湖植物调查中发现水盾草, 长江以北地区第一次记录到该物种存在。2011年, 张劲林和孟世勇(2013)于北京圆明园发现若干水盾草群落, 分布范围扩大到40°N。范靖宇等(2019)利用现有水盾草分布记录和对环境因子, 比较不同地理种群的气候生态空间, 发现水盾草未来可能会入侵湖北、湖南、安徽等省市, 在我国有较大的潜在分布区域。

在我国, 水盾草入侵群落常见种有金鱼藻 *Ceratophyllum demersum* L.、苦草 *Vallisneria spiralis* (Lour.) Hara、黑藻 *Hydrilla verticillata* (Linn. f.) Royle、菹草 *Potamogeton crispus* L.等(丁炳扬等, 2007)。曹培健等(2006)研究了水盾草入侵群落的种群生态位特点和物种相关性, 发现水盾草生态位最大, 金鱼藻、黑藻、苦草次之, 且和它们之间具有一定的正相关关系, 这些群落易受到水盾草入侵。

1.3 危害

环境方面, 入侵的水盾草通过根、叶直接吸收水体中的氮磷, 大量生长, 改变着水生境。茂密的水盾草群落死亡后腐烂, 大量消耗水体中的溶解氧, 并可能增加锰含量, 危害水质, 影响环境的营养循环(Mackey & Swarbrick, 1997)。

生物方面, 水盾草快速生长, 争夺本地物种的生存空间, 威胁原生水生植物的生存, 导致生物多样性降低, 破坏水生生态系统。在澳洲多个地区的水域中, 水盾草大范围代替原生沉水植物, 并改变

了水生系统的消费者组成,如本土鱼类、无脊椎动物等(丁炳扬等,2003)。在加拿大 Kasshabog 湖,茂密生长的水盾草减弱了湖泊内的可用光,影响了当地物种的多样性(Noël,2005)。在我国,水盾草已成为长三角地区局部水体的优势种(Zhang *et al.*, 2003)。随着水盾草在群落中增多,群落的物种多样性受到的威胁增大,而澳古茨藻 *Najas oguraensis* Miki 和水车前 *Ottelia alismoides* (L.) 的消失可能和水盾草的大量繁殖有关(丁炳扬等,2007)。

经济方面,虽未见文献量化水盾草带来的经济损失,但就目前而言,侵入世界各地的水盾草以各种方式破坏水体价值而产生经济损失。水盾草大面积生长导致航道和灌溉渠道堵塞,妨碍船只活动,破坏湖泊和水库等水域的农业、娱乐、运输和美学价值(何金星等,2009)。美国路易斯安那州的一湖泊内水盾草大量生长,导致当地商业捕鱼营地被迫关闭,影响营收(Wilson *et al.*, 2007)。

水盾草对入侵的环境、生物、经济危害是巨大的,其入侵扩散对我国的潜在威胁不容小觑。澳大利亚禁止种植和出售该物种,美国加利福尼亚、华盛顿等州也已禁止出售(McCracken *et al.*, 2013)。



图 1 水盾草(Scheers *et al.*, 2016)

Fig.1 *Cabomba caroliniana* Gray

2 入侵扩张机制

2.1 入侵相关的生物学特性

2.1.1 繁殖与传播特性 外来种的超强繁殖能力是其成功入侵的重要因素之一。水盾草主要依靠无性繁殖,有很强的繁殖能力,在合适的环境下,一个节间的残枝即可生长成完整的植株。已有研究发现,水盾草具有一定强度的抗干燥性,可以在长时间的缺水情况下存活(Dugdale *et al.*, 2013)。Bickel (2015)定量研究了不同环境条件对水盾草

断枝质量损失的影响,质量损失达到 65% 生存率才受到影响,10 cm 碎片在无风情况下最多能够存活 9 h,捆绑后失水耐受能力大大增加,存活时间超过 42 h,水盾草得以传播到更远的距离。水盾草断枝具有很高的再生潜力,且不受养分利用率的影响。单节间片段种植在基质上,能够达到 50% 的生存率,2 个节间或更多时,生存率可提高到 100% (Bickel,2016)。这些特性都将有利于水盾草的入侵行为。此外,中高浓度的水盾草提取物有化感作用,而化感在植物分布中起重要作用(Rice, 1979)。

2.1.2 生态适应性 外来种的入侵潜力和它对环境的耐性和适应性有很大的关系。水盾草喜温暖湿润、全年有雨的气候,对温度、水质的要求不严格,可以在较短的时间内适应不同的环境,具有很强的适应能力(Zhang *et al.*, 2003)。而较同类型物种更强的越冬能力也为水盾草入侵提供有利条件。

2.2 生境的可入侵性

2.2.1 适宜的气候条件 适宜的气候条件是水盾草入侵的原因之一。我国长三角地区水热丰沛,气候条件非常适合水盾草生长和繁殖,东部众多地区都有可能成为其入侵的区域。基于本土最优模型模拟的结果也说明,水盾草在我国显示出生态位空缺,存在较大的入侵空间,种群处于扩张和非平衡状态(范靖宇等,2019)。

2.2.2 空生态位资源利用 生态系统中空生态位资源可能是解释外来种入侵行为发生的答案之一。水生植物在不同水深存在生长差异。季高华等(2011)探究光照条件对沉水植物的生长影响时发现,水盾草和金鱼藻、苦草等不同,在表层水体存活率低,生物量随水体深度增加而增加,在底层生长情况最好(2.0 m),可见水盾草较其他沉水植物而言,光饱和点低,对光强要求低。通常情况水盾草生长在水深小于 3 m 的水体中,但生长范围可达到 10 m,比其他物种宽得多。即在垂直空间分布上,和共存优势物种的生态位重叠不高,在生态位的竞争并不激烈,生态位的缺失可能是其成功入侵的主要缘由之一。

2.2.3 环境因素的影响 环境因素从不同方面影响着外来物种入侵,包括生境、温度、营养盐、pH 等环境因子。生境方面,本地群落的稳定性和多样性一定程度上决定了外来生物入侵能否成功。较低的群落多样性有利于入侵行为,水盾草在大多数沉

水植物群落中为优势种或共优种,群落物种数影响着水盾草的生物量,在群落组成简单的水域中优势度尤为突出(于明坚等,2004)。

温度方面,水盾草的最佳生长范围为13~27℃,能够忍受零下环境(俞健,2004)。生存在美国东北部和加拿大的水盾草种群年平均生存温度为6℃,表明水盾草能够在温度较低条件下生存繁殖(Wilson *et al.*, 2007)。

营养盐方面,水盾草对水质要求不高,通常生长在中营养、富营养环境,也在贫营养水域内被发现。Zhang *et al.* (2003)的野外调研发现,即使水质差距大的环境,水盾草都生长良好,能够很好地适应我国东部的气候条件。在澳大利亚3个富营养化水库的水盾草群落监测中,磷浓度和水盾草种群表现正相关关系,推测水盾草生长可能受到磷限制(Bickel & Schooler, 2015)。

pH方面,监测和培养实验中均发现pH可能是限制生长的最重要因素之一(Bickel & Perrett, 2014)。pH过高导致水盾草没有足够的无机碳源进行光合作用,影响其生长。而水盾草不能利用水体的 HCO_3^- ,提取水中无机碳的能力相对较弱(顾舒平, 2009; Yin *et al.*, 2017)。Bellinger & Davis (2017)在温室实验中得到相似的结论,低营养和高pH(>8)的环境中水盾草的生长潜力下降。此外,有研究发现,高浓度尿素抑制水盾草的生长(Huang *et al.*, 2018)。

3 防治与管理

解决外来物种入侵需要依靠多种防治方法的综合使用(赵运涛等,2005)。水盾草的控制措施包括物理、化学、生物等防治技术(Scheers *et al.*, 2016)。

物理方法:降低人工水域内水位或完全放水,使用机械设备反复清理入侵水域,清除软沉积物,将水盾草连根拔起以降低生物量。不过,机械防除费用高昂且具有破坏性,完全清除的可能性不大。在处理过程中,产生断枝可以进行生长繁殖,成为新的传播源(Hussner *et al.*, 2017)。机械收割后,MacDonald湖泊中的水盾草生物量减半,但3周之后恢复到未收割的水平。此外,遮阴手段可能适用于农场池塘等水域控制水盾草,99%遮阴处理120 d后,池塘中的水盾草生物量减少至零(Schooler, 2008)。

化学防治:化学农药具有效果迅速、使用方便等特点,是有效控制有害生物灾害的手段(李云琴等,2019)。但除草剂引入了本不属于原环境的化学物质,可能对水体中的其他生物有毒害作用。使用除草剂后,死亡腐烂的植物残体可能扰乱生态系统平衡,引发一系列问题,不利于可持续发展(Brooker & Edwards, 1975),还可能造成饮用水残留等问题威胁人类健康。

生物防治:外来种大肆入侵的原因之一是其进入新的环境,缺少对应的天敌,导致它迅速扩张,这一观念得到主流学界的赞同。因此,引入天敌成为控制入侵种的重要方式。在水盾草生物防治技术中,引入天敌或草食性鱼类可以控制水盾草的生长(Schooler *et al.*, 2006)。水盾草天敌——一种象甲 *Hydrotimetes natans* Kolbe 的整个生命周期都依赖于水盾草,成虫以叶片和茎为食。野外实验中未发现迁移到其他植物上,说明该象甲对水盾草生物控制的潜在效力(Cabrera-Walsh *et al.*, 2011)。是否能够将其用于入侵地的水盾草控制还需要深入的生物学和宿主特异性的研究。

综上所述,外来入侵种水盾草因其具有很强的繁殖扩散能力,对生长环境要求低,能够在较短时间内适应不同的生境,形成入侵。为防止水盾草在我国大面积泛滥,一方面应有机结合物理、化学、生物等方法,重复干预控制已入侵的水体,治理控制水盾草;另一方面,加强基础研究,科学预测,做好宣传教育工作;针对可能入侵水域,研究提出早期发现和快速响应的综合管理措施,科学治理与管理水盾草。

参考文献

- 曹培健, 于明坚, 金孝锋, 丁炳扬, 2006. 水盾草入侵沉水植物群落主要种群生态位和种间联结研究. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 32(3): 334-340.
- 陈洁君, 王晶, 2018. 我国外来入侵生物防控科技进展. 生物安全学报, 27(1): 16-19.
- 丁炳扬, 2000. 中国水生植物一新归化属——水盾草属(莼菜科). 植物分类学报, 38(2): 198-200.
- 丁炳扬, 金孝锋, 于明坚, 俞建, 沈海铭, 王月丰, 2007. 水盾草(*Cabomba caroliniana*)入侵对沉水植物群落物种多样性组成的影响. 海洋与湖沼, 38(4): 336-342.
- 丁炳扬, 于明坚, 金孝锋, 俞建, 姜维梅, 董柯锋, 2003. 水盾草在中国的分布特点和入侵途径. 生物多样性, 11

- (3): 223–230.
- 董志德, 石亮成, 黄桂珍, 覃燕城, 2007. 柳州市生态灾害植物外侵种的调查与对策. 广西植保, 20(2): 27–29.
- 范靖宇, 李汉芑, 杨琢, 朱耿平, 2019. 基于本土最优模型模拟入侵物种水盾草在中国的潜在分布. 生物多样性, 27(2): 140–148.
- 顾舒平, 2009. 水生高等植物无机碳获取策略研究. 硕士学位论文. 武汉: 中国科学院武汉植物园.
- 何金星, 黄成, 万方浩, 郭建英, 2011. 水盾草在江苏省重要湿地的入侵与分布现状. 应用与环境生物学报, 17(2): 44–48.
- 侯元同, 舒凤月, 董士香, 柳明, 谢松光, 2012. 水盾草——南四湖外来水生植物新记录及其生境特点. 水生生物学报, 36(5): 201–204.
- 季高华, 徐后涛, 王丽卿, 赵风斌, 2011. 不同水层光照强度对 4 种沉水植物生长的影响. 环境污染与防治, 33(10): 29–32.
- 李云琴, 季梅, 刘凌, 户连荣, 张知晓, 泽桑梓, 2019. 云南省林地薇甘菊防控研究进展. 生物安全学报, 28(1): 1–6.
- 沈脂红, 2000. 水盾草——新入侵的外来种. 植物杂志(2): 37–38.
- 万志刚, 顾咏洁, 钱士心, 1999. 中国睡莲科一新记录属——水盾草属. 植物科学学报, 17(3): 215–216.
- 于明坚, 丁炳扬, 俞建, 金孝锋, 周宏, 叶万辉, 2004. 水盾草入侵群落及其生境特征研究. 植物生态学报, 28(2): 231–239.
- 俞建, 2004. 水盾草(*Cabomba caroliniana*)入侵生态系统特征的研究. 硕士学位论文. 杭州: 浙江大学.
- 张劲林, 孟世勇, 2013. 北京水域发现水盾草. 杂草学报, 31(2): 45–46.
- 赵家荣, 刘艳玲, 2009. 水生植物图鉴. 武汉: 华中科技大学出版社.
- 赵涛涛, 李新华, 张征文, 2005. 中国主要外来入侵物种的危害及防治措施. 林业调查规划, 30(6): 113–117.
- ANASTASIU P, PREDA C, BĂNĂDUC D, COGĂLNICEANU D, 2017. Alien species of EU concern in Romania. *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*, 19(3): 93–106.
- BELLINGER B J, DAVIS S L, 2017. Investigating the role of water and sediment chemistry from two reservoirs in regulating the growth potential of *Hydrilla verticillata* (Lf) Royle and *Cabomba caroliniana* A. Gray. *Aquatic Botany*, 136: 175–185.
- BICKEL T O, 2015. A boat hitchhiker's guide to survival: *Cabomba caroliniana* desiccation resistance and survival ability. *Hydrobiologia*, 746(1): 123–134.
- BICKEL T O, 2016. Processes and factors that affect regeneration and establishment of the invasive aquatic plant *Cabomba caroliniana*. *Hydrobiologia*, 788(1): 1–12.
- BICKEL T O, PERRETT C, 2014. Competitive performance of *Cabomba caroliniana*. *Nineteenth Australasian Weeds Conference*: 135–138.
- BICKEL T O, SCHOOLER S S, 2015. Effect of water quality and season on the population dynamics of *Cabomba caroliniana* in subtropical Queensland, Australia. *Aquatic Botany*, 123: 64–71.
- BROOKER M P, EDWARDS R W, 1975. Aquatic herbicides and the control of water weeds. *Water Research*, 9(1): 1–15.
- CABRERA-WALSH G, SCHOOLER S, JULIEN M, 2011. Biology and preliminary host range of *Hydrotimetes natans* Kolbe (Coleoptera: Curculionidae), a natural enemy candidate for biological control of *Cabomba caroliniana* Gray (Cabombaceae) in Australia. *Australian Journal of Entomology*, 50(2): 200–206.
- COURNOYER N, 2016. *Analysis of the invasiveness of Cabomba caroliniana* A. Gray in Massachusetts and Rhode Island Freshwater Lakes and assessment of the impacts of local community action groups on AIS management and intervention programs. Smithfield: Bryant University.
- CULLINEY T W, 2005. Benefits of classical biological control for managing invasive plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24(2): 131–150.
- DUGDALE T M, BUTLER K L, CLEMENTS D, HUNT T D, 2013. Survival of cabomba (*Cabomba caroliniana*) during lake drawdown within mounds of stranded vegetation. *Lake and Reservoir Management*, 29(1): 61–67.
- FENG J, ZHU Y, 2010. Alien invasive plants in China: risk assessment and spatial patterns. *Biodiversity and Conservation*, 19(12): 3489–3497.
- HOGSDEN K L, SAGER E P S, HUTCHINSON T C, 2007. The impacts of the non-native macrophyte *Cabomba caroliniana* on littoral biota of Kashiabog Lake, Ontario. *Journal of Great Lakes Research*, 33(2): 497–504.
- HRIVNÁK R, MEDVECKÁ J, BALÁZI P, BUBÍKOVÁ K, OŤAHEĽOVÁ H, SVITOK M, 2019. Alien aquatic plants in Slovakia over 130 years: historical overview, current distribution and future perspectives. *NeoBiota*, 49: 37–56.
- HRUSA F, ERTTER B, SANDERS A, LEPPIG G, DEAN E, 2002. Catalogue of non-native vascular plants occurring spontaneously in California beyond those addressed in The Jepson Manual-Part I. *Madroño*, 49(2): 61–98.

- 式下稻水象甲幼虫的空间分布型及其抽样技术. 植物保护学报, 40(2): 128-132.
- 阎雄飞, 蒲泰勋, 李刚, 刘永华, 2019. 枣飞象成虫在陕北枣区空间分布型及抽样技术. 应用昆虫学报, 56(3): 585-594.
- 于新文, 刘晓云, 2001. 昆虫种群空间格局的研究方法评述. 西北林学院学报, 16(3): 83-87.
- 张连翔, 温豁然, 吕尚彬, 刘淑娟, 秦辉, 刘朝晖, 1996. 昆虫种群空间格局研究中的几个检验问题. 西北林学院学报, 11(3): 59-65.
- 张燕杏, 王凯学, 石桥德, 陆温, 2016. 2 种移栽方式下稻水象甲幼虫的空间分布型及抽样技术研究. 华南农业大学学报, 37(1): 58-62.
- 中华人民共和国农业农村部, 2009. 中华人民共和国农业
- (上接第 180 页)
- HUANG X, SHEN N, GUAN X, XU X, KONG F, LIU C, YU D, 2018. Root morphological and structural comparisons of introduced and native aquatic plant species in multiple substrates. *Aquatic Ecology*, 52(1): 65-76.
- HUSSNER A, STIERS I, VERHOFSTAD M, BAKKER E S, GRUTTERS B, HAURY J, ANDERSON L, 2017. Management and control methods of invasive alien freshwater aquatic plants: a review. *Aquatic Botany*, 136: 112-137.
- KADONO Y, 2004. Alien aquatic plants naturalized in Japan: history and present status. *Global Environmental Research*, 8(2): 163-169.
- MACKEY A P, SWARBRICK J T, 1997. The biology of Australian weeds. 32. *Cabomba caroliniana* Gray. *Plant Protection Quarterly*, 12: 154-165.
- MATTHEWS J, BERINGEN R, LAMERS L P M, ODÉ B, POT R, VELDE G, LEUVEN R S, 2013. *Risk analysis of the non-native Fanwort (Cabomba caroliniana) in the Netherlands*. Nijmegen, the Netherlands: Roadboud University.
- MCCRACKEN A, BAINARD J D, MILLER M C, HUSBAND B C, 2013. Pathways of introduction of the invasive aquatic plant, *Cabomba caroliniana*. *Ecology and Evolution*, 3(6): 1427-1439.
- NOËL J C, 2005. *Growth, reproduction and control of an invasive aquatic plant, Cabomba Caroliniana in Kashiabog Lake, Ontario and its potential dispersal*. Peterborough: Trent University.
- ØRGAARD M, 1991. The genus *Cabomba* (Cabombaceae) — A taxonomic study. *Nordic Journal of Botany*, 11(2): 179-203.
- RICE E L, 1979. Allelopathy — An update. *The Botanical Review*, 45(1): 15-109.
- SCHEERS K, DENYS L, JACOBS I, PACKET J, SMEEKENS 部公告 第 1216 号. (2009-06-20) [2019-12-06]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2009/dliuq/201806/t20180607_6151337.htm.
- 周国法, 徐汝梅, 1998. 空间分布型的形成过程研究. 生态学报, 18(5): 516-522.
- 周社文, 谭小平, 成进, 彭晖, 李建河, 杨亚平, 龚磊, 2006. 稻水象甲种群扩散机制及控制对策. 植物检疫, 20(6): 343-344.
- IWAO S, 1968. A new regress method for analyzing the aggregation pattern of animal populations. *Researches on Population Ecology*, 10(1): 1-20.
- TAYLOR L R, 1961. Aggregation, variance and the mean. *Nature*, 189: 732-735.
- (责任编辑:郭莹)
- V, ADRIAENS T, 2019. *Cabomba caroliniana* Gray (Cabombaceae) invades major waterways in Belgium. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, 420: 22.
- SCHEERS K, DENYS L, PACKET J, ADRIAENS T, 2016. A second population of *Cabomba caroliniana* Gray (Cabombaceae) in Belgium with options for its eradication. *Bioinvasions Records*, 5: 227-232.
- SCHOOLER S S, 2008. Shade as a management tool for the invasive submerged macrophyte, *Cabomba caroliniana*. *Journal of Aquatic Plant Management*, 46: 168-171.
- SCHOOLER S, JULIEN M, 2006. Effects of depth and season on the population dynamics of *Cabomba caroliniana* in south-east Queensland// Weed Management Society of South Australia. *Proceedings of 15th Australian weed conference*. Adelaide, Australia: 768-771.
- SCHOOLER S, JULIEN M, WALSH G C, 2006. Predicting the response of *Cabomba caroliniana* populations to biological control agent damage. *Australian Journal of Entomology*, 45(4): 327-330.
- WILSON C E, DARBYSHIRE S J, JONES R, 2007. The biology of invasive alien plants in Canada. 7. *Cabomba caroliniana* A. Gray. *Canadian Journal of Plant Science*, 87: 615-638.
- YIN L, LI W, MADSEN T V, MABERLY S C, BOWES G, 2017. Photosynthetic inorganic carbon acquisition in 30 freshwater macrophytes. *Aquatic Botany*, 140: 48-54.
- ZHANG X, ZHONG Y, CHEN J, 2003. Fanwort in eastern China: an invasive aquatic plant and potential ecological consequences. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 32(2): 158-160.
- (责任编辑:郭莹)