

# 海产刚毛藻科的形态分类与分子系统发育学研究进展\* Recent Advances in Morphological Taxonomy and Molecular Phylogeny of Marine Green Algal Family Cladophoraceae

代岳,丁兰平,黄冰心\*\*,李永梅,刘瑞

DAI Yue, DING Lanping, HUANG Bingxin, LI Yongmei, LIU Rui

(天津师范大学生命科学学院,天津市动植物抗性重点实验室,天津 300387)

(Collage of Life Sciences, Tianjin Normal University, Tianjin Key Laboratory of Animal and Plant Resistance, Tianjin, 300387, China)

**摘要:**刚毛藻科(Cladophoraceae)海藻有巨大的潜在经济/环境价值,同时由于其大量繁殖生长,也成为我国水体主要有害藻之一。为指导资源利用及制定防治策略,确定准确的物种名称,阐明其演化关系,迫切需要了解刚毛藻科系统发育学知识。基于此,本文从传统的形态分类学与系统发育学两方面阐述刚毛藻科的研究进展,以期刚毛藻科海藻物种名称的确定、DNA条形码研究技术及其系统演化关系研究提供参考。

**关键词:**刚毛藻科 形态分类学 系统发育

**中图分类号:**Q94 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2017)04-0419-08

**Abstract:** The marine green algae belonging to Family Cladophoraceae have a huge potential economic/environmental value. It became one of the main harmful algal taxa in the water body of China because of heavy biomass. In order to guide the utilization of resources and the development of prevention and control strategies to determine the exact name of the species, to clarify its evolutionary relationship, it needs urgently to understand the knowledge of systematical taxonomy. Based on this, this paper reviews the research progress of the family in domestic and overseas including the morphology and phylogeny. It will provide reference for species identification, DNA barcoding technique and evolutionary relationship.

**Key words:** Cladophoraceae, morphology, phylogeny

## 0 引言

刚毛藻科(Cladophoraceae)隶属于绿藻门(Chlo-

rophyta)刚毛藻目(Cladophorales),我国报道的刚毛藻科有3个属即硬毛藻属(*Chaetomorpha*)、刚毛藻属(*Cladophora*)和根枝藻属(*Rhizoclonium*)<sup>[1]</sup>。该科藻类一般属于底栖丝状绿藻,有些漂浮生长,广泛分布于淡水或沿海水域,许多种类具有全球性分布特点。刚毛藻科海藻有着巨大的潜在经济/环境价值,它可用于作为食物、动物饲料或肥料、工业原料(纸张,蛋白粉和果胶)、饲料酵母、乙醇提取原料等<sup>[2-4]</sup>。刚毛藻因其独特的适应能力,强大的繁殖能力,以及缺少竞争者等因素成为沿海浅水水域中的主要优势种群。在富营养化水体修复过程中,刚毛藻在

收稿日期:2017-07-08

修回日期:2017-07-20

作者简介:代岳(1988-),女,研究生,主要从事藻类学研究。

\* 国家自然科学基金项目(31400186,31670199)和天津师范大学引进人才基金项目(自然科学)资助。

\*\* 通信作者:黄冰心(1974-),女,副教授,主要从事藻类资源与生物技术研究,E-mail:skyhbx@mail.tjnu.edu.cn。

氮磷净化<sup>[5]</sup>、化学物质去除<sup>[6]</sup>、水华藻类生长抑制<sup>[7]</sup>及重金属吸附<sup>[8-9]</sup>等方面起到重要作用,可作为生物指示植物监测水体污染。但刚毛科海藻藻体腐败分解后会释放碳、氮、磷等多种元素,影响水体中的化学过程和物质组成<sup>[10]</sup>,其大量增殖也会造成绿潮,给养殖业带来经济损失<sup>[11]</sup>。

近年来,由于大量生长繁殖,刚毛藻成为我国水体主要敌害藻之一,对海水养殖尤其是海水池塘养殖造成严重危害<sup>[12-13]</sup>。然而,目前对其物种类群知之甚少。明确刚毛藻科准确的物种名称,了解其分类学知识,阐明其演化关系,对防治绿潮、减少养殖业经济损失具有重要意义。

## 1 刚毛藻科分类学研究

刚毛藻科海藻藻体结构简单,外观易受环境影响,导致物种鉴定困难,因此存在许多同物异名;且物

表 1 国外刚毛藻科的研究报道

Table 1 The reports of Family Cladophoraceae from the foreign authors

作者 Author	年 Year	地点 Place	类别 Sort
Wille	1890	欧洲 Europe	刚毛藻科 Cladophoraceae <sup>[21]</sup>
Hamel	1924	法国 France	刚毛藻属 <i>Cladophora</i> <sup>[22]</sup>
	1931	法国 France	刚毛藻科 Cladophoraceae <sup>[23]</sup>
Hoek	1963	欧洲 Europe	刚毛藻属 <i>Cladophora</i> <sup>[24]</sup>
	1982	北美太平洋 North America Pacific	刚毛藻属 <i>Cladophora</i> <sup>[25]</sup>
Sakai	1964	日本及邻近海域 Japan and adjacent waters	刚毛藻属 <i>Cladophora</i> <sup>[26]</sup>
Blair	1983	新英格兰 New England	硬毛藻属及根枝藻属 <i>Chaetomorpha</i> and <i>Rhizoclonium</i> <sup>[27]</sup>
Hoek, et al.	1984	澳大利亚南部 South Australia	刚毛藻属 <i>Cladophora</i> <sup>[28]</sup>
Gajaria, et al.	1985	印度古吉拉特邦 India Gujarat	刚毛藻属 <i>Cladophora</i> <sup>[29]</sup>
	1988	印度 India	硬毛藻属 <i>Chaetomorpha</i> <sup>[30]</sup>
Jónsson, et al.	1989	法国 France	刚毛藻属 <i>Cladophora</i> <sup>[31]</sup>
Koh, et al.	1990	韩国济州岛 South Korea Jeju Island	刚毛藻属 <i>Cladophora</i> <sup>[32]</sup>
Cambridge, et al.	1990 1991	欧美北大西洋及澳洲 Atlantic and Australia	刚毛藻属的温度影响与分布 <sup>[33-34]</sup> Temperature responses and distribution of <i>Cladophora</i>
Battelli	1997	斯洛文尼亚 Slovenia	刚毛藻属 <i>Cladophora</i> <sup>[35]</sup>
Yoshida	1998	日本 Japan	刚毛藻科 Cladophoraceae <sup>[16]</sup>
Hoek, et al.	2000	日本及俄罗斯远东 Japan and Russia's far east	刚毛藻属 <i>Cladophora</i> <sup>[17]</sup>
Leliaert, et al.	2003	南非东海岸 East coast of South Africa	刚毛藻属 <i>Cladophora</i> <sup>[36]</sup>

种间界限模糊,有些种类间缺乏明确的鉴定标准,争议比较大。例如目前世界上已经报道过的刚毛藻目种类(主要为刚毛藻科种类),由于各种原因,异名、错误鉴定时有出现,因此国际上有约 1 500 余种记录(不完全统计),而可确认的不超过 500 种<sup>[14]</sup>。学者所使用的鉴定标准也存在较大差异<sup>[15-17]</sup>。自刚毛藻目建立以来,因学者分类方法及学术观点不同,其分类系统出现多次变动:一科三属<sup>[18]</sup>、一科三亚科<sup>[19]</sup>、四科<sup>[20]</sup>、二科<sup>[16]</sup>等。这些争议和不确定为系统划分及物种数目统计等带来极大的困难。

### 1.1 国外刚毛藻科研究情况

刚毛藻科由 Wille 在 1884 年建立。此科包含的物种数多,主要包括如下几个属:硬毛藻属、刚毛藻属和根枝藻属等。在过去 200 余年的时间里,据不完全统计主要有如下的刚毛藻科海藻分类学研究和报道(表 1、表 2)。

表 2 刚毛藻科物种数目统计<sup>[14]</sup>

Table 2 The species number of Family Cladophoraceae<sup>[14]</sup>

属名 Generic name	物种记录 Species record	已证实的种 Proven species	未证实的种 Unproved species	同物异名种 Synonym species
刚毛藻属 <i>Cladophora</i>	1 073	196	366	511
硬毛藻属 <i>Chaetomorpha</i>	128	68	7	53
根枝藻属 <i>Rhizoclonium</i>	86	35	8	43

此外,世界上还有些其他地区因缺少资料而未统

表 3 国内刚毛藻科的研究报道

Table 3 The reports of Family Cladophoraceae from the domestic authors

作者 Author	时间 Time	地点 Place	物种数目 Number of species	备注 Remark
TSENG C K, et al.	1935	青岛 Qingdao	2	根枝藻属 1 种、硬毛藻属 1 种 <sup>[37]</sup> <i>Rhizoclonium</i> 1, <i>Chaetomorpha</i> 1
TSENG C K	1936	海南岛 Hainan Island	7	硬毛藻属 5 种、刚毛藻属和根枝藻属各 2 种 <sup>[38]</sup> <i>Chaetomorpha</i> 5, <i>Cladophora</i> 2, <i>Rhizoclonium</i> 2
	1936	厦门 Xiamen	4	硬毛藻属 3 种、根枝藻属 1 种 <sup>[39]</sup> <i>Chaetomorpha</i> 3, <i>Rhizoclonium</i> 1
	1937	青岛、厦门 Qingdao, Xiamen	2	刚毛藻属 2 种 <sup>[40]</sup> <i>Cladophora</i> 2
辽宁省水产研究所 Liaoning Ocean and Fisheries Research Institute	1959	新金 Xinjin	1	刚毛藻属 1 种 <sup>[41]</sup> <i>Cladophora</i> 2
江永棉 CHIANG Youngmeng	1960	中国台湾 Taiwan	5	硬毛藻属 5 种 <sup>[42]</sup> <i>Chaetomorpha</i> 5
李茹光 LI JuKuang	1964	獐子岛、大连 Zhangzi Island, Dalian	3	硬毛藻属 2 种、刚毛藻属 1 种 <sup>[43]</sup> <i>Chaetomorpha</i> 2, <i>Cladophora</i> 1
野田光藏 Noda	1971	大连、青岛 Dalian, Qingdao	5	硬毛藻属 1 种、刚毛藻属 4 种 <sup>[44]</sup> <i>Chaetomorpha</i> 1, <i>Cladophora</i> 4
朱浩然, 等 Zhu Haoran, et al.	1980	西沙群岛 Xisha Islands	11	硬毛藻属 1 种、刚毛藻属 10 种 <sup>[45]</sup> <i>Chaetomorpha</i> 1, <i>Cladophora</i> 10
TSENG C K, et al.	1983	中国海 China Sea	11	硬毛藻属 3 种、刚毛藻属 6 种、根枝藻属 2 种 <sup>[19]</sup> <i>Chaetomorpha</i> 3, <i>Cladophora</i> 6, <i>Rhizoclonium</i> 2
杭金欣, 等 Hang Jinxin, et al.	1983	浙江省 Zhejiang Province	12	硬毛藻属 5 种、刚毛藻属 6 种、根枝藻属 1 种 <sup>[46]</sup> <i>Chaetomorpha</i> 5, <i>Cladophora</i> 6, <i>Rhizoclonium</i> 1
周贞英, 等 Zhou Zhenying, et al.	1983	福建省 Fujian Province	5	硬毛藻属 1 种、刚毛藻属 2 种、根枝藻属 2 种 <sup>[47]</sup> <i>Chaetomorpha</i> 1, <i>Cladophora</i> 2, <i>Rhizoclonium</i> 2
栾日孝 Luan Rixiao	1989	大连 Dalian	5	硬毛藻属 1 种、刚毛藻属 3 种、根枝藻属 1 种 <sup>[48]</sup> <i>Chaetomorpha</i> 1, <i>Cladophora</i> 3, <i>Rhizoclonium</i> 1
栾日孝, 等 Luan Rixiao, et al.	1998	大连 Dalian	3	刚毛藻属 3 种 <sup>[49]</sup> <i>Cladophora</i> 3
栾日孝, 等 Luan Rixiao, et al.	2002	大连、长海 Dalian, Changhai	8	刚毛藻属 8 种 <sup>[50]</sup> <i>Cladophora</i> 8
丁兰平, 等 Ding Lanping, et al.	2013	中国 China	52	硬毛藻属 11 种、刚毛藻属 38 种、根枝藻属 3 种 <sup>[1]</sup> <i>Chaetomorpha</i> 11, <i>Cladophora</i> 38, <i>Rhizoclonium</i> 3
Huang Bingxin, et al.	2016	中国 China		硬毛藻属 2 种 <sup>[51]</sup> <i>Chaetomorpha</i> 2

经历多年的发展,我国刚毛藻科海藻的研究有了长足的进步,目前共报道 3 属 52 种,其中刚毛藻属

计,如加勒比海海区,南美洲东、西两岸,非洲西岸中、南部等。目前估计本科物种数目至少在 470 种以上<sup>[14]</sup>。但由于观点不同,刚毛藻目的下级分类系统如上所述的科和属都存在不同程度的变化,因此要统计出准确的物种数目比较困难。

### 1.2 国内研究情况

我国对刚毛藻科分类研究最早是在 1915 年由 Cotton 报道产自威海的气生硬毛藻(*Chaetomorpha aerea*)。其后,主要有如下文献报道涉及该科的研究工作(表 3)。

38 种<sup>[1,52]</sup>,气生硬毛藻 *Chaetomorpha aerea* 和线形硬毛藻 *Ch. linum* 的同物异名争议已被解答<sup>[51]</sup>。但

必须承认的是,刚毛藻科的研究还存在大量的问题,如扭曲硬毛藻 *Ch. tortuosa* 存在与否的问题,不少学者认为扭曲硬毛藻是扭曲根枝藻 *Rhizoclonium tortuosum* 的同物异名;束生刚毛藻 *Cl. fascicularis* 和 *Cl. vagabunda* 的同物异名争议问题等<sup>[53-54]</sup>。要真实地反映我国刚毛藻科物种多样性还需要进一步努力。

### 1.3 刚毛藻科在分类学上存在的问题

Collins<sup>[55]</sup>在1909年指出刚毛藻属分类存在以下问题:描述的种类少,个体在不同生长期植株变异大,调查不够充分。但当时可利用的分类知识有限,Collins的处理并不十分令人满意。随后,Hoek等<sup>[17,24]</sup>研究北大西洋、北太平洋东岸及日本沿岸的刚毛藻属海藻,并提供更丰富的鉴定特征描述及必要的问题探讨,把刚毛藻科鉴定的形态特征从简单的外形、颜色和质地的描述,进一步增加至细化的细胞形态大小等特征,在一定程度上弥补过去对刚毛藻属分类学认识的不足。

根据Hoek的观点,刚毛藻目的大多数属具有“further specializations of thallus architectures realised in certain *Cladophora* sections”,且刚毛藻属的界限没有充分地把其它近似属排除在外<sup>[25]</sup>。因此,关于刚毛藻科的实用属级框架仍然需要进一步探讨。

在刚毛藻属分类学的发展过程中,至少划分了14个组,其中的3个已经被提升为独立属(即 *Willeela*, *Basycladia*, *Rama*)。但对于刚毛藻属来说,类似于刚毛藻科的科学实用属下类群框架也需要进一步研究,如 *Chloropteris* 属是根据早期的刚毛藻属 *Aegagrophila* 组(如 *Cl. lepriurii* Kützing)的一个物种建立的(特征:羽状分枝),现在认为可能是刚毛藻属的同物异名。Wille<sup>[56]</sup>和De Toni<sup>[57]</sup>认为 *Lychaete* 和 *Anadema* 都分别与刚毛藻属有关系,而现在认为由Agardh<sup>[58]</sup>报道的 *Lychaete* 属的几个种属于硬毛藻属,但南非的模式种明显属于刚毛藻属。根据Bourelly的观点, *Chaetoclediella* 属类似于 *Basiocladia*,但不是体外寄生的。因此, *Chaetoclediella* 属暂时也被认为是刚毛藻属的同物异名<sup>[59]</sup>。

就目前世界上已经报道过的刚毛藻目种类,由于各种原因,比较混乱,异名、错误鉴定时有出现,特别是在刚毛藻科中,存在许多问题。如在日本,不同文献都报道了同一海区(日本及周边)刚毛藻科物种,但种类变化很大<sup>[16-18,26]</sup>。这是自然种的变化,还是错误鉴定,亦或是错误的报道?在某种程度上还需要进一步

步深入研究。

## 2 系统发育学研究

目前常用于绿藻系统发育学的核酸序列有核基因18S rDNA、28S rDNA、rbcL、ITS以及线粒体、叶绿体基因等,为海洋绿藻的系统发育学研究提供比较丰富的分子遗传标记。不仅可以为分类提供参考依据,有助于解决一些根据经典形态分类方法难以区分种的分类学问题,还可以对物种的遗传多样性、亲缘关系、进化史进行探讨,验证基于传统形态分类学分类系统的客观性和可靠性。

ITS序列被广泛应用于大型绿藻的研究,其进化速率快,常用来比较种和密切相关的属<sup>[60-61]</sup>,适用于种下不同地理居群、种和属的亲缘关系及生物地理学研究。Bakker等<sup>[62]</sup>应用ITS分析大洋州和亚洲13个隔离群的 *Cl. vagabunda* 的系统地理关系,发现这些隔离群均源自太平洋的一个共同祖先。Leliaert等<sup>[36]</sup>通过LSU、SSU及ITS研究,提出刚毛藻目和管枝藻目可能起源于共同祖先。

高度保守的核基因18S rDNA主要用于属及以上阶元的分析。Olsen等<sup>[63]</sup>基于18S rDNA对刚毛藻目和管枝藻目的20个种进行进化分析,对这两个目的独立划分提出质疑,同时指出刚毛藻属及其亚属不是单系发生的。Hanyuda等<sup>[64]</sup>研究淡水刚毛藻种类的起源与进化,显示淡水种类不是单一起源的,从海水到淡水的过渡至少发生两次独立的演化,并指出硬毛藻属在3个属中形成并系类群,不是刚毛藻属的姐妹群。

关于海洋大型绿藻的DNA条形码研究,国际上相关报道还比较少,仅有一些学者涉及<sup>[53,65-66]</sup>,涉及的分子标记主要为rbcL、tufA、UPA、LSU、ITS、18S rDNA等片段。其中,Saunders等<sup>[65]</sup>分析rbcL、tufA、UPA、LSU和ITS等片段,认为仅tufA适合做绿藻的标准条码,但它对刚毛藻科(*Cladophoraceae*)却不适用;除ITS外,其它几个序列片段对刚毛藻科也都不适用。这说明刚毛藻不同于其它绿藻,有其自身特点。就整个国际报道来看,目前对刚毛藻目效果较好的则为ITS和18S rDNA等片段。多片段组合已被证明能比较好地解决大型藻类鉴定问题<sup>[53,67-68]</sup>。

本研究课题组使用基于ITS和18S rDNA的分子系统发育学技术对 *Acrochaete leptochaete*<sup>[69]</sup> 和 *Chaetomorpha valida*<sup>[70]</sup> 开展分类鉴定,已取得比较好的结果;同时对我国北部沿海的部分刚毛藻目海藻进行分子系统发育学探讨,初步证实探索其DNA条形码技术是可行的,但也存在一些问题有待进一步

探讨<sup>[53]</sup>。

传统的形态学鉴定与分子手段的结合,必将为系统发育学提供一种新的、稳定、可靠、简便的鉴定方式,给系统发育学的发展提供新的活力。

### 3 展望

刚毛藻科藻体结构简单,极易与其它近似类群混淆,如根枝藻属与刚毛藻属、硬毛藻属的形态学区别仅为营养丝体上有无假根枝,而刚毛藻属与硬毛藻属的形态学区别仅为藻体是否分枝<sup>[1]</sup>。由于环境的不同和成熟情况的差异,同种刚毛藻的不同个体又可以发生很大差异。这可能是造成异物同名、同物异名或一物多名的主要原因。然而,这些差异是遗传的还是环境造成的,需要进一步证实,并给刚毛藻的研究带来极大的困难<sup>[71]</sup>。我国刚毛藻科海藻分布广泛<sup>[72-73]</sup>,在南海、东海、黄海和渤海海域均有发现,全面翔实地调查分布和多样性,将会是一个巨大而困难的工作;同时,我国目前关于刚毛藻科系统分类研究所积累的工作较少。在我国目前研究人员少、生境破坏严重、研究工作相对落后的环境下,找到一种可靠有效的方法继续探讨刚毛藻科分类学是重中之重。传统形态学鉴定与 DNA 条形码的结合,为我国海产刚毛藻科系统发育学研究提供新思路,是澄清有害刚毛藻问题成因和解决问题的前提条件与必经之路。

#### 参考文献:

[1] 丁兰平. 中国海藻志第四卷绿藻门第一册[M]. 北京: 科技出版社, 2013.  
DING L P. Algae marinarum sinicarum tomus IV chorophyta No. I chaetophorales[M]. Beijing: Science Press, 2013.

[2] 杨楠楠, 牛鹏军, 刘娟, 等. 刚毛藻稀碱处理液发酵制备饲料酵母[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(6): 86-89.  
YANG N N, NIU P J, LIU J, et al. Optimization of fermentation process for producing fodder yeast with dilute alkali solution of *Cladophora*[J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39(6): 86-89.

[3] 杨楠楠, 牛鹏军, 刘娟, 等. 以刚毛藻为原料制备生物乙醇的技术研究[J]. 酿酒科技, 2013(9): 11-13.  
YANG N N, NIU P J, LIU J, et al. Research on bioethanol production from *Cladophora*[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2013(9): 11-13.

[4] 谢艳梅, 向芸, 张志慧, 等. 刚毛藻在水螅培养中的应用[J]. 生物学通报, 2008, 43(11): 50-52.  
XIE Y M, XIANG Y, ZHANG Z H, et al. The application of *Cladophora* in hydra culture[J]. Bulletin of Biology, 2008, 43(11): 50-52.

[5] 谢静, 吕锡武, 李洁. 6种湿地植物吸收污水中氮和磷的动力学[J]. 环境工程学报, 2016, 10(8): 4067-4072.  
XIE J, LV X W, LI J. Uptake dynamics of N and P in polluted water by 6 different wetland plants[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2016, 10(8): 4067-4072.

[6] 樊兰英, 冯佳, 张猛, 等. 脆弱刚毛藻对水体中三种苯系物的去除效果[J]. 水土保持通报, 2010, 30(3): 73-77.  
FAN L Y, FENG J, ZHANG M, et al. Removal effect of *Cladophora fracta* on benzene, toluene and xylene[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2010, 30(3): 73-77.

[7] 况琪军, 凌晓欢, 马沛明, 等. 着生刚毛藻处理富营养化湖泊水[J]. 武汉大学学报: 理学版, 2007, 53(2): 213-218.  
KUANG Q J, LING X H, FENG B M, et al. Treatment of eutrophication lake water by attached *Cladophora oligoclona*[J]. Journal of Wuhan University: Natural Science Edition, 2007, 53(2): 213-218.

[8] 李艳晖. 重金属对刚毛藻叶绿素 a 含量的影响及毒性机理的探讨[D]. 太原: 山西大学, 2005.  
LI Y H. Effect of heavy metal on Chlorophylla contents of *Cladophora fracta* and research for toxic mechanism [D]. Taiyuan: Shanxi University, 2005.

[9] 曹德菊, 李浩, 叶碧碧. 刚毛藻对 Cu、Fe、Zn 的耐受与污染控制研究[J]. 资源开发与市场, 2010, 26(8): 728-730.  
CAO D J, LI H, YE B B. Study of *Cladophora*'s accumulation and tolerance between algae and heavy metal [J]. Resource Development & Market, 2010, 26(8): 728-730.

[10] GAO L, ZHANG L H, HOU J Z, et al. Decomposition of macroalgal blooms influences phosphorus release from the sediments and implications for coastal restoration in Swan Lake, Shandong China [J]. Ecological Engineering, 2013, 60: 19-28.

[11] LAPOINTE B E, THACKER K, HANSON C, et al. Sewage pollution in Negril, Jamaica: Effects on nutrition and ecology of coral reef macroalgae [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2011, 29(4): 775-789.

[12] 张宇, 李景玉, 宫庆礼. 线形硬毛藻的生物学特性、价值、生态危害及其防治[J]. 河北渔业, 2014(5): 59-62.  
ZHANG Y, LI J Y, GONG Q L. The biological characteristic, value, ecological hazard and control of *Chaetomorpha linum*[J]. Hebei Fisheries, 2014(5): 59-62.

[13] 宋宗岩. 刚毛藻对海参养殖的危害及防治技术[J]. 中国水产, 2010(12): 53.  
SONG Z Y. Harm of *Cladophora* to sea cucumber culture and the technology of prevention and cure [J]. Chi-

- na Fisheries, 2010(12):53.
- [14] GUIRY M D, GUIRY G M. Flybase[EB/OL]. 2017. <http://www.algaebase.org>.
- [15] OKAMURA K. Descriptions of Japanese algae[M]. Tokyo: Uchida Rokakuho, 1936.
- [16] YOSHIDA T. New Descriptions of Japanese algae [M]. Tokyo: Uchida Rokakuho, 1998.
- [17] CHIHARA M. A taxonomic revision of the marine species of Cladophora (Chlorophyta) along the coast of Japan and the Russian Far-east [M]. Tokyo: Natural Science Museum, 2000.
- [18] TAYLOR W R. Marine algae of the eastern tropical and subtropical coasts of the Americas [M]. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1960.
- [19] TSENG C K. Common Seaweeds of China [M]. Beijing: Science Press, 1983.
- [20] SILVA P C, BASSON P W, MOE R L. Catalogue of the benthic marine algae of the Indian Ocean [M]. Botany: University of California Publications, 1996.
- [21] ENGLER A, PRANTL K. Die natürlichen Pflanzenfamilien. I Teil, 1. Abth [M]. Leipzig: Wilhelm Engelmann, 1893.
- [22] HAMEL G. Quelques Cladophora des côtes françaises [J]. Revue Algologique, 1924, 1: 168-174.
- [23] HAMEL G. Chlorophycées des côtes françaises (fin) [J]. Revue Algologique, 1930, 6: 9-73.
- [24] VAN DER HOEK C. Revision of the European species of Cladophora [M]. Leiden: E J Brill, 1963.
- [25] VAN DER HOEK C. A taxonomic revision of the American species of Cladophora (Chlorophyceae) in the North Atlantic Ocean and their geographic distribution [M]. Amsterdam: North-Holland, 1982.
- [26] SAKAI Y. Scientific papers of the institute of algological research [M]. Hokkaido: Hokkaido Imperial University, 1964.
- [27] BLAIR S M. Taxonomic treatment of the Chaetomorpha and Rhizoclonium species (Cladophorales; Chlorophyta) in New England [J]. Rhodora, 1983, 85 (842): 175-211.
- [28] WOMERSLEY H B S. The marine benthic flora of southern Australia [M]. Adelaide, 1984.
- [29] GAJARIA S C, PATEL R J. Study of marine Cladophorales of Gujarat. Genus Cladophora Kuetz [M]. Madras: Seaweed Research and Utilization Association, 1985.
- [30] GAJARIA S C, PATEL R J. Contribution to our knowledge of Cladophorales IV Genus Chaetomorpha Kuetz [J]. Seaweed Research and Utilization, 1988, 11: 1-8.
- [31] JÓNSSON S, HOEK C, BOT P. Clé de détermination des Cladophora des côtes Françaises [J]. Cryptogamie Algologie, 1989, 10: 15-22.
- [32] KOH C, SHIN H C. Growth and size distribution of some large brown algae in Ohori, east coast of Korea [J]. International Seaweed Symposium, 1990, 204-205: 225-231.
- [33] CAMBRIDGE M L, BREEMAN A M, VAN DER HOEK C. Temperature limits at the distribution boundaries of four tropical to temperate species of Cladophora (Cladophorales; Chlorophyta) in the North Atlantic Ocean [J]. Aquatic Botany, 1990, 38(2-3): 135-151.
- [34] CAMBRIDGE M L, BREEMAN A M, VAN DER HOEK C. Temperature responses and distribution of Australian species of Cladophora (Cladophorales; Chlorophyta) [J]. Aquatic Botany, 1991, 40(1): 73-90.
- [35] BATTELLI C. A contribution to the knowledge of macrobenthic algae of the coastal waters of Slovenia: Genus Cladophora (Chlorophyta) [J]. Annals for Istrian and Mediterranean Studies, 1997, 11: 47-56.
- [36] LELIAERT F, ROUSSEAU F, DE REVIERS B, et al. Phylogeny of the Cladophorophyceae (Chlorophyta) inferred from partial LSU rRNA gene sequences: Is the recognition of a separate order Siphonocladales justified? [J]. European Journal of Phycology, 2003, 38 (3): 233-246.
- [37] TSENG C K, LI L C. Some marine algae from Tsingtao and Chefoo, Shantung [J]. Bulletin of the Fan Memorial Institute of Biology (Botany), 1935, 6(4): 183-235.
- [38] TSENG C K. Notes on the marine algae from Amoy [J]. Chinese Marine Biological Bulletin, 1936, 1: 1-86.
- [39] TSENG C K. Studies on the marine Chlorophyceae from Hainan [J]. Chinese Marine Biological Bulletin, 1936, 1: 129-200.
- [40] TSENG C K. On marine algae new to China II [J]. Bulletin of the Fan Memorial Institute of Biology (Botany), 1936, 7(6): 231-255.
- [41] 辽宁海洋水产科学研究所. 辽宁省海藻调查报告 [M]. 大连: 辽宁海洋水产科学研究所, 1959. Liaoning Ocean and Fisheries Research Institute. Investigation Report of Algae in Liaoning [M]. Dalian: Liaoning Ocean and Fisheries Research Institute, 1959.
- [42] 江永棉. 台湾海藻简介 [M]. 台北: 台湾省立博物馆出版部, 1990. CHIANG Y M. Taiwan Algae Introduction [M]. Taiwan: Taiwan Provincial Museum Publishing Department, 1990.
- [43] 李茹光. 旅大的海生绿藻 [J]. 东北师大学报: 自然科学版, 1964(1): 93-106.

- LI J K. Notes on the Marine Chlorophyceae from Lushun and Talien[J]. Journal of Northeast Normal University: Natural Science Edition, 1964(1): 93-106.
- [44] 野田光藏. 中国东北(满洲)地区植物志[M]. 东京: 风间书房株式会社, 1971.  
NODA. Flora of Northeast China (Mucnchuria)[M]. Tokyo: Kazamashobo, 1971.
- [45] 朱浩然, 刘雪娟. 西沙群岛刚毛藻科海藻研究[J]. 海洋科学集刊, 1980(17): 11-18.  
ZHU H R, LIU X X. Studies on Cladophoraceae of Hsisha Islands, China[J]. Studia Marina Sinica, 1980(17): 11-18.
- [46] 浙江水产厅上海自然博物馆. 浙江海藻原色图谱[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1983.  
Zhejiang Fisheries Department, Shanghai Natural History Museum. Color Atlas of Zhejiang Algae[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Publishing House, 1983.
- [47] 周贞英, 陈灼华. 福建海藻名录[J]. 台湾海峡, 1983, 2(1): 91-102.  
ZHOU Z Y, CHEN Z H. A list of marine algae from Fujian coast[J]. Taiwan Strait, 1983, 2(1): 91-102.
- [48] 栾日孝. 大连沿海藻类实习指导[M]. 大连: 大连海运学院出版社, 1988.  
LUAN R X. Algae internship guide of Dalian Coast [M]. Dalian: Dalian Maritime College Press, 1988.
- [49] 栾日孝, 张淑梅. 中国海产刚毛藻科新记录[J]. 植物分类学报, 1998, 36(1): 84-86.  
LUAN R X, ZHANG S M. Three species of Cladophoraceae new to China[J]. Acta Phytotaxonomica Sinica, 1998, 36(1): 84-86.
- [50] 栾日孝, 栾淑君. 中国海产刚毛藻科(Cladophoraceae)八个新记录种[J]. 植物研究, 2002, 22(3): 262-270.  
LUAN R X, LUAN S J. Eight marine species of the Cladophoraceae (Chlorophyta) new to China[J]. Bulletin of Botanical Research, 2002, 22(3): 262-270.
- [51] HUANG B X, TENG L H, DING L P. Morphological and molecular discrimination of green macroalgae Chaetomorpha aerea and *C. linum* [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2016, 35(4): 118-123.
- [52] 丁兰平, 黄冰心, 谢艳齐. 中国大型海藻的研究现状及其存在的问题[J]. 生物多样性, 2011, 19(6): 798-804.  
DING L P, HUANG B X, XIE Y Q. Advances and problems with the study of marine macroalgae of China seas[J]. Biodiversity Science, 2011, 19(6): 798-804.
- [53] 滕林宏. 中国刚毛藻目海藻的形态及系统发育学研究——兼DNA条形码技术在刚毛藻目的应用初探[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2011.  
TENG L H. Study on morphology and molecular phylogeny of Cladophorales (Chlorophyta) along China sea coast, with its DNA barcoding based on ITS and 18S rDNA sequences[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2011.
- [54] 邓蕴彦. 硬毛藻及其附生藻的实验分类学[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2010.  
DENG Y Y. Experimental taxonomy of Chaetomorpha and its epiphytic algae[D]. Qingdao: Chinese Academy of Sciences, 2010.
- [55] COLLINS F S. The green algae of North America[J]. Tufts College Studies (Science), 1909, 2: 79-480.
- [56] WILLE N. Studien über Chlorophyceen. I - III. Skrifter Udgivne af Videnskabs - selskabet i Kristiania [J]. Mathematisk-naturvidenskabelig Klasse, 1900, 6: 46.
- [57] DE TONI G B. Sylloge Algarum omnium hucusque cognitarum[M]. 1889.
- [58] AGARDH J. De Algis Novae Zelandiæ marinis; In supplementum floræ Hookerianæ [J]. Afdelningen for Matematik och Naturvetenskap, 1878, 14(4): 1-32.
- [59] BOURRELLY P. Quelques algues d'eau douce du Canada[J]. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, 1966, 51(1): 45-126.
- [60] MARKS J C, CUMMINGS M P. DNA sequence variation in the ribosomal internal transcribed spacer region of freshwater Cladophora species (Chlorophyta)[J]. Journal of Phycology, 1996, 32(6): 1035-1042.
- [61] PILLMANN A, WOOLCOTT G W, OLSEN J L, et al. Inter- and intraspecific genetic variation in Caulerpa (Chlorophyta) based on nuclear rDNA ITS sequences [J]. European Journal of Phycology, 1997, 32(4): 379-386.
- [62] BAKKER F T, OLSEN J L, STAM W T. Evolution of nuclear rDNA ITS sequences in the Cladophora albida/sericea clade (Chlorophyta)[J]. Journal of Molecular Evolution, 1995, 40(6): 640-651.
- [63] OLSEN J L, STAM W T, BAKKER F T, et al. 18S rDNA and evolution in the Dasycladales (Chlorophyta): Modern living fossils[J]. Journal of Phycology, 1994, 30(4): 729-744.
- [64] HANYUDA T, WAKANA I, ARAI S, et al. Phylogenetic relationships within Cladophorales (Ulvophyceae, Chlorophyta) inferred from 18S rRNA gene sequences with special reference to Aegagropila linnaei [J]. Journal of Phycology, 2002, 38(3): 564-571.
- [65] SAUNDERS G W, KUCERA H. 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.
- [66] 姚雪, 于丹, 王绪敏, 等. 大型海洋藻类DNA条形码技

- 术的开发与应用[J]. 今日科苑, 2011(2):161-162.
- YAO X, YU D, WANG X M, et al. Development and application of DNA barcoding technology for marine macroalgae of China[J]. Modern Science, 2011(2):161-162.
- [67] LANE C E, LINDSTROM S C, SAUNDERS G W. A molecular assessment of northeast Pacific *Alaria* species (Laminariales, Phaeophyceae) with reference to the utility of DNA barcoding[J]. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2007, 44(2):634-648.
- [68] SAUNDERS G Y, KUCERA H. An evaluation of *rbcL*, *tufA*, *UPA*, *LSU* and *ITS* as DNA barcode markers for the marine green macroalgae[J]. Cryptogamie Algologie, 2007, 31(4):487-528.
- [69] DENG Y Y, TANG X R, HUANG B X, et al. Molecular identification and culture observation on *Acrochaete leptochaete* (Chaetophoraceae, Chlorophyta) from China[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2012, 30(3):476-484.
- [70] DENG Y Y, TANG X R, ZHAN Z F, et al. Culture observation and molecular phylogenetic analysis on the blooming green alga *Chaetomorpha valida* (Cladophorales, Chlorophyta) from China[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2013, 31(3):552-559.
- [71] MARKS J C, CUMMINGS M P. DNA sequence variation in the ribosomal internal transcribed spacer region of freshwater *Cladophora* species (Chlorophyta) [J]. Journal of Phycology, 1996, 32(6):1035-1042.
- [72] 丁兰平, 黄冰心, 栾日孝. 中国海洋绿藻门新分类系统[J]. 广西科学, 2015, 22(2):201-210.
- DING L P, HUANG B X, LUAN R X. New classification system of marine green algae of China[J]. Guangxi Sciences, 2015, 22(2):201-210.
- [73] 丁兰平, 王展, 黄冰心. 北部湾大型海藻资源研究及应用展望[J]. 广西科学, 2014, 21(6):561-568.
- DING L P, WANG Z, HUANG B X. Resource research and application perspective of macroalgae of Beibu Gulf in China[J]. Guangxi Sciences, 2014, 21(6):561-568.

(责任编辑:米慧芝)

## CNKI 推出《中国高被引图书年报》

日前,中国知网(CNKI)中国科学文献计量评价研究中心推出了一套《中国高被引图书年报》,该报告基于中国大陆建国以来出版的422万余本图书近3年被国内期刊、博硕士论文、会议论文的引用频次,分学科、分时段遴选高被引优秀学术图书予以发布。据研制方介绍,他们统计并分析了2013—2015年中国学术期刊813万余篇、中国博硕士学位论文101万余篇、中国重要会议论文39万余篇,累计引文达1451万条。根据统计数据,422万本图书至少被引1次的图书达72万本。研制方根据中国图书馆分类法,将72万本图书划分为105个学科,分1949—2009年和2010—2014年两个时间段,分别遴选被引最高的TOP10%图书,共计选出70911本优秀图书收入《中国高被引图书年报》。统计数据显示,这7万本高被引优秀图书虽然只占全部图书的1.68%,却获得67.4%的总被引频次,可见这些图书质量上乘,在同类图书中发挥了更加重要的作用。该报告还首次发布各学科“学科h指数”排名前20的出版单位的评价指标,对客观评价出版社的社会效益——特别是学术出版物的社会效益具有重要的参考价值。

该报告从图书被引用的角度出发,评价图书的学术影响力,弥补了以销量和借阅等指标无法准确评价学术图书的缺憾,科学、客观地评价了图书、图书作者以及出版单位对各学科发展的贡献。

《中国高被引图书年报》把建国以来出版图书全部纳入评价范围属国内首创,是全面、客观评价图书学术影响力的工具,填补了目前图书学术水平定量评价的空白,在帮助图书馆建设特色馆藏和提高服务水平、帮助出版管理部门了解我国学术出版物现状、帮助科研机构科研管理、帮助读者购买和阅读图书等方面,均具有较强的参考价值,也为出版社评估出版业绩、决策再版图书、策划学科选题提供有用的信息。

《中国高被引图书年报》由《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司出版。该产品的形式为光盘电子出版物,分为理学、工学、农学、医学、人文科学和社会科学6个分卷,随盘赠送图书,欢迎您咨询、订购。咨询电话:010-82710850,82895056 转 8599, E-mail: aspt@cnki.net。