

强壮硬毛藻(*Chaetomorpha valida*)的温度性质 及其在中国海藻区系中的扩散潜力*

邓蕴彦^{1,2} 汤晓荣³ 黄冰心⁴ 丁兰平¹

(1. 中国科学院海洋研究所 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院 北京 100049;
3. 中国海洋大学海洋生命学院 青岛 266003; 4. 汕头大学 汕头 515063)

提要 采用显微观察和单藻培养的方法,对山东荣成沿海水域大量繁生的一种大型绿藻进行了研究。经过形态分类鉴定,确认其为强壮硬毛藻 *Chaetomorpha valida*。通过室内单藻培养,对其孢子体和配子体生长、生殖的温度范围进行了研究。结果表明,强壮硬毛藻样品生长、生殖的适温范围为 21—29。根据此适温范围,该物种的温度性质应该归划为暖水性。结合国内外已有的相关报道分析,认为强壮硬毛藻在中国海域有沿海岸向南扩散的可能性。

关键词 强壮硬毛藻, 温度性质, 扩散

中图分类号 Q256

近年来,已报道的我国北方沿海底栖绿藻有 45 种(Dong *et al.*, 1983; 丁兰平等, 2008),它们主要栖生于潮间带硬基质上,也有一些种类附着于人工或自由漂浮基质上。许多种类都在该水域大量繁生,引起了一定的生态、社会、经济问题。其中的一些种类(如浒苔)引起了国内外极大关注(丁兰平等, 2009),但更多的问题物种,如刚毛藻和硬毛藻类,往往被忽视。

硬毛藻常在富营养化的盐沼或池塘中大量聚集成甸,在世界各海区也常常参与形成绿潮(Lavery *et al.*, 1991; Rysgaard *et al.*, 1995; David *et al.*, 1998; McGlathery *et al.*, 1999; Menendez, 2005)。近几年在我国北方盐田侧渠道、高潮带池沼、鱼虾养殖池,甚至污水池中,常常大量生长一些硬毛藻。这些硬毛藻在养殖池中繁殖迅速,在生长旺盛期可直接将虾或海参缠绕致死。其藻体腐烂变质后致使水质恶化,滋生各种病菌,致使虾和海参出现明显病症和大量死亡,给海水养殖业带来了较大的危害和经济损失。据报道,其中一种为强壮硬毛藻 *Chaetomorpha valida* (Hooker

et Harvey) Kützing(迟永雪等, 2009)。

强壮硬毛藻在分类上属于绿藻门(Chlorophyta)、绿藻纲(Chlorophyceae)、刚毛藻目(Cladophorales)、刚毛藻科(Cladophoraceae)、硬毛藻属(*Chaetomorpha*)。据报道,该种分布于大洋洲的澳大利亚(Womersley, 1984)、新西兰(Womersley, 1984)和斐济(South *et al.*, 2003)等地。在我国,该物种在辽宁大连首次报道生于海参养殖池塘,原文作者认为是外来入侵种(迟永雪等, 2009)。本文的通讯作者过去几年在野外调查过程中,也曾经目睹一种硬毛藻在山东荣成地区海水养殖池塘大量滋生,养殖户打捞起来堆在池岸或堆成草垛。

针对此类问题绿藻,本文以采自山东荣成海水养殖池塘的这种硬毛藻为实验材料,在实验室条件下对其孢子体和配子体生长、生殖适宜温度范围进行了研究。结合海藻温度性质和区系特征,判断该物种在我国沿海的分布潜力,以期为该类绿藻在海水养殖区大暴发的防控及其合理开发利用提供一定的理论依据。

* 国家自然科学基金面上项目资助, 31070185 号, 40876081 号; 国家自然科学基金重大项目资助, 30499340 号; 中国科学院知识创新项目资助, KSCX2-YW-Z-018 号。邓蕴彦, E-mail: maimai0328@126.com

通讯作者: 丁兰平, 博士, 研究员, E-mail: lpd2118@hotmail.com

收稿日期: 2010-05-20, 收修改稿日期: 2010-07-29

1 材料与方法

1.1 实验材料

硬毛藻孢子体: 2008年8月24日采自山东省荣成市海水养殖池塘(图1a)。

硬毛藻配子体: 将野外采集的孢子体带回实验室在温度21℃、光强108 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、光周期10L:14D的条件下培养。培养一周左右细胞陆续进入繁殖状态, 将放散的孢子移入锥形瓶, 每周换水一次直至配子体生长成熟。

天然海水: 取自青岛轮渡附近海域, 过滤后煮沸待用。

1.2 实验方法

1.2.1 物种鉴定 解剖镜和光学显微镜下观察藻体形态特征, 包括颜色、质地、外形、基部特征、细胞形状和大小等。根据藻体形态特征鉴定物种。

1.2.2 生长生殖适宜温度的测定 选择健康的孢子体和配子体, 在天然海水中用脱脂棉反复擦拭藻体表面, 直至镜检无杂藻为止。用解剖刀将处理好的孢子体和配子体分别切成3细胞左右的藻段, 藻段按40—50段/皿的密度放入培养皿。培养温度为13、17、21、25、29和33℃, 光照强度为108 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 光周期为10L:14D。设4次重复, 每周换水一次。

生长率计算: 每培养皿随机选取20段藻段记录细胞数目, 取平均值记为 N , N 表示培养皿中藻段细胞数目。 N_1 为前一次记录结果, N_2 为本次记录结果, 每3天记录一次, 共记录5次, 生长率(%/d)按公式 $G = [(N_2/N_1)^{1/3} - 1] \times 100\%$ 计算。

无性生殖和有性生殖比例的计算: 每培养皿随机选取40段藻段记录产生孢子囊或配子囊藻段的数目, 记为 n , 出现生殖结构藻段的百分比即为 $(n/40) \times 100\%$ 。每3天记录一次, 共记录5次。

2 实验结果

2.1 物种鉴定

强壮硬毛藻 *Chaetomorpha valida* (Hooker et Harvey) Kützing 1849: 379; Womersley 1984: 178, figs.56B, 57D; Silva *et al.*, 1996: 768; 迟永雪等, 2009; 丁兰平等, 2011¹⁾。

同物异名 *Conferva valida* Hooker et Harvey 1847: 416

形态特征 藻体鲜绿色, 质地较硬, 为不分枝的丝状体(图1b), 单生或丛生, 基部无固着器。细胞长300—1000 μm , 宽300—450 μm , 长为宽的1.8—2.8倍; 细胞壁厚10—20 μm , 多数细胞横壁处平滑不缢缩(图1c), 少数细胞横壁处稍有缢缩, 末梢细胞钝圆(图1d)。

地理分布 亚洲: 中国辽宁大连(迟永雪等, 2009)、山东荣成(丁兰平等, 2011¹⁾); 大洋洲: 澳大利亚(Womersley, 1984)、新西兰(Womersley, 1984)和斐济(South *et al.*, 2003)。

模式标本产地 澳大利亚塔斯马尼亚岛。

2.2 强壮硬毛藻孢子体和配子体生长生殖适宜的温度范围

2.2.1 孢子体

(1) 生长 培养约20天后, 13℃条件下藻体逐渐由鲜绿色变为淡绿色; 33℃条件下藻体色素逐渐变浅直至白色, 最后藻体死亡。实验结果见图2a, 适宜孢子体生长的温度范围为21—29℃, 最适温度为29℃。

(2) 无性生殖 实验开始3天后, 17—33℃培养条件下的藻体开始形成孢子囊; 实验6—9天后, 13℃培养的藻体开始形成孢子囊。实验结果见图2b, 根据

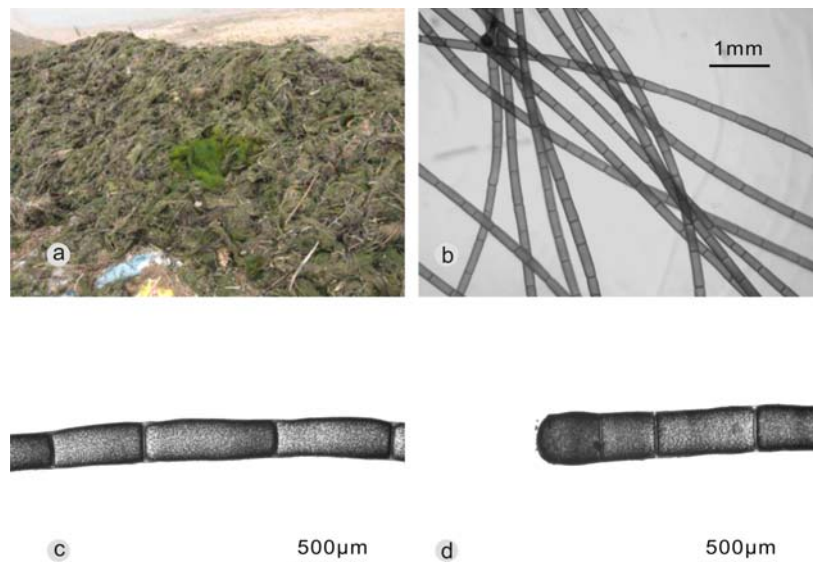


图1 强壮硬毛藻外观

Fig.1 The picture of *Ch. valida*

a. 堆在池塘岸边的硬毛藻; b. 藻体表面观; c. 藻体多数细胞横壁处平滑不缢缩; d. 藻体末梢细胞钝圆

1) 丁兰平, 栾日孝, 2011. 中国海藻志绿藻门(第一册). 北京: 科学出版社(印刷中)

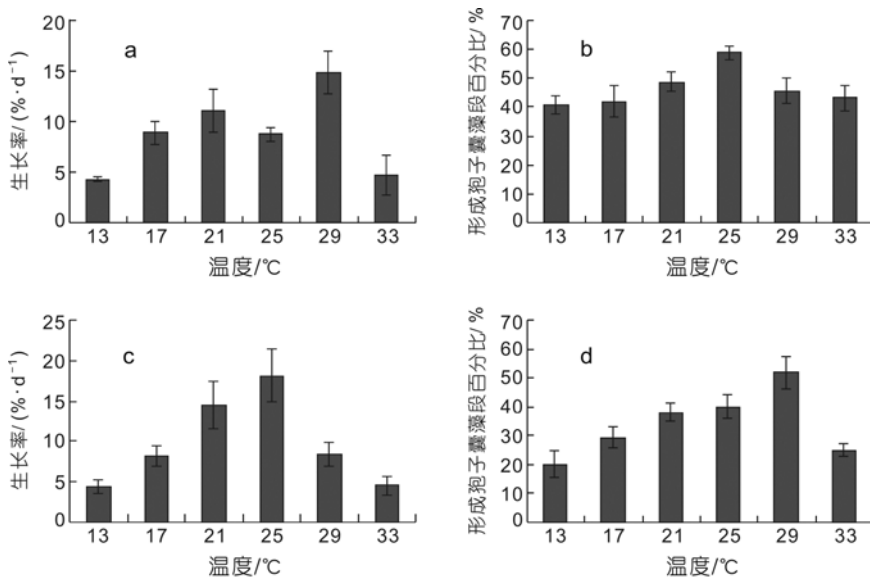


图2 不同温度对强壮硬毛藻的影响($t = 12d$)

Fig.2 The effect of temperature on *Ch. valida* ($t = 12d$)

a. 孢子体生长, b. 孢子囊形成, c. 配子体生长, d. 配子囊形成

孢子囊形成的比例, 适宜孢子体无性生殖的温度范围为 17—29°C, 最适温度为 25°C。

2.2.2 配子体

(1) 生长 培养约 20 天后, 13°C 条件下藻体逐渐由鲜绿色变为淡绿色; 33°C 条件下藻体色素逐渐变浅直至白色, 最后藻体死亡。实验结果见图 2c, 适宜配子体生长的温度范围为 21—25°C, 最适温度为 25°C。

(2) 有性生殖 实验开始 3 天后, 17—33°C 培养条件下的藻体开始形成配子囊; 实验 6—9 天后, 13°C 培养条件下的藻体开始形成配子囊。实验结果见图 2d, 适宜配子体有性生殖的温度范围为 21—29°C, 最适温度为 29°C。

根据以上实验结果, 总结强壮硬毛藻生长、生殖适宜温度范围, 见表 1。

2.3 强壮硬毛藻的扩散潜力分析

由以上实验结果, 强壮硬毛藻孢子体和配子体生长生殖适温范围为 21—29°C (表 1)。而野外实地调查结果表明, 强壮硬毛藻目前在我国分布于辽宁大连和山东荣成两地。

根据曾呈奎等(1960)“海藻的温度性质”判断, 强壮硬毛藻的温度性质为暖水性。结合我国沿海海藻区系特征, 适温范围 21—29 的暖水性海藻区系为我国沿海的 15 和 16 区(曾呈奎等, 1959)。以此区系的温度性质分析, 强壮硬毛藻有自北向南沿海扩散的可能性。

3 讨论

关于海藻的区系、区划问题, 曾呈奎等(1959, 1960, 1962)和曾呈奎(1963)对北太平洋西部、黄渤海及中国沿海等海区进行了充分的探讨。其提出的区系区划划分建议(曾呈奎等, 1959)在最近中国沿海生物多样性研究中

得到了检验和肯定(刘瑞玉, 2008)。

海藻的区系性质表现在许多方面, 其中主要的一项是温度性质。关于海藻的温度性质, 曾呈奎等(1960)认为最准确的方法是应用实验生态学的方法确定物种适温和最适温度, 根据生长生殖的适温来判断海藻的温度性质。曾呈奎(1963)建议根据一般的地理学区划和表层水温将海洋划分为三个大带, 即冷水带, 温水带和暖水带。三个温度带的年平均表层水温大致为: 冷水带 < 4°C, 温水带 4—20°C, 暖水带 > 20°C。温水带进一步分为冷温带(4—12°C)和暖温带(12—20°C); 暖水带又进一步分为亚热带(20—25°C)和热带(> 25°C)。暖水性种类主要发生于赤道上的热带海洋及其附近海区, 分布方式主要是依靠暖流向中纬度海区发展(曾呈奎, 1963)。

在大洋洲海域, 强壮硬毛藻主要分布在新西兰(Womersley, 1984)、澳大利亚南部海区(Womersley, 1984)、塔斯马尼亚岛(Womersley, 1984)和斐济(South et al, 2003)海区。新西兰(41°S)、澳大利亚南部海区

表 1 强壮硬毛藻生长生殖适宜温度范围(°C)

Tab.1 The optimal temperature range (°C) for the growth and reproduction of *Ch. valida*

孢子体和配子体	生长		无性生殖		有性生殖	
	适宜温度	最适温度	适宜温度	最适温度	适宜温度	最适温度
孢子体	21—29	29	17—29	25	—	—
配子体	21—25	25	—	—	21—29	29

(30°—43°S)和塔斯马尼亚岛(40°38'—43°38'S)主要属于亚热带和暖温带, 而斐济(15°—20°S)海区属于热带。因此, 在大洋洲, 强壮硬毛藻的区系分布横跨暖温带(12—20°C)-亚热带(20—25°C)-热带(>25°C)。强壮硬毛藻在大洋洲的这种分布格局与以本实验生长生殖适温范围为依据的该种海藻温度性质相吻合。

根据作者的实验结果, 强壮硬毛藻生长生殖的适温大于 20°C(表 1), 温度性质为暖水性, 说明该物种可以较好的适应暖水带的水温, 可分布于亚热带和热带海区。同时本实验中孢子体和配子体在 13—20°C 的温度范围仍然可以正常生长生殖, 说明强壮硬毛藻也可以分布于暖温带海区。野外实地调查结果也证明了这一点。强壮硬毛藻目前在我国分布地区在辽宁大连和山东荣成两地。大连(38°97'N)和荣成(37°17'N)海区均属于暖温带。

我国沿海地区, 目前修建了大量的海水养殖池塘及其抽排水系统, 人为地改变了生境。由于污水排放等人为因素, 养殖池塘中营养盐含量丰富, 其一级和二级生产力高于临近海区(Nybakken, 1988; Mann, 1991)。在适宜的生长生殖温度前提下, 这些环境因素的改变导致强壮硬毛藻在大连和荣成养殖池塘中的大量滋生。同时, 本实验中强壮硬毛藻样品的生长生殖最适温度>20°C, 为暖水性种, 更适宜生活在热带和亚热带海区。虽然目前在山东荣成以南地区仍未发现该物种的分布, 但根据此物种上述的温度性质及其在大洋洲的分布特征, 在我国沿海由北向南扩散的可能性是存在的。

据文献报道, 近几十年以来, 由于全球气候变暖、海水温度上升导致海洋浮游生物在大西洋东北部有由南向北移动趋势(Hays *et al.*, 2005), 本实验结果与之不一致。作者认为原因主要有如下几个方面: (1) 强壮硬毛藻在我国被认为是入侵藻(迟永雪等, 2009), 其温度性质决定了它的适宜分布区域会延伸至 15 和 16 区(曾呈奎等, 1959)。其入侵方式或途径目前还未知。Wonham 等(2005)认为, 太平洋东北部的海洋生物入侵主要途径分别为船运、贝类和长须鲸。而强壮硬毛藻的原产地在大洋洲, 入侵我国沿海的最大途径可能是船运。(2) 作为大型藻类, 强壮硬毛藻的适温范围广。事实表明它的区系分布横跨暖温带(12—20°C)-亚热带(20—25°C)-热带(>25°C), 具有非常大的分布空间。(3) 生长习性和生境影响了该藻在水体中的分布。强壮硬毛藻更适宜于在较静水体中漂浮生长, 完成生物量的积累, 这与某些其他大型绿

藻相似, 结果导致其自然传播速度慢。(4) 全球气候变暖而导致的海水温度升高幅度对强壮硬毛藻分布的影响有限。有报道称, 在今后的一个世纪内, 全球平均海平面温度将升高 1.7—1.9°C (Beardall *et al.*, 2006)。政府间气候变化小组预测, 到 2100 年, 大西洋东北部温度将升高 2—4°C (Richardson *et al.*, 2004)。在如此长的时间梯度内, 温度变化对不同生物迁移速度的影响是不同的。海洋动物, 特别是小型动物, 对温度变化敏感, 海水温度的小变化会导致它们自由迁移。气候变化导致大洋浮游生物迁移主要是受营养和食物关系影响(Richardson *et al.*, 2004)。当然, 食物来源的浮游微藻类生产率受一定的水温影响。水温的升高虽然也有助于强壮硬毛藻的北移, 但相对于更广更高的适温范围, 它的幅度不会很大。同时, 作为沿海岸池塘大量滋生的藻类, 其营养来源不受大洋环境影响。在池塘生境中, 其传播速度慢, 短期内不能引起注意。然而, Flanagan 等(2003)根据气候变化模型分析认为, 温度和营养盐浓度增加会极大地增加藻类的生物量。(5) 室内培养条件优于自然界对分析强壮硬毛藻的扩散潜力有一定的负作用, 但其分布的整个格局不会造成大的影响。

大型海藻的迁移行为受许多因素的影响。其中, 全球气候变暖对海洋生物迁移的影响是长期效应, 时间跨度很长。受此影响, 强壮硬毛藻在我国沿海的迁移格局, 需要长期监测、调查, 因此还需要开展进一步的观察研究。

致谢 中国科学院海洋研究所连绍兴先生协助采集样品, 谨致谢忱。

参 考 文 献

- 丁兰平, 栾日孝, 2008. 黄渤海绿藻门. 见: 曾呈奎主编. 黄渤海海藻. 北京: 科学出版社, 1—459
- 丁兰平, 栾日孝, 2009. 浒苔(*Enteromorpha prolifera*)的分类鉴定、生境习性及其分布. 海洋与湖沼, 40(1): 68—71
- 刘瑞玉, 2008. 中国海洋生物名录. 北京: 科学出版社, 1—1267
- 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
- 曾呈奎, 张峻甫, 1959. 北太平洋西部海藻区系的区划问题. 海洋与湖沼, 2(4): 244—267
- 曾呈奎, 张峻甫, 1960. 关于海藻区系性质的分析. 海洋与湖沼, 3(3): 177—187
- 曾呈奎, 张峻甫, 1962. 黄海西部沿岸海藻区系的分析研究 I. 区系的温度性质. 海洋与湖沼, 4(1—2): 49—59
- 曾呈奎, 1963. 关于海藻区系分析研究的一些问题. 海洋与湖

- 沼, 5(4): 298—305
- Beardall J, Stojkovic S, 2006. Microalgae under Global Environmental Change: Implications for Growth and Productivity, Populations and Trophic Flow. *Science Asia*, 32(Suppl.1): 1—10
- David G R, John A R, Lynda J P, 1998. Ecological impact of green macroalgal blooms. *Oceanography and Marine Biology*, 36: 97—125
- Dong M L, Tseng C K, 1983. Chlorophyta. In: C K Tseng ed. *Common Seaweeds of China*. Beijing: Sciences Press, 250—300
- Flanagan K M, McCauley E, Wrona F *et al*, 2003. Climate change: the potential for latitudinal effects on algal biomass in aquatic ecosystems. *Can J Fish Aquat Sci*, 60: 635—639
- Hays G C, Richardson A J, Robinson C, 2005. Climate change and marine plankton. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(6): 337—344
- Lavery P S, McComb J A, 1991. The nutritional eco-physiological of *Chaetomorpha linum* and *Ulva rigida* in Peel Inlet, Western Australia. *Botanica Marina*, 34: 251—260
- Mann K H, 1991. Organisms and Ecosystems Fundamentals of Aquatic Ecology In: Mann K H ed. RSIC Barnes, Blackwell Science Ltd. Registered at the United Kingdom Trade Marks Registry, 1—26
- McGlathery K J, Pedersen M F, 1999. The effect of growth irradiance on the coupling of carbon and nitrogen metabolism in *Chaetomorpha linum* (Chlorophyta). *Journal of Phycology*, 35: 721—731
- Menendez M, 2005. Effect of nutrient pulses on photosynthesis of *Chaetomorpha linum* from a shallow Mediterranean coastal lagoon. *Aquatic Botany*, 82: 181—192
- Nybakken J W, 1988. *Marine Biology. An Ecological Approach* Second. Harper & Row Publishers, New York, 1—514
- Richardson A J, Schoeman D S, 2004. Climate Impact on Plankton Ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science*, 305: 1609—1612
- Rysgaard S, Christensen P B, Nielsen L P, 1995. Seasonal variation in nitrification and denitrification in estuarine sediment colonized by benthic macroalgae and bioturbating infauna. *Marine Ecology Progress Series*, 126: 111—121
- Silva P C, Basson P W, Moe R L, 1996. *Catalogue of benthic marine algae of the Indian Ocean*. University of California Publications in Botany, 79: 1—1259
- South G R, Skelton P A, 2003. *Catalogue of the marine benthic macroalgae of the Fiji Islands, South Pacific*. Australian Systematic Botany, 16: 699—758
- Womersley H B S, 1984. *The marine benthic flora of southern Australia*. Part . Adelaide: Government Printer, South Australia, 1—329
- Wonham M J, Carlton J T, 2005. Trends in marine biological invasions at local and regional scales: the Northeast Pacific Ocean as a model system. *Biological Invasions*, 7: 369—392

THE TEMPERATURE CHARACTER OF MARINE GREEN ALGA, *CHAETOMORPHA VALIDA*, WITH ANALYSIS OF ITS DIFFUSION POTENTIAL IN MARINE ALGAL FLORA OF CHINA

DENG Yun-Yan^{1,2}, TANG Xiao-Rong³, HUANG Bing-Xin⁴, DING Lan-Ping¹

(1. *Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*; 2. *Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049*; 3. *College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao, 266003*; 4. *Shantou University, Shantou, 515063*)

Abstract A marine green alga that formed large biomass at the coast of Rongcheng city, Shandong province was studied. This species was identified as *Chaetomorpha valida* (Hooker et Harvey) Kützing (Cladophoraceae, Chlorophyta) by morphological features. Based on unialgal culture, we found that the suitable temperature range lied in 21—29°C, thus this alga can be categorized as a warm-water species. This species may have a potential to expand southward along the Chinese coast.

Key words *Chaetomorpha valida*, Temperature characteristics, Diffusion