

漂浮海藻与海藻区系的关系*

刘正一¹ 庞云龙¹ 郭伟² 秦松^{1①}

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 烟台 264003; 2. 钦州学院, 钦州 535011)

摘要 区系是海藻生物地理研究的基本单位, 是以一定时间、空间范围内的全部海藻为对象划分的生物地理单元, 具有相对稳定的温度性质、物种组成和边界范围, 且区系之间具有较明显的差异。然而, 长期以来, 海藻的区系研究仅以定生的底栖海藻为研究对象, 对于漂浮海藻则没有明确的定位。近年来, 世界各地漂浮海藻造成的藻华频发, 在一些海域漂浮海藻已周期性存在, 同时分子技术的发展为海藻生物地理学研究提供了有力支撑, 为追溯、比较漂浮海藻及其与定生海藻的关系提供了可靠的参考。漂浮海藻对于认识全球变化和人类活动对海藻分布、适应与进化的影响具有重要的研究意义。本文结合漂浮海藻的特点和海藻生物地理学的基本研究方法, 探讨漂浮海藻与海藻区系的关系, 认为: (1) 以海藻区系的标准尚难以对漂浮海藻进行明确定位; (2) 漂浮海藻具有作为海藻区系之间联系途径的潜力。

关键词 海藻区系; 漂浮海藻; 生物地理

中图分类号 Q948 **doi:** 10.12036/hyxxjk20160804001

区系是植物地理学研究的基本单位, 即以植物种为单位集合起来的许多个体或居群的实体。区系的概念最早应用于陆生植物研究, 其特点是在一定有限区域内植物组成的统一性, 与其他区系具有明显区别, 其表面积一般在 100km² 以上, 或者至少包含一个特有种(王荷生, 1992)。海藻(seaweed)是海洋中的低等植物, 结构简单, 没有根、茎、叶等器官的分化(曾呈奎, 1962), 包括海生的大型红藻(Rhodophyta)、褐藻(Phaeophyta)和绿藻(Chlorophyta)。海藻区系具有与陆生植物区系不同的划定标准, 在空间范围和特有种方面未有严格的限定。根据

曾呈奎海藻区系的研究总结(曾呈奎和张峻甫, 1959, 1960, 1962, 1963, 1964; 曾呈奎, 1963), 海藻区系是指以一定时间、空间范围内的全部海藻为对象划分的生物地理单元, 具有相对稳定的温度性质、物种组成和边界范围, 且区系之间存在明显差异。

在海藻区系研究中, 稳定性是区系的主要特征之一, 既包括区系物种组成及其温度性质的稳定, 也包括区系地理边界的稳定。区系的形成源于许多复杂环境条件综合的长期影响, 在诸多环境因子中, 最重要的是海流情况和表层水温(曾呈奎和张峻甫, 1959)。自然

* 资助项目: 海洋公益性行业科研专项经费项目(201505022)。刘正一, 男, 助理研究员, E-mail: zylu@yic.ac.cn

① 通讯作者: 秦松, 男, 研究员, 从事海藻分子生物技术、海岸带植物资源及应用研究, E-mail: sqin@yic.ac.cn

收稿日期: 2016-08-04, 收修改稿日期: 2016-08-07

状态下,底栖海藻的分布与扩散较为缓慢,这是因为海藻不具备主动运动的能力,其分布扩散主要由海流,尤其是其繁殖季节的海流决定(曾呈奎,1963)。同时,一个地区的水温情况决定了海藻能否在该地区繁殖生长,从而决定了区系的组成(曾呈奎和张峻甫,1959)。

1 漂浮海藻及其生物地理学分析

海藻缺乏主动运动的能力,多数种类营定生生长,称为底栖海藻;而漂浮海藻是一类生活史独特的海藻,既包括部分生活史处于漂浮状态的海藻,也包括在大洋中完成整个生活史的漂浮种类。漂浮海藻具有独特的充气结构(如某些巨藻横断面中呈现的蜂窝状气室结构、浒苔的中空管状体结构、马尾藻的气囊等),藻体可漂浮于海面,在风场和海流的作用下可实现远距离的漂移,其距离甚至足以跨越广阔的大洋盆地(Rothäusler et al., 2012)。世界上的漂浮海藻以褐藻为主,其次为红藻和绿藻。常见的漂浮种类有 *Macrocystis* (Kingsford, 1995; Hobday, 2000)、*Fucus* (Vandendriessche et al., 2006; Muhlin et al., 2008; Thiel et al., 2011)、*Sargassum* (Ohno, 1984; Hirata et al., 2001)、*Durvillaea* (Hinojosa et al., 2007; 2011)、*Carpophyllum* 和 *Cystophora* (Kingsford, 1993),以及世界上最大规模的漂浮海藻 *Enteromorpha prolifera* (Liu et al., 2009; Lin et al., 2011; Zhao et al., 2013)。目前,除马尾藻海中 *Sargassum natans* 和 *S. fluitans* 是全生活史漂浮外,多数漂浮海藻还是来源于定生海藻,且仅仅在生活史的某一阶段进行漂浮生活(Rothäusler et al., 2012)。

此外,漂浮海藻形成的密集群体通常仅有一个优势种,并构成一个独特的漂生境,其他种类的海藻与之共生,在优势种营造的独特生境中可随之实现远距离,甚至跨区系的迁移,因此漂浮海藻在漂浮过程中也起到基质的作用,类似于一个移动的海岛(Rothäusler et al., 2012)。这个“海岛”进行远距离的迁移和定

殖需满足一些基本条件:从定生到漂浮阶段,需具备足够生物量和漂浮生长潜力的定生海藻;保障漂浮海藻能够实现远距离迁移的风场和海流条件;漂浮经过的海域具备适宜的营养条件,从而保障漂浮海藻生物量的补充以维系整体的漂浮系统;在光照、温度、生物摄食等限制因子的影响下,漂浮海藻虽不断消亡和损耗,但足以移动到新的适宜定生的环境中(Thiel, 2003; Thiel and Gutow, 2005; Macreadie et al., 2011)。

如上文所述,海藻区系的温度性质、物种组成和边界范围较为稳定,然而这种“稳定性”仅针对底栖海藻而言,并不适用于漂浮海藻,在海藻营漂浮生活的阶段,可进行长时间、远距离的迁移,并不受限于现有海藻区系划分的范围;另外,受风场和海流的影响,其分布的空间范围和时间段并不稳定,往往存在年际差异。同时,由于漂浮海藻的种类较有限,所以海藻区系研究仅以底栖海藻为对象,而没有对漂浮海藻进行专门的定位。

从海藻区系的角度分析漂浮海藻,需要分析漂浮海藻是否对其自身以及共生海藻的分布构成影响。部分漂浮海藻的分子实验证实,漂浮海藻是其自身,以及共生的定生海藻分布扩散的重要机制(Buchanan and Zuccarello, 2012; Neiva et al., 2012; Chan et al., 2014),对于远距离种群之间的联系起到了重要作用,且这种作用在距离较近的区域更加明显(Thiel and Haye, 2006; Coleman and Kelaher, 2009; Fraser et al., 2009)。同时,一些海藻物种在区域内消失后,可通过其他海域漂浮海藻输入的形式在本地重新定殖,从而延续该物种在本区系内的存在(Rothäusler et al., 2012)。

2 漂浮海藻与海藻区系

漂浮过程使漂浮海藻及其共生的其他生物可实现远距离的定殖,尤其是海藻在经过远距离漂移后仍具有释放生殖细胞的潜力,

这为突破底栖海藻的区系边界创造了条件。除了漂浮海藻这一群体的主要构成物种之外,共生的其他海藻也可借助这一漂移的固着基质实现远距离迁移,并为其在新生境的定殖创造重要条件。因此,漂浮海藻不仅是单一的漂浮物种,同时也可视为具有独特环境条件的移动基质,为包括海藻在内的某些定生物种创造了突破地理隔离、区系边界的机会。

目前,海藻区系的研究对象仅限于底栖海藻,对于漂浮海藻未有明确的界定,本文通过总结有关漂浮海藻的研究,提出了以下两个观点。

2.1 以海藻区系的标准尚难以对漂浮海藻进行明确定位

漂浮藻主要源于底栖海藻(马尾藻海的 *Sargassum fluitans* 和 *S. natans* 除外),因此可以将漂浮海藻及其共生海藻看作是定生海藻区系范围的延伸,但是二者构成的漂浮系统又具有流动性、范围不确定的特点,传统海藻区系的定义和稳定性的特点并不适用于漂浮海藻。但在陆生植物区系划分中,可将植物地区内具有特有种或者特有亚种的区域划为区系省和县,考虑到漂浮海藻相对于底栖海藻的特殊性,如果某些漂浮海藻在相对固定的海域范围内已呈周期性存在,则具备以区系省或县的单位加以定义的可能,并将这些单位作为其起源区系的延伸。但这种定位需基于漂浮海藻起源区域的确定,以及漂浮海藻存在的时空范围的长期统计分析。例如,黄海漂浮浒苔及其共生海藻是否可作为“北太平洋植物区-东亚亚区-黄海西区-北黄海漂浮县”,有待进一步研究。同时,对漂浮海藻的区系定位还会面临另一个问题,不同区系来源的漂浮海藻会因存在时间的差异,其分布的海域范围可能会部分重叠,即区系的空间划分也可能会出现重叠,而这种重叠现象在现有的海藻区系划分中并不存在。对于不同漂浮海藻重叠区域的区系划分,除空间之外,是否还应将不同漂浮海藻在该区域内出现的时间因素也

加以考虑,这是漂浮海藻区系定位面临的另一个问题。

2.2 漂浮海藻具有作为海藻区系之间联系途径的潜力

在海流作用下,漂浮海藻可实现远距离扩散,如亚南极地区的两种海藻 *Macrocystis pyrifera* 和 *Durvillaea antarctica*,在西风漂流(west wind drift)的作用下可通过漂浮的形式,在一些间距数千千米的海岛之间形成具有较高同源性的种群(Fraser et al., 2009; Macaya et al., 2010)。定生海藻主要通过生殖细胞随海流运动实现分布扩散,这一过程受到新生境底质条件、生殖细胞寿命、表层水温等多重因素的制约,而漂浮海藻为自身和共生海藻提供了适宜的生存境,显著提高了漂浮海藻及共生海藻实现远距离迁移,以及在新生境定殖的概率,进而具备联系不同海藻区系的潜力。但由于漂浮海藻及其共生海藻的种类远少于底栖海藻,在新生境能实现定殖的种类更为稀少,因此在研究跨越不同区系的漂浮海藻时,其对各区系的影响程度和范围有待进一步研究,如漂浮海藻是否对区系内优势种构成了影响,漂浮海藻的生物量与这种影响是否存在联系等。此外,海藻区系的形成和发展是一个缓慢的过程,所以漂浮海藻虽具有连接和影响不同海藻区系的潜力,但其作用体现的周期也需长期的跟踪研究。

参 考 文 献

- 王荷生. 1992. 植物区系地理. 北京: 科学出版社
 曾呈奎. 1962. 中国经济海藻志. 北京: 科学出版社
 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
 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): 244-265
 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, 张峻甫. 1963. 中国沿海海藻区系的初步分

- 析研究. 海洋与湖沼, 5(3): 245-253
- 曾呈奎, 张峻甫. 1964. 黄海西部沿岸海藻区系性质的分析研究- II. 植物地理特点. 海洋与湖沼, 6(2): 152-168
- Buchanan J, Zuccarello G C. 2012. Decoupling of short- and long-distance dispersal pathways in the endemic New Zealand seaweed *Carpophyllum maschalocarpum* (Phaeophyceae, Fucales). J Phycol, 48(3): 518-529
- Chan S W, Cheang C C, Yeung C W, et al. 2014. Recent expansion led to the lack of genetic structure of *Sargassum aquifolium* populations in Southeast Asia. Mar Biol, 161(4): 785-795
- Coleman M A, Kelaher B P. 2009. Connectivity among fragmented populations of a habitat-forming alga, *Phyllospora comosa* (Phaeophyceae, Fucales) on an urbanised coast. Mar Ecol Prog Ser, 381: 63-70
- Fraser C I, Nikula R, Spencer H G, et al. 2009. Kelp genes reveal effects of subantarctic sea ice during the Last Glacial Maximum. Proc Natl Acad Sci U S A, 106(9): 3249-3253
- Hinojosa I A, Rivadeneira M M, Thiel M. 2011. Temporal and spatial distribution of floating objects in coastal waters of central-southern Chile and Patagonian fjords. Cont Shelf Res, 31(3-4): 172-186
- Hinojosa I, González E, Ugalde P, et al. 2007. Distribution and abundance of floating seaweeds and their associated peracarid fauna in the fjords and channels of the XI. Region, Chile. Cienc Tecnol Mar (Chile), 30: 37-50
- Hirata T, Tanaka J, Iwami T, et al. 2001. Ecological studies on the community of drifting seaweeds in the south-eastern coastal waters of Izu Peninsula, central Japan. I: seasonal changes of plants in species composition, appearance, number of species and size. Phycol Res, 49(3): 215-229
- Hobday A J. 2000. Age of drifting *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Agardh rafts in the Southern California Bight. J Exp Mar Biol Ecol, 253(1): 97-114
- Kingsford M J. 1993. Biotic and abiotic structure in the pelagic environment: importance to small fishes. Bull Mar Sci, 53(2): 393-415
- Kingsford M J. 1995. Drift algae: a contribution to near-shore habitat complexity in the pelagic environment and an attractant for fish. Mar Ecol Prog Ser, 116: 297-301
- Lin H Z, Jiang P, Zhang J X, et al. 2011. Genetic and marine cyclonic Eddy analyses on the largest macroalgal bloom in the world. Environ Sci Technol, 45(14): 5996-6002
- Liu D Y, Keesing J K, Xing Q G, et al. 2009. World's largest macroalgal bloom caused by expansion of seaweed aquaculture in China. Mar Pollut Bull, 58(6): 888-895
- Macreadie P I, Bishop M J, Booth D J. 2011. Implications of climate change for macrophytic rafts and their hitchhikers. Mar Ecol Prog Ser, 443: 285-292
- Muhlin J F, Engel C R, Stessel R, et al. 2008. The influence of coastal topography, circulation patterns, and rafting in structuring populations of an intertidal alga. Mol Ecol, 17(5): 1198-1210
- Neiva J, Pearson G A, Valero M, et al. 2012. Drifting fronds and drifting alleles: range dynamics, local dispersal and habitat isolation shape the population structure of the estuarine seaweed *Fucus ceranoides*. J Biogeogr, 39(6): 1167-1178
- Ohno M. 1984. Observation on the floating seaweeds of near-shore waters of southern Japan. Hydrobiologia, 116(1): 408-412
- Rothäusler E, Gutow L, Thiel M. 2012. Floating seaweeds and their communities//Wiencke C, Bischof K. Seaweed Biology. Berlin Heidelberg: Springer: 359-380
- Thiel M, Gutow L. 2005. The ecology of rafting in the marine environment II. The rafting organisms and community. Oceanogr Mar Biol Annu Rev, 43: 279-418
- Thiel M, Haye P A. 2006. The ecology of rafting in the marine environment III. Biogeographical and evolutionary consequences. Oceanogr Mar Biol Annu Rev, 44: 323-429
- Thiel M, Hinojosa I A, Joschko T, et al. 2011. Spatio-temporal distribution of floating objects in the German Bight (North Sea). J Sea Res, 65(3): 368-379
- Thiel M. 2003. Rafting of benthic macrofauna: important factors determining the temporal succession of the assemblage on detached macroalgae. Hydrobiologia, 503(1-3): 49-57
- Vandendriessche S, De Keersmaecker G, Vincx M, et al. 2006. Food and habitat choice in floating seaweed clumps: the obligate opportunistic nature of the associated macrofauna. Mar Biol, 149(6): 1499-1507
- Zhao J, Jiang P, Liu Z Y, et al. 2013. The Yellow Sea green tides were dominated by one species, *Ulva (Enteromorpha) prolifera*, from 2007 to 2011. Chin Sci Bull, 58(19): 2298-2302

Relationship Between Floating Seaweeds and Seaweed Flora

LIU Zheng-Yi¹, PANG Yun-Long¹, GUO Wei², QIN Song^{1*}

(1. *Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China;*

2. Qinzhou University, Qinzhou 535011, China)

*Corresponding author, E-mail: sqin@yic.ac.cn

Abstract Seaweed flora was a sum of all the seaweed populations within definite time and space, with stable temperature, species composition and boundaries. And a certain flora was clearly different from another. There were two main types of seaweeds which were attached seaweeds and floating seaweeds. In flora study only the attached seaweeds were included, while there was no clear definition of floating seaweeds. Over recent years the blooms of floating seaweeds had been a periodical phenomenon within some area in the world, which made it necessary to analyze the relationship between floating seaweed and seaweed flora. With the support from the molecular technology, it was available to carry out tracing and comparative research between attached and floating seaweeds. This paper discussed the relationship between floating seaweeds and seaweed flora. The two main results were: it was still hard to definite floating seaweed as a flora unit; meanwhile, floating seaweed could be a potential connection among different floras.

Key words seaweed flora; floating seaweeds; biogeography