

中国沿海污损性无柄蔓足类生态特点概述*

Ecological Characteristics of Fouling Acorn Barnacles in China——A Review

曹文浩¹, 严涛^{1**}, 李静², 陈如江³, 杨天笑³, 刘永宏¹

CAO Wen-hao¹, YAN Tao¹, LI Jing², CHEN Ru-jiang³, YANG Tian-xiao³, LIU Yong-hong¹

(1. 中国科学院南海海洋研究所, 广东广州 510301; 2. 广东轻工职业技术学院, 广东广州 510300; 3. 中海石油(中国)有限公司番禺作业公司, 广东深圳 518067)

(1. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong, 510301, China; 2. Guangdong Industry Technical College, Guangzhou, Guangdong, 510300, China; 3. Panyu Operating Company, CNOOC China Limited, Shenzhen, Guangdong, 518067, China)

摘要:按从北往南的顺序, 综合分析我国渤海、黄海、东海和南海污损性无柄蔓足类的种类组成、分布状况和季节变化等特点。污损性无柄蔓足类在中国沿海主要有 34 种, 其中纹藤壶 (*Balanus amphitrite amphitrite*)、网纹藤壶 (*B. reticulatus*)、糊斑藤壶 (*B. cirratus*)、三角藤壶 (*B. trigonus*)、泥藤壶 (*B. uliginosus*)、钟巨藤壶 (*Megabalanus tintinnabulum tintinnabulum*)、高峰星藤壶 (*Chirona amaryllis*)、白条地藤壶 (*Euraphia withersi*) 等种类均是沿海污损生物群落的优势种。纹藤壶在北方的渤海、黄海海区是主要的致污种类, 网纹藤壶则在东海和南海沿岸海区占绝对优势。由北往南随着纬度的降低, 污损性无柄蔓足类的附着期明显延长, 甚至出现全年均可附着的现象, 而且其种类数量也有所增加。海水盐度和离岸距离也是影响污损性无柄蔓足类分布的关键因素。

关键词:污损生物 无柄蔓足类 种类 分布

中图法分类号:X17, Q958.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-7378(2010)01-0067-07

Abstract: The ecological characteristics of fouling acorn barnacles in Bohai Sea, Yellow Sea, East China Sea and South China Sea, including species composition, distribution, and seasonal variation are stated in this paper. Thirty-four species of fouling acorn barnacles were found in Chinese waters. The dominant species are *Balanus amphitrite amphitrite*, *B. reticulatus*, *B. cirratus*, *B. trigonus*, *B. uliginosus*, *Megabalanus tintinnabulum tintinnabulum*, *Chirona amaryllis*, and *Euraphia withersi*. The acorn barnacle *B. amphitrite amphitrite* is dominant species in the costal waters of Bohai Sea and Yellow Sea. However, the predominant species of acorn barnacles is *B. reticulatus* in the East China Sea and South China Sea. The settlement period of fouling acorn barnacles is usually in summer and autumn. Due to the decrease of latitude from north to south, the settlement period of fouling extends even to the whole year. The species numbers of fouling acorn barnacles also increased. Moreover, the environment factors, such as salinity and distance to shore also play an important role in the distribution of fouling acorn barnacles.

Key words: fouling organisms, acorn barnacles, species, distribution

收稿日期: 2009-09-22

作者简介: 曹文浩(1981-), 男, 硕士, 主要从事海洋污损生物与防除研究。

* 中国科学院南海海洋研究所知识创新工程前沿项目(LYQY200703), 国家自然科学基金项目(40706046), 广东省重大科技兴海项目(深水网箱抗附着研究)资助。

** 通讯作者。

无柄蔓足类(藤壶)属节肢动物门甲壳纲, 是沿海生态系统的重要组成部分, 常成群附着于海岸岩石、堤坝码头、舰船浮标、海水管道、平台设施、养殖设备及其它海洋动植物体上, 对人类涉海经济活动

产生极大危害,为污损生物防除的重点对象。中国海域辽阔,海岸线长,沿海环境多样,污损性无柄蔓足类种类组成复杂,分布广泛。了解和掌握无柄蔓足类的种类组成、分布规律等生态特点对污损生物防除工作具有特别重要的意义。到目前为止,国内外研究人员从生物学、生态学、物理及化学等领域对无柄蔓足类的生活史、附着特性和生态特点及胶粘物特性等方面做了大量调查研究工作^[1~4]。本文根据以往文献资料,按照从北往南的顺序,综合分析我国渤海、黄海、东海和南海污损性无柄蔓足类的种类组成、分布状况和季节变化等特点,以期为进一步的生态学研究奠定基础,并为促进我国海洋经济产业的发展 and 国防建设提供参考。

1 中国沿海污损性无柄蔓足类种类分布和附着状况

我国渤海、黄海、东海和南海 4 大海区沿海的污损性无柄蔓足类种类分布如表 1 所示。

1.1 渤海的污损性无柄蔓足类

渤海是我国内海,由辽东湾、渤海湾、莱州湾、中部海区和渤海海峡组成,总面积约 $7.7 \times 10^4 \text{ km}^2$,平均水深 18m。该海区共出现污损性无柄蔓足类 7 种(见表 1),其中主要种类为纹藤壶 (*Balanus amphitrite amphitrite*)、致密藤壶 (*B. improvisus*) 和泥藤壶 (*B. uliginosus*)^[5~11]。

在辽东湾的扇贝养殖区,白脊藤壶 (*B. albicostatus*) 是对水产养殖影响最大的污损性无柄蔓足类^[5];在大连的金州湾,纹藤壶则是污损生物群落中的优势种之一,此外常见的种类还有高峰星藤壶 (*Chirona amaryllis*) 和糊斑藤壶 (*Balanus cirratus*)^[6]。在生物附着量方面,9 月份的藤壶湿重可达 487 g/m^2 ,而 3 月份则几乎没有藤壶附着^[6]。在离岸较远的海上石油平台,纹藤壶和致密藤壶仅偶尔出现^[7]。

在渤海湾,泥藤壶是海中平台污损生物群落中的优势种^[7,8];而在沿岸码头,致密藤壶则是最主要的污损生物种类之一,泥藤壶也较为常见。致密藤壶的附着期为 5~9 月份,其中在 6~8 月份,其附着量可占总生物附着量的 58.8%,附着密度高达 27237 个/米^2 ^[8]。

在莱州湾,位于其东侧的龙口港,水域开阔,盐度较高,纹藤壶是其污损生物群落中的优势种,占总生物附着量的 59.4%;泥藤壶偶尔出现,且附着量极少^[9]。

在渤海中部海区,紫贻贝 (*Mytilus edulis*) 是海洋油气平台污损生物群落的优势种类,也是主要的致厚种,污损性无柄蔓足类中的纹藤壶、泥藤壶和致密藤壶仅偶有出现,且附着量极少^[7]。

在渤海海峡,污损性无柄蔓足类是致密藤壶和纹藤壶,其中在蓬莱港前者的附着期为 6~10 月份,后者则为 8~10 月份^[10]。在海峡中部的砣矶岛,污损性无柄蔓足类仅偶尔出现^[11]。

1.2 黄海的污损性无柄蔓足类

黄海是一个半封闭的大陆架浅海,东濒朝鲜半岛,西临山东半岛和苏北平原,北面辽东半岛,南接东海,总面积约 $3.8 \times 10^5 \text{ km}^2$,平均水深约 44m。污损性无柄蔓足类共有 6 种(见表 1),主要种类为纹藤壶、致密藤壶、泥藤壶和糊斑藤壶^[12~17]。

辽东半岛东南的大连湾,纹藤壶是最主要的污损生物优势种类,其附着期为 5~10 月份,其中 8 月份附着量最大,可达 7124.5 g/m^2 ;缺刻藤壶 (*Balanus crenatus*) 的附着高峰期在 5~6 月份,其中 6 月份的附着量可达 705.3 g/m^2 ;东方小藤壶 (*Chthamalus challengerii*) 仅偶有出现^[12]。位于辽东半岛南端的旅顺港,常见的污损性无柄蔓足类为纹藤壶^[13]。

位于山东半岛东北部的烟台港,污损性无柄蔓足类优势种是纹藤壶和致密藤壶,其中前者从 6 月份开始少量附着,至 11 月份则完全停止附着,9 月份达到附着高峰期,附着密度达 38156 个/米^2 ;后者的附着期则为 5~11 月份,6 月份上旬为第一次附着高峰期,附着密度为 21919 个/米^2 ,第二个附着高峰期在 8 月份,附着密度达 82606 个/米^2 ^[14]。

胶州湾内的青岛港,纹藤壶是污损生物的优势种,泥藤壶和糊斑藤壶则为主要种类。泥藤壶附着期为 6~10 月份,其中 6、7 月份为主要附着期;纹藤壶在 6~11 月份期间均有附着,附着高峰期在 8 月份,生物附着量可达 1379.6 g/m^2 ;糊斑藤壶的附着期为 6~9 月份^[15]。

在连云港,污损性无柄蔓足类不多,只发现糊斑藤壶和泥藤壶,而且附着量也很少,这可能与调查站点水流不畅有关^[16]。

在黄海最南端的吕四洋海域,泥藤壶是污损生物群落的主要优势种之一,其次为糊斑藤壶。泥藤壶附着期在 6~10 月份,其中 7 月份是附着高峰期,生物附着量达到 4675.0 g/m^2 ,附着密度则达 31100 个/米^2 ;在一周年的污损生物群落中,泥藤壶占绝对优势,其湿重可达 39780.0 g/m^2 ^[17]。

表 1 中国沿海污损性无柄蔓足类生物名录

种 类	渤海					黄海				东海			南海											
	辽东湾	渤海湾	莱州湾	渤海中部	渤海海峡	辽东南	鲁东北	胶州湾	连云港	吕四洋	舟山群岛	浙南海域	闽东北	台湾海峡	台湾东北	粤东海区	珠江口近海区	江邻海区	粤西海区	琼州海峡	海南岛	北部湾	南海诸岛	
藤壶科 (Balanidae)																								
纹藤壶 (<i>Balanus amphitrite amphitrite</i>)	+		+	+	+	+	+	+			+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
网纹藤壶 (<i>B. reticulatus</i>)												+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+
糊斑藤壶 (<i>B. cirratus</i>)	+	+				+		+	+	+	+	+	+				+	+	+		+	+	+	+
三角藤壶 (<i>B. trigonus</i>)											+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+
致密藤壶 (<i>B. improvisus</i>)	+	+		+	+	+	+																	
白脊藤壶 (<i>B. albicostatus</i>)	+										+	+		+		+	+			+				
缺刻藤壶 (<i>B. crenatus</i>)						+																		
象牙藤壶 (<i>B. eburneus</i>)		+																						
块斑藤壶 (<i>B. poecilotheca</i>)																		+			+	+		
泥藤壶 (<i>B. uliginosus</i>)		+	+	+				+	+	+	+	+	+	+			+	+						
美丽藤壶 (<i>B. pulchellus</i>)																		+						
珠江藤壶 (<i>B. zhujiangensis</i>)																		+						
刺巨藤壶 (<i>Megabalanus volcano</i>)											+	+						+	+	+	+	+	+	+
钟巨藤壶 (<i>M. tintinnabulum tintinnabulum</i>)											+	+		+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
纵肋巨藤壶 (<i>M. tintinnabulum zebra</i>)																		+			+			
红巨藤壶 (<i>M. rosa</i>)											+	+		+				+	+	+	+	+	+	+
古藤壶科 (Archaeobalanidae)																								
高峰星藤壶 (<i>Chirona amaryllis</i>)	+										+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
薄壳星藤壶 (<i>C. tenuis</i>)											+							+	+	+	+	+	+	+
玲珑坚藤壶 (<i>Solidobalanus ciliatus</i>)																							+	
集群坚藤壶 (<i>S. socialis</i>)																							+	
葱头刺藤壶 (<i>Armatobalanus cepa</i>)																								+
小藤壶科 (Chthamalidae)																								
东方小藤壶 (<i>Chthamalus challengeri</i>)						+																		
中华小藤壶 (<i>C. sinensis</i>)																	+	+		+	+	+	+	+
马来小藤壶 (<i>C. malayensis</i>)																		+					+	
白条地藤壶 (<i>Euraphia withersi</i>)												+	+	+		+	+	+						
盾形华小藤壶 (<i>Chinochthamalus scutelliformis</i>)												+						+						
中国四板小藤壶 (<i>Tetrachthamalus sinensis</i>)																								+
笠藤壶科 (Tetraclitidae)																								
鳞笠藤壶 (<i>Tetraclita squamosa squamosa</i>)											+	+		+			+	+	+	+	+	+	+	+
日本笠藤壶 (<i>T. japonica</i>)											+	+					+							
蓝笠藤壶 (<i>T. coerulea</i>)																	+	+	+			+		
中华小笠藤壶 (<i>Tetraclitella chinensis</i>)											+							+						
白方孔藤壶 (<i>Tesseroportia alba</i>)																								+
鲸藤壶科 (Coronolidae)																								
龟藤壶 (<i>Chelonibia testudinaria</i>)												+												
薄壳龟藤壶 (<i>C. patula</i>)												+										+	+	

1.3 东海的污损性无柄蔓足类

东海北起长江口北岸,南至广东南澳岛,总面积约 $7.7 \times 10^5 \text{ km}^2$,平均水深 370m。该海区共出现污损性无柄蔓足类 18 种(见表 1),其中主要种类为网

纹藤壶 (*Balanus reticulatus*)、纹藤壶、三角藤壶 (*B. trigonus*)、泥藤壶和高峰星藤壶^[18~34]。

在长江口水域,泥藤壶是主要的优势种,附着季节为 6~10 月份,其中 7、8 月份的附着密度可达

400个/米²;随着离岸距离的增加,三角藤壶和钟巨藤壶(*Megabalanus tintinnabulum tintinnabulum*)也偶尔出现^[18]。

在舟山群岛,嵊山海域较为开阔,优势种为红巨藤壶(*M. rosa*)和三角藤壶,其次为泥藤壶;而在长涂港、定海港和牛轭港,泥藤壶则为主要优势种^[19];在枸杞水域,优势种主要是三角藤壶^[20]。污损性无柄蔓足类的附着期主要在6~10月份^[19,20]。

在浙江南部,石浦港的污损生物群落中的泥藤壶是主要优势种,其附着期为6~10月份,附着高峰期在7月份^[15];而在水域开阔的洞头岛沿岸海域,糊斑藤壶、泥藤壶和网纹藤壶为常见种类,偶尔也有三角藤壶出现^[21,22];至于远离大陆的南麂岛,三角藤壶则占压倒优势,此外网纹藤壶和钟巨藤壶也较为常见。其中三角藤壶的附着期为5~10月份,网纹藤壶为6~9月份,钟巨藤壶则在7~9月份^[23,24]。

在福建北部沿海,污损性无柄蔓足类主要是泥藤壶和网纹藤壶,糊斑藤壶和三角藤壶则为常见种类,白条地藤壶(*Euraphia withersi*)仅偶有出现。其中泥藤壶的附着期为5~10月份,附着高峰期在6月份;网纹藤壶则为6~10月份,高峰期为7~8月份^[9,25~27]。

在台湾海峡福建沿岸海域,污损性无柄蔓足类的优势种主要是网纹藤壶、泥藤壶和三角藤壶,常见种类则为糊斑藤壶和纹藤壶,白脊藤壶则多分布在高潮区。其中网纹藤壶附着期主要在5~12月份,泥藤壶则为4~12月份^[28~33]。泉州湾因受陆上径流影响极大,泥藤壶在污损生物群落中占绝对优势^[9]。

在台湾西南部的大鹏湾,污损性无柄蔓足类只有网纹藤壶偶尔出现;而在台湾岛东北部的八斗子港,纹藤壶则是污损生物群落的优势种,偶见种为高峰星藤壶^[34]。

1.4 南海的污损性无柄蔓足类

南海纵跨热带与亚热带,自然环境复杂,水温较高,总面积 $3.5 \times 10^6 \text{ km}^2$,平均水深1212m。该海区共有污损性无柄蔓足类28种(见表1),其中网纹藤壶、纹藤壶、糊斑藤壶、三角藤壶、钟巨藤壶、刺巨藤壶(*Megabalanus volcano*)和高峰星藤壶为主要种类^[35~60]。

在粤东的汕头港,污损性无柄蔓足类以泥藤壶和网纹藤壶为优势种,白脊藤壶和白条地藤壶则较为常见,而三角藤壶、钟巨藤壶和高峰星藤壶等为偶见种。在陆地径流的影响下,泥藤壶主要分布在西部的鲍江出口处,而靠近湾口的盐度较高处则以网纹

藤壶为主^[35~37]。

在珠江口邻近海域,污损性无柄蔓足类优势种为网纹藤壶、三角藤壶,此外还有鳞笠藤壶(*Tetraclita squamosa squamosa*)、糊斑藤壶、中华小藤壶(*Chthamalus sinensis*)、白条地藤壶、白脊藤壶、纹藤壶、高峰星藤壶、块斑藤壶(*Balanus poecilotheca*)和日本笠藤壶(*Tetraclita japonica*)等种类出现。其中网纹藤壶、糊斑藤壶和中华小藤壶几乎全年都有附着,5~8月份则是污损性无柄蔓足类附着的高峰期^[38~46]。

在珠江口东南近海海区,网纹藤壶只在离岸较近水域占绝对优势,钟巨藤壶和高峰星藤壶则是常见种类;随着离岸距离的增加,污损性无柄蔓足类的种类和数量均显著减少,有柄蔓足类等则逐渐成为污损生物群落的优势种^[47]。

在粤西,污损性无柄蔓足类的绝对优势种是网纹藤壶和钟巨藤壶,其次为刺巨藤壶、日本笠藤壶和三角藤壶,白条地藤壶仅偶有出现^[48~50]。在湛江港内,网纹藤壶在污损生物群落中占绝对优势,且全年都有附着,其附着高峰期在春季的4月份和秋季的9~11月份^[51]。钟巨藤壶在琼州海峡污损生物群落中占绝对优势,而在雷州半岛沿岸湾内,优势种基本上是网纹藤壶;此外,雷州半岛沿岸水域污损性无柄蔓足类也以钟巨藤壶为优势种,鳞笠藤壶、蓝笠藤壶(*Tetraclita coerulescens*)、刺巨藤壶和高峰星藤壶等种类则较为常见^[47,52]。

在广西北海及邻近海域,港内污损性无柄蔓足类的优势种是网纹藤壶和糊斑藤壶,其中网纹藤壶的附着量占绝对优势,且全年都有附着,而糊斑藤壶的附着期则为4~12月份,两者的附着高峰期均为6~8月份^[53,54]。而在离岛屿和大陆较远的近海海域,污损性无柄蔓足类的优势种主要是网纹藤壶,其次是块斑藤壶和高峰星藤壶^[47]。

在海南岛沿岸水域,网纹藤壶和钟巨藤壶是污损性无柄蔓足类的主要优势种类,三角藤壶、中华小藤壶、糊斑藤壶、刺巨藤壶、高峰星藤壶等则为常见种^[52,55~57]。然而,在海南岛南部的榆林港和琅玕湾,污损性无柄蔓足类的数量远少于其它海区,在污损生物群落中不占优势^[15,58]。在海南岛周边离岸较远的近海水域,常见的污损性无柄蔓足类主要有网纹藤壶、高峰星藤壶、块斑藤壶和钟巨藤壶;此外,随着离岸距离的增加,无柄蔓足类的种类及数量均有所下降,其中在琼东近海海区仅有块斑藤壶和刺巨藤壶两个种类出现^[47]。

在西沙群岛海域,污损性蔓足类主要有网纹藤壶、纹藤壶、钟巨藤壶和三角藤壶,其中纹藤壶主要分布在中潮区,其附着期为7月份至翌年1月份,附着高峰期在冬季,估计夏季的高温和台风对其繁殖和附着有着抑制性影响^[59,60]。

2 中国沿海污损性无柄蔓足类生态特点

我国沿海的污损性无柄蔓足类主要有34种,纹藤壶、网纹藤壶、糊斑藤壶、三角藤壶、泥藤壶、钟巨藤壶、高峰星藤壶、白条地藤壶、鳞笠藤壶、日本笠藤壶等种类是沿海各港湾、码头或浮标上污损生物群落的优势种。东方小藤壶、致密藤壶、象牙藤壶(*Balanus eburneus*)和缺刻藤壶等种类仅分布于黄海、渤海;而网纹藤壶、三角藤壶、鳞笠藤壶、红巨藤壶和钟巨藤壶等则只出现在长江口以南海域的污损生物群落中。

纹藤壶是世界性温带、亚热带和热带广布种,在我国各个海区均有分布,尤其是黄海、渤海的金州湾、龙口港、大连湾、烟台港、蓬莱港和青岛港等港湾的污损生物优势种;而在浙江南部的洞头岛以南水域,网纹藤壶则为主要污损生物种类,且在污损生物群落中占绝对优势。广泛分布于热带、亚热带海域的三角藤壶是我国东海、南海污损生物群落中的主要种类,且常出现重叠附着的现象。作为典型的河口代表种,泥藤壶是低盐海域的主要致污种类,在受陆地淡水径流影响较大的黄河口、吕四洋、长江口、闽江口和汕头港等处附着量很大。白脊藤壶和糊斑藤壶广泛分布于我国沿岸各海区,是污损生物群落的重要组成种类。属于热带高盐种的钟巨藤壶,适于生活在水流畅通、海域开阔的外海,仅出现在东海和南海的污损生物群落中,尤其在琼州海峡浮标上大量附着。

在附着季节方面,渤海和黄海的污损性无柄蔓足类的附着期一般在夏秋两季,藤壶在东海的附着期虽然也主要在夏秋季,但是明显要比黄海、渤海的长得多,而在南海,污损性无柄蔓足类全年都有附着。由此可以看出,从北到南,随着海水温度的升高,藤壶的附着期在不断延长,而且种类也有所增加。如网纹藤壶在浙南的南麂岛海域附着期一般为6~9月份,随着纬度降低,水温升高,其附着期不断增加,到了南海北部的大亚湾、湛江、北部湾等海域,其附着期已经可以覆盖全年了。

除水温因素外,海水盐度也是影响无柄蔓足类分布的关键因素。一些低盐种类,如泥藤壶和白脊藤

壶,广泛分布于我国沿海的河口等咸淡水交汇水域;而三角藤壶、红巨藤壶、钟巨藤壶、日本笠藤壶等高盐种类则只分布于海水盐度较高的区域。

此外,离岸距离也对污损性无柄蔓足类的分布产生重要影响,如网纹藤壶虽然在华南沿海污损生物群落中占绝对优势,但是在南海北部近海水域,其数量随着离岸距离的增加而显著减少。

3 结束语

总的来看,我国沿海污损性无柄蔓足类的种类组成和附着状况存在着差异,在考虑海洋设施的污损生物防除途径时,要综合考虑水温、盐度和离岸距离等因素的影响,针对各海区的特点采取相应的措施。污损性无柄蔓足类往往是大型附着种类的先驱者,在污损生物群落从无到有、从简单到复杂的演替过程中占有重要地位。了解和掌握特定海区污损性无柄蔓足类的生态特点,将有助于更好的阐明该海区污损生物群落的演替发展规律。目前,污损生物挂板调查的时间多为一周年,最多也不超过两年;虽然也对浸海时间较长的海洋设施污损生物群落进行调查,但是这些工作的系统性、连续性均有很大的局限性,不能满足深入研究的需要。若要揭示污损性无柄蔓足类在污损生物群落中的演替变化规律及其作用,必须长期开展定时定点的观测研究。此外,位于高温高盐热带海域的南海诸岛水域,目前只在西沙群岛开展了调查研究,其它海域的相关调查工作仍是空白。因此,下一阶段的工作除了进行补充调查外,还应着重对具有代表性的海域开展深入研究,探讨污损性无柄蔓足类与生物群落中其它种类的相互关系,构建污损生物生态数学模型,以期更好地为海洋生态学的发展积累数据资料,并为海洋污损生物防除工作提供科学依据。

参考文献:

- [1] 任先秋,刘瑞玉. 中国近海的蔓足类 I. 藤壶属[C]. 海洋科学集刊,1978,13: 119-196.
- [2] 严文侠,庞景梁,陈兴乾. 网纹藤壶的附着[C]. 南海海洋科学集刊,1983,4: 65-73.
- [3] Anderson D T. Barnacles: structure, function, development and evolution [M]. London: Chapman & Hall, 1994: 1-26.
- [4] Sullan RMA, Gunari N, Tanur AE, et al. Nanoscale structures and mechanics of barnacle cement [J]. Biofouling, 2009, 25(3): 263-275.
- [5] 张连震. 河北扇贝养殖区污损生物调查[J]. 河北渔业,

- 2007(3): 52-57.
- [6] 曹善茂,张丛尧,张国范,等.海洋贝类养殖网笼污损生物类群的研究[J].大连水产学院学报,1998,13(4): 15-21.
- [7] 黄修明,尹建得,刘建军,等.渤海石油平台附着生物生态的研究[C].海洋科学集刊,1994,35:131-141.
- [8] 黄宗国,李传燕,张良兴,等.渤海湾附着生物生态[J].海洋学报,1980,2(3):111-122.
- [9] 黄宗国,蔡如星.海洋污损生物及防除:上册[M].北京:海洋出版社,1984:67-104.
- [10] 李传燕,黄宗国,王建军,等.蓬莱港附着生物生态研究[J].海洋通报,1989,8(2):64-68.
- [11] 王建军,黄宗国,李传燕,等.渤海海峡砣矶岛附着生物研究[J].海洋学报,1988,10(1):86-92.
- [12] 曹善茂,周一兵,牟红梅,等.大连市沿海污损生物种类及分布的研究[J].大连水产学院学报,1999,14(4):36-42.
- [13] 李传燕,黄宗国,张良兴,等.旅顺港附着生物生态的研究[J].生态学报,1982,2(1):59-65.
- [14] 李传燕,黄宗国,王建军,等.烟台港附着生物生态研究[J].海洋学报,1990,12(1):107-114.
- [15] 李洁民,黄修明,黎国珍,等.中国几个主要港口附着生物生态的研究[J].海洋与湖沼,1964,6(4):371-392.
- [16] 李传燕,黄宗国,张良兴,等.连云港附着生物和钻孔生物的初步研究[J].海洋通报,1982,1(5):43-48.
- [17] 张良兴,黄宗国,李传燕,等.吕四洋附着生物与钻孔生物生态研究[J].海洋学报,1981,3(1):139-148.
- [18] 黄宗国,李传燕,张良兴,等.长江口附着生物的分布[J].海洋与湖沼,1981,12(6):531-537.
- [19] 黄宗国,李传燕,张良兴,等.舟山海区的附着生物与钻孔生物生态研究[J].海洋学报,1979,1(2):299-310.
- [20] 蔡如星,陈树庆,薛俊增,等.舟山枸杞水域的污损生物生态[J].东海海洋,1994,12(3):42-56.
- [21] 李传燕,黄宗国,张良兴,等.浙江南部沿岸附着生物与钻孔生物Ⅱ:洞头附着生物与钻孔生物生态研究[J].海洋学报,1982,4(1):93-102.
- [22] 张永普.洞头岛沿岸固着蔓足类的生态分析[J].温州师范学院学报:自然科学版,1994(6):75-78.
- [23] 张良兴,黄宗国,李传燕,等.浙江南部沿岸附着生物与钻孔生物Ⅲ:南几岛的附着生物与钻孔生物生态[J].海洋学报,1982,4(3):367-376.
- [24] 蔡如星.舟山及南鹿海域蔓足类的生态及生物学研究[J].东海海洋,1995,13(1):29-38.
- [25] 李传燕,林盛,黄宗国,等.沙埕港污损生物的生态研究[J].台湾海峡,1994,13(2):111-117.
- [26] 周时强,柯才焕,林大鹏.罗源湾大官坂围垦区附着生物生态研究[J].海洋通报,2001,20(3):19-35.
- [27] 郑成兴,黄宗国,李传燕,等.闽江口污损生物生态[J].海洋学报,1996,18(3):139-146.
- [28] 黄桂芳,郑国富,魏观渊,等.福建围头海域深水网箱养殖区污损生物[J].海洋学报,2007,29(1):98-104.
- [29] 黄宗国,蔡如星,许由焰.平潭附着生物生态研究[J].台湾海峡,1982,1(1):87-92.
- [30] 黄宗国,蔡如星,许由焰.东山湾附着生物分布特点[J].海洋学报,1981,3(2):291-299.
- [31] 李传燕,黄宗国,郑成兴,等.厦门港试验浮筏污损生物的群落[J].台湾海峡,1992,11(2):167-173.
- [32] 李传燕,黄宗国,郑成兴,等.湄洲湾附着生物与油污染生态学研究[J].台湾海峡,1996,15(4):387-393.
- [33] 王建军,黄宗国,李传燕,等.厦门港网箱养殖场污损生物的研究[J].海洋学报,1996,18(5):93-102.
- [34] 黄宗国,陈丽淑.台湾省两个港湾污损生物初步研究[J].海洋学报,2002,24(6):38-44.
- [35] 李传燕,黄宗国,郑成兴,等.汕头港污损生物生态研究[J].台湾海峡,1996,15(1):19-24.
- [36] 王又昭,严文侠,董钰,等.广东湛江港和汕头港的海洋附着生物[C].国家科委与防护专业组海洋分组第二次全体会议论文汇编,1967:33-46.
- [37] 郑成兴,黄宗国,李传燕,等.汕头港码头、浮标污损生物[J].海洋学报,1996,18(1):116-124.
- [38] 黄玉山,黄宗国,刘培生,等.香港维多利亚港码头的附着生物群落[J].海洋学报,1999,21(2):86-92.
- [39] 黄宗国,麦慕舜.香港海域污损生物中的蔓足类[C].甲壳动物学论文集,1986:109-117.
- [40] 张汉华,梁超愉,吴进锋,等.大鹏湾深水网箱养殖区的污损生物研究[J].中国水产科学,2003,10(5): 414-418.
- [41] 郑成兴,黄宗国,李传燕,等.大亚湾珍珠养殖场的污损生物[J].应用生态学报,1991,2(2):146-152.
- [42] Huang Z G, Yan S K, Lin S, et al. Biofouling communities on pier pilings in Mirs Bay[C]//Morton B. The marine flora and fauna of Hong Kong and southern China Ⅲ. Hong Kong: Hong Kong University Press, 1992:529-543.
- [43] Yan S'K, Huang Z G. Study of fouling organisms in Daya Bay, China[J]. Biofouling, 1993, 2: 229-237.
- [44] Huang Z G, Zheng C X, Lin S, et al. Fouling organisms at Daya Bay nuclear power station, China[C]//Morton B. The marine biology of the South China Sea. Hong Kong: Hong Kong University Press, 1993:121-130.
- [45] Huang Z G, Mak P M S. Studies on biofouling in Tolo Harbour[C]//Morton B, Tseng C K. Proceedings of the first international marine biological workshop: The marine flora and fauna of Hong Kong and southern

- China. Hong Kong: Hong Kong University Press, 1980:767-787.
- [46] Huang Z G, Lin S. Biofouling of Deep Bay buoys[C]//Morton B. The marine biology of the South China Sea. Hong Kong: Hong Kong University Press, 1993: 153-161.
- [47] 严文侠,董钰,王华接,等.南海北部海区无柄蔓足类的分布[J].海洋与湖沼,1995,26(4):414-422.
- [48] 黄宗国,蔡如星,江锦祥,等.琼州海峡及雷州半岛沿岸浮标的污损生物[J].海洋与湖沼,1982,13(3): 259-265.
- [49] 林盛,黄宗国,李传燕,等.广东电白浮标污损生物生态的研究[J].海洋学报,1989,11(1):70-78.
- [50] 严岩,董钰,严文侠.湛江港浮标污损生物生态研究[J].热带海洋,1994,13(2):68-74.
- [51] 严岩,严文侠,董钰.湛江港污损生物挂板试验[J].热带海洋,1995,14(3):81-85.
- [52] 王华接,严文侠,严岩,等.海口市海甸岛排污口海区污损生物的研究[M]//热带海洋研究.北京:科学出版社,1997:31-37.
- [53] 黄宗国,王建军,林盛,等.北部湾污损生物生态研究[J].海洋学报,1992,14(4):94-104.
- [54] Wang J J, Huang Z G, Lin S, et al. An ecological study of fouling organisms in Beihai Harbour, Beibu Bay, China [C]//Morton B. The marine biology of the South China Sea. Hong Kong: Hong Kong University Press, 1993:167-180.
- [55] 董钰.洋浦港海洋污损生物[C].南海海洋科学集刊, 1982,3:129-139.
- [56] 黄宗国,蔡尔西,蔡如星,等.清澜港的附着生物[J].海洋学报,1982,4(2):215-222.
- [57] 严岩,严文侠,董钰,等.海南八所港污损生物群落研究[M]//热带海洋研究.北京:科学出版社,1997:38-43.
- [58] 郑成兴,黄宗国,张良兴,等.琅琊湾附着生物和钻孔生物的初步研究[J].海洋学报,1984,6(1):81-89.
- [59] 张良兴,黄宗国,李传燕,等.西沙附着生物生态研究[J].海洋学报,1984,5(增刊):847-858.
- [60] 黄宗国,李传燕,张良兴,等.西沙群岛至海南岛水域船只及水中设施的污损生物[C].第三次中国海洋湖沼科学会议论文集.北京:科学出版社,1988:267-272.

(责任编辑:韦廷宗 邓大玉)

黏菌具有建立高效运输网络能力

黏菌是介于动、植物之间的一种微生物,形态各异,具有向食物聚集的特性,如果食物处于分散状态,黏菌就会在食物之间形成管道,通过管道输送养分。

日本的科研人员在一个A4纸大小,与日本关东地区形状相同的容器内培养黏菌。黏菌和最大块的食物被放在容器内模拟东京中心的位置,而其他小块食物则被分散放置在容器内模拟关东地区36个主要车站的位置上。黏菌首先在周围迅速形成细密网络,随着网络向四周扩散,网络从出发中心向外逐渐由细密变清晰,1~2天后,在容器内整个“关东地区”便呈现出清晰的“铁路网”。虽然黏菌每次形成的网络并不相同,但是这些网络有着共同的特点:经常用的管道会越来越发达,而不用的管道会逐渐消失;最终网络的总长度达到尽可能短;确保在某处中断时有其他路径可以绕行。利用黏菌不喜光的特性,用光照射模拟一些在实际铁道施工困难的地方,结果黏菌都形成了最为经济的网络。在实验中还出现过与现实的关东地区铁路网基本相同的网络。研究人员分析认为,黏菌网络在总长度、运输效率、应对事故能力等方面,都可以与实际的铁路网相匹敌甚至做得更优秀,他们希望将来的城际铁路网络、通信网络等基础设施的规划设计中能够发挥黏菌的这种能力。

(据科学网)