楚科奇海及白令海大型底栖生物初步研究

李荣冠 郑凤武 江锦祥 郑成兴 黄心光 黄翔玲 徐惠洲

(国家海洋局第三海洋研究所, 厦门 361005)

摘要: 1999年夏季在楚科奇海、白令海采用30 cm × 30 cm箱式取样器, 取得16个站位大型底栖生物定量样品。经分析研究有大型底栖生物92科164种, 其中多毛类、软体动物和甲壳动物种数最多, 占总种数的88.41%, 三者构成北极楚科奇海和白令海大型底栖生物的主要类群。优势种有独毛虫属一种(*Tharyx* sp.)、齿吻沙蚕属一种(*Nephtys* sp.)、囊叶齿吻沙蚕(*Nephtys caeca*)、平滑胡桃蛤(*Ennucula tenuis*)、短吻状蛤(*Nuculana pernula pernuloides*)、拟猛钩虾属一种(*Harpiniopsis* sp.)、日本沙钩虾(*Byblis japonicus*)和萨氏真蛇尾(*Ophiura sarsii*)等。楚科奇海和白令海大型底栖生物平均生物量为111.83 g/m², 平均栖息密度为2538个/m²。生物量和栖息密度均以多毛类和软体动物占多数。楚科奇海和白令海大型底栖生物有5个群落类型: I. 梯额虫(*Scalibregma inflatum*)-紫轮参(*Polycheira rufescens*)-结栉盖蛇尾(*Stegophiura nodosa*)群落, II. 拟单指虫(*Cossurella* sp.)-平滑胡桃蛤-鳞甲钩虾(*Lepidepecreum* sp.)群落, III. 缩头竹节虫(*Maldane sarai*)-葛氏希泊钩虾(*Hippomedon gorbunovi*)-萨氏真蛇尾群落, IV. 齿吻沙蚕(*Nephtys* sp.)-平滑胡桃蛤-日本沙钩虾-戈芬星虫(*Golfingia* sp.)群落和白令海群落, 即索沙蚕(*Lumbrineris fragilis*)-户枢蛤(*Asthenothaerus* sp.)-太平洋方甲涟虫(*Eudorella pacifica*)-革囊星虫(*Phascolion* sp.)群落。楚科奇海的群落I、群落II和白令海各群落结构相对稳定, 楚科奇海群落III和群落IV出现一定扰动。

关键词: 北极, 物种多样性, 数量, 群落

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 1005-0094(2003)03-0204-12

Macrobenthos in the Chukchi Sea and Bering Sea

LI Rong-Guan, ZHENG Feng-Wu, JIANG Jin-Xiang, ZHENG Cheng-Xing, HUANG Xin-Guang, HUANG Xiang-Ling, XU Hui-Zhou

Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005

Abstract: Species diversity, quantity, distribution and community of macrobenthos are analyzed in this paper. The materials were collected from 16 stations in the Chukchi Sea and Bering Sea in Summer 1999. For quantitative analysis, samples were collected by a 30 cm × 30 cm box sampler. There were in all 92 families and 164 species, of which Polychaeta comprised 62 species, Mollusca 42, Crustacea 37, Echinodermata 14 and other groups 9 species. Polychaeta, Mollusca and Crustacea occupy 88.41% of all species. *Cossurella* sp., *Tharyx* sp., *Maldane sarai*, *Nephtys caeca*, *Phascolion* sp., *Ennucula tenuis*, *Nuculana pernula pernuloides*, *Clinocardium* (*Ciliatocardium*) *ciliatum*, *Asthenothaerus* sp., *Eudorella pacifica*, *Lepidepecreum* sp., *Harpiniopsis* sp., *Byblis japonicus*, and *Ophiura sarsii* were dominant species and key species. The average biomass was 111.83 g/m² and individual density was 2538 inds./m² in Chukchi Sea and Bering Sea. Five macrobenthic communities from Chukchi Sea and Bering Sea are recorded in this paper. They are Community I. *Scalibregma inflatum*-*Polycheira rufescens*-*Stegophiura nodosa*, II. *Cossurella* sp. - *Ennucula tenuis*-*Lepidepecreum* sp., III. *Maldane sarai*-*Hippomedon gorbunovi*-*Ophiura sarsii*, IV. *Nephtys* sp. - *Ennucula tenuis*-*Byblis japonicus*-*Golfingia* sp., and the Community of the Bering Sea, *Lumbrineris fragilis*-*Asthenothaerus* sp. - *Eudorella pacifica*-*Phascolion* sp. Community of the Bering Sea and Communities I and II in Chukchi Sea are relatively stable, but disturbance characterizes Communities III and IV in the Chukchi Sea.

Key words: Arctic, species diversity, quantity, communities

楚科奇海和白令海生物区系的研究始于 1878 ~ 1879 年,由 Stuxberg A. 和 Vega O. Nordenskjold 开展的采集和考察;此后的考察包括前苏联时期,特别是 1929 和 1934 年 F. Lithke Icebreaker 的考察;1932 ~ 1933 年欧洲水生研究所的太平洋考察;1933 ~ 1934 年 Chelyuskin 的考察;1935 年 Krassin Icebreaker 的考察。20 世纪 60 ~ 70 年代以来,北极周边国家前苏联、挪威、丹麦、美国 and 加拿大等开始了较大规模的科学考察,先后发表了一系列论文和专著。近年来,欧美一些国家也进行了北极海冰生物学、生态学和生物海洋学方面的研究。欧洲海洋与极地委员会、欧洲科学基金委员会在全球环境北极海洋生态系(Arctic Ocean System in the Global Environment, 1996 ~ 2005)十年计划中将海洋生态学列为其中四大科研项目之一,其内容主要有海洋生物的种类组成、季节演替、理化和生物学过程、群落和食物网、个体实验生态学等。

我国自“八·五”以来在南极进行了大量考察,国家海洋局第三海洋研究所等曾派人前往调查取样,并发表了有关论文,但在北极海域,只有少数学者与国外有关科研人员合作进行过少量零星调查研究,而大型底栖生物生态研究几乎是空白。

1 自然环境特征

白令海位于 Kamchatka 海峡北部,表面积约 2304 km²,最大水深 4420 m,平均 1598 m。深水区较小,大陆架 1000 km²,占 44%,半深海 289 km²,占 13%,深海 992 km²,占 43%。白令海按 200 m 等深线分为面积约相等的两部分:东北部的大陆架,深度小于 200 m;西南部水深大于 3500 m。西南部又可以分为 2 个海沟,较小的一个在西部,另一个在东部,面积比西部大 4 倍。白令海通过 Kamchatka 深海峡与太平洋连接,海峡沟与西部沟间在不同深处相互连接。因阿留申(Aleutian)海峡的深度,白令海与太平洋水团的完全接触而水密度尚不清楚,白令海被认为可能是太平洋的一个分支。

白令海北部通过白令海峡与楚科奇海相接。白令海水的运动以一个方向,约 20 000 km³/秒通过白令海峡进入楚科奇海。底质类型主要为粗砾、砂、粉砂、粉砂-粘土-硅藻软泥、粘土-硅藻软泥、粉砂-粘土-软泥等(Zenkevitch , 1963)。

楚科奇海位于 Wrangel 岛的东部远至 Cape Bar-

row,通过狭而浅的白令海峡与太平洋连接。面积约 582 000 km²,大部分水深小于 50 m,最大深度 180 m,平均 86 m。白令海峡和 Herald shoal 底部是硬底,主要为砂、粗砾、卵石和岩石,余下为粉砂质泥和粘土质淤泥。较强的太平洋水域暖流通过白令海峡进入楚科奇海。楚科奇海表层水温,7 月份保持在 -1.5℃ 以下,11 月 ~ 次年 5 月份,在 -1.60 ~ -1.80℃,6、9 和 10 月份保持在 0℃,但 7 月和 8 月份,远离的沿岸水可上升到 3.0℃,5.0℃ 或 7.0℃ (月平均)。楚科奇海的盐度在较深部分达到 31.70 ~ 32.60,在北部达到 34.80。表层盐度变化较大,夏季邻近楚科奇半岛的海水,盐度仅 3.00 ~ 8.00,有时甚至更少,余下部分通常在 29.00 ~ 32.50 之间。在冰溶解的水域,表层盐度下降到千分之几,冬季由于水结冰,表层可达到很高的盐度(Zenkevitch , 1963)。

2 材料与方法

本文根据 1999 年 7 ~ 8 月,我国组队乘坐“雪龙号”调查船进行首次北极综合科学考察资料整理。大型底栖生物生态调查站位共布设 16 个,其中楚科奇海 13 个,白令海 3 个(图 1)。每站用 30 cm × 30 cm 箱式采泥器取样 1 次,样品经 1.00 mm 和 0.50 mm 金属套筛淘洗,分离挑选标本。标本按《海洋调查规范·生物分册》处理。

图 1 大型底栖生物调查站位
Fig. 1 Sampling stations of macrobenthos

群落划分应用 Bray-Curtis 相似性系数、多维尺度排序、群落分析应用丰度生物量比较法、部分优势度和个体几何级数等(李荣冠,江锦祥,1992;李荣冠等,1995,1997,1999),数据经微机处理,图件绘制主要采用 PRIMER 和 SURFER 软件。

3 结果与分析

3.1 物种组成与分布

3.1.1 种类组成 北极楚科奇海和白令海大型底栖生物已鉴定 92 科 164 种,其中多毛类 62 种,软体动物 42 种,甲壳动物 37 种,棘皮动物 14 种和其他动物 9 种。多毛类、软体动物和甲壳动物种数最多,占总种数的 88.41%,三者构成大型底栖生物的主要类群。

根据种类的数量和出现率,优势种(dominant species)和主要种(key species)有拟单指虫属一种(*Cossurella* sp.)、独毛虫属一种(*Tharyx* sp.)、缩头竹节虫(*Maldane sarai*)、齿吻沙蚕属一种(*Nephtys* sp.)、囊叶齿吻沙蚕(*Nephtys caeca*)、革囊星虫属一种(*Phascolion* sp.)、平滑胡桃蛤(*Ennucula tenuis*)、短吻状蛤(*Nuculana pernula pernuloides*)、冰岛扁鸟蛤(*Clinocardium (Ciliatocardium) ciliatum*)、户枢蛤属一种(*Asthenothaerus* sp.)、太平洋方甲涟虫(*Eudorella pacifica*)、鳞甲钩虾属一种(*Lepidepcreum* sp.)、拟猛钩虾属一种(*Harpiniopsis* sp.)、日本沙钩虾(*Byblis japonicus*)和萨氏真蛇尾(*Ophiura sarsii*)等。

Andyr 湾是白令海中最冷的地方,在湾的西边沙地 *Echinarnachnius parma* 大量存在。在湾的中央部分由萨氏真蛇尾和粉白樱蛤(*Macoma calcarea*)占据,还有双壳类的片云母蛤(*Yoldia limatula*)、*Axinus gouldi*;多毛类的缩头竹节虫、辐乳虫(*Axiothella catenata*)、筒毛拟节虫(*Praxillella gracilis*)、梳鳃虫(*Terebellides stroemii*)、梯额虫、刚鳃虫(*Chaetozone setosa*)、索沙蚕(*Lumbrineris fragilis*)、四索沙蚕(*L. impatiens*)、欧努菲虫(*Onuphis paravastrata*)等。白令海东边和西边生物区系相似,在温度小于 3℃ 时,优势种有软体动物的粉白樱蛤, *Leda permula*, 橄榄胡桃蛤(*Nucula tenuis*)、*Serripes groenlandicus*, *Yoldia hyperborean*, *Y. traciaeformis*, 鸟蛤(*Cardium ciliatum*);棘皮动物有萨氏真蛇尾, *Echinarnachnius parma*, 倦栉鳞海星(*Ctenodiscus crispatus*)和瓜参(*Cu-*

cumaria calcigera)等(Haflinger, 1981;Stoker, 1981; Zenkevitch, 1963)。与前人研究比较,不少优势种和主要种极为吻合,种类组成也极为相似。白令海陆架主要的生物种群由双壳类、棘皮动物和多毛类组成。

3.1.2 优势种分布 楚科奇海和白令海大型底栖生物优势种平滑胡桃蛤的出现率最高,遍及楚科奇海和白令海。独毛虫属一种和齿吻沙蚕属一种出现率也很高。依次为日本沙钩虾、囊叶齿吻沙蚕、短吻状蛤、拟猛钩虾属一种等(图 2)。

3.1.3 种数分布 北极楚科奇海海域大型底栖生物种数 128 种,分布相对较均匀,大部分测站的种数在 21~30 种之间。在 13 个测站中,小于 20 种的站有 4 个,分别分布于近白令海峡中线及两侧一带水域,其中站点 10 和站点 5 种数最少,分别仅 3 种和 7 种,21~30 种的站有 9 个,主要分布在中北部水域。白令海大型底栖生物种数 68 种,每站种数相对较多,均大于 30 种,分布在白令海西、北部水域(图 3)。

3.2 数量组成与分布

3.2.1 数量组成 北极楚科奇海和白令海大型底栖生物平均生物量为 111.83 g/m²,平均栖息密度为 2538 个/m²。生物量以多毛类占第一位(40.31 g/m²),软体动物占第二位(36.63 g/m²),

图 2 大型底栖生物优势种分布
Fig. 2 Distribution of dominant species of macrobenthos

图3 大型底栖生物种数分布(种/站)
Fig.3 Species number of macrobenthos in different sampling stations (No. of species/station)

依次为其他动物、棘皮动物和甲壳动物, 栖息密度以多毛类占第一位(1322个/m²), 软体动物占第二位(541个/m²), 甲壳动物占第三位(328个/m²), 依次为其他动物和棘皮动物。生物量和栖息密度均以多毛类和软体动物占优势(图4A,B)。

楚科奇海和白令海大型底栖生物数量组成大致相同, 均以多毛类和软体动物为主要类群(图4A,B)。楚科奇海底栖生物量通常在0.1~200 g/m²之间, 仅在南部和白令海峡有所增加。白令海在50~150 m深处, 生物量为50~500 g/m², 在湾中部最大达到1000 g/m², 平均生物量为426.6 g/m², 栖息密度710个/m²(Stephen & Feder, 1981; Zenkevitch, 1963)。

3.2.2 数量分布 北极楚科奇海和白令海大型底栖生物的生物量最高区出现在楚科奇海海域西南部、中部和东部一侧水域, 站点8高达332.90 g/m², 站点3为250.74 g/m², 站点12和站点13分别为257.74 g/m²和256.20 g/m², 最低出现在白令海西

图4 白令海、楚科奇海大型底栖生物生物量(A)和栖息密度(B)组成
Fig.4 Compositions of biomass (A) and density (B) of macrobenthos in Bering Sea and Chukchi Sea

图5 白令海、楚科奇海大型底栖生物生物量(克/㎡)(A)和栖息密度(个/㎡)(B)分布
Fig.5 Distribution of biomass (g/㎡) (A) and density (inds./㎡) (B) of macrobenthos in Bering Sea and Chukchi Sea

北部水域,站点14仅32.52 g/㎡。靠近白令海中海线的站点5和站点7也较低,分别为56.05 g/㎡和52.42 g/㎡。栖息密度最高也出现在楚科奇海海域西南部、中部和东部一侧水域,站点8高达6597个/㎡,站点12和站点6分别为5867个/㎡和5936个/㎡。白令海相对较均匀,最高的站点16为4252个/㎡,最低的站点15为1160个/㎡(图5A、B)。

3.3 群落

3.3.1 群落类型 按照 Bray-Curtis 相似性聚类树状图(图6)和多维尺度排序(图7),北极楚科奇海

图6 楚科奇海13个站点相似性聚类树状图
Fig.6 Dendrogram for hierachical clustering of 13 stations in Chukchi Sea

图7 楚科奇海13个站点多维尺度排序
Fig.7 Ordination of 13 stations by multi-dimensional scaling in Chukchi Sea

和白令海大型底栖生物可划分为5个群落：

楚科奇海群落Ⅰ,梯额虫(*Scalibregma inflatum*)-紫轮参(*Polycheira rufescens*)-结栉盖蛇尾(*Stegophiura nodosa*)；

楚科奇海群落Ⅱ,拟单指虫-平滑胡桃蛤-鳞甲钩虾；

楚科奇海群落Ⅲ,缩头竹节虫-葛氏希泊钩虾(*Hippomedon gorbunovi*)-萨氏真蛇尾；

楚科奇海群落Ⅳ,齿吻沙蚕-平滑胡桃蛤-日本沙钩虾-戈芬星虫属一种(*Golfingia* sp.)。

白令海群落,索沙蚕(*Lumbrineris fragilis*)-户枢蛤-太平洋方甲涟虫-革囊星虫。

3.3.2 群落结构 楚科奇海群落Ⅰ:梯额虫-紫轮参-结栉盖蛇尾群落。该群落位于楚科奇海中部和

近白令海峡,水深 38~47 m。底质主要为泥质细砂和粉砂质泥。该群落共由 13 个物种组成,为 5 个群落中种类数最少的群落。平均生物量为 68.02 g/m²,平均栖息密度为 83 个/m²。生物量以棘皮动物、软体动物占优势;栖息密度以多毛类、棘皮动物占优势。代表种梯额虫的数量并不大,最大生物量仅 1.78 g/m²,栖息密度不高,仅 11 个/m²。紫轮参出现率不高,为该群落的特征种,也是群落中生物量的最高贡献者,为 56.54 g/m²,栖息密度仅为 11 个/m²。结栉盖蛇尾也是群落的特征种,生物量和栖息密度分别为 6.71 g/m² 和 22 个/m²。其他主要种和习见种有缩头竹节虫、平滑胡桃蛤、短吻状蛤、北方樱蛤(*Peronidia verulosa*)、*Cylichna nucleola*、葛氏希泊钩虾和日本沙钩虾等。

楚科奇海群落 II:拟单指虫-平滑胡桃蛤-鳞甲钩虾群落。该群落位于楚科奇海中部近 Wrangel 岛、西伯利亚沿岸和近阿拉斯加沿岸,水深 50~59 m,底质为粉砂质砂。该群落共有 44 种,平均生物量 284.80 g/m²,平均栖息密度为 6266 个/m²。生物量以软体动物占优势,栖息密度以多毛类、甲壳动物和软体动物占优势,该群落的物种栖息密度最高。代表种为拟单指虫,生物量不高,仅 2.63 g/m²,而栖息密度则高达 4013 个/m²。平滑胡桃蛤的生物量和栖息密度均很高,分别为 214.38 g/m² 和 917 个/m²,出现率也较高。鳞甲钩虾的生物量和栖息密度也较大,分别为 11.17 g/m² 和 765 个/m²。其他习见种和主要种有:爱氏海葵属一种(*Edwardsia* sp.)、齿吻沙蚕、囊叶齿吻沙蚕、尖锥虫(*Scoloplos armiger*)、户枢蛤、粉白樱蛤、鳞甲钩虾、角钩虾属一种(*Ceradocus* sp.)和萨氏真蛇尾等。

楚科奇海群落 III:缩头竹节虫-葛氏希泊钩虾-萨氏真蛇尾群落。该群落位于楚科奇海东部近阿拉斯加沿岸,水深 44~50 m,底质为粉砂质泥、软泥。该群落共有 44 种,与群落 II 种数相等。平均生物量为 208.91 g/m²,平均栖息密度为 3410 个/m²。生物量以多毛类、棘皮动物占优势,栖息密度以多毛类和甲壳动物占优势。优势种缩头竹节虫,在站点 12 生物量和栖息密度分别高达 106.54 g/m² 和 4611 个/m²;在站点 11 分别为 71.66 g/m² 和 33 个/m²。葛氏希泊钩虾生物量不高,为 10.77 g/m²,栖息密度可达 311 个/m²。萨氏真蛇尾在站点 12 生物量和栖息密度分别为 59.51 g/m² 和 121 个/m²。主要种

和习见种有:蕨形角海葵(*Cerianthus filiformis*)、辐乳虫属一种(*Axiothella* sp.)、长叶索沙蚕(*Lumbrineris longifolia*)、襟节虫属一种(*Clymenella* sp.)、短吻状蛤、片云母蛤、*Oenopota harpa* 和鳞甲钩虾等。

楚科奇海群落 IV:齿吻沙蚕-平滑胡桃蛤-日本沙钩虾-戈芬星虫群落。该群落位于楚科奇海中北部,水深 38~52 m,底质为粉砂质泥、硬泥和软泥。该群落共有 82 种,平均生物量 128.82 g/m²,平均栖息密度为 1500 个/m²。生物量以软体动物和多毛类占优势,栖息密度以多毛类和软体动物占优势。代表种齿吻沙蚕,生物量不高,仅 3.00 g/m²,而栖息密度则高达 900 个/m²。平滑胡桃蛤的生物量和栖息密度也很高,生物量最高为 79.92 g/m²,栖息密度最高为 533 个/m²,出现率也较高。日本沙钩虾的生物量不高,仅 2.66 g/m²,而栖息密度也较大,为 187 个/m²。其他习见种和主要种有:拟单指虫、独毛虫、那不勒斯膜帽虫(*Lagis neapolitana*)、囊叶齿吻沙蚕、丝鳃稚齿虫(*Prionospio malmgreni*)、辐乳虫、戈芬星虫、平滑胡桃蛤、短吻状蛤、乳头乳玉螺(*Polinices pallida*)、*Solariella varicosa*、角钩虾属一种(*Ceradocus* sp.)、日本沙钩虾、华眼钩虾属一种(*Sinoedicerus* sp.)、萨氏真蛇尾和柱头虫(*Balanoglossus* sp.)等。

白令海群落:索沙蚕-户枢蛤-太平洋方甲涟虫-革囊星虫群落。该群落位于白令海西北部近 St. Lawrence 岛,水深 161~180 m,底质主要为泥质粉砂。该群落共有 71 种,平均生物量为 67.88 g/m²,平均栖息密度为 2767 个/m²。生物量以多毛类占优势,栖息密度以多毛类和软体动物占优势。特征种索沙蚕,出现率高且分布广,在站点 14 生物量和栖息密度分别为 0.67 g/m² 和 67 个/m²;在站点 15 分别为 0.44 g/m² 和 56 个/m²;在站点 16 分别为 6.83 g/m² 和 711 个/m²。户枢蛤,个体小数量大,在站点 14 生物量和栖息密度分别为 1.33 g/m² 和 589 个/m²;在站点 15 分别为 0.66 g/m² 和 111 个/m²;在站点 16 分别为 1.55 g/m² 和 555 个/m²。太平洋方甲涟虫,出现率高分布广,生物量不大,栖息密度达 176 个/m²。革囊星虫在站点 14 生物量和栖息密度分别为 2.20 g/m² 和 473 个/m²;在站点 16 生物量和栖息密度分别为 1.98 g/m² 和 374 个/m²。主要种和习见种有:爱氏海葵、囊叶齿吻沙蚕、不倒翁虫(*Sternaspis scutata*)、*Polymnia frigonostoma*、歧指

纹蛤(*Acila (Truncacila) castrensis*)、平滑胡桃蛤、帚形蛤(*Cardiomya* sp.)、*Tachyrhynchus* sp.、盒螺(*Cyl-ichna nucleola*)、新异足虫(*Neotanais* sp.)、拟猛钩虾和萨氏真蛇尾等。

3.3.3 群落的多样性 北极楚科奇海和白令海大型底栖生物各群落丰富度(*d*)、种类多样性(*H'*)和均匀度(*J*)不相同, 丰度以白令海群落最高(4.314), 楚科奇海群落 I 最低(0.687);种类多样性(*H'*)以白令海群落最高(2.837), 楚科奇海群落 III 最低(1.606);均匀度(*J*)以楚科奇海群落 I 最高(0.900), 群落 III 最低(0.522)(表 1)。

3.3.4 群落的稳定性 应用丰度生物量比较法、部分优势度和个体几何级数对楚科奇海和白令海域大型底栖生物群落进行分析表明, 群落 I (图 8A , B)和群落 II (图 9A , B)结构相对稳定。尽管群落 I 生物量累积系数达到近 60% ,但群落 I 丰度生物量

复合 *k*-优势度、部分优势度曲线不交叉、不重叠、不翻转。群落 III (图 10A , B)和群落 IV (图 11A , B)结构不稳定。

群落 III 的丰度累积系数高达近 75% ,其丰度生物量复合 *k*-优势度和部分优势度曲线前端出现交叉、重叠、翻转, 个体几何级数跨度也大(图 10 A , B ,图 13A , B)。群落 III 和群落 IV 结构不稳定, 初步认为与群落中优势种个体的大量出现有关: 如群落 III 中缩头竹节虫, 在站点 12 栖息密度高达 4611 个/ *m*² ,该群落平均栖息密度高达 3410 个/ *m*² ;群落 IV 中, 齿吻沙蚕生物量不高, 仅 3.00 g/ *m*² ,而栖息密度则高达 900 个/ *m*² ,此导致楚科奇海丰度生物量复合 *k*-优势度曲线和部分优势度曲线前端出现交叉重叠, 个体几何级数跨度大。白令海群落结构相对稳定, 其丰度生物量复合 *k*-优势度曲线不交叉、不重叠、不翻转, 个体几何级数跨度也不大(图 12A , B)。

表 1 白令海、楚科奇海大型底栖生物群落特征值
Table 1 The characteristic values of communities of macrobenthos in Bering Sea and Chukchi Sea

群落 Community	丰富度 Richness (<i>d</i>)	多样性 Shannon (<i>H'</i>)	均匀度 Evenness (<i>J</i>)
楚科奇海群落 I Community I of Chukchi Sea	0.687	1.688	0.900
楚科奇海群落 II Community II of Chukchi Sea	3.341	2.252	0.672
楚科奇海群落 III Community III of Chukchi Sea	2.906	1.606	0.522
楚科奇海群落 IV Community IV of Chukchi Sea	3.251	2.547	0.808
白令海群落 Community of Bering Sea	4.314	2.837	0.803

图 8 楚科奇海群落 I 丰度生物量复合 *k*-优势度(A)和部分优势度曲线(B)
Fig.8 Curves of abundance biomass comparison (A) and partial *k*-dominance (B) of community I in Chukchi Sea

图9 楚科奇海群落Ⅱ丰度生物量复合 k -优势度(A)和部分优势度曲线(B)
Fig.9 Curves of abundance biomass comparison (A) and partial k -dominance (B) of community Ⅱ in Chukchi Sea

图10 楚科奇海群落Ⅲ丰度生物量复合 k -优势度(A)和部分优势度曲线(B)
Fig.10 Curves of abundance biomass comparison (A) and partial k -dominance (B) of community Ⅲ in Chukchi Sea

图11 楚科奇海群落Ⅳ丰度生物量复合 k -优势度(A)和部分优势度曲线(B)
Fig.11 Curves of abundance biomass comparison (A) and partial k -dominance (B) of community Ⅳ in Chukchi Sea

图 12 白令海群落丰度生物量复合 k -优势度(A)和各站个体几何级数(B)曲线
Fig. 12 Curves of abundance biomass comparison (A) and geometric classes of individuals per species (B) of community in Bering Sea

图 13 楚科奇海各群落(A)和总体群落(B)个体几何级数
Fig. 13 Curves of geometric classes of individuals per species of communities I ~ IV (A) and community in Chukchi Sea (B).

参考文献

Haflinger K. 1981. A survey of benthic infaunal communities of the Southeastern Bering Sea shelf. In: Donald W. H. and John A. C. (eds.). *The Eastern Bering Sea Shelf: Oceanography and Resources* (Vol. 2). University of Washington Press, Seattle, Washington, 1091 – 1104.

Li R-G(李荣冠) and Jiang J-X(江锦祥). 1992. Detecting the effects of marine pollution on the benthic communities using the abundance biomass comparison. *Acta Oceanologica Sinica* (海洋学报), **14**(1): 108 – 114. (in Chinese)

Li R- G (李荣冠), Jiang J-X (江锦祥), Cai E-X (蔡尔西) and Xu H-Z (徐惠洲). 1995. Ecological study on the macrobenthos in Fuqing Bay. *Acta Oceanologica Sinica* (海洋学报), **17**(1): 90 – 96. (in Chinese)

Li R-G(李荣冠), Jiang J-X(江锦祥), Wu Q-Q(吴启泉), Cai E-X(蔡尔西), Xu H-Z(徐惠洲) and Lin S-D (林双淡). 1997. An ecological study on the macrobenthos nearby Minjian River waters. *Acta Oceanologica Sinica* (海洋学报), **19**(2): 116 – 123. (in Chinese)

Li R-G(李荣冠), Jiang J-X(江锦祥), Cai E-X(蔡尔西), Xu H-Z (徐惠洲), Wu Q-Q(吴启泉) and Lin S-D(林双淡), 1999. Ecological study on the macrobenthos in Xinghuan Bay. *Acta Oceanologica Sinica* (海洋学报), **21**(5): 101 – 109. (in Chinese)

Stephen C. J. and Feder H. M. 1981. Epifaunal invertebrates of the continental shelf of the Eastern Bering/Chukchi Seas. In: Donald W. H. and John A. C. (eds.). *The Eastern Bering Sea Shelf: Oceanography and Resources*

(Vol. 2) . University of Washington Press, Seattle, Wash-
ington, 1131 – 1154.

Stoker S. 1981. Benthic invertebrate macrofauna of the Eastern
Bering/Chukchi continental shelf. In: Donald W. H. and
John A. C. (eds.) . *The Eastern Bering Sea Shelf: Ocea-*

nography and Resources (Vol. 2) . University of Washing-
ton Press, Seattle, Washington, 1069 – 1090.

Zenkevitch L. 1963. *Biology of the Seas of the U. S. S. R.*
George Allen & Unwin LTD, London, 261 – 269, 818 –
841.

(责任编辑：时意专 ,闫文杰)

附录 北极楚科奇海、白令海大型底栖生物种类目录
Appendix The list of macrobenthos in Chukchi Sea and Bering Sea

种 名 Species	楚科奇海 Chukchi Sea	白令海 Bering Sea	种 名 Species	楚科奇海 Chukchi Sea	白令海 Bering Sea
爱氏海葵科 Edwardsiidae			辐乳虫 <i>Axiothella rubrocincta</i>	+	
日本爱氏海葵 <i>Edwardsia japonica</i>		+	辐乳虫属一种 <i>Axiothella</i> sp.	+	
爱氏海葵属一种 <i>Edwardsia</i> sp.	+	+	花节虫属一种 <i>Petaloproctus</i> sp.	+	
角海葵科 Cerianthidae			海蛰虫科 Opheliidae		
蕨形角海葵 <i>Cerianthus filiformis</i>	+		角海蛰属一种 <i>Ophelia</i> sp.	+	
棘软珊瑚科 Nephtheidae			梯额虫科 Scalibregmidae		
萼软珊瑚属一种 <i>Nephthea</i> sp.	+		梯额虫 <i>Scalibregma inflatum</i>	+	
曳鳃虫科 Priapulidae			叶须虫科 Phyllodocidae		
曳鳃虫 <i>Priapulus bicaudatus</i>	+		背叶虫属一种 <i>Notophyllum</i> sp.	+	+
锥头虫科 Orbiniidae		+	叶须虫属一种 <i>Phyllodoce</i> sp.	+	
尖锥虫 <i>Scoloplos armiger</i>	+		多鳞虫科 Polynoidae		
<i>S. schmitti</i>	+		复瓦哈鳞虫 <i>Harmothoë imbricata</i>	+	
尖锥虫属一种 <i>Scoloplos</i> sp.	+	+	哈鳞虫属一种 <i>Harmothoë</i> sp.	+	+
长锥虫属一种 <i>Haploscoloplos</i> sp.	+		锡鳞虫科 Sigalionidae		
异毛虫科 Paraonidae		+	怪鳞虫属一种 <i>Pholoe</i> sp.	+	
单指虫科 Cossuridae			海女虫科 Hesionidae	+	
拟单指虫属一种 <i>Cossurella</i> sp.	+	+	沙蚕科 Nereididae		
海稚虫科 Spionidae			背襟沙蚕属一种 <i>Tambalagamia</i> sp.		+
才女虫属一种 <i>Polydora</i> sp.	+		角吻沙蚕科 Goniadidae		
丝鳃稚齿虫 <i>Prionospio malmgreni</i>	+		甘吻沙蚕属一种 <i>Glycinde</i> sp.	+	
稚齿虫属一种 <i>Prionospio</i> sp.	+		斑角吻沙蚕 <i>Goniada maculata</i>	+	
咽鼻稚虫属一种 <i>Rhychospio</i> sp.	+		角吻沙蚕属一种 <i>Goniada</i> sp.	+	
长手虫科 Magelonidae			齿吻沙蚕科 Nephtyidae		
太平洋长手沙蚕 <i>Magelona pacifica</i>	+		毛齿吻沙蚕 <i>Nephtys ciliata</i>	+	+
轮毛虫科 Trochochaetidae			囊叶齿吻沙蚕 <i>N. caeca</i>	+	+
轮毛虫 <i>Trochochaeta carica</i>	+	+	齿吻沙蚕属一种 <i>Nephtys</i> sp.	+	+
丝鳃虫科 Cirratulidae			欧努菲虫科 Onuphidae		
独毛虫属一种 <i>Tharyx</i> sp.	+	+	蜈蚣欧努菲虫 <i>Onuphis geophiliformis</i>	+	
小头虫科 Capitellidae			欧努菲虫属一种 <i>Onuphis</i> sp.	+	
小头虫属一种 <i>Capitella</i> sp.	+		索沙蚕科 Lumbrineridae		
背蚓虫属一种 <i>Notomastus</i> sp.		+	索沙蚕 <i>Lumbrineris fragilis</i>	+	+
新中蚓虫属一种 <i>Neomediomastus</i> sp.	+	+	日本索沙蚕 <i>L. japonica</i>	+	+
巴林虫属一种 <i>Barantolla</i> sp.	+		长叶索沙蚕 <i>L. longifolia</i>	+	
竹节虫科 Maldanidae			索沙蚕属一种 <i>Lumbrineris</i> sp.	+	+
筒毛拟节虫 <i>Praxillella gracilis</i>	+	+	花索沙蚕科 Arabellidae		+
拟节虫属一种 <i>Praxillella</i> sp.	+		不倒翁虫科 Sternaspidae		
短脊虫属一种 <i>Asychis</i> sp.	+		不倒翁虫 <i>Sternaspis scutata</i>	+	+
襟节虫属一种 <i>Clymenella</i> sp.	+		欧文虫科 Oweniidae		
缩头竹节虫 <i>Maldane sarai</i>	+		欧文虫 <i>Owenia fusiformis</i>	+	+

附录（续）Appendix（continued）

种 名 Species	楚科奇海 Chukchi Sea	白令海 Bering Sea	种 名 Species	楚科奇海 Chukchi Sea	白令海 Bering Sea
扇虫科 Flabelligeridae	+		粉白樱蛤 <i>Macoma calcarea</i>	+	
笔帽虫科 Pectinoridae			白樱蛤 <i>M. balthica inconspicua</i>	+	
那不勒斯膜帽虫 <i>Lagis neapolitana</i>	+	+	日本白樱蛤 <i>M. niponica</i>	+	
双栉虫科 Ampharetidae			白樱蛤属一种 <i>Macoma</i> sp.	+	
扇栉虫 <i>Amphicteis gunneri</i>	+		北方樱蛤 <i>Peronidia verulosa</i>	+	
双栉虫属一种 <i>Ampharete</i> sp.	+		帘蛤科 Veneridae		
蛭龙介虫科 Terbellidae			<i>Liocyma fluctuosa</i>	+	
吻蛭虫 <i>Artacama proboscidea</i>	+		色雷西蛤科 Thraciidae		
多须蛭虫属一种 <i>Polycirrus</i> sp.	+		户枢蛤属一种 <i>Asthenothaerus</i> sp.	+	+
<i>Polymnia frigonostoma</i>		+	杓蛤科 Cuspidariidae		
<i>Nicolea zostericola</i>	+		帚形蛤属一种 <i>Cardiomya</i> sp.		+
毛鳃虫科 Trichobrachidae			马蹄螺科 Trochidae		
梳鳃虫 <i>Terebellides stroemii</i>	+		<i>Solariella varicosa</i>	+	+
线鳃虫属一种 <i>Filibranchus</i> sp.	+		圆孔螺科 Cyclostrematidae		
戈芬星虫科 Golfingiidae			<i>Arene</i> sp.	+	
戈芬星虫属一种 <i>Golfingia</i> sp.	+		麋眼螺科 Rissoidae (Rissoacea)		
倭革囊星虫科 Phascolionidae			腹螺属一种 <i>Alvania</i> sp.	+	+
革囊星虫属一种 <i>Phascolion</i> sp.	+	+	锥螺科 Turritellidae (Cerithiacea)		
棘螯科 Urechidae			<i>Tachyrhynchus erosus</i>	+	
棘螯属一种 <i>Urechis</i> sp.	+		<i>Tachyrhynchus</i> sp.		+
胡桃蛤科 Nuculidae			梯螺科 Epitoniiidae		
平滑胡桃蛤 <i>Ennucula tenuis</i>	+	+	梯螺 <i>Epitonium groenlandicum</i>	+	+
歧指纹蛤 <i>Acila</i> (<i>Truncacila</i>) <i>castrensis</i>		+	玉螺科 Naticidae		+
吻状蛤科 Nuculanidae			玉螺 <i>Natica clausa</i>	+	
短吻状蛤 <i>Nuculana pernula pernuloides</i>	+		拟紫口玉螺 <i>N. janthostomoides</i>	+	+
吻状蛤属一种 <i>Nuculana</i> sp.		+	乳头乳玉螺 <i>Polinices pallida</i>	+	
小囊蛤属一种 <i>Saccella</i> sp.	+		蛾螺科 Buccinidae		
片云母蛤 <i>Yoldia limatula</i>	+		<i>Plicifusus arcticus</i>	+	
云母蛤 <i>Y. amygodalea</i>	+		塔螺科 Turridae		
梯形蛤属一种 <i>Portlandia</i> sp.	+		<i>Oenopota harpa</i>	+	
寡齿蛤属一种 <i>Sarepta</i> sp.	+		阿地螺科 Atyidae (Haminoeidae)		
贻贝科 Mytilidae			阿地螺 <i>Atys sandersoni</i>	+	
肌蛤 <i>Musculus laevigatus</i>		+	三叉螺科 Triclidiae (Cylichnidae)		
扇贝科 Pectinidae			盒螺 <i>Cylichna nucleola</i>	+	
网纹扇贝 <i>Delectopecten randolphi</i>	+		盒螺属一种 <i>Cylichna</i> sp.	+	+
孟达蛤科 Montacutidae			蜉蝣科 Ephemerellidae		
花瓣蛤属一种 <i>Fronsella</i> sp.	+		双齿蜉蝣属一种 <i>Ephemera</i> sp.	+	+
鼈眼蛤科 Galeommatidae			叶虾科 Nebaliidae		
红蛤属一种 <i>Scintilla</i> sp.	+		叶虾属一种 <i>Nebalia</i> sp.	+	+
心蛤科 Carditidae			新异足虫科 Neotanaidae		
锈粗纹蛤 <i>Cyclocardia crebricostata</i>	+	+	新异足虫属一种 <i>Neotanais</i> sp.	+	
粗纹蛤属一种 <i>Cyclocardia</i> sp.		+	拟异足虫科 Paratanaidae		
爱神蛤科 Astartidae			细螯原虫 <i>Leptochelia dubia</i>		+
<i>Tridonta borealis</i>	+		涟虫科 Bodotriidae		
<i>T. filatovae</i>	+		细长涟虫 <i>Iphinoe tenera</i>	+	
爱神蛤属一种 <i>Astarte</i> sp.		+	针尾涟虫科 Diastylidae		
鸟蛤科 Cardiidae			果人针尾涟虫 <i>Diastylis nucella</i>	+	+
<i>Serripes groenlandica</i>		+	尖额涟虫科 Leuconidae		
冰岛扁鸟蛤 <i>Clinocardium</i> (<i>C.</i>) <i>ciliatum</i>	+		东方尖额涟虫 <i>Leucon nasica orientalis</i>	+	+
樱蛤科 Tellinidae			太平洋方甲涟虫 <i>Eudorella pacifica</i>	+	+

附录（续）Appendix（continued）

种名 Species	楚科奇海 Chukchi Sea	白令海 Bering Sea	种名 Species	楚科奇海 Chukchi Sea	白令海 Bering Sea
尖额涟虫属一种 <i>Leucon</i> sp.	+		蛀木钩虾科 Cheluridae		
团水虱科 Sphaeromatidae	+		蛀木钩虾属一种 <i>Chelura</i> sp.		+
日本遮头水虱 <i>Tecticeps japonicus</i>		+	短头蛭科 Scinidae		
光洁钩虾科 Lysianassidae			短头蛭属一种 <i>Scina</i> sp.	+	+
葛氏希泊钩虾 <i>Hippomedom gorbunovi</i>	+		麦杆虫科 Caperllidae		
太平洋希泊钩虾 <i>H. pacificus</i>	+	+	加州麦杆虫 <i>Caperlla californica</i>	+	
鳞甲钩虾属一种 <i>Lepidepecreum</i> sp.	+	+	活额寄居蟹科 Diogenidae		
尖头钩虾科 Phoxocephalidae			下齿细螯寄居蟹 <i>Clibanarius infraspinatus</i>	+	
拟猛钩虾属一种 <i>Harpiniopsis</i> sp.	+		蜘蛛蟹科 Majidae		
平额钩虾科 Haustoriidae			蜘蛛蟹属一种 <i>Maja</i> sp.	+	
尾钩虾属一种 <i>Urothoe</i> sp.		+	沙鸡子科 Phyllophoridae		
双眼钩虾科 Ampeliscidae			沙鸡子属一种 <i>Phyllophorus</i> sp.	+	
短角双眼钩虾 <i>Ampelisca brevicornis</i>	+		Laetmogonidae	+	
双眼钩虾属一种 <i>Ampelisca</i> sp.	+	+	芋参科 Molpadiidae		
日本沙钩虾 <i>Byblis japonicus</i>	+		芋参属一种 <i>Molpadia</i> sp.	+	
利尔钩虾科 Liljeborgiidae			指参科 Chikiridotidae		
利尔钩虾属一种 <i>Liljeborgia</i> sp.		+	紫轮参 <i>Polycheira rufescens</i>	+	
板钩虾科 Stenothoidae			磁海星科 Porcellanasteridae		
板钩虾属一种 <i>Stenothoe</i> sp.	+		倦栉鳞海星 <i>Ctenodiscus crispatus</i>	+	
合眼钩虾科 Oedicerotidae			饼干海胆科 Laganidae	+	
华眼钩虾属一种 <i>Sinoediceros</i> sp.	+		裂星海胆科 Schizasteridae		
单眼钩虾属一种 <i>Monoculodes</i> sp.	+	+	凹裂星海胆 <i>Schizaster lacunosus</i>	+	
钩虾科 Gammaridae			阳遂足科 Amphiuridae		
角钩虾属一种 <i>Ceradocus</i> sp.	+		阳遂足属一种 <i>Amphiura</i> sp.	+	
刺腮钩虾科 Pardaliscidae			普格双鳞蛇尾 <i>Amphipholis pugetana</i>	+	
斗钩虾属一种 <i>Nicippe</i> sp.	+		条板棘蛇尾 <i>Amphiodia craterodmeta</i>	+	+
合穴钩虾科 Tironidae			鳞蛇尾科 Ophiolepididae		
合穴钩虾属一种 <i>Tiron</i> sp.		+	结栉盖蛇尾 <i>Stegophiura nodosa</i>	+	
壮角钩虾科 Ischyroceeridae			真蛇尾科 Ophiuridae		
叶钩虾属一种 <i>Jassa</i> sp.	+	+	细栉真蛇尾 <i>Ophiura leptoctenia</i>	+	
螺赢蜚科 Corophiidae			萨氏真蛇尾 <i>O. sarsii</i>	+	+
夏威夷亮钩虾 <i>Photis hawaiiensis</i>	+		真蛇尾属一种 <i>Ophiura</i> sp.	+	
亮钩虾属一种 <i>Photis</i> sp.	+		瓷蛇尾属一种 <i>Ophiomusium</i> sp.		+
拟钩虾属一种 <i>Gammaropsis</i> sp.	+		殖翼柱头虫科 Ptychoderidae		
刀钩虾属一种 <i>Aoroides</i> sp.		+	柱头虫属一种 <i>Balanoglossus</i> sp.	+	