

文章编号: 1000-0615(2019)07-1581-12

DOI: 10.11964/jfc.20171111042

## 北极阿拉斯加水域鱼类生态特征及其重要性评价

林倩倩<sup>1,2</sup>, 朱国平<sup>1,2,3,4\*</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学极地研究中心, 上海 201306;

3. 上海海洋大学, 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 210306;

4. 上海海洋大学, 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 极地海洋生态系统研究室, 上海 201306)

**摘要:** 为了对北极鱼类的生态特征进行研究, 从而科学合理地开发和管理北极鱼类资源, 以现有北极阿拉斯加水域鱼类生态科学信息为基础, 针对北极阿拉斯加水域104种主要鱼类, 从栖息深度、营养级、昼夜垂直移动及季节性洄游、生态重要性、传统文化重要性及商业重要性等多个方面进行了分析。结果显示, 大多数北极阿拉斯加海洋鱼类为中上层鱼类或中层鱼类, 栖息水域多在1 000 m以浅的陆架或陆坡水域; 营养级范围为3.0~4.5, 处于较高和较低营养级的鱼种较少; 大部分鱼类的重要性知之甚少, 目前仅少量鱼种在北极海域生态系统、传统文化以及商业性渔业中起到关键作用; 具昼夜垂直移动及季节性洄游特性的鱼种各占一半左右; 基于聚类分析, 以栖息深度、垂直移动、季节性洄游及营养级4个指标作为变量, 该水域属于5个生态类群, 而以生态、传统文化以及商业重要性3个指标为变量, 则该水域鱼类可划分为3个类群。本研究结果可为进一步开展北极鱼类生态学研究及北极渔业资源的开发潜力评价提供数据支持, 并为我国参与北极鱼类资源潜力的开发及国家权益的争取提供参考信息。

**关键词:** 鱼类; 生态特征; 渔业资源; 阿拉斯加; 北极

**中图分类号:** Q 151.6; S 932.4

**文献标志码:** A

北极是地球的寒极, 是北半球气候系统稳定的重要基础之一<sup>[1]</sup>。过去30年, 气候变暖造成全球温度平均上升约0.2 °C。考虑到北极是大气与海洋物质和能量交换的重要地区<sup>[2]</sup>, 作为对全球气候变化响应和反馈最敏感的地区之一<sup>[3]</sup>, 气候变暖所带来的影响在北极地区更为显著<sup>[4]</sup>。气候变暖导致北极海冰融化, 海水温度升高, 对北冰洋生态环境产生深远的影响, 并最终影响到北极地区的鱼类资源<sup>[3-7]</sup>。北极海域中, 东北大西洋和西北大西洋海域部分鱼种已完全开发甚至过度开发, 但其他海域大部分鱼种处于未完全开发状态<sup>[8]</sup>。近年来, 海冰融化为人类进入北极海域提供了便利, 这也导致进一步开发北

极海洋渔业资源的可能性越来越大<sup>[9-11]</sup>。

关于北极鱼类生态的研究较多, 但多数学者均针对具体鱼种开展了分析。如De Robertis等<sup>[12]</sup>对楚科奇海和白令海南部北鳕(*Boreogadus saida*)及其他中上层鱼类的丰度和分布进行了研究, 结果显示个体较小的北鳕多分布在北部, 且虽然北鳕越冬死亡率高但仍较少驻留在楚科奇大陆架上; 陈永俊等<sup>[13]</sup>研究表明, 楚科奇海和白令海南部鱼类多样性南高北低、整体分布趋势不明显, 并随着气候变化引起部分鱼类分布的移动。Huntington等<sup>[14]</sup>对北极生物多样性概况、淡水、海洋及陆生等生态系统进行了初步研究。然而, 针对北极鱼类生态特征方面尚缺

收稿日期: 2017-11-11 修回日期: 2018-04-14

资助项目: 国家自然科学基金(41776185); 国家科技支撑计划(2013BAD13B03); 教育部留学回国人员科研启动基金; 上海市教委重点课程建设项目

通信作者: 朱国平, E-mail: gpzhu@shou.edu.cn

少整体性评价及总结,这为进一步开展北极鱼类生态学研究及评价北极渔业资源的开发潜力带来了不确定性。更为重要的是,受气候变化影响,北极海冰不断融化,从而导致2010年以来,北极沿岸5国(美国、加拿大、挪威、俄罗斯及丹麦等)便针对北极中部海域鱼类资源状况开展了科学数据整合及谈判工作<sup>[15-16]</sup>。2014年,北极沿岸5国首次邀请中国、日本、韩国及欧盟等北极利益相关国加入相关进程。然而,由于相关信息的缺失,尤其是关于北极海洋鱼类资源的基础数据掌握不足<sup>[17]</sup>,从而导致我国在谈判过程中处于相对被动的局面。为此,基于北极海洋鱼类生态学的现有信息,本研究从多个角度对北极阿拉斯加水域海洋鱼类的生态特征进行分析,以期为进一步对北极阿拉斯加水域鱼类的开发和保护工作提供数据支持,并为我国参与北极鱼类资源潜力的开发及国家权益的争取提供参考信息。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

整个北极海域现有记录的海洋鱼类有600余种<sup>[18]</sup>,本研究以北极阿拉斯加水域的楚科奇海和波弗特海及美国专属经济区北极海域为研究水域。针对该水域,美国国家地质调查局(USGS)开展了多年的调查,并出版了北极阿拉斯加海洋鱼类生态分类——科学调查报告<sup>[19]</sup>及北极鱼类报告卡<sup>[18]</sup>。依据这2份报告,本研究以报告中的104个鱼种作为研究对象(涵盖该水域90%以上的鱼种)(表1),并对其相关信息进行了整合。此外,结合FishBase数据库中各鱼种名称、科及属等方面的详细数据,对这些鱼种的生态特征进行了深入分析。

### 1.2 数据分析

通过上述整理的鱼类信息,本研究将反映北极鱼类的生态特征,含栖息深度、昼夜垂直移动、季节性洄游、营养级及其重要性(生态、传统文化及商业)进行分类,从而对所研究鱼种的生态特征及其在北极阿拉斯加水域各层面上的重要性进行研究。

**栖息深度** 依据海洋鱼类栖息深度的划分<sup>[20-21]</sup>,同时考虑到北冰洋最大深度仅为5 527 m,将所分析鱼类划分为4个等级:浅层(0~200 m)、

中层(200~1 000 m)、深层(1 000~3 000 m)和深渊层(3 000~6 000 m)。

**营养级** 根据各鱼种在生态系统中的营养位置,将所分析鱼类按营养级以0.5为单位划分为5个等级,依次为3.0以下(1级)、3.0~3.5(2级)、3.51~4.0(3级)、4.01~4.5(4级)和4.5以上(5级)。

**生态重要性** 根据各鱼种在北极海洋生态系统的重要性程度,将其生态重要性划分为0~4共5个级别,分别为0级:未知;1级:微弱重要性;2级:在整个北极阿拉斯加水域生态系统中有一定重要性,或在某局部地区、某些食物链中较重要,但在其他区域有着微弱重要性,或虽目前尚未知其其在北极阿拉斯加大部分海域的生态重要性,但可能有着较重要的生态价值;3级:在整个北极阿拉斯加水域中较重要,或在某局部地区、某些食物链等非常重要,在其他海域有一定的重要性;4级:在整个北极阿拉斯加水域中非常重要,是整个北极海洋生态系统的键种。

**传统文化重要性** 目前已知的鱼种大多为淡水洄游种类,如鲑科(Salmonidae)和白鲑科(Coregonidae)等,此类鱼种在生计渔业和传统饮食结构中起着非常重要的作用,也是北极圈内土著居民的主要食物来源。按照鱼种的传统文化重要性划分为5个级别,依重要性分别为0级:未知;1级:在整个北极阿拉斯加水域范围内,以兼捕鱼类(生计渔业中或历史上)出现,只有微弱重要性;2级:在整个北极阿拉斯加水域范围内,以兼捕鱼类(生计渔业中或历史上)出现,但有一定重要性;3级:在整个北极阿拉斯加水域范围内,以兼捕鱼类广泛出现(在生计渔业中较重要或历史上比较重要),或在北极阿拉斯加水域部分区域、某些方面非常重要,但在其他区域、其他方面只有一般重要性或重要性较低;4级:在整个北极阿拉斯加水域范围内非常重要。

**商业重要性** 依鱼种的商业开发程度划分为0~4共5个级别,分别为0级:无商业利用价值;1级:历史上曾为商业捕捞对象;2级:目前不是商业性鱼种,但未来可能成为商业性鱼种;3级:目前不是商业性鱼种,但有渔业存在(如游钓渔业、休闲渔业、生计渔业或土著渔业等);4级:目前为商业捕获。

**昼夜垂直移动及季节性洄游** 鱼类的垂直移动和季节性洄游是反映其生态特征以及响

表 1 所选择的104种北极阿拉斯加主要鱼种信息

Tab. 1 Selected 104 fish species of Arctic Alaska region

序号 number	中文名 Chinese name	英文名 English name	拉丁学名 Latin scientific name	科 family
1	三楔七鳃鳗	pacific lamprey	<i>Entosphenus tridentatus</i>	Petromyzontidae
2	北极七鳃鳗	Arctic lamprey	<i>Lethenteron camtschaticum</i>	Petromyzontidae
3	白斑角鲨	spotted spiny dogfish	<i>Squalus suckleyi</i>	Squalidae
4	北鳐	Arctic skate	<i>Amblyraja hyperborea</i>	Rajidae
5	太平洋鲱	Pacific herring	<i>Clupea pallasii</i>	Clupeidae
6	池沼公鱼	pond smelt	<i>Hypomesus olidus</i>	Osmeridae
7	毛鳞鱼	Pacific capelin	<i>Mallotus catervarius</i>	Osmeridae
8	亚洲胡瓜鱼	Arctic smelt	<i>Osmerus dentex</i>	Osmeridae
9	秋白鲑	Arctic cisco	<i>Coregonus autumnalis</i>	Salmonidae
10	白令白鲑	Bering cisco	<i>Coregonus laurettae</i>	Salmonidae
11	宽鼻白鲑	broad whitefish	<i>Coregonus nasus</i>	Salmonidae
12	驼背白鲑	humpback whitefish	<i>Coregonus pidschian</i>	Salmonidae
13	小白鲑	least cisco	<i>Coregonus sardinella</i>	Salmonidae
14	细鳞大麻哈鱼	pink salmon	<i>Oncorhynchus gorbuscha</i>	Salmonidae
15	大麻哈鱼	chum salmon	<i>Oncorhynchus keta</i>	Salmonidae
16	银大麻哈鱼	coho salmon	<i>Oncorhynchus kisutch</i>	Salmonidae
17	红大麻哈鱼	sockeye salmon	<i>Oncorhynchus nerka</i>	Salmonidae
18	大鳞大麻哈鱼	chinook salmon	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	Salmonidae
19	花羔红点鲑	dolly varden	<i>Salvelinus malma</i>	Salmonidae
20	北鲑	inconnu	<i>Stenodus leucichthys</i>	Salmonidae
21	冰底灯鱼	glacier lanternfish	<i>Benthoosema glaciale</i>	Myctophidae
22	冰鳕	ice cod	<i>Arctogadus glacialis</i>	Gadidae
23	北鳕	Arctic cod	<i>Boreogadus saida</i>	Gadidae
24	远东宽突鳕	saffron cod	<i>Eleginus gracilis</i>	Gadidae
25	狭鳕	walleye pollock	<i>Theragra chalcogramma</i>	Gadidae
26	太平洋鳕	Pacific cod	<i>Gadus macrocephalus</i>	Gadidae
27	三刺鱼	threespine stickleback	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Gasterosteidae
28	九刺鱼	ninespine stickleback	<i>Pungitius pungitius</i>	Gasterosteidae
29	白斑六线鱼	whitespotted greenling	<i>Hexagrammos stelleri</i>	Hexagrammidae
30	虫纹钩杜父鱼	okhotsk hookear sculpin	<i>Artediellus ochotensis</i>	Cottidae
31	粗糙钩杜父鱼	hamecon	<i>Artediellus scaber</i>	Cottidae
32	强刺杜父鱼	antlered sculpin	<i>Enophrys diceraus</i>	Cottidae
33	三峰裸刺杜父鱼	Arctic staghorn sculpin	<i>Gymnocanthus tricuspis</i>	Cottidae
34	横带杂鳞杜父鱼	butterfly sculpin	<i>Hemilepidotus papilio</i>	Cottidae
35	双角冰杜父鱼	twohorn sculpin	<i>Icelus bicornis</i>	Cottidae

· 续表1 ·

序号 number	中文名 Chinese name	英文名 English name	拉丁学名 Latin scientific name	科 family
36	匙冰杜父鱼	spatulate sculpin	<i>Icelus spatula</i>	Cottidae
37	扁头大杜父鱼	belligerent sculpin	<i>Megalocottus platycephalus</i>	Cottidae
38	连腹杜父鱼	brightbelly sculpin	<i>Microcottus sellaris</i>	Cottidae
39	浅色床杜父鱼	plain sculpin	<i>Myoxocephalus jaok</i>	Cottidae
40	棘头床杜父鱼	great sculpin	<i>Myoxocephalus polyacanthocephalus</i>	Cottidae
41	四角床杜父鱼	fourhorn sculpin	<i>Myoxocephalus quadricornis</i>	Cottidae
42	北极床杜父鱼	Arctic sculpin	<i>Myoxocephalus scorpioides</i>	Cottidae
43	短脚床杜父鱼	shorthorn sculpin	<i>Myoxocephalus scorpius</i>	Cottidae
44	布氏毛杜父鱼	hairhead sculpin	<i>Trichocottus brashnikovi</i>	Cottidae
45	尼氏鲱杜父鱼	bigeye sculpin	<i>Triglops nybelini</i>	Cottidae
46	平氏鲱杜父鱼	ribbed sculpin	<i>Triglops pingelii</i>	Cottidae
47	双叶密棘杜父鱼	crested sculpin	<i>Blepsias bilobus</i>	Hemipteridae
48	暗帆鳍杜父鱼	eyeshade sculpin	<i>Nautichthy pribilovius</i>	Hemipteridae
49	极地拟杜父鱼	polar sculpin	<i>Cottunculus microps</i>	Psychrolutidae
50	蝌蚪宽杜父鱼	smoothcheek sculpin	<i>Eurymen gyrinus</i>	Psychrolutidae
51	单鳍八角鱼	alligatorfish	<i>Aspidophoroides monopterygius</i>	Agonidae
52	北极单鳍八角鱼	Arctic alligatorfish	<i>Aspidophoroides olrikii</i>	Agonidae
53	四隅高体八角鱼	fourhorn poacher	<i>Hypsagonus quadricornis</i>	Agonidae
54	纤八角鱼	Atlantic poacher	<i>Leptagonus decagonus</i>	Agonidae
55	白令棘八角鱼	Bering poacher	<i>Occella dodecaedron</i>	Agonidae
56	长须女神八角鱼	tubenose poacher	<i>Pallasina barbata</i>	Agonidae
57	长尾足沟鱼	veteran poacher	<i>Podothecus veterinus</i>	Agonidae
58	痣刺狮子鱼	pimpled lumpsucker	<i>Eumicrotremus andriashevi</i>	Cyclopteridae
59	窦氏狮子鱼	leatherfin lumpsucker	<i>Eumicrotremus derjugini</i>	Cyclopteridae
60	林氏短吻狮子鱼	sea tadpole	<i>Careproctus reinhardti</i>	Liparidae
61	深渊狮子鱼	nebulous snailfish	<i>Liparis bathyarticus</i>	Liparidae
62	柯氏狮子鱼	gelatinous seasnail	<i>Liparis fabricii</i>	Liparidae
63	细尾狮子鱼	variegated snailfish	<i>Liparis gibbus</i>	Liparidae
64	格陵兰狮子鱼	kelp snailfish	<i>Liparis tunicatus</i>	Liparidae
65	深水副狮子鱼	black seasnail	<i>Paraliparis bathybius</i>	Liparidae
66	半花裸鳎	halfbarred pout	<i>Gymnelus hemifasciatus</i>	Zoarcidae
67	绿裸鳎	fish doctor	<i>Gymnelus viridis</i>	Zoarcidae
68	斑纹蛇狼绵鳎	doubleline eelpout	<i>Lycenhelys kolthoffi</i>	Zoarcidae
69	阿氏狼绵鳎	adolf's eelpout	<i>Lycodes adolfi</i>	Zoarcidae
70	双肋狼绵鳎	glacial eelpout	<i>Lycodes eudipleurostictus</i>	Zoarcidae
71	脸罩狼绵鳎	shulupaoluk	<i>Lycodes jugoricus</i>	Zoarcidae

· 续表1 ·

序号 number	中文名 Chinese name	英文名 English name	拉丁学名 Latin scientific name	科 family
72	大鳞狼绵鳎	white sea eelpout	<i>Lycodes marisalbi</i>	Zoarcidae
73	黏狼绵鳎	saddled eelpout	<i>Lycodes mucosus</i>	Zoarcidae
74	枝条狼绵鳎	wattled eelpout	<i>Lycodes palearis</i>	Zoarcidae
75	北极狼绵鳎	polar eelpout	<i>Lycodes polaris</i>	Zoarcidae
76	紫斑狼绵鳎	marbled eelpout	<i>Lycodes raridens</i>	Zoarcidae
77	网纹狼绵鳎	arctic eelpout	<i>Lycodes reticulatus</i>	Zoarcidae
78	罗氏狼绵鳎	threespot eelpout	<i>Lycodes rossi</i>	Zoarcidae
79	弓狼绵鳎	archer eelpout	<i>Lycodes sagittarius</i>	Zoarcidae
80	半裸狼绵鳎	longear eelpout	<i>Lycodes seminudus</i>	Zoarcidae
81	鳞腹狼绵鳎	scalebelly eelpout	<i>Lycodes squamiventer</i>	Zoarcidae
82	近北极狼绵鳎	estuarine eelpout	<i>Lycodes turneri</i>	Zoarcidae
83	马氏刺北鳎	blackline prickleback	<i>Acantholumpenus mackayi</i>	Stichaeidae
84	中间异鳎	stout eelblenny	<i>Anisarchus medius</i>	Stichaeidae
85	史氏笠鳎	bearded warbonnet	<i>Chirolophis snyderi</i>	Stichaeidae
86	四线蛇线鳎	fourline snakeblenny	<i>Eumesogrammus praecisus</i>	Stichaeidae
87	斑点细鳎	daubed shanny	<i>Leptoclinus maculatus</i>	Stichaeidae
88	斑鳍北鳎	slender eelblenny	<i>Lumpenus fabricii</i>	Stichaeidae
89	矢北鳎	snake prickleback	<i>Lumpenus sagitta</i>	Stichaeidae
90	北极单线鳎	Arctic shanny	<i>Stichaeus punctatus</i>	Stichaeidae
91	条纹锦鳎	banded gunnel	<i>Pholis fasciata</i>	Pholidae
92	小齿狼鱼	northern wolffish	<i>Anarhichas denticulatus</i>	Anarhichadidae
93	白令狼鱼	Bering wolffish	<i>Anarhichas orientalis</i>	Anarhichadidae
94	额鳎	prowfish	<i>Zaprora silenus</i>	Zaproridae
95	六斑玉筋鱼	Arctic sand lance	<i>Ammodytes hexapterus</i>	Ammodytidae
96	粗壮拟庸鲽	bering flounder	<i>Hippoglossoides robustus</i>	Pleuronectidae
97	狭鳞庸鲽	Pacific halibut	<i>Hippoglossus stenolepis</i>	Pleuronectidae
98	刺黄盖鲽	yellowfin sole	<i>Limanda aspera</i>	Pleuronectidae
99	细鳞黄盖鲽	longhead dab	<i>Limanda proboscidea</i>	Pleuronectidae
100	栉鳞黄盖鲽	sakhalin sole	<i>Limanda sakhalinensis</i>	Pleuronectidae
101	北极光鲽	Arctic flounder	<i>Liopsetta glacialis</i>	Pleuronectidae
102	星斑川鲽	starry flounder	<i>Platichthys stellatus</i>	Pleuronectidae
103	黄腹鲽	Alaska plaice	<i>Pleuronectes quadrituberculatus</i>	Pleuronectidae
104	马舌鲽	greenland halibut	<i>Reinhardtius hippoglossoides</i>	Pleuronectidae

应外界生物与非生物事件的重要指标。为此, 本研究分别分析了所研究鱼种的昼夜垂直移动及季节性洄游习性。

为综合了解北极鱼类的生态特征及其重要性, 本研究利用Primer 5.0软件, 以上述生态特征及其重要性数据为变量, 开展聚类分析和多

维度尺度分析(nMDS)。

## 2 结果

### 2.1 栖息深度

总体上,大部分鱼类均为中上层鱼类或中层鱼类,主要栖息于1 000 m以浅的陆架水域或陆坡水域(图1)。部分鱼类,尤其是具昼夜垂直移动鱼类,垂直分布的范围跨度较大。

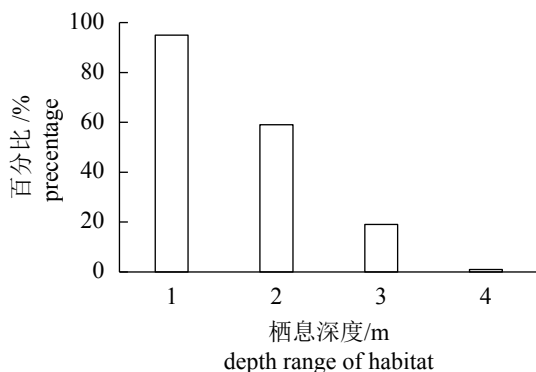


图1 北极阿拉斯加主要鱼种栖息深度

1. 表层, 2. 中层, 3. 深层, 4. 深渊层

Fig. 1 Depth range of habitat for selected marine fish species in the Arctic Alaska

1. epipelagic, 2. mesopelagic, 3. bathypelagic, 4. abyssopelagic

104个海洋鱼种中,约95%的鱼类均出现于0~200 m的表层水域,仅北鳕、深水副狮子鱼、斑纹蛇绵鲷、双肋狼绵鲷及鳞腹狼绵鲷5个鱼种未出现于表层水域。中层水域出现的61个鱼种中,同时发现其中92%的鱼种也出现于表层水域,表明这些鱼种可能在表层至1 000 m水层之间垂直移动。仅20个鱼种出现于1 000 m以深水层,约占所有鱼种的19%,且这些鱼类均同时存在于中层水域,显示这些鱼种垂直移动于1 000~3 000 m水层。仅双肋狼绵鲷出现于3 000 m以深水层,且此鱼种同时存在于中层和深层水域,并不属于完全意义上的深渊鱼类。

### 2.2 水平与垂直移动

所分析的104种北极海洋鱼类中,有45个鱼种存在着昼夜移动特性,约占43%;有59个鱼种不存在昼夜移动特性,约占北极阿拉斯加海域鱼种总量的57%。

所分析的北极海洋鱼类中,有49种鱼类存在季节性移动特性,约占总数的47%,其中有11个鱼种既有垂直移动又具水平洄游特性,约占

22%,剩余53%的鱼类不存在季节性移动特性。

### 2.3 营养级

营养级处于3.0以下的鱼类仅冰底灯鱼1种(图2)。营养级处于3.0~3.5的鱼类有58种,约占北极阿拉斯加水域鱼种总量的56%,为鱼种数据分布最多的营养级。营养级处于3.5~4.0的鱼类有28种,约占北极阿拉斯加水域鱼种总量的27%;营养级处于4.0~4.5的鱼类有15种,约占北极阿拉斯加水域鱼种总量的14%;营养级处于4.5以上的鱼类仅2种,分别为狭鳞庸鲽和马舌鲽,约占北极阿拉斯加水域鱼种总量的2%。总体上,大多数鱼种的营养级仍处于3.0~4.5,处于较高营养级和较低营养级的鱼种相对较少。

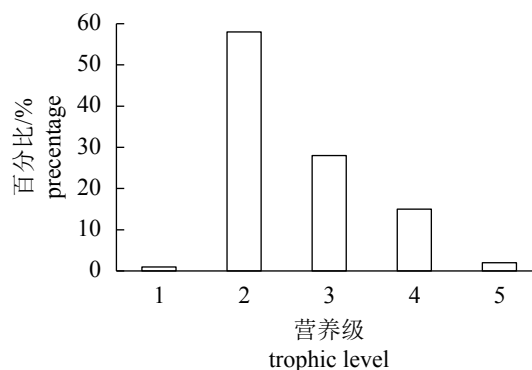


图2 北极阿拉斯加水域主要鱼种营养级

Fig. 2 Trophic levels of selected fish species in the Arctic Alaska

1. <3.0, 2. 3.0~3.5, 3. 3.51~4.0, 4. 4.01~4.5, 5. >4.5

### 2.4 重要性

在北极阿拉斯加海域鱼种生态重要性方面,重要程度未知的鱼类为18种,约占鱼种总量的17%;有着微弱生态重要性的鱼类有51种,约占该海域鱼种总量的49%,为5个级别中数量最多;有着一定程度生态重要性的鱼类有22种,约占该海域鱼种总量的21%;在生态系统中比较重要的鱼类有9种,约占该海域鱼种总量的9%;在整个研究海域生态系统中均起到非常重要作用的鱼类只有4种,约占该海域鱼种总量的4%,为5个级别中数量最少(图3)。

在传统文化重要性方面,重要程度未知的有73个鱼种,约占该海域鱼种总量的70%;有8个鱼种有着微弱的传统文化重要性,约占该水域鱼种总量的8%;有6个鱼种有着一般的传统文化重要性,约占该水域鱼种总量的6%;有16个

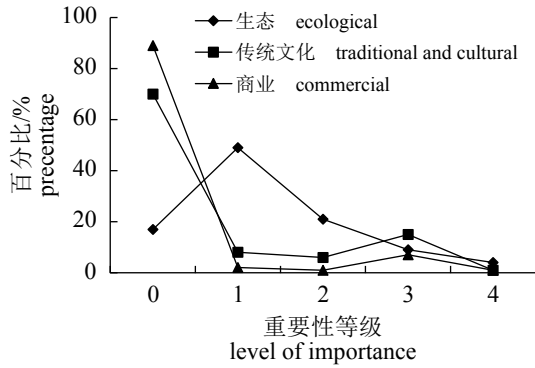


图3 北极阿拉斯加水域主要鱼种重要性

0. 未知, 1. 微弱重要性, 2. 一定重要性, 3. 较大重要性, 4. 整个区域关键种

Fig. 3 Level of importance for selected fish species in the Arctic Alaska

0. unknown, 1. minor importance, 2. certain degree of importance, 3. greater degree of importance, 4. key role in the whole sea area

鱼种比较重要, 约占该水域鱼种总量的31%; 只有宽鼻白鲑这1个鱼种非常重要, 约占该水域鱼种总量的1%。

在商业重要性方面, 有93个鱼种目前不属于商业捕获, 约占该海域鱼种总量的89%; 有2个鱼种历史上曾为商业性鱼种, 约占该海域鱼种总量的2%; 只有太平洋鲱1个鱼种存在较大潜在商业价值, 约占该海域鱼种总量的1%; 有7个鱼种目前不属于商业性鱼种, 约占该海域鱼种总量的7%; 目前仅狭鳕1个鱼种属于商业捕获, 约占该海域鱼种总量的1%。

### 2.5 北极海洋鱼类生态类群

以栖息深度、垂直移动、季节性洄游及营养级等4个指标作为变量, 基于聚类分析的结果, 所分析的104个海洋鱼类中, 共有5个类群(图4)。I组包含21个鱼种, 其共同特征为存在昼夜垂直移动现象及季节性洄游现象。II组包含17个鱼种, 其共同特征为深度在0~200 m, 不存在昼夜垂直移动现象但存在季节性洄游现象。III组包含41个鱼种, 其共同特征为不存在季节性洄游现象。IV组包含23个鱼种, 其共同特征为营养级在3.0~3.5。V组仅包含三楔七鳃鳗和马舌鲽2种鱼类, 共同特征为深度在200~1 000 m, 存在昼夜垂直移动现象及季节性洄游现象。

以这些鱼种在生态、传统文化以及商业重要性方面进行聚类分析, 结果显示, 其共分为3个类群(Stress=0.07)。狭鳕、白斑六线鱼和马舌

鲽3个鱼种形成一类, 其共同特征为在传统文化的重要性均未知。第二类所含鱼种共同特征为在传统文化以及商业上的重要性均知之甚少。剩余一类所含鱼种的共同特征在生态和传统文化的重要性上已有研究。

## 3 讨论

### 3.1 垂直跨水层分布及季节性洄游

本研究分析了104种栖息于北极阿拉斯加海域的主要鱼类, 研究表明, 该水域鱼类绝大多数栖息于表层(0~200 m), 其中一半以上的鱼种同时存在于中层水域, 仅双肋狼绵鲱1个鱼种出现于3 000 m以深水水域, 暂未发现北极水域存在深渊鱼种。由此可见, 北极海域的鱼类大多属于中上层鱼类, 其中存在于200~1 000 m中层水域的鱼类大多同时存在于浅层水域; 存在于深层水域的鱼种大多同时存在于中层水域, 有些甚至出现在表层水域, 如狭鳕等。本研究进一步显示, 北极阿拉斯加水域大多数鱼类具有白天下潜、夜间上升的昼夜垂直移动特性, 呈现较为明显的跨水层分布。本结果与林景宏等<sup>[22]</sup>对夏季白令海浮游动物具昼夜变化规律的研究结果相类似, 考虑到浮游动物是鱼类的主要饵料之一, 即可侧面说明食物对象可能是引起北极海域鱼类昼夜垂直移动的重要因素之一<sup>[23]</sup>。林景祺<sup>[24]</sup>以白令海狭鳕为例, 证实了随着性腺发育的进行, 其将由深水区迁移至浅水区, 并在产卵时随着水温上升又迁移至深水区摄食。因此, 鱼类本身的生活史也可能导致其在垂直水层中移动。

北极阿拉斯加水域鱼类中, 一半左右的鱼类呈现昼夜垂直移动现象, 且一半左右的鱼类也存在季节性洄游特性, 此外, 同时具备2种特性的鱼种占所研究鱼类总数的22%。影响鱼类洄游的因素较多, 尤其是水温、洋流及盐度等对于鱼类洄游均有着重要影响, 这些因素对鱼类洄游具有综合作用<sup>[25]</sup>。因此, 全面理解北极阿拉斯加鱼类的生态特征, 需要开展北极生态系统的综合研究。De Robertis等<sup>[12]</sup>的研究证明, 北鳕及白令海北部和楚科奇海部分其他中上层鱼类的分布, 表现出了与温度、盐度及海底深度的一致性。北极鱼类季节性洄游特性主要受产卵期鱼体内激素水平及产卵地控制, 同时在某种

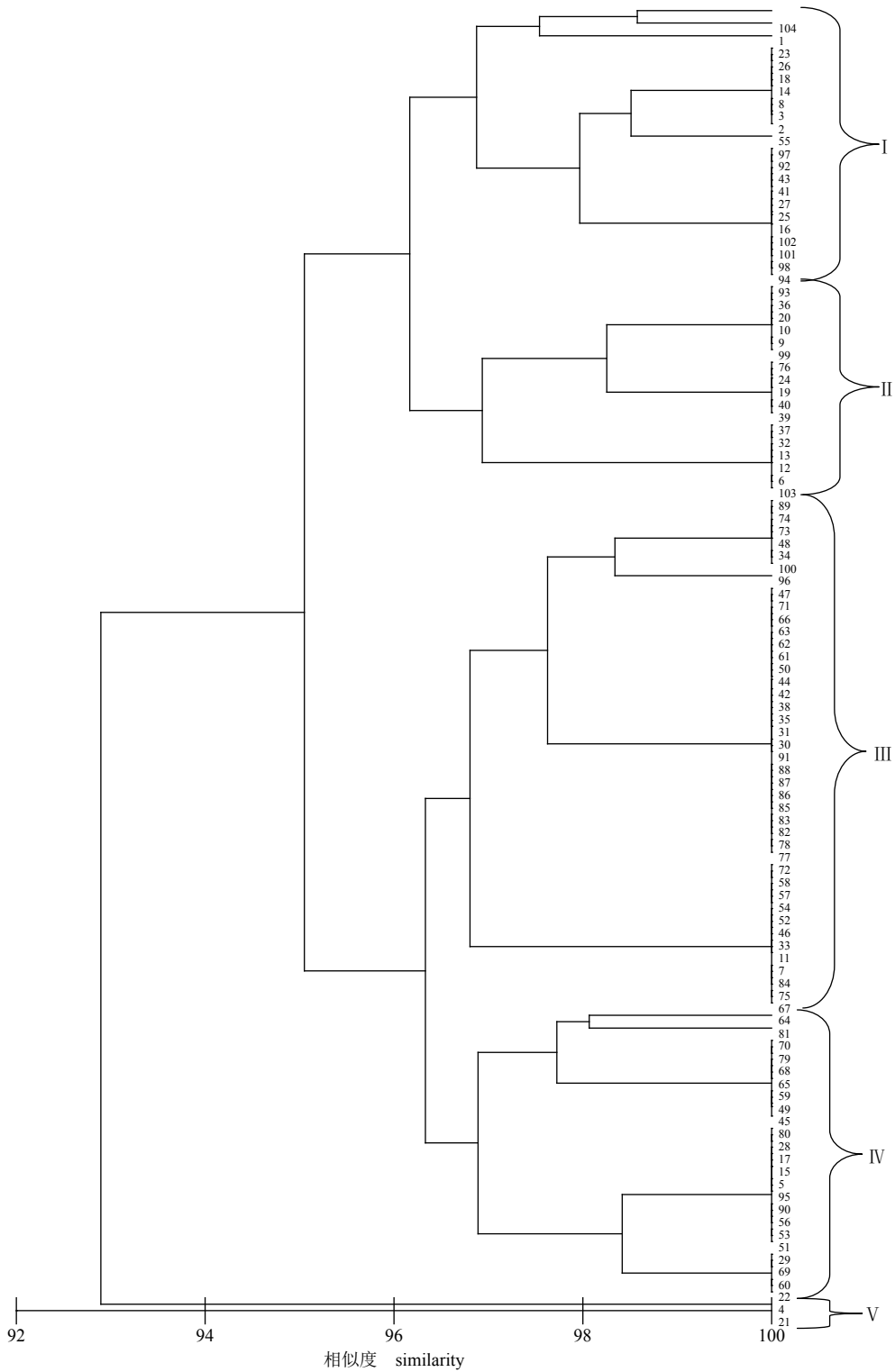


图 4 北极阿拉斯加主要鱼种生态类群

图中数字代表表1中的鱼种，下同

Fig. 4 Ecological groups for selected fish species in the Arctic Alaska

The numbers in figure signify the fish species in Tab. 1, the same below

程度上还受到环境因素的影响<sup>[26]</sup>。鉴于此，在北极阿拉斯加水域渔业资源的开发过程中，建议首先了解具有商业性价值鱼类的生态特性，掌

握这些鱼种的生活史过程，针对不同鱼种栖息水层的空间分布及时间变化的特点，应考虑不同季节、不同海域、不同水深的作业强度，制



定高效的开发及养护规划, 合理配置作业渔船的作业区域。鉴于此, 本研究的相关结果弥补了之前针对北极鱼类空间分布整体状况研究的缺失, 为我国将来进一步参与北极渔业资源开发及谈判工作, 提供了基础数据支持。

### 3.2 全球变暖条件下鱼类营养级及恢复能力

在海洋生态系统中, 鱼类的营养级在食物网中处于相对较高的等级, 但近几十年来过度捕捞已使得大型高价值捕食性鱼类的资源出现衰竭或已经衰竭, 这也进一步导致供人类消费的渔获物总量相应减少<sup>[27]</sup>。目前, 北极阿拉斯加水域大多数鱼种的营养级仍处于3.0~4.5, 处于较低营养级的鱼种相对较少。总的来说, 营养级较高的鱼种, 其抵抗外界干扰的能力较弱, 自我恢复的能力也较弱, 因此, 北极阿拉斯加水域海洋鱼类中, 大部分鱼种自我恢复能力处于较低或中等水平; 极少数鱼种的自我恢复能力较高, 如虫纹钩杜父鱼等, 该部分鱼种在总量、传统文化重要性及商业重要性等方面均知之甚少; 而自我恢复能力较低鱼种, 如斑鳍北鲷等, 则需要更多的关注, 因为一旦这些鱼类因人类开发或气候变化而受到影响时, 可能需花费非常长的时间才能恢复。由于鱼群的自我恢复力稳定性与抵抗力稳定性呈反比, 即自我恢复能力越强, 对外部环境的抵抗力越弱; 自我恢复能力较低鱼种, 抵抗力相对较强, 受生态环境及人类开发的影响较小, 能较好地保持自身稳定性, 但一旦超过鱼种的耐受阈值而破坏种内的生态平衡, 在没有外力的帮助下恢复到原来水平则相对困难。本研究中, 恢复能力高的7个鱼种, 抵抗力稳定性相对较弱, 容易受到外部环境的影响, 很难保持鱼种自身的生态稳定性, 但若种内环境被破坏, 这些鱼种可以有较强能力恢复到平衡状态。

Christiansen等<sup>[17]</sup>的研究表明, 全球变暖与海冰融化已从根本上影响到了北极渔业生态系统。Reist等<sup>[28]</sup>从鱼类特性角度分析, 鱼类属变温动物, 体温会受周围海水的影响, 在自然演化过程中会自动选择最适温度生活。北极阿拉斯加水域各种鱼类受气候变暖影响程度不同, 受影响程度微弱及一般的鱼类均占三分之一左右; 受影响程度较大的鱼种较少, 大多具有昼夜垂直移动现象和季节性迁移现象, 且栖息于浅水

层, 如太平洋鲱等。因气候变暖而引起的海冰融化将直接导致部分海域海水温度上升, 北极海域内的鱼群可能会迁移至更适合自身生活繁殖的区域。温度机制对个体繁殖、死亡及摄食的影响与生态系统相互关联, 表现在鱼种整个种群的影响上则十分明显<sup>[28]</sup>。同时, 北冰洋水温升高, 全球范围内的洋流也会受到不同程度的影响, 北极阿拉斯加水域鱼类的洄游及季节性迁移的周期性平衡状态被打破, 也可能影响鱼种的生态特性。赵进平等<sup>[1]</sup>的研究表明, 近几年一些科学家反思了北极研究的现状和问题, 认为只有积极开展环境监测获取数据, 才能真正地重新认识变化了的北极。基于北极阿拉斯加水域海洋鱼类的营养级及自我恢复能力, 结合全球变暖的现状 & 未来变化趋势, 在北极阿拉斯加水域鱼类资源开发过程中, 作为制定捕捞量范围的基础数据及参考依据, 合理制定开发计划, 通过合理合法的管理措施, 统筹协调, 有侧重地进行商业性开发活动, 避免过度开采导致生态系统失衡, 更好地使商业利益与鱼群生境保持在动态的平衡状态之中<sup>[17]</sup>。

### 3.3 生态类群在北极渔业资源开发中的作用

鱼种的生态、传统文化及商业重要性属于非自然存在, 是人类根据其在生产生活及历史上的影响程度而定义, 三者既有区别又有联系。通过界定鱼种的重要性, 可以明确哪些鱼类在北极海洋鱼类生态系统中起着关键作用, 哪些在人类生活史及商业开发中影响深远, 在北极鱼类资源开发过程中可以作为开发水平的参考依据, 避免过度利用导致生态系统失衡, 更好地使商业利益与资源养护保持在动态平衡状态。同时, 渔业管理者采用的预防性措施, 需要可靠的基线信息收集和生态系统的管理。总的来说, 目前人类对绝大多数北极阿拉斯加水域鱼类在传统文化及商业上的重要程度知之甚少, 只有少数鱼类的重要性有着较多研究数据。此外, 北极阿拉斯加水域鱼类的生态重要性 & 传统文化及商业重要性则大致呈反比的关系, 即生态重要性越强, 传统文化及商业重要性越弱。相同之处在于, 整个北极阿拉斯加水域中至关重要、乃至成为整个北极海洋生态系统关键种的鱼类均为极少数, 如北鲑及宽鼻白鲑等。

Mueter等<sup>[29]</sup>表明, 因全球变暖, 原来只能存

在于较低纬度的鱼类也可移动至高纬度海区生存,出现北移的现象。Dulvy等<sup>[30]</sup>的研究也显示,北大西洋海域多种经济性鱼类向较深的水层内移动,表现出深度上的扩展。气候变暖带来的北极环境的改变和鱼种分布范围的转换,可能会对未来的北极鱼类生态学研究的开展及北极渔业资源的开发潜力评价带来了不确定性。白令海东部陆架区是全球渔业最高产的海区之一<sup>[30]</sup>,但由于资源的不合理利用,白令海与楚科奇海3种主要经济鱼类已面临着过度捕捞、资源衰退的困境,该区域渔业资源也出现了衰退等问题<sup>[13]</sup>。因此,基于现有北极阿拉斯加水域海洋鱼类生态学的相关信息,从多角度对北极阿拉斯加水域海洋鱼类的生态特征进行总结,从而对北极阿拉斯加水域鱼类进行概括性分析,形成更深的认识。针对不同组的鱼类,可以根据组内鱼群的相似性、规律性、特异性等制定出相匹配的管理措施,使得管理过程更加高效,以期为进一步开展北极海域鱼类的开发和保护工作提供数据支持,并为我国参与北极鱼类资源潜力的开发及国家权益的争取提供参考信息。

#### 参考文献:

- [1] 赵进平, 史久新, 王召民, 等. 北极海冰减退引起的北极放大机理与全球气候效应[J]. 地球科学进展, 2015, 30(9): 985-995.  
Zhao J P, Shi J X, Wang Z M, *et al.* Arctic amplification produced by sea ice retreat and its global climate effects[J]. *Advances in Earth Science*, 2015, 30(9): 985-995(in Chinese).
- [2] 杨清良, 林更铭, 林茂, 等. 楚科奇海和白令海浮游植物的种类组成与分布[J]. 极地研究, 2002, 14(2): 113-125.  
Yang Q L, Lin G X, Lin M, *et al.* Species composition and distribution of phytoplankton in Chukchi Sea and Bering Sea[J]. *Chinese Journal of Polar Research*, 2002, 14(2): 113-125(in Chinese).
- [3] 余兴光. 中国第四次北极科学考察报告[M]. 北京: 海洋出版社, 2011: 2-15.  
Yu X G. The report of 2010 Chinese Arctic research expedition[M]. Beijing: Ocean Press, 2011: 2-15(in Chinese).
- [4] 焦敏, 陈新军, 高郭平. 气候变化对北极渔业资源的影响研究进展[J]. 极地研究, 2015, 27(4): 454-462.  
Jiao M, Chen X J, Gao G P. Research progress on the impact of climatic change on Arctic fishery resources[J]. *Chinese Journal of Polar Research*, 2015, 27(4): 454-462(in Chinese).
- [5] Steele M, Ermold W, Zhang J L. Arctic Ocean surface warming trends over the past 100 years[J]. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35, DOI: 10.1029/2007GL031651.
- [6] Steele M, Zhang J L, Ermold W. Mechanisms of summertime upper Arctic Ocean warming and the effect on sea ice melt[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2010, 115, DOI: 10.1029/2009JC005849.
- [7] Langangen Ø, Ohlberger J, Stige L C, *et al.* Cascading effects of mass mortality events in Arctic marine communities[J]. *Global Change Biology*, 2017, 23(1): 283-292.
- [8] Food and Agriculture Organization of the United Nations. The state of world fisheries and aquaculture: opportunities and challenges[M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014: 40-41.
- [9] 焦敏, 陈新军, 高郭平. 北极海域渔业资源开发现状及对策[J]. 极地研究, 2015, 27(2): 219-227.  
Jiao M, Chen X J, Gao G P. Current exploitation and the developing countermeasures of fishery resources in the Arctic Waters[J]. *Chinese Journal of Polar Research*, 2015, 27(2): 219-227(in Chinese).
- [10] 邹磊磊, 黄硕琳, 付玉. 南北极渔业管理机制的对比研究[J]. 水产学报, 2014, 38(9): 1611-1617.  
Zou L L, Huang S L, Fu Y. A comparative study between Antarctic and Arctic fisheries management regime[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(9): 1611-1617(in Chinese).
- [11] Hollowed A B, Planque B, Loeng H. Potential movement of fish and shellfish stocks from the sub-Arctic to the Arctic Ocean[J]. *Fisheries Oceanography*, 2013, 22(5): 355-370.
- [12] De Robertis A, Taylor K, Wilson C D, *et al.* Abundance and distribution of Arctic cod (*Boreogadus saida*) and other pelagic fishes over the U. S. Continental Shelf of the Northern Bering and Chukchi Seas[J]. *Deep Sea Research-Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2017, 135: 51-65.
- [13] 陈永俊, 林龙山, 廖运志, 等. 白令海和楚科奇海鱼类

- 种类组成及其对生态环境变化的响应[J]. *海洋学报*, 2013, 35(2): 113-125.
- Chen Y J, Lin L S, Liao Y C, *et al.* Composition of fish species in Bering Sea and Chukchi Sea and its responses to changes of ecological environment[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2013, 35(2): 113-125(in Chinese).
- [14] Huntington H P, Anisimova O, Christensen T, *et al.* Provisioning and cultural services. In: arctic biodiversity assessment: status and trends in Arctic Biodiversity[M] // Meltofte H. Arctic Biodiversity Assessment. Akureyri, Iceland: Conservation of Arctic Flora and Fauna, 2013: 592-626.
- [15] Shephard G E, Dalen K, Peldszus R, *et al.* Assessing the added value of the recent declaration on unregulated fishing for sustainable governance of the central Arctic Ocean[J]. *Marine Policy*, 2016, 66: 50-57.
- [16] 刘晨. 中国参与北欧五国非生物资源开发的国际投资法律问题研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
- Liu C. Research on international investment legal issues of China's participation in arctic non-living natural resources development of the five Nordic countries[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015(in Chinese).
- [17] Christiansen J S, Mecklenburg C W, Karamushko O V. Arctic marine fishes and their fisheries in light of global change[J]. *Global Change Biology*, 2014, 20(2): 352-359.
- [18] Zeller D, Booth S, Pakhomov E, *et al.* Arctic fisheries catches in Russia, USA, and Canada: baselines for neglected ecosystems[J]. *Polar Biology*, 2011, 34(7): 955-973.
- [19] Thorsteinson L K, Love M S. Alaska arctic marine fish ecology catalog[R]. Reston, VA: U.S. Geological Survey, 2016.
- [20] 冯士筭, 李凤岐, 李少菁. 海洋科学导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- Feng S Z, Li F Q, Li S J. An introduction to marine science[M]. Beijing: Higher Education Press, 1999(in Chinese).
- [21] 邓思明, 熊国强, 詹鸿禧. 深海鱼类的形态特征和分布状况[J]. *海洋渔业*, 1983(3): 141-144.
- Deng S M, Xiong G Q, Zhan H X. Morphological characteristics and distribution of deep sea fish species[J]. *Marine Fisheries*, 1983(3): 141-144(in Chinese).
- [22] 林景宏, 戴燕玉, 林茂, 等. 夏季白令海浮游动物的分布[J]. *极地研究*, 2002, 14(2): 126-135.
- Lin J H, Dai Y Y, Lin M, *et al.* Distribution of the zooplankton in Bering Sea in summer[J]. *Chinese Journal of Polar Research*, 2002, 14(2): 126-135(in Chinese).
- [23] 林更铭, 杨清良, 王雨. 2010年夏季白令海小型浮游植物分布[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(9): 2643-2650.
- Lin G M, Yang Q L, Wang Y. Distribution pattern of microphytoplankton in the Bering Sea during the summer of 2010[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(9): 2643-2650(in Chinese).
- [24] 林景祺. 狭鳕等三种鳕鱼生态和资源[J]. *海洋科学*, 1994(2): 25-29.
- Lin J Q. Ecology and resources of three kinds of cods[J]. *Marine Sciences*, 1994(2): 25-29(in Chinese).
- [25] 郑元甲, 李建生, 张其永, 等. 中国重要海洋中上层经济鱼类生物学研究进展[J]. *水产学报*, 2014, 38(1): 149-160.
- Zheng Y J, Li J S, Zhang Q Y, *et al.* Research progresses of resource biology of important marine pelagic food fishes in China[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(1): 149-160(in Chinese).
- [26] Lappalainen J, Kjellman J. Ecological and life history characteristics of Ruffe (*Gymnocephalus cernuus*) in relation to other freshwater fish species[J]. *Journal of Great Lakes Research*, 1998, 24(2): 228-234.
- [27] European Environment Agency. Halting the loss of biodiversity by 2010: proposal for a first set of indicators to monitor progress in Europe[R]. EEA Technical Report No 11, Copenhagen: European Environment Agency, 2007.
- [28] Reist J D, Wrona F J, Prowse T D, *et al.* General effects of climate change on Arctic fishes and fish populations[J]. *Ambio: A Journal of the Human Environment*, 2006, 35(7): 370-380.
- [29] Mueter F J, Litzow M A. Sea ice retreat alters the biogeography of the Bering Sea continental shelf[J]. *Ecological Applications*, 2008, 18(2): 309-320.
- [30] Dulvy N K, Rogers S I, Jennings S, *et al.* Climate change and deepening of the North Sea fish assemblage: a biotic indicator of warming seas[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2008, 45(4): 1029-1039.

## Ecological characteristics and importance evaluation of fish species in the Arctic Alaska

LIN Qianqian<sup>1,2</sup>, ZHU Guoping<sup>1,2,3,4\*</sup>

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Center for Polar Research, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. National Distant-Water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai 201306, China;

4. Polar Marine Ecosystem Group, the Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Shanghai Ocean University, Ministry of Education, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** In order to analyze ecological characteristics of Arctic fish species, based on scientific information available on Alaska Arctic marine fish ecology, the present study analyzes the ecological characteristics and importance of 104 fish species from the following aspects, i.e., depth distribution, trophic level, diel vertical migration, seasonal migration, and ecological, traditional culture and commercial importance. The results indicate that most of Arctic fish species studied are pelagic or mesopelagic and living in continental shelf or shelf slope shallower than 1 000 m. Most of the fish in the Arctic Alaska have diel vertical movements with daytime descending and nighttime rising. The trophic level of those species ranged from 3.0 to 4.5 and few fish species at higher or lower trophic levels. The importance of most of fish species is unknown and only a few fish species play a key role in the Arctic Alaska marine ecosystem, traditional culture and commercial fishery based on the data available. About half of fish species demonstrates either diel vertical migration or seasonal movement. Based on clustering analysis, 5 ecological groups contain 104 Arctic fish species, considering depth of distribution, diel vertical migration, seasonal movement and trophic level as variables; however, 3 importance groups can be identified with ecological, traditional culture and commercial importance as variables. The results from the present study can provide data support for further studying on ecology of Arctic fish species and exploitation potential evaluation of Arctic fish resources and also provide reference information for China's participation in potential exploitation of Arctic fish resources and international negotiation.

**Key words:** fish species; ecological characteristic; fishery resources; Alaska; Arctic

**Corresponding author:** ZHU Guoping. E-mail: gpzhu@shou.edu.cn

**Funding projects:** National Natural Science Foundation of China (41776185); National Key Technology R & D Program of China (2013BAD13B03); Scientific Research Foundation for the Returned Overseas Chinese Scholars of the Education Ministry; Key Course Construction Projects of Shanghai Municipal Education Commission