

# 夏季北部湾九种经济鱼类的食性类型及营养生态位初步研究

杨璐<sup>1,2</sup>, 曹文清<sup>1,2</sup>, 林元烧<sup>1,2</sup>, 陈颖涵<sup>1,2</sup>, 林昭进<sup>3</sup>, 王雪辉<sup>3</sup>

1. 厦门大学海洋与地球学院, 福建 厦门 361005;
2. 厦门大学海洋生物多样性与全球变化实验室, 福建 厦门 361005;
3. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300

**摘要:** 应用 Shannon-Wiener 指数、Levins 指数和均匀度指数, 分析了北部湾 2012 年 7 月 9 种个体数量占优势的经济鱼类的食物组成和食性类型, 并对其营养生态位进行了初步研究。研究表明, 这 9 种经济鱼类可划分为 3 种食性类型: 日本发光鲷 *Acropoma japonicum*、日本竹筴鱼 *Trachurus japonicus*、蓝圆鲹 *Decapterus maruadsi* 和六指多指马鲛 *Polydactylus sextarius* 为浮游生物食性, 主要以桡足类为食; 二长棘犁齿鲷 *Evynnis cardinalis*、日本鲱鲤 *Upeneus japonicus* 和刺鲷 *Psenopsis anomala* 为底栖生物食性, 主要以长尾类为食; 多齿蛇鲻 *Saurida tumbil* 和白姑鱼 *Pennahia argentata* 为游泳动物食性, 以鱼类饵料占较大优势。9 种鱼中, 白姑鱼的营养生态位宽度值最高, 多齿蛇鲻的营养生态位宽度值最低。夏季北部湾这 9 种经济鱼类的营养生态位宽度与其摄食习性和饵料基础密切相关。

**关键词:** 食性类型; 营养生态位; 北部湾

中图分类号: P735 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2016)02-0066-10

## Preliminary study on feeding habits and trophic niche of nine economic fish species in Beibu Gulf in summer

YANG Lu<sup>1,2</sup>, CAO Wenqing<sup>1,2</sup>, LIN Yuanshao<sup>1,2</sup>, CHEN Yinghan<sup>1,2</sup>, LIN Zhaojin<sup>3</sup>, WANG Xuehui<sup>3</sup>

1. College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China;
2. Laboratory of Marine Biodiversity and Global Change (MBiGC), Xiamen University, Xiamen 361005, China;
3. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China

**Abstract:** In this study, based on fish samples collected in Beibu Gulf in July 2012, diet composition, feeding habits and trophic niche breadth of nine economic fish species were analyzed using the Shannon-Wiener index, Levins index and evenness index. Results showed that nine economic fish species could be classified into three types according to feeding habits, referred to as plankton predators (including *Acropoma japonicum*, *Trachurus japonicus*, *Decapterus maruadsi*, and *Polydactylus sextarius*), benthic predators (including *Evynnis cardinalis*, *Upeneus japonicus* and *Psenopsis anomala*) and nekton predators (*Saurida tumbil* and *Pennahia argentata*). Trophic niche breadth of *Pennahia argentata* was the highest (Shannon-Wiener index=0.938 and Levins index=2.238), while trophic niche breadth of *Saurida tumbil* was the lowest (Shannon-Wiener index=0 and Levins index=1). The trophic niche breadth of the nine economic fish species in summer in Beibu Gulf was strongly influenced by feeding habits and feeding foundation of surrounding environments.

**Key words:** feeding habit; trophic niche; Beibu Gulf

收稿日期: 2014-11-18; 修订日期: 2015-10-16。孙淑杰编辑

基金项目: 国家海洋公益项目(201005012)

作者简介: 杨璐(1989—), 女, 辽宁省鞍山市人, 硕士, 主要从事海洋浮游生物生理生态学研究。E-mail: yanglu@stu.xmu.edu.cn

通信作者: 林元烧。E-mail: yslin@xmu.edu.cn

Received date: 2014-11-18; Revised date: 2015-10-16. Editor: SUN Shujie

Foundation item: National Marine Public Welfare Project (201005012)

Corresponding author: LIN Yuanshao. E-mail: yslin@xmu.edu.cn

在海洋生态系统中, 食物资源对于鱼类的生存和繁衍至关重要(Ross, 1986)。鱼类的营养生态位描述了其在海洋生态系统中相对的营养地位(Hutchinson, 1957), 对于分析鱼类种间关系和资源分配模式、了解群落结构与功能具有重要意义(Fogarty et al, 1998)。我国开展过很多有关鱼类摄食生态和食物网的研究(杨纪明, 2001; 张月平, 2005; 张波, 2011, 2012), 但营养生态位角度的研究却较为缺乏, 目前仅见韩东燕等(2013)对胶州湾 5 种底栖食性鱼类的研究以及王武等(2006)、沙永翠等(2015)对杂食性鱼类种群营养生态位的研究, 尚无不同食性鱼类营养生态位的比较分析报道。

北部湾是我国南海最大的天然半封闭海湾, 自然条件优越, 渔业资源丰富, 是我国优良的传统渔场之一。然而, 自 20 世纪 80 年代以来, 北部湾一直处于过度捕捞状态, 渔业资源持续衰退(孙典荣等, 2004; 乔延龙等, 2008), 近年来, 随着渔业结构的调整和休渔制度、增殖放流、人工鱼礁建设等生态修复措施的实施, 北部湾渔业资源量得以逐渐增加(袁华荣等, 2011; 王雪辉等, 2012)。北部湾鱼类食性的研究以单种鱼的报道为主, 如二长棘犁齿鲷 *Evynnis cardinalis*(张宇美等, 2014)、带鱼 *Trichiurus lepturus*(颜云榕等, 2010a)、多齿蛇鲻 *Saurida tumbil*(颜云榕等, 2010b)等, 多种鱼间的食物关系仅见张月平(2005)的研究。本文选择了北部湾 9 种近年来数量较为稳定的优势经济鱼类(孙典荣等, 2004; 乔延龙等, 2008; 王雪辉等, 2012)作为研究对象, 即蓝圆鲹 *Decapterus maruadsi*、日本竹筴鱼 *Trachurus japonicus*、日本发光鲷 *Acropoma japonicum*、二长棘犁齿鲷、六指多指马鲛 *Polydactylus sextarius*、刺鲷 *Psenopsis anomala*、日本鲱鲤 *Upeneus japonicus*、

白姑鱼 *Pennahia argentata* 和多齿蛇鲻, 通过分析其夏季的食物组成、食性类型及营养生态位, 探讨影响营养生态位的主要因素, 旨在深入了解北部湾鱼类营养生态位及种间关系, 为研究北部湾生态系统结构与功能提供科学资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品收集与分析

本研究所用鱼类样品取自中国水产科学研究院南海水产研究所 2012 年 7 月在北部湾海域进行的底拖网调查, 调查船为“北渔 60011”, 调查海域水深 16~65m。样品收集于 9 个采样站位(图 1)。

9 种鱼类标本合计 309 尾, 在实验室内进行生物学测定, 分别计数、测定体长(mm)、体重(g)等参数, 并统计摄食率(表 1)。将胃容物取出, 利用体视显微镜(Stemi 2000-C)进行饵料生物种类鉴定, 依残体形态特征尽可能鉴定到最低的分类阶元, 同时确定饵料生物的个数和质量。

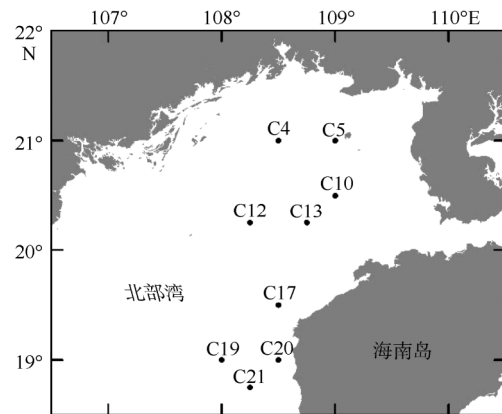


图 1 北部湾 2012 年 7 月鱼类采样站位图  
Fig. 1 Sampling stations of fish species in Beibu Gulf in July 2012

表 1 夏季北部湾鱼类样品数及体长范围

Tab. 1 Fish sampling quantity and size ranges in Beibu Gulf in July 2012

鱼种	取样点	体长范围/mm	样品数	摄食率/%
蓝圆鲹 <i>Decapterus maruadsi</i>	C21	109~127	30	96.67
日本竹筴鱼 <i>Trachurus japonicus</i>	C5	85~121	31	70.97
日本发光鲷 <i>Acropoma japonicum</i>	C19	40~85	65	33.85
二长棘犁齿鲷 <i>Evynnis cardinalis</i>	C4	70~107	26	73.08
六指多指马鲛 <i>Polydactylus sextarius</i>	C20	102~143	30	100.00
刺鲷 <i>Psenopsis anomala</i>	C12	115~156	30	86.67
日本鲱鲤 <i>Upeneus japonicus</i>	C10	94~127	37	94.59
白姑鱼 <i>Pennahia argentata</i>	C17	100~147	30	40.00
多齿蛇鲻 <i>Saurida tumbil</i>	C10, C13	172~227	30	100.00

注: 摄食率是指实胃数占样品总数的百分比。

## 1.2 数据处理

定量分析各种鱼的食物组成时,将饵料划分为 17 个饵料类群,即硅藻类、桡足类、端足类、多毛类、长尾类、磷虾类、樱虾类、糠虾类、短尾类、介形类、异足类、双壳类、毛颚类、线虫类、被囊类、鱼类及浮游幼虫(体)。各饵料类群的相对重要性采用 Pinkas 等(1971)提出的相对重要性指数 IRI 进行评价,以  $IRI > 100$  的饵料作为主要饵料,以强调每种鱼的主要食物来源(邓景耀等, 1986)。计算公式为:

$$IRI = (N+W) \times F \quad (1)$$

$$\text{质量百分比 } W = \frac{\text{某种饵料生物的质量}}{\text{饵料生物的总质量}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{个数百分比 } N = \frac{\text{某种饵料生物的个数}}{\text{饵料生物的总个数}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{出现频率 } F = \frac{\text{某种饵料生物出现的次数}}{\text{非空胃样品数}} \times 100\% \quad (4)$$

营养生态位宽度采用常用的 Shannon-Wiener 指数及 Levins 指数,根据各饵料生物类群的质量百分比进行计算,这样更能体现种类间的能量分布(Wilhm, 1968)。同时,计算两种生态位宽度对应的均匀度指数,其值位于 0~1 之间,适合进行种间比较。相关计算公式如下:

Shannon-Wiener 指数(Shannon et al, 1963):

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \quad (5)$$

Pielou 均匀度(Pielou, 1966):

$$J' = H' / \ln S \quad (6)$$

Levins 指数(Krebs, 1999):

$$B = 1 / \sum P_i^2 \quad (7)$$

Hulbert 均匀度(Hulbert, 1978):

$$B_a = (B-1) / (S-1) \quad (8)$$

其中:  $P_i$  为第  $i$  种饵料的质量占该种鱼所有饵料质量的比例;  $S$  为饵料种数。利用 Hulbert 均匀度可对生态位宽度进行划分, 0~0.39 为窄生态位, 0.4~0.6 为中等生态位, 0.61~1 为宽生态位(Corrêa et al, 2011)。

本研究采用 Primer v5.2.9 进行聚类分析以研究各种鱼的食物组成相似性。相似性系数计算变量为各饵料出现频率( $F\%$ ), 因为出现频率可较好地解释鱼类的摄食行为和对饵料的喜好程度(Schafer et al, 2002), 大多数的鱼类食性划分都以不同种类饵料的出现频率为依据(张月平, 2005; 黄良敏等, 2008)。与此同时, 由于本研究各种鱼饵料类群的体积与质

量差异较大, 利用质量百分比进行食性分析会放大高质量饵料的作用, 进而忽略鱼类对小型饵料的摄食。各饵料出现频率经二次方根转换后, 通过 Bray-Curtis 相似性系数和类平均法进行聚类分析。应用单因子设计 One-Way layout ANOSIM (Analysis of Similarities) 对聚类结果产生的组群进行差异性检验。

## 2 结果

### 2.1 食物组成

夏季北部湾 9 种经济鱼类的食物组成如表 2 所示。结果表明, 蓝圆鲹胃含物内饵料种类最多, 共 12 类 54 种(包括未鉴定到种的饵料)。主要摄食桡足类( $IRI$  指数为 10535.62), 其次为长尾类( $IRI$  指数为 4962.97)。在蓝圆鲹胃含物中发现少量硅藻类饵料, 可能系被水流或摄食的浮游动物带入, 仅在食物组成中列出, 不列入定量计算, 六指多指马鲛胃含物中发现的硅藻类饵料也同上处理。日本竹筴鱼仅摄食 4 类 6 种饵料, 隶属于桡足类、长尾类、糠虾类和鱼类, 这 4 类饵料的  $IRI$  指数均在 100 以上, 为主要饵料, 摄食较为均匀。日本发光鲷共摄食 7 类 17 种饵料, 桡足类饵料占有绝对优势,  $IRI$  指数为 5418.13, 且出现频率高达 71.43%。此外, 日本发光鲷对于长尾类、鱼类及浮游幼虫(体)也摄食较多。六指多指马鲛胃含物内饵料共 14 类 48 种, 种类数略少于蓝圆鲹。饵料以桡足类和长尾类占优势( $IRI$  指数分别为 6369.45 和 11777.38), 同时对于浮游幼虫(体)( $IRI$  指数为 237.13)、端足类( $IRI$  指数为 110.82)也有较多摄食。二长棘犁齿鲷胃含物中仅发现长尾类及樱虾类两类饵料,  $IRI$  指数分别为 16465.20 和 170.53。刺鲳共摄食 7 类 12 种饵料, 以长尾类、桡足类和被囊类为主, 其中长尾类占有绝对优势,  $IRI$  指数高达 13234.53。日本鲱鲤摄食 7 类 13 种饵料, 主要以长尾类为食( $IRI$  指数为 15440.96), 其次为桡足类( $IRI$  指数为 189.99)。白姑鱼摄食 4 种饵料, 隶属于长尾类、磷虾类、毛颚类和鱼类,  $IRI$  指数均大于 100, 摄食较为均匀。其中, 鱼类饵料摄食最多( $IRI$  指数为 4204.00), 其次为长尾类( $IRI$  指数为 2685.33)。多齿蛇鲻饵料组成较为单一, 仅摄食鱼类饵料。

### 2.2 食性类型

利用聚类分析法将北部湾 9 种经济鱼类按饵料组成的相似性进行分组, 结果如图 2 所示。按照约 45% 的相似性, 可将 9 种鱼类划分为 3 组: 六指多指马鲛、蓝圆鲹、日本发光鲷、日本竹筴鱼为一组, 以

表 2 夏季北部湾 9 种经济鱼类的饵料类群比较

Tab. 2 Comparison among different food groups of nine economic fish species in Beibu Gulf in July 2012

饵料类群	蓝圆鲹 <i>Decapterus maruadsi</i>				日本竹筴鱼 <i>Trachurus japonicas</i>				日本发光鲷 <i>Acropoma japonicum</i>			
	F/%	N/%	W/%	IRI	F/%	N/%	W/%	IRI	F/%	N/%	W/%	IRI
硅藻类 Bacillariophyta	3.57	0.09	0	0.32	—	—	—	—	—	—	—	—
桡足类 Copepoda	96.43	89.06	20.20	10535.62	62.50	54.55	1.69	3514.72	71.43	75.48	0.37	5418.13
长尾类 Macrura	60.71	4.84	76.90	4962.97	12.50	27.27	79.21	1331.03	28.57	5.16	1.06	177.75
端足类 Amphipod	3.57	0.09	0	0.32	—	—	—	—	19.05	2.58	0.02	49.54
多毛类 Polychaeta	14.29	0.72	0.06	11.11	—	—	—	—	—	—	—	—
磷虾类 Euphausiacea	10.71	0.45	0.52	10.38	—	—	—	—	—	—	—	—
樱虾类 Sergestidae	21.43	0.90	1.74	56.50	—	—	—	—	—	—	—	—
糠虾类 Mysidacea	3.57	0.18	0.35	1.89	12.50	9.09	5.62	183.89	—	—	—	—
短尾类 Brachyura	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
介形类 Ostracoda	3.57	0.18	0	0.64	—	—	—	—	4.76	0.65	0	3.07
异足类 Heteropoda	21.43	0.90	0.07	20.72	—	—	—	—	—	—	—	—
双壳类 Bivalve	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
毛颚类 Chaetognaths	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
线虫 Nematodae	—	—	—	—	—	—	—	—	14.29	2.58	0	36.87
被囊类 Tunicate	3.57	0.09	0	0.32	—	—	—	—	—	—	—	—
鱼类 Fish	—	—	—	—	12.50	9.09	13.48	282.14	4.76	0.65	98.55	472.36
浮游幼虫(体) Planktonic larva	32.14	2.51	0.16	85.86	—	—	—	—	33.33	12.90	0	430.11

饵料类群	六指多指马鲛 <i>Polydactylus sextarius</i>				二长棘犁齿鲷 <i>Evynnis cardinalis</i>				刺鲷 <i>Psenopsis anomala</i>			
	F/%	N/%	W/%	IRI	F/%	N/%	W/%	IRI	F/%	N/%	W/%	IRI
硅藻类 Bacillariophyta	3.33	0.08	0	0.27	—	—	—	—	—	—	—	—
桡足类 Copepoda	100.00	59.42	4.27	6369.45	—	—	—	—	21.05	10.00	0.36	218.16
长尾类 Macrura	96.67	28.64	93.19	11777.38	90.00	91.67	91.28	16465.20	78.95	68.00	99.64	13234.53
端足类 Amphipod	46.67	2.30	0.07	110.82	—	—	—	—	10.53	4.00	0	42.11
多毛类 Polychaeta	3.33	0.08	0.03	0.37	—	—	—	—	10.53	4.00	0	42.11
磷虾类 Euphausiacea	13.33	0.66	0.26	12.25	—	—	—	—	—	—	—	—
樱虾类 Sergestidae	40.00	1.40	0.42	72.81	10.00	8.33	8.72	170.53	5.26	2.00	0	10.53
糠虾类 Mysidacea	20.00	0.82	0.32	22.88	—	—	—	—	—	—	—	—
短尾类 Brachyura	10.00	0.49	0	4.94	—	—	—	—	—	—	—	—
介形类 Ostracoda	46.67	1.98	0.16	99.67	—	—	—	—	—	—	—	—
异足类 Heteropoda	3.33	0.41	0.16	1.91	—	—	—	—	—	—	—	—
双壳类 Bivalve	6.67	0.08	0	0.55	—	—	—	—	—	—	—	—
毛颚类 Chaetognaths	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
线虫 Nematodae	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
被囊类 Tunicate	—	—	—	—	—	—	—	—	26.32	10.00	0	263.16
鱼类 Fish	13.33	0	0.78	10.43	—	—	—	—	—	—	—	—
浮游幼虫(体) Planktonic larva	60.00	3.62	0.33	237.13	—	—	—	—	5.26	2.00	0	10.53

续表 2

饵料类群	日本鲱鲤 <i>Upeneus japonicus</i>				白姑鱼 <i>Pennahia argentata</i>				多齿蛇鲻 <i>Saurida tumbil</i>			
	F/%	N/%	W/%	IRI	F/%	N/%	W/%	IRI	F/%	N/%	W/%	IRI
硅藻类 Bacillariophyta	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
桡足类 Copepoda	20.00	9.46	0.04	189.99	—	—	—	—	—	—	—	—
长尾类 Macrura	88.00	75.68	99.79	15440.96	33.33	20.00	60.56	2685.33	—	—	—	—
端足类 Amphipod	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
多毛类 Polychaeta	8.00	4.05	0.05	32.83	—	—	—	—	—	—	—	—
磷虾类 Euphausiacea	4.00	1.35	0.04	5.57	33.33	20.00	16.38	1212.67	—	—	—	—
樱虾类 Sergestidae	8.00	2.70	0.04	21.94	—	—	—	—	—	—	—	—
糠虾类 Mysidacea	8.00	5.41	0.04	43.56	—	—	—	—	—	—	—	—
短尾类 Brachyura	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
介形类 Ostracoda	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
异足类 Heteropoda	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
双壳类 Bivalve	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
毛颚类 Chaetognaths	—	—	—	—	33.33	20.00	0	666.67	—	—	—	—
线虫 Nematodae	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
被囊类 Tunicate	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
鱼类 Fish	—	—	—	—	66.67	40.00	23.06	4204.00	100	100	100	20000.00
浮游幼虫(体) Planktonic larva	4.00	1.35	0	5.41	—	—	—	—	—	—	—	—

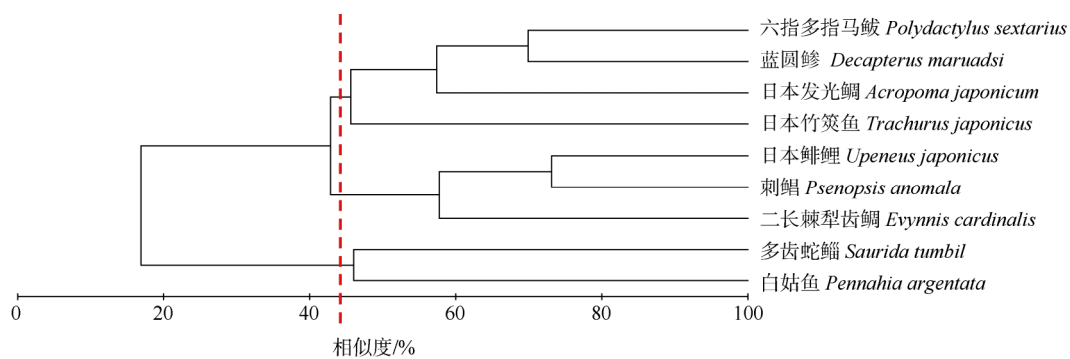


图 2 夏季北部湾 9 种经济鱼类食物组成的聚类分析图

Fig. 2 Clustering dendrogram of diet composition of nine economic fish species in Beibu Gulf in July 2012

浮游生物(特别是桡足类)为主要饵料,属于浮游生物食性;日本鲱鲤、刺鲷和二长棘犁齿鲷为一组,长尾类饵料在三者的饵料组成中占有绝对优势,属于底栖生物食性;多齿蛇鲻和白姑鱼为一组,以鱼类饵料为主要饵料,属于游泳动物食性。One-Way ANOSIM 对组群间的差异进行显著性检验,得到总体检验  $R > 0.5 (R = 0.785)$ ,且显著性水平  $P < 0.01$ ,表明组间差异显著。

### 2.3 营养生态位宽度

9 种鱼的营养生态位宽度值如表 3 所示。白姑鱼的营养生态位宽度值最高,Shannon-Wiener 指数为 0.938,Levins 指数为 2.238。其次为日本竹筴鱼和

蓝圆鲹,二者生态位宽度值相近,Shannon-Wiener 指数分别为 0.685、0.663,Levins 指数分别为 1.541、1.581。多齿蛇鲻因仅摄食鱼类饵料,生态位宽度值最低,Shannon-Wiener 指数为 0,Levins 指数为 1。

饵料均匀度方面,白姑鱼饵料均匀度指数最高,Pielou 均匀度为 0.854,Hulbert 均匀度为 0.619。其次为日本竹筴鱼与二长棘犁齿鲷,Pielou 均匀度分别为 0.494、0.427,Hulbert 均匀度分别为 0.180、0.189。日本发光鲷、日本鲱鲤、刺鲷均匀度指数都较低。利用 Hulbert 均匀度对营养生态位宽度进行划分,白姑鱼属于宽生态位,其余均属于窄生态位。

表 3 夏季北部湾 9 种经济鱼类的营养生态位宽度

Tab. 3 Trophic niche breadth of nine economic fish species in Beibu Gulf in July 2012

鱼种	$H$	$J$	$B$	$B_s$
蓝圆鲹 <i>Decapterus maruadsi</i>	0.663	0.319	1.581	0.083
日本竹筴鱼 <i>Trachurus japonicus</i>	0.685	0.494	1.541	0.180
日本发光鲷 <i>Acropoma japonicum</i>	0.085	0.061	1.030	0.010
六指多指马鲛 <i>Polydactylus sextarius</i>	0.342	0.143	1.149	0.015
二长棘犁齿鲷 <i>Evynnis cardinalis</i>	0.296	0.427	1.189	0.189
刺鲷 <i>Psenopsis anomala</i>	0.024	0.035	1.007	0.007
日本鲱鲤 <i>Upeneus japonicus</i>	0.018	0.010	1.004	0.001
白姑鱼 <i>Pennahia argentata</i>	0.938	0.854	2.238	0.619
多齿蛇鲻 <i>Saurida tumbil</i>	0.000	—	1.000	—

注: “—”表示无法计算。

### 3 讨论

#### 3.1 食性类型

根据聚类分组结果, 夏季北部湾 9 种经济鱼类可按食性划分为 3 组(表 4)。

组 1 包括蓝圆鲹、日本竹筴鱼、日本发光鲷和六指多指马鲛 4 种, 属于浮游生物食性。蓝圆鲹和日本竹筴鱼属于近海中上层鱼类, 以往研究(张其永等, 1981; 张月平, 2005; 蒋日进等, 2012)认为其摄食种类以浮游动物、特别是浮游甲壳类为主, 本文结果与之相一致。日本发光鲷虽为近底层鱼类, 但其食性属于浮游动物食性范畴(张其永等, 1981; 张波等, 2007)。六指多指马鲛作为底层鱼类, 黄良敏等(2008)认为属于底栖生物食性, 主要摄食短尾类和口足类的虾姑。本研究中表现出的浮游生物食性, 表明了六指多指马鲛的食性可能随不同海域饵料基础的变化而变化。

组 2 包括日本鲱鲤、刺鲷和二长棘犁齿鲷, 三者均为底层鱼类, 以底栖生物、特别是长尾类为主要饵料。张其永等(1981)、张月平(2005)指出刺鲷主要以浮游生物中的水母类为饵料, 本研究在刺鲷实胃样品中未见水母类, 日后需结合同期浮游动物种类组成做进一步分析。

组 3 包括白姑鱼和多齿蛇鲻, 属于游泳动物食性。多齿蛇鲻以鱼类为主要饵料(张月平, 2005; 颜云榕等, 2010b)。而白姑鱼不仅摄食较多的鱼类饵料, 对长尾类、磷虾类等的摄食比重也较高, 在渤海(邓景耀等, 1986)、黄海(韦晟等, 1992)、长江口(罗秉征等, 1997)和东山湾(张雅芝等, 1994)海区, 白姑鱼摄食种类基本相同, 均为底栖虾类和一定量

中、小型鱼类。

但是, 由于现场收集样品及实验室冻存等方面的原因, 本文样品尚欠足够的代表性, 这有待于日后进一步加以完善。

表 4 夏季北部湾 9 种经济鱼类的栖息水层与食性类型  
Tab. 4 Ecological and feeding habits of nine economic fish species in Beibu Gulf in July 2012

组别	鱼种	栖息水层	食性类型
1	蓝圆鲹 <i>Decapterus maruadsi</i>	中上层鱼类	浮游生物食性
1	日本竹筴鱼 <i>Trachurus japonicus</i>	中上层鱼类	浮游生物食性
1	日本发光鲷 <i>Acropoma japonicum</i>	近底层鱼类	浮游生物食性
1	六指多指马鲛 <i>Polydactylus sextarius</i>	底层鱼类	浮游生物食性
2	二长棘犁齿鲷 <i>Evynnis cardinalis</i>	底层鱼类	底栖生物食性
2	刺鲷 <i>Psenopsis anomala</i>	底层鱼类	底栖生物食性
2	日本鲱鲤 <i>Upeneus japonicus</i>	底层鱼类	底栖生物食性
3	白姑鱼 <i>Pennahia argentata</i>	底层鱼类	游泳动物食性
3	多齿蛇鲻 <i>Saurida tumbil</i>	底层鱼类	游泳动物食性

#### 3.2 生态位宽度的计测方法

本研究采用了 Shannon-Wiener 和 Levins 指数两种方法计测营养生态位宽度, 两种方法均可计测鱼类的营养生态位宽度, 且所得结果基本一致。9 种鱼中, 白姑鱼的生态位宽度值远高于其他种类, 表明其对饵料生物资源的利用较为充分。多齿蛇鲻的生态位宽度值最低, 仅摄食鱼类饵料。但两种方法在计算日本竹筴鱼、蓝圆鲹、六指多指马鲛和二长棘犁齿鲷 4 种鱼类的生态位宽度值时有所不同: Shannon-Wiener 指数从大到小依次为日本竹筴鱼、蓝圆鲹、六指多指马鲛和二长棘犁齿鲷, Levins 指数则为蓝圆鲹、日本竹筴鱼、二长棘犁齿鲷和六指多

指马鲛。研究指出, Shannon-Wiener 公式对于稀有种较为敏感, Levins 指数则表现出对优势饵料的依赖性(Marshall et al, 1997), 优势饵料所占比例越高, Levins 指数值越低。从饵料组成(表 2)来看, 六指多指马鲛饵料种类共 14 类, IRI 指数大于 100 的优势饵料有桡足类、长尾类、端足类和浮游幼体 4 类, 二长棘犁齿鲷仅有 2 种饵料, 且出现频率相差大, 因而六指多指马鲛营养生态位宽度应宽于二长棘犁齿鲷。蓝圆鲈有 12 类饵料, 优势饵料 2 类, 日本竹筴鱼 4 类饵料均为优势饵料, 且饵料均匀度大于蓝圆鲈, 因而其生态位宽度应宽于蓝圆鲈。由此可见, Shannon-Wiener 指数的排序结果更符合北部湾鱼类营养生态位的实际情况。因此, Shannon-Wiener 指数比 Levins 指数更适合描述夏季北部湾鱼类的营养生态位。

### 3.3 营养生态位的影响因素

营养生态位宽度反映了鱼类对饵料资源的利用程度(Hulbert, 1978), 主要由鱼类的摄食习性决定。鱼类的摄食习性是其对环境长期适应的结果, 主要取决于捕食者的摄食喜好和饵料生物的可获得性(Vinyard et al, 1976; 薛莹, 2005)。

一般而言, 广食性鱼类通常营养生态位较宽, 狭食性鱼类的营养生态位相对较窄(Macpherson, 1981)。本研究中, 白姑鱼与多齿蛇鲻虽同属于游泳动物食性, 但多齿蛇鲻对鱼类饵料偏好严重, 饵料组成简单, 摄食特化程度高, 因而其营养生态位最窄; 白姑鱼摄食喜好较多, 对长尾类、磷虾类和毛颚类均有较高比例的摄食, 且饵料均匀度最高, 因而其营养生态位最宽。

鱼类营养生态位宽度与其所在环境的饵料基础也密切相关。当食物资源充足时, 摄食者会更集中地摄食利盈较大的食物种类, 进而引起营养生态位宽度的下降(Pyke, 1984); 当食物资源有限时, 处于竞争劣势的鱼种常会通过摄食不同种类的饵料生物, 即提高营养生态位来减少种间竞争(Hacunda, 1981; Preciado et al, 2009)。

北部湾为天然半封闭海湾, 水动力因素复杂, 研究海域主要受广西沿岸低盐的冲淡水系、琼州海

峡西进的次高盐粤西混合水系以及北部湾口北上的高盐外海水系的影响(陈波, 1986; 林元烧等, 2008)。以往研究表明, 无论是北部湾的鱼类群落还是饵料生物群落(特别是浮游生物群落), 其群落格局都与水系消长密切相关(王雪辉等, 2010; 郭东晖等, 2008)。

本研究中, C4、C5 站位位于北部湾东北部沿岸, 夏季主要受广西沿岸冲淡水影响, 陆源营养盐丰富, 浮游植物大量繁殖, 形成浮游动物高密集中心(郭东晖等, 2008), 饵料资源丰富。C4 为二长棘犁齿鲷的采样站位, 陈作志等(2005)报道 C4 站附近区域是二长棘犁齿鲷的主要分布区, 浮游生物密度较高, 饵料生物丰富, 适合二长棘犁齿鲷种群的繁殖和补充。C10、C12 和 C13 位于北部湾中部, 夏季外海水势力强盛, 对本区域影响较大, 而粤西混合水系主要集中于琼州海峡附近, 影响相对较小(孙振宇等, 2009)。刺鲳、日本鲱鲤和多齿蛇鲻取自该区域, 王雪辉等(2003)调查显示北部湾海域虾类主要分布于湾中部, 为底栖生物食性鱼类提供了丰富饵料。其中, 北部湾海域虾类以长足鹰爪虾 *Trachypenaetus longipes* 等为优势种, 而本研究对日本鲱鲤胃含物进行分析, 发现其对长足鹰爪虾的摄食频率为 64%, 饵料质量百分比更达到 99.53%, 丰富的饵料基础使得日本鲱鲤的营养生态位宽度降低。C17、C19、C20 和 C21 等 4 个站位位于海南岛西侧, 刘子琳等(1998)报道该区域近岸叶绿素 a 浓度和初级生产力水平较高, 但潘非斐等(2011)发现该处的浮游生物, 特别是桡足类的种类数及丰度却处于中等水平。其原因在于海南岛西侧海域主要受南海海水影响, 桡足类种类以热带大洋种类为主, 但受温盐的限制, 其生长和繁殖受到一定的影响, 因而种类数及丰度仅处于中等水平。对于本区域的浮游生物食性鱼类而言, 特别是六指多指马鲛和蓝圆鲈, 其营养生态位宽度较高, 饵料种类明显多于其他鱼种, 这可能与该区域浮游生物丰度较低有关, 有限的浮游生物丰度使得以其为食的鱼类需要扩大摄食范围、增加摄食种类、提高饵料均匀度, 从而满足生长及繁殖的需要。

### 参考文献 References

陈波, 1986. 北部湾水系形成及其性质的初步探讨[J]. 广西科学院学报, 2(2): 92-95. CHEN B, 1986. Preliminary study on the formation and properties of the water system in the Beibu

Gulf [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2(2): 92-95 (in Chinese).

陈作志, 邱永松, 2005. 北部湾二长棘鲷的生态分布[J]. 海洋水

- 产研究, 26(3): 16–21. CHEN Z Z, QIU Y S, 2005. Ecological distribution of *Paragyrops edita* Tanaka in the Beibu Gulf [J]. Marine Fisheries Research, 26(3): 16–21 (in Chinese).
- 邓景耀, 孟田湘, 任胜民, 1986. 渤海鱼类食物关系的初步研究 [J]. 生态学报, 6(4): 356–363. DENG J Y, MENG T X, REN S M, 1986. Food web of fishes in Bohai Sea [J]. Acta Ecologica Sinica, 6(4): 356–363 (in Chinese).
- 郭东晖, 黄加祺, 李少菁, 等, 2008. 北部湾夏、冬两季浮游动物生态学研究 I. 种类组成与数量分布[G]//胡建宇, 杨圣云. 北部湾海洋科学研究论文集: 第 1 辑. 北京: 海洋出版社: 222–229. GUO D H, HUANG J Q, LI S J, et al, 2008. Ecological studies on zooplankton in Beibu Gulf during summer and winter I. Species composition and abundance distribution [G]//HU J Y, YANG S Y. Beibu Gulf Marine Science Symposium: Volume 1. Beijing: China Ocean Press: 222–229 (in Chinese).
- 韩东燕, 薛莹, 纪毓鹏, 等, 2013. 胶州湾 5 种鰕虎鱼类的营养和空间生态位[J]. 中国水产科学, 20(1): 148–156. HAN D Y, XUE Y, JI Y P, et al, 2013. Trophic and spatial niche of five gobiid fishes in Jiaozhou Bay [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 20(1): 148–156 (in Chinese).
- 黄良敏, 张雅芝, 潘佳佳, 2008. 厦门东海域鱼类食物网研究[J]. 台湾海峡, 27(1): 64–73. HUANG L M, ZHANG Y Z, PAN J J, 2008. Food web of fish in Xiamen eastern waters [J]. Journal of oceanography in Taiwan Strait, 27(1): 64–73 (in Chinese).
- 蒋日进, 徐汉祥, 金海卫, 等, 2012. 东海蓝圆鲹的摄食习性[J]. 水产学报, 36(2): 216–227. JIANG R J, XU H X, JIN H W, et al, 2012. Feeding habits of blue mackerel scad *Decapterus maruadsi* Temminck et Schlegel in the East China Sea [J]. Journal of Fisheries of China, 36(2): 216–227 (in Chinese).
- 林元烧, 曹文清, 杨圣云, 等, 2008. 北部湾环境与生物研究概述及相关科学问题概述[G]//胡建宇, 杨圣云. 北部湾海洋科学研究论文集: 第 1 辑. 北京: 海洋出版社: 162–170. LIN Y S, CAO W Q, YANG S Y, et al, 2008. Review on environment and bio-resource in Beibu Gulf, with some scientific considerations [G]//HU J Y, YANG S Y, Beibu Gulf Marine Science Symposium: Volume 1. Beijing: China ocean press: 162–170 (in Chinese).
- 刘子琳, 宁修仁, 蔡昱明, 1998. 北部湾浮游植物粒径分级叶绿素 a 和初级生产力的分布特征[J]. 海洋学报, 20(1): 50–57. LIU Z L, NING X R, CAI Y M, 1998. Distribution characteristics of size-fractionated chlorophyll a and productivity of phytoplankton in the Beibu Gulf [J]. Acta Oceanologica Sinica, 20(1): 50–57 (in Chinese).
- 罗秉征, 韦晟, 窦硕增, 1997. 长江口鱼类食物网与营养结构的研究[J]. 海洋科学集刊, 38(1): 143–153. LUO B Z, WEI S, DOU S Z, 1997. Study on food web and trophic structure of fish in the Changjiang River Estuary [J]. Studia Marina Sinica, 38(1): 143–153 (in Chinese).
- 潘非斐, 曹文清, 林元烧, 等, 2011. 北部湾东侧海域桡足类种类组成及其时空分布[G]//林元烧, 蔡立哲. 北部湾海洋科学研究论文集: 第 3 辑. 北京: 海洋出版社: 36–54. PAN F F, CAO W Q, LIN Y S, et al, 2011. Spatio-temporal variability of copepod composition in the eastern Beibu Gulf [G]//LIN Y S, CAI L Z. Beibu Gulf Marine Science Symposium: Volume 3. Beijing: China ocean press: 36–54 (in Chinese).
- 乔延龙, 陈作志, 林昭进, 2008. 北部湾春、秋季渔业生物群落结构的变化[J]. 中国水产科学, 15(5): 816–821. QIAO Y L, CHEN Z Z, LIN Z J, 2008. Changes of community structure of fishery species during spring and autumn in Beibu Gulf [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 15(5): 816–821 (in Chinese).
- 沙永翠, 张培育, 张欢, 等, 2015. 栖息地环境对种群营养生态位影响的研究——以黄颡鱼为例[J]. 生态学报, 35(5): 1–12. SHA Y C, ZHANG P Y, ZHANG H, et al, 2015. Impacts of habitat environment on trophic niches of a local population: a case study of yellow catfish [J]. Acta Ecologica Sinica, 35(5): 1–12 (in Chinese).
- 孙典荣, 林昭进, 2004. 北部湾主要经济鱼类资源变动分析及保护对策探讨[J]. 热带海洋学报, 23(2): 62–68. SUN D R, LIN Z J, 2004. Variations of major commercial fish stocks and strategies for fishery management in Beibu Gulf [J]. Journal of Tropical Oceanography, 23(2): 62–68 (in Chinese).
- 孙振宇, 胡建宇, 李炎, 等, 2009. 北部湾北部海区冲淡水及沿岸混合水分布的季节变化[G]//李炎, 胡建宇. 北部湾海洋科学研究论文集: 第 2 辑. 北京: 海洋出版社: 85–91. SUN Z Y, HU J Y, LI Y, et al, 2009. Seasonal variation of diluted water and near-shore mixed water in the northern Beibu Gulf [G]//LI Y, HU J Y. Beibu Gulf Marine Science Symposium: Volume 2. Beijing: China ocean press: 85–91 (in Chinese).
- 王武, 刘杰, 陈立婧, 等, 2006. 漏湖杂食性鱼类食物生态位的研究[J]. 水利渔业, 26(4): 39–40. WANG W, LIU J, CHEN L J, et al, 2006. Study on the trophic niche of omnivore fishes in Gehu Lake [J]. Reservoir Fisheries, 26(4): 39–40 (in Chinese).
- 王雪辉, 杜飞雁, 张汉华, 等, 2003. 北部湾海域秋、冬季甲壳类的种类组成及分布[J]. 湛江海洋大学学报, 23(6): 1–7. WANG X H, DU F Y, ZHANG H H, et al, 2003. Species composition and distribution of crustacean in Beibu Bay in autumn and winter [J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 23(6): 1–7 (in Chinese).
- 王雪辉, 邱永松, 杜飞雁, 等, 2010. 北部湾鱼类群落格局及其与环境因子的关系[J]. 水产学报, 34(10): 1579–1586. WANG X H, QIU Y S, DU F Y, et al, 2010. Fish community



- pattern and its relation to environmental factors in the Beibu Gulf [J]. *Journal of Fisheries of China*, 34(10): 1579–1586 (in Chinese).
- 王雪辉, 邱永松, 杜飞雁, 等, 2012. 北部湾秋季底层鱼类多样性和优势种数量的变动趋势[J]. *生态学报*, 32(2): 333–342.
- WANG X H, QIU Y S, DU F Y, et al, 2012. Dynamics of demersal fish species diversity and biomass of dominant species in autumn in the Beibu Gulf, northwestern South China Sea [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 32(2): 333–342 (in Chinese).
- 韦晟, 姜卫民, 1992. 黄海鱼类食物网的研究[J]. *海洋与湖沼*, 23(2): 182–192.
- WEI S, JIANG W M, 1992. Study on food web of fishes in the Yellow Sea [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 23(2): 182–192 (in Chinese).
- 薛莹, 2005. 黄海中南部主要鱼种摄食生态和鱼类食物网研究[D]. 青岛: 中国海洋大学: 30.
- XUE Y, 2005. Studies on the feeding ecology of dominant fishes and food web of fishes in the central and southern Yellow Sea [D]. Qingdao: Ocean University of China: 30 (in Chinese).
- 颜云榕, 陈骏岚, 侯刚, 等, 2010a. 北部湾带鱼的摄食习性[J]. *应用生态学报*, 21(3): 749–755.
- YAN Y R, CHEN J L, HOU G, et al, 2010a. Feeding habits of *Trichiurus lepturus* in Beibu Gulf of South China Sea [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 21(3): 749–755 (in Chinese).
- 颜云榕, 王田田, 侯刚, 等, 2010b. 北部湾多齿蛇鲻摄食习性及其随生长发育的变化[J]. *水产学报*, 4(7): 55–64.
- YAN Y R, WANG T T, HOU G, et al, 2010b. Feeding habits and monthly and ontogenetic diet shifts of the greater lizard fish *Saurida tumbil* in the Beibu Gulf of the South China Sea [J]. *Journal of Fisheries of China*, 4(7): 55–64 (in Chinese).
- 杨纪明, 2001. 渤海鱼类的食性和营养级研究[J]. *现代渔业信息*, 16(10): 10–19.
- YANG J M, 2001. A study on food and trophic levels of Bohai Sea fish [J]. *Modern Fisheries Information*, 16(10): 10–19 (in Chinese).
- 袁华荣, 陈丕茂, 贾晓平, 等, 2011. 北部湾东北部游泳生物资源现状[J]. *南方水产科学*, 7(3): 31–38.
- YUAN H R, CHEN P M, JIA X P, et al, 2011. Nekton resources in northeast Beibu Gulf [J]. *South China Fisheries Science*, 7(3): 31–38 (in Chinese).
- 张波, 唐启升, 金显仕, 2007. 东海高营养层次鱼类功能群及其主要种类[J]. *中国水产科学*, 14(6): 939–949.
- ZHANG B, TANG Q S, JIN X S, 2007. Functional groups of fish assemblages and their major species at high trophic level in the East China Sea [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 14(6): 939–949 (in Chinese).
- 张波, 吴强, 牛明香, 等, 2011. 黄海北部鱼类群落的摄食生态及其变化[J]. *中国水产科学*, 18(6): 1343–1350.
- ZHANG B, WU Q, NIU M X, et al, 2011. Variation in feeding ecology within the fish community in the north Yellow Sea [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 18(6): 1343–1350 (in Chinese).
- 张波, 李忠义, 金显仕, 2012. 渤海鱼类群落功能群及其主要种类[J]. *水产学报*, 36(1): 64–72.
- ZHANG B, LI Z Y, JIN X S, 2012. Functional groups of fish assemblages and their major species in the Bohai Sea [J]. *Journal of Fisheries of China*, 36(1): 64–72 (in Chinese).
- 张其永, 林秋眠, 林允通, 等, 1981. 闽南-台湾浅滩渔场鱼类食物网研究[J]. *海洋学报*, 3(2): 275–290.
- ZHANG Q Y, LIN Q M, LIN Y T, et al, 1981. Food web of fishes in Minnan-Taiwanchientan fishing ground [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 3(2): 275–290 (in Chinese).
- 张雅芝, 李福振, 刘向阳, 1994. 东山湾鱼类食物网研究[J]. *台湾海峡*, 13(1): 52–61.
- ZHANG Y Z, LI F Z, LIU X Y, 1994. Food web of fishes in Dongshan Bay, Fujian [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 13(1): 52–61 (in Chinese).
- 张宇美, 代春桃, 颜云榕, 等, 2014. 北部湾二长棘犁齿鲷摄食习性和营养级[J]. *水产学报*, 38(2): 265–273.
- ZHANG Y M, DAI C T, YAN Y R, et al, 2014. Feeding habits and trophic level of crimson sea bream, *Parargyrops edita* Tanaka in the Beibu Gulf [J]. *Journal of Fisheries of China*, 38(2): 265–273 (in Chinese).
- 张月平, 2005. 南海北部湾主要鱼类食物网[J]. *中国水产科学*, 12(5): 621–631.
- ZHANG Y P, 2005. Food web for main fishes in Beibu Gulf of the South China Sea [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 12(5): 621–631 (in Chinese).
- CORRÊA C E, ALBRECHT M P, HAHN N S, 2011. Patterns of niche breadth and feeding overlap of the fish fauna in the seasonal Brazilian Pantanal, Cuiabá River basin [J]. *Neotropical Ichthyology*, 9(3): 637–646.
- FOGARTY M J, MURAWSKI S A, 1998. Large scale disturbance and the structure of marine systems: fishery impacts on Georges Bank [J]. *Ecological Applications*, 8(1): 6–22.
- HACUNDA J S, 1981. Trophic relationships among demersal fishes in a coastal area of the Gulf of Maine [J]. *Fishery Bulletin United States, National Marine Fisheries Service*, 79(4): 775–788.
- HULBERT S H, 1978. The measurement of niche overlap and some relatives [J]. *Ecology*, 1978, 59(1): 67–77.
- HUTCHINSON G E, 1957. Concluding remarks [J]. *Cold Spring Harbor Symposia*, 22: 415–427.
- KREBS C J, 1999. *Ecological methodology* [M]. New York: Benjamin Cummings: 620.
- MACPHERSON E, 1981. Resource partitioning in a Mediterranean demersal fish community [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 4: 1983–1993.

- MARSHALL S, ELLIOTT M, 1997. A comparison of univariate and multivariate numerical and graphical techniques for determining inter and intraspecific feeding relationships in estuarine fish [J]. *Journal of Fish Biology*, 51(3): 526–545.
- PIELOU E C, 1966. Shannon's formula as a measure of specific diversity: its use and misuse [J]. *American Naturalist*, 100 (914): 463–465.
- PINKAS L, OLIPHANT M S, IVERSON I L K, 1971. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters [J]. California Department of Fish and Game, Fish Bulletin, 151: 1–105.
- PRECIADO I, CARTES J E, SERRANO A, et al. 2009. Resource utilization by deep-sea sharks at the Le Danois Bank, Cantabrian Sea, north-east Atlantic Ocean [J]. *Journal of Fish Biology*, 75: 1331–1355.
- PYKE G H, 1984. Optimal foraging theory: a critical review [J]. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 15: 523–575.
- ROSS S T, 1986. Resource partitioning in fish assemblages: a review of field studies [J]. *Copeia*, 247(2): 352–388.
- SCHAFFER L N, PLATELL M E, VALESINI F J, et al, 2002. Comparisons between the influence of habitat type, season and body size on the dietary compositions of fish species in nearshore marine waters [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 278(1): 67–92.
- SHANNON E E, WEAVER W, 1963. The mathematical theory of communication[M]. Urbana, Chicago, London: University Illinois Press: 125.
- VINYARD G L, O'BRIEN W J, 1976. Effects of light and turbidity on the reactive distance of bluegill (*Lepomis macrochirus*) [J]. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 33(12): 2845–2849.
- WILHM J L, 1968. Use of biomass units in Shannon formula [J]. *Ecology*, 49: 153–156.