

## 北部湾二长棘犁齿鲷摄食习性和营养级

张宇美<sup>1</sup>, 代春桃<sup>1</sup>, 颜云榕<sup>1,2</sup>, 杨云龙<sup>1</sup>, 卢伙胜<sup>1,2\*</sup>

(1. 广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524088;

2. 广东海洋大学南海渔业资源监测与评估中心, 广东 湛江 524088)

**摘要:** 根据2008年11月—2009年9月期间对南海北部湾拖网渔获物中二长棘犁齿鲷采样所得的生物学资料以及胃含物分析相关数据,应用氮稳定同位素技术对北部湾二长棘犁齿鲷的食物组成、摄食习性、营养级等进行研究。结果发现,二长棘犁齿鲷在北部湾海域广泛摄食,包括中上层鱼类、底栖鱼类、甲壳类和头足类等,鉴定到种的饵料生物有23种,以鱼类为主要饵料生物,占79.74%,主要有麦氏犀鲷、康氏小公鱼、粗纹鲷等,其中麦氏犀鲷所占比例最大,每月均有出现,为58.38%;甲壳类和头足类分别占10.86%、6.97%;根据IRI%分析可知,体长在30~59 mm时主要以小型饵料生物浮游动物为食,而60 mm及以上个体则主要以大型饵料鱼类和底栖无脊椎动物为食,有食性转换现象;饱满指数(RI)有显著的体长变化( $P < 0.05$ ),随性腺发育变化也较明显( $P < 0.05$ );氮稳定同位素比值 $\delta^{15}\text{N}$ 的范围为 $12.009 \times 10^{-3} \sim 16.007 \times 10^{-3}$ ,营养级随体长和月份的变化均不显著,根据饵料质量百分比及 $\delta^{15}\text{N}$ 估算得出北部湾二长棘犁齿鲷营养级平均值分别为3.1和3.7。

**关键词:** 二长棘犁齿鲷; 食性; 胃含物分析; 氮稳定同位素; 营养级; 北部湾

**中图分类号:** S 965.3

**文献标志码:** A

二长棘犁齿鲷(*Parargyrops edita* Tanaka)是暖温性近底层鱼类,隶属鲈形目(Perciformes)、鲷科(Sparidae)、犁齿鲷属,我国产于南海、东海南部。随着捕捞强度的不断增加,使二长棘犁齿鲷种群结构发生了巨大的变化,捕捞种群的平均年龄只有1龄左右<sup>[1]</sup>,尽管其资源衰退严重,但在南海北部湾渔业中二长棘犁齿鲷产量仍占优势地位<sup>[2]</sup>。国内对二长棘犁齿鲷的食性研究,较早见于20世纪60年代南海北部(海南岛以东)的底拖网调查报告<sup>[3]</sup>。随着鱼类食性研究的进展,张其永等<sup>[4]</sup>对闽南—台湾浅滩二长棘犁齿鲷食料组成、摄食的季节变化等作了研究,张月平<sup>[5]</sup>对北部湾二长棘犁齿鲷的食性及其在食物网中的位置也作了相关分析。

鱼类食性的研究是判断鱼类生长状况、行为规律、洄游性质、种间关系等方面的重要方法之一<sup>[6]</sup>。目前,对鱼类食性的研究,传统的方法是

胃含物分析,该方法对鱼类食性的研究比较直观,易于操作,但工作量较大,仅反映捕食者的瞬时摄食情况<sup>[7]</sup>。稳定同位素分析能够反映鱼类从出生到被捕杀时为止通过新陈代谢所积累的营养等级,利用天然稳定同位素可有效地揭示有机物来源以及捕食者食物组成<sup>[8-9]</sup>。从20世纪60年代末开始,国外逐渐将稳定同位素方法应用于海洋生态系统的研究,1967年,Miyake等<sup>[10]</sup>第一次发现 $\delta^{15}\text{N}$ 值在食物网中随营养层次升高而增大的现象,1981年,Deniro等<sup>[11]</sup>在室内培养实验中证实这一结果。近年来越来越多的学者利用稳定同位素对海洋生物食性及其营养级进行研究,如利用碳氮稳定同位素方法研究了南极洲湖泊淡水生态系统生物食物网<sup>[9]</sup>,以及对日本鳀(*Engraulis japonicus*)营养生态的地理变化<sup>[12]</sup>、南极海灯笼鱼科(Myctophid)及其捕食者的营养级<sup>[13]</sup>、淡水

收稿日期:2013-09-25 修回日期:2013-11-26

资助项目:国家自然科学基金项目(41376158);近海典型渔业水域增殖潜力与环境修复评价技术研究与应用(2012 BAD18B01);广东省自然科学基金(S2012040007813);广东海洋大学大学生创新创业训练项目(1056613038)

通信作者:卢伙胜,E-mail:luhs@gdou.edu.cn

湖瓜仁太阳鱼 (*Lipomis gibbosus*) 和岩鲈 (*Ambloplites rupestris*) 等的营养级估算和比较<sup>[14]</sup>进行了研究;国内自蔡德陵等<sup>[15-16]</sup>利用稳定同位素对生态系统的研究及其食物网连续营养谱建立以来,颜云榕等<sup>[17]</sup>对海洋鱼类摄食生态与食物网领域的研究方法进行了总结并对今后的发展趋势进行了展望,更多学者相继对单鱼种如黄海中南部鳀<sup>[18]</sup>、北部湾宝刀鱼 (*Chirocentrus dorab*)<sup>[19]</sup>以及带鱼 (*Trichiurus japonicus*)<sup>[20]</sup>的食性进行了研究。而关于二长棘犁齿鲷摄食的研究还处于传统食性分析阶段,目前尚未见利用稳定同位素对其营养级等研究的相关报告。

因此,本研究利用传统胃含物分析研究北部湾二长棘犁齿鲷食物组成、不同体长组的饵料组成变化及摄食强度等,揭示以二长棘犁齿鲷为代表的底层鱼类在其生活史中的摄食情况,结合氮稳定同位素分析二长棘犁齿鲷的食物来源及营养级并研究其变化,旨在为二长棘犁齿鲷资源的养护、北部湾渔业资源的可持续开发等提供理论依据,为研究北部湾海洋生态系统能量流动和物质转换规律提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集与实验室处理

2008年11月—2009年9月期间,对南海北部湾(105°40'~110°10'E,17°00'~21°45'N)底拖网渔获物随机采样,样品来自广西北海、海南八所和广东江洪等北部湾主要作业渔船(图1)。共采集二长棘犁齿鲷样品756尾,体长范围为30~229 mm,实胃数431尾,其中,Ⅳ期以上成熟个体主要分布在2008年11月—2009年3月,2009年4月—9月均未采到成熟个体。按照《海洋调查规范》(GB/T 12763.6-2007)<sup>[21]</sup>在实验室测定其体长、体质量、性腺重以及胃重等生物学参数。体长精确到1 mm,体质量精确到0.1 g,性腺重精确到0.01 g。摄食强度按照4期标准,性腺成熟度分为Ⅰ~Ⅵ期。胃从接近口部的食道处剪断,装入封口袋并速冻在-20℃下做食性分析用。

在室内将胃含物解冻,吸水纸吸干表面水分,根据饵料形态特征尽可能鉴定至最低分类阶元,不能用肉眼辨别的饵料生物,借助显微镜(Leica Zoom 2000 Z45V)进行鉴定。选用1/10 000电子天平(Shimadzu Auy220)称量各饵料生物在胃含物中的实际质量。

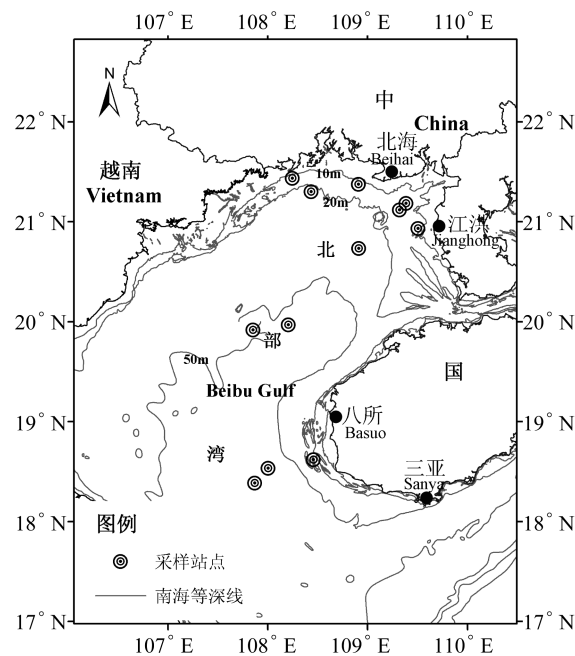


图1 采样站点和取样渔港示意图

Fig.1 Sketch map of fishing zone and sampling locations

采用饵料个数百分比( $N\%$ )、饵料质量百分比( $W\%$ )、出现频率( $F\%$ )3个单一指数<sup>[22]</sup>以及相对重要性指数百分比( $IRI\%$ )1个综合指数<sup>[23]</sup>来研究饵料的重要性,计算公式如下:

$$N\% = \frac{\text{某种饵料生物的个数}}{\text{所有饵料生物的个数}} \times 100 \quad (1)$$

$$W\% = \frac{\text{某种饵料生物的质量}}{\text{所有饵料生物的质量}} \times 100 \quad (2)$$

$$F\% = \frac{\text{某种饵料生物出现的次数}}{\text{有食物胃个数}} \times 100 \quad (3)$$

$$IRI = (N\% + W\%) \times F\% \quad (4)$$

$$IRI\% = \frac{IRI_i}{\sum_{i=1}^s IRI_i} \quad (5)$$

用饱满指数( $RI$ )和空胃率( $VC$ )<sup>[24]</sup>评估二长棘犁齿鲷的摄食强度。

$$RI(\%) = (\text{饵料质量} / \text{纯体质量}) \times 100 \quad (6)$$

$$VC(\%) = (\text{空胃数} / \text{总胃数}) \times 100 \quad (7)$$

### 1.2 氮稳定同位素分析

肌肉样品所在体长范围为60~229 mm,取二长棘犁齿鲷背部肌肉适量,每体长组取3~5尾,组间隔为10 mm,并现场采集二长棘犁齿鲷可能摄食的饵料生物肌肉适量。待所有样品处理完毕后通过人工气候箱(HPG-400HX)在55℃下烘干至恒重,并利

用玛瑙研钵充分研磨以备稳定同位素测定分析。

样品稳定同位素分析利用德国 Thermo Finnigan 公司的 Flash EA1112 元素仪与 Delta Plus XP 稳定同位素质谱仪通过 Conflo II 相连进行测定。样品氮百分含量用%表示,氮比值用国际通用的  $\delta$  值形式表达,  $\delta^{15}N$  和营养级计算如下:

$$\delta^{15}N = \left( \frac{^{15}N/^{14}N_{\text{样品}}}{^{15}N/^{14}N_{\text{大气}}} - 1 \right) \times 1000 \quad (9)$$

$$TL = 1 + \sum_{i=1}^s (T_i \times P_i) \quad (10)$$

$$TL = \frac{\delta^{15}N_{\text{样品}} - \delta^{15}N_0}{\delta^{15}N_c} + TL_{\text{基线生物}} \quad (11)$$

式中,  $^{15}N/^{14}N_{\text{大气}}$  为标准大气氮同位素比值,  $TL$  为某种鱼类营养级;  $T_i$  为饵料营养级,  $P_i$  为饵料在食物中所占的比例,  $s$  为饵料种类;  $\delta^{15}N$  样品为鱼类样品所测得的  $\delta$  值,  $\delta^{15}N_0$  为营养等级的基线,  $\delta^{15}N_c$  为营养等级富集度, 取 3.4。计算营养级时, 基线生物一般采用生态系统中常年存在、食性简单的浮游动物或底栖生物等初级消费者, 本研究

选择北部湾华贵栉孔扇贝 (*Mimachlamys nobilis*) 为基线生物,  $TL_{\text{基线生物}}$  定为 2.0。

## 2 结果

### 2.1 食物组成

饵料生物组成中, 鱼类是该海域二长棘犁齿鲷的主要饵料(表 1), 占胃含物的 79.74%, 其中麦氏犀鲷 (*Bregmaceros macclellandii*) 所占比例最大, 每月均有出现, 为 58.38%, 其次为康氏小公鱼 (*Stolephorus commersonii*), 占 8.35%, 粗纹鲷 (*Leiognathus lineolatus*)、带鱼 (*Trichiurus japonicus*)、蓝圆鲷 (*Decapterus maruadsi*) 以及发光鲷 (*Acropoma japonicum*) 均占有一定的质量比例, 所占比相对较小; 其次为甲壳类, 占 10.86%, 其中细螯虾 (*Leptochela gracilis*) 占 7.36%; 头足类占 6.97%, 其中柏氏四盘耳乌贼 (*Euprymna morsei*) 占 3.71%; 另外还有磷虾、沙蚕、海百合、蛇尾类、枝角类、桡足类等, 其中鉴定到种的饵料生物有 23 种。

表 1 北部湾二长棘犁齿鲷食物组成质量百分比月份变化表

Tab.1 Monthly variation of body weight percentage of *P. edita* from the Beibu Gulf

	饵料种类 prey species	2008- 11	2008- 12	2009- 01	2009- 02	2009- 03	2009- 04	2009- 05	2009- 07	2009- 08	2009- 09
鱼类 fishes	麦氏犀鲷 <i>Bregmaceros macclellandii</i>	81.77	82.17	72.58	26.41	35.42	64.05	58.34	75.27	56.73	27.65
	粗纹鲷 <i>Leiognathus lineolatus</i>	1.61					10.15		10.13		7.39
	康氏小公鱼 <i>Stolephorus commersonii</i>	2.28		2.83	40.06	11.58					25.07
	带鱼 <i>Trichiurus japonicus</i>		1.02						8.11		
	蓝圆鲷 <i>Decapterus maruadsi</i>					0.62		2.71		5.82	7.03
	发光鲷 <i>Acropoma japonicum</i>		9.90							7.12	2.21
	不可辨认鱼类 unidentified fishes		0.55	0.43	1.55	8.56	19.40		12.86	2.06	
甲壳类 crustacea	鹰爪虾 <i>Trachypenaeus curvirostris</i>	1.21					2.08		1.83		
	长臂虾 <i>palaemon</i>	0.34							0.04		
	细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>	5.87	2.45	12.70	6.88	10.72	2.91	11.38	1.03	3.04	15.12
	日本毛虾 <i>Acetes japonicus</i>	0.08	0.08	4.20	11.31	3.83					0.03
	中华管鞭虾 <i>Solenocera crassicornis</i>		0.15				5.26		0.18		
	其他对虾类 other prawns			0.12							
	红纹斗蟹 <i>Liagore rubromaculata</i>	0.42							0.12		
	蟹 crab	1.16							0.07		
头足类 cephalopoda	双斑蛸 <i>Charybdis bimaculata</i>	0.65							1.22		
	柏氏四盘耳乌贼 <i>Euprymna morsei</i>	4.43	0.57	3.90	0.93	6.23	1.09	3.65		12.46	3.07
其他种类 other species	中国枪乌贼 <i>Loligo chinensis</i>		0.28			12.19	12.77	6.73			
	沙蚕 <i>neris</i>	0.22									
	海百合 <i>crinozoa</i>	0.02							0.06		
无法辨认 unidentified	蛇尾类 <i>ophiuroida</i>		0.32						0.15		
		0.05		1.80	4.92		1.68			16.31	12.46

## 2.2 不同体长的北部湾二长棘犁齿鲷食物组成变化

对北部湾二长棘犁齿鲷相对重要性指数百分比(*IRI%*)分析可知(图2),在30~59 mm体长组主要摄食浮游动物,其中在30~39 mm组中,桡足类所占比例最高(48.90%),其次是枝角类(45.97%),40~49 mm体长组桡足类最多(83.59%),其次是端足类(2.73%),在50~59 mm体长组开始摄食虾类(11.82%),但是桡足类(62.54%)仍然是主要的摄食对象;在60~69 mm体长组开始摄食鱼类(62.21%)、双壳类(2.94%)、蟹类(12.82%),但其仍然摄食虾类

(13.75%)、桡足类(8.29%),过渡期以鱼类为主要摄食对象;70~79 mm、80~89 mm、90~99 mm体长组均以鱼类为主要摄食对象,其*IRI%*值呈不同程度的波动,头足类和甲壳类等为次要摄食对象;在体长大于100 mm的个体中,鱼类饵料占到了绝大多数。相关性分析结果认为,鱼类*IRI*有显著体长变化( $F = 43.81, P < 0.05$ ),头足类*IRI*也有显著体长变化( $F = 9.44, P < 0.05$ ),均伴随着二长棘犁齿鲷体长的增大而增大;浮游动物亦有显著体长变化( $F = 12.53, P < 0.05$ ),伴随体长的增加而减小,底栖动物无显著的体长变化( $F = 0.13, P > 0.05$ )。

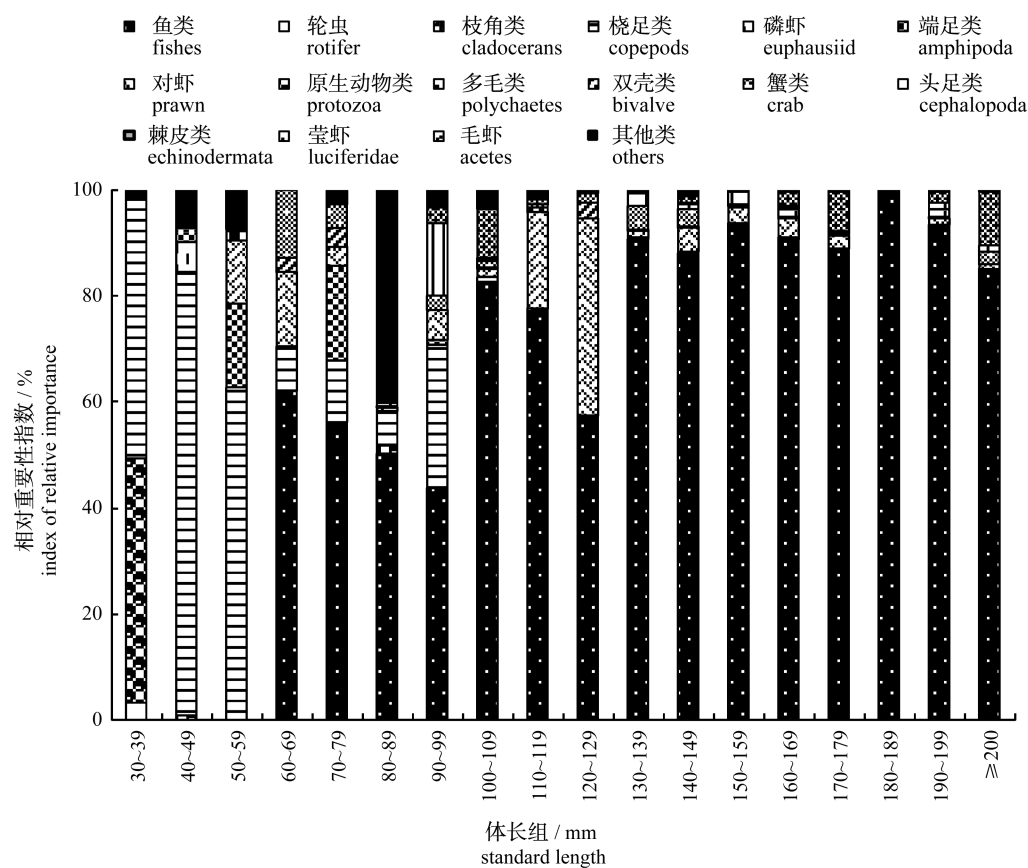


图2 北部湾二长棘犁齿鲷的主要饵料类群相对重要性指数百分比随体长的变化

Fig. 2 Variation in index of relative importance percentage (*IRI%*) for major prey groups to the diets of each standard length of *P. edita* from Beibu Gulf

## 2.3 北部湾二长棘犁齿鲷摄食强度及其变化

摄食强度随体长的变化 研究发现,随体长的增加,饵料个体也随之增大,摄食量也增加,摄食强度随体长的变化而变化(图3),空胃率有显著的体长变化( $\chi^2 = 67.82, P < 0.05$ ),在190~199 mm体长组最低(14.29),90~99 mm体长组

最高(72.22)。平均饱满指数有显著的体长变化( $\chi^2 = 96.13, P < 0.05$ ),在120~199 mm之间,随体长的增加而呈总体上升趋势,*RI*在190~199 mm体长组达到最大值(27.63),而体长在100 mm以下200 mm以上个体*RI*值均较低,这可能随着二长棘犁齿鲷个体的增大,需要充足的食物

提供能量,因此对摄食需求量逐渐增加,而当其长到 200 mm 以上之后,生长速率降低,对饵料量的需求有所降低。摄食强度随体长的变化也受到水温等因子的影响,鱼类的食性在整个生长过程中不是固定不变,而是会随年龄、季节和栖息环境的不同而改变。

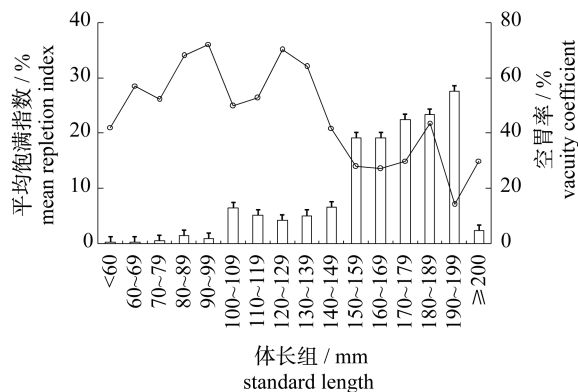


图3 二长棘犁齿鲷平均饱满指数和空胃率随体长组的变化

Fig. 3 Mean repletion index and vacuity coefficient at different standard length of *P. edita* from the Beibu Gulf

摄食强度随性腺成熟度的变化 摄食强度随性腺成熟度的变化也比较显著(图4),*RI*从I~IV期随性腺发育而增大,在IV期最大(28.18),在V、VI期降低,经卡平方检验发现,*RI*随二长棘犁齿鲷的性腺发育有显著变化( $\chi^2 = 30.04, P < 0.05$ ),平均饱满指数在VI期最低(4.86)。这可能与性腺发育有关,以IV期为性成熟标准,在V期时性腺完全成熟,是即将或正在产卵的个体,而在VI期是指已产卵、排精后的个体,接近产卵期的鱼,摄食量减少或停止摄食;空胃率伴随二长棘犁齿鲷的性腺发育没有显著的变化( $\chi^2 = 2.27, P > 0.05$ ),在IV期最小(10.94);VI期最大(55.26),雌雄不分个体空胃率为41.12。

#### 2.4 北部湾二长棘犁齿鲷氮稳定同位素特征及其变化

氮稳定同位素特征及其变化 北部湾二长棘犁齿鲷氮稳定同位素比值  $\delta^{15}N$  的范围为  $12.009 \times 10^{-3} \sim 16.007 \times 10^{-3}$ , 平均值为  $14.374 \times 10^{-3}$ , 最大相差  $3.998 \times 10^{-3}$ , 氮百分含量为 37.09%~37.23%, 平均值为 37.17%。氮稳定同位素比值及氮含量最大值在 120~129 mm 体长组, 分别为  $15.25 \times 10^{-3}$ 、37.20%, 而在体长

组 190~199 mm 之间最低, 分别为  $13.36 \times 10^{-3}$ 、37.13% (图5)。相关性分析发现, 随着体长的变化, 氮稳定同位素比值和氮百分含量之间存在较明显的相关性 ( $R = 0.989, P < 0.01$ )。

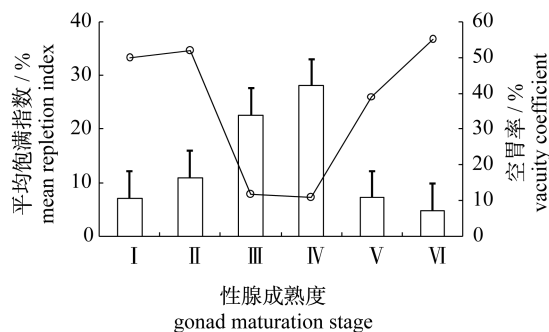


图4 北部湾二长棘犁齿鲷摄食强度随性腺成熟度的变化

Fig. 4 Mean repletion index and vacuity coefficient at different maturation stage of *P. edita* from the Beibu Gulf

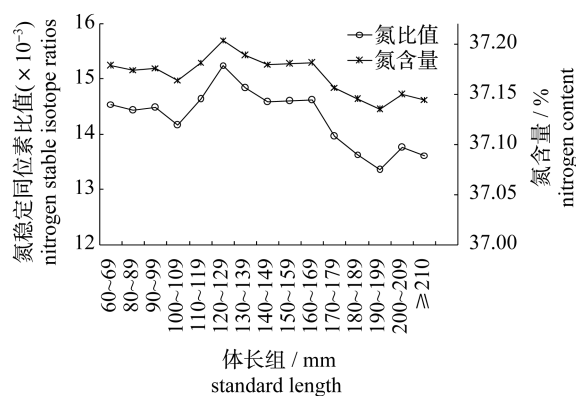


图5 北部湾二长棘犁齿鲷不同体长组氮稳定同位素比值和氮含量

Fig. 5 The stable isotope ratios of nitrogen and nitrogen content at different standard length of *P. edita* from the Beibu Gulf

二长棘犁齿鲷营养级及其变化 以华贵栉孔扇贝为基线生物, 利用氮稳定同位素测定结果结合公式(11)计算可知, 北部湾二长棘犁齿鲷营养级范围(*TL*)在 2.99~4.16 之间, 平均 *TL* 为 3.7。

在不同月份中营养级位置变化如下(图6), 各月 *TL* 范围为 3.32~3.94, 平均值为 3.67, 在 12 月份最低(3.32), 在 4 月份和 7 月份较高(分别为 3.94、3.87)。全年主要饵料生物为鱼类, 除以麦氏犀鲭为主要饵料外, 其中 12 月份还主要有发光鲷和细螯虾, 4 月和 7 月主要以营养级

较高的粗纹鲷、带鱼、中国枪乌贼为食。单样本  $T$  检验认为,各月营养级变化不显著 ( $P = 0.985, n = 10$ )。

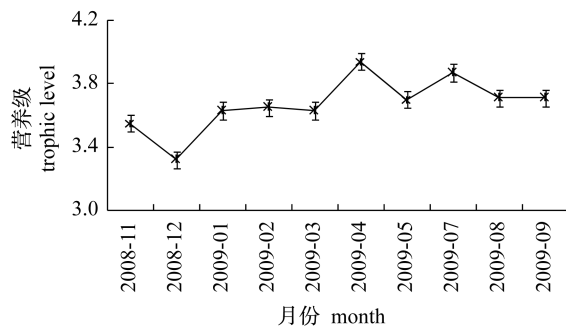


图 6 北部湾二长棘犁齿鲷营养级随月份的变化

Fig. 6 Monthly variations of trophic level of *P. edita* from the Beibu Gulf

不同体长组二长棘犁齿鲷营养级范围为 3.38 ~ 3.94 (表 2), 平均值为 3.68,  $TL$  在 120 ~ 129 mm 体长组最高 (3.94), 在体长组 190 ~ 199 mm 体长组最低 (3.38), 肌肉准备样品中没有 60 mm 以下和 70 ~ 79 mm 体长组, 营养级随体长变化不显著 ( $P = 0.685, n = 15$ )。

### 2.5 二长棘犁齿鲷主要饵料生物氮稳定同位素比值及营养级

北部湾二长棘犁齿鲷主要饵料生物  $\delta^{15}N$  为  $9.84 \times 10^{-3} \sim 14.90 \times 10^{-3}$ , 平均值为  $12.00 \times 10^{-3}$ ,

营养级为 2.3 ~ 3.7, 平均值为 2.9 (表 3), 其中, 康氏小公鱼、粗纹鲷、带鱼及中国枪乌贼营养级较高, 在 3.0 以上, 其次为麦氏犀鲷、蓝圆鲈、发光鲷及鹰爪虾等。通过公式 (10) 和各主要饵料生物氮稳定同位素比值及其营养级 (表 3), 估算出二长棘犁齿鲷的营养级为 3.1。

表 2 北部湾二长棘犁齿鲷不同体长组  $\delta^{15}N$  和营养级变化

Tab. 2 The  $\delta^{15}N$  and trophic level of *P. edita* with standard length variations from the Beibu Gulf

体长/mm standard length	$\delta^{15}N/\text{‰}$	N/%	营养级 trophic level
60 ~ 69	14.55	37.18	3.72
80 ~ 89	14.44	37.17	3.70
90 ~ 99	14.49	37.18	3.87
100 ~ 109	14.17	37.16	3.62
110 ~ 119	14.64	37.18	3.90
120 ~ 129	15.25	37.20	3.94
130 ~ 139	14.84	37.19	3.82
140 ~ 149	14.59	37.18	3.74
150 ~ 159	14.61	37.18	3.75
160 ~ 160	14.63	37.18	3.76
170 ~ 179	13.96	37.16	3.56
180 ~ 189	13.64	37.15	3.46
190 ~ 199	13.36	37.13	3.38
200 ~ 209	13.76	37.15	3.50
$\geq 210$	13.62	37.14	3.46

表 3 北部湾二长棘犁齿鲷主要饵料生物氮稳定同位素比值及其营养级

Tab. 3  $\delta^{15}N$  and trophic level for main preys of *P. edita* from the Beibu Gulf

主要饵料生物 main prey	代码 code	比例/% percentage	$\delta^{15}N/\text{‰}$	营养级 trophic level
* 麦氏犀鲷 <i>Bregmaceros maccllellandii</i>	BM	58.38	10.115	2.4
康氏小公鱼 <i>Stolephorus commersoni</i>	SC	8.35	14.481	3.7
蓝圆鲈 <i>Decapterus maruadsi</i>	DM	1.65	10.007	2.4
鹰爪虾 <i>Trachypenaeus anchoralis</i>	TA	0.52	10.211	2.5
发光鲷 <i>Acropoma japonicum</i>	AJ	1.96	10.543	2.6
粗纹鲷 <i>Leiognathus lineolatus</i>	LL	2.95	14.200	3.6
带鱼 <i>Trichiurus japonicus</i>	TL	0.93	13.691	3.5
* 中华管鞭虾 <i>Solenocera crassicornis</i>	SC	0.57	9.840	2.3
中国枪乌贼 <i>Loligo chinensis</i>	LC	3.26	14.896	3.4

注: \* 表示部分饵料生物由于各种原因而未取到该种, 以其同属相近种类代替

Notes: \* Indicated that some prey species which were absent were replaced with the same genus ones

## 3 讨论

### 3.1 二长棘犁齿鲷食物组成及其变化

北部湾二长棘犁齿鲷主要摄食鱼类 (麦氏犀鲷、康氏小公鱼等), 其次为甲壳类 (对虾类、蟹类、毛虾类、桡足类、枝角类、磷虾类、糠虾类、轮

虫、端足类), 还摄食头足类 (柏氏四盘耳乌贼、中国枪乌贼), 食物组成中还有少量的多毛类、原生动物等类群, 这表明二长棘犁齿鲷是一种广食性鱼类, 在各水层中广泛摄食。饵料组成与张月平<sup>[5]</sup>的研究结果有较大差异, 说明北部湾饵料生物种类结构发生了变化, 从主要摄食底栖长尾类

(褐虾、细螯虾)转变为主要摄食底栖鱼类(麦氏犀鳕、康氏小公鱼),这可能是因为底拖网长年作业使底栖生物类群及其栖息地受到破坏,以及对顶级捕食者的大量捕捞,导致二长棘犁齿鲷食性范围改变,也有可能受采样数量的影响,张月平<sup>[5]</sup>研究中是对130尾(体长组100~150 mm)二长棘犁齿鲷进行研究,而没有100 mm以下150 mm以上的个体,而本研究样品756尾,体长为30~229 mm,表明食性会伴随生长而发生变化<sup>[28]</sup>,这是在不同时期二长棘犁齿鲷饵料组成存在差异的原因。张其永等<sup>[29]</sup>认为二长棘犁齿鲷同时也是狗母鱼类的饵料生物,证明二长棘犁齿鲷还在维持食物链物质和能量流动中起着关键性作用。

北部湾二长棘犁齿鲷饵料组成随体长的变化而有较大差异,在30~59 mm体长组主要摄食浮游动物,而在60~69 mm体长组开始过渡为以鱼类为主要摄食对象,随着体长的增加,其饵料组成中鱼类比例也不同程度的增加,这可能随着二长棘犁齿鲷的生长,在60 mm及以上个体的消化器官逐步发育完善,大型饵料取代了小型饵料,这一现象符合“最佳摄食理论”<sup>[30]</sup>。

据Deniro等<sup>[11]</sup>认为捕食者的碳氮稳定同位素比值与相应的饵料生物一致,郭旭鹏等<sup>[18]</sup>便通过该方法计算饵料对鳀鱼的贡献比例,得出碳氮稳定同位素分析与传统分析结果基本一致的结论,由此可知其可行性,而本研究仅对二长棘犁齿鲷氮稳定同位素进行了测定分析,且在肌肉准备样品中没有涉及足够的饵料生物,因此,用稳定同位素来分析食物来源有待进一步完善;另外,氮稳定同位素分析发现营养级随体长变化不明显。胃含物分析结果则表明,在60 mm时有食性转换现象,本研究中肌肉样品无60 mm以下个体而无法得知较小个体的 $\delta^{15}\text{N}$ 情况,因此在今后的研究中要尝试将两者有机结合来分析其在食性转换过程中的饵料组成以及营养级变化情况。

### 3.2 北部湾二长棘犁齿鲷营养位置及其特征

生物体内稳定同位素组成能反映生物在较长一个生命阶段中所摄取食物的特征<sup>[31]</sup>,而氮稳定同位素在不同营养级中的富集度有3.4‰,其比值用于鉴别某种生物生长到一定阶段所累积的营养级<sup>[14,32]</sup>。根据胃含物分析中质量百分含量估算出二长棘犁齿鲷的营养级为3.1,略低于根据氮稳定同位素所测得的平均营养级(3.7),相差

0.6,这可能是因为饵料组成中麦氏犀鳕所占比例较高,而又属于营养级较低的种类,以致根据胃含物分析测得的营养级值偏低;按照营养等级分类,结合氮稳定同位素所测的营养级范围可知二长棘犁齿鲷可能要经历第三、第四2个营养级,据张月平<sup>[5]</sup>、陈作志等<sup>[33]</sup>研究认为二长棘犁齿鲷属于低级肉食性鱼类,是底栖生物食性,且摄食的饵料生物类群主要是1~2营养级,而本研究发现二长棘犁齿鲷属于中级肉食性鱼类,可见随着捕捞强度的增加,二长棘犁齿鲷摄食范围已扩大至较高营养级的饵料生物,使其营养级有上升的趋势;北部湾二长棘犁齿鲷营养级随体长的增长而呈总体上升的趋势,具有显著的体长变化,本研究发现2008年12月—2009年4月内其营养级呈稳定上升趋势,性成熟个体也主要集中在该段时间里,而据叶孙忠等<sup>[34]</sup>研究认为二长棘犁齿鲷的生殖期为12月至翌年3月,这表明在生殖期里,二长棘犁齿鲷需要吸收大量营养以供繁殖。

### 3.3 $\delta^{15}\text{N}$ 在食性分析中的应用

$\delta^{15}\text{N}$ 通常用来研究水生系统的营养结构,作为生物体内有机物而存在,应用 $\delta^{15}\text{N}$ 能够表示在低营养级的主要流动路径<sup>[14]</sup>,反映有机体在单一食物链中的营养位置。但是将 $\delta^{15}\text{N}$ 作为衡量生物营养位置的绝对标准也是有限的,因为所选基线生物的同位素特征会影响捕食者的营养等级,同位素基准的目的是反映生物最初物质来源的同位素特征<sup>[35]</sup>,在对捕食者营养位置的研究中,食性转换、食物来源、种群组成的时空变化等因素会引起基准生物种内 $\delta^{15}\text{N}$ 的改变<sup>[36]</sup>,本研究选择以华贵栉孔扇贝为基准,是由于它活动范围小、生命周期相对较长、易采集、营养级低、分布广泛且能反映初级生产者的同位素特征。本研究是在传统食性分析的基础上结合氮稳定同位素分析来研究二长棘犁齿鲷食性以及营养级,传统的食性分析是反映捕食者在最近一段时间的摄食情况,而稳定同位素结果则可反映捕食者从出生到死亡整个生命史中所摄取的食物,因此,该方法使传统食性分析方法的局限性得到补充,而传统方法的研究结果正好验证了稳定同位素分析的准确性。

本实验通过传统食性分析结合氮稳定同位素分析,研究了二长棘犁齿鲷食物组成和营养级及其变化情况,胃含物分析发现二长棘犁齿鲷存在食性转换,而 $\delta^{15}\text{N}$ 值在各体长组间无显著差异,

因此无法通过该比值分析食性转换,如何将两种方法结合并深入研究鱼类随不同生长发育阶段的食性转换现象,尚待进一步研究。另外, $\delta^{15}\text{N}$ 值必须通过基线生物转换成营养级,所以,开展各站点基线生物(如浮游动物优势种或饵料生物关键种)的 $\delta^{15}\text{N}$ 值同步测量并以此计算各站点鱼类营养级,是今后鱼类摄食及营养级研究的重点工作。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Feng B, Hou G, Lu H S, *et al.* Management recommendation for *Paragyrops edita* in beibu gulf based on per-recruitment analysis [ J ]. System Sciences and Comprehensive Studies In Agriculture, 2009, 25(1): 114 - 119. [ 冯波, 侯刚, 卢伙胜, 等. 北部湾二长棘鲷资源开发保护策略研究. 农业系统科学与综合研究, 2009, 25(1): 114 - 119. ]
- [ 2 ] Lu H S, Yan Y R, Hou G, *et al.* Investigation of fisheries resources in the South China Sea in 2009 [ R ]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2010. [ 卢伙胜, 颜云榕, 侯刚, 等. 2009 年度南海渔业资源调查报告. 湛江: 广东海洋大学, 2010. ]
- [ 3 ] South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences. In the northern South China sea bottom trawl survey report (East of Hainan Island) [ R ]. Unit 4. Guangzhou: South China Sea Fisheries Research Institute, 1966: 122 - 154. [ 中国水产科学研究院南海水产研究所. 南海北部底拖网鱼类资源调查报告 (海南岛以东). 第 4 册. 广州: 南海水产研究所, 1966: 122 - 154. ]
- [ 4 ] Zhang Q Y, Zhang Y Z. In Minnan Taiwan shoal two long spines cichlids diet study [ J ]. Acta Oceanologica Sinica; Chinese version, 1983, 5 ( 3 ): 349 - 362. [ 张其永, 张雅芝. 闽南 - 台湾浅滩二长棘鲷食性研究. 海洋学报: 中文版, 1983, 5 ( 3 ): 349 - 362. ]
- [ 5 ] Zhang Y P. Foods web for main fishes in Beibu Gulf of the South China Sea [ J ]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12 ( 5 ): 621 - 631. [ 张月平. 南海北部湾主要鱼类食物网. 中国水产科学, 2005, 12(5): 621 - 631. ]
- [ 6 ] Hong H X, Qin Y Q, Chen L F, *et al.* A preliminary study on yellow Department of Hainan, north of the East China Sea in feeding habits of small yellow croaker [ C ] // Selected papers of marine fishery resources. Beijing: China Agriculture Press, 1962: 45 - 47. [ 洪惠馨, 秦忆芹, 陈莲芳, 等. 黄海南部、东海北部小黄鱼摄食习性的初步研究 // 海洋渔业资源论文选集. 北京: 中国农业出版社, 1962: 45 - 47. ]
- [ 7 ] Wan W, Hu J Y, An L H, *et al.* Using the analysis of trophic level food network Bohai Bay main species stable nitrogen and carbon isotope [ J ]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(7): 708 - 712. [ 万祎, 胡建英, 安立会, 等. 利用稳定氮和碳同位素分析渤海湾食物网主要生物种的营养层次. 科学通报, 2005, 50(7): 708 - 712. ]
- [ 8 ] McCallister S L, Bauer J E, Cherrier J E, *et al.* Assessing sources and ages of organic matter supporting river and estuarine bacterial production: A multiple-isotope (Delta C-14, delta C-13, and delta N-15) approach [ J ]. Limnology and Oceanography, 2004, 49(5): 1687 - 1702.
- [ 9 ] Hansson L A, Tranvik L J. Food webs in sub-Antarctic lakes: a stable isotope approach [ J ]. Polar Biology, 2003, 26(12): 783 - 788.
- [ 10 ] Miyake Y, Wada E. The abundance ratio of  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  in marine environments [ J ]. Records of Oceanographic Works in Japan, 1967, 9(1): 37 - 53.
- [ 11 ] Deniro M J, Epstein S. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals [ J ]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1978, 42 ( 5 ): 495 - 506.
- [ 12 ] Tanaka H, Takasuka A, Aoki I, *et al.* Geographical variations in the trophic ecology of Japanese anchovy, *Engraulis japonicus*, inferred from carbon and nitrogen stable isotope ratios [ J ]. Marine Biology, 2008, 154(3): 557 - 568.
- [ 13 ] Cherel Y, Fontaine C, Richard P, *et al.* Isotopic niches and trophic levels of myctophid fishes and their predators in the Southern Ocean [ J ]. Limnology and Oceanography, 2010, 55(1): 324 - 332.
- [ 14 ] Vander Zanden M J, Cabana G, Rasmussen J B. Comparing trophic position of freshwater fish calculated using stable nitrogen isotope ratios ( $\delta^{15}\text{N}$ ) and literature dietary data [ J ]. University of California at Berkley, 1997, 54(5): 1142 - 1158.
- [ 15 ] Cai D L, Zhang S F, Zhang J. Applications of stable carbon and nitrogen isotope methods in ecological studies [ J ]. Journal of Ocean University of Qingdao: Natural Science, 2002, 32 ( 2 ): 287 - 295. [ 蔡德陵, 张淑芳, 张经. 稳定碳、氮同位素在生态系统研究中的应用. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 2002, 32(2): 287 - 295. ]
- [ 16 ] Cai D L, Zhang S F, Zhang J. Ecosystem trophic dynamics studies as traced by natural carbon and



- nitrogen stable isotopes[J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2003, 24(3): 434 - 440. [蔡德陵, 张淑芳, 张经. 天然存在的碳、氮稳定同位素在生态系统研究中的应用. 质谱学报, 2003, 24(3): 434 - 440.]
- [17] Yan Y R, Lu H S, Jin X S. Marine fish feeding ecology and food web: progress and perspectives[J]. Journal of Fishes of China, 2011, 35(1): 145 - 153. [颜云榕, 卢伙胜, 金显仕. 海洋鱼类摄食生态与食物网研究进展. 水产学报, 2011, 35(1): 145 - 153.]
- [18] Guo X P, Li Z Y, Jin X S, et al. Feeding habit study of Anchovy (*Engraulis japonicus*) in the central and southern part of the Huanghai Sea with stable isotope techniques[J]. Acta Oceanologica Sinica; Chinese version, 2007, 29(2): 98 - 104. [郭旭鹏, 李忠义, 金显仕, 等. 采用碳氮稳定同位素技术对黄海中南部鳀鱼食性的研究. 海洋学报: 中文版, 2007, 29(2): 98 - 104.]
- [19] Yan Y R, Yang H C, Lu H S, et al. Feeding ecology of dorab wolf-herring, *Chirocentrus dorab* from the Beibu Gulf[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(3): 654 - 665. [颜云榕, 杨厚超, 卢伙胜, 等. 北部湾宝刀鱼的摄食生态. 生态学报, 2011, 31(3): 654 - 665.]
- [20] Yan Y R, Zhang W K, Lu H S, et al. Using stable isotopes to analyze feeding habits and trophic position of hairtail (*Trichiurus lepturus*) from the beibu gulf, south china sea[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2012, 43(1): 192 - 200. [颜云榕, 张武科, 卢伙胜, 等. 应用碳、氮稳定同位素研究北部湾带鱼(*Trichiurus lepturus*)食性及营养级. 海洋与湖沼, 2012, 43(1): 192 - 200.]
- [21] GB/T 12763. 6 - 2007 Specifications for oceanographic survey-Part6: Marine biological survey[S]. Beijing: China Standards Press, 2007. [GB/T 12763.6 - 2007 海洋调查规范 - 第6部分: 海洋生物调查. 北京: 中国标准出版社, 2007.]
- [22] Hyslop E J. Stomach contents analysis, a review of methods and their application[J]. Journal of Fish Biology, 1980, 17(4): 411 - 429.
- [23] Cortés E. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents; application to elasmobranch fishes[J]. Canadian Journal of Fisheries Aquatic Science, 1997, 54(3): 726 - 738.
- [24] Figueiredo M, Morato T, Barreiros J P, et al. Feeding ecology of the white seabream, *Diplodus sargus*, and the ballan wrasse, *Labrus bergylta*, in the Azores[J]. Fisheries Research, 2005, 75(1-3): 107 - 119.
- [25] Minagawa M, Wada E. Stepwise enrichment of  $\delta^{15}\text{N}$  along food chains: further evidence and the relation between  $\delta^{15}\text{N}$  and animal age[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1984, 48(5): 1135 - 1140.
- [26] Ying M C. Fish ecology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995. [殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 农业出版社, 1995.]
- [27] Post D M. Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods, and assumptions[J]. Ecology, 2002, 83(3): 703 - 718.
- [28] Wootton R J. Ecology of teleost fishes[M]. London: Chapman & Hall Press, 1990: 33 - 41.
- [29] Zhang Q Y, Yang G L. Study on feeding habits of lizard fishes in south fujian and taiwan bank fishing ground[J]. Journal of Fishes of China, 1986, 10(2): 213 - 222. [张其永, 杨甘霖. 闽南 - 台湾浅滩渔场狗母鱼类食性的研究. 水产学报, 1986, 10(2): 213 - 222.]
- [30] Gerking S D. Feeding ecology of fish[M]. San Diego: Academic Press, 1994.
- [31] Paterson A W, Whitfield A K. A stable carbon isotope study of the food-web in a freshwater-deprived South African Estuary, with particular emphasis on the Ichthyofauna[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1997, 45(6): 705 - 715.
- [32] Armitage A R, Fourqurean J W. Stable isotopes reveal complex changes in trophic relationships following nutrient addition in a coastal marine ecosystem[J]. Estuaries and Coasts, 2009, 32(6): 1152 - 1164.
- [33] Chen Z Z, Qiu Y S. Ecological distribution of *Paragyrops edita* Tanaka in the Beibu Gulf[J]. Marine Fisheries Research, 2005, 26(3): 16 - 21. [陈作志, 邱永松. 北部湾二长棘鲷的生态分布. 海洋水产研究, 2005, 26(3): 16 - 21.]
- [34] Ye S Z, Xiao F S, Chen W Y. The population structure of *Paragyrops edita* tanaka in south fujian and taiwan bank fishing ground[J]. Journal of Fujian Fisheries, 2004(1): 23 - 30. [叶孙忠, 肖方森, 陈文勇. 闽南、台湾浅滩渔场二长棘鲷群体结构特征. 福建水产, 2004(1): 23 - 30.]
- [35] Xu J, Zhang M, Xie P. Variability of stable nitrogen isotopic baselines and its consequence for trophic modeling[J]. Journal of Lake Science, 2010, 22(1): 8 - 20. [徐军, 张敏, 谢平. 氮稳定同位素基准的可变性及其对营养级评价的影响. 湖泊科学, 2010, 22

- (1);8-20.] a migratory goby, *Rhinogobius* sp., in a natural setting [ J ]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences,2001,58(11):2125-2128.
- [36] Maruyama A, Yamada Y, Rusuwa B, et al. Change in stable nitrogen isotope ratio in the muscle tissue of

## Feeding habits and trophic level of crimson sea bream, (*Parargyrops edita* Tanaka) in the Beibu Gulf

ZHANG Yumei<sup>1</sup>, DAI Chuntao<sup>1</sup>, YAN Yunrong<sup>1,2</sup>, YANG Yunlong<sup>1</sup>, LU Huosheng<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Fisheries, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;

2. Center of South China Sea Fisheries Resources Monitoring and Assessment, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

**Abstract:** Based on the monthly samples caught by bottom trawls in the Beibu Gulf of the South China Sea from November 2008 to September 2009, the biological information and stomach contents were collected for analysis of feeding habits. The stable isotope analysis was also used to study the prey category, trophic level and ontogenetic feeding habits of *P. edita*. The results showed that *P. edita* preyed widely in the Beibu Gulf, including twenty-three species such as small pelagic and bottom fishes, benthic crustacean, cephalopoda and so on. Among them, fishes account for 79.74%. The dominant fish prey was *Bregmaceros maclellandii* which appeared every month, comprising 58.38% of total food weight. Crustacean and cephalopoda account for 10.86% and 6.97%. The trophic shift was found in *P. edita* according to the index of relative importance (IRI%). Those *P. edita* whose standard length ranged from 30 mm to 59 mm mainly feed on small zooplankton, while those with standard length greater than or equal to 60 mm mainly feed on large forage fish and benthic invertebrates (shrimps, crabs, and cephalopods). The average repletion index significantly changed with the standard length ( $P < 0.05$ ), so did the gonad maturity index ( $P < 0.05$ ). The vacuity coefficient also significantly changed with the standard length ( $P < 0.05$ ), but there was no significant difference in gonad maturity alteration. The nitrogen stable isotope ratios were from  $12.009 \times 10^{-3}$  to  $16.007 \times 10^{-3}$ . The trophic levels of *P. edita* calculated from  $\delta^{15}\text{N}$  did not differ notably with the standard length and month shift. The average trophic level was calculated by prey weight percentage and  $\delta^{15}\text{N}$  and it was 3.1 and 3.7, respectively.

**Key words:** *Parargyrops edita*; feeding habits; stomach content analysis;  $\delta^{15}\text{N}$  stable isotope; trophic level; the Beibu Gulf

**Corresponding author:** LU Huosheng. E-mail: luhs@gdou.edu.cn