

两种岩礁鱼类食物竞争实验

童玉和^{1,2}, 郭学武¹

(1. 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室, 山东省渔业资源与生态环境重点实验室, 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071; 2. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306)

摘要: 利用玉筋鱼 (*Ammodytes personatus*)、日本鼓虾 (*Alpheus japonicus*) 和细螯虾 (*Leptochela gracilis*) 3种饵料生物, 设置了8种饵料组合方式, 包括不同种类的饵料生物以及不同投喂量。在室内对混养的2种岩礁鱼类—许氏平鲈 (*Sebastes schlegeli*) 和大泷六线鱼 (*Hexagrammos otakii*) 进行食物竞争实验。根据摄食量、胃含物中饵料的出现频率和质量分数比等参数, 研究许氏平鲈和大泷六线鱼对3种饵料的选择性、竞争能力以及对不同饵料组合方式的响应。结果显示, 许氏平鲈最大日摄食量 (以湿重计) 为 $(142.5 \pm 26.4) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 大泷六线鱼最大日摄食量为 $(104.8 \pm 1.7) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 二者对3种饵料的选择性从高到低均依次为玉筋鱼、日本鼓虾、细螯虾。许氏平鲈竞争能力强于大泷六线鱼, 表现为对喜食饵料摄食量较大, 喜食饵料在胃含物中的出现频率与质量分数比均较高。研究结果表明, 饵料种类和数量的变化均显著影响这2种岩礁鱼类的食物竞争。[中国水产科学, 2009, 16(4): 541–549]

关键词: 岩礁鱼类; 许氏平鲈; 大泷六线鱼; 食物竞争

中图分类号: S9

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2009)04-0541-09

由于食物网的关联, 海洋生物通过食物关系相互影响。食物竞争便是食物关系的重要内容之一。鱼类食物竞争包括种间食物竞争和种内食物竞争, 特别是种间食物竞争, 是研究生态食物网营养动力学的基础^[1]。Dou^[2]通过研究渤海鲆鲽类的食物竞争, 探讨了其种间食物分化; Pratchett^[3]通过观察蜥蜴岛附近摄食珊瑚的蝴蝶鱼类食物竞争研究其食物分化; Dieterich等^[4]通过食物竞争实验研究了梅花鲈 (*Gymnocephalus cernuus* L.) 和河鲈 (*Perca fluviatilis* L.) 生物群落的生境分化; Papastamatiou^[5]通过夏威夷群岛真鲨类的食物竞争找到了其资源分化和排斥竞争的证据; Jacobsen等^[6]分析通过野生型和养殖型大西洋鲑 (*Salmo salar* L.) 的食物重叠, 研究了入侵种对土著种的影响; Oscoz等^[7]从食物竞争角度研究了伊比利亚河夏季同时出现的2种鲤科鱼类 *Phoxinus*

phoxinus、*Gobio lozanoi* 的关系; Sturdevant等^[8]通过威廉王子湾狭鳕 (*Theragra chalcogramma*) 和太平洋鲱 (*Clupea pallasii*) 的食物竞争研究了其资源交替。研究鱼类种间食物竞争, 一般是通过野外取样^[3,7,9-15]来进行, 而通过室内饲养进行研究则少有报道^[4]。

许氏平鲈 (*Sebastes schlegeli*) 隶属于鲈形目 (Scorpaeniformes) 的鲈亚目 (Scorpaenoidei)、鲈科 (Scorpaenidae)、平鲈亚科 (Sebastinae)、平鲈属 (*Sebastes*)。大泷六线鱼 (*Hexagrammos otakii*) 隶属六线鱼亚目 (Hexagrammoidei)、六线鱼科 (Hexagrammidae)、六线鱼属 (*Hexagrammos*)。二者皆是渤、黄海近岸常见冷温性底层鱼类, 也是休闲渔业的主要垂钓和增殖对象。它们生活环境相似, 饵料重叠度较高^[9,15-19]。室内饲养许氏平鲈大多投喂玉筋鱼 (*Ammodytes personatus*) 等小型鱼类和虾类^[20-22]。本实验选取青岛近岸常见的

收稿日期: 2008-11-19; 修订日期: 2009-03-02.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30570293, 30490233); 国家重点基础研究发展规划资助项目 (2006CB400600); 农业部黄渤海渔业资源环境重点野外观测试验站专项课题; 山东省泰山学者工程专项资助课题.

作者简介: 童玉和 (1982-), 男, 博士研究生, 从事鱼类摄食生态和渔业资源模型量化研究. E-mail: mekongriver@126.com

通讯作者: 郭学武, 研究员. E-mail: guoxw@ysfri.ac.cn

玉筋鱼、日本鼓虾和细螯虾作饵料生物,通过改变饵料生物的种类和丰度,探讨许氏平鲷和大泷六线鱼对这3种饵料生物的选择性、竞争能力以及环境饵料变动时的响应,旨在为阐明黄渤海鱼类资源优势种的交替机制提供基础资料,并为这2种鱼类资源增殖放流时合理设置放流量提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼的来源与驯养

许氏平鲷体质量(42.84 ± 8.03) g ($\bar{x} \pm SD$), 共计300余尾; 大泷六线鱼体质量(37.28 ± 8.58) g, 共计400余尾, 均购自青岛小港码头, 为陷阱渔具捕获的健康个体。将其置于3个2.5 m³玻璃钢水槽(2 m × 1 m × 1.25 m, 水深1 m)内驯养。驯养和实验期间均采用流水循环系统, 实验海水经沉淀和砂滤处理后输送至各实验水槽, 流速不低于24 m³/d。实验在自然温度下进行, 采用自然光照周期。驯养期为2008年5月12日至7月18日。实验在中国水产科学研究院黄海水产研究所的麦岛实验基地进行。

1.2 饵料

冰鲜鲈购自青岛市场。玉筋鱼体质量(5.53 ± 1.29) g, 购自麦岛渔港码头; 日本鼓虾体质量(3.69 ± 1.06) g, 细螯虾平均体质量0.19 g, 购自姜戈庄渔港码头。3种饵料平均体质量差异显著($P < 0.05$)。按250 g/包、500 g/包2种规格分装, 加海水后密封, 置于-20℃冷藏备用。驯养和正式实验期间投饵时间为早上8:00, 第1周投喂鲈鱼糜, 第2周投喂日本鼓虾、细螯虾、玉筋鱼混合饵料, 投饵1 h后取样并清除残饵。

1.3 实验设计

本实验设置8种投饵组合方式(表1)。其中饵料组合1为预备实验, 饵料组合2-8为正式实验。

饵料组合1中许氏平鲷和大泷六线鱼分别独立饲养, 各2个平行组, 密度分别为40 ind/m³(100 ind/水槽)、60 ind/m³(150 ind/水槽)。此饵料组合用于研究2种岩礁鱼类对3种饵料生物的食物选择性(Diet selectivity)及最大摄食量(Maximum food intake), 为正式实验提供参考。此饵料组合中, 每个水槽

分别取样10尾和15尾, 设定摄食量最大的前5个数据的平均值为最大摄食量, 经计算, 其值分别为(142.5 ± 26.4) g · kg⁻¹ · d⁻¹和(104.8 ± 1.7) g · kg⁻¹ · d⁻¹。

根据所得最大摄食量, 设定喜食饵料和次喜食饵料投喂量之和为50.0 g · kg⁻¹ · d⁻¹时满足鱼类基本的饵料需求(饵料组合2-5、7), 竞争激烈程度相对较低; 设定喜食饵料和次喜食饵料投喂量之和为25.0 g · kg⁻¹ · d⁻¹时饵料匮乏(饵料组合6、8), 竞争激烈程度相对较高。若2种岩礁鱼类对3种饵料生物的摄食量或饵料质量分数比有显著差异, 则按这2个参数值将饵料生物分别设定为喜食饵料、次喜食饵料和非喜食饵料。若同一组中许氏平鲷和大泷六线鱼对同种喜食饵料的摄食量和质量分数比有显著差异, 则认为此时该组食物竞争激烈; 反之, 则认为该组食物竞争温和。

饵料组合2-8均采取3个平行组, 初始密度为许氏平鲷32 ind/m³(80 ind/水槽)、大泷六线鱼48 ind/m³(120 ind/水槽)。饵料组合2-4、5-6、7-8分别针对投喂1种、2种、3种饵料时2种岩礁鱼类的食物竞争。为了使不同饵料组合间具有可比性, 设置饵料组合遵循如下原则: 所有组合中各饵料投喂量均为12.5 g · kg⁻¹ · d⁻¹的偶数倍; 若改变饵料组合间饵料种类搭配, 则保持投饵总量相同(如饵料组合2、3、4、5); 若改变饵料组合间投饵总量, 则保持饵料种类及其比例不变(如饵料组合5和7、6和8), 详见表1。同一饵料组合下进行差异显著性检验, 判定2种岩礁鱼类对饵料生物的竞争能力是否有显著差异。不同饵料组合下进行差异显著性检验, 研究饵料生物变化时2种岩礁鱼类摄食参数是否有显著变化。

1.4 胃含物测定

投喂1 h后3个水池随机取样, 每个水槽取许氏平鲷8尾、大泷六线鱼12尾, 取样后迅速置于冷柜中。待其死亡后, 测量体长、鱼体质量, 解剖后将胃含物分类, 并计数称重。采用直尺测量体长, 精确到1 mm; 采用多功能电子计重天平(Excell BH-600H)称重, 其最大称重量为600 g, 称量精密密度为0.01 g。

表1 两种岩礁鱼类的投喂饵料组合与投喂量
Tab.1 Prey combinations for trials of feeding competition between two species of rockfish $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$

饵料组合序号 Prey combination no.	饵料 Feed		
	日本鼓虾 <i>A. japonicus</i>	玉筋鱼 <i>A. personatus</i>	细螯虾 <i>L. gracilis</i>
1	150.0	150.0	150.0
2	50.0	0	0
3	0	50.0	0
4	0	0	50.0
5	25.0	25.0	0
6	12.5	12.5	0
7	25.0	25.0	25.0
8	12.5	12.5	12.5

1.5 数据测量和统计处理

摄食量 (Food intake, FI) ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$): 表示投喂后平均每 kg 体质量 (湿) 1 d 所摄食饵料的克数。

出现率 (Occurrence frequency of prey in stomachs, FO) (%): 某饵料生物在胃含物中出现的比例, 为出现某饵料生物的样本数与总样本数之比。

饵料质量分数比 (Weight percentage of prey in stomachs, WP) (%): 表示 1 次投喂后平均每尾样本所摄食某种饵料的质量分数比。

采用 Ivlev 指数比较许氏平鲈和大泷六线鱼对 3 种饵料的选择性, 公式如下:

$$I = (r_i - p_i) / (r_i + p_i)$$

式中, I 为选择性指数, r_i 表示鱼类消化道食物组成中某一种饵料成分的百分数; p_i 表示同一种饵料成分在环境中的百分数。

实验数据采用 Excel 软件进行 F 检验和方差分析。结果以平均值 $\pm$ 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 食物选择性

许氏平鲈和大泷六线鱼对 3 种饵料的选择性差异显著。二者对这 3 种饵料的摄食量和质量分数比从大到小依次同为玉筋鱼、日本鼓虾、细螯虾 ($P < 0.05$), 饵料出现率次序与此相同, 表明二者对 3 种饵料生物的选择性均由高到低依次为玉筋鱼、日本

鼓虾、细螯虾 (图 1)。Ivlev 指数也反映出同样结果 (表 2)。据此认为, 玉筋鱼为这 2 种鱼类的喜食饵料, 日本鼓虾为次喜食饵料, 细螯虾为非喜食饵料。

2.2 食物竞争力

由饵料组合 2、3、4 可见, 只投喂 1 种饵料生物时, 2 种岩礁鱼类所显现的竞争能力有显著差异 (表 3、图 2)。单投日本鼓虾时 (饵料组合 2), 许氏平鲈的摄食量显著高于大泷六线鱼 ($P < 0.05$), 前者饵料出现率高出后者 6.25%; 单投玉筋鱼时 (饵料组合 3), 许氏平鲈的摄食量与大泷六线鱼差异不显著 ($P > 0.05$), 但前者饵料出现率高出后者 22.22%; 单投细螯虾时 (饵料组合 4), 许氏平鲈的饵料出现率与大泷六线鱼相等, 但前者的摄食量显著高于后者 ($P < 0.05$)。由此可见, 仅投喂一种饵料时, 许氏平鲈的食物竞争能力强于大泷六线鱼。

由饵料组合 5、6 可见, 投喂 2 种饵料生物时, 2 种岩礁鱼类所显现的竞争能力差异也很显著 (表 3、图 1、图 2)。饵料组合 5 中, 许氏平鲈的总摄食量显著高于大泷六线鱼 ($P < 0.05$), 对日本鼓虾和玉筋鱼的摄食量也显著高于后者 ($P < 0.05$)。前者对日本鼓虾出现率较后者高出 12.5%。从饵料组合 6 组可见, 许氏平鲈对玉筋鱼的摄食量和质量分数比均显著 ($P < 0.05$) 高于大泷六线鱼, 对玉筋鱼、日本鼓虾的出现率较后者高出 6.25%、16.67%, 对日本鼓虾的质量分数比显著 ($P < 0.05$) 高于后者。可见, 仅投喂 2 种饵料时, 许氏平鲈的食物竞争能力仍强于大泷六线鱼。

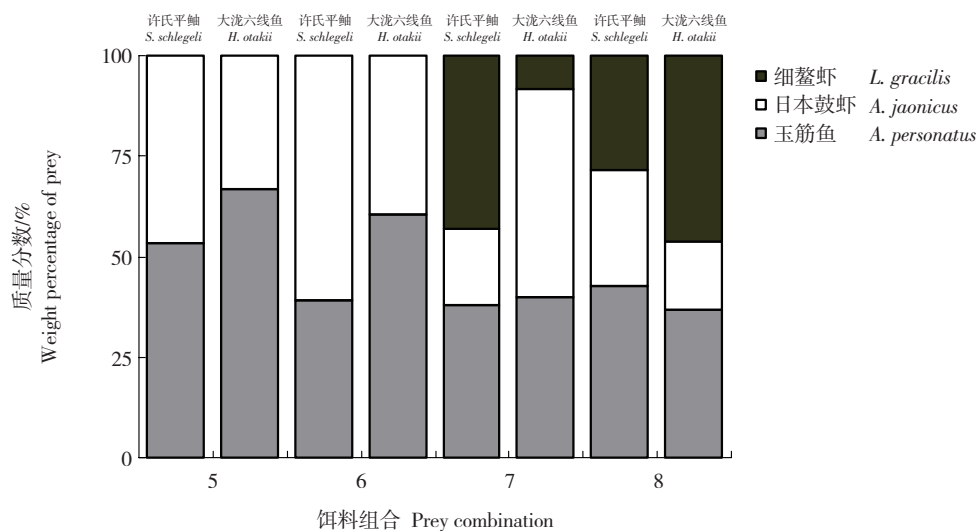


图1 饵料组合5-8实验中获得的胃含物各饵料质量分数比
各饵料组合设计详见表1

Fig. 1 Weight percentage of prey in stomach contents gained in trials with prey combinations 5 to 8
The design of each prey combination is shown in table 1.

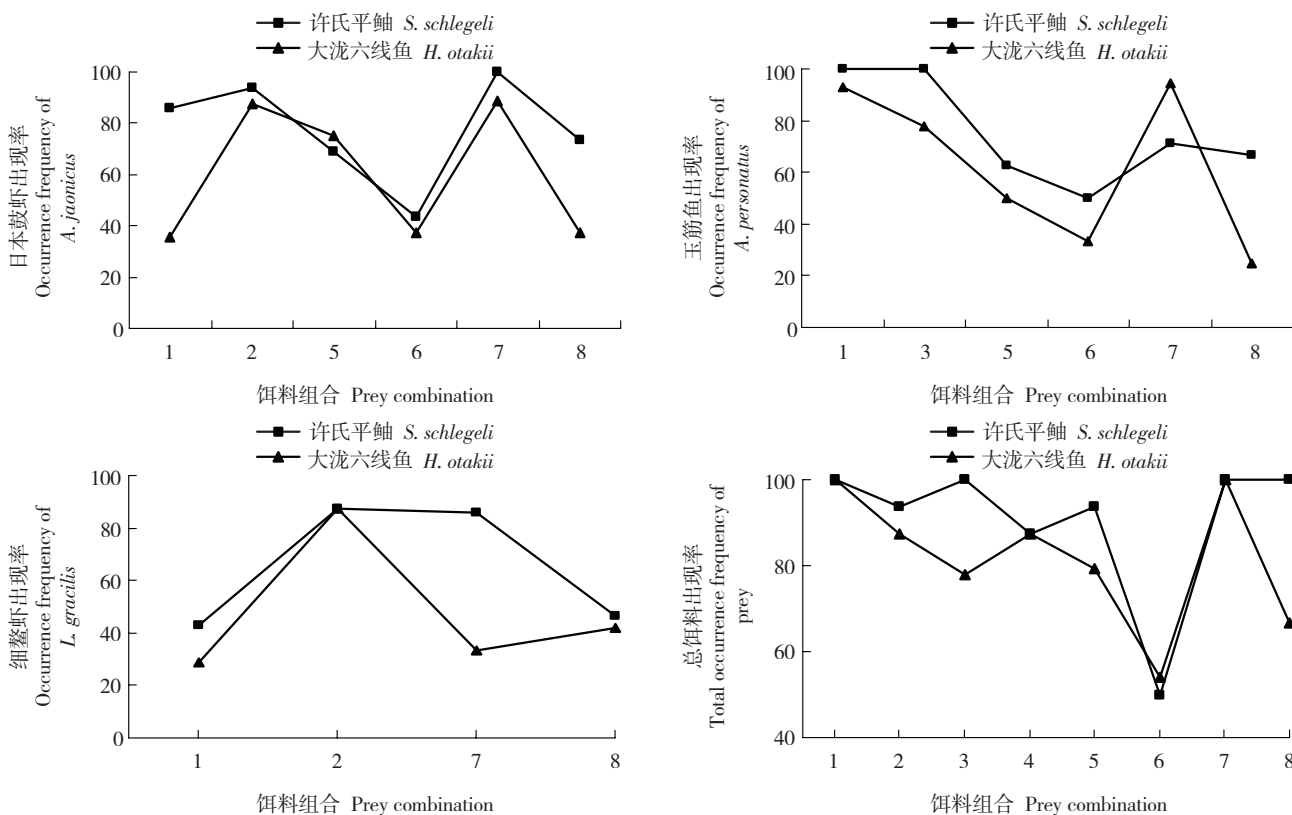


图2 不同饵料组合实验中3种饵料生物的出现频率
各饵料组合设计详见表1

Fig. 2 Frequency of occurrence of three prey species trials with different prey combinations
The design of each prey combination is shown in table 1.

从饵料组合7、8可见,投喂充足的3种饵料生物时,两种岩礁鱼类所显现的竞争能力差异不显著,投喂不足量的3种饵料生物时,2种岩礁鱼类所显现的竞争能力差异显著(表3、图1、图2)。从饵料组合8可见,许氏平鲈对日本鼓虾、玉筋鱼的摄食量、出现率、质量分数比均显著高于大泷六线鱼($P<0.05$)。饵料组合8与饵料组合7相比较,许氏平鲈摄食细螯虾的重量、质量分数比均下降($P<0.05$),出现率也下降了39.04%,但摄食量仍显著高于大泷六线鱼($P<0.05$),而后者对细螯虾的摄食量、质量分数比均增加($P<0.05$),出现率也增加了8.34%,其中质量分数比已高于前者($P<0.05$)。

无论饵料生物量充足或匮乏,许氏平鲈的竞争优势都很明显,表现为喜食饵料出现率、摄食量和质量分数比高于大泷六线鱼。仅饵料组合7中前者的竞争优势不显著。

2.3 饵料组成变化对食物竞争的影响

对比饵料组合2、5可见,仅投喂日本鼓虾时,

许氏平鲈竞争力显著强于大泷六线鱼,表现为摄食量显著($P<0.05$)高于后者(表3),饵料出现率也高出6.25%(图2)。保持总投饵量不变,投喂玉筋鱼和日本鼓虾各半,前者不仅对日本鼓虾的摄食量仍然显著($P<0.05$)高于后者,对玉筋鱼的摄食量也显著($P<0.05$)高于后者。饵料组合3、5的对比结果也相同。这表明,竞争激烈程度相对较低的情况下,仅增加喜食饵料种类时,竞争趋于激烈,强者能够对喜食的2种饵料同时保持竞争优势。

对比饵料组合5、7可见(表3、图1、图2),当投喂日本鼓虾和玉筋鱼时,许氏平鲈对这2种喜食饵的竞争力强于大泷六线鱼。保持这2种饵料量不变,并增加等量细螯虾后,前者大量摄食细螯虾,质量分数比高达43.02%,而显著($P<0.05$)减少了对玉筋鱼的摄食,质量分数比从46.48%降至18.87%,对日本鼓虾也失去了竞争优势,二者质量分数比差异不显著($P>0.05$)。这表明,竞争激烈程度相对较低的情况下,仅增加非喜食饵料种类时,竞争趋于温和。

表2 饵料组合1试验获得的许氏平鲈和大泷六线鱼的摄食量、饵料出现频率、质量分数比及Ivlev指数
Tab. 2 Food intake, occurrence frequency and weight percentage of prey in fish stomachs, and the Ivlev index of black rockfish and fat greenling gained in trials with prey combination 1 $\bar{x} \pm SD$

项目 Item	饵料种类 Preys	许氏平鲈 <i>S. schlegeli</i> (n=20)	大泷六线鱼 <i>H. otakii</i> (n=30)
摄食量/(g·kg ⁻¹ ·d ⁻¹) Food intake	日本鼓虾 <i>A. jaonicus</i>	53.7±30.1 ^b	16.1±26.6 ^b
	玉筋鱼 <i>A. personatus</i>	76.1±86.1 ^c	65.2±39.4 ^c
	细螯虾 <i>L. gracilis</i>	11.4±18.9 ^a	7.2±13.7 ^a
	总量 Total	141.5±92.2	88.5±29.8
饵料出现率/% Occurrence frequency of prey in stomachs	日本鼓虾 <i>A. jaonicus</i>	85.71	35.71
	玉筋鱼 <i>A. personatus</i>	100.00	92.86
	细螯虾 <i>L. gracilis</i>	42.86	28.57
质量分数比/% Weight percentage of prey in stomachs	日本鼓虾 <i>A. jaonicus</i>	41.90±32.08 ^b	20.98±32.03 ^b
	玉筋鱼 <i>A. personatus</i>	48.84±35.19 ^c	73.08±30.97 ^c
	细螯虾 <i>L. gracilis</i>	9.26±12.72 ^a	5.95±11.76 ^a
Ivlev 指数 Ivlev's index	日本鼓虾 <i>A. jaonicus</i>	0.07	-0.29
	玉筋鱼 <i>A. personatus</i>	0.24	0.38
	细螯虾 <i>L. gracilis</i>	-0.61	-0.62

注: 同一列中的同一参数值如果具有不同上标,则表示此参数的饵料间差异显著($P<0.05$)。

Note: If the values of a parameter in the same line have different superscripts, it denotes significant difference ($P<0.05$) in this parameter between prey species.

表3 7种饵料组合下许氏平鲈和大泷六线鱼的摄食量
Tab.3 Food intake by 2 species of fish under 7 prey combinations

饵料组合 Prey combination no.	鱼种类 Species	饵料 Feed			总量 Total
		日本鼓虾 <i>A. jaonicus</i>	玉筋鱼 <i>A. personatus</i>	细螯虾 <i>L. gracilis</i>	
2	许氏平鲈 <i>S. schlegeli</i> (<i>n</i> =24)	69.1±38.0 ^b	/	/	69.1±38.0 ^b
	大泷六线鱼 <i>H. otakii</i> (<i>n</i> =36)	44.5±29.2 ^a	/	/	44.5±29.2 ^a
3	许氏平鲈 <i>S. schlegeli</i> (<i>n</i> =24)	/	58.1±23.1 ^a	/	58.1±23.1 ^a
	大泷六线鱼 <i>H. otakii</i> (<i>n</i> =36)	/	55.5±40.8 ^a	/	55.5±40.8 ^a
4	许氏平鲈 <i>S. schlegeli</i> (<i>n</i> =24)	/	/	58.4±31.3 ^b	58.4±31.3 ^b
	大泷六线鱼 <i>H. otakii</i> (<i>n</i> =36)	/	/	29.8±21.5 ^a	29.8±21.5 ^a
5	许氏平鲈 <i>S. schlegeli</i> (<i>n</i> =24)	25.7±22.9 ^b	27.5±28.0 ^b	/	53.2±46.2 ^b
	大泷六线鱼 <i>H. otakii</i> (<i>n</i> =36)	22.8±21.2 ^a	17.7±26.3 ^a	/	40.2±35.7 ^a
6	许氏平鲈 <i>S. schlegeli</i> (<i>n</i> =24)	12.4±18.0 ^a	17.5±20.3 ^b	/	29.9±33.6 ^a
	大泷六线鱼 <i>H. otakii</i> (<i>n</i> =36)	18.8±34.3 ^a	11.8±22.3 ^a	/	30.8±38.6 ^a
7	许氏平鲈 <i>S. schlegeli</i> (<i>n</i> =24)	37.1±16.6 ^a	20.3±17.5 ^a	39.2±20.5 ^b	96.6±21.9 ^a
	大泷六线鱼 <i>H. otakii</i> (<i>n</i> =36)	37.6±26.8 ^a	52.3±35.1 ^b	6.7±12.1 ^a	96.6±45.9 ^a
8	许氏平鲈 <i>S. schlegeli</i> (<i>n</i> =24)	21.2±20.3 ^b	15.6±19.4 ^b	18.0±25.4 ^b	55.1±25.2 ^b
	大泷六线鱼 <i>H. otakii</i> (<i>n</i> =36)	9.7±15.0 ^a	5.6±10.2 ^a	10.2±15.3 ^a	25.5±23.6 ^a

注: 某一组合的同一列中的摄食量值如果具有不同上标,则表示摄食此饵料的种间差异显著 ($P<0.05$)。

Note: If the values of intake in the same line within a certain prey combination have the different superscript, it denotes significant difference ($P<0.05$) in food intake between species.

对比饵料组合6、8(表3、图1、图2),当仅有少量日本鼓虾和玉筋鱼时,许氏平鲈对玉筋鱼的摄食量显著 ($P<0.05$) 高于大泷六线鱼,而二者对日本鼓虾的摄食量差异不显著 ($P>0.05$)。而当保持日本鼓虾和玉筋鱼投喂量不变,增加等量的细螯虾时,前者对日本鼓虾摄食量显著 ($P<0.05$) 高于后者,质量分数比高出后者5.86%,但差异不显著 ($P>0.05$),出现率高出后者35.83%。前者玉筋鱼摄食量显著 ($P<0.05$) 高于后者,质量分数比也显著 ($P<0.05$) 高于后者,出现率高出后者41.67%。许氏平鲈对细螯虾的摄食量也显著 ($P<0.05$) 高于后者,而后者摄食细螯虾的质量

分数比显著 ($P<0.05$) 高于前者。这表明,食物竞争激烈程度较高的情况下,增加非喜食饵料种类并不能降低竞争激烈程度,强者对喜食饵料竞争优势依然明显。同时也表明,仅在竞争激烈程度相对较低的情况下增加非喜食饵料种类才能降低鱼类对喜食饵料的竞争激烈程度。

2.4 饵料丰度变化对食物竞争的影响

当环境中喜食饵料生物量减少,强者对喜食饵料竞争优势更加显著,竞争趋于激烈,表现为饵料生物质量分数比增加。对照饵料组合5、6可见,许氏平鲈摄食日本鼓虾的质量分数比显著降低 ($P<0.05$),

玉筋鱼质量分数比显著增加($P<0.05$),平均值相差16.41%。大泷六线鱼对2种饵料质量分数比变化不显著($P>0.05$),平均值相差仅6.38%。对比饵料组合7、饵料组合8可见,当投饵量减少时,许氏平鲈摄食细螯虾的质量分数比则显著减少($P<0.05$),而大泷六线鱼摄食细螯虾的质量分数比显著增加($P<0.05$),同时摄食玉筋鱼的质量分数比显著减少($P<0.05$)。

3 讨论

饵料组合1结果表明,许氏平鲈和大泷六线鱼对玉筋鱼、日本鼓虾、细螯虾的食物选择性差异显著,而且对这3种饵料的喜好次序也相同,因此可将3种饵料按喜食饵料、次喜食饵料和非喜食饵料区分开来,这为饵料组合2-8之间的比较提供了依据。二者对3种饵料食物选择性次序相同,有利于评判同一饵料组合二者的竞争能力。可见,不同鱼类对其环境饵料的选择性是鱼类种间食物竞争的关键影响因素。

食物竞争和环境饵料丰度密切相关^[23],因此投饵量的设置尤为关键。投饵量过高会导致食物竞争激烈程度过低,2种鱼类的食物竞争参数差异不显著,且容易出现残饵,影响水质的同时还影响下一组实验的投饵种类和重量,增加系统误差;投饵量太低会导致较高的空胃率,势必会增加抽样误差。基于饵料组合1所获得的许氏平鲈和大泷六线鱼的最大摄食量分别为 $(142.5 \pm 26.4) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $(104.8 \pm 1.7) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,本实验设定饵料组合2-8的总投饵量范围为 $25.0 \sim 75.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。除饵料组合6和8,其他饵料组合空胃率均不高于22.22%,符合本实验要求,同时也表明基于最大摄食量设定投饵量是科学可靠的。

保持总投饵量为 $50.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,改变投饵种类(饵料组合2、3、4、5),除饵料组合3差异不显著($P>0.05$),其他饵料组合中许氏平鲈的总摄食量均显著高于大泷六线鱼($P<0.05$),表明许氏平鲈的食物竞争能力显著强于大泷六线鱼。这4个饵料组合间,许

氏平鲈的总摄食量差异不显著($P>0.05$),而大泷六线鱼在饵料组合4中总摄食量显著($P<0.05$)低于饵料组合2和饵料组合3,这表明大泷六线鱼对细螯虾的选择性很低。饵料组合1已表明许氏平鲈和大泷六线鱼对细螯虾有回避行为,但饵料组合4中许氏平鲈的摄食量显著($P<0.05$)高于大泷六线鱼,说明后者对细螯虾的回避行为更加显著。

根据实验结果可以看到,虽然许氏平鲈和大泷六线鱼的食物竞争能力不一样,但都能适应饵料丰度波动。当自然海域中鲰、日本鼓虾等喜食饵料丰富时,许氏平鲈和大泷六线鱼均会大量摄食。当自然海域喜食饵料匮乏时,许氏平鲈除了会摄食大部分喜食饵料,还会通过摄食非喜食饵料来满足生长需求,大泷六线鱼则会大量摄食非喜食饵料。后者的食谱更为广泛,除了二者均喜食的游泳生物和底栖动物,还包括浮游动物^[15,17]。食性分化从很大程度上降低了二者在这种波动环境中的竞争,是二者能长期共存的重要原因。邓景耀等^[16]对渤海鱼类周年样本进行了胃含物分析,发现大泷六线鱼大量摄食底栖虾类、小型鱼类、浮游动物和头足类,其质量分数分别是11.44%、28.51%、9.40%、43.80%,出现频率分别为34.38%、21.88%、30.40%和21.88%($n=32$)。10年后,邓景耀等^[9]同样分析了渤海鱼类周年样本的胃含物,发现鱼类食性和10年前变化很大,许氏平鲈主要以小型鱼类(包括石首鱼类幼鱼)、对虾和枪乌贼为食($n=17$),而大泷六线鱼主要以虾蟹类和乌贼为食,其次为桡足类和口虾蛄($n=15$)。杨纪明等^[18]也对渤海水域中许氏平鲈和大泷六线鱼进行了胃含物分析,发现前者主要摄食虾类、小型鱼类和头足类,质量分数分别为21.2%、20.7%和15.1%;大泷六线鱼主要摄食虾类和小型鱼类,质量分数分别高达37.5%和23.2%。这些研究都表明,小型鱼类和虾类是许氏平鲈和大泷六线鱼的主要饵料生物,也是二者主要食物竞争对象。但欲研究自然水域中许氏平鲈和大泷六线鱼的食物竞争,需同时获得不同季节的胃含物样品,并调查该水域环境中主要饵料的丰度,结合胃含物分析的数据和饵料丰度的数据分析二者的食

物竞争。国内外未见该研究报道,除了取样难,其他原因包括这2种岩礁鱼类难以被常规底拖网捕获,自然水域中饵料生物的可得性往往在鱼类食性研究中被忽视。若能进一步结合许氏平鲈和大泷六线鱼在自然水域和室内环境下的食物竞争数据,无疑将更有利于理解鱼类食物竞争的机制。

虽然本实验中2种鱼类经过了长达2个月的室内驯化,且投喂天然饵料、流水蓄养,但室内实验结果仍然不能完全反映自然海域的情形。首先,由于自然环境中被许氏平鲈和大泷六线鱼摄食的饵料种类较多,包括浮游动物、小型鱼类、头足类、底栖虾类和多毛类等^[15-18,24],本实验所选取的3种饵料生物并不能代表其所有的食物种类,如缺乏浮游动物、头足类等。此外,水槽实验无法完全模拟自然栖息水域的底质类型、鱼类密度等条件,死的饵料生物与自然水域中的活饵在被鱼类捕食的成功率与适口性方面亦存在差异。通过胃含物分析评价食物竞争需要大量样本,尽管相比同类室内实验,本实验设置了3个平行组,各平行组样本数($n_1=80$, $n_2=120$)和取样数($n_1=8$, $n_2=12$)已较大,但仍存在不足,且样本规格仍不够统一,增加了抽样误差和随机误差,导致数据的标准差仍较大,数据的可信度降低。解决此问题的方法除了进一步统一样本规格,增加样本容量,优化随机取样过程外,还可以应用bootstrapping进行计算机模拟计算^[25]。

致谢:中国水产科学研究院黄海水产研究所张波博士为本实验提供宝贵意见,集美大学水产学院薛泰强和陈璐协助完成部分实验工作,在此致以真诚感谢。

参考文献:

- [1] 唐启升. 海洋食物网与高营养层次营养动力学研究策略[J]. 海洋水产研究, 1999, 20(2): 1-11.
- [2] Dou Shuo-Zeng. Food utilization of adult flatfishes co-occurring in the Bohai Sea of China [J]. Neth J Sea Res, 1995, 34: 183-193.
- [3] Pratchett M S. Dietary overlap among coral-feeding butterflyfishes (Chaetodontidae) at Lizard Island, northern Great Barrier Reef [J]. Mar Biol, 2005, 148: 373-382.
- [4] Dieterich A, Baumgärtner D, Eckmann R. Competition for food between Eurasian perch (*Perca fluviatilis* L.) and ruffe (*Gymnocephalus cernuus* [L.]) over different substrate types [J]. Ecol Freshwat Fish, 2004, 13(4): 236-244.
- [5] Papastamatiou Y, Wetherbee B, Lowe C, et al. Distribution and diet of four species of Carcharhinid shark in the Hawaiian Islands: evidence for resource partitioning and competitive exclusion [J]. Mar Ecol Prog Ser, 2006, 320: 239-251.
- [6] Jacobsen J A, Hansen L P. Feeding habits of wild and escaped farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in the Northeast Atlantic [J]. ICES Mar Sci, 2001, 58: 916-933.
- [7] Oscoz J, Leunda P M, Miranda R, Escala M C. Summer feeding relationships of the co-occurring *Phoxinus phoxinus* and *Gobio lozanoi* (Cyprinidae) in an Iberian river [J]. Folia Zool, 2006, 55(4): 418-432.
- [8] Sturdevant M V, Brase A L J, Hulbert L B. Feeding habits, prey fields, and potential competition of young-of-the-year walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) and Pacific herring (*Clupea pallasii*) in Prince William Sound, Alaska, 1994-1995 [J]. Fish Bull, 2001, 99: 482-501.
- [9] 邓景耀, 姜卫民, 杨纪明, 等. 渤海主要生物种间关系及食物网的研究 [J]. 1997, 4(4): 1-7.
- [10] 李圣法, 臧增嘉, 邓思明, 等. 太湖敞水区鱼类种间关系现状 [J]. 水产学报, 1998, 22(1): 44-48.
- [11] 张波, 唐启升. 渤、黄、东海高营养层次重要生物资源种类的营养级研究 [J]. 海洋科学进展, 2004, 22(4): 393-404.
- [12] 张波, 唐启升, 金显仕, 等. 东海和黄海主要鱼类的食物竞争 [J]. 动物学报, 2005, 51(4): 616-623.
- [13] 叶佳林, 刘正文, 王卫民. 太湖梅梁湾刀鲚与间下鱊食性的比较 [J]. 湖泊科学, 2007, 19(2): 218-222.
- [14] 李忠义, 金显仕, 庄志猛, 等. 南黄海春季鳀和赤鼻棱鳀的食物竞争 [J]. 中国水产科学, 2007, 4(14): 630-636.
- [15] Kwak S, Baek G W, Klumpp D W. Comparative feeding ecology of two sympatric greenling species, *Hexagrammos otakii* and *Hexagrammos agrammus* in eelgrass *Zostera marina* beds [J]. Environ Biol Fishes, 2005, 74: 129-140.
- [16] 邓景耀, 孟田湘, 任胜民. 渤海鱼类的食物关系 [J]. 海洋水产研究, 1988, 9: 151-171.
- [17] 叶青. 青岛近海欧氏六线鱼食性的研究 [J]. 海洋湖沼通报, 1992, 4: 50-55.
- [18] 杨纪明. 渤海鱼类的食性和营养级研究 [J]. 现代渔业信息, 2001, 16(10): 10-19.

- [19] 金显仕, 程济生, 邱盛尧, 等. 黄渤海渔业资源综合研究与评价 [M]. 北京: 海洋出版社, 2006: 525–530.
- [20] 李军, 杨纪明, 孙作庆. 黑鲷生态生长效率周年变化的研究 [J]. 海洋与湖沼, 1995, 26 (6): 586–590.
- [21] 张波, 孙耀, 郭学武, 等. 黑鲷的最大摄食率与温度和体重的关系 [J]. 海洋水产研究, 1999, 20 (2): 82–85.
- [22] 孙耀, 张波, 唐启升. 摄食水平和饵料种类对黑鲷能量收支的影响 [J]. 海洋水产研究, 2001, 22 (2): 32–37.
- [23] Swain D P. Changes in the distribution of Atlantic cod (*Gadus morhua*) in the southern Gulf of St. Lawrence-effects of environmental change or change in environmental preferences? [J]. Fish Oceanogr, 1999, 8: 1–17.
- [24] Fujita T, Kitagawa D, Okuyama Y, et al. Diets of the demersal fishes on the shelf off Iwate, northern Japan [J]. Mar Biol, 1995, 123: 219–233.
- [25] Haddon M. Modelling and quantitative methods in fisheries [M]. Boca Raton, Florida: Chapman & Hall/CRC, 2001: 132–133.

Feeding competition between two rockfish *Sebastes schlegeli* and *Hexagrammos otakii*

TONG Yu-he^{1,2}, GUO Xue-wu¹

(1. Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fishery Resources, Ministry of Agriculture; Key Laboratory for Fishery Resources and Eco-environment, Shandong Province; Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China; 2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Experiments of feeding competition between two rockfish, black rockfish (*Sebastes schlegeli*) and fat greenling (*Hexagrammos otakii*), were conducted in laboratory. With three prey species, *Ammodytes personatus*, *Alpheus jaonicus*, and *Leptochela gracilis*, eight combinations of different prey species and quantity were set for the experiments. The diet selectivity, the competitive ability and the response of the two rockfish to different prey combinations were analyzed based on their food intake and prey occurrence frequency and weight percentage in their stomachs. Daily maximum food intake of black rockfish and fat greenling were estimated as (14.25 ± 2.64) g wet/(100 g) wet and (10.48 ± 0.17) g wet/100 g wet, respectively. The two rockfish have similar food selectivity in terms of the given prey species, as *Ammodytes personatus*, *Alpheus jaonicus*, and *Leptochela gracilis* in descending order. Black rockfish has higher ability of feeding competition than that of fat greenling for its higher food intake and higher occurrence frequency and weight percentage of prey. The results imply that both variations in prey species and in prey quantity may affect the feeding competition of the two rockfish. [Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16 (4): 541–549]

Key words: rockfish; black rockfish; fat greenling; feeding competition

Corresponding author: GUO Xue-wu. E-mail: guoxw@ysfri.ac.cn