

绿鳍马面鲀(*Navodon septentrionalis*)对 4 种大型水母的捕食行为*

刘春胜 庄志猛 陈四清^① 刘长琳 赵 鹏 陈昭廷

(农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071)

摘要 以绿鳍马面鲀为研究对象,通过室内受控实验,比较研究了其对我国沿海 4 种常见大型水母(海蜇、沙海蜇、海月水母和白色霞水母)的捕食差异。结果显示,体重为(215±20) g 的绿鳍马面鲀对海月水母的捕食能力最强,日均最大摄食量为(150.7±18.6) g/fish,其次是海蜇和白色霞水母,日均摄食量分别为(129.7±11.6)和(120.0±19.3) g/fish,对沙海蜇的摄食量最少,为(92.5±11.3) g/fish;绿鳍马面鲀对海月水母与海蜇摄食量主要受投喂量影响,与规格无关,当投喂量小于其最大捕食量时,绿鳍马面鲀可捕食其周围所有水母,当投喂量超过其最大摄食量并继续增加时,绿鳍马面鲀摄食量保持不变,但残余水母的触手和伞部边缘均被啃食,继而导致水母摄食能力丧失,难以继续生存;在适口饵料冰鲜玉筋鱼充足的情况下,绿鳍马面鲀对水母具有明显的摄食偏向性,与仅投喂水母实验组相比,其对海月水母和海蜇的日均摄食量仅降低了 20.2%和 16.9%。研究表明,绿鳍马面鲀对上述 4 种水母皆能捕食。

关键词 绿鳍马面鲀;海蜇;沙海蜇;海月水母;白色霞水母;摄食量

中图分类号 S968 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2014)06-0030-09

水母是海洋生态系统中的重要组成部分,其在有机物的垂直传递中起着重要作用 (Robison *et al.*, 2005)。近年来,在全球一些高生产力的近海海区,受人类活动、全球变暖、富营养化等因素的影响,水母出现的数量及频率不断加大,并呈现出明显的种群暴发现象(Purcell *et al.*, 2001)。我国所在的东亚海域更是水母暴发的重灾区。据报道,我国的渤海辽东湾、黄海南部和东海北部相继出现了沙海蜇、白色霞水母和海月水母暴发的现象,且暴发规模和频率逐年增加,已严重影响了当地正常的渔业生产(程家骅等, 2005; 张芳等, 2009; Dong *et al.*, 2010; 郑凤英等, 2010)。

大量证据表明,水母暴发与鱼类数量变动之间有密切的关系,相关报道主要集中在水母对鱼卵及仔稚

鱼捕食行为、水母与鱼类的饵料竞争等研究领域 (Cowan *et al.*, 1993; Purcell *et al.*, 1994)。鱼类捕食水母的报道相对较少,且主要通过胃含物分析获取相关数据(Arai, 2005)。然而, Arai 等(2003)在研究大马哈鱼对水母(*Pleurobrachia bachei*)的消化速率中发现,其对水母的消化速率是虾(*Pandalus sp.*)的 20 多倍,因此传统的胃含物分析不能够准确反映水母在鱼类饵料组成中所占的真实比例。而室内捕食实验可更直观地反映鱼类与水母的捕食关系。Miyajima 等(2011)研究了冠鳞单棘鲀(*Stephanolepis cirrhifer*)对海月水母的捕食能力,发现该鱼对海月水母的日均摄食量为其体重的 24 倍。Liu 等(2014)也证明了银鲳幼体(*Pampus argenteus*)能够积极捕食海月水母及海蜇。

绿鳍马面鲀为暖温性鱼类,广泛分布于渤海、黄

* 国家 973 课题(2011CB403605)和青岛市科技计划项目(11-3-1-6-hy)共同资助。刘春胜, E-mail: liucs@ysfri.ac.cn

① 通讯作者: 陈四清, 研究员, E-mail: chensq@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2013-11-16, 收修改稿日期: 2014-03-05

海、东海、朝鲜及日本沿海,是我国重要的海产经济鱼类(王跃中等, 2013), 且该物种的分布范围与我国当前水母灾害暴发区域相吻合。在对捕食水母鱼类的筛选中, 作者发现绿鳍马面鲈能够以海月水母为食。基于以上结果, 作者推测绿鳍马面鲈可能摄食海蜇、沙海蜇及白色霞水母。本研究以绿鳍马面鲈为研究对象, 通过室内受控实验, 量化了绿鳍马面鲈对 4 种水母的摄食量; 以海月水母和海蜇为实验材料, 研究了不同规格、不同投喂量的水母对绿鳍马面鲈摄食行为的影响; 通过过量投喂水母和适口饵料玉筋鱼块, 研究了绿鳍马面鲈对水母的摄食偏好性。该实验的开展将有助于评估绿鳍马面鲈分布及数量对大型水母生物量的影响, 可为研究我国沿海鱼类数量变动与大型水母暴发之间的关系提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 绿鳍马面鲈

绿鳍马面鲈为 2013 年 4–5 月份收购的野生个体, 体长(26.5±5) cm, 体重(215±20) g。饵料为 0.4–0.6 cm³ 的冰鲜玉筋鱼块, 每天投饵两次, 采用常流水养殖, 经 28 d 驯养后开始实验。

1.2 4 种大型水母

海蜇与海月水母: 实验所用各规格海蜇和海月水母幼体均培养自青岛金沙滩水产开发有限公司实验基地。实验开始前 2 d, 选取实验所需规格的海蜇和海月水母转移至 300 L 的聚乙烯白色方桶中暂养, 微充气, 每天投喂适量卤虫无节幼体, 实验开始前 12 h 停止投饵。

白色霞水母与沙海蜇: 实验所需白色霞水母和沙海蜇为海捕野生个体。2013 年 6–7 月捕捉规格为 (20±4) cm 的白色霞水母和沙海蜇。为保证两种野生水母的活性, 捕获后立刻充氧, 3 h 内运回实验基地。由于沙海蜇捕获后极易产生应激反应, 3 d 后出现快速腐烂现象, 因此, 沙海蜇运回实验基地立刻开展相关研究。

1.3 实验方法

1.3.1 绿鳍马面鲈对海月水母的摄食实验 实验开始前将 48 条绿鳍马面鲈随机分成 16 组, 每组 3 条, 置于 16 个 300 L 的聚乙烯白色方桶中。饥饿 24 h 后开始实验, 实验过程中加强充气, 使海月水母均匀分布, 以保证其与绿鳍马面鲈充分接触。

为研究海月水母规格及其投喂量对绿鳍马面鲈

摄食量的影响, 实验采用双因子交互法(表 1)。具体设计为, 海月水母按伞径分为 30、70、110 和 150 mm 4 个规格, 投喂量设为 40、80、160、320 g/(fish·d) 4 个梯度。按表 1 的 4×4 组合分为 16 组(A1、B1、C1、D1)。投喂 24 h 后收集残余水母, 计算绿鳍马面鲈对各组的日均摄食。待实验结束后, 各组绿鳍马面鲈饥饿 24 h 后, 重复实验, 实验共计重复 3 次。

1.3.2 绿鳍马面鲈对海蜇的摄食实验 实验准备同 1.3.1。为研究海蜇规格及其投喂量对绿鳍马面鲈摄食量的影响, 实验采用双因子交互法(表 1)。具体设计为, 海蜇按伞径分为 10、20、30 和 40 mm 4 个规格, 投喂量设为 40、80、160、320 g/(fish·d) 4 个梯度。按表 1 的 4×4 组合分为 16 组(a1、b1、c1、d1)。投喂 24 h 后收集残余海蜇, 计算绿鳍马面鲈对各组的日均摄食。待实验结束后, 各组绿鳍马面鲈饥饿 24 h 后, 重复实验, 实验共计重复 3 次。

表 1 不同规格和投喂量交互实验设计

Tab.1 Two-factor orthogonal design of different sizes and feeding amounts

投喂量 Feeding amount [g/(fish·d)]	伞径 Size of umbrella (mm)							
	海月水母 <i>A. aurila</i>				海蜇 <i>R. esculentum</i>			
	30	70	110	150	10	20	30	40
40	A1	B1	C1	D1	a1	b1	c1	d1
80	A2	B2	C2	D2	a2	b2	c2	d2
160	A3	B3	C3	D3	a3	b3	c3	d3
320	A4	B4	C4	D4	a4	b4	c4	d4

1.3.3 绿鳍马面鲈对白色霞水母和沙海蜇的摄食实验 绿鳍马面鲈对白色霞水母摄食实验: 将饥饿 24 h 的 9 条绿鳍马面鲈随机分成 3 组, 每组投喂新捕获的已称重野生白色霞水母 1 只(伞径 180–200 mm, 湿重 960–1200 g), 24 h 后, 收集残饵, 计算绿鳍马面鲈对白色霞水母的日均摄食量。

绿鳍马面鲈对沙海蜇摄食实验: 将捕获的 6 只沙海蜇(伞径 180–200 mm, 湿重 1000–1450 g)分别称重后, 放置于 6 个 300 L 的白色塑料桶中, 将其随机分成 A、B 两组, 每组 3 个平行样, 其中 A 组每桶中放入 3 条绿鳍马面鲈, B 组作为对照组。24 h 后, 收集残饵, 计算绿鳍马面鲈对沙海蜇的日均摄食量。由于沙海蜇受刺激后, 出现自溶现象, 每条绿鳍马面鲈对沙海蜇的日均摄食量 P 用以下公式计算:

$$P = \left(W \frac{W_{24}}{W_C} - W_L \right) / 3$$

式中, W 为 A 组中沙海蜇的起始重量; W_L 为 24 h

后, A组中沙海蜇残饵的重量; W_C 为 B组中沙海蜇的起始重量; W_{24} 为 24 h 后, B组中沙海蜇的重量。

1.3.4 绿鳍马面鲀对水母和玉筋鱼摄食选择性实验 将 45 条绿鳍马面鲀随机放入 15 个 300 L 白色塑料桶中, 每桶 3 条。实验分为 5 组(A、B、C、D 和 E 组), 每组 3 个平行样, 各组投喂方案如下: A 组: 110 mm 海月水母 160 g/fish; B 组: 20 mm 海蜇 160 g/fish; C 组: 0.5 cm³ 的冰鲜玉筋鱼块 20 g; D 组: 110 mm 海月水母 160 g/fish 及冰鲜玉筋鱼块: 20 g/fish; E 组: 20 mm 海蜇 160 g/fish 及冰鲜玉筋鱼块: 20 g/fish。实验各组饵料均过量投喂。投喂 24 h 后, 用 40 目的筛绢收集残饵, 并对水母和玉筋鱼残饵分别称重, 计算各组绿鳍马面鲀对不同饵料的摄食量。

1.3.5 数据统计 各实验数据处理水平上的摄食量均表示为平均值±标准差, 所有数据均采用 SPSS 15.0

进行分析。统计学显著性差异水平设置为 $P<0.05$ 。

2 实验结果

2.1 投喂量对绿鳍马面鲀摄食海月水母和海蜇的影响

绿鳍马面鲀对水母的摄食量与水母投喂量有很大关系。在一定范围内, 绿鳍马面鲀摄食量随投喂量的增加而增大。但其存在最大摄食量, 当投喂量继续增加时, 其摄食量不会增加。从表 2 中可以看出, 在海月水母投喂量为 40、80 和 160 g/fish 时, 绿鳍马面鲀的摄食量分别为 39.1、75.2 和 142.1 g/(fish·d), 其摄食量与投喂量呈正相关。但当投喂量继续增加至 320 g/fish 时, 该鱼摄食量与投喂量 160 g/fish 没有显著性变化。与之相同, 在投喂其他规格的海月水母或海蜇时均呈现相同的趋势。

表 2 绿鳍马面鲀对不同规格、不同生物量的海月水母与海蜇的摄食量
Tab.2 The consumption of *A. aurita* and *R. esculentum* with different size by filefish

投喂量 Feeding amount [g/(fish·d)]	伞径 Size of umbrella (mm)							
	海月水母 <i>A. aurita</i>				海蜇 <i>R. esculentum</i>			
	30	70	110	150	10	20	30	40
40	39.1±0.9	38.4±1.2	39.2±0.8	39.0±0.9	40±0.0	39.4±0.4	39.8±0.2	39.4±0.5
80	75.2±4.6	78.2±1.8	79.1±0.9	78.4±1.6	79.2±0.5	76.9±1.8	78.1±1.9	79.4±0.8
160	142.1±10.1	151.2±9.1	140.0±18.1	138.9±11.4	114.1±9.1	115.9±17.4	108.3±13.1	103.2±12.1
320	150.7±18.6	144.3±13.1	139.5±20.1	149.2±29.1	129.7±11.6	113.3±16.1	111.5±13.1	106.2±19.1

在投喂量相同的情况下, 绿鳍马面鲀对同种水母的摄食量不受其伞径大小的影响。从表 2 可以发现, 当过量投喂量时, 绿鳍马面鲀对 30、70、110、150 mm 海月水母的摄食量分别为 150.7、144.3、139.5 和 149.2 g/(fish·d)。不同伞径的海月水母之间没有显著性差异。同理, 在绿鳍马面鲀摄食海蜇实验中也有类似的结果。

此外, 据观察绿鳍马面鲀优先摄食海月水母的口腕、生殖腺及水母伞部边缘, 其次是厚的中胶层。而在对海蜇的摄食实验中, 绿鳍马面鲀优先啃食海蜇触手, 其次才是伞部。

2.2 绿鳍马面鲀对 4 种大型水母的摄食量比较

鉴于实验材料限制, 实验仅开展了绿鳍马面鲀对 180–200 mm 的白色霞水母和沙海蜇的捕食实验, 结果见表 3。绿鳍马面鲀对白色霞水母和沙海蜇的摄食量分别为 120.0 和 92.5 g/(fish·d)。通过比较绿鳍马面鲀对 4 种大型水母最大捕食量, 可以发现其对海月水母的摄食能力最强, 为 150.7 g/(fish·d), 其次是海蜇和白色霞水母, 分别是 129.7 和 120.0 g/(fish·d), 对

表 3 绿鳍马面鲀对沙海蜇和白色霞水母的摄食量
Tab.3 The consumption of *N. nomurai* and *C. nozakii* by filefish

	沙海蜇 <i>N. nomurai</i> (200±4.1 mm)	白色霞水母 <i>C. nozakii</i> (200±4.6 mm)
投喂个体重量 Feeding amount (g)	1450±302	1200±215
摄食量 Consumption [g/(fish·d)]	92.5±11.3	120.0±19.3

沙海蜇的捕食能力最弱, 为 92.5 g/(fish·d)(图 1), 数据统计结果表明差异显著($P<0.05$)。

2.3 绿鳍马面鲀对水母及玉筋鱼饵料的摄食选择性

实验结果表明, 在适口饵料玉筋鱼块存在的条件下, 绿鳍马面鲀依旧摄食海月水母和海蜇, 并呈现一定的偏好性。从表 4 中可以发现, 在冰鲜玉筋鱼充足的情况下, 绿鳍马面鲀对 110 mm 海月水母和 20 mm 海蜇的摄食量分别为 110.9 和 96.3 g/(fish·d)。与仅投喂海月水母和海蜇组相比, 绿鳍马面鲀对海月水母和海蜇的摄食量仅降低了 20.2%和 16.9%。

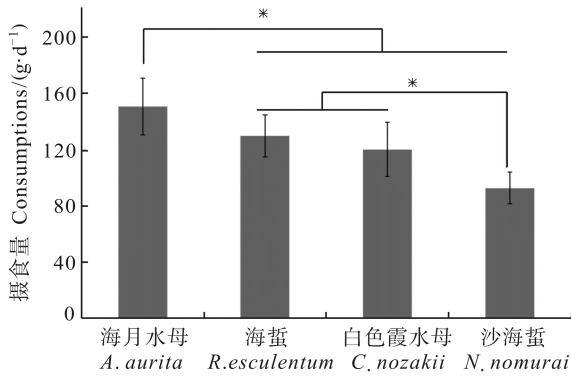


图 1 绿鳍马面鲀对 4 种水母的最大摄食量

Fig.1 The maximum consumptions of four jellyfish species by filefish

2.4 捕食水母鱼类的比较

为了更加全面了解鱼类与水母的相互关系,作者对部分已报道的摄食水母鱼类进行了总结(表 5)。结果表明,目前有记录的捕食水母鱼类共有 41 种,其中 38 种是通过其胃含物分析获得的。另有 3 种是通过室内量化实验获得的,包括冠鳞单棘鲀、银鲳及本研究对象—绿鳍马面鲀。从表 5 中可以看出,水母占其胃含物总量 30%以上的鱼类有 8 种,其中 3 种水母总量超过 50%,短吻拟深海鲑(*Pseudobathylagus milleri*)的胃含物中水母含量甚至可达 100%;对比冠鳞单棘鲀、银鲳及绿鳍马面鲀的室内捕食实验数据可发现,绿鳍马面鲀对水母的相对捕食量远小于其他两

表 4 绿鳍马面鲀对水母(海月水母和海蜇)与玉筋鱼的选择性摄食

Tab.4 Prey selection of jellyfish (*A. aurita* and *R. esculentum*) and *Ammodytes* sp. by filefish

投喂及摄食量		海月水母	海蜇	玉筋鱼	海月水母+玉筋鱼	海蜇+玉筋鱼
Feeding & consumption amount (g)		<i>A. aurita</i>	<i>R. esculentum</i>	<i>Ammodytes</i> sp.	<i>A. aurita</i> + <i>Ammodytes</i> sp.	<i>R. esculentum</i> + <i>Ammodytes</i> sp.
饵料投喂量	水母 Jellyfish	160	160	—	160	160
Feeding amount	玉筋鱼 <i>Ammodytes</i> sp.	—	—	20	20	20
水母摄食量		138.9±11.4	115.9±17.4	—	110.9±9.5	96.3±12.6
Jellyfish consumption						
玉筋鱼摄食量		—	—	8.3±1.6	6.3±1.3	6.9±0.7
<i>Ammodytes</i> sp. consumption						

表 5 捕食水母鱼类相关数据统计

Tab.5 Statistical data of predation on pelagic coelenterates by fish predators

捕食者 Predators	被捕食水母种类 Prey	捕食量 Consumption	参考文献 References
冠鳞单棘鲀 ¹ <i>S. cirrhifer</i>	海月水母 <i>A. aurita</i>	日均摄食鱼体重的 24 倍 24 times fish body weight	Miyajima <i>et al</i> , 2011
银鲳 ¹ <i>P. argenteus</i>	海月水母 <i>A. aurita</i>	日均捕食鱼体重的 11.6 倍 11.6 times fish body weight	Liu <i>et al</i> , 2013
	海蜇 <i>R. esculentum</i>	日均捕食鱼体重的 4.1–13 倍 4.1-13 times fish body weight	Liu <i>et al</i> , 2013
绿鳍马面鲀 ¹ <i>Navodon septentrionalis</i>	海月水母 <i>A. aurita</i>	日均捕食鱼体重的 0.68 倍 0.68 times fish body weight	实验获得的数据 This study
	海蜇 <i>R. esculentum</i>	日均捕食鱼体重的 0.54 倍 0.54 times fish body weight	实验获得的数据 This study
	白色霞水母 <i>C. nozakii</i>	日均捕食鱼体重的 0.56 倍 0.56 times fish body weight	实验获得的数据 This study
	沙海蜇 <i>Nemopilema nomurai</i>	日均捕食鱼体重的 0.43 倍 0.43 times fish body weight	实验获得的数据 This study
蓝背西鲱 ² <i>Alosa aestivalis</i>	栉水母 Ctenophora	43%	Bowman <i>et al</i> , 2000
裸盖鱼 ² <i>Anoplopoma fimbria</i>	钵水母	13.5%	Yang <i>et al</i> , 2000
仰鼻水珍鱼 ² <i>Argentina silus</i>	水母 Medusae	9.2%	Bowman <i>et al</i> , 2000
太平洋深海鲑 ² <i>Bathylagus pacificus</i>	水母体 Ctenophore	32.7%	Balanov <i>et al</i> , 1995
	栉水母 Ctenophore	48.7%	Sobolevskii <i>et al</i> , 1996

续表 5

捕食者 Predators	被捕食水母种类 Prey	捕食量 Consumption	参考文献 References
小头孔绵鲷 ² <i>Bothrocarina microcephala</i>	水母体 Medusae	7.9%	Il'inskii <i>et al.</i> , 1994
尾明角灯鱼 ² <i>Ceratoscopelus warmingii</i>	管水母 Siphonophore	6%–29% (干重 Dry weight)	Hopkins <i>et al.</i> , 1992
大西洋棘白鲷 ² <i>Chaetodipterus faber</i>	曳手水母 <i>Chiropsalmus</i>	9.4%	Hayse, 1990
短距眶灯鱼 ² <i>Diaphus mollis</i>	管水母 Siphonophore	10%–12% (干重 Dry weight)	Hopkins <i>et al.</i> , 1992
大鳞雅南极鱼 ² <i>Lepidonotothen squamifrons</i>	栉水母 Ctenophora	0–48.8% (具有季节性 Seasonal)	Pakhomov, 1993
	水母体 Medusae	0.91%–9.2% (具有季节性 Seasonal)	Pakhomov, 1993
北部光滑舌鱼 ² <i>Leuroglossus schmidti</i>	水母体 Medusae	8.95%	Il'inskii <i>et al.</i> , 1994
	刺细胞动物 Cnidaria	9.2%	Balanov <i>et al.</i> , 1994
	水母体 Medusae	56.3%	Sobolevskii <i>et al.</i> , 1996
弯鳃深海脂鲑 ² <i>Lipolagus ochotensis</i> ²	水母体 Medusae	26.1%	Il'inskii <i>et al.</i> , 1994
	栉水母 Ctenophore	36.15%	Il'inskii <i>et al.</i> , 1994
斯氏似白狼绵鲷 ² <i>Lycogrammoides schmidt</i>	水母体 Medusae	9.45%	Il'inskii <i>et al.</i> , 1994
大马哈鱼 ² <i>Oncorhynchus keta</i>	瓜水母 <i>Beroe</i>	38.6%	Sobolevskii <i>et al.</i> , 1996
红大马哈鱼 ² <i>Oncorhynchus nerka</i>	水母 Jellyfish	11%	Tadokoro <i>et al.</i> , 1996
三刺底鳍鲷 ² <i>Peprilus triacanthus</i>	刺细胞动物 Cnidaria	8.7%	Bowman <i>et al.</i> , 2000
多线鱼 ² <i>Pleurogrammus monopterygius</i>	钵水母 Scyphomedusae	19%	Yang <i>et al.</i> , 2000
短吻拟深海鲑 ² <i>Pseudobathylagus milleri</i>	水母体 Medusae	100%	Balanov <i>et al.</i> , 1995
竹刀鱼 ² <i>Scomberesox saurus</i>	管水母 Siphonophora	54.4%	Bowman <i>et al.</i> , 2000
美洲平鲷 ² <i>Sebastes melanops</i>	侧腕水母 Pleurobrachia	13.3%	Brodeur <i>et al.</i> , 1987
白身臂灯鱼 ² <i>Stenobranchius leucopsarus</i>	水母体 Medusae	8.1%	Gorbatenko <i>et al.</i> , 1992
宽尾臂灯鱼 ² <i>Stenobranchius nannochir</i>	水母体 Medusae	6.6%	Il'inskii <i>et al.</i> , 1994
智利竹鱼 ² <i>Trachurus murphyi</i>	钵水母 Scyphomedusae	27.7%	Nesin, 2004
深海鲑鱼科 ³ <i>Bathylagus antarcticus</i>	管水母 Siphonophores	14/28	Lancraft <i>et al.</i> , 1991
麦克罗深海鲑 ³ <i>Bathyraja macloviana</i>	栉水母 Ctenophora	11/64 (春 Spring)	Mianzan <i>et al.</i> , 1996
疣鳞鲷 ³ <i>Canthidermis maculata</i>	管水母 Siphonophora	18/66	Senta <i>et al.</i> , 1993

续表 5

捕食者 Predators	被捕食水母种类 Prey	捕食量 Consumption	参考文献 References
黑腹无鳔鲉 ³ <i>Helicolenus dactylopterus</i>	栉水母 Ctenophora	130/273	Mianzan <i>et al.</i> , 1996
天竺舵鱼 ³ <i>Kyphosus cinerascens</i>	管水母 Siphonophora	20/54	Senta <i>et al.</i> , 1993
低鳍舵鱼 ³ <i>Kyphosus vaigiensis</i>	管水母 Siphonophora	40/47	Senta <i>et al.</i> , 1993
弗氏绒须石首鱼 ³ <i>Micropogonias furnieri</i>	栉水母 Ctenophora	37/350	Mianzan <i>et al.</i> , 1996
银鲑 ³ <i>Oncorhynchus kisutch</i>	帆水母 <i>Velella</i>	14/87	Brodeur <i>et al.</i> , 1987
拉氏南美南极鱼 ³ <i>Patagonotothen ramsay</i>	栉水母 Ctenophora	15/81	Mianzan <i>et al.</i> , 1996
绿青鳕 ³ <i>Pollachius virens</i>	水母体 Medusae	23/133	Hall <i>et al.</i> , 1990
黄尾平鲈 ³ <i>Sebastes flavidus</i>	刺细胞动物 Cnidaria	2/14	Brodeur <i>et al.</i> , 1987
蓝平鲈 ³ <i>Sebastes mystinus</i>	五角水母 Muggiaea	4/12	Hobson <i>et al.</i> , 1996
	一种管水母 Stephanomia	6/12	Hobson <i>et al.</i> , 1996
	瓜水母 <i>Beroe</i>	4/12	Hobson <i>et al.</i> , 1996
南美鳎 ³ <i>Seriotelella porosa</i>	栉水母 Ctenophora	62/133	Mianzan <i>et al.</i> , 1996
白斑角鲨 ³ <i>Squalus acanthias</i>	栉水母 Ctenophora	44/221 (冬 Winter)	Mianzan <i>et al.</i> , 1996
巴西真鲷 ³ <i>Stromateus brasiliensis</i>	栉水母 Ctenophora	216/285	Mianzan <i>et al.</i> , 1996
条纹鲷 ³ <i>Terapon theraps</i>	钵水母 Scyphomedusae	22/57	Senta <i>et al.</i> , 1993

1 室内实验获得捕食数据; 2 水母占整个胃含物成分的质量比; 3 胃内含水母个体数/实验检测个数总数

1 Data from laboratory experiments; 2 Weight percentage of pelagic coelenterates in fish stomach; 3 Numbers of fish containing pelagic coelenterates / observed fish numbers

种鱼类, 然而值得思考的是, 冠鳞单棘鲈和银鲷捕食水母相关研究中所用的是体重分别为 1.41 g 和 1.0 g 的幼鱼, 而本研究所用的绿鳍马面鲈为体重 215 g 的成鱼。

3 讨论

水母是一类肉食性低等动物, 与桡足类等其他饵料型浮游动物相比, 水母因水分和无机盐含量极高(占其湿重的 95%以上), 最初被生态学家认为是几乎没有任何饵料价值的浮游动物功能群(Sommer *et al.*, 2002)。本研究结果表明, 绿鳍马面鲈可摄食我国沿海 4 种常见大型水母。基于此, 可以推断该鱼或许可以摄食栉水母、管水母等其他胶质化浮游动物。事实上, 越来越多的研究表明, 胶质化水母可以作为饵料被某些海洋生物利用。甚至有报道称, 胶质化水母可

满足冠鳞单棘鲈幼体及九齿扇虾叶状幼体的基本营养需求及生理代谢, 并分析了胶质化水母在人工养殖上述两种经济物种的可行性(Miyajima *et al.*, 2011; Wakabayashi *et al.*, 2012)。此外, 绿鳍马面鲈摄食不同水母种类的量化, 可为研究该鱼数量及分布变化对水母种群数量变动的影响提供帮助。据报道, 目前我国水母暴发的海域主要集中在渤海辽宁湾、黄海南部和东海北部, 水母旺发时间为每年的 4–10 月(Zhang *et al.*, 2009)。因此在时空分布上, 水母暴发区域和时间与绿鳍马面鲈相吻合, 由此推断绿鳍马面鲈的种群数量变动对 4 种水母的生物量均能产生直接影响。

尽管绿鳍马面鲈能够捕食 4 种水母, 但其摄食能力却存在显著差异。实验结果表明, 其对海月水母捕食量最大, 为 150.7 g/(fish·d), 其次为海蜇和白色霞

水母, 分别为 129.7 和 120.0 g/(fish·d), 而对沙海蜇的捕食量最少, 为 92.5 g/(fish·d)。Liu 等(2014)在对银鲟捕食海月水母和海蜇幼体实验中也有类似的报道, 并推测水母体内水分含量变化及刺细胞毒素的强弱是影响摄食量的原因。我们测定了 4 种水母的水分含量(海月水母: 96.79%–97.28%; 海蜇幼体: 95.86%–96.89%; 白色霞水母: 96.13%; 沙海蜇: 96.29%), 结果表明海月水母水分含量比其他 3 种水母略高, 因此含水量不是影响绿鳍马面鲀摄食量差异的主要因素。同时, 基于目前已报道相关水母毒素实验数据, 4 种水母刺细胞毒性强弱如下: 海月水母最低, 海蜇和白色霞水母次之, 沙海蜇最强(Anderson *et al.*, 2004; Radwan *et al.*, 2005; 苏秀榕等, 2007)。该结论恰好与绿鳍马面鲀摄食不同种类水母的多少相吻合。因此, 推测影响绿鳍马面鲀摄食胶质水母的主要因素是水母毒性的强弱。尽管有研究表明, 摄食水母鱼类可通过加厚皮肤及产生抗水母毒素抗体等方式降低水母毒素的影响, 但当摄食的毒素过多, 超出鱼体承受能力上限后, 仍能致其死亡(Jenkins, 1983; Arai, 1988; Pucell *et al.*, 2001)。

在水母和玉筋鱼过量投喂实验中, 绿鳍马面鲀对水母的摄食量仅减少了 16.9%–20.2%。Miyajima 等(2011)在比较冠鳞单棘鲀摄食海月水母和虾的实验中获得了类似的实验结果。我们推测摄食的偏好性及胶质化水母的易消化特性是其主要原因。鱼类对水母的消化速度是其他饵料的 10–20 倍, 据 Arai(2003)报道, 马苏大马哈鱼(*Oncorhynchus keta*)幼鱼对水母的消化率是虾(*Pandalus sp.*)的 20 倍以上, 因此一旦水母被消化后, 绿鳍马面鲀可继续捕食水母以补充饵料的不足。

大量研究表明, 摄食水母鱼类食性均比较广。从表 5 中可以看出, 在 38 种摄食水母鱼类的胃含物中, 仅有 3 个物种其水母含量为 50%以上。然而, 传统的胃含物分析大多是将捕获鱼类冷冻后或甲醛固定后再观察的方法, 在此过程中胶质化水母很难统计在内, 其数据明显不准确。因此传统胃含物分析法只能定性分析鱼类对水母的捕食情况, 其定量研究只能通过室内实验获得。

总之, 本研究结果表明, 绿鳍马面鲀可捕食我国沿海 4 种大型水母, 其摄食能力是海月水母>海蜇和白色霞水母>沙海蜇, 其摄食能力可能与水母毒性相关。研究表明, 其他适口饵料充足状态下, 绿鳍马面鲀对水母的捕食量仅降低 16.9%–20%。假设水母在自然水域出现的时间是 4–10 月(按 200 d 计算), 体重为 (215 ± 20) g 的绿鳍马面鲀在其他适口饵料存在条件

下每年可摄食水母量为 19.3–22.2 kg。据渔业统计年鉴, 我国每年绿鳍马面鲀的渔获量约为 20 万 t, 相应的其每年摄食水母量为 1798.4–2062.0 万 t。本研究的开展将为研究我国沿海以绿鳍马面鲀为代表的鱼类数量变动与大型水母暴发之间的关系提供参考。

参 考 文 献

- 王跃中, 孙典荣, 贾晓平, 等. 捕捞压力和气候变化对东海马面鲀渔获量的影响. 南方水产科学, 2013, 9(1): 8–15
- 苏秀榕, 杨春, 黄晓春, 等. 两种海蜇毒素的分子标记研究. 海洋与湖沼, 2006, 37(3): 206–210
- 张芳, 孙松, 李超伦. 海洋水母类生态学研究进展. 自然科学进展, 2009, 19(2): 121–130
- 郑凤英, 陈四清, 倪佳. 海月水母的生物学特征及其爆发. 海洋科学进展, 2010, 28(1): 126–132
- 程家骅, 丁峰元, 李圣法, 等. 东海区大型水母数量分布特征及其与温盐度的关系. 生态学报, 2005, 25(3): 440–445
- Anderson PA, Thompson LF, Moneypenny CG. Evidence for a common pattern of peptidergic innervation of cnidocytes. Biol Bull, 2004, 207(2): 141–146
- Arai MN. Interactions of fish and pelagic coelenterates. Can J Zool, 1988, 66: 1913–1927
- Arai MN. Predation on pelagic coelenterates: a review. J Mar Biol Assoc UK, 2005, 85(03): 523–536
- Arai MN, Welch DW, Dunsmuir AL, *et al.* Digestion of pelagic Ctenophora and Cnidaria by fish. Can J Fish Aquat Sci, 2003, 60(7): 825–829
- Balanov AA, Gorbatenko KM, *et al.* Foraging dynamics of mesopelagic fishes in the Bering Sea during summer and autumn. J Appl Ichthyol, 1995, 35: 65–77
- Balanov AA, Gorbatenko KM, *et al.* Daily feeding dynamics of mesopelagic fishes in the Bering Sea during summer. J Appl Ichthyol, 1994, 34: 85–99
- Bowman RE, Stillwell CE, Michaels WL, *et al.* Food of Northwest Atlantic fishes and two common species of squid. NOAA Technical Memorandum NMFS-NE, 2000, 155: 1–137
- Brodeur RD, Lorz HV, Percy WG. Food habits and dietary variability of pelagic nekton off Oregon and Washington, 1979–1984. NOAA Technical Report NMFS, 1987, 57: 1–32
- Cowan JHJ, Houde ED. Relative predation potentials of scyphomedusae, ctenophores and planktivorous fish on ichthyoplankton in Chesapeake Bay. Mar Ecol Prog Ser, 1993, 95: 55–65
- Dong Z, Liu D, Keesing JK. Jellyfish blooms in China: Dominant species, causes and consequences. Mar Pollut Bull, 2010, 60(7): 954–963
- Gorbatenko KM, Il'inskii EN. Feeding behavior of the most common mesopelagic fishes in the Bering Sea. J Appl Ichthyol, 1992, 32: 52–60

- Hall SJ, Raffaelli D, Basford DJ, *et al.* The feeding relationships of the larger fish species in a Scottish sea loch. *J Fish Biol*, 1990, 37(5): 775–791
- Hobson ES, Chess JR, Howard DF. Zooplankters consumed by Blue Rockfish during brief access to a current off California's Sonoma Coast. *California Fish Game*, 1996, 82: 87–92
- Hopkins TL, Gartner JV. Resource partitioning and predation impact of a low-latitude myctophid community. *Mar Biol*, 1992, 114(2): 185–197
- Il'inskii EN, Gorbatenko KM. Main trophical relationship between nekton of the mesopelagical of the Sea of Okhotsk. *News of Pacific Research University of Fishery and Oceanography*, 1994, 116: 1–18
- Jenkins RL. Observations on the commensal relationship of *Nomeus gronovi* with *Physalia physalis*. *Copeia*, 1983(1): 250–252
- Lancraft TM, Hopkins TL, Torres JJ, *et al.* Oceanic micro-nektonic/macrozooplanktonic community structure and feeding in ice covered Antarctic waters during the winter (AMERIEZ 1988). *Polar Biol*, 1991, 11: 157–167
- Liu CS, Zhuang ZM, Chen SQ, *et al.* Medusa consumption and prey selection of silver pomfret *Pampus argenteus* juveniles. *Chin J Oceanol Limnol*, 2014, 32(1): 71–80
- Mianzan HW, Mari N, Prenski B, *et al.* Fish predation on neritic ctenophores from the Argentine continental shelf: a neglected food resource? *Fish Res*, 1996, 27: 69–79
- Miyajima Y, Masuda R, Kurihara A, *et al.* Juveniles of threadsail filefish, *Stephanolepis cirrhifer*, can survive and grow by feeding on moon jellyfish *Aurelia aurita*. *Fish Sci*, 2011, 77(1): 41–48
- Nesin AV. Feeding of peruvian horse mackerel *Trachurus symmetricus murphyi* in the Southwestern Pacific. *J Appl Ichthyol*, 2004, 44: 132–134
- Pakhomov YA. Feeding habits and estimate of ration of Gray Notothenia, *Notothenia squamifrons squamifrons*, on the Ob and Lena Tablemounts (Indian Ocean Sector of Antarctica). *J Appl Ichthyol*, 1993, 33: 57–71
- Purcell JE, Arai MN. Interactions of pelagic cnidarians and ctenophores with fish: a review. *Hydrobiologia*, 2001, 451(1–3): 27–44
- Purcell JE, Nemazie DA, Dorsey SE, *et al.* Predation mortality of bay anchovy (*Anchoa mitchilli*) eggs and larvae due to scyphomedusae and ctenophores in Chesapeake Bay. *Mar Ecol Prog Ser*, 1994, 114: 47–58
- Radwan FY, Roman LG, Baksi KS, *et al.* Toxicity and mAChRs binding activity of *Cassiopea xamachana* venom from Puerto Rican coasts. *Toxicon*, 2005, 45(1): 107–112
- Robison BH, Reisenbichler KR, Sherlock RE. Giant larvacean houses: Rapid carbon transport to the deep sea floor. *Science*, 2005, 308(5728): 1609–1611
- Sobolevskii EI, Senchenko IA. The spatial structure and trophic connections of abundant pelagic fish of eastern Kamchatka in the autumn and winter. *J Appl Ichthyol*, 1996, 36: 30–39
- Sommer U, Stibor H, Katechakis A, *et al.* Pelagic food web configurations at different levels of nutrient richness and their implications for the ratio fish production: primary production. *Hydrobiologia*, 2002, 484: 11–20
- Senta T, Kimura M, Kanbara T. Predation of fishes on open-ocean species of sea-skaters (*Halobates* spp.). *Jap J Ichthyol*, 1993, 40: 193–198
- Tadokoro K, Ishida Y, Davis ND, *et al.* Change in chum salmon (*Oncorhynchus keta*) stomach contents associated with fluctuation of pink salmon (*O. gorbuscha*) abundance in the central subarctic Pacific and Bering Sea. *Fish Oceanogr*, 1996, 52: 89–99
- Wakabayashi K, Sato R, Ishii H, *et al.* Culture of phyllosomas of *Ibacus novemdentatus* (Decapoda: Scyllaridae) in a closed recirculating system using jellyfish as food. *Aquaculture*, 2012, 330: 162–166
- Yang MS, Nelson MW. Food habits of the commercially important groundfishes in the Gulf of Alaska in 1990, 1993, and 1996. NOAA Technical Memorandum NMFS AFSC, 2000, 112: 174
- Zhang F, Sun S, Jin X, *et al.* Associations of large jellyfish distributions with temperature and salinity in the Yellow Sea and East China Sea. *Hydrobiologia*, 2012, 690(1): 81–96

(编辑 江润林)

Navodon septentrionalis Predation of Four Species of Giant Jellyfish

LIU Chunsheng, ZHUANG Zhimeng, CHEN Siqing^①, LIU Changlin, ZHAO Peng, CHEN Zhaoting

(Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture,
Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

Abstract The predatory behavior of filefish *Navodon septentrionalis* to *Aurelia aurita* was observed before. Here we hypothesized that there were also predator-prey relationships between filefish and other jellyfish species. We explored the predatory behaviors of filefish to four species of giant jellyfish, including *Rhopilema esculentum*, *Nemopilema nomurai*, *A. aurita* and *Cyanea nozakii*, under laboratory conditions. We also studied the prey selection of filefish among jellyfish species of *R. esculentum* and *A. aurita*, and sand lance. Filefish weighted (215±20) g actively preyed on all four jellyfish species, and its daily medusae consumption of *A. aurita*, *R. esculentum*, *C. nozakii*, and *N. nomurai* was 150.7±18.6, 129.7±11.6, 120.0±19.3, and 92.5±11.3 g/fish respectively. It was the medusae biomass, not the bell diameter that affected the daily consumption when medusae of *A. aurita* and *R. esculentum* were fed to filefish. All medusae were preyed when their biomass was below the maximum consumption of filefish. Filefish did not prey more than the daily maximum consumption even if the medusa exceeded the maximum consumption, however, the remaining medusae all died because their tentacles and edges of umbrella were eaten. Filefish showed prey preference for jellyfish when sand lance was fed along with medusae of *A. aurita* and *R. esculentum*, and the daily consumption of *A. aurita* and *R. esculentum* was only reduced by 20.2% and 16.9%. These results should contribute to better understanding of the relationship between changes in fish population and giant jellyfish blooms in Chinese coastal areas.

Key words Filefish *Navodon septentrionalis*; *Rhopilema esculentum*; *Nemopilema nomurai*; *Aurelia aurita*; *Cyanea nozakii*; Consumption

① Corresponding author: CHEN Siqing, E-mail: chensq@ysfri.ac.cn