

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2018.17150

南海北部陆坡金鼻眶灯鱼秋季摄食节律

李忠义^{1,2,3}, 杨尧尧^{1,2,3}, 应一平^{1,2,3}, 陈作志⁴, 王新良^{1,2,3}, 赵宪勇^{1,2,3},
龚玉艳⁴, 张俊⁴, 张武昌⁵, 郑珊⁵

1. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室, 山东 青岛 266071;
2. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266235;
3. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东省渔业资源与生态环境重点实验室, 山东 青岛 266071;
4. 中国水产科学研究院 南海水产研究所, 广东 广州 510300;
5. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071

摘要: 中层鱼是深海食物网的重要组成部分, 其摄食节律的研究对探讨以中层鱼为核心的能量流动与物质循环具有重要意义。本研究利用 2014 年 10 月南海北部陆坡海域拖网调查数据, 对中层鱼优势种金鼻眶灯鱼(*Diaphus chryso-rhynchus*)秋季的摄食节律进行了研究。结果表明: (1)金鼻眶灯鱼取样体长范围为 28~110 mm, 集中于 50~59 mm 体长组, 各时间段摄食等级与体长间均不存在正相关; (2)金鼻眶灯鱼在 18:00 左右上浮摄食, 次日 05:30 左右达到摄食高峰, 为连续摄食, 5 个取样时间段平均摄食等级范围为 1.50~2.57, 呈增长趋势; (3)差异性分析表明, 金鼻眶灯鱼傍晚与夜间或清晨间摄食等级差异性显著, 表现在 18:30~19:30 时间段与 01:00~02:00、04:45~05:50 或 06:30~07:30 三个时间段间($P=0.041$; $P=0.000$; $P=0.007$), 另 03:30~04:30 与 04:45~05:50 时间段间摄食等级也存在极显著差异($P=0.005$); (4)金鼻眶灯鱼各时间段摄食等级频率呈波浪形变化, 4 级频率在 06:30~07:30 时间段达到最高峰; 0 级频率在黄昏 18:30~19:30 时最高, 01:00~02:00 降为 0, 03:30~04:30 上升到黄昏时的一半, 此后连续下降。总体而言, 金鼻眶灯鱼傍晚至次日清晨连续摄食, 连续排遗, 摄食集中于清晨。综上所述, 金鼻眶灯鱼是一种昼夜垂直迁移、夜间连续摄食与排遗的浮游动物食性鱼类, 其在南海陆坡水域能量流与物质流中起着承上启下的作用。

关键词: 南海; 陆坡; 中层鱼; 金鼻眶灯鱼; 摄食节律; 摄食强度

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2018)02-0395-08

中层鱼主要分布在 200~1000 m 水层的深海海洋中^[1], 据估计是全球生物量最丰富的鱼类, 在海洋生态系统低营养级生物与高营养级生物间及海表与深海间起着重要的连接作用^[2-3], 是海洋生态系统重要的组成部分^[4]。金鼻眶灯鱼(*Diaphus chryso-rhynchus*)属灯笼鱼科(Myctophidae), 眶灯鱼属(*Diaplius*), 灯笼鱼科是一群生活在开阔海洋中层水域的大洋性深层鱼类, 是中层鱼的重要组成部分^[5], 生物量非常丰富^[2, 6]。巨大的资源量使得灯笼鱼成为众多捕食者的捕食对象, 如鱿鱼(*Loligo*

chinensis)、金枪鱼(*Thunnus thynnus*)、海豚(*Delphinidae*)等高级捕食者^[7-11]。中国南海北部海域有 1100 多种鱼类, 除 200 多种传统经济鱼种外, 饵料鱼种非常丰富, 灯笼鱼科等中层鱼类是该海域的优势种群, 生物量非常丰富^[12], 有巨大的开发利用价值。

摄食节律是摄食行为学的重要内容, 不同鱼种具有各自的摄食节律^[13-15], 这是其对生活环境的一种主动适应。摄食节律的研究, 可以了解生物种群分布、饵料消化时间和排遗情况等内容。

收稿日期: 2017-04-28; 修订日期: 2017-06-08.

基金项目: 国家 973 计划项目(2014CB441500).

作者简介: 李忠义(1974-), 副研究员, 主要从事海洋生态研究. E-mail: lizy@ysfri.ac.cn

通信作者: 赵宪勇, 研究员. E-mail: zhaoxy@ysfri.ac.cn

关于金鼻眶灯鱼的摄食节律研究报道较少。研究金鼻眶灯鱼的摄食节律,有助于认识金鼻眶灯鱼在南海陆坡食物网物质流和能量流中的作用,为深入研究南海中层鱼类提供基础资料,推动中国生态系统食物产出研究从陆架浅海向深海发展。

1 材料与方法

1.1 样品采集

金鼻眶灯鱼样品源于 2014 年 10 月份南海北部陆坡区海洋生物资源调查,调查取样站位为 A、B、C、D、E 5 个站点点(图 1),每个站点取所有金鼻眶灯鱼样品。渔业资源调查使用专业中层鱼拖网,规格为主尺寸:136.8 m×50.85 m(网衣全长×网口周长),上下纲均为 25 m,为正正方形的 4 片网,网口高度:6.2~10.5 m,平均为 8.6 m,网囊网目 1 cm。

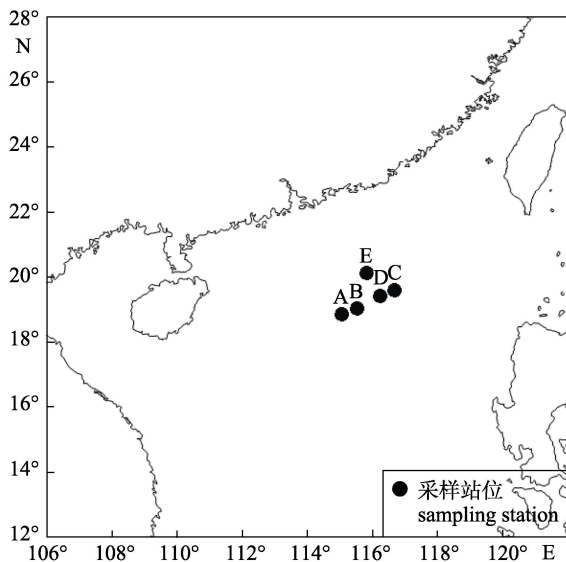


图 1 采样站位图

Fig. 1 Sampling stations in the northern South China sea

1.2 生物学测定与分析

摄食强度表示生物胃内或肠道内食物饱满的程度。根据“海洋生物资源调查与环境调查规范”标准,采用目测法分析金鼻眶灯鱼摄食强度,将摄食强度分为 0~4 共 5 个等级。“0”表示空胃;“1”表示胃内有少量食物,其体积不超过胃腔的 1/2;“2”表示胃内食物较多,其体积超过胃腔的 1/2;“3”表示胃内充满食物,但胃壁不膨胀;“4”表示胃内食物饱满,胃壁膨胀变薄。

金鼻眶灯鱼生物学按照海洋调查规范进行生物学测定,海上实时进行。金鼻眶灯鱼体长测量数据精度为 1 mm。以 10 mm 为间隔对金鼻眶灯鱼进行体长分组,分析摄食等级随体长变化的规律,为了避免个体可能对分析造成的误差,剔除样本量小于 10 尾的体长组。分析体长与摄食强度间的相关性,不同时间段摄食强度均值差异性分析,先采用 F 检验分析摄食强度方差差异,再采用 T 检验分析。数据分析采用 SPSS16.0。

2 结果与分析

2.1 金鼻眶灯鱼生物学特征

生物各时间段的摄食强度是其摄食节律的直接反映。对 5 个时间段金鼻眶灯鱼样品摄食强度进行鉴定(表 1)。发现金鼻眶灯鱼于 18:00 左右上浮摄食,凌晨 05:30 左右达到摄食高峰,平均摄食等级分别为 1.50 和 2.57。总体而言,金鼻眶灯鱼平均摄食强度变化趋势是 19:00 左右开始上升,于次日凌晨 06:00 左右开始下降。

分析金鼻眶灯鱼 5 个时间段的摄食强度频率,发现各时间段金鼻眶灯鱼胃饱和状况有明显变化(图 2)。在 T1 时间段,金鼻眶灯鱼摄食等级主要分布在 1~2,满胃和胃部膨胀现象较少;T2 时间段,摄食等级主要分布仍在 1~2,但没有出现空胃现象,胃膨胀率增加;T3 时间段,摄食等级主要分布仍在 1~2,出现空胃现象,胃膨胀率减小;T4 时间段,摄食等级主要分布在 2~3,空胃率减小,胃膨胀率增加;T5 时间段,摄食等级主要分布在 1~4,等级 1 分布频率最高,空胃率进一步减小,胃膨胀率稍增加。各时间段摄食等级频率呈波浪形变化,等级 4 频率在 T5 时间段达到最高峰;等级 0 频率黄昏 T1 时最高, T2 降为零, T3 上升到黄昏时的一半,此后连续下降。

金鼻眶灯鱼各时间段摄食强度显著性差异分析结果见表 2。研究发现金鼻眶灯鱼开始时间段 T1 与夜间 T2、T4 及凌晨 T5 三个时间段间均存在摄食强度显著差异性($P<0.05$),其中与时间段 T4 及 T5 胃摄食等级有极显著性差异($P<0.01$);时间段 T3 与 T4 间金鼻眶灯鱼摄食等级也存在极显著差异($P<0.01$)。

表 1 不同时间段金鼻眶灯鱼的摄食强度
Tab. 1 Feeding intensity of *Diaphus chrysorhynchus* at different time intervals

站位 station	水深/mm water depth	时间 time	样本量 sampling size, <i>n</i>	摄食等级 feeding intensity	体长/mm body length
A	75	T1: 18:30~19:30	38	1.50±0.18	57.22±7.07
B	430	T2: 01:00~02:00	30	2.07±0.20	47.14±1.25
C	80	T3: 03:30~04:30	47	1.94±0.16	56.60±1.57
D	75	T4: 04:45~05:45	82	2.57±0.12	58.02±1.22
E	450	T5: 06:00~07:00	31	2.29±0.22	61.84±5.57

注: A~E 具体位置见图 1.

Note: The locations of A - E are shown in Fig. 1.

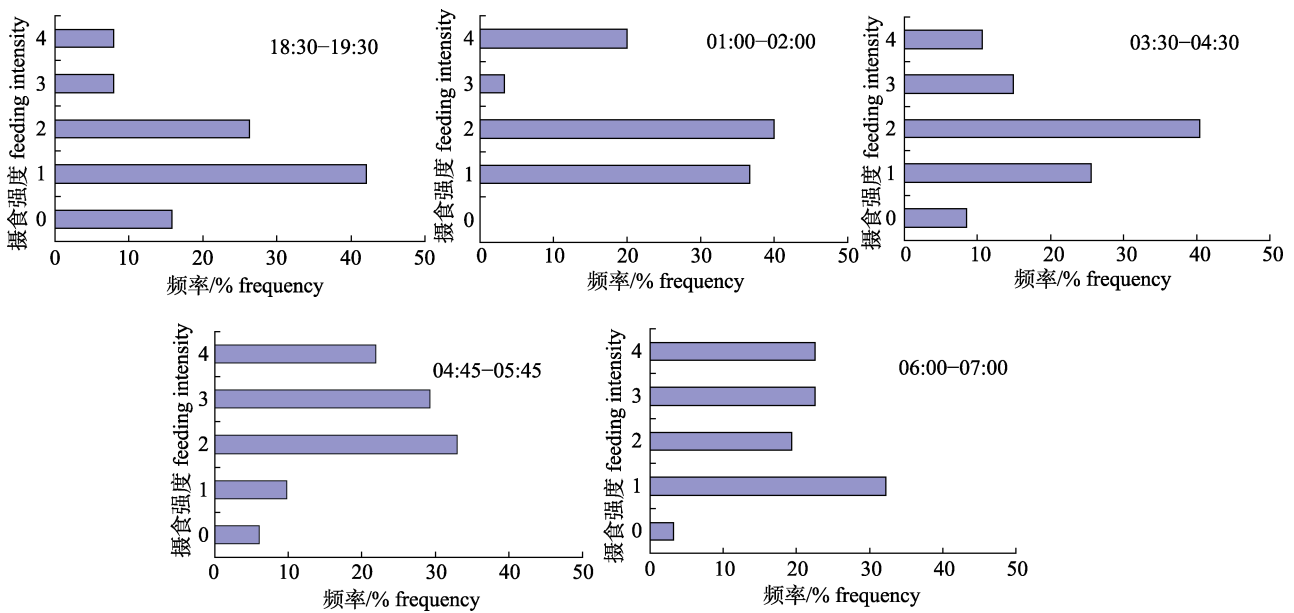


图 2 金鼻眶灯鱼 5 个时间段摄食强度状况

Fig. 2 Feeding intensity of *Diaphus chrysorhynchus* in five time intervals

表 2 金鼻眶灯鱼各时间段摄食强度的差异性分析
Tab. 2 Difference analyses of *Diaphus chrysorhynchus* feeding intensity among different time intervals

时间 time	显著水平 significant level				
	T1	T2	T3	T4	T5
T1	-	0.041*	0.073	0.000**	0.007**
T2	0.041*	-	0.613	0.065	0.462
T3	0.073	0.613	-	0.005**	0.189
T4	0.000**	0.065	0.005**	-	0.365
T5	0.007**	0.462	0.189	0.365	-

注: T1: 18:30~19:30; T2: 01:00~02:00; T3: 03:30~04:30; T4: 04:45~05:50; T5: 06:30~07:30. **: $P < 0.01$; *: $P < 0.05$.

2.2 摄食强度与体长的关系

所有金鼻眶灯鱼体长范围为 28~110 mm, 集中于 40~80 mm, 随着体长变大, 摄食强度的离散程度越来越大。摄食强度在 5 个等级均有分布, 其

中空胃率较低。体长增大时, 摄食强度平均水平有增大趋势($n=228$, 图 3)。

对全部时段金鼻眶灯鱼各体长组摄食强度和体长进行分析($n=228$, 图 3)。金鼻眶灯鱼体长主要集中在 40~49 mm、50~59 mm、60~69 mm、70~79 mm 体长组, 其中 50~59 mm 为优势体长组。各体长组平均摄食等级范围为 1.57~2.44, 其中最大值出现在 80~89 mm 体长组, 最小值出现在 30~39 mm 体长组。研究发现金鼻眶灯鱼平均摄食强度随体长增加开始呈增加趋势, 后趋于平缓, 摄食等级与体长间虽然存在正协方差, 但各个时间段及整体时间段内金鼻眶灯鱼体长与摄食强度间均不存在正相关(依时间顺序 r 值分别为 0.31、0.01、-0.16、0.21、0.05 和 0.12)。

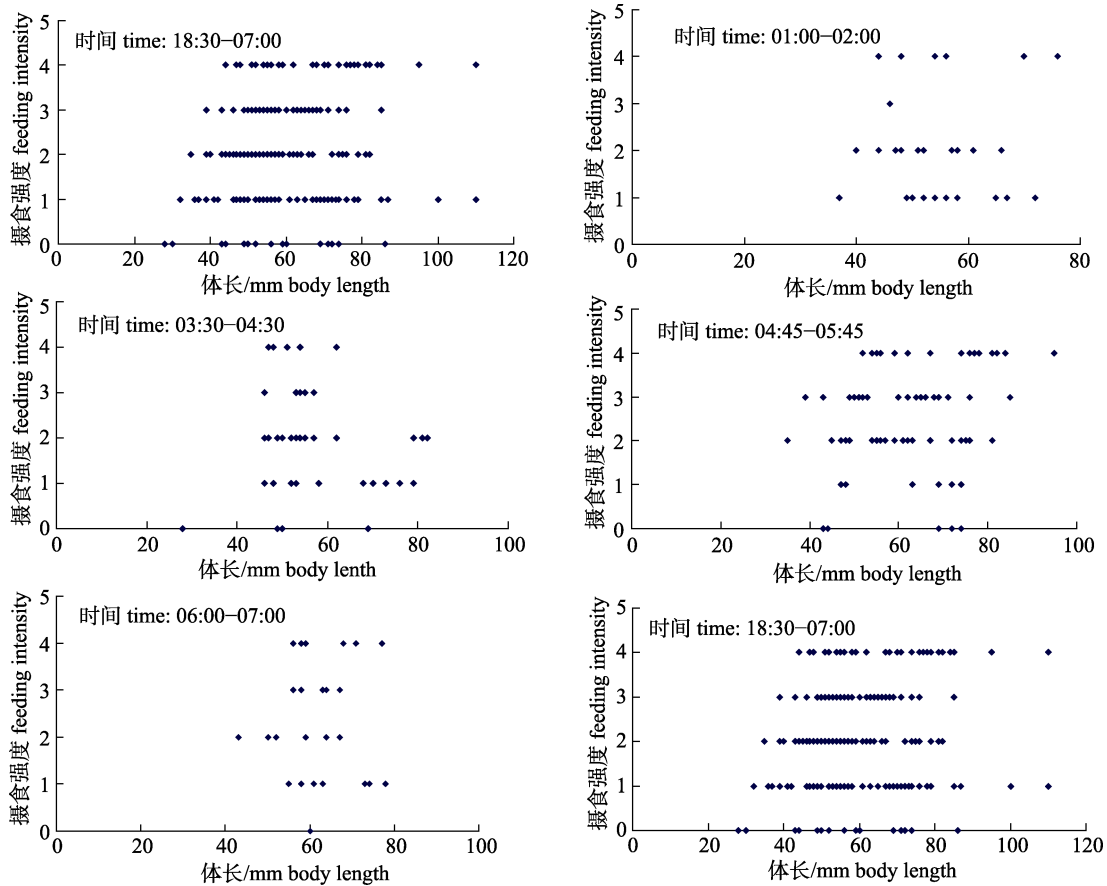


图 3 金鼻眶灯鱼各时间段体长与摄食强度的关系

Fig. 3 Relationship between body length and feeding intensity of *Diaphus chrysorhynchus* at different time intervals

3 讨论

3.1 金鼻眶灯鱼的摄食节律

大部分中层鱼类存在昼夜迁移现象,一般在夜间迁移至上层水层觅食,白天潜到更深处^[1],南海北部陆坡海域金鼻眶灯鱼与其他一些中层鱼也存在此生活习性,调查发现金鼻眶灯鱼大约在 18:00 时上浮到表层,并在此水层停留摄食。航次同行的浮游动物研究组取样发现此水层为浮游动物生物量高值区,为金鼻眶灯鱼摄食提供重要的食物基础。浮游动物研究组同时发现浮游动物在垂直迁移时,其生物量有两个高峰时间点,分别在 15:30 和 05:00,而金鼻眶灯鱼在 04:45~05:50 时间段处平均摄食等级最高,与浮游动物生物量高峰时间点基本一致。由此可判断金鼻眶灯鱼的昼夜垂直迁移与其饵料生物量分布是一致的,金鼻眶灯鱼在摄食高峰结束后于 06:00 时开始下潜到海域较深处处。

鱼类的胃排空时间除受自身生理因素的影响,还受温度、体重、食物粒径和性质等生态和生理因素的影响^[16-17]。孙晓锋等^[18]研究发现罗非鱼幼鱼摄食 3 h 后胃内饲料下降 40%, 80% 胃内饲料排空时间为 9 h, 完全胃排空需 15 h。孙耀等^[19]研究与金鼻眶灯鱼同为浮游动物食性的小型鳀 (*Engraulis*), 2~5 个月个体年龄,其 50% 胃含物的排空时间为 5.25~7.07 h。研究金鼻眶灯鱼摄食强度的时间变化,发现时间段 T1 与 T2、T4 及 T5 间均摄食强度均存在显著差异 ($P < 0.05$), T3 与 T4 时间段间摄食强度存在极显著性差异 ($P < 0.01$), 推测其 50% 胃含物的排空时间为 7~8 h。

鱼类的摄食节律受其“内源性”和外界条件的共同作用,更多地反映在其“内源性”^[20]。鱼类摄食的昼夜节律分为白昼型、夜间型、晨昏型、无明显节律型 4 种类型^[21]。因调查项目的综合考量, 20:00~01:00 时间段没有采集金鼻眶灯鱼摄食样品,金鼻眶灯鱼在 18:00 就开始摄食,虽然没有

20:00 至次日 01:00 时间段内的样品, 就整个研究时间段的摄食情况及鱼类 4 种摄食类型的划分可推测金鼻眶灯鱼为傍晚至次日清晨段夜间连续摄食类型。

Rindorf^[22]研究发现, 牙鳕(*Gadus merlangus*)胃中已消化的食物会对其再次摄食新鲜的食物产生一定的抑制作用。金鼻眶灯鱼夜间连续摄食, 其胃内食糜可能不会对其于夜间再次摄食新鲜食物产生抑制作用, 抑或只有轻微抑制作用, 具体情况也需进一步探索研究。

摄食节律是影响生物生长和氮收支的重要因素, 摄食水平的不同会影响鱼类的生长及排遗。鱼类的食物转化效率通常随着摄食强度的增加而增大, 排泄率及排泄量也随之增加, 草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)在摄食 5~8 h 后氨排放达到最高峰^[23], 红大麻哈鱼(*Oncorhynchus nerka*)为 4~4.5 h^[24]、日本鳎(*Chaetodon nippon*)为 6 h^[25]、银大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta*)为 9 h^[26], 摄食能促进鱼类加大氨和尿素的排放, 摄食鱼的排泄能力几乎是饥饿鱼的 2 倍^[26]。谢晓辉等^[27]发现虎斑乌贼(*Sepia pharaonis*)摄食高峰与排泄极为相似, 表现为昼少夜多。鱼类胃排空的研究目前多集中在排空时间, 不同种结果差异较大, 排空生理机制的研究还较少。但许多研究认为摄食越频繁排空率越快^[28-29]。小型鱼因胃扩张更大, 带动胃蠕动及胃酶与胃酸的分泌, 加快消化和排空^[30-31]。推测作为傍晚至次日清晨段连续摄食的小型饵料鱼类, 金鼻眶灯鱼在傍晚摄食后不久至次日清晨这段时间会连续排遗, 其排遗物可为次日浮游植物的光合作用及细菌生长提供营养物质, 此生理现象有待进一步验证。金鼻眶灯鱼的这种摄食节律对生态系统物质流和能量流的传递与再生应具有重要的循环作用。

关于鱼类摄食节律的报道较多集中于淡水养殖鱼种。生活于水体上层并且视觉发达的鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)和生活于水体中上层的草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)一昼夜中具有 2 个摄食高峰^[32], 而中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)、大口鲶(*Silurus meridionalis*)、革胡子鲶(*Clarias lazera*) 和乌鳢(*Channa*

argus) 等底层视觉不发达鱼蟹类的摄食节律在黄昏、傍晚或清晨具有 1~2 个摄食高峰^[33-34]。这反映了不同类型的鱼类感觉器官在觅食机制上的差异, 白昼型鱼类通常视觉发达, 夜晚型鱼类嗅觉发达, 前者主要依赖视觉觅食, 后者主要依赖嗅觉觅食^[35]。金鼻眶灯鱼具有昼夜垂直迁移行为, 在夜间上浮摄食, 至清晨结束摄食再下降, 属于夜间摄食型。光线、温度、季节等环境因素对于金鼻眶灯鱼摄食的具体影响有待进一步研究。

3.2 金鼻眶灯鱼的生态功能

龚玉艳等^[36]对本研究所采样的金鼻眶灯鱼进行了胃含物同期镜检, 发现其主要摄食桡足类(*Copepoda*)与磷虾(*Euphausiace*)等浮游甲壳动物, 其中桡足类为绝对优势饵料生物类群, 其相对重要性指数百分比(%IRI)、个数百分比(N%)、质量百分比(W%)和出现频率(F%)分别为 74.00、85.64、18.39 和 100.00。Noord^[37]与金海卫等^[38]也证实桡足类是灯笼鱼(*Myctophidae*)的主要食物源。由此可知金鼻眶灯鱼等小型中层鱼主要摄食甲壳动物, 属于浮游动物食性鱼类。摄食浮游动物的中层小型鱼类同时也是许多高营养级生物的食物组成^[39-42], 其在生态系统中为高营养级生物的食物, 在食物网中起桥梁连接作用, 对碳氮循环起着重要作用^[3-4]。金鼻眶灯鱼可能具有昏晨间连续摄食与连续排遗等生活习性, 这种摄食节律可为次日浮游植物的光合作用及细菌生长提供营养物质, 且南海陆坡海域金鼻眶灯鱼等中层鱼类生物量巨大^[12]。研究表明浮游动物食性的金鼻眶灯鱼等小型中层鱼在南海陆坡水域能量流与物质流中起着承上启下的作用。

随着近些年来中国开发新资源、走向深远海的战略选择, 金鼻眶灯鱼等中层鱼资源的探索开发和合理利用日显重要。进一步探究其种群分布、饵料消化时间和排遗情况等内容, 对研究南海陆坡生态系统具有重要意义, 同时可为南海陆坡中层鱼资源的合理开发和利用提供科学基础。

参考文献:

- [1] Irigoien X, Klevjer T A, Røstadl A, et al. Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean[J]. Nature Communication, 2014, 5(2): 1-10.

- [2] Kaartvedt S, Staby A, Aksnes D L. Efficient trawl avoidance by mesopelagic fishes causes large underestimation of their biomass[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2012, 456(2): 1-6.
- [3] Davison P C, Checkley D M, Koslow J A, et al. Carbon export mediated by mesopelagic fishes in the northeast Pacific Ocean[J]. *Progress in Oceanography*, 2013, 116(9): 14-30.
- [4] Sassa C, Hirota Y. Seasonal occurrence of mesopelagic fish larvae on the onshore side of the Kuroshio off southern Japan[J]. *Deep-Sea Research I*, 2013, 81(7): 49-61.
- [5] Yang J J, Huang Z Y, Chen S Z, et al. The Deep-water pelagic Fishes in the Area from Nansha Islands to the Northeast Part of South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 1996: 2-50. [杨家驹, 黄增岳, 陈素芝, 等. 南沙群岛至南海东北部海域大洋性深海鱼类[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 2-50.]
- [6] Gjosaeter J, Kawaguchi K. A review of the world resources of mesopelagic fish[J]. *FAO Fish Technology Paper*, 1980, 193(193): 123-124.
- [7] Markaida U. Food and feeding of jumbo squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California and adjacent waters after the 1997-1998 El Niño event[J]. *Fisheries Research*, 2006, 79(1-2): 16-27.
- [8] Parry M. Feeding behavior of two ommastrephid squids *Ommastrephes bartramii* and *Sthenoteuthis oualaniensis* off Hawaii[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2006, 318(1): 229-235.
- [9] Robertson K M, Chivers S J. Prey occurrence in pantropical spotted dolphins, *Stenella attenuata*, from the eastern tropical Pacific[J]. *Fishery Bulletin*, 1997, 95(2): 334-348.
- [10] Moteki M, Arai M, Tsuchiya K, et al. Composition of piscine prey in the diet of large pelagic fish in the eastern tropical Pacific Ocean[J]. *Fisheries Science*, 2001, 67(6): 1063-1074.
- [11] Bertrand A, Bard F X, Josse E. Tuna food habits related to the micronekton distribution in French Polynesia[J]. *Marine Biology*, 2002, 140(5): 1023-1037.
- [12] Li Y Z, Chen G B, Zhao X Y, et al. Acoustic assessment of non-commercial small-size fish resources in the northern waters of South China Sea[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2005, 35(2): 206-212. [李永振, 陈国宝, 赵宪勇, 等. 南海北部海域小型非经济鱼类资源声学评估[J]. *中国海洋大学学报*, 2005, 35(2): 206-212.]
- [13] Post J R. Metabolic allometry of larval and juvenile yellow perch (*Perca flavescens*): in situ estimates and a bioenergetic model[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1990, 47: 554-560.
- [14] Madon S P, Culver D A. Bioenergetics model for larval and juvenile walleyes: an in situ approach with experimental ponds[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1993, 122(5): 797-813.
- [15] Boisclair D, Sirois P. Testing assumptions of fish bioenergetics models by direct estimation of growth, consumption, and activity rates[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1993, 122(5): 784-796.
- [16] Jobling M. Mathematical models of gastric emptying and estimation of daily rates of the food consumption for fish[J]. *Journal of Fish Biology*, 1981, 19(3): 245-257.
- [17] Flowerdew M, Grove D J. Some observations of the effect of body weight temperature, meal size and quality on gastric emptying time in turbot, *Scophthalmus maximus* (L) using radiography[J]. *Journal of Fish Biology*, 1979, 14(2): 229-238.
- [18] Sun X F, Feng J, Chen J H, et al. Effects of feeding frequency on gastric evacuation, growth, benefit and body composition of juvenile genetic improved farmed tilapia strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(11): 1677-1683. [孙晓锋, 冯健, 陈江虹, 等. 投喂频率对尼罗罗吉富罗非鱼幼鱼胃排空、生长性能和体组成的影响[J]. *水产学报*, 2011, 35(11): 1677-1683.]
- [19] Sun Y, Ma Z M, Liu Y, et al. The gastric evacuation rate of anchovy *Engraulis japonicus* in different growth stages in huanghai Sea and East Sea China [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2006, 28(3): 103-108. [孙耀, 马志敏, 刘勇, 等. 东海、黄海不同生长时期鱼的胃排空率[J]. *海洋学报*, 2006, 28(3): 103-108.]
- [20] Bolliet V, Aranda A, Boujard T. Demand-feeding rhythm in rainbow trout and European catfish synchronization by photoperiod and food availability[J]. *Physiology & Behavior*, 2001, 73(4): 625-633.
- [21] Helfman G S. Fish Behavior by Body, Night and Twilight. In: Behavior of Teleost fishes (Tong J. Pitcher ed)[M]. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1986: 366-387.
- [22] Rindorf A. The effect of stomach fullness on food intake of whiting in the North Sea[J]. *Journal of Fish Biology*, 2002, 61(3): 579-593.
- [23] Zhou H Q, Pan Z L, Li S Q, et al. Effect of feeding and temperature on nitrogenous excretion of grass carp (*Ctenopharygodon idells*) [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 1999, 8(4): 293-297. [周洪琪, 潘兆龙, 李世钦, 等. 摄食和温度对草鱼氮排泄影响的初步研究[J]. *上海水产大学学报*, 1999, 8(4): 293-297.]
- [24] Brett J R, Groves T D D. Physiological energetics. In: Fish Physiology, Vol. 8 (Hoar W S, Randal D J, Brett J eds) [M].

- New York: Academic Press, 1979: 279-352.
- [25] Kikuchi K, Takeda S, Honda H, et al. Nitrogenous excretion of juvenile and young Japanese flounder[J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1992, 58(12): 2329-2333.
- [26] Mclean W E, Fraser F J. Ammonia and urea production of coho salmo under hatchery condition[M]. Environmental Prot Ser, Pac. Region, Surveillance Rep Eps, Washington D C, Environmental Protection Agency, 1974, 5-PR-74-561.
- [27] Xie X H, Huang G G, Liang W F, et al. The feeding, excretion and point of no-return in larval cuttlefish *Sepia pharaonis*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2011, 26(4): 352-355. [谢晓辉, 黄国光, 梁伟峰, 等. 虎斑乌贼幼体的摄食、排泄及不可逆点的研究[J]. 大连海洋大学学报, 2011, 26(4): 352-355.]
- [28] Hofer R, Forstner H, Rettenwander R. Duration of gut passage and its dependence on temperature and food consumption in roach, *Rutilus rutilus* (L.), laboratory and field experiments[J]. Journal of Fish Biology, 1982, 20(3): 289-301.
- [29] Rosch R. Effect of experimental conditions on the stomach evacuation of *Coregonus lavaretus*[J]. Journal of Fish Biology, 1987, 30(5): 521-532.
- [30] Flowerdew M, Grove D J. Some observations of the effects of body weight, temperature, meal size and quality on gastric emptying time in turbot (*Scophthalmus merrimus*) using radiography[J]. Journal of Fish Biology, 1979, 14(2): 229-238.
- [31] Mills E L, Ready R C, Jahncke M, et al. A gastric evacuation model for young perch, *Perca flavescens*[J]. Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, 1984, 41(3): 513-518.
- [32] Li S F, Yang H Q, Lu W M. Preliminary research on diurnal feeding rhythm and the daily ration for silver carp, bighead carp and grass carp[J]. Journal of Fisheries of China, 1980, 4(3): 275-283. [李思发, 杨和荃, 陆伟民. 鲢、鳙、草鱼摄食节律和日摄食率的初步研究[J]. 水产学报, 1980, 4(3): 275-283.]
- [33] Wang J Q, Pang P M, Yu J, et al. The studies of food selection, feeding amount and feeding rhythm of on *Eriocheir sinensis*[J]. Reservoir Fisheries, 2000, 20(4): 6-7. [王吉桥, 庞璞敏, 于静, 等. 中华绒螯蟹对食物的选择性、摄食量及摄食节律的研究[J]. 水利渔业, 2000, 20(4): 6-7.]
- [34] Zhou J, Xie C X, Xiong C X, et al. Preliminary research on day-and-night rhythm and daily feeds intake rate for snake-head fish fry[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 1996, 15(1): 64-67. [周洁, 谢从新, 熊传喜, 等. 乌鳢仔鱼摄食节律和日摄食率的初步研究[J]. 华中农业大学学报, 1996, 15(1): 64-67.]
- [35] Zhou W Z, Zhao F L. Feeding rhythm of red swamp crayfish *Procambarus clarkii*[J]. Fisheries Science, 2007, 26(5): 271-274. [周文宗, 赵凤兰. 克氏原螯虾摄食节律的研究[J]. 水产科学, 2007, 26(5): 271-274.]
- [36] Gong Y Y, Chen Z Z, Zhang J, et al. Feeding habits of *Diaphus chrysorhynchus* from continental slope region in northern South China Sea in autumn[J]. South China Fisheries Science, 2015, 11(5): 90-99. [龚玉艳, 陈作志, 张俊, 等. 南海北部陆坡海域秋季金鼻眶灯鱼的摄食习性[J]. 南方水产科学, 2015, 11(5): 90-99.]
- [37] Noord J E V. Diet of five species of the family Myctophidae caught off the Mariana Islands[J]. Ichthyological Research, 2013, 60(1): 89-92.
- [38] Jin H W, Xue L J, Pan G L, et al. Feeding habits of *benthosema pterotum* in the East China Sea and southern part of Yellow Sea[J]. Marine Fisheries, 2011, 33(4): 368-377. [金海卫, 薛利建, 潘国良, 等. 东海和黄海南部七星底灯鱼摄食习性的研究[J]. 海洋渔业, 2011, 33(4): 368-377.]
- [39] Mio S, Tagawa M, Shinohara F, et al. Ecological study on the demersal fish associations in the East China Sea and the Yellow Sea, with reference to food relationships[J]. Rheumatology International, 1984, 61(2): 227-232.
- [40] Jiang R J, Xu H X, Jin H W, et al. Feeding habits of blue mackerel scad *Decapterus maruadsi* Temminck et Schlegel in the East China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(2): 216-227. [蒋日进, 徐汉祥, 金海卫, 等. 东海蓝圆鲹的摄食习性[J]. 水产学报, 2012, 36(2): 216-227.]
- [41] Jin H W, Xue L J, Zhu Z J, et al. Feeding habits of *Apogon lineatus* in the East China Sea and southern Yellow Sea[J]. Marine Fisheries, 2012, 34(4): 361-370. [金海卫, 薛利建, 朱增军, 等. 东海和黄海南部细条天竺鲷的摄食习性[J]. 海洋渔业, 2012, 34(4): 361-370.]
- [42] Lu Z H, Zhu Z J, Lin X P. Food habits of *Priacanthus macracanthus* in East China Sea region[J]. Marine Fisheries, 2010, 32(2): 199-203. [卢占晖, 朱增军, 林显鹏. 东海区短尾大眼鲷的食性分析[J]. 海洋渔业, 2010, 32(2): 199-203.]

Feeding rhythm of *Diaphus chrysorhynchus* on the north slope of the South China Sea

LI Zhongyi^{1,2,3}, YANG Yaoyao^{1,2,3}, YING Yiping^{1,2,3}, CHEN Zuozhi⁴, WANG Xinliang^{1,2,3}, ZHAO Xianyong^{1,2,3}, GONG Yuyan⁴, ZHANG Jun⁴, ZHANG Wuchang⁵, ZHENG Shan⁵

1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Qingdao 266071, China;
2. Laboratory for Marine Fisheries and Aquaculture, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266235, China;
3. Shandong Provincial Key Laboratory for Fishery Resources and Eco-environment, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;
4. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;
5. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China

Abstract: Mesopelagic fishes are a key component of oceanic ecosystems. Feeding rhythm is important for the study of energy flow and material cycles in food webs that include mesopelagic fish. In this study, we examined the feeding rhythm of *Diaphus chrysorhynchus* based on trawl-survey data from October 2014, on the north slope of the South China Sea, and analyzing their feeding intensity. (1) The lengths of *D. chrysorhynchus* sampled ranged from 28 mm to 110 mm, concentrated in the range of 50 to 59 mm. There was no significant relationship between body length and feeding intensity ($P=0.054$, $n=228$). (2) *D. chrysorhynchus* started feeding at about 18:00 every day (rising together with zooplankton), finished feeding at about 05:30 the next morning (sinking with the zooplankton), and fed continuously during that period. The average feeding intensity of *D. chrysorhynchus*, among five sampling times, ranged from 1.50 to 2.57, showing an increasing trend. (3) There was a significant difference in the feeding intensity of *D. chrysorhynchus* between evening, and night or early morning, reflected in the comparison of three periods, namely 18:30–19:30 and 01:00–02:00, 04:45–05:50, and 06:30–07:30 ($P=0.041$, $P=0.000$, and $P=0.007$ respectively). In addition, there was a highly significant difference ($P=0.005$) in the feeding intensity of *D. chrysorhynchus* between 03:30–04:30 and 04:45–05:50. (4) The percentage of feeding intensities of *D. chrysorhynchus* among 5 periods showed a wave trend, the fourth feeding-intensity percentage had the highest value at 06:30–07:30, the zero feeding intensity percentage had the highest value at 18:30–19:30, and was half of this value at 03:30–04:30, and then decreased continuously until 06:30–07:30. In general, *D. chrysorhynchus* showed continuous feeding and egestion from evening to the next morning, while feeding was concentrated during the morning. In conclusion, *D. chrysorhynchus*, a mesopelagic fish species, fed on zooplankton from evening to the next morning, with habits of diel vertical migration and egestion from 01:00 till a certain time the next day. *D. chrysorhynchus* plays an important role in material and energy flow on the continental slope of the South China Sea.

Key words: South China Sea; continental slope; mesopelagic fish; *Diaphus chrysorhynchus*; feeding rhythm; feeding intensity

Corresponding author: ZHAO Xianyong. E-mail: zhaoxy@ysfri.ac.cn