

不同饵料特性对水层转化期海马摄食行为的影响研究

杨熠珊^{1*}, 潘 聪^{1*}, 任朝宇¹, 李安然¹, 杨岚心¹, 孙金辉¹, 张永明^{2#}

¹天津农学院, 水产学院, 天津

²天津市宝坻区农业发展服务中心, 天津

收稿日期: 2025年2月3日; 录用日期: 2025年2月23日; 发布日期: 2025年3月6日

摘 要

为提高海马(5.67 ± 0.12 cm)幼苗在水层转化期的成活率和明确水层转化期幼海马最适规格饵料, 本研究运用行为学手段, 通过控制不同的饵料特性, 揭示海马的摄食行为和偏好选择, 为提高海马成活率和饵料开发提供科学数据。本研究共设置不同饵料规格(活卤虫: $2215 \pm 51.8 \mu\text{m}$ 、 $5080 \pm 83.6 \mu\text{m}$ 、 $8440 \pm 114.1 \mu\text{m}$ 及其组合)和饵料种类(活卤虫、冰鲜糠虾)两个试验。结果显示, 通过海马对饵料反应的敏感性及其摄食参数的观察, 确定最适饵料规格为 $8440 \pm 114.1 \mu\text{m}$ 的活卤虫。比较相同规格下不同种类饵料试验中, 活卤虫对饵料敏感性及其摄食参数均显著高于冰鲜糠虾。综上, 饵料规格和饵料种类对海马的摄食行为均有一定影响; 在适宜的饵料规格和种类下, 大海马摄食活跃, 对饵料敏感度高, 摄食成功率显著提高。

关键词

大海马(*Hippocampus kuda* Bleeker), 摄食行为, 饵料特性, 摄食参数

Effects of Different Feed Characteristics on Hippocampal Feeding Behavior during Water Layer Transformation

Yishan Yang^{1*}, Cong Pan^{1*}, Chaoyu Ren¹, Anran Li¹, Lanxin Yang¹,
Jinhui Sun¹, Yongming Zhang^{2#}

¹Fisheries College, Tianjin Agricultural University, Tianjin

²Tianjin Baodi District Agricultural Development Service Center, Tianjin

Received: Feb. 3rd, 2025; accepted: Feb. 23rd, 2025; published: Mar. 6th, 2025

*共同第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 杨熠珊, 潘聪, 任朝宇, 李安然, 杨岚心, 孙金辉, 张永明. 不同饵料特性对水层转化期海马摄食行为的影响研究[J]. 水产研究, 2025, 12(1): 20-28. DOI: 10.12677/ojfr.2025.121003

Abstract

In order to improve the survival rate of hippocampi (5.67 ± 0.12 cm) seedlings during the water layer conversion period and determine the optimal bait of young hippocampi during the water layer conversion period, this study used behavioral methods to reveal the ingestive behavior and preference selection of hippocampi by controlling different bait characteristics, so as to provide scientific data for improving the survival rate of hippocampi and bait exploitation. In this study, two experiments were conducted with different bait specifications (live artemia: $2215 \pm 51.8 \mu\text{m}$, $5080 \pm 83.6 \mu\text{m}$, $8440 \pm 114.1 \mu\text{m}$ and their combinations) and bait types (live artemia and chilled bran shrimp). The results showed that $8440 \pm 114.1 \mu\text{m}$ of live artemia was the most suitable bait by observing the sensitivity of hippocampi to bait and ingestive parameters. The sensitivity of live artemia to bait and ingestive parameters were significantly higher than those of chilled bran shrimp. In conclusion, the ingestive behavior of hippocampi was affected by both bait specifications and bait types. In the suitable bait specifications and types, the hippocampi were active in ingestion, highly sensitive to bait and the ingestive success rate was significantly improved.

Keywords

Hippocampus kuda (*Hippocampus kuda* Bleeker), Ingestive Behavior, Bait Characteristic, Ingestive Parameter

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

大海马(*Hippocampus kuda* Bleeker)作为一种重要的海洋性药源生物,拥有“南方人参”的美誉,同时由于它“似马非马”的独特外形,又成为观赏市场的宠儿。随着药用价值、观赏价值的不断挖掘,野生资源逐年锐减,海马市场供不应求。人工养殖热潮迅速高涨,然而在养殖过程中刚出生幼体海马开口问题已经被攻克,但在水层转化期死亡率居高不下。饵料被认为是影响海洋鱼类仔鱼死亡的重要因子,对于主要依靠视觉捕食的鱼类来说,饵料规格对摄食的影响非常重要[1]。在早期发育阶段获得充足的饵料对于鱼类的生长和存活都产生很大影响[2]。刚出生海马主要摄食活饵料如轮虫(rotifer)、桡足类(copepod)、卤虫(artemia)等,随海马的生长发育可以摄食冰鲜饵料。大海马是视觉捕食者,主要通过视觉聚焦,依靠鳃盖和吻的伸张活动吞食食物,来伏击猎物[3]。然而,海洋鱼类对于猎物的选择主要取决于猎物种类和猎物的规格[4]。猎物对比、外形、移动速度、视力,在发现和捕获中也起着重要作用。因此,为了更好地了解摄食行为并在海马养殖中建立有效的投喂方案,必须评估他们的最佳猎物规格(OPS)和摄食偏好[5]。尽管在一些种类(*Hippocampus subelongatus*, *Hippocampus trimaculatus*, *Hippocampus kuda*, *Hippocampus reidi*) [6]中,已经做了有关饵料选择性的研究,但在饵料的最适规格上仍存在着较大的空白。

本文从摄食行为方面进行分析,明确了在海马水层转化期饵料的最适规格,同时通过摄食参数对比,分析了海马对于活卤虫和冰鲜糠虾的选择偏好。最后结合在摄食不同饵料过程中,吻部的微细活动变化,进一步明确了海马的摄食过程。从而为实际生产过程提供基础数据,为攻克海马养殖瓶颈提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料与条件

试验用海马产自汉沽海马养殖基地，随机选取 1 对亲本所产的体质健壮的子三代幼体(F3)，刚出生海马均处于浮游阶段，多分布在水体中上层，经 50 d 的饲养后，有部分海马出现向水体下层移动现象，随机选择规格 5.67 ± 0.12 cm 相近的个体于试验系统中驯养一周后开始试验。驯养与试验均在 96 L 玻璃缸 (60 cm × 40 cm × 40 cm) 中进行，实际水量为 72 L，养殖用水为沙滤海水。驯养及试验期间盐度为 $30.0 \pm 1.0\text{‰}$ ，温度为 $26.0^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，光周期为 12 L:12 D，光照强度为 2400~3600 lx。驯养期间，按照试验条件，分别投喂相应大小、种类饵料，每日饱食投喂两次(8:00 am, 15:00 pm)，试验用活卤虫来自天津农学院水产生态及养殖重点实验室，试验用冰冻糠虾 *Mysis spp* 购于天津丰年水产有限公司，投喂 2 h 后吸出残饵并补充适量的海水。

2.2. 试验设计

试验一 海马对不同饵料规格的选择性试验

幼体海马在不同的生长发育阶段，摄食的适口饵料规格存在一定差异。首先，为了确定海马(5.67 ± 0.12 cm)最适的饵料规格，设计了一组活卤虫的饵料规格试验，本试验有 3 个饵料规格组，分别为 A 组($2215 \pm 51.8 \mu\text{m}$)，B 组($5080 \pm 83.6 \mu\text{m}$)，C 组($8440 \pm 114.1 \mu\text{m}$)通过观察大海马对不同规格单一饵料和混合规格饵料(见表 1)的摄食及行为情况，确定最适的活饵规格。

试验前，将暂养缸的试验海马放入试验缸中饥饿适应 1 d。试验缸 3 个侧壁及底部用规格为 1 cm×1 cm 的格子纸黏贴，一个侧壁留有侧壁 1/3 (将侧壁从左到右均分成三份，留中间一份)的部分用于架设摄像机进行拍摄。试验拍摄时，首先，采用 2 个 Sony 数码摄像机拍摄，一台架设在玻璃缸的正上方，一台架设在玻璃缸的一侧，同时观察侧面观(垂直速度)和俯面观(水平速度)，记录海马摄食速率、摄食量、对饵料敏感度、摄食轨迹等摄食行为参数。据预试验分析，海马的平均摄食时间在 28 ± 0.57 min (n = 100)。所以在选择摄食速率方面，我们选定摄食 5 分钟后再连续摄食 5 个饵料的速度。其次，通过 HiSpec color 高速摄像机记录摄食过程中各摄食器官的微细变化，如吻部的摄食前后变化。活卤虫投喂密度为 5 ind/L，试验拍摄时间为(8:00~10 am, 15:00~17:00 pm)。当试验海马进入试验缸后，开始追逐饵料，记为摄食开始。当海马游泳速度明显减慢，且对饵料的再刺激几乎不反应，记为摄食停止，此时，海马大部分都缠绕在附着物上。

Table 1. Experimental design of bait specification

表 1. 饵料规格试验设计

项目(Item)				组别(Groups)			
饵料规格	A	B	C	A + B	A + C	B + C	A + B + C

试验二 海马对不同饵料种类的选择性试验

通过试验一，选取与最适活卤虫($8440 \pm 114.1 \mu\text{m}$)规格相似的冰鲜糠虾($8160 \pm 151.6 \mu\text{m}$)，比较活卤虫和冰鲜糠虾对海马摄食行为的影响。观察海马摄食活卤虫方法同试验一。观察海马对冰鲜糠虾摄食行为时，在试验缸中设定摄食区(直径 $\varnothing = 10$ cm 的培养皿)和非摄食区，投喂时，用一根中空透明玻璃管将冰鲜糠虾送到摄食区内，当海马进入摄食区内即记为海马摄食开始。当海马离开摄食区，且对饵料再刺激不反应，记为摄食停止。试验拍摄方法同试验一。

2.3. 参数定义

反应时间 Reaction time (s): 从投饵开始, 至海马摄食相关行为出现为止(一般通过鳍的摆动游向饵料方向; 调整头部位置; 眼球开始盯准目标)。

反应速度 Reaction rate (m/s): 在反应时间内, 海马的运动速度。

摄食速率: 从摄食 5 分钟后开始计数, 计算再连续摄食 5 个相应饵料的平均速率。

相对摄食量 Food intake (%): 从摄食开始到摄食结束期间, 摄食饵料总克数占大海马体重百分比。

活体卤虫: 试验海马开始追逐饵料记为摄食开始。当大海马游泳速度明显减慢或依附在附着物上, 且再次投喂饵料几乎没有响应, 记为摄食停止。

冰鲜糠虾: 试验海马进入摄食区域记为摄食开始。当海马离开摄食区域, 且再次投喂饵料几乎没有响应, 记为摄食停止。

吻管摄食前直径: 通过测量, 正常游泳状态下的吻管宽度。

吻管最大临界直径: 在海马摄食过程中, 海马会根据摄食情况, 在适宜范围内适时调整吻部直径, 来达到摄食的目的, 记摄食过程中, 吻管宽度最大时, 为其摄食时的最大临界直径。

攻击距离: 即海马吻部开始攻击饵料的最短距离。海马在发现目标后, 眼部会一直紧随猎物, 直到与猎物保持一定短的距离后, 吻部会突然出击, 捕获猎物, 定义与猎物保持的最短距离为攻击距离。

2.4. 数据分析

试验拍摄视频先通过 Corel VideoStudio Pro X5 进行前期处理, 之后用 EthoVision XT 10 进行海马摄食行为学分析, 使用 Excel 记录相关数据。采用 SPSS13.0 软件对数据进行单因素方差分析(One-Way ANOVA)和双因素方差分析(Two-Way ANOVA), 若差异存在则进行 Duncan's 多重比较检验组间差异。p < 0.05 作为差异显著标准, p < 0.01 作为差异极显著标准。

3. 结果与分析

3.1. 饵料规格对海马摄食行为的影响

3.1.1. 海马对不同规格饵料的敏感性

如图 1 所示, 在 A、B、C 三种单一不同规格的饵料情况下, 海马对饵料的敏感性存在显著差异(p < 0.05), 且对 C 组最为敏感, 其次是 B 组, 再次是 A 组。在四种混合组情况下, B + C 组敏感性显著高于其他三混合组(p < 0.05), A + C 组和其他两混合组也存在显著差异(p < 0.05)。从整体来看, B + C 组敏感性最高, A 组敏感性最差。

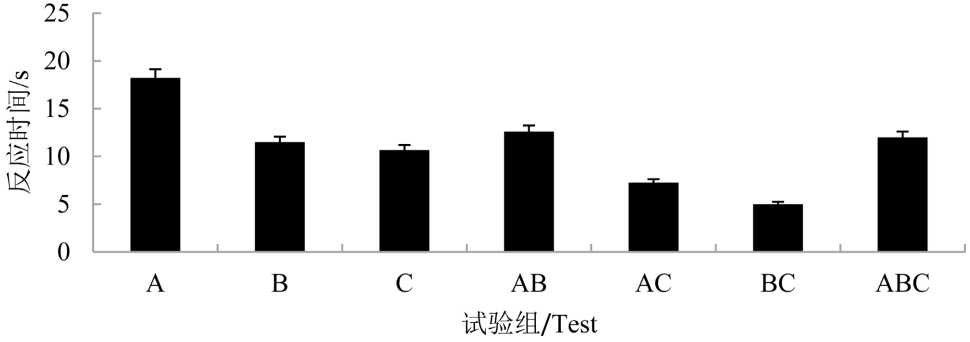


Figure 1. Sensitivity of hippocampi to different specifications of live artemia
图 1. 海马对不同规格活卤虫的敏感性情况

3.1.2. 不同规格饵料对海马摄食行为影响

如表 2，显示了不同饵料规格对海马摄食行为参数的影响。从摄食速率角度，各组之间存在显著差异($p < 0.05$)饵料规格小，摄食速率较快。同时，单一的饵料组的摄食速率要快于混合饵料组。在摄食量上，各组之间差异显著($p < 0.05$)。C 组摄食量显著高于其他各组($p < 0.05$)，单一的饵料组的摄食量要高于混合饵料组，且随着饵料的规格增大，摄食量增大。在摄食成功率上，A 组也显著高于其他各组($p < 0.05$)，随着饵料规格的增大，摄食成功率有所降低，混合饵料组对海马的摄食也产生一定干扰。

Table 2. Effects of different bait sizes on ingestive behavior parameters of hippocampi
表 2. 不同饵料规格对海马摄食行为参数的影响

组别 饵料规格	摄食基本参数		
	摄食速度(ind/s)	摄食量(%)	摄食成功率(%)
A	0.10 ± 0.005	12.46 ± 2.9	88.85 ± 4.1
B	0.09 ± 0.008	15.23 ± 1.9	86.45 ± 3.0
C	0.18 ± 0.007	18.21 ± 1.2	85.34 ± 2.11
A + B	0.06 ± 0.008	11.1 ± 2.3	86.96 ± 3.4
A + C	0.08 ± 0.006	13.12 ± 1.2	87.34 ± 8.1
B + C	0.10 ± 0.001	16.23 ± 3.9	86.45 ± 4.1
A + B + C	0.09 ± 0.005	17.23 ± 2.1	87.45 ± 2.6

3.2. 不同饵料种类对海马摄食行为的影响

3.2.1. 海马对不同种类饵料的敏感性

在摄食过程中，海马对活卤虫的刺激比较敏感。饵料投喂后，会主动追捕，连续摄食，饱食后会依附在附着物上休息。在摄食冰鲜糠虾过程中，饵料投喂后，会主动追捕摄食，在饵料下沉期，摄食较活跃，饵料沉底后，活跃度相对减弱，且对沉底的饵料的品质选择性较强，一般残缺的饵料不会被摄食，摄食的糠虾大部分为与海马口径相似且个体外观必定完整。

表 3 显示，海马对活卤虫的反应时间 11.03 ± 1.21 s 要显著地快于冰鲜糠虾($p < 0.05$)，且约为其 3 倍左右。同时，在运动速度上，海马对活卤虫的反应速度也是显著高于冰鲜糠虾($p < 0.05$)，约为其 2 倍左右。

Table 3. Effects of different baits on hippocampi ingestive sensitivity
表 3. 不同饵料对海马摄食敏感性的影响

组别 饵料种类	敏感度参数	
	反应时间(s)	反应速度(cm/s)
活卤虫	11.03 ± 1.21	4.23 ± 0.84
冰鲜糠虾	34.83 ± 3.58	2.33 ± 0.92

3.2.2. 不同种类饵料对海马摄食行为影响

表 4 表示不同种类饵料对大海马摄食行为参数的影响情况，从摄食速度角度，活卤虫约为 0.058 ± 0.007 ind/s，冰鲜糠虾约为 0.035 ± 0.001 ind/s，二者之间存在显著差异($p < 0.05$)。在摄食量、摄食成功率方面，二者之间也存在显著差异($p < 0.05$)。

Table 4. Effects of different types of bait on ingestive behavior parameters of hippocampi
表 4. 不同种类饵料对海马摄食行为参数的影响

组别 饵料种类	摄食基本参数		
	摄食速度(ind/s)	摄食量(ind)	摄食成功率(%)
活卤虫	0.058 ± 0.007	18.4 ± 1.2	85.34 ± 2.11
冰鲜糠虾	0.035 ± 0.001	5.9 ± 1.83	59.54 ± 3.80

3.3. 海马在摄食不同饵料过程中摄食器官吻的微细变化分析

3.3.1. 摄食最适规格活卤虫时吻的微细变化

图 2 为海马摄食活卤虫时吻的变化情况。海马发现饵料时，会排空吻内气体，使内部达到一种接近于真空状态，从而在摄食时，吻部吸力能达到最大。这时吻部直径最小为 $\varnothing = 1.9\text{ mm}$ 。摄食准备工作完成后，吻部一般有两次明显扩张，首先，进行第一次扩张，较迅速，约用时 $57.7 \pm 2.37\text{ ms}$ ，这时吻的直径可达到 $\varnothing = 2.5\text{ mm}$ ，第一次吻部扩张到第二次扩张几乎是一瞬间，时间间隔约为 $19.2 \pm 0.93\text{ ms}$ ，第二次扩张直径达到 $\varnothing = 2.9\text{ mm}$ ，吻部扩张到最大，这时，饵料已被成功摄食进入吻管，由于饵料需要在吻管停留片刻，海马的吻管的直径这时一般保持最大状态，约持续 $119.1 \pm 5.65\text{ ms}$ 。饵料被处理吞咽后，吻部直径恢复到正常状态下，约用 $203.9 \pm 18.73\text{ ms}$ 。之后，进入下一个饵料的搜寻、追捕、摄食过程。

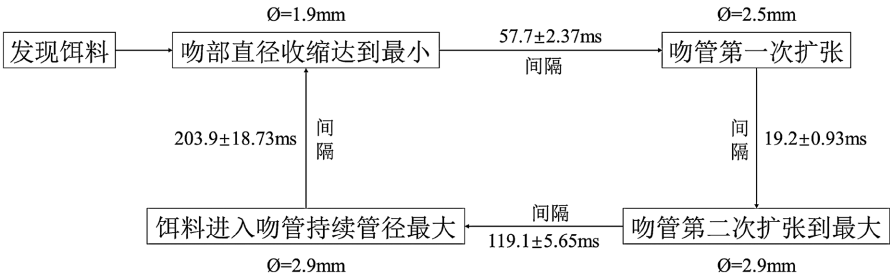


Figure 2. Subtle changes in the snouts of hippocampi when ingestion on the optimal size of live artemia
图 2. 海马摄食最适规格活卤虫时吻的微细变化

3.3.2. 摄食最适规格冰鲜糠虾时吻的微细变化

图 3 显示，海马在摄食冰鲜糠虾时，吻的微细变化情况和摄食活卤虫类似，也要经过吻管收缩 - 第一次扩张 - 第二次扩张 - 吻管保持最大直径 - 吻管收缩至最小。吻管最小直径约为 $\varnothing = 1.9\text{ mm}$ ，完成第一次扩张大概 $19.3 \pm 0.23\text{ ms}$ ，吻管直径达到 $\varnothing = 2.1\text{ mm}$ 。完成第二次扩张需 $19.2 \pm 0.61\text{ ms}$ ，吻管直径达到 $\varnothing = 2.8\text{ mm}$ 。最大吻管直径约持续 $403.9 \pm 15.37\text{ ms}$ ，从最大直径收缩至最小直径约 $153.8 \pm 12.91\text{ ms}$ 。

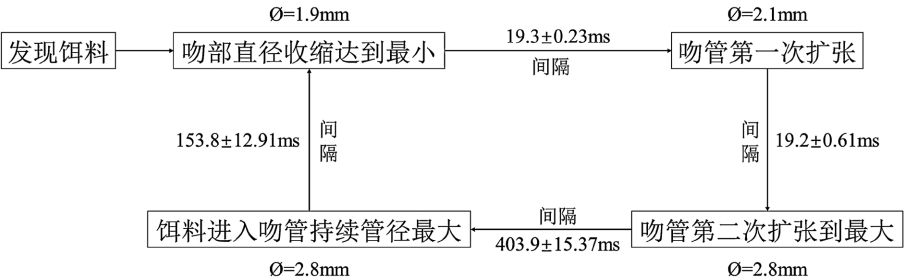


Figure 3. Subtle changes in the snouts of hippocampi when ingestion on the optimal size of chilled bran shrimp
图 3. 海马摄食最适规格冰鲜糠虾时吻的微细变化

4. 讨论

海马在摄食过程中,通过饵料对海马的刺激,双眼锁定目标,通过胸鳍、尾鳍摆动,吻部的伸缩扩张,捕食猎物[7]。在适宜捕食距离范围内,猎物会对视觉产生冲击[8],一般猎物规格越大越易被察觉,即猎物的规格决定猎物是否被鱼体所喜爱,而能被摄食的猎物规格的上限由鱼体的口裂及其宽度决定。本试验中,海马的吻径的最大临界值约为 2.8 mm 左右,最适的饵料大小约为 $8440 \pm 114.1 \mu\text{m}$,约为其最大临界值的 3 倍左右。究其原因,高速摄像机下观察海马在摄食过程中,海马主要是从饵料后部攻击,饵料相当于竖直进入吻管,只要饵料的宽度小于吻部即可被摄食。在投喂单一饵料时,对各个规格饵料组的敏感性存在显著差异($p < 0.05$),且对大规格 C 饵料组反应最迅速,且随着饵料规格的减小而反应迟缓。在混合饵料组中,对大规格饵料之间混合的试验组的敏感性也显著($p < 0.05$)高于规格偏小饵料之间混合的试验组。从整体来看,在适宜的口径范围内,大规格的混合组的敏感性要高于单一大规格组。这可能与大规格饵料更易被发现,且混合组中更容易找到适宜的饵料有关,也可能与获得“最大净收益”有关[9]。即摄食最适规格饵料相对于其它规格饵料净能量收益最大。在有关稚龟的研究中[10],也印证了这一结论,摄食动物喜好去追捕自己能吃下的最大规格饵料。这保证了摄食过程中所带来的能量补充大于摄食过程中所消耗的能量。从摄食过程中的几个摄食参数来看,在摄食速度方面,结果与大海马对饵料的敏感性一致。对大规格的饵料易被察觉,摄食时有选择偏好,摄食的速率也相对较快,而对于小规格个体敏感性相对差一些,摄食速率就慢一些。在摄食成功率方面,由于小规格个体游动速度较大规格慢,海马在追捕过程中消耗能量少,摄食成功率较高,而大规格个体逃跑能力增强,被摄食的几率相对低一些。摄食量方面也存在显著差异($p < 0.05$),小规格饵料较大规格个体营养能量小,为了身体发育所需,获取更多的营养能量,海马偏向于摄食高营养能量的大规格饵料。

在自然环境中,海马主要摄食活饵料,捕食活体饵料如桡足类、糠虾类、卤虫等[11]-[13],然而在工厂化生产养殖过程中,由于饵料的存活周期及季节性等因素限制,长期获得大批量的鲜活饵料供给是非常困难的。人工饵料技术也不是很成熟,冰鲜饵料成为了在活饵短缺阶段的一大代替品。研究表明,通过投喂冰鲜饵料可以成功地保证海马的正常生长及性成熟[14]。大海马幼苗培养到约一个月,随着摄食器官发育,可驯化摄食冰鲜饵料。本试验比较海马摄食活卤虫和冰鲜糠虾的摄食行为发现,首先从对饵料的敏感性分析,两组饵料之间存在显著差异($p < 0.05$),且冰鲜糠虾的反应时间约为活卤虫组 3 倍左右,反应速度约为活卤虫组 2 倍左右。分析可能由于海马主要依靠视觉捕食,对活卤虫的游动刺激较敏感,冰鲜糠虾颜色较浅且投喂下去后在水中停留的时间较短,最终沉降到水底。活卤虫被投入到水体后仍会游动,始终悬浮于水中,能对海马产生连续刺激,直到感到饱腹后,会停止摄食,游到缠绕物上休息。而对于冰鲜糠虾而言,会随着水流方向移动或沉入缸底,在随着水流方向和下沉期间,仍对海马产生一定刺激,沉到底部后,海马的摄食行为明显减弱,但仍有摄食动作,不过摄食选择性较大,所以摄食成功率较低。

吻部在海马摄食过程中起到关键性作用,吻部的大小直接关系到饵料的适口性[15]。一般海马可摄食比其吻部略微大一些的饵料[16]。本试验中,海马的最适饵料大小约为其吻部最大临界直径的 3 倍左右。在摄食过程中,通过高速摄像机观察,吻部主要有两次明显扩张。海马管状鼻内被证实有机联动装置,即尾舌骨、舌骨角、舌骨下颌弓以及胸腔围绕物两两连接成线,4 条线构成机械传动装置,从而调节吻部的扩张收缩[17]。比较摄食活卤虫和冰鲜糠虾时,活卤虫第一次吻部扩张速度显著高于冰鲜糠虾,约为其 2 倍以上。对于摄食活卤虫时,活卤虫迅速被捕进入吻管时仍保存一定活力,对海马吻部的运动扩张造成一定的干扰作用,延长吻部对其处理时间,而冰鲜饵料不具有活性,海马吻部对其处理相对容易,运动扩张时间相对减少。对饵料进行初步处理后,吻部第二次扩张时,两种饵料没有显著差异。吻部扩张到最大后开始对饵料进行处理,开始真正地摄食。此时,冰鲜饵料的处理时间显著大于活卤虫,约为其 3 倍。

左右。可能由于海马对两种饵料的本身特性所决定,活卤虫柔软适口性好,营养丰富“美味新鲜”,而冰鲜糠虾体表有壳,较卤虫坚硬且多经过长时间的冰冻保鲜,仍不可避免地失去它的鲜度,口感相对差一些。大量学者研究都发现[18][19],大海马对活饵料的偏好性,与其一致。

5. 结论

通过海马对饵料反应的敏感性及摄食参数的观察,确定最适饵料规格为 $8440 \pm 114.1 \mu\text{m}$ 的活卤虫。比较相同规格下不同种类饵料试验中,活卤虫对饵料敏感性及其摄食参数均显著高于冰鲜糠虾。试验结果表明,海马从浮游阶段到逐渐过渡到水体的中下层活动,充足的适口规格饵料供给对其存活起到决定作用。本文通过对海马摄食行为的观察研究,明确了这一阶段,饵料的最适规格大致为 $8440 \pm 114.1 \mu\text{m}$ 。同时,由于活饵料资源的局限性,我们对比了活饵料与冰鲜饵料的差异,在这个阶段也可以投喂规格相接近的冰鲜糠虾。本研究为海马养殖提供了基础参考,有望对新一轮海马养殖热潮提供依据。

参考文献

- [1] 陈少波,单乐周,曾国强,大江秀彦.真鲷人工育苗和中间培育试验报告[J].温州师范学院学报,2003,24(5):78-81.
- [2] Cunha, I. and Planas, M. (1999) Optimal Prey Size for Early Turbot Larvae (*Scophthalmus maximus* L.) Based on Mouth and Ingested Prey Size. *Aquaculture*, **175**, 103-110. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(99\)00040-x](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(99)00040-x)
- [3] Roos, G., Leysen, H., Van Wassenbergh, S., Herrel, A., Jacobs, P., Dierick, M., *et al.* (2009) Linking Morphology and Motion: A Test of a Four-Bar Mechanism in Seahorses. *Physiological and Biochemical Zoology*, **82**, 7-19. <https://doi.org/10.1086/589838>
- [4] Olivetto, I., Maron, B.J., Appelbaum, E., Harrigan, C.J., Salton, C., Gibson, C.M., *et al.* (2010) Spectrum and Clinical Significance of Systolic Function and Myocardial Fibrosis Assessed by Cardiovascular Magnetic Resonance in Hypertrophic Cardiomyopathy. *The American Journal of Cardiology*, **106**, 261-267. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2010.03.020>
- [5] Scharf, F.S., Buckel, J.A. and Juanes, F. (2009) Contrasting Patterns of Resource Utilization between Juvenile Estuarine Predators: The Influence of Relative Prey Size and Foraging Ability on the Ontogeny of Piscivory. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **66**, 790-801. <https://doi.org/10.1139/f09-030>
- [6] Sheng, J., Lin, Q., Chen, Q., Gao, Y., Shen, L. and Lu, J. (2006) Effects of Food, Temperature and Light Intensity on the Feeding Behavior of Three-Spot Juvenile Seahorses, *Hippocampus trimaculatus* Leach. *Aquaculture*, **256**, 596-607. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.02.026>
- [7] Confer, J.L. and Blades, P.I. (1975) Omnivorous Zooplankton and Planktivorous Fish. *Limnology and Oceanography*, **20**, 571-579. <https://doi.org/10.4319/lo.1975.20.4.0571>
- [8] 刘正文,朱松泉.大口胭脂鱼鱼种的摄食节律和日摄食率[J].大连水产学院学报,2006,21(3):290-293.
- [9] 方巍.黄颡鱼摄食和投喂策略的研究[D].[硕士学位论文].武汉:华中农业大学,2010.
- [10] 袁显春,何小燕,张孟才,等.蛇鳄龟稚龟摄食行为初探[J].水产科技情报,2014,41(5):259-263.
- [11] Kendrick, A.J. and Hyndes, G.A. (2005) Variations in the Dietary Compositions of Morphologically Diverse Syngnathid Fishes. *Environmental Biology of Fishes*, **72**, 415-427. <https://doi.org/10.1007/s10641-004-2597-y>
- [12] Storero, L.P. and González, R.A. (2008) Feeding Habits of the Seahorse *Hippocampus patagonicus* in San Antonio Bay (Patagonia, Argentina). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **88**, 1503-1508. <https://doi.org/10.1017/s0025315408002506>
- [13] Kitsos, M.-S., Tzomos, T., Anagnostopoulou, L. and Koukouras, A. (2008) Diet Composition of the Seahorses, *Hippocampus guttulatus* Cuvier, 1829 and *Hippocampus hippocampus* (L., 1758) (Teleostei, Syngnathidae) in the Aegean Sea. *Journal of Fish Biology*, **72**, 1259-1267. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01789.x>
- [14] Woods, C.M.C. (2003) Effect of Stocking Density and Gender Segregation in the Seahorse *Hippocampus Abdominalis*. *Aquaculture*, **218**, 167-176. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(02\)00202-8](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(02)00202-8)
- [15] 陆伟民.大口黑鲈仔,稚鱼生长和食性的观察[J].水产学报,1994,18(4):330-334.
- [16] Payne, M.F. and Rippingale, R.J. (2000) Rearing West Australian Seahorse, *Hippocampus Subelongatus*, Juveniles on Copepod Nauplii and Enriched Artemia. *Aquaculture*, **188**, 353-361. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(00\)00349-5](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(00)00349-5)
- [17] 王子晖,徐永健,李响.大海马(*Hippocampus kuda* Bleeker)幼体口吻部骨骼形态观察及其对摄食的影响[J].渔业

科学进展, 2015, 36(5): 126-130.

- [18] Palma, J., Stockdale, J., Correia, M. and Andrade, J.P. (2008) Growth and Survival of Adult Long Snout Seahorse (*Hippocampus guttulatus*) Using Frozen Diets. *Aquaculture*, **278**, 55-59. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.03.019>
- [19] Lin, Q., Lin, J., Zhang, D. and Wang, Y. (2009) Weaning of Juvenile Seahorses *Hippocampus Erectus* Perry, 1810 from Live to Frozen Food. *Aquaculture*, **291**, 224-229. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.03.031>