

半滑舌鳎 (*Cynoglossus senilaevis*) 摄食行为 感觉作用的研究*

王新安 马爱军¹⁾ 庄志猛 于宏 张秀梅 翟介明

(农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071;
中国海洋大学 青岛 266003)

(农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071)
(中国海洋大学水产学院 青岛 266003)

(莱州明波水产有限公司 莱州 261416)

摘要 采用实验室内鱼类行为学研究方法对半滑舌鳎的摄食行为进行研究。结果表明,嗅觉、味觉和侧线在半滑舌鳎的摄食中具有重要作用,视觉在摄食中的作用没有被发现。侧线在摄食中作用主要体现在头部侧线,躯干部侧线对侧面刺激有一定的攻击行为,但行为发生率与头部各部位受刺激时产生的行为发生率相比较低,且差异显著 ($P < 0.05$);躯干部对上部刺激仅发生警戒行为,没有观察到攻击行为。侧线和嗅觉在摄食中的作用大小比较差异显著 ($P < 0.05$),侧线的作用优于嗅觉。口咽腔对味道和硬度都有作用且对二者的敏感程度差异显著 ($P < 0.05$),对味道更为敏感。

关键词 半滑舌鳎, 摄食行为, 感觉器官, 感觉作用

中图分类号 S963

半滑舌鳎 (*Cynoglossus senilaevis* Günther) 是我国第一种进行人工养殖的舌鳎科鱼类,俗称牛舌头、鳎目、鳎米、龙利,属鲽形目 Pleuronectiformes 舌鳎科 Cynoglossidae,自然分布于我国沿海海区,以渤海、黄海为多,是名贵的底栖大型鱼类(马爱军等, 2005; 雷霖, 2005; 柳学周等, 2005)。目前,由于具有良好的市场经济价值,有“富贵鱼”、“海洋中的黄金”之称(丁爱侠, 2004)。

我国对于半滑舌鳎的研究始于 20 世纪 80 年代后期(雷霖, 2005)。杨东莱等(1983)对渤海湾半滑舌鳎和焦氏舌鳎的形态学进行过比较;姜言伟等(1988a, b; 1993)对渤海半滑舌鳎的早期发育的形态特征、生殖习性进行过研究报道并进行过人工育苗的初步探索。2002 年,中国水产科学研究院黄海水产研究所承担了“半滑舌鳎生殖调控及人工繁育技术的研究”项目,在苗种培育

技术方面取得新突破。半滑舌鳎的摄食习性非常特殊,对颗粒饲料采取底匍摄食,明显不同于鲆鲽类养殖品种牙鲆和大菱鲆等采取投喂后主动从池底跃起摄食的习性(马爱军等, 2005)。这种特殊的摄食行为,使人工养殖条件下的投喂非常困难,摄食差、死亡率高并表现出生长缓慢现象,这已成为制约半滑舌鳎推广养殖的瓶颈。因此,探索半滑舌鳎的摄食行为,对于促进其摄食以及为其他鳎科鱼类的养殖开发提供借鉴,都具有重要的理论意义和经济意义。

1 材料与方法

1.1 材料

实验在山东莱州明波水产有限公司进行,材料取自该公司车间。取平均体长 (13.06 ± 0.47) cm、平均体重 (16.25 ± 1.16) g 的半滑舌鳎 25 尾,其中 5 尾放入 $60\text{cm} \times 40\text{cm} \times 40\text{cm}$ 的透明有机玻

* 国家 863 计划项目资助, 2005AA603110 号; 青岛市自然科学基金资助项目, 05-2-JC-59 号, 04-2-HH-67 号。王新安, 硕士生, E-mail wangxinanwx@126.com

1) 通讯作者: 马爱军, 博士, 副研究员, E-mail maa@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2005-11-28 收修改稿日期: 2006-01-16

起摄食。

2.2 视觉刺激对半滑舌鳎摄食活动的观察

对照组:半滑舌鳎安静匍匐于池底,极少活动,状态良好。

视觉组:无论是向 B 槽中加入活饵料,或用自制电动装置在 B 槽中振动,都没观察到半滑舌鳎对视觉刺激有反应。

2.3 嗅觉刺激对半滑舌鳎摄食活动的观察

对照组:半滑舌鳎安静匍匐于池底,极少活动,状态良好。

嗅觉组:半滑舌鳎对不同氨基酸反应的实验结果见表 1。由表 1 可以看出,半滑舌鳎对各种不同氨基酸的初次反应时间、持续时间和反应程

度存在明显差异。在本实验中所用的 9 种氨基酸中,对混合氨基酸 18MAA 的初次反应时间最短,为 (1.00 ± 0.00) s,持续时间最长,为 5—6 min,反应程度强。在单一氨基酸中,对甜菜碱最为敏感,其初次反应时间为 (10.33 ± 3.18) s,比对 18-MAA 的初次反应时间略长,但二者比较差异不显著 ($P > 0.05$),反应程度也很强。对甜菜碱盐酸盐的初次反应时间最长,可达 (53.33 ± 11.67) s,持续时间最短,仅为 0—1 min,但是,反应程度仍然强。对 L-谷氨酸的初次反应时间长,为 (52.67 ± 6.74) s,而持续时间也较长,为 4—5 min。对 L-甘氨酸、L-赖氨酸和 L-羟脯氨酸则没有反应。

表 1 半滑舌鳎对不同氨基酸的反应

Tab. 1 The response of *C. semilaevis* to various amino-acids

氨基酸	初次反应时间 (s)	反应持续时间 (min)	反应程度
L-甘氨酸	—	—	无反应
L-谷氨酸	$(52.67 \pm 6.74)^c$	4—5	强
甜菜碱	$(10.33 \pm 3.18)^{ab}$	3—4	强
L-赖氨酸	—	—	无反应
牛黄酸	$(18.33 \pm 4.41)^{ab}$	1—2	弱
L-精氨酸	$(24.00 \pm 3.51)^b$	2—3	弱
甜菜碱盐酸盐	$(53.33 \pm 11.67)^c$	0—1	强
18-MAA	$(1.00 \pm 0.00)^a$	5—6	强
L-羟脯氨酸	—	—	无反应

注:(1)初次反应时间:半滑舌鳎静伏槽底时,加入氨基酸,从加入不同的氨基酸开始计时,当中央槽内的 5 尾半滑舌鳎至少有 3 尾开始持续游动,出现觅食状态,并具有一定的趋源性时,即为初次反应时间,用 (means \pm S. E.) 表示。(2)实验数值上标表示多重比较结果,字母相同表示差异不显著 ($P > 0.05$);字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$),表 2、表 3 同

2.4 侧线刺激对半滑舌鳎摄食行为的影响

对盲半滑舌鳎进行不同频率的刺激,其行为反应的实验结果为:当振动频率小于 5 Hz 时,有攻击行为,可以看出半滑舌鳎对低频振动敏感;而当振动频率大于 5 Hz 时,半滑舌鳎对刺激无攻击反应甚至出现逃逸行为。

对盲半滑舌鳎身体不同部位振动刺激,其行为反应的实验结果见表 2。由表 2 可知,刺激部位不同,半滑舌鳎的反应不同。半滑舌鳎对头前部、左部、右部和头上部各部位刺激均发生攻击行为,且行为出现率均很高,分别为 $(93 \pm 4)\%$ 、

$(95 \pm 3)\%$ 、 $(92 \pm 3)\%$ 和 $(86 \pm 4)\%$,它们之间的差异不显著 ($P > 0.05$)。但头上部的反应距离较头部其它部位近的多,小于 1 cm,其它部位接近于 10 cm,当头上部振动刺激超过 1 cm 时,半滑舌鳎对振动源仅发生跟踪行为,攻击行为没有被发现,半滑舌鳎趋向刺激源,然后,从刺激源下部缓慢游过。对躯干部侧面和上部刺激时,半滑舌鳎有不同的反应,对侧面刺激发生攻击行为,但行为发生率与头部各部位受刺激时产生的攻击行为发生率相比较低,且差异显著 ($P < 0.05$),反应距离不超过 3 cm;对躯干部上部刺激时,只发生警

戒反应,没有发现攻击行为,警戒行为一般表现为鳍条的轻微摆动(梁旭方,1996),反应强烈时盲半滑舌鳎从振动源附近游开,出现逃避行为反

应。警戒行为发生率比头部各部位和躯干部侧面所受刺激时产生的攻击行为发生率均低且差异显著($P < 0.05$),反应距离不超过 1cm。

表 2 盲半滑舌鳎对其不同部位附近振动刺激的行为反应

Tab. 2 Behavioral response of blinded *C. semilaieis* to vibrating stimuli in different regions nearby

刺激部位	行为反应	行为出现率 (%)	反应距离
头部前部	攻击行为	93 ± 4 ^a	< 10cm
头部左侧	攻击行为	95 ± 3 ^a	< 10cm
头部右侧	攻击行为	92 ± 3 ^a	< 10cm
头部上部	攻击行为	86 ± 4 ^a	< 1cm
躯干部侧面	攻击行为	56 ± 4 ^b	< 3cm
躯干部上部	警戒行为	33 ± 4 ^c	< 1cm

注: (1)行为出现率的观察计算,通过 10次重复,每次观察时间为 2min。10次观察中出现某种行为的频率即为该种行为的出现率。每次测定用 20尾盲半滑舌鳎。行为出现率 = 出现某种行为的实验次数 / 实验次数,本组数据重复 15次以上,以 (means ± S. E.) 表示。(2)行为出现率实验数值上标为多重比较结果,意义同表 1

2.5 同时进行侧线刺激和化学感觉刺激对盲半滑舌鳎摄食行为的影响

盲半滑舌鳎对各组模拟猎物的摄食反应的实验结果见表 3。由表 3可以看出,振动鲜蛭子块的攻击行为发生率最高,为 (93 ± 3)% ,与其它各模拟猎物的攻击行为发生率相比,差异均显著 ($P < 0.05$)。在同一模拟猎物种类组合内,振动模拟猎物无论是臭蛭子块、玻璃小球、还是鲜蛭子块,其受到的攻击行为发生率均大于同组的静止

鲜蛭子块,差异均显著 ($P < 0.05$)。从对振动模拟猎物的吞噬行为出现率看,半滑舌鳎仅吞进摄入口腔的鲜蛭子块,其吞噬行为出现率为 (100 ± 0)% ,而对玻璃球和臭蛭子块完全不吞噬。即吞噬行为出现率存在极其显著性差异 ($P < 0.01$)。尽管对玻璃球和臭蛭子块都完全不吞噬,但二者从摄入口腔到吐出的过程并不相同,玻璃珠被摄入口腔后持续一段时间吐出,而臭蛭子块摄入口腔后迅速吐出。

表 3 盲半滑舌鳎对下列各组模拟猎物的摄食反应

Tab. 3 Feeding response of blinded *C. semilaieis* to artificial prey

模拟猎物种类组合	攻击行为发生率 (%)	对振动模拟猎物的吞噬行为出现率 (%)	摄入非适口性食物的行为反应特征
静止鲜蛭子块 + 振动臭蛭子块	23 ± 3 ^b	0 ± 0 ^e	摄入口腔迅速吐出
静止鲜蛭子块 + 振动玻璃小球	13 ± 3 ^{ab}	0 ± 0 ^e	摄入口腔持续一段时间吐出
静止鲜蛭子块 + 振动鲜蛭子块	93 ± 3 ^d	100 ± 0 ^f	

注: (1)攻击行为出现率的观察计算方法同表 2。(2)攻击行为出现率实验数值上标为多重比较结果,意义同表 1。(3)半滑舌鳎对摄入口腔振动模拟猎物的吞噬行为出现率通过 10次观察计算,10次摄入行为中出现吞噬行为的几率即为吞噬行为出现率;每种食物重复测定 15次,用 (means ± S. E.) 表示。(4)吞噬行为出现率实验数值上标为多重比较结果,字母相同表示差异不显著 ($P > 0.01$);字母不同表示极其显著性差异 ($P < 0.01$)

3 讨论与结论

在鱼类的摄食活动中,起主要作用的感觉器官通常为视觉、化学感觉和机械感觉。而化学感觉和机械感觉通常在底栖鱼类的摄食中具有更为重要的意义(梁旭方等,1998)。半滑舌鳎的两眼较小,位于头部(朝游泳方向)左侧,在有眼侧和无眼侧各有一鼻孔,两侧前鼻孔均呈管状。半滑舌鳎的无眼侧无侧线,有眼侧具有3条侧线;3条侧线向头部延伸形成非常发达的头部侧线。

作者通过鱼类行为学的方法对半滑舌鳎视觉、嗅觉和侧线在摄食中的作用进行了研究,半滑舌鳎对视觉刺激没有反应,说明视觉可能在摄食中的作用不大,其极小的眼睛可能是适应于底栖生活和夜间摄食后退化的标志。通过半滑舌鳎对不同氨基酸反应的实验结果表明,半滑舌鳎对各种不同氨基酸的初次反应时间、持续时间和反应程度存在明显差异,这说明半滑舌鳎的反应主要是嗅觉对不同氨基酸的反应产生,而不是由玻璃棒的搅动引起。实验发现半滑舌鳎对甜菜碱比较敏感,一个可能的原因是在自然海域,半滑舌鳎主要在夜间摄食(马爱军等,2005),其天然食物主要是虾蟹类等底栖生物(窦硕增等,1992),而这些食物有机体组织内甜菜碱含量相对较高(Konosu *et al.* 1966 1975 Mackie *et al.* 1980)。通过对盲半滑舌鳎进行不同频率的刺激和对盲半滑舌鳎身体不同部位振动刺激说明,在一定低频振动范围内,半滑舌鳎侧线系统对摄食具有作用,且主要为发达的头部侧线完成,躯干部侧线系统比头部侧线系统在半滑舌鳎摄食中的作用弱,对躯干部侧面刺激有一定的攻击行为,但行为发生率与头部各部位受刺激时产生的攻击行为发生率相比较低且差异显著($P < 0.05$)。头上部受刺激时发生攻击行为的反应距离接近1cm,当超过1cm时,没有发现攻击行为,仅出现跟踪行为,这可能与半滑舌鳎通常采用底匍咬食攻击有关。本研究的多次实验中,仅观察到两次超过头上部1cm的半滑舌鳎跃起摄食现象,可看作一种偶然行为,未作为反应距离的实验数据采用。对半滑舌鳎躯干部上部刺激产生警戒行为也可能与其通常采用底匍摄食有关。通过对盲半滑舌鳎同时进行侧线刺激和化学感觉刺激对摄食行为的影响研究表明,在半滑舌鳎摄食活动中,侧线对摄食起主导作用,嗅觉起辅助作用,在侧线不能起作用的情况下,嗅觉才完全发挥作

用。人工养殖条件下,半滑舌鳎对颗粒料的摄食主要是依靠嗅觉。对振动鲜蛭子块的攻击行为发生率最高,且与其它各模拟猎物所受到的攻击行为发生率比较差异显著进一步说明在自然海域,侧线和嗅觉在半滑舌鳎的摄食中均具有作用,嗅觉能够增强对新鲜振动饵料的识别和定位。从对振动模拟猎物的吞噬行为出现率和吞噬过程看,半滑舌鳎口咽腔对食物味道和硬度均敏感,但对味道的敏感程度更高,当味道不起作用时,对硬度才发挥作用。吞噬鲜蛭子块而吐出臭蛭子块说明,鲜蛭子块中存在促进半滑舌鳎吞咽的活性物质,而臭蛭子块中不存在这种物质或者产生其它抑制吞咽的活性物质。臭蛭子块腐败过程中软硬度等性质的变化可能也对半滑舌鳎的吞咽活动产生影响。

在人工养殖条件下投喂颗粒料时,半滑舌鳎摄食特点是在颗粒料内沉到池底后极短的一段时间内摄食,造成大量饵料流失。作者通过半滑舌鳎摄食行为研究对这一现象进行了解释:半滑舌鳎能够利用侧线和嗅觉摄食,而侧线的作用优于嗅觉,掷入水中的人工饲料在落水过程中运动,由于水位较浅,当半滑舌鳎侧线感觉到饵料振动时,食物已沉至水底,此时,饵料附近的半滑舌鳎能够利用侧线和嗅觉摄食,在侧线失去作用后仅利用嗅觉,由于饵料气味的局限性且迅速溶于水,半滑舌鳎很快适应,处于摄食次要地位的嗅觉作用也逐渐消失。作者观察到,升高水位投饵,在饵料即将沉到池底之前,部分半滑舌鳎已开始运动,出现觅食状态。当用盲半滑舌鳎实验时,观察到同样现象。

参 考 文 献

- 丁爱侠, 2004. 半滑舌鳎人工育苗技术. 齐鲁渔业, 21 (12): 37—38
- 马爱军, 柳学周, 徐永江, 2005. 半滑舌鳎早期发育阶段的摄食特性及生长研究. 海洋与湖沼, 36(2): 130—137
- 杨东莱, 吴光宗, 庞鸿艳, 1983. 渤海半滑舌鳎及焦氏舌鳎的鱼卵和仔稚鱼的形态. 海洋科学, 2: 29—32
- 柳学周, 庄志猛, 马爱军等, 2005. 半滑舌鳎繁殖生物学及繁育技术研究. 海洋水产研究, 26(5): 7—14
- 姜言伟, 万瑞景, 1988a. 渤海半滑舌鳎生殖习性及其产卵生态的研究. 海洋水产研究, 9: 151—171
- 姜言伟, 万瑞景, 1988b. 渤海半滑舌鳎早期形态及发育特征的研究. 海洋水产研究, 9: 185—192
- 姜言伟, 万瑞景, 陈瑞盛等, 1993. 渤海半滑舌鳎人工育苗

- 工艺技术的研究. 海洋水产研究, 14: 25—33
- 梁旭方, 1996 鳃侧线管结构和行为反应特性及其对捕食习性的适应. 海洋与湖沼, 27(5): 457—463
- 梁旭方, 何大仁, 1998 鱼类摄食行为的感受基础. 水生生物学报, 22(3): 278—284
- 雷霖霖编著, 2005 海水鱼类养殖理论与技术. 北京: 中国农业出版社, 647—665
- 窦硕增, 杨纪明, 1992 渤海南部半滑舌鳎的食性及摄食的季节变化. 生态学报, 12: 368—376
- Appelbaum S, Schemmel Ch, 1983 Dermal sense organs and their significance in the feeding behavior of the common sole *Solea vulgaris*. Marine Ecology Progress Series, 13: 29—36
- Coombs J, 1989. The Mechanosensory Lateral Line. New York: Springer-Verlag, 1—724
- Konosu S, Chen Y N, Hashimoto Y, 1966 Constituents of the extracts of a marine worm, *Perinereis brevicirrus*. Bull Jap Soc Scient Fish, 32: 881—886
- Konosu S, Hayashi T, 1975. Determination of β -alanine betaine and glycine betaine in some marine invertebrates. Bull Jap Soc Scient Fish, 41: 743—746
- Mackie AM, Adron JW, Grant P T, 1980. Chemical nature of feeding stimulants for the juvenile Dover sole, *Solea solea* (L.). J Fish Biol, 16: 701—708

FEEDING BEHAVIOR OF *CYNOGLOSSUS SEMILAEVIS* WITH DIFFERENT SENSES

WANG Xi-An, MA Ai-Jun, ZHUANG Zhimeng, YU Hong, ZHANG Ximei, ZHAI Jieming

(Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resources, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071; Ocean University of China, Qingdao 266003)

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

(Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao, 266003)

(Laizhou MINGBO Aquatic Products Co. Ltd., Laizhou, 261416)

Abstract An experiment was conducted in fish behavioral science to study the feeding behavior of *Cynoglossus semilaevis* G_unter with different senses, particularly the vision, olfaction and lateral line of the fish. The fish has small eyes and nostrils on both ocular and abocular sides. Moreover, the front nostril looks like a tube, and the ocular side have three lateral lines, of which the lateral line on the head is well developed. Results show that the vision did not play an important role in feeding. Perhaps its small-sized eyes has been degenerated with a poor sight. Obviously, *C. semilaevis* could react against various feeding stimulants of different amino acids with olfaction. Nine different stimulants were used for studying the role of olfaction in feeding, except for mixed 18-MAA, *C. semilaevis* is the most sensitive to betaine. The behavioral responses of blinded *C. semilaevis* to both vibrating stimuli in different frequencies and vibrating stimuli from different regions nearby indicated that the fish could react against low-frequency vibrating stimuli with the lateral line especially the lateral line on the head. The difference between the senses of lateral line and olfaction in feeding behavior is clear ($P < 0.05$), and the role of the lateral line is superior to that of olfaction. Only when the lateral line failed to function, the olfaction may completely take over the role. The oral cavity is sensitive to both taste and texture, but the sensitive degree to the taste was much higher than to the texture ($P < 0.05$).

Key words *Cynoglossus semilaevis*, Feeding behavior, Sense organ, Sense utilization