

达氏鳊稚鱼感觉器官在摄食行为中的作用

胡 佳¹ 李艳华¹ 王成友² 邵远超³ 危起伟²

(1. 铜仁职业技术学院农学院, 贵州 铜仁 554300;

2. 农业部淡水生物多样性保护重点实验室, 中国水产科学院长江水产研究所, 湖北 武汉 430223;

3. 长江上游鱼类资源保护与利用四川省重点实验室, 内江师范学院生命科学院, 四川 内江 641112)

摘要:通过选择性封闭达氏鳊(*Huso dauricus*)稚鱼不同感觉器官(包括视觉、嗅觉、触觉、侧线感觉、电感觉、嗅觉+触觉、嗅觉+触觉+电感觉),研究其在达氏鳊稚鱼摄食行为中的作用,旨在为达氏鳊的资源保护和人工培育提供科学依据。实验鱼受精卵采自黑龙江抚远江段,经过开口饲养56 d,随机选择120尾体质健壮的稚鱼用于实验。实验鱼体长为(13.98±1.27) cm,体重为(17.32±4.31) g,在实验开始前暂养适应15 d,实验设计7个实验组和1个对照组。实验持续12 d,期间水温维持在25.2~27.5℃;1 h摄食实验显示,封闭视觉、侧线感觉或触须后稚鱼的摄食量与正常稚鱼(对照组)无显著性差异($P>0.05$)。结果表明,封闭嗅觉、嗅觉+触须、电感觉、电感觉+嗅觉+触觉时,平均每尾达氏鳊稚鱼摄食量分别为正常水平的69.1%、63.0%、54.3%与43.9%,且差异显著($P<0.05$),说明电感觉和嗅觉在达氏鳊稚鱼期的摄食中起重要作用;延长摄食实验时间时,达氏鳊稚鱼可能产生了摄食定势与习惯,电感觉和嗅觉的摄食作用并不明显。

关键词:达氏鳊;触觉;嗅觉;视觉;侧线感觉;电感觉;摄食

中图分类号: Q432 文献标志码: A 文章编号: 1674-3075(2017)02-0088-06

摄食是鱼类生存的基础,也是鱼类行为中最为重要的部分。鱼类因其食性、生态位、食物来源、水体环境等不同,在长期自然选择与进化中发展了具有个性的摄食器官,并形成了特定的摄食机制(Pavlov & Kasumyan, 1998)。一般认为鱼类摄食是一个复杂过程,依次有侦察、接近、选择、捕捉与摄取5个过程,且需要视觉、机械感觉、化学感觉、电感觉等各种感觉器官的参与(王作楷, 1992; 殷名称, 1995; 林浩然, 2002)。鱼类感觉器官有嗅觉、味觉、触觉、听觉、视觉、电感觉与侧线等几大类,尽管各种感觉器官功能不一,有些着重于发现与侦探敌害,有些侧重于同类辨别与交流,有些侧重于定向与运动,但必然有一些感觉器官是为了甄别与摄取食物而存在。究竟是一种或者多种感觉器官在鱼类摄食中发挥作用,是学者长期以来普遍关注的问题(Kasumyan & Devitsina, 1997; Liang et al, 1998; 庄平等, 2008)。

关于鲟鱼感觉器官的形态及发育在视觉(Sillman et al, 1999; Sillman et al, 2005; Chai et al,

2007)、电感觉(Jørgensen, 1980; 梁旭方, 1996)、嗅觉(Zeiske et al, 2003)和侧线系统(宋炜和宋佳坤, 2012)多有研究,但这些研究忽略了某种感觉器官在摄食中所起的作用。感觉器官抑制法与摄食行为实验是解决这一问题的有效方法,目前在鲟类的应用研究并不多(Wilkens et al, 2002; Kasumyan, 2002; 庄平, 2008; Zhang et al, 2012)。

达氏鳊(*Huso dauricus*)与欧洲鳊同属鲟形目、鲟科、鳊属鱼类,2010年被CITES附录II列为极危保护鱼类。区别于其它温和性摄食鲟类,作为一种掠食性鱼类,达氏鳊感觉器官在摄食中所起作用目前未见报道。本研究旨在揭示达氏鳊各感觉器官在摄食行为中的作用,同时探究其在独特分类地位中与其它鲟鱼摄食功能的异同,为达氏鳊等鲟鳊类的摄食机制提供基础生物学资料,也为其人工驯养及物种保护提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料

2011年6月2日,将5 000颗达氏鳊受精卵从黑龙江抚远县充氧托运至湖北荆州长江水产研究所中华鲟试验场,放在孵化框上进行孵化,孵化温度控制在(21±1)℃,孵化1 d后开始出膜。仔鱼8日龄开口,开口饵料为剁碎的水蚯蚓(*Limnodrilus* sp.),

收稿日期: 2016-03-20

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(No. 201203086)。

作者简介: 胡佳, 1984年生,女,讲师,研究方向为鱼类行为生态与养殖。E-mail: hujia_h@163.com

通信作者: 危起伟。E-mail: weiqw@yfi.ac.cn

23 日龄开始转食伴有水蚯蚓汁的市售颗粒料,10 d 后转食成功,33 日龄完全投喂颗粒料。仔鱼生长到 56 日龄发展到稚鱼阶段(李艳华等 2013) 正式开始实验。

1.2 方法

根据预实验的结果设计 7 个处理组,分别是去视觉组、去嗅觉组、去触觉组、去侧线感觉组、去电感觉组、去嗅觉+触觉组、去嗅觉+电感觉+触觉组及 1 个对照组。每组 3 个平行实验,共 24 个水池。每个水池放 5 尾达氏鳊稚鱼,共 120 尾。实验开始前先进行体长测量并称重(平均值±标准差),实验鱼体长为(13.98±1.27) cm,体重为(17.32±4.31) g。实验期间,水温控制在 25.2~27.5℃,光周期控制在 12 L:12 D,用 36 W 日光灯提供照明,白天光照强度 18~25 lx。稚鱼在水池中适应 15 d 后开始实验,适应期间每天 09:00 投喂鱼体重 20% 的活水蚯蚓。

去视觉组鱼先用 50 mg/L 浓度的 MS-222 麻醉(陈细华等 2006);然后采用外科手术摘除两侧眼球,并在伤口处涂抹红霉素软膏。去嗅觉组鱼 2 个鼻孔均用医用凡士林完全堵塞,确保不脱落,并每天检查 1 次。去触觉组鱼从 4 根触须根部剪去,并在根部处涂抹红霉素软膏(庄平等 2008)。去侧线感觉组水池中添加 0.1 mmol/L 的 CoCl₂ 溶液(Karlsen & Sand,1987; Liang et al,1998; 邹桂伟等 2003; 庄平等 2008),以封闭稚鱼的侧线感觉器官,在整个实验过程中 CoCl₂ 溶液都保持稳定。去电感觉组鱼依次放到手术担架上,用干纱布擦干头部水分,将瞬康医用生物粘合胶(主要成分为 α-2 氰基丙烯酸烷基酯,北京瞬康医用胶有限公司生产)迅速均匀涂抹在幼鳊头部腹面及侧面,维持 10 s 形成牢固粘合

以封闭幼鳊的陷器,然后将稚鱼重新放回水中(庄平等 2008)。去嗅觉和触觉组鱼的 2 个鼻孔均用医用凡士林堵住,而且各尾鱼的 4 根触须均从根部剪去,并在根部处涂抹红霉素软膏。对照组鱼不作任何处理。

各水池的鱼做完处理饥饿 3 d 之后开始实验,每天早上 09:00 向各水池投喂稍过量水蚯蚓(约体重的 25%),水蚯蚓投喂前先用滤纸吸干水分然后称重。由于达氏鳊经常围绕池壁巡游,每次在距离池壁 30 cm 的池中央投食水蚯蚓,且不固定位置投食,防止实验鱼出现条件性摄食。实验期间每池每天换水 1/3,并用气泵对水体进行充氧,使溶氧量达到 6.5 mg/L,并保持稳定。实验共持续 12 d,前 6 d 控制摄食时间为 1 h,后 6 d 控制摄食时间为 6 h,达氏鳊摄食时间分别达到 1 h 或 6 h 后及时将剩余未吃完的水蚯蚓捞出,并用滤纸吸干水分后称重,统计每天每个水池中达氏鳊稚鱼的摄食量。

1.3 数据处理

实验数据处理采用单因素方差方法(ANOVA)分析不同处理组对达氏鳊稚鱼摄食量的影响,采用 *Q* (Student-Newman-Keuls multiple range test) 多重方法比较处理组间摄食量平均值差异显著性。统计分析采用 SPSS13.0,显著性水平设定为 $P < 0.05$ 。

2 结果

去须组封闭触觉、去侧组封闭侧线感觉、去眼组封闭视觉,1 h 内各组鱼尾平均摄食量分别为正常鱼摄食量的 96.4%、95.9% 与 74.1%,处理组摄食量与正常组无显著性差异($P > 0.05$) (表 1)。这说明达氏鳊稚鱼触须、侧线感觉、视觉在人工驯养条件下的觅食过程中不起重要作用。

表 1 感觉器官的选择性封闭对达氏鳊稚鱼摄食的影响

Tab. 1 Effect of selective removal of sense organs on food consumption by Kaluga (*H. dauricus*) juveniles

| 组别 | 感觉器官 | | | | | 平均体重/ g | 1 h 后尾均 摄食量/g | 6 h 后尾均 摄食量/g |
|-------|------|----|----|----|----|--------------------|--------------------------|-------------------------|
| | 视觉 | 嗅觉 | 触须 | 侧线 | 电觉 | | | |
| 去须组 | + | + | - | + | + | 17.45 ^a | 1.98±0.64 ^{ab} | 2.44±0.90 ^a |
| 去侧组 | + | + | + | - | + | 17.41 ^a | 1.96±0.11 ^{ab} | 2.48±1.01 ^{ab} |
| 去眼组 | - | + | + | + | + | 17.52 ^a | 1.52±0.65 ^{abc} | 2.52±0.41 ^a |
| 去嗅组 | + | - | + | + | + | 17.19 ^a | 1.42±0.39 ^{bc} | 2.19±0.43 ^a |
| 去嗅须组 | + | - | - | + | + | 17.27 ^a | 1.29±0.35 ^{cd} | 2.15±0.51 ^a |
| 去电组 | + | + | + | + | - | 17.38 ^a | 1.11±0.43 ^{cd} | 1.86±0.78 ^{ab} |
| 去嗅须电组 | + | - | - | + | - | 17.01 ^a | 0.90±0.34 ^d | 1.46±0.50 ^b |
| 对照组 | + | + | + | + | + | 17.30 ^a | 2.05±0.67 ^a | 2.62±0.61 ^a |

注:(+)表示感觉器官工作;(-)表示感觉器官封闭。同列不同字母表示差异显著($P < 0.05$);相同字母表示差异不显著($P > 0.05$)。

Note: (+) sense present; (-) sense absent; Values with similar superscript letters designate statistically similar groups ($P > 0.05$); Values with different superscript letters designate significant differences between groups ($P < 0.05$).

去嗅组封闭嗅觉、去嗅须组封闭嗅觉与触觉、去电组封闭电感觉、去嗅须电组封闭嗅觉与触觉和电感觉,结果1 h内各组鱼尾平均摄食量分别为正常鱼摄食量的69.1%、63.0%、54.3%与43.9%,处理组摄食量与正常摄食组差异均显著($P < 0.05$)。4个处理组中去嗅与去嗅须电组差异显著,其它组间无显著差异。说明嗅觉和电感觉在达氏鳢稚鱼摄食中起重要作用,特别是电感觉在摄食中起首要作用,其次是嗅觉。

达氏鳢稚鱼摄食6 h后,去眼组、去侧组、去须组、去嗅组、去嗅须组、去电组与去嗅须电组的尾均摄食量分别为正常组的96.3%、94.7%、93.2%、83.7%、82.1%、71.2%、55.7%。平均摄食量只有去嗅须电组与正常鱼有显著差异,其它各组与正常鱼组无显著差异。去嗅须电组与去电组和去侧组无显著差异,与剩余各组有显著差异(图1)。

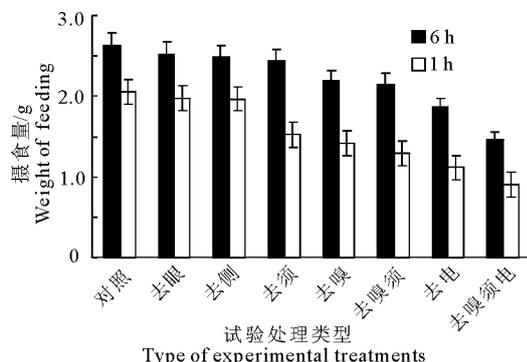


图1 感觉器官选择性封闭对达氏鳢稚鱼摄食量的影响

Fig. 1 Food consumption by Kaluga juveniles in different treatment groups with 1 hour and 6 hour feeding periods

3 讨论

3.1 视觉在达氏鳢稚鱼摄食中的作用

视觉主要用于侦察饵料对象、辨认其它鱼和掠食者以及熟悉栖息环境。已有研究表明,视觉在高首鳢(*Acipenser transmontanus*) (Lindberg, 1988)、匙吻鳢(*Polyodon spathula*) (Wilkenset et al, 1997)、短吻鳢(*A. brevirostrum*) (Sillman et al, 1999)、中华鳢(*A. sinensis*) (庄平等, 2008)、中吻鳢(*A. medirostris*)与密苏里铲鳢(*Scaphirhynchus albus*) (Sillman et al, 2005)及本次研究的达氏鳢上都不起主要作用,但这并不是否认了视觉在摄食中的作用。本次研究表明,去除视觉后达氏鳢稚鱼尾均摄食量是正常鱼的74.1%,说明视觉在摄食中起着一定而非主导的作用。李艳华(2013)研究也认为视觉在仔鱼期达氏鳢的摄食行为中发挥了一定作用,说明鳢鱼某一感

觉器官对于摄食的意义随着生长发育阶段的不同会有所变化。但一般而言,鲟形目鱼类视觉的主要作用可能在于探知光强从而产生定向行为,例如感知大型捕食者(Loew & Sillman, 1998),而不是主要用于摄食行为。

3.2 侧线器官在达氏鳢稚鱼摄食中的作用

侧线管系统是皮肤衍生的感觉器官,有感知水流、水压、水温、听觉等机能,为鱼类和水生两栖类所特有(朱元鼎和孟庆闻, 1979)。侧线系统由机械感受器和电感受器组成,机械感受器能感知水流、水压的变化;电感受器能感受水环境中微弱电场变化。在鲟鳢鱼中,侧线系统不仅含有机械感受器,而且还有与软骨鱼类类似的壶腹型电感受器,即罗伦氏器(Ampullae of Lorenzini),在电感受器进化中占据着极为重要的地位(赵亚龙和李翼, 2005; 柴毅, 2006; 宋炜和宋佳坤, 2012)。尽管如此,也有研究认为,侧线在中华鳢摄食中不起作用(庄平等, 2008);本次研究的达氏鳢稚鱼也是如此。

3.3 触须在达氏鳢稚鱼摄食中的作用

触须一般被认为是鱼类的机械感受器,用于感知饵料的大小与软硬等触觉特征,但触须上一般都分布有味蕾,所以触须在摄食中也起化学感觉(味觉)的作用。目前,关于触须对于鲟鱼的摄食作用观点极不一致。Moyle等(1988)认为鲟科鱼类主要依靠触须觅食;林小涛等(2000)、张胜宇等(2002)也认为鲟鱼仔鱼的摄食感觉主要靠触觉,但同时承认触觉、嗅觉、味觉和可能存在的电感受器对发现和确认食物非常关键;庄平等(2008)研究认为中华鳢幼鱼主要依靠嗅觉和触须捕食;上述结果都说明了触须在鲟鱼摄食中起重要作用。但梁旭方等(1996)对中华鳢的研究则表明,罗伦氏囊(电感受器)在中华鳢觅食活动中起作用,而中华鳢触须在觅食中作用不大;李锦光(2011)对中华鳢的行为机能进一步实验表明,中华鳢的电感受器和化学器官在摄食中起主要作用,化学器官中鼻孔的嗅觉起主要作用,触须的作用不大。鲟鱼有非常众多的味蕾存在于口腔、触须和吻,它是食物的直接感受器官,鲟鱼通过触须上的外部味觉接受器分辨食物的质量和适口性,通过口腔决定是否可以接受这个食物(Kasumyan, 1999a; Kasumyan & Doving, 2003)。目前没有将吻部、口腔、鳃耙及体表皮肤上的味蕾进行选择性的研究,所以触须在摄食中不起主要作用并不代表味觉器官在摄食中不起主要作用。Jatteau(1998)研究发现鲟科鱼类在开始的混合营养

阶段觅食行为主要依赖于味觉,而嗅觉在后期仔鱼及幼体摄食中的作用非常重要。对于触须在摄食所起作用研究上的差异可能与研究方法及对触须多大程度代表味觉有关。本次对达氏鳊感觉器官选择性封闭试验表明,达氏鳊稚鱼的触须在摄食中不起主要作用,因此认为触须在鲟鱼摄食中不起主要作用,但味觉在摄食中起多大作用需要进一步研究。

3.4 嗅觉和电感觉器官在达氏鳊摄食中的作用

嗅觉主要通过嗅囊来实现,嗅觉提供的信息在很多鱼类的摄食、繁殖、洄游定向以及避敌方面特别重要。在对鲟鱼的感官器官研究中,嗅觉被认为是长距离摄食的主要器官,尽管鲟鱼嗅觉特定的功能模式还没有被详细了解,但鲟鱼对食物化学信号的敏感度很高(Kasumyan, 1993; 2004)。电感觉器官是一种可能源于侧线的感觉系统,主要功能与物体的定位及信息的传递有关,鲟鱼的电感觉器官就是陷器,在一些研究中也误以为是为罗伦氏器或罗伦氏囊,二者功能基本相同,只是前者是鲟鱼类的电感受器,后者是软骨鱼类的电感受器(梁旭方, 1996; 柴毅, 2006; 庄平等, 2008; 史玲玲, 2013)。有研究报道匙吻鲟的电感觉器官在摄食中起主要作用(Wilkens et al, 1997; Wilkens et al 2002); 梁旭方(1996)也认为中华鲟的电感觉器官在摄食行为中起主要作用,触须味觉及嗅觉在摄食中不起主要作用; 而后来庄平等(2008)的研究观点与此相反,认为中华鲟幼鱼主要依靠嗅觉和触须捕食,电感觉器在捕食中不起主要作用; 李锦光(2011)对中华鲟的行为机能进一步实验表明,其电感觉器官和化学器官(主要是嗅觉)在摄食中起主要作用。在对西伯利亚鲟(*A. baerii*)的摄食研究中证实电感觉器官与嗅觉起主要作用,并且西伯利亚鲟以电感觉器官作为首选摄食感觉器官,在缺乏电场信息情况下,可依靠嗅觉器官进行摄食(张旭光, 2011; Zhang et al, 2012)。本研究也表明,鲟鱼主要以电感觉器官和嗅觉进行摄食,二者以电感觉器官更为重要。

3.5 感觉器官在鲟鱼摄食行为中的作用

本次实验设计达氏鳊 1 h 和 6 h 的摄食时间,统计结果出现了差异; 摄食 1 h 结果表明,电感觉和嗅觉在达氏鳊稚鱼摄食中起重要作用; 摄食 6 h 结果则表明单独的电感觉或嗅觉在摄食中也不起主要作用,唯有电感觉和嗅觉以及触觉一起在摄食中起重要作用,说明如果摄食实验设定的有效摄食时间不一样,得出的结果也会不一样。导致结果差异的可能原因是鲟鱼长时间在一个小空间内,已经通过被

封闭器官以外的其它感觉器官形成了摄食定势与习惯,而水蚯蚓相对的静止也促使摄食定势的发生; 表明在以后的研究中要加以注意的是,实验水箱或水池要尽可能大,设定的摄食时间要尽可能短。实验中还发现,去侧线组达氏鳊稚鱼经过 0.1 mmol/L CoCl_2 溶液封闭 7 d 后,活动能力减弱,各平行组间摄食极不稳定,尾均摄食量标准差较大,所以导致了去嗅须电组与去侧组无显著差异,所以在持续 6 d 的 6 h 摄食实验中,侧线组只取了第 1 天的实验数据。为了确保实验误差在允许范围内,还需要对实验鱼小心实施手术,一旦发现有异常行为的实验鱼,马上更换行为正常的替代实验鱼。

3.6 不同食性鲟类的感觉器官摄食作用差异

鲟鱼是现存 27 种鲟形目鱼类的总称,不同种类食性复杂,同一种类不同生长阶段食性也会发生变化。一般而言,鲟鱼食性可归为 3 类: 以浮游动物为食,如匙吻鲟; 以鱼类、虾蟹为食,如白鲟、欧洲鳊和达氏鳊; 以底栖生物、小型鱼类为食,如中华鲟、达氏鳊等 17 种鲟属鱼类、3 种铲鲟属鱼类和 3 种拟铲鲟属鱼类(陈细华, 2007)。因此,对应的摄食策略可能也有 3 种,摄食依赖的感觉器官或许不太一样。本研究表明,鲟鱼的视觉、触觉、侧线感觉在摄食中不占主导作用,电感觉和嗅觉可能在摄食中起重要作用。由于实验条件、方法、手段以及实验对象及实验对象所处阶段的不同,以及实验对象在某一感觉器官封闭中可能出现的其它感觉器官代偿性生长(Kasumyan & Devitsina, 1997; Kasumyan, 2002)。作为对达氏鳊稚鱼摄食器官功能的初步研究,本研究具有局限性,应用本研究的结果时需要谨慎。建议后续针对不同鲟鱼种类,开展不同试验条件和尺度下的综合研究,以期获得较为全面的结论。

参考文献

- 柴毅. 2006. 中华鲟感觉器官的早期发育及其行为机能研究[D]. 武汉: 华中农业大学.
- 陈细华, 朱永久, 刘鉴毅, 等. 2006. MS-222 对中华鲟和施氏鲟的麻醉试验[J]. 淡水渔业, 36(1): 39-42.
- 陈细华. 2007. 鲟形目鱼类生物学与资源现状[M]. 北京: 海洋出版社.
- 李锦光. 2011. 中华鲟电感觉及化学感觉行为研究及其器官结构电镜观察[D]. 广州: 暨南大学.
- 李艳华. 2013. 鳊个体发育行为及其适应与实践意义探讨[D]. 武汉: 华中农业大学.
- 李艳华, 危起伟, 王成友, 等. 2013. 达氏鳊胚后发育的形态观察[J]. 中国水产科学, 20(3): 585-591.

- 梁旭方,1996. 中华鲟吻部腹面罗伦氏囊结构与功能的研究[J]. 海洋与湖沼, 27(1): 1-5.
- 林浩然,2002. 鱼类生理学[M]. 广州: 广东高等教育出版社.
- 林小涛,许忠能,计新丽,2000. 鲟鱼仔、稚、幼鱼的生物学及苗种培育[J]. 淡水渔业, 30(6): 6-9.
- 史玲玲,2013. 达氏鲟感觉器官的早期发育研究[D]. 武汉: 华中农业大学.
- 宋炜,宋佳坤,2012. 西伯利亚鲟仔鱼侧线系统的发育[J]. 动物学研究, 33(3): 261-270.
- 王作楷,1992. 鱼类摄食行为的感觉基础[J]. 水利渔业, (5): 53-56.
- 殷名称,1995. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社.
- 张胜宇,2002. 鲟鱼规模养殖关键技术[M]. 南京: 江苏科学技术出版社.
- 张旭光,2011. 鲟鱼的电感受行为及脑核反应特性[D]. 上海: 上海海洋大学.
- 赵亚龙,李冀,2005. 鱼类电感受器的结构与功能[J]. 河北渔业, (1): 28-28.
- 朱元鼎,孟庆闻,1979. 中国软骨鱼类的侧线系管系统及罗伦翁和罗伦管系统的研究[M]. 上海: 上海科学技术出版社.
- 庄平,章龙珍,罗刚,等,2008. 长江口中华鲟幼鱼感觉器官在摄食行为中的作用[J]. 水生生物学报, 32(4): 475-481.
- 邹桂伟,罗相忠,潘光碧,等,2003. 大口鲈捕食行为感觉作用的研究[J]. 大连水产学院学报, 18(4): 236-240.
- Chai Y, Xie C, Wei Q et al, 2007. The Ontogeny of the Retina of Chinese Sturgeon (*Acipenser sinensis*) [J]. Journal of Applied Ichthyology, 22(s1): 196-201.
- Jatteau P, 1998. Bibliographic study on the main characteristics of Acipenserid larvae [J]. Bulletin Francais de Peche et Pisciculture, 71: 445-464.
- Jørgensen J M, 1980. The Morphology of the Lorenzian Ampullae of the Sturgeon *Acipenser ruthenus* (Pisces: Chondrostei) [J]. Acta Zoologica, 61(2): 87-92.
- Karlsen H E, Sand O, 1987. Selective and reversible blocking of the lateral line in freshwater fish [J]. Journal of Experimental Biology, 133: 249-262.
- Kasumyan A O, 1999a. Olfaction and taste in sturgeon behaviour [J]. Journal of Applied Ichthyology, 15: 228-232.
- Kasumyan A O, 2002. Sturgeon food searching behaviour evoked by chemical stimuli: a reliable sensory mechanism [J]. JApplIchthyol, 18: 685-690.
- Kasumyan A O, 2004. The olfactory system in fish: structure, function and role in behavior [J]. Journal of Ichthyology, 44(2): 180-223.
- Kasumyan A O, Devitsina G V, 1997. The effect of olfactory deprivation on chemosensory sensitivity and the state of taste receptor of Acipenserids [J]. Journal of Ichthyology, 39: 786-798.
- Kasumyan A O, Doving K B, 2003. Taste preferences in fish [J]. Fish and Fisheries, 4: 289-347.
- Kasumyan A O, 1993. Behavioral reaction of male sturgeon to the releaser postovulatory sex pheromone of females [J]. Doklady BiolSci, 333: 439-441.
- Liang X F, Kiu J K, Huang B Y, 1998. The role of sense organs in the feeding behaviour of Chinese perch [J]. Journal of Fish Biology, 52(5): 1058-1067.
- Lindberg J C, 1988. Feeding preferences and behavior of larval and juvenile white sturgeon, *Acipenser transmontanus*. Ph. D. dissertation [D]. University of California, Davis.
- Loew E R, Sillman A J, 1998. An action spectrum for the light dependent inhibition of swimming behavior in newly hatched white sturgeon, *Acipenser transmontanus* [J]. Vis Res, 38: 111-114.
- Moyle P B, Cech J J, 1988. Fishes: An introduction to ichthyology [M]. Prentice Hall (Englewood Cliffs): 212-219.
- Pavlov D S, Kasumyan A O, 1998. The structure of the feeding behaviour of fishes [J]. J Ichthyol, 38: 116-128.
- Sillman A J, O'Leary C J, Tarantino C D, et al, 1999. The photoreceptors and visual pigments of two species of Acipenseriformes, the shovelnose sturgeon (*Scaphirhynchus platorynchus*) and the paddlefish (*Polyodon spathula*) [J]. Journal of Comparative Physiology A, 184(1): 37-47.
- Sillman A J, Beach A K, Dahlin D A, et al, 2005. Photoreceptors and visual pigments in the retina of the fully anadromous green sturgeon (*Acipenser medirostris*) and the potamodromous pallid sturgeon (*Scaphirhynchus albus*) [J]. Journal of Comparative Physiology A Neuroethology Sensory Neural & Behavioral Physiology, 191(9): 799-811.
- Wilkens L A, Hofmann M H, Wojtenek W, 2002. The electric sense of the paddlefish: a passive system for the detection and capture of zooplankton prey [J]. Journal of Physiology - Paris, 96: 363-377.
- Wilkens L A, Russell D F, Pei X, et al, 1997. The paddlefish rostrum functions as an electrosensory antenna in plankton feeding [J]. Proc R Soc Lond Ser B, 264: 1723-1729.
- Zeiske E, Kasumyan A, Bartsch P, et al, 2003. Early development of the olfactory organ in sturgeons of the genus *Acipenser*: a comparative and electron microscopic study [J]. Anatomy & Embryology, 206(5): 357-372.
- Zhang X G, Song J K, Fan C X, et al, 2012. Use of electrosense in the feeding behavior of sturgeon [J]. Integrative Zoology, 7: 74-82.

(责任编辑 万月华)

Effect of Sensory Deprivation on the Feeding Behavior of Juvenile Kaluga (*Huso dauricus*)

HU Jia¹, LI Yan-hua¹, WANG Cheng-you², ZOU Yuan-chao³, WEI Qi-wei²

(1. Agricultural Department, Tongren Polytechnic College, Tongren 554300, P. R. China;

2. Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation, Ministry of Agriculture of China, Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Science, Wuhan 430223, P. R. China;

3. Key Laboratory of Sichuan Province for Fish Conservation and Utilization in the Upper Reaches of the Yangtze River, College of Life Science, Neijiang Normal University, Neijiang 641112, P. R. China)

Abstract: The Kaluga (*Huso dauricus*) is a critically endangered fish species and is listed in CITES Appendix II. However, research on Kaluga biology is incomplete. The objective of this study was to document the function of different sensory systems on the feeding behavior of Kaluga juveniles by selectively blocking sense organs in a feeding behavior experiment. This study provides guidance for species protection and artificial aquaculture of the Kaluga. Kaluga zygotes were collected from the Fuyuan reach of Heilongjiang River in June, 2011. On day 56 after hatching, 120 Kaluga juveniles [body length (13.98 ± 1.27) cm, body weight (17.32 ± 4.31) g] were randomly selected for testing. Seven experimental groups (obtained by surgical excision of visual, olfactory, touch, lateral line, electroreceptor, olfactory/touch, olfactory/touch/electroreceptor) and a control group were prepared with five Kaluga juveniles in each group and each treatment run in triplicate. Prior to the 12 day feeding behavior test, fish were acclimated in tanks for 15 days. During acclimation and testing, water temperature was maintained at $25.2 - 27.5^\circ\text{C}$, DO at 6.5 mg/L and the lighting regime was alternating 12hr periods of light and dark. At 9:00, test fish were fed aquatic earthworms, with a feeding duration of 1 hr for the first six days and 6 hr for the last six days. Food consumed by each group was measured each day. Food consumption by Kaluga juveniles in the visual, lateral line and touch organ deprivation treatments were, respectively, 96.4%, 95.9% and 74.1% that of the control group during the 1h feeding period and the differences were not significant ($P > 0.05$). Food consumption by treatment groups deprived of olfactory, olfactory/touch, electroreceptor and olfactory/touch/electroreceptor organs were, respectively, 69.1%, 63%, 54.3% and 43.9% that of the control group. These decreases in food intake were significant ($P < 0.05$), indicating that the electroreceptors and olfactory organs play an important role in feeding by Kaluga juveniles. However, when the feeding time was prolonged to 6h, food consumption in treatment groups differed significantly from the control group only for the triply deprived group (olfactory/touch/electroreceptor), for which food consumption was only 55.7% that of the control group. It seems likely that the extended feeding period provides sufficient foraging time to mask the effects of electroreceptor and olfactory sensory deprivation on the feeding behavior of juvenile Kaluga.

Key words: *Huso dauricus*; touch; olfactory sense; visual sense; lateral line; electroreceptor; feeding behavior