

# 革胡子鲇触须味蕾及其味觉反应的研究\*

龙天澄

黄溢明

(西南师范大学生物系, 重庆 630715) (中山大学生物系, 广州 510275)

## 提 要

革胡子鲇(*Clarias gariepinus*)上颌须有体表味蕾存在, 约为  $12 \text{ 个} / \text{mm}^2$ , 由通过眼眶后下缘的面神经分枝联系。用电生理学方法记录传入神经冲动, 测定上颌须味蕾对多种动物组织浸提液和氨基酸的味觉敏感性。除甘氨酸、L-脯氨酸、L-色氨酸和L-酪氨酸外, 多数刺激物能引起有效的味觉反应。氨基酸中, L-精氨酸刺激最有效, 阈值低达  $10^{-7} \text{ mol/L}$  左右。氨基酸引起的味觉反应与浸提液的反应特性相似: 快适应; 位相性反应; 高浓度刺激下出现饱和。各种刺激物的味觉反应的阈值、反应速率和相对反应强度有不同, 由电生理记录得到的敏感性结果可在行为学实验中得到验证, 并发现体表味蕾的味觉反应与鱼类的摄饵行为有关。饵料中的游离氨基酸可能是这种行为的引诱剂。

**关键词** 胡子鲇, 味蕾, 电生理记录, 味觉敏感性, 摄饵行为

鱼类发达的味觉感受功能与其在水环境中摄取饵料的行为有关。和高等脊椎动物一样, 鱼类的味觉器官是味蕾(Taste buds)。但硬骨鱼类的味蕾通常不着生在舌上, 而分布于口腔、咽喉、鳃弓、触须, 以至身体表面<sup>[1]</sup>。应用电生理学方法从味蕾的传入神经上记录神经冲动的电信号, 证实了一些硬骨鱼类的味觉感受器对饵料的浸提物有味觉敏感性<sup>[2]</sup>。大西洋鳟(*Salmo salar*)、叉尾鮰(*Ictalurus punctatus*)、日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)、青甘鲷(*Seriola quinqueradiata*)等对氨基酸表现出较强的味觉反应<sup>[3]</sup>。但是研究发现, 鱼类味觉与刺激物的相对效应有某种程度的特异性。即使同一种鱼, 因味蕾的着生部位不同, 生活环境不同, 其味觉反应也有变化<sup>[3,4]</sup>。

探讨鱼类的味觉机理, 不仅能阐明动物化学感觉的功能和机理的一般原则, 而且对于认识饵料中的促摄饵物质(味觉引诱剂 Gustatory attractants)以及研制合成饵料也有重要的指导意义。但目前国内开展这方面的研究工作较少。因此, 本文在观察革胡子鲇(*Clarias gariepinus*)上颌须味蕾组织形态特征的基础上, 应用电生理学方法记录味觉反应的传入神经冲动, 并结合行为学实验确定革胡子鲇须部味蕾对味觉刺激物的敏感性。从而探讨其须部味觉的反应特性和氨基酸作为促摄饵物质的可能性, 以及味觉感受在行为控制上的作用。

\* 国家自然科学基金资助项目, 编号3880080。

1992年5月22日收到。

## 1 材料和方法

革胡子鲇(1981年从埃及引进,鱼塘养殖),100—150g/尾,雌雄不限。实验前先在实验室水族箱内暂养1—2d。截取实验鱼的上颌须(Maxillary barbel),分上、中、下三段做组织学切片。另取相同材料用10%的菠萝酶溶液洗去表面的粘液,制成扫描电镜(SEM)标本。以证实体表味蕾的存在和观察味蕾的形态及分布情况。

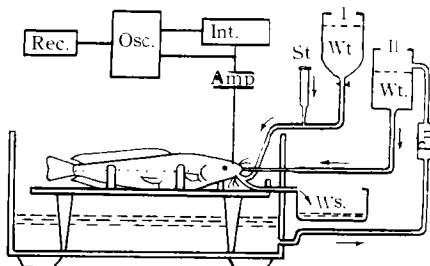


图1 刺激和记录革胡子鲇须部味觉反应的实验装置

Fig.1 Experimental apparatus for stimulating and recording gustatory responses from the afferent nerve of the barbel in *Clarias gariepinus*.

I 灌流上颌须 A constant flow of well water to the maxillary barbel.

II 灌流鱼鳃 A constant flow of well water to the gill.

Rec: 记录仪 Recorder; Osc: 示波器 Oscilloscope; Int: 积分仪 Integrator; Amp: 放大器 Amplifier; St: 刺激液 Stimulus; Wt: 清水 Well water; Ws: 废液 Waste; Pu: 水泵 Pump

记录刺激反应引起的味觉传入神经冲动信号,要对实验鱼进行手术和安置。先用长约20cm的不锈钢探针,从鱼头背部凹陷处刺入。毁损鱼脑和脊髓,然后将鱼夹持在有机玻璃做成的支架上。在鱼口中插入橡皮管,流入不断充气的循环水,灌流鱼的鳃部。同时,将鱼的上颌须套进塑料管内,与灌流装置(I)连接起来,使清水持续流经胡须表面(40ml/min),并能加入刺激物溶液(图1)。每次加入刺激液10ml,刺激物浓度为注入灌流系统(I)前的配制浓度。根据光电比色计对含染料溶液光密度的测定,刺激物到达触须表面时,大约被稀释为原浓度的60%。在灌流的上颌须同侧,施用手术,剪去眼球和眶前骨。小心地避开血管,将通往上颌须的神经分枝与周围的结缔组织分离。神经与引导电极接触处,放上一块浸透石蜡油的棉球。标本可保持活性2—3h。神经的电活动,用银丝电极作双极引导。引导出的脉冲信号经放大器放大以后,送往示波器与积分仪进行监视和处理,然后由生理记录仪同步描记神经复合动作电位(神经放电)和经积分仪(时间常数:0.5s)处理后的波形图。

行为学的研究采用Carr的实验装置和方法<sup>[5]</sup>。即在水族箱内安置一个能够渗出味觉刺激物溶液的多孔橡皮球。橡皮球的一端与记录仪的传感器相连。记录胡子鲇咬触橡皮球的频繁度。先切断实验鱼的嗅束,再切除上颌须,重复上述实验。

味觉刺激物分为两类,一是将可作鱼类饵料的动物组织或个体(蚯蚓、颤蚓、虾皮、鱼粉、田螺、猪血粉、羽粉)烘干,磨碎,配成系列百分浓度的溶液,加热到100℃,再放置24h后过滤,保存2d。二是配成系列摩尔浓度(mol/L)的氨基酸溶液,包括L-脯氨酸、L-色

http://www.SEMtheory.com  
The White Paper  
生理记录 味觉反应的电生  
理学研究的脑回路模型的前言流  
程图示意图由图解部分的  
部分以有向图推至顶格而动  
量度表读数反映的模拋指  
向的矩阵和乘积矩阵的矩阵

(A)是对蚯蚓组织浸提液的味觉反应积分波形记录图。以味觉反应相对强度的对数值为纵坐标,刺激物浓度的对数值为横坐标,作出剂量-反应特性曲线(图4)。它反映出刺激物浓度趋于负无穷时,反应的相对强度趋于零;在一定范围内,随着刺激物浓度的增加,味觉反应增强。但当浓度增加到一定程度后,各浸提液引起的味觉反应强度的增长变缓。

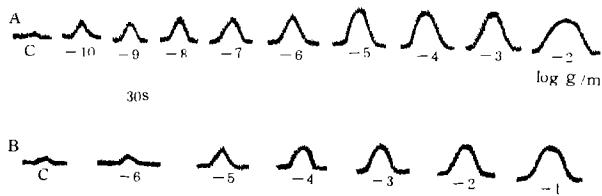


图3 革胡子鲇上颌须味觉反应传入信号的积分波形

Fig.3 Typical integrated waves for the taste responses from the maxillary barbel nerve of *Clarias gariepinus*.

Attractants:

A 刺激物为蚯蚓组织或个体浸提液 The extracts of earthworm

B 刺激物为 L-半胱氨酸溶液 L-Cysteine

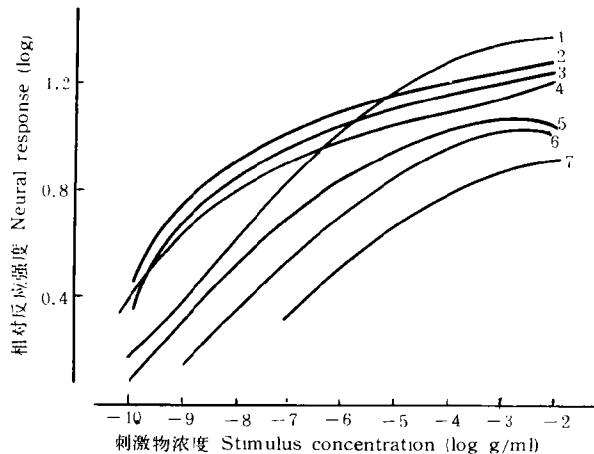


图4 7种动物组织或个体浸提液浓度与味觉反应的关系

Fig.4 Dose-response relationship for 7 extracts.

1 蚯蚓 Earthworm; 2 颠虾 Tubifex; 3 羽粉 Feather powder; 4 虾皮 Dried shrimps; 5 小鱼 Small fishes; 6 田螺 Field snail; 7 猪血 Pig-blood

在各反应特性曲线的延长线上可找到空白实验(对照)的“反应强度”相对应的刺激物浓度,以此作为该刺激物的感觉阈值。另外采用 Weber-Fechner 模型:  $N = A \log S + B$  ( $N$ :感觉等级;  $S$ :刺激量。)对两者的关系进行回归分析,得出相对反应强度随刺激物浓度( $S$ )的变化率( $A$ )。表1比较了这7种动物组织浸提液的感觉阈值和 $A$ 值,同时列出了各种物质浓度为 $10^{-4}$ g/ml时的相对反应强度。从表中可以看出,上颌须味蕾对动物组织或个体浸提液有较高的味觉敏感性,其阈值低达 $10^{-11}$ g/ml。但各物质的刺激效应不

同,其中以蚯蚓和颤蚓组织浸提液的刺激作用最强。

表 1·7 种动物组织或个体浸提液对味觉的相对刺激效应

Tab.1 Relative stimulatory effect of 7 extracts of the animal tissues on gustation.

刺激物 Stimulus ( $10^{-4}$ g / ml)	阈 值 Threshold (g / ml)	变 化 率 Gradient (A)	反 应 强 度 Response magnitude (Mean $\pm$ S.D.)	试验鱼数 No.of fish tested
蚯 蚓 Earthworm	$10^{-11 \pm 0.7}$	0.163	$17.1 \pm 6.0$	19
颤 蚕 Tubifex	$10^{-11 \pm 0.3}$	0.101	$16.1 \pm 2.0$	20
羽 粉 Feather powder	$10^{-10 \pm 0.4}$	0.101	$15.0 \pm 3.1$	18
虾 皮 Dried shrimps	$10^{-11 \pm 0.3}$	0.096	$13.0 \pm 5.1$	17
小 鱼 Small fishes	$10^{-10 \pm 0.4}$	0.098	$11.5 \pm 1.1$	16
田 螺 Field snail	$10^{-9 \pm 0.3}$	0.098	$9.2 \pm 1.2$	17
猪 血 Pig-blood	$10^{-7 \pm 0.8}$	0.112	$6.2 \pm 1.0$	20

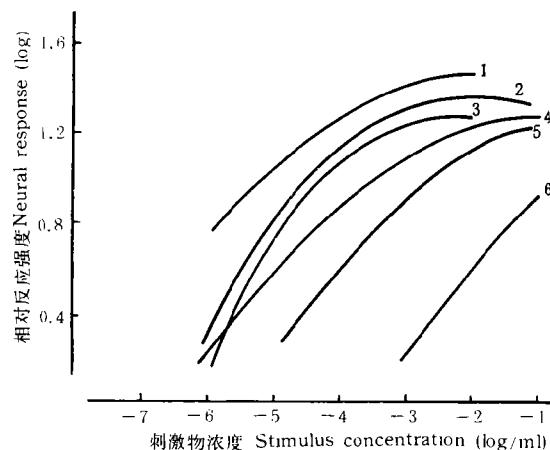


图 5 6 种氨基酸浓度与味觉反应的关系

Fig.5 Dose-response relationship for 6 amino acids.

1 L-精氨酸 L-Arginine; 2 L-半胱氨酸 L-Cysteine; 3 L-谷氨酸 L-Glutamic acid; 4 DL-丙氨酸  
DL-Alanine; 5 L-丝氨酸 L-Serine; 6  $\beta$ -丙氨酸  $\beta$ -Alanine

表 2 6 种氨基酸对味觉的相对刺激效应  
Tab.2 Relative stimulatory effect of 6 amino acids on gustation.

刺激物 Stimulus ( $10^{-2}$ mol / L)	阈值 Threshold (mol / L)	变化率 Gradient (A)	反应强度 Response magnitude (Mean $\pm$ S.D.)	试验鱼数 No. of fish tested
L-精氨酸 Arg	$10^{-7 \sim -0.5}$	0.295	$31.5 \pm 5.0$	20
L-半胱氨酸 Cys	$10^{-6 \sim 0.1}$	0.246	$19.0 \pm 5.2$	17
L-谷氨酸 Glu	$10^{-6 \sim 0.3}$	0.204	$17.2 \pm 4.1$	18
DL-丙氨酸 Ala	$10^{-6 \sim 0.3}$	0.207	$15.1 \pm 4.0$	18
L-丝氨酸 Ser	$10^{-5 \sim 0.6}$	0.283	$15.0 \pm 2.3$	16
$\beta$ -丙氨酸 Ala	$10^{-3 \sim 0.4}$	0.275	$4.5 \pm 1.1$	21

表 3 革胡子鲇对味觉刺激物的行为反应  
Tab.3 Feeding reactions of *Clarias gariepinus* to the taste stimulus.

刺激物 <sup>①</sup> (浓度)	啄饵反应次数(次 / 30min) <sup>②</sup>	
	切除 <sup>③</sup> 嗅束	切除嗅束 <sup>④</sup> 和上颌须
蚯蚓 ( $10^{-4}$ g / ml) Earthworm	> 25	4—5
颤 虫 ( $10^{-4}$ g / ml) Tubifex	15—20	< 4
羽 粉 ( $10^{-4}$ g / ml) Feather powder	15—20	< 4
虾 皮 ( $10^{-4}$ g / ml) Dried shrimps	15—20	3—4
猪 血 ( $10^{-4}$ g / ml) Pig-blood	< 10	3—4
田 螺 ( $10^{-4}$ g / ml) Field snail	< 10	< 3
小 鱼 ( $10^{-4}$ g / ml) Small fishes	< 10	< 3
L-精氨酸 ( $10^{-2}$ mol / L) Arginine	15	3—4
L-谷氨酸 ( $10^{-2}$ mol / L) Glutamic acid	10	< 3
L-半胱氨酸 ( $10^{-2}$ mol / L) Cysteine	10	< 3
DL-丙氨酸 ( $10^{-2}$ mol / L) Alanine	10	< 3
L-丝氨酸 ( $10^{-2}$ mol / L) Serine	5	2—3

① Stimulus (concen.); ② No. of responses (30 min); ③ Severance of the olfactory tract; ④ Ablation of the maxillary barbel and the olfactory tract

用 10 种氨基酸溶液作味觉刺激物, 除甘氨酸、L-脯氨酸、L-色氨酸和 L-酪氨酸不能记录到味觉反应的电生理信号外, 其他 6 种氨基酸都能够得到味觉反应的电生理记录。记录到的传入冲动积分波形如图 3(B)所示。图 5 是氨基酸刺激作用下的剂量-反应特性曲线。随着氨基酸浓度的增加, 反应增强, 但刺激物浓度较高时, 反应强度的增加变缓。反应特性相似于动物组织浸提液刺激所引起的味觉反应。将有刺激作用的 6 种氨

基酸的阈值、变化率(A),以及氨基酸浓度为 $10^{-2}$ mol/L时的相对反应强度进行比较(表2),结果表明:L-精氨酸的反应强度远大于其他几种氨基酸,其阈值为 $10^{-7.5}$ mol/L;也是最低的。据此可以认为上颌须味蕾对L-精氨酸的敏感性最高。

### 2.3 味觉反应的行为学观察

用上述动物组织浸提液( $10^{-4}$ g/ml)和氨基酸溶液( $10^{-2}$ mol/L)作为摄食行为的引诱剂,记录其溶液进入水族箱后,30min内胡子鲇咬触橡皮球次数的平均值(表3)。结果表明,实验所用的动物组织或个体浸提液都能引起反应。氨基酸溶液中有5种氨基酸(L-精氨酸、L-谷氨酸、DL-丙氨酸、L-半胱氨酸、L-丝氨酸)能够引起反应。

作行为学实验的胡子鲇已切断了嗅束,避免了嗅觉的影响。再将这些鱼的上颌须切除,重复行为学实验。记录结果表明,对刺激物的反应降到平均5次以下。

## 3 讨论

### 3.1 味觉的形态学依据

味蕾存在的形态学证据是研究其生理和行为功能的基础。革胡子鲇的上颌须上皮组织里确实存在体表味蕾感受器。味蕾中有明、暗两类感觉细胞(图2,A)。其形态结构与Atema等人的描述相似<sup>[6]</sup>。正是这些味感受器使胡子鲇上颌须对有味物质的刺激产生反应。值得注意的是,Reutter曾经认为,鱼的味蕾一般缺乏味孔。整个味蕾靠近表面,只有一薄层粘液覆盖,有味物质能够比哺乳动物更为直接的到达感受器膜上<sup>[7]</sup>。但我们的观察结果表明胡子鲇上颌须的味蕾是在上皮较深处,可能仍然是通过味孔接受外界的刺激物。一般用扫描电镜观察上颌须表面,由于粘液覆盖,见不到味孔。当用酶洗去粘液后制得SEM标本,就能够观察到表皮上有许多分散的孔状结构(图2,B)。结合对光镜切片的观察,我们认为这可能就是味蕾通向外界,被粘液覆盖的味孔。与哺乳动物不同的是这些味孔不是集中在味乳头的小突起上,孔与上皮表面平齐或稍凹陷。可以认为胡子鲇上颌须味蕾在形态上与哺乳动物的味蕾并没有多大不同。鱼类高度的味觉敏感性可能不是因为刺激物更容易到达感受器的膜所致。

另外,还要指出的是,胡子鲇上颌须的味蕾分布密度较低,约为12个/mm<sup>2</sup>。而Atema测得黄鲷(*I. natalis*)上颌须的味蕾密度大于25个/mm<sup>2</sup><sup>[6]</sup>。Kiyoohara测得鮈鱼(*Phoxinus caevis*)口和口外味蕾的密度为130个/mm<sup>2</sup>以上<sup>[8]</sup>。但是根据味觉反应的生理记录,黄鲷的触须对半胱氨酸和相关化合物反应的阈值为 $5 \times 10^{-5}$ mol/L— $5 \times 10^{-4}$ mol/L<sup>[9]</sup>。而我们测得胡子鲇上颌须对氨基酸反应的阈值为 $10^{-3}$ mol/L— $10^{-7}$ mol/L(表2)。看来须部味蕾的数量与味觉的敏感性没有直接关系。Caprio在比较了多种鱼类的研究结果后也指出,大量口外味蕾的存在,并不是高度味觉敏感性的必要条件<sup>[10]</sup>。须部味蕾的数量较少,可能确定食物源位置的能力较弱<sup>[11]</sup>。

### 3.2 味觉反应特性

当有味物质溶液流经胡子鲇上颌须表面时,从须部味蕾的传入神经上可记录到瞬时增加的神经冲动信号。由于毁损了实验鱼的脑和脊髓,避免了中枢神经的传出影响;同时用清水灌流上颌须,避免了机械刺激的影响,保证了记录结果是味化学感受的传入信号。

用作实验的7种动物组织或个体浸提液都能引起味觉反应。另有6种氨基酸溶液也引起相似的味觉反应。从这些味觉反应的特性来看,胡子鲇须部味蕾的味觉反应是一种位相性反应,即在受到有味物质刺激后,立即产生高频率的向中发放,发放神经冲动的时间却较短,无紧张性发放。这是一般快反应感受器的特征。因此,上颌须味蕾应属于快适应的化学感受器。这与其他鱼的测定结果相同。快适应有利于接受新刺激,以便不断进行探测性的活动。

电生理记录的味觉反应相对强度随着刺激物浓度的增加而增加。当刺激物的浓度很低时,反应逐渐下降,趋近于零。用Weber-Fechner模型可以近似地描述其在双对数坐标系中的剂量和味觉反应之间的关系。叉尾鮰对氨基酸的反应,青甘鲷对枪乌贼肌肉提取物的反应,都有类似的剂量-反应关系<sup>[2,10]</sup>。从剂量-反应的关系(图4,5)中还可看出,当刺激物浓度较大时,曲线渐趋于平缓,再增大刺激,也难以观察到味觉反应强度的增加。此现象意味着感觉饱和,是化学感受器一般都具有的特性,与感受器膜上受体数量有关。研究发现,味觉刺激作用较强的物质,更容易引起饱和。

在动物组织浸提液和氨基酸溶液引起的胡子鲇上颌须味蕾的味觉反应中,快适应、饱和、剂量-反应关系等表现出来的味觉反应特性是完全相同的。

### 3.3 味觉的敏感性

鱼类味觉对刺激物的剂量-反应关系,取决于鱼的种类和用于实验的各种刺激物。但凭借剂量-反应曲线的相互关系可比较在一种浓度所试物质的相对刺激效应<sup>[3]</sup>。

将胡子鲇须部味蕾对动物组织浸提液在 $10^{-4}$ g/ml浓度下的相对反应强度进行比较,可以看出,刺激物不同,其味觉敏感性的高低也不一样。通常认为相对反应强度较大,阈值较低的刺激物,味觉反应的敏感性较高,其刺激效应也较强。电生理记录表明(表1),在9种物质中,以蚯蚓、颤蚓、羽粉浸提液引起的味觉反应较强,敏感性较高。对各种刺激物不同的味觉敏感性可能取决于鱼对饵料的嗜好性。胡子鲇是肉食性鱼类,嗜好含有丰富蛋白质的动物性饵料。象蚯蚓、颤蚓等小动物是其摄取的食饵,因而具有较高的味觉敏感性。

用作试验的10种氨基酸是对黄鮰,日本鳗鲡(*A. japonica*),鲤(*Cyprinus carpio*)等种类刺激有效的氨基酸<sup>[3]</sup>。但其中只有6种对革胡子鲇刺激有效。比较 $10^{-2}$ mol/L浓度下的相对反应强度和感觉阈值(表2),敏感性最高的是L-精氨酸。其中:L-精氨酸>L-半胱氨酸>L-谷氨酸>DL-丙氨酸>L-丝氨酸> $\beta$ -丙氨酸。对不同的鱼产生味觉反应的有效氨基酸不完全相同,阈值也有差别。刺激叉尾鮰须部味蕾最有效的氨基酸是L-丙氨酸,阈值为 $10^{-11}$ — $10^{-12}$ mol/L<sup>[10]</sup>。L-脯氨酸是刺激青甘鲷头面部味觉最有效的氨基酸;阈值为 $10^{-6}$ mol/L<sup>[2]</sup>。但对革胡子鲇须部味蕾刺激无效。甘氨酸是一种对很多鱼类都有效的味觉刺激物,对胡子鲇上颌须味蕾也无刺激作用。这种味觉敏感性的不同,是因为各种鱼感受器受体的结构不同或作用机理不一样,还是由于长期适应不同的生活环境产生的味觉变化,需要作进一步研究。不过有一点比较肯定,就是味觉的敏感性与刺激物的构象有关。如胡子鲇及多数的鱼对 $\alpha$ -丙氨酸的味觉反应明显大于 $\beta$ -丙氨酸。只有日本鳗鲡例外,两种丙氨酸刺激其腭器的有效性无明显差别<sup>[3]</sup>。

对各种刺激物的味觉敏感性进行比较时,若考虑其味觉反应的变化率(A),结果往往

不够准确。这是因为各刺激物的剂量—反应关系双对数图并不是直线。都采用同一个浓度范围的变化率进行比较，对于相对反应强度不是成比例变化的刺激而言，会有较大的误差。Caprio 等人在比较各刺激物的刺激效应时，也只强调某一浓度下的反应强度和阈值<sup>[10]</sup>。在我们的实验结果中，尽管蚯蚓组织浸提液引起的味觉反应变化率在各动物组织浸提液中是最大的，L-精氨酸在各氨基酸溶液中的情况也如此，但其他物质的变化率排列却无规律可循（表 1, 2）。我们认为，各氨基酸和除蚯蚓组织外的各物质随刺激效应的递增，其剂量—反应曲线在双对数座标图上也向左上方偏移，在大多数浓度点上各物质的反应强度排列顺序是一致的。因此，从反应强度和阈值即可反映出味觉敏感性的高低。值得注意的是蚯蚓组织浸提液的剂量—反应曲线，刺激浓度较低时，味觉反应很弱，当刺激浓度提高到一定值后，反应强度有较大幅度的增加。这类刺激物的味觉刺激效应就需要考虑变化率的大小，使味觉敏感性的结果更为准确。

### 3.4 味觉与摄食行为的关系

根据行为学的初步实验证实，上述用于电生理学测定的动物组织或个体浸提液都能诱使胡子鲇趋近刺激源和咬取食物的行为。在电生理记录中，味觉反应敏感性最强的刺激物是蚯蚓的浸提液。行为学实验结果表明，它也是最有效的刺激物。在电生理测定中有效的氨基酸刺激物，除反应最弱的  $\beta$ -丙氨酸以外，其他氨基酸在刺激摄食行为上也是有效的。L-精氨酸在电生理记录和行为学测定的结果中都是最有效的刺激物。前面我们已经提到，氨基酸引起的味觉反应具有与动物组织浸提液相同的反应特性。行为学实验又证明了氨基酸也能刺激胡子鲇的摄饵行为。由此推测，胡子鲇上颌须味蕾对动物组织或个体浸提液的味觉反应可能与浸提液中含有的游离氨基酸成分有重要关系。据报道，许多饵料的提取物含有氨基酸和其他一些含氮化合物，其中多数氨基酸具有促摄饵物质的活性<sup>[4, 12]</sup>。氨基酸是水溶性的，在所有生物细胞内部都存在。许多水生无脊椎动物（潜在的饵料生物）靠氨基酸进行渗透压调节，它可以从细胞的贮存处释放到环境中去。氨基酸还可在鱼类体表的粘液中见到，并从腐败的动植物组织中被水解而释放出来。因此，氨基酸对鱼是一种有效的味觉刺激物，它诱发鱼类的摄饵行为。水体中可溶性游离氨基酸的基础水平较低（细菌和藻类能有效地摄取氨基酸），这更减弱了味觉的适应性，保证了氨基酸作为鱼类味觉信息分子的可靠性<sup>[13]</sup>。

鱼类对各种氨基酸具有不同的味觉敏感性，可能与它对营养的需求有关。实验结果表明，对胡子鲇味觉有较强刺激作用的 L-精氨酸、L-半胱氨酸都是鱼类的必需氨基酸，既能增加营养，又可作为味觉引诱剂以促进其对饵料的摄取。表 3 的实验结果还表明，单一氨基酸刺激行为反应的作用不如混合成分的动物组织浸提液。这可能因为动物组织浸提液内含成分（如多种氨基酸）之间在刺激味觉方面有相加效应。由于胡子鲇上颌须味蕾不是参与摄食行为的唯一味觉感受器，因此切断嗅束后再切除上颌须的鱼仍有少量的行为反应。但反应次数减少较多。由此可以确定，上颌须味蕾的体表味觉在胡子鲇接近和咬取饵料的行为中起主要作用。

## 参 考 文 献

- [1] Finger T E. The gustatory system in teleost fish. In: Fish Neurobiology. (Northcutt R G, Davis R E, eds) University of Michigan Press. 1983: 286—288.
- [2] Fukuda K, et al. The feeding-stimulatory effects of squid muscle extracts on the young yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1989, **55**(5): 791—797.
- [3] Tucker D. Fish chemoreception: Peripheral anatomy and physiology. In: Fish Neurobiology. (Northcutt R G, Davis R E, eds) University of Michigan Press. 1983: 311—342.
- [4] Ishida Y, Hidaka I. Gustatory response profiles for amino acids, glycinebetaine and nucleotides in several marine teleosts. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 1987, **53**(8): 1391—1398.
- [5] Carr W E S. Chemoreception and feeding behavior in the pigfish. *Comp. Biochem. Physiol.*, 1976, **55A**: 153—157.
- [6] Atema J. Structures and functions of the sens of taste in the catfish, *Ictalurus natalis*. *Brain Behav. Evol.* 1971, **4**: 273—294.
- [7] Reutter K. Taste organ in the Bullhead, Teleostei. *Adv. Anat. Embryol. Cell Biol.*, 1978, **55**(1): 1—98.
- [8] Kiyoohara S, Yamashita S, Harada S. High sensitivity of minnow gustatory receptors to amino acids. *Physiol. Behav.* 1981, **21**: 1103—1108.
- [9] Fujiya M, Bardach J E. A comparison between the external taste sense of marine and freshwater fishes. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish*, 1966, **32**: 45—56.
- [10] Caprio J. High sensitivity and specificity of olfactory and gustatory receptors of catfish to amino acids. In: Chemoreception in Fishes. (Hara T J, ed) Elsevier, Amsterdam. 1982: 109—113.
- [11] Johnsen P B, Teeter J H. Spatial gradient detection of chemical cues by catfish. *J. Comp. Physiol.*, 1981, **140**: 95—99.
- [12] Johnsen P B, Adams M A. Chemical feeding stimulants for the herbivorous fish, *Tilapia zillii*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 1986, **83A**: 109—112.
- [13] Marui T, Harada S, Kasahara Y. Multiplicity of taste receptor mechanisms for amino acids in the carp, *Cyprinus carpio L.* In: Umami / A basic taste. (Kawamura Y, Kare M R, eds) Kagoshima, Japan. Marcel Dekker, Inc. 1987: 185—200.

## GUSTATION AND TASTE ORGAN IN THE BARBEL OF THE AFRICAN CATFISH

Long Tiancheng

Huang Yiming

(Southwest China Normal University, Chongqing 630715) (Zhongshan University, Guangzhou 510275)

### Abstract

The maxillary barbel of the African catfish, *Clarias gariepinus*, contains epidermal chemosensory organs, the taste buds. It was estimated that there are 12 taste buds in each  $\text{mm}^2$  of the maxillary barbel epidermis. The gustatory sensitivity to the extracts of animal tissues and amino acids was studied by recording the neural responses from the branch of the facial nerve innervating the maxillary barbel.

Positive gustatory responses to the tested stimulatory compounds, except Glycine, L-Proline, L-Tryptophan and L-Tyrosine, were observed. Among the amino acids tested, the most potent stimulus is L-Arginine which has an approximate electrophysiological threshold of  $10^{-7}$  mol / L. The taste responses to amino acids and the extracts have similar characteristics, rapid adaptation, phasic response, and saturation at high concentrations. However, the threshold, the gradient and the response magnitude for the chemicals tested at same concentrations in the present study are different from one stimulus to another.

The more sensitive stimuli by electrophysiological recordings are also the more effective feeding-stimulatory substance. The results indicate further that the gustatory responses of the epidermal taste buds are related with the exploratory and feeding behavior in african catfish. It is suggested that some water-soluble amino acids in feeds may evoke feeding responses.

**Key words** *Clarias gariepinus*, Taste bud, Electrophysiological recording, Gustatory sensitivity, Feeding behavior