

鳊早期味蕾发育的组织学特征

郝月月 赵金良* 张瑞祺 陈晓武 曹晓颖

上海海洋大学 农业部淡水水产种质资源重点实验室 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心

水产科学国家级实验教学示范中心 上海 201306

摘要: 采用石蜡切片、H.E 染色研究了 3 ~ 28 日龄鳊 (*Siniperca chuatsi*) 味蕾发育的组织学特征, 并通过扫描电镜观察 28 日龄鳊口腔组织味蕾类型与数目。结果表明, 未开口期 (3 日龄), 鳊口裂未张开, 味蕾尚未分化; 开口期 (7 日龄), 鳊口裂张开明显, 味蕾呈椭圆形, 突起高度平缓, 主要分布在上下颌上皮上, 舌、咽、鳃弓上皮上有少量分布; 稚鱼期 (14 日龄), 味蕾呈圆锥形, 突起高度上升, 舌和咽上味蕾数目增加; 21 日龄, 味蕾呈近梯形, 突起高度不变, 下颌、舌、咽上味蕾数增加, 鳃弓上味蕾数目显著增加; 28 日龄, 味蕾发育完全, 口腔味蕾数继续增加。扫描电镜观察表明, 鳊味蕾主要有 3 种类型: I 型味蕾近球形, 含有大量微绒毛, 突起高于上皮, 味孔向外突起; II 型味蕾含有少量微绒毛, 突起略高于黏膜上皮, 味孔向内凹陷; III 型味蕾微绒毛含量最少, 突起几乎与黏膜上皮共面, 味孔平坦或凹陷。上下颌、咽、鳃中以 I 型味蕾数量最多, II 型味蕾最少, 舌上主要分布 I 型味蕾, 无 III 型味蕾。结果表明, 鳊早期味蕾结构发育与其摄食关联, 推测其主要通过 I 型味蕾和 II 型味蕾对食物的机械性和化学成分进行识别。

关键词: 鳊; 味蕾; 发育; 组织学; 扫描电镜

中图分类号: Q955 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2018) 05-752-08

Histological Characteristics of Taste Bud during Early Development of Mandarin Fish *Siniperca chuatsi*

HAO Yue-Yue ZHAO Jin-Liang* ZHANG Rui-Qi CHEN Xiao-Wu CAO Xiao-Ying

Laboratory of Freshwater Fisheries Germplasm Resource, Ministry of Agriculture, Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal

Genetics and Breeding, National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education,

Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: Histological characters of taste bud during early development of Mandarin Fish (*Siniperca chuatsi*) at 3 - 28 days were observed through the paraffin section and H.E staining, and further observation was made via scanning electron microscopy to analyze the types and density of taste buds at 28 days old. The results showed that the mouth was not open until 3 days old when the taste bud was undifferentiated (Fig. 1a); at 7

基金项目 现代农业产业技术体系专项 (No. CARS-46);

* 通讯作者, E-mail: jlzhao@shou.edu.cn;

第一作者介绍 郝月月, 女, 硕士研究生; 研究方向: 水产养殖; E-mail: 2633126224@qq.com。

收稿日期: 2018-01-29, 修回日期: 2018-07-11 DOI: 10.13859/j.cjz.201805010

days old, the mouth was open, and taste bud was in oval shape with gentle projections, which were distributed in the mucosa epidermis of pharynx epithelium, tongue, jaw and gill arch (Fig. 1b, Fig. 2a - d); at 14 days old, lower jaw began to develop, and taste bud was conical, meanwhile, the protrusion height was increased, and the number of taste bud in pharynx, gill and tongue began to increase (Fig. 1c, Fig. 2e - h); at 21 days old, taste bud was in trapezoidal shape with obvious projections, the number of which has increased in jaw, pharynx and tongue, most notably in gill arch (Fig. 1d, Fig. 2i - j); at 28 days old, taste bud developed completely, and the number of taste bud increased in all oropharyngeal cavity (Fig. 2k). Three main types of taste buds were observed by scanning electron microscopy (Fig. 3): type I taste bud was in ball-like shape with contained quantities of microvilli, its processes were higher than that in the mucosa epithelium, and taste pores bumped out; type II taste bud contained a few microvilli, its processes slightly higher than that in the mucosa epithelial, and taste pore was concave beneath; type III taste bud contained a few microvilli, its processes were almost coplanar with the mucosa epithelium and the smooth inner hole. The number of Type I taste bud was maximal, and that of type II was minimal in the jaw, pharynx, while a large amount of type I taste bud was observed in the tongue which contained no type III taste bud (Fig. 4, Table 1). The results showed that taste bud development in early stage played an essential role in feeding, and that type I and II taste buds were properly the main types in mechanical and chemical recognition during food intake.

Key words: *Siniperca chuatsi*; Taste bud; Development; Histology; Scanning electron microscopy

鳅 (*Siniperca chuatsi*) 是我国特有的淡水经济鱼类, 也是典型的肉食性鱼类, 终生以活鱼虾为食, 这一食性引起许多学者的关注 (蒋一珪 1959)。前期研究表明, 鳅摄食采用伏袭型方式, 捕食主要依靠视觉、侧线系统进行食物选择, 摄食过程包括等待、发现 (注视)、跟踪、袭击、咬住、吞食等连续过程, 此外, 嗅觉、味觉参与食物识别过程 (吴遵霖等 1988, 梁旭方 1996)。味觉一般是在咬住食物、食物进入口腔后, 参与最后识别。味蕾是鱼类味觉中重要的化学感受器, 食物分子先与味蕾中的味觉受体 (鲜味受体、甜味受体等) 结合, 再经细胞内信号传导和神经传递到达大脑, 经整合分析产生味觉 (Kotrschal 2000)。研究表明, 鳅上下颌、口咽腔等部位均有味蕾的分布, 并存在不同类型 (杨秀平等 1993), 且对口咽腔上皮细胞 (杨秀平等 1997)、味蕾的超微结构 (张训蒲等 1996) 以及味蕾神经组织化学特征 (黎会平等 1997) 进行了初步研究。但味觉是否为其肉食性发挥特有的识别作用, 尚不清楚。

尽管上下颌、舌、咽、口咽腔都有味蕾分

布, 也有学者认为, 味觉在鳅食物辨别方面的作用似乎不大, 这是因为鳅主要依靠视觉、侧线等辨别活的鱼饵, 一旦咬入口的食物, 很少因不适而吐出; 另一原因是, 鳅游动追击能力虽不强, 但上下颌、齿骨上布满向咽部倾斜的尖齿, 一旦食物靠近、被咬住后, 被食鱼苗很难逃逸 (吴遵霖 1987)。而有关味觉与动物食性的关系, 最新一些研究表明, 大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*) 的植食性可能与其味觉受体——鲜味受体 *t1r1* 基因发生假基因化有关 (Zhao et al. 2010), 而一些肉食性猫科动物因进化过程中甜味受体 *t1r2* 基因出现假基因化而不摄食甜味物质 (Li et al. 2009)。在鳅肉食性形成和固化后, 味觉及味觉器官是否也会有功能退化性表现, 尚无研究。

为此, 本文利用组织切片和扫描电镜技术研究鳅早期味蕾发育过程, 了解味蕾结构发育的组织学变化特征和分布特征, 为鳅摄食生物学研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验鳊取自于上海市浦东新区孙农水产养殖场。挑选性腺发育成熟雌、雄鳊，人工催产、自然受精后，受精卵于孵化桶中孵化，孵化水温 21 ~ 23 °C。以团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*) 鱼苗为开口饵料，随着鳊个体的长大，投喂适口的草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 鱼苗。分别在未开口期 3 日龄、开口期 7 日龄和稚鱼期 (14 日龄、21 日龄、28 日龄) 共 5 个发育时期采集鳊样品，每次随机取 10 ~ 15 尾，并测量全长。

1.2 实验方法

1.2.1 组织切片观察 取上述 5 期个体各 10 尾，用 Bouin's 液固定 24 h，70% 酒精清洗样品至黄色褪去，然后经 80% ~ 100% 的酒精脱水，二甲苯透明，浸蜡 2 h，石蜡包埋，全长小于 1 cm 的鱼苗整体包埋，大于 1 cm 的鱼苗去躯干、尾再包埋。使用 Leica RM 2016 型切片器通过横切和纵切两种方式将各时期鳊整鱼连续切片。厚度为 5 ~ 7 μm，常规 H.E 染色，中性树胶封片，Olympus 显微镜观察、拍照。

1.2.2 扫描电镜 将 28 日龄鳊口咽腔沿口裂剪开，取出上颌、下颌、舌、咽、鳃。经生理盐水漂洗表面黏液，1 × PBS 缓冲液冲洗 4 ~ 6 次，然后经 2.5% 戊二醛固定 12 h，再经 1% 锇酸后固定 1 h，再经 50% ~ 100% 系列酒精逐级脱水，二氧化碳临界干燥，日立 E-1010 型离子溅射仪真空离子镀膜，Hitachi S-3400N II 型扫描电镜观察、拍照，Image-ProPlus 图像分析软件统计口咽腔味蕾的数目，SPSS22.0 软件进行分析统计，并用 ANOVA 分析数据。

2 结果与分析

2.1 组织切片观察

未开口期 (3 日龄) 鳊仔鱼平均全长 (5.02 ± 0.02) mm ($n = 15$)，口裂形成，但未张开，上下颌近等长，味蕾尚未分化 (图 1a)。开口期 (7 日龄)，平均全长 (5.95 ± 0.05) mm ($n = 15$)，口裂张开，上颌比下颌略长 (图 1b)；味

蕾呈椭圆形，突起高度平缓，味孔凹陷上皮，主要分布在上下颌上皮，舌、咽、鳃弓黏膜上皮有少量分布 (图 2a ~ d)。稚鱼期 (14 日龄)，平均全长 (7.43 ± 0.07) mm ($n = 15$)，下颌发育加快，与上颌等长 (图 1c)；味蕾呈圆锥形，突起高度上升，味孔高于黏膜上皮，咽和舌上味蕾数目明显增加 (图 2e ~ h)。21 日龄，平均全长 (13.32 ± 0.56) mm ($n = 15$)，下颌长于上颌 (图 1d)；味蕾近梯形，突起高度不变，味孔明显，孔径增加，鳃弓上味蕾数明显增加，下颌、咽、舌上味蕾数增加 (图 2i ~ j)。28 日龄，平均全长 (17.77 ± 1.74) mm ($n = 15$)，味蕾发育完全，上下颌、舌、咽、鳃弓上味蕾数继续增加 (图 2k)。

2.2 扫描电镜观察

鳊味蕾主要分布口咽腔上皮层，且通过味孔开口于上皮表面。根据味蕾开口内微绒毛数量与周围上皮高度的不同，味蕾分为 3 种类型：I 型味蕾含大量微绒毛，味孔呈球状向外突起，其顶端微绒毛明显高于上皮；II 型味蕾含少量微绒毛，味孔向内凹陷明显，但其顶端微绒毛略高于上皮；III 型味蕾微绒毛含量最少，味孔平坦或稍向下凹陷，顶端微绒毛与上皮几乎共面 (图 3)。

口咽腔不同部位味蕾数目不同，上下颌、咽最多，其次是舌，鳃部最少 (表 1)。上颌、下颌、咽部 I 型味蕾最多，III 型味蕾最少；舌部 I 型味蕾最多，无 III 型味蕾；鳃弓中 I 型味蕾最多，III 型味蕾最少。I 型、II 型味蕾主要分布在上下颌、咽上，少量分布在鳃上，III 型味蕾主要分布在上下颌，少量分布在鳃，舌上不分布 (图 4)。

3 讨论

味蕾是动物味觉的主要感受器官，鱼类味觉发育与其摄食习性密切相关。草鱼在味蕾形成初期，开始摄食；随着仔鱼日龄增加，味蕾孔径和数目逐渐增加，且口咽腔各部分的分布和数量不断改变，摄食能力增强 (王敏等

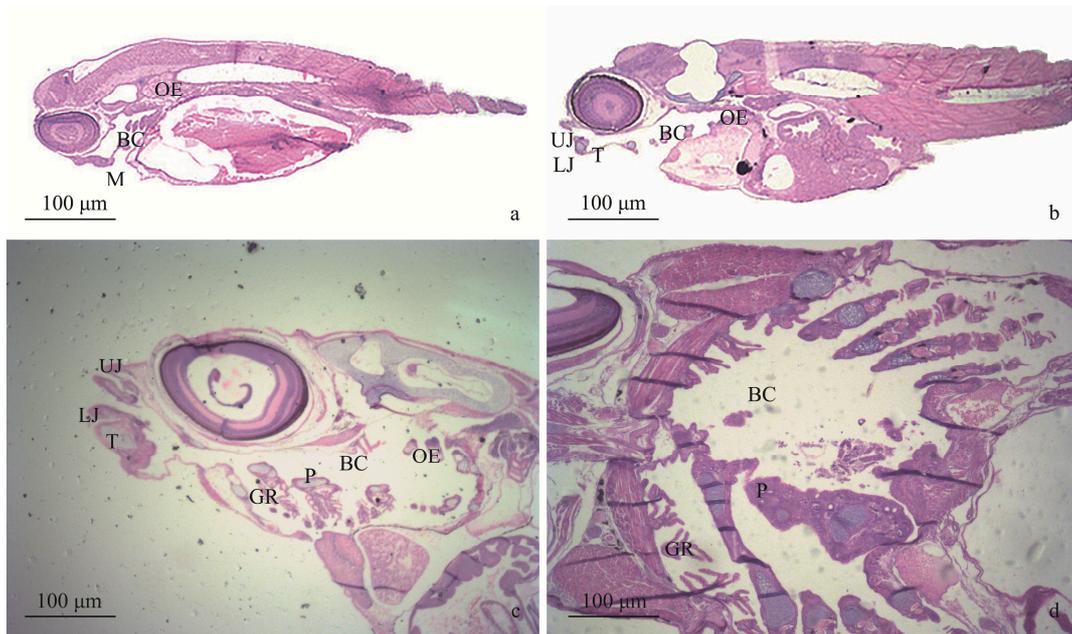


图 1 鳅早期口咽腔味蕾分布

Fig. 1 Distribution of taste bud in the oropharyngeal cavity during early development of Mandarin Fish

a. 未开口期 (3 日龄) 纵切 (40 ×); b. 开口期 (7 日龄) 纵切 (40 ×); c. 稚鱼期 (14 日龄) 纵切 (40 ×); d. 稚鱼期 (21 日龄) 纵切 (40 ×)。

a. Sagittal section of 3 days old (40 ×); b. Sagittal section of 7 days old (40 ×); c. Sagittal section of 14 days old (40 ×); d. Sagittal section of 21 days old (40 ×).

BC. 口咽腔; GR. 鳃弓; LJ. 下颌; M. 口; OE. 食道; P. 咽; T. 舌; UJ. 上颌。

BC. Oropharyngeal cavity; GR. Gill arch; LJ. Lower jaw; M. Mouth; OE. Oesophagus; P. Pharynx; T. Tongue; UJ. Upper jaw.

1993)。泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*) 仔鱼开口初期, 味蕾自口咽腔复层扁平上皮开始发育, 随着仔稚鱼发育, 口咽腔味蕾数目增加, 摄食能力增强 (张建业 2014)。南方鲇 (*Silurus meridionalis*) 仔鱼开口初期, 味蕾细长, 随着其日龄增加, 味蕾变矮变粗, 味孔明显 (杨桂枝等 1998)。本研究结果表明, 未开口期 (3 日龄), 鳃口裂正在形成, 味蕾尚未发育; 开口期 (7 日龄), 鳃口咽腔形成, 味蕾呈椭圆形, 主要分布在上下颌; 稚鱼期 (14 日龄), 味蕾呈圆锥形, 咽和舌上味蕾增加; 21 日龄, 味蕾近梯形, 鳃上味蕾增加; 28 日龄, 味蕾发育完全。味蕾的形态结构、分布数目随鳃仔稚鱼发育不断完善, 这也与鳃早期消化器官发育以及营养类型转换的研究结果相对应, 0~4 日龄,

口裂发生与消化道发育, 未开口摄食, 5~12 日龄胃腺发育, 摄食增加 (吴雪峰等 2007); 0~3 日龄, 未开口摄食, 依靠内源性营养, 4~7 日龄, 开口摄食, 进行混合营养, 8 日龄, 进行外源性营养, 摄食能力增强 (吴遵霖 1987)。由于鳃味蕾结构 (味觉功能) 发育与其消化器官发育、开口摄食时间基本一致, 初步认为, 味觉可能参与其肉食性摄食过程, 并发挥作用。

鱼类味蕾主要分布在上下唇、舌、咽上 (栾雅文等 2003), 少数分布在口须和食道上 (郑文彪等 1992), 不同部位味蕾的作用各不相同。王永翠等 (2012) 对黄鳍鲷 (*Acanthopagrus latus*) 味蕾组织结构和分布研究, 结果表明, 味蕾主要分布在唇、咽, 少量分布在鳃弓上, 借助唇触发上下颌咬食、舌上味蕾辅助上下颌、

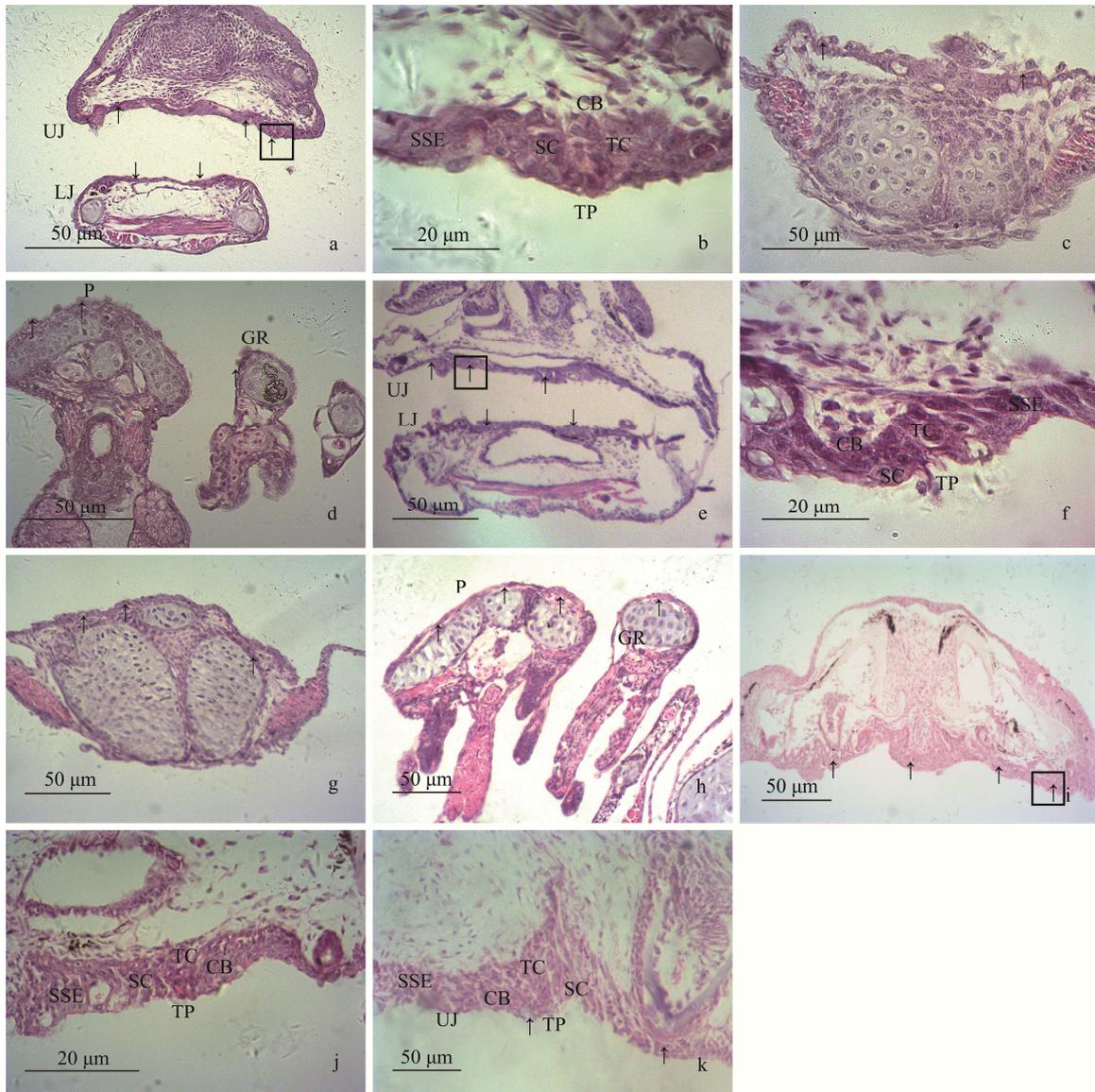


图 2 鳅早期口咽腔味蕾结构发育

Fig. 2 Structure of taste bud in the oropharyngeal cavity during early development of Mandarin Fish

a. 7 日龄上下颌 (400 ×); b. 7 日龄味蕾放大图 (1 000 ×); c. 7 日龄舌 (400 ×); d. 7 日龄咽鳃部 (400 ×); e. 稚鱼期 (14 日龄) 上下颌 (400 ×); f. 稚鱼期 (14 日龄) 味蕾放大图 (1 000 ×); g. 稚鱼期 (14 日龄) 舌 (400 ×); h. 稚鱼期 (14 日龄) 咽鳃部 (400 ×); i. 21 日龄上颌 (200 ×); j. 21 日龄味蕾放大图 (1 000 ×); k. 28 日龄上颌 (200 ×)。

a. The jaw at 7 days old (400 ×); b. Magnification of taste bud at 7 days old (1 000 ×); c. The tongue at 7 days old (400 ×); d. The pharynx and gills at 7 days old (400 ×); e. The jaw at 14 days old (400 ×); f. Magnification of taste bud at 14 days old (1 000 ×); g. The tongue at 14 days old (400 ×); h. The pharynx and gills at 14 days old (400 ×); i. The upper jaw at 21 days old (200 ×); j. Magnification of taste bud at 21 days old (1 000 ×); k. The upper jaw and lower jaw at 28 days old (200 ×).

CB. 基细胞; GR. 鳃弓; LJ. 下颌; P. 咽; SC. 支持细胞; SSE. 复层扁平上皮; TC. 味觉细胞; TP. 味孔; UJ. 上颌; 图 b、f、j 分别为图 a、e、i 中方框区域放大图; 箭头指示味蕾。

CB. Basal cell; GR: Gill arch; LJ. Lower jaw; P. Pharynx; SC. Support cell; SSE: Stratified squamous epithelium; TC. Taste cell; TP. Taste pore; UJ. Upper jaw; Fig. b, f, j are magnified by the square area in images of Fig. a, e, i; Taste buds were shown by arrow.

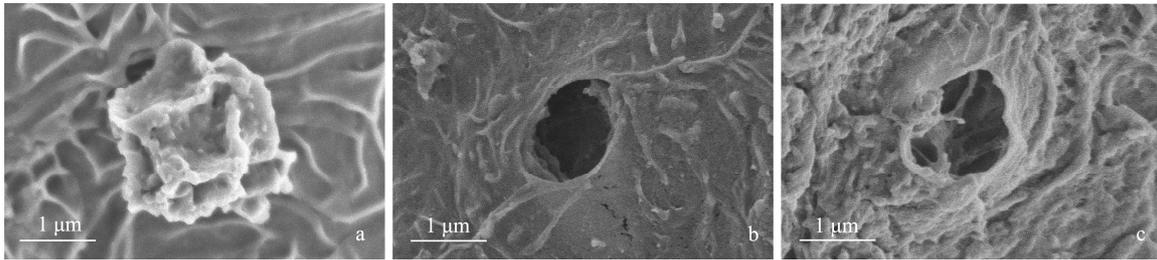


图3 扫描电镜下28日龄鳅口咽腔3种类型味蕾

Fig. 3 Three types of taste bud in the oropharyngeal cavity of Mandarin Fish at 28 days old by scanning electron microscopy

a. I型味蕾(8 000×); b. II型味蕾(8 000×); c. III型味蕾(8 000×)。

a. Type I taste buds (8 000 ×); b. Type II taste buds (8 000 ×); c. Type III taste buds (8 000 ×).

表1 鳅口咽腔味蕾数目

Table 1 Density of taste bud in the oropharyngeal cavity of Mandarin Fish

味蕾类型 Types of taste bud	数目 Density (个/mm ²)				
	上颌 Upper jaw	下颌 Lower jaw	舌部 Tongue	咽部 Pharyngeal	鳃弓 Gill arch
I	12.8 ± 2.99	13.3 ± 3.2	10.6 ± 2.15	12.8 ± 2.11	9.2 ± 1.95
II	5.6 ± 1.62	7.0 ± 1.41	4.8 ± 0.75	5.8 ± 1.95	4.5 ± 1.71
III	3.8 ± 1.07	4.2 ± 0.75	0	3.4 ± 2.06	0.8 ± 0.69
总计 Total	22.5	24.5	15.4	22.0	14.5

咽部咬食后吞咽进一步识别共同完成摄食。郑文彪等(1992)对胡子鲇(*Clarias fuscus*)味蕾的表面形态和分布的研究,结果表明,其味蕾除分布在唇、舌、咽上,还分布在口须和食道,摄食过程中口须起到搜寻作用,食道起到感知作用。本研究扫描电镜观察,鳅28日龄口咽腔味蕾有三种类型:微绒毛高于上皮的I型味蕾,微绒毛略高于上皮的II型味蕾以及微绒毛与上皮平行的III型味蕾,这与杨秀平等(1993)对不同发育时期鳅鱼味蕾类型的研究基本一致,这说明在发育早期,不同类型味蕾已发育分化完成,开始参与摄食识别作用。鳅仔稚鱼唇上味蕾多于幼鱼,说明仔稚鱼阶段味蕾在咬食过程中作用大于吞咽过程(杨秀平等1993)。本研究结果表明,鳅口咽腔中,上下颌味蕾数目最多,其次是咽、舌,这表明味蕾在上下颌咬住食物、食物通过舌进入口腔,以及食物吞咽入食道过程中均发挥识别作用。

不同味蕾类型的感受性不同。Davenport等(1982)通过电生理研究了斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)味觉神经电生理特性,结果表明,味觉神经纤维具有化学和机械感受作用。黎会平等(1997)通过神经组织化学方法研究了鳅味蕾的神经纤维属性,结果表明顶端微绒毛高于上皮的I型和II型味蕾具有与胆碱能型神经纤维联系的化学感受作用和通过微绒毛识别食物软硬的机械感受作用,顶端微绒毛与上皮共面的III型味蕾仅具有与肾上腺素能型神经纤维联系的化学感觉作用。本研究中发现,鳅稚鱼期上下颌、舌、咽上主要以I型、II型味蕾为主,特别是具有大量微绒毛的I型,味蕾类型分布特征表明,鳅在摄食、吞咽过程中对食物的感受性可能是通过机械感受和化学感受共同作用的。对摘除双眼的盲鳅摄食进行观察,发现其仅吞食新鲜的活饵,吐出臭饵料和糊状饲料(梁旭方1996),这证实了鳅对食

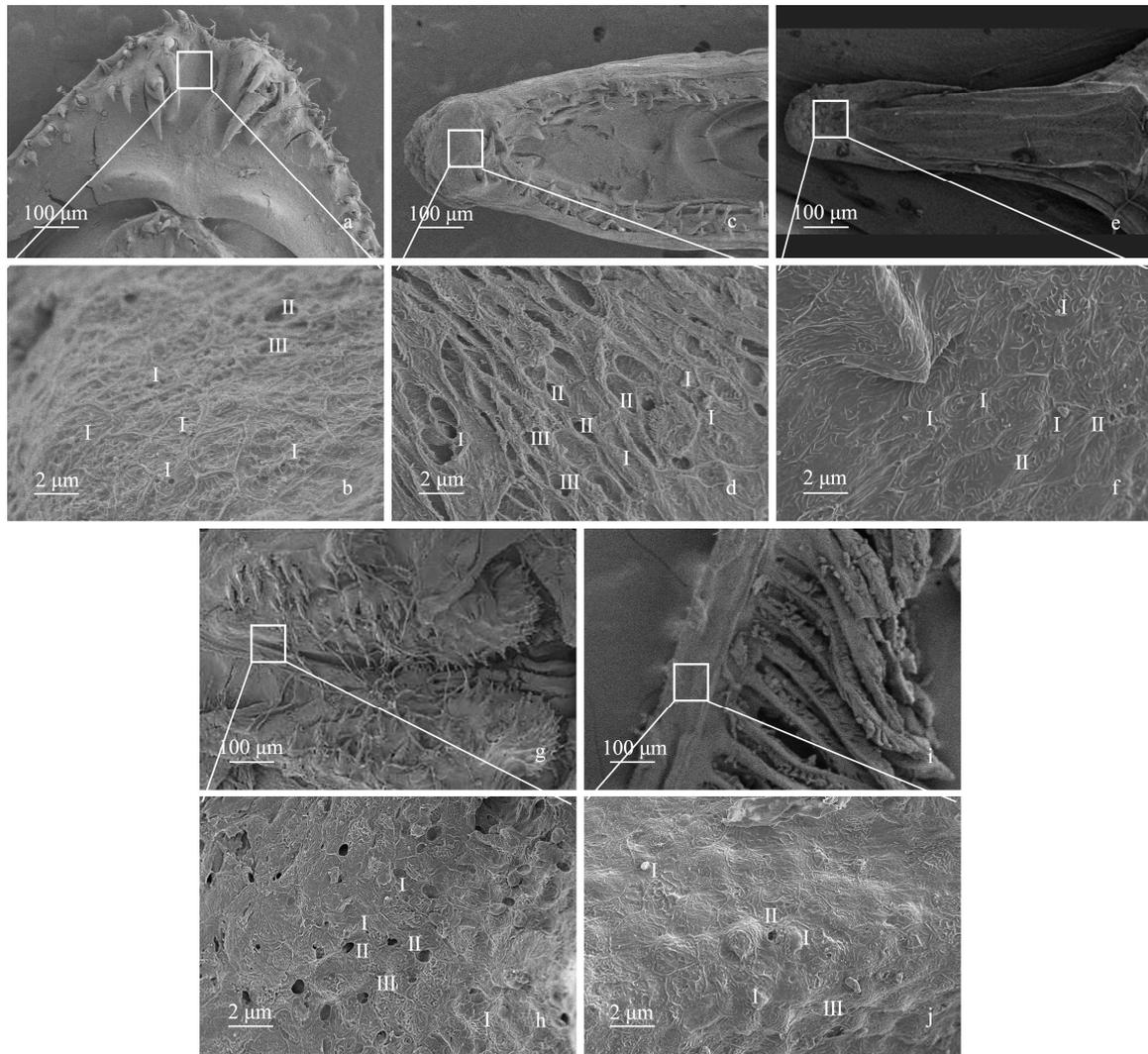


图 4 28 日龄鳊口咽腔味蕾扫描电镜分布

Fig. 4 Distribution of taste bud in the oropharyngeal cavity of Mandarin Fish at 28 days old by scanning electron microscopy

a. 上颌 (50×); b. 上颌放大 (1 000×); c. 下颌 (50×); d. 下颌放大 (1 000×); e. 舌 (50×); f. 舌放大 (1 000×); g. 咽部 (50×); h. 咽部放大 (1 000×); i. 鳃 (50×); j. 鳃放大 (1 000×)。

a. Upper jaw (50 ×); b. Magnification of the upper jaw (1 000 ×); c. Lower jaw (50 ×); d. Magnification of the lower jaw (1 000 ×); e. Tongue (50 ×); f. Magnification of tongue (1 000 ×); g. Pharynx (50 ×); h. Magnification of pharynx (1 000 ×); i. Gills (50 ×); j. Magnification of gills (1 000 ×).

I. I 型味蕾; II. II 型味蕾; III. III 型味蕾; 图 b、d、f、h、j 分别为图 a、c、e、g、i 中方框区域放大图。

I. Type I taste buds; II. Type II taste buds; III. Type III taste buds; Fig. b, d, f, h, j are magnified by the square area in images of Fig. a, c, e, g, i.

物的化学成分和软硬度存在识别。与大多数已驯化食饲的鱼类可以摄食干性、颗粒饲料不同, 目前用于鳊驯化的饲料是现制的湿的、软性饲

料 (梁旭方 2002), 这证实了, 鳊对食物软硬度存在明显物理识别。此外, 饲料中要求适当的诱食剂、添加剂, 对食饲驯化效果有积极的

作用(吴遵霖等 1995, 1998), 这也证实了鳊对食物成分具有明显的化学识别作用。

参 考 文 献

- Davenport C J, Caprio J. 1982. Taste and tactile recordings from the ramus recurrens facialis innervating flank taste buds in the catfish. *Journal of Comparative Physiology*, 147(2): 217–229.
- Kotrschal K. 2000. Taste(s) and olfaction(s) in fish: a review of specialized sub-systems and central integration. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology*, 439(1): 178–180.
- Li X, Glaser D, Li W, et al. 2009. Analyses of sweet receptor gene (*Tas1r2*) and preference for sweet stimuli in species of carnivora. *Journal of Heredity*, 100(Suppl 1): 90–100.
- Zhao H B, Yang J R, Xu H L, et al. 2010. Pseudogenization of the umami taste receptor gene *Tas1r1* in the giant panda coincided with its dietary switch to bamboo. *Molecular Biology & Evolution*, 27(12): 2669–2673.
- 蒋一珪. 1959. 梁子湖鳊鱼的生物学. *水生生物学集刊*, (3): 375–385.
- 黎会平, 赵雅心, 张训蒲, 等. 1997. 鳊咽部味蕾神经组织化学的研究. *华中农业大学学报*, 16(3): 296–298.
- 梁旭方. 1996. 鳊鱼口咽腔味蕾和行为反应特性及其对捕食习性的适应. *动物学报*, 42(1): 22–27.
- 梁旭方. 2002. 鳊鱼人工饲料的研究. *水产科技情报*, 29(2): 64–67.
- 栾雅文, 邢自力, 刘伟靖, 等. 2003. 胡子鲶 (*Clarias fuscus*) 味觉器官的数量、分布与功能之间关系的研究. *内蒙古大学学报: 自然科学版*, 34(4): 432–435.
- 王敏, 杨秀萍, 孔令杰, 等. 1993. 草鱼仔、稚鱼消化器官与味蕾发育的研究. *华中农业大学学报*, 12(1): 64–68.
- 王永翠, 李加儿, 区又君, 等. 2012. 野生与养殖黄鳍鲷味蕾的组织结构研究. *广东农业科学*, 39(15): 137–139.
- 吴雪峰, 赵金良, 钱叶洲, 等. 2007. 鳊消化系统器官发生的组织学. *动物学研究*, 28(5): 511–518.
- 吴遵霖. 1987. 鳊仔鱼消化器官发育与摄食习性观察. *水利渔业*, (3): 39–43.
- 吴遵霖, W Hardy. 1988. 鳊幼鱼摄食行为的初步分析. *淡水渔业*, (5): 18–21.
- 吴遵霖, 李蓓, 李威, 等. 1998. 添加剂在鳊鱼配合饲料中的应用. *中国饲料*, (14): 15–16.
- 吴遵霖, 李桂云, 何顺清, 等. 1995. 鳊幼鱼配合饲料最适蛋白质含量初步研究. *水利渔业*, (5): 3–6.
- 杨桂枝, 张耀光, 姜希泉, 等. 1998. 南方鲇的皮肤腺和味蕾结构研究. *西南师范大学学报: 自然科学版*, 23(6): 71–77.
- 杨秀平, 金晓萍, 张训蒲, 等. 1997. 鳊咽腔表皮细胞的超微结构研究. *华中农业大学学报*, 16(2): 179–181, 212.
- 杨秀平, 向元槐, 叶益琼. 1993. 鳊鱼口咽腔表皮突起细胞的扫描电镜观察. *华中农业大学学报*, 12(4): 390–393, 401.
- 张建业. 2014. 泥鳅仔稚鱼消化系统及外鳃发育的研究. 武汉: 华中农业大学硕士学位论文, 1–47.
- 张训蒲, 金晓萍. 1996. 鳊味觉器官突触区域的超微结构研究. *华中农业大学学报*, 15(1): 56–59.
- 郑文彪, 陈旻. 1992. 胡子鲇味蕾的表面形态和分布的扫描电镜观察. *动物学杂志*, 27(5): 7–9, 65.