

# 鱊牙齿形态结构及与不同种属间比较观察

曹林军 赵金良\*

上海海洋大学, 农业农村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:** 牙齿是肉食性鱼类重要的摄食器官。为探究鱊 (*Siniperca chuatsi*) 牙齿形态结构, 采用解剖镜观察了鱊牙齿分布、形态与数量。并比较其与大眼鱊 (*S. kneri*)、斑鱊 (*S. scherzeri*) 及中国少鳞鱊 (*Coreoperca whiteheadi*) 牙齿差异。采用茜素红染色、组织切片、扫描电镜、X 射线能谱及红外光谱观察并检测了鱊牙齿结构、元素组成和化学成分。结果显示, 鱊牙齿具上颌齿、下颌齿、犁齿、腭齿和咽齿。其中, 上颌齿前端有犬齿, 其余为绒毛状齿; 下颌齿最内列有犬齿, 其余为绒毛状齿; 犁齿、腭齿、咽齿均为绒毛状齿。鱊和大眼鱊下颌齿列数为 3 列, 斑鱊和中国少鳞鱊为 4 列。茜素红染色显示, 犬齿和绒毛状齿外层均为透明的牙釉质, 内层为包裹髓腔的牙本质; 组织切片显示, 牙本质结构疏松, 内有许多孔隙; 牙尖部分形成牙釉质帽; 中央为髓腔, 内有牙髓组织。扫描电镜显示, 犬齿和绒毛状齿表面均由釉柱组成, 釉质层有釉柱横纹。X 射线能谱显示, 犬齿和绒毛状齿主要元素都为碳 (C)、氧 (O)、氮 (N)、钙 (Ca) 和磷 (P)。红外光谱显示, 犬齿和绒毛状齿主要无机成分为碳酸羟基磷灰石。结果表明, 鱊牙齿较发达, 上、下颌齿有犬齿, 犬齿和绒毛状齿结构与组成基本相似。

**关键词:** 鱊; 牙齿; 牙釉质; 牙本质

中图分类号: Q954 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2021) 05-707-09

## Tooth Morphology and Structure of *Siniperca chuatsi*: Comparison with Different Species and Genera

CAO Lin-Jun ZHAO Jin-Liang\*

*Laboratory of Freshwater Fisheries Germplasm Resource, Ministry of Agriculture and Rural Affairs,  
Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, National Demonstration Center for  
Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*

**Abstract:** Tooth is an important feeding organ of carnivorous fish. The distribution, morphology and number of teeth in *Siniperca chuatsi* were observed, and compared with *S. kneri*, *S. scherzeri*, *Coreoperca whiteheadi*. The dental structure, element composition and chemical composition of *S. chuatsi* were further studied with alizarin red staining, tissue sections, scanning electron microscopy, as well as X-ray energy

**基金项目** 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系项目 (No. CARS-46) ;

\* 通讯作者, E-mail: jlzhao@shou.edu.cn;

**第一作者介绍** 曹林军, 女, 硕士研究生; 研究方向: 水产养殖; E-mail: 2302503683@qq.com。

收稿日期: 2021-04-22, 修回日期: 2021-07-09 DOI: 10.13859/j.cjz.202105008

spectrum (Mean  $\pm$  SD) and infrared spectrum analyses. The results showed that *S. chuatsi* had maxillary teeth, mandibular teeth, vomerine teeth, palatal teeth and pharyngeal teeth (Fig. 1a - e). Among them, canine teeth were detected in front of maxillary teeth and the inner line of mandibular teeth, while the rest were villous teeth (Fig. 1a, b). The teeth of the vomerine, the palate and the pharynx were all villous (Fig. 1c - e). There were 3 rows in mandibular teeth in *S. chuatsi* and *S. kneri*, while 4 rows in *S. scherzeri* and *C. whiteheadi* (Table 1, 2). Alizarin red staining showed that the outer layer of canine and villous teeth was transparent enamel, and the inner layer was dentin containing pulp cavity (Fig. 3a, b). Histological sections showed that the dentin had loose structure and many pores, the tip of the tooth formed the enamel cap; the center was the pulp cavity, which contained pulp tissue (Fig. 4a - c). Scanning electron microscopy showed that the surface of canine and villous teeth was composed of enamel prisms, and the enamel layer had transverse stripes of enamel prisms (Fig. 5a, b). X-ray energy spectrum analysis showed that the main elements of canine and villous teeth were carbon, oxygen, nitrogen, calcium, phosphorus (Table 3). Infrared spectrum analysis showed that the main component of canine and villous teeth was carbonated hydroxyapatite (Fig. 6a, b). The results show that *S. chuatsi* has more advanced teeth with canines in maxillary and mandibular teeth, and the structure and composition of canines and villous teeth are basically similar.

**Key words:** *Siniperca chuatsi*; Teeth; Enamel; Dentine

鱼类牙齿是重要的摄食器官, 其主要作用是捕食和防止食物逃脱, 有的还具有撕裂和咬碎食物的作用。硬骨鱼类牙齿主要根据其着生骨骼位置命名, 主要有上颌齿、下颌齿、犁齿、腭齿、咽齿及舌齿(孟庆闻等 1989)。斑马鱼(*Danio rerio*)牙齿只有咽齿, 咽齿在组织结构和超微结构上与人类牙齿具有相似性, 由髓腔、包裹髓腔的牙本质和外层类牙釉质帽构成(Huysseune et al. 1998, van der Heyden et al. 2000)。

不同食性和种类的鱼, 其牙齿形态、数目和排列也会不一致。肉食性鱼类, 如乌鳢(*Channa argus*)和鮀(*Silurus asotus*)其牙齿往往密集、尖锐且坚硬, 呈犬齿状和绒毛状; 杂食性鱼类, 如真鲷(*Pagrus major*)和鲤(*Cyprinus carpio*), 其牙齿往往粗而坚硬, 呈臼齿状和犬齿状; 草食性鱼类, 如草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*), 其牙齿往往不发达, 呈切齿状和绒毛状(成庆泰等 1987, 邹文超等 2015)。牙齿的形态分化可反映鲈形目(Perciformes)鱼类在系统演化方面的差异,

如鮨科(Serranidae)鱼类牙齿形态分化程度最低, 大眼鲷科(Priacanthidae)鱼类居中, 鲷科(Sparidae)鱼类最高(余云军等 2004)。因此, 研究牙齿形态特征, 对揭示鱼类摄食习性和分类进化具有参考价值。

鱲(*Siniperca chuatsi*)属鲈形目鱲科(Siniperidae)鱲属(周才武等 1988)。鱲属肉食性鱼类, 具有发达的牙齿, 坚硬锋利的牙齿有助于咬住食物, 防止猎物逃脱, 提高捕食效率(唐宇平等 1993)。捕食行为分为注视、跟进、袭击、咬住和吞噬等步骤(吴遵霖等 1988)。孵化 4 d, 鱲仔鱼开始摄食, 少量颌齿和咽齿出现, 5 d 和 14 d 腭齿和犁齿相继出现, 摄食能力逐渐增加, 提高了早期鱼苗捕食成功率(田文斐等 2012)。本研究通过观察鱲牙齿形态、数量和结构特征, 有助于进一步了解鱲牙齿的形态结构, 为鱲摄食生物学提供基础资料。并将其与大眼鱲(*S. kneri*)、斑鱲(*S. scherzeri*)和中国少鳞鱲(*Coreoperca whiteheadi*)牙齿进行比较, 为鱲类鱼类的系统演化研究提供一定的资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

实验鱲取自上海市临港新城镇古棕路菜市场, 体长  $(31.03 \pm 0.41)$  cm ( $n = 6$ )。大眼鱲体长  $(21.87 \pm 0.09)$  cm ( $n = 6$ ), 斑鱲体长  $(22.25 \pm 0.20)$  cm ( $n = 6$ ), 中国少鳞鱲体长  $(13.57 \pm 0.14)$  cm ( $n = 6$ ), 均取自实验室保存的标本。

### 1.2 实验方法

预实验发现, 上颌犬齿和下颌犬齿以及上下颌绒毛状齿的组织切片和茜素红染色结果均一致, 故本研究正式实验中犬齿和绒毛状齿均取自上颌。

**1.2.1 牙齿标本制备** 取鱲、大眼鱲、斑鱲和中国少鳞鱲各 6 尾, 头部煮沸。取上颌齿、犁齿、腭齿及下咽齿, 用镊子轻剔部分肌肉, 放入 1% NaOH 中处理 2 h, 清除剩余组织, 再经二甲苯脱脂 2 h、3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 中 3 h 漂白, 晾干保存, 观察计数。

**1.2.2 茜素红染色** 取鱲上颌犬齿和绒毛状齿各 10 枚, 放入 0.1% 的茜素红 Tris-HCl (pH ≈ 8.3), 恒温 37 °C 染色 6 h, Nikon 解剖镜 (SMZ1500) 观察、拍照。

**1.2.3 组织切片** 取鱲上颌犬齿和绒毛状齿各 10 枚, 用 Bouins 液固定 24 h, 脱钙液 (AlCl<sub>3</sub> 8 g、HCl 10 ml、HCOOH 6.5 ml、H<sub>2</sub>O 100 ml) 脱钙 24 h, 蒸馏水冲洗, 再用 50%、70%、80%、90%、95%、100% 酒精梯度脱水各 30 min, 二甲苯透明, 浸蜡 2 h, 石蜡包埋。用 Leica RM 2016 型切片机将犬齿、绒毛状齿进行横切和纵切, 厚度为 7 μm, 常规 H.E 染色, 中性树脂封片, Nikon 显微镜 (ECLIPES 80i) 拍照、观察。

**1.2.4 扫描电镜** 取鱲上颌犬齿、绒毛状齿各 10 枚, 用刀片进行横切、纵切, 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。

**1.2.5 X 射线能谱分析** 取鱲上颌犬齿和绒毛状齿各 3 枚, 37 °C 干燥 24 h, 进行表面镀金后, 采用上海交通大学分析测试中心 Aztec X-Max80

型 X 射线能谱仪对齿表面随机取 3 个点测试, 分析其元素组成, 结果用平均值 ± 标准差 (Mean ± SD) 表示。

**1.2.6 红外光谱分析** 取鱲上颌犬齿 50 枚和绒毛状齿 100 枚, 研磨成粉末, 各类型齿取 0.3 mg, 50 °C 干燥 24 h, 采用上海交通大学分析测试中心赛默飞 IS5 型红外光谱仪分析齿主要成分, 峰谱分析参照人牙釉质红外光谱分析结果 (李鸣宇等 1994)。

## 2 结果

### 2.1 牙齿形态和数目

**2.1.1 鲣牙齿形态和数目** 鲣牙齿具有上颌齿、下颌齿、腭齿、下咽齿和犁齿, 前 4 种齿均为 1 对, 犁齿只有 1 枚 (图 1e)。其中, 上颌齿前端有犬齿, 其余为绒毛状齿 (图 1a); 下颌齿最内列有犬齿, 外侧为绒毛状齿 (图 1b); 腭齿 (图 1c)、下咽齿 (图 1d)、犁齿 (图 1e) 都是绒毛状齿。所有牙齿呈圆锥状, 朝口腔内弯曲, 与进食方向一致。鱲上颌齿具 4 列, 最内列不完整, 只具前端。下颌齿具 3 列, 最外列不完整, 只具前端 (表 1)。

**2.1.2 中国少鳞鱲、斑鱲、大眼鱲和鱲牙齿比较** 中国少鳞鱲上、下颌齿无犬齿, 均为绒状齿带 (图 2a, b)。斑鱲、大眼鱲和鱲的上颌齿及下颌齿均有犬齿 (图 2a, b)。中国少鳞鱲犁骨齿带呈新月形, 斑鱲、大眼鱲和鱲犁骨齿呈三角形 (图 2c)。中国少鳞鱲腭齿齿带狭窄, 近似线条, 斑鱲、大眼鱲和鱲的腭齿齿带渐宽 (图 2d)。中国少鳞鱲下颌齿具 4 列, 最外列不完整, 只具前端。斑鱲下颌齿具 4 列, 中间内列和最内列不完整, 只具前端。大眼鱲和鱲下颌齿具 3 列, 最外列不完整, 只具前端 (表 1, 2)。

### 2.2 鲣牙齿茜素红染色

鱲犬齿、绒毛状齿均由外层透明的牙釉质和包裹着髓腔的红染的牙本质组成。其中, 牙尖部分完全为牙釉质, 形成牙釉质帽 (图 3)。

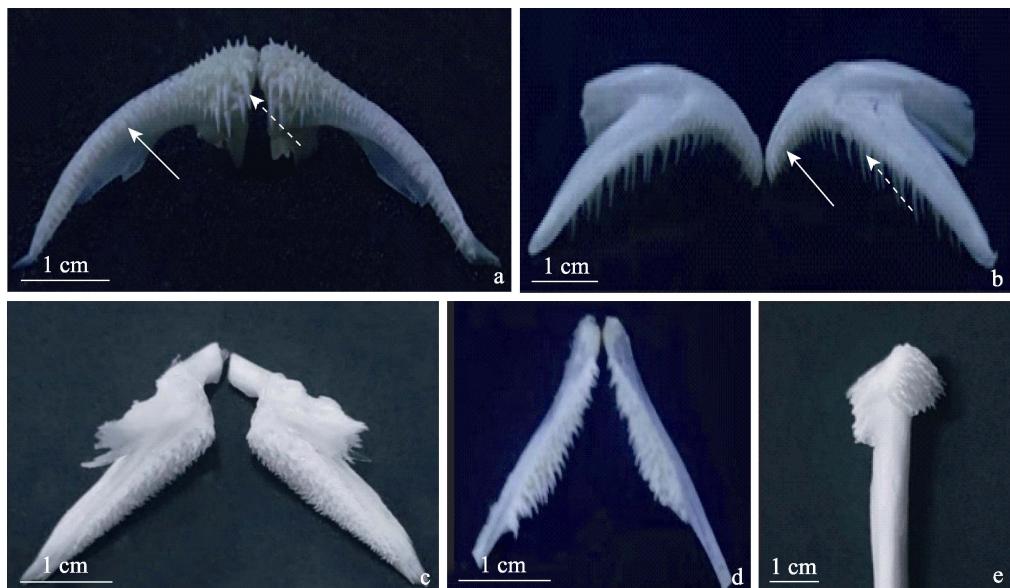


图 1 鲈牙齿

Fig. 1 Teeth of *Siniperca chuatsi*

- a. 上颌齿; b. 下颌齿; c. 腭齿; d. 下咽齿; e. 犁齿。  
 a. Maxillary teeth; b. Mandibular teeth; c. Palatal teeth; d. Pharyngeal teeth; e. Vomerine teeth.  
 ---► 犬齿; —► 绒毛状齿; - - -► Canine teeth; —► Villous teeth

表 1 鲈牙齿数目

Table 1 The number of teeth in *Siniperca chuatsi*

齿名 The name of tooth	列数 The number of columns	数量 (枚) Quantity (Pieces)
上颌齿 Maxillary teeth	4	最外列绒毛状齿 40 ~ 48; 中间外列绒毛状齿 26 ~ 34, 犬齿 1 ~ 4; 中间内列绒毛状齿 28 ~ 37, 犬齿 1 ~ 4; 最内列绒毛状齿 10 ~ 21, 犬齿 2 ~ 3。 Outermost row villous teeth 40 - 48; Middle outer row villous teeth 26 - 34, canine teeth 1 - 4; Middle inner row villous teeth 28 - 37, canine teeth 1 - 4; Innermost row villous teeth 10 - 21, canine teeth 2 - 3.
下颌齿 Mandibular teeth	3	最外列绒毛状齿 10 ~ 19; 中间列绒毛状齿 40 ~ 45; 最内列绒毛状齿 21 ~ 25, 犬齿 10 ~ 14。 Outermost row villous teeth 10 - 19; Middle row villous teeth 40 - 45; Innermost row villous teeth 21 - 25, canine teeth 10 - 14.
腭齿 Palatal teeth		绒毛状齿 173 ~ 181 Villous teeth 173 - 181
下咽齿 Pharyngeal teeth		绒毛状齿 110 ~ 129 Villous teeth 110 - 129
犁齿 Vomerine teeth		绒毛状齿 40 ~ 49 Villous teeth 40 - 49

### 2.3 鲈牙齿组织切片

经 H.E 染色观察到鲈犬齿及绒毛状齿结构相似, 都具髓腔、牙本质和牙釉质。其中, 牙本质结构疏松, 内有许多孔隙; 牙釉质结构致密, 且牙尖部分完全为牙釉质, 形成牙釉质帽

(图 4a, b); 髓腔中牙髓组织能深入牙本质, 形成牙本质小管 (图 4c)。

### 2.4 鲈牙齿扫描电镜观察

鲈犬齿 (图 5a) 和绒毛状齿 (图 5b) 最外层由釉柱组成的牙釉质, 釉质层有釉柱横纹;

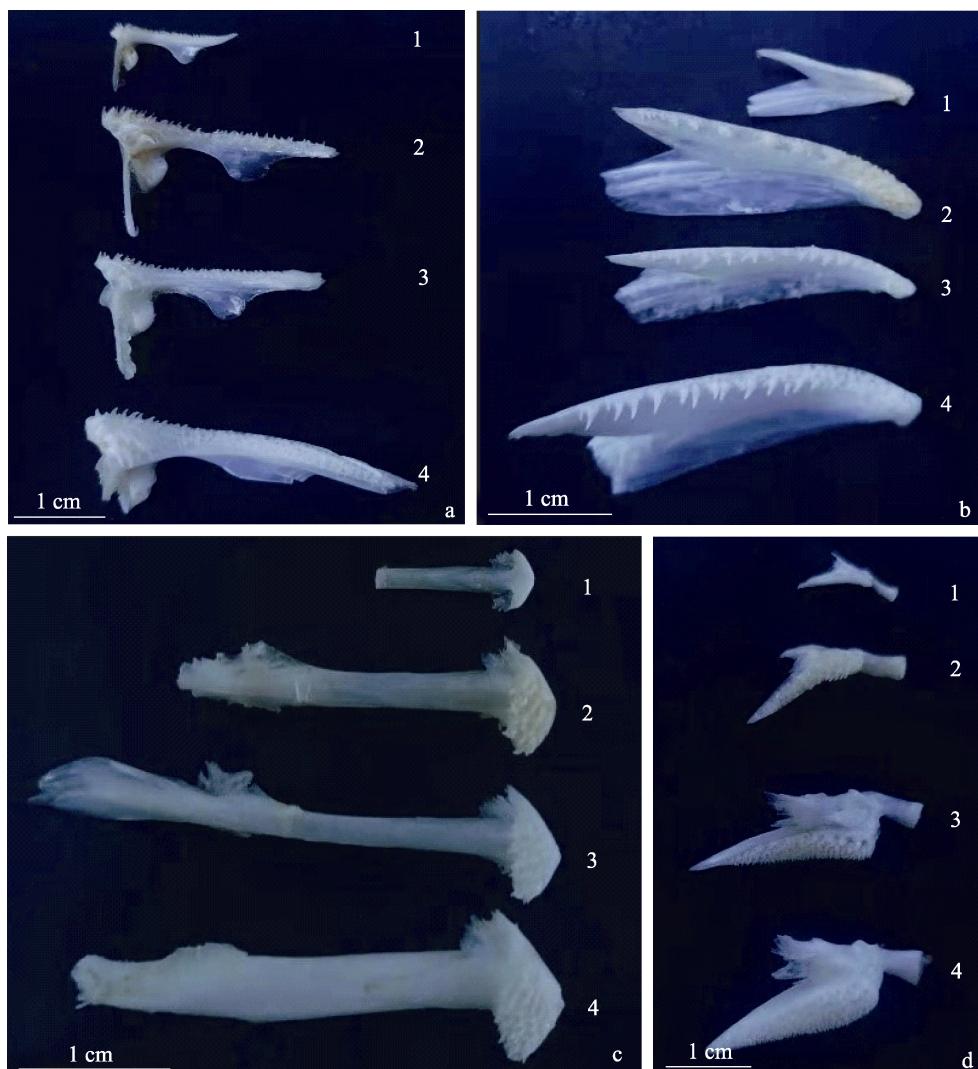


图2 中国少鳞鱲、斑鱲、大眼鱲与鱲牙齿比较

Fig. 2 Comparison of teeth among *Coreoperca whiteheadi*, *Siniperca scherzeri*, *S. kneri* and *S. chuatsi*

a. 上颌齿; b. 下颌齿; c. 犁齿; d. 腭齿。

a. Maxillary teeth; b. Mandibular teeth; c. Vomerine teeth; d. Palatal teeth.

1. 中国少鳞鱲; 2. 斑鱲; 3. 大眼鱲; 4. 鱲

1. *Coreoperca whiteheadi*; 2. *Siniperca scherzeri*; 3. *Siniperca kneri*; 4. *Siniperca chuatsi*

内部为牙本质，牙本质内侧有许多小孔，为牙本质小管。

## 2.5 鲈牙齿元素组成

鱲犬齿共含有碳 (C)、氧 (O)、氮 (N)、钙 (Ca)、磷 (P)、钠 (Na)、硫 (S)、硅 (Si)、钾 (K)、铁 (Fe) 和镁 (Mg) 11 种元素 (表

3)，质量百分比和原子百分比按照顺序减少，其中，碳 (C)、氧 (O)、氮 (N)、钙 (Ca) 和磷 (P) 为犬齿中主要元素，尤其是 (C)、氧 (O)、氮 (N) 的质量百分比和原子百分比都超过 14%，镁 (Mg)、钠 (Na)、硫 (S)、硅 (Si)、钾 (K)、铁 (Fe) 为犬齿中微量元素

表 2 中国少鳞鱲、斑鱲和大眼鱲下颌齿比较

Table 2 Comparison on mandibular teeth among *Coreoperca whiteheadi*, *Siniperca scherzeri*, *Siniperca kneri*

物种 Species	列数 The number of columns	数量 (枚) Quantity (pieces)
中国少鳞鱲 <i>Coreoperca whiteheadi</i>	4	最外列绒毛状齿 11 ~ 15; 中间外列绒毛状齿 35 ~ 59; 中间内列绒毛状齿 34 ~ 54; 最内列绒毛状齿 36 ~ 63 Outermost row villous teeth 11 ~ 15; Middle outer row villous teeth 35 ~ 59; Middle inner row villous teeth 34 ~ 54; Innermost row villous teeth are 36 ~ 63
斑鱲 <i>Siniperca scherzeri</i>	4	最外列绒毛状齿 50 ~ 57; 中间外列绒毛状齿 19 ~ 25, 犬齿 6 ~ 8; 中间内列绒毛状齿 9 ~ 18; 最内列绒毛状齿 8 ~ 14 Outermost row villous teeth 50 ~ 57; Middle outer row villous teeth 19 ~ 25, canine teeth 6 ~ 8; Middle inner row villous teeth 9 ~ 18; Innermost row villous teeth 8 ~ 14
大眼鱲 <i>S. kneri</i>	3	最外列绒毛状齿 10 ~ 17; 中间列绒毛状齿 34 ~ 54; 最内列绒毛状齿 21 ~ 31, 犬齿 8 ~ 12 Outermost row villous teeth 10 ~ 17; Middle row villous teeth 34 ~ 54; Innermost row villous teeth 21 ~ 31, canine teeth 8 ~ 12

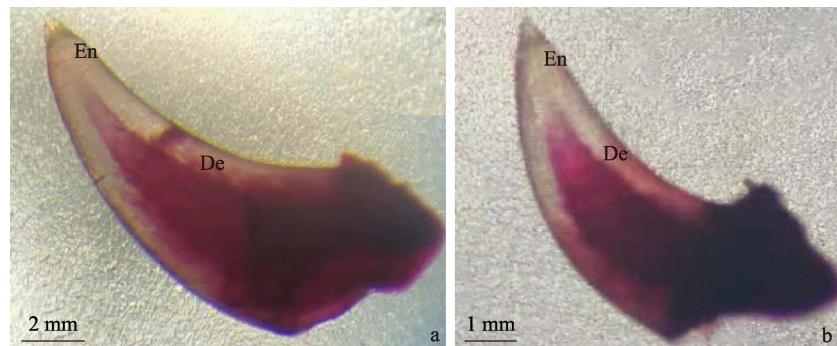


图 3 鳲犬齿 (a) 和绒毛状齿 (b) 茜素红染色

Fig. 3 Alizarin red staining of canine teeth (a) and villous teeth (b) in *Siniperca chuatsi*

En. 牙釉质; De. 牙本质 En. Enamel; De. Dentine

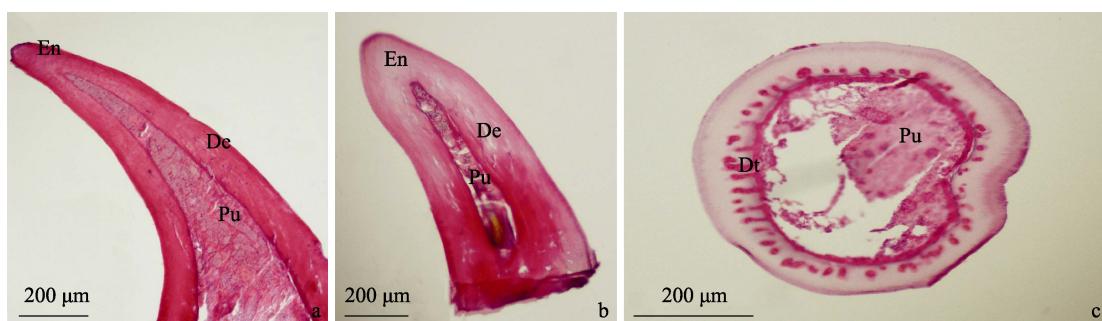


图 4 鳲犬齿、绒毛状齿 H.E 染色

Fig. 4 H.E staining of canine and villous teeth in *Siniperca chuatsi*

a. 犬齿纵切 (10×); b. 绒毛状齿纵切 (10×); c. 犬齿横切 (10×)。

a. Sagittal section of canine teeth (10×); b. Sagittal section of villous teeth (10×); c. Cross section of canine teeth (10×).

De. 牙本质; Dt. 牙本质小管; En. 牙釉质; Pu. 髓腔 De. Dentine; Dt. Dental tubules; En. Enamel; Pu. Pulp

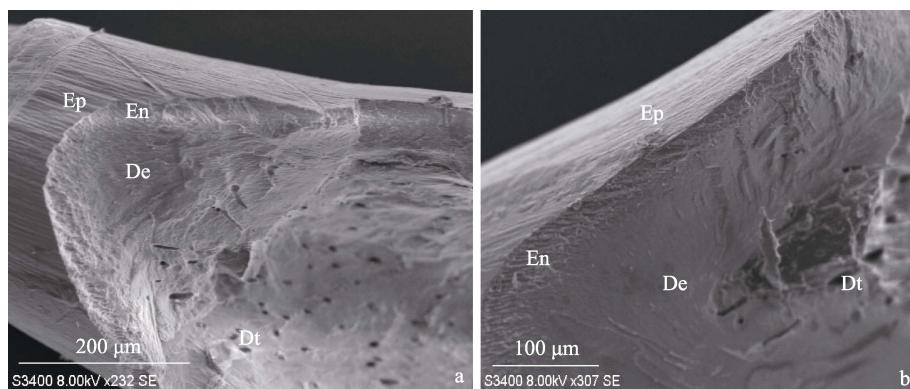


图 5 鲈犬齿和绒毛状齿扫描电镜结果

Fig. 5 Scanning electron microscopy of canine and villous teeth in *Siniperca chuatsi*

a. 犬齿纵切; b. 绒毛状齿纵切。a. Sagittal section of canine teeth; b. Sagittal section of villous teeth.

De. 牙本质; Dt. 牙本质小管; En. 牙釉质; Ep. 釉柱 De. Dentine; Dt. Dental tubules; En. Enamel; Ep. Enamel prisms

表 3 鲈犬齿和绒毛状齿元素组成

Table 3 Elementary compositions of canine and villous teeth in *Siniperca chuatsi*

元素 Element	犬齿 Canine teeth (n = 3)				绒毛状齿 Villous teeth (n = 3)			
	质量百分比 Weight (%)	原子百分比 Atomic (%)	质量百分比 Weight (%)	原子百分比 Atomic (%)	质量百分比 Weight (%)	原子百分比 Atomic (%)	质量百分比 Weight (%)	原子百分比 Atomic (%)
碳 Carbon (C)	33.67 ± 8.98	42.79 ± 8.58	35.67 ± 5.80	44.33 ± 5.03				
氧 Oxygen (O)	29.24 ± 0.89	29.43 ± 2.44	33.02 ± 1.46	31.41 ± 2.81				
氮 Nitrogen (N)	14.25 ± 2.03	16.04 ± 1.13	16.12 ± 1.24	17.34 ± 0.90				
钙 Calcium (Ca)	10.96 ± 9.31	5.67 ± 4.42	6.10 ± 4.03	2.03 ± 1.82				
磷 Phosphorus (P)	7.62 ± 3.54	4.38 ± 2.45	4.50 ± 1.63	1.89 ± 1.13				
钠 Sodium (Na)	1.48 ± 0.58	0.96 ± 0.34	0.86 ± 0.14	0.57 ± 0.10				
硫 Sulfur (S)	0.86 ± 0.22	0.41 ± 0.08	0.47 ± 0.25	1.12 ± 0.85				
镁 Magnesium (Mg)	0.12 ± 0.12	0.10 ± 0.10	0.32 ± 0.16	1.31 ± 1.15				
硅 Silicon (Si)	0.23 ± 0.23	0.12 ± 0.12	—	—				
钾 Potassium (K)	0.18 ± 0.09	0.07 ± 0.03	—	—				
铁 Iron (Fe)	0.17 ± 0.17	0.04 ± 0.04	—	—				

素, 质量百分比和原子百分比都不超过 1.5%。

绒毛状齿共有碳 (C)、氧 (O)、氮 (N)、钙 (Ca)、磷 (P)、钠 (Na)、硫 (S)、镁 (Mg) 8 种元素 (表 3), 质量百分比和原子百分比按照顺序减少, 其中, 碳 (C)、氧 (O)、氮 (N)、钙 (Ca) 和磷 (P) 为绒毛状齿中主要元素, 且 (C)、氧 (O)、氮 (N) 的质量百分比和原子百分比都超过 14%, 镁 (Mg)、钠 (Na)、硫 (S) 为绒毛状齿中微量元素, 质量百分比

和原子百分比都不超过 1.5%。

## 2.6 鲈牙齿成分

鲈犬齿和绒毛状齿红外光谱结果基本相似 (图 6a, b)。其中, 3 277.20 1/cm 附近处的吸收峰是 OH<sup>-</sup> 基团, 2 922.70 1/cm 附近处的吸收峰是 C-H 基团, 1 637.80 1/cm、1 536.26 1/cm 附近处的吸收峰是酰胺基团, 1 410.53 1/cm、871.69 1/cm 附近处的吸收峰是 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 基团, 1 011.48 1/cm、599.67 1/cm、555.06 1/cm 附近

处吸收峰是  $\text{PO}_4^{3-}$  基团。根据标准红外光谱图比较, 确定犬齿和绒毛状齿的主要无机成分是碳酸羟基磷灰石。

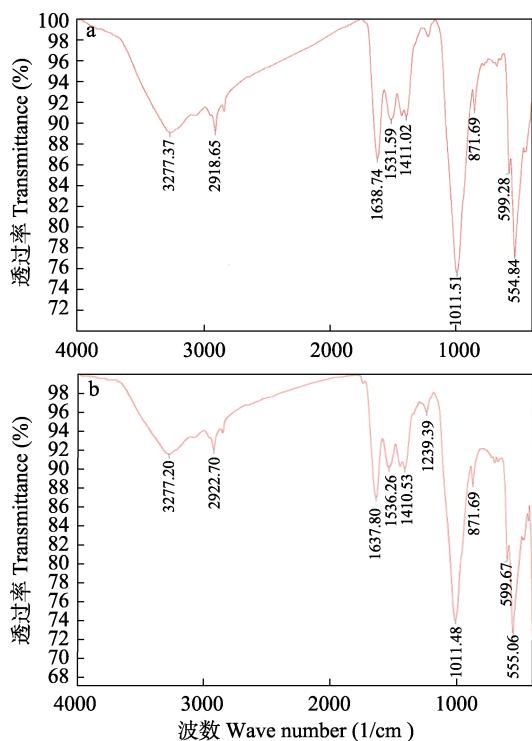


图 6 鲢犬齿 (a) 和绒毛状齿 (b) 红外光谱图

Fig. 6 Infrared spectrum of the canine (a) and villous teeth (b) in *Siniperca chuatsi*

### 3 讨论与分析

#### 3.1 鲢牙齿形态对摄食的适应

鱼类的牙齿有切齿状、臼齿状、犬齿状和绒毛齿状等, 不同形态的齿具不同的作用。其中, 切齿具有切断食物的作用, 臼齿具有咀嚼磨碎食物的作用, 犬齿具有撕裂食物的作用, 绒毛状齿具有撕碎食物的作用。肉食性鱼类口裂大, 具有发达的牙齿, 齿形态主要以犬齿和绒毛状齿为主 (孟庆闻等 1989)。

鲤为凶猛肉食性鱼类, 终生只食活饵, 牙齿是重要的摄食器官 (吴遵霖等 1988)。本研究观察到, 鲢具有上颌齿、下颌齿、犁齿、腭齿和咽齿, 鳃上亦有成行排列的锥形小齿, 但

无舌齿。其中, 上、下颌具发达的犬齿, 而犁齿、腭齿和咽齿均为绒毛状齿, 鳃牙齿这种分布与异形特征可能暗示, 上下颌齿在摄食过程中起首要作用, 先固定、咬住食物, 防止其逃脱, 犁齿、腭齿和咽齿起次要作用, 帮助吞咽食物。由于鲤主要以偷袭方式捕食活饵 (梁旭方 1995), 上、下颌发达的犬齿有助于咬住食物, 使食物不易逃脱, 提高了捕食效率; 密集且尖锐的绒毛状犁齿、腭齿和咽齿有助于摄食。鳃的牙齿细密且多, 都朝口腔内倾斜, 有助于将食物牢牢把握, 防止逃逸 (唐宇平等 1993, 张甫英等 1998)。

#### 3.2 鲢上颌犬齿、绒毛状齿结构

本研究中, 对鲤上颌犬齿和绒毛状齿茜素红染色、组织切片和扫描电镜观察, 均发现鲤犬齿和绒毛状齿最外层为透明的牙釉质, 牙尖部分形成牙釉质帽, 内层为包裹髓腔的牙本质, 说明犬齿和绒毛状齿结构相似。

鲤犬齿和绒毛状齿结构与斑马鱼咽齿相似, 都由髓腔、包裹着髓腔的牙本质及外层牙釉质组成 (李谨等 2009, 杨雁等 2010)。但本研究扫描电镜观察到, 鲤犬齿和绒毛状齿表面具釉柱, 釉质层能观察到釉柱横纹。而斑马鱼咽齿表面光滑, 无釉柱和釉柱横纹 (王娟等 2009)。釉柱是牙釉质的基本组成单位, 牙釉质是人体最硬的组织 (牛林等 2017)。斑马鱼为杂食性鱼类, 鲤为凶猛肉食性鱼类, 需依靠牙齿捕食, 牙齿坚硬是肉食性鱼类的重要特征。

对鲈鱼 (*Lateolabrax japonicus*) 牙齿 X 射线微区衍射, 发现其主要元素为钙 (Ca) 和磷 (P), 微量元素有镁 (Mg)、钠 (Na) 和硅 (Si) (苑蕾等 2017)。本研究中, 通过能谱仪分析鲤犬齿和绒毛状齿的元素, 其主要元素也是钙 (Ca) 和磷 (P), 说明组成牙齿的无机成分含有钙 (Ca), 比较坚硬。本研究中, 与犬齿微量元素相比, 绒毛状齿的微量元素缺硅 (Si)、钾 (K) 和铁 (Fe) 元素, 可能是这 3 种元素在绒毛状齿中含量极低, 没有检测出来。

对淡水鲈鱼的牙齿 X 射线微区衍射, 发现

矿物相为羟基磷灰石(苑蕾等 2017)。本研究中, 鲈犬齿和绒毛状齿红外光谱结果与标准光谱图比较(彭文世等 1982), 确定其无机成分主要为碳酸羟基磷灰石。碳酸羟基磷灰石是脊椎动物骨骼和牙齿的主要无机成分(郭洪壮等 2020)。人牙釉质 97%无机成分为碳酸羟基磷灰石, 是人体最坚硬的组织(李鸣宇等 1994, 黄微雅等 2008)。说明鲈的齿很坚硬, 有助于咬住食物, 防止逃脱, 提高了摄食效率。

### 3.3 鲈、斑鱲、大眼鱲、中国少鳞鱲牙齿的区别

本研究对鲈及大眼鱲、斑鱲和中国少鳞鱲牙齿进行了比较观察, 中国少鳞鱲上、下颌齿完全为绒状齿带, 而鲈、大眼鱲和斑鱲的上、下颌齿均有特化的犬齿(孔晓瑜 1993), 可能是中国少鳞鱲隶属少鳞鱲属, 牙齿较为原始(周才武等 1988), 也可能是中国少鳞鱲为溪涧鱼类, 多食小鱼小虾(熊洪林等 2011), 无需特化犬齿也能捕获食物。本研究观察到, 斑鱲下颌齿列数为 4 列, 与中国少鳞鱲下颌齿列数相同, 这符合斑鱲可能为鲈属中较早分化出来物种的观点(宋书莉 2017)。

## 参 考 文 献

- Huysseune A, van der Heyden C, Sire J Y. 1998. Early development of the zebrafish (*Danio rerio*) pharyngeal dentition (Teleostei, Cyprinidae). *Anatomy and Embryology*, 198(4): 289–305.
- van der Heyden C, Huysseune A. 2000. Dynamics of tooth formation and replacement in the zebrafish (*Danio rerio*) (Teleostei, Cyprinidae). *Developmental Dynamics*, 219(4): 486–496.
- 成庆泰, 郑葆珊. 1987. 中国鱼类系统检索(上册). 北京: 科学出版社, 284–293.
- 郭洪壮, 胡月明, 王辉, 等. 2020. “四大家鱼”鱼骨钙的组成分析. *食品与发酵工业*, 46(18): 226–231.
- 黄微雅, 钟梅, 李红, 等. 2008. 人牙釉质组成和微结构的研究. *科学技术与工程*, 8(14): 3737–3740.
- 孔晓瑜. 1993. 中国鱲亚科 (Sinipercainae) 七种鱼类骨骼形态特征的比较研究. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 23(3): 116–124.
- 李谨, 王娟, 沈家平, 等. 2009. 成年斑马鱼牙齿的扫描电镜观察. *口腔医学*, 29(8): 409–412.
- 李鸣宇, 吕云庆. 1994. 人牙釉质红外光谱分析. *牙病防治杂志*, 2(4): 30–31.
- 梁旭方. 1995. 鲈鱼摄食的感觉原理. *动物学杂志*, 30(1): 56.
- 孟庆闻, 缪学祖, 俞泰济, 等. 1989. 鱼类学: 形态·分类. 上海: 上海科技出版社, 172–173.
- 牛林, 张辉, 董少杰, 等. 2017. 多尺度下人牙釉质微观结构特性观察. *山西医科大学*, 48(10): 1075–1078.
- 彭文世, 刘高魁. 1982. 矿物红外光谱图集. 北京: 科技出版社, 271–272.
- 宋书莉. 2017. 鲈类的物种界定、系统发育和生物地理以及少鳞鱲属群体遗传现状和演化过程的研究. 上海: 上海海洋大学硕士学位论文, 15–19.
- 唐宇平, 樊恩源. 1993. 鲈鱼消化器官的发育和食性的研究. *水生生物学报*, 17(4): 329–336.
- 田文斐, 钟俊生, 钱叶洲, 等. 2012. 鲈仔鱼视网膜及口腔齿的发育对摄食的适应. *上海海洋大学学报*, 21(2): 190–198.
- 王娟, 徐艳, 陈武, 等. 2009. 斑马鱼牙齿的组织结构和超微结构特征. *口腔医学研究*, 25(6): 703–705.
- 吴遵霖, Hardy W. 1988. 鲈幼鱼摄食行为的初步分析. *淡水渔业*, 18(5): 18–21.
- 熊洪林, 戴婧婧, 陈峰. 2011. 中国少鳞鱲消化系统解剖结构研究. *安徽农业科学*, 39(7): 4015–4017.
- 杨雁, 刘玉, 孙卫斌. 2010. 斑马鱼在牙齿发育研究中的应用. *口腔生物医学*, 1(4): 210–212.
- 余云军, 武云飞. 2004. 几种鲈形目鱼类口腔齿的比较研究. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 34(1): 29–36.
- 苑蕾, 王河锦, 周钊, 等. 2017. 淡水鲈鱼硬体组织中羟磷灰石结晶特征研究. *矿物学报*, 37(3): 366–372.
- 张甫英, 胡炜, 周永欣. 1998. 鲈消化器官的组织学观察. *水生生物学报*, 22(4): 380–382.
- 周才武, 杨青, 蔡德霖. 1988. 鲈亚科 sinipercainae 鱼类的分类整理和地理分布. *动物学研究*, 9(2): 114–125.
- 邹文超, 李云兰, 邓玉平, 等. 2015. 5 种常规淡水鱼摄食消化器官的形态学观察研究. *饲料研究*, 38(15): 42–45.