

两种海马鳃组织和消化道的黏液细胞类型及分布

李海东^① 白雪峰^① 孙虎山^{①*} 林强^②

① 鲁东大学生命科学学院 烟台 264025; ② 中国科学院南海海洋研究所 广州 510301

摘要: 运用阿新兰 (AB, pH 2.6) 和过碘酸雪夫氏 (PAS) 反应染色方法, 对三斑海马 (*Hippocampus trimaculatus*) 和日本海马 (*H. japonicus*) 鳃组织与消化道中的黏液细胞类型及分布进行了研究。染色结果显示: 两种海马的鳃组织和消化道中均含有黏液细胞, 日本海马的鳃组织中含有 I 型和 IV 型黏液细胞, 三斑海马的鳃组织中含有 I 型、III 型和 IV 型黏液细胞。两种海马消化道各部位的黏液细胞类型和数量有明显差异: 日本海马的食道中 I 型细胞最多, 而三斑海马的食道中 IV 型细胞最多; 日本海马的前肠中只含有 I 型细胞, 而三斑海马的前肠中含有 I 型、III 型和 IV 型细胞, 其中 I 型细胞含量最多; 日本海马的中肠中含有 I 型、III 型和 IV 型细胞, 其中 III 型细胞含量最多, 而三斑海马中肠中只含有 I 型细胞; 日本海马与三斑海马的后肠中都分布有 I 型、II 型、III 型和 IV 型细胞, 两者不同的是, 日本海马的后肠中 III 型细胞含量最多, 三斑海马的后肠中 IV 型细胞含量最多。

关键词: 日本海马; 三斑海马; 黏液细胞; 类型与分布

中图分类号: Q954 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2014) 04-552-08

Types and Distribution of Mucous Cells in the Gill Tissue and Digestive System of *Hippocampus trimaculatus* and *H. japonicus*

LI Hai-Dong^① BAI Xue-Feng^① SUN Hu-Shan^{①*} LIN Qiang^②

① *School of Life Science, Ludong University, Yantai 264025;* ② *South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China*

Abstract: The types and distribution of mucous cells in the gill and digestive tract of *Hippocampus trimaculatus* and *H. japonicus* were studied by staining with alcian blue and periodic acid-Schiff reaction (AB, pH 2.6). The data were analyzed using one-way anova and Duncan's multiple compares test via the software of SPSS Statistics 17.0. The results show that both the gill and digestive tract of *H. japonicus* and *H. trimaculatus* contain mucous cells. There are types I and IV mucous cells in the gill of *H. japonicus*. There are types I, III and IV mucous cells in the gill of and *H. trimaculatus*. The mucous cell types and amounts are different among different parts of digestive tract (Table 1). There are most type I cells in the esophagus of *H. japonicus* while there are most type IV cells in the esophagus of *H. trimaculatus* ($P < 0.01$). The mean densities are about 2.05×10^4 cells/mm² and 6.5×10^4 cells/mm², in *H. japonicus* and *H. trimaculatus* esophagus, respectively. Only type I cells are observed in the foregut of *H. japonicus*, however, all three types (type I,

* 通讯作者, E-mail: s_hushan@163.com;

第一作者介绍 李海东, 男, 硕士研究生; 研究方向: 海洋动物; E-mail: lhd0927@126.com。

收稿日期: 2013-10-12, 修回日期: 2014-01-23

type III and type IV) are found in that of *H. trimaculatus* and among the three types type I cells are the most abundant ($P < 0.05$). The mean density of cells in *H. japonicus* foregut is about 3.00×10^4 cells/mm² and that in *H. trimaculatus* foregut is about 3.78×10^4 cells/mm². Furthermore, three types (type I, type III and type IV) of cells are also found in the midgut of *H. japonica*, with type III cells the most abundant, while only type I cells are observed in the midgut of *H. trimaculatus* ($P < 0.05$). The mean density of cells in *H. japonicus* midgut is about 5.36×10^4 cells/mm² and that in *H. trimaculatus* midgut is about 4.04×10^4 cells/mm². Four types (type I, type II, type III and type IV) of cells are observed in the hindgut of both *H. japonicus* and *H. trimaculatus*. The hindgut of *H. japonicus* has most type III cells while the hindgut of *H. trimaculatus* has most type IV cells ($P < 0.05$). The mean density of cells in *H. japonicus* hindgut is about 4.30×10^4 cells/mm² and that in *H. trimaculatus* hindgut is about 5.38×10^4 cells/mm².

Key words: *Hippocampus trimaculatus*; *H. japonicus*; Mucous cells; The types and distribution

鱼类黏液细胞(mucous cells)是一种腺体细胞,不但普遍存在于鱼类消化道上皮细胞而且在鱼类其他器官也有分布,如肝、鳃等;黏液细胞的分泌物中含有黏多糖、糖蛋白、免疫球蛋白和各种水解酶类等物质,对调节鱼类生理功能和抵御病害均具有重要作用(Mehner et al. 1994)。自1968年Kitzan等人应用过碘酸雪夫氏(periodic acid-Schiff, PAS)染色法研究非洲肺鱼(*Protopterus annectens*)上皮组织中黏液细胞的类型和分布以来,至今我国关于鱼类黏液细胞类型和分布的研究已经很多,如鲤鱼(*Cyprinus carpio*) (尹苗等 2000)、南方鲇(*Silurus meridionalis*) (刘怀如等 2002)、花鲈(*Lateolabrax japonicus*) (谢湘筠等 2007)、黄鳍鲷(*Sparus latus*) (王永翠等 2012)等。

海马属刺鱼目(Gasterosteiformes)海龙亚目(Syngnathoidei)海龙科(Syngnathidae)海马属(*Hippocampus*)。海马是名贵的海洋中药材,在我国海马作为药材的使用已有悠久历史,最早记载海马的专著为梁代陶弘景《本草经集注》,当时称“水马”(张朝晖等 1996)。关于海马的组织学研究已有相关报道(蔡仲希 1987, 张峰 1994, 1997, 林强等 2007);而海马体内鳃组织与消化道黏液细胞的类型和分布尚未见报道。本文主要研究了日本海马和三斑海马的黏液细胞在其鳃组织和消化道的类型及其分布,旨在为海马基础生物学和病害防治的研究进一步补充资料。

1 材料与方法

1.1 材料 三斑海马(*H. trimaculatus*)和日本海马(*H. japonicus*)购于烟台水产市场,雌雄不限,实验室水族箱中暂养,水温 22 ~ 23℃,三斑海马 5 只,躯干长(12.39 ± 0.47) cm,头长(3.1 ± 0.27) cm,日本海马 5 只,躯干长(8.65 ± 0.49) cm,头长(1.25 ± 0.08) cm。

1.2 方法 活体解剖三斑海马和日本海马,分别取出鳃和消化道,消化道按张峰(1997)介绍的分段方法,分别截取食道、前肠、中肠、后肠等部位,放入 0.1 mol/L、pH7.4 磷酸盐缓冲液(PBS)配制的 4% 多聚甲醛中,固定 24 h;常规石蜡包埋、切片,切片厚为 7 μm,阿新兰(Alcian blue, pH2.6)和过碘酸雪夫氏(periodic acid-Schiff, PAS)反应染色,用 Olympus BX41 光学显微镜观察黏液细胞的形态与分布规律,并对不同部位的黏液细胞类型、数量进行观察和计数。黏液细胞的分类按尹苗(2000)和Çinar等(2006)的分类方法。

1.3 统计分析 随机选取消化道各段的 5 张切片,用 Olympus DP72 自动显微拍照系统在 10 × 40 倍视野下随机选取 10 个 100 μm × 100 μm 的范围进行拍照,然后对消化道各段照片上的黏液细胞类型和数量进行统计分析。实验数据分析用 SPSS Statistics 17.0 统计软件中的单因素方差分析和 Duncan's 多重比较进行差异显著性检验,统计结果用平均值 ± 标准误

(Mean ± SE)表示。

2 结 果

经 AB-PAS 染色后,黏液细胞可分为 4 种类型: I 型,呈红色,含 PAS 阳性的中性黏多糖; II 型,呈蓝色,含 AB 阳性的酸性黏多糖; III 型,呈紫红色,含有 PAS 阳性的中性黏多糖为主,同时含有少量 AB 阳性的酸性黏多糖; IV 型,呈蓝紫色,含有 AB 阳性的酸性黏多糖为主,同时含有少量 PAS 阳性的中性黏多糖。根据以上黏液细胞的分类方式,两种海马的鳃组织中含有 II、III、IV 型 3 种黏液细胞类型,而在消化道中 I、II、III、IV 型黏液细胞均含有。

日本海马和三斑海马的鳃组织和消化道内均有黏液细胞分布。两种海马消化道相同部位黏液细胞的类型、数量均有差异。三斑海马除中肠以外,其余部位的黏液细胞总数量均比日本海马黏液细胞的总数量多,前肠、中肠和后肠的黏液细胞总数量差异显著($P < 0.05$),食道中黏液细胞的总数量差异极显著($P < 0.01$) (表 1)。日本海马消化道的食道、前肠、中肠和后肠中,相同单位面积内黏液细胞的总和最少的是食道,最多的是中肠,其次是后肠和前肠,食道与中肠的黏液细胞类型相同,均含有 I、III 和 IV 型黏液细胞,后肠中 4 种黏液细胞

均有,而前肠只有 I 型黏液细胞。三斑海马消化道的食道、前肠、中肠和后肠中,相同单位面积黏液细胞总和最少的是前肠,最多的是食道,食道与后肠均含有 4 种黏液细胞类型,前肠含有 I、III 和 IV 型黏液细胞,而中肠只含有 I 型黏液细胞。两种海马消化道的食道、前肠、中肠和后肠中,黏液细胞总和的比较,日本海马的食道和前肠黏液细胞总和与其余每段的黏液细胞总和差异显著($P < 0.05$),三斑海马食道黏液细胞总和与其余每段黏液细胞总和差异显著($P < 0.05$),日本海马的后肠黏液细胞总和与三斑海马的前肠黏液细胞总和及中肠黏液细胞总和三者之间差异互不显著,但与其余每段黏液细胞总和差异显著($P < 0.05$),日本海马中肠黏液细胞总和与三斑海马后肠黏液细胞总和之间差异不显著,但与其余每段黏液细胞总和差异显著($P < 0.05$) (表 1)。

2.1 鳃中黏液细胞的分布 海马的鳃为球形,中间有咽穿过,分为鳃弓、鳃轴和鳃丝,鳃弓为球形鳃的主要支撑部分,鳃轴为连接鳃弓和鳃丝的中间桥梁,黏液细胞在鳃丝上皮和鳃轴上皮均有分布,但含有黏液细胞的类型有所不同。AB-PAS 染色后,在日本海马鳃轴上皮有 I 型和 IV 型黏液细胞(图版 I:1);鳃丝上皮含有 I 型、IV 型黏液细胞,其中 I 型细胞较多(图

表 1 日本海马与三斑海马消化道不同部位黏液细胞的数量 ($\times 10^2$ 个/ mm^2)

Table 1 Number of mucous cells at different sections of digestive tract of *Hippocampus trimaculatus* and *H. japonicus* ($\times 10^2$ cell/ mm^2)

部位 Section	物种 Species	I 型 Type I	II 型 Type II	III 型 Type III	IV 型 Type IV	总和 Total
食道 Esophagus	日本海马 <i>H. japonicus</i>	139 ± 2.8		59 ± 2.6	7 ± 0.8	205 ± 3.9 ^a
	三斑海马 <i>H. trimaculatus</i>	41 ± 2.5	144 ± 6.7	130 ± 3.8	335 ± 6.7	650 ± 8.0 ^e
前肠 Foregut	日本海马 <i>H. japonicus</i>	300 ± 7.3				300 ± 7.3 ^b
	三斑海马 <i>H. trimaculatus</i>	239 ± 7.1		74 ± 1.9	65 ± 3.2	378 ± 9.0 ^e
中肠 Midgut	日本海马 <i>H. japonicus</i>	136 ± 4.4		291 ± 5.9	109 ± 5.5	536 ± 6.7 ^d
	三斑海马 <i>H. trimaculatus</i>	404 ± 12.0				404 ± 12.0 ^e
后肠 Hindgut	日本海马 <i>H. japonicus</i>	19 ± 4.4	79 ± 5.0	123 ± 4.8	109 ± 4.2	430 ± 6.8 ^e
	三斑海马 <i>H. trimaculatus</i>	83 ± 7.8	52 ± 3.9	142 ± 5.25	261 ± 5.9	538 ± 14.0 ^d

总和和中上标字母不同表示差异显著, $P < 0.05$ 。

Values with different superscripts indicate significant difference, $P < 0.05$.

版 I:2)。三斑海马鳃轴上皮有 I 型、Ⅲ型和 IV 型黏液细胞分布(图版 I:3, 4); 鳃丝上皮分布有 Ⅲ型和 IV 型黏液细胞(图版 I:5)。

2.2 消化道各部分黏液细胞的分布

2.2.1 食道 海马的食道细长, 从鳃后缘上方到前肠起始端, 由黏膜层、黏膜下层、黏膜肌层以及外膜层构成, 管内有褶皱。日本海马与三斑海马食道的黏膜上皮中都含有黏液细胞, 但含有的黏液细胞类型及其数量差异极显著 ($P < 0.01$); 日本海马的食道有 I 型、Ⅲ型和 IV 型细胞, 没有 II 型细胞, 其中 I 型细胞占 67.8%, Ⅲ型细胞占 28.8%, IV 型细胞仅占 3.4%(图版 I:6); 而 I 型、II 型、Ⅲ型和 IV 型细胞在三斑海马的食道内均有, 其中以 IV 型细胞居多, 占 51.5%, I 型细胞最少, 占 6.3%, II 型细胞占 22.2%, Ⅲ型细胞占 20.0%(图版 I:7); 两种海马食道黏液细胞的形状、大小也不相同, 日本海马的黏液细胞多为杯状或圆形且个体较小, 三斑海马的黏液细胞多为圆形且个体较大(图版 I:6, 7)。

2.2.2 前肠 从食道末端到与中肠交界的瓣膜处为前肠, 由黏膜层、黏膜下层、肌层和外膜组成, 前肠的基本结构与食道相似, 但略有不同, 前肠内褶皱更为密集。黏膜上皮柱状细胞排列紧密, 黏液细胞分布其中, 形状多呈椭圆形或杯状。日本海马与三斑海马前肠黏液细胞的分布类型不同, 且数量差异显著 ($P < 0.05$); 日本海马的前肠黏膜上皮只含有 I 型黏液细胞(图版 I:8); 而三斑海马的前肠含有 I 型、Ⅲ型和 IV 型黏液细胞, 其中 I 型细胞最多, 占 63.2%, Ⅲ型和 IV 型细胞数量分别占 19.6% 和 17.2%(图版 I:9)。

2.2.3 中肠 中肠的结构也是由黏膜层、黏膜下层、肌层和外膜组成, 肠内壁也有大小不一的褶皱和排列紧密的黏膜上皮柱状细胞, 柱状上皮细胞之间的黏液细胞明显增多, 但中肠的肌层比前肠肌层薄。日本海马中肠黏液细胞的分布类型与三斑海马中肠黏液细胞分布类型有明显差异, 且数量差异显著 ($P < 0.05$); 日本海马中肠的黏膜上皮柱状细胞之间分布有 I

型、Ⅲ型和 IV 型黏液细胞, 其中 Ⅲ型细胞最多, 占 55.4%, I 型和 IV 型细胞分别占 25.3% 和 20.3%(图版 I:10); 而三斑海马中肠的黏膜上皮细胞中只有 I 型黏液细胞, 但在肌细胞中有很多蓝色颗粒, 这表明三斑海马的肌细胞中有很多酸性多糖存在(图版 I:11)。

2.2.4 后肠 后肠位于整个消化道的后端, 较短直, 后肠的结构与食道、前肠和中肠相同, 内壁也有褶皱, 黏膜上皮主要为柱状细胞, 黏液细胞主要分布在柱状上皮细胞之间, 呈椭圆形或杯状。日本海马与三斑海马的黏液细胞分布类型有所不同, 数量差异显著 ($P < 0.05$)。无论是日本海马还是三斑海马, 后肠内的 II 型黏液细胞均明显增多, 且日本海马的 II 型黏液细胞比三斑海马的多。日本海马的后肠分布有 I 型、II 型、Ⅲ型和 IV 型黏液细胞, II 型、Ⅲ型和 IV 型黏液细胞主要分布在黏膜上皮柱状细胞之间, 黏膜上皮中许多大型的 I 型黏液细胞延伸到了肌层的肌细胞之间, 其中 I 型、Ⅲ型和 IV 型黏液细胞的数量差异较小, 分别占 27.7%、28.6% 和 25.3%, II 型细胞最少, 占 18.4%(图版 I:12)。三斑海马的 I 型黏液细胞主要分布在黏膜上皮柱状细胞之间, 黏膜上皮少量大型的 I 型黏液细胞延伸到肌层细胞之间, II 型、Ⅲ型和 IV 型黏液细胞主要分布在黏膜上皮柱状细胞之间, 在肠腺的周围细胞之间也分布有 Ⅲ型和 IV 型黏液细胞, I 型、II 型、Ⅲ型和 IV 型黏液细胞的数量在三斑海马的后肠中有显著差异, 其中, IV 型黏液细胞最多, 占 48.5%, Ⅲ型黏液细胞次之, 占 26.4%, I 型和 II 型黏液细胞分别占 15.4% 和 9.7%(图版 I:13)。

3 讨论

海马鳃的位置和形状与其他鱼类的有所不同, 海马的鳃没有鳃盖, 由皮肤包被着, 皮肤上有小孔, 呈球形, 中间有咽通过; 日本海马和三斑海马的鳃弓内均有大量的酸性黏多糖, 鳃轴上皮和鳃丝上皮也有酸性黏液细胞, 能分泌大量的酸性物质用以保护鳃在进行气体交换

过程中不会受到海水中微生物的感染(李学军等 2010, 王宜艳等 2004)。

通过对三斑海马和日本海马的鳃组织和消化道各个部位的阿新兰(AB, pH 2.6)和过碘酸雪夫氏(PAS)反应染色发现,两种成年海马相同部位的雪夫氏染色时间相差很大,同一海马的消化道各部位的雪夫氏染色时间也不尽相同,这与两种海马鳃组织和消化道各部位细胞中黏性多糖的含量有关,尤其是细胞中中性黏多糖的含量,例如染色时间太长,会导致红色着色太深,以致很难判断是否存在 I 型黏液细胞,若染色时间较短,就会对黏液细胞类型的判断造成影响,通过对两种海马鳃组织和消化道各部位的雪夫氏染色时间优化,最终得到:日本海马鳃的雪夫氏染色时间为 5 min,而三斑海马鳃的雪夫氏染色时间为 30 s;日本海马的消化道各个部位雪夫氏染色时间为 1 ~ 2 min,三斑海马的消化道各个部位雪夫氏染色时间为 15 s 至 1 min。从图版 I 的各个图中可以看出,三斑海马除黏液细胞外的黏膜层、肌层和外膜层,红色着色均匀且较深;而日本海马除黏液细胞外的其余部位,红色着色较浅,表明三斑海马各部分的细胞内含有大量的糖蛋白,且糖蛋白多为中性;日本海马各部位细胞内含糖蛋白的数量与三斑海马相比较少。从图版 I 的各个图中也不难看出,日本海马和三斑海马的黏膜上皮的柱状细胞中都有红色小块和蓝紫色小块,表明在上皮柱状细胞中也含有较多的中性多糖和酸性多糖;无论消化道的哪个部分,在褶皱上皮细胞边缘都有很明显的蓝色边缘线,这是酸性黏液,能有效阻止细菌的入侵。

从图版 I:6, 7 可知,日本海马食道中含 PAS 阳性的中性黏多糖较多,AB 阳性的酸性多糖较少,而三斑海马食道中 AB 阳性的酸性多糖较多,PAS 阳性的中性多糖较少,这与日本海马食道中相同黏液细胞类型的含量正好相反。海马主要吃桡足类、枝角类等浮游动物以及幼虾无节幼体、糠虾,日本海马食道分泌较多的中性黏液有助于润滑食物通过食道进入肠

道,同时保护食道上皮黏膜不被划伤;三斑海马食道分泌较多的酸性黏液有助于润滑食物通过食道进入肠道,更有助于软化食物,同时也保护了食道上皮黏膜不被划伤。从图版 I:14 和 15 中可以看出,即使日本海马的个体比三斑海马小,但其食道的黏膜肌层较厚,可能与有效地将食物挤压至碎有关,而三斑海马的食道中黏膜肌层较薄,但含有较多的酸性多糖;食道中的黏液细胞分泌的黏液也有助于食物向前肠移动,同时上皮中黏液细胞分泌的水解酶等溶菌抗菌类物质可以杀灭随着摄食食物带进的病原微生物(谢湘筠等 2007, 王永翠等 2012),防止致病微生物由食道进入体内。日本海马食道有较厚的黏膜肌层和分泌较多的中性黏液,而三斑海马食道能分泌较多的酸性黏液,这似乎弥补了食道黏膜肌层较薄的缺陷,两种海马食道的结构和功能可能与其只有“假胃”而没有真正的“胃”有关。

日本海马与三斑海马的前肠黏液细胞不但类型不同而且数量上差异显著($P < 0.05$);日本海马的前肠黏膜上皮中只有 I 型黏液细胞,而三斑海马的前肠黏膜上皮中有 I 型、III 型和 IV 型黏液细胞,这可能与日本海马的食道有较厚的黏膜肌层有关。日本海马的中肠含有 I 型、III 型和 IV 型黏液细胞,而三斑海马只含有 I 型黏液细胞,这与两种海马前肠含有的黏液细胞类型正好相反,但其中也略有不同,在三斑海马中肠的肌层中含有很多蓝色颗粒,而日本海马前肠的肌层中没有蓝色颗粒。日本海马与三斑海马均没有胃,本实验也验证了这一点,蔡仲希(1987)认为在前肠中一处膨大部位称之为“假胃”,按照尹苗(2000)、刘怀如等(2002)和楚德昌等(2006)对鱼类胃黏液细胞的描述,胃是食物消化的主要部位,胃黏膜上皮细胞内应含有大量酸性黏液细胞,但是通过对日本海马和三斑海马“假胃”的阿新兰和过碘酸雪夫氏反应染色发现,日本海马“假胃”内只含有 I 型黏液细胞,而三斑海马的“假胃”内含有少量 III 型和 IV 型细胞,两者均不含有 II 型黏液细胞,这与鱼类胃是主要的消化器官的功

能不相符合,故本实验结果支持张峰(1997)认为日本海马与三斑海马没有胃的结论;前肠和中肠就成了消化和吸收营养物质的主要部位,两种海马的前肠和中肠均含有 I 型黏液细胞,其分泌大量中性黏液物质可与碱性磷酸酶共同作用有助于食物的消化(Gona 1979,王永翠等 2012);中性黏液也可在前肠和中肠的黏膜上皮形成一层保护层,有效防止食物内的酸性物质、酸性黏液和蛋白酶对肠壁的侵蚀作用(Murray et al. 1996,冯晓燕等 2003)。后肠位于肠道的后端,日本海马与三斑海马的后肠与其他鱼类的后肠一样,都含有大量的酸性黏液细胞,分泌大量的酸性物质,一方面有助于软化硬壳,使其和粪便得以顺利排出而不损伤肠道,另一方面后肠后面是肛门,大量的酸性黏液不但有助于粪便形成和排出,还有助于防止水中微生物从肛门进入体内感染肠道。从黏液细胞在两种海马消化道内的分布情况可以看出,日本海马消化道从前至后呈一种由中性到酸性的变化过程,这与胡子鲇(*Clarias fuscus*)消化道的酸碱性变化相一致(尹苗等 2001),而三斑海马消化道从前至后的酸碱性变化较为复杂,先由酸性到中性,然后再由中性到酸性,这种变化可能因为三斑海马的食道内已经分泌了大量的酸性黏液,从而需要分泌较多的中性黏液使肠黏膜上形成一层保护层。两种海马的消化道内黏液细胞的类型与数量的变化与其消化道各部分的结构、功能和食性有关,本文主要研究了黏液细胞在消化道内的类型与分布,至于影响黏液细胞类型和分布原因还需进一步深入研究。

参 考 文 献

Çinar K, Şenol N. 2006. Histological and histochemical characterization of the mucosa of the digestive tract in flower fish (*Pseudophoxinus antalyae*). *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 35(3): 147 - 151.

Gona O. 1979. Mucous glycoproteins of teleostean fish: a comparative histochemical study. *The Histochemical Journal*,

11(6): 709 - 718.

Kitzan S M, Sweeny P R. 1968. A light and electron microscope study of the structure of *Protopterus annectens* epidermis. I. Mucus production. *Canadian Journal of Zoology*, 46(4): 767 - 721.

Mehner T, Wieser W. 1994. Energetics and metabolic correlates of starvation in juvenile perch (*Perca fluviatilis*). *Journal of Fish Biology*, 45(2): 325 - 333.

Murray H M, Wright G M, Goff G P. 1996. A comparative histological and histochemical study of the post-gastric alimentary canal from three species of pleuronectid, the Atlantic halibut, the yellowtail flounder and the winter flounder. *Journal of Fish Biology*, 48(2): 187 - 206.

蔡仲希. 1987. 海马(*Hippocampus*)消化道的解剖学与组织学研究. *山东海洋学院学报*, 17(4): 58 - 67.

楚德昌,邓振旭,杨恩昌. 2006. 几种脊椎动物消化道黏液细胞的类型与分布. *动物学杂志*, 41(6): 109 - 114.

冯晓燕,郑家声,王梅林. 2003. 许氏平鲷消化道的组织化学研究. *青岛海洋大学学报:自然科学版*, 33(3): 399 - 404.

刘怀如,张耀光. 2002. 南方鲇消化道杯状细胞分布及类型探讨. *四川动物*, 21(1): 6 - 8.

林强,吕军仪,张彬,等. 2007. 大海马消化系统胚后发育的形态学及组织学研究. *热带海洋学报*, 26(6): 46 - 51.

李学军,彭新亮,乔志刚. 2010. 鲇皮肤和鳃粘液细胞的分类、分布和分泌研究. *上海海洋大学学报*, 19(6): 751 - 755.

王宜艳,孙虎山,陶佃勇. 2004. 皱纹盘鲍外套膜、鳃和足粘液细胞的类型与分布. *动物学杂志*, 39(3): 8 - 11.

王永翠,李加儿,区又君,等. 2012. 野生与养殖黄鳍鲷消化道中粘液细胞的类型及分布. *南方水产*, 8(5): 46 - 51.

谢湘筠,林淑慧,林树根. 2007. 花鲈消化道粘液细胞的类型及分布. *福建农业学报*, 22(3): 271 - 275.

尹苗,安利国,杨桂文,等. 2000. 鲤鱼黏液细胞类型的研究. *动物学杂志*, 35(1): 8 - 9.

尹苗,杨桂文,安利国. 2001. 胡子鲇粘液细胞类型及其在消化道中的分布. *动物学报*, 47(S1): 116 - 119.

张峰. 1994. 日本海马(*Hippocampus japonicus*)仔鱼期脑垂体发育的组织学研究. *大连水产学院学报*, 9(1/2): 41 - 46.

张峰. 1997. 日本海马仔鱼消化系统的组织学研究. *中国水产科学*, 4(3): 92 - 94.

张朝晖,徐国钧,徐璐珊,等. 1996. 我国海马养殖现状. *浙江水产学院学报*, 15(3): 217 - 220.

图版说明

1. 日本海马鳃的局部; 2. 日本海马鳃丝局部; 3~4. 三斑海马鳃的局部; 5. 三斑海马鳃丝局部; 6. 日本海马的食道局部; 7. 三斑海马的食道局部; 8. 日本海马的前肠局部; 9. 三斑海马的前肠局部; 10. 日本海马的中肠局部; 11. 三斑海马的中肠局部; 12. 日本海马的后肠局部; 13. 三斑海马的后肠局部; 14. 日本海马的食道局部; 15. 三斑海马的食道局部。×40。

Explanation of Plate

1. Part of *Hippocampus japonicus* gill; 2. Part of *H. japonicus* gill filament; 3-4. Part of *H. trimaculatus* gill; 5. Part of *H. trimaculatus* gill filament; 6. Part of *H. japonicus* esophagus; 7. Part of *H. trimaculatus* esophagus; 8. Part of *H. japonicus* foregut; 9. Part of *H. trimaculatus* foregut; 10. Part of *H. japonicus* midgut; 11. Part of *H. trimaculatus* midgut; 12. Part of *H. japonicus* hindgut; 13. Part of *H. trimaculatus* hindgut; 14. Part of *H. japonicus* esophagus; 15. Part of *H. trimaculatus* esophagus. ×40.

Gf. 鳃丝; ME. 黏膜上皮; MC. 肌层; I. I型黏液细胞; II. II型黏液细胞; III. III型黏液细胞; IV. IV黏液细胞。

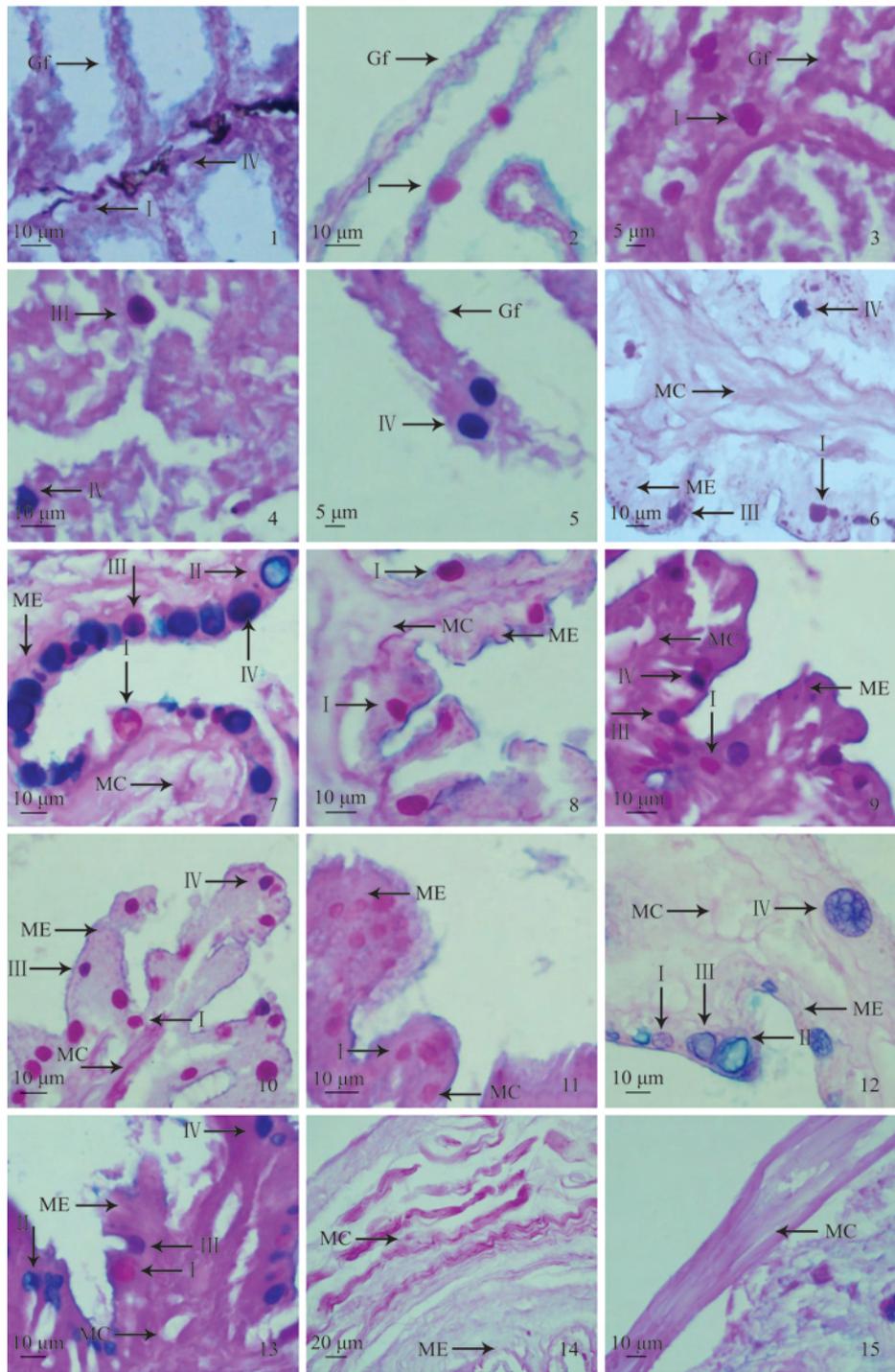
Gf. Gill filament; ME. Mucous epithelium; MC. Muscular layer; I. Type I mucous cells; II. Type II mucous cells; III. Type III mucous cells; IV. Type IV mucous cells.

李海东等:两种海马鳃组织和消化道的黏液细胞类型及分布

图版 I

LI Hai-Dong *et al.*: Types and Distribution of Mucous Cells in the Gill Tissue and Digestive System of *Hippocampus trimaculatus* and *H. japonicus*

Plate I



图版说明见文后