

三种底栖淡水鱼类皮肤黏液细胞分布 与数量比较

陈楚 孙嘉 李滢钰 黄璞祎*

东北林业大学野生动物资源学院 哈尔滨 150040

摘要: 采用常规石蜡切片以及 AB-PAS 染色方法研究了葛氏鲈塘鳢 (*Perccottus glenii*)、黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*) 以及泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*) 3 种底栖淡水鱼类的皮肤黏液细胞类型以及分布, 计数 10 个视野下 (视野面积为 $43.5 \mu\text{m} \times 32.6 \mu\text{m}$) 3 种鱼类头部、背部、腹以及尾部皮肤的黏液细胞数量, 并用单因素方差分析 (ANOVA) 比较鱼体 4 种黏液细胞数量差异。结果表明: (1) 3 种鱼类的主要黏液细胞不同, 葛氏鲈塘鳢鱼体黏液细胞中 III 型细胞居多, 较 I 型细胞多 61.5%, 较 II 型细胞多 85.8%, 较 IV 型细胞多 85.7%; 在黄颡鱼体表, I 型黏液细胞分布数量最多, 较 II 型细胞多 9.9%, 较 III 型细胞多 15.1%, 较 IV 型细胞多 53.5%; 而在泥鳅体表以 II 型细胞数量最为丰富, 较 I 型细胞多 88.3%, 较 III 型细胞多 33.1%, 较 IV 型细胞多 83.5%。(2) 对于葛氏鲈塘鳢, 黏液细胞集中分布在头部, 比背部黏液细胞数量多 15.4%, 比腹部黏液细胞数量多出 38.0%, 比尾部黏液细胞数量多 56.7%; 黄颡鱼以背部黏液细胞数量为多, 比头部黏液细胞数量多 42.5%, 比腹部黏液细胞数量多 46.6%, 比尾部黏液细胞数量多 51.4%; 泥鳅也在背部具有丰富的黏液细胞, 比头部黏液细胞数量多 49.9%, 比腹部黏液细胞数量 50.6%。(3) 3 种鱼类之间的黏液细胞总数不同, 泥鳅体表的平均黏液细胞数量最多, 相较于葛氏鲈塘鳢多 38.9%, 较黄颡鱼多 39.1%。研究结果表明, 不同鱼类的鱼体表面黏液细胞种类不同, 可能与其生活环境和鱼体本身的特性有关。

关键词: 葛氏鲈塘鳢; 黄颡鱼; 泥鳅; 皮肤黏液细胞; 底栖

中图分类号: Q955 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2018) 06-931-07

Comparison of the Distribution and Number of Skin Mucous Cells in Three Species of Benthic Freshwater Fishes

CHEN Chu SUN Jia LI Ying-Yu HUANG Pu-Yi*

College of Wildlife Resources, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Abstract: The types and distribution patterns of skin mucous cells in three species of benthic freshwater fishes were analyzed with conventional paraffin sections and AB-PAS staining method. We divided the mucus

基金项目 中央高校基本科研业务费专项 (No. 2572014BA01), 东北林业大学大学生创新训练项目 (No. 201810225028);

* 通讯作者, E-mail: puyihuang@nefu.edu.cn;

第一作者介绍 陈楚, 女, 本科生; 研究方向: 野生动物与自然保护区管理; E-mail: 1884671876@163.com。

收稿日期: 2018-06-09, 修回日期: 2018-08-21 DOI: 10.13859/j.cjz.201806011

cells into four groups, type I cells were red, type II cells were blue, type III cells were amaranth, and the type IV cells were bluish violet (Fig. 1). The numbers of mucous cells in head, back, belly and tail of these three kinds of fishes were counted in 10 visual fields (the area of visual fields was $43.5 \mu\text{m} \times 32.6 \mu\text{m}$), and the average number of mucous cells was calculated. Using One-way Anova, we compared the number of four types of mucous cells in *Perccottus glenii*, *Pelteobagrus fulvidraco*, and *Misgurnus anguillicaudatus*. Results showed that representative mucous cell type was different in different kinds of fishes, which might be related to the pH of the water in which they live. The acidity and alkalinity of fish mucus was often balanced with the environment. In mucous cells of *Perccottus glenii*, the majority was type III which contains plenty of neutral mucopolysaccharides and some acid mucopolysaccharides. Its number was 61.5% more than that of type I cells, 85.8% more than that of type II cells, 85.7% more than that of type IV cells. On the body surface of *Pelteobagrus fulvidraco*, the number of type I mucous cells accounted for the majority, and they mainly contained neutral mucopolysaccharide. Their number was 9.9% more than that of type II cells, 15.1% more than that of type III cells, and 53.5% more than that of type IV cells. On the body surface of *M. anguillicaudatus*, type II cells accounted for the most, and they contained a lot of acid mucopolysaccharides. Their number was 88.3% more than that of type I cells, 33.1% more than that of type III cells, and 83.5% more than that of type IV cells (Table 1). Acid mucopolysaccharides were widely distributed on the mucous surface of the skin in all three species of fishes, and they might have important immune function to fishes, helping to remove germs and harmful substances from the environment, and playing a vital role in normal physiological activities. The number of mucous cells varied from part to part, and forepart trended to have more mucous cells than the back. For *Perccottus glenii*, mucous cells were mainly distributed on head, the number of mucous cells in the back was 15.4% more than that in the back, 38.0% more than that in the abdomen, and 56.7% more than that in the tail. The mucous cells of *Pelteobagrus fulvidraco* were mainly centralized on the back, the number of mucinous cells in the head was 42.5% more than that in the head, 46.6% more than that in the abdomen, and 51.4% more than that in the tail. *M. anguillicaudatus* also possessed rich mucous cells on the back, the number of mucinous cells in the back was 49.9% higher than in the head, 50.6% higher than in the abdomen, and 43.8% higher than in the tail (Table 1). The total numbers of mucous cells in the three species were different. There were more mucous cells in non-phosphorous fish than in squamous fish. The whole body's mucus cells of *M. anguillicaudatus* or *Pelteobagrus fulvidraco* were more than that of *Perccottus glenii*, and moreover, the total number of mucous cells on the body surface of *M. anguillicaudatus* accounted for the most, 38.9% more than that in the *Perccottus glenii*, and 39.1% more than that in the *Pelteobagrus fulvidraco*. The types of mucous cells on the body surface of different kinds of fishes were different, which may relate to the living environment or their own characteristics. The Acid-alkaline of fish mucous cells is the same as that of environment. In addition, the distribution of mucous cells is related to the species of fish and the location of distribution.

Key words: *Perccottus glenii*; *Pelteobagrus fulvidraco*; *Misgurnus anguillicaudatus*; Skin mucous cell; Benthic

鱼类的皮肤表面含有丰富的腺体细胞，能够分泌大量的黏液，这些黏液是鱼类与外界环

境直接接触的第一道屏障，对鱼类整个生理过程起着至关重要的作用，黏液中包含有多种黏

多糖、水解酶、糖蛋白等 (Vatsos et al. 2010, 张婷等 2014)。能够有效减少鱼体在水体运动中产生的摩擦, 对外来病菌也有一定程度的抵抗作用 (安利国等 2000, 李学军等 2010, Benhamed et al. 2014)。许多无鳞鱼, 如黄鲢 (*Monopterus albus*)、鲇 (*Silurus asotus*) 等的体表覆盖大量黏液, 且黏液量远比有鳞鱼的多, 鱼体头侧往往比鱼体尾侧分布的黏液细胞数量多 (柏世军 2003, 黄智慧等 2009), 因此我们对有鳞鱼和无鳞鱼的黏液细胞进行了采样观察。有鳞鱼选取葛氏鲈塘鳢 (*Perccottus glenii*), 是我国北方流域的特色鱼类, 体粗短, 略呈纺锤形, 前部呈圆筒形, 后部侧扁; 无鳞鱼选取黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*), 在我国分布较广; 泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*) 属鳅科动物, 是一种耐污能力较强的淡水底栖鱼类, 广泛应用于污染物毒性评价等研究 (王伟莉等 2013)。本文比较观察了东北地区常见的这 3 种淡水底栖鱼类的皮肤黏液细胞类型, 统计鱼体黏液细胞数量分布特点等, 旨在为鱼类养殖和运输、疾病防控等提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

2017 年 9 月, 于松花江流域采集野生健康无疾病葛氏鲈塘鳢、黄颡鱼和泥鳅各 3 尾, 黄颡鱼平均体重 31.6 g, 平均体长 14.5 cm; 泥鳅平均体重 8.5 g, 平均体长 13.2 cm; 葛氏鲈塘鳢平均体重 14.0 g, 平均体长 9.7 cm。所取皮肤部位为头部、背部、腹部以及尾部, 常规石蜡包埋, 采用阿利新蓝 (Alcian blue, AB)、过碘酸-雪夫 (Periodic acid-Schiff, PAS) 以及阿利新蓝-过碘酸雪夫 (AB-PAS) 方法染色, 中性树胶封片, 于显微镜下观察黏液细胞组织形态结构以及其数量分布。

1.2 实验方法

在实验鱼采集后立即处死, 并取鱼体头部、背部、腹部以及尾部的皮肤组织若干, 黄颡鱼

和泥鳅体表无直接暴露的鳞片取样后直接浸入 Bouin's 液固定, 葛氏鲈塘鳢属于鳞片直接暴露于体表的鱼类先利用脱钙液脱钙, 后用固定液浸泡固定。常规石蜡切片, 厚度为 5 μm , 阿利新蓝 (AB, pH = 2.6)-过碘酸雪夫 (PAS) 试剂染色。用 Leica 显微镜自带的照相系统进行拍照计数, 视野面积为 43.5 μm \times 32.6 μm , 在头、背、腹、尾 4 部位均随机选取 10 个视野进行统计计数, 统计出每个视野下平均黏液细胞数量, 对不同种鱼体的不同部位进行比较分析。

1.3 分类标准

实验中对鱼类黏液细胞的划分参考尹苗等 (2000) 的分类方法, 依据 AB-PAS 染色结果将黏液细胞分为 4 类: I 型为红色, AB 阴性, PAS 阳性, 含有中性黏多糖; II 型为蓝色, AB 阳性, PAS 阴性, 含有酸性黏多糖; III 型为紫红色, AB 与 PAS 均为阳性, 同时含有较多的中性黏多糖和部分酸性黏多糖; IV 型为蓝紫色, AB 与 PAS 均为阳性, 含有部分中性黏多糖和较多的酸性黏多 (Tanner et al. 2006)。阿利新蓝 (AB, pH 2.5 和 1.0)、过碘酸-雪夫 (PAS) 染色的深浅表示其黏蛋白组织化学反应的强弱。

1.4 数据处理

统计出 3 种鱼体表面头部、背部、腹部以及尾部 4 种黏液细胞数量, 计算出随机选取的十个视野中黏液细胞的平均值与标准差。统计 3 种鱼 4 种黏液细胞的分布数量, 采用单因素方差分析 (ANOVA) 检验每种鱼不同部位 (头部、背部、腹部、尾部) 的黏液细胞数量分布差异。处理软件为 Rstudio1.1.447。

2 结果

2.1 葛氏鲈塘鳢皮肤黏液细胞分布情况

AB-PAS 染色结果显示, 葛氏鲈塘鳢皮肤中黏液细胞多数呈圆形, 且细胞大小不一, 呈红色、蓝色、紫红色、蓝紫色 4 种颜色, 主要以紫红色细胞为主 (图 1)。葛氏鲈塘鳢的头部、背部、腹部和尾部皮肤的黏液细胞主要以紫红

色的III型细胞为主,表明其皮肤黏液细胞主要含有较多的中性黏多糖和部分酸性黏多糖。葛氏鲈塘鳢皮肤中4种类型的黏液细胞均存在,其间的数量分布有显著差异($P < 0.05$),III型黏液细胞最多,比I型细胞多61.5%,较II型细胞多85.8%,比IV型细胞多85.7%。葛氏鲈塘鳢头部黏液细胞数量最多,比背部黏液细胞数量多15.4%,比腹部黏液细胞数量多出38.0%,比尾部黏液细胞数量多56.7%(表1)。

2.2 黄颡鱼黏液细胞分布情况

根据AB-PAS染色结果显示,黄颡鱼体表皮肤黏液细胞的形状以球状为主,颜色以红色为主(图1),即I型细胞分布最为广泛,表明黄颡鱼皮肤黏液细胞主要含有较多的中性黏多糖。在黄颡鱼皮肤的4种细胞类型之间的数量分布有显著差异($P < 0.05$),I型细胞最多。I型细胞比II型细胞多9.9%,较III型细胞多15.1%,比IV型细胞多53.5%。黄颡鱼背部黏液细胞数量最多,比头部黏液细胞数量多42.5%,比腹部黏液细胞数量多46.6%,比尾部黏液细胞数量多51.4%(表1)。

2.3 泥鳅黏液细胞分布情况

AB-PAS染色显示泥鳅的黏液细胞呈红色、蓝色、紫红色、蓝紫色4种颜色,蓝色最多,表明泥鳅皮肤黏液细胞主要以II型细胞为主,含有大量的酸性黏多糖。与黄颡鱼和葛氏鲈塘鳢不同,泥鳅的黏液细胞形态主要以囊状为主(图1)。在泥鳅体表的4种细胞类型之间的数量有显著差异($P < 0.05$),细胞类型II最多,比I型细胞多88.3%,比III型细胞多33.1%,比IV型细胞多83.5%。泥鳅背部黏液细胞数量最多,比头部黏液细胞数量多49.9%,比腹部黏液细胞数量多50.6%,比尾部黏液细胞数量多43.8%。泥鳅体表的平均黏液细胞数量最多,相较于葛氏鲈塘鳢多38.9%,黄颡鱼多39.1%(表1)。

3 讨论

3.1 三种淡水底栖鱼类不同类型黏液细胞的

分布及相关研究

黏液细胞在鱼体的生命活动中有重要的意义,其分布和数量受到很多因素的影响,如温度(杨桂文等1999,罗霞等2007)、渗透压(Fagan et al. 2003)、病原微生物(Ross et al. 2000)和其栖息的环境条件等。统计3种鱼类在各自体表4种黏液细胞类型的数量均值(表1),三种淡水底栖鱼类体表的代表性黏液细胞类型均不同。葛氏鲈塘鳢以III型细胞为主,表明其皮肤黏液细胞主要含有较多的中性黏多糖和部分酸性黏多糖,且主要分布于鱼体的头部,尹苗等(2000)研究了鲤鱼(*Cyprinus carpio*)的黏液细胞,发现随着黏液细胞逐渐发育成熟,在靠近表层的皮肤中,同时含有酸性黏多糖和中性黏多糖的III型和IV型黏液细胞数目较多,与葛氏鲈塘鳢类似,显微镜下主要以紫红色为主。黄颡鱼体表以I型细胞分布最为广泛,表明黄颡鱼皮肤黏液细胞主要含有较多的中性黏多糖,集中分布在黄颡鱼体背部,黄智慧等(2010)对大菱鲆(*Psetta maxima*)的体表皮肤黏液细胞进行研究,发现在正常水温下体表各部位的黏液细胞主要也是以I型细胞为主,呈现大规模的红色分布。泥鳅体表中含有较多的酸性黏多糖,主要以II型细胞为主,在鱼体各个部位都有较为广泛的分布,并在鱼体背部数量最多,任素莲等(2006)在对海湾扇贝(*Argopecten irradians*)外套膜的黏液细胞研究中发现,在生壳突起内外侧上皮以及边缘膜内外侧上皮中均有大量的II型黏液细胞分布。不同类型黏液细胞的分布在各个鱼体中呈现出较大的差异,与鱼的种类、生长环境等都有一定的关系,使得鱼类能够更好地适应生长环境,发挥正常的生理功能。

3.2 酸性黏多糖在皮肤黏液细胞中的保护作用

底栖鱼类常常栖息于有机质丰富的软泥表层,其中含有大量的病原微生物,腐殖质沉积较多,黏液为保护鱼体、抵御外界病原微生物入侵的第一道屏障,体表黏液中含有丰富的溶

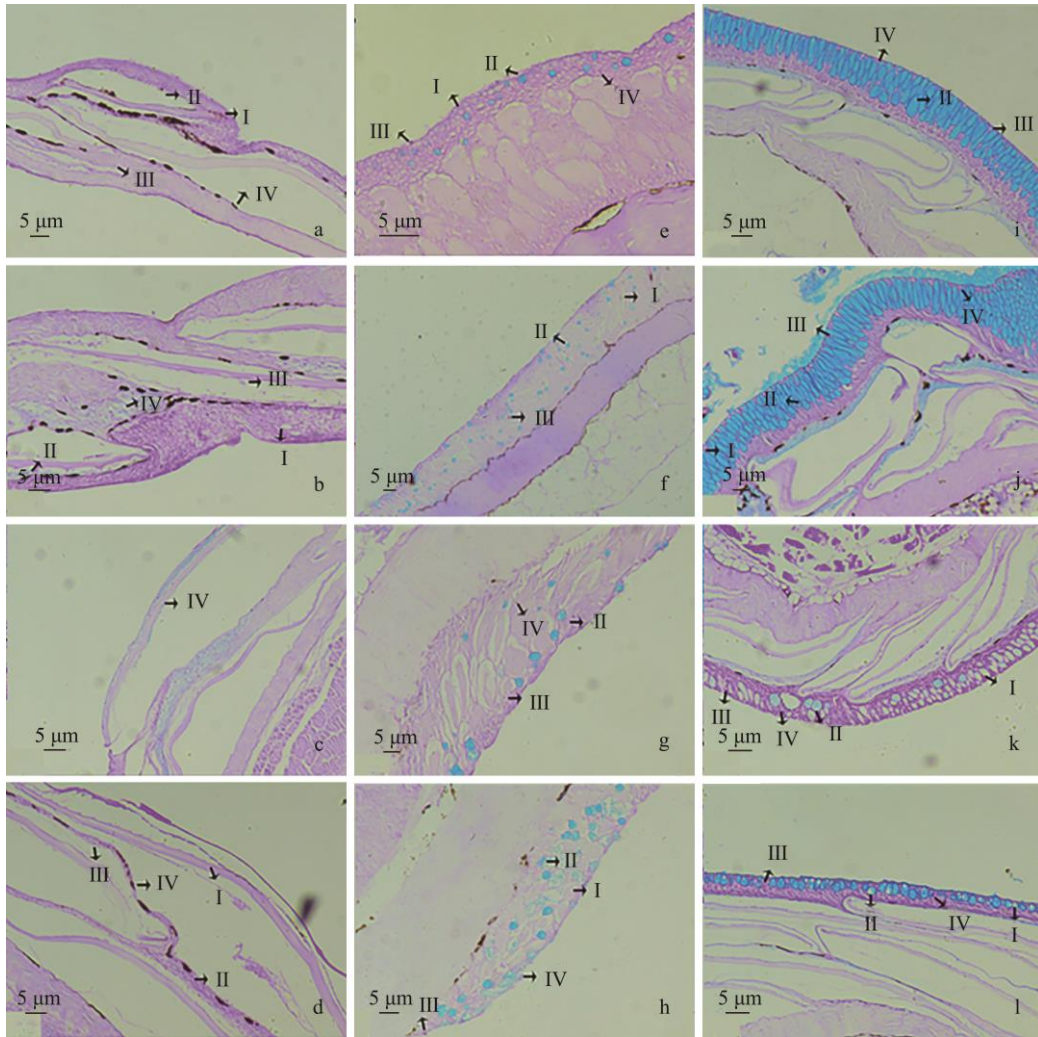


图 1 葛氏鲈塘鳢、黄颡鱼和泥鳅皮肤中黏液细胞的显微镜观察 (AB-PAS 染色)

Fig. 1 Light microscopy of mucous cells in skin of *Percottus glenii*, *Pelteobagrus fulvidraco* and *Misgurnus anguillicaudatus* (AB-PAS staining)

a. 葛氏鲈塘鳢头部 (×100); b. 葛氏鲈塘鳢背部 (×100); c. 葛氏鲈塘鳢腹部 (×100); d. 葛氏鲈塘鳢尾部 (×100); e. 黄颡鱼头部 (×100); f. 黄颡鱼背部 (×40); g. 黄颡鱼腹部 (×100); h. 黄颡鱼尾部 (×100); i. 泥鳅头部 (×100); j. 泥鳅背部 (×100); k. 泥鳅腹部 (×100); l. 泥鳅尾部 (×100)。

a. The head of *Percottus glenii* (×100); b. The back of *Percottus glenii* (×100); c. The abdomen of *Percottus glenii* (×100); d. The tail of *Percottus glenii* (×100); e. The head of *Pelteobagrus fulvidraco* (×100); f. The back of *Pelteobagrus fulvidraco* (×40); g. The abdomen of *Pelteobagrus fulvidraco* (×100); h. The tail of *Pelteobagrus fulvidraco* (×100); i. The head of *Misgurnus anguillicaudatus* (×100); j. The back of *Misgurnus anguillicaudatus* (×100); k. The abdomen of *Misgurnus anguillicaudatus* (×100); l. The tail of *Misgurnus anguillicaudatus* (×100).

箭头指示黏液细胞: I. I型黏液细胞; II. II型黏液细胞; III. III型黏液细胞; IV. IV型黏液细胞。

Arrow indicates the direction of mucous cells: I. Type I mucous cell; II. Type II mucous cell; III. Type III mucous cell; IV. Type IV mucous cell.

表 1 9 月 3 种鱼体皮肤黏液细胞数量 (平均值 \pm 标准差, 细胞个数/视野面积)Table 1 The number of skin mucus cells in three species of fish in September (Mean \pm SD, numbers of cells/vision field)

部位 Section	物种 Species	I 型 Type I	II 型 Type II	III 型 Type III	IV 型 Type IV
头部 Head	葛氏鲈塘鳢 <i>Perccottus glenii</i>	23.8 \pm 4.3 ^c	3.3 \pm 3.7 ^a	51.0 \pm 10.9 ^d	6.9 \pm 4.8 ^b
	黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	13.5 \pm 8.4 ^c	11.9 \pm 3.5 ^b	27.0 \pm 8.6 ^d	2.0 \pm 2.0 ^a
	泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	6.7 \pm 5.4 ^a	52.1 \pm 19.6 ^d	7.2 \pm 6.4 ^b	13.0 \pm 5.5 ^c
背部 Back	葛氏鲈塘鳢 <i>Perccottus glenii</i>	14.7 \pm 4.8 ^b	6.0 \pm 2.5 ^a	45.2 \pm 9.5 ^c	6.0 \pm 3.1
	黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	31.5 \pm 6.2 ^d	25.4 \pm 10.3 ^c	22.4 \pm 9.0 ^b	15.4 \pm 2.4 ^a
	泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	3.9 \pm 1.8 ^b	110.4 \pm 33.3 ^d	39.6 \pm 8.6 ^c	3.8 \pm 2.5 ^a
腹部 Abdomen	葛氏鲈塘鳢 <i>Perccottus glenii</i>	8.3 \pm 4.5 ^b	10.0 \pm 3.0 ^c	29.4 \pm 4.8 ^d	5.0 \pm 2.1 ^a
	黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	15.8 \pm 4.2 ^c	17.3 \pm 4.9 ^d	6.4 \pm 3.6 ^a	11.0 \pm 3.6 ^b
	泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	13.8 \pm 4.0 ^a	25.3 \pm 4.2 ^d	22.9 \pm 5.9 ^c	15.9 \pm 3.5 ^b
尾部 Tail	葛氏鲈塘鳢 <i>Perccottus glenii</i>	10.0 \pm 3.6 ^c	1.6 \pm 1.6 ^a	22.1 \pm 6.7 ^d	3.1 \pm 4.5 ^b
	黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	15.6 \pm 10.8 ^d	14.2 \pm 3.5 ^c	9.1 \pm 6.1 ^b	7.1 \pm 2.5 ^a
	泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	2.6 \pm 1.5 ^a	42.9 \pm 9.9 ^d	37.8 \pm 13.0 ^c	5.3 \pm 1.9 ^b

同行数据上标不同字母, 表示差异显著 ($P < 0.05$)。Values with different superscripts indicate significant difference ($P < 0.05$).

菌酶、酸性磷酸酶 (acid phosphatase, ACP)、碱性磷酸酶 (alkaline phosphatase, AKP) 等水解酶类 (刘煜等 1999, 韩庆等 2010)。我们发现这 3 种鱼类体表黏液细胞都含有一定的酸性黏多糖, 其为鱼体表提供酸性环境, 可以溶解病原微生物从而保护机体, 有效地防止病原菌侵入, 这与黄智慧等 (2010) 的研究相符。并且这种酸性黏多糖的分泌量还会随着环境因子的改变而改变, 如温度升高, 酸性黏多糖的分泌量随之增加, 但这种增加是有一定限制范围的, 许国晶等 (2011) 发现牙鲆 (*Paralichthys californicus*) 在最适生理生活温度 (21 °C) 下, 抗体应答强度最大, 刘德明等 (2010) 发现超出一定温度范围后, 泥鳅的体表黏液细胞会失活变性。总之, 酸性黏多糖在 3 种鱼体的广泛分布, 表明其对于鱼体自身有重要的功能, 酸性黏多糖能够清除环境中的病菌和有害物, 从而对鱼体进行保护防御, 有一定的免疫功能。

3.3 三种淡水底栖鱼类黏液细胞在不同部位的分布特点

从实验结果来看, 葛氏鲈塘鳢头部黏液细胞数量最多, 其次是背部, 尾部黏液细胞数量

最少; 黄颡鱼背部黏液细胞数量最多, 其次是头部, 尾部黏液细胞数量最少; 泥鳅也为背部黏液细胞数量最多, 尾部黏液细胞数量最少。即黏液细胞的数量在鱼体表面的分布趋势为头背部较多, 而尾部较少 (表 1), 总体来看, 鱼体黏液细胞数量前半部多于后半部。对比有鳞鱼和无鳞鱼, 无鳞鱼的黏液细胞数量明显多于有鳞鱼, 黏液细胞数量的分布与有无鳞片、鱼的种类以及分布的部位都有一定的关系。

在鱼类黏液细胞的研究中, 对于鱼类消化道黏液细胞的研究较为丰富, 开展鱼类皮肤黏液细胞相关特征的研究较少, 本研究通过对葛氏鲈塘鳢、泥鳅以及黄颡鱼皮肤黏液细胞的分布与数量比较, 拟为这三种经济鱼类的养殖和病害防治中提供基础资料。

参 考 文 献

- Benhammed S, Guardiola F A, Mars M, et al. 2014. Pathogen bacteria adhesion to skin mucus of fishes. *Veterinary Microbiology*, 171(1/2): 1–12.
- Fagan M S, O'Byrne-Ring N, Ryan R, et al. 2003. A biochemical study of mucus lysozyme, proteins and plasma thyroxine of

- Atlantic salmon (*Salmo salar*) during smoltification. *Aquaculture*, 222(1): 287–300.
- Ross N W, Firth K J, Wang A, et al. 2000. Changes in hydrolytic enzyme activities of naïve Atlantic salmon *Salmo salar* skin mucus due to infection with the salmon louse *Lepeophtheirus salmonis* and cortisol implantation. *Diseases of Aquatic Organisms*, 41(1): 43–51.
- Tanner C A, Burnett L E, Burnett K G. 2006. The effects of hypoxia and pH on phenoloxidase activity in the Atlantic blue crab, *Callinectes sapidus*. *Comparative Biochemistry and Physiology: Part A*, 144(2): 218–233.
- Vatsos N, Kotzamanis Y, Henry M, et al. 2010. Monitoring stress in fish by applying image analysis to their skin mucous cells. *European Journal of Histochemistry*, 54(2): e22.
- 安利国, 尹苗, 杨桂文, 等. 2000. 鲤幼鱼粘液细胞对不同 pH 刺激方式的反应. *齐鲁渔业*, (1): 27–28.
- 柏世军. 2003. 黄颡鱼皮肤黏液细胞研究. 武汉: 华中农业大学硕士学位论文.
- 韩庆, 李丽立, 黄春红, 等. 2010. 洞庭湖鲢鱼体表黏液和肌肉营养成分组成对比分析. *食品科学*, 31(3): 97–101.
- 黄智慧, 马爱军. 2010. 大菱鲆体表黏液细胞组化研究及高温胁迫对其类型和分布的影响. *水产学报*, 34(5): 719–725.
- 黄智慧, 马爱军, 汪岷. 2009. 鱼类体表黏液分泌功能与作用研究进展. *海洋科学*, 33(1): 90–94.
- 李学军, 彭新亮, 乔志刚. 2010. 鲈皮肤和鳃黏液细胞的分类、分布和分泌研究. *上海海洋大学学报*, 19(6): 751–755.
- 刘德明, 陶鑫峰, 王一飞, 等. 2010. 泥鳅体表黏液的流变行为. *高分子学报*, (4): 468–473.
- 刘煜, 梁明山, 曾宇, 等. 1999. 泥鳅体表黏液超氧化物歧化酶部分性质研究. *动物学杂志*, 34(3): 60.
- 罗霞, 潘厚军, 巩华, 等. 2007. 鳊浸泡嗜水气单胞菌全菌疫苗后皮肤黏液抗体的变化. *中国水产科学*, 14(5): 823–828.
- 任素莲, 傅郁. 2006. 海湾扇贝外套膜的组织结构与粘液细胞的类型与分布. *中国海洋大学学报*, 36(5): 739–744.
- 王伟莉, 闫振广, 何丽, 等. 2013. 五种底栖动物对优控污染物的敏感性评价. *中国环境科学*, 33(10): 1856–1862.
- 许国晶, 绳秀珍, 战文斌. 2011. 温度对牙鲈皮肤黏液抗体产生的影响. *中国水产科学*, 18(6): 1377–1383.
- 杨桂文, 安利国. 1999. 鱼类黏液细胞研究进展. *水产学报*, (4): 403–408.
- 尹苗, 安利国, 杨桂文, 等. 2000. 鲤鱼粘液细胞类型的研究. *动物学杂志*, 35(1): 8–9.
- 张婷, 史晋绒, 宋柯, 等. 2014. 鱼类体表黏液分泌机制 组分与功能研究进展. *安徽农业科学*, (22): 7445–7448, 7458.