

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2013.00075

不同摄食状态下南方鲇幼鱼肠道黏液细胞的量化分析

李凤杰, 曾令清, 葛胜东, 李秀明, 黄小铭, 张耀光

西南大学 生命科学学院 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室; 水产科学重庆市市级重点实验室 重庆 400715

摘要: 量化分析了南方鲇(*Silurus meridionalis*)幼鱼在正常摄食节律下摄食前(S0d)、摄食后 64 h(S0d-64h)、饥饿 16 d(S16d)、饥饿 32 d(S32d)以及饥饿后首次恢复摄食 64 h (S16d-64h, S32d-64h)肠道各类型黏液细胞的反应特征。结果发现, 摄食后肠道各部位黏液细胞总数均有一定程度减少, 其中前肠减少最为显著($P<0.05$); 中肠和后肠 II 型黏液细胞数量显著减少($P<0.05$), 中肠的 III 型黏液细胞数量显著增多($P<0.05$); 肠腔中黏液增多, 黏液细胞呈空泡结构。S16d 组和 S16d-64h 组前肠和中肠的 I 型细胞数量显著减少($P<0.05$), III 型细胞数量显著增多($P<0.05$)。S32d 组和 S32d-64h 组前肠各类型细胞数量以及黏液细胞总数变化不明显($P>0.05$); 中肠的 II 型细胞数量显著增多($P<0.05$), IV 型细胞数量显著减少($P<0.05$); 饥饿和恢复摄食后肠各类型黏液细胞数目变化不明显($P>0.05$)。研究表明, 南方鲇幼鱼肠道黏液细胞的摄食反应明显; 饥饿胁迫以及恢复摄食后肠道黏液细胞的反应特征与肠道各段的生理功能相适应; 面对营养胁迫时, 肠道前段能迅速调节黏液细胞的数目, 而后肠基本不变, 可能是该鱼应对营养缺乏的保护性适应机制。

关键词: 南方鲇; 饥饿; 恢复摄食; 肠道; 黏液细胞

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2013)01-0075-07

鱼类肠道缺乏肠腺, 仅依靠黏膜层黏液细胞分泌消化酶来辅助消化食物, 黏液细胞的多少间接反映鱼类的消化能力^[1]。大多数硬骨鱼类的研究表明, 肠道黏液细胞分泌的黏液与食物的润滑与消化、营养大分子的运输和吸收、防止黏膜上皮被蛋白酶水解、阻止细菌入侵等功能密切相关^[2-4]。近年来研究还发现, 动物肠道结构、肠黏膜的生长和修复以及黏膜的生理功能均与营养水平密切相关^[2, 4-5], 对与肠黏膜密切相关的粘液细胞的研究也倍受关注。虽然国内外有关营养因子对鱼类消化道组织学影响的研究较多, 但涉及肠道黏液细胞的研究较少^[6-11]。南方鲇(*Silurus meridionalis*)属鲇形目、鲇科、鲇属, 是中国长江、珠江流域的大型肉食性鱼类, 其产量高, 肉味鲜美, 是重要的经济养殖鱼类^[12], 有关饥饿和恢复摄食

对该种鱼肠道黏液细胞影响的研究尚未见报道。因此, 本研究采用饥饿及饥饿后恢复摄食的处理方法, 量化分析了南方鲇幼鱼肠道不同类型黏液细胞在不同摄食处理后的数量变化特征, 旨在探究黏液细胞的生理功能, 为南方鲇营养生理研究及合理养殖提供基础资料。

1 材料和方法

1.1 实验鱼及其驯化

实验鱼为本实验室人工繁殖的南方鲇幼鱼, 暂养于实验室的水泥池(1.5 m×1.2 m×0.5 m)中 3 个月。前 1 个月采用线虫(*Caenorhabditis elegans*)为饵料, 后 2 个月以新鲜的泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)肉块作为饵料, 池中采用经曝气后的自来水, 并持续泵气, 使水体溶氧高于 7 mg/L,

收稿日期: 2012-01-16; 修订日期: 2012-04-16.

基金项目: 国家 973 计划项目(2010CB134400).

作者简介: 李凤杰(1985-), 女, 硕士研究生, 研究方向为动物形态与发育. E-mail: jj2wo@126.com

通信作者: 张耀光, 教授. E-mail: zhangyg@swu.edu.cn

温度控制在 $(25 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ ，光周期设定为 12L:12D。

在水泥池停止投喂 1 d 后，将大小相当、健康活泼的南方鲇幼鱼转移至流水式鱼类呼吸代谢仪的呼吸室($\phi 60 \text{ mm} \times 270 \text{ mm}$)中进行单尾驯化 10 d。在此期间，为了使实验鱼适应呼吸室环境和摄食，让单尾鱼每隔 3 d 摄食 1 次 6% BW 的泥鳅饵料^[13]。实验鱼所在呼吸代谢室的温度、溶氧水平、pH 值与驯养水泥池相当。

1.2 实验设计

驯化期结束后，分别进行以下实验：(1)摄食实验：实验时间为 2009 年 8—9 月，挑选摄食效果好的南方鲇幼鱼作为实验对象，在驯化期最后 1 次摄食后 3 d 开始实验。对实验鱼[体质量 $(85.8 \pm 1.7) \text{ g}$ ，体长： $(20.5 \pm 0.5) \text{ cm}$ ， $n=12$]投喂 6% BW 的新鲜泥鳅饵料，分别在摄食前 0 h(对照组 S0d)和摄食后 64 h(S0d-64h)取样，每次取样 6 尾。(2)饥饿实验和饥饿后首次恢复摄食实验：实验时间为 2010 年 10—12 月，挑选摄食效果好的南方鲇幼鱼作为实验对象，在驯化期最后 1 次摄食后 3 d 开始饥饿实验，将实验鱼[体质量 $(86.5 \pm 2.0) \text{ g}$ ，体长 $(21.5 \pm 0.7) \text{ cm}$ ， $n=36$]进行饥饿处理，取样时间设定在饥饿 0 d(S0d)、16 d(S16d)、32 d(S32d)、饥饿 16 d 后恢复摄食 64 h(S16d-64h)、饥饿 32 d 后恢复摄食 64 h(S32d-64h)。在饥饿 16 d、32 d 对饥饿处理组进行取样，每次随机取样 6 尾，同时取样对照组 6 尾；在饥饿 16 d、32 d 首次恢复摄食后 64 h 时，对恢复摄食组进行取样，每次取样 6 尾。

1.3 取样方法

棒击鱼头部将鱼迅速处死，剪开腹腔迅速取出肠道，采用等分法将肠道分为前、中、后肠，置入盛有 Carnoy's 固定液的 EP 管中固定 3~5 h，进行石蜡包埋，切片厚 $4 \mu\text{m}$ 。将各部位切片进行 AB-PAS 染色(AB 染色 pH 2.6)^[14]，依据 AB-PAS 染色结果对黏液细胞进行分类^[9]，Nikon80i 显微照相系统拍照，采用 Image pro plus 6.0 软件进行测量分析。单尾鱼肠道的黏液细胞数目为同一切片取 6~8 个不同计数视野下黏液细胞数目的平均值，在每个视野下随机地沿肠黏膜层边缘对黏液

细胞数目计数，黏液细胞数量表示为单位长度(1 mm)黏膜上皮中的细胞个数。

1.4 数据处理和统计分析

用 Excel 2003 对所有实验数据作常规计算，再用 SPSS Statistics 17.0 软件进行统计分析。黏液细胞数目进行单因素方差分析(One way analysis of variance, ANOVA)，若发现各组存在显著差异，则以最小显著差异法(LSD)进行多重比较。所有统计值均以平均值 \pm 标准差($\bar{x} \pm \text{SD}$)表示，显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 南方鲇幼鱼肠道黏液细胞的分布

南方鲇幼鱼肠道黏液细胞散布于黏膜层柱状细胞之间，黏液细胞总数沿肠道从前至后递增，不同肠段之间差异显著(表 1-3)。前、中、后肠黏液细胞分布密度分别为 28.7 个/mm、66.0 个/mm、85.9 个/mm。在南方鲇幼鱼肠道中，4 种类型的黏液细胞均有。I 型为红色，AB 阴性，PAS 阳性，含中性黏多糖，为中性黏液细胞；II 型为蓝色，AB 阳性，PAS 阴性，含酸性黏多糖，为酸性黏液细胞；III 型紫红色，AB 和 PAS 均为阳性，主要含有 PAS 阳性的中性黏多糖，同时含有少量 AB 阳性的酸性黏多糖，为偏中性的黏液细胞；IV 型为蓝紫色，AB 和 PAS 均为阳性，主要含有 AB 阳性的酸性黏多糖，同时含有少量 PAS 阳性的中性黏多糖，为偏酸性黏液细胞。前肠中的黏液细胞排列较松散，以 I 型、III 型和 IV 型为主。I 型细胞较小，细囊状，位于黏膜层表层，多分布在黏膜褶皱隐窝处；II 型细胞较 I 型细胞大，主要为球状，位于黏膜层中上层；III 型细胞较大，球状、囊状皆有，位于黏膜层上层；IV 型细胞体积较 III 型更大，囊状或杯状；前肠黏液细胞中泡状黏液不明显，肠腔中黏液较少，可见黏液细胞以顶浆分泌的方式向肠腔分泌黏液。中肠和后肠的黏液细胞数量以 II 型、III 型和 IV 型为主，偶见 I 型细胞，细胞排列紧密，内含丰富的泡状黏液，细胞分泌活动旺盛，可见大量黏液涂布于黏膜上皮表面及填充在肠腔之中(图 1 A-C)。

表 1 南方鲈幼鱼前肠单位长度黏膜上皮中各类型黏液细胞的数量变化

Tab.1 Number of mucous cells in 1 mm epithelium in proximal intestinal segment of juvenile *Silurus meridionalis*n=6; $\bar{x} \pm SD$; cell/mm

组别 group	I 型细胞 type I	II 型细胞 type II	III 型细胞 type III	IV 型细胞 type IV	黏液细胞总数 total number of mucous cells
S0d	3.464±0.080 ^b	1.180±0.063 ^a	4.972±0.083 ^{ab}	19.069±0.099 ^a	28.685±4.849 ^{ab}
S0d-64h	2.370±0.049 ^b	0.666±0.040 ^{ab}	5.357±0.104 ^a	12.436±0.112 ^a	20.829±4.375 ^c
S16d	7.828±0.132 ^a	1.079±0.038 ^{ab}	3.901±0.066 ^b	22.545±0.115 ^a	35.242±9.109 ^a
S16d-64h	2.381±0.055 ^b	0.173±0.013 ^b	7.569±0.132 ^a	20.066±0.105 ^a	30.189±7.929 ^{ab}
S32d	3.681±0.016 ^b	0.841±0.040 ^{ab}	7.443±0.147 ^a	18.780±0.151 ^a	30.745±3.338 ^{ab}
S32d-64h	1.678±0.490 ^b	1.788±0.068 ^a	5.357±0.072 ^{ab}	16.087±0.039 ^a	24.910±5.688 ^{bc}

注: S0d 为饥饿 0 d 处理组, S16d 为饥饿 16 d 处理组, S32d 为饥饿 32 d 处理组, S16d-64h 表示饥饿 16 d 后恢复摄食 64 h 处理组、S32d-64h 表示饥饿 32 d 后恢复摄食 64 h 处理组。表中同一列中的不同字母上标表示差异显著($P<0.05$)。

Note: S0d is the group starved for 0 d. S16d is the group starved for 16 d. S32d is the group starved for 32 d. S16d-64h is the group refed at 64 h after starvation for 16 d. S32d-64h is the group refed at 64 h after starvation for 32 d. The data shared with different superscripts in the same array are significantly different($P<0.05$).

表 2 南方鲈幼鱼中肠单位长度黏膜上皮中各类型黏液细胞的数量变化

Tab. 2 Number of mucous cells in 1 mm epithelium of middle intestinal segment of juvenile *Silurus meridionalis*n=6; $\bar{x} \pm SD$; cell/mm

组别 group	I 型细胞 type I	II 型细胞 type II	III 型细胞 type III	IV 型细胞 type IV	黏液细胞总数 total number of mucous cells
S0d	1.122±0.015 ^{ab}	5.555±0.067 ^{ab}	8.260±0.071 ^{bc}	51.024±0.086 ^a	65.961±24.509 ^a
S0d-64h	1.060±0.013 ^{ab}	0.318±0.009 ^c	16.618±0.060 ^a	39.131±0.056 ^{ab}	57.126±12.315 ^a
S16d	2.121±0.035 ^a	10.322±0.073 ^a	3.869±0.069 ^c	42.525±0.041 ^{ab}	58.836±18.098 ^a
S16d-64h	0.103±0.004 ^b	5.086±0.071 ^{abc}	9.725±0.119 ^{ab}	44.791±0.079 ^a	59.705±16.925 ^a
S32d	1.706±0.030 ^{ab}	0.900±0.017 ^{bc}	12.087±0.150 ^{ab}	45.555±0.148 ^a	60.126±22.052 ^a
S32d-64h	0.319±0.012 ^b	10.888±0.141 ^a	12.487±0.157 ^{ab}	39.164±0.113 ^b	62.858±26.273 ^a

注: S0d 为饥饿 0 d 处理组, S16d 为饥饿 16 d 处理组, S32d 为饥饿 32 d 处理组, S16d-64h 表示饥饿 16 d 后恢复摄食 64 h 处理组、S32d-64h 表示饥饿 32 d 后恢复摄食 64 h 处理组。表中同一列中的不同字母上标表示差异显著($P<0.05$)。

Note: S0d is the group starved for 0 d. S16d is the group starved for 16 d. S32d is the group starved for 32 d. S16d-64h is the group refed at 64 h after starvation for 16 d. S32d-64h is the group refed at 64 h after starvation for 32 d. The data shared with different superscripts in the same array are significantly different($P<0.05$).

表 3 南方鲈幼鱼后肠单位长度黏膜上皮中各类型黏液细胞的数量变化

Tab. 3 Number of mucous cells in 1 mm epithelium of distal intestinal segment of juvenile *Silurus meridionalis*n=6; $\bar{x} \pm SD$; cell/mm

组别 group	I 型细胞 type I	II 型细胞 type II	III 型细胞 type III	IV 型细胞 type IV	黏液细胞总数 total number of mucous cells
s0	1.628±0.035 ^a	16.009±0.098 ^a	12.179±0.026 ^{ab}	55.437±0.087 ^a	82.876±39.965 ^{ab}
s0-64h	0.830±0.012 ^{ab}	5.263±0.096 ^b	7.425±0.082 ^{ab}	44.470±0.105 ^a	58.405±28.928 ^b
s16	0.148±0.004 ^b	30.320±0.307 ^a	3.758±0.065 ^b	58.981±0.271 ^a	93.207±17.236 ^{ab}
s16-64h	0.108±0.003 ^b	16.289±0.147 ^a	10.861±0.102 ^{ab}	63.212±0.103 ^a	90.973±18.250 ^{ab}
s32	0.315±0.006 ^b	26.343±0.303 ^a	18.577±0.113 ^a	63.881±0.217 ^a	109.116±36.027 ^a
s32-64h	0.121±0.003 ^b	17.388±0.158 ^a	10.099±0.098 ^{ab}	74.041±0.111 ^a	101.315±20.046 ^a

注: S0d 为饥饿 0 d 处理组, S16d 为饥饿 16 d 处理组, S32d 为饥饿 32 d 处理组, S16d-64h 表示饥饿 16 d 后恢复摄食 64 h 处理组、S32d-64h 表示饥饿 32 d 后恢复摄食 64 h 处理组。表中同一列中的不同字母上标表示差异显著($P<0.05$)。

Note: S0d is the group starved for 0 d. S16d is the group starved for 16 d. S32d is the group starved for 32 d. S16d-64h is the group refed for 64 h after starvation for 16 d. S32d-64h is the group refed for 64 h after starvation for 32 d. The data shared with different superscripts in the same array are significantly different($P<0.05$).

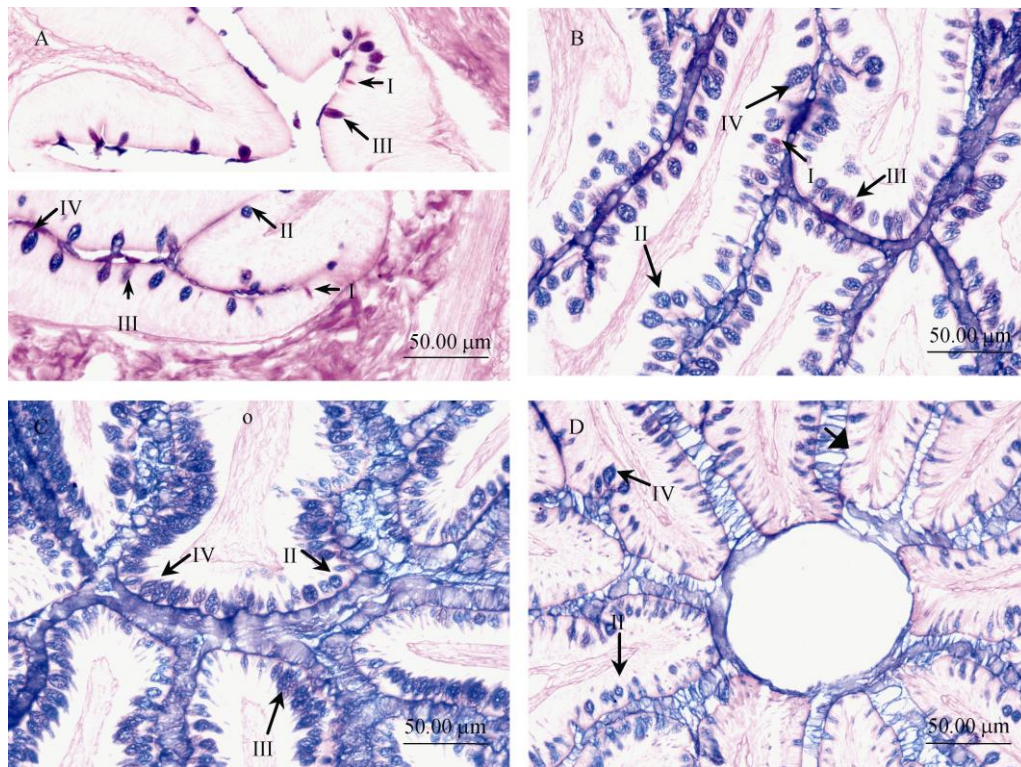


图 1 南方鲈幼鱼肠道黏液细胞

A. S0d 组前肠黏液细胞; B. S0d 组中肠黏液细胞; C. S0d 组后肠黏液细胞; D. S0d-64h 组后肠黏液细胞(箭头示排空的黏液细胞)。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。

Fig. 1 Histochemistry characters of the mucous cells in different segments of *Silurus meridionalis* intestine

A. Proximal intestinal segment of s0d group. Different types of mucous cells (arrow). B. Middle intestinal segment of s0d group. Type I mucous cells (arrow). C. Distal intestinal segment of s0d group. D. Distal intestinal segment of s0d-64 h group. Vacuoles mucous cells (arrow). I: Type I mucous cells; II: Type II mucous cells; III: Type III mucous cells; IV: Type IV mucous cells.

2.2 摄食、饥饿以及饥饿后首次恢复摄食对南方鲈幼鱼肠道黏液细胞的影响

摄食后肠道各类型黏液细胞颜色较深, 分泌活动旺盛, 可见肠腔中大量黏液以及排空的黏液细胞(图 1 D)。饥饿后肠道黏膜层结构下调, 黏液细胞着色较浅, 黏液分泌减少。饥饿后首次恢复摄食 64 h 后, 肠道黏膜层结构恢复不明显, 但黏液细胞分泌活动较旺盛。不同肠段各类型黏液细胞数量统计结果如表 1-3 所示。

S0d-64h 组和 S0d 组之间前肠各类型黏液细胞数量差异不明显($P>0.05$), 但恢复摄食后黏液细胞总数显著减少($P<0.05$)。S16d 组 I 型细胞数量较 S0d 组显著增多($P<0.05$), 而另外 3 种类型细胞数量以及黏液细胞总数在两组之间差异不大($P>0.05$)。S16d-64h 组较 S16d 组 I 型细胞数量显著减少($P<0.05$), 而 III 型细胞数量显著增多($P<0.05$), 但均和 S0d 组没有显著差异($P>0.05$), 其余

类型的黏液细胞数量以及黏液细胞总数在两组之间差异不大。S32d 组各类型细胞数量和黏液细胞总数较 S0d 组变化不明显($P>0.05$)。S32d-64h 组和 S32d 组之间以及 S32d-64h 组和 S0d 组之间各类型细胞数量和黏液细胞总数无明显变化($P>0.05$)。S32d 组和 S16d 组的 I 型细胞和 III 型细胞数量呈此起彼伏的变化趋势, 其中 I 型细胞显著减少($P<0.05$), III 型细胞显著增多($P<0.05$) (表 1)。

在中肠中, S0d-64h 组 II 型细胞数量较 S0d 组显著减少($P<0.05$), III 型细胞则相反, I 型、IV 型细胞数量和黏液细胞总数在两组之间差异不大。饥饿以及饥饿后首次恢复摄食后黏液细胞总数变化不大, 但各类型细胞数量变化较大, 呈此起彼伏的变化态势: S16d 组的 I 型细胞数量较 S0d 组有所增多, S16d-64h 组 I 型细胞数量较 S16d 组显著减少($P<0.05$), III 型细胞数量显著增多($P<0.05$)。

S32d 组的 II 型细胞数量较 S0d 组有所减少, S32d-64h 组 II 型细胞数量较 S32d 组显著增多 ($P<0.05$), 而 IV 型细胞数量显著减少 ($P<0.05$, 表 2)。

摄食后南方鲇幼鱼后肠黏液细胞总数明显减少, 其中 S0d-64h 组 II 型细胞数量较 S0d 组显著减少 ($P<0.05$)。S16d 组和 S32d 组的 I 型黏液数量较 S0d 组显著减少 ($P<0.05$), S16d-64h 组和 S16d 组之间以及 S32d-64h 组和 S32d 组之间的各类型黏液细胞数量和黏液细胞总数差异不大 ($P>0.05$, 表 3)。

3 讨论

3.1 南方鲇幼鱼肠道黏液细胞的分布特征

鱼类消化道不同部位的黏液细胞数量以及黏液的化学成分区别明显^[5], 并且这种差异与其行使的生理功能密切相关^[15]。研究认为, 酸性黏液细胞, 特别是硫酸性黏液细胞分泌的酸性黏液在调节蛋白质及其残基的转运、润滑含粗糙原料丰富的食物、增加黏液的黏性、摄食中的微粒截留以及免疫防护方面起重要作用; 同时酸性黏液物质还因含有硫黏蛋白(参与蛋白酶的分泌, 与蛋白酶形成复合物)而起到稳定消化酶的作用^[15-17]。中性黏液细胞分泌的中性黏液物质常与碱性磷酸酶共存^[18-19], 可促进将食物乳化成食糜, 参与二糖和短链脂肪酸的消化吸收, 促进大分子物质在细胞膜的吸收和运输, 具有消化吸收功能^[20-21]。而且中性黏液在消化道黏膜表面可形成一层不易被酸液破坏的黏液膜, 对胃中高浓度的酸性胃容物起到一定的缓冲作用以及调节 pH 值的功能, 从而保护黏膜上皮, 防止蛋白酶和胃酸对上皮细胞的侵蚀^[17]。南方鲇幼鱼不同肠段黏液细胞的数量和种类差异明显, 前肠黏液细胞以 I 型(中性黏液细胞)和 IV 型细胞(偏酸性黏液细胞)为主, I 型黏液细胞沿肠道往后明显减少, 后肠只能偶尔见到。可能是因为肠前部与胃相连, 担负着部分胃的功能。中肠和后肠以 III 型(偏中性黏液细胞)和 IV 型细胞为主, 这与鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鲇(*Silurus asotus*)以及胡子鲇(*Clarias fuscus*)类似^[22], 原因可能是后肠与肛门相连, 细菌等病原体容易侵入, 黏液中所含的免疫性物质可有效防止病原体的侵入。南方鲇幼鱼肠道黏液

细胞的总数沿肠道从前至后递增, 这与南方鲇成鱼、胡子鲇的情况一致^[10-11]。肠后部丰富的黏液细胞主要作用可能是有助于食物残渣团的通过和粪便的排出。

3.2 摄食对南方鲇幼鱼肠道黏液细胞的影响

很多学者认为黏液细胞在受到药物或者物理刺激后能够迅速合成和分泌黏液^[23], 在其生命周期(3~5 d)内可重复进行黏液的合成和分泌活动, 并且黏液细胞的分泌活动还与其所处部位关联^[24]。例如鼠肠道受拟胆碱药物普鲁卡品刺激后, 小肠黏液细胞中 90% 的黏液物质可在 30 min 内合成并分泌排出, 解除药物作用后 30 min 内黏液细胞又可迅速地合成新的黏液, 而结肠完成这一过程比小肠所需的时间更长^[24]。本次研究中, 正常摄食节律下的南方鲇幼鱼在摄食 64 h 后, 肠道各部位 II 型细胞数量都有一定程度的减少, 其中中肠和后肠表现为显著减少, 而中肠中 III 型细胞数量显著增多。笔者认为摄食后南方鲇幼鱼肠道黏液细胞因承受较大的消化负荷, 需要大量黏液来润滑食物, 从而迅速地调节主要起润滑作用的酸性黏液细胞合成分泌黏液, 协助食物团的推进。同时在肠道中部增加偏中性黏液的合成和分泌来协同消化酶对食物饵料进行消化。从切片上看, 各类型黏液细胞分泌活动旺盛, 大量黏液充满肠腔, 表明摄食后南方鲇消化活动旺盛。黏液细胞总数的减少可能是由于计数方法引起的(由于很多黏液细胞已经排空, 无法分型, 故没有计数在内)。可见南方鲇幼鱼肠道黏液细胞的摄食反应较大。这与前人报道的南方鲇幼鱼肠道结构整体上并没有明显的摄食反应^[15]这一结论不一致, 原因可能是其研究并没有涉及肠道黏液细胞, 而肠道黏液细胞更容易受到营养物质的影响。

3.3 饥饿以及饥饿后恢复摄食对南方鲇幼鱼肠道黏液细胞的影响

研究表明, 营养水平对动物肠道黏膜生长、黏液细胞数量、黏液物质的合成与分泌有显著影响, 黏液细胞在一定范围内对不良环境可产生适应性反应而具有保护作用^[25]。长期的饥饿和营养缺乏均能引起黏液细胞数量的减少^[7], 从而降低消化功能和对外来病原体的抵抗力, 黏液细胞数

量增加可能是应对营养缺乏的保护性适应机制,然而只有少量研究报道了营养对肠道黏液细胞的调节作用^[6, 26-27]。饥饿后鼠十二指肠黏液细胞数量减少,而其他肠段没有显著变化,但在恢复摄食后各肠段黏液细胞数量均有不同程度的回升^[27]。饥饿 3 d 后鸡的肠道黏液细胞密度以及酸、中性黏液细胞的比例均没有显著变化,而黏液细胞的大小却显著增大^[28]。在本研究中, S16d-64h 组鱼前肠和中肠的 I 型细胞(中性黏液细胞)和 III 型细胞(偏中性黏液细胞)有较大的变化,其中前肠的变化要大一些。而在 S32d-64h 组前肠各类型细胞以及黏液细胞总数均没有较大变化,中肠的 II 型细胞(酸性黏液细胞)和 IV 型细胞(偏酸性黏液细胞)反应却很大。这提示短时间(S16d)饥饿胁迫后恢复摄食对南方鲇幼鱼肠前段的中性和偏中性黏液细胞影响较大。肠前段是食物消化吸收的主要场所,面对食物胁迫和解除胁迫时,能迅速调节在食物的消化吸收功能方面有重要作用的中性以及偏中性黏液细胞数目来渡过营养缺乏期;而在长时间(S32d)的饥饿胁迫后再恢复摄食时,则会调节酸性和偏酸性的黏液细胞数目来抵抗病菌,保护肠黏膜。南方鲇幼鱼后肠黏液细胞数目对饥饿及摄食的反应不大,因为肠道后部靠近肝门,需要保持一定水平的黏液物质来维持排便能力和抵御从肛门入侵的病原体。南方鲇幼鱼肠道黏液细胞的这种反应特点可能是其应对营养缺乏的保护性适应机制。

参考文献:

- [1] 涂永锋,宋代军. 鱼类肠道组织结构及其功能适应性[J]. 江西饲料, 2004, 1(4): 16-19.
- [2] Ziegler T R, Mantell M P, Chow J C, et al. Gut adaptation and the insulin-like growth factor system: regulation by glutamine and insulin-like growth factor-I administration [J]. Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol, 1996, 271: G866-G875.
- [3] 何敏. 重口裂腹鱼消化道组织学和免疫组织化学的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2006.
- [4] Butler R N, Lawson M J, Goland G J, et al. Proliferative activity in the proximal and distal colon of the rat after fasting and refeeding[J]. Immunol Cell Biol, 1988, 66: 193-198.
- [5] Goodlad R A, Wright N A. The effect of starvation and refeeding on the intestinal cell proliferation in the mouse [J]. Virchows Arch, 1984, 45: 63-73.
- [6] Claustre J, Tooumi F, Trompette A, et al. Effects of peptides derived from dietary proteins on mucus secretion in the rat jejunum[J]. Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol, 2002, 283: G521-G528.
- [7] Sherman P, Forstner J, Roomi N, et al. Mucin depletion in the intestine of malnourished rats[J]. Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol, 1985, 248: G418-G423.
- [8] Szentkuti L, Lorenz K. The thickness of the mucus layer in different segments of the rat intestine[J]. Histochem J, 1995, 27: 466-472.
- [9] 尹苗, 安利国, 杨桂文, 等. 鲤鱼粘液细胞类型的研究[J]. 动物学杂志, 2000, 35(1): 8-9.
- [10] 尹苗, 安利国, 杨桂文, 等. 胡子鲇粘液细胞类型及其在消化道中的分布[J]. 动物学报, 2001, 47(专刊): 116-119.
- [11] 刘怀如, 张耀光. 南方鲇消化道杯状细胞分布与类型讨论[J]. 四川动物, 2002, 21(1): 6-8.
- [12] 施白南, 嘉陵江南方大口鲈的生物学研究[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 1980(2): 45-52.
- [13] 张耀光, 谢小军. 南方鲇的繁殖生物学[J]. 性腺发育及周年变化[J]. 水生生物学报, 1996, 20(1): 8-16.
- [14] 刘怀如, 张耀光. 南方鲇消化系统的解剖[J]. 泉州师范学院学报: 自然科学版, 2001, 19(6): 75-79.
- [15] Fu S J, Xie X J, Cao Z D. Effect of dietary composition on specific dynamic action in southern catfish, *Silurus meridionalis*[J]. Aqualcult Res, 2005b, 36: 1384-1390.
- [16] 陈晓耘. 南方鲇幼鱼血细胞发生的研究[J]. 西南师范大学学报, 2000, 25(3): 281-287.
- [17] 曾令清, 李凤杰, 曹振东, 等. 南方鲇幼鱼胃排空特征及其数学模型[J]. 水产学报, 2011, 35(2): 58-64.
- [18] Zeng L Q, Li F J, Li X M, et al. The effects of starvation on digestive tract function and structure in juvenile southern catfish *Silurus meridionalis* Chen[J]. Comp Biochem Physiol A, 2012, 162: 200-211.
- [19] Jones R, Reid L. The effect of pH on alcian blue staining of epithelial acid glycoproteins. I. Sialomucins and sulphomucins (singly or in simple combination)[J]. Histochem J, 1973, 5: 9-18.
- [20] Sibbing F A, Uribe R. Regional specializations in the oropharyngeal wall and food processing in the carp *Cyprinus carpio* L [J]. Netherl J Zool, 1985, 35 (3): 377-422 .
- [21] Sinha G M. Functional histology of the different regions of the oesophagus of a fresh water major carp *Labeo calbasu* H. during the different life history stage [J]. Zoologische Beitrage, 1977, 23(3): 353-360.
- [22] Reifei C W, Travill A A. Structure and carbohydrate histochemistry of the oesophagus in ten teleostean species [J]. J Morph, 1977, 152: 303-313.
- [23] Zdrako P, Srebrenka N, Snjezana K, et al. Mucosubstances of the digestive tract mucosa in northern pike *Esax lucius* L. and European catfish *Silurus glanis* L [J]. Veterinarski Arhiv, 2005, 75(4): 317-327.

- [24] Reifei C W, Travill A A. Structure and carbohydrate histochemistry of the intestine of ten teleostean species[J]. J Morph, 1979, 162: 343–360.
- [25] Grau A, Crespo S, Sarasquete M C, et al. The digestive tract of the amberjack *Seriola dumerili* R.: A light and scanning electron microscope study [J]. J Fish Biol, 1992, 41: 287–303.
- [26] Murray H M, Wright G M, Goff G P. 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[J]. J Fish Biol, 1996, 48: 187–206.
- [27] 楚德昌, 邓振旭, 杨恩昌. 几种脊椎动物消化道粘液细胞的类型与分布[J]. 动物学杂志, 2006, 41(6): 109–114.
- [28] Hagen S J, Trier J S. Immunocytochemical localization of actin in epithelial cells of rat small intestine by light and electron microscopy [J]. J Histochem Cytochem, 1988, 36: 717–727.
- [29] Srecian R D, Zhang S J, Sibley D A, et al. Recovery of goblet cells from an accelerated secretory event(Abstract)[J]. Anat Rec, 1990, 226: 97A.
- [30] 曾令清. 南方鲇幼鱼消化系统生理功能与组织结构的表型适应性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011: 39–50.
- [31] 杨桂文, 安利国. 鱼类粘黏液细胞的研究进展[J]. 水产学报, 1999, 23(4): 403–408.
- [32] Uni Z, Smirnov A, Sklan D. Pre-and posthatch development of goblet cells in the broiler small intestine: Effect of delayed access to feed[J]. Poult Sci, 2003, 82: 320–327.
- [33] Asya S, David S, Zehava U. Mucin dynamics in the chick small intestine are altered by starvation [J]. Biochem Mol Action Nutr, 2004, 134: 736–742.
- [34] Concepción F E, Li H, Gu, et al. Trefoil peptide expression and goblet cell number in rat intestine: effects of KGF and fasting-refeeding [J]. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, 2003, 284: R564–R573.

Changes in the number of intestinal mucous cells of juvenile southern catfish *Silurus meridionalis* following feeding, starvation, and refeeding

LI Fengjie, ZENG Lingqing, GE Shengdong, LI Xiuming, HUANG Xiaoming, ZHANG Yaoguang

Southwest University, School of Life Science, Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development, Ministry of Education, Key Laboratory of Aquatic Science of Chongqing, Chongqing 400715, China

Abstract: We evaluated the effects of feeding, starvation, and re-feeding on the number of mucous cells in the intestinal mucosa in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*). The total number of mucous cells tended to decrease throughout all intestinal segments in the S0d-64h group, but the decrease was only significant in the proximal intestinal segment ($P<0.05$). The number of type II cells decreased significantly in both the mid intestinal segment and the distal intestinal segment ($P<0.05$), whereas the number of type III cells increased significantly in the mid intestinal segment ($P<0.05$). Feeding induces secretion from the mucous cells, resulting in more mucous in the intestinal lumen and vesicles of the mucous cells. There was no significant change in the total number of mucous cells across all intestinal segments, but there were type-specific changes in the number of mucous cells. There was a significant decrease in the number of type I cells and a significant increase in the number of type III cells in the proximal and mid intestinal segments in both the 16 day starvation group and post-refeeding 64 hour group. Conversely, there was an increase in the number of type II cells and a decrease in type IV cells in the mid intestinal segment in the 32 day starvation group and the postfeeding 64 hour group. There was no change in any of the mucosal cell types in the distal intestinal segment following starvation and refeeding. Our results suggest that feeding has an effect on the number of intestinal mucous cells in southern catfish. The segment specific regulation of mucous cells is likely correlated to the differing functions of each segment. The regulation of different types of mucous cells in both the proximal and mid intestinal segments may be a protective adaptation to low food availability.

Key words: *Silurus meridionalis*; starvation; refeeding; intestine; mucous cell

Corresponding author: ZHANG Yaoguang. E-mail: zhangyg@swu.edu.cn