

研究简报

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2010.00220

维生素E对斑点叉尾鮰胃肠道生长抑素表达的影响

何 敏 汪开毓 张 宇

(四川农业大学动物医学院, 动物疾病与人类健康四川省重点实验室, 雅安 625014)

EFFECT OF VITAMIN E ON SS EXPRESSION IN GASTROINTESTINAL TRACT OF CHANNEL CATFISH, *ICTALURUS PUNCTATUS RAFINESQUE*

HE Min, WANG Kai-Yu and ZHANG Yu

(Key Laboratory of Animal Disease and Human Health of Sichuan Province, Animal's Medical College, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014)

关键词: SS; 维生素E; 胃肠道; 斑点叉尾鮰

Key words: SS; Vitamin E; Gastrointestinal tract; Channel catfish

中图分类号: S963 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2010)01-0220-05

生长抑素(Somatostatin, 缩写为SS或SRIF)由生长抑素细胞分泌, 是一类抑制动物生长的多肽类激素。1973年 Brazeau, et al.^[1]首先从绵羊下丘脑中分离到生长抑素, 并发现其具有抑制垂体生长激素释放的功能。随后的研究发现在圆口动物、软骨鱼类、硬骨鱼类、两栖类、爬行类、鸟类、哺乳类等均有生长抑素SS的分布。目前SS已被确认为一种广泛分布于神经组织和胃肠道的多功能肽, 具有激素和神经递质双重作用, 调节机体的生长、发育和代谢等多种生理过程^[2]。

维生素E(Vitamin E)是Evans在19世纪20年代发现和命名的一种脂溶性维生素, 是生育酚和生育三烯酚的总称。它在维持动物机体正常代谢过程和生理功能中起着重要作用, 与动物体的抗病力、抗氧化功能、免疫功能、繁殖功能密切相关^[3,4]。目前集约化水产养殖条件下, 往往由于维生素E添加量不足, 加工贮存不当或脂肪氧化、原料发生霉变等原因造成饲料中维生素E缺乏, 使鱼类出现维生素E缺乏症, 从而表现出生长不良、瘦背病, 甚至发生死亡。在鱼类维生素E缺乏方面, 虽本课题组已做了比较系统的病理学研究^[5,6], 但未涉及饲料中不同含量维生素E对鱼类消化道生长抑素细胞影响等方面的研究, 且相

关研究国内外至今也尚未见报道。实验通过应用免疫组织化学SABC法和图像分析技术对饲料中不同含量维生素E对斑点叉尾鮰(Channel Catfish, *Ictalurus punctatus Rafinesque*)胃肠道生长抑素表达的影响进行研究, 了解生长抑素在不同维生素E含量下的可能作用, 以期为探讨维生素E对胃肠道SS表达的影响机制提供一定的形态学依据。

1 材料与方法

1.1 试验鱼

斑点叉尾鮰购自眉山市渔场, 驯养2周后选择体重为(5.00±0.50)g的健康鱼900尾进行试验。

1.2 试验分组及饲料配方

试验采用单因素随机分组设计法, 设计4个处理(I、II、III和IV), 每个处理3个重复, 每个重复75尾, 组间无显著性差异($P < 0.05$)。I、II、III和IV组依次分别添加纯合维生素E0、50、100和1000IU/kg饲料, 进行105d实验。维生素E由成都三友特种添加剂研究所提供。

营养标准参照NRC(1993)^[7]中斑点叉尾鮰的营养需要, 斑点叉尾鮰没有参照鲤鱼或虹鳟的营养需要, 实验基础日粮配方(表1)。

收稿日期: 2008-06-16, 修订日期: 2009-04-12

基金项目: 农业部水生动物疾病防治基金(2130108); 四川省科技攻关项目(JY029-040-2); 四川农业大学动物医学院青年科技创新基金(45078925-5); 教育部创新团队发展计划(IRT0848)资助

作者简介: 何敏(1980—), 女, 四川峨眉人; 讲师, 博士; 主要从事水生动物营养与疾病防治研究。Tel: 13882447236; E-mail: hemin09@163.com

通讯作者: 汪开毓(1955—), 男, 四川荥经人; 教授, 博士生导师; 主要从事水生动物营养与疾病防治研究。Tel: 0835-2885910; E-mail: kywang@sicau.edu.cn

表 1 基础日粮组成和营养成分

Tab. 1 Composition of basal diets and nutrition level (%)

原料 Ingredient	百分含量 Percent
明胶 Gelatin	6.9
鱼粉 Fish meal	12.4
大米蛋白粉 Rice protein concentrate	19.5
豆粕 Soybean meal	23.68
α -淀粉 α -starch	32.77
磷酸二氢钙 CaH_2O_4	0.8
氯化胆碱 Chlorchoine	0.4
抗氧喹粉 Ethoxyquin	0.05
复合维生素 ¹ Vitamin premix	0.1
复合矿物质 ² Minerals premix	1
大豆油 Soybean oil	1
鱼油 Fish oil	1.4
主要营养成分 Main nutrients	
粗蛋白 Crude protein	37.47
粗脂肪 Crude fat	5.24
灰分 Crude ash	12.18
有效磷 Effective P	0.45
维生素 E V_e (IU/kg)	2.09
总能 Gross energy(mJ/kg) ³	17.38

注: 1. 复合维生素 Vitamins premix (IU/kg): V_a 4400, V_{d_3} 2200, V_k 44, V_{B_1} 11, V_{B_2} 13.2, V_{B_6} 11, $V_{B_{12}}$ 0.01, 生物素 V_H 0.5, 泛酸 Pantothenate 35.2, 烟酸 V_{PP} 88, 叶酸 PTGA 22, 氯化胆碱 Becholine 275, V_c 40; 2. 复合矿物质 Minerals premix (IU/kg): $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 400, $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 350, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 450, $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 420, KI 460, Na_2SeO_4 520, KCl 550, NaCl 650; 3. 总能 Gross energy=蛋白 Protein + 脂肪 Lipid + 碳水化合物 Carbohydrate (蛋白 Protein 23.9 kJ/g、脂肪 Lipid 39.8 kJ/g、碳水化合物 Carbohydrate 17.6 kJ/g)^[9]

1.3 饲养管理

实验使用 24 个水族箱(80 cm×60 cm×60 cm)饲养, 饲养前用强氯精进行消毒。实验期间使用空气压缩机 24h 不间断增氧; 实验用水使用经曝气处理后的自来水, PXS-35 精密离子计和水质分析盒监测水质, 其 pH 6.8—7.5, 溶氧 8—10 mg/L; 硫化物、非离子氨、重金属 Hg、Cd、Cu、Pb、As 符合渔业水质标准(GB 11607-89); 每天换水一次, 每次换水三分之一, 每天分别 7:30、13:30 和 19:00 投喂三次, 按饱食量投喂。试验期间水温(21±2)℃。试验结束后分别取各组体重相似的斑点叉尾鮰 5 尾, 在冰盘中解剖, 迅速取出胃、前肠、中肠、后肠等 4 段, 每段 0.5 cm 左右, Bouin 液固定。

1.4 SABC 免疫组织化学方法反应步骤

常规石蜡切片脱蜡至水, 以 3% H_2O_2 灭活内源性过氧化物酶, 10min, 洗净后放于山羊血清, 置室温中 20min, 再进入一抗(兔抗生长抑素血清), 于 4℃ 孵化 17h, 又分别在生物素化二抗和 SABC 复合物 37℃ 中孵化 20min, 最后以 DAB 显色。全部过程均在 pH 7.4 和湿盒中进行。每个部位每种抗体反应时均以相邻切片作为对照。对照除一抗以 PBS 替代之外, 其余步骤均同实验组。

1.5 显微摄影、图像分析及数据处理

将制得的切片用 Motic 数码显微镜和 Nikon 显微镜照相系统观察记录, 用江苏捷达 801 形态分析软件对阳性细胞计数及阳性产物进行分析, 每组斑点叉尾鮰每个部位随机取 10 张切片, 测量阳性细胞的数目及灰度值, 用平均数±标准差($\bar{X} \pm S$)表示, 数据直接存于计算机, 用 t 检验进行统计学处理。

2 结 果

2.1 SS 细胞在斑点叉尾鮰胃肠道中的分布特点

光镜下, 斑点叉尾鮰 SS 阳性细胞免疫反应产物呈棕黄色颗粒状, 位于胞浆内。阴性对照切片未见阳性细胞。各组斑点叉尾鮰 SS 阳性细胞仅分布于肠道, 多位于肠道上皮基部, 部分夹于黏膜上皮细胞之间, 少数位于固有膜结缔组织中(图版 I - 1 - 4); SS 阳性细胞形态多样, 主要呈圆形、卵圆形、三角形, 无胞突(图版 I - 5); 部分为长梭形, 胞体略膨大, 胞突伸向两端(图版 I - 6); 部分为 C 形, 一端粗大伸向肠腔, 另一端纤细, 弯曲并伸向旁边的细胞(图版 I - 7); 少数胞突膨大呈串珠状(图版 I - 8)或哑铃形(图版 I - 9)。

2.2 维生素 E 对斑点叉尾鮰胃肠道 SS 阳性细胞的影响

维生素 E 对斑点叉尾鮰胃肠道各段 SS 表达的影响结果(表 2)。表中显示, 各组间肠道 SS 阳性产物的平均灰度值变化趋势基本一致, 为先降低后升高(图 1)。100 IU/kg 添加组中斑点叉尾鮰前肠、中肠 SS 表达强度的平均灰度值极显著或显著低于 0、1000 IU/kg 添加组($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$), 但与 50 IU/kg 添加组差异不显著($P > 0.05$)。另外, 各组间前肠、中肠 SS 阳性细胞数目变化趋势也基本一致, 均为先升高后降低(图 2)。当维生素 E 添加量为 100 IU/kg 时, 各肠段 SS 细胞均达最高, 极显著高于维生素 E 添加量为 0 IU/kg 组($P < 0.01$)和显著高于维生素 E 添加量为 1000 IU/kg 组($P < 0.05$)。与 50 IU/kg 添加组相比, 100 IU/kg 添加组肠道各段 SS 阳性细胞数量及染色强度无明显变化($P > 0.05$), 只是阳性细胞数目略有增多(图版 I - 2、3)。各组间斑点叉尾鮰后肠平均灰度值和 SS 阳性细胞数目差异均不显著($P > 0.05$)。

3 讨 论

3.1 SS 细胞在胃肠道中的分布特点及功能意义

胃肠道在机体正常新陈代谢的过程中发挥着重要的作用, 其功能除消化吸收营养外, 还具有重要的内分泌功能。胃肠黏膜内分泌细胞种类繁多、功能各异, 与神经系统相互配合, 共同调控消化、吸收及体内其他生理过程^[9]。其中 SS 细胞所分泌的 SS 可能是动物体内影响最广泛的一种胃肠激素, 是具有双重分布特性的典型脑肠肽(Brain-gut peptide)^[10,11]。Reichlin, et al. 研究发现, SS 有细胞保护作用,

表 2 维生素 E 对斑点叉尾鮰胃肠道生长抑素阳性细胞的影响
Tab. 2 The effects of VE on SS IR cells in the digestive tract of channel catfish

试验组 Group	I	III	IV	
胃 Stomach	阳性细胞数目 SS cells number	—	—	—
	平均灰度值 Gray scale	—	—	—
前肠 Foregut	阳性细胞数目 SS cells number	11.20±4.65 ^{Aa}	24.48±3.15 ^{Bb}	26.35±2.40 ^{Bb}
	平均灰度值 Gray scale	106.38±11.18 ^{Aa}	69.78±9.15 ^{Bb}	66.52±7.20 ^{Bb}
中肠 Midgut	阳性细胞数目 SS cells number	6.20±2.45 ^{Aa}	17.20±2.45 ^{Bb}	18.12±2.15 ^{Bb}
	平均灰度值 Gray scale	112.45±12.75 ^{Aa}	92.36±6.48 ^{Bb}	88.75±7.91 ^{Bb}
后肠 Hindgut	阳性细胞数目 SS cells number	—	4.25±2.10	5.50±1.25
	平均灰度值 Gray scale	—	120.65±7.15	118.21±7.18
			128.16±8.58	

注: “—”表示阴性反应。同一行数据右上角不同上标小写字母代表差异显著($0.01 < P < 0.05$), 大写字母代表差异极显著($P < 0.01$), 相同字母代表差异不显著($P > 0.05$)

Note: “—”indicating negative immunoreaction. values with different superscript small letters within same line indicate significantly different ($0.01 < P < 0.05$); values with different superscript capitals indicate significantly highly different ($P < 0.01$); values with the same superscript letters indicate no significantly different ($P > 0.05$)

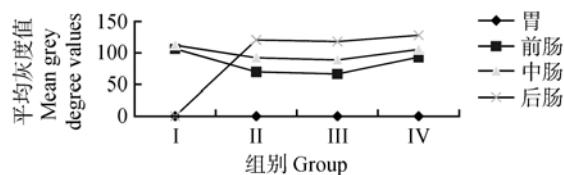


图 1 各组 SOM 阳性产物的平均灰度值变化趋势

Fig. 1 Variation tendency of Values of the mean grey degree of Som positive product per group

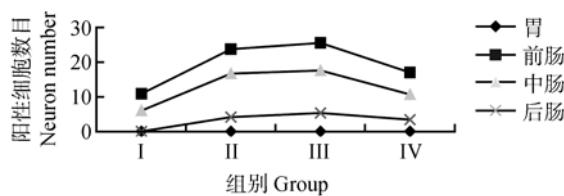


图 2 各组 SOM 阳性细胞数目的变化趋势

Fig. 2 Variation tendency of Som positive cells of quantity per group

具有防止各种有害物质对消化道上皮细胞损伤和致坏死的功能^[12]。目前有关 SS 的细胞保护机理还不十分清楚, 一般认为可能与其刺激黏膜分泌, 促使黏膜细胞 DNA、RNA 及蛋白质合成, 形成“黏液-碳酸氢盐”屏障, 保护消化道黏膜有关^[13,14]。真骨鱼胃肠道中生长抑素细胞的报道较少, 目前未见斑点叉尾鮰胃肠道 SS 阳性细胞的分布情况相关研究。研究资料显示胃肠道 SS 阳性细胞分布规律在不同鱼类之间存在差异: 韩鲈(*Korean aucha perch*)、黄鳍(*Monopterus albus*)、河鲈(*Perca fluriatilis*)^[15,16]等鱼仅在胃中发现 SS 细胞; 尼罗罗非鱼(*Tilapia nilotica*)、六须鯿(*Oriental Sheatfish*)、鱊鱼(*Mandarin fish*)^[16]的胃、肠中均有 SS 细胞; 无胃鱼重口裂腹鱼(*Schizothorax Davidi*) SS 细胞分布于整个肠道中^[17]。Rombout, et al. 认为, SS 细胞仅存在于有胃真骨鱼

类的胃中^[18], 但本文只在斑点叉尾鮰的肠道中发现有 SS 细胞分布, 而在胃中未见阳性细胞。此研究结果与其他有胃真骨鱼 SS 细胞的分布情况也存在差异^[16], 推测其可能原因是, 目前尚未研发出专门针对鱼类 SS 细胞的抗血清, 因而均使用哺乳动物抗血清, 其有可能不易完全与鱼类相应的 SS 细胞发生免疫阳性反应。而且硬骨鱼类含有 2 种以上编码 SS 的基因, 可编码出不同形式的 SS, 其可能表达为不同生物活性形式的 SS 多肽^[19,20]。本研究观察到斑点叉尾鮰肠道中 SS 细胞多呈圆形、卵圆形、三角形, 无胞突, 说明此类细胞以内分泌方式为主。同时我们还观察到一种较为特殊的 SS 细胞, 呈 C 形, 一端粗大伸向肠腔, 另一端纤细, 弯曲并伸向旁边的细胞, 说明该细胞具有腔分泌、旁分泌的形态特征。目前已证实生长抑素对机体的所有内、外分泌起抑制作用, 并具有多种药理作用和细胞保护作用^[21], 它是一种具有双重分布特性的典型脑肠肽, 具有抑制胃肠激素分泌及胃肠蠕动的功能, 这对胃肠道分泌与抑制活动达到动态平衡起着重要的调节作用^[21]。大量的 SS 细胞分布于斑点叉尾鮰的肠道, 表明对肠道其他内分泌细胞的功能发挥起到了协调的作用, 从而使肠道中具有不同作用的激素分泌量相平衡, 以共同调节肠道的消化和吸收。

3.2 维生素 E 对斑点叉尾鮰SS 表达的影响及功能意义

维生素 E 是鱼类营养和饲料中最重要的维生素之一。它与鱼类机体的代谢、抗氧化能力、免疫功能、抗病力、繁殖功能密切相关。前人的研究多集中在维生素 E 对鱼类生理功能、缺乏症及需要量等问题的研究^[2—6]。而有关维生素 E 对动物机体 SS 细胞影响的资料, 仅见 Feng, et al. 报道的维生素 E 对大鼠神经组织内 SS 细胞的保护性研究^[22]。目前, 还未见到维生素 E 对鱼类胃肠道 SS 细胞作用的研究。本研究发现 0 IU/kg 维生素 E 添加组斑点叉

尾鮰肠道中SS的表达强度和阳性细胞数目总趋势低于50、100、1000IU/kg添加组($P<0.01$ 或 $P<0.05$)，表明斑点叉尾鮰体内由于维生素E的缺乏，而导致肠道SS细胞的表达分泌功能下降，不能完全正常的发挥其肠道激素分泌的调节作用。而添加维生素E后SS免疫反应产物的强度和数量在前、中、后肠各段均显著升高($P<0.01$ 或 $P<0.05$)，表明维生素E对斑点叉尾鮰肠道SS细胞分泌功能的作用是明显的，可维持肠道SS细胞的正常分泌，从而调节斑点叉尾鮰肠道中不同激素分泌量的平衡，以达到与其他内分泌细胞共同调节肠道的消化吸收作用。但1000IU/kg添加组斑点叉尾鮰肠道中SS的表达强度和阳性细胞数目均低于50、100IU/kg添加组($P<0.05$)，表明只有在一定添加水平内，维生素E才能显著提高斑点叉尾鮰SS的表达强度和阳性细胞数量($P<0.01$)，至于其在斑点叉尾鮰胃肠道中的具体作用机制还有待进一步研究。

4 结 论

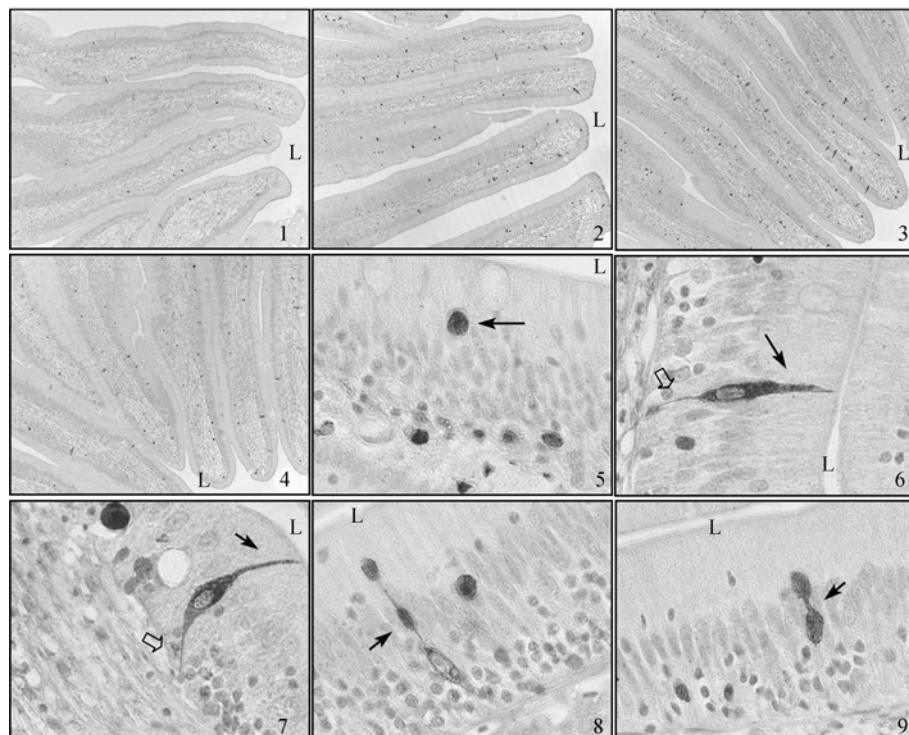
SS免疫阳性反应物广泛分布于斑点叉尾鮰的前肠、中肠和后肠，表明SS在斑点叉尾鮰肠道中发挥了重要作用。当维生素E添加量为100IU/kg时，肠道中SS的表达强度及阳性细胞数量均达最高，极显著高于维生素E添加量为0IU/kg组($P<0.01$)和显著高于维生素E添加量为1000IU/kg组($P<0.05$)，但与50IU/kg添加组差异不显著($P>0.05$)，表明维生素E在一定添加水平内能通过增加斑点叉尾鮰肠道中SS阳性细胞数量和SS的合成来调节斑点叉尾鮰消化道中不同激素分泌量的平衡，从而达到与其他内分泌细胞共同调节肠道的消化吸收作用。

参考文献：

- [1] Brazeau P, Vale W W, Burgus R, et al. Hypothalamic polypeptide that inhibits the secretion of imrnunoreactive pituitary growth hormone [J]. *Science*, 1973, **179**: 77—79
- [2] Patel Y C. Somatostatin and its receptor family [J]. *Front Neuroendocrinol*, 1999, **20**: 157—198
- [3] Carballo E C, Tuan P M, René J M, et al. Vitamin E (α-tocopherol) production by the marine microalgae Dunaliella tertiolecta and Tetraselmis suecica in batch cultivation [J]. *Biomolecular Engineering*, 2003, **20**: 139—147
- [4] Wise D J. Effects of dietary selenium and Vitamin E on red blood cell preoxidation, glutathione peroxide activity and macrophage superoxide anion production in channel catfish [J]. *Journal of Aquatic Animal Health*, 1993, **5**: 177—182
- [5] Wang K Y, Zhou Z, Geng Y. Study on the pathology of vitamin E deficiency in common carp (*Cyprinus carpio*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, **31**(3): 354—362 [汪开毓, 周震, 耿毅. 鲤维生素E缺乏的病理学研究. 水生生物学报, 2007, **31**(3): 354—362]
- [6] Geng Y, Wang K Y, Zhou Z. Effects of V_E deficiency on skeletal muscles lesions in *Cyprinus carpio* [J]. *Acta Zoot-*
rimenta Sinica, 2006, **18**(4): 267—271 [耿毅, 汪开毓, 周震. 维生素E缺乏对鲤骨骼肌损伤的影响. 动物营养学报, 2006, **18**(4): 267—271]
- [7] NRC National Research Council. Nutrient Requirements of Fish [M]. Washington DC: National Academy Press. 1993, 27—30
- [8] Steffens W. Principles of fish nutrition [M]. Ellis Horwood Press New York. 1989, 256—258
- [9] Pearse A G E. The cytochemistry and Ultrastructure of polypeptide hormone-producing cell of the APUD series and the embryologic, physiologic and pathologic implications of the concept [J]. *The Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, 1969, **17**(5): 303—313
- [10] Patel Y C. Somatostatin and its receptor family [J]. *Front Neuroendocrinol*, 1999, **20**: 157—198
- [11] Lin X W, Peter R E. Somatostatins and their receptors in fish [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology D-genomics & Proteomics*, 2001, **129B**: 543—550
- [12] Reichlin S. Medical progress-somatostatin [J]. *New England Journal of Medicine*, 1983, **309**(25): 1556—1560
- [13] Papp M. Pancreatic cytoprotection: new approaches [J]. *Acta Physiologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 1992, **80**(4): 339—339
- [14] Ferone D, Lombardi G, Colao A. Somatostatin receptors in immune system cells [J]. *Minerva Endocrine*, 2001, **26**(3): 165—173
- [15] Lee J H, Ku S K, Park K D, et al. Immunohistochemical study of the gastrointestinal endocrine cells in the Korean aucha perch [J]. *Journal of Fish Biology*, 2004, **65**: 170—181
- [16] Pan Q S, Fang Z P, Huang F J. Identification, localization and morphology of APUD cells in gastroenteropancreatic system of stomach-containing teleosts [J]. *World journal of gastroenterology*, 2000, **6**(6): 842—847
- [17] He M, Zhang Y, Li N Y, et al. Localization and identification of endocrin cells in the digestive tract of *Schizothorax davidi* [J]. *Reservoir Fisheries*, 2008, **28**(1): 22—23 [何敏, 张宇, 李宁娅, 等. 重口裂腹鱼消化道内分泌细胞的免疫组化定位. 水利渔业, 2008, **28**(1): 22—23]
- [18] Rombouts J H W M, Taverne J. An immunocytochemical and electron microscopical study of endocrine cells in the gut and pancreas of a stomachless teleost fish, *Barbus conchonius* (Cyprinidae) [J]. *Cell and Tissue Research*, 1982, **227**: 577—593
- [19] Hobart P, Crawford R, Shen L P, et al. Cloning and sequence analysis of cDNAs encoding two distinct Somatostatin precursors found in the endocrine pancreas of anglerfish [J]. *Nature*, 1980, **288**: 137—141
- [20] Moore C A, Kittilson J D, Ehrman M M, et al. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) possess two somatostatin rRNAs that are differentially expressed [J]. *American Journal of Physiology-cell Physiology*, 1999, **277**: 553—561

- [21] Hildebrand P, Ensinok J, Gyr K, et al. Evidence for hormonal inhibition of exocrine pancreatic function by somatostatin 28 in humans [J]. *Gastroenterology*, 1992, **103**: 240—247
 [22] Feng G F, Hu H T, Wang W X, et al. Effects of dipsacus

asper and Vitamin E on the ss neurons in the hippocampal formation of rat models of Alzheimer's disease [J]. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 2002, **14**(2): 140—143



图版 I Plate I

1. 0 IU/kg 组斑点叉尾鮰前肠 Som 阳性细胞, $\times 100$; 2. 50 IU/kg 组斑点叉尾鮰前肠 Som 阳性细胞, $\times 100$; 3. 100 IU/kg 组斑点叉尾鮰前肠 Som 阳性细胞, $\times 100$; 4. 1000 IU/kg 组斑点叉尾鮰前肠 Som 阳性细胞, $\times 100$; 5. 圆形 Som 细胞(黑箭头), $\times 1000$; 6. 梭形 Som 细胞, 顶部胞突伸向肠腔(黑箭头), 基部胞突伸向基膜(空心箭头), $\times 1000$; 7. C 形 Som 细胞, 顶部胞突伸向肠腔(黑箭头), 基部胞突伸向基膜(空心箭头), $\times 1000$; 8. 串珠状 Som 细胞(黑箭头), $\times 1000$; 9. 哑铃形 Som 细胞(黑箭头), $\times 1000$; “L”表示肠腔

1. The Som positive cells in foregut of group 0 IU/kg Channel catfish, $\times 100$; 2. The Som positive cells in foregut of group 50 IU/kg Channel catfish, $\times 100$; 3. The Som positive cells in foregut of group 100 IU/kg Channel catfish, $\times 100$; 4. The Som positive cells in foregut of group 1000 IU/kg Channel catfish, $\times 100$; 5. Round-shaped Som cell (black arrow), $\times 1000$; 6. Shuttle-shaped Som cell, the apical process extending to the gut lumen (black arrow), the basal process extending to the basement membrane (blank arrow), $\times 1000$; 7. C-shaped Som cell, the apical process extending to the gut lumen (black arrow), the basal process extending to the basement membrane (blank arrow), $\times 1000$; 8. Bead-ing-shaped Som cell (black arrow), $\times 1000$; 9. Bumbbell-shaped Som cell (black arrow), $\times 1000$; “L” indicating intestinal lumen