

饲料中添加食盐对低盐养殖 凡纳滨对虾肌肉组织形态结构的影响

吴新颖^{1,2} 梁萌青^{1*} 方伟² 常青¹ 刘扬瑞³

(¹中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

(²大连水产学院生命科学与技术学院, 116023)

(³山东海洋食品营养研究院, 石岛 264309)

摘要 以凡纳滨对虾 *Litopenaeus vannamei* 为研究对象, 在基础饲料中分别添加 0(对照组)、1%、2% 和 4% 的食盐, 配制成 4 种实验饲料, 在低盐养殖水体中饲养 40d 后, 采用光镜、电镜等技术对 4 种低盐养殖凡纳滨对虾第 2 腹屈肌组织形态学进行观察和对比, 并与海水虾做比较, 探讨饲料中添加食盐对低盐养殖凡纳滨对虾组织形态结构的影响。结果表明, 光镜下, 对照组及添加食盐 1% 组肌束内肌纤维排列疏松, 有聚集成束状, 肌束间隙(肌束膜)较宽, 纤维有弯曲状存在。添加食盐 2% 组、4% 组肌纤维排列依次紧密, 分布较均匀, 与海水虾差别不大; 电镜观察对虾腹屈肌横切面图片发现, 对照组和添加食盐 1% 组的粗丝与细丝分布较稀疏, 排列不规则, 部分区域肌丝残缺。添加食盐 2% 组的肌丝分布相对较均匀, 但细肌丝小且数量多, 不规则的排列有时成簇状。添加食盐 4% 组和海水虾差别不大, 肌丝分布较规则, 可看到粗细肌丝呈六角形点阵排列。纵切面上, 添加食盐 1% 组与 2% 组肌节排列不整齐, 有弯曲交错现象, 4% 食盐组形状规则, 肌节明显, 清晰可辨, 肌节长度显著高于对照组、1% 和 2% 食盐组 ($P < 0.05$)。饲料中添加食盐对低盐养殖凡纳滨对虾肌原纤维直径、实心粗肌丝直径、空心粗肌丝直径、暗带长度和 H 带长度之间无显著性影响 ($P > 0.05$)。

关键词 凡纳滨对虾 食盐 低盐养殖 组织形态结构

中图分类号 S963.7; S968.22 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2009)05-0040-07

Effects of dietary salt level on muscle histology and morphology of the shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in low salinity water

WU Xin-ying^{1,3} LIANG Meng-qing^{1*}

FANG-wei² CHANG Qing¹ LIU Yang-rui³

(¹ Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

(² School of Life Science and Technology, Dalian Fisheries University, 116023)

(³ The Nutrition Institute of Marine Food in Shandong, Shidao 264309)

ABSTRACT *Litopenaeus vannamei* was fed with basal diets respectively supplemented with 0%, 1%, 2% and 4% salt and cultured in low salinity water for 40 d. The study was conducted to investigate the histology and morphology of the shrimp reared in low salinity using light microscope and electron microscope, and also compared with the seawater shrimp. Light micro-

国家自然科学基金项目(30471341)和青岛市科技攻关项目(02-2-k-hh-65)共同资助

* 通讯作者。E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn, Tel: (0532) 85822914

收稿日期: 2008-10-31; 接受日期: 2009-01-14

作者简介: 吴新颖(1980-), 女, 硕士研究生, 主要从事水产品营养与水产品品质研究

scope observation showed porosity of muscle fibre in shrimps of the control and 1% treatment group, some were gathered cord, some were bent, and the gap were wide between some perimysium. But as the addition of salt increased, muscle fiber characteristics were improved, especially for the 2% and 4% treatments. Muscle fibres of shrimps in these treatments were better distributed than the other group. The ultrastructure of the shrimp under electron microscope showed irregular array of the myofilament, and incomplete in the control and 1% treatment. The distribution of myofilament in 2% treatment was relatively homogeneous, but the thin filaments had small diameter and large quantity. Some irregular filaments were arranged in clumps. But the 4% treatment was much better, and not different from seawater shrimp; the filaments all distributed uniformly and in the form of hexagonal lattice array. On longitudinal section, the sarcomere in the 1% and 2% treatments were untidy, some were twisted and overlapping; while those in the 4% treatment were well-shaped, clearly-distinguishable, and the length of sarcomere were significantly greater than the other treatments ($P < 0.05$). As the addition of dietary salt increased, myofibril diameter, solid thick filament diameter, hollow thick filament diameter, and A and H band width showed no significant difference ($P > 0.05$).

KEY WORDS *Litopenaeus vannamei* Salt Cultured at low salinity
Histology and morphology

近几十年,世界范围的养殖业获得了快速发展。随着人们物质生活的提高,不但对对虾的需求量越来越大,而且对对虾肌肉品质的要求也越来越高。过去由于片面追求养殖产量、生长速度及饲料效益,忽视了对虾肉品质。低盐条件下养殖的凡纳滨对虾甲壳薄软,肌肉硬度、弹性等品质较差。低盐养殖如何降低了凡纳滨对虾的品质,本研究采用光镜、电镜等技术对饲料中添加不同食盐的低盐养殖对虾腹屈肌的组织形态学进行观察和对比,并与海水虾做比较,力求更直观地探讨肉眼观察不到的肌肉结构的变化,以期从组织结构、超微结构角度研究饲料中添加食盐对低盐养殖凡纳滨对虾肌肉结构的特点和差异,以期为提高低盐养殖凡纳滨对虾的品质提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料的制备

实验组饲料的基本营养组成相同,以基础饲料作为对照组,其余3组在基础饲料的基础上分别添加1%、2%和4%的食盐,配制成3种实验饲料。基础饲料配方如表1。饲料原料均粉碎到80目以上,各原料按配比混合后加适量2%的明胶作为黏合剂,将每组饲料充分混合均匀,经螺旋挤压机挤压成型,晾干,放于-18℃冰箱中保存备用。

1.2 实验用虾及饲养方法(吴新颖等 2008)

实验用低盐养殖凡纳滨对虾购自青岛沙子口南窑养虾场。先暂养,期间通过添加曝气的自来水稀释淡化养殖水体,使盐度逐步达到1.5左右,继续暂养10d,使之完全适应低盐环境,挑选健康且大小均匀的凡纳滨对虾,于室内玻璃钢桶分4组进行实验,另外1组不淡化。每桶养虾100尾,每组设3个平行。

实验在黄海水产研究所小麦岛水实验基地进行40d。实验过程水温为21~23℃,DO 5.5~6.5mg/L,保持连续充气。实验用玻璃钢桶为200L,低盐养殖实验水体为1.5左右的低盐环境。每天8:00、16:00各投喂1次,投喂量视情况而定,以饱食为准。每天早上吸污并换水1/4左右,观察对虾死亡情况,并及时移出死虾。

1.3 石蜡组织切片制备

组织切片标本活体取材,分别取4种低盐养殖凡纳滨对虾和1种海水养殖凡纳滨对虾肌肉组织中第2腹屈肌,用Davidson氏AFA固定液固定24h后,梯度酒精脱水,二甲苯透明,因需要观察纵切面和横切面,所以用石蜡进行定向包埋,包埋后的组织块连续切片,厚度为6 μ m,苏木素-伊红染色,中性树脂封片,Nikon E800光学显微镜观察、拍照。

1.3.1 肌纤维直径(田允波等 1998)

在10 \times 40倍光学显微镜下随机测量20根肌纤维直径,求出每一个样品的平均值。

1.3.2 肌纤维密度(朱丽霞 1993)

在目镜中加入网格测微计,于10 \times 40倍光学显微镜下观测计数,每一网格面积为0.065 mm²,随机计算5个网格的肌纤维数,再乘以3.2,即为1 mm²的肌纤维数,每一个样品随机测5个点,再求出平均值。

1.4 超薄切片制备(朱丽霞 1993;程时 1997)

1.4.1 取材固定

分别取上述低盐养殖和海水养殖凡纳滨对虾肌肉组织中的第2腹节腹屈肌,各约1 cm³左右大小,先用2.5%的戊二醛固定6h,用0.1 mol/L的磷酸缓冲液冲洗3遍,再用1%锇酸后固定1.5h(4 $^{\circ}$ C)。

1.4.2 脱水(刘建波等 2005)

经质量分数50%、70%、80%、90%和100%丙酮进行梯级脱水。

1.4.3 浸透与包埋(刘建波等 2005)

脱水后的组织块,先用包埋剂浸透,将浸透好的样品块放在多孔橡胶模板中,灌进Epon 812环氧树脂包埋剂进行包埋,经过加温聚合,即制成包埋块。制作肌纤维切片时,因需要观察纵切面和横切面,所以必须进行定向包埋。对包埋块分别横切和纵切成半薄切片,定位后切成50~70nm的超薄切片。

1.4.4 染色及观察

染色的目的是增强样品中各种结构图像之间的反差从而能够看到组织细胞的超微结构。本实验采用醋酸铀染液和柠檬酸铅染液进行双染色。在JEM-1200EX电镜下观察并拍照,在15 000~50 000倍下测量肌节长度及各带的宽度。

1.5 数据处理与分析

实验结果采用平均数 \pm 标准偏差表示。数据采用SPSS 11.5数理统计软件进行单因素方差分析, $P < 0.05$ 为显著差异。

2 结果与讨论

表1 基础饲料配方及化学组成(吴新颢等 2008)

Table 1 Formulation and proximate chemical composition of the experimental diets(%)

| 原料成分 Ingredient | Composition |
|-------------------------|-------------|
| 鱼粉 Fish meal | 30 |
| 豆粕 Soybean meal | 15 |
| 花生粕 Peanut meal | 15 |
| 酵母 Yeast | 5 |
| 虾糠 Shrimp bran | 10 |
| 次粉 Wheat meal | 16.8 |
| 维生素混合物 Vitamin mix1 | 2 |
| 无机盐混合物 Mineral mix2 | 2 |
| 鱼油 Fish oil | 4 |
| 卵磷脂 Lecithin | 1.5 |
| Vc Ascorbic acid | 0.2 |
| 氯化胆碱 Choline chloride | 0.5 |
| 合计 Total | 100 |
| 成分分析 Proximate analysis | |
| 粗蛋白 Crude protein | 38.5 |
| 粗脂肪 Crude lipid | 7.8 |
| 灰分 Ash | 13.9 |

维生素混合物(g/kg 饲料):对氨基苯甲酸,10g;硫胺素,0.5g;核黄素,3.0g;盐酸吡哆醇,1.0g;维生素B12,0.002g;维生素K₃,2.0g;肌醇,5.0g;泛酸钙,5.0g;烟酸,5.0g;叶酸,0.18g;生物素,1.20mg;维生素A醋酸酯(20 000IU/g),5.0g;维生素D₃(400 000 IU/g),0.002g;维生素E醋酸酯(250 IU/g),32g;羧甲基纤维素 931.26g

无机盐混合物(g/kg 饲料):磷酸二氢钾,80g;碘化钾,0.54g;氯化钴,1.4g;硫酸铜,3.36g;硫酸铁,4.0g;硫酸锌,18.7g;硫酸镁,12.0g;磷酸二氢钙,400g;氯化钙,35g;亚硒酸钠,0.02g;硫酸锰,3.6g;沸石粉,441.38

2.1 光镜观察的对虾肌纤维特性

凡纳滨对虾肌肉属横纹肌,不同养殖条件下,肌纤维存在一定的差异。本实验分析比较了饲料中添加食盐对低盐养殖凡纳滨对虾第 2 腹屈肌组织形态学之间的差异。

在纵切面上,5 种对虾的横纹肌均成平行排列,肌纤维呈长圆柱状,肌细胞核呈椭圆形,位于细胞边缘的肌膜下(图 1)。其中对照组及 1% 食盐组肌束内肌纤维排列疏松,有聚集成束状,肌束间隙(肌束膜)较宽,纤维有弯曲状存在;1% 食盐组较之对照组纤维排列稍有改良;2% 食盐组和 4% 食盐组的肌纤维排列依次更加紧密,分布较均匀,与海水虾组相似(图 1)。

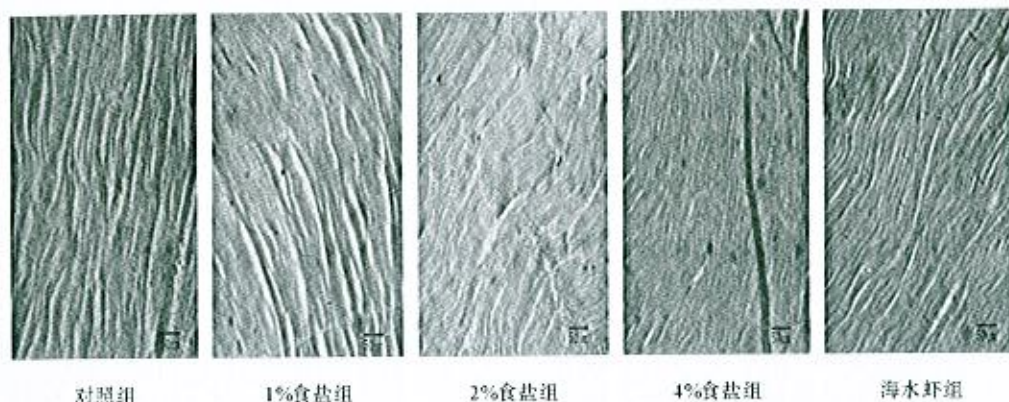


图 1 饲料中添加 0、1%、2% 和 4% 食盐对低盐养殖凡纳滨对虾及海水虾腹屈肌纵切, $\times 400$

Fig. 1 Longitudinal section of the abdominal flexor muscle on *P. vannamei* cultured in low salinity water by adding different level of NaCl in feed, $\times 400$

饲料中添加食盐对低盐养殖凡纳滨对虾肌肉肌纤维直径、肌纤维密度测量结果见图 2 和图 3。随着饲料中食盐添加比例的升高,肌纤维直径减小,添加食盐含量在 1% 和 2% 时,肌纤维直径无显著性差异 ($P > 0.05$),但添加食盐 4% 组时肌纤维直径显著低于对照组及 1%、2% 食盐组 ($P < 0.05$),并与海水虾组直径相似。肌纤维密度随着食盐添加量升高而显著增加,添加食盐组均显著高于对照组 ($P < 0.05$)。这与李小勤等(2007)报道的盐度对草鱼肌纤维的影响一致。为便于比较观察,将 5 种对虾在同一放大倍数下的纵切图片在光镜下比较显示,随着食盐含量增加,低盐养殖凡纳滨对虾肌纤维形状、排列方式渐有改良,尤其是 4% 食盐组,其肌纤维排列非常致密,几乎无间隙,与海水虾相似,但深层次的原因有待于进一步分析探究。

通常横纹肌与肉质特性关系密切,而肌纤维是肌肉的基本单位,所以肌纤维特性决定着一些肉质特性。Cassens 等(1984)认为:肌肉表面纹理是肌束大小排列的表现,肌束内肌纤维愈细,肌纤维密度就愈大,则肉质品质优良。

川井田博(1983)研究还证明,肌束内肌纤维数是判定肉质细腻致密很重要的因素。肌纤维受品种、年龄、养殖条件、摄食状况、部位和运动等多种因素的影响。出生后一定时期的肌纤维数目不再增多,而直径、密度则随着年龄的增大而变化,这表明肌纤维在肉质研究中具有重要作用。Periago 等(2005)比较了野生狼鲈与养殖个体的差异,发现野生个体具有较细肌纤维直径和较高肌纤维密度。Hatae 等(1984、1990)和 Hurling 等(1996)指出,煮后肌肉具有较细肌纤维直径者通常具有较高坚实度(Firmness)。另外,吴新颖等(2008)对低盐养殖凡纳滨对虾的感官鉴定和仪器测定时得到随着饲料中食盐添加量的增加,对虾硬度、弹性等质构特性得到了较好的改良,这可能与对虾肌肉中肌纤维的变化有关。任泽林等(1998)对中国对虾的研究表明,野生个体与养殖个体在肌肉组成上的一个显著差别是前者较后者具有更高胶原蛋白含量,从而对肌肉品质产生显著影响。本研究的结果亦与上述结论一致。这些研究有助于解释具较细肌纤维肌肉的高结缔组织、高胶原蛋白含量以及对口感、品质的影响。

2.2 电镜观察的对虾超微结构特性

凡纳滨对虾腹屈肌属于横纹肌,每根肌纤维包含大量的肌原纤维,它们平行排列,纵贯肌细胞全长。每条肌原纤维均含有规则交替的明、暗带(图4)。每条肌原纤维上有大量的肌丝分布,肌原纤维与肌丝均平行于肌纤维纵轴,肌丝呈特定的排列方式使肌原纤维呈现特殊的横纹,亦即横纹肌的名称由来(Li *et al.*, 1997)。在电镜下可观测到着色浅的明带(又叫I带)和着色深的暗带(又叫A带),明带与暗带相间排列(图4)。A带中央有一着色浅的窄区称H带,H带的正中有条深线称M线;I带中心有一条致密的粗线称为Z线,两条相邻的Z线之间的一段肌原纤维为1个肌节。肌节是肌纤维结构和功能单位,每个肌节包括1/2 I带+ A带+ 1/2 I带(吴新颖等 2008)。横断面上构成肌原纤维的肌丝分为粗肌丝和细肌丝,它们按照一定的数量比分布在肌原纤维中。凡纳滨对虾腹屈肌粗肌丝在多数情况下呈中空圆环状,外周电子密度高,中央电子密度低。也有呈实心状的粗丝,即粗丝电子密度一致(图5)。实心粗丝直径比空心粗丝大,这与蟹虾腹屈肌粗丝横截面出现实心 and 空心两种情况有相似之处(钟咏梅等 1991),可能是切片通过粗丝不同水平面的结果。通过电镜观察得到的各指标数据如表2所示。

表2 低盐养殖与海水养殖凡纳滨对虾肌肉超微结构各指标比较(nm)

Table 2 The comparison of muscle ultrastructure between *P. vannamei* cultured in low salinity and sea water

| 超微结构 Ultrastructure | 对照组 Control | 1%食盐组 1% NaCl | 2%食盐组 2% NaCl | 4%食盐组 4% NaCl | 海水虾组 Seawater shrimp |
|---|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 肌原纤维直径 Myofibril diameter | 1 859±35 ^a | 1 886±52 ^a | 1 918±60 ^a | 1 970±49 ^a | 1 979±35 ^a |
| 实心粗肌丝直径 Solid thick filament diameter | 18.96±0.28 ^a | 18.82±0.16 ^a | 18.64±0.07 ^a | 18.05±0.17 ^a | 18.23±0.13 ^a |
| 空心粗肌丝直径 Hollow thick filament diameter | 14.11±0.67 ^a | 14.07±0.05 ^a | 13.67±0.18 ^a | 12.94±0.09 ^a | 12.60±0.09 ^a |
| 细肌丝直径 Thin filament diameter | 4.33±0.04 ^a | 4.33±0.03 ^a | 4.64±0.12 ^a | 5.02±0.09 ^b | 5.33±0.11 ^b |
| 肌节长度 Sarcomere length | 3 071±37 ^a | 3 263±38 ^{ab} | 3 261±36 ^{ab} | 3 400±89 ^b | 3 404±5 ^b |
| 暗带宽度 A band width | 2 501±23 ^a | 2 848±100 ^{ab} | 2 954±54 ^{ab} | 2 969±31 ^{ab} | 3 198±200 ^b |
| 明带宽度 I band width | 145.8±7.7 ^a | 178.1±3.1 ^b | 187.5±0.5 ^b | 200.0±10.1 ^b | 229.2±1.7 ^c |
| Z线宽度 Z disc width | 46.3±2.2 ^a | 46.3±1.3 ^a | 50.2±3.9 ^a | 64.24±0.1 ^b | 58.7±2.0 ^b |
| H带宽度 H band width | 101.85±7.25 ^a | 111.11±7.41 ^a | 107.3±3.50 ^a | 130.48±8.48 ^a | 115.74±3.84 ^a |

注:同一行上标不同字母的数值间有显著差异($P < 0.05$)

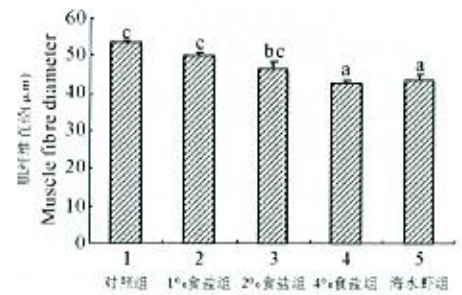


图2 饲料中添加食盐对低盐养殖凡纳滨对虾肌纤维直径的影响

Fig. 2 Effect of dietary NaCl level on muscle fibre diameter of *P. vannamei* cultured in low salinity water

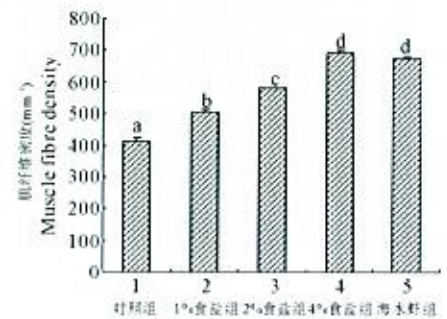


图3 饲料中添加食盐对低盐养殖凡纳滨对虾肌纤维密度的影响

Fig. 3 Effect of dietary NaCl level on muscle fibre density of *P. vannamei* cultured in low salinity water

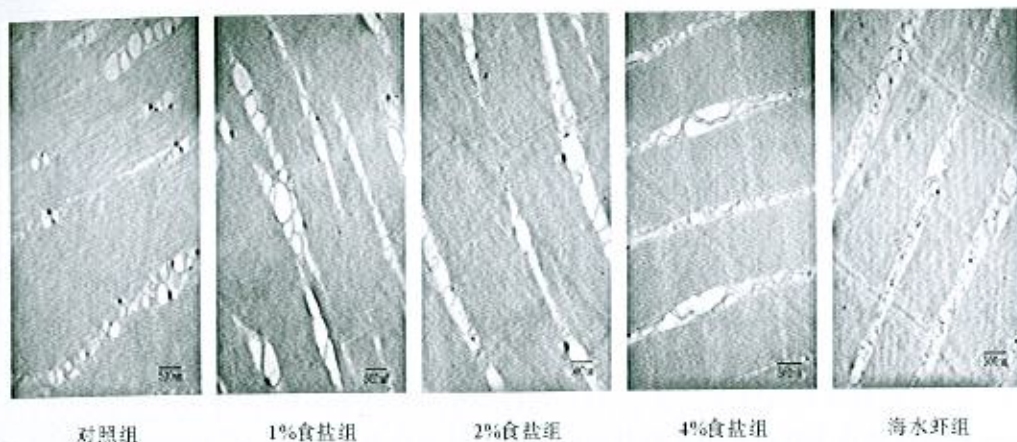


图 4 饲料中添加 0.1%、2%和 4%食盐组及海水虾组纵切(×15 000)

Fig. 4 Longitudinal section of the abdominal flexor muscle of *P. vannamei* cultured in low salinity water by adding different level of NaCl in feed(×15 000)

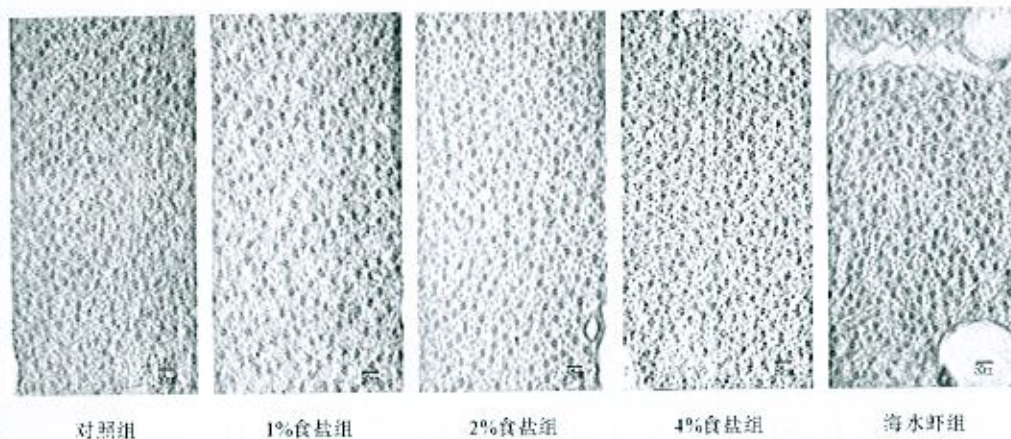


图 5 饲料中添加 0.1%、2%和 4%食盐组及海水虾组腹屈肌横切(×100 000)

Fig. 5 Transverse section of the abdominal flexor muscle of *P. vannamei* cultured in low salinity water by adding different level of NaCl in feed(×100 000)

从电镜照片上观察对虾腹屈肌的基本结构,不管是低盐养殖对虾还是海水虾,腹屈肌的纵切切片均可看到 A 带、H 带、I 带、M 线和 Z 线,横切切片则可看到粗细肌丝的截面,这表明低盐养殖凡纳滨对虾保持了甲壳动物肌纤维的基本结构特征。这些构造特点与中国对虾(卢建平 1994;叶容 1996)及日本沼虾(叶容 1996)的第一类肌纤维相似,与隐肉腕肌肉超微结构亦相似(刘建波等 2005)。但是,各组之间也存在差异。观察 5 种对虾的横切 10×10^4 倍图片(图 5)发现,对照组和添加 1%食盐组粗丝与细丝分布较稀疏,排列不规则,部分区域肌丝残缺;添加食盐 2%组肌丝分布相对较均匀,但细肌丝小且数量多,不规则的排列有时成簇状。添加 4%食盐组和海水虾组差别不大,肌丝分布较规则,可看到粗细肌丝呈六角形点阵排列。5 种对虾粗肌丝直径之间无显著性差异($P > 0.05$),但对于细肌丝直径,4%食盐组与海水虾组显著高于其他组($P < 0.05$)。

肌节是横纹肌肌纤维形态结构、功能的基本单位。纵切面上添加食盐 1%组和 2%组肌节排列不整齐,有弯曲交错现象;随着食盐添加比例升高,4%食盐添加组形状规则,肌节非常明显,清晰可辨(图 4)。饲料中添加不同梯度食盐养殖条件下的凡纳滨对虾,肌节最长为 4%食盐组($3\ 400\ \mu\text{m}$),对照组肌节长度最短($3\ 071\ \mu\text{m}$);1%食盐组、2%食盐组肌节居中($3\ 263\ \mu\text{m}$ 、 $3\ 261\ \mu\text{m}$);4%食盐添加组肌节长度显著高于对照组、1%食盐组和 2%食盐组($P < 0.05$)(表 2)。肌节的长度与 H 带的宽度同肌纤维处于何种舒缩状态有关,在完

全静止的情况下, H带可消失。5种对虾的H带宽度基本相同, 无显著性差异, 说明他们基本同处一舒缩状态。饲料中添加食盐对肉质的改善可能与肌节长度的增加也有一定联系, 饲料中添加食盐对低盐养殖凡纳滨对虾肌原纤维直径、实心粗肌丝直径、空心粗肌丝直径、暗带长度和H带长度之间无显著性影响($P > 0.05$)。

通过分析比较低盐养殖对虾超微结构的异同, 发现4%食盐组肌肉的超微结构效果最为明显, 可以与海水对虾相媲美。其作用机理可能是食盐协同凡纳滨对虾的内源因子共同作用, 使其肌肉结构从微观上发生变化从而引起在宏观表现上的差异。

实验对凡纳滨对虾同一部位进行由低到高连续拍照获得的结果显示差异明显, 因而进一步探讨低盐养殖凡纳滨对虾品质改良的微观机理是十分必要的。

3 小结

本文利用光镜和电镜技术分析比较了饲料中添加食盐对低盐养殖凡纳滨对虾肌肉组织形态学的影响, 得出: (1) 光镜观察, 随着添加食盐含量比例的增加, 低盐养殖凡纳滨对虾形态渐趋规则有序。肌纤维直径随着食盐添加量的增加而增加, 肌纤维密度呈相反变化。(2) 电镜观察, 随着饲料中添加含量的升高, 对虾超微结构中肌丝分布逐渐有规则, 尤其是4%食盐添加组, 可看到粗细肌丝呈六角形点阵排列, 肌节最长。(3) 对虾肌肉组织结构的变化可能引起其质构特性差异, 因此在今后对肉质影响的研究中, 应进一步考察肌纤维的直径、密度、超微结构及煮后肌肉特性之间的相关性。

参 考 文 献

- 田允波, 葛长荣, 谢 萍. 1998. 云南主要地方牛种横纹肌组织形态学研究. 云南农业大学学报, 12(4): 401~406
- 叶 容. 1966. 虾横纹肌原纤维结构的电子显微镜研究. 生理学报, 29(2): 239~253
- 卢建平, 陈宽智. 1994. 中国对虾 *Penaeus chinensis* (Osbeck) 肌肉系统的研究 I. 体部肌肉的解剖. 青岛海洋大学学报, 24(1): 52~64
- 卢建平, 陈宽智, 刘晓云. 1994. 中国对虾 *Penaeus chinensis* (Osbeck) 肌肉系统的研究 II. 肌纤维的组织学、超微结构和组织化学. 青岛海洋大学学报, 24(4): 539~550
- 朱丽霞. 1993. 生物学中的电子显微镜技术. 北京: 北京大学出版社
- 刘建设, 陈开健, 余耀明, 肖河义, 费来华, 唐湘北. 2005. 鳊肉鲢肌肉超微结构分析. 水利渔业, 25(3): 65~67
- 任泽林, 李爱杰. 1998. 饲料组成对中国对虾肌肉组织中胶原蛋白、肌原纤维和失水率的影响. 中国水产科学, 5(2): 40~44
- 李小勤, 李星星, 冷向军, 刘贤敏, 王锡昌, 李家乐. 2007. 盐度对草鱼生长和肌肉品质的影响. 水产学报, 31(3): 343~348
- 吴新颖, 梁萌青, 薛长糊, 常 青, 王家林. 2008. 饲料中添加盐对低盐养殖凡纳滨对虾肌肉营养成分及质构的影响. 海洋水产研究, 29(6): 84~89
- 钟咏梅, 黄世楷, 陈 明. 1991. 整虾腹侧肌的超微结构. 实验生物学报, 24(3): 229~237
- 程 时. 1997. 生物医学电子显微镜技术. 北京: 北京医科大学、中国协和医科大学联合出版社, 88~120
- 川井田博著. 1983. 肉肌纤维粗细与肉质的关系. 明 发译. 外畜牧学——猪与禽, 3: 51
- Cassens, R. G. *et al.* 1984. Muscle biochemistry: The importance of myofiber type. Food Microstructure, 3: 1~7
- Hatae, K., Yoshimatsu, F., and Matsumoto, J. J. 1984. Discriminative characterization of different texture profiles of various cooked fish muscles. J. Food Sci. 49: 721~726
- Hatae, K., Yoshimatsu, F., and Matsumoto, J. J. 1990. Role of muscle fibers in contributing firmness of cooked fish. Journal of Food Science, 55(3): 693~696
- Hurling, R., Rodell, J. B., and Hunt, H. D. 1996. Fiber diameter and fish texture. Journal of Texture Studies, 27: 679~685
- Li, T. W. *et al.* 1997. Histology and ultra-structure of pustule disease in abalone *Haliotis discus hannai*. Acta. Zool. Sin. 43(3): 238~242
- Periari, M. J., Ayala, M. D., Lo'pez~Albors., Abdel, C., and Marti'nez, C. 2005. Muscle cellularity and flesh quality of wild and farmed sea bass, *Dicentrarchus labrax* L. Aquaculture, 249: 175~188