

# 南极大磷虾粉对点带石斑鱼幼鱼氟蓄积的影响

黄艳青, 龚洋洋, 陆建学, 高露姣, 黄洪亮

(中国水产科学研究院 东海水产研究所 农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090)

**摘要:** 为研究南极大磷虾(*Euphausia superba*)粉对点带石斑鱼幼鱼氟蓄积和生长的影响, 作者通过饲养点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)幼鱼(初始体质量为(3.50±0.30)g, 体长(5.5±0.3)cm)100 d, 在基础日粮中添加 0%(对照组)、2%、4%和 6%的南极大磷虾粉制成 4 组饲料, 饲料中氟质量分数分别为 145.81、202.71、257.53 和 317.60 mg/kg。结果显示: 南极大磷虾粉中的氟在点带石斑鱼幼鱼组织中的分布程度, 以脊椎骨和鳃中为最高, 氟质量分数分别为(58.020~114.380)mg/kg 和(46.029~123.874)mg/kg, 其次是皮(含鳞片)((44.127~88.761)mg/kg), 再次是肝((7.654~18.248)mg/kg), 而肌肉中氟蓄积最低((3.352~3.999)mg/kg); 脊椎骨、皮(含鳞片)和鳃中氟含量随饲养时间的延续而产生蓄积, 且与饲料中南极大磷虾粉的水平呈正相关, 肝中氟含量随饲养时间延续而产生蓄积, 但与南极大磷虾粉的水平无相关性, 肌肉中氟含量与饲养时间和南极大磷虾粉水平均无相关性; 100 d 时, 4%组和 6%组的特定生长率处于最高水平, 且显著高于对照组( $P<0.05$ )。本研究表明在饲料中添加 4%~6%南极大磷虾粉, 对点带石斑鱼幼鱼生长具有明显的促进作用。

**关键词:** 南极大磷虾(*Euphausia superba*)粉; 点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)幼鱼; 氟蓄积; 特定生长率

中图分类号: X171.5, X503 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2015)06-0032-07  
doi: 10.11759/hyxx20140107002

氟作为自然界中分布广泛的一种元素, 主要蓄积于动物的硬组织, 如骨骼、皮、鱼鳞、甲壳中, 对生物体的硬组织构建起着重要的作用<sup>[1]</sup>。而生物体内氟过量也会产生不利反应, 以鱼类为例, 鱼体中过量的氟会导致鱼类产生生长滞缓、死亡率升高、鳃与肝病变、骨组织畸形、生理代谢紊乱等急性与慢性效应<sup>[2-4]</sup>, 鱼体对氟的蓄积因种类、试验环境不同而存在差异。

南极大磷虾(*Euphausia superba*)是南极地区一类多年生的海洋浮游甲壳动物, 具有资源量大, 分布广、营养价值高等特点<sup>[5]</sup>。南极大磷虾粉是磷虾船载加工的产品, 富含多不饱和脂肪酸、蛋白质、氨基酸、维生素、几丁质、矿物质和微量元素, 可开发作为一种重要的饵料原料和营养源<sup>[6-7]</sup>。研究表明, 南极大磷虾粉有望成为水产养殖业中替代鱼粉的最佳蛋白源<sup>[8-9]</sup>, 但由于南极大磷虾具有富集氟的特性<sup>[10]</sup>, 其体内高氟水平(1 000~6 000 mg/kg)影响了其在水产养殖中的进一步加工利用<sup>[11]</sup>。

点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)属鲈形目(Perciformes)、鲷科(Serranidae)、石斑鱼亚科(Epinephelinae)、石斑鱼属(*Epinephelus*), 主要分布在

热带及亚热带海区, 具有肉质鲜美、生长速度快、对环境适应能力强的优点, 是中国东南沿海网箱养殖的主要海水种类<sup>[12]</sup>。

本实验通过控制饲料中未经脱氟处理的南极大磷虾粉的添加比例, 使饲料中氟质量分数在欧盟建议的限量值(350 mg/kg)以内, 饲养点带石斑鱼幼鱼 100 d, 分析不同采样时间点时, 各组点带石斑鱼幼鱼组织内氟蓄积以及南极大磷虾水平对其生长的影响, 以期为南极大磷虾粉在点带石斑鱼养殖中的安全使用提供参考依据, 同时也为开发利用南极大磷虾生物蛋白资源提供一定的研究依据。

收稿日期: 2014-01-07; 修回日期: 2014-05-05

基金项目: 农业部“南极海洋生物资源开发利用”专项(2010-2013); 国家海洋局“南北极环境综合考察与评估专项”(CHINARE 2013-01-06); 公益性行业(农业)科研专项(201203018); 中央级公益性科研院所基本业务费专项资金(2009M06)

作者简介: 黄艳青(1977-), 女, 湖北宜昌人, 助理研究员, 博士, 主要从事水产动物营养与饲料研究, 电话: 021-65680295, E-mail: huan-gyq@ecsf.ac.cn; 陆建学, 通信作者, 电话: 021-65680318, E-mail: lujx@ecsf.ac.cn

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 实验饲料

以“鱼健牌”点带石斑鱼专用饲料(不含南极磷虾粉)的粉料作为基础饲料,将南极大磷虾粉经超微粉碎过 60 目筛后,以 0, 2%, 4%和 6%的质量比例添

加入基础饲料中,分别加工成 4 组颗粒饲料,分别称为 0%组(对照组), 2%组, 4%组和 6%组。各组饲料的粒径大小为 4~8 mm,在饲喂实验点带石斑鱼幼鱼之前,实验饲料中添加少量水进行软化膨胀处理成软颗粒料,以利于实验鱼摄食与消化。各组实验饲料的主要营养成分及饲料中的氟质量分数见表 1。

表 1 南极大磷虾粉、实验饲料的营养组成和氟质量分数

Tab. 1 The proximate nutritional compositions and fluorine content of experiment diets

成分	南极大磷虾粉	0%组	2%组	4%组	6%组
粗蛋白(%)	50.80	39.68	40.46	41.24	42.02
粗脂肪(%)	2.93	3.31	3.37	3.39	3.44
水分(%)	9.28	30.71	29.64	28.62	27.58
灰分(%)	14.12	11.46	11.68	11.9	12.11
氟质量分数(mg/kg)	2139.22	145.81	202.71	257.53	317.60

### 1.2 实验鱼饲养管理

实验鱼选用当年培育的同一批次点带石斑鱼幼鱼,经暂养驯化,能正常摄食颗粒饲料之后,挑选体格健康、规格相近的点带石斑鱼幼鱼(初始体质量为 3.50 g±0.30 g,体长 5.5 cm±0.3 cm)放入室内水泥池(350 cm×450 cm×150 cm)中的直径为 40cm 的浮式小网箱中,每一网箱内放养 80 尾,共 12 个网箱,分组投喂 0%组(对照组), 2%组, 4%组, 6%组饲料,每一处理组设 3 重复。养殖用水经沙滤和黑暗沉淀处理后,微流水养殖,实验期间盐度 28~30、水温 24~26℃、溶解氧 6 mg/L 以上。每天饱食投喂 2 次(07:30 和 16:30)并吸污一次,实验为期 100 d。

### 1.3 采样方法

饲养 30、60 和 100 d 时,分别从每个网箱中随机取 10 尾点带石斑鱼,经破坏脊髓处死,用超纯水将体表冲洗干净,解剖后取肌肉、脊椎骨、皮(含鳞片)、鳃和肝脏,用超纯水清洗,滤纸吸干,105℃烘至恒质量<sup>[13]</sup>(GB 5009.3-2010),样品研碎,-20℃冰箱中保存备用。所用玻璃器皿均经 30%稀硝酸浸泡 24 h,用超纯水冲洗 3 次后烘干备用。

### 1.4 测定指标

氟标准溶液和总离子强度调节缓冲液(TISAB)的配制方法参照国标 GB/T 5009.18-2003<sup>[14]</sup>。以氟质量分数对数(log C<sub>F</sub><sup>-</sup>)为横坐标,以电位值(mV)的绝对值为纵坐标,绘制氟标准曲线图。测定实验鱼各组织溶液的电位值,计算试样中氟质量分数。测定公式:

$$X = C_F^- \times 50 \times 1000 / (m \times 1000)$$

式中,  $X$  为试样中氟质量分数(mg/kg),  $m$  为试样质量(g),  $C_F^-$  为据电位值查得的浓度。

### 1.5 特定生长率<sup>[15]</sup>的测定

特定生长率(Specific growth rate, SGR, %/d)的计算公式如下:

$$SGR = 100 \times \frac{\ln W_t - \ln W_0}{t}$$

式中,  $W_t$  为实验采样时鱼体质量(g),  $W_0$  为实验开始时鱼体质量(g),  $t$  为饲养天数(d)。

### 1.6 数据处理

实验数据采用平均值±标准差(Mean±SD)表示,用 SPSS 18.0 统计软件对各参数作方差分析(ANOVA),并进行 Duncan 氏多重比较,做差异显著性分析,显著性水平采用 0.05,  $P < 0.05$  表示差异显著。

## 2 结果

### 2.1 饲料中南极大磷虾粉对点带石斑鱼幼鱼组织氟分布的影响

本实验分别对同一处理组,不同取样时间节点的肌肉、脊椎骨、皮(含鳞片)、鳃和肝组织中的氟质量分数进行监测,结果显示,氟在点带石斑鱼幼鱼体内的脊椎骨和鳃中分布程度最高,氟质量分数分别为 58.020~114.380 mg/kg 和 46.029~123.874 mg/kg,其次是皮(含鳞片)(44.127~88.761 mg/kg),再次是肝(7.654~18.248 mg/kg),而肌肉中氟质量分数最低(3.352~3.999 mg/kg)(表 2)。

表 2 南极大磷虾粉对点带石斑鱼幼鱼各组织氟分布和氟蓄积浓度的影响(mg/kg, 干质量)

Tab. 2 The effect of Antarctic krill powder on fluorine concentration in different tissues of grouper fed four diets (mg/kg, dry matter basis)

组织	采样时间(d)	氟蓄积质量比(mg/kg)			
		0%组	2%组	4%组	6%组
肌肉	30	3.358±0.350	3.360±0.408	3.352±0.277	3.422±0.288
	60	3.884±0.267	3.856±0.302	3.798±0.376	3.919±0.353
	100	3.902±0.292	3.925±0.263	3.943±0.331	3.999±0.205
脊椎骨	30	58.020±2.385 <sup>Aa</sup>	60.168±4.467 <sup>Aa</sup>	70.72±1.986 <sup>Ab</sup>	77.378±6.582 <sup>Ab</sup>
	60	61.222±1.761 <sup>Aa</sup>	71.724±2.145 <sup>Bb</sup>	86.652±5.781 <sup>Bc</sup>	100.862±2.657 <sup>Bd</sup>
	100	93.397±3.948 <sup>Ba</sup>	93.383±5.687 <sup>Ca</sup>	104.146±1.822 <sup>Cb</sup>	114.380±7.221 <sup>Cc</sup>
皮(含鳞片)	30	44.127±0.433 <sup>Aa</sup>	54.478±3.451 <sup>Ab</sup>	58.405±3.446 <sup>Abc</sup>	64.511±4.491 <sup>Ac</sup>
	60	52.124±2.458 <sup>Ba</sup>	58.689±2.923 <sup>Ab</sup>	80.065±3.593 <sup>Bc</sup>	87.229±1.619 <sup>Bd</sup>
	100	63.690±1.282 <sup>Ca</sup>	76.848±6.672 <sup>Bb</sup>	81.398±5.007 <sup>Bbc</sup>	88.761±8.301 <sup>Bc</sup>
鳃	30	46.029±3.164 <sup>Aa</sup>	61.074±1.314 <sup>Ab</sup>	73.591±3.391 <sup>Ac</sup>	78.893±6.054 <sup>Ac</sup>
	60	66.564±3.996 <sup>Ba</sup>	66.566±3.948 <sup>Aa</sup>	88.863±3.130 <sup>Bb</sup>	92.873±2.686 <sup>Bb</sup>
	100	105.969±7.028 <sup>Ca</sup>	106.879±6.960 <sup>Ba</sup>	108.707±5.604 <sup>Ca</sup>	123.874±3.306 <sup>Cb</sup>
肝	30	7.654±0.429 <sup>Aa</sup>	8.040±0.121 <sup>Aa</sup>	9.469±0.700 <sup>Ab</sup>	11.562±0.940 <sup>Ac</sup>
	60	9.210±0.348 <sup>Ba</sup>	9.965±0.905 <sup>Ba</sup>	13.890±0.650 <sup>Bb</sup>	14.762±0.750 <sup>Bb</sup>
	100	15.168±0.380 <sup>C</sup>	15.729±1.799 <sup>C</sup>	16.712±1.853 <sup>C</sup>	18.248±2.431 <sup>C</sup>

注: 大写上标不同字母(A, B, C)表示同一处理组中不同取样时间存在显著差异; 小写上标不同字母(a, b, c, d)表示同一取样时间不同处理组间存在显著差异( $P<0.05$ )

比较同一处理组内, 不同取样时间点之间的结果发现:

### 2.1.1 肌肉

0%组、2%组、4%组与 6%组的氟质量分数在 30、60 和 100 d 时间点之间均无显著性差异。

### 2.1.2 脊椎骨

0%组的氟质量分数在 100 d 时显著高于 30 和 60 d ( $P<0.05$ ), 2%组、4%组与 6%组中, 氟质量分数从大到小的顺序均为 100 d>60 d>30 d, 且差异均显著 ( $P<0.05$ )。

### 2.1.3 皮(含鳞片)

0%组中的氟质量分数随饲养时间发生显著改变, 在 30、60 和 100 d 时间点之间均有显著性差异 ( $P<0.05$ ); 2%组中的氟质量分数在 100 d 时显著高于 30 和 60 d; 4%组和 6%组中的氟质量分数在 60 和 100 d 时分别显著高于其在 30 d 时的氟质量分数 ( $P<0.05$ )。

### 2.1.4 鳃

0%组、4%组和 6%组的氟质量分数分别在 30 d 时最低, 其次是 60 d, 在 100 d 时最高, 且差异均显著 ( $P<0.05$ )。2%组在 30 和 60 d 时无显著差异, 而 100 d 时, 氟质量分数显著高于 30 和 60 d 时。

### 2.1.5 肝

0%组、2%组、4%组与 6%组的氟质量分数均随饲养时间连续而发生显著变化, 在 30、60 和 100 d 之间均有显著性差异 ( $P<0.05$ ), 氟质量分数在 30 d 时均最低, 其次是 60 d 时, 最高是 100 d 时。

## 2.2 饲料中南极大磷虾粉水平对点带石斑鱼幼鱼组织氟蓄积的影响

本实验分别在同一取样时间点, 对不同处理组的肌肉、脊椎骨、皮(含鳞片)、鳃和肝组织中的氟质量分数进行监测, 组织中氟质量分数和饲料中氟质量分数的相关性分析结果表明:

30 d 时, 肌肉中氟质量分数与饲料中氟质量分数无相关性, 脊椎骨、鳃、皮(含鳞片)和肝中氟质量分数与饲料中氟质量分数成显著正相关: 脊椎骨 ( $r=0.883, P=0.000$ )、鳃 ( $r=0.937, P=0.000$ )、皮(含鳞片) ( $r=0.921, P=0.000$ )、肝 ( $r=0.929, P=0.000$ )。线性相关的相关系数  $r$  值越大, 且为正值, 说明该组织与饲料中氟质量分数的正相关程度越大; 相关系数的概率  $P<0.05$ 。60 d 时, 肌肉中氟质量分数与饲料中氟质量分数无相关性, 脊椎骨、鳃、皮(含鳞片)和肝中氟质量分数与饲料中氟质量分数成显著正相关: 脊椎骨 ( $r=0.983, P=0.000$ )、鳃 ( $r=0.899, P=0.000$ )、皮(含鳞片) ( $r=0.957, P=0.000$ )、肝 ( $r=0.863, P=0.000$ )。

100 d 时, 肌肉和肝中氟质量分数与饲料中氟质量分数无相关性, 脊椎骨、鳃和皮(含鳞片)与饲料中氟质量分数成显著正相关: 脊椎骨 ( $r=0.860, P=0.000$ )、鳃 ( $r=0.708, P=0.010$ )、皮(含鳞片) ( $r=0.863, P=0.000$ )。

比较同一取样时间, 不同处理组之间的结果(表 2)发现:

### 2.2.1 肌肉

在投喂饲料后 30、60 和 100 d 时, 4 个实验组间的氟质量分数均无显著差异( $P>0.05$ )。

### 2.2.2 脊椎骨

30 d 时, 4%组与 6%组的氟质量分数显著高于 2%组与 0%组( $P<0.05$ ), 而 2%组与 0%组以及 4%组与 6%组之间无统计学上的差异( $P>0.05$ ); 60 d 时, 6%组的氟质量分数最高, 其次是 4%组, 再次是 2%组, 最低是 0%组, 组间具有显著性差异( $P<0.05$ ); 100 d 时, 6%组和 4%组的氟质量分数显著高于 2%组和 0%组, 且 6%组 $>$ 4%组( $P<0.05$ )。

### 2.2.3 皮(含鳞片)

30 d 时, 6%组、4%组和 2%组的氟质量分数显著高于 0%组, 4%组与 6%组、4%组与 2%组之间无显著差异, 但 6%组显著高于 2%组; 60 d 时, 6%组、4%组和 2%组的皮(含鳞片)中氟质量分数亦显著高于 0%组, 且 4 组之间具有显著性差异( $P<0.05$ ), 其中, 6%组 $>$ 4%组 $>$ 2%组( $P<0.05$ ); 100 d 时, 4 组的氟质量分数变化趋势与 30 d 时一致。

### 2.2.4 鳃

30 d 时, 4%组与 6%组点带石斑鱼的氟质量分数无显著差异( $P>0.05$ ), 但两组均显著高于 2%组和 0%组, 且 2%组显著高于 0%组; 60 d 时, 4%组与 6%组的氟质量分数显著高于 2%组与 0%组, 但 0%组与 2%组, 4%组与 6%组之间无统计学上的差异( $P>0.05$ ); 100 d 时, 6%组的氟质量分数显著高于 0%组、2 组和 4%组( $P<0.05$ ), 而 0%组、2%组和 4%组间无统计学上的显著差异。

### 2.2.5 肝

30 d 时, 4%组与 6%组的氟质量分数显著高于 2%组与 0%组( $P<0.05$ ), 且 6%组 $>$ 4%组( $P<0.05$ ), 而 2%组与 0%组之间无显著差异; 60 d 时, 4%组与 6%组的氟质量分数显著高于 0%组与 2%组( $P<0.05$ ), 而 0%组与 2%组间, 4%组与 6%组间无显著差异( $P>0.05$ ); 100 d 时, 4 个组间肝中的氟质量分数均无显著差异( $P>0.05$ )

## 2.3 饲料中南极大磷虾粉水平对点带石斑鱼幼鱼生长的影响

以特定生长率为指标评价各组点带石斑鱼幼鱼的生长性能(图 1)。30 d 时, 4 组的 SGR 无显著性差异( $P>0.05$ ); 60 d 时, 6%组和 0%组的 SGR 无显著差异, 6%组和 2%组及 4%组的 SGR 亦无显著差异( $P>0.05$ ), 但 2%组和 4%组的 SGR 均显著高于 0%组( $P<0.05$ ); 100 d 时, 2%组和 0%组, 4%组和 6%组的 SGR 均无显著差异( $P>0.05$ ), 但 4%组和 6%组均显著高于 0%组和 2%组( $P<0.05$ )。

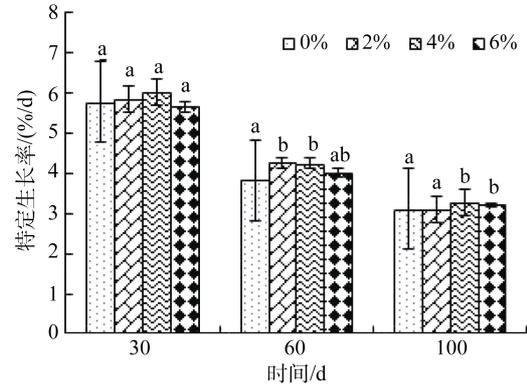


图 1 不同采样时间点各实验组点带石斑鱼幼鱼生长性能  
Fig. 1 The growth performance of groupers fed four diets at different sampling time

上标字母不同表示有显著差异( $P<0.05$ )

Values with different superscripts (a and b) indicate significant differences ( $P<0.05$ )

## 3 讨论与结论

### 3.1 饲料南极大磷虾粉对点带石斑鱼幼鱼组织氟分布的影响

早期研究指出, 氟主要积累于动物(包括哺乳动物和鱼类)的硬组织, 如骨骼、皮、鱼鳞、甲壳等<sup>[1, 16]</sup>。本研究通过对点带石斑鱼幼鱼肌肉、脊椎骨、皮(含鳞片)、鳃和肝组织中的氟质量分数进行监测发现, 南极大磷虾粉中的氟在点带石斑鱼幼鱼组织中的分布程度, 以脊椎骨和鳃中为最高, 其次是皮(含鳞片), 再次是肝, 而肌肉中氟质量分数为最低。而且, 通过 30、60 和 100 d 的连续监测, 发现脊椎骨、皮(含鳞片)、鳃和肝组织中氟含量随饲养时间的连续而产生蓄积, 而肌肉氟含量未随饲养时间的连续而产生蓄积。

鱼骨是鱼体氟积累的靶器官<sup>[17]</sup>, 将氟蓄积于骨中的方式可能是生物对高氟的一种防御机制, 机体将氟积累在骨中以达到解毒的目的<sup>[1]</sup>。本实验中, 点带石斑鱼幼鱼各组织中, 以脊椎骨氟蓄积程度最高, 这与 Moren 等<sup>[18]</sup>和 Yoshitomi 等<sup>[19-20]</sup>关于鱼类摄食南极磷虾或磷虾粉后骨骼中氟含量最高的研究结果相一致。

另外, 皮(含鳞片)和鳃组织中的氟质量分数也较高, 原因可能在于皮(含鳞片)样品中鳞片占有较大的比例, 鳞片属于外骨骼, 而鳃是软骨组织, 皮(含鳞片)和鳃组织中较高的氟蓄积与其骨含量有关。石小涛等<sup>[21]</sup>指出, 氟在西伯利亚鲟(*Acipenser baerii*)稚鱼硬骨和软骨组织中具有较高的生物蓄积作用。由本研究结果可见, 点带石斑鱼幼鱼的脊椎骨、皮(含鳞片)和鳃组织中氟分布情况符合氟在生物体内

的分布规律<sup>[1, 17]</sup>。

本研究还发现, 点带石斑鱼幼鱼肌肉的氟质量分数为最低, 这与大西洋鲑(*Salmo salar*)<sup>[22-23]</sup>, 大西洋庸鲽(*Hippoglossus hippoglossus*)<sup>[23]</sup>和大西洋真鲷(*Gadus morhua*)<sup>[23]</sup>, 虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)<sup>[20]</sup>中的研究结果相一致, 此结果佐证了在鱼类组织内肌肉中所含的氟质量分数为最低。

投喂含磷虾产品的饲料后, 不同的研究者对鱼骨中氟蓄积研究结果存在较大的差异。以磷虾肉投喂大西洋鲑、大西洋真鲷、虹鳟和大西洋庸鲽, 4种鱼骨中的氟含量没有蓄积<sup>[23]</sup>, 而以磷虾粉100%替代鱼粉的饲料投喂大西洋鲑<sup>[24]</sup>和以不同比例磷虾粉替代鱼粉的饲料饲喂大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)<sup>[25]</sup>、虹鳟<sup>[20]</sup>、黄尾鲷(*Seriola quinqueradiata*)<sup>[26]</sup>, 鱼骨中则有很明显的氟蓄积, 这与磷虾外壳富集氟有关<sup>[27-28]</sup>, 磷虾粉中含有磷虾壳, 磷虾肉内氟含量远低于壳内氟的含量。

### 3.2 饲料中南极大磷虾粉水平对点带石斑鱼幼鱼组织氟蓄积的影响

本研究发现, 各组间脊椎骨、鳃和皮(含鳞片)中氟蓄积量分布差异显著, 与饲料中氟质量分数呈显著正相关, 随着饲料中南极大磷虾水平的提高, 脊椎骨、鳃和皮(含鳞片)中氟质量分数呈现增加趋势, 与大菱鲆<sup>[25]</sup>和虹鳟<sup>[19]</sup>的研究结果相一致。Shi等<sup>[29]</sup>以氟含量为(75.2~1478.3)mg/kg的饲料, 饲养西伯利亚鲟幼鱼12周发现, 随着饲料氟含量增加, 鳞甲、软骨、鳃和皮肤中氟含量增大, 而对肌肉无影响。本实验结果显示, 各组间肌肉中氟蓄积量均无显著性差异, 由此可说明, 肌肉中氟含量与饲料中南极大磷虾粉水平的高低无相关性, 这进一步印证了肌肉并非是摄入的食源氟累积的靶器官, 与西伯利亚鲟<sup>[21]</sup>和大西洋鲑<sup>[22]</sup>的研究结论一致。本实验中, 各组肝中的氟含量随饲养时间的连续而产生蓄积, 且在30和60d时, 各组间肝中氟含量与南极大磷虾粉水平呈正相关, 而在100d时, 各组间肝中氟含量并没有显著性差异, 南极大磷虾对肝组织的影响及肝对氟离子的代谢机理还有待作进一步研究确证。

### 3.3 饲料中南极大磷虾粉水平对点带石斑鱼幼鱼生长的影响

Suontama等<sup>[30]</sup>观察到, 以南极大磷虾粉替代40%鱼粉制成饲料投喂大西洋鲑, 可提高大西洋鲑的特定生长率, 尤其在前100d更为明显。据Tibbetts等<sup>[31]</sup>报道, 饲料中添加磷虾粉, 可以有效促进大西洋真

鲷和大西洋庸鲽的摄食, 提高其摄食率和消化率, 而替代比例超过25%~50%, 并不能提高其生长性能和饲料利用率。Yoshitomi等<sup>[19]</sup>发现, 30%南极大磷虾粉替代鱼粉组(氟质量分数444mg/kg)与对照组(氟质量分数105mg/kg)相比, 虹鳟生长受到抑制。Hansen等<sup>[24]</sup>以去壳磷虾粉和未去壳的磷虾粉100%替代鱼粉的饲料, 投喂大西洋鲑100d后, 前者(氟质量分数470mg/kg)饲养的大西洋鲑与对照组无差异, 而后者(氟质量分数640mg/kg)的大西洋鲑生长受到抑制。

本研究添加的是未经脱氟处理的南极大磷虾粉, 通过调节添加比例, 使各组饲料的氟质量分数均低于中华人民共和国农业行业标准<sup>[32]</sup>的鱼用饲料氟的最高限量标准(350mg/kg), 属于安全氟质量分数限量。以不同南极大磷虾粉水平制成饲料投喂点带石斑鱼幼鱼30d时, 与对照组相比, 各实验组特定生长率均无显著性差异; 饲养60d时, 各实验组特定生长率均有增高的趋势; 饲养100d时, 添加4%和6%南极大磷虾粉的生长性能明显具有优势。日本学者Shimizu等<sup>[33]</sup>在研究真鲷(*Pagrus major*)嗅觉和味觉反应的实验中发现, 在饲料中添加南极磷虾粉对真鲷具有特殊的诱食效果。黄艳青等<sup>[34]</sup>在研究中亦发现, 饲料中添加南极大磷虾粉, 对于点带石斑鱼幼鱼均有促进摄食和降低饲料系数的作用, 陈国阶等<sup>[35]</sup>认为, 氟在适宜的阈值范围内, 对于生物组织的构建和生物体的生长发育起着重要的作用。本研究表明在饲料中添加4%~6%南极大磷虾粉, 对点带石斑鱼幼鱼生长具有明显的促进作用。

尽管南极大磷虾粉富含诱食及促生长的营养物质, 但如果因此给饲料中引入过高的氟质量分数, 对鱼类生长将造成抑制作用。鉴于氟质量分数过高会对动物产生毒害作用<sup>[36]</sup>, 当利用南极大磷虾作为水产养殖饲料原料时, 应注意控制添加量, 或者去除南极大磷虾的外壳, 通过降低南极大磷虾中的氟质量分数, 以降低潜在的氟中毒威胁<sup>[37]</sup>。

参考文献:

- [1] Camargo J A. Fluoride toxicity to aquatic organisms: a review[J]. Chemosphere, 2003, 50(3): 251-264.
- [2] 张瑞涛, 张曙光. 氟化物对鱼类的毒性和致畸的研究[J]. 环境科学, 1982, 3(4): 1-5.
- [3] Bhatnagar C, Bhatnagar M, Regar B C. Fluoride-induced histopathological changes in gill, kidney, and intestine of fresh water teleost, *Labeo rohita*[J]. Fluoride, 2007,

- 40(1): 55-61.
- [4] Kumar A, Tripathi N, Tripathi M. Fluoride-induced biochemical changes in fresh water catfish (*Clarias batrachus*, Linn.)[J]. Fluoride, 2007, 40(1): 37-41.
- [5] 陈雪忠, 徐兆礼, 黄洪亮. 南极磷虾资源利用现状与中国的开放策略分析[J]. 中国水产科学, 2009, 16(3): 451-458.
- [6] 刘志东, 陈雪忠, 黄洪亮, 等. 南极磷虾粉的营养成分分析及评价[J]. 中国海洋药物杂志, 2012, 31(2): 43-48.
- [7] 陆建学, 林听听, 黄艳青, 等. 南极大磷虾粉对卤虫脂肪酸和氨基酸的营养强化作用[J]. 生态学杂志, 2013, 32(6): 1563-1570.
- [8] Storebakken T. Krill as a potential feed source for salmonids[J]. Aquaculture, 1988, 70(3): 193-205.
- [9] Olsen R E, Suontama J, Langmyhr E, et al. The replacement of fish meal with Antarctic krill, *Euphausia superba* in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar*[J]. Aquaculture Nutrition, 2006, 12(4): 280-290.
- [10] 王荣, 孙松. 南极磷虾渔业现状与展望[J]. 海洋科学, 1995, 19(4): 28-32.
- [11] Adelung D, Buchholz F, Culik B, et al. Fluoride in tissues of krill *Euphausia superba* Dana and *Meganyctiphanes norvegica* M. Sars in relation to the moult cycle[J]. Polar Biology, 1987, 7(1): 43-50.
- [12] 尹绍武, 陈国华, 张本. 点带石斑鱼生物学研究与养殖[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2007: 13-14.
- [13] GB 5009.3-2010, 食品安全国家标准: 食品中水分的测定[S]. 北京, 中国标准出版社, 2010.
- [14] GB/T 5009.18-2003, 食品安全国家标准: 食品中氟的测定[S]. 北京, 中国标准出版社, 2003.
- [15] 王猛强, 郑昌区, 金敏, 等. 粗脂肪水平对 2 种规格凡纳滨对虾生长性能、饲料利用和非特异性免疫的影响[J]. 动物营养学报, 2014, 26(9): 2687-2697.
- [16] Gikunju J K, Maitho T E, Birkeland J M, et al. Fluoride levels in water and fish from Lake Magadi (Kenya) [J]. Hydrobiologia, 1992, 234(2): 123-127.
- [17] Sands M, Nicol S, McMinn A. Fluoride in Antarctic marine crustaceans[J]. Marine Biology, 1998, 132(4): 591-598.
- [18] Moren M, Suontama J, Hemre G I and 4 others. Element concentrations in meals from krill and amphipods, —Possible alternative protein sources in complete diets for farmed fish[J]. Aquaculture, 2006, 261(1): 174-181.
- [19] Yoshitomi B, Aoki M, Oshima S, et al. Evaluation of krill (*Euphausia superba*) meal as a partial replacement for fish meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets[J]. Aquaculture, 2006, 261(1): 440-446.
- [20] Yoshitomi B, Aoki M, Oshima S. Effect of total replacement of dietary fishmeal by low fluoride krill (*Euphausia superba*) meal on growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in fresh water[J]. Aquaculture, 2007, 266(1): 219-225.
- [21] 石小涛, 庄平, 章龙珍, 等. 水暴露下氟在西伯利亚鲟稚鱼硬骨和软骨中的积累和消除[J]. 生态毒理学报, 2009, 4(2): 218-223.
- [22] Julshamn K, Malde M K, Bjorvatn K, et al. Fluoride retention of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed krill meal[J]. Aquaculture Nutrition, 2004, 10(1): 9-13.
- [23] Moren M, Malde M K, Olsen R E, et al. Fluorine accumulation in Atlantic salmon (*Salmo salar*), Atlantic cod (*Gadus morhua*), rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed diets with krill or amphipod meals and fish meal based diets with sodium fluoride (NaF) inclusion[J]. Aquaculture, 2007, 269(1): 525-531.
- [24] Hansen J Ø, Penn M, Øverland M, et al. High inclusion of partially deshelled and whole krill meals in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Aquaculture, 2010, 310(1): 164-172.
- [25] 孔凡华, 梁萌青, 吴立新, 等. 南极磷虾粉对大菱鲷生长、非特异性免疫及氟残留的影响[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(1): 54-60.
- [26] Yoshitomi B, Nagano I. Effect of dietary fluoride derived from Antarctic krill (*Euphausia superba*) meal on growth of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) [J]. Chemosphere, 2012, 86(9): 891-897.
- [27] 潘建明, 张海生, 刘小涯. 南大洋磷虾富氟机制 I. 氟的化学赋存形态研究[J]. 海洋学报, 2000, 22(2): 58-64.
- [28] 朱兰兰, 赵彦玲, 赵晓君, 等. 南极磷虾中氟含量的调查分析[J]. 食品工业科技, 2012, 33(24): 55-57.
- [29] Shi X, Wang R, Zhuang P, et al. Fluoride retention after dietary fluoride exposure in Siberian sturgeon *Acipenser baerii*[J]. Aquaculture Research, 2013, 44(2):

- 176-181.
- [30] Suontama J, Karlsen Ø, Moren M, et al. Growth, feed conversion and chemical composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) fed diets supplemented with krill or amphipods[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2007, 13(4): 241-255.
- [31] Tibbetts S M, Olsen R E, Lall S P. Effects of partial or total replacement of fish meal with freeze-dried krill (*Euphausia superba*) on growth and nutrient utilization of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed the same practical diets[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2011, 17(3): 287-303.
- [32] NY 5072-2002, 中华人民共和国农业行业标准: 无公害食品渔用配合饲料安全限量[S]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [33] Shimizu C, Ibrahim A, Tokoro T, et al. Feeding stimulation in sea bream, *Pagrus major*, fed diets supplemented with Antarctic krill meals[J]. *Aquaculture*, 1990, 89(1): 43-53.
- [34] 黄艳青, 高露姣, 陆建学, 等. 饲料中添加南极大磷虾粉对点带石斑鱼幼鱼生长与肌肉营养成分的影响[J]. *海洋渔业*, 2010, 32(4): 440-446.
- [35] 陈国阶, 余大富. 环境中的氟[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 1-165.
- [36] Metcalfe-Smith J L, Holtze K E, Sirota G R, et al. Toxicity of aqueous and sediment-associated fluoride to freshwater organisms[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2003, 22(1): 161-166.
- [37] Tou J C, Jaczynski J, Chen Y C. Krill for human consumption: Nutritional value and potential health benefits[J]. *Nutrition Reviews*, 2007, 65(2): 63-77.

## Effect of Antarctic krill powder on tissue fluoride accumulation and growth of juvenile grouper (*Epinephelus malabaricus*)

HUANG Yan-qing, GONG Yang-yang, LU Jian-xue, GAO Lu-jiao, HUANG Hong-liang  
(Key Laboratory of East China Sea and Oceanic Fishery Resources Exploitation and Utilization, Ministry of Agriculture, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai, 200090, China)

**Received:** Jan., 7, 2014

**Key words:** Antarctic krill powder; *Epinephelus malabaricus*; fluoride accumulation; specific growth rate

**Abstract:** The fluoride accumulation in various tissues and the growth of juvenile grouper (*Epinephelus malabaricus*) after fed diets supplemented with Antarctic krill powder were analyzed. The diets were supplemented with 0% (control group), 2%, 4% and 6% Antarctic krill powder, respectively and the fluoride concentrations in the experimental feeds were 145.81, 202.71, 257.53 and 317.60 mg/kg, respectively. The four diets were fed to juvenile groupers for 100 days. The results showed that the hard tissues, such as gill and vertebra, had the highest fluoride level, followed by skin (including scale) and liver, and muscle showed the lowest fluoride retention. The level of fluoride in vertebra, skin (including scale) and gill increased with feeding time and a positive correlation between dietary fluoride from krill powder and fluoride content in these tissues was observed. The fluoride content in liver increased with feeding time as well, but with no correlation between krill powder inclusion level, while there was no correlation between krill powder inclusion level and fluoride level in the muscle of juvenile groupers. Significantly higher specific growth rate was observed in groupers fed with 4% or 6% krill powder included diets compared to that in control group ( $P < 0.05$ ), including krill powder in the diet at certain levels could promote the growth of juvenile grouper.

(本文编辑: 谭雪静)