

## 饲料淀粉水平对南方鲇免疫的影响

李强 谢小军 罗毅平 林小植

(西南大学生命科学学院水生生物研究所,重庆 400715)

**摘要:**为研究饲料碳水化合物水平对南方鲇免疫力的影响,配制含0%、15%和30%糊化玉米淀粉的等能饲料分别作为对照、中水平和高水平碳水化合物(CHO)饲料,以体重为 $20.7 \pm 0.5$ g的南方鲇幼鱼为实验对象,在水温 $27.5 \pm 0.2$ °C的条件下以对照饲料驯化15d后,测定以3种饲料投喂0、2、4、8、12和16周时南方鲇鱼体的血清溶菌酶活性、抗菌活性和血清总蛋白含量。结果发现,中水平CHO组血清溶菌酶活性在4周和12周时显著低于对照组( $p < 0.05$ ),其他各时间点均与对照组无显著差异;高CHO组在2—12周期间均显著低于对照组( $p < 0.05$ ),而在16周时与对照组之间差异不显著。从第4周到第16周,中、高CHO组血清抗菌活性均显著低于对照组( $p < 0.05$ ),而中、高CHO组之间在各时间点均无显著差异。在16周时,中CHO组和高CHO组血清总蛋白含量显著高于对照组( $p < 0.05$ ),在其余时间点三组间差异均不显著。以上结果表明:饲料中含15%的CHO对南方鲇生长无显著影响,但明显抑制了鱼体免疫力,且免疫抑制作用随碳水化合物水平的提高而加强。综合分析本研究的结果提出,饲料碳水化合物是抑制南方鲇免疫力的一个重要因子。提高溶菌酶类蛋白质的合成速率是该种鱼在长期饲料CHO营养胁迫下的适应机制之一,表现上反映为血清蛋白含量的升高。通过比较观察饲料CHO对南方鲇生长和免疫力的抑制作用,提出应当综合二者的观测结果来评价CHO饲料对鱼类的营养胁迫及适合状况。

**关键词:**南方鲇;碳水化合物;溶菌酶活性;抗菌活性;血清蛋白

**中图分类号:**S963;S942.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3207(2007)04-0557-06

碳水化合物(CHO)是鱼类人工配合饲料中的廉价能量物质。但肉食性鱼类对碳水化合物的消化和代谢能力有限,过多摄入碳水化合物饲料会导致血糖浓度过高和肝糖原沉积过多,损伤肝细胞<sup>[1,2]</sup>,并能降低肝脏的解毒能力<sup>[3,4]</sup>,抑制免疫功能<sup>[5-8]</sup>。但也有研究者提出,摄食碳水化合物饲料不会对鱼类的免疫力造成明显的影响<sup>[9-11]</sup>。

南方鲇(*Silurus meridionalis* Chen)是我国特有的专性肉食性鱼类<sup>[12]</sup>,广泛分布于长江流域及以南地区。在南方鲇的天然食物中缺乏碳水化合物,长期的进化适应可能导致它对碳水化合物的反应存在着抵抗效应。本实验室已有的研究发现当南方鲇饲料中碳水化合物水平大于18%时会产生营养胁迫,导致特定生长率及饲料效率降低<sup>[13,14]</sup>,出现持续的高血糖和肝糖原沉积过多的现象<sup>[15]</sup>,因此可能影响鱼体的免疫力。本实验测定了饲喂3种不同碳水化合物水平饲料的南方鲇血清溶菌酶活性、抗菌活性和

血清蛋白含量,以检验饲料碳水化合物水平对南方鲇免疫力的影响,旨在为探讨该肉食性鱼类的营养与免疫相关研究提供基础资料。

### 1 材料与方法

**1.1 饲料配方及成分分析** 以白鱼粉为蛋白源,熟化玉米淀粉(120°C预煮15min)为碳水化合物源,玉米油为脂肪源配成3种等能并等蛋白饲料。糊化淀粉水平为0%、15%、30%,分别作为对照饲料、中CHO饲料、高CHO饲料(碳水化合物水平为糊化淀粉水平,下同)(表1)。在饲料制作过程中,各原料按配比定量后混合均匀,加入适量的水制成湿饵,保存于-20°C冰箱中。另外,在每种饲料中分别取定量的样品于70°C烘干,分析饲料组成。

**1.2 实验鱼的来源及驯养** 采用本实验室当年人工孵化的同批南方鲇幼鱼,饲养于西南大学水产科学研究所的室内循环水养殖系统中。实验时选取体

收稿日期:2006-11-29;修订日期:2007-04-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No 30371121)资助

作者简介:李强(1981—),男,河南南阳人;硕士研究生;主要从事鱼类营养学研究。E-mail:q\_ - 1@163.com

通讯作者:谢小军,E-mail:xjxie@swu.edu.cn

格健壮,体重为(20.7 ± 0.5)g 的南方鲇 80 尾,以对照饲料作为驯化饲料,日粮水平为 2% BW/d,每天投喂 1 次(18:00—18:30)。实验水源为曝气自来水,

驯化期间水温控制在 27.5 ± 0.2℃,溶氧 > 5mg/L,氨氮 < 0.05mg/L,光制为 14L:10D。实验鱼经过 15d 单尾驯化后开始实验。

表 1 实验饲料配方及营养组成(%干重)

Tab. 1 The formulation and proximate chemical composition of the experimental diets (% dry weight)

配方 Formulation	碳水化合物水平 (CHOL) <sup>4)</sup>		
	对照饲料	中水平 CHO 饲料	高水平 CHO 饲料
	Control diet	Middle CHO diet	High CHO diet
鱼粉 Fish meal	54.71	54.71	54.71
碳水化合物 $\alpha$ -Starch	0	15.28	30.55
微晶纤维素 MCC	19.3	10.52	1.75
牛肝 Ox liver	5.00	5.00	5.00
玉米油 Corn oil	13.49	6.99	0.49
维生素预混剂 Vitamin premix <sup>1)</sup>	2.00	2.00	2.00
无机盐预混剂 Mineral premix <sup>2)</sup>	2.00	2.00	2.00
羧甲基纤维素 CMC	2.50	2.50	2.50
三氧化二铬 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.00	1.00	1.00
成分分析 Proximate analysis(%)			
粗蛋白质 Crude protein <sup>3)</sup>	45.05	44.94	45.35
粗脂肪 Crude lipid	17.35	12.19	4.54
碳水化合物 Carbohydrate	1.68	14.88	30.36
灰分 Ash	9.69	9.69	7.93
总能(kJ/g)Energy	15.82	15.61	15.16

1) 维生素 Vitamin premix (mg or IU/kg diet): B1, 20mg; B2, 40mg; B6, 20mg; B12, 0.1mg; K3, 10mg; Inoditol, 1000mg; Pantothenic acid, 60mg; Niacin acid, 200mg; H, 1.23mg; A, 25000IU; D, 2500IU; E, 1200mg; C, 2112mg; Choline chloride, 2500mg

2) 无机盐 Mineral premix (mg/kg diet): NaF, 2mg; KI, 0.08mg; CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 1mg; CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 10mg; FeSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 74mg; ZnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O; MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 60mg; MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 1000mg; K<sub>2</sub>HPO<sub>3</sub>, 6000mg; NaH<sub>2</sub>PO<sub>3</sub>·2H<sub>2</sub>O, 5000mg; NaCl, 100mg; CaCO<sub>3</sub>, 4g

3) 饲料能量蛋白质以 23.6KJ/g, 脂肪以 39.5KJ/g, 淀粉以 17.2KJ/g 计算。The dietary energy was calculated as protein:23.6, lipid:39.5, starch:17.2KJ/g

4) CHOL 表示饲料中碳水化合物水平(%碳水化合物水平), 纤维素除外。CHOL: carbohydrate level (% dietary carbohydrate), cellulose not included

**1.3 实验操作程序** 实验鱼在室内循环水养殖系统中进行单尾饲养。将经过驯化 15d 后的实验鱼禁食 24h, 先取 5 尾鱼作为初始鱼体, 测定各项指标作为初始值。其余实验鱼随机分为三组, 每组 25 尾, 分别以对照饲料、中 CHO 饲料和高 CHO 饲料喂养。每天投喂一次, 投喂后半小时内检查摄食情况并收集残饵。

实验期为 16 周, 实验期间环境控制同驯化期。分别在喂养 2、4、8、12、16 周后取摄食 12h 后的实验鱼, 每组每次取样 5 尾, 称重、收集血样, 测定各项指标。采血方法参照 Ackerman 等<sup>[16]</sup>的工作, 根据本实验室的研究资料, 在 1min 内完成断尾取血不会造成鱼体血液指标的测定值发生变化<sup>[17]</sup>, 据此本研究中取血操作均在 30s 内完成。血样于室温条件下静置 2—3h, 然后以 4000r/min 离心 15min, 取上清液置于离心管中, 样品于 -20℃ 冰箱待测。

#### 1.4 样品分析及测定方法

**饲料的化学成分分析** 用恒温干燥法测定样品水分含量; 凯氏定氮法测定样品粗蛋白含量; 索氏提取法测定样品粗脂肪含量; 水杨酸法测定样品碳水化合物含量; 马福炉灼烧法测定样品灰分含量; 用氧弹测热仪测定样品的能量值。

**血清溶菌酶活性和血清抗菌活性的测定** 根据 Hultmark<sup>[18]</sup>的方法, 稍加改进。将培养好的溶壁微球菌 (*Micrococcus lysolei*cticus, 中科院微生物所) 用 0.1ml/L、pH 为 6.4 的磷酸缓冲液洗脱, 收集菌体, 再用 0.1ml/L、pH 为 6.4 的磷酸缓冲液将 OD 值调为 0.3—0.5 测前备用。测定时, 取 3ml 溶壁微球菌菌液置于试管中, 水浴 10min, 加入 50 $\mu$ L 实验鱼的血清, 混匀, 迅速测其在 570nm 处的 OD 值 A<sub>0</sub>。然后将试管置于 37℃ 水浴, 30min 后置于冰浴中 10min 终止反应, 570nm 测光密度值, 记录终读数 A。溶解菌液

吸光值每分钟下降 0.001 定义为一个活性单位。

计算公式:

$$\text{溶菌酶活性(U/mL)} = (A_0 - A) \times 1000 / 0.05 / B$$

$A_0$ : 为菌液的初始读数;  $A$ : 为菌液终末读数;  $B$ :

反应时间

抗菌活性测定所用的菌液为大肠杆菌 (*Escherichia coli*), 其操作步骤与计算方法同溶菌酶活性测定。

采用 Bradford<sup>[19]</sup> 的方法测定血清蛋白质的含量。

**数据处理方法** 试验所得数据采用 Excel (2003) 和 SPSS (11.5) 软件进行数据的整理及统计和方差分析, 若差异显著则进行多重比较,  $p < 0.05$  为显著水平。

## 2 结果

### 2.1 饲料中碳水化合物水平对南方鲇溶菌酶活性的影响

本研究发现 (表 2), 2 周时, 高 CHO 组血清溶菌酶活性就显著低于对照组 ( $p < 0.05$ ), 而中 CHO 组

与对照组和高 CHO 组差异均不显著 ( $p > 0.05$ ); 4 至 12 周, 高 CHO 组血清溶菌酶活性显著低于对照组 ( $p < 0.05$ ), 中 CHO 组除 8 周外其余各时间点显著低于对照组 ( $p < 0.05$ ); 2—12 周高 CHO 组的血清溶菌酶活性均低于中 CHO 组, 但差异不显著 ( $p > 0.05$ )。16 周时两处理组与对照组之间均无显著差异 ( $p > 0.05$ )。

### 2.2 饲料中碳水化合物水平对南方鲇血清抗菌活性的影响

从 4 周至 16 周, 中 CHO 组和高 CHO 组南方鲇血清抗菌活性均显著低于对照组 ( $p < 0.05$ ); 0—16 周各时间点中 CHO 组和高 CHO 组之间无显著差异 ( $p > 0.05$ )。

### 2.3 饲料中碳水化合物水平对南方鲇血清蛋白的影响

研究结果显示 (表 2), 饲养期从 0 周至 12 周, 对照组、中 CHO 组和高 CHO 组血清蛋白含量差异不显著 ( $p > 0.05$ ); 但 16 周时中 CHO 组和高 CHO 组血清蛋白含量均显著高于对照组 ( $p < 0.05$ ), 而中、高 CHO 组之间的血清蛋白含量差异不显著 ( $p > 0.05$ )。

表 2 饲料碳水化合物水平对南方鲇免疫参数的影响

Tab.2 The effect of dietary carbohydrate level on the immune parameters in the southern catfish, *Silurus meridionalis*

饲料 Diet	Initial	喂养历时(周) Feeding period (week)				
		2	4	8	12	16
体重 Weight (g)						
Control	30.00 ± 0.87 <sup>f</sup>	41.90 ± 1.03 <sup>e</sup>	56.00 ± 2.63 <sup>d</sup>	125.32 ± 7.75 <sup>xy</sup>	308.32 ± 9.72 <sup>bx</sup>	457.47 ± 20.18 <sup>ax</sup>
Middle CHO	30.00 ± 0.87 <sup>e</sup>	44.62 ± 1.04 <sup>de</sup>	69.16 ± 1.59 <sup>d</sup>	151.38 ± 3.23 <sup>cx</sup>	240.50 ± 22.05 <sup>by</sup>	414.84 ± 39.01 <sup>ax</sup>
High CHO	30.00 ± 0.87 <sup>e</sup>	41.48 ± 1.56 <sup>de</sup>	63.08 ± 2.44 <sup>d</sup>	131.16 ± 5.49 <sup>xy</sup>	253.22 ± 15.02 <sup>by</sup>	297.68 ± 29.69 <sup>ay</sup>
溶菌酶活性 Lysozyme activity (U/mL)						
Control	73.59 ± 1.81 <sup>b</sup>	78.07 ± 4.00 <sup>bx</sup>	80.85 ± 7.68 <sup>bx</sup>	97.31 ± 7.68 <sup>ax</sup>	84.40 ± 5.12 <sup>abx</sup>	66.50 ± 5.91 <sup>b</sup>
Middle CHO	73.59 ± 1.81 <sup>ab</sup>	65.36 ± 4.94 <sup>abxy</sup>	62.94 ± 5.14 <sup>by</sup>	77.46 ± 6.63 <sup>axy</sup>	69.05 ± 4.78 <sup>aby</sup>	60.10 ± 5.57 <sup>b</sup>
High CHO	73.59 ± 1.81 <sup>ab</sup>	56.64 ± 6.06 <sup>cy</sup>	55.67 ± 2.30 <sup>cy</sup>	65.36 ± 7.42 <sup>bcy</sup>	62.02 ± 3.36 <sup>bcy</sup>	72.89 ± 2.73 <sup>a</sup>
抗菌活性 Antibacterial activity (U/mL)						
Control	133.94 ± 15.71 <sup>bc</sup>	161.70 ± 8.77 <sup>abc</sup>	178.16 ± 19.48 <sup>abx</sup>	195.59 ± 17.28 <sup>ax</sup>	123.77 ± 6.61 <sup>cx</sup>	129.14 ± 16.54 <sup>cx</sup>
Middle CHO	133.94 ± 15.71 <sup>ab</sup>	127.33 ± 13.05 <sup>ab</sup>	131.68 ± 12.19 <sup>ay</sup>	149.60 ± 17.00 <sup>axy</sup>	70.85 ± 3.42 <sup>cy</sup>	92.31 ± 4.44 <sup>bcy</sup>
High CHO	133.94 ± 15.71 <sup>a</sup>	153.95 ± 15.09 <sup>a</sup>	146.21 ± 6.34 <sup>axy</sup>	128.29 ± 11.20 <sup>ay</sup>	87.76 ± 5.51 <sup>by</sup>	85.16 ± 17.07 <sup>by</sup>
血清总蛋白含量 Serum protein (mg/mL)						
Control	46.70 ± 1.54 <sup>d</sup>	64.13 ± 1.07 <sup>a</sup>	60.36 ± 2.47 <sup>ab</sup>	54.22 ± 1.40 <sup>bc</sup>	55.23 ± 2.23 <sup>bc</sup>	48.43 ± 4.73 <sup>cdy</sup>
Middle CHO	46.70 ± 1.54 <sup>b</sup>	61.90 ± 4.34 <sup>a</sup>	59.36 ± 3.34 <sup>a</sup>	53.81 ± 1.91 <sup>a</sup>	56.35 ± 1.47 <sup>a</sup>	57.01 ± 1.34 <sup>ax</sup>
High CHO	46.70 ± 1.54 <sup>d</sup>	65.24 ± 1.68 <sup>a</sup>	58.73 ± 0.61 <sup>bc</sup>	56.68 ± 0.25 <sup>c</sup>	56.51 ± 2.36 <sup>c</sup>	60.79 ± 0.76 <sup>bx</sup>

注: 数据用平均值 ± 标准误表示 (mean ± S.E, n = 5); a, b, c: 相同行中带不同上标字母的表示差异显著 ( $p < 0.05$ ); x, y, z: 相同列中带不同上标字母的表示差异显著 ( $p < 0.05$ )

Notes: The data were expressed as mean ± S.E, n = 5; a, b, c: different superscripts in each row indicate significant differences among dietary treatments ( $p < 0.05$ ); x, y, z: different superscripts in each column indicate significant differences among dietary treatments ( $p < 0.05$ )

### 3 讨论

溶菌酶(Lysozyme)是广泛存在于鱼类体表黏液、肠道黏液、血清和巨噬细胞中的一种非特异性体液免疫因子,来源于白细胞<sup>[20]</sup>,其主要免疫功能是破坏革兰氏阳性菌的肽聚糖支架,使细胞在渗透压的作用下裂解<sup>[21]</sup>,其活性变化可以反映鱼类非特异性免疫力的变化,即溶菌酶活性升高,鱼类的非特异性免疫功能增强<sup>[21,22]</sup>。在本研究中,南方鲇在摄食饲料碳水化合物后,高 CHO 组和中 CHO 组血清溶菌酶活性分别在 2 周和 4 周开始显著低于对照组,一直持续到 12 周,表明摄食 CHO 后,南方鲇血清溶菌酶活性受到抑制;2—12 周高 CHO 组血清溶菌酶活性一直较中 CHO 组低,但各时间点差异不显著(表 2)。Lin 和 Shiau<sup>[8]</sup> 对点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)的研究发现,随碳水化合物水平升高,血清溶菌酶活性下降;可见碳水化合物饲料是影响南方鲇免疫力的一个重要的抑制因子,添加后使鱼体免疫力降低,并且随碳水化合物水平升高,对血清溶菌酶活性的抑制作用增强。

血清抗菌活性主要反映  $\beta$ -葡萄糖苷酸酶破坏革兰氏阴性菌细胞壁中的黏多糖的功能,也是反映鱼体健康状况的一项重要指标<sup>[22]</sup>。在本研究中,饲养 4—16 周时,中 CHO 组和高 CHO 组的南方鲇血清抗菌活性均显著低于对照组;而中、高 CHO 组在各个饲养周期组间差异不显著。可见,南方鲇在摄食含量超过 15% CHO 的饲料后,血清抗菌活性已受到显著抑制。

结合饲料碳水化合物水平对南方鲇血清溶菌酶活性和抗菌活性的影响结果,我们认为,饲料中添加碳水化合物会抑制南方鲇的免疫力,并且 15% 的碳水化合物水平足以使南方鲇免疫力下降;随着摄食碳水化合物水平的提高,对南方鲇免疫力抑制作用有增大的趋势。

血清蛋白含量也是衡量免疫力的一个重要指标。有研究表明,血清总蛋白含量和血清溶菌酶活性存在着一定的联系,当环境条件诱导大马哈鱼(*Salmo salar* L.)黏液溶菌酶活性升高时,其血清蛋白含量也随之升高<sup>[23]</sup>;在有关大马哈鱼对病菌的抵抗力<sup>[24]</sup>、 $\beta$ -葡聚糖对路斯塔野鲮(*Labeo rohita*)免疫影响<sup>[25]</sup>的研究中也发现了同样的现象。因此 Hutchinson 等<sup>[22]</sup>提出血清溶菌酶水平与血清总蛋白水平相关。本实验中,从 0 周至 12 周,各时间段各处理组南方鲇血清蛋白含量均无显著差异,仅在 16

周时中 CHO 组和高 CHO 组显著高于对照组,而也仅在 16 周时该处理组的血清溶菌酶活性也呈现回升趋势,达到了与对照组差异不显著的水平。可以认为,南方鲇长期摄食 CHO 饲料后,免疫力进行相应的适应性调节的机制之一是溶菌酶类蛋白质的合成速率升高,表观上反映为血清蛋白含量的上升,即可能存在一条“碳水化合物饲料营养胁迫-溶菌酶活力下降-酶蛋白质合成量上升-溶菌酶活力回升”的免疫调节生理生化反应链,这应当是鱼类应对营养胁迫的抗逆机制之一。

付世建和谢小军<sup>[14]</sup>发现,饲料中添加 12%—18% 的碳水化合物(糊化淀粉)时南方鲇的生长率和饲料利用效率最好,提出该水平可作为南方鲇生长的最适碳水化合物水平,碳水化合物水平高于 18%,生长率下降。本研究对鱼体生长状况的观测与已有的研究结果相似(表 2),但有关 CHO 饲料对鱼体免疫力的实验结果却表明,15% 的 CHO 水平即可对南方鲇的免疫力产生显著的抑制作用。Lin 和 Shiau<sup>[8]</sup>在对点带石斑鱼的研究中发现了相似的现象。同样,有关欧洲鲑鱼(*Coregonus lavaretus*)的研究也发现,能对免疫造成抑制影响的 CHO 水平并不影响欧洲鲑鱼的生长<sup>[10,26]</sup>。在已有关于鱼类对饲料 CHO 利用的研究中,多采用生长指标来判别鱼体对 CHO 饲料利用的适宜程度<sup>[10,27]</sup>,本研究的结果表明,采用单一的生长指标判别标准无论从理论认识的角度,还是作为人工养殖的饲料营养学依据都失之偏颇,我们认为应当综合生长状态指标和免疫力指标来评价 CHO 饲料对鱼类的营养胁迫及适合状况。

### 参考文献:

- [1] Hemre G I. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes [J]. *Aquacult. Nutr.*, 2002, 8: 175—194
- [2] Fletcher T C. Dietary effects on stress and health [A]. In: Iwama G K, Pickering, A D, Sumpter J P, Schreck C B (Eds.), *Fish stress and health in aquaculture* [M]. Cambridge, U. K: Cambridge Univ. Press. 1997, 223—246
- [3] Hilton J W. The interaction of vitamins, minerals and diet composition in the diet of fish [J]. *Aquaculture*, 1989, 79: 233—244
- [4] Hilton J W, Hodson P V. Effect of increased dietary carbohydrate on selenium metabolism and toxicity in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. *Nutr.*, 1983, 113: 1241—1248
- [5] Ellis A E. Stress and the modulation of defence mechanisms in fish [A]. In: Pickering A D (Ed.), *Stress in fish* [M]. London/New York: Academic Press. 1981, 147—169

- [ 6 ] Maule A G, Tripp R A, Kaattari S L, Schreck C B. Stress alters the immune function and disease resistance in Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) [J]. *Endocrinol*, 1989, **120**: 135—142
- [ 7 ] Wiik R, Andersen K, Ulgenes I, Egidius E. Cortisol-induced increase in susceptibility of Atlantic salmon, *Salmo salar* together with effects on the blood cell pattern [J]. *Aquaculture*, 1989, **83**: 201—215
- [ 8 ] Lin Y H, Shiau S Y. Dietary lipid requirement of grouper, *Epinephelus malabaricus*, and effects on immune responses [J]. *Aquaculture*, 2003, **225**: 243—250
- [ 9 ] Waagbø R, Glette J, Sandnes K, Hemre G I. Influence of dietary carbohydrate on blood chemistry, immunity and disease resistance in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. [J]. *Fish Dis.*, 1994, **17**: 245—258
- [ 10 ] Vielma J, Koskela J, Ruohonen K, Jokinen I, Kettunen J. Optimal diet composition for European whitefish (*Coregonus lavaretus*): carbohydrate stress and immune parameter responses [J]. *Aquaculture*, 2003, **225**: 3—16
- [ 11 ] Page G I, Hayworth K M, Wade R R, et al. Non-specific immunity parameters and the formation of advanced glycosylation end-products (AGE) in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), fed high levels of dietary carbohydrates [J]. *Aquacult. Res.*, 1999, **30**: 287—297
- [ 12 ] Xie X J. The development of larva of *Silurus soldatovi meridionalis* Chen [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1998, **13**(2): 124—133 [谢小军. 南方大口鲈的幼鱼发育的研究. 水生生物学报, 1989, **13**(2): 124—133]
- [ 13 ] Fu S J, Xie X J. Nutritional homeostasis in carnivorous southern catfish (*Silurus meridionalis*): is there a mechanism for increased energy expenditure during carbohydrate overfeeding [J]? *Comparative biochemistry and Physiology* (Part A), 2004, **139**: 359—363
- [ 14 ] Fu S J, Xie X J. Effect of dietary carbohydrate levels on growth performance in *Silurus meridionalis* Chen [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2005, **29**(4): 393—398 [付世建, 谢小军. 饲料碳水化合物水平对南方鲈生长的影响. 水生生物学报, 2005, **29**(4): 393—398]
- [ 15 ] Lin X Z, Luo Y P, Xie X J. Effects of dietary carbohydrate level on glycolytic enzymes and serum glucose concentrations in the juvenile southern catfish [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(3): 304—310 [林小植, 罗毅平, 谢小军. 不同水平碳水化合物对南方鲈幼鱼餐后糖酵解关键酶活性及血糖浓度的影响. 水生生物学报, 2006, **30**(3): 304—310]
- [ 16 ] Ackerman P A, Forsyth R B, Mazur C F, Iwama G K. Stress hormones and the cellular stress response in salmonids [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2000, **23**: 327—336
- [ 17 ] Luo Y P, Yuan L Q, Cao Z D, Xie X J. The study on haematological parameters of *Mystus macropterus* and *Pelteobagrus vacheli* in Jialing River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2005, **29**(2): 161—166 [罗毅平, 袁伦强, 曹振东, 谢小军. 嘉陵江大鳍鱮和瓦氏黄颡鱼血液学指标的研究. 水生生物学报, 2005, **29**(2): 161—166]
- [ 18 ] Hultmark D. Insect immunity: Purification and properties of three inducible bactericidal proteins from hemolymph of immunized pupae of *Hyalophora cecropia* [J]. *Eur. J Biochem.*, 1980, **106**: 7—16
- [ 19 ] Bradford M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle dye binding [J]. *Analytical Biochemistry*, 1976, **72**: 248—254
- [ 20 ] Lie Ø, Evensen Ø, Sorensen A, Froysadal E. Study on lysozyme activity in some fish species [J]. *Diseases of Aquatic Organisms*, 1989, **6**: 1—5
- [ 21 ] Cronin M A, Cullopy S C, Mulcahy M F. Lysozyme activity and protein concentration in the haemolymph of the flat oyster *Ostrea edulis* [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2001, **11**: 611—622
- [ 22 ] Hutchinson T H, Manning M J. Seasonal trends in serum lysozyme activity and total protein concentration in dab (*Limanda limanda* L.) sampled from Lyme Bay, U. K. [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 1996, **6**: 473—482
- [ 23 ] Fagan M S, O'Byrne-Ring N, Ryan R, Cotter D, Whelan K, Evilly U M. A biochemical study of mucus lysozyme, proteins and plasma thyroxine of Atlantic salmon (*Salmo salar*) during smoltification [J]. *Aquaculture*, 2003, **222**: 287—300
- [ 24 ] Rungruangsak-Torrissen K, Wergeland H I, Glette J, Waagbø R. Disease resistance and immune parameters in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) with genetically different trypsin isozymes [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 1999, **9**: 557—568
- [ 25 ] Misra C K, Das B K, Mukherjee S C, Pattnaik P. Effect of long term administration of dietary  $\beta$ -glucan on immunity, growth and survival of *Labeo rohita* fingerlings [J]. *Aquaculture*, 2006, **255**: 82—94
- [ 26 ] Ruohonen K, Koskela J, Vielma J, Kettunen J. Optimal diet composition for European whitefish (*Coregonus lavaretus*): analysis of growth and nutrient utilisation in mixture model trials [J]. *Aquaculture*, 2003, **225**: 27—39
- [ 27 ] Kumar S, Sahu N P, Pal A K, et al. Effect of dietary carbohydrate on haematology, respiratory burst activity and histological changes in *L. rohita* juveniles [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2005, **19**: 331—344

## EFFECT OF DIETARY STARCH LEVEL ON IMMUNITY IN THE SOUTHERN CATFISH (*SILURUS MERIDIONALIS* CHEN)

LI Qiang, XIE Xiao-Jun, LUO Yi-Ping and LIN Xiao-Zhi

(*Institute of Hydrobiology, School of Life Sciences, Southwest-China University, Chongqing 400715*)

**Abstract:** To study the effect of dietary CHO level on immunity in the southern catfish, the serum lysozyme activity, antibacterial activity and total serum protein concentration were measured in the fish fed with the control, middle level and high level carbohydrate (CHO) diets containing 0%, 15% and 30% gelatinized corn starch, respectively. The southern catfish, *Silurus meridionalis* Chen ( $20.7 \pm 0.5$ ) g were acclimated with the control diet for 15d at  $27.5 \pm 0.2^\circ\text{C}$ . The feeding growth experiment lasted for 0, 2, 4, 8, 12 and 16 weeks in the recirculated water system. The lysozyme activity in the fish at middle CHO level was significantly lower than that in the control group only at the 4<sup>th</sup> and the 12<sup>th</sup> week ( $p < 0.05$ ), and lysozyme activity in the fish at high CHO level was significantly lower than that in the control group from the 2<sup>nd</sup> week to the 12<sup>th</sup> week ( $p < 0.05$ ), while no significant difference was found between the two groups at the 16<sup>th</sup> week. Antibacterial activity in the fish at either middle or high CHO level was significantly lower than the control from the 4<sup>th</sup> to 16<sup>th</sup> week ( $p < 0.05$ ), but there was no significant difference between the former two groups. The total serum protein concentration in the fish at high CHO level and the middle CHO level were significantly higher than the control only at 16<sup>th</sup> week ( $p < 0.05$ ), and there was no significant difference among the three groups at other sampling time. Although negative influence of dietary CHO of 15% on immunity was observed in the southern catfish, growth performance was not affected. And the negative influence increased with increasing CHO level. It can be concluded that the CHO is an important factor that restrains the immunity in the southern catfish. Accelerating synthesis of lysozyme protein should be one of the adaptive mechanisms in the fish under a long term of dietary CHO stress, which resulted in the increased serum protein. The results indicated that an optimum carbohydrate diet should be evaluated by examining its influence on both growth and immunity in this fish.

**Key words:** *Silurus meridionalis* Chen; Carbohydrate; Lysozyme activity; Antibacterial activity; Serum protein