

高温应激下果寡糖水平对团头鲂血液 免疫和抗氧化指标的影响

张春暖, 张纪亮, 任洪涛, 关文超

(河南科技大学 动物科技学院, 河南 洛阳 471003)

摘要: 为研究高温应激条件下果寡糖 (FOS) 水平对团头鲂 *Megalobrama amblycephala* 血液免疫和抗氧化指标的影响, 将 360 尾体质量 (13.5±0.5) g 的团头鲂随机分为 3 组, 每组设 4 个重复, 每个重复放 30 尾鱼, 3 组分别投喂含有果寡糖 0 (对照)、0.4% 和 0.8% 的日粮, 饲养 8 周后, 用 34 °C 的高温对鱼进行高温应激试验, 并采用比色法和酶联免疫吸附法对团头鲂血液免疫和抗氧化指标进行测定。结果表明: 高温应激前, 谷草转氨酶 (GOT) 和碱性磷酸酶 (AKP) 活力各组间无显著性差异 ($P>0.05$); FOS 添加组的谷丙转氨酶 (GPT) 活力显著低于对照组 ($P<0.05$); 0.4% FOS 组的 GPT 活力在应激后 24 h 显著低于对照组 ($P<0.05$), 而 0.8% FOS 组与对照组无显著性差异 ($P>0.05$); 0.4% FOS 组 AKP 活力在应激后 12 h 显著高于其余两组 ($P<0.05$); 0.4% FOS 组补体 3 (C3) 和补体 4 (C4) 活力在应激前显著高于对照组 ($P<0.05$), 0.4% FOS 组补体 C4 含量在应激后 3 h 和 6 h 时显著高于对照组 ($P<0.05$); 添加 FOS 后, 超氧化物歧化酶 (SOD) 活力有升高趋势, 但各组间无显著性差异 ($P>0.05$); 过氧化氢酶 (CAT) 和总抗氧化酶 (T-AOC) 活力在高温应激后呈现先升高后降低的趋势, 并在 6 h 时达到最大值; 0.4% FOS 组 CAT 活力在应激前显著高于对照组 ($P<0.05$), 而该组 T-AOC 活力在应激后 3、6 h 显著高于对照组 ($P<0.05$); 丙二醛 (MDA) 含量在应激后呈现上升的趋势, 且 0.4% FOS 组在应激前和应激后 48 h 时显著低于其他两组 ($P<0.05$); 果寡糖添加水平和采样时间两者间无显著的交互作用 ($P>0.05$)。研究表明, 饲料中添加 0.4% 的 FOS 能够提高团头鲂血液的免疫指标水平和抗氧化能力, 增强团头鲂抗高温应激的能力。

关键词: 团头鲂; 果寡糖; 高温应激; 免疫; 抗氧化

中图分类号: S963.73

文献标志码: A

温度是影响鱼类生长、发育、摄食、代谢等的重要环境因素之一。鱼类作为变温动物对温度的变化比较敏感, 研究表明, 过高或过低的温度都会引起水产动物非特异免疫及抗氧化系统发生变化^[1-6]。

团头鲂 *Megalobrama amblycephala* 隶属于鲤形目、鲤科、鲂属, 俗称武昌鱼, 主要分布于长江中下游的静水湖泊中。团头鲂是中国重要的草食性经济鱼类之一, 作为优良的草食性鱼类品种, 由于其食性广、成活率高、饲养周期短、易于捕捞, 在全国得以普遍推广, 年产量可达 70 多万 t, 但该品种不耐应激, 高温季节容易出现摄食量下降、饵料利用率低、生长缓慢、抗病力差等问题。因此, 研究在高温条件下血液指标的变化, 这对减少高温应激可能给团头鲂带来的危害具有重要的理论价值和实

际意义。

果寡糖作为一种有效的免疫增强剂, 可以调控机体免疫, 防止机体氧化损伤, 维持机体正常生理活动^[7-11], 关于添加不同水平的果寡糖对提高团头鲂免疫功能的效果笔者之前已有研究。本试验中, 通过饲喂添加不同水平的果寡糖饲料, 并对团头鲂进行高温应激, 研究了高温应激下果寡糖水平对团头鲂血液免疫指标和抗氧化指标的影响, 探讨了果寡糖缓解高温应激的功效, 旨在为团头鲂养殖过程中出现的高温应激问题提供解决方案和理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验用团头鲂由江苏南京浦口基地提供, 选取 360 尾大小一致、体格健壮的团头鲂用于试验。

1.2 方法

1.2.1 试验饲料的制备 基础日粮饲料配方及营养水平如表 1 所示。以鱼粉、豆粕、菜粕和棉粕为蛋白源, 豆油为脂肪源, 制成粗蛋白质、粗脂肪含量分别为 32.0% 和 5.5% 的基础日粮, 两组试验饲料中果寡糖的添加水平分别 0.4% 和 0.8%, 添加

表 1 日粮组成及营养水平 (风干基础)

Tab. 1 Composition and nutrient levels of the diets (air dry basis)

w/%

组别 group	日粮组成 composition of the diet			营养水平 nutrient level				
	麸皮 wheat bran	果寡糖 FOS	其他 other	水分 moisture	粗蛋白质 crude protein	粗脂肪 crude fat	粗灰分 crude ash	
对照组	13.3	0.0	86.7	10.23	32.01	5.45	3.90	
0.4% FOS	12.9	0.4	86.7	10.18	31.18	5.52	3.92	
0.8% FOS	12.5	0.8	86.7	10.33	32.01	5.53	3.97	

注: 原料中还包括鱼粉 6.0%, 豆粕 30.0%, 菜粕 14.0%, 棉粕 14.0%, 次粉 15.0%, 磷酸二氢钙 1.8%, 预混料 1.0%, 豆油 3.5%, 膨润土 1.0%, 食盐 0.4%, 其中预混料中包含的矿物质和维生素含量见文献[10]

Note: The test diets containing: fish meal 6.0%, soybean meal 30.0%, rapeseed meal 14.0%, cotton seed meal 14.0%, wheat middling 15.0%, monocalcium phosphate 1.8%, premix 1.0%, oil 3.5%, bentonite 1.0%, table salt 0.4%, minerals and vitamins in premix available in the literature [10]

1.2.2 饲养管理 将初体质量为 (13.5±0.5) g 的试验鱼暂养 2 周, 待鱼情稳定后, 将鱼随机分为 3 组, 每组设 4 个重复, 每缸放 30 尾鱼, 对照组投喂基础日粮, 试验组一投喂添加 0.4% FOS 的基础日粮 (记为 0.4% FOS 组), 试验组二投喂添加 0.8% FOS 的基础日粮 (记为 0.8% FOS 组), 每天于 7:30、12:30、17:30 进行投喂, 日投饵量为鱼体质量的 3%~5%, 并根据摄食情况进行调整, 饲养试验持续 8 周, 饲养期间保证溶氧 > 5.0 mg/L, 水温为 (26.0±0.5) °C, 水体 pH 为 7.0~8.0, 氨氮 < 0.3 mg/L。

1.2.3 高温应激试验 饲养试验结束后, 把试验鱼转移到水族箱中, 稳定 2 d 后, 用加热棒将水温加热至 34 °C, 每隔 2 h 测一次水温, 保证温度基本稳定, 分别于应激前 0 h 和应激后 3、6、12、24、48 h 进行采样。

1.2.4 样品的采集与测定 分别在应激前后的各个时间点随机从每缸中取 3 尾鱼, 用 100 mg/L 的 MS-222 麻醉, 尾静脉采血, 样品于冰箱 (4 °C) 中静置 2 h, 以 3000 g 离心 10 min, 取上清液置于离心管中, 并将离心管放置于冰箱 (-70 °C) 中保存备用。

采用葡萄糖氧化酶法测定谷丙转氨酶 (GPT) 和谷草转氨酶 (GOT), 采用比色法测定碱性磷酸酶 (AKP), 采用酶联免疫吸附法测定补体 3 (C3) 和补体 4 (C4) 含量, 分别采用黄嘌呤氧化酶法、紫外吸收法、比色法和硫代巴比妥酸法测定

果寡糖的量通过麸皮来进行调整。另设不添加果寡糖的对照组。果寡糖由日本明治集团提供, 主要由蔗果三糖、蔗果四糖、蔗果五糖组成, 有效成分 ≥ 95%, 其他成分 < 5%; 饲料原料经粉碎机粉碎后, 过 60 目筛, 用逐级扩大法混匀后, 用颗粒机制成直径为 0.5 mm 的颗粒饲料, 在 50 °C 烘箱中烘干后, 置于冰箱 (4 °C) 中保存备用。

超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT)、总抗氧化酶 (T-AOC) 活力和丙二醛 (MDA) 含量, 以上所用试剂盒均购自南京建成生物有限公司, 详细操作步骤见说明书。

1.3 数据处理

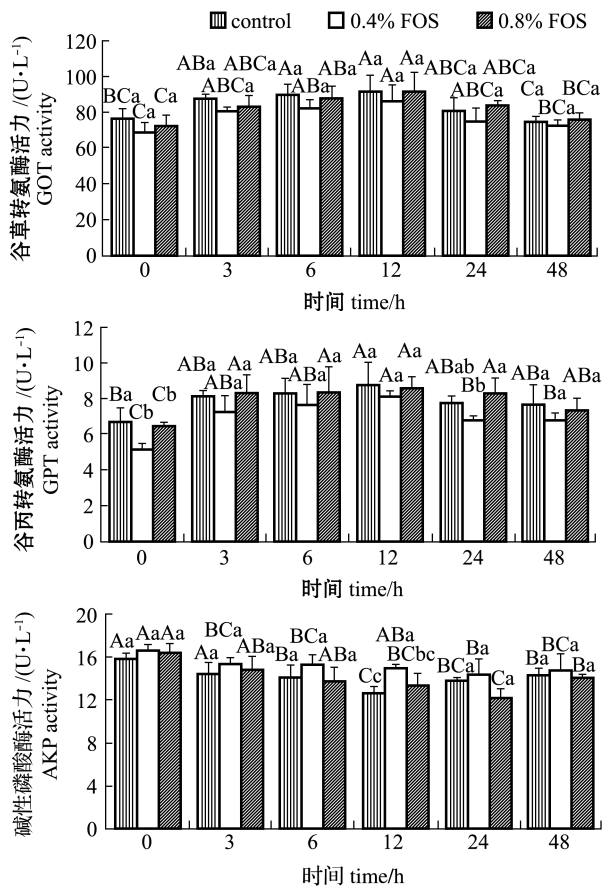
采用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件对试验数据进行处理和统计分析, 采用 Two-way ANOVA 分析果寡糖水平和采样时间是否存在交互作用, 若交互作用显著, 则采用 Tukey's 多重比较法检验各组间差异, 试验结果以平均值 ± 标准误 (mean ± S. E.) 表示, 显著性水平设为 0.05。

2 结果与分析

2.1 高温应激下不同果寡糖水平对团头鲂血清 GPT、GOT 和 AKP 活力的影响

由图 1 可知: 在高温应激下, 团头鲂血清 GOT、GPT 和 AKP 活力受果寡糖水平和采样时间的显著影响 ($P < 0.05$), 但是二者的交互作用并不显著 ($P > 0.05$); 各组 GOT 和 GPT 活力随时间的延长呈先升高后降低趋势, 均在应激后 12 h 时达到最大值, AKP 活力在高温应激后随时间的延长也呈先升高后降低趋势。在应激前 (0 h), GOT 和 AKP 活力在各组间无显著性差异 ($P > 0.05$), 试验组 GPT 活力显著低于对照组 ($P < 0.05$); 高温应激后, 添加 FOS 组的 GOT 活力有先升高后降

低趋势,但同一时间点各组间无显著性差异 ($P > 0.05$); 24 h 时 0.4% FOS 组 GPT 活力在应激后低于对照组,而 0.8% FOS 组活力高于对照组,但无显著性差异 ($P > 0.05$); 12 h 时 0.4% FOS 组 AKP 活力在高温应激后显著高于其他两组 ($P < 0.05$)。



注:不同大写字母表示同一个组在不同时间点有显著性差异 ($P < 0.05$),不同小写字母表示同一时间点不同组间有显著性差异 ($P < 0.05$),下同

Note: Different capital letters above the bars indicate significant differences ($P < 0.05$) at different time within the same group and different small letters above the bars indicate significant differences ($P < 0.05$) in different groups at the same time in Tukey's multiple range test, et sequentia

图 1 高温应激下果寡糖对团头鲂血清 GOT、GPT、AKP 活力的影响

Fig. 1 Effects of FOS on activities of GOT, GPT, and AKP in plasma of blunt snout bream *Megalobrama amblycephala* exposed to thermal stress

2.2 高温应激下不同果寡糖水平对团头鲂血清 C3 和 C4 含量的影响

由图 2 可知:在高温应激下,各组血清 C3 和 C4 含量受果寡糖含量和采样时间的影响显著 ($P < 0.05$),但二者的交互作用并不显著 ($P > 0.05$); C3 和 C4 分别在 0~12 h 和 0~6 h 呈升高趋势,之

后则出现降低趋势;在高温应激前,0.4% FOS 组 C4 含量显著高于对照组 ($P < 0.05$),但 0.8% FOS 组与对照组无显著性差异 ($P > 0.05$);高温应激后,0.4% FOS 组 C3 含量有升高趋势,但各组间均无显著性差异 ($P > 0.05$),0.4% FOS 组 C4 含量在应激后 3、6 h 时均显著高于对照组 ($P < 0.05$),在其他时间点各组间无显著性差异 ($P > 0.05$)。

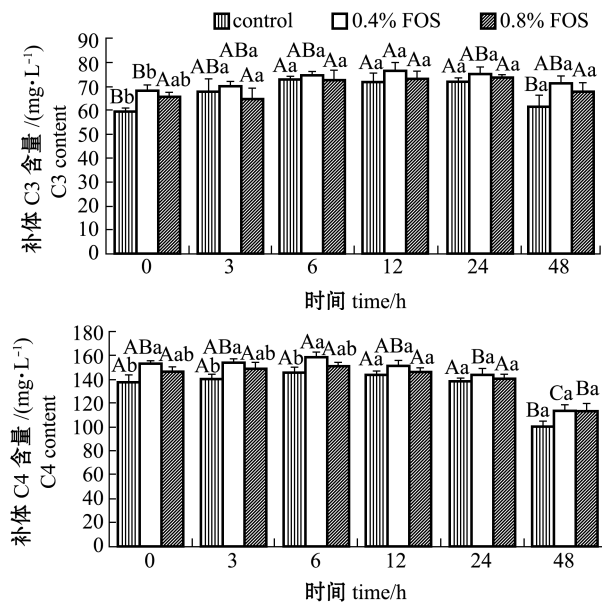


图 2 高温应激下果寡糖对团头鲂血液补体 C3、C4 含量的影响

Fig. 2 Effects of FOS on plasma C3, C4 levels of blunt snout bream *Megalobrama amblycephala* exposed to thermal stress

2.3 高温应激下果寡糖水平对团头鲂血清 SOD、CAT、T-AOC 活力和 MDA 含量的影响

由图 3 可知:在高温应激下,各组 SOD、CAT、T-AOC 活力和 MDA 含量均受果寡糖水平和采样时间的显著影响 ($P < 0.05$),但果寡糖和采样时间的交互作用并不显著 ($P > 0.05$); SOD 活力在各个时间点无显著性差异 ($P > 0.05$),添加 FOS 的试验组 SOD 活力有升高趋势,但各组间无显著性差异 ($P > 0.05$); CAT 和 T-AOC 活力在高温应激后呈现先升高后降低的趋势,并在 6 h 时达到最大值,0.4% FOS 组 CAT 活力在应激前显著高于 0.8% FOS 组 ($P < 0.05$),但与对照组无显著性差异 ($P > 0.05$),T-AOC 活力在应激后 3 h 和 6 h 时,0.4% FOS 组显著高于对照组 ($P < 0.05$),在其他时间点各组间 T-AOC 活力无显著性差异 ($P > 0.05$); MDA 含量在应激后呈现上升的趋势 ($P < 0.05$),且 0.4% FOS 组 MDA 含量在应激后 48 h 时显著低于其他两组 ($P < 0.05$)。

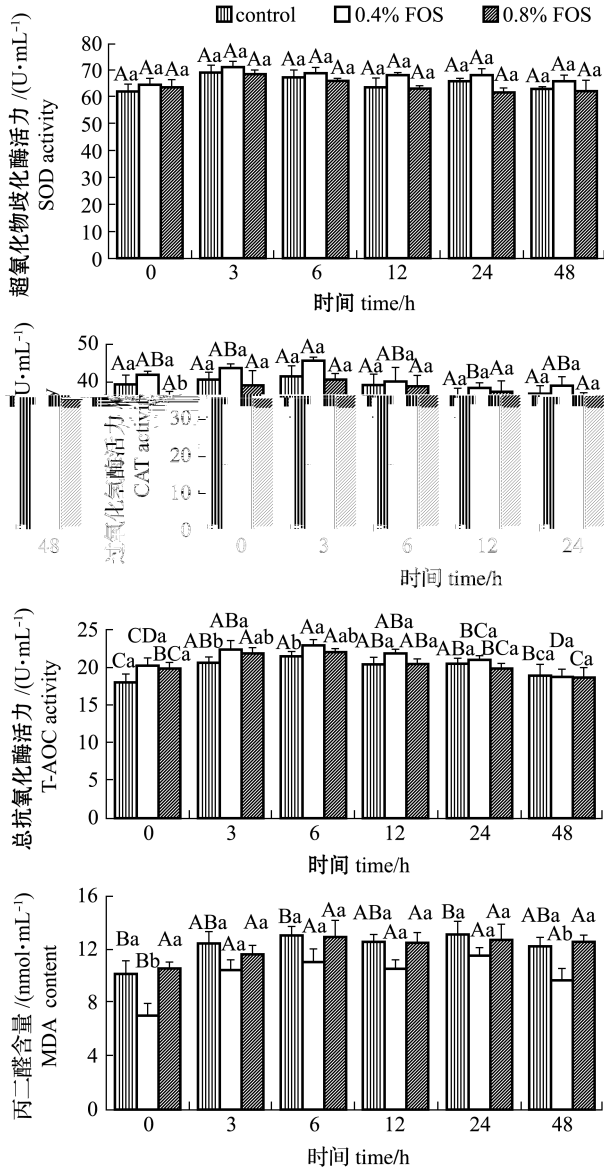


图3 高温应激下果寡糖对团头鲂血清SOD、CAT、T-AOC、MDA含量的影响

Fig. 3 Effects of FOS on activities of SOD, CAT, and T-AOC and MDA levels in plasma of blunt snout bream *Megalobrama amblycephala* under heat stress

3 讨论

3.1 果寡糖水平对高温应激条件下团头鲂血清免疫指标活力的影响

本研究中, 高温应激下团头鲂血清GPT和GOT活力随应激时间的延长呈先升高后降低的趋势, 在应激后12 h时GPT和GOT活力达到了最大值。机体处于高温条件下, 血液中GPT和GOT的活力增强, 这可能是因为机体肝脏细胞受损, 细胞膜的稳定性被破坏, 而通透性会增大, GPT和

GOT被释放到血液中, 但是机体的自我调节能力是有限的, 随着应激时间的延长, 这些酶的活力又有一定程度的降低。Jeney等^[12]研究表明, 鲤*Cyprinus carpio*受到环境胁迫后, 血清GPT活力出现相似的变化趋势。在对团头鲂和尼罗罗非鱼*Oreochromis niloticus*类似的研究中也有报道^[13-14]。本研究结果表明, 饲料中添加0.4% FOS后, 团头鲂血清中GPT和GOT活力在高温应激前后均有一定程度的降低, 这表明果寡糖在高温应激情况下有保护肝细胞和心肌细胞不受损伤的作用, 但0.8% FOS组和对照组并无显著性差异。AKP能够通过改变病原体表面的分子结构, 起到保护机体不受损害的作用, 其活力在一定程度上能反映机体的免疫活力和对病原体的吞噬能力^[15]。本研究中发现, 在高温应激条件下AKP处于下降的趋势, 这可能是由于该酶不耐高温, 高温会抑制该酶的活力。而饲料中添加0.4% FOS时, 团头鲂血清中AKP活力有升高趋势, 并且0.4% FOS组在高温应激后12 h时AKP活力显著高于对照组, 而0.8% FOS组与对照组无显著性差异, 这表明果寡糖的添加水平和应激时间都会影响团头鲂血液免疫活力的变化。

血清补体活力是一项重要的特异性防御指标, 能够保护机体抵御病原菌和病毒的侵袭^[16], C3、C4是补体系统中固有的成分, 发挥着免疫调节的功能^[17]。本研究中发现, 随着应激时间的延长, 补体C3、C4含量均出现先升高后降低的趋势, 并分别在应激后的6 h和12 h时达到了最大值, 这可能是由于在应激的初始阶段, C3、C4发挥对细胞的保护功能, 机体通过分泌一些特定蛋白来增强机体的免疫力, 从而避免机体受到损伤^[18]。刘波^[19]对团头鲂的研究也表明, 高温应激显著提高了补体C3和C4的水平。但是随着应激时间的延长, 机体抗应激能力超过自我保护的范围时, 出现活力下降的趋势。因此, 随着应激时间的延长, C3、C4含量开始降低。周显青等^[20]研究表明, 应激降低了中华幼鳖补体含量。鱼类受到温度应激后, 鱼体的免疫机能会受到影响, 但是添加0.4% FOS对免疫抑制有缓解作用, 0.4% FOS组C4含量在应激后3 h和6 h时显著高于对照组, 而0.8% FOS组与对照组无显著性差异, 再次证明了FOS添加水平对团头鲂免疫调节的影响, 果寡糖的这种保护作用可能与肠道内益生菌生长和增殖有关, 益生菌的细胞壁成分有增强免疫的功能。另外, 果寡糖刺激机体产生的一些细胞因子也可以间接地调节内分泌活动, 分泌的激素又可以调节机体免疫应答。

3.2 果寡糖水平对高温应激下团头鲂血清抗氧化功能的影响

在正常情况下,鱼类机体内有完整的抗氧化系统,能够保证氧化和抗氧化之间的动态平衡,但高温应激会打破这种平衡,使机体内自由基增多,脂质过氧化物的含量增加,诱发氧化损伤^[21]。MDA作为脂质过氧化的最终分解产物之一,高温下含量增加,表明高温应激引起了团头鲂氧化应激的加重。刘波等^[22]报道,在高温应激下,罗氏沼虾肝胰腺 T-AOC、CAT、SOD 活力呈现降低趋势,MDA 含量呈现增加趋势;类似的试验结果在金鱼 *Carassius auratus* 的研究中也有报道^[23-24]。SOD、CAT、GPX 是清除自由基的重要物质,T-AOC 是一项能够反映机体总抗氧化功能的综合性指标。本研究表明,血清中 CAT 和 T-AOC 活力随着高温应激时间的延长而呈现先升高后降低的趋势,并在应激后的 6 h 达到最大值,应激初期,鱼体启动自身的抗氧化功能,激活抗氧化酶诱导酶的活力,进而提高机体的抗氧化能力,但是机体的抗氧化功能有一定的限度,当应激产生的自由基超过鱼体本身的清除能力时,鱼体出现氧化应激状态,各项抗氧化酶活力会出现降低趋势,但是饲料中添加 0.4% FOS 后这些指标活力均有不同程度的提高,表明饲料中添加适宜水平的果寡糖,可提高鱼体的抗氧化水平,增强团头鲂对高温应激的作用,但是过高水平的果寡糖却不能起到保护作用。果寡糖的抗氧化功能可能与它的益菌保护作用有关,如乳酸菌的代谢产物具有一定的抗氧化功能^[25];另外,果寡糖也可能通过调节肠道微生物平衡来促进机体的抗氧化功能。本研究还表明,添加适宜水平的果寡糖,血液中 MDA 含量在应激前后均有不同程度的降低,这表明果寡糖有清除自由基的能力,可增强团头鲂的抗氧化能力。

综上所述,饲料中添加 0.4% FOS 能提高团头鲂血液免疫酶和抗氧化酶的活力,能增强团头鲂的免疫功能和抗氧化功能,并提高抗高温应激能力。

参考文献:

[1] Hsieh S L, Chen Y N, Kuo C M. Physiological responses, desaturase activity, and fatty acid composition in milkfish (*Chanos chanos*) under cold acclimation [J]. *Aquaculture*, 2003, 220(1-4): 903-918.

[2] Ndong D, Chen Yuyuan, Lin Y H, et al. The immune response of tilapia *Oreochromis mossambicus* and its susceptibility to *Streptococcus iniae* under stress in low and high temperatures [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2007, 22(6): 686-694.

[3] 韩京成, 刘国勇, 梅朋森, 等. 温度对鲫血液生化指标和消化酶的影响 [J]. *水生态学杂志*, 2010, 3(1): 87-92.

[4] 李大鹏, 刘松岩, 谢从新, 等. 水温对中华鲟血清活性氧含量及抗氧化防御系统的影响 [J]. *水生生物学报*, 2008, 32(3): 327-332.

[5] 强俊, 杨弘, 王辉, 等. 急性温度应激对吉富品系尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 幼鱼生化指标和肝脏 HSP70 mRNA 表达的影响 [J]. *海洋与湖泊*, 2012, 43(5): 943-953.

[6] 王荻, 刘红柏. 施氏鲟抗热应激中草药免疫制剂的筛选 [J]. *大连海洋大学学报*, 2016, 31(6): 635-639.

[7] Domingue M, Takemura A, Tsuchiya M, et al. Impact of different environmental factors on the circulating immunoglobulin levels in the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* [J]. *Aquaculture*, 2004, 241(1-4): 491-500.

[8] Mahious A, Gatesoupe F J, Hervi M, et al. Effect of dietary inulin and oligosaccharides as prebiotics for weaning turbot, *Psetta maxima* (Linnaeus, 1758) [J]. *Aquaculture International*, 2006, 14(3): 219-229.

[9] Soleimani N, Hoseinifar S H, Merrifield D L, et al. Dietary supplementation of fructooligosaccharide (FOS) improves the innate immune response, stress resistance, digestive enzyme activities and growth performance of Caspian roach (*Rutilus rutilus*) fry [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2012, 32(2): 316-321.

[10] Zhang Chunnuan, Li Xiangfei, Xu Weina, et al. Combined effects of dietary fructooligosaccharide and *Bacillus licheniformis* on innate immunity, antioxidant capability and disease resistance of triangular bream (*Megalobrama terminalis*) [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2013, 35(5): 1380-1386.

[11] Zhang Qin, Ma Hongming, Mai Kangsen, et al. Interaction of dietary *Bacillus subtilis* and fructooligosaccharide on the growth performance, non-specific immunity of sea cucumber, *Apostichopus japonicus* [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2010, 29(2): 204-211.

[12] Jeney G, Nemcsok J, Jeney Z, et al. Acute effect of sublethal ammonia concentrations on common carp (*Cyprinus carpio* L.): II. effect of ammonia on blood plasma transaminases (GOT, GPT), GDH enzyme activity, and ATP value [J]. *Aquaculture*, 1992, 104(1-2): 149-156.

[13] 周明, 刘波, 戈贤平, 等. 不同水平维生素 E 对高温应激及常温恢复后团头鲂血清生化指标、肠道抗氧化能力的影响 [J]. *水产学报*, 2013, 37(9): 1369-1377.

[14] 祝璟琳, 李大宇, 邹芝英, 等. 高温应激下无乳链球菌感染对尼罗罗非鱼血清生化指标和组织病理的影响 [J]. *水产学报*, 2016, 40(3): 445-456.

[15] 明建华, 谢骏, 徐跑, 等. 大黄素、维生素 C 及其配伍对团头鲂感染嗜水气单胞菌后生理生化指标的影响 [J]. *中国水产科学*, 2011, 18(3): 588-601.

[16] Tort L, Gómez E, Montero D, et al. Serum haemolytic and agglutinating activity as indicators of fish immunocompetence: their suitability in stress and dietary studies [J]. *Aquaculture International*, 1996, 4(1): 31-41.

[17] Holland M C H, Lambris J D. The complement system in teleosts [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2002, 12(5): 399-420.

[18] Wu Chuxin, Zhao Fengyun, Zhang Yuan, et al. Overexpression of

- Hsp90 from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) increases thermal protection against heat stress[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2012, 33(1): 42–47.
- [19] 刘波. 高温应激与大黄萸醌提取物对团头鲂生理反应及相关应激蛋白表达的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [20] 周显青, 牛翠娟, 孙儒泳. 黄芪和酸应激对中华鳖幼鳖血清补体 C3 和 C4 含量的影响[J]. *动物学研究*, 2002, 23(2): 177–180.
- [21] Shustanova T A, Bondarenko T I, Miliutina N P. Free radical mechanism of the cold stress development in rats[J]. *Rossiiskii Fiziologicheskii Zhurnal Imeni I. M. Sechenova*, 2004, 90(1): 73–82.
- [22] 刘波, 明俊超, 谢骏, 等. 大黄萸醌提取物对罗氏沼虾高温下抗氧化能力与热应激蛋白 70 基因表达的影响[J]. *水产学报*, 2010, 34(6): 792–800.
- [23] Lushchak V I, Bagnyukova T V. Temperature increase results in oxidative stress in goldfish tissues: 1. indices of oxidative stress[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 2006, 143(1): 30–35.
- [24] Jung S J, Choi Y J, Kim N N, et al. Effects of melatonin injection or green-wavelength LED light on the antioxidant system in goldfish (*Carassius auratus*) during thermal stress[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2016, 52: 157–166.
- [25] Wang C H, Lai P, Chen Meien, et al. Antioxidative capacity produced by *Bifidobacterium*- and *Lactobacillus acidophilus*-mediated fermentations of konjac glucomannan and glucomannan oligosaccharides[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2008, 88(7): 1294–1300.

Effects of fructo-oligosaccharide on immune response and antioxidant capability in serum of blunt snout bream *Megalobrama amblycephala* exposed to thermal stress

ZHANG Chun-nuan, ZHANG Ji-liang, REN Hong-tao, GUAN Wen-chao

(College of Animal Science and Technology, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: A total of 360 individuals of blunt snout bream *Megalobrama amblycephala* with body weight of (13.5 ± 0.5) g was randomly stocked into a tank with a stocking density of 30 fish and fed diets containing fructo-oligosaccharide (FOS) at a dose of 0, 0.4% and 0.8% with four replication for 8 weeks and then activities of immune enzymes and antioxidant capability were detected in serum of 24 fish per tank exposed to 34 °C by a colorimetry and an enzyme linked immunosorbent assay in order to explore effects of FOS on immune response and antioxidant capability of blunt snout bream under heat stress. The results showed that there were no significant differences in activities of glutamic oxalo acetic transaminase (GOT) and alkline phosphatase (AKP) among all groups in the fish without thermal stress ($P > 0.05$). Meanwhile, there were significantly lower activities of glutamic pyruvic transaminase (GPT) in the fish fed the diets containing FOS than that in the control group ($P < 0.05$). The blunt snout bream fed the diet containing 0.4% of FOS group had significantly lower GPT activity ($P < 0.05$) than the animals fed the diet containing 0.8% of FOS, without significant difference between in 0.8% FOS group and the control group in 24 h ($P > 0.05$). The fish fed the diet containing 0.4% of FOS exposed to 34 °C for 12 h showed significantly higher AKP activity than the fish in the other groups did ($P < 0.05$). There were significantly higher complement 3 (C3) and complement 4 (C4) in 0.4% FOS than that in the control without thermal stress ($P < 0.05$) and with 3 h and 6 h thermal stress, without significant difference between the control and the 0.8% FOS group ($P > 0.05$). There were increase in activities of superoxide dismutase (SOD) and total antioxidant enzyme (T-AOC) among all groups with thermal stress, without significant difference ($P > 0.05$). The activities of catalase (CAT) and T-AOC were shown to be significantly higher first in fish fed the diet containing 0.4% of FOS than those in the control group ($P < 0.05$), the maximum in 6 h thermal exposure, significantly higher T-AOC activity in 0.4% FOS group compared to that in the control group at 3 h and 6 h thermal exposure ($P < 0.05$). The malondialdehyde (MDA) contents were increased first and then decreased with thermal stress, significantly lower in 0.4% FOS group than that of the control group in 0 h and 48 h thermal exposure ($P < 0.05$). In addition, there was no significant interaction between the FOS levels and the sampling time ($P > 0.05$). In conclusion, dietary supplementation of 0.4% FOS may effectively relieve the adverse effects of heat stress on blunt snout bream.

Key words: *Megalobrama amblycephala*; fructo-oligosaccharide; heat stress; immunity; antioxidant