

黄伟卿, 汤桂津, 吴秀珠, 等. 饲料中添加太子参提取液对大黄鱼血液免疫指标的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(20): 206–211.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.20.031

饲料中添加太子参提取液对大黄鱼血液免疫指标的影响

黄伟卿^{1,2,3}, 汤桂津¹, 吴秀珠¹, 刘 铮¹, 林培华³, 阮少江¹, 郭团玉⁴, 宋 炜⁵

(1. 宁德师范学院生命科学学院, 福建宁德 352100; 2. 闽东水产品精深加工福建省高校工程研究中心, 福建宁德 352100;
3. 福建省宁德市鼎诚水产有限公司, 福建宁德 352100; 4. 厦门海洋职业技术学院海洋生物学院, 福建厦门 361000;
5. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

摘要:将太子参根须提取液(浓度为 40 mg/mL)分别按添加量 0.5% ($C_{0.5}$)、1.0% ($C_{1.0}$)、1.5% ($C_{1.5}$) 和 2.0% ($C_{2.0}$) 添加饲料饲喂大黄鱼, 在饲喂 15、30、60、120 d 分别抽取血液进行吞噬活性测定, 同时分离血清测定免疫球蛋白(IgG)含量、过氧化氢酶(CAT)活性、溶菌酶(LZM)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性等生化指标, 探究太子参提取液对大黄鱼血液免疫指标的影响, 试验周期为 120 d。结果显示: (1) 饲喂 30 d 时, $C_{1.0}$ 组的 SOD 活性 [(343.74 ± 0.13) U/mg] 和 IgG 含量 [(0.42 ± 0.06) g/L] 最大, $C_{0.5}$ 组的 LZM 活性 [(7.35 ± 0.02) U/mL] 达到最高值; 饲喂 15 d 时 $C_{1.5}$ 组的 CAT 活性 [(5.75 ± 0.02) U/mL] 最高。随着饲喂时间增加, 各血清免疫指标均出现一定程度上的先上升后下降再上升的趋势, SOD 活性除 60 d 外, 其余时间点各试验组均高于对照组。而添加太子参提取液各试验组 IgG 含量仅在 120 d 时比对照组低。(2) 饲喂 120 d 时, 添加太子参提取液各试验组其吞噬百分率和吞噬指数均显著高于对照组 ($P < 0.05$), $C_{1.0}$ 组吞噬细胞的吞噬百分率 (63.3 ± 0.03)% 和吞噬指数 (2.70 ± 0.10) 最大。综上所述, 太子参提取液具有提高大黄鱼非特异性免疫功效, 以添加量 0.5% ~ 1.5% 为宜。

关键词: 大黄鱼; 太子参提取液; 血液; 免疫指标; 吞噬指数

中图分类号: S965.322 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)20-0206-06

大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 属鲈形目

收稿日期: 2021-11-03

基金项目: 国家重点研发计划——蓝色粮仓科技创新专项(编号: 2019YFD0900904); 福建省高校产学研联合创新项目(编号: 2021N5005); 中央引导地方科技发展专项(编号: 2021L3030、2021L3063); 福建省科技计划引导性项目(编号: 2020Y0059); 福建省特色药用植物工程技术研究中心开放课题(编号: PP202101); 青岛海洋科学与技术试点国家实验室山东省专项经费(编号: 2022QNL030001-1)。

作者简介: 黄伟卿(1988—), 男, 福建漳州人, 副教授, 从事水产增殖研究。E-mail: 393634584@qq.com。

通信作者: 郭团玉, 正高级实验师, 从事水产生物养殖研究。E-mail: gty200999@163.com。

体Ⅱβ(*MHCⅡβ*)基因的克隆、表达和多态性[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2018, 57(1): 7–20.

[13] 田照辉, 徐绍刚, 王 巍, 等. 急性热应激对西伯利亚鲟 HSP70 mRNA 表达、血清皮质醇和非特异性免疫的影响[J]. 水生生物学报, 2013, 37(2): 344–350.

[14] 田照辉, 徐绍刚, 胡红霞, 等. 西伯利亚鲟 *MHCⅡβ* 基因克隆、组织分布及细菌感染后的表达变化[J]. 大连海洋大学学报, 2019, 34(1): 56–62.

[15] 张玉喜. 重要海水养殖鱼类 *MHCⅡ* 基因克隆、表达及多态性分

(Perciformes) 石首鱼科 (Sciaenidae) 黄鱼属 (*Larimichthys*), 主要分布在我国南海、东海和黄海南部, 为暖水性集群洄游鱼类, 生活于近海的中、下层, 因其具有肉质细嫩, 味道鲜美, 营养价值高等特点, 深受广大消费者的青睐^[1–2]。20 世纪 70 年代, 大黄鱼海上捕捞量高达 12 万 t, 位于我国四大传统鱼类的主捕对象之首^[3–4]。后因过度捕捞, 大黄鱼种质资源日渐匮乏, 濒临枯竭。为对大黄鱼种质资源进行保护, 1985 年水产科技人员利用福建省宁德市官井洋为大黄鱼内湾性产卵场, 在第 6 个国家五年计划期间突破了大黄鱼亲本保活、驯养、人工育苗等技术瓶颈, 首创大黄鱼全人工繁养技术。经过

析[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.

[16] Abraham G, Cooper P D. Anomalous behavior of certain poliovirus polypeptides during SDS – gel electrophoresis [J]. Analytical Biochemistry, 1976, 73(2): 439–446.

[17] 张舒婕, 邓干臻, 龚炎长, 等. 鸭 *MHCⅡα* 基因的表达纯化与抗体制备[J]. 中国兽医学报, 2009, 29(4): 464–467.

[18] 叶 平, 余为一. 鸡 MHC II 类分子部分基因的原核表达及单克隆抗体的制备与鉴定[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(28): 15668–15669.

30 多年的发展,2020 年其产量达 22.6 万 t,居海水养殖鱼类之首,成为我国八大优势出口养殖水产品之一,是最大规模的海水网箱养殖鱼类^[4-8]。但近年来,大黄鱼养殖过程中不仅存在着人工配合饲料的开发和应用水平较低问题,还存在以鲜杂鱼为主要饵料不仅容易滋生病菌引发病害,而且还会恶化养殖环境,导致大黄鱼感染刺激隐核虫等寄生虫病,继而感染弧菌等细菌性疾病等问题,导致大黄鱼的死亡率升高,严重制约大黄鱼养殖产业的发展^[9-11]。在治疗大黄鱼疾病方面,以抗生素治疗所取得的效果最佳,但抗生素类药物终身残留,并随着食物链的富集作用,最终会对人体产生毒副作用^[12]。自中国共产党第十九次全国代表大会以来,畜牧绿色现代化养殖已成为民生健康和食品安全问题,成为养殖业的关注热点,人们迫于寻求绿色健康的替抗药品,中草药因其天然、低残留和不易产生耐药性的特点,已得到广泛关注并开展大量的研究^[13-14]。已有多位学者证实,在饲料中添加黄芩、黄连、穿心莲、大黄、金银花、黄芪、丹参等单方或复方饲料能够有效提高水产动物的免疫活性^[15-18]。

太子参(*Pseudostellaria heterophylla*)是一种常见的药食两用中药材,富含太子参多糖类、环肽类、皂甙类、氨基酸、微量元素等活性物质,具有益气健脾,抵抗疲乏劳累、对抗应激反应、增强机体免疫力等作用^[19]。目前太子参及其产物在畜牧业中已有较多应用,吴建华等研究报道,太子参须使仔猪机体巨噬细胞的吞噬活性得到提高,网状内皮系统的吞噬功能增强,明显提高了机体对疫苗的免疫反应^[20]。都广礼研究表明,太子参能有效提高家禽的免疫力,具有抗击禽流感的作用^[21]。阮少江等将太子参提取液作为大黄鱼的饲料添加剂,结果表明,太子参对促进大黄鱼的抗病、生长、形体性能和肌肉品质均有一定的促进和改良效果,但对大黄鱼免疫的影响还未见深入探究^[22-23]。

血液参与生命体主要的代谢过程,维持机体内部环境的稳定,血液指标是否正常经常用于衡量生物体是否健康^[24-25]。此外,通过测定鱼类血液中白细胞的吞噬功能,可以了解其免疫状况^[26]。本试验利用太子参的药效功能,将太子参提取液添加至饲料中,通过定期测定血液免疫指标,研究其对大黄鱼免疫的影响,以期开发提高大黄鱼品质、抗病性、产量和食用安全的绿色人工配合饲料添加剂提

供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用鱼:大黄鱼购于宁德市鼎诚水产有限公司,挑选体形完整、活力好的幼鱼,平均体长为 (10.70 ± 1.63) cm,体质量为 (12.73 ± 5.48) g。

太子参下脚料提取液的制备:采用热水浸提法提取太子参提取液,选取太子参根须,洗净,常温风干,研磨成粉,过 60 目筛,分别取 8.75 g 粉末于 4 个锥形瓶中,加入 200 mL 蒸馏水,于 95 ℃ 的恒温水浴锅中浸提 4 h,经抽滤、浓缩、煮沸灭菌后定容至 350 mL,制得 40 mg/mL 的太子参提取液,将该提取液保存于 4 ℃ 冰箱中备用。

试验用饲料:采用海马牌大黄鱼人工配合饲料(粗脂肪含量 $\geq 6.0\%$,粗蛋白含量 $\geq 45.0\%$ 赖氨酸含量 $\geq 2.8\%$,粗灰分含量 $\leq 14.0\%$,粗纤维含量 $\leq 5.0\%$,钙含量为 $1.0\% \sim 3.0\%$,总磷含量 $\geq 1.0\%$,氯化钠含量为 $0.5\% \sim 3.0\%$,水分含量 $\leq 10.0\%$)。

1.2 试验设计

试验于 2019 年 9 月在宁德师范学院生物实验楼循环水养殖实验室进行,设置不添加太子参提取液的为对照组,以添加太子参提取液(浓度:40 mg/mL)添加量分别为 0.5% ($C_{0.5}$)、 1.0% ($C_{1.0}$)、 1.5% ($C_{1.5}$)、 2.0% ($C_{2.0}$)为试验组。每组设置 3 个平行试验,每组 300 尾大黄鱼幼鱼。

1.3 养殖管理

采用循环水养殖系统养殖大黄鱼,养殖水体溶氧量保持在 5 mg/L 以上、pH 值范围为 7.9 ~ 8.2、水温保持在 23.5 ~ 24.5 ℃、盐度在 20 ~ 28 之间、氨氮含量保持在 0.20 mg/L 以下;于每日 09:30 及 18:00 饲喂饵料,每次饲喂饵料为鱼体体质量的 $1\% \sim 2\%$,并根据大黄鱼具体摄食情况酌情调整;每日保活吸污、按时换水、捞取死鱼并做好养殖记录。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 血清的制备 正常摄食饵料,幼鱼饲喂 15、30、60、120 d 后,对试验组、对照组每组随机取 3 尾进行尾静脉采血,采血量为 2 mL,血液静置于室温下 1 h,待其凝固后,放到 4 ℃ 冰箱中,冷藏 4 h 后取出,于高速冷冻离心机中离心,条件为 4 ℃、4 000 r/min,时间为 10 min,收集血清用于后续相关指标的测定。

1.4.2 大黄鱼血清免疫球蛋白(IgG)含量的测定

选用南京建成生物工程研究所的 IgG 试剂盒,以免疫比浊法进行测定。

1.4.3 大黄鱼血清免疫酶活性的测定 血清超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定:选用南京建成生物工程研究所的 SOD 检测盒(货号:A001-1)以黄嘌呤氧化酶法,又名羟胺法的相关步骤进行操作。

血清过氧化氢酶(CAT)活性的测定:测定所用试剂盒来自南京建成生物工程研究所(货号:A007-1),按可见光法的相关步骤进行测定。

血清溶菌酶(LZM)活性的测定:选用南京建成生物工程研究所的 LZM 试剂盒(货号:A050),以空白对照法进行测定。

1.4.4 大黄鱼吞噬细胞吞噬功能的测定 将金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)经转管培养后,同生理盐水制成相应的菌悬液,经灭活后存入 4℃ 冰箱内保存备用,在不同的饲喂时间随机从各试验组中取 3 尾大黄鱼进行抽血,注意使用肝素钠抗凝剂防止血液凝固,后将血液与菌悬液混合,制成血涂片,并用碱性美蓝染色,后经洗涤晾干,便可进行观察。根据白细胞所具备的相关特点,准确找到 30 个白细胞,数出吞噬细菌的白细胞数和白细胞吞噬金黄色葡萄球菌数。计算公式^[25]如下:

吞噬百分率 = 观察白细胞总数中参与吞噬的白细胞数/观察数 × 100% ;

吞噬指数 = 吞噬的细菌总数/观察数。

1.5 数据统计与分析

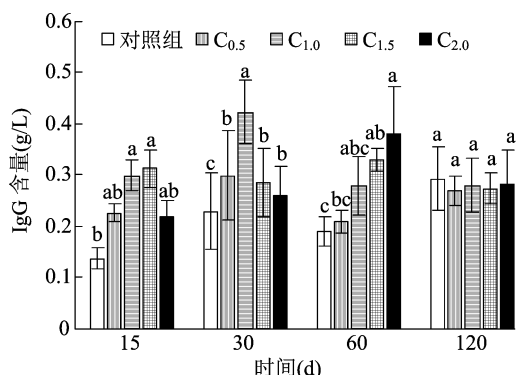
数据分析采用 SPSS 23.0 处理软件中的单因素方差分析,用 Duncan's 多重比较分析差异显著性,试验数据以平均值 ± 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 添加太子参提取液对大黄鱼血清 IgG 含量的影响

对照组和 C_{0.5} 组在养殖周期内,血清中 IgG 含量呈现在 15~30 d 先上升,30 d 后下降,至 60 d 后再上升的趋势;C_{1.0} 和 C_{2.0} 组血清中 IgG 含量呈现为先上升后下降的趋势;C_{1.0} 组饲喂 60 d 后,血清中 IgG 含量趋于平稳;C_{1.5} 组血清中 IgG 含量呈现在 15~30 d 时先下降,30~60 d 时上升,而后又下降的趋势。饲喂 60 d,试验组血清中 IgG 含量随添加太子参提取液浓度的增加呈上升趋势。饲喂 30 d 时,C_{1.0} 组血清中 IgG 含量达到最高,为 (0.42 ± 0.06) g/L。除 120 d 外,试验组血清中 IgG 含量均

高于对照组(图 1)。



柱上不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。图 2、图 3 同
图 1 太子参提取液对大黄鱼血清 IgG 含量影响

2.2 添加太子参提取液对大黄鱼血清免疫酶活性的影响

饲喂添加太子参提取液 120 d,各试验组血清中 SOD 活性变化情况见图 2-A, LZM 活性变化情况见图 2-B, CAT 活性变化情况见图 2-C。其中各组的 SOD 活性、对照组和 C_{0.5} 和 C_{2.0} 组血清中的 LZM 活性、对照组血清中的 CAT 活性均呈现先上升后下降再上升的趋势,而 C_{1.0} 和 C_{1.5} 组血清中的 LZM 活性、C_{0.5}、C_{1.0} 和 C_{1.5} 组血清中的 CAT 活性呈现先下降后上升的趋势,C_{2.0} 组血清中的 CAT 活性呈现在 15~30 d 时先下降,30 d 后上升,至 60 d 后再下降的趋势。试验组血清中 SOD 活性除 60 d 外,其他投喂时间均大于对照组。试验组血清中的 CAT 活性除 30 d 和 120 d 外,其他处理均显著高于对照组 ($P < 0.05$)。从 60 d 起,试验组血清中 SOD 活性随太子参提取液浓度的增加呈上升趋势。在 30 d 时,C_{1.0} 试验组血清中 SOD 活性达到最高,为 (343.74 ± 0.13) U/mg;30 d 时,血清中 LZM 活性达到最高的为 C_{0.5} 组,为 (7.35 ± 0.02) U/mL;饲喂 15 d 时,C_{1.5} 组血清中 CAT 活性达到最高值,为 (5.75 ± 0.02) U/mL。

2.3 添加太子参提取液对大黄鱼吞噬细胞吞噬功能的影响

饲养 60 d,试验组的吞噬百分率与对照组差异不显著 ($P > 0.05$),仅 C_{0.5} 试验组吞噬百分率略高于对照组,C_{1.0} 组的吞噬百分率在前 60 d 均不如对照组高,而 60 d 后,该组的吞噬百分率显著高于对照组 ($P < 0.05$);养殖至 120 d,各添加太子参提取液试验组的吞噬百分率均显著高于对照组 ($P < 0.05$),C_{1.0} 组的吞噬百分率达到最高,为 (63.3 ± 0.03)% (图 3-A)。

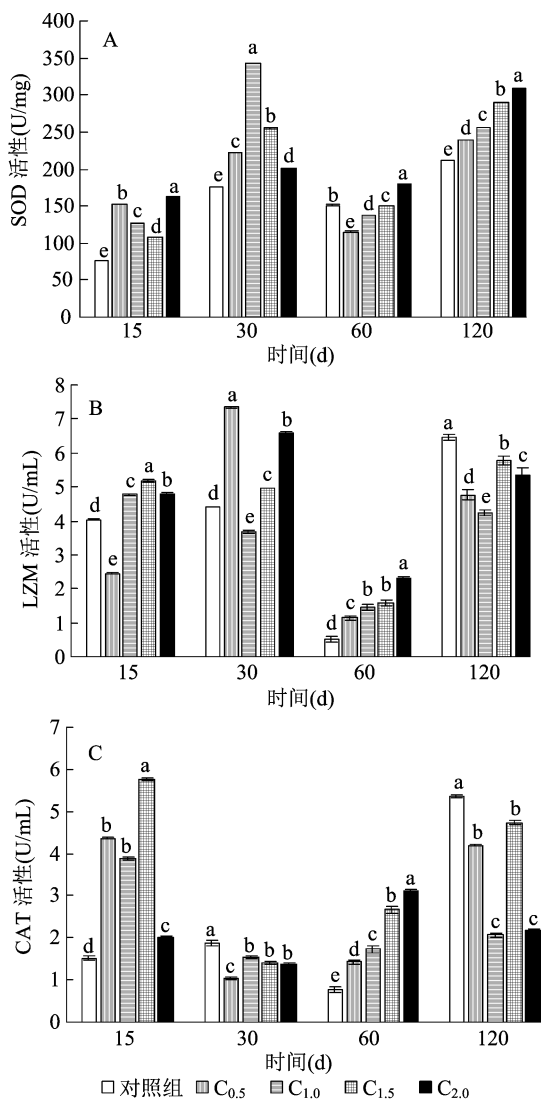


图2 太子参提取液对大黄鱼血清免疫酶活性的影响

饲养 15 d, 试验组的吞噬指数均低于对照组; 养殖至 30 d, $C_{0.5}$ 、 $C_{1.5}$ 和 $C_{2.0}$ 组的吞噬指数高于对照组, $C_{1.0}$ 组的吞噬指数略低于对照组, 但差异不显著 ($P > 0.05$); 饲喂 60 d, 仅 $C_{0.5}$ 和 $C_{2.0}$ 组吞噬指数高于对照组; 饲喂 120 d, 添加太子参提取液的各试验组的吞噬指数均显著高于对照组 ($P < 0.05$), $C_{1.0}$ 组的吞噬指数达到最大值, 为 2.70 ± 0.10 (图 3 - B)。

3 讨论与结论

3.1 太子参提取液对大黄鱼血清免疫球蛋白含量的影响分析

免疫球蛋白是由淋巴细胞所制造产生的, 是鱼类的初级特异性免疫系统中的一个重要成分, 在鱼类特异性免疫过程中发挥了重要作用, 可用于鱼类抵抗疾病, 防御病害。Siwicki 等首次利用血清中的

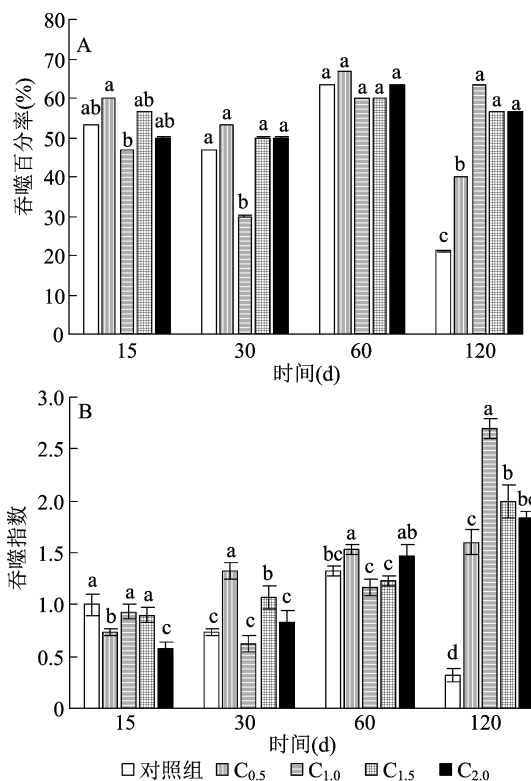


图3 太子参提取液对大黄鱼吞噬细胞吞噬功能的影响

免疫球蛋白含量来评价鱼类的免疫功能^[27]; Adham 等以血清蛋白、白蛋白和免疫球蛋白的含量变化作为检测环境对鱼类健康影响的免疫指标; 在机体免疫过程中, 免疫球蛋白起重要作用, 能够抵抗病菌、抵御病毒, 促进鱼体有效地预防相应的感染性疾病^[28]。在本试验中, 添加太子参提取液对于大黄鱼的血清免疫球蛋白含量具有一定的提高作用, 表现为添加太子参提取液的各试验组饲喂 60 d 及之前均高于对照组, 但饲喂 120 d 后, 各试验组免疫球蛋白含量趋于稳定, 且均低于对照组。这与杨启莲等的试验结果表明免疫球蛋白含量会在机体感病后的一段时间才会出现熟知的显著变化^[29]相符。

3.2 太子参提取液对大黄鱼血清免疫酶活性的影响分析

生物体内无时无刻都在进行代谢活动, 产生大量的超氧自由基 ($O_2^- \cdot$), 将对机体产生危害, 而 SOD 具有催化超氧自由基发生歧化反应的作用, 是机体内 $O_2^- \cdot$ 的天然清除剂^[30], 对生物体起自我保护的作用。李梅芳等用大黄、党参和五倍子等 6 种中草药投喂大黄鱼, SOD 活性显著提高 ($P < 0.05$), 增强了非特异性免疫活性^[31]。中草药中的多糖等营养成分有利于促进多种水产养殖动物 SOD 活性的显著提高 ($P < 0.05$)^[32-36], 从而提高机体的非特

异性免疫活性^[37-40]。本试验证实添加太子参提取液对大黄鱼 SOD 活性具有一定的提高作用,添加太子参提取液的各试验组呈现先上升后下降再上升的趋势,这是在前期大黄鱼为了适应养殖新环境所致,饲喂 60 d,大黄鱼的 SOD 活性随着太子参提取液添加浓度的提高而上升,但仅 C_{2.0}组酶活性高于对照组。笔者认为,造成这一现象的主要原因是对照组感染刺激隐核虫而造成皮肤损伤导致创伤应激和炎症反应,使大黄鱼体内脂质过氧化显著增强并引起大黄鱼体内活性氧积聚。

LZM 是生物体重要的非特异性免疫因子之一,具有杀菌、抗感染、诱导调节其他免疫因子合成和分泌、增加免疫力、修复伤口等功能^[31,41]。本次在试验前期,C_{0.5}和 C_{2.0}组 LZM 活性显著升高,这一结果与盛竹梅等采用五倍子为主要配方的复方中药也可显著提高鲫鱼 (*Carassius auratus*) 血清溶菌酶的活性研究结果^[42]一致。同时还发现饲喂 120 d,各试验组溶菌酶活性均低于对照组,结果与石和荣等研究中发现的随中草药含量升高,酶活性降低的结论^[43]相符。

过氧化氢体为不常见的细胞器,存在于机体内的红细胞及某些组织中,过氧化氢体的主要特点是储存着 CAT,该酶是生物防御体系的关键酶之一,主要作用是催化清除体内多余的过氧化氢,使细胞免于遭受 H₂O₂ 的毒害^[44]。本试验采用太子参饲喂大黄鱼 15 d 时,添加量为 0.5%、1.0% 及 1.5% 组的 CAT 活性显著升高。这与李梅芳等投喂大黄、党参和五倍子等 6 种中草药显著提高了大黄鱼的血清 CAT 活性,增强了非特异性免疫活性结果^[31]一致。

3.3 太子参提取液对大黄鱼吞噬细胞的吞噬功能影响分析

鱼类特异性免疫能力较弱,主要依靠非特异性免疫系统,白细胞的吞噬活性又是鱼类非特异性免疫的重要组成部分^[45-47]。试验期间,各添加太子参提取液的试验组白细胞吞噬活性随时间推移总体呈上升趋势,经 120 d 的饲养,试验组吞噬活性均高于对照组,说明太子参提取液具有提高大黄鱼吞噬功能的功效。在试验过程中发现,试验组和对照组大黄鱼均出现了感染的白点内脏,这可能导致吞噬活性增强^[48]。

3.4 太子参提取液作为大黄鱼饲料添加剂的可行性分析

近些年,大黄鱼产业发展飞快,养殖户为追求

产量和利润,不断扩大养殖规模,养殖密度逐渐增加致使对养殖海区水体的破坏日益严重,恶化的养殖环境导致大黄鱼因感染寄生虫,继而感染继发性细菌病大量致死现象出现。目前在大黄鱼人工配合饲料的开发和应用方面,水平仍较低^[49-51]。本次研究表明,添加太子参提取液有利于提高大黄鱼的非特异性免疫。同时太子参具有毒副作用小、无药物残留等优点,兼有营养性和药物性的双重作用,能促进鱼类机体免疫反应,提高其抗逆性。本试验进一步表明,饲料中添加 0.5% ~ 1.5% 太子参提取液(浓度 40 mg/L)可提高大黄鱼血清 LZM、SOD、CAT 的活性,IgG 含量及吞噬功能,增强大黄鱼的非特异性免疫机能,具有减少病害发生的可能,从而保证大黄鱼的品质安全。

参考文献:

- [1] 崔晓翠,王印庚,陈霞,等. 槟榔、川楝子复方中草药对大黄鱼 4 种酶活性的影响及对刺激隐核虫的杀灭效果分析[J]. 中国水产科学,2017,24(2):362-373.
- [2] 《福建鱼类志》编辑部. 福建鱼类志(下卷)[M]. 福州:福建科技出版社,1985:101-136.
- [3] 刘家富,韩坤煌. 我国大黄鱼产业的发展现状与对策[J]. 福建水产,2011,33(5):4-8.
- [4] 洪万树,刘家富,郑炜强,等. 浅论我国大黄鱼产业转型升级之对策[J]. 渔业研究,2018,40(4):315-323.
- [5] 黄伟卿,韩坤煌,陈仕玺,等. 海捕野生大黄鱼选育子代生长性能及现实遗传力分析[J]. 水产科学,2016,35(3):204-209.
- [6] 李兵. 大黄鱼室内低盐养殖的初步研究[D]. 上海:上海海洋大学,2012.
- [7] 苗亮,李多云,陈炯,等. 快长、耐低温大黄鱼新品种东海 1 号的选育[J]. 农业生物技术学报,2014,22(10):1314-1320.
- [8] 徐开达,刘子藩. 东海区大黄鱼渔业资源及资源衰退原因分析[J]. 大连水产学院学报,2007,22(5):392-396.
- [9] 刘招坤. 闽东地区大黄鱼养殖中饲料的使用现状分析[J]. 水产科技情报,2015,42(1):41-44,49.
- [10] 王小平. 闽东大黄鱼养殖业现状及其发展对策[J]. 福建水产,2000,22(2):52-57.
- [11] 谢书秋,刘振勇. 闽东大黄鱼养殖现状分析与发展对策[J]. 福建水产,2006,28(3):95-97.
- [12] 潘连德,陈辉. 药物防治的临床药理学与水产药理学问题[J]. 水产科技情报,1998,25(4):169-173.
- [13] 张炎达,潘慧青,赵军,等. 太子参的生物学功能及其在畜牧生产中的应用[J]. 养殖与饲料,2018(12):42-47.
- [14] 王斌,迟玉华,范志刚,等. 发酵中草药微生态制剂替代饲料中抗生素对肉鸡生产性能的影响[J]. 山东畜牧兽医,2020,41(3):6-7.
- [15] 曹红峰,宋靖芳,李国庆,等. 中草药对嗜水气单胞菌 ST-3-3 抑菌作用的研究[J]. 中医药导报,2007,13(5):86-88.

- [16] 陈丽婷, 郇志利, 王晓清, 等. 中草药添加剂在水产养殖中的应用研究进展[J]. 水产科学, 2014, 33(3): 190–194.
- [17] 李超, 张其中, 杨莹莹, 等. 复方中草药对草鱼生长和血细胞数量的影响[J]. 水产科学, 2012, 31(1): 7–11.
- [18] 陈霞, 张其中, 李春涛. 47 种中草药体外抑杀嗜水气单胞菌的药效研究[J]. 水产科学, 2012, 31(7): 387–391.
- [19] 汪剑飞. 太子参药理研究新进展[J]. 实用药物与临床, 2013, 16(4): 333–334.
- [20] 吴建华, 杨荣平, 张炎达, 等. 太子参须对仔猪免疫系统调理作用的研究[J]. 福建畜牧兽医, 2018, 40(5): 1–3.
- [21] 都广礼. 应用中医药抗击禽流感[J]. 家庭用药, 2006(1): 15.
- [22] 阮少江, 黄伟卿, 倪建成, 等. 饲料中添加太子参提取液对大黄鱼成活和生长的影响[J]. 水产学杂志, 2020, 33(2): 40–44.
- [23] 黄伟卿, 阮少江, 周逢芳, 等. 饲料中添加太子参提取物对大黄鱼肌肉营养的影响[J]. 饲料研究, 2020, 43(9): 50–55.
- [24] 周玉, 郭文场, 杨振国, 等. 鱼类血液学指标研究的进展[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(2): 163–165.
- [25] 翟良安, 倪朝辉, 叶雄平, 等. “浸螺杀”对鲤鱼生化 and 血液指标影响的研究[J]. 淡水渔业, 1992, 22(4): 24–26.
- [26] 王军, 鄢庆枇, 苏永全, 等. 免疫添加物对大黄鱼血液白细胞数量及其吞噬功能的影响[J]. 海洋科学, 2001, 25(9): 44–46.
- [27] Siwicki A K, Anderson D P, Waluga J. Fish disease diagnosis and prevention methods[M]. Poland: Olsztyn, 1993: 105–112.
- [28] Adham K, Khairalla A, Abu – Shabana M, et al. Environmental stress in lake maryut and physiological response of *Tilapia zilli* Gerv. [J]. Journal of Environmental Science and Health, 1997, 32(9/10): 2585–2598.
- [29] 杨启莲, 姚翠鸾, 王志勇. 大黄鱼选育群体与普通养殖群体部分免疫指标的比较[J]. 海洋科学, 2012, 36(10): 48–53.
- [30] 姚翠鸾, 王维娜, 王安利. 水生动物体内超氧化物歧化酶的研究进展[J]. 海洋科学, 2003, 27(10): 18–21.
- [31] 李梅芳, 张文杰, 毛芝娟, 等. 投喂中草药对大黄鱼几种免疫酶活性的影响[J]. 水产科学, 2014, 33(11): 718–722.
- [32] 张伟妮, 林旋, 王寿昆, 等. 黄芪多糖对罗非鱼非特异性免疫和胃肠内分泌功能的影响[J]. 动物营养学报, 2010, 22(2): 401–409.
- [33] 艾春汉, 邹金虎, 喻运珍, 等. 6 种中药对鲫非特异性免疫效果的影响[J]. 淡水渔业, 2009, 39(1): 76–79.
- [34] 阮国良, 杨代勤, 王金龙. 几种中草药饲料添加剂对黄鳝免疫功能 and 生长性能的影响[J]. 饲料工业, 2005, 26(24): 34–36.
- [35] 刘金海, 王宏志, 王文阳. 黄芪对半滑舌鲷非特异免疫活性的影响[J]. 饲料工业, 2011, 32(2): 19–23.
- [36] 李义, 宋学宏, 蔡春芳, 等. 复方中药添加剂对罗氏沼虾免疫功能增强作用[J]. 饲料工业, 2002, 23(7): 45–47.
- [37] 向泉, 陈建, 周兴华, 等. 黄芪多糖对齐口裂腹鱼生长、体组成和免疫指标的影响[J]. 水生生物学报, 2011, 35(2): 291–299.
- [38] Lushchak V I, Bagnyukova T V. Hypoxia induces oxidative stress in tissues of a goby, the rotan *Perccottus glenii* [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 2007, 148(4): 390–397.
- [39] 聂海, 黄显凯, 赖西南, 等. 舱内腹部爆炸伤大鼠血清及肠道组织 MDA 含量和 SOD、GSH – Px 活力变化及意义[J]. 第三军医大学学报, 2008, 30(10): 910–913.
- [40] 魏宁, 张步彩, 蔡丙严, 等. 采血应激对白羽肉鸡血清超氧化物歧化酶活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(12): 222–224.
- [41] 王裕玉, 徐跑, 张志伟, 等. 不同养殖模式对黑鲟生长、血清生化指标及抗氧化性能的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(23): 155–160.
- [42] 盛竹梅, 马志宏, 黄文, 等. 复方中草药对鲫鱼免疫力的影响[J]. 四川农业大学学报, 2012, 30(4): 463–467.
- [43] 石和荣, 何琪, 吕晴霁, 等. 饲料中添加复方中草药或核苷酸对虎龙杂交石斑鱼生长和免疫的影响[J]. 水产学杂志, 2019, 32(6): 41–47.
- [44] 靳晓敏, 吴垠, 杨松, 等. 两种菊酯类农药对鲤血清 CAT 和 SOD 的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(3): 615–618.
- [45] 冯连华. 低盐环境对斜带石斑鱼幼鱼生长、生理的影响[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2012.
- [46] 李新文, 吕延玲. 鱼类的非特异性免疫概述[J]. 黑龙江水产, 2010(2): 44–45.
- [47] 严仪昭. 吞噬细胞产生氧自由基的机制及意义[J]. 生理科学, 1989, 9(4): 10–13.
- [48] Mao Z J, Ye J, Li M F, et al. Vaccination efficiency of surface antigens and killed whole cell of *Pseudomonas putida* in large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2013, 35(2): 375–381.
- [49] 邹峰, 苏永全, 覃映雪, 等. 海水鱼类寄生虫刺激隐核虫 (*Cryptocaryon irritans*) 趋化性研究[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(4): 1003–1007.
- [50] 杨文川, 李立伟, 石磊, 等. 鮠新本尼登虫 (单殖目: 多室科) 的发育[J]. 动物学报, 2002, 48(1): 75–79.
- [51] 刘家富. 大黄鱼养殖与生物学[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2013: 184–211.